

工程塑料手册

● 石安富 龚云表 主编

上海科学技术出版社

主 编
副主编
编 委

石安富 龚云表
钟佩琴 施耀忠
(以姓氏笔划为序)

王 燕 邢宇萍
忻高明 陈荫坚
张永德 费祯田
钱振华 陶建英
傅 强 程经才

许荷贞
陈碧莲
贾丹宁
黄志方

杨学相
项志度
唐公哲
董晨洁

前言

作为高分子合成材料的塑料、橡胶和纤维,是 20 世纪崛起并得到迅速发展的三大合成材料,其中,又以塑料的发展速度为最快。1997 年世界塑料产量已达到 1.35 亿 t,其体积相当于 10 亿 t 钢铁。而 2000 年世界塑料产量已超过 1.5 亿 t。塑料已与钢铁、木材和水泥构成了现代工业的四大基础材料,成为整个国民经济发展不可缺少的重要材料。

工程塑料是塑料的一个重要组成部分,其产量虽然不大(1997 年产量近 400 万 t,约占塑料总产量的 2.9%),但由于它具有一系列优异的性能和很高的使用价值,因而发展速度高于通用塑料。20 世纪 90 年代以来,年均增长率达到 10%以上,预计今后几年内仍将以年均 7%~10%的增长速度发展。

工程塑料作为重要的结构材料,能在较宽的温度范围内承受机械应力和在较苛刻的物理化学环境中使用,因而倍受重视。无论是在机械、汽车、电子电器、化工、建筑、包装等传统工业领域,还是在宇航、生物工程、信息技术、微电子、原子能、生命科学等高新技术领域,工程塑料都得到了愈来愈广泛的应用。在促进科学技术进步,加快国民经济发展,改善人类生存环境和提高生活质量等诸多方面起着愈来愈大的作用。

目前,工程塑料正朝着高性能化、高功能化、多用途和低成本方向发展。工程塑料系聚合物合金和以工程塑料为基体的复合材料正是适应了这种需要而在近年来获得了高速发展。

随着国民经济的发展,各行各业对工程塑料的需求增长很快。1998 年中国五大通用工程塑料(聚酰胺、聚碳酸酯、聚甲醛、改性聚苯醚和聚对苯二甲酸丁二醇酯)的消费量已近 20 万 t。中国目前工程塑料的产量较低,大部分需要进口,这对中国工程塑料的开发和生产提出了严峻的挑战。加速工程塑料的发展,是从事工程塑料研制、生产、成型加工等人员所面临的重要任务。正是基于这种考虑,我们参照国内外有关资料并结合自己的工作实践,编写了这本手册,以期能对中国工程塑料的发展作些微薄的贡献。

全书共分三篇,即第一篇总论,第二篇通用工程塑料和第三篇特种工程塑料。第一篇就工程塑料的发展简史、技术开发动向、性能特点及测试方法、成型加工和应用领域等予以介绍;第二篇介绍 ABS 类树脂、聚酰胺、聚碳酸酯类树脂、聚甲醛和改性聚甲醛、聚苯醚和改性聚苯醚、热塑性聚酯,以及超高分子量聚乙烯等通用工程塑料品种;第三篇介绍聚砜类树脂、聚酰亚胺、聚苯硫醚和改性聚苯硫醚、聚芳酯和改性聚芳酯、聚苯酯和改性聚苯酯、聚芳醚酮、液晶聚合物以及氟塑料等特种工程塑料品种。全书插图 900 余幅,其中有 100 余幅为工程塑料应用的实物照片。

本书的编写力求做到内容全面完整,资料新颖翔实,编排科学合理,但工程塑料涉及学科众多,知识领域广泛,面貌日新月异;加之我们水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,敬请广大读者不吝赐教,以便再版时改正。

编 者

2001 年 5 月

目 录

前言	1
----------	---

第一篇 总 论

第一章 概述	3	一、拉伸	53
第一节 分类	3	二、压缩	55
第二节 发展简史	4	三、弯曲	58
第三节 技术开发动向	7	四、冲击	60
一、开发新品种	7	五、硬度	68
二、更新传统工艺	9	六、剪切	76
三、开发专用产品	10	七、蠕变	79
四、工程塑料改性的合金化	10	八、疲劳	83
五、复合材料及其新进展	15	九、摩擦和磨损	85
六、成型技术的新发展	21	第五节 热性能测试	88
七、增强环境保护意识	26	一、线膨胀系数	88
第二章 工程塑料的性能及测试	29	二、热导率	89
第一节 性能特点及主要性能	29	三、维卡软化点	92
一、性能特点	29	四、热变形温度	94
二、主要性能	30	五、玻璃化温度	96
第二节 影响性能测试的因素	33	六、尺寸稳定性	97
一、试样	33	第六节 燃烧性能测试	98
二、状态调节	34	一、水平燃烧法	99
第三节 物理性能测试	36	二、垂直燃烧法	100
一、密度	36	三、点着温度测定法	102
二、表观密度	38	四、炽热棒法	103
三、吸水性	40	五、氧指数法	105
四、透气性	42	六、烟密度法	109
五、透水蒸气性	45	七、闪点和自燃点	113
六、透光性	47	第七节 电性能测试	115
七、折射率	49	一、绝缘电阻和电阻率	115
八、黄色指数	50	二、介电常数和介质损耗角正切	119
九、白度	52	三、介电强度	123
第四节 力学性能测试	53	四、耐电弧性	127

第八节 流动性能测试	130	一、发泡成型设备	251
一、熔点	130	二、发泡成型工艺	255
二、熔体流动速率	134	第八节 热成型	256
第九节 老化性能试验方法	137	一、热成型设备	256
一、自然气候暴露试验方法	137	二、热成型工艺	259
二、人工气候老化试验方法	140	第九节 机械加工	262
三、热空气暴露试验方法	143	一、车削	262
四、湿热老化试验方法	145	二、铣削	267
第三章 工程塑料成型加工	149	三、钻削	269
第一节 成型加工原理	149	四、锯割	273
一、工程塑料的成型加工性	150	五、冲切	276
二、工程塑料熔体的流变性	152	第四章 工程塑料的应用	279
三、工程塑料在成型加工过程中性质的变化	157	第一节 在汽车上的应用	279
第二节 工程塑料成型物料的组成和配制	164	一、汽车塑料化	279
一、工程塑料成型物料的组成	164	二、主要车用工程塑料部件	281
二、各类助剂的主要品种	167	三、国内汽车用工程塑料现状	287
三、工程塑料成型物料的配制	181	第二节 在机械上的应用	288
第三节 工程塑料制品的结构设计	184	一、在机械零件上的应用	288
一、工程塑料制品的设计程序	184	二、在机械结构件上的应用	300
二、工程塑料制品选材	185	第三节 在电子电器上的应用	303
三、工程塑料制品的受力分析和强度设计	193	一、在电子电器绝缘上的应用	303
四、工程塑料制品结构设计的工艺要求	197	二、在电器设备结构件上的应用	310
第四节 注射成型	208	第四节 在家用电器上的应用	316
一、注射成型设备	208	一、家用电器的分类	316
二、注射成型工艺	219	二、家用电器用工程塑料件的设计	317
三、注射成型工艺的影响因素	223	三、家用电器用工程塑料的选材	318
四、特种注射成型	227	四、家用电器用工程塑料件常用成型方法	320
第五节 挤出成型	230	五、家用电器用工程塑料的品种	321
一、挤出成型设备	230	第五节 在化工上的应用	327
二、挤出成型工艺	239	一、工程塑料的耐腐蚀性	327
三、挤出成型工艺的影响因素	244	二、在化工设备上的应用	331
第六节 模压烧结成型	245	三、在化工管路系统的应用	333
一、成型设备	246	第六节 在飞机和宇航上的应用	337
二、成型工艺	249	一、在飞机上的应用	337
第七节 发泡成型	251	二、在宇航上的应用	341
		第七节 在包装上的应用	342
		一、塑料包装材料的分类	342
		二、包装用工程塑料薄膜	343

三、工程塑料中空容器	348
四、其它工程塑料包装材料	354
第八节 在医疗卫生上的应用	355
一、在人工脏器上的应用	356
二、作为组织修复材料的应用	359
三、在医疗器械上的应用	361

第九节 工程塑料在其它方面的应用 ...	362
一、建筑	362
二、办公自动化机器	365
三、船舶	366
四、铁路	371
五、分离膜	374

第二篇 通用工程塑料

第一章 ABS 类树脂	381
第一节 ABS 树脂	381
第二节 改性 ABS 树脂	395
一、增强 ABS	396
二、阻燃 ABS	397
三、透明 ABS	399
四、ASA 树脂	401
五、ACS 树脂	404
六、MBS 树脂	406
第三节 ABS 合金	408
一、ABS /PVC 合金	409
二、ABS /TPU 合金	411
三、ABS /PMMA 合金	412
第四节 ABS 类树脂的分析方法	413
一、ABS 类树脂的红外吸收光谱	413
二、ABS 树脂中残留丙烯腈单体含量的测定 (气相色谱法)	414
三、ABS 树脂中残留苯乙烯单体含量的测定 (气相色谱法)	416
第二章 聚酰胺	420
第一节 尼龙 6	420
第二节 尼龙 66	434
第三节 尼龙 11	445
第四节 尼龙 12	451
第五节 尼龙 46	460
第六节 尼龙 610	465
第七节 尼龙 612	470
第八节 尼龙 1010	472
第九节 改性和新型聚酰胺	476
一、玻璃纤维增强尼龙	476

二、超韧尼龙	481
三、透明尼龙	483
四、阻燃尼龙	485
五、单体浇铸尼龙	487
六、反应注射成型尼龙	489
第十节 聚酰胺合金	491
一、PA /PO 合金	492
二、PA /ABS 合金	493
三、PA /PPS 合金	493
四、PA /PC 合金	494
五、PA /PAR 合金	495
六、PA /PTFE 合金	495
第十一节 聚酰胺树脂的分析方法	496
一、聚酰胺树脂主要品种的红外吸收光谱	496
二、聚酰胺熔点的测定方法 (毛细管加热室法)	497
三、聚酰胺粘数的测定	498
四、聚酰胺含水量的测定	501
五、聚酰胺灰分的测定	504
六、聚酰胺均聚物中沸腾甲醇可提取物的测定	506
七、聚酰胺游离单体和低分子量聚合物的测定	508
八、聚酰胺端基的测定	510
第三章 聚碳酸酯类树脂	512
第一节 聚碳酸酯 (双酚 A 型)	512
第二节 改性和新型聚碳酸酯	532
一、玻璃纤维增强聚碳酸酯	533
二、卤代双酚 A 聚碳酸酯	537

三、聚酯-碳酸酯	539	六、PPO /PPS 合金	615
四、硫代碳酸酯-碳酸酯共聚物	540	七、PPO /PTFE 合金	616
五、有机硅嵌段共聚碳酸酯	541	第四节 聚苯醚树脂的分析方法	616
第三节 聚碳酸酯合金	541	一、聚苯醚树脂的红外吸收光谱	616
一、PC /ABS 合金	542	二、聚苯醚树脂粘度的测定	617
二、PC /PBT 合金	545	三、聚苯醚树脂中铜含量的测定	618
三、PC /PET 合金	546	四、聚苯醚树脂中 3, 3', 5, 5'-四甲基	
四、PC /PE 合金	547	二苯醌的测定	619
五、PC /POM 合金	548	五、聚苯醚树脂中灰分的测定	620
六、PC /PTFE 合金	548	第六章 热塑性聚酯	622
七、PC /PMMA 合金	549	第一节 聚对苯二甲酸丁二醇酯	622
第四节 聚碳酸酯树脂的分析方法	550	第二节 聚对苯二甲酸乙二醇酯	641
一、聚碳酸酯树脂的红外吸收光谱	550	第三节 聚萘二甲酸乙二醇酯	657
二、聚碳酸酯树脂相对分子质量的测定	550	第四节 其它改性热塑性聚酯	660
三、聚碳酸酯树脂热降解率的测定	552	一、低翘曲 PBT	661
四、聚碳酸酯树脂溶液色差测定	552	二、改进结晶性 PET	661
第四章 聚甲醛和改性聚甲醛	554	三、低翘曲 PET	662
第一节 聚甲醛	554	四、阻燃 PBT	663
第二节 改性聚甲醛	576	第五节 热塑性聚酯合金	663
一、增强聚甲醛	576	一、PBT /PET 合金	664
二、含油聚甲醛	578	二、PBT /乙烯共聚物合金	666
三、电镀聚甲醛	579	三、PBT /ABS 合金	666
四、防静电聚甲醛	580	四、PBT /PS 合金	668
五、聚甲醛合金	581	五、PBT /弹性体合金	668
第三节 聚甲醛树脂的分析方法	584	六、PBT /ASA 合金	669
一、聚甲醛树脂的红外吸收光谱	584	第六节 热塑性聚酯的分析方法	669
二、聚甲醛树脂熔点测试方法 (DSC 法)	584	一、热塑性聚酯的红外吸收光谱	669
三、聚甲醛树脂稀溶液粘度的测定	585	二、聚对苯二甲酸烷撑二酯稀溶液粘	
第五章 聚苯醚和改性聚苯醚	588	度的测定	670
第一节 聚苯醚	588	三、聚对苯二甲酸烷撑二酯粒料含水	
第二节 改性聚苯醚 Noryl	595	量的测定	673
第三节 其它改性聚苯醚	606	第七章 超高分子量聚乙烯及其改性	品种
一、Xyron	607	品种	676
二、Prevex	610	第一节 超高分子量聚乙烯	676
三、PPO /PA 合金	611	一、发展简史	676
四、PPO /ABS 合金	613	二、生产方法	676
五、PPO /PBT 合金	614	三、性能	678
		四、成型加工	684
		五、应用领域	690

六、主要生产厂家及商品名称	694	光谱	698
第二节 改性超高分子量聚乙烯	695	二、超高分子量聚乙烯树脂稀溶液粘度	
一、填料改性超高分子量聚乙烯	695	的测定	698
二、UHMWPE LCP 合金	697	三、超高分子量聚乙烯耐环境应力开裂	
第三节 超高分子量聚乙烯的分析方法 ...	698	试验方法	700
一、超高分子量聚乙烯的红外吸收			

第三篇 特种工程塑料

第一章 聚砒类树脂	705	三、聚酯酰亚胺	788
第一节 双酚 A 型聚砒	705	第六节 聚酰亚胺的分析方法	791
第二节 聚芳砒	715	一、聚酰亚胺的红外吸收光谱	791
第三节 聚醚砒	719	二、YS-20T 可熔性聚酰亚胺模塑粉比	
第四节 改性聚砒类树脂	728	浓对数粘度的测定	792
一、玻璃纤维增强聚砒	728	第三章 聚苯硫醚和改性聚苯硫醚 ...	794
二、阻燃聚砒	730	第一节 聚苯硫醚及其增强改性	794
三、玻璃纤维增强聚醚砒	730	第二节 其它改性聚苯硫醚	816
四、聚醚砒复合材料	732	一、结构改性 PPS	817
五、聚砒类树脂合金	733	二、PPS 合金	820
第五节 聚砒类树脂分析方法	737	三、高分子量 PPS	823
一、聚砒类树脂的红外吸收光谱	737	第四章 聚芳酯和改性聚芳酯	828
二、聚砒分子量的测定	738	第一节 聚芳酯	828
三、聚砒端羟基测定	739	第二节 改性聚芳酯	842
第二章 聚酰亚胺	740	一、耐化学药品聚芳酯	842
第一节 概述	740	二、玻璃纤维增强聚芳酯	843
一、发展简史	740	三、高反射遮光聚芳酯	845
二、分类方法	741	四、高屏蔽聚芳酯	845
第二节 均苯型聚酰亚胺	745	五、聚芳酯合金	846
第三节 可熔性聚酰亚胺	756	第五章 聚苯酯和改性聚苯酯	851
一、单醚酞型聚酰亚胺	757	第一节 聚苯酯	851
二、双醚酞型聚酰亚胺	761	第二节 改性聚苯酯	859
三、酮酞型聚酰亚胺	762	一、玻璃纤维增强聚苯酯	859
第四节 交联聚酰亚胺	765	二、高润滑聚苯酯	861
一、双马来酰亚胺	766	三、聚苯酯 PPS 合金	864
二、NA 封端聚酰亚胺	768	四、聚苯酯 聚全氟乙丙烯合金	865
三、乙炔封端聚酰亚胺	771	第三节 应用领域	865
第五节 改性聚酰亚胺	773	一、电子电器	865
一、聚酰胺酰亚胺	773	二、机械	866
二、聚醚酰亚胺	781	三、其它	867

第六章 聚芳醚酮	868	聚物	935
第一节 概述	868	第三节 四氟乙烯-六氟丙烯共聚物	937
一、主要品种	868	第四节 乙烯-四氟乙烯共聚物	941
二、发展简史	869	第五节 聚三氟氯乙烯	945
第二节 聚醚醚酮	869	第六节 乙烯-三氟氯乙烯共聚物	951
第三节 其它聚芳醚酮	881	第七节 聚偏氟乙烯	953
一、聚醚酮	881	第八节 三氟氯乙烯-偏氟乙烯共聚物	958
二、聚醚酮酮	882	第九节 聚氟乙烯	961
三、聚醚醚酮酮	884	第十节 改性氟塑料	964
四、聚醚酮醚酮酮	885	一、填充聚四氟乙烯	964
第七章 液晶聚合物	890	二、氟塑料合金	968
第一节 概述	890	第十一节 氟塑料的分析方法	972
一、液晶聚合物发展简史	890	一、氟树脂主要品种的红外吸收光谱	972
二、液晶聚合物分类	891	二、聚四氟乙烯树脂粒度的测定	974
三、液晶聚合物特性	892	三、聚四氟乙烯树脂表观密度的测定	977
第二节 溶致液晶聚合物 Kevlar	893	四、氟树脂热质量损失的测定	979
第三节 热致液晶聚合物 Xydar	895	五、聚三氟氯乙烯树脂失强温度的测定	980
第四节 热致液晶聚合物 Vectra	902	六、聚三氟氯乙烯树脂热稳定性的测定	981
第五节 改性和新型液晶聚合物	911	七、聚全氟乙丙烯树脂挥发分的测定	982
一、新型液晶聚合物	911		
二、液晶聚合物合金	912		
第八章 氟塑料	917		
第一节 聚四氟乙烯	917		
第二节 四氟乙烯-全氟烷基乙烯基醚共			
主要参考文献	984		
附录	986		
一、塑料及树脂缩写代号 (GB/T 1844.1~1844.3—1995)	986		
二、合成树脂与塑料常用法定计量单位及与其它单位的换算关系	1016		

第一篇 总 论

第一章 概 述

第一节 分 类

塑料是以合成的或天然的高分子化合物为基本成分,在加工过程中可塑制成型,而产品最后能保持形状不变的材料。大多数塑料以合成高分子化合物即合成树脂为基本成分,一般含有辅助物料如填料、增塑剂、稳定剂等。

塑料有多种分类方法,如可按化学结构、受热行为、结晶状态和应用领域等进行分类。

按化学结构,塑料可分为聚烯烃类、聚苯乙烯类、聚氯乙烯类、聚丙烯酸酯类、聚酰胺类、聚醚类、聚酯类、含氟聚合物类、有机硅聚合物类等。

按受热行为,塑料可分为热塑性和热固性两大类。热塑性塑料受热时可以塑化和软化,冷却时则凝固成型,温度改变时可反复成型,如聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚碳酸酯、聚甲基丙烯酸甲酯等。热固性塑料受热时可塑化,同时发生化学变化,冷却后固化成型,变为不溶不熔状态。这类聚合物一般具有网状的体型结构,受热不再发生塑化变形,受强热会分解,不能反复塑制,如酚醛塑料、氨基塑料等。

按结晶状态,塑料可分为结晶性塑料和无定形塑料。结晶性塑料是指作为塑料基体的聚合物,在适当条件下,其分子形状和分子相互排列呈晶体结构,如聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚酰胺、聚甲醛、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚对苯二甲酸丁二醇酯、聚四氟乙烯等。无定形塑料是指作为塑料基体的聚合物,其分子形状和分子相互排列呈无序状态,如改性聚苯醚、聚碳酸酯等。

按应用领域,塑料可分为通用塑料和工程塑料两大类。通用塑料的原料来源丰富,产量大,价格便宜,成型加工容易,但一般只能作为非结构材料使用,如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯等。

工程塑料主要是指能用作结构材料的热塑性塑料。工程塑料具有优良的综合性能,刚性大,蠕变小,机械强度高,耐热性好,电绝缘性好,可在较苛刻的化学、物理环境中长期使用,可代替金属作为工程结构材料使用,但价格较贵,产量较小。

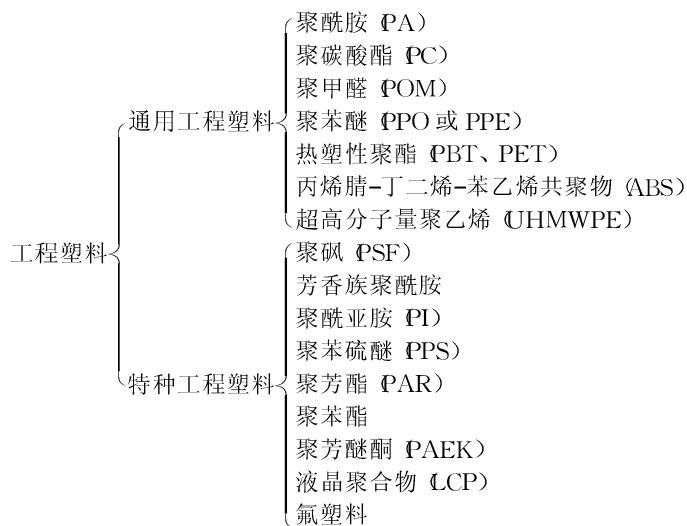
工程塑料又可分为通用工程塑料和特种工程塑料两类。前者主要品种有聚酰胺、聚碳酸酯、聚甲醛、改性聚苯醚和热塑性聚酯五大通用工程塑料;后者通常是指耐热达 150℃ 以上的工程塑料,主要品种有聚酰亚胺、聚苯硫醚、聚砜类、芳香族聚酰胺、聚芳酯、聚苯酯、聚芳醚酮、液晶聚合物和氟树脂等。

应当指出,工程塑料和通用塑料之间并没有明显的分界线。例如,丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 (ABS) 就是介于二者之间的塑料,其高级品级可用作工程结构材料,而一般品级又是普通的通用塑料 (国外一般将 ABS 归入通用塑料范畴)。又如,聚丙烯是典型的通用塑料,但经过玻璃纤维增强等改性后,其机械强度和耐热性得到大幅度提高,也可作为结构材料用于许多工程领域。再如,聚乙烯也是典型的通用塑料,但分子量超过 100 万的超高分子

量聚乙烯,由于具有优异的机械性能和较高的热变形温度,可作为工程材料而广泛用于机械、交通运输、化工设备等领域。

表 1-1-1 示出了工程塑料的分类。

表 1-1-1 工程塑料的分类



第二节 发展简史

工程塑料作为塑料的一个重要分枝,它的发展是与塑料工业的发展密切相关的。

1909 年,美国的 General Bakelite 公司,以苯酚和甲醛为原料,实现了世界上第一个合成树脂——酚醛树脂的工业化生产。20 世纪 20 年代至 40 年代,塑料工业获得了迅速发展,现在被广泛使用的大部分塑料均在这期间实现了工业化生产。例如,1920 年的脲醛树脂,1927 年的聚氯乙烯树脂,1930 年的聚苯乙烯树脂,1933 年的聚甲基丙烯酸树脂,1937 年的不饱和聚酯树脂,1938 年的噻胺树脂,1939 年的低密度聚乙烯树脂,1945 年的聚四氟乙烯树脂,1946 年的环氧树脂和 1947 年的 ABS 树脂等。

工程塑料则是在 20 世纪 50 年代才得到迅速发展的。尼龙 66 树脂虽然早在 1939 年就已研制成功并投入生产,但当时它主要用于制造合成纤维,直到 50 年代才突破纯纤维传统用途,经成型加工制造塑料。工程塑料真正得到迅速发展,是在 50 年代后期聚甲醛和聚碳酸酯开发成功之后,它们的出现具有特别重大的意义。由于聚甲醛的高结晶性,赋予其优异的机械性能,从而首次使塑料作为能代替金属的材料而跻身于结构材料的行列。以后随着共聚甲醛的开发成功以及螺杆式注射成型机的普及,进一步确立了工程塑料在材料领域中的重要地位。而聚碳酸酯则是具有优良综合性能的透明工程塑料,应用广泛,是发展最快的工程塑料之一,在工程塑料领域,其产量和消费量仅次于聚酰胺而居第二位。

1961 年,美国的 Du Pont 公司开发成功聚酰亚胺,打开了通往特种工程塑料的发展道路。聚酰亚胺在开发初期,即已引起人们的重视,全芳香族高聚物所具有的热稳定性和耐热性,通过聚酰亚胺的开发成功得到了实际验证,仅此一点,就具有十分重要的意义。直到今天,在已实现工业化生产的塑料品种中,聚酰亚胺仍是耐热性最好的材料。聚酰亚胺的出现还推动了聚砜、聚苯硫醚和聚苯并咪唑等许多耐热性工程塑料的开发,对塑料工业的发展产

生了深远的影响。然而应当指出的是,虽然聚酰亚胺、聚砜、聚苯硫醚等一系列特种工程塑料的开发时间都不算晚,但与通用工程塑料相比,它们的发展还是显得较为迟缓。究其原因,主要是由于它们的原料成本较高,合成工艺较繁复,成型加工较困难;另一方面,也因为通用工程塑料通过增强、填充、共混等手段,在提高机械强度的同时也扩大了使用温度范围。

美国 General Electric (GE)公司于 1964 年将其开发的聚苯醚树脂投入了工业化生产。聚苯醚树脂具有优异的电气绝缘性、耐热性、耐水蒸气性和尺寸稳定性。但它的熔点高,熔体流动性较差,成型困难,而且价格较高,因而限制了它的应用和发展。后来该公司用掺混价格较低的聚苯乙烯或高抗冲聚苯乙烯 (HIPS)的方法,成功地对聚苯醚加以改性,并于 1966 年实现了工业化生产,商品名称 Noryl。Noryl 的耐热性比聚苯醚略低,其它性能基本上与聚苯醚相仿,但成型加工性能明显提高,从而预示了工程塑料通过改性途径大幅度提高性能的可能性。

1980 年,英国 ICI 公司开发成功了熔点高达 336℃ 的特种工程塑料聚醚醚酮 (PEEK)。PEEK 具有卓越的耐热性、耐辐射性和耐化学药品性,并能注射成型,因而引起了人们的普遍关注。以 PEEK 为基体,通过玻璃纤维或碳纤维增强制得的复合材料,已在航空和宇航领域获得了应用。

20 世纪 80 年代中期开发成功热致液晶聚合物是特种工程塑料发展史上又一重大事件。液晶聚合物耐热性优异,使用温度可达 200℃ 以上,具有自增强、高强度、高模量、耐化学药品等特性,熔体粘度低,成型方便。在电子工业领域具有非常广阔的应用前景。

表 1-1-2 列举了工程塑料主要品种实现工业化的时间及最早生产的厂家。

表 1-1-2 工程塑料主要品种实现工业化的时间及最早生产的厂家

实现工业化年份	名 称	最早生产的厂家
1939	尼龙 66	Du Pont (美国)
1943	尼龙 6	Farben (德国)
1945	聚四氟乙烯	Du Pont (美国)
1946	聚三氟氯乙烯	Allied Fibers & Plastics (美国)
1947	ABS 树脂	Unite Stades Rubber (美国)
1949	聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET)	ICI (英国)
1955	尼龙 11	ATO Chimie (法国)
1958	聚碳酸酯	Bayer (德国)
1958	聚甲醛	Du Pont (美国)
1959	尼龙 1010	上海赛璐珞厂 (中国)
1961	聚酰亚胺	Du Pont (美国)
1964	聚苯醚	General Electric (美国)
1965	聚砜	Union Carbide (美国)
1966	尼龙 12	Hüls (德国)
1966	改性聚苯醚	General Electric (美国)
1968	聚苯硫醚 (PPS)	Phillips Petroleum (美国)
1970	聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBT)	Celanese (美国)
1971	聚酰胺亚胺	Amoco (美国)
1972	聚醚砜	ICI (英国)
1972	溶致性液晶聚合物 (Kevlar)	Du Pont (美国)
1973	聚芳酯	ユニチカ (日本)
1976	超韧尼龙	Du Pont (美国)
1980	聚醚醚酮 (PEEK)	ICI (英国)
1982	聚醚亚胺	General Electric (美国)
1984	热致性液晶聚合物 (Xydar)	Dartco Manufacturing (美国)
1985	热致性液晶聚合物 (Vectra)	Celanese (美国)
1990	尼龙 46	DSM (荷兰)
1995	聚萘二甲酸乙二醇酯 (PEN)	单体: Amoco (美国); 聚合物: ICI (英国)

在世界现代工业中,塑料工业的发展速度是非常快的,无论是从深度还是从广度上看,均是其它工业所无法比拟的。特别是石油工业的迅速发展,有力地推动了塑料工业的发展。1971 年世界塑料总产量已达到 32 000kt,已超过铝、锌、铅、铜等几十种有色金属材料的总和,1988 年达到 91 540kt,体积产量已和钢铁产量相当。2000 年总产量约为 150 000kt,按世界总人口约 60 亿计,平均每人每年用量达 25kg。

与通用塑料相比,工程塑料发展速度更快。随着性能的进一步改善,品种牌号的增多,应用领域的开拓,工程塑料现已作为结构材料和复合材料的基体,广泛应用于汽车、电子电器、机械、仪器仪表、航空、航天、原子能、办公机器、建筑、家用电器、信号照明、食品加工、医药卫生、文化娱乐、运动器材、生活日用品等领域。1989 年世界工程塑料产量为 2 120kt,1997 年已达 3 918kt,年平均增长率为 10.6%。1997 年工程塑料的产量是世界塑料产量的 2.9%。今后几年内,工程塑料的产量和消费量仍将以年均 7%~10%的较高速度继续增长。如美国 2000 年通用工程塑料的市场需求,将比 1997 年提高 22%。表 1-1-3 列举了 1998 年世界工程塑料主要品种的生产能力。

表 1-1-3 世界工程塑料主要品种的生产能力(1998 年)

工程塑料名称	生产能力,kt	工程塑料名称	生产能力,kt
聚酰胺	1 545	PBT	319
聚碳酸酯	1 476	聚苯硫醚 (PPS)	33.8
聚甲醛	612 (1997 年)	液晶聚合物 (LCP)	16.8
改性聚苯醚	366	合 计	4 368.6

美国、西欧和日本是世界上工程塑料产量和消费量最大的国家和地区。表 1-1-4 列举了美国、西欧和日本近年来工程塑料一些主要品种的消费量。

表 1-1-4 美国、西欧和日本近年来一些工程塑料的消费量 (单位:kt)

名 称	美 国				西 欧				日 本			
	1996 年	1997 年	1998 年	年平均增长率, %	1996 年	1997 年	1998 年	年平均增长率, %	1996 年	1997 年	1998 年	年平均增长率, %
聚酰胺	517	553	575	5.61	463	541	551	9.50	190	195	210	5.26
聚碳酸酯	343	357	390	6.85	212	245	276	15.09	270	332	377	19.81
聚甲醛	157	167	177	6.37	126	140	145	7.54	131	135	162	11.83
PBT	135	142	157	8.15	81	100	110	17.90	67	104	101	25.37

中国的合成树脂与塑料工业是 20 世纪 50 年代中期开始起步的。1958 年以乙炔为原料的聚氯乙烯生产装置的投产,标志着中国塑料工业的兴起。60 年代开始生产聚苯乙烯、低压聚乙烯。70 年代开始从国外引进先进技术和设备,建立起一批现代化的石油化工企业,有力地推动了合成树脂与塑料工业的迅速发展,现在中国已能以较大规模生产聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯和 ABS 等合成树脂。1988 年,中国合成树脂产量已达到 1 905kt。进入 90 年代,中国的塑料工业持续高速发展,从 1990 年至 1997 年的 8 年间,合成树脂生产量年均增长达 14.08%,远高于世界合成树脂产量的增长速度 (4.49%)。1997 年,中国合成树脂产量达到 5 830kt,已跻于世界前 6 名,占世界合成树脂产量的 4.24%。从

1990 年至 1997 年的 8 年间,中国塑料制品产量的年均增长率为 21.83%,远高于合成树脂的增长率,塑料制品的产量 1996 年开始突破 15 000kt,达到 15 742kt,跃居世界第二位(仅次于美国)。

中国工程塑料工业起步于 1958 年,当时黑龙江、吉林、上海、四川、北京、沈阳、杭州等省市的研究单位及企业,分别开展了对聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯、PBT 和聚苯醚的研究与开发,并取得了一批较好的科研开发成果。1958 年上海赛璐珞厂研制成功工程塑料尼龙 1010,并于 1959 年投产,这是中国独创的聚酰胺品种,至今未见国外有同类商品供应。20 世纪 70~80 年代,中国又陆续建起了一批小型工程塑料生产装置。经过改革开放,引进国外先进技术与国内科研开发相结合,目前已初步建立起工程塑料的生产基础及科研开发体系,并逐渐形成了从树脂合成、造粒、模具设计到成型加工配套成龙的系统,还培养出了一批工程塑料研究开发的技术力量。1998 年全国 ABS 产量为 400kt,聚酰胺产量为 9.3kt, PBT 为 2.4kt,聚碳酸酯为 225t,聚甲醛为 45t。由此可以看出,除 ABS 外,中国工程塑料的生产规模还是相当小的。而与此同时,对工程塑料的需求则呈直线上升趋势。5 种通用工程塑料的消费量由 1992 年的 61kt 猛增到 1998 年的 197kt,增长了 2.24 倍(表 1-1-5)。由于国内市场需求旺盛,而国内生产产量有限,近年来中国通用工程塑料的进口量也就大量地增加。1998 年 5 种通用工程塑料共进口 225kt,比 1992 年进口的 77.5kt,增长 1.9 倍。预计今后 5 年,中国工程塑料的需求量还将以 8%以上的速度增长。这对中国工程塑料的开发和生产提出了严峻的挑战。我们必须集中力量突破聚甲醛、聚碳酸酯和改性聚苯醚的生产,加大对特种工程塑料如聚酰亚胺、聚苯硫醚、聚砜、聚芳酯、聚芳醚酮和液晶聚合物的开发力度,大力发展合金材料和复合材料,使工程塑料的发展能跟上国民经济发展的需要。

表 1-1-5 1992~1998 年我国通用工程塑料的消费量

(单位:t)

名 称	1992 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年
聚酰胺	20 124	25 281	49 310	65 274	75 194	45 313	45 291
聚碳酸酯	23 200	23 779	35 364	41 783	61 638	62 868	85 996
聚甲醛	14 273	16 645	19 787	27 544	34 987	49 571	55 994
PBT	2 150	3 500	5 640	8 580	10 150	6 047	6 415
改性聚苯醚	1 000	1 500	2 100	2 500	3 100	3 300	3 500
合 计	60 747	70 705	112 201	145 681	185 069	167 102	197 196

第三节 技术开发动向

一、开发新品种

(一) 聚酰胺系新型材料

近年来开发成功的聚酰胺系新品种主要有 PAMXD6 (聚间二甲苯二胺己二酰二胺)、PPA (聚邻苯二酰胺)、尼龙 1212 和尼龙 46 等,其中尤以尼龙 46 的开发成功最为引人注目。

PAMXD6 和 PPA 均为半芳香族系聚酰胺,其特征是吸湿性小,耐热性高,有优良的耐化学药品性和气体阻隔性。它们还具有优良的成型性,成型收缩率小,适合精密成型。

美国 Du Pont 公司开发成功的尼龙 1212, 是一种低吸湿性耐水解的聚酰胺新品种, 商品名称 Drylons。具有优良尺寸稳定性、电绝缘性和化学惰性, 熔点比尼龙 12 高, 在高温下比尼龙 12 具有更好的形状记忆性。

尼龙 46 是荷兰 DSM 公司 1984 年开发成功、1990 年投入工业化生产的聚酰胺新品种, 商品名称 Stanyl。它在迄今已工业化的聚酰胺品种中, 具有最高的熔点 (295℃) 和结晶度。它除了具有优异的耐热性外, 还有优良的耐蠕变性、耐疲劳性、耐化学药品性和耐磨性, 可用作电子电器、车辆、办公自动化机器等领域的零部件。

(二) 聚酯系新型材料

近期开发成功的聚酯系新型材料主要有聚萘二甲酸乙二醇酯 (PEN)、聚萘二甲酸丁二醇酯 (PBN)、聚对苯二甲酸丙二醇酯 (PTT) 和聚对苯二甲酸环己基二甲酯 (PCT)。其中, PTT 主要用于制纤维。PEN、PBN 和 PCT 与工程塑料 PET、PBT 相比, 在耐热性和机械强度方面更为优越。其中最重要的品种是 PEN。

PEN 是由 2, 6-萘二甲酸二甲酯 (NDC) 与乙二醇进行缩聚得到的产物。PEN 虽然在 20 世纪 80 年代中期已开发成功, 但迟迟未能实现工业化, 主要是因为需要解决原料 NDC 的合成及成本问题。美国 Amoco 公司于 1995 年实现了 NDC 的工业化生产, 从而为 PEN 的发展奠定了基础。

从分子结构看, PEN 与 PET 的不同之处在于 PEN 用萘环取代了 PET 分子中的苯环。PEN 的性能与 PET、PBT 类似, 但综合性能更好, 且应用面更广。PEN 是一种新型的高性能工程塑料, 是近年来发展最快的高分子合成材料之一。

PEN 几乎所有的性能均优于 PET (表 1-1-6)。与 PET 相比, PEN 具有以下特点:

表 1-1-6 PEN 与 PET 性能比较

项 目	PEN	PET
相对密度	1.33	1.34
熔点, °C	256	252
玻璃化温度, °C	118	70
热变形温度 (0.45MPa), °C	105	70
拉伸强度, MPa	74	55
断裂伸长率, %	≥250	250
弯曲强度, MPa	93	88
弯曲弹性模量, GPa	2.3	2.2
冲击强度 (缺口), J/m	37	30~45
耐辐射能力, MGy	11	2
吸水率, %	0.2	0.3

- 1) 玻璃化温度和热变形温度高, 耐热性好;
- 2) 气体的阻隔性好, PEN 对 O₂ 的阻隔性比 PET 高 4 倍, 对 CO₂ 的阻隔性高 5 倍;
- 3) 紫外线吸收性好;
- 4) 耐化学药品性好;
- 5) 耐水解性优良。

PEN 适用于 PET 的所有应用领域和 PET 不能胜任的许多方面。PEN 已在包装容器方面获得了广泛的应用, 大量用于制造碳酸饮料瓶、啤酒瓶和果汁瓶等。此外, 还可用于薄

膜、纤维、磁带和工程材料等方面。在声光载体、电热绝缘材料、宇航用零部件、原子能材料等方面也有广阔的发展潜力。

(三) 聚酮系材料

聚酮系树脂包括全芳香族系列(聚芳醚酮)和脂肪族系列两类。

聚芳醚酮系列产品中最重要的品种是聚醚醚酮(PEEK),它由英国ICI公司首先研制成功,并于1980年实现了工业化。之后又出现了聚醚酮(PEK)、聚醚酮酮(PEKK)、聚醚醚酮酮(PEEKK)和聚醚酮醚酮酮(PEKEKK)等聚芳醚酮新品种。它们的共同特点是具有卓越的耐热性、耐辐射性、耐水蒸气性和耐化学药品性等,可在200~260℃温度下长期使用,并可注射成型。

脂肪族系列聚酮树脂是全芳香族聚酮树脂的改性产品,目的是改进其加工性能,降低成本。脂肪族聚酮树脂已经开发成功,目前正在进行市场开发。

英国Shell公司1996年建成了年产20kt脂肪族聚酮的生产装置,现已有产品在市场出售,商品名称Carilon。这种脂肪族聚酮是以烯烃与一氧化碳为原料,在钨催化剂作用下经聚合而制得的高分子量的完全交替的共聚物。

目前该公司主要生产Carilon P-1000的品级。该产品是乙烯和7%丙烯与一氧化碳的交替共聚物。表1-1-7示出了该产品及其增强品级的主要性能。其特点是在较宽的温度范围内具有良好的强度和刚性,热稳定性和耐化学药品性优良。其缺点是不耐辐射,但可用添加稳定剂加以改善。其成型加工性优良,可用普通成型机加工。目前该产品正试用于汽车连接器、轴承、齿轮等。

表 1-1-7 脂肪族聚酮 Carilon 的主要性能

项 目	P-1000	30%玻璃纤维增强
相对密度	1.24	1.46
熔点,℃	220	
吸水率(24h),%	0.45	0.42
成型收缩率,%	2.2	0.3
热变形温度(1.82MPa),℃	105	218
拉伸强度,MPa	55	130
断裂伸长率,%	300	4
拉伸弹性模量,GPa	1.7	7.6
弯曲弹性模量,GPa	1.7	7.2
冲击强度(缺口),J/m	215	140

二、更新传统工艺

近年来,在工程塑料领域,新工艺、新技术不断得到开发,老的传统工艺不断被更新。

美国GE公司在20世纪90年代开发成功非光气法生产聚碳酸酯的新工艺。此法不使用光气,而是由一氧化碳与甲醇反应生成碳酸二甲酯,再与苯酚反应生成碳酸二苯酯,然后与双酚A酯交换制得聚碳酸酯。此法已由GE公司在西班牙新建的生产聚碳酸酯的装置中实现了工业化生产。它不仅突破了传统光气法生产工艺,而且提高了产品品质和光学特性,树脂的流动性和着色性明显改善,特别是有利于环境保护。此外,直接由一氧化碳与双

酚 A 合成聚碳酸酯的新工艺也正在开发中。

日本宇部兴产公司开发成功无溶剂生产聚甲醛的气相法新工艺,不仅革除了溶剂回收工序,简化了后处理工艺,而且使能量消耗和生产成本大为降低。

聚酰亚胺传统合成工艺因有溶剂挥发并产生低分子物而影响了它的电性能、热性能和力学性能,新近开发成功的聚异酰亚胺异胺化制聚酰亚胺新工艺,不仅操作方便,而且不产生低分子物,产品性能稳定。

日本早稻田大学采用二苯基硫醚为原料生产 PPS 的新工艺,改变了传统的高温合成工艺,降低了能耗,减少了杂质,产品纯度高,性能稳定。

美国 GE 公司新开发的环化技术是工程塑料的又一新突破。该技术的特点是,初期生成环状低聚物,提高了树脂对纤维增强材料的渗透力和粘结性,因此可以生产超强度的复合材料。这种技术适用于许多缩聚物,包括聚芳酯、聚碳酸酯、聚醚醚酮和聚酰亚胺等,可以用于反应注射成型、传递成型、拉出成型和缠绕成型等。

三、开发专用产品

工程塑料的发展除通用产品外,加速专用产品的开发利用,是不断满足专用市场需求,推动行业发展的重要途径。近年来,新的专用品级的工程塑料开发力度不断加大。

随着光盘级聚碳酸酯的需求量的迅速增长,各大生产厂商纷纷加强光盘专用聚碳酸酯的生产与开发,相继推出了一批专用产品。美国 GE 公司推出的 Lexan OQ1013L,美国 Dow Plastics 公司推出的 Calibre 1080,德国 Bayer 公司推出的 Makrolon DPI-1265,日本帝人化成公司推出的 Panlite AD 5503S 等聚碳酸酯树脂,均为光盘用专用产品。这些产品具有熔体流动速率高、热稳定性和脱模性好的特点。

美国 Eastman 化学公司新近推出的 Thermex MN001 的液晶聚合物,是医用级专用产品,具有优良的刚性、尺寸精度、耐化学药品性和成型性。

日本住友化学工业公司新近推出的 スミカエクスセル PES 5200P 是膜分离级专用产品,在食品和半导体领域作分离膜用,具有优良的耐酸碱性、耐热水性、卫生性和透明性。

美国 Union Carbide 公司开发成功的 Udel P-1700 CL2611 聚砜树脂是医用级专用产品,具有优良的透明性、强度、耐化学药品性和耐水蒸气性等特点,并能经受反复灭菌处理,可用于制造手动人口呼吸器、研究用注射器等。

日本三井东压化学公司于 1994 年推出的 PEEK 新品级 PKU-CF30 是高强度专用级。它是由 PEEK 和经过特殊处理的碳纤维制得的复合材料,具有极为优越的机械强度和刚性,拉伸强度高达 284MPa,略低于铝合金,而比强度则较铝合金高得多。以该产品为原料,通过注射成型制造的汽车透平机加载叶轮,比铝合金制造的重量可减轻一半,而且制品的强度高,耐热性和耐疲劳性也非常好。

四、工程塑料改性的合金化

(一) 聚合物合金的发展简史

聚合物合金是指由两种或两种以上高分子材料构成的多组分体系。共聚物中的嵌段共

聚物和接枝共聚物也包含在聚合物合金的范畴内。

聚合物合金的发展历史可以追溯到 20 世纪 40 年代,这一时期开发成功的高抗冲聚苯乙烯就是由苯乙烯和橡胶(顺丁橡胶或丁苯橡胶)接枝共聚制得的聚合物合金。50 年代初期开发成功的 ABS 树脂是典型的聚合物合金,它是将聚丁二烯胶乳接枝在苯乙烯和丙烯腈共聚物上而制得的。

聚合物合金获得重大发展是在 1966 年。美国 GE 公司用高抗冲聚苯乙烯成功地对聚苯醚进行了改性,解决了聚苯醚难以成型的技术关键,并且降低了成本,开始大规模生产商品名称为 Noryl 的改性聚苯醚树脂。

1976 年,美国 Du Pont 公司开发成功了 Zytel ST 超韧尼龙系列产品,这是一种具有高冲击强度的聚合物合金。它首先制成韧性聚合物,然后由韧性聚合物和尼龙 66 共混制得。韧性聚合物可在 EPDM(乙烯-丙烯-二烯烃共聚物)上用马来酸酐接枝聚合制取。与尼龙 66 相比,Zytel ST 的冲击强度可提高 10 倍以上。此后,Du Pont 公司又开发成功超韧聚甲醛和超韧增强 PET 等聚合物合金品种。

20 世纪 80 年代以来,PC/PBT 和 PC/ABS 合金由于成功地用作汽车外板材料而获得了迅速发展。特别是 PC/ABS 合金,由于具有优良的耐热性、耐冲击性、尺寸稳定性和良好的成型加工性,所以应用广泛,除了用作汽车后阻流板、车顶纵梁等,在办公自动化领域还可用于制造电子计算机、移动电话、传真机、复印机等的外壳。PC/ABS 合金是工程塑料系聚合物合金中发展最快的品种之一,1998 年美国 PC/ABS 合金的消费量达到 84kt。

1984 年,美国 GE 公司开发成功 PPO/PA 新型聚合物合金,商品名称 Noryl GTX。其特点是利用相容化技术,将非结晶性树脂 PPO 和结晶性树脂 PA 相容化,使该合金兼具 PPO 和 PA 的优点。该合金具有刚性高,蠕变小,热变形温度高,耐冲击性好等特点,已用于制造汽车的门板、挡泥板、保险杠导风板、散热器格栅、车轮罩等。由于其热变形温度高,在用作汽车外板材料时,可以和金属板一起进行在线涂装。

20 世纪 80~90 年代,聚合物合金的年均增长速度为 10%左右,其中工程塑料系聚合物合金的增长速度更高达 15%左右。合金化已成为当前工程塑料改性的主要方法。

(二) 聚合物合金的开发目的

近年来,由单体出发合成新型高分子材料已愈来愈困难,开发成本高,投资多,周期长,而市场对产品的要求则愈来愈高,要求聚合物能同时满足耐热性和易成型性、高刚性和高冲击性等相反的性能,对单一聚合物来说,则很难做到。而聚合物合金则能制得单一聚合物所不能得到的兼备上述要求的性能。合金化技术不仅能以比较便宜的开发费用使新产品尽快上市,而且通过各种聚合物的组合,能提供多样化、多功能化、满足市场要求的新型材料。

通过开发聚合物合金,可以改进聚合物的耐冲击性、耐热性、尺寸稳定性、耐磨性、耐化学药品性、阻燃性、耐候性、粘结性、防静电性等。

合金化也是改进聚合物成型性的有效方法。前述的聚苯醚树脂,与聚苯乙烯共混后,使难成型材料变为易成型材料就是一个最好的实例。其它如 PC/ABS 合金也是一个很好的实例,通过与 ABS 共混,显著地改善了聚碳酸酯的成型性。

为了降低通用工程塑料的成本,可以采用和通用塑料共混的方法;为了降低特种工程塑料的成本,可以采用和通用工程塑料共混的方法。前者的例子有 PPO/PS、PC/PE 等,后者的例子有 PPS/PPO、PSF/ABS、PAR/PC、PEI/PC 等。

(三) 聚合物合金的制造技术

聚合物合金制造技术按形成的合金中不同高分子链之间是否有化学键可分为两大类,即化学法和物理法。前者主要是指嵌段共聚和接枝共聚,后者主要指机械共混。实际上,随着聚合物合金的发展,其制备方法已经很难单纯用化学法或物理法来描述。合金制备过程常常同时伴有化学反应和物理变化,如互穿网络 (IPN) 技术、反应性增容技术等,甚至在简单的机械共混中也存在接枝和嵌段等化学反应。

1. 机械共混

这是制造聚合物合金的最简便的方法。将两种或多种聚合物混合均匀,在挤出机中经熔融共混造粒而成。

2. IPN 技术

IPN 是指两种或两种以上高分子链相互贯穿、相互缠结的混合体系,通常具有两个或多个交联网络形成微相分离结构。按网络结构类型不同,IPN 可分为互穿网络结构 (I 型)、半互穿网络结构 (II 型) 和表观互穿网络结构 (III 型) 三类。I 型是典型的化学交联结构,III 型是典型的物理交联结构,II 型则介于两者之间。目前最常用的是 I 型 IPN,但近年来迅速发展的高功能、高性能聚合物有很多属于 II 型或 III 型,因此可以预见 II 型和 III 型 IPN 将会有较快的发展。

3. 反应性增容

聚合物合金分为相容与不相容两类。前者的形态结构以单相存在,客观上只有一个玻璃化温度 (T_g),其性能介于两组分之间,符合加和性原理,通常可根据体系中各组分的质量分数来预测其性能。而后者微观上是相分离的,其性能不仅依赖于体系中各组分的性能,也取决于两相的形态结构和界面状况,因此,改善其相区的形态结构和相间的界面状况是一重要的研究课题,反应性增容法就是为解决这一问题而开发的。

反应性增容按其反应形式可分为三类:

- ① 利用带官能团的组分在熔融共混时就地形成接枝共聚物或嵌段共聚物;
- ② 加入至少能与其中一种共混组分起反应的聚合物,通过共价键或离子键起增容作用;
- ③ 加入低分子组分起催化作用,使共混物的形成与交联反应同时进行。

实践证明,反应性增容是改善界面状况和两相间粘结力的有效途径之一。美国 GE 公司在 20 世纪 80 年代中期开发成功的 Noryl GTX 系列的 PPO/PA 合金,即是成功地利用增容技术的实例之一。

4. 原位复合技术

原位复合技术又称分子复合技术。它是以溶致性液晶聚合物 (Kevlar) 为增强剂,分散于具有无规线团结构的柔性聚合物中,就地形成微纤结构,达到增强基体力学性能的目的。由于所形成的微纤直径小,比表面积大,能与基体有效接触,所以材料的性能不受界面性能影响,是一种在分子级水平上复合而获得高强度材料的方法。原位复合材料可用机械混合、熔融混合、溶液混合等多种方法制得,可用注射、挤出等方法成型加工,易于工业化。目前,用溶致性液晶聚合物聚对苯酰胺或聚对苯二甲酰对苯二胺与尼龙 6、尼龙 66 共混制聚合物合金已获得成功。

5. 接枝共聚和嵌段共聚

化学法制备聚合物合金有接枝共聚和嵌段共聚两种方法。接枝共聚有主干接枝法、大分子单体法等。可利用这些方法在聚合物主链上产生引发第二单体的活性中心,进而形成支链,也可利用主链上分布的活性官能团与另一种分子末端带有可反应基团的聚合物进行偶合反应,从而形成支化高分子化合物。

接枝共聚制得的聚合物合金的性能优于对应的机械共混物,这是由于接枝共聚物的存在,使得聚合物各组分间的相容性提高,相界面的粘结力增加,分散相尺寸变小的缘故。ABS、HIPS 是接枝共聚物合金的典型代表,近年来获得迅速发展的超韧尼龙也是接枝共聚物。

嵌段共聚是使链端带有可聚合官能团的线性大分子参与低分子单体进行聚合反应而形成的嵌段共聚物。嵌段共聚有二嵌段、三嵌段和多嵌段之分。二嵌段和三嵌段共聚物通常采用阴离子聚合法制备,由于活性阴离子聚合无终止反应和链转移反应,所得产物分子量均一,结构规整。多嵌段共聚物分子链中含有多个 A 嵌段和 B 嵌段,两种嵌段的性能往往截然不同,调节两种嵌段的数量和长短,可制得从高弹体到塑性体的不同物理性能的产物,因此应用前景广阔。

(四) 重要的工程塑料系聚合物合金

表 1-1-8 列举了部分已工业化生产的工程塑料系聚合物合金的名称、生产厂家、商品名称(或牌号)、性能特点和用途。

表 1-1-8 部分已工业化的工程塑料系聚合物合金

合金名称	生产厂家	商品名称或牌号	性能特点	用 途
ABS /PVC	Borg-Warner (美国) Monsanto (美国) 宇部赛康 (日本) Bayer (德国)	Cycloy C1950 Triax Cycovin M-FR	阻燃性、耐冲击性、成型性	办公设备零部件、电视机外壳、汽车仪表板、旅行箱等
ABS /TPU (TPU: 热塑性聚氨酯)	Borg-Warner (美国) 宇部兴产 (日本)	Cycloy 700 サイコロイ	耐冲击性、耐磨性、成型性	汽车零部件、皮带轮、低载荷齿轮等
PA6 /PO (PO: 聚烯烃)	Allied (美国) 宇部兴产 (日本) 东レ (日本)	Capron NAE、NAP UTN	耐冲击性、滑动特性、成型性	紧固件、连接器、建筑材料、套管接头等
PA6 /ABS	Borg-Warner (美国) Monsanto (美国)	Elemid Triax	耐热性、耐冲击性、成型性	汽车车身外板及零部件
PA46 /PTFE	DSM (荷兰)	Stanyl TS 270	耐磨性、耐疲劳性、滑动特性	打印机导向装置、阀门传动装置、活塞等
PC /ABS	Borg-Warner (美国) Bayer (德国) 帝人化成 (日本) 宇部兴产 (日本) 三菱瓦斯化履 (日本)	Cycloy Bayblend マルチロン サイコロイ ユーピロン	耐冲击性、耐热性、尺寸稳定性、成型性	汽车车顶纵梁、后阻流板、仪表板、移动电话壳体、传真机及复印机壳体等
PC /PBT	GE (美国) Mobay (美国)	Xenoy Makroblend	耐化学药品性、耐磨性	汽车挡泥板、保险杠、车门等
PC /PET	GE (美国) Mobay (美国)	Xenoy Makroblend	耐冲击性、耐化学药品性、成型性	汽车保险杠、机械零件、医疗器材等

(续表)

合金名称	生产厂家	商品名称或牌号	性能特点	用 途
PC /PE	帝人化成 (日本) GE (美国)	Panlite Lexan EM	成型性、耐冲击性、耐 化学药品性、耐老 化性	机械零件、电子电器 零件、安全帽、纺纱 管等
PC /PTFE	帝人化成 (日本)	LS-1250、KS-1300 等	耐磨性、耐热性、耐冲 击性	齿轮、凸轮、轴承等
POM /TPU	Du Pont (美国)	Delrin 100ST、500T	耐冲击性、尺寸稳定 性、耐溶剂性	汽车转向柱、刮水器、 反射镜支架、座椅等
POM /PTFE	Du Pont (美国) ICI (英国) ポリプラスチック (日本) 三菱瓦斯化機 (日本)	Delrin 100AF Fulton 404 ジュラコン ユビタール FL2010	耐磨性、自润滑性	汽车操纵连接片、轴 承万向接头、无油自 润滑齿轮等
PPO /HIPS	GE (美国)	Noryl	成型性、尺寸稳定性、 电绝缘性、耐水蒸气 性	电子电器、汽车、办公 机械、家用电器等 领域
PPO /PS 接枝	旭化成 (日本)	Xyron	成型性、耐冲击性、尺 寸稳定性、电绝缘性	办公机械、电子电器、 汽车等领域
PPO /PA	GE (美国)	Noryl GTX	刚性、蠕变性、耐热 性、耐油性	汽车外板、挡泥板、车 轮罩、散热器格栅等
PPO /PBT	GE (美国)	Gemax	耐冲击性、耐热性、吸 水率低, 线膨胀系 数小	汽车外板材料等
PBT /PET	GE (美国) Celanese (美国) GAF (美国)	Valox 800 Celanex Gafite	耐热性、刚性、强度、 尺寸稳定性、表面光 泽性	电熨斗把手、汽车头 灯零件等
PBT /ABS	三菱レイヨン (日本)	ダイヤアロイ TB	耐冲击性、成型性	打字机和传真机底 盘、摩托车发动机罩 等
PSF /ABS	Amoco (美国)	Mindel A	耐冲击性、尺寸稳定 性、耐热水性、电镀 性	医疗器材、机械零件、 水龙头等
PSF /PBT	Amoco (美国)	Mindel B	低翘曲性、耐化学药 品性	CD 的光传感器零 件、电器设备的连接 器等
PPS /PA66	大日本インキ化機工業	DIC PPS-PN	耐冲击性、成型性、刚 性、耐热性	汽车发动机零件、机 床电器零件、电子接 插件等
PPS /PTFE	Phillips Petroleum (美国)	Pyton PPS	耐磨性、耐冲击性、尺 寸稳定性、耐腐蚀性	机械设备壳体、罩盖、 齿轮、轴承等
PAR /PC	ユニチカ (日本)	U-Polymer P 系列	紫外线屏蔽性、耐候 性、透明性	移动电话的天线零 件、半导体零件、汽车 灯具等
PAR /PET	ユニチカ (日本)	U-Polymer UM 系列	成型性、尺寸稳定性、 高刚性、低翘曲性	大型薄壁制品、精密 反射器、数据处理装 置结构零件、多面反 射镜相关零件等

五、复合材料及其新进展

复合材料是指将两种或两种以上物理性质和化学性质不同的物质结合起来而制得的一种多相固体材料。复合材料通常是由基体和增强体复合而成。一般来说,复合材料应能满足以下条件:

1) 必须是由两种或两种以上化学、物理性质不同的材料组成,材料之间有明显的界面。

2) 是用人工方法制造的,各组分的形状、比例和分布均能人为地控制。

3) 复合材料的性能优于各组分单独存在时的性能,具有协同增强的特点。

复合材料在工程上应用是从 20 世纪 30 年代开始的,人们用粘胶纤维增强制成帘子线轮胎。现代复合材料的第一代是玻璃纤维增强塑料,已广为使用。第二代是碳纤维增强树脂基复合材料,已用于航空航天等领域。第三代除采用高性能的碳纤维、硼纤维外,还发展了比强度、比模量更高的有机纤维(芳纶纤维)复合材料。近年来,纳米复合材料发展很快,已逐步进入实用阶段。纳米复合材料被人们誉为“21 世纪新材料”。

(一) 复合材料开发的目的

1. 改善性能

开发复合材料主要是改善塑料的力学性能和热性能。塑料通过玻璃纤维或碳纤维等增强后,可显著提高它的拉伸强度、弯曲强度、刚性、冲击强度、耐热性(热变形温度、高温刚性)、耐久性(蠕变性、耐疲劳性)等。

2. 赋予功能性

复合化能赋予塑料本身不具备的导电性、热传导性、磁性等特殊功能,还能提高塑料的阻燃性、滑动性、尺寸稳定性等。复合材料对于塑料的高性能化、高附加值化方面起着极为重要的作用。

3. 改善加工性

复合材料不仅能调节塑料加工时的粘度或流动性,还具有防止模具污染,降低气泡的产生以及改善制品脱模等作用。

4. 降低成本

玻璃纤维、碳纤维及无机填料等是价格较低的材料,它们作为增量材料可使塑料制品的成本下降,特别是对于特种工程塑料等价格高的品种,其降低成本的效果更为明显。

(二) 增强用纤维

增强用纤维是指在复合材料中作增强体用的各种纤维材料。主要品种有玻璃纤维、碳纤维、芳香族聚酰胺纤维、无机纤维、硼纤维、碳化硅纤维、氧化铝纤维和金属纤维等。对于以聚合物为基体的复合材料来说,所采用的增强用纤维主要是前三种。

1. 玻璃纤维

玻璃纤维是由熔融玻璃快速抽拉而成的纤维,其主要成分为二氧化硅。增强用的玻璃纤维按含碱量及其性能可分为:有碱玻璃纤维、低碱玻璃纤维(E 玻璃纤维)、高强度玻璃纤维(S 玻璃纤维)、高弹性模量玻璃纤维等。

由于无机玻璃纤维与有机树脂的分子结构和表面形态极不相同,所以这两种材料一般

不能紧密地结合在一起。为了改善玻璃纤维与树脂间的粘结性,提高复合材料性能,一般应在制造复合材料前用偶联剂对玻璃纤维进行表面处理。偶联剂是一类具有两性结构的物质,它的一部分基团可与无机物表面的化学基团反应,形成强固的化学键;另一部分亲有机物的基团,可与有机物分子反应或进行物理缠绕,从而把两种性质不同的材料牢固地结合起来。目前,工业上使用的偶联剂按化学结构可分为硅烷类、钛酸酯类、锆类和有机铬络合物等四类,其中应用最广的是硅烷类偶联剂。

2. 碳纤维

碳纤维是指具有层状结构、含碳量高于 90% 的纤维状物质。增强用碳纤维按制备工艺和性能可分为高强度碳纤维和高弹性模量碳纤维。有时也把高弹性模量碳纤维称为石墨纤维。工业上制造碳纤维的原料主要是人造丝、聚丙烯腈纤维和沥青纤维等。

碳纤维虽然具有许多优良性能,如比弹性模量和比强度高,热稳定性和化学稳定性好,线膨胀系数小,耐摩擦和自润滑性优良等,但它与树脂之间的粘结力比其它增强纤维低,因此,在将碳纤维制成复合材料前,必须对其进行表面处理,改变纤维表面性状,以提高碳纤维与树脂的粘结力。

碳纤维的表面处理方法有氧化法、气相沉积法、溶液还原法和电聚合法等。

1) 氧化法。可分为气相氧化和液相氧化两种。气相氧化就是在一定温度下使碳纤维在氧气或二氧化碳气体中处理。液相氧化分为硝酸煮沸氧化、次亚氯酸钠氧化以及电解氢氧化钠氧化等三种。一般说来,液相氧化比气相氧化方法好,而液相氧化法中又以电解氢氧化钠氧化法适合工业化生产。

2) 气相沉积法。将 SiC、FeC 和 CH₄ 等由载体 (氮气或氩气) 带入纤维已被加热的处理器中,让 SiC、FeC 和碳沉积在纤维表面。

3) 溶液还原法。先将纤维通过三氯化铁、二茂铁或苯代聚对二氯萘等溶液中,经过干燥后通电加热纤维,使沉积在其表面的物质热分解,生成能与碳纤维起反应的分解产物。

4) 电聚合法。纤维先通过单体,然后通电加热,使单体在纤维上聚合,在纤维上紧密地覆盖上一层含有能与基体树脂反应的基团或极性较强基团的聚合物。

这四种方法中,后两种方法更好,既能使复合材料层间剪切强度提高,又对纤维的强度无损害,有时甚至还能使纤维强度有所提高。

3. 芳香族聚酰胺纤维

芳香族聚酰胺纤维,简称芳纶纤维,是由聚对苯二甲酰对苯二胺在液晶态进行纺丝而得到的分子取向度很高的纤维。由美国 Du Pont 公司 1972 年投产,商品牌号为 Kevlar 29 和 Kevlar 49,一般在复合材料中作增强纤维用的是弹性模量较高的 Kevlar 49。

芳纶纤维的强度可达 3.6GPa,弹性模量可达 130GPa,而相对密度仅 1.44,比强度超过玻璃纤维、碳纤维、硼纤维,比弹性模量超过玻璃纤维。芳纶纤维还具有优良的韧性,常与碳纤维混合使用,以提高复合材料的冲击强度。

(三) 聚合物基体

聚合物复合材料基体可分为热固性和热塑性两大类,其中又以热固性树脂为主,主要品种有环氧树脂、不饱和聚酯树脂和酚醛树脂等。用以制造复合材料的热塑性树脂基体主要有聚酰胺、聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚碳酸酯、聚甲醛、改性聚苯醚、PBT、PET、ABS、聚砒、聚醚砒、PPS 和聚醚醚酮等。其中尤以聚醚醚酮的性能为最优越。

特种工程塑料聚醚醚酮是 20 世纪 80 年代发展起来的一种高性能热塑性树脂,兼具热固性树脂的耐热性、化学稳定性和热塑性树脂的成型性。在所有的工程塑料中,聚醚醚酮具有最好的耐热水性和耐水蒸气性,同时还有优异的阻燃特性,是一种有极大发展前途的新型复合材料树脂基体。

此外,高耐热性特种工程塑料,如均苯型聚酰亚胺和双马来酰亚胺等,近年来也越来越多地用作高温下使用的复合材料的基体。它们均具有优异的耐热性、热氧化稳定性,均苯型聚酰亚胺可以在 260℃ 的高温下长期使用,双马来酰亚胺的长期使用温度在 200℃ 左右。

(四) 复合材料的应用

聚合物复合材料具有一系列优异的性能,如高的比强度、比弹性模量,优良的耐热性、化学稳定性、耐磨性、尺寸稳定性,优异的耐疲劳性能等。另外,还有耐辐射性能及特殊的光、电、磁性能,使它在航空航天、汽车、电子电器、工业机械等部门得到了广泛应用,已在很多领域替代了金属材料。

1. 在航空航天领域的应用

聚合物复合材料作为结构材料首先应用在飞机上。因为飞机的重量是决定其性能的重要因素,飞机重量轻则飞行速度快,航程远,有效负载大,飞行高度高,转弯变向灵活。如一架军用飞机重量减轻 15%,消耗同样多的燃料,载荷可增加 30%,航程可增加 10%,飞行高度可提高 10%。采用聚合物复合材料代替传统的金属材料,是大幅度减轻飞机重量的主要途径。

目前,航空航天工业上使用的聚合物复合材料主要有 PEEK 碳纤维、PEEK 玻璃纤维、聚酰亚胺 碳纤维、双马来酰亚胺 碳纤维等。

碳纤维或玻璃纤维增强的 PEEK,已用于制造飞机和宇宙飞船的门把手、机舱面板、操纵杆和直升飞机的尾翼等。PEEK 碳纤维复合材料与环氧树脂 碳纤维复合材料相比,具有更高的使用温度和冲击韧性,因而在飞机机翼、宇宙空间站等大型构件上,已用 PEEK 取代环氧树脂制造复合材料。

聚酰亚胺 碳纤维复合材料与环氧树脂 碳纤维复合材料相比,可提高使用温度 100℃ 以上。目前,有些高速飞机、导弹和宇宙飞船等在高温下使用的结构部件,已开始用聚酰亚胺 碳纤维或双马来酰亚胺 碳纤维复合材料制造。

2. 在工业机械领域的应用

玻璃纤维增强的聚酰胺、聚碳酸酯、PBT 等复合材料,由于具有重量轻、强度高、弹性模量高、尺寸稳定、隔热等特点,早已在工业机械领域广泛使用。例如,玻璃纤维增强尼龙 6 可用于制造电钻、电机外壳、增压器管道;玻璃纤维增强聚碳酸酯,可用于制造轴承保持架、导轨、设备壳体、电子计算机零件、精密仪器零件、电动工具罩等;玻璃纤维增强 PBT 可用于制造机械设备和办公自动化 (OA) 机器的零部件,如电子计算机壳体、电脑键盘、电话按键和视频磁带录音机的带式传动轴等。

利用玻璃纤维增强 PPS 具有的耐磨、耐腐蚀、耐热水、高尺寸精度等特点,在机械工业领域,可用于制造水泵壳体、阀门、管接头、泵叶轮、轴承及轴承保持架等。

3. 在汽车上的应用

玻璃纤维增强的聚酰胺、PBT、PPS 等复合材料,在汽车上的应用也相当广泛。例如,玻璃纤维增强尼龙 6 具有优良的机械强度、刚性、耐热性、尺寸稳定性和耐油性等,可用于制

造汽车变速杆底座、制动器踏板、活动油箱等；玻璃纤维增强 PBT 具有优良的耐冲击性、动态强度、高刚性、耐气候性、尺寸稳定性和良好的成型性等，可用于制造汽车车灯壳体、发动机放热孔罩、后视镜壳体、门手板、内镜撑条、刮水器支架、制动系统组件、加速器踏板、点火系统电子组件和各种电器连接器等；玻璃纤维增强 PPS 具有优良的耐热性、刚性、强度、耐化学药品性、尺寸稳定性和良好的成型性等，可用于制造汽车交流发电机零件、点火零件、汽化器零件、各种传感器零件、气缸盖罩、车灯反射器和灯座等。

(五) 纳米复合材料

1. 发展概况

近年来，纳米复合材料的发展十分引人注目，已成为材料科学研究开发的热点。所谓纳米材料是指材料两相微观结构中，至少有一相的一维尺度达到纳米级尺寸的材料。其中纳米粒子相（分散相）是由数目很少的原子或分子组成的集聚体，粒子直径小于 100nm。

纳米复合材料具有常规微细粉末材料所不具备的特性。纳米粒子的小尺寸效应、表面界面效应、量子尺寸效应和宏观量子隧道效应等，赋予纳米材料许多特殊的性质，目前已知其在磁性、光吸收、热阻、化学活性、催化、烧结等许多方面呈现各种各样优异特性，特别是在高温下仍具有的高强度、高韧性和优良的尺寸稳定性等特点，使其具有广阔的应用前景。

美国自 1991 年开始，把纳米技术列入了“政府关键技术”、“2005 年战略技术”。日本于 1992 年实施了为期 10 年、耗资 2.25 亿美元的纳米技术研究开发计划。德国于 1993 年提出了今后 10 年重点发展的 9 个领域的关键技术，其中 4 个领域涉及纳米技术。欧洲联盟委员会在 1995 年发表的一份研究报告预测，今后 10 年内纳米技术的开发将成为仅次于芯片制造的全球第二大制造业。

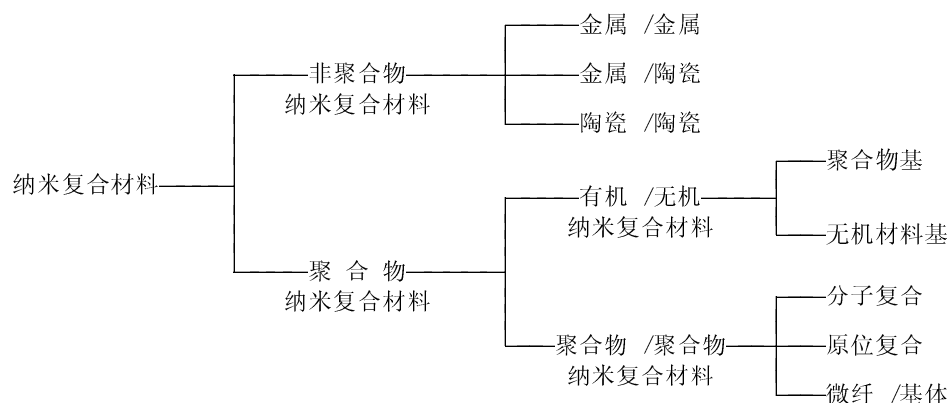
中国对纳米材料的研究虽然起步略迟，但目前在理论研究和材料制备（实验室内）等方面，已接近西方工业发达国家的水平。

2. 分类

纳米复合材料由基体和纳米粒子相（分散相）组成。三大材料（金属、陶瓷、高分子合成材料）均可作为基体，而纳米粒子相也可由金属、陶瓷、聚合物组成，但大多数优良的纳米粒子相则是由无机物（如二氧化硅、蒙脱石、沸石、二硫化钼等）组成。

纳米材料的研究开发工作在金属和陶瓷领域开展得较早，比较广泛和深入。相比之下，聚合物纳米复合材料的研究起步较晚，但近几年发展相当迅速。表 1-1-9 示出了纳米复合材料的分类。

表 1-1-9 纳米复合材料分类



3. 制备方法

1) 有机/无机纳米复合材料 在聚合物纳米复合材料中,有机/无机纳米复合材料占有主要地位。其主要制备方法有溶胶凝胶法、插层法和共混法等。

① 溶胶凝胶法。其作为一种古老的方法在超细材料的制备中应用已久,但用它制备有机/无机纳米复合材料仅始于 20 世纪 80 年代。它是将烷氧基金属或金属盐等前驱物(水溶性盐或油溶性醇盐)溶于水或有机溶剂中形成均质溶液,溶质发生水解反应生成纳米级粒子并形成溶胶,溶胶经蒸发干燥转变为凝胶。该法可以简单地分为以下几种情况:

① 将前驱物溶解在预先形成的聚合物溶液中,在酸、碱或某些盐的催化作用下,让前驱化合物水解,形成半互穿网络。

② 将前驱物和单体溶解在溶剂中,让水解和单体聚合同时进行,这一方法可使一些完全不溶的聚合物靠原位生成而均匀地嵌入无机网络中。如果单体未交联则形成半互穿网络,如果单体交联则形成全互穿网络。

③ 在以上的聚合物或单体中可以引入能与无机组分形成化学键的基团,增加有机与无机组分之间的相互作用。

溶胶凝胶法合成纳米复合材料的特点在于该法可在温和的反应条件下进行,两相分散均匀。用该法合成的纳米材料范围很广,特别是在功能材料方面具有广泛的应用前景。

② 插层法。其是另一种制备有机/无机纳米复合材料的重要方法。许多无机化合物,如硅酸盐类粘土、磷酸盐类、石墨、金属氧化物、二硫化物、三硫化磷络合物等,具有典型的层状结构,可以嵌入有机物。根据插层的形式不同,又可分为插层聚合、溶液插层和熔体插层等几种。

① 插层聚合:首先将单体或插层剂插层于具有层状结构的云母类硅酸盐中,其片层厚度为 1nm 左右,片层间距一般在 0.96~2.10nm 之间,单体在硅酸盐片层之间聚合成聚合物。在此过程中,单体插层进入硅酸盐片层之间,单体聚合成聚合物可使片层之间进一步扩大甚至解离,使层状硅酸盐填料在聚合物基体中达到纳米尺度的分散,从而获得纳米级复合材料。

② 溶液插层:在聚合物溶液中直接把聚合物嵌入到无机物层间坑道中。

③ 熔体插层:将聚合物用熔融法直接嵌入,制得纳米复合材料。

插层法从总体上来说工艺较溶胶凝胶法简单,原料来源丰富。插层聚合法合成材料可以提高材料的力学性能,降低成本;溶液插层法利用层状坑道使分子有规则排列,所得的聚合物结构更规整,具有各相异性,在合成功能材料方面有一定优势;熔体插层与前两种插层法相比,工艺简单,不需任何溶剂,易于工业化。

③ 共混法。采用共混法首先需合成出各种形态的纳米粒子,再通过各种方式与聚合物混合。共混法所需纳米粒子的制备方法很多,总体上可分为物理方法和化学方法两类。其中物理方法主要有物理粉碎法、蒸发冷凝法等;化学方法主要有化学气相沉积法、沉淀法、模板反应法、微乳液法、胶态化学法、水热合成法等。一般来说,化学方法在微粒粒度、粒度分布及微粒表面控制方面有一定的优越性。

典型的共混方法有以下几种。

① 溶液共混:将基体树脂溶解于适当的溶剂中,然后加入纳米粒子,充分搅拌溶液,使粒子在溶液中分散混合均匀,除去溶剂即得复合材料。

② 乳液共混:与溶液共混方法相似,只是用乳液代替溶液。

③ 熔融共混:与通常的熔融共混方法基本相似。

④ 机械共混:与通常的机械共混方法基本相似。

共混法的优点是纳米粒子与材料的合成分步进行,可控制纳米粒子的形态、尺寸。不足之处是由于纳米粒子容易团聚,共混时难以保证粒子的均匀分散。因此,通常在共混前应对纳米粒子表面进行处理,或在共混时加入分散剂,以使其在基体中以原生粒子的形态均匀分散。

2) 聚合物/聚合物纳米复合材料

1) 聚合物/聚合物分子复合材料。所谓分子复合,指以刚性高分子链式微纤作为增强剂,将其均匀地分散在柔性高分子基体中,分散程度接近分子水平,制得高弹性模量、高强度的聚合物/聚合物复合材料。分子复合的微区尺寸较一般的纳米复合材料小,是更精细结构的纳米复合材料。为了最大限度地发挥复合效果,达到接近分子水平的分散程度,一般采用溶液共混共沉淀的方法制备分子复合材料。

分子复合材料作为结构材料的应用和发展主要受到制备方法的限制,不仅需要适当的共溶剂,而且只有在溶液浓度小于临界浓度不发生相分离时,才能达到预期效果。

2) 聚合物/LCP 原位复合材料。所谓原位复合,指将液晶聚合物与热塑性树脂进行熔融共混,用挤塑或注射方法进行加工,液晶微区沿外力方向取向形成微纤结构,固化时这种微纤结构被原位固定下来。根据纳米材料的定义,只有当形成的微纤直径小于 100nm 时,该原位复合材料才能归属于纳米材料的范畴内。

4. 重要品种

1) PA6/蒙脱石 日本丰田中央研究所于 1990 年首先采用插层法开发成功,蒙脱石的含量通常为 5% 左右。此法是使在蒙脱石层间的钠离子同烷基铵进行阳离子交换反应,层间注入疏水性的单体 ϵ -己内酰胺,然后在高温下开环聚合成 PA6。在此过程中,使蒙脱石整齐排列的层间间隔(厚度约 $13.1 \times 10^{-10} \text{m}$)被打乱并分散在 PA6 树脂中而形成纳米复合材料。PA6/蒙脱石纳米复合材料同 PA6 相比,拉伸强度和弹性模量均高出约 2 倍左右,热变形温度提高约 70℃,对氧气透过性减少约一半。

2) PET/LCP 以 LCP 为增强剂,在特殊相容剂的作用下,采用分子复合法制成纳米复合材料。LCP 含量约为 10%。LCP 在树脂中分散十分微细,形成“原纤维”状的微观形态,不仅使复合材料强度高,刚性大,而且耐热性、阻隔性均较单用 PET 树脂好。PET/LCP 组成的纳米复合材料与 PET 树脂相比,拉伸强度高出 4.9 倍,弹性模量高出 7.5 倍。

3) PC/LCP/半芳香族聚酯 在聚碳酸酯中加入液晶聚合物后再加入第三组分半芳香族聚酯,采用分子复合法制成纳米复合材料。通常液晶聚合物含量约为 27%,半芳香族聚酯含量约为 3%。经测试,PC/LCP/半芳香族聚酯组成的复合材料,与聚碳酸酯相比,拉伸强度高出约 2 倍,弹性模量高出约 3 倍。

5. 应用前景

聚合物纳米复合材料具有与传统填料复合材料显著不同的性能,在无机物含量远低于传统的玻璃纤维或矿物补强聚合物中的填料含量时,就能获得优越的刚性、强度、热稳定性、聚合物的可加工性和介电性能等,并且具有通常复合材料所不具备的磁性、光吸收性和催化活性等特殊性能,从而使聚合物纳米复合材料不仅给汽车、电子电器、建筑、化工及飞机等传

统工业领域产品的提高档次、升级换代等带来划时代的意义,而且在新型高效催化剂、生物医药制品、光通信和环保材料等高新技术领域开辟了十分广阔的前景。

日本已将纳米复合材料应用于汽车工业、食品包装等领域,其它潜在的应用处还包括飞机内部材料、电工和电子元件、防护罩结构部件、制动器和轮胎等。

中国青岛海尔集团率先将纳米技术运用到家电用工程塑料上。海尔集团下属的海尔科化公司,将纳米粒子和工程塑料复合,制得聚合物纳米复合材料。彩电、空调、洗衣机等的零部件采用纳米材料后,其耐热、耐磨、气体阻隔性能等均有明显提高。海尔电熨斗的隔热板采用纳米复合材料后,其耐热性较以前有了质的飞跃。

六、成型技术的新发展

随着工程塑料的迅速发展,工程塑料制品的应用日益广泛,各应用领域对工程塑料制品的精度、形状、功能等提出了更高的要求,传统的成型工艺和成型设备已难以适应这种要求。这就迫使人们在不断改进传统成型工艺的基础上,采用新设备,开发新工艺,以满足不同应用领域的需求。

(一) 成型设备的新进展

1. 注射成型设备

在所有成型设备中,以注射机为最重要。注射机的发展特点是高压、高速、高自动化和精密化。近年来,引人注目的新型注射成型机有全电动式注射成型机、组合式注射成型机和超高速充填注射成型机等。

1) 全电动式注射成型机 全电动式注射成型机在 20 世纪 80 年代中期间世。其最大特点是节约电力,和油压机比较,电动机消耗的电力仅是油压机的 $1/2 \sim 1/5$ 。此外,伴随着高刚性模具及高应答的伺服电动机的开发成功,使全电动式注射成型机具有更好的综合性能,成型稳定性更高,制得的成型品的质量偏差也显著减小。由于全电动式注射成型机不使用油压工作油,使操作环境得到了改善,有利于环境保护。

2) 组合式注射成型机 由于常用万能注射成型机成本高,而当前又需要有灵活性、适应性的注射成型设备,所以开发了不仅尺寸大小不同,而且组合也多样化的组合式注射成型机。

3) 超高速充填注射成型机 目前对移动电话机的外壳等注射成型品,要求具有很薄的壁厚 ($0.1 \sim 0.2\text{mm}$)。另外,对耐热性树脂来说,则要求快速固化。这些都要求采用超高速充填成型工艺,否则无法得到高品质的成型品。超高速充填注射成型机的注射速度可达 800mm/s 以上,注射率约为 $1\,000\text{mL/s}$,注射压力可达 280MPa 。对于几十毫米的行程来说,如采用 500mm/s 以上的注射速度,仅需 0.01s 即可注射完毕,完全能满足注射成型的要求。

2. 挤出成型设备

挤出成型机在塑料制品成型加工中占有重要地位。由于大型塑料挤出机及联合挤出机的出现,大型或超大型制品越来越多,目前已能生产直径为 $3\,000\text{mm}$ 的挤出塑料管,并能直接吹塑折径为 $10\,000\text{mm}$ 以上的超幅薄膜。为了适应新产品的不断增加和新挤出工艺的要求,又出现了许多新的或专用的挤出机,如组装式挤出机、多螺杆挤出机、无螺杆挤出机、反应式挤出机等。近年来双螺杆挤出机发展很快,这主要是因为它具有加工量大、操作方便、

加料容易、排气性好、混合均匀、塑化效果好、能耗低等优点。

3. 中空吹塑成型设备

中空吹塑成型设备是近年来发展较快的机种之一,目前,正朝着高速、高精度、大型化和自动化等方向发展。中空吹塑成型设备主要通过合理的设计、多型坯机头、多工位结构、液压式开闭模结构、微机控制、快速模具更换系统等措施来实现设备的高度自动化。

(二) 成型工艺的新进展

近年来,在通用塑料及工程塑料成型加工领域,新的成型工艺不断涌现,主要有高速低压注射成型、注射压缩成型、气体辅助注射成型、熔芯注射成型、夹芯注射成型、动态保压注射成型、推拉注射成型、层状注射成型、润滑挤出成型和双壁吹塑成型等。

1. 高速低压注射成型

传统的注射成型过程可分为控制熔体入口速度的充填过程和控制熔体入口压力对塑料冷却收缩进行补料的保压过程。充填时熔体的入口速度是一定的,随着充填过程的进行,熔体在型腔内的流动阻力逐渐增加,因而熔体入口压力也容易随着增高,在充填结束时入口压力出现较高峰值。由于型腔内高压的作用,不仅会造成塑料溢边、涨模等不良现象,而且会使塑料件内部产生较大内应力,塑料件脱模后易出现翘曲和变形,使塑料件形状和尺寸精度难以满足要求,而且这种塑料件在使用过程中也易出现应力开裂。

为了降低或避免塑料在充填过程中由于较高的型腔压力而使制品产生内应力,并将塑料件的变形限制在较低的范围内,应以塑料充填所需的最低压力进行充模,这样就可降低型腔内压力。目前,改性聚苯醚、ABS 等工程塑料大多采用低压注射成型。

低压注射成型与传统注射成型的主要差别在于,传统注射成型充填阶段控制的是注射速度,而低压注射成型充填阶段控制的则是注射压力。在低压注射过程中,型腔入口压力恒定,所以不会出现压力峰值,但注射速度是变化的,开始以很高的速度进行注射,随着注射时间的延长,注射速度逐渐降低,这样就可以大幅度消除塑料件内应力,保证制品尺寸精度。但若在低压时仍用低速注射,则由于充填时间较长而使熔体热历史产生较大差异,易造成塑料件收缩不均和变形,为此需用高速注射将熔体在短时间内充入型腔。高速注射的另一作用是利用熔体高速流动所产生的剪切热提高熔体温度,降低熔体粘度,使熔体在低压下能充满型腔。由于低压注射的特点是以恒定压力进行熔体充填,因而低压注射机有经专门设计的独特的油压系统。

为了实现低压高速成型,需对传统注射机的注射系统作必要的改进。目前国外已开发出多腔液压注射系统,其主要功能:一是在同一油压下可多级变换最高注射压力;二是可在低注射压力下实施高速注射。

由于低压注射成型的基本原理与一般注射成型相同,所以模具结构完全一样。但由于低压注射成型用低压充填,不出现压力峰值,因此有利于防止细小模具型芯折断或损坏,有利于提高模具的使用寿命。另外,由于低压注射成型对模具的磨损较小,对模具的温度控制和排气等要求也并不很高,因而可采用由锌、铝合金材料制造的简易注塑模,这不仅可以降低生产成本,而且能快速生产小批量精密塑料件,以适应目前市场上多品种、小批量生产的需要。

2. 注射压缩成型

注射压缩成型工艺是为了成型光学透镜而开发的,其成型过程是:模具首次合模时,动

模与定模不完全闭合,保留一定压缩间隙,随后向型腔内注射熔体,由于注射压缩模具在型芯部分设有台阶,虽然模具不完全闭合,但型腔中熔体不会泄漏;熔体注射完毕后,由专设的闭模活塞实施二次合模,在模具完全闭合的过程中,型腔中的熔体再一次流动并被压实。其成型原理见图 1-1-1。

与一般的注射成型相比,注射压缩成型的特点是:

1) 熔体注射是在型腔未完全闭合情况下进行的,因而流道面积大,流动阻力小,所需的注射压力也小;

2) 熔体收缩是通过外部施加压力给型腔使型腔尺寸变小,即由型腔直接压缩熔体来补偿的,因而型腔内压力分布均匀。

注射压缩成型可以减少或消除由充填和保压产生的聚合物分子取向和制品内应力,提高制品材质的均匀性和尺寸稳定性,同时降低塑料件的残余应力。注射压缩成型工艺已广泛用于成型聚碳酸酯等透明工程塑料,用于制造光学透镜、激光唱片等高精度制品以及难以注射成型的薄壁塑料件。此外,该工艺在玻纤增强树脂成型中的应用也日益普及。

3. 气体辅助注射成型

气体辅助注射成型是指向模具内的熔融树脂强制性地注入氮气等高压气体的注射成型方法,可用于制造中空成型品。其成型原理见图 1-1-2。

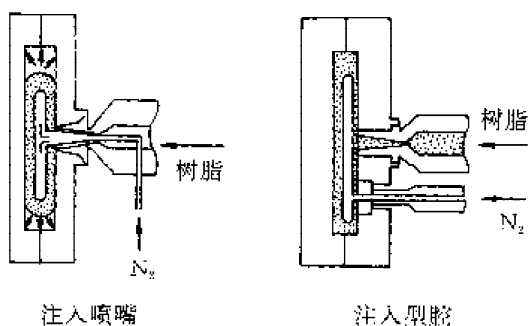


图 1-1-2 气体辅助注射成型原理

气体辅助注射成型对于有厚壁、加强肋和形状复杂的成型制品十分有效,具有尺寸精度高、低翘曲、低收缩、轻量化和高中空率等特点。

近年来气体辅助注射成型法得到了迅速普及,广泛用于家电零件、办公自动化机器零件、汽车零件、家具和建筑材料等的制造。例如,以工程塑料聚甲醛为原料,通过气体辅助注射成型法制得的齿轮与滚筒一体化的制件就是成功的一例。制得的成型品具有优良的耐磨性、滑动特性和尺寸精度,

一次成型即可制得带有齿轮的滚筒。

4. 熔芯注射成型

熔芯注射成型的基本原理是:先用低熔点合金铸造成可熔型芯,然后把可熔型芯作为嵌件放入模具中进行注射成型,冷却后把包含有型芯的制件从型腔中取出,再加热将型芯熔化。为缩短型芯熔出时间,减少塑料件变形和收缩,一般采用油和感应线圈同时加热的方式,感应加热使可熔型芯从内向外熔化,油加热熔化残存在塑料件内表面的合金表皮层。

熔芯注射成型特别适用于形状复杂、中空和不宜机械加工的复合材料制品,这种成型方法与吹塑成型和气体辅助注射成型相比,虽然要增加铸造可熔型芯的模具和设备以及熔化型芯的设备,但可以充分利用现有的注射机,而且成型的自由度也较大。

熔芯注射成型中,制件是围绕芯件制成的。传统材料不能用来制作塑料加工中的芯件,一方面是不够坚硬,难以在成型过程中保持其形状,尤其是不能承受压力和熔体的冲击,更主要的是精度不适合塑料制品的要求。所以,熔芯注射成型的关键是要找到制作芯件的合

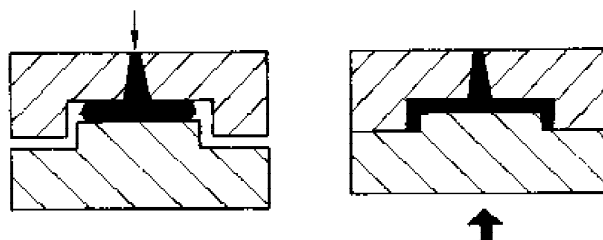


图 1-1-1 注射压缩成型原理

适材料,目前常采用的是 Sn-Bi 和 Sn-Pb 低熔点合金。

熔芯注射成型已发展成一种专门的注射成型分支,网球拍手柄是首先大批量生产的熔芯注射成型应用实例。另外,它还伴随着汽车工业对高分子材料的需求而发展,尤其是用于汽车发动机的全塑多头集成进气管的成型,已实现批量生产。其它的新应用领域有汽车水泵、水泵推进轮、离心热水泵、航天器油泵等。

5. 夹芯注射成型

夹芯注射成型是在结构发泡成型技术的基础上发展起来的一种新的成型方法。它使用两个注射单元,由一个注射单元先向型腔注射一种塑料熔体,而后再由另一个注射单元向型腔注入另一种塑料熔体,后一种塑料熔体完全被第一种塑料熔体包覆而形成芯层。利用夹芯注射成型技术可以制造皮层为硬质材料而芯层为发泡材料的厚壁塑料件。通过不同材料的组合可以获得具有特殊性能的塑料制品。

夹芯注射成型经历了三个发展阶段,即单料道、双料道和三料道工艺。

单料道工艺中,通过换向阀使两种树脂先后注入型腔。由于熔体的流动特性和皮层树脂倾向粘附于温度较低的模具表面,因而能形成致密的皮层。皮层的厚度受注射速率、料温、模具温度及两种树脂的相容性等因素影响。单料道工艺的优点是特别适合于要求薄而致密皮层的制品,缺点是喷嘴的转换可能会引起制品表面划伤。

双料道或三料道工艺,可使皮层及芯层注射连续或同时完成。这两种工艺可使密实的表层厚度得到准确控制,特别是制件两侧浇口区域处。双料道或三料道工艺对于注塑高品质的制件是十分必要的。特别是对于形状复杂的制品,采用这两种工艺,能获得优良的综合性能。双料道工艺对于多腔注塑更适用,这是由于没有复杂的喷嘴,材料及颜色变换起来很容易。三料道技术则对中心浇口注塑制件的加工尤为适宜。

与普通注射成型相比,夹芯注射成型具有以下优点:

- 1) 较大的抗翘曲变形性;
- 2) 厚壁制件表面质量好,无凹陷;
- 3) 芯层可采用回收料;
- 4) 软、硬配料结合,可成型有各种纹理的塑料件;
- 5) 制件表面光滑,不必专门修饰。

为充分发挥夹芯注射成型的优势,表层材料和芯层材料的选择应遵循如下原则:

- 1) 两种材料相互之间必须能够粘接;
- 2) 两种材料的线膨胀系数和收缩率应相近,否则会出现分层现象;
- 3) 两种材料的热稳定性及流动性应相近。

6. 动态保压注射成型

动态保压注射成型实质是在保压阶段将振动引入型腔,使型腔内的聚合物熔体产生振动剪切流动,以控制制品的内部结构和微观形态,从而达到控制制品力学性能和外观品质的目的。将振动引入型腔有螺杆加振和辅助装置加振两种方法。

1) 螺杆加振 螺杆加振的工作原理是给注射油缸提供脉动油压,使注射螺杆产生往复移动而实现振动,注射螺杆产生的振动作用在熔体上,并通过聚合物熔体把振动传入型腔,从而使型腔中的熔体产生振动,这种振动的作用能持续到模具浇口封闭时为止。螺杆加振装置比较简单,可以利用注射机的控制系统,或对注射机的液压和电气控制系统加以改造来

实现。

2) 辅助装置加振 辅助装置加振是将加振装置安装在模具与注射机喷嘴之间,注射阶段与普通注塑一样,通常熔体仅通过一个浇口,此浇口活塞后退以保持流道通畅,另一活塞则切断另一流道;型腔充满熔体后,两保压活塞在独立的液压系统驱动下开始以同样的频率振动,但其相位差 180° ,通过两个活塞的往复运动,将振动传入型腔,使型腔中的熔体一边冷却,一边产生振动剪切流动。图 1-1-3 示出了辅助装置加振法动态保压注射成型原理。

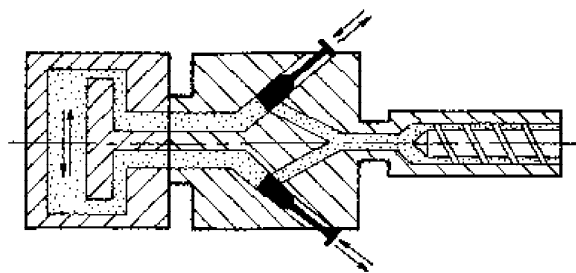


图 1-1-3 辅助装置加振法动态保压注射成型原理

动态保压注射成型工艺有助于消除制品的常见缺陷(如缩孔、裂纹、表面沉陷等),提高熔接线强度。另外,通过合理设置浇口位置和数量,可以控制聚合物分子或纤维的取向,获得比普通注射成型制品强度更高的制品。

动态保压注射成型过程中聚合物熔体被注入型腔后,型腔内开始出现固化层。在固化层附近由于熔体流动速度梯度最大,所以此处的熔体受到的剪切作用最强烈,故取向程度最大。而中心层附近由于速度梯度小,剪切作用小,因而取向程度也小。在保压过程中引入振动,使型腔中的聚合物熔体边冷却边受振动的剪切作用,因而使这种振动剪切产生取向,形成了一定厚度的取向层。同没有振动作用相比,振动剪切流动所产生的取向层厚度远远大于普通注射所形成的取向层厚度,这就是型腔内引入振动能使制品的力学性能得到提高的原因。

7. 推拉注射成型

推拉注射成型是另一种将振动引入注射成型的工艺,其原理如图 1-1-4 所示。它采用

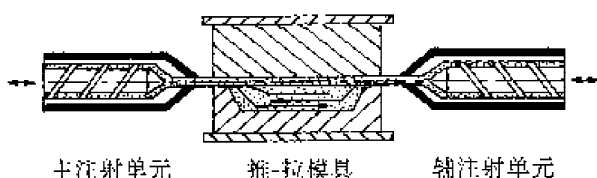


图 1-1-4 推拉注射成型原理

主辅两个注射单元和一个双浇口模具。工作时,主注射单元推动熔体经过一个浇口过度充填型腔,多余的料经另一浇口进入辅助注射单元,辅助注射螺杆后退以接受型腔中多余熔体进入;然后辅助注射螺杆向前运动向型腔注射熔体,主注射单元则接受型腔多余熔体。主辅注射单元如此反复推拉,形成型腔内熔体的振动剪切流动。当靠近模壁的熔体固化时,芯部的熔体在振动剪切的作用下产生取向并逐渐固化,形成高取向度制品。一般制品成型需 10 次左右的推拉循环,最高的可达 40 次。

用推拉注射成型工艺成型玻璃纤维增强的特种工程塑料液晶聚合物,与常规的注射成型相比,拉伸强度和弯曲弹性模量分别提高了 4.2 倍和 2.7 倍。

8. 层状注射成型

层状注射成型是一种兼有共挤出成型和注射成型特点的成型工艺,能在复杂制件中任意地产生微厚度分层形态。该成型工艺同时注射两种不同的树脂,使它们通过一个多级共挤模头(图 1-1-5),各股熔体在共

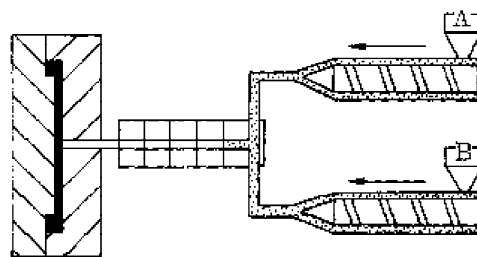


图 1-1-5 层状注射成型原理

挤模头中逐级分层,各层的厚度变薄而层数增加,最终进入注塑型腔叠加,在模具内保留通过上述过程获得的层状形态,即沿制品厚度方向两种树脂不是呈无序共混状态存在,而是复合叠加在一起。据报道,层状注射可成型每层厚度为 $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$ 、层数达上千层的制品。因层状注射成型的制品是基于两种或多种材料形成层状结构,保留了各组分材料的特性,比传统共混料更能充分发挥每种材料性能,使其制品在气体阻隔性、耐溶剂性、透明性等方面的性能更好。

9. 润滑挤出成型

润滑挤出成型在挤出加工过程中,挤出模口模壁与挤出物间设置一层薄膜润滑层,使得塑料熔体在型腔中的流动成为一种栓形流动,减少因物料与模壁间的直接接触而引起的剪切速率不同所产生的产品形状差异,从而能挤出同口模形状基本相同的型材断面。

润滑挤出主要有以下三种形式:

1) 自润滑挤出 同一种用于挤出的树脂,由于温度的变化,在口模壁间形成高温低粘度的润滑层;或树脂本身混炼有润滑剂,在挤出过程中,润滑剂渗出于口模壁间,形成一层薄的润滑层。目前常用的方法是将内外润滑剂混炼于树脂当中,实现自润滑挤出。尤其是外润滑剂与金属模壁具有亲和性,易形成润滑剂分子界面而具有调节层流的功能,从而形成栓形流动状态。作为外润滑剂的主要品种有高级脂肪酸、复合酯、有机硅树脂和石蜡等。

2) 外润滑挤出 外润滑挤出利用压力泵将低粘度润滑剂输送至口模壁间形成润滑层,使挤出物的流动近似于纯栓形流动。低粘度润滑剂是指挤出过程中其粘度低于挤出物粘度的流体,如液体石蜡、聚二甲基硅氧烷等有机硅树脂、硬脂酸及其金属盐、表面活性剂、甘油和聚乙二醇等。

3) 共润滑挤出 对高粘度树脂,可以采用熔体粘度相对较低的树脂进行共挤出,挤出后可作为挤出产物的一部分覆盖在高粘度树脂的表面。这种外表层有时还具有装饰性和防老化效果,低粘度树脂主要有低密度聚乙烯树脂、聚乙烯醇、聚苯乙烯树脂和醋酸纤维素等。

润滑挤出技术对高粘度难成型树脂的挤出成型加工具有一定的实用价值。这是因为高粘度树脂具有较低的临界剪切速率,必须在低速状态下挤出成型,而且高粘度的树脂挤出时必须使用高的挤出压力,消耗高的能量,而当采用润滑挤出时,可以实现在低温低能耗的条件下获得高的挤出效率。

10. 双壁吹塑成型

1) 双壁吹塑成型法 双壁吹塑成型法是使用一组阴阳模具制成具有双壁制品的成型方法。通常拉深比在 0.3 以下,制得的成型品具有中空结构,重量轻,刚性好,可一次成型具有复杂形状的制品,不需要后组装。适用范围广,制品可以镶嵌、涂装或印刷。

2) 深拉深双壁吹塑成型法 深拉深双壁吹塑成型法的拉深比一般在 0.3 以上,使用具有铰链接合式开关结构的多开型模具,制造拉深比大的双壁吹塑制品。能够成型外部带有倒锥形结构的成型品。该法还能整体成型带有手柄或合叶的零件。以改性聚苯醚工程塑料为原料,采用深拉深双壁吹塑成型法制造办公自动化机器零件是典型的应用实例。

七、增强环境保护意识

近年来,环境保护和提高环境行为的社会要求日益增长。可持续发展作为一种发展的

目标和发展的模式,现已被世界各国普遍接受。而要实现可持续发展,则必须做到保护环境和维持生态平衡。

国际标准化组织 (ISO)1996 年颁布了 ISO 14001 标准,该标准以极其广泛的内涵和普遍的适用性,在国际上引起了极大的反响。各国的任何组织,不论其规模、性质和所处的行业领域,都可以建立自己的环境管理体系,并按标准所要求的内容实施,也可向认证机构申请认证。ISO 14001 标准的总目的是支持环境保护和预防污染,它的颁布和实施有力地促进了各国的环境保护工作。

在工程塑料的发展过程中,生产者和使用者也面临减少环境污染,改善人类生存环境的重要任务。近年来,在工程塑料领域,人们为保护环境采取了多种措施。

(一) 改革传统生产工艺

美国 GE 公司采用非光气法生产聚碳酸酯工艺,不需使用光气,消除了有毒气体对环境的污染;日本宇部兴产公司开发成功的无溶剂生产聚甲醛的气相法新工艺,革除了溶剂,减少了污染;生产聚苯醚的诸多厂家,现已采用水洗法代替醇洗法的聚合物后处理新工艺,消除了甲醇 (或乙醇) 的污染。

(二) 使用非卤素阻燃剂

工程塑料以往要大量使用十溴联苯醚、四溴双酚 A、四溴邻苯二甲酸酐等卤素阻燃剂。由于卤素阻燃剂的毒性较大,在生产和使用时有碍工人健康,污染环境,而且燃烧时产生毒烟,因此,世界各国虽未明确规定在所有场合禁止使用卤素阻燃剂,但许多国家已限制它的使用。如瑞典已规定,超过 25g 的塑料零件在电子电器产品中禁用卤素阻燃剂。德国、荷兰等国家也已限制使用十溴联苯醚,并且不提倡使用其它溴系阻燃剂。

当前,国内外均积极开发非卤素阻燃剂,很多产品已投放市场。例如,德国的 BASF 公司开发了聚酰胺、PBT 等工程塑料使用的一系列非卤素阻燃剂。用作聚酰胺阻燃剂的主要有水合氧化镁、红磷等。PBT 是工程塑料中最难阻燃化的品种,BASF 公司新近开发的用于 PBT 的非卤素阻燃剂新品级 Ultradur B4000 已经上市,阻燃等级可达到 UL94 V-2 级。与含卤的 PBT 阻燃品级相比,烟密度低,并具有极高的抗漏电痕迹性能。

从产品的组成看,非卤素阻燃剂可以分为水合金属氧化物、硅系阻燃剂和磷系阻燃剂等。其中又以水合氧化铝和水合氧化镁为主的水合金属氧化物为最主要。这一类阻燃剂不仅无毒、价廉、资源丰富,而且有抑烟作用,但它在阻燃性能方面尚有不足,目前正在改进之中。

(三) 大量使用以 PET 为中心的包装材料

当前,从降低环境载荷、易处理和资源的再利用等方面考虑,对包装材料的设计提出了如下要求:

- ① 尽量使包装材料减量化;
- ② 包装容器应尽量设计得紧凑,使用后能折叠或压碎;
- ③ 由几种材料制造的复合容器在设计时应考虑使用后材料容易分离;
- ④ 使用能够再充填的容器;
- ⑤ 使用容易回收的材料;
- ⑥ 使用废弃物焚烧处理时不产生有害物质的材料;
- ⑦ 使用在自然环境中分解时不产生二次污染的材料。

基于这种考虑,以往大量使用的聚氯乙烯(PVC)、聚偏二氯乙烯(PVDC)等含氯的塑料包装材料和玻璃瓶等包装材料,正被PET、PEN等代替。这是因为PET等包装材料不仅具有重量轻、强度高、透明性好、气密性好和化学稳定性优良等特点,而且可回收使用,具备完整的回收再生工艺,对降低环境载荷,减少环境污染具有重要作用。

近年来,PET包装容器的产量急剧增加,其中以装碳酸气软饮料的聚酯瓶用量最大。1997世界聚酯瓶的消费量已达3 000kt以上。另外,在食品、酒类、化妆品及工业产品包装方面的应用也在不断增长。

(四) 加强废旧工程塑料的回收利用

废旧工程塑料的回收利用是处理废工程塑料的卓有成效的方法之一。它不仅可减少环境污染,而且经再生后可获得有实用价值的新材料或新能源。

工程塑料再生的方法主要有熔融再生、热裂解和能量回收等。

1) 熔融再生 熔融再生是将废旧工程塑料重新加热塑化而加以利用的方法。从废旧工程塑料的来源可分为两类:一是由加工厂的边角料回收的清洁废工程塑料的再生;二是经过使用后混杂在一起的各种工程塑料制品的再生。前者称单纯再生,可制得性能较好的工程塑料制品;后者称复合再生,一般只能制备性能要求相对较低的工程塑料制品,回收再生过程较为复杂。

2) 热裂解 热裂解方法是将挑选过的废旧工程塑料经热裂解制得燃料油、燃料气的方法。

3) 能量回收 能量回收是利用废旧工程塑料燃烧时所产生热量的方法。

(五) 开发新型生物降解聚合物

生物降解聚合物是指一类在自然环境条件下可为微生物作用而引起降解的聚合物。各种脂肪族聚酯及其共聚物是最重要和最有前途的生物降解聚合物。如美国的Eastman化学公司开发成功的芳香族-脂肪族共聚酯中试产品,可在微生物环境中分解成二氧化碳、水等,对降低环境污染具有重要意义。

聚酰胺是一类主链结构上带有一CONH—基团的聚合物。聚 α -氨基酸具有与生物体高分子的蛋白质相同的多肽结构,易被微生物降解。例如,微生物分泌的蛋白质水解酶能降解聚 α -氨基酸。尼龙6、尼龙66和尼龙12等工程塑料虽有类似蛋白质的酰胺键,但由于它们是高分子量结晶性树脂而难于生物降解,且生物降解性能随酰胺键间的亚甲基增多而减小。但是,当引入氨基酸基团到聚合物链中,则可增加聚酰胺的生物降解性能。

第二章 工程塑料的性能及测试

第一节 性能特点及主要性能

一、性能特点

工程塑料与通用塑料相同,其性能主要取决于高分子化合物的化学组成、分子量、分子结构和物理状态等。

各种工程塑料由于化学组成和分子结构等的不同,使其具有多样化的性能。工程塑料是重要的功能性材料,它具有多种功能性特点,如耐热性、耐寒性、电绝缘性、耐化学药品性、耐蠕变性、耐候性、传导性、耐紫外线辐射性和粘结性等。

工程塑料的性能特点主要是:

1) 与通用塑料相比,具有优良的耐热和耐寒性能,在广泛的温度范围内机械性能优良,适宜作为结构材料使用;

2) 耐腐蚀性良好,受环境影响较小,有良好的耐久性;

3) 与金属材料相比,容易加工,生产效率高,并可简化程序,节省费用;

4) 有良好的尺寸稳定性和电绝缘性;

5) 重量轻,比强度高,并具有突出的减摩、耐磨性。

工程塑料的相对密度约为 1.0~1.4,比水略重,比铝轻 1/2,比钢轻 3/4,约为大多数有色金属的 1/8~1/5。从表 1-2-1 可知,工程塑料具有能与金属相抗衡的比强度。

表 1-2-1 工程塑料与金属的比强度

名 称	相 对 密 度	拉伸强度, MPa	比拉伸强度, MPa (拉伸强度/相对密度)
合金钢	8.0	1 280	160
硬 铝	2.8	390~454	139~162
铸 铁	8.0	150	19
玻纤增强聚碳酸酯	1.45	132	91
玻纤增强尼龙 6	1.37	180	131

生产工程塑料所要耗费的能量与其它大多数材料相比,明显减少,这在当前能源问题十分突出的形势下,具有不容忽视的重要意义。表 1-2-2 示出了生产工程塑料与其它材料所耗能量的比较。

表 1-2-2 生产工程塑料及其它材料所耗能量的比较

名 称	耗能, $\times 10^7$ J/kg	名 称	耗能, $\times 10^7$ J/kg
镁	90	纸	12
铝	80	工程塑料	10
钢	50	水泥	9
铜	40	木材	4
玻璃	40		

二、主要性能

工程塑料的性能主要分为物理性能、力学性能、热性能、电性能、化学性能和流变性能等类,各类性能又包括一些具体项目。表 1-2-3 列举了工程塑料的主要性能项目。

表 1-2-3 工程塑料的主要性能项目

工程塑料性能	物理性能	密度、透气性、透湿性、吸水性、透光性、折射率、黄色指数、光泽度
	力学性能	拉伸强度、压缩强度、弯曲强度、伸长率、耐蠕变性、冲击强度、疲劳强度、摩擦和磨损、硬度、弹性模量
	热性能	线膨胀系数、热导率、热变形温度、维卡软化点、UL 温度指数 (长期连续使用温度)、玻璃化温度、热分解温度、耐燃烧性能
	电性能	表面电阻、体积电阻、介电强度、耐电弧性、介电常数、介质损耗角正切
	化学性能	耐化学药品性、耐老化性、耐候性、耐辐射性
	流动性能	熔体流动速率、熔点

(一) 力学性能

影响工程塑料力学性能的内在因素主要有如下几点:

1. 平均分子量和平均聚合度

平均分子量大,平均聚合度高,分子链就长,从而增加了分子间相互缠绕的内聚作用,随之加大了分子间的引力,柔顺性增加,脆性下降。一般聚合度小于 150 的低聚物,力学性能无法测定。随着平均聚合度的提高,拉伸强度、拉伸弹性模量、冲击强度和耐磨性均有明显提高。

2. 结晶度

凡分子链能排列整齐的结晶性工程塑料,其拉伸强度随结晶度的提高而提高,但冲击强度下降。由于结晶链段排列紧密,使硬度提高。当结晶度提高时,被提高的性能还有熔点、软化点、脆化点、热变形温度和耐化学药品性;被降低的性能还有弹性、伸长率、耐蠕变性、透气性、透光度和耐应力开裂性等。

3. 取向性

有结晶倾向的热塑性工程塑料,在成型加工时,受拉伸力作用使分子长链以微晶束的形态在不同程度上作平行于拉伸方向的排列。外力顺链长方向时,便由主价力代替次价力来决定其机械强度。定向性和结晶度越大,其机械强度越高。但垂直于拉伸方向的机械强度就较差。这种取向性在薄膜的成型加工时表现得尤为明显。

(二) 耐热性

耐热性是评价工程塑料性能的主要标准之一。表示耐热性的指标有热变形温度、玻璃化温度、UL 温度指数 (长期连续使用温度)、熔点,以及机械性能降低一半的温度等。表 1-2-4 示出了各种工程塑料的热变形温度及长期连续使用温度。

表 1-2-4 各种工程塑料的耐热性

名 称	热变形温度 1.82MPa, °C	长期连续使用温度, °C
尼龙 6	63	65~130
玻纤增强尼龙 6	206	65~130
聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBT)	60	120~140
玻纤增强 PBT	212	120~140
聚甲醛	122	85~105
聚碳酸酯	135	100~130
改性聚苯醚 (MPPO)	110	90~140
聚砒	175	140~150
聚醚砒	203	170~180
聚苯硫醚	260	180~220
聚芳酯 (U 聚合物)	174	150~160
聚酰胺酰亚胺	274	230~250
聚酰亚胺	357	260~316
液晶聚合物 (Xydar)	310	210~260
聚四氟乙烯	55	240~260

高分子化合物的软化,本质上是链段运动的自由度的增加。如果增加阻碍主链原子间转动自由度的因素,将导致高分子化合物耐热性的提高。增加这种能量障碍的主要方法有:

1) 提高分子间作用力 (价力),增加分子间的氢键数。由于氢键力的作用,使分子的内聚力增加,结晶性提高,熔点也即随之提高。另外,提高分子的偶极矩 (不对称结构)和引入强极性基团,也可增加分子间的吸引力,提高熔点。

2) 提高链段刚性,降低柔顺性。例如,聚四氟乙烯是用氟原子代替聚乙烯的氢原子,由于碳-氟键能大于碳-氢键能,空间位阻增大,完全屏蔽封闭了主链上的碳-碳键,提高了链段的刚性,因此熔点从聚乙烯的 137°C 增至 327°C。另外,向主链结构引入可挠性小、空间障碍大的芳核基团,也可提高耐热性。例如,聚碳酸酯的玻璃化温度为 142°C,聚砒的玻璃化温度为 185°C,而聚苯酯和聚苯醚砒的熔融温度都大于 450°C 而不出现玻璃化温度,就是因为它们主链上没有烃基链段,刚性大。

高分子化合物的热裂解,实质上是分子链的断裂。因此链节上原子或基团间的键结合能的大小,对其耐热性有很大影响,应尽量避免在主链结构上出现低裂解能的链节。主要可采取以下一些措施:

1) 引入高键能的原子或基团,提高主链的稳定性;

2) 引入共轭双键体系的结构,提高主链的稳定性;

3) 使主链联结不是由一排碳-碳单价键组成,而是由两排平行的碳-碳单价键、碳-碳双价键或碳-氮双价键等的主价键组成,构成五元或六元环状分子链或成为双股绞纱式分子链,从而在高温或辐射下也不容易发生断裂。

(三) 电性能

工程塑料的电性能,与高分子化合物的原子结构、原子的电性能、分子的对称性以及分子链中极性基团的位置等内部化学结构因素有关。

作为工程塑料基体的高分子化合物,由于其内部没有自由电子和离子,所以导电能力很低,大多数是优良的绝缘材料。但由于固体中可能含有杂质离子,其运动会引起微量电导,

或者固体表面附有外来的导电物质(如潮气等),也会影响它们的电阻率。绝缘体的电性能越好,其介电常数也就越小,这也取决于它的极化程度。极化程度越大,则电容量增加越多,从而影响电性能。

工程塑料的电击穿现象较为复杂,其过程可能为电击穿,也可能是热击穿。前者是由于介质的电荷在外加电场影响下发生位移,使电荷间的弹性键受到破坏所致;后者是由于在电场中的温度高到使介质熔融、碳化、燃烧或过分的漏导,或者介质损耗引起发热而遭到破坏所致。

(四) 化学性能

工程塑料的化学性能与其分子结构有着更为密切的关系。对于耐化学药品性来说,主要是指耐溶剂性和耐酸碱性。当高分子化合物在溶剂中,首先是溶剂分子进入高分子内部,产生溶胀,直到最后高分子被溶剂分散成溶液而完全溶解。这一扩散过程,取决于分子间的内聚能密度,一般用溶解度参数来衡量。刚性高分子化合物的分子运动速度小,一般很难溶解,但如果有一种溶剂能使其溶解时放热,使刚性链变成柔性链,也能使其溶于溶剂中,如可溶性聚酰亚胺溶于二甲基乙酰胺便是一例。交联的高分子化合物在溶剂中至多发生有限溶胀,这是因为溶剂小分子渗透进入高分子的网状结构中,将网张开拉长,发生高弹形变,同时产生应力,阻止溶剂分子的继续进入,最后渗透压力和网的弹性应力达到平衡,也即停止进一步溶胀。

不带极性基团的工程塑料,对酸碱等化学药品都有优良的耐腐蚀能力,尤其是主链键能高的,由于不易断链,耐腐蚀性更好。如在聚四氟乙烯分子中,碳-氟键结合十分牢固,同时氟原子组成了一个保护层,封闭了碳链,使其不易受到侵蚀,甚至在沸腾的王水中也不受腐蚀。

在分子结构相同的情况下,分子量大或结晶度高的高分子化合物溶解度较小,耐腐蚀性好。

(五) 老化性能

工程塑料在使用和贮存过程中,在光、热、氧、潮气和雨水等环境因素作用下,会逐渐变质而失去原有的性能,最终丧失使用价值,这种现象通常称为“老化”。研究工程塑料的老化性能,可以评价工程塑料的耐候性,确定其使用价值。

工程塑料的老化过程有两种情况:一是高分子裂解(又称降解或解聚),分子变小,制品发粘、变软并丧失机械强度;一是高分子发生交联、支化或环化,产生体型结构,使制品发脆,丧失弹性。不论是热、光、高能辐射或由机械作用而产生的游离基,都能引起这种裂解或交联过程。一些非化学性的因素也能引起老化,如由于增塑剂的挥发或逸出而使制品变硬等。

研究工程塑料的老化机理,采取有效的防老化措施,延长其使用寿命,具有十分重要的意义。在工程塑料的配制中,添加的各种抗氧剂、光稳定剂和热稳定剂等,可以起到有效的防老化作用。

(六) 燃烧性能

工程塑料的基体是高分子化合物。高分子化合物属有机物质,与金属材料、无机材料相比,耐燃烧性能较差。当工程塑料应用于工业上及日常生活中各个领域时,出于安全上的考虑,人们往往对它的燃烧性能给予很大的关注。

判定工程塑料燃烧性能主要有 UL94 标准、氧指数法、水平燃烧法、垂直燃烧法、烟密度

法以及耐漏痕指数法等。

UL94 标准类似于 ASTM D635 和 JIS K6911,但测试条件要严格得多。目前,不论工程塑料或以工程塑料为绝缘材料的电器大多以 UL94 作为燃烧级别评价的基本标准,UL94 标准级别有 V-0、V-1、V-2、HB 等。以 V-0 级的阻燃性能为最好。

氧指数法用于判定工程塑料是否易燃。氧指数的定义是支持一种材料燃烧时所需最低限度的氧气量,用氧气和氮气混合物的体积百分比来表示。一般来说,氧指数在 26%以下的工程塑料被认为是易燃的。表 1-2-5 示出了各种工程塑料的氧指数。

表 1-2-5 各种工程塑料的氧指数

名 称	氧指数, %	名 称	氧指数, %
聚甲醛	15.0	聚酰亚胺	36.5
ABS	18.2	聚芳酯	36.8
聚碳酸酯	22.0~24.0	聚醚砜	38.0
氯化聚醚	23.0	聚苯硫醚	40.0
尼龙 66	24.3	聚偏氟乙烯	43.7
聚苯醚	30.0	聚四氟乙烯	95.0
聚 砜	30.0		

提高工程塑料阻燃性能的方法主要有：

- 1) 合成新的阻燃高分子化合物 例如,用四溴双酚 A 代替双酚 A 合成溴代聚碳酸酯,可将聚碳酸酯的阻燃性能从 UL94 HB 级提高到 V-0 级。
- 2) 制备阻燃高分子合金 例如,将 ABS 和阻燃性能优异的聚氯乙烯共混,制得 ABS / PVC 合金,可将 ABS 的阻燃性能从 UL94 HB 级提高到 V-0 级。
- 3) 添加阻燃剂 这是提高工程塑料阻燃性能有效而广泛采用的方法。常用的阻燃剂主要有十溴联苯醚、磷酸三苯酯、三氧化二锑、双 (2, 3-二溴丙基)反丁烯二酸酯、氢氧化铝、氢氧化镁等。

第二节 影响性能测试的因素

影响工程塑料性能测试的因素主要有试样制备过程,试样尺寸,试样的环境温度、湿度、放置时间等。在测试前把试样放在规定环境中放置一定时间,使试样达到或接近所需温度、湿度的平衡过程称为状态调节。因此,影响工程塑料性能测试的因素可从试样和状态调节两方面加以论述。

一、试 样

1. 试样制备

试样制备有两个途径:一是从板、片、棒以及制品上直接裁取,再经机械加工成标准尺寸的试样。这时测试结果与裁取的部位以及机械加工的品质量有很大关系。裁取部位一般要选择远离边缘、转角等部位,以避免边缘影响。机械加工时,刀具的刃口,切削的线速度等都应该有严格规定,以避免加工缺陷和过热现象;二是由液状、粉状或粒状的试料经模塑成型为标

准尺寸的试样,这时测试结果和模具结构、成型温度、成型压力、冷却速度及模具内试料的分布等均有很大关系。例如,用烧结法成型的聚四氟乙烯,其力学性能除受预成型时压力的影响外,还明显受烧结温度的影响。如图 1-2-1 所示,不同烧结温度的聚四氟乙烯就有差异很大的应力-应变曲线。图 1-2-2 是成型温度对聚碳酸酯力学性能的影响。

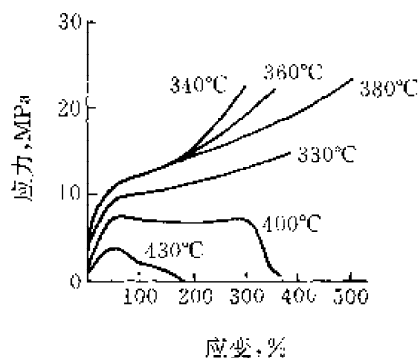


图 1-2-1 在不同烧结温度下聚四氟乙烯的应力-应变曲线

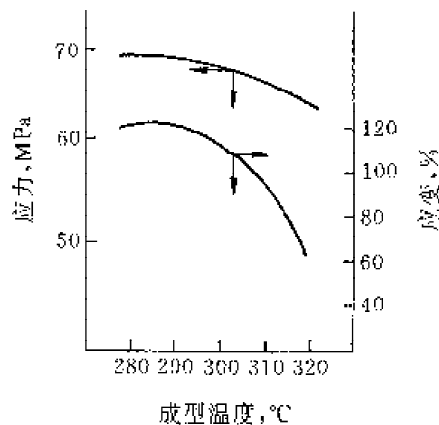


图 1-2-2 聚碳酸酯成型温度对力学性能的影响

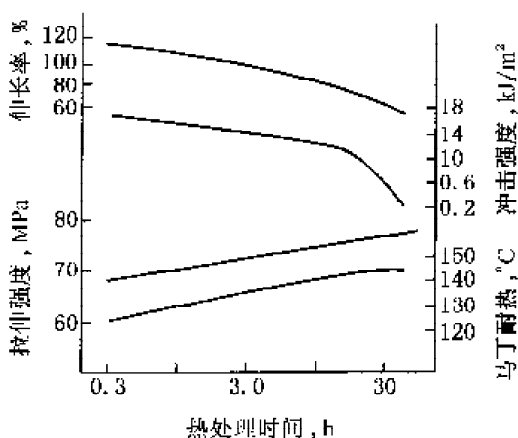


图 1-2-3 聚碳酸酯热处理时间对力学性能的影响(热处理温度 110°C)

工程塑料在高温、高压下成型还必须考虑冷却问题。如果冷却速度过快,就会使试样内部存在不同程度的内应力,从而影响性能。因此许多工程塑料在成型后要进行热处理来消除内应力。图 1-2-3 示出了聚碳酸酯经热处理后对其力学性能的影响。

如果用于成型的试料内含有水分、溶剂及其它易挥发物质,当它在料筒或模具内受热时就会产生一些气体。如它们无法逃逸时,就会在试样内部形成气泡。另外,如果模具设计不当,如浇口、流道太小等,也会产生各种缺陷。

以上列举的一些事例足以说明制备工程塑料试样时,必须对它的加工性能和成型性能有一定的了解,在此基础上规定合理的制样条件,才能避免因制样不当而影响测试结果。

2. 试样尺寸

测试时需按标准试样规定尺寸预先加工试样,目的是使不同材料的测试结果有可比性,或使同一种材料的测试结果不因尺寸不同而影响重复性。

工程塑料的试样尺寸对测试结果有着不容忽视的影响,其中对力学性能测试的影响尤为显著。通常工程塑料的拉伸强度随试样厚度和宽度的增加而降低。为要得到可比或重复性好的结果,必须保证试样形状和尺寸的一致性。

二、状态调节

工程塑料测试结果与外界条件对它的影响有很大关系。其中主要是环境温度、湿度以

及试样放置时间等。这些因素能引起工程塑料的分子量、分子构型、物理态 (分子链运动)变化,也会影响应力的消存等。

1. 湿度

在相对湿度较大的环境中,某些工程塑料会吸收水分,而水分子在工程塑料内部会起到偶联剂和填充剂的作用,从而影响其强度和韧性。例如,尼龙是工程塑料中最具易吸水性的品种之一。图 1-2-4 和图 1-2-5 分别示出了吸水率对尼龙拉伸强度和冲击强度的影响情况。

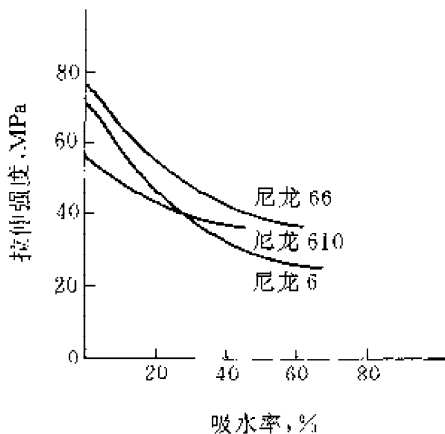


图 1-2-4 尼龙拉伸强度与吸水率的关系

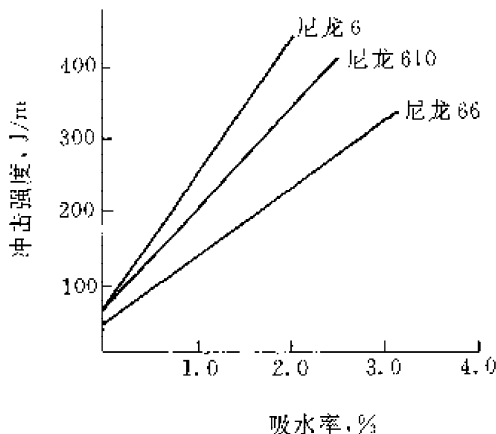


图 1-2-5 尼龙冲击强度与吸水率的关系

2. 温度

环境温度对测试结果的影响十分明显。图 1-2-6 示出了尼龙在不同环境温度下测得的电性能的差异。

3. 放置时间

刚制备好的试样会把制样过程中的残余应力遗留在内,为了使其达到平衡状态,要求有一定的放置时间。有些工程塑料甚至还要进行退火处理。

为了得到重复性好的测试结果,必须在测试前对试样进行温度和湿度的状态调节。并且在相同的温度和湿度条件下进行测试。

按照和国际上通行的规定相一致的原则,中国国家标准 GB2918—82 (1989 年确认)规定的标准状态调节条件为:

- 温度 23℃
- 相对湿度 50%
- 气压 86~106kPa

温度和湿度偏差范围见表 1-2-6。状态调节的时间在没有规定的场合则应不少于 88h。

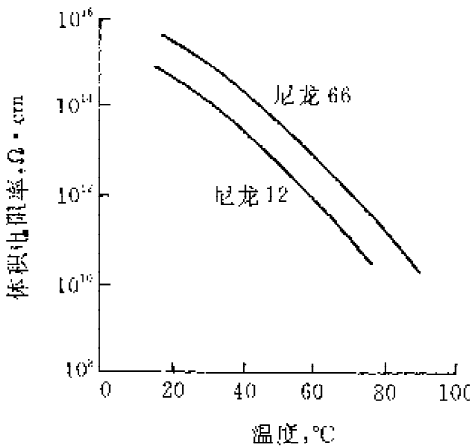


图 1-2-6 尼龙体积电阻率与温度的关系

表 1-2-6 温度和湿度偏差范围

偏差范围	温度,℃	相对湿度,%
正常的	23±2	45~55
加严的	23±1	48~52

第三节 物理性能测试

一、密 度

密度是指在一定温度条件下单位体积物质的质量。温度 $t^{\circ}\text{C}$ 时的密度用 ρ_t 表示。

相对密度是指物质的密度与参考物质的密度在各自规定的条件下之比。符号为 d , 量纲一的量。当以 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 作为参考密度 (水 4°C 时的密度) 时, 过去称为比重。

工程塑料的密度及相对密度, 常用于了解工程塑料物理结构状态及有关的体积计算等。其测定值通常取决于试样的制备方法, 特别是对部分结晶的工程塑料, 试样的制备要严格执行产品标准中的规定。

工程塑料密度的测试方法有浸渍法 (适用于成型工程塑料)、比重瓶法 (适用于粉、粒料)、浮沉法、密度梯度柱法和密度计法等。这里介绍常用的浸渍法和比重瓶法。

(一) 浸渍法

【方法要点】

在一定温度下, 测量试样的质量和与试样同体积的参考液体 (浸渍液) 的体积, 其比值即为该试样的密度。

【测试仪器及条件】

- 1) 分析天平: 感量 0.1mg 。
- 2) 恒温水浴: 温度波动不大于 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。
- 3) 试样: 表面应平整、清洁, 无裂缝, 无气泡。质量约 $1\sim 5\text{g}$ 。用模塑或机械加工方法制成。
- 4) 浸渍液: 选用新鲜蒸馏水或其它不与试样作用的液体。
- 5) 温度: 浸渍液温度控制为 $(23 \pm 0.1)^{\circ}\text{C}$ 。

【操作步骤】

称量细金属丝质量, 然后用细金属丝的一端悬挂成型工程塑料试样, 于天平上称量, 精确至 0.1mg 。将浸渍液体注入适当容器中, 将其放置在合适的支架上, 使之不得与天平活动部分相接触。将与金属丝连接的试样浸入浸渍液中, 细金属丝的另一端悬于天平上, 使试样浸于液面下 1cm 处, 再次称量, 准确至 0.1mg 。

【结果计算】

按式 (1-2-1) 计算试样 $t^{\circ}\text{C}$ 时的密度:

$$\rho_t = \frac{a \cdot \rho_x}{a - b}, \text{g}/\text{cm}^3 \quad (1-2-1)$$

式中: a ——试样在空气中的质量, g ;

b ——试样在浸渍液中的质量, g ;

ρ_x ——浸渍液的密度, g/cm^3 。

每组试样三个, 取其算术平均值, 至少取三位有效数字。若有要求时, 按式 (1-2-2) 计算标准偏差 S :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (1-2-2)$$

式中: X ——单个测定值;

$\bar{X}$ ——一组试样的算术平均值;

n ——测定个数。

【方法说明】

① 也可用尼龙细丝代替细金属丝,它们的直径应小于 0.13mm。

② 如若试样密度小于浸渍液体,仍可按上述方法测定,但需在金属丝上加挂一个重锤(铜锤或不锈钢锤),以保证试样浸没于浸渍液中。重锤的表观质量损失可以认为是金属丝的一部分。这时试样的密度按式 (1-2-3) 计算:

$$\rho_t = \frac{a \cdot \rho_x}{a - (b - c)} \quad (1-2-3)$$

式中: c ——重锤的表观质量损失, g;

ρ_t 、 ρ_x 、 a 、 b ——与式 (1-2-1) 相同。

(二) 比重瓶法

【方法要点】

通过测量比重瓶中试样所排开的浸渍液的体积所具有的质量,计算出试样的体积,再由试样的质量和体积,计算出试样密度。

【测试仪器及条件】

① 分析天平:感量 0.1mg。

② 比重瓶:容积为 50mL,有侧臂式溢流毛细管,并装有 0~30℃、分度为 0.1℃ 的温度计。

③ 恒温水浴:温度波动不大于 ±0.1℃。

④ 试样:粉状、粒状、薄膜或片材的碎片。质量约 1~5g。

⑤ 浸渍液:选用新鲜蒸馏水或其它不与试样作用的液体。

【操作步骤】

① 在标准环境温度下,称量干燥的空比重瓶质量。

② 将试样装入比重瓶中,称其质量。

③ 注入浸渍液浸没试样。将比重瓶抽真空,排除试样吸附的全部空气。

④ 消除真空后,将比重瓶放入恒温水浴中,注入浸渍液至比重瓶刻度处。

⑤ 待比重瓶达到恒温后,再调节浸渍液面至比重瓶刻度处。

⑥ 取出比重瓶擦干,立即称量。

⑦ 将比重瓶倒空,清洗后装入浸渍液,抽真空排除空气,恒温后,再调节液面至比重瓶刻度处,称其质量。

【结果计算】

试样密度按式 (1-2-4) 计算:

$$\rho_t = \frac{m \cdot \rho_x}{m_1 - m_2} \quad (1-2-4)$$

式中: ρ_t ——温度 $t^\circ\text{C}$ 时试样的密度, g/cm^3 ;

m ——试样的质量, g ;

m_1 ——比重瓶内浸渍液的质量, g ;

m_2 ——容纳有试样的比重瓶内浸渍液的质量, g ;

ρ_x ——浸渍液的密度, g/cm^3 。

每组测量三次, 取其算术平均值, 精确至小数点后三位数。

二、表 观 密 度

表观密度又称视密度或堆积密度。它是粉状、颗粒状、片状、纤维状等模塑料自由堆积时单位体积的质量。工程塑料的表观密度可为其包装、模具型腔和挤出螺杆的设计提供参数。

【方法要点】

工程塑料模塑料试样从规定的漏斗中自由地流进测量圆筒中, 计算单位体积的质量。

【测试仪器】

1) 天平: 感量 0.1g 。

2) 漏斗: 金属制成, 内部光滑, 形状和尺寸见图 1-2-7 (在测试粉料试样时也可用图 1-2-8 漏斗)。

3) 测量圆筒: 金属制成, 内部光滑, 容积 $(100 \pm 0.5)\text{cm}^3$, 内径为 40mm 。

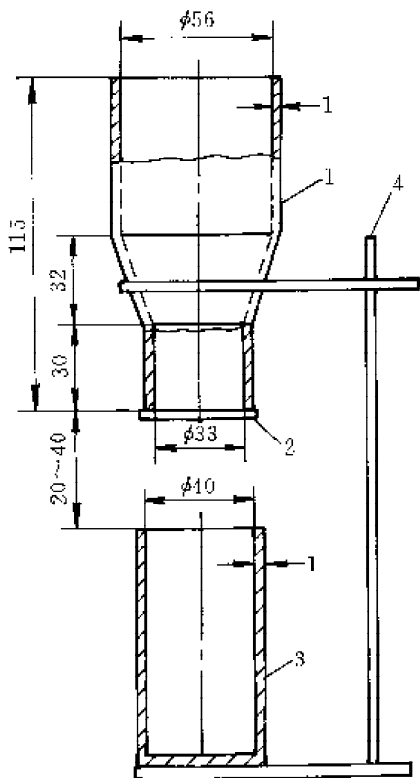


图 1-2-7 表观密度测量装置

1—漏斗; 2—挡料板; 3—测量圆筒 [容积 $(100 \pm 0.5)\text{cm}^3$]; 4—支架

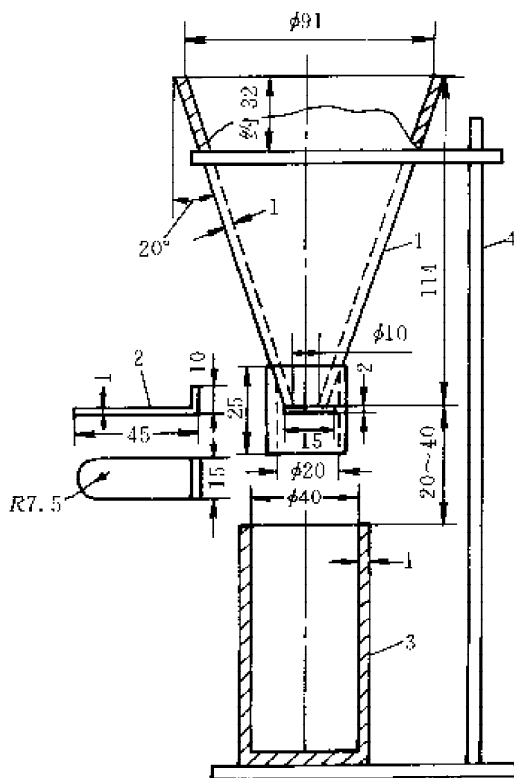


图 1-2-8 表观密度测量装置

1—漏斗; 2—挡料板; 3—测量圆筒 [容积 $(100 \pm 0.5)\text{cm}^3$]; 4—支架

4) 量筒或量杯:150~200mL。

6) 刮料板:直尺。

6) 挡料板:塑料板、木板、金属板均可。

【测试步骤】

1) 将漏斗垂直架置,其下端小口在测量圆筒正上方 20~40mm,并尽可能与测量圆筒同轴线。

2) 用挡料板封闭漏斗下端小口,将 $(15 \pm 5)\text{cm}^3$ 试样倒入漏斗中。

3) 迅速抽开挡料板,让试样自由流进测量圆筒,用刮板垂直刮去测量圆筒上部多余的试样,并在天平上称量圆筒中的试样,精确至 0.1g。

4) 每批料进行三次测试 (已测试样不得重复使用)。

【结果计算】

模塑料表观密度 D_a , g/cm^3 按下式计算:

$$D_a = \frac{m}{V} \quad (1-2-5)$$

式中: m ——测量圆筒中试样的质量,g;

V ——测量圆筒的容积 (100cm^3)。

测试结果以三次测量的算术平均值表示,取两位有效数字。

【方法说明】

对不能从规定漏斗中流过的模塑料,按下述方法测试表观密度。

1. 测试仪器

1) 天平:感量 0.1g。

2) 测量圆筒:金属制成,内部光滑,形状和尺寸如图 1-2-9 (a)所示。

3) 柱塞:金属制成,外部光滑,形状和尺寸如图 1-2-9 (b)所示,外侧有刻度,其间隔为 1mm,总质量为 $(2300 \pm 20)\text{g}$ (用铅球调节)。

2. 测试步骤

1) 将测量圆筒放在平台上,将 $(60 \pm 0.2)\text{g}$ 试样,一小部分一小部分疏松地装入测量圆筒中,尽可能放均匀,其表面呈水平状态。

2) 将柱塞缓慢压在试样上,放置 1min,读出试样高度,精确至 1mm。

3) 每批料进行三次测试 (已测试样不得重复使用)。

3. 结果计算

不能从规定漏斗中流过的模塑料表观密度 D_a , g/cm^3 按下式计算:

$$D_a = \frac{m}{A \cdot h} \quad (1-2-6)$$

式中: A ——测量圆筒内部横截面积, cm^2 ;

h ——测量圆筒内试样的高度,cm;

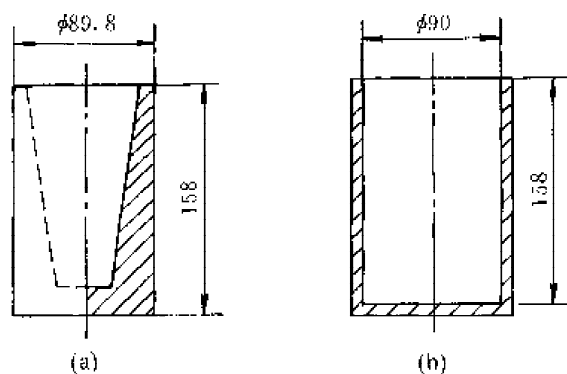


图 1-2-9 不能从规定漏斗中流过的模塑料的表观密度测量装置

m ——测量圆筒内试样的质量 (60g)。

测试结果以三次测量的算术平均值表示,取两位有效数字。

三、吸 水 性

工程塑料制品在使用中其质量并非为恒定值,这主要是由于它们从周围环境中吸湿而使质量增加。其增加的速度和程度则取决于周围介质的湿度及工程塑料本身的特性和使用条件。由于吸湿性对工程塑料制品的外观、尺寸稳定性、力学性能、热性能及电绝缘性能等都有影响,因此,通过对工程塑料吸水性的测定可了解在此条件下水分对上述性能的影响程度。

【方法要点】

在规定温度下,将试样完全浸入水中经一定时间,测定浸水后或再干燥除水后试样质量的变化。

可以用下面三种指标表示吸水性:

- 1) 吸水量;
- 2) 单位表面积吸水量;
- 3) 吸水百分率。

【设备及仪器】

- 1) 天平:感量 1mg。
- 2) 烘箱:能控制在 $(50 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 或其它商定的温度。
- 3) 容器:盛有经煮沸过的蒸馏水或同等纯度的水并能控制水温在规定的温度范围内。
- 4) 干燥器。
- 5) 量具:精确度为 0.02mm。

【试样】

试样可用模塑或机械加工方法制备。试样表面应平整、光滑、清洁,且无因加工引起的烧焦痕迹。试样不少于三个。

1) 模塑料:试样为直径 $(50 \pm 1)\text{mm}$,厚 $(3 \pm 0.2)\text{mm}$ 的圆片。模塑方法及条件按产品标准规定。

2) 挤塑料:试样为直径 $(50 \pm 1)\text{mm}$,厚 $(3 \pm 0.2)\text{mm}$ 的圆片,应从厚度为 $(3 \pm 0.2)\text{mm}$ 的板材中加工制得。板材的制备方法及条件按产品标准规定。

3) 板材:试样为边长 $(50 \pm 1)\text{mm}$ 的正方形,用机械加工方法从板材加工制备。

注:① 若板材的标称厚度小于或等于 25mm,试样厚度与板材厚度相同。

② 若板材标称厚度大于 25mm,应只从试样一面加工,使试样厚度成为 25mm。

4) 管材:外径小于或等于 50mm 的管材,沿垂直于管材中心轴的平面切取 $(50 \pm 1)\text{mm}$ 长的一段作为试样;外径大于 50mm 的管材,沿垂直于管材中心轴的平面切取 $(50 \pm 1)\text{mm}$ 的一段,再沿通过管材中心轴的两个平面切割,使所得试样外表面的弧长为 $(50 \pm 1)\text{mm}$ 。

5) 棒材:外径小于或等于 50mm 的棒材,沿垂直于棒材中心轴的平面切取 $(50 \pm 1)\text{mm}$ 长的一段作为试样;外径大于 50mm 的棒材,将直径同心地减少至 $(50 \pm 1)\text{mm}$ 后,再

切取 50 ± 1 mm 长的一段作为试样。

6) 型材: 切取 50 ± 1 mm 长的一段型材, 试样可以是这段型材, 或者是经加工后的这段型材, 即通过减小型材横截面的一个或多个尺寸, 使其厚度尽可能接近 3 ± 0.2 mm 的这段型材。在此情况下, 试样尺寸及加工方法应由有关方面商定。

【操作步骤】

1. 一般要求

1) 在浸水过程中, 为避免水中的提取物质变得过浓, 每平方厘米试样表面积所用蒸馏水量至少应为 8 mL。

2) 组成相同或经证实互不干扰的几个或几组试样, 可放入同一容器内完成浸水步骤, 但试样之间及试样与容器之间不能有面接触。

3) 浸水温度为 23°C 时, 标准浸水时间为 24 ± 1 h。若经有关方面商定需使用更长的浸水时间, 则每天至少应搅动容器中的水一次。

2. 测试方法

1) 将试样放入 $50 \pm 2^\circ\text{C}$ 烘箱中干燥 24 ± 1 h, 然后在干燥器内冷却到室温, 称量每个试样, 精确至 1 mg。

2) 将试样浸入蒸馏水中, 水温控制在 $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 若产品标准另有规定, 水温允许偏差可以为 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。

3) 浸水 24 ± 1 h 后, 取出试样, 用清洁、干燥的布或滤纸迅速擦去试样表面的水, 再次称量试样, 精确至 1 mg。试样从水中取出到称量完毕必须在 1 min 之内完成。

4) 若要求考虑抽提出的水溶性物质, 在完成上述 1)~3) 步骤后, 将试样放入 $50 \pm 2^\circ\text{C}$ 烘箱中再次干燥 24 ± 1 h, 然后将试样放入干燥器内冷却到室温, 再次称量试样, 精确至 1 mg。

【结果计算】

1. 不考虑抽提出的水溶性物质

试样的吸水量、单位表面积的吸水量和吸水百分率分别用式 (1-2-7)、(1-2-8) 和 (1-2-9) 计算:

$$W_a = m_2 - m_1 \quad (1-2-7)$$

$$W_s = \frac{m_2 - m_1}{A} \quad (1-2-8)$$

$$W_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (1-2-9)$$

式中: W_a ——试样的吸水量, mg;

m_1 ——浸水前试样的质量, mg;

m_2 ——浸水后试样的质量, mg;

W_s ——试样单位表面积的吸水量, mg/cm^2 ;

A ——试样原始表面积, cm^2 ;

W_m ——试样吸水百分率。

2. 考虑抽提出的水溶性物质

试样的吸水量、单位面积的吸水量和吸水百分率分别用式 (1-2-10)、(1-2-11)和 (1-2-12)计算:

$$W_a = m_2 - m_3 \quad (1-2-10)$$

$$W_s = \frac{m_2 - m_3}{A} \quad (1-2-11)$$

$$W_m = \frac{m_2 - m_3}{m_3} \times 100 \quad (1-2-12)$$

式中: W_a ——试样的吸水量, mg;

m_2 ——浸水后试样的质量, mg;

m_3 ——再次干燥后试样的质量, mg;

W_s ——试样单位面积的吸水量, mg /cm²;

A ——试样原始表面积, cm²;

W_m ——试样的吸水百分率, %;

测试结果以每组试样的算术平均值表示。

四、透 气 性

【方法原理】

在一定温度下,使工程塑料薄膜试样两侧保持一定的气体压差,测量试样低压侧的气体压力变化,计算透气系数和透气量。

【试样及预处理】

工程塑料薄膜试样直径为 75mm。试样表面应清洁,无皱褶。每组试样 3 个。

测试前试样应进行预处理。预处理方法是在无水干燥器中干燥 24h,或按产品标准规定处理。

【测试设备】

透气试验仪如图 1-2-10 所示,由下列各部分组成:

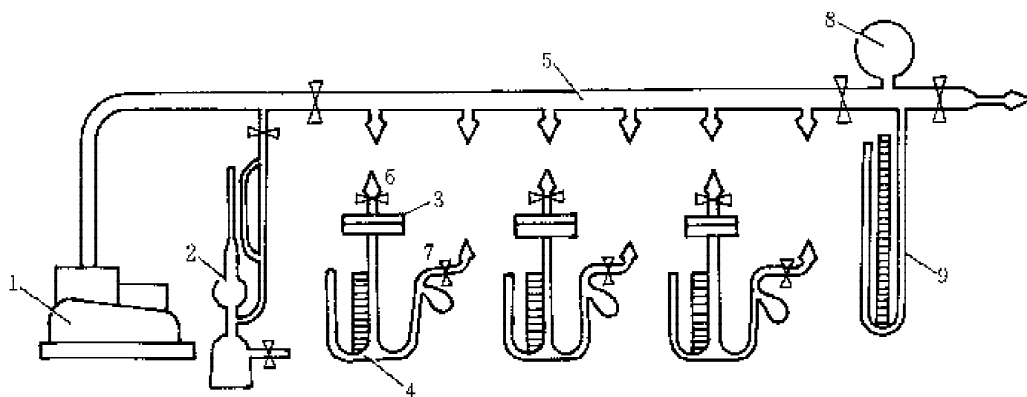


图 1-2-10 透气试验仪

1—真空泵; 2—麦氏真空计; 3—透气室; 4—透气室压力计; 5—主管; 6—空压侧真空活塞;
7—低压侧真空活塞; 8—贮气瓶; 9—封闭式 U 形压力计

- ①) 真空泵。
- ②) 麦氏真空计:可测量至 0.133Pa。
- ③) 封闭式 U 形压力计:量程 101.3kPa 以上,准确度 133Pa。
- ④) 贮气瓶:体积 2L 以上。
- ⑤) 透气室和透气室压力计:尺寸和连接方法如图 1-2-11 和图 1-2-12 所示。

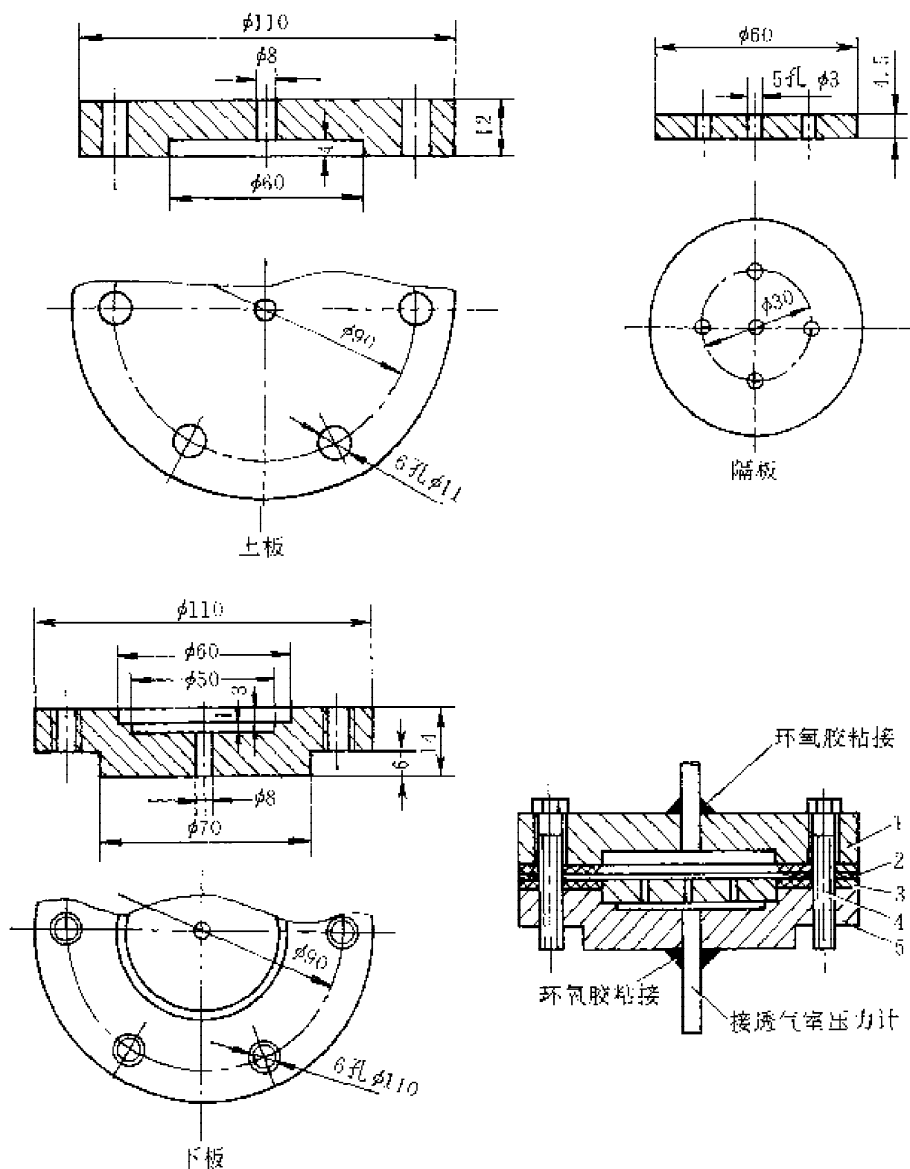


图 1-2-11 透气室

1—上板; 2, 3—橡皮垫圈; 4—试样; 5—下板

⑥) 辅助设备:量具 (准确度 0.002mm)、高频真空检漏计、吹风机。

【测试条件】

- ①) 温度: $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 或按产品标准规定。
- ②) 压力: 高压侧 101.3kPa 或按产品标准规定, 低压侧 1.33~0.133Pa。
- ③) 气体种类按使用要求选择, 并需干燥。

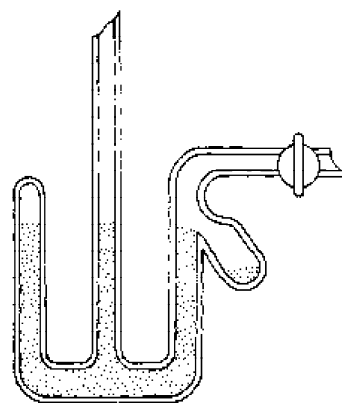


图 1-2-12 透气室压力计

【测试步骤】

1) 测量试样厚度,至少测量 5 点,取算术平均值。

2) 将试样放在粗滤纸(直径 66mm)上,密封于透气室中(见图 1-2-11)。用橡皮管将透气室与主管连接,用真空密封胶密封接头。此时透气室压力计中的水银全部在贮器中。

3) 关闭透气室高压侧活塞,进行抽空。用高频真空检漏计探测高压侧,检查薄膜有无漏气现象。在确定薄膜不漏气后,打开高压侧活塞继续抽空至规定的真空度。关闭透气室高、低压侧活塞,停止抽空,将贮器中的水银倾入透气室压力计中(图 1-2-12)。

4) 将气体灌入贮气瓶至规定的压力,打开透气室高压侧活塞,立即记录透气室压力计中水银柱高度(读至 66.5Pa)和高压侧的压力(读至 133Pa)。以后每间隔一定时间,记录透气室压力计中水银柱的高度。在达到稳定透过之后,继续记录三次,取算术平均值。

5) 测试结束后取下透气室,将透气室压力计中的水银全部倒回贮器中,取出试样。

注:① 时间间隔的选择,以透气室压力计水银柱高度下降 5mm 为宜。

② 透气室压力计水银柱每次下降高度相差不超过 10% 时,认为达到稳定通过。

【结果计算】

透气系数 P_g [$\text{cm}^3 \cdot \text{cm} / (\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{kPa})$]按式 (1-2-13) 计算:

$$P_g = \frac{\Delta p}{\Delta t} \cdot \frac{V}{S} \cdot \frac{d}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{1}{p_1 - p_2} \quad (1-2-13)$$

式中: $\frac{\Delta p}{\Delta t}$ ——在稳定透过时,单位时间内低压侧压力变化的算术平均值, $\text{kPa} \cdot \text{s}$;

V ——低压侧体积, cm^3 ;

S ——试样的测试面积, cm^2 ;

d ——试样厚度, cm ;

T ——测试温度, K ;

$p_1 - p_2$ ——试样两侧的压差, kPa ;

T_0, p_0 ——标准状态下的温度 (K) 和压力 (kPa)。

透气量 Q_g [$\text{cm}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{kPa} \cdot 24\text{h})$]按式 (1-2-14) 计算:

$$Q_g = \frac{\Delta p}{\Delta t} \cdot \frac{V}{S} \cdot \frac{T_0}{p_0 \cdot T} \cdot \frac{24}{p_1 - p_2} \quad (1-2-14)$$

式中: $\frac{\Delta p}{\Delta t}$ ——在稳定通过时,单位时间内低压侧压力变化的算术平均值, $\text{kPa} \cdot \text{h}$;

V ——低压侧体积, cm^3 ;

S ——试样的测试面积, m^2 ;

$p_1 - p_2$ ——试样两侧的压差, kPa ;

T_0, p_0 ——标准状态下的温度 (K) 和压力 (kPa)。

测试结果以每组试样的算术平均值表示,至少取两位有效数据。

【方法说明】

1) 透气试验仪的透气室由不锈钢制成,分为上、下两板。上板以环氧胶粘接带真空活塞的玻璃管,下板粘接透气室压力计。

2) 透气室压力计成 W 形,中间为直径 1.2~1.5mm 的测量毛细管,直径应均匀。

g) 装置好的透气室和透气室压力计,必须进行空白试验,要求在 24h 内透气室压力计中的压力变化不大于 133Pa。

五、透水蒸气性

本方法规定了在装有干燥剂的试验杯中测定工程塑料材料的透水蒸气性。适用于工程塑料薄膜和片材等材料的透水蒸气性的测定。

【方法要点】

在规定的温度、相对湿度条件下,试样两侧保持一定的水蒸气压差,测量透过试样的水蒸气压差,计算水蒸气透过量和水蒸气透过系数。

水蒸气透过量 (WVT)是指在规定的温度、相对湿度、一定的水蒸气压差和一定厚度的条件下,1m² 的试样在 24h 内透过的水蒸气量。

水蒸气透过系数 (P_v)是指在规定的温度、相对湿度环境中,单位时间内,单位水蒸气压差下,透过单位厚度、单位面积试样的水蒸气量。

【仪器和试剂】

1) 恒温恒湿箱:温度精度为 $\pm 0.6^\circ\text{C}$,相对湿度精度为 $\pm 2\%$,风速为 $0.5 \sim 2.5\text{m/s}$ 。恒温恒湿箱关闭门之后,15min 内应重新达到规定的温、湿度。

2) 透湿杯及定位装置:透湿杯由质轻、耐腐蚀、不透水、不透气的材料制成。有效测定面积至少为 25cm^2 。见图 1-2-13。

3) 分析天平:感量为 0.1mg 。

4) 干燥器。

5) 量具:测量薄膜厚度精度为 0.001mm ;测量片材厚度精度为 0.01mm 。

6) 密封蜡:应在温度 38°C 、相对湿度 90% 条件下暴露不会软化变形。若暴露表面积为 50cm^2 ,则在 24h 内质量变化不能超过 1mg 。

密封蜡配方为:85%石蜡 (熔点为 $50 \sim 52^\circ\text{C}$) 和 15%蜂蜡组成;或者 80%石蜡 (熔点为 $50 \sim 52^\circ\text{C}$) 和 20%粘稠聚异丁烯 (低聚合度) 组成。

7) 干燥剂:无水氯化钙,粒度为 $0.60 \sim 2.36\text{mm}$ 。使用前应在 $(200 \pm 2)^\circ\text{C}$ 烘箱中干燥 2h。

【试样】

1) 试样应平整、均匀,不得有孔洞、针眼、皱折、划伤等缺陷。每一组至少取三个试样。对两个表面材质不相同的样品,在正反两面各取一组试样。

2) 对于低透湿量或精度要求较高的样品,应取一个或两个试样进行空白试验。

3) 试样用标准的圆片冲刀冲切。试样直径应为杯环内径加凹槽宽度。

【测试条件】

条件 A:温度 $(38 \pm 0.6)^\circ\text{C}$,相对湿度 $(90 \pm 2)\%$;

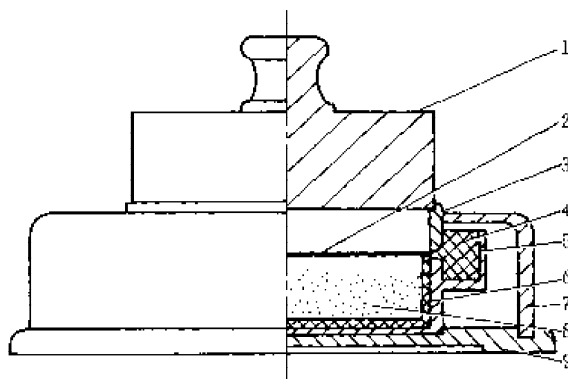


图 1-2-13 透湿杯组装图

1—压盖 (黄铜); 2—试样; 3—杯环 (铝); 4—密封蜡;
5—杯子 (铝); 6—杯皿 (玻璃); 7—导正环 (黄铜);
8—干燥剂; 9—杯台 (黄铜)

条件 B: 温度 23 ± 0.6 °C, 相对湿度 90 ± 2 %。

【测试步骤】

1) 将干燥剂放入清洁的杯皿中, 加入量应使干燥剂距试样表面约 3mm 为宜。

2) 将盛有干燥剂的杯皿放入杯子中, 然后将杯子放到杯台上, 试样放在杯子正中, 加上杯环后, 用导正环固定好试样的位置, 再加上压盖。

3) 小心地取下导正环, 将熔融的密封蜡浇灌在杯子的凹槽中。密封蜡凝固后不允许产生裂纹及气泡。

4) 待密封蜡凝固后, 取下压盖和杯台, 并清除粘在透湿杯边及底部的密封蜡。

5) 称量封好的透湿杯。

6) 将透湿杯放入已调好温度、湿度的恒温恒湿箱中, 16h 后从箱中取出, 放入处于 23 ± 2 °C 环境下的干燥器中, 平衡 30min 后进行称量。

7) 称量后将透湿杯重新放入恒温恒湿箱内, 以后每两次称量的间隔时间为 24、48 或 96h。

注: 若试样透湿量过大, 亦可对初始平衡时间和称量间隔时间作相应调整。但应控制透湿杯增量不少于 5mg。

8) 重复 7) 步骤, 直到前后两次质量增量相差不大于 5% 时, 方可结束测试。

注: ① 每次称量时, 透湿杯的先后顺序应一致, 称量时间不得超过间隔时间的 1%, 每次称量后应轻微振动杯子中的干燥剂使其上下混合。

② 干燥剂吸湿总增量不得超过 10%。

【结果计算】

1) 水蒸气透过量 (WVT) 按式 (1-2-15) 计算:

$$WVT = \frac{24 \cdot \Delta m}{A \cdot t} \quad (1-2-15)$$

式中: WVT——水蒸气透过量, g / (m² · 24h);

t ——质量增量稳定后的两次间隔时间, h;

Δm —— t 时间内的质量增量, g;

A ——试样透水蒸气的面积, m²。

注: 若需做空白试验的试样计算水蒸气透过量时, 式 (1-2-15) 中的 Δm 需扣除空白试验中 t 时间内的质量增量。

2) 水蒸气透过系数 (P_v) 按式 (1-2-16) 计算:

$$P_v = \frac{\Delta m \cdot d}{A \cdot t \cdot \Delta p} = 1.157 \times 10^{-9} \times \frac{WVT \cdot d}{\Delta p} \quad (1-2-16)$$

式中: P_v ——水蒸气透过系数, g · cm / (m² · s · Pa);

WVT——水蒸气透过量, g / (m² · 24h);

d ——试样厚度, cm;

Δp ——试样两侧的水蒸气压差, Pa。

测试结果以每组试样的算术平均值表示, 取两位有效数字。

六、透 光 性

透光率和雾度是用来衡量透明工程塑料透光性的重要参数,可用于控制产品和研究产品的光学性能。

【术语】

① 透光率:透过试样的光通量和射到试样上的光通量之比,用百分数表示。

② 雾度:透过试样而偏离入射光方向的散射光通量与透射光通量之比,用百分数表示。

【适用范围】

本测试方法适用于测定板状、片状、薄膜状透明工程塑料的透光率和雾度。

【试样】

① 试样尺寸: 50×50 (mm); 原厚。

② 试样应均匀,不应有气泡,两测量表面应平整光滑且平行,无划伤,无异物和油污等。

③ 每组试样不少于 3 个。

④ 试样一般不进行预处理,特殊情况按产品标准规定,或按供需双方商定的条件进行预处理后再测试。

【测试条件】

温度: 23 ± 5 (°C);

相对湿度: 60 ± 20 (%)。

【测试仪器】

① 积分球式雾度计 (图 1-2-14)。并满足下列各项要求:

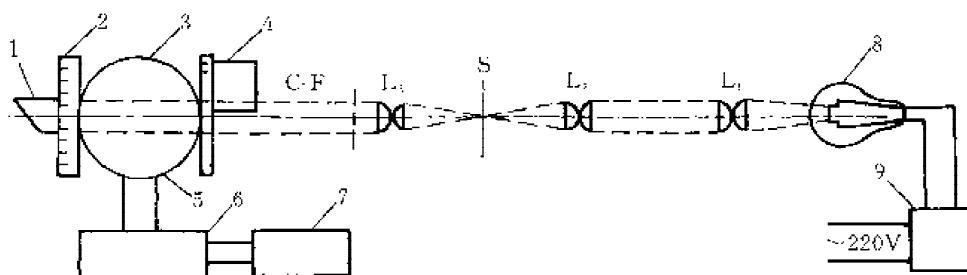


图 1-2-14 积分球式雾度计原理图

1—陷阱; 2—标准板; 3—积分球; 4—试样架; 5—光电池; 6—控制线路; 7—检流计;
8—光源; 9—稳压器; L_1 、 L_2 、 L_3 —透镜; S—光孔; C-F—滤光器

① 积分球:用于收集透过的光通量。只要出入窗口的总面积不超过积分球内反射表面积 的 4%,任何直径的球均可适用。

② 出口窗和入口窗的中心在球的同一最大圆周上,两者的中心与球的中心构成的角度在 170° 以上,光电池置于与入口窗中心和球心成 $(90 \pm 10)^\circ$ 的球面上。出口窗的直径与入口窗的中心构成角度在 8° 以内。

③ 反射面:积分球内表面、挡板和反射标准板,应该具有基本相同的反射率。在整个可见光波长区具有高反射率和无光泽。

④ 聚光透镜:照射在试样上的光束,应基本上是单向平行光线,不能偏离光轴 3° 以上。光束的中心和出口窗的中心是一致的,这个光束在出入窗口不应引起光晕。

在出口窗处光束的截面近似圆形,边界分明;对应入口中心构成角度与出口窗对入口中心构成 $(1.3 \pm 0.1)^\circ$ 的环带。

⑤ 陷阱:无试样和标准板时,能够全部吸收光。

⑥ 光电池:球内光的强度用光电池测定。其输出在使用光强范围内和入射光强度成比例,并具有 1% 以内的精度。当积分球在暗色时检流计无偏转。

⑦ 检流计:刻度为 100 等分。

⑧ 光源:标准 C 光源。

2) 游标卡尺:精确度 0.05mm 。

3) 测厚仪或千分表:精确度 0.001mm 。

【测试步骤】

1) 接通电源,使仪器稳定 10min 以上。

2) 测量试样的厚度。板、片状试样精确到 0.05mm ,薄膜试样精确到 0.001mm 。

3) 调节零点旋钮,使积分球在暗色时检流计的指示为零。

4) 当光线无阻挡时,调节仪器使检流计的指示为 100,然后按表 1-2-7 要求操作,读取检流计的指示刻度。

表 1-2-7

检流计的读数	试样是否在位置上	陷阱是否在位置上	标准白板是否在位置上	得 到 的 量
T_1	不在	不在	在	入射光通量 (100)
T_2	在	不在	在	透射光通量
T_3	不在	在	不在	仪器的散射光通量
T_4	在	在	不在	仪器和试样的散射光通量

【结果计算】

根据式 (1-2-17) 计算每个试样的透光率 T_t :

$$T_t = \frac{T_2}{T_1} \times 100\% \quad (1-2-17)$$

根据式 (1-2-18) 计算每个试样的雾度值 H :

$$H = \left(\frac{T_4}{T_2} - \frac{T_3}{T_1} \right) \times 100\% \quad (1-2-18)$$

试验结果以一组试样的算术平均值表示,精确到小数点后一位。

标准偏差值 S 按式 (1-2-19) 计算:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (\bar{X} - X)^2}{n-1}} \quad (1-2-19)$$

式中: X ——单个测定值;

$\bar{X}$ ——一组测定值的算术平均值;

n ——测定值个数。

七、折 射 率

折射率是透明材料光学性能中一个基本参数。透明工程塑料折射率的测定,对于控制工程塑料的纯度和组分,以及设计光学部件等都十分重要。

当光线由真空中入射到介质与真空的分界面时,一部分光线被介质表面反射到真空中;另一部分光线则折射进入到介质中。入射光线和法线夹角的正弦与折射光线和法线夹角的正弦之比定义为该介质的折射率 n ,即:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha'} \quad (1-2-20)$$

上述介质对于真空的折射率称为该介质的绝对折射率。一般规定空气的绝对折射率为 1,所以通常所指的某物质的折射率,就是指它相对于空气的折射率。

测定透明工程塑料折射率的方法有阿贝折射仪法、显微镜法及 V 形棱镜折射仪法等。这里仅介绍最常用的阿贝折射仪法。

【方法要点】

图 1-2-15 示出了阿贝折射仪测固体透明材料折射率的原理图。

在标准直角棱镜上放置待测固体。单色光线在掠射情况下,射入与固体试样接触的棱镜上面的缘面,经过折射后,光线穿出棱镜产生一偏向角 φ 。设待测固体折射率为 n' ,要求 n' 小于标准棱镜折射率 n ,当光线经过 A 点掠射入棱镜时,根据折射定律有:

$$n' = n \sin \varphi \quad (1-2-21)$$

式中, φ 为临界折射角。

同理,对于 B 点则有:

$$n \cdot \sin (90^\circ - \varphi) = \sin \varphi \quad (1-2-22)$$

或

$$n \cdot \cos \varphi = \sin \varphi \quad (1-2-23)$$

再经计算可得:

$$n' = \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi} \quad (1-2-24)$$

阿贝折射仪的标准直角棱镜的折射率 n 是已知的,所以测出偏向角 φ ,就能测得固体透明材料的折射率。

【试样】

要求试样能良好地固定于折射仪的棱镜上。一般采用表面积为 $6.3\text{mm} \times 12.7\text{mm}$ 的试样,厚度为原厚度。为提高测试精度,与棱镜接触的试样表面应平整。将试样经仔细抛光后,放于棱镜上,观察目镜视场中明暗场之间的分界线。如该分界线呈一细直线,则表示试

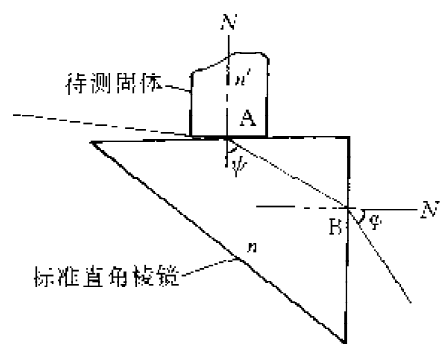


图 1-2-15 阿贝折散仪原理图

样与棱镜的接触是满意的。

【测试仪器及条件】

- 1) 阿贝折射仪。
- 2) 超级恒温水浴:温度波动不大于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。
- 3) 光源:一般天然光源或具有少量黄色光的白炽灯。
- 4) 温度: $23 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

【测试步骤】

1) 将一小滴接触液滴于试样抛光面的中心,将此表面与折光仪棱镜面很好接触,使接触液膜向四面铺展开。试样和棱镜表面应平行,并使该平面接近入射光的方向。但不应使接触液溢出到入射光表面的外缘。

2) 旋转目镜,调节聚焦,使视场中出现如图 1-2-16 所示的图像。

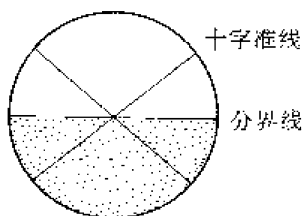


图 1-2-16 视场观察图

3) 移动反光镜,使光线射入棱镜。转动棱镜,使在明暗场之间的分界线几乎落在视场中十字准线的交叉点上。用左右调节旋钮的方法,使分界线处除了黑白色外其它颜色消除。反复调节,使之能明显观察到分界线颜色的变化。在所规定的试验温度下保持 5min,再使分界线准确地对准十字线交叉点位置,读取折射率,精确至四位小数。

折射率以三次测试的算术平均值表示。

【方法说明】

1) 为了使被测透明工程塑料试样能与阿贝折射仪棱镜紧密接触,需使用少量接触液体。要求接触液与试样表面接触经 2h 后,试样表面不会变软或有其它的侵蚀现象。并要求接触液的折射率数值应介于待测试样和棱镜之间。通常,聚酰胺、聚碳酸酯、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚对苯二甲酸丁二醇酯、氟塑料等工程塑料,采用一溴代萘为接触液。

2) 对于经注射和模塑加工制得的各向异性的工程塑料材料,运用阿贝折射仪测得的折射率,仅为接近折射仪棱镜的小面积的一薄层材料的折射率的平均值。通常应在试样表面和材料中间的多处部位进行测量。一般可在垂直和平行于流动方向的两个接触面上进行测量。试样与棱镜接触之后,可以在光源方向沿着棱镜表面小心地移动一个较小距离,此时折射率随之有所变化,此过程需重复多次,并用足够多数量的样品测量其折射率变化范围,再由此测得折射率读数的范围和平均值。

八、黄色指数

对于不含有荧光物质的无色透明、半透明和近白色不透明的工程塑料,可用其外观黄色程度的测量来评价工程塑料品质和老化程度。某些常用工程塑料如聚碳酸酯、ABS 等往往以黄色指数的变化作为经长期暴露于光和热环境中性能变化的评定依据。

【定义】

工程塑料对国际照明委员会 (CIE)标准 C 光源,以氧化镁为基准的黄色值,定义为工程塑料的黄色指数。

黄色指数 YI 用式 (1-2-25)表示。

$$YI = \frac{100 (1.28X - 1.06Z)}{Y} \quad (1-2-25)$$

式中, X 、 Y 、 Z 分别为所测得的三刺激值。

【适用范围】

本方法适用于板状、片状、薄膜状和粉、粒状试样, 不适用于含有荧光物质的工程塑料。

【试样】

1) 试样应色泽均匀, 质地均匀, 内部无气泡, 表面无粘污。板、片、薄膜状试样表面无擦伤等缺陷。

2) 透明和半透明的板、片状试样, 两表面应平整且平行; 不透明试样至少有一个表面平整; 薄膜试样不应有明显的皱折; 粉状、颗粒状试样应大小均匀。

3) 板状、片状、薄膜状试样的大小, 根据仪器要求而定; 粉状、颗粒状试样, 每次加入固定的量, 振实并充满测量容器。

4) 试样一般不进行预处理, 特殊情况按产品标准规定或按供需双方商定的条件进行预处理后再进行试验。

5) 每组试样不少于三个。

【测试条件】

温度: 23 ± 5 °C; 相对湿度: 50 ± 20 %。

【测试方法分类】

1) 反射法: 测定相对于基准白板的光谱反射率, 适用于不透明或半透明工程塑料。测量时的简单光路如图 1-2-17 所示。装置中附有盖子, 测量时屏蔽外来光线的干扰。

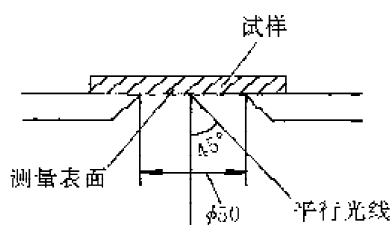


图 1-2-17 反射法测黄色指数

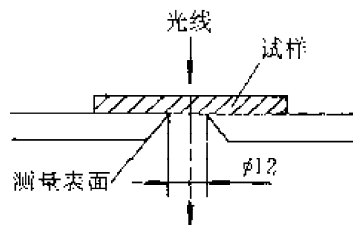


图 1-2-18 透射法测黄色指数

2) 透射法: 测定相对于空气的光谱透射率, 适用于透明工程塑料。测量时的简单光路如图 1-2-18 所示。

【测试仪器】

1) 自动记录分光光度计: 应符合国际照明委员会 (CIE) 1931 年表色系 (即 CIE 1931XYZ 系统) 对测量仪器的要求。

2) 基准白板: 完全反射的漫射体。采用新熏制的氧化镁制作。

3) 工作白板: 用碳酸镁、硫酸钡及白色玻璃等材料制成。

【测试与计算】

对于透明试样, 应测定其相对于空气的光谱透射率; 对于不透明和半透明试样, 应测定相对于基准白板或工作白板的光谱反射率, 背景为白色工作板; 粉状、颗粒试样需在玻璃容器中用反射法从底面测定, 为防止外界光线的影响, 玻璃容器上应盖一个黑罩。

按所用仪器的使用要求进行校准和测量。利用所测得的 X 、 Y 、 Z 值, 由式 (1-2-25) 计

算试样的黄色指数。测试结果以一组试样的算术平均值表示,准确到小数点后一位。

【方法说明】

1) 本方法采用的基准白板,可用下述方法制作:先用细砂纸除去镁带上的异物,然后将其置于圆锥形集烟筒下方,用酒精灯点燃镁带一端,并用作为氧化镁白板底材的部件在集烟筒上方收集氧化镁烟雾,不断地移动部件的位置,以使得得到均匀的熏制层,同时冷却其部件。熏制氧化镁层的厚度应为 2mm 左右。操作上应戴好防护目镜,在无风环境中操作。

2) 由于基准白板制造难度大,又容易损坏,所以仪器日常使用可用工作白板代替。

3) 透明工程塑料的透射黄色指数是厚度的函数。只有在相同厚度的情况下才能进行比较。

九、白 度

【定义】

塑料白度系指不透明的白色或近白色的粉末状树脂和板状塑料表面对规定蓝光漫反射的辐射能,与同样条件下理想的全反射漫射体反射的辐射能之比率,以百分数表示。

【适用范围】

本方法适用于测定不透明的白色或近白色粉末状树脂和板状塑料,包括粉末状工程树脂和板状工程塑料。

本方法也适用于测定不透明的荧光增白塑料和荧光增白工程塑料。

【试样】

1) 粉末状试样:应通过 100 目筛网后取样。

2) 板状试样:直接由板材截取面积为大于或等于 50mm×50mm 的试片。试样应色泽均匀,两表面平整且互相平行,无凹凸、银纹、沾污和擦伤,内部无气泡。

3) 每组试样不少于 3 个。

【测试仪器】

1) 蓝光白度测定仪。仪器应符合下列条件:

- ① 蓝光光谱特性曲线的峰值在 457nm、半高宽度在 40~60nm 之间。
- ② 光学几何结构为 45° 或符合国际照明委员会 (CIE) 规定的其它类型的结构。
- ③ 试样受光面积为直径大于或等于 20mm 的圆。
- ④ 光源包含紫外线成分,适于荧光试样的测定。
- ⑤ 仪器读数精度为 0.2%,稳定性 0.5%。

2) 标准白度板。其中:

① 基准白度板:用经中国计量科学研究院以绝对标准标定的漫反射体压制。推荐用硫酸钡作为传递标准的漫反射体。

② 校验白度板:在测试仪器上,用基准白度板进行标定。

③ 工作白度板:在测试仪器上,用校验白度板进行标定。受污染的工作白度板必须用不含荧光物的洗涤剂 and 软毛刷洗涤,经蒸馏水冲洗干净后,先用纯净的丙酮荡涤,然后用滤纸吸去溶剂,置于干燥器中阴干,待标定。

【测试步骤】

① 仪器的调节:按照仪器使用说明书规定的使用条件,将仪器调节至工作状态。

② 粉末试样的测试步骤:

① 将试样均匀地置于深度大于或等于 6mm 的样品池中,使试样面超过池框表面约 2mm,用光洁的玻璃板覆盖在试样的表面上,压紧试样并稍加旋转,然后小心地移去玻璃板。用一支光滑的金属尺沿样品池框从一头向另一头移动,将超过样品池框表面多余的试样刮去,使试样表面光滑。

② 沿水平方向目视观察试样,表面应无凹凸不平、疵点、斑痕等异常情况。

③ 将试样放入仪器的样品台上,测定白度值,读至 0.1%。

④ 将试样在样品台上水平旋转 90°,再测定白度值,读至 0.1%。

⑤ 另取两个试样,按以上各步骤操作,并测定白度值。

⑥ 板状试样的测试步骤:

① 检查由板材截取的试样是否符合要求。

② 重叠试样至适当的厚度,使其达到测得的白度值不变时作为测试试样的厚度。

③ 单片试样的测试步骤:

a. 将试样放入仪器样品台上,测定白度值,读至 0.1%。

b. 将试样取出并翻转重新放入仪器样品台上,再测定白度值,读至 0.1%。

c. 另取两个试样,按以上各步骤操作,并测定白度值。

④ 重叠试样的测试步骤:

a. 将试样放入仪器样品台上,依次将最上面的一个试片移至底部,重复测试,测定白度值,如此进行到测得全部试片的白度值为止,由此得到第一组数据。

b. 取出试样,将试样整体翻转,再按 a 条操作,测得试样反面的白度值,由此得到第二组数据。

【结果表示】

① 测试结果以白度的算术平均值表示。

② 测试的标准偏差按式 (1-2-26) 计算:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (\bar{X} - X_i)^2}{n - 1}} \quad (1-2-26)$$

式中: S ——标准偏差;

$\bar{X}$ —— n 次测定值的算术平均值;

X_i ——第 i 次测得值;

n ——测定次数。

第四节 力学性能测试

一、拉 伸

工程塑料的拉伸性能是其力学性能中最重要、最基本的性能之一。几乎所有工程塑料

都要考核拉伸性能的各项指标,这些指标的高低在很大程度上决定了该种工程塑料的使用场合。

【方法要点】

对工程塑料施加静态拉伸载荷,以测定拉伸强度、拉伸断裂应力、拉伸屈服应力、偏置屈服应力及断裂伸长率。

【适用范围】

本方法适用于工程塑料,其中包括经填充和纤维增强的工程塑料,以及由这些工程塑料制成的制品。

【术语】

- 1) 拉伸强度:在拉伸试验中,试样直至断裂为止所承受的最大拉伸应力。
- 2) 拉伸断裂应力:在试验试样断裂时的拉伸应力。
- 3) 拉伸屈服应力:在拉伸应力-应变曲线上屈服点处的应力。
- 4) 偏置屈服应力:应力-应变曲线偏离直线性达规定应变百分数(偏置)时的应力。
- 5) 断裂伸长率:在拉力作用下,试样断裂时标线间距离的增加量与初始标距之比,以百分率表示。
- 6) 拉伸应力-应变曲线:由应力-应变的相应值彼此对应地绘成的曲线图。通常以应力值作为纵坐标,应变值作为横坐标。

【试样】

图 1-2-19 示出了适用于测试工程塑料拉伸性能的试样尺寸和公差。

符号	名 称	尺寸	公差
L	总长(最小)	150	
H	夹具间距离	115	± 5.0
C	中间平行部分长度	60	± 0.5
G_0	标距(或有效部分)	50	± 0.5
W	端部宽度	20	± 0.2
d	厚 度	4	
b	中间平行部分宽度	10	± 0.2
R	半径(最小)	60	

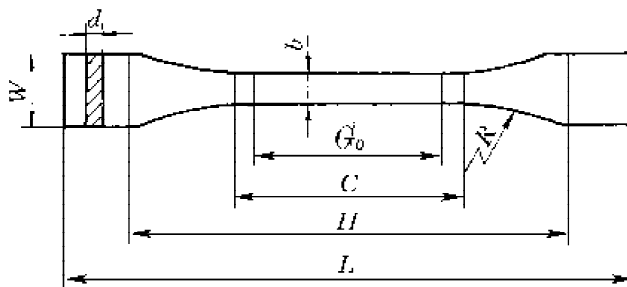


图 1-2-19 工程塑料拉伸性能测试试样(单位:mm)

【测试设备】

1) 试验机:任何能满足本方法要求的、具有多种速率移动的试验机均可使用。试验机示值应从每级表盘满刻度的 10%~90%,但不小于试验机最大载荷的 4%读取,示值的误差应在 $\pm 1\%$ 之内。

2) 形变测量装置:测量误差应在 $\pm 1\%$ 之内。

【测试步骤】

- 1) 试样的状态调节和试验环境应按 GB2918—82 (89) 规定进行。
- 2) 在试样中间平行部分做标线示明标距,此标线对测试结果不应有影响。
- 3) 测量试样中间平行部分的宽度和厚度,精确至 0.01mm。每个试样测量三点,取算术平均值。

4) 夹持试样, 夹具夹持试样时, 要使试样纵轴与上、下夹具中心连线相重合, 并且要松紧适宜, 以防止试样滑脱或断在夹具内。

5) 选定试验速度, 进行试验。

6) 记录屈服时或断裂时载荷及标距间伸长。若试样断裂在中间平行部分之外时, 此试样作废, 另取试样补做。

【方法说明】

1) 对于工程塑料及增强工程塑料试样, 可以采用注塑或压制成型方法制备。测试时试验速度控制在 $2 \sim 50 \text{ mm/min}$ 范围内。

2) 对于工程塑料板材 (包括层压板) 试样, 可以用机械加工方法制备。测试时试验速度控制在 $1 \sim 100 \text{ mm/min}$ 范围内。

【结果计算】

1) 拉伸强度、拉伸断裂应力、拉伸屈服应力或偏置屈服应力按式 (1-2-27) 计算:

$$\sigma_t = \frac{P}{b \cdot d} \quad (1-2-27)$$

式中: σ_t ——拉伸强度、拉伸断裂应力、拉伸屈服应力或偏置屈服应力, MPa;

P ——最大载荷、断裂载荷、屈服载荷或偏置屈服载荷, N;

b ——试样宽度, mm;

d ——试样厚度, mm。

2) 断裂伸长率按式 (1-2-28) 计算:

$$\epsilon_t = \frac{G - G_0}{G_0} \times 100 \quad (1-2-28)$$

式中: ϵ_t ——断裂伸长率, %;

G_0 ——试样原始标距, mm;

G ——试样断裂时标线间距离, mm。

3) 标准偏差值按式 (1-2-29) 计算:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (1-2-29)$$

式中: S ——标准偏差值;

X_i ——单个测定值;

$\bar{X}$ ——一组测定值的算术平均值;

n ——测定个数。

计算结果以算术平均值表示, σ_t 取三位有效数字, ϵ_t 取二位有效数字, S 取二位有效数字。

二、压 缩

【方法要点】

在试样的端部表面上沿着主轴方向, 以恒定的速率施加一个可测量的载荷压缩工程塑

料试样,直到试样破裂、屈服或试样变形达到一预先规定的数值为止。

【适用范围】

本方法适用于工程塑料及填充改性的工程塑料材料,不适用于纤维增强和泡沫工程塑料。

【术语】

1) 压缩应力:在压缩试验过程中的任一时刻,试样单位原始横截面积所承受的压缩载荷。以 MPa 为单位。

2) 压缩应变:试样单位原始高度的改变。以相同单位的量值的比表示。

3) 压缩变形:由压缩载荷引起的试样高度的改变量。以 mm 为单位。

4) 压缩载荷-变形曲线:以压缩试验全过程中的压缩载荷为纵坐标,以对应的变形为横坐标绘图所获得的曲线。

5) 压缩屈服应力:在压缩试验的载荷-变形曲线上第一次出现的应变或变形增加而载荷不增大的压缩应力值。以 MPa 为单位。应力无增加而应变增加时的第一点被取作屈服点。

6) 压缩偏置屈服应力:在压缩试验的载荷-变形曲线的横坐标上,在规定的变形百分数处(如 0.2% 的压缩应变)平行于曲线的直线部分划一直线,取直线与载荷-变形曲线交点的载荷值与试样的原始截面积之比,为偏置屈服应力。以 MPa 为单位。

7) 规定应变时的压缩应力:达到规定应变时的压缩应力,以 MPa 为单位。

8) 压缩强度:在压缩试验过程中,试样所承受的最大压缩应力,以 MPa 为单位。

9) 细长比 λ :以横截面积均匀的实心圆柱体的高度与最小回转半径之比。

10) 压缩模量:在应力-应变曲线的线性范围内,压缩应力与压缩应变之比。以 MPa 为单位。

【测试设备】

能以规定的恒定速度移动,并由下列各组件构成的试验机均可使用:

1) 压缩夹具:能准确地沿试样轴向施加载荷,表面粗糙度为 $R_a \leq 0.8$ 的硬化钢压板,并装有自动对中装置。

2) 载荷指示器:指示试样所承受的压缩载荷的机构,在规定的试验速度内没有惯性滞后,指示载荷的精度为指示值的 $\pm 1\%$ 或更高。

3) 变形指示器:测定在试验过程中任何时刻两个压板与试样接触面之间或试样两固定点间距离的装置。在规定的载荷速率下不应有滞后,其精确度应为指示值的 $\pm 1\%$ 或更高。

4) 测微计:适用于测量试样的尺寸,精确为 0.01mm。

【试样】

1) 试样制备:试样应根据有关标准或供需双方间的协定,用注射、模压成型制作或机械加工制备。

2) 试样形状和尺寸:

① 试样应为正方形、矩形、圆形或圆管形截面柱体。试样两端面应与加荷方向垂直,其平行度应小于试样高度的 0.1%。

② 试样高度变化范围为 10~40mm,推荐试样高度为 30mm。

③ 除非产品标准另有要求,试样的细长比应为 10,当试验过程中试样出现扭曲现象时,

细长比应降低为 6。

④ 推荐管形试样壁厚为 2mm,管内径为 8mm。

⑤ 推荐标准试样尺寸如下:

正方柱体:横截面边长 (10.4 ± 0.2) mm,高 (30 ± 0.2) mm;

矩形柱体:横截面边长 (15.0 ± 0.2) mm,高 (30 ± 0.2) mm;

圆柱体:直径 (12.0 ± 0.01) mm,高 (30 ± 0.2) mm;

圆管柱体:圆管内径 (8.0 ± 0.01) mm,圆管外径 (12.0 ± 0.01) mm,高 (32 ± 0.2) mm。

⑥ 试样的所有表面均应无可见裂纹、刮痕或其它可能影响结果的缺陷。

⑦ 各向同性材料每组试样至少 5 个。

⑧ 各向异性材料每组取 10 个试样,垂直和平行于各向异性的主轴方向各取 5 个试样。

【测试步骤】

① 试样的状态调节和试验环境应按 GB2918—82 (89)规定进行。

② 沿试样高度方向测量三处横截面尺寸,计算平均值。测量试样高度,精确到 0.01mm。

③ 必要时安装变形指示器。

④ 将试样放在两压板的表面之间,并使试样中心线与两压板表面中心连线重合,确保试样端面与压板表面平行。调整试验机,使压板表面恰好与试样端面接触,并把此时定为测定变形的零点。

⑤ 根据材料的规定调整试验速度。若没有规定,则调整速度为 1mm/min (表 1-2-8 中速度 A₁)。易变形的材料可以采用表 1-2-8 中所给出的较高速度。

表 1-2-8 工程塑料压缩性能试验的试验速度

项 目	速度,mm/min	公差,%	项 目	速度,mm/min	公差,%
速度 A ₁	1	±50	速度 B	5	±20
速度 A ₂	2	±20	速度 C	10	±20

⑥ 开动试验机并记录下列各项数据:

① 适当应变间隔时的载荷及相应的压缩应变;

② 试样破裂瞬间所承受的载荷;

③ 如试样不破裂,在屈服或偏置屈服点及规定应变值为 25%时的压缩载荷。

【结果计算】

① 压缩强度、压缩屈服应力、压缩偏置屈服应力或在规定应变时的压缩应力按式 (1-2-30)计算。结果以每组试样的算术平均值表示,取三位有效数字。

$$\sigma = \frac{P}{F} \quad (1-2-30)$$

式中: σ ——压缩强度、压缩屈服应力、压缩偏置屈服应力或规定应变时的压缩应力,MPa;

P ——相应应力或强度的载荷值,N;

F ——试样的原始横截面积,mm²。

② 压缩应变或压缩屈服应力时的压缩应变按式 (1-2-31)计算。结果以每组试样的算术平均值表示,取三位有效数字。

$$\epsilon = \frac{\Delta h}{h_0} \quad (1-2-31)$$

式中: ϵ ——计算的应变值;

Δh ——试样的原始高度的变化, mm;

h_0 ——试样的原始高度, mm。

③) 压缩模量按式 (1-2-32) 计算。结果以三位有效数字表示。

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1-2-32)$$

式中: E ——压缩模量, MPa;

σ ——应力-应变曲线的线性范围内的任意应力值, MPa;

ϵ ——与应力-应变曲线的线性范围内的应力相对应的应变值。

④) 标准偏差 S 可按下式计算, 取二位有效数字。

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

式中: X_i ——单个测定值;

$\bar{X}$ ——一组测定值的算术平均值;

n ——测定个数。

三、弯 曲

和拉伸性能一样, 工程塑料的弯曲性能也是其力学性能中最重要的性能之一。生产中常用弯曲试验来评定材料的弯曲强度, 是品质控制和工程设计的重要参考指标。

【方法要点】

对工程塑料试样施加静态三点式弯曲载荷, 测定其弯曲性能。适用于工程塑料, 不适用于纤维增强工程塑料。

【术语】

①) 挠度: 在弯曲过程中, 试样跨度中心的顶面或底面偏离原始位置的距离。

②) 弯曲应力: 试样在弯曲过程中, 任何时刻跨度中心处截面上的最大外层纤维正应力。

③) 定挠度弯曲应力: 挠度等于试样厚度 1.5 倍时的弯曲应力。

④) 最大载荷时弯曲应力: 在规定挠度时或之前, 载荷达到最大值的弯曲应力 (即弯曲强度)。

⑤) 弯曲破坏应力: 在规定挠度时或之前, 破坏瞬间所达到的弯曲应力。

【测试仪器】

①) 试验过程中仪器装置如图 1-2-20 所示。

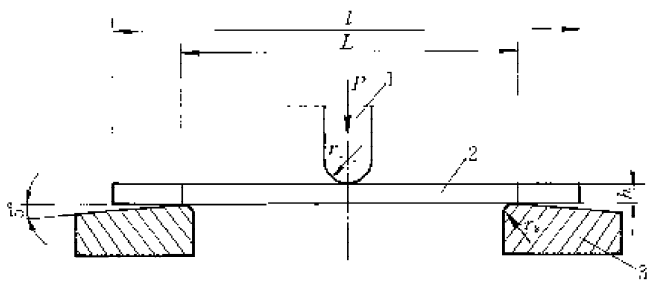


图 1-2-20 弯曲试验装置试验图

1—加荷压头; 2—试样; 3—试样支座; r_1 —加荷压头半径;
 r_2 —支座圆弧半径; l —试样长度; P —弯曲载荷; L —跨度;
 h —试样厚度

②) 速度恒速可调,载荷误差不大于 $\pm 1\%$,挠度误差不大于 $\pm 2\%$,经过校准的任何试验机均可使用。

③) 加荷压头半径为 5.0 ± 0.1 mm。

④) 支座跨度应能调节;支座圆弧半径,在试样厚度小于和等于 3mm 时为 0.5 ± 0.2 mm,在试样厚度大于 3mm 时为 2.0 ± 0.2 mm。

【试样】

①) 标准试样:长度为 80~100mm;宽度为 10 ± 0.5 mm;厚度为 4 ± 0.2 mm。

②) 非标准试样:当不可能使用标准试样时,试样必须符合下列规定:

① 试样的长度为厚度的 20 倍以上。

② 试样的宽度由表 1-2-9 中选定。

表 1-2-9 非标准弯曲试样宽度的选定

(单位:mm)

厚度 h	宽 度 b		厚度 h	宽 度 b	
	基本尺寸	极限偏差		基本尺寸	极限偏差
$1 < h \leq 3$	25	± 0.5	$10 < h \leq 20$	20	± 0.5
$3 < h \leq 5$	10		$20 < h \leq 35$	35	
$5 < h \leq 10$	15		$35 < h \leq 50$	50	

③ 厚度小于 1mm 的试样,不适于进行弯曲试验;厚度大于 50mm 的板材,应单面加工成 50mm,加工面朝向压头。

④) 试样制备:试样可采用注射成型、模塑成型或由板材用机械加工方法制成。加工时不应使试样受过分的冲击、挤压和受热。各向异性材料应沿纵横方向分别取样。试样受载荷的方向应与材料实际使用时受弯曲载荷的方向一致。

⑤) 每组试样不少于 5 个。凡试样断裂在试验跨度三等分中间部分以外的应作废,需另增补试样。

【测试步骤】

①) 试样的状态调节和试验环境应按 GB2918—82 ⑧9)的规定进行。

②) 测量试样宽度准确至 0.1mm,厚度准确至 0.02mm。

③) 调节跨度为试样厚度的 16 ± 1 倍,跨度测量准确至 0.5%以内。

④) 调节试验速度,标准试样的速度为 2.0 ± 0.4 mm/min。

非标准试样的试验速度按式 (1-2-33)计算:

$$v = \frac{S_r \cdot L^2}{6h} \quad (1-2-33)$$

式中: v ——试验速度,mm/min;

S_r ——应变速率,每分钟为 0.01;

L ——跨度,mm;

h ——试样厚度,mm。

⑤) 估计试样断裂的载荷,选择载荷范围。

⑥) 压头与试样应是线接触,并保证与试样宽度的接触线垂直于试样长度方向。

7) 开动试验机,加载并记录下列数值:

① 在规定挠度等于试样厚度的 1.5 倍时或之前出现断裂的试样,记录其断裂弯曲载荷及挠度。

② 在达到规定挠度时不断裂的试样,记录达到规定挠度时的载荷。如果产品标准允许超过规定的挠度,则继续进行试验,直至试样破坏或达到最大载荷,记录此时的载荷及挠度。

③ 在达到规定挠度之前,能指示最大载荷的试样,记录其最大载荷及挠度。

8) 如果测定弯曲弹性模量,应经常读取载荷及对应的挠度值,以便绘出平滑的载荷-挠度曲线。

【结果计算】

1) 弯曲应力或弯曲强度按式 (1-2-34) 计算:

$$\sigma_f = \frac{3P \cdot L}{2b \cdot h^2} \quad (1-2-34)$$

式中: σ_f ——弯曲应力或弯曲强度, MPa;

P ——试样所承受的弯曲载荷 (规定挠度时的载荷, 破坏载荷, 最大载荷值), N;

L ——跨度, mm;

b ——试样宽度, mm;

h ——试样厚度, mm。

2) 弯曲弹性模量由载荷-挠度曲线的初始线性部分按式 (1-2-35) 计算:

$$E_f = \frac{L^3}{4b \cdot h^3} \cdot \frac{P}{Y} \quad (1-2-35)$$

式中: E_f ——弯曲弹性模量, MPa;

L ——跨度, mm;

b ——试样宽度, mm;

h ——试样厚度, mm;

P ——在载荷-挠度曲线的线性部分上选定点的载荷, N;

Y ——与载荷相对应的挠度, mm。

3) 计算一组试样的算术平均值, 取三位有效数字。若要求计算标准偏差 (S) 可按下式计算:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

式中: X_i ——单个测定值;

$\bar{X}$ ——一组测定值的算术平均值;

n ——测定个数。

四、冲 击

和拉伸性能一样, 工程塑料的冲击性能也是其力学性能中最重要的性能之一。生产中常用冲击试验来评定材料的冲击强度, 是品质控制和工程设计的重要参考指标。

冲击试验是用来度量材料在高速冲击状态下的韧性或对断裂的抵抗能力的一种试验。测试工程塑料冲击试验的方法较多,主要有摆锤冲击试验法、落锤冲击试验法和高速拉伸冲击试验法等。摆锤冲击试验又分简支梁(Charpy)法和悬臂梁(Izod)法。目前国内测试工程塑料冲击强度使用较多的是简支梁法,而国外则大多使用悬臂梁法。

1. 简支梁法

【方法要点】

使用简支梁冲击试验机,对工程塑料试样施加一次冲击弯曲载荷使试样破坏,并用试样破坏时单位面积所吸收的能量衡量材料的冲击韧性。

【适用范围】

本方法适用于各种工程塑料,包括填充和纤维增强工程塑料,但不适用于泡沫工程塑料。

【术语】

1) 无缺口试样简支梁冲击强度:无缺口试样在冲击载荷作用下,破坏时所吸收的冲击能量与试样的原始横截面积之比,以 kJ/m^2 表示。

2) 缺口试样简支梁冲击强度:缺口试样在冲击载荷作用下,破坏时吸收的冲击能量与试样缺口处的原始横截面积之比,以 kJ/m^2 表示。

3) 相对冲击强度:缺口试样冲击强度与无缺口试样冲击强度之比,或同类试样 A 型与 B 型缺口冲击强度之比。C 型缺口试样冲击强度与 A 型或 B 型任一种缺口试样冲击强度之比,不得作为相对冲击强度的量度。

4) 完全破坏:经过一次冲击使试样分成两段或几段。

5) 部分破坏:一种不完全破坏,即无缺口试样或缺口试样的横断面至少断开 90%。

6) 无破坏:一种不完全破坏,即无缺口试样或缺口试样的横断面断开部分小于 90%。

【测试设备】

1) 试验机:试验机应为摆锤式,并由摆锤、试样支座、能量指示机构和机体等主要构件组成。能指示试样破坏过程中所吸收的冲击能量。

试验机应具备表 1-2-10 所示的特性参数。

表 1-2-10 摆锤冲击试验机特性参数

冲击能量, J	冲击速度		允许最大摩擦损失, %	校正后允差, J
	基本速度, m/s	极限偏差, %		
0.5	2.9	± 10	4	0.01
1.0			2	0.01
2.0			1	0.01
4.0			0.5	0.02
7.5	3.8	± 10	0.5	0.05
15.0				0.05
25.0				0.10
50.0				0.10

2) 摆体:摆体是试验机的核心部分,它包括旋转轴、摆杆、摆锤和冲击刀刃等部件。

① 旋转轴心到摆锤打击中心的距离与旋转轴心至试样中心距离应一致,两者之差不应超过后者的 $\pm 1\%$ 。

② 冲击刀刃规定夹角为 $(30 \pm 1)^\circ$ ，端部圆弧半径为 $(2.0 \pm 0.5) \text{mm}$ 。摆锤下摆时，刀刃通过两支座间的中央偏差不得超过 $\pm 0.2 \text{mm}$ ，刀刃应与试样的打击面接触。接触线应与试样长轴线相垂直，偏差不得超过 $\pm 2^\circ$ 。

③ 试样支座：为两块安装牢固的支撑块，能使试样成水平，其偏差在 $1/20$ 以内。在冲击瞬间应能使试样打击面平行于摆锤冲击刀刃，其偏差在 $1/200$ 以内。

① 两支撑块的位置应可调节，其间隔应能满足表 1-2-12 的要求。

② 支撑刃前角为 5° ，后角为 $(10 \pm 1)^\circ$ ，端部圆弧半径为 1mm 。标准试样冲击刀刃和支座尺寸的相互关系见图 1-2-21。

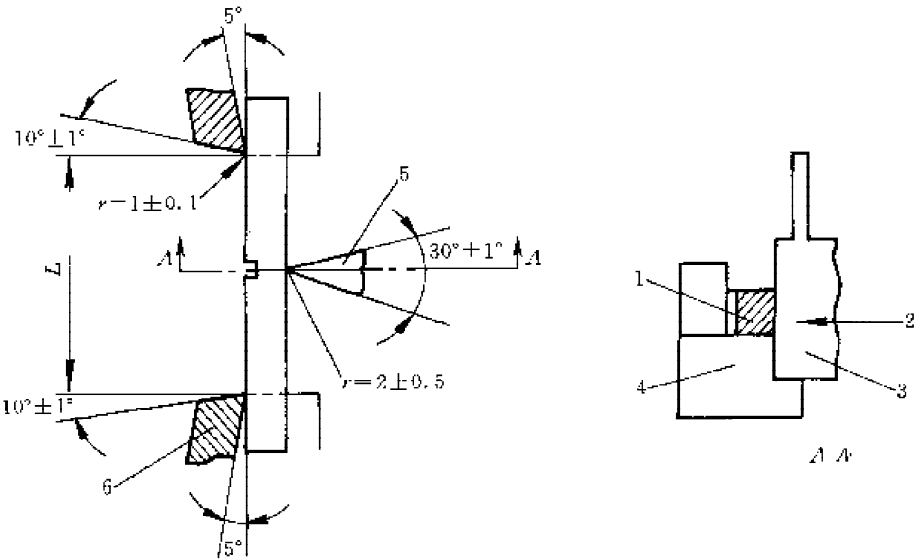


图 1-2-21 标准试样的冲击刀刃和支座

1—试样；2—冲击方向；3—冲击瞬间摆锤位置；4—下支座；5—冲击刀刃；6—支撑块

④ 能量指示机构：包括指示度盘和指针。应对能量度盘的摩擦、风阻损失和示值误差做准确的校正。

⑤ 机体：为刚性良好的金属框架，并牢固地固定在质量至少为所用最重摆锤质量 40 倍的基础上。

【试样】

① 试样外观：试样表面应平整，无气泡、裂纹、分层和明显杂质。缺口试样缺口处应无毛刺。

② 试样类型：试样类型、尺寸以及相对应的支撑线间的距离见表 1-2-11。

表 1-2-11 试样类型、尺寸、支撑线间距离 (单位：mm)

试样类型	长度 l		宽度 b		厚度 d		支撑线间距离 L
	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	
1	80	± 2	10	± 0.5	4	± 0.2	60
2	50	± 1	6	± 0.2	4	± 0.2	40
3	120	± 2	15	± 0.5	10	± 0.5	70
4	125	± 2	13	± 0.5	13	± 0.5	95

3) 试样的缺口类型和缺口尺寸:

① 缺口类型和缺口尺寸见表 1-2-12。

表 1-2-12 缺口类型和缺口尺寸 (单位:mm)

试样类型	缺口类型	缺口剩余厚度 d_k	缺口底部圆弧半径 r		缺口宽度 n	
			基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
1~4	A B	$0.8d$	0.25 1.0	± 0.05	—	—
1、3 2	C C	$\frac{2}{3}d$	≤ 0.1	—	2 0.8	± 0.2 ± 0.1

② A 型缺口的形状和尺寸见图 1-2-22。

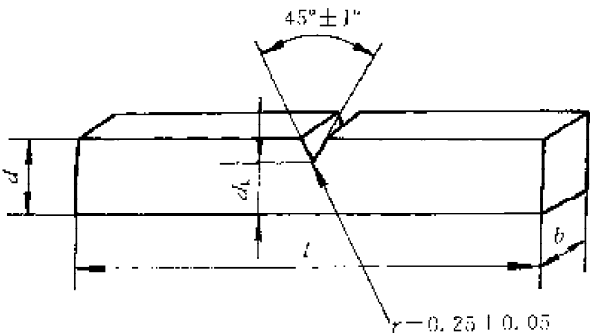


图 1-2-22 A 型缺口试样

l —试样长度; d —试样厚度; r —缺口底部半径; b —试样宽度; d_k —试样缺口剩余厚度

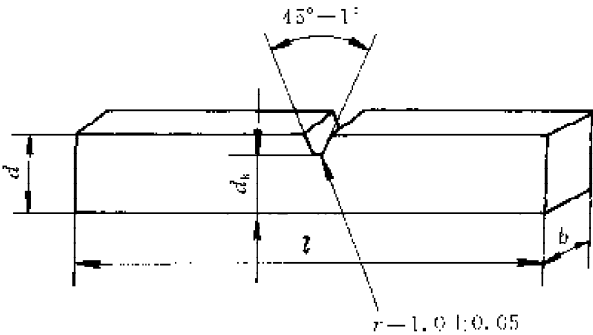


图 1-2-23 B 型缺口试样

l —试样长度; d —试样厚度; r —缺口底部半径; b —试样宽度; d_k —试样缺口剩余厚度

③ B 型缺口的形状和尺寸见图 1-2-23。

④ C 型缺口的形状和尺寸见图 1-2-24。

4) 试样选择: 试样的优选类型为 1 型。

优选的缺口类型为 A 型。

5) 板材试样:

① 板材试样厚度在 3~13mm 之间取原厚。大于 13mm 时, 应从两面均匀地进行机械加工到 (10 ± 0.5) mm。4 型试样厚度须加工到 13mm。

② 当使用非标准厚度试样时, 缺口深度与试样厚度尺寸之比也应分别满足表 1-2-12 的要求。

③ 厚度小于 3mm 的试样不做冲击试验。

④ 层压板应分别对板面方向和侧向板边方向进行冲击。板面方向缺口长度等于试样宽度, 板边方向缺口长度等于板材厚度。见图 1-2-25 和图 1-2-26。

6) 试样制备:

① 模塑料或挤出料:

a. 按受试材料的产品标准规定制备试样。若产品标准没有规定, 可另按 GB5471 和

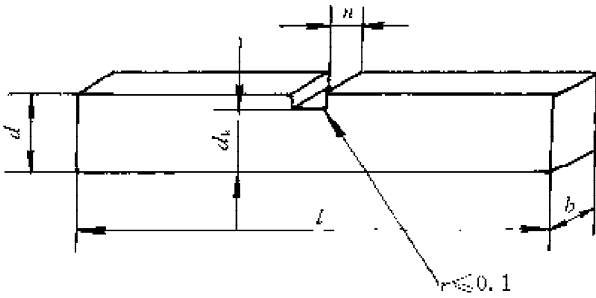


图 1-2-24 C 型缺口试样

l —试样长度; d —试样厚度; n —缺口宽度; r —缺口底部角半径; b —试样宽度; d_k —试样缺口剩余厚度

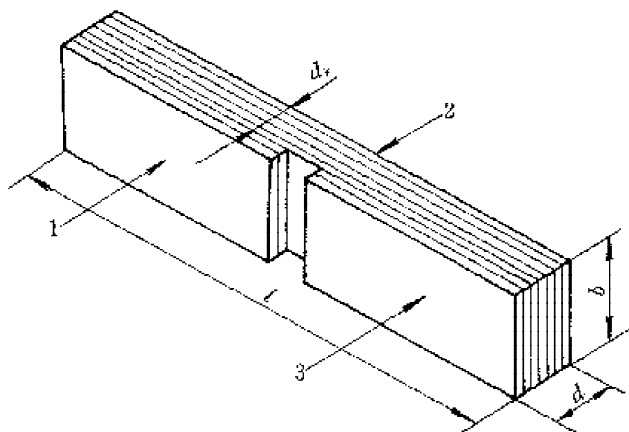


图 1-2-25 做板向试验的层压板缺口试样

1, 3—支撑方向; 2—冲击方向

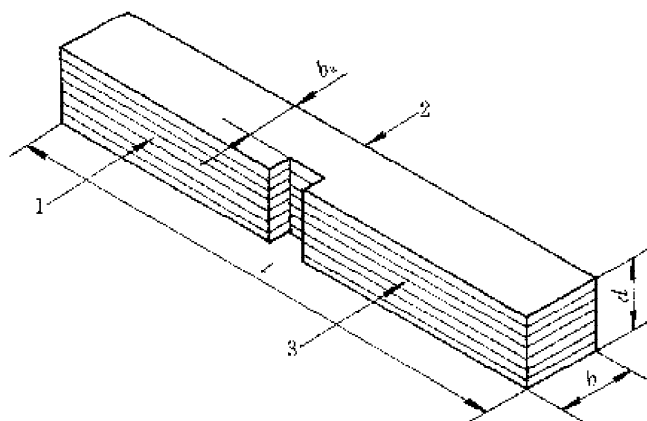


图 1-2-26 做侧向试验的层压板缺口试样

1, 3—支撑方向; 2—冲击方向

GB9352 制备试样。

b. 1 型试样可以从标准多用途试样上切取。

② 板材: 板材试样是将板材进行机械加工制备。

③ 试样缺口加工:

a. 试样缺口可在铣床、刨床或专用缺口加工机上加工。加工刀具应无倾角, 加工后角为 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。

b. 推荐刀尖线速度为 $90 \sim 185 \text{ m/min}$, 进给速率为 $10 \sim 130 \text{ mm/min}$ 。

c. 检查刀具的锐度, 如果半径和外形不在规定范围内, 应以新磨的刀具更换。

d. 如果受试材料的产品标准有规定, 可用带模塑缺口的试样。但仲裁试验应使用机械加工方法加工试样缺口。模塑缺口试样和机械加工缺口试样的试验结果不能相比。

④ 试样数量:

① 除受试材料的产品标准另有规定外, 每组试样数应不少于 10 个。

② 各向异性材料应从垂直和平行于主轴的方向上各切取一组试样。

③ 层压材料应在使冲击方向垂直于层压方向 (板面方向) 和平行于层压方向 (板边方向) 上各切取一组试样。

【测试步骤】

① 试样的状态调节和试验环境应按 GB2918—82 (89) 规定进行。

② 测量试样中部的宽度和厚度, 准确至 0.02 mm 。缺口试样应测量缺口处的剩余厚度, 测量时应在缺口两端各测一次, 取其算术平均值。

③ 根据试样破坏时所需的能量选择摆锤, 使消耗的能量在摆锤总能量的 $10\% \sim 85\%$ 范围内。

④ 调节能量度盘指针零点, 使它在摆锤处于起始位置时与主动针接触。进行空击试验, 保证总摩擦损失不超过表 1-2-11 的数值。

⑤ 抬起并锁住摆锤, 将试样按规定放置在两支撑块上, 试样支撑面紧贴在支撑块上, 使冲击刀刃对准试样中心, 缺口试样刀刃对准缺口背向的中心位置。

⑥ 平稳释放摆锤, 从度盘上读取试样吸收的冲击能量。

⑦ 试样无破坏的冲击值应不作取值。试样完全破坏或部分破坏的可以取值。

【结果计算】

1) 无缺口试样简支梁冲击强度 a (kJ/m²)按式 (1-2-36)计算:

$$a = \frac{A}{b \cdot d} \times 10^3 \quad (1-2-36)$$

式中: A ——试样吸收的冲击能量, J;

b ——试样宽度, mm;

d ——试样厚度, mm。

2) 缺口试样简支梁冲击强度 a_k (kJ/m²)按式 (1-2-37)计算:

$$a_k = \frac{A_k}{b \cdot d_k} \times 10^3 \quad (1-2-37)$$

式中: A_k ——缺口试样吸收的冲击能量, J;

b ——试样宽度, mm;

d_k ——缺口试样缺口处剩余厚度, mm。

3) 侧向缺口试样的简支梁冲击强度 a_k (kJ/m²)按式 (1-2-38)计算:

$$a_k = \frac{A_k}{b_k \cdot d} \times 10^3 \quad (1-2-38)$$

式中: A_k ——侧向缺口试样吸收的冲击能量, J;

d ——侧向缺口试样厚度, mm;

b_k ——侧向缺口试样缺口处剩余宽度, mm。

4) 如果有要求,按下式计算标准偏差 S :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

式中: X_i ——单个测定值;

$\bar{X}$ ——一组测定值的算术平均值;

n ——测定个数。

5) 如果有要求,按式 (1-2-39)计算变异系数 $CV\%$:

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\% \quad (1-2-39)$$

6) 如果需要可计算相对冲击强度,其结果以百分比表示。

7) 计算 10 个试样试验结果的算术平均值、标准偏差和变异系数。全部试验结果以两位有效数字表示。

2. 悬臂梁法

【方法要点】

用悬臂梁冲击试验机对试样施加一次冲击弯曲载荷,以试样破断时单位宽度所消耗的能量来衡量材料的冲击韧性。

【试样】

1) 试样的形状和尺寸:

① 试样的形状和尺寸如图 1-2-27 所示。试样长度 l 为 63.5mm, 厚度 d 为 $12.7^{+0.15}_{-0.00}$ mm, 宽度 b 为 4~12.7mm。

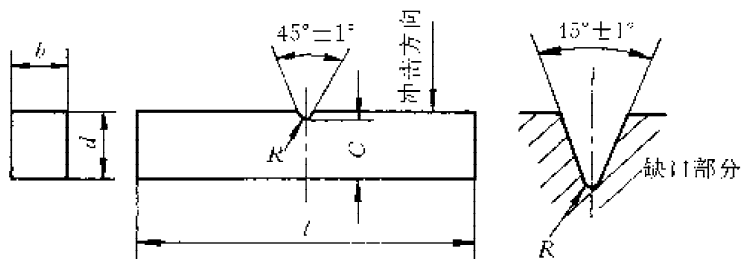


图 1-2-27 塑料悬臂梁冲击试验的形状和尺寸

l —长度; b —宽度; d —厚度; C —剩余厚度; R —底部曲率半径

② 由板材加工的试样, 推荐宽度为 6~12.7mm。

③ 模塑成型的试样, 推荐宽度为 12.7mm。

④ 试样的一个侧面的中部带有 $(45 \pm 1)^\circ$ 、底部曲率半径 R 为 (0.25 ± 0.025) mm 的缺口。缺口处试样的剩余厚度 C 为 (0.16 ± 0.05) mm。

2) 制备试样的要求:

① 试样必须带有经机械加工而成的缺口。试样缺口的机械加工要求和检查方法如下:

a. 试样缺口加工应在铣床上用带单齿或多齿的铣刀进行, 其中单齿铣刀更适合, 因为单齿易磨成所需的形状。刀刃应小心磨制, 保持足够的锋利。

b. 铣刀的刀刃应磨成能在试样上产生一个如图 1-2-27 规定的缺口形状。铣刀的后角和侧角均以不擦到试样为准, 一般采用较大的角度。

c. 缺口的角平分线应与试样表面成 $(90 \pm 2)^\circ$ 。

d. 由于试样材质的不同, 试样缺口加工的条件会有较大的差别。通常认为铣刀顶端的线速度以 $90 \sim 185$ m/min, 进给量以 $12 \sim 200$ mm/min 为宜。

e. 用同一铣刀加工不同材质的试样时, 缺口外形会有差异。此时要适当地调整铣刀的角度和刀尖的曲率半径。

f. 缺口外形尺寸检查可用放大 30 倍以上的工具显微镜或其它类似的设备进行。缺口底部试样剩余厚度可用精度为 0.02mm 的量具检查。

② 板材加工的试样: 当板材厚度为 4.0~12.7mm 时, 试样厚度为板材的原厚度; 当板材厚度超过 12.7mm 时, 需单面加工到 12.7mm。缺口均加工在板材的侧面。

③ 模塑成型的试样: 缺口加工在较窄的一个侧面上, 其中压制成型的试样, 缺口加工在平行于成型压力方向的侧面上。

3) 对于各向异性的板材, 需从板材的纵横两个方向各取一组试样。

4) 每组试样不少于 5 个。

【测试设备】

1) 测试设备为摆锤式悬臂梁冲击试验机。冲击速度为 3.35m/s。

2) 试验机底座应有水平基准面。摆锤转轴中心线应水平, 摆锤的冲击刃是半径为

0.8mm的圆柱面。冲击刃的轴线应水平。摆锤铅直时,冲击刃与试样表面相切,此切线到试样夹持台上表面的距离为 (2.0 ± 0.2) mm (见图 1-2-28)。

3) 试验机应附有试样定位器,以保证夹持试样能符合下列要求:

- ① 试样长轴与夹持台上表面相垂直。
- ② 试样缺口的角平分面与夹持台上表面是同一平面。

4) 试验机度盘应符合下列要求:

- ① 在摆锤的预扬角的一侧和后摆角的一侧分别有 $0^\circ \sim 180^\circ$ 的刻度,分度值为 1° 。
- ② 对应于度数的能量小于 1.4J 时,能量示值精确到 0.014J;大于及等于 1.4J 时,精确到 1%。

5) 摆锤从预扬角位置释放,自由摆动时的能量损失应符合如下规定:

- ① 指针摩擦、摆锤转轴摩擦和风阻能量损失之和,不超过其摆锤最大冲击能量的 2.5%,若摆锤最大冲击能量为 0.5J 和 1.0J 时,可分别不超过 4% 和 3%。

- ② 仅由摆锤转轴摩擦和风阻引起的能量损失之和不超过其摆锤最大冲击能量的 1%,若摆锤最大冲击能量为 0.5J 和 1.0J 时,不超过 2%。

6) 试验机应备有对风阻和摩擦能量损失的修正图表或其它方便而有效的修正方法。

【测试步骤】

1) 试样外观检查、预处理、试验条件按《塑料力学性能试验方法总则》GB/T1039—92)规定进行。

2) 测量试样缺口处的宽度,精确到 0.05mm。

3) 选择适宜的摆锤,使试样破断时所需的能量在摆锤总能量的 10%~80% 的区间内。

4) 按上述夹持试样的要求,用适宜的夹持块夹持试样,如图 1-2-28 所示,试样在夹持台中不得有扭曲和侧面弯曲。

5) 将摆锤连同被动指针从预扬角位置释放,冲击试样后,从读盘上读取示值。此示值按试验机提供的风阻和摩擦能量损失修正的方法修正后,得到试样破断时所消耗的能量 A_k 。

6) 当试样的冲击强度小于 27.0 J/m 时,需进行抛掷修正:把已破断试样的自由端重新放回固定端上面,用第一次冲击时摆锤的后摆角角度作为第二次冲击的预扬角,释放摆锤冲击试样自由端,从度盘读取示值 E ;再以第二次冲击的预扬角度释放摆锤空摆,从读盘读取示值 E_1 ,则抛掷修正值 $\Delta E = E - E_1$ 。

【结果计算】

试样破断时单位宽度所消耗的能量称为冲击强度。冲击强度 $a_k \text{ (J/m)}$ 按式 (1-2-40) 计算:

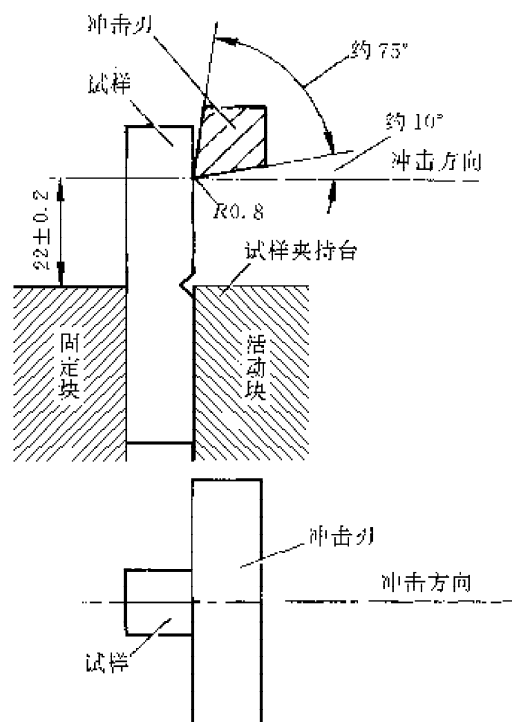


图 1-2-28 试样夹持台、摆锤的冲击刃及试样位置

$$a_k = \frac{A_k - \Delta E}{b} \quad (1-2-40)$$

式中: A_k ——试样破断时所消耗的能量, J;

ΔE ——抛掷破断试样自由端所消耗的能量, J (当冲击强度大于 27.0 J/m 时, 此项可以忽略不计);

b ——缺口处试样的宽度, m。

试验结果以冲击强度的算术平均值表示; 破断试样不足 3 个时, 以单个冲击强度表示。

如产品标准有要求时, 可给出冲击强度的标准偏差来估计数据的分散性。标准偏差 S 按下式计算:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

式中: X_i ——单个试样的冲击强度, J/m;

$\bar{X}$ ——一组试样冲击强度的算术平均值;

n ——试样个数。

五、硬 度

材料抵抗其它较硬物体压入的性能称为硬度。硬度数值的大小是表示材料软硬程度的有条件性的定量反映, 它本身不是一个单纯的确定的物理量, 而是由材料的弹性、塑性、韧性等一系列力学性能组成的综合性指标。

硬度试验的主要目的是测量该材料的适用性, 并通过对硬度的测量间接了解该材料的其它力学性能, 如磨损性能、拉伸性能、回弹性能等。硬度检测在生产过程中对监控产品品质和完善工艺条件等方面具有重要作用。硬度试验因其具有测量迅速、经济、简便且不破坏试样的特点, 是工程材料应用极为普遍的方法, 也是检测工程塑性性能最容易的一种方法。

工程塑料硬度可分为球压痕硬度、邵氏硬度 (又称肖氏硬度)、巴柯尔硬度、布氏硬度和洛氏硬度。

1. 球压痕硬度

【方法要点】

以规定直径的钢球, 在试验载荷作用下, 垂直压入试样表面, 保持一定时间后测定单位面积上所承受的平均压力。

【仪器】

球压痕硬度计。主要由下列部件组成:

1) 机架: 刚性结构。在最大载荷作用下, 沿轴线方向的变形量不得大于 0.05mm。机架上带有可升降的工作台。

2) 压头: 淬火抛光的钢球。直径 5mm, 公差应在标准直径的 $\pm 0.5\%$ 以内, 硬度约为 800H。钢球在试验载荷作用下不应有任何变形和损伤。

3) 加荷装置: 包括加荷杠杆、砝码和缓冲器。可对压头施加的初载荷为 9.8N; 试验载荷为 49N, 132N, 358N, 961N。各级载荷允许误差均为 $\pm 1\%$ 。缓冲器应使压头对试样能

平稳而无冲击地加荷,并控制加荷时间在 2~3s 以内。

4) 压痕深度指示仪表:用于测量压头压入深度。量程 0~0.5mm,精度为 0.005mm。

6) 计时装置:用于指示试验载荷全部加上后到读取压痕深度的时间,计时量程不小于 60s,准确度为 $\pm 5\%$ 。

【试样】

1) 试样厚度应均匀,表面光滑、平整、无气泡、无机械损伤及杂质等。

2) 试样厚度不应小于 4mm,试样大小应保证每个测量点中心与试样边缘距离不小于 10mm,各测量点中心之间的距离不小于 10mm。

3) 推荐试样尺寸为 50mm×50mm×4mm 或 $\phi 50\text{mm} \times 4\text{mm}$ 。

【测试步骤】

1) 按 GB/T1039—92《塑料力学性能试验方法总则》的规定检查和处理试样,并按 GB2918—82(89)《塑料试样状态调节和试验的标准环境》的规定调节试验环境。

2) 定期测定各级载荷下的机架变形量。测定时卸下压头,升起工作台使其与主轴接触。加上初载荷,调节深度指示仪表为零,再加上试验载荷,直接由压痕深度指示仪表中读取相应载荷下的机架变形量 h_2 。

3) 根据材料硬度选择适宜的试验载荷。装上压头,并将试样放在工作台上,使测试表面与加荷方向垂直接触,无冲击地加上初载荷之后,将深度指示仪表调到零点。

4) 在 2~3s 内将所选择的试验载荷平稳地施加到试样上,保持 30s,立即读取压痕深度 h_1 。

5) 必须保证压痕深度在 0.15~0.35mm 的范围内,否则,应改变试验载荷,使达到上述规定的深度范围。

6) 每组试样不少于两块,测量点数不少于 10 个。

【结果计算】

球压痕硬度值 H (MPa)按式 (1-2-41)计算:

$$H = \frac{0.21P}{0.25\pi D(h - 0.04)} \quad (1-2-41)$$

式中: P ——试验载荷, N;

D ——钢球直径, mm;

h ——校正机架变形后的压痕深度, $h = h_1 - h_2$, mm;

h_1 ——试验载荷下的压入深度, mm;

h_2 ——仪器在试验载荷下的机架变形量, mm。

试验结果以一组试样的算术平均值表示,取三位有效数字。

若有要求,标准偏差 S 可按下式计算:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

式中: X_i ——单个试样测定值;

$\bar{X}$ ——一组试样测定结果的算术平均值;

n ——测定试样个数。

2. 邵氏硬度

【方法要点】

使用邵氏硬度计,将规定形状的压针,在标准的弹簧压力下压入试样,把压针压入试样的深度转换为硬度值来表示。

邵氏硬度分为邵氏 A 和邵氏 D。邵氏 A 适用于较软的工程塑料,邵氏 D 适用于较硬的工程塑料。

【试样】

① 试样厚度应均匀,表面光滑、平整、无气泡、无机械损伤及杂质等。

② 用 A 型硬度计测定硬度,试样厚度应不小于 5mm。用 D 型硬度计测定硬度,试样厚度应不小于 3mm。

③ 试样大小应保证每个测量点与试样边缘距离不小于 12mm,各测量点之间的距离不小于 6mm。

④ 每组试样测量点数不少于 5 个,可在一个或几个试样上进行。

【测试设备】

使用 A 型和 D 型邵氏硬度计。硬度计主要由读数度盘、压针、下压板及对压针施加压力的弹簧组成。压针的尺寸及其精度应符合图 1-2-29 的要求。

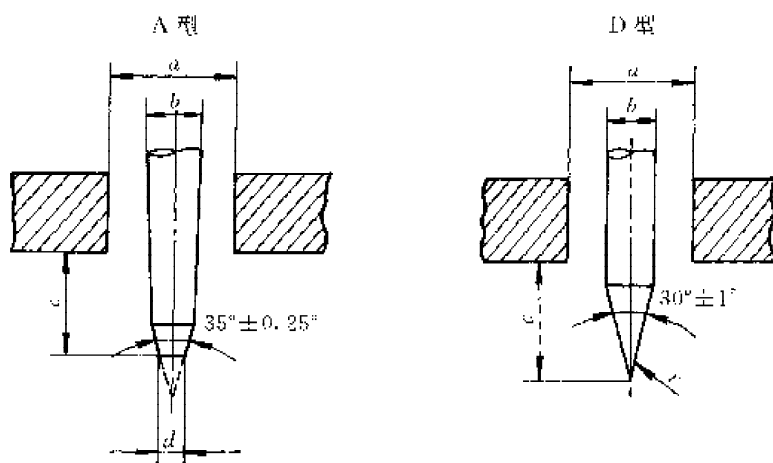


图 1-2-29 邵氏 A 型和 D 型硬度计压针

$a—\phi 3.00 \pm 0.50$; $b—\phi 1.25 \pm 0.15$; $c—2.50 \pm 0.04$; $d—\phi 0.79 \pm 0.03$; $r—0.1 \pm 0.012$

① 读数度盘:为 100 分度。每一分度相当于一个邵氏硬度值。当压针端部与下压板处于同一水平面时,即压针无伸出,硬度计度盘应指示“100”。当压针端部距离下压板 2.50 ± 0.04 mm 时,即压针完全伸出,硬度计度盘应指示“0”。

② 弹簧力:压力弹簧对压针所施加的力应与压针伸出压板位移量有恒定的线性关系。其大小与硬度计指针所指刻度的关系如下式所示:

$$\text{A 型硬度计} \quad F_A = 549 + 75.12H_A \quad (1-2-42)$$

$$\text{D 型硬度计} \quad F_D = 444.83H_D \quad (1-2-43)$$

式中: F_A 、 F_D ——分别为弹簧施加于 A 型和 D 型硬度计压针上的力,mN;

H_A 、 H_D ——分别为 A 型硬度计和 D 型硬度计的读数。

3) 下压板:为硬度计与试样接触的平面,它应有直径不小于 12mm 的表面。在进行硬度测量时,该平面对试样施加规定的压力,并与试样均匀接触。

4) 测定架:包括固定硬度计的支架、试样平台和加载重锤。重锤 A 型为 1kg, D 型为 5kg。

5) 硬度计的测定范围为 20~90 之间。当试样用 A 型硬度计测量硬度值大于 90 时,改用 D 型硬度计测量硬度。用 D 型硬度计测量硬度值低于 20 时,改用 A 型硬度计测量。

【测试步骤】

1) 按 GB/T1039—92《塑料力学性能试验方法总则》的规定调节试验环境并检查和处理试样。对于硬度与湿度无关的材料,试验前试样应在试验环境中至少放置 1h。

2) 将硬度计垂直安装在硬度计支架上,用厚度均匀的玻璃片平放在试样平台上,在相应的重锤作用下使硬度计下压板与玻璃片完全接触,此时读数盘指针应指示“100”。当指针完全离开玻璃片时,指针应指示“0”。允许最大偏差为±1 个邵氏硬度值。

3) 将试样置于测定架的试样平台上,使压针头离试样边缘至少 12mm,平稳而无冲击地使硬度计在规定重锤的作用下压在试样上,从下压板与试样完全接触 15s 后立即读数。如果规定要瞬时读数,则在下压板与试样完全接触后 1s 内读数。

4) 在试样上相隔 6mm 以上的不同点处测量硬度 5 次,取其算术平均值。

【结果计算】

1) 读数度盘上得到的读数即为所测定的邵氏硬度值。用符号 H_A 或 H_D 分别表示邵氏 A 和邵氏 D 的硬度。

2) 测试结果以一组试样的算术平均值表示。若有要求时,按下式计算标准偏差。

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

式中: X_i ——单个测定值;

$\bar{X}$ ——一组试样的算术平均值;

n ——测定个数。

3. 巴柯尔硬度

【方法要点】

巴柯尔硬度也称巴氏硬度,是一种压痕硬度。它以特定压头在标准弹簧的压力作用下压入试样,以压痕的深浅来表征试样的硬度。主要用于纤维增强工程塑料的硬度测定。

【测试仪器】

采用 HBa-1 型巴氏硬度计或 GYZJ934-1 型巴氏硬度计。图 1-2-30 和图 1-2-31 示出了这两种硬度计的结构示意图。

巴氏硬度计的压头是一个具有 26°角的截头圆锥形,其顶端平面直径为 0.157mm,由淬火钢制成,配合在一个满度调整螺栓孔内,并被一个由弹簧加载的主轴压住。

硬度计的指示仪表度盘有 100 分度,每一分度相当于压入 0.0076mm 的深度。压痕深度为 0.76mm 时,表头读数为零;压痕深度为零时,表头读数为 100。指示仪表读数愈高,表示材料愈硬。

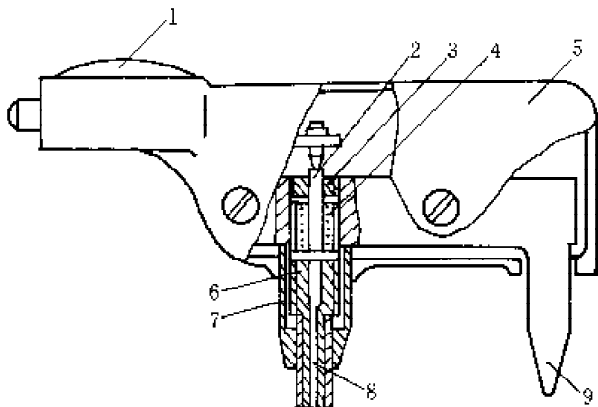


图 1-2-30 HBa-1 型巴氏硬度计

1—指示表；2—主轴；3—载荷调整螺栓；4—载荷调整弹簧；5—机壳；6—满度调整螺栓；7—锁紧螺母；8—压头；9—撑脚

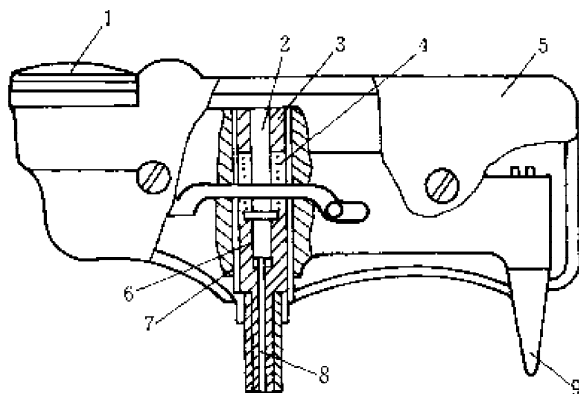


图 1-2-31 GYZJ934-1 型巴氏硬度计

1—指示表；2—主轴；3—载荷调整螺栓；4—载荷调整弹簧；5—机壳；6—满度调整螺栓；7—锁紧螺母；8—压头；9—撑脚

【试样】

① 试样表面应光滑平整，没有缺陷及损伤。

② 标准试样厚度不小于 1.5mm。试样大小应满足任一压痕到试样边缘或两个压痕之间的距离不小于 3mm。

【测试步骤】

① 按下列方法校准仪器：

① 满刻度的校准：仪器处于初始状态时，表头指针应指在零位。首先退出载荷调整螺栓，使它刚刚同载荷弹簧接触。将硬度计放在平板玻璃上，下压硬度计直到压头被迫全部退回到满度调整螺栓孔内，此时表头读数应为 100，即满刻度，否则松开锁紧螺母，用满度调整螺栓调节仪器：拧紧时表头示值上升，拧松时表头示值下降。

② 示值的校准：经满刻度校准后，测试硬度计附带的高、低标准硬度片（注意必须使用有标准值的一面），其示值应在标准的范围内，否则可通过载荷调整螺栓达到。

② 将试样放置在坚硬稳固的支撑面（如钢板、玻璃板、水泥平台等）上，曲面试样应注意防止由于测试压力可能造成的弯曲和变形。

③ 将仪器安置在试样被测面上，使压头垂直试样被测表面。

④ 手握硬度计机壳，以足够的压力（约 40~70N）平稳快速的推压，同时记录度盘上最大读数（因为某些材料会出现从最大值漂回的读数，该读数与时间是非线性关系）。当压头和被测表面接触时，应避免滑动和擦伤。

⑤ 测量次数：

纤维增强工程塑料：硬度大于 50 时，测试 10 次；硬度小于或等于 50 时，测试 20 次。

非增强工程塑料：硬度大于 50 时，测试 5 次；硬度小于或等于 50 时，测试 10 次。

必要时，可用式 (1-2-44) 确定最少测试次数：

$$n_{\min} = \frac{S^2}{S_{\bar{X}}^2} \quad (1-2-44)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (1-2-45)$$

式中： $n_{\min}$ ——最少测试次数；

S_X^2 ——平均值方差 (纤维增强工程塑料取 0.78, 非增强工程塑料取 0.28);

S^2 ——读数方差;

n ——测试次数;

X_i ——单个测试值;

$\bar{X}$ ——一组测试值的算术平均值。

【结果计算】

用一组试验结果的算术平均值来表示测试结果,修约到整数。

标准偏差 S 按下式计算,取二位有效数字。

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

离散系数 C_V 按下式计算,取二位有效数字。

$$C_V = \frac{S}{\bar{X}}$$

4. 布氏硬度

【方法要点】

将一定直径的钢球,在规定的载荷作用下,压入试样并保持一定时间后,以试样上压痕深度或压痕直径来计算单位面积上承受的力。

【测试设备】

布氏硬度计。硬度计钢球直径为 2.5, 5.0 及 10.0mm,允许偏差不超过 0.01mm。钢球用硬化钢制成,表面光滑、无缺陷。硬度计应具有 2.450, 1.225, 0.613kN 各级载荷。

【试样】

试样宽度不小于 15mm,长度不小于 25mm,厚度不小于 4mm。试样数量不少于 5 个。试样厚度应均匀,表面平整。

【测试条件】

1) 试验温度: $20 \pm 2^\circ\text{C}$;

2) 预处理时间:不少于 16h;

3) 钢球直径和载荷大小应根据试样预期硬度值和厚度按表 1-2-13 选择。

表 1-2-13 布氏硬度测定中钢球直径和载荷的选择

硬度范围, MPa	试样厚度, mm	载荷 P 与钢球直径 D 的关系	钢球直径 D , mm	载荷 P , N
>352.8	>6	$P = 98D^2$	5.0	2 450
196.0~352.8	>6	$P = 49D^2$	5.0	1 225
78.4~196.0	>10	$P = 24.5D^2$	10.0	2 450
	6~10	$P = 24.5D^2$	5.0	613

【测试步骤】

1) 选择测试部位。应使压痕中心间距不小于 25mm,压痕中心到试样边缘的距离不小于 7mm。

2) 加载时应缓慢而均匀,加载过程不小于 5s,保持时间为 1min,卸载过程 2~3s。

g) 加载 1min 后,在仪器上直接测量压痕深度或卸去载荷后立即测量压痕直径。压痕直径应从两个相互垂直的方向测量,并求其算术平均值。

【结果计算】

布氏硬度值 HB (MPa)按下式计算:

$$\text{以压痕深度计算} \quad HB = \frac{P}{\pi D h} \quad (1-2-46)$$

$$\text{以压痕直径计算} \quad HB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-2-47)$$

式中: P ——载荷, N;

D ——钢球直径, mm;

h ——压痕深度, mm;

d ——压痕直径, mm。

测试结果以所有测定值的算术平均值和最大、最小值表示,取三位有效数字。压痕直径大小应在 $0.25D \sim 0.60D$ 之间,不符合者应另选载荷及钢球重新测试。

5. 洛氏硬度

【方法要点】

用规定的压头,先施加初试验力,再施加主试验力,然后返回到初试验力,用前后二次初试验力作用下的压头压入深度差求得洛氏硬度值。

【适用范围】

本方法适用于用洛氏硬度计 M、L、R 标尺测定塑料及工程塑料的硬度,不适用于测定塑料薄膜、泡沫塑料。

【测试仪器】

洛氏硬度计。主要由机架、压头、加力机构、硬度指示器和计时装置组成。

① 机架:刚性结构。硬度计在最大试验力作用下,机架变形和试样支撑结构位移对洛氏硬度影响不得大于 0.5 洛氏硬度分度值。

② 压头:为硬度至少是 $7\text{MN}/\text{mm}^2$ 的抛光钢球,不允许有灰尘、污物、油脂以及氧化物等存在。钢球在轴套孔中能自由滑动,试验时不应有变形,试验后不应有损伤。

③ 加力机构:包括载荷杠杆、砝码和缓冲器,可对压头施加试验力。

① 载荷杠杆:使砝码和吊挂的重量放大并对压头施加试验力的部件。

② 砝码:在载荷杠杆吊盘上所加的试验力。各种洛氏硬度标尺的初试验力、主试验力及压头直径如表 1-2-14 所示。

表 1-2-14 各种洛氏硬度标尺的初试验力、主试验力及压头直径

洛氏硬度标尺	初试验力, N	主试验力, N	压头直径, mm	
			基本尺寸	极限偏差
R	98.07	588.40	12.700	± 0.015
L	98.07	588.40	6.350	
M	98.07	980.70	6.350	
E	98.07	980.70	3.175	

③ 缓冲器:应使压头对试样能平稳而无冲击地施加试验力,并控制施加试验力时间在3~10s 范围内。

4) 硬度指示器:能测量压头压入深度到 0.001mm,为洛氏硬度计的指示装置,刻度应为硬度值,每一分度值等于 0.002mm。

6) 计时装置:能指示初试验力、主试验力全部加上时及卸除主试验力后到读取硬度值时,总试验力的保持时间,计时量程不大于 60s,准确度为 $\pm 5\%$ 。

【校准】

1) 用水平仪调节硬度计,使之处于正确位置。

2) 调节洛氏硬度计的缓冲器,在无试样状态下用 980.7N 试验力进行操作时,试验力动作时间规定为 4~5s。

3) 硬度计应定期(一般为半年)用已知洛氏硬度值的标准块由洛氏 E 标尺进行校准。大量试验前必须用 R、M、L 标尺的标准块进行辅助校准。

4) 硬度计每年应由国家计量部门定期检定。

【试样】

1) 试样厚度应均匀,表面光滑、平整、无气泡、无机械损伤及杂质等。

2) 标准试样厚度应不小于 6mm,试样大小应保证能在试样的同一表面上进行 5 个点的测量,每个测点中心距离以及到试样边缘距离均不得小于 10mm。

注:① 推荐试样尺寸为 $l \times b \times h$, mm: $50 \times 50 \times 6$ 。

② 测试表面采用非平面或其它形状的试样时,试样尺寸由有关产品标准另行规定。

3) 若试样无法得到所规定的最小厚度值时,允许由同种材料的薄试样叠合组成,但各块试样表面间都应紧密接触,不得被任何形式的表面缺陷分开。

注:叠合层数不得多于三层。其结果不能与非叠合试样进行比较。

4) 试验中如试样出现压痕裂纹或试样背面有痕迹时,数据无效。另取试样测试。

【测试步骤】

1) 按 GB/T1039—92《塑料力学性能试验方法总则》的规定检查试样;按 GB2918—82 89)《塑料试样状态调节和试验的标准环境》的规定调节试验环境。

2) 根据材料软硬程度选择适宜的标尺,尽可能使洛氏硬度值处于 50~115 之间,少数材料不能处于此范围的不得超过 125。如果一种材料可以用两种标尺进行试验时,所得值都处于限值内,则选用较小值的标尺。相同材料应选用同一标尺。

3) 按试样形状、大小挑选及安装工作台。将试样置于工作台上,旋转丝杠手轮,使试样慢慢无冲击地与压头接触,直至硬度指示器短指针指于零点,长指针垂直向上指向 B_{30} 处,此时已施加 98.07N 的初试验力。长指针偏移不得超过 ± 5 个分度值。若超过此范围不得倒转,应改换测点位置重做。

4) 调节硬度指示器,使长指针对准 B_{30} ,再于 10s 内平稳地施加主试验力并保持 15s,然后再平稳地卸除主试验力,经 15s 时读取长指针所指的 B 标尺数据,准确到标尺的分度值。

6) 反方向旋转升降丝杠手轮,使工作台下降,更换测试点。重复上述操作,每一试样测试 5 点。

【结果表示】

1) 洛氏硬度值用前缀字母标尺及数字表示。例如,HRM₇₀则表示用 M 标尺测定的洛

氏硬度值为 70。

②) 数字显示式硬度计可直接读取硬度值。直接按硬度值分度的度盘式硬度计,应分别记录施加主试验力后长指针通过 BO 的次数及卸去主试验力后长指针通过 BO 的次数并相减后,按下法读数:

- ① 差数是零,标尺读数加 100 为硬度值。
- ② 差数是 1,标尺读数即为硬度值。
- ③ 差数是 2,标尺读数减 100 为硬度值。
- ④) 如果需要可按式 (1-2-48) 计算:

$$HR = 130 - \frac{e}{C} \quad (1-2-48)$$

式中: HR ——洛氏硬度值;

e ——卸除主试验力后,在初试验力下压痕深度,mm;

C ——常数,其值为 0.002mm。

④) 测试结果以 5 点单个测定值的算术平均值表示,取三位有效数字。

⑤) 标准偏差 S 可按下式计算:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

式中: X_i ——单个测定值;

$\bar{X}$ ——一组测定值的算术平均值;

n ——测定次数。

六、剪 切

在实际应用中,有许多工程塑料零件和部件是在承受剪切力的情况下工作的,掌握工程塑料的剪切性能,对于正确选择和合理使用工程塑料具有重要意义。

塑料及工程塑料的剪切性能主要以剪切强度来衡量。剪切强度是指试样在剪力作用下破坏时单位面积上所能承受的载荷值。以受剪力方式来区分,剪切有单面拉伸剪切、单面压缩剪切、双面压缩剪切和纯剪切等多种。对于玻璃纤维增强工程塑料和层压工程塑料又有层间剪切、冲压式剪切等多种受力方式。

1. 工程塑料粘接材料剪切强度测试方法

【方法要点】

工程塑料试样的粘接部分受剪力破坏,计算单位粘接面积所承受的最大载荷。根据需要,本方法可做单面拉伸剪切试验和双面压缩剪切试验。

【试样】

试样形状和尺寸见图 1-2-32 和图 1-2-33。

图 1-2-32 中,试样两端附加垫片厚度视粘接部分厚度和被粘接材料的厚度而定;试样两端不加垫片可在 A-A 处穿孔 (孔径 $\phi = 7\text{mm}$),以便用销钉与夹具联结。

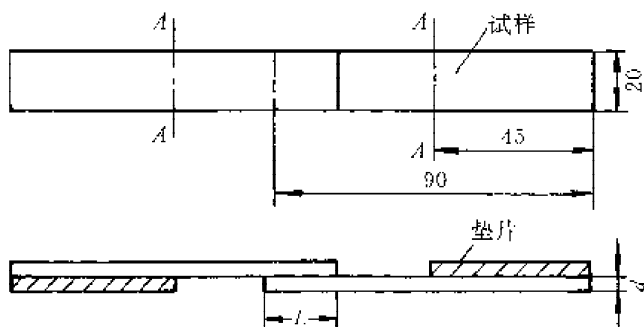


图 1-2-32 单面拉伸剪切试验的试样形状和尺寸

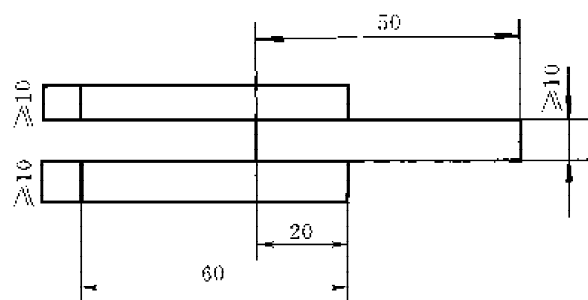


图 1-2-33 双面压缩剪切试验的试样和尺寸

对单面拉伸剪切试样,粘接材料的厚度 d 为 2 ± 0.1 mm $\sim$ 6 ± 0.1 mm 时,粘接长度 $L = 15$ mm; d 为 6 ± 0.1 mm $\sim$ 6 ± 0.1 mm 时, $L = 20$ mm。

对双面压缩剪切试样厚度不小于 10 mm, $L = 20$ mm。

每组试样不少于 5 个。

【测试设备】

任何型式的试验机均可使用,但必须经国家计量部门的定期检定。试验机从每级表盘满度的 10% 但不小于试验机最大载荷的 4% 开始读取载荷,示值允许误差不大于 $\pm 1\%$ 。

【测试条件及步骤】

1) 试验温度为 20 ± 2 °C。

2) 试验前,试样在试验温度下最少放置 16 h。

3) 单面拉伸剪切试验,是将试样与垫片一起夹于试验机的夹具中,施加拉伸载荷;双面压缩剪切试验,是将试样垂直放于试验机的压板间施加压缩载荷。

4) 试验速度 (空载) 为 10~25 mm/min。

5) 测量试样粘接面积的长度和宽度,准确至 0.05 mm。

【结果计算】

单面拉伸剪切试验的剪切强度按式 (1-2-49) 计算:

$$\sigma_s = \frac{P}{Lb} \quad (1-2-49)$$

双面压缩剪切试验的剪切强度按式 (1-2-50) 计算:

$$\sigma_s = \frac{P}{2Lb} \quad (1-2-50)$$

式中: σ_s —— 剪切强度, MPa;

P —— 最大载荷, N;

L —— 试样粘接部分长度, mm;

b —— 试样粘接部分宽度, mm。

测试结果以一组试样的算术平均值、最大值和最小值表示。

2. 玻璃纤维增强工程塑料剪切强度测试方法

【方法要点】

玻璃纤维增强工程塑料在冲压剪力作用下破坏,计算单位面积上所承受的最大载荷。

适用于玻璃纤维织物增强工程塑料板材的断纹剪切强度和短切玻璃纤维增强工程塑料的剪切强度的测定。

【试样】

图 1-2-34 (a) 试样采用机械加工法制备。当板厚大于 6mm 时, 单面加工至 6 ± 0.1 mm。

图 1-2-34 (b) 试样为直径 27mm、厚 2~6mm 的圆片。试样可直接模塑或从模塑成与试样同厚度的板材中加工而成。仲裁试样厚度为 4mm。

试样数量每批不少于 5 个。

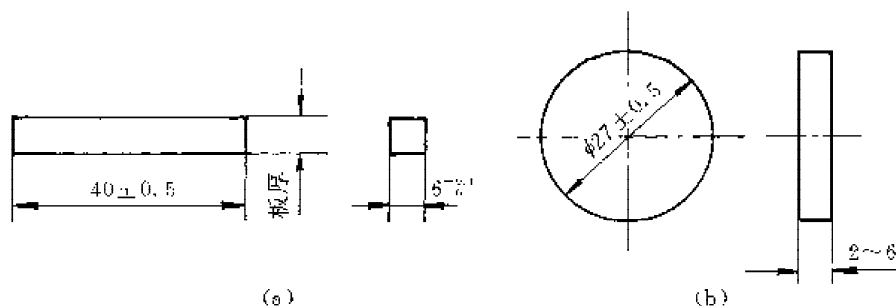


图 1-2-34 冲压式剪切试样

(a) 板材断纹剪切试样; (b) 模塑剪切试样

【测试条件及测试设备】

测试环境温度为 23 ± 2 °C, 相对湿度为 45%~55%。

测试设备及要求与工程塑料压缩试验使用的试验机相同。圆柱冲头剪切夹具见图 1-2-35。加载速度为 1.5~5.0 mm/min。

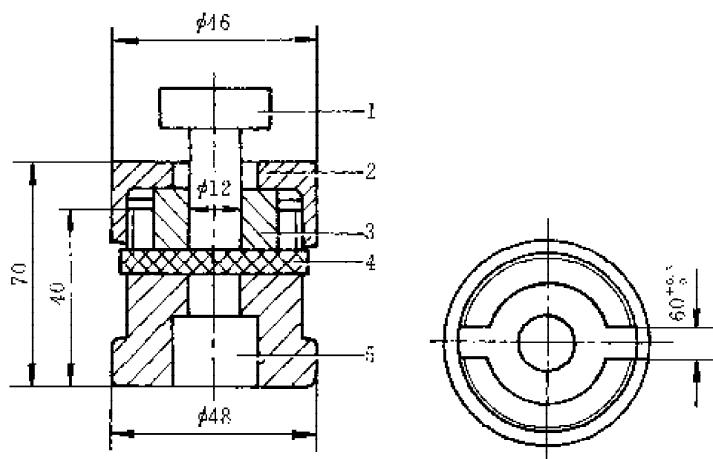


图 1-2-35 圆柱冲头剪切夹具

1—圆柱冲头; 2—上压盖; 3—上压块; 4—试样; 5—底座

【测试步骤】

① 试样预处理后, 测量断纹剪切试样受剪面两处的宽度和厚度, 取算术平均值; 测量短切玻璃纤维增强工程塑料剪切试样受剪面三处的厚度, 取算术平均值。

② 将试样放入剪切夹具的底座 5 中, 装上上压块 3, 拧紧上压盖 2, 确保与试样 4 接触的上压块及底座之间没有间隙, 然后安上圆柱冲头。

3) 将安装好试样的剪切夹具放置在试验机上,使圆柱冲头的中心对准试验机上压板的中心。开动试验机,以规定的速度通过圆柱冲头对试样施加均匀、连续的载荷,直至破坏。记录破坏载荷。

4) 有明显内部缺陷或不沿剪切面破坏的试样应作废。同批有效试样不足 5 个时,应重做试验。

【结果计算】

1) 断纹剪切强度按式 (1-2-51) 计算:

$$\sigma_s = \frac{P_b}{2bhK} \quad (1-2-51)$$

式中: σ_s ——断纹剪切强度, MPa;

P_b ——破坏载荷, N;

b ——试样受剪面宽度, mm;

h ——试样受剪面厚度, mm;

K ——曲面换算系数 (因试样的剪切面为圆柱面,故在计算公式中有曲面换算系数,当圆柱冲头直径为试样宽度的 2 倍时, $K = 1.047$)。

2) 短切玻璃纤维增强工程塑料剪切强度按式 (1-2-52) 计算:

$$\sigma_s = \frac{P_b}{\pi Dh} \quad (1-2-52)$$

式中: σ_s ——短切玻璃纤维增强工程塑料剪切强度, MPa;

P_b ——破坏载荷, N;

D ——圆柱冲头直径, 通常为 12mm;

h ——试样受剪面厚度, mm。

3) 测试结果以每组试样的算术平均值表示。

七、蠕 变

工程塑料作为结构材料使用时,一般要求能长期使用。构件在载荷作用下,首先发生弹性形变,尔后随着载荷作用时间的增加,其形变也会逐渐增加,当形变达到一定程度后,构件就不能再使用了。这种在载荷作用下,形变随载荷作用时间的增加而增加的现象称做蠕变。在受力构件的设计中,必须了解材料的蠕变性能,以便合理的设计构件的尺寸和形状。为了给设计提供材料的蠕变性能,必须通过试验加以测定。

根据作用力种类的不同,蠕变可分为拉伸蠕变、压缩蠕变、弯曲蠕变等。

【方法要点】

在规定环境条件下,测定工程塑料在拉伸、压缩及弯曲载荷作用下的蠕变。

【试样】

1) 形状和尺寸:拉伸蠕变试样采用图 1-2-36 示出的 I 型和 II 型试样。压缩蠕变试样为正圆柱体或正棱柱体形式,推荐采用横截面为直径 $\phi = 12\text{mm}$ 的圆或 $12.7\text{mm} \times 12.7\text{mm}$ 的正方形试样。弯曲蠕变试样推荐采用长度、宽度和厚度分别为 63.5mm、12.7mm 和

放置不少于 40h。

② 测试温度的选择:温度的选择取决于结果数据的用途。可按下列原则进行选择:

① 为了表征某种材料的特性,可选两个或两个以上的试验温度来概括实用温度范围。要求所选择的温度间隔能反映该材料蠕变性能的明显变化。

② 为了获得设计数据,则测试温度应与预定使用的情况相同。

③ 为获得 1 000h 下对应于 1%应变的应力数据 (即蠕变极限值),或者为了得到简单的材料蠕变性能数据表,可选择下列试验温度:23, 50, 70, 90, 120 和 150℃。

④ 应力级及测试时间的选择:为了获得设计数据或表征材料特性,应力级的选择应根据材料蠕变性能对应力的关系大小而定。关系大的材料每一温度下取 5 个应力级,关系较小的则取 3 个应力级。但不能使用不到 1 000h 就发生断裂的应力级。

【测试步骤】

① 将经状态调节并测量过截面尺寸的试样安装在拉伸夹具、压缩蠕变装置或弯曲蠕变支架上。

② 装好变形测量装置。

③ 在 1~5s 内迅速而平稳地把全部载荷加到试样上。

④ 测量试样的伸长、缩短或弯曲挠度,按照下列时间进行:1, 6, 12 和 30min;1, 2, 5, 20, 50, 100, 200, 500, 700 和 1 000h。对大于 1 000h 的蠕变试验则至少每月测一次变形。

⑤ 若估计或遇到蠕变应变对时间的关系曲线是非线性的,则读数应更频繁些。

【结果计算】

① 应力计算:

对拉伸或压缩测量,每一试样的应力是将载荷除以平均初始截面积计算而得。

对弯曲测量,每一试样的最大纤维应力按式 (1-2-53) 计算:

$$S = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1-2-53)$$

式中: S ——最大纤维应力,MPa;

P ——载荷,N;

L ——跨距,mm;

b ——试样弯度,mm;

d ——试样厚度,mm。

② 应变计算:

对拉伸或压缩试验,蠕变应变百分数 ϵ 按式 (1-2-54) 计算:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad (1-2-54)$$

式中: $\Delta L = L - L_0$, mm

L ——试验过程中任何给定时刻的标距,mm;

L_0 ——未加应力前的初始标距,mm。

对弯曲试验,跨中外层纤维最大应变 ϵ 按式 (1-2-55) 计算:

$$\epsilon = \frac{6Dd}{L^2} \quad (1-2-55)$$

式中: D ——跨中最大挠度, mm;

d ——试样厚度, mm;

L ——跨距, mm。

当环境对试样尺寸有明显影响时,应当用对照试样的尺寸变化来修正蠕变应变值。

6) 蠕变模量的计算: 用初始应力除以某一时刻的蠕变应变, 即为该时刻的蠕变模量值。由此可画出各应力级对数蠕变模量与时间的关系曲线 (图 1-2-37)。

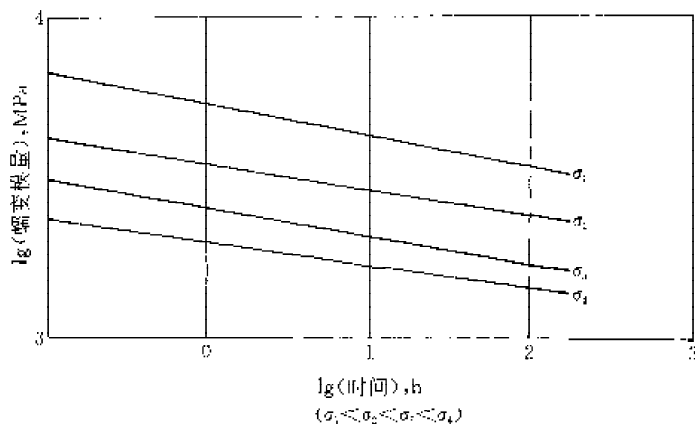


图 1-2-37 典型的蠕变模量-时间曲线

4) 1 000h 下产生 1%蠕变应变的应力计算: 首先画出每一试验温度 1 000h 下的等时应力-应变曲线 (图 1-2-38), 然后以内插法求出 1%应变时的应力。1 000h 下的等时应力-应变曲线是由不同应力级的几条 (至少 3 条) 蠕变曲线上对应于 1 000h 的应变和相应的应力而制得的。

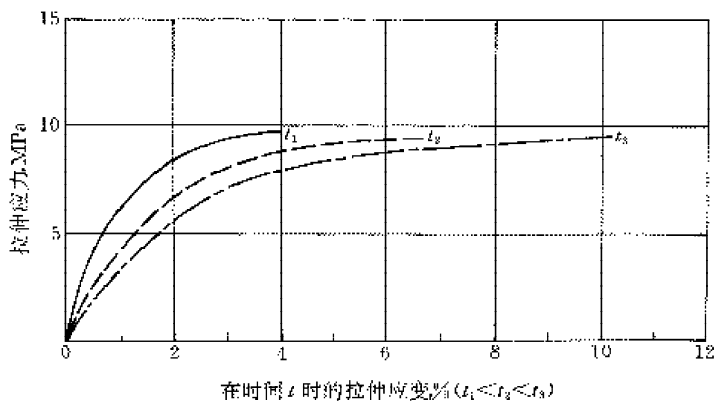


图 1-2-38 典型的等时应力-应变曲线

6) 蠕变应变与时间的关系: 在一定应力作用下, 以蠕变应变的百分数的常用对数对加载时间的常用对数作图, 可得到蠕变应变-时间曲线 (图 1-2-39)。据此图可以求出在某一规定应力作用下任一时间的蠕变应变数值。

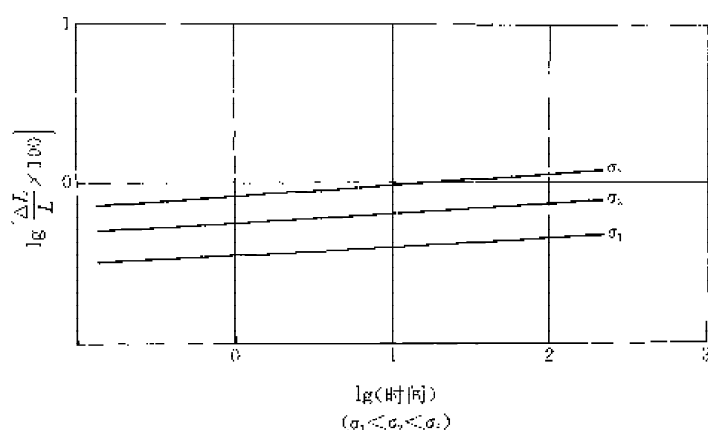


图 1-2-39 典型的蠕变应变-时间曲线

八、疲 劳

疲劳是材料在重复的或振荡的载荷作用下,其力学性能减弱或破坏的现象。材料的疲劳强度往往比其静态强度小得多。一般来说,多数塑料的疲劳强度在其静态拉伸强度的20%~40%之间,在其静态弯曲强度的10%~30%之间。对于作为结构材料使用的工程塑料来说,在使用中又要经受交变应力的作用,因此,其疲劳强度往往比其静态强度更具实际应用的意义。

疲劳试验根据施加载荷的方式不同,可分为拉压、弯曲、扭转、冲击、组合应力等试验方法。根据施加的应力大小和产生的应变大小来分,又可分为应力振幅一定和应变振幅一定以及变动的应力和应变的试验方法。

中国国家标准和 ISO 的标准中,目前尚无疲劳试验方法。这里参照美国 ASTM D671—71 (78),介绍在定幅力作用下,工程塑料弯曲疲劳的试验方法。

【方法要点】

使用悬臂梁式疲劳试验机,对试样施加交变的恒定幅值的弯曲应力,测定试样在恒定幅值的弯曲应力的反复作用下的疲劳性能。

【试样】

可用图 1-2-40 中示出的两种试样中的一种来作试验。试样选择根据试样厚度和应力范围而定。A 型和 B 型试样除转角处为圆弧外,基本上为三角形。三角形试样可使试样上应力分布均匀。

【测试设备】

采用悬臂梁式、恒定交变力值型的疲劳试验机。图 1-2-41 为其装置的简图。试样 A 的一端以悬臂梁方式夹紧于固定一侧的夹具 B 上,另一端夹在载荷侧夹具 C 上。交变的力是由一个联接在旋转轴上的可调偏心重锤 D 通过转动来提供。旋转轴的动力是由一个定速电机提供。

试验机应具有计数器(测定并记录循环次数)、自动停车装置(当试样破坏时自动停车)和测温装置(测量试样表面温度)。

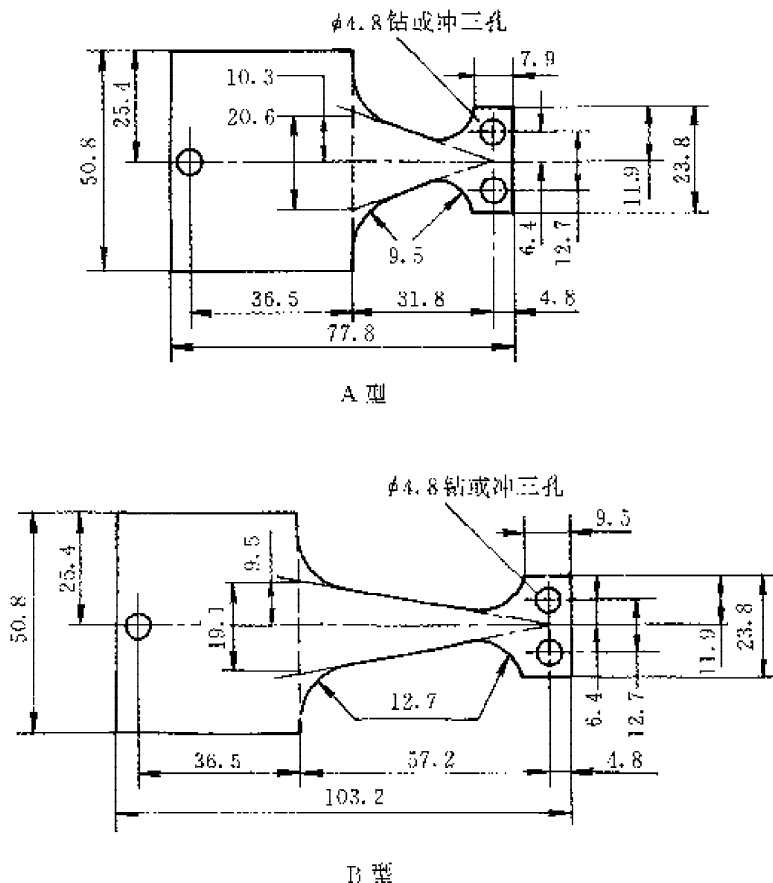


图 1-2-40 恒力疲劳试样尺寸

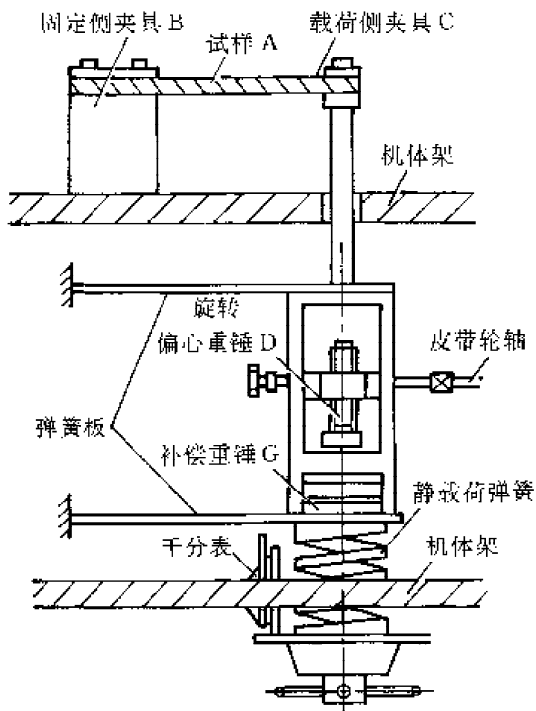


图 1-2-41 悬臂梁式疲劳试验机简图

【测试步骤】

① 调整试验机。按照试验机说明书进行,或者使用试验机制造厂提供的标准金属试样来调整试验机,从试验机的调整砝码质量对试验机振动振幅曲线上的峰值处确定“补偿质量”数值,该值对试验机来说是一个常数。

② 测量。整个试验中,至少做四种不同应力振幅值的试验,对每一应力振幅值至少要用三根以上试样。适当选择应力振幅值,使测得的疲劳破坏发生在 10^4 、 10^5 、 10^6 、 10^7 循环次数附近。

测量每个试样三角形部位的最小厚度,准确至 0.03mm。将试样安装在试验机的两夹具上,测量跨度 L (从夹具 B 的前端边缘沿着试样主轴到夹具 C 上两安装螺钉中心连线之间的距离)值,准确至 0.5mm。

③ 试样有效质量的计算。试样有效质量按式 (1-2-56) 和 (1-2-57) 计算:

A 型试样

$$m = KDd \quad (1-2-56)$$

B 型试样

$$m = K'Dd$$

(1-2-57)

式中, m ——试样有效质量, g;

D ——试样的密度, kg/cm^3 ;

d ——试样平均厚度, mm;

K —— 248mm^2 ;

K' —— 323mm^2 。

4) 调整砝码的安装。用补偿质量值减去试样有效质量, 即得到调整砝码数值。将调整砝码装至试验机振动装置上。

6) 试样载荷的计算。加在试样上的载荷值可按式 (1-2-58) 计算:

$$P = \frac{Sb_x d^2}{6L_x} = \frac{Sb_0 d^2}{6L_0} \quad (1-2-58)$$

式中: P ——加在试样自由端上的载荷值, N;

S ——所需的最大循环应力, MPa;

b_x ——试样任意点的宽度, mm;

L_x ——对应于任意点距自由端的距离, mm;

b_0 ——三角形试样的底边长度, A 型为 20.6mm , B 型为 19.1mm ;

L_0 ——试样的跨度, A 型为 31.8mm , B 型为 57.2mm ;

d ——试样的厚度, mm。

由于 A 型试样和 B 型试样的 b_0 、 L_0 为定值, 所以,

$$\text{对 A 型试样:} \quad P_A = 0.108 S d^2 \quad (1-2-59)$$

$$\text{对 B 型试样:} \quad P_B = 0.0557 S d^2 \quad (1-2-60)$$

6) 试验频率。如没有特殊要求, 一般选取的试验频率为 $(30 \pm 0.05)\text{Hz}$ 。

7) 读数。将计数器调到零, 开动试验机进行试验, 记录在不同载荷下的疲劳破坏的循环次数。

8) 温度测量。测量稳态时的温度, 假如温度不稳定, 则测定整个试验过程中的温度。

【作图与数据处理】

以交变应力幅值 S 为纵坐标, 试样疲劳破坏循环次数 N 的对数为横坐标, 在单对数坐标纸上绘制应力-循环次数曲线 (简称 $S-N$) 曲线。将所有的试验数据画在图上, 然后用回归分析法或直接作图法得到一条光滑的曲线 (图 1-2-42)。

疲劳强度一般用某一循环次数下的应力来表示。常用的循环次数是 10^7 次。

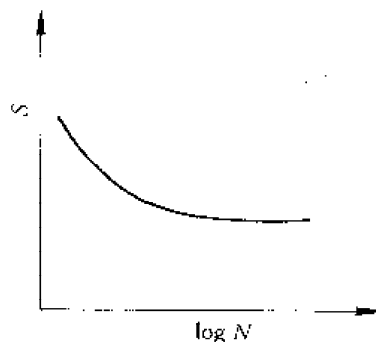


图 1-2-42 典型的 $S-N$ 曲线图

九、摩擦和磨损

工程塑料常用来制造各种机械的减摩耐磨零件。在设计各种零件之前, 必须选择合适

6) 圆环: 见图 1-2-45。圆环的材质对工程塑料磨损试验结果影响很大, 通常规定用 45 号钢, 要求整体淬火, 热处理 HRC40~45, 外圆表面粗糙度 $R_a = 0.40$, 倒角处均为 $0.5 \times 45^\circ$, 外圆表面与内圆同心度偏差小于 0.01。圆环可以反复使用, 每次试验后需重新磨削。当外径小于 36mm 就不能再用。作仲裁试验时必须用 $\phi 40\text{mm}$ 的圆环。

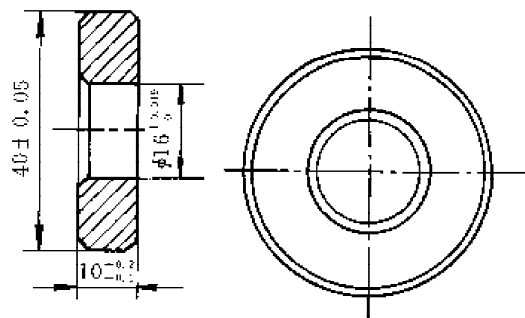


图 1-2-45 圆环外形尺寸

【测试条件】

1) 试样状态调节按 GB2918—82 (89) 的规定进行。温度为 $23 \pm 5^\circ\text{C}$, 湿度为 $50 \pm 10\%$ 。

2) 试验时上转轴保持静止, 下转轴以 200 r/min 转动, 做滑动摩擦, 对磨 2h, 载荷 196N。根据材料, 允许选择其它载荷。

【测试步骤】

1) 圆环应清除油污, 贮存于干燥缸内以防生锈。

2) 试样经状态调节后用感量为 0.1mg 的分析天平称取其质量 (m_1)。

3) 将试样装进夹具, 摩擦面用角尺校正并使它与圆环的交线处于试样正中。装好摩擦力矩记录纸, 开机校好零点。

4) 再次用乙醇、丙酮等不与工程塑料起作用的溶剂仔细清除试样和圆环上的油污, 此后不得再用手接触试样和圆环的表面。

5) 平稳地加荷至选定的载荷值。

6) 对磨 2h 后停机卸载荷, 取下试样和圆环, 清理试样表面后, 用精度不低于 0.02mm 的量具测量磨痕宽度, 或在试验环境下存放 1h 后称取试样质量 (m_2)。

7) 读取摩擦力矩值。

【结果计算】

1) 磨损量: 以磨痕宽度来表征磨损量。测量 3 点, 取算术平均值, 各点之差不得大于 1mm。需要时, 也可用体积磨损表示磨损量。体积磨损可用式 (1-2-61) 计算:

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho} \quad (1-2-61)$$

式中: V ——体积磨损, cm^3 ;

m_1 ——试验前试样的质量, g;

m_2 ——试验后试样的质量, g;

ρ ——试样在 23°C 时的密度, g/cm^3 。

2) 摩擦因数: 摩擦因数 μ 可用式 (1-2-62) 计算:

$$\mu = \frac{M}{rF} \quad (1-2-62)$$

式中: M ——趋向稳定的摩擦力矩, J;

F ——试验载荷, N;

r ——圆环半径, m。

试验结果取二位有效数字。

3) 标准偏差 S 可用下式计算:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (\alpha_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

式中: X_i ——单个试样测定值;

$\bar{X}$ ——一组试样测定结果的算术平均值;

n ——测定的试样个数。

第五节 热性能测试

一、线膨胀系数

线膨胀系数是指温度每变化 1 摄氏度, 试样长度变化值与其原始长度值之比, 单位为 $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。测定线膨胀系数对了解工程塑料适用范围和鉴定产品品质都有重要意义。

【方法要点】

采用线膨胀系数测定仪, 在一定温差下, 测定工程塑料试样长度的变化值, 计算其线膨胀系数。

【测试仪器】

推荐采用 LE-1 型线膨胀系数测定仪。

1) 石英膨胀计: 石英外管内径 10~11mm, 石英内外管间滑动间隙 0.1~0.2mm。连接件与恒温浴顶部保持 40~50mm 距离, 连接件和千分表座应由低膨胀合金制成。石英内管和千分表测头对试样端面的压力之和应小于 15kPa。图 1-2-46 示出了石英膨胀计示意图。

2) 千分表: 量程 0~1mm, 示值误差 $\pm 0.002\text{mm}$ 。

3) 试样端面垫片: 试样端面垫片应由低膨胀合金制成, 表面平整光滑, 直径 10mm, 厚度 0.3~0.6mm。

4) 测温仪器: 数字温度表或水银温度计, 分度值为 0.1°C 。

5) 恒温浴: 在测定周期内, 恒温浴的试样区温度应均匀, 温度波动在 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 以内。

6) 游标卡尺: 应符合 GB1214 的要求, 分度值为 0.02mm。

【试样】

1) 试样尺寸: 对于线膨胀系数较大的材料, 长度 50mm; 线膨胀系数较小的材料, 长度 100mm。试样横截面可以是圆形、方形或长方形的, 能很方便地放入石英膨胀计的外管内, 不应发生晃动、摩擦和变形。试样横截面的直径或对角线的

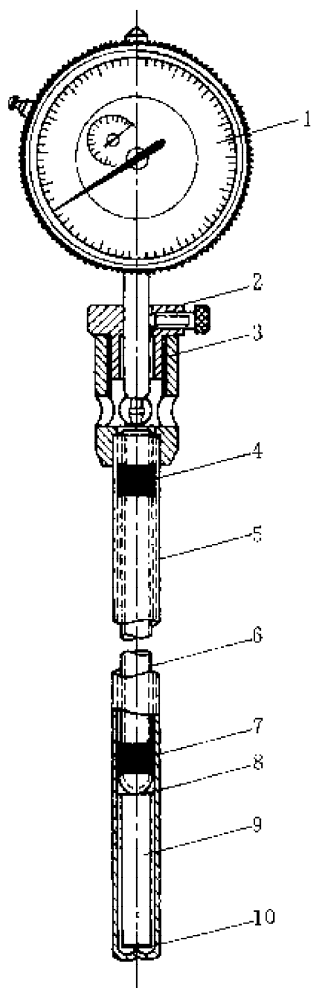


图 1-2-46 石英膨胀计示意图

1—千分表; 2—千分表座; 3—连接件; 4、7—定位环; 5—石英外管; 6—石英内管; 8、10—垫片; 9—试样

长度约 10mm。

2) 试样制备:可采用机械加工、模塑或浇铸的方法制备试样。若从各向同性的材料上切取试样,可随意取三个试样。若从各向异性的材料上切取试样,则应在同一方向切取三个试样。试样端面应平整,无毛刺,并垂直于长轴。

【测试步骤】

1) 对湿度敏感的材料或精度要求高的试验及仲裁试验等,在测定前试样应按 GB2918—82 (89) 的规定进行状态调节,但存放时间至少 40h。

2) 用游标卡尺测量试样原始长度,读数精确到 0.02mm。

3) 将试样装入石英膨胀计的外管中,同时在试样两端垫上金属片,然后放入石英内管,装上千分表座和千分表,轻轻敲击使千分表指示值稳定。

4) 将石英膨胀计插入 $-32 \sim -28^{\circ}\text{C}$ 的恒温浴中,待试样温度与恒温浴温度平衡 (约需 30min),千分表指示值稳定 5~10min 后,把千分表指示值调到零。

5) 在不引起振动和晃动的条件下,小心地将石英膨胀计平稳地移到 $28 \sim 32^{\circ}\text{C}$ 的恒温浴中,待试样温度与浴温平衡,千分表指示值稳定 5~10min 后记录读数,得试样膨胀值和温度值,数值分别读到小数后第三位和第一位。

6) 在不引起振动和晃动的条件下,小心地将石英膨胀计平稳地移回 $-32 \sim -28^{\circ}\text{C}$ 的恒温浴中,待试样温度与浴温平衡,千分表指示值稳定 5~10min 后记录读数,得试样收缩值和温度值,数值分别读到小数后第三位和第一位。

7) 若试样每摄氏度的膨胀值与收缩值的绝对值之差超过其平均值的 5%,则应查明原因予以消除,并重新进行测定,直至符合要求为止。

【结果计算】

试样的线膨胀系数按式 (1-2-63) 计算:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} \quad (1-2-63)$$

式中: α ——线膨胀系数, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

ΔL ——试样膨胀值和收缩值的算术平均值, mm;

L_0 ——试样原始长度, mm;

ΔT ——两个恒温浴温度差的平均值, $^{\circ}\text{C}$ 。

试验结果以一组试样的算术平均值表示,取三位有效数字。

用本方法进行测定时,实验室间的允许误差为 $\pm 1.6\% \sim \pm 2.4\%$ 。

二、热 导 率

热量从物体的一部分传到另一部分,或从一个物体传到另一个与其相接触的物体,称为热传导。热导率 (也称作导热系数) 是表征材料热传导性能的参数。热导率被定义为:在稳定条件下,垂直于单位面积方向的每单位温度梯度通过单位面积上的热传导速率。

工程塑料是优良的绝热、保温材料,这是基于其热导率小这一特性所决定的。因此,热导率是工程塑料热性能行为的一个重要指标。

热导率的测定按工作原理可分为稳定热流法 (稳态法) 和不稳定热流法 (非稳态法) 两类。稳态法较成熟也较易实施, 可以得到准确的结果, 采用较为普遍。这种方法根据试样形状又可分为平板法、圆管法和球状法三种。但目前采用最多的是平板法, 所使用的仪器称为平板热导仪。

【方法要点】

基于单向稳定热导原理, 采用护热平板稳态法测量工程塑料热导率。当试样上下两表面处于不同的稳定温度下, 测量单位时间内通过试样有效传热面积的热量及试样两表面间温差和厚度, 计算热导率。

【试样】

① 试样应是均质的硬质材料, 两表面应平整光滑且平行, 无裂缝等缺陷。对平板试样, 要求平面度误差在 $0.5\text{mm}/\text{m}$ 以内。

② 试样为圆形或正方形, 其直径或边长与护热板相等, 厚度不小于 5mm 。最大厚度根据仪器确定, 应不超过其直径或边长的 $1/8$ 。

③ 测试前应根据产品标准的要求对试样进行状态调节, 如无产品标准, 则根据 GB2918—82 (89) 规定的条件处理 24h 。

④ 每组试样不少于两块。

【测试条件】

① 热板温度: 低于 333K 。

② 冷板温度: 室温或所需温度。

③ 冷板和热板之间的温度差不小于 10K , 通过试样的温度梯度在 $400\text{K}/\text{m}$ 至 $2000\text{K}/\text{m}$ 之间。

【测试仪器】

采用带有护热板的热导率测量仪 (图 1-2-47)。它由加热板 (包括主加热板和护加热板)、冷板、测温仪表、量热仪表等组成。

① 加热板: 主加热板直径至少为 100mm , 护加热板最小宽度至少为加热板边长或直

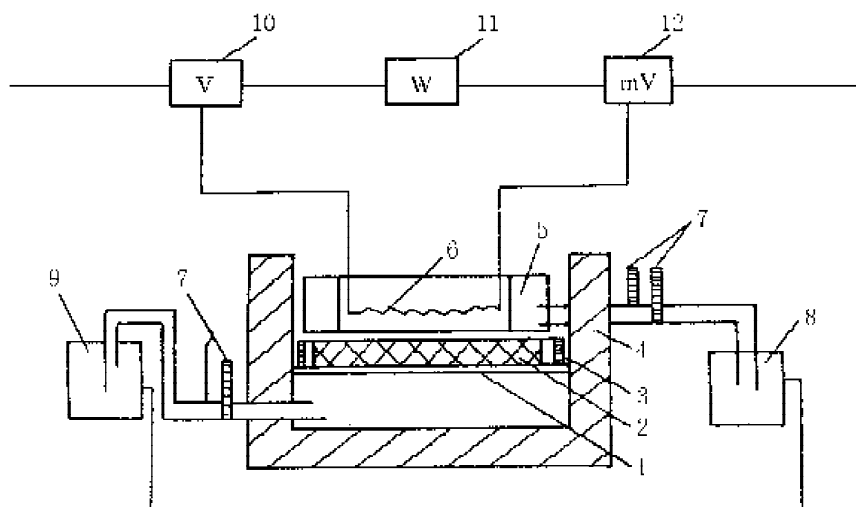


图 1-2-47 热导率测量仪结构示意图

1—冷板; 2—试样; 3—测微器; 4—护热装置; 5—护热板; 6—主加热板; 7—温度计;
8—护热板恒温水浴; 9—冷板恒温水浴; 10—电压表; 11—功率表; 12—毫伏表

径的 1/4。主加热板和护加热板之间应有合适的缝隙,缝隙的平面面积应不大于主加热板面积的 8%。加热板应平整、光滑,表面平面度误差在 0.25mm/m 以内。温度应均匀,主加热板温度波动不大于试样两面温差的 2%,护加热板不大于 5%。主、护加热板之间应有平均温度平衡检测器。

2) 冷板:应具有与加热板同样尺寸和对平面度的要求。

3) 热板与冷板具有大于 0.8 的辐射系数。

4) 测温仪表:用热电偶丝直径小于 0.2mm 的热电偶,测量试样两表面的温度,精度不低于 0.1K。

5) 量热仪表:测量单位时间通过试样的热量,精确到 1%。

6) 加热电源:要求加热电压的波动,不超过 $\pm 0.5\%$ 。

【测试步骤】

1) 采用精度不小于 0.05mm 的厚度测量工具,沿试样四周至少测量四处的厚度,取其算术平均值,作为试验前试样厚度。

2) 将状态调节过的试样,放入仪器冷热板之间,使试样与冷热板紧密接触。

3) 使冷热板维持恒定的温度,保持所选定的温度差。温度的读数应精确至 0.1K。

4) 当主加热板和护加热板温差小于 $\pm 0.1K$ 时,认为温度达到平衡。

5) 在主加热功率不变条件下,当主加热板温度波动每小时不超过 $\pm 0.1K$ 时,认为达到稳态。每隔 30min 连续三次测量单位时间内通过有效传热面的热量和试样两面温差。各次测定值与平均值之差小于 1%时,结束试验。

6) 试验完毕再按 1) 条的规定测量试验后试样厚度。取试验前、后试样厚度的平均值为试样厚度。

【结果计算】

1) 单平板法,热导率按式 (1-2-64) 计算:

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{A \cdot \tau \cdot \Delta t} \quad (1-2-64)$$

式中: λ ——试样热导率, $W/(m \cdot K)$;

Q ——稳态时通过试样有效传热面积热量, J;

d ——试样厚度, m;

A ——试样有效传热面积 (以主、护加热板缝隙中心的距离计算), m^2 ;

τ ——测量时间间隔, s;

Δt ——试样热面温度 t 和冷面温度 t' 之差, 即

$$\Delta t = t - t', K。$$

2) 双平板法,热导率按式 (1-2-65) 计算:

$$\lambda = \frac{Q \cdot d_m}{2A \cdot \tau \cdot \Delta t_m} \quad (1-2-65)$$

式中: Q 、 τ ——同式 (1-2-64);

d_m ——试样 1 与 2 的厚度 d_1 和 d_2 的平均厚度, 即

$$d_m = \frac{1}{2} (d_1 + d_2), \text{ m};$$

Δt_m ——试样 1 与 2 的两面的平均温度差,即

$$\Delta t_m = \frac{1}{2} [(t_1 + t_2) - (t'_1 + t'_2)], \text{ K};$$

t_1 、 t_2 ——分别为试样 1 与 2 的热面温度, K;

t'_1 、 t'_2 ——分别为试样 1 与 2 的冷面温度, K。

公式 1-2-65) 仅在以下条件下适用:

$$\left| \frac{2 [(t_1 - t'_1) - (t_2 - t'_2)]}{(t_1 + t_2) - (t'_1 + t'_2)} \right| \leq 0.2$$

3) 试验结果以每组试样的算术平均值表示, 取三位有效数字。当每一试样测试结果与平均值之差大于 5% 时, 试验应重做。

三、维卡软化点

【方法要点】

工程塑料试样于液体传热介质中, 在一定的载荷、一定的等速升温条件下, 被 1mm^2 的压针压入 1mm 深度时的温度。

本方法测得的维卡软化点适用于控制品质和作为鉴定新品种热性能的一个指标, 但不代表材料的使用温度。

【试样】

1) 试样厚度应为 $3\sim 6\text{mm}$, 宽和长至少为 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 。

① 模塑试样厚度为 $3\sim 4\text{mm}$ 。

② 板材试样厚度取板材原厚, 但厚度超过 6mm 时, 应在试样一面加工成 $3\sim 4\text{mm}$ 。如厚度不足 3mm 时, 可由两块但至多不超过 3 块叠合至规定厚度。

2) 试样表面应平整光滑, 无气泡、凹痕或飞边等缺陷, 上下表面应平行。

3) 每组试样为 2 个。试样的预处理可按产品标准规定进行, 若无规定, 则可直接进行测定。

【测试设备】

使用维卡软化点测定仪, 试验装置如图 1-2-48 所示。该仪器应包括以下各部分:

1) 支架。用于放置试样, 并可方便地浸于保温浴槽中。支架和施加载荷的载荷杆应选用膨胀系数小的材料制成。载荷杆能自由垂直移动, 压针固定于载荷杆的末端。压针头应经硬化处理, 其长为 $3\sim 5\text{mm}$, 横截面积为 $1.000 \pm 0.015\text{mm}^2$ 。

2) 保温浴槽。为盛液体传热介质的浴槽, 具有搅拌器、加热器。加热器应能按下列速度等速升温:

A 速度: $6 \pm 0.5)^\circ\text{C} / 6\text{min}$;

B 速度: $12 \pm 1.0)^\circ\text{C} / 6\text{min}$ 。

3) 液体传热介质。传热介质的选择, 以对试样无影响为原则, 如硅油、变压器油、液体

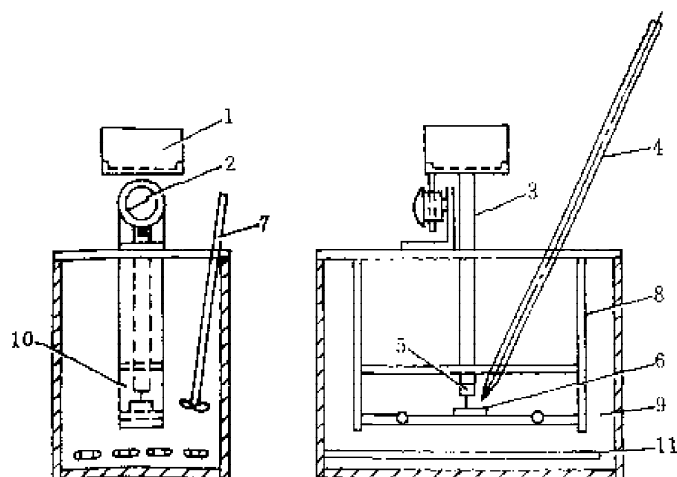


图 1-2-48 维卡软化点测定仪

1—砝码；2—变形测量装置；3—载荷杆；4—测温装置；5—压针；6—试样；7—搅拌器；
8—支架；9—保温浴槽；10—压针头；11—加热器

石蜡、乙二醇等均可。并须具有室温时粘度较低的特点。

4) 砝码。因试样承受的静载荷 G ($G = W + R + T$) 有两种：

$$G_A = 1\,000^{+50}_{-0} \text{ g}; G_B = 5\,000^{+50}_{-0} \text{ g}$$

则应加砝码的质量由式 (1-2-66) 计算：

$$W = 1\,000 \text{ (或 } 5\,000) - R - T \quad (1-2-66)$$

式中： W ——砝码质量，g；

R ——压针及载荷杆的质量，g；

T ——变形测量装置附加力，g。

6) 测温装置。经校正的温度范围合适的水银温度计或其它测温仪表，其分度值为 1°C 。

6) 变形测量装置。精度为 0.01mm 的百分表或其它测量装置。

7) 冷却装置。将液体传热介质迅速冷却，以备再次试验。

【测试步骤】

1) 将试样放入支架，其中心位置约在压针头之下，距试样边缘应大于 3mm 。经机械加工的试样，加工面应紧贴支架底座。

2) 插入温度计，使温度计水银球与试样相距 3mm 以内，但不应触及试样。

3) 将支架小心浸入浴槽内，试样位于液面 35mm 以下，起始温度应至少低于该材料维卡软化点 50°C 。

4) 加砝码，使试样承受 G_A 载荷或 G_B 载荷。开始搅拌， 5min 后调节变形测量装置，使之为零。

5) 按 A 速度或 B 速度升温。

6) 当压针头压入试样 1mm 时，迅速记录此时温度，此温度即为该试样的维卡软化点。

7) 材料的维卡软化点以两个试样的算术平均值表示，如同组试样测定结果之差大于 2°C 时，必须另取试样重做。

四、热变形温度

载荷热变形温度是衡量工程塑料耐热性的主要指标之一,是产品品质控制和鉴定新品种热性能的重要依据。但它不是最高使用温度,最高使用温度应根据制品的受力情况及使用要求等因素来确定。

【方法要点】

将试样浸在一种等速升温的合适液体传热介质中,在简支梁式的静弯曲载荷作用下,测定工程塑料试样弯曲变形达到规定值时的温度。该方法适用于工程塑料模塑材料和板材。

【试样】

1) 试样为截面是矩形的长条,其尺寸规定如下:

- ① 模塑试样,长度 $L = 120\text{mm}$,高度 $h = 15\text{mm}$,宽度 $b = 10\text{mm}$;
- ② 板材试样,长度 $L = 120\text{mm}$,高度 $h = 15\text{mm}$,宽度 $b = 3 \sim 13\text{mm}$ (取板材原厚度);
- ③ 在特殊情况下,可以用长度 $L = 120\text{mm}$,高度 $h = 9.8 \sim 15\text{mm}$,宽度 $b = 3 \sim 13\text{mm}$ 的试样,但中点弯曲变形量必须用表 1-2-15 中规定的值。

表 1-2-15 试样高度变化时相应变形量的变化表

试样高度 h , mm	相对变形量, mm	试样高度 h , mm	相对变形量, mm
9.8~9.9	0.33	12.4~12.7	0.26
10.0~10.3	0.32	12.8~13.2	0.25
10.4~10.6	0.31	13.3~13.7	0.24
10.7~10.9	0.30	13.8~14.1	0.23
11.0~11.4	0.29	14.2~14.6	0.22
11.5~11.9	0.28	14.7~15.0	0.21
12.0~12.3	0.27		

2) 试样表面应平整光滑,无气泡、凹痕或飞边等缺陷。

3) 每组试样最少为两个。

4) 试样预处理按产品标准规定进行,若无规定,则可直接测定。

【测试设备】

使用热变形温度测定仪 (图 1-2-49)。其结构包括下列各部分:

1) 试样支架。用金属制成。两个支座中心间的距离为 100mm 。在两个支座的中点,能对试样施加垂直的载荷、支座及载荷杆压头应互相平行,与试样接触部分必须制成半圆形,其半径为 $(3 \pm 0.2)\text{mm}$ 。支架的垂直部件与载荷杆必须用线膨胀系数小的材料制成,使在测试温度范围内,由于热膨胀引起的变形测量装置的读数偏差

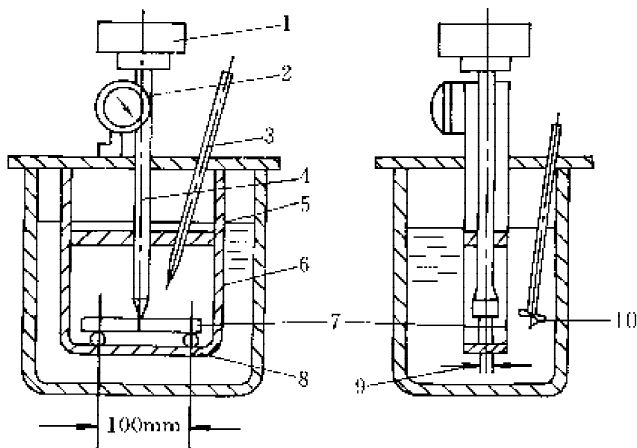


图 1-2-49 热变形温度试验装置图

1—载荷; 2—百分表; 3—温度计; 4—载荷杆及压头; 5—支架; 6—液体介质; 7—试样; 8—试样高; 9—试样宽; 10—搅拌器

得超过 0.01mm。

②) 保温浴槽。盛放温度范围合适和对试样无影响的液体传热介质,具有搅拌器、加热器。试验期间传热介质以 $(12 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 6min 等速升温。液体传热介质一般选用室温时粘度较低的硅油、变压器油、液体石蜡或乙二醇等。

③) 砝码。一组大小合适的砝码,使试样受载后最大弯曲正应力为 1.82MPa 或 0.45MPa。载荷杆、压头的质量及变形测量装置的附加力应作为载荷中的一部分计入总载荷中。

应加砝码质量由式 (1-2-67) 计算:

$$W = \frac{\sigma b h^2}{14.7L} - R - \frac{T}{9.8} \quad (1-2-67)$$

式中: W ——应加砝码质量, kg;

σ ——试样最大弯曲正应力, MPa;

b ——试样宽度, mm;

h ——试样高度, mm;

L ——两支座中心间距离, mm;

R ——载荷杆、压头的质量, kg;

T ——变形测量装置的附加力, N。

由于仪器结构不同,附加力向下取正值,向上取负值。实际使用的载荷与计算的载荷相差应在 $\pm 2.5\%$ 以内。

④) 测温装置。经校正的温度范围合适的水银温度计或其它测温仪表,其分度值为 1°C 。

⑤) 变形测量装置。具有精度为 0.01mm 的百分表或其它测量装置。

⑥) 冷却装置。将液体传热介质迅速冷却,以备及时再次试验。

【测试步骤】

①) 测量试样中点附近处的高度 h 和宽度 b , 精确至 0.05mm, 并按式 (1-2-67) 计算应加的砝码质量。

②) 将试样对称地放在试样支座上, 高度为 15mm 的一面垂直放置。

③) 插入温度计, 使温度计水银球在试样两支座的中点附近, 与试样相距在 3mm 以内, 但不要触及试样。

④) 保温浴槽内起始温度与室温相同, 如果经试验证明, 在较高的起始温度下也不会影响试验结果, 则可提高其起始温度。

⑤) 将装好试样的支架小心放入保温浴槽内, 试样应位于液面 35mm 以下。加上砝码, 使试样产生所要求的最大弯曲正应力为 1.82MPa 或 0.45MPa。

⑥) 加上砝码后, 即开动搅拌器, 5min 后调节变形测量装置, 使之为零, 然后开始加热升温。

⑦) 当试样中点弯曲变量达到规定值时, 迅速记录此时温度。此温度即为该试样在相应最大弯曲正应力条件下的热变形温度。

【测试结果】

工程塑料试样的热变形温度值以同组试样的算术平均值表示。

五、玻璃化温度

【方法要点】

采用热机械分析法测定工程塑料的玻璃化温度。使用热机械分析仪,测得试样的温度-形变曲线,再由温度-形变曲线作切线求得玻璃化温度。本方法不适用高填充工程塑料。

【术语】

① 热机械分析法 (TMA):以一定的加热速率加热试样,使试样在恒定的较小载荷下随温度升高发生形变,测量试样温度-形变曲线的方法。

② 玻璃化温度 (T_g):无定形或半结晶聚合物从粘流态或高弹态向玻璃态转变 (或相反的转变)称玻璃化转变。发生玻璃化转变较窄温度范围的近似中点称玻璃化温度。

【测试仪器】

热机械分析仪主要由机架、压头、加荷装置、加热装置、致冷装置、形变测量装置、记录装置、温度程序控制装置等组成 (图 1-2-50)。

① 机架:刚性结构,压杆在最大载荷下,在测试温度范围内,在轴线方向不发生变形。

② 压头:端面应与主轴轴线相垂直,其偏差不大于 0.2%,在试验载荷下,压头不应有任何变形和损伤,其直径为 (4.0 ± 1.0) mm,长度为 (10 ± 1) mm。

③ 加荷装置:通过压杆、压头对试样施加所需压强。

④ 加热装置:应有程序控制系统,可调节所需要的加热速率,偏差为 $\pm 0.5^\circ\text{C}/\text{min}$,控温精度为 0.5°C ,并能将温度变化转变为电信号输送到记录装置。

⑤ 致冷装置:应能迅速使炉子与试样冷却到所需温度 (最低可至 -150°C)。

⑥ 形变测量装置:应能感受到探头位移的微小变化,并将这种变化转变为电信号,输送到记录装置。探头每位移 $1\mu\text{m}$ 应至少输出 $1\mu\text{V}$ 的电信号。

⑦ 记录装置:应能记录探头位移和温度的变化,其灵敏度为探头每移动 $1\mu\text{m}$,记录图偏移至少 1mm。

【试样】

① 试样尺寸:

① 圆柱形试样 $\phi \times L$, mm: $(4.5 \pm 0.5) \times (6.0 \pm 1.0)$ 。

② 正方柱形试样 $a \times b \times L$, mm: $(4.5 \pm 0.5) \times (4.5 \pm 0.5) \times (6.0 \pm 1.0)$ 。

② 每次取两个试样为一组。

③ 试样表面应平整,受检的两端面应平行,并与轴线相垂直。可采用机械加工制备。

【状态调节】

试样应在具有鼓风的烘箱中低于玻璃化温度约 20°C 下烘 2h,然后放入盛有无水氯化钙干燥器中冷却至室温,再按 GB2918—82 (89)规定的标准环境处理 24h。如有特殊要求,按

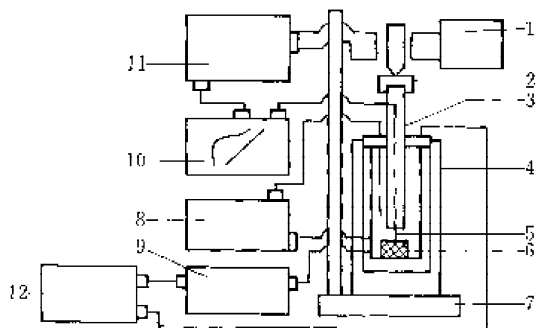


图 1-2-50 热机械分析仪示意图

1—音频信号源；2—载荷；3—压杆；4—炉子；
5—压头；6—试样；7—机架；8—高温程序温度控制
器；9—低温程序温度控制器；10—记录仪；
11—形变量转换放大器；12—低温致冷器

产品标准或供需双方商定的条件处理。

【测试条件】

- ① 加热速率为 $(1.2 \pm 0.5)^\circ\text{C}/\text{min}$ 。
- ② 试样承受压强为 $(0.4 \pm 0.2)\text{MPa}$ 。
- ③ 试验环境按 GB2918—82 ⑧) 中规定的常温、常湿。
- ④ 如果试样易受氧化,可用氮气保护。

【测试步骤】

- ① 将热机械分析仪接通电源,预热约 15min。
- ② 将状态调节好的试样,放入热机械分析仪试样架上,加上压杆和所需载荷,保持约 15min,使温度达到稳定。

③ 开启温度程序控制开关,以规定的升温速率加热试样,记录仪开始记录温度-形变关系曲线。

④ 当温度-形变曲线发生急剧变化后,即可终止试验。

【测试结果】

① 玻璃化温度 (T_g) 由温度-形变曲线作切线求得 (图 1-2-51)。

② 以两个试样试验结果的算术平均值作为测试结果。两个试样的结果,相差不得大于 4°C ,否则应重新试验。试验结果修约到整数位。

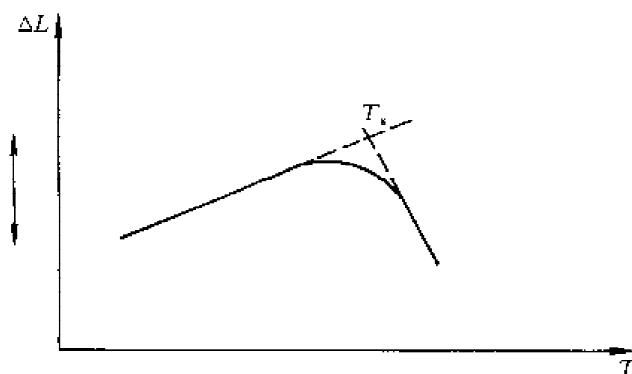


图 1-2-51 温度-形变曲线

六、尺寸稳定性

工程塑料的尺寸稳定性是指工程塑料制品在使用或存放过程中尺寸稳定的性能。由于聚合物在加工过程中,长链的分子被拉伸冻结,当分子的活化能提高后,使链段有某种程度的卷曲,从而使制品的尺寸发生某种程度的变化,通常用尺寸变化率表示。

【方法要点】

尺寸变化率是指规定尺寸的试样,在规定的温度下,以规定的方式放置在规定的支撑物上,经过一定的时间,然后将试样冷至室温,试样纵向和横向尺寸变化的百分率。

测量经过状态调节的试样的初始尺寸 L_0 (长度)、 W_0 (宽度) 或 D_0 (直径)。然后将试样以规定的状态 (如平放、悬挂等) 放在规定的支撑物上,在规定的温度下,经过一定时间,取出试样,放在空调房间冷至室温,测量试样尺寸 L_1 、 W_1 或 D_1 ,便可计算出试样尺寸变化的百分率。

【测试仪器】

- ① 恒温烘箱:最高温度 200°C 或以上,控温精度 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。
- ② 卡尺:精度 0.01mm 。
- ③ 试样支撑物:钢板、铝板、石棉板或牛皮纸等,按试样要求选择。

【试样】

采用板材或薄膜试样测定。试样通常为方柱形或圆柱形。

由于试样的边缘对试验结果有影响,为避免边缘的影响,一般应加大试样尺寸,通常试样的有效长度为 100mm,试样的长度至少为 130mm。试样的具体尺寸根据产品标准规定。

【测试步骤】

①) 根据产品标准规定,将试样划好标线(通常划三条),放在空调房间进行状态调节。

②) 根据产品标准的规定,测量试样标线间的距离(通常测量三点),精确至 0.01mm。

③) 将烘箱升温至所需温度,并恒定 15min。

④) 根据产品标准要求,将试样置放在已放在烘箱内的规定的支撑物上(动作要快,以不使烘箱温度有大的波动),迅速关上烘箱门,开始计时,到达所需时间后,取出试样,放在空调房间冷至室温,精确测量试样尺寸。

【结果计算】

测试结果按下列公式计算:

$$S_1 = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100 \quad (1-2-68)$$

$$S_2 = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (1-2-69)$$

$$S_3 = \frac{D_1 - D_0}{D_0} \times 100 \quad (1-2-70)$$

式中: S_1 ——试样长度变化率, %;

S_2 ——试样宽度变化率, %;

S_3 ——试样直径变化率, %;

L_0 ——试样初始长度, mm;

L_1 ——试样试验后的长度, mm;

W_0 ——试样初始宽度, mm;

W_1 ——试样试验后的宽度, mm;

D_0 ——试样初始直径, mm;

D_1 ——试样试验后的直径, mm。

每个试样以最大变化值计算结果,通常取三个试样(薄膜取五个试样)的算术平均值作为试验结果。负值表示收缩,可以用绝对值表示。

第六节 燃烧性能测试

耐燃烧性能,也称作阻燃性能。工程塑料属有机物质,与金属材料、无机材料相比,耐燃烧性能较差,因而在很大程度上限制了它的使用范围。研究、提高工程塑料的阻燃性能,对于正确、合理、安全使用工程塑料,拓宽其应用范围,具有十分重要的意义。

随着工程塑料使用范围的日益扩大,对其燃烧性能的研究工作也日益发展。针对工程塑料的燃烧过程及其特征,建立起了众多的有关工程塑料燃烧特性的标准试验方法。这些方法主要有水平燃烧法、垂直燃烧法、点着温度测定法、炽热棒法、氧指数法、烟密度法、闪点和自燃点的测定方法等。

一、水平燃烧法

【方法要点】

将工程塑料试样一端水平支撑,其自由端在规定时间内与一定高度的本生灯火焰接触,然后评定试样的可燃性能。本方法属直接火焰法,适用于常温时一端固定后能水平支撑,另一端下垂不大于 10mm 的工程塑料试样。

本方法仅适用于品质控制试验和选材试验,不能作为评定实际使用条件下着火危险性的依据。

【试样】

- ① 试样为矩形柱体,长度 (125 ± 5) mm,宽度 (13.0 ± 0.3) mm,厚度 (3.0 ± 0.2) mm。
- ② 试样表面应平整光滑,无气泡、飞边、毛刺等缺陷。
- ③ 每组试验五个试样。
- ④ 试样一般不进行预处理,如有需要可按供需双方商定的条件进行预处理。

【测试设备】

- ① 铁架台:两个,用以夹住试样和本生灯。
- ② 本生灯:内径 9.5mm,天然气、煤气、石油气均可作为燃烧气体。
- ③ 接滴落物的水盘:一个。
- ④ 通风装置:为了排除试样燃烧所产生的有毒烟气,试验应在通风橱内进行。但在试样燃烧过程中应关闭通风系统,以免影响试验结果。

【测试步骤】

- ① 在试样的宽面上距点火端 25mm 和 100mm 处,各划一条标线。
- ② 使试样长轴呈水平方向,横截面轴线和水平成 45° ,固定在试样夹中。
- ③ 在试样下部约 300mm 处放一个水盘。
- ④ 在远离试样的地方(约 450mm)点着本生灯,调节本生灯,使灯管在垂直位置时产生 25mm 高的蓝色火焰。
- ⑤ 如图 1-2-52 所示,将火焰内核的尖端施加于试样自由端的下缘,使自由端约有 6mm 长度受到火焰端部的作用,并开始计时。
- ⑥ 施加火焰时间为 30s,在此期间不得移动本生灯的位置,若不足 30s 火焰前沿即已燃烧到第一标线,即应立即停止施加火焰。

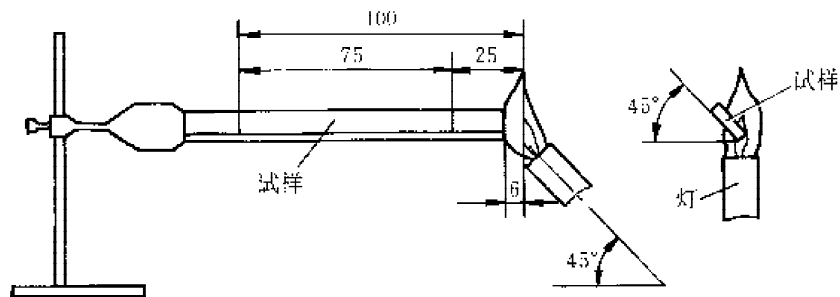


图 1-2-52 水平燃烧法试验装置示意图

7) 停止施加火焰后作如下观察记录:

① 2s 内有无可见火焰。

② 如果试样继续燃烧,则记录火焰前沿从第一标线到第二标线所需的时间 t 。两标线间的距离除以时间 t ,即为燃烧速度 v ,以 mm/min 表示。

③ 如果火焰到达第二标线前熄灭,记录燃烧长度 s :

$$s = 100 - L \text{ (mm)}$$

式中, L 为从第二标线到未燃部分的最短距离,精确到 1mm。

④ 其它试验现象 (熔融、卷曲、结炭、滴落、滴落物是否燃烧等)。

【结果评定】

工程塑料试样的燃烧性能,按点燃后的燃烧行为,可分为下列四级。

1) FH-1: 移开点火焰后,火焰即灭或燃烧前沿未达到 25mm 标线。

2) FH-2: 移开点火焰后,燃烧前沿越过 25mm 标线,但未达到 100mm 标线。在此级中,应把烧损长度写进分级标志中。如当 $L = 70\text{mm}$ 时,记为 FH-2-70mm。

3) FH-3: 移开点火焰后,燃烧前沿到达或超过 100mm 标线,燃烧速度 $v \leq 40\text{mm/min}$ 。在此级中,应把燃烧速度写进分级标志中。例如, FH-3-30mm/min。

4) FH-4: 除了燃烧速度 $v > 40\text{mm/min}$ 外,其余都与 FH-3 级相同。在此级中,也应把燃烧速度写进分级标志中。例如, FH-4-60mm/min。

如果被测 5 个试样的分级级数不完全一致,则应报告其中数字最高的等级,作为该材料的分级标志。

二、垂直燃烧法

【方法要点】

将工程塑料试样垂直放置,其下端在规定时间内与一定高度的本生灯火焰接触,然后对其燃烧性能进行分类。

本方法属直接火焰法。它仅适用于品质控制试验和选材试验,不能作为评定实际使用条件下着火危险性的依据。

【试样】

1) 试样尺寸: 长度 $(30 \pm 3)\text{mm}$, 宽度 $(3.0 \pm 0.3)\text{mm}$, 厚度 $(3.0 \pm 0.2)\text{mm}$ 。

2) 试样表面应平整,无气泡、飞边、毛刺等缺陷。

3) 每组的试样数为五个。

4) 试样可由压塑、注塑或从片、管、棒材及绝缘部件机械加工制成。

【测试材料和设备】

1) 铁架台: 一个,备有试样夹。

2) 本生灯: 管长 100mm, 内径 $(9.5 \pm 0.5)\text{mm}$ 。

3) 医用脱脂棉。

4) 秒表。

5) 卡规: 用于测量火焰高度。

6) 通风装置:为了排除试样燃烧所产生的有毒烟气,试验应在通风橱内进行。但在试样燃烧过程中应关闭通风系统,以免影响试验结果。

7) 甲烷:工业级燃料气体。通过适当的调节器和仪表控制,使流量均匀。

【测试步骤】

1) 将试样垂直放置,其上端由试样夹夹住 6mm,其下端距水平铺置的医用脱脂棉层 300mm。

2) 在离试样约 150mm 的地方,点着本生灯,调节燃料气体流量,使灯管在垂直位置时产生 20 ± 2 mm 高的黄色火焰,然后打开空气进气阀,经调节确保本生灯产生 20 ± 2 mm 高的蓝色火焰。

3) 如图 1-2-53 (a)所示,使本生灯管顶面中心离试样下端面 10mm,将火焰对准试样下端的中心部位,并开始计时。如果试样有熔融滴落现象,可将本生灯管在试样 13mm 宽的一侧倾斜 45° ,如图 1-2-53 (b)所示,并稍稍后撤一些,以免滴落物进入灯管中。

4) 按上述 3)施加火焰 10s 并立即记录移开火焰后试样有焰燃烧时间。

5) 试样的火焰熄灭后,立即按上述 3)再施加火焰 10s,并分别记录移开火焰后试样有焰燃烧和无焰燃烧(有炽亮但没有火焰)时间。

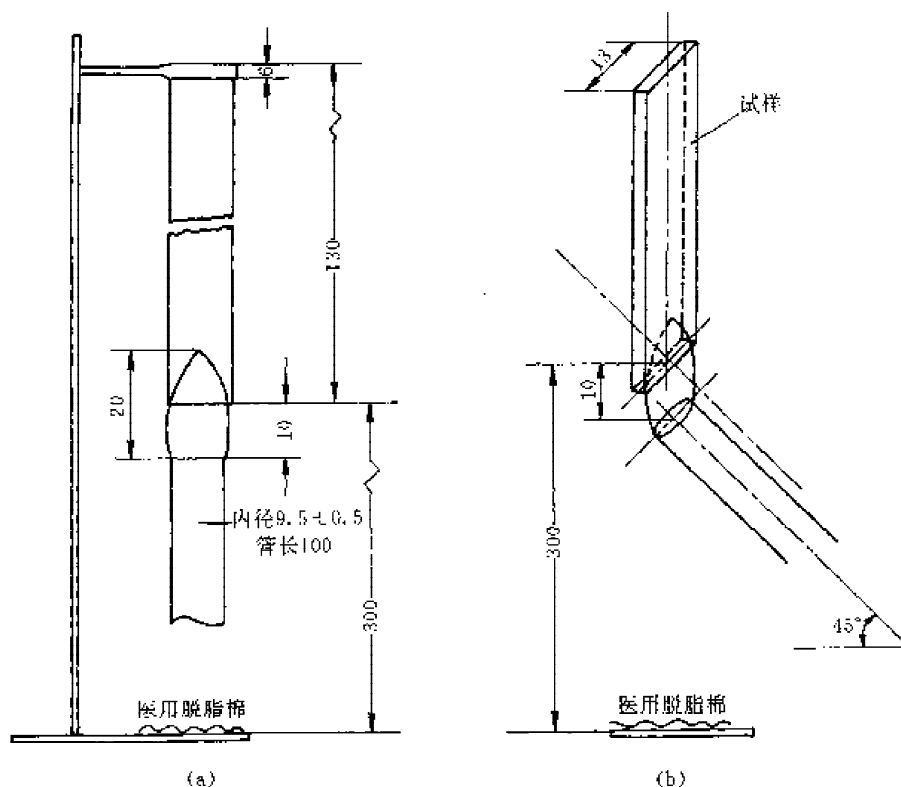


图 1-2-53 垂直燃烧法试验装置示意图

【结果评价】

材料的燃烧性按表 1-2-17 的规定分为 FV-0、FV-1 和 FV-2 三级。

1) 如果每组 5 个试样施加 10 次火焰后,总的有焰燃烧时间不超过 50s 或 250s,则允许有一次施加火焰后有焰燃烧时间超过 10s 或 30s。

2) 如果一组 5 个试样中有 1 个不符合表 1-2-17 要求,应再取一组试样进行试验,第二

组的 5 个试样应全部符合要求。

6) 如果第二组中仍有 1 个试样不符合表 1-2-16 要求,则以两组中数字最大的级别作为该材料级别。如果试验结果超出 FV-2 相应要求,则不能用本方法评定。

表 1-2-16 垂直燃烧法评价材料的燃烧性能

试 样 燃 烧 行 为	级 别		
	FV-0	FV-1	FV-2
每个试样每次施加火焰离火后有焰燃烧的时间	≤10s	≤30s	≤30s
每组 5 个试样施加 10 次火焰离火后有焰燃烧时间的总和	≤50s	≤250s	≤250s
每个试样第二次施加火焰离火后无焰燃烧的时间	≤30s	≤60s	≤60s
每个试样有焰燃烧或无焰燃烧蔓延到夹具的现象	无	无	无
每个试样滴落物引燃医用脱脂棉现象	无	无	有

三、点着温度测定法

【方法要点】

将工程塑料试样置放在一小型的不锈钢容器中,并将该容器放入一铝制或铜制的锭炉中加热,升高温度,材料分解放出可燃气体,测量可燃气体经外火焰点燃并燃烧一定时间的最低温度。

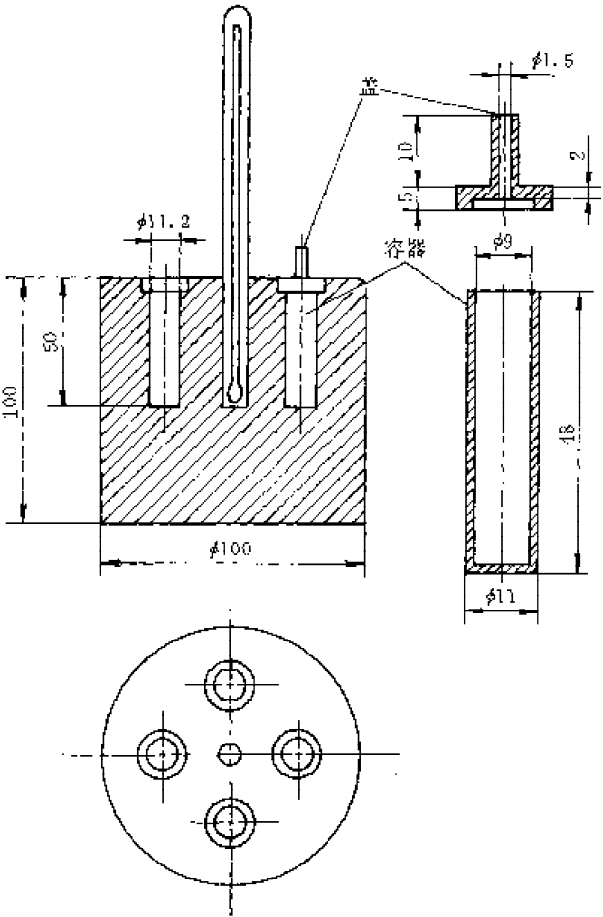


图 1-2-54 点着温度测定装置示意图

本方法的测定结果仅适用于材料之间相对比较,不能作为实际使用条件下安全温度和燃烧危险性评定的依据。

【术语】

点着温度:在规定的试验条件下,从材料中分解放出的可燃气体,经外火焰点燃并燃烧一定时间的最低温度。

【试样】

样品需粉碎、过筛,制成粒度为 0.5~1.0mm 的试样。

【测试设备】

1) 锭炉和不锈钢容器 (见图 1-2-54 所示):

① 锭炉。铝制或铜制,圆柱形,直径 100mm,高 100mm,有温度计、控温元件及几个容器的插孔。附有电加热和恒温控制系统,使锭炉能在 150~450℃ 之间任何温度上恒定,允许误差为 ±2℃。

② 不锈钢容器。内径 9mm,高 48mm,壁厚 1mm 的圆筒,带有一个长 10mm,内径

1.5mm喷嘴的盖子。

③ 盖、容器和锭炉的配合公差为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

④ 其它设备：

① 点火器。内径为 0.8mm 左右的喷嘴。通以可燃气体点燃后，当喷嘴向上时，其火焰高度为 $10\sim 15\text{mm}$ 左右。

② 温度计。

③ 试样粉碎器械。

④ 秒表。

⑤ 架盘药物天平。感量 0.1g 。

⑥ 通风装置。为了排除试验时产生的有毒烟气，试验应在通风橱内进行。但在试验过程中应关闭通风系统，以免影响试验结果。

【测试步骤】

① 将锭炉加热到预定的温度，并使之恒定，允许误差为 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。

② 将装有 1g 试样的不锈钢容器放入锭炉的孔中，盖上盖子（盖子预先放在锭炉顶上加热），并启动秒表。

③ 将点火火焰置于盖的喷嘴上方 2mm 处晃动，如果在开始 5min 内，喷嘴上没有连续 5s 的火焰，则每次将锭炉温度升高 10°C ，用新的试样重新试验，直到测得喷嘴上出现连续 5s 以上火焰时的最低温度为止，并记录此温度。

④ 每个预定的温度做三个试样，若有两个没有 5s 以上火焰，则将锭炉温度升高 10°C ，再做三个试样，如有两个出现 5s 以上火焰的最低温度，将其修约到 10 的倍数，即为材料的点着温度。

⑤ 测定中有发泡溢出现象时，可以将试样减少到 0.5g ，如果仍有溢出，则不能用本方法试验。

四、炽热棒法

【方法要点】

将工程塑料试样一端水平支撑，其自由端在固定时间内与由电加热至 $(950 \pm 10)^\circ\text{C}$ 的炽热碳化硅棒相接触，然后评定试样的燃烧性能。本方法属间接火焰法。

【试样】

① 试样为矩形柱体，长度 $(125 \pm 5)\text{mm}$ ，宽度 $(10 \pm 0.2)\text{mm}$ ，厚度 $(4.0 \pm 0.2)\text{mm}$ 。

② 试样表面应平整光滑，无气泡、飞边、毛刺等缺陷。

③ 每组试验 5 个试样。

④ 试样一般不进行预处理，如有需要，可按供需双方商定的条件进行预处理。

【测试设备】

① 炽热棒试验仪（图1-2-55），由下列主要部分组成：

① 炽热棒。由碳化硅制成，炽热部分直径为 8mm ，长度为 100mm ，水平地固定在陶瓷或石棉材料制成的绝缘板上，绝缘板可以沿与试样相垂直的水平轴转动，以使炽热棒可以离开或接触试样。炽热棒可用交流或直流电加热，用调节装置使其稳定在 $(950 \pm 10)^\circ\text{C}$ 的温

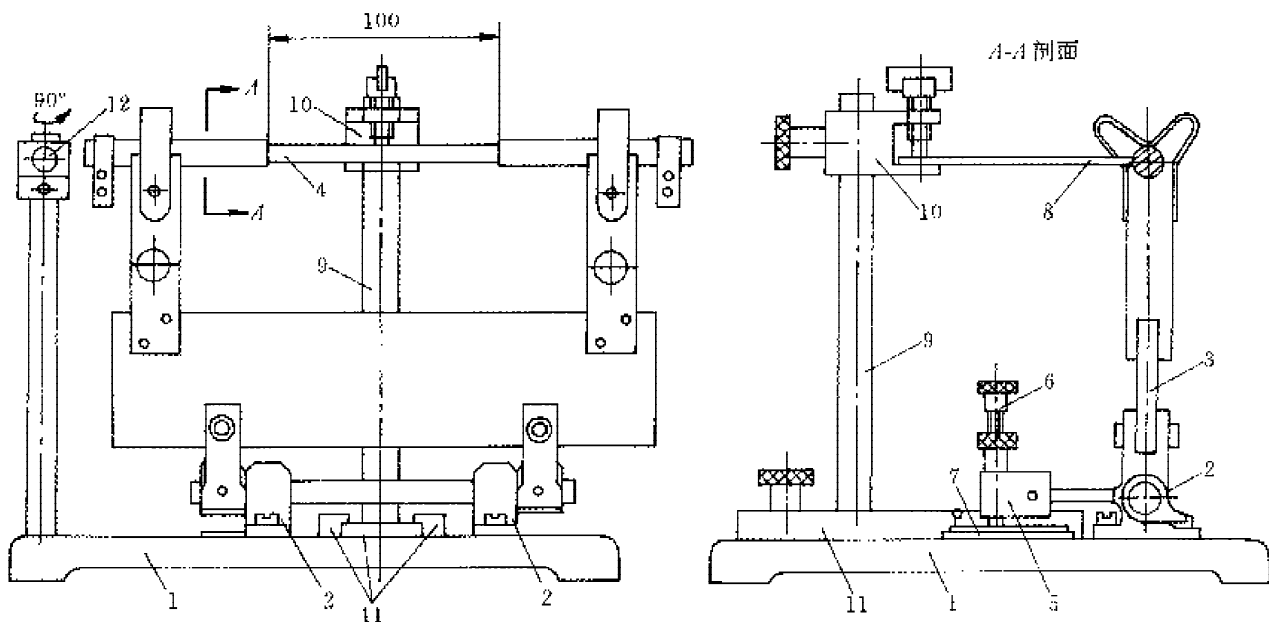


图 1-2-55 炽热棒测试仪示意图

1—底板；2—轴承；3—支架；4—炽热棒；5—平衡重物；6—止动螺栓；7—转动板；8—试样；
9—立柱；10—试样夹；11—滑动底板；12—定位棒

度,此温度可用纯度为 99.8% 的银 (熔点为 955°C) 来测量。

② 炽热棒支架。应带有平衡重锤,用以调节炽热棒与试样端面有 0.3N 的接触压力。为了使炽热棒在试验期间使试样烧掉 5mm 之后就能止动,应装有止动螺钉和垫片。

③ 定位棒。为一根直径 8mm 的金属棒,以便在试验之前用它来代替炽热棒调整试样的位置。

④ 试样夹。安装在一个垂直的、可移动的立柱上,以便适应不同长度的试样。

2) 秒表。

3) 游标卡尺。

4) 通风装置。为了排除试样燃烧所产生的有毒烟气,试验应在通风橱内进行。但在试样燃烧过程中应关闭通风系统,以免影响试验结果。

【测试步骤】

1) 在试样的宽面距点火端 25mm 和 100mm 处,各划一条标线。

2) 将炽热棒支架转离垂直位置,把定位棒转到试验时炽热棒的位置。

3) 将试样水平地固定在试样夹中,调整试样夹及立杆的位置,以使试样的长轴线垂直于定位棒,试样端面的中心线与定位棒接触,然后定位棒转回原位。

4) 把炽热棒加热到 $(950 \pm 10)^{\circ}\text{C}$, 然后转动支架使炽热棒与试样接触,并开始计时。 3min 后,将炽热棒转离。

5) 在炽热棒与试样开始接触时,即作如下观察记录:

① 试样有无可见火焰。

② 如试样有焰燃烧,则记录火焰前沿从第一标线到第二标线所需的时间 t 。两标线间的距离除以时间 t ,即为燃烧速度 v 。

③ 如火焰的前沿到达第二标线之前熄灭,记录燃烧长度 s :

$$s = 100 - L \text{ (mm)}$$

式中, L 是从第二标线到未燃部分的最短距离, 精确到 1mm。

④ 其它试验现象 (如熔融、卷曲、结炭、滴落、滴落物是否燃烧等)。

【结果评定】

① 按 GB2407—80 §9) 的规定, 把各种燃烧情况归纳成三类, 其结果表示如下:

GB2407 /I: 没有可见火焰;

GB2407 /II: 火焰的前沿到达第二标线之前熄灭, 此时应报告试样的燃烧长度 s (mm);

GB2407 /III: 火焰的前沿达到或超过第二标线, 此时应报告燃烧速度 v (mm/min)。

② 以五个试样中数字最大的类别作为该材料的评定结果, 并报告最大的燃烧长度或燃烧速度。

五、氧指数法

【方法要点】

将试样垂直固定在氧指数测定仪的燃烧筒中, 使氧、氮混合气流由下向上流过, 点燃试样顶端, 同时计时和观察试样燃烧长度, 与所规定的判据相比较。在不同的氧浓度中试验一组试样, 测定工程塑料刚好维持平稳燃烧时的最低氧浓度, 用混合气中氧含量的体积百分数表示。

【测试设备】

① 氧指数测定仪 (示意图见图 1-2-56) 的主要组成部分:

① 燃烧筒。最小内径 75mm、高 450mm、顶部出口内径 40mm 的耐热玻璃管, 垂直固定在可通过氧、氮混合气流的基座上。底部用直径为 3~5mm 的玻璃珠充填, 充填高度为 80~100mm。在玻璃珠的上方装有金属网, 以防下落的燃烧碎片阻塞气体入口和配气通路。

② 试样夹。能固定在燃烧筒轴心位置上, 并能垂直夹住试样的构件。

③ 流量测量和控制系统。能测量进入燃烧筒的气体流量, 控制精度在 $\pm 5\%$ (V/V) 之内的流量测量和控制系统。

④ 气源: 用 GB3863 中所规定的氧和 GB3864 中所规定的氮及所需的氧、氮气钢瓶和调节装置。气体使用的压力不低于 1MPa。

⑤ 点火器: 由一根金属管制成, 尾端有内径为 (2 ± 1) mm 的喷嘴, 能插入燃烧筒内点燃试样。通以未混有空气的丙烷, 或丁烷、石油液化气、煤气、天然气等可燃气体。点燃后, 当喷嘴垂直向下时, 火焰的长度为 (16 ± 4) mm。

⑥ 排烟系统: 能排除燃烧产生的烟尘和灰粒, 但不应影响燃烧筒中的温度和气体流速。

⑦ 计时装置: 具有 ± 0.25 s 精度的计时器。

【试样】

① 取样: 按产品标准或按 GB2828 的有关规定取样。

② 试样制备: 按产品标准的有关规定或按 GB5471、GB9352、GB11997 等有关标准, 模塑或切割符合尺寸规定要求的试样。

③ 试样尺寸: 为矩形柱体, 长度 80~150mm, 宽度 (40 ± 0.5) mm, 厚度 (4 ± 0.25) mm。

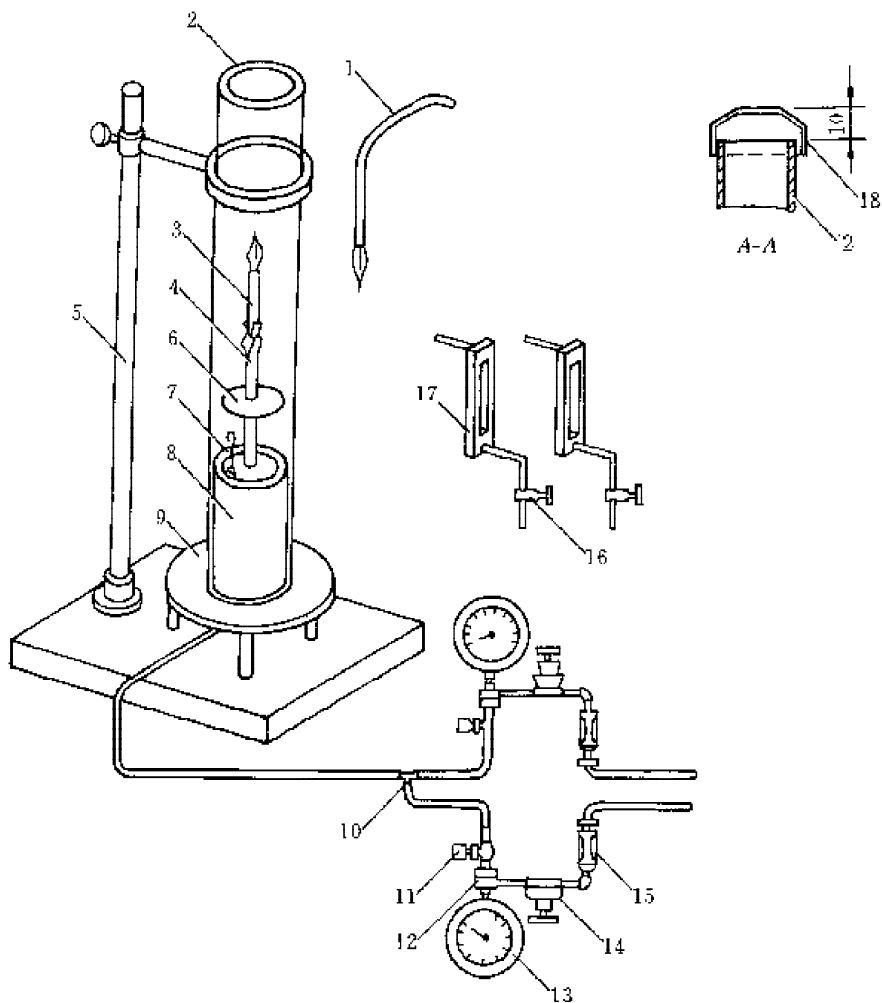


图 1-2-56 氧指数测定仪示意图

1—点火器；2—玻璃燃烧筒；3—燃烧着的试样；4—试样夹；5—燃烧筒支架；6—金属网；7—测温装置；8—装有玻璃珠的支座；9—基座架；10—气体预混合结点；11—截止阀；12—接头；13—压力表；14—精密压力控制器；15—过滤器；16—针阀；17—气体流量计；18—限流盖

4) 试样数量: 每组试样至少 15 个。

5) 外观要求: 试样表面清洁, 无影响燃烧行为的缺陷, 如气泡、裂纹、溶胀、飞边、毛刺等。

6) 试样的标线: 标线划在距点燃端 50mm 处。

7) 状态调节与试验环境: 状态调节按 GB2918—82 89) 中有关规定进行。试验环境应在 GB2918—82 89) 所规定的常温、常湿下进行, 即环境温度为 $10 \sim 35^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 $45\% \sim 75\%$ 。如有特殊要求, 在产品标准中规定。

【试验程序】

1) 开始试验时氧浓度的确定。根据经验或试样在空气中点燃的情况, 估计开始试验时的氧浓度。如在空气中迅速燃烧, 则开始试验时的氧浓度为 18% 左右; 在空气中缓慢燃烧或时断时续, 则为 21% 左右; 在空气中离开点火源即灭, 则至少为 25% 。

2) 调整仪器和点燃试样。

① 安装试样: 将试样夹在夹具上, 垂直地安装在燃烧筒的中心位置上, 保证试样顶端低于燃烧筒顶端至少 100mm, 其暴露部分最低处应高于燃烧筒底部配气装置顶端至

少 100mm。

② 调节气体控制装置:调节气体混合及流量控制装置,使混合气中的氧浓度为上述 ①) 所确定的氧浓度,以 $(40 \pm 10)\text{mm/s}$ 的速度流经燃烧筒,洗涤燃烧筒至少 30s。

③ 点燃试样:

方法 A——顶端点燃法 使火焰的最低可见部分接触试样顶端并覆盖整个顶表面,勿使火焰碰到试样的棱边和侧表面。在确认试样顶端全部着火后,立即移去点火器,开始计时或观察试样烧掉的长度。点燃试样时,火焰作用的时间最长为 30s,若在 30s 内不能点燃,则应增大氧浓度,继续点燃,直至 30s 内点燃为止。

方法 B——扩散点燃法 充分降低和移动点火器,使火焰可见部分施加于试样顶表面,同时施加于垂直侧表面约 6mm 长。点燃试样时,火焰作用时间最长为 30s,每隔 5s 左右稍移开点火器观察试样,直至垂直侧表面稳定燃烧或可见燃烧部分的前锋到达上标线处,立即移去点火器,开始计时或观察试样燃烧长度。若 30s 内不能点燃试样,则增大氧浓度再次点燃,直至 30s 内点燃为止。方法 B 标线应划在距点燃端 10mm 和 60mm 处。

6) 燃烧行为的评价。

① 评价准则:燃烧行为的评价准则,见表 1-2-17 所示。

② “○”与“×”反应的确定:点燃试样后,立即开始计时,观察试样燃烧长度及燃烧行为。若燃烧中止,但在 1s 内又自发再燃,则继续观察和计时。

如果试样的燃烧时间或燃烧长度均不超过表 1-2-17 的规定,则这次试验记录为“○”反应,并记下燃烧长度或时间。

如果二者之一超过表 1-2-17 的规定,扑灭火焰,记录这次试验为“×”反应。

还要记下材料燃烧特性,例如:熔滴、烟灰、结炭、漂游性燃烧、灼烧、余辉或其它需要记录的特性。

如果有无焰燃烧,应根据需要,报告无焰燃烧情况或包括无焰燃烧时的氧指数。

③ 下次试验准备:取出试样,擦净燃烧筒和点火器表面的污物,使燃烧筒的温度回复至常温或另换一个为常温的燃烧筒,进行下一个试验。如果试样足够长,可以将试样倒过来或剪掉燃烧过的部分再用,但不能用于计算氧浓度。

表 1-2-17 氧指数法燃烧行为的评价准则

点 燃 方 式	评价准则 (两者取一)	
	燃烧时间, s	燃 烧 长 度
A 法	180	燃烧前锋超过上标线
B 法		燃烧前锋超过下标线

4) 逐次选择氧浓度。采用“少量样品升降法”这一特定的条件,以任意步长作为改变量,按上述试验步骤,进行一组试样的试验:

① 如果前一条试样的燃烧行为是“×”反应,则降低氧浓度。

② 如果前一条试样的燃烧行为是“○”反应,则增大氧浓度。

5) 初始氧浓度的确定。采用任一合适的步长,重复上述试验步骤,直到以体积百分数表示的二次氧浓度之差不大于 1.0%,并且一次是“○”反应,一次是“×”反应为止。将这组氧浓度中得“○”反应的记作初始氧浓度 ϕ_0 。

6) 有效数据的获得。

① 用初始氧浓度 ϕ_0 重复上述试验步骤, 记录在 ϕ_0 时所对应的 “×” 或 “○” 反应, 即为 N_L 系列的第一个值。

② 用混合气浓度的 0.2% (V/V) 为步长, 重复试验操作, 测得一组氧浓度值及对应的反应, 直至得到不同于用 ϕ_0 所得的反应为止, 记下这些氧浓度值及其反应, 即为 N_L 系列。

③ 仍以 0.2% (V/V) 为步长, 重复试验操作, 再测四条试样, 记下各次的氧浓度及各自对应的反应, 最后一条试样所用的氧浓度, 用 ϕ_F 表示。这 4 个结果加上反应不同于 ϕ_0 结果的那个一起, 构成 N_T 系列的其余数据。

因此: $N_T = N_L + 5$

【结果计算】

1) 氧指数的计算。以体积百分数表示的氧指数按式 (1-2-71) 计算:

$$OI = \phi_F + Kd \quad (1-2-71)$$

式中: OI——氧指数, %;

ϕ_F —— N_T 系列最后一个氧浓度, 取一位小数, %;

d ——使用和控制的两个氧浓度之差, 即步长, 取一位小数;

K ——从表 1-2-19 查得的系数。

报告 OI 时, 取一位小数, 不能修约, 为了计算标准偏差 $\hat{\sigma}$, OI 应计算到二位小数。

2) K 值的确定。 K 的数值和符号取决于 N_T 系列试验的反应形式, 可按表 1-2-18 确定。

① 如果用初始氧浓度 ϕ_0 再次试验的结果为 “○” 反应, 则第一个相反的反应便是 “×” 反应。从表 1-2-19 第一栏中找出与 N_T 系列最后 5 次试验结果一致的那一行, 再按 N_L 系列的前几个反应即得到 “○” 反应的数目, 查出所对应的栏, 即可得到所需的 K 值, 其正负号与表中符号相同。

② 与上述相反, 如用 ϕ_0 的试验结果为 “×” 反应, 则第一个相反的反应便是 “○” 反应。从表 1-2-18 第六栏找出与 N_T 系列最后 5 次结果一致的行, 再按 N_L 系列的前几个反应 (即得到 “×” 反应的数目) 查出所对应的栏, 即可得到所需的 K 值, 但此时 K 的正负号与表中符号相反。

表 1-2-18 K 值确定表

1	2	3	4	5	6
最后五次 试验的反应	a. N_L 前几次测试的反应如下时的 K 值				
	○	○○	○○○	○○○○	
×○○○○	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55	○××××
×○○○×	-1.25	-1.25	-1.25	-1.25	○×××○
×○○×○	0.37	0.38	0.38	0.38	○××○×
×○○××	-0.17	-0.14	-0.14	-0.14	○××○○
×○×○○	0.02	0.04	0.04	0.04	○×○××
×○×○×	-0.50	-0.46	-0.45	-0.45	○×○×○
×○××○	1.17	1.24	1.25	1.25	○×○○×
×○×××	0.61	0.73	0.76	0.76	○×○○○

续表)

1	2	3	4	5	6
XXOOO	-0.30	-0.27	-0.26	-0.26	OOXXX
XXOOX	-0.83	-0.76	-0.75	-0.75	OOXXO
XXOXO	0.83	0.94	0.95	0.95	OOXOX
XXOXX	0.30	0.46	0.50	0.50	OOXOO
XXXOO	0.50	0.65	0.68	0.68	OOOXX
XXXOX	-0.04	0.19	0.24	0.25	OOOXO
XXXXO	1.60	1.92	2.00	2.01	OOOOX
XXXXX	0.89	1.33	1.47	1.50	OOOOO
	b. N _L 前几次试验的反应如下时的 K 值				最后五次 试验的反应
	X	XX	XXX	XXXX	

6) 步长 d 值的校验。用式 (1-2-72)对步长 d 值进行校验:

$$\frac{2}{3} \hat{\sigma} < d < \frac{3}{2} \hat{\sigma} \tag{1-2-72}$$

式中: d ——氧指数计算式 (1-2-71)中的步长,%;

$\hat{\sigma}$ ——标准偏差,按式 (1-2-73)计算。

$$\hat{\sigma} = \left[\frac{\sum (\varphi_i - \text{OI})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{1-2-73}$$

式中: φ_i ——N_T 系列中最后六个试样所对应的氧浓度值,%;

n ——记入 $\sum (\varphi_i - \text{OI})^2$ 的氧浓度测定次数。

本方法, $n = 6$ 。若 $n < 6$, 则方法失去精密性;若 $n > 6$, 则需另选统计方法。

若 d 满足式 (1-2-72)的条件或者 $d = 0.2$ 时, $d > \frac{2}{3} \hat{\sigma}$, 则 OI 有效;

若 $d < \frac{2}{3} \hat{\sigma}$, 则增大 d 值,重做试验,直至满足式 (1-2-72)为止;

若 $d > \frac{3}{2} \hat{\sigma}$, 则减小 d 值,重做试验,直到满足上述条件为止。一般不应将 d 值减少至小于 0.2,除非相应的产品标准有规定。

4) 结果的精密度。对易点燃和燃烧稳定的材料,本方法具有表 1-2-19 所示的精密度。

表 1-2-19 氧指数法精密度的极限值

95%置信度近似值	实 验 室 内	实 验 室 间
标准偏差	0.2	0.2
重复性 r	0.5	
再现性 R		1.4

六、烟 密 度 法

【方法要点】

在烟密度箱中,测定工程塑料试样燃烧时所产生烟雾的比光密度,并以最大比光密度作

为试验结果。它仅用于评定在规定条件下工程塑料的发烟性能,不能作为评定实际使用条件下发烟危害性的依据。

【术语】

①) 比光密度:置试样于一定容积的试验箱内,在试样因燃烧而产生烟雾的过程中,测定穿过烟雾的平行光束的透过率变化,计算出在规定试样面积、光程长度下相应的光密度。这是材料燃烧产生的烟雾的一种量度。

②) 烟密度:即最大比光密度。

③) 无焰燃烧试验:试样只受热辐射作用,不产生火焰的试验。

④) 有焰燃烧试验:试样除受热辐射外还受燃烧器火焰的作用,产生或不产生火焰的试验。

【试样】

①) 试样的长、宽均为 $75^{+0.5}_{-0}$ mm,厚度为 (1 ± 0.2) mm。

②) 工程塑料制品加工为试样时,应在有代表性的部位上切取。加工后材料成分应不发生变化。

③) 每组 6 个试样,无焰燃烧试验、有焰燃烧试验各 3 个。

④) 每个试样的质量偏差不得超过该组试样平均质量的 $\pm 8\%$ 。

⑤) 试样厚度应均匀,表面平整,无飞边、毛刺等缺陷。

⑥) 各向异性材料应分别在纵向和横向各取 6 个试样。

⑦) 如果试样有使用面,以使用面为试验面;若试样有加工面,应以未加工面为试验面。

【状态调节】

试样按 GB2918—82 ⑧) 中的规定,在温度 $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $(60 \pm 5)\%$ 的条件下放置 48h。

【测试设备】

①) 试验箱:结构如图 1-2-57 所示。内腔尺寸为高 (914 ± 3) mm,宽 (914 ± 3) mm,深 (610 ± 3) mm。

②) 光电测量系统:能测量透过率到 0.0001% ,测量精度应相当于任何标度范围最大读数的 $\pm 3\%$ 。

③) 辐射炉:炉口端面距试样表面 (68 ± 0.8) mm,并与试验时的试样表面平行、同心。能够在试样表面的中部,直径为 38mm 的圆面内形成辐射强度 $(2.5 \pm 0.05)\text{W}/\text{cm}^2$ 的恒定辐射。

④) 燃烧系统:由稳压阀、过滤器、调节阀流量计及燃烧器组成。燃气为纯度 95% 以上的丙烷。

⑤) 试样盒:由试样盒确定的试样试验面积为 $65^{+0.2}_{-0} \times 65^{+0.2}_{-0}$ (mm^2)。

⑥) 测温仪表:感温元件安装在试验箱内后壁的中心处。

⑦) 记录仪:采用图示记录仪。

⑧) 支架。

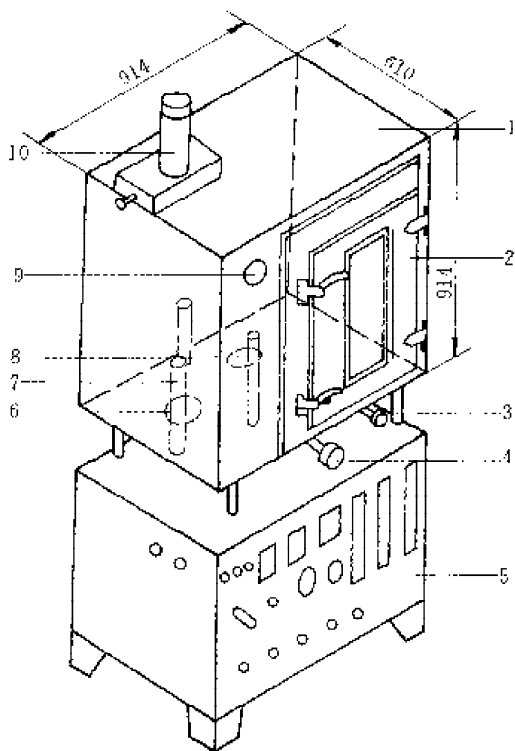


图 1-2-57 烟密度箱结构示意图

1—试验箱; 2—箱门; 3—试样调节杆; 4—排烟开关; 5—控制柜; 6—下光窗; 7—定位杆; 8—排烟口; 9—进风口; 10—光电器件暗盒

9) 排风机。

10) 其它设备:

① 天平,感量为 0.01g。

② 卡尺,试样厚度小于 0.25mm 时用千分表测量。

③ 通风橱或有良好排风条件的实验室。

【测试步骤】

1) 打开试验箱门和进气口,启动排风机,将试验箱净化 2min。

2) 擦拭试验箱内的光窗,清除试样盒、燃烧器和支架上的残余物。当改变试验材料或试验箱内壁沉积的残余物较多时,应清理试样箱的内壁。

3) 测量试样的长、宽和厚度,并称重。

4) 用一张完整的厚度约 0.04mm 的铝箔覆盖试样背面,并越过试样边缘包到试验面的周边上,装入试样盒内。然后用一块 75mm × 75mm × 10mm 的石棉板做背衬,用弹簧片和固定杆把试样和背衬固定在试样盒内。试样固定好后,切除露在试验面上的多余铝箔,留下缺口处的铝箔向前弯下,以便把试样的熔融物导入试验盒小槽中。

5) 进行无焰燃烧时,要拆掉燃烧器。进行有焰燃烧时,应将燃烧器安装在试验箱内的燃气口上,使两个水平燃烧管的中心线距试样盒开口的下边缘 6.4 ± 1.5 mm,该管的端口距试样表面 6.4 ± 0.8 mm。

6) 未进行试验时,应将装有石棉板的空白试样盒安放在支架上。

7) 接通电源,调准辐射炉电流。关闭排烟口和试验箱门,打开进气口。

8) 待辐射强度稳定到规定值后,开始进行试验。此时试验箱内壁的温度应为 65 ± 2 °C。

9) 用活动光闸阻挡平行光束,调节放大器零点,使记录仪指示透过率为 0;移开光闸,调节放大器增益,使记录仪指示透过率为 100%。

10) 进行有焰燃烧试验时,调节丙烷流量为 $50\text{cm}^3/\text{min}$,空气流量为 $500\text{cm}^3/\text{min}$,点火。

11) 用装好试样的试样盒取代支架上的空白试样盒,迅速关闭试验箱门,启动记录仪。当记录仪指针移动时,立即关闭进气口。

12) 记录透过率和时间的关系曲线。透过率指示值每降到该档满量程的 10%时,立即转换到下一个量程。

13) 当透过率降低到 0.01%以下时,要用不透光的帘遮住试验箱的观察口。

14) 当透过率出现最小值或虽未出现最小值而试验已进行到 20min 时,均再进行 2min 试验。

15) 立即用空白试样盒取代已经试验的试样盒并迅速排除试验箱内的烟雾。若进行的是有焰燃烧试验,须先关闭气源,熄灭燃烧器火焰。

16) 继续排烟,直到透过率值达到最大。该透过率值为 T_c 。

17) 试验后的残余试样冷却到室温后称重。

【结果计算】

根据透过率和时间的关系曲线进行下列有关计算。

1) 烟密度用式 (1-2-74) 计算:

$$D_m = \frac{V}{L \cdot A} \left[\left(\log_{10} \frac{100}{T_m} \right) + F \right] \quad (1-2-74)$$

式中： D_m ——烟密度；

$$\frac{V}{L \cdot A} = 132;$$

V ——试验箱容积, cm^3 ;

L ——试验箱中平行光束的长度, cm ;

A ——试样的试验面积, cm^2 ;

T_m ——最小透过率值或 20min 时的透过率值;

F ——扩展滤光片的光密度值, 由下述两种情况决定: 未使用范围扩展滤光片时, $F = 0$ 。使用范围扩展滤光片时, 滤光片处于光路中, $F = 0$; 滤光片从光路中移走, F 由滤光片决定。

2) 平均发烟速度由式 (1-2-75) 计算:

$$R = \frac{D_m}{t_{Dm}} \quad (1-2-75)$$

式中： R ——平均发烟速度, D_m/min ;

D_m ——烟密度;

t_{Dm} ——试验达到烟密度时所用的时间, min 。

3) 校正的烟密度由式 (1-2-76) 计算:

$$D_{mc} = D_m - D_c \quad (1-2-76)$$

式中： D_{mc} ——校正的烟密度;

D_m ——烟密度;

D_c ——透过率为 T_c 时, 由式 (1-2-74) 计算出的比光密度。

4) 试样质量损失率由式 (1-2-77) 计算:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1-2-77)$$

式中： W ——试样质量损失率, %;

m_1 ——试样原质量, g ;

m_2 ——试验后试样的残余质量, g 。

5) 上述结果均以三个相同试验所得数据计算算术平均值, 取三位有效数字。

6) 相同试验的三个试样中, 若其中一个试样的烟密度大于另外任一个试样烟密度的 1.5 倍时, 则再取三个试样重新进行试验。试验结果以 6 个数据的算术平均值表示。

7) 同组试验的三个试样中, 如果出现下述任何一种异常现象, 均不得用于平均值的计算:

- ① 试样从试样盒内脱落;
- ② 无焰燃烧试验时, 试样起火;

③ 有焰燃烧试验时,燃烧器的 6 个火焰中有一个或一个以上熄灭;

④ 试样熔融物从试样盒小槽中溢出。

应另取三个试样重做试验,试验结果以无异常现象一组之数据的平均值表示。如果后来取的三个试样中仍有异常现象,表明该种试样不能用这种方法试验。

七、闪点和自燃点

【方法要点】

采用热空气试验炉测定工程塑料的闪点和自燃点。本方法适用于在试验室条件下,测定工程塑料材料、产品或组合件在热或火焰作用下的燃烧性能,但不能作为评定实际火灾时工程塑料材料、产品或组合件的火灾危险性的依据。其试验结果可作为评价火灾危险性的一个因素。

【术语】

① 闪燃温度:塑料材料受热分解放出的可燃气体,刚刚能被外界小的火焰点着,这时试样周围空气的最低初始温度,叫作该材料的闪燃温度,简称闪点。

② 自燃温度:塑料材料受热达到一定温度后,不用外界点火源点燃,自行发生的爆炸、有焰燃烧或无焰燃烧,此时试样周围空气的最低初始温度,叫作该材料的自燃温度,简称自燃点。

【测试仪器】

① 热空气试验炉 (图 1-2-58)主要由下列部分组成:

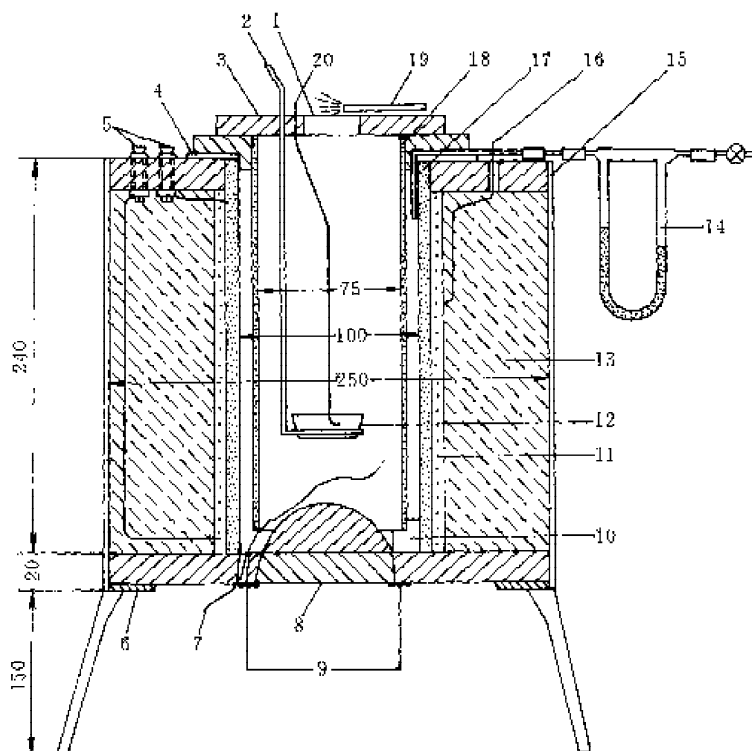


图 1-2-58 热空气试验炉

1—开口直径 25mm; 2—支架; 3—耐热顶盖; 4—石棉垫; 5—接线柱; 6—固定圈; 7—热电偶 T_2 ; 8—底塞; 9—固定螺钉; 10—三个垫块; 11—电热丝; 12—试验盘; 13—石棉毛; 14—空气流量计; 15—炉壳; 16—热电偶 T_3 ; 17—炉管; 18—内炉管; 19—引发火焰; 20—热电偶 T_1

① 炉壳:用抛光的不锈钢板制成。

② 炉管:用金刚砂制成。内径 100mm,长 240mm,底部开口处装有可拆卸的底塞。

③ 内套管:用耐火材料制成。内径 75mm,长 240mm,壁厚 3.2mm。内套管装在炉管内,用三个小垫块垫起,使其高于炉底 20mm,顶部有一用耐火材料制成的耐热顶盖,中心有一个直径为 25mm 的开口。

④ 试样盘:用 0.2mm 厚的不锈钢板制成。试样盘直径 38mm,深 13mm,用一活动支架固定在距炉顶 180~190mm 处。

⑤ 加热套:用电热丝缠绕在炉管上,外面包耐火材料制成的半圆夹套。

⑥ 隔热层:用石棉填充在半圆夹套和炉壳之间,填充厚度约 65mm。

⑦ 热电偶:外径为 2mm 的镍铬-镍硅嵌装式热电偶 T_1 、 T_2 、 T_3 三根,分别安放在试样中心、试样盘下面距外缘 10mm 处和加热套中靠近加热线圈等位置,并均与温度记录仪相接。

⑧ 空气源:经过滤的空气通过一根铜管以稳定、可控制的速度流过炉管与内套管之间的环状空间,然后从底部进入内套管。空气流量用转子流量计或其它适宜的装置测定。

2) 控温装置:精密温度数字程序控制仪或其它能测量温度准确至 1°C 的装置。

3) 点火器:内径为 1.6mm,火焰长度为 19mm 的点火装置。燃气为丁烷。

4) 天平:感量为 100mg。

5) 计时器:秒表或其它能测量时间准确至 1s 的计时装置。

6) 通风橱。

【试样】

以通常供模塑的块状、粒状和粉状进行试验。试样质量为 $(3 \pm 0.5)\text{g}$ 。

【状态调节】

试验前,试样按 GB2918—82 (89) 中的规定,在温度 $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(50 \pm 5)\%$ 的条件下放置 40h。

【测试步骤】

1) 闪点的测定。

① 闪点的第一近似值测定:把试样盘提到炉膛外,装入试样,将热电偶 T_1 安放在试样中心,然后放入炉内。打开空气进气阀,将流速调节到 25mm/s 。接通加热电源,开动温度控制仪,将炉管温度 T_2 的升温速率控制在 600°C/h 的范围内。打开燃气阀,点燃点火器,将火焰置于炉盖试样分解气出口上方,距出口端面约 6.5mm。观察试样分解放出的气体被点火源点着时 T_2 指示的空气温度及 T_1 指示的试样温度,若试样温度迅速升高,此时 T_2 指示的就是闪点的第一近似值。改变空气流速为 50mm/s 和 100mm/s ,重复上述操作,分别测出另外两个闪点近似值。

② 闪点的第二近似值测定:选用上述三个测定的闪点近似值中得到最低值时所采用的空气流速,控制空气温度的升温速率为 300°C/h ,重复上述测定操作,测出的 T_2 指示值就是闪点的第二近似值。

③ 闪点的测定:以闪点的第二近似值作为温度控制仪 T_2 的设定值,恒定 15min。将试样放入试验炉,点燃点火器,观察试样释放出的可燃气是否着火。如果着火,将 T_2 指示值

调低 10°C 重复测定,直至 30min 内不着火。当在 T_1 指示的温度下不发生着火时,在此温度下重复一次试验。重复试验时若着火,则把 T_2 指示值再调低 10°C 重复测定。把 T_2 指示的发生着火的最低空气温度作为闪点。

②) 自燃点的测定。

按照测定闪点所规定的试验步骤操作,但不使用点火器点燃。把观察到的试样放出的分解气着火时 T_2 指示的最低空气温度作为该材料的自燃点。

第七节 电性能测试

一、绝缘电阻和电阻率

【方法要点】

采用镜式检流计或高阻计,测定工程塑料的绝缘电阻、体积电阻率和表面电阻率。

【术语】

①) 绝缘电阻:施加在试样上的直流电压与流过电极间的传导电流之比,以 Ω 表示。

②) 体积电阻率:试样体积电流方向的直流电场强度与该处电流密度之比,以 $\Omega \cdot \text{cm}$ 表示。

③) 表面电阻率:试样表面电流方向的直流电场强度与单位长度的表面传导电流之比,以 Ω 表示。

【试样】

工程塑料试样可采用板状、管状或棒状形式。试样应平整、均匀、无裂纹和机械杂质等缺陷。试样形状、尺寸和数量见表 1-2-20。

表 1-2-20 测量绝缘电阻和电阻率的试样形状和尺寸

试样形状	尺寸,mm	数 量
板 状	方形: 100×100 或 50×50 圆形: 直径 100 或 50 锥销间绝缘电阻试样: 60×30	不少于 3 个
管 状	长: 100 或 50 锥销间绝缘电阻试样: 长 60	不少于 3 个
棒 状	长: 100 或 50 锥销间绝缘电阻试样: 长 60	不少于 3 个

【注】 1. 测量表面电阻时,试样厚应不大于 4mm;
2. 试样尺寸,除另有要求者外,其厚度、直径或壁厚均为材料的原始尺寸。

【电极】

①) 电极型式:

① 测量板状、管状试样体积电阻和表面电阻的电极配置如图 1-2-59、1-2-60 所示。图中,带括号者表示测量表面电阻,不带括号者表示测量体积电阻。

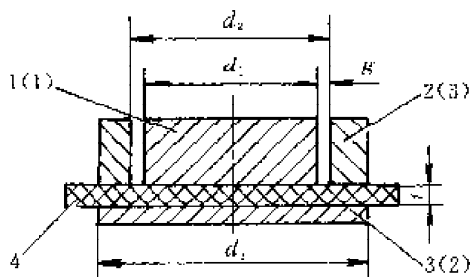


图 1-2-59 板状试样与电极

1—测量电极；2—保护电极；3—高压电极；4—试样； t —平板试样厚度； d_1 —平板测量电极直径； d_2 —平板保护电极内径； d_3 —平板高压电极直径； g —测量电极与保护电极间隙宽度

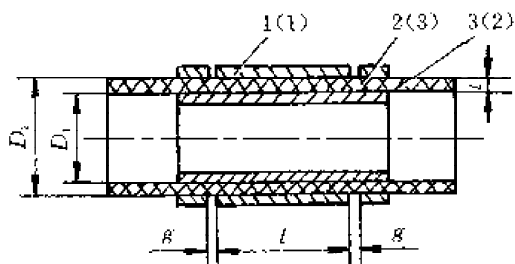


图 1-2-60 管状试样与电极

1—测量电极；2—保护电极；3—高压电极；4—试样； t —管状试样厚度； D_1 —试样内径； D_2 —试样外径； l —测量电极长度； g —测量电极与保护电极间隙宽度

② 测量棒状试样表面电阻的电极配置如图 1-2-61 所示。

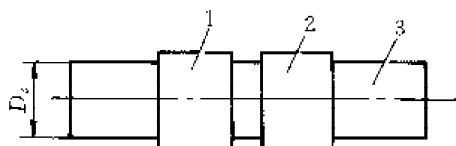


图 1-2-61 棒状试样与电极

1—测量电极；2—高压电极；3—试样； D_2 —棒状试样直径

所示。

③ 测量锥销间绝缘电阻用电极：采用铜或不锈钢制的锥销电极，其直径为 5mm，锥度 1:50，长度应使插入试样锥形圆孔后，端头伸出不少于 2mm。电极工作表面粗糙度 R_a 应小于 0.80。图 1-2-62~1-2-64 分别示出了板状试样与锥销电极、管状试样与锥销电极、棒状试样与锥销电极的配置图。

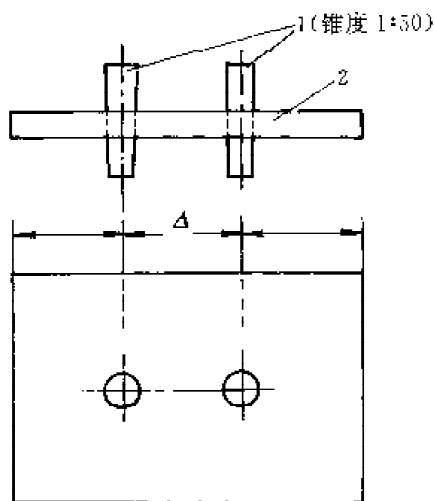


图 1-2-62 板状试样与锥销电极

1—锥销电极；2—试样； Δ —测量电极与高压电极间距

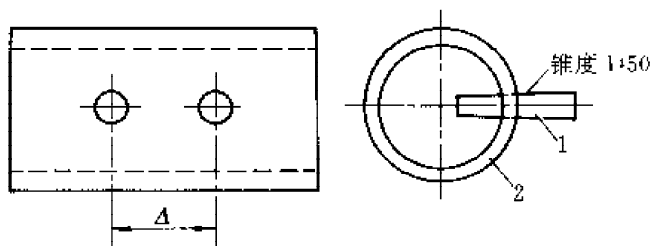


图 1-2-63 管状试样与锥销电极

1—锥销电极；2—试样； Δ —测量电极与高压电极间距

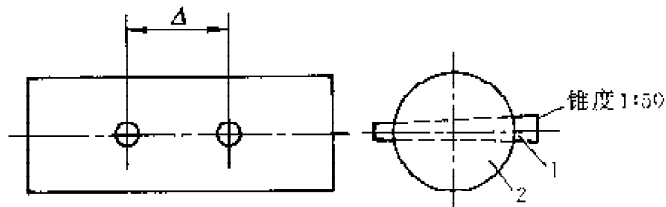


图 1-2-64 棒状试样与锥销电极

1—锥销电极；2—试样； Δ —测量电极与高压电极间距

④ 电极尺寸：见表 1-2-21。

表 1-2-21 测量绝缘电阻和电阻率的电极尺寸 (单位:mm)

试 样	电 极 尺 寸			保护间隙或电极间距离
	测量电极	高压电极	保护电极	
板 状	直径 50 ± 0.1 直径 25 ± 0.1	直径 ≥ 74 直径 ≥ 39	宽 10 宽 5	2 ± 0.2
管 状	长 50 ± 0.1 长 25 ± 0.1	长 ≥ 74 长 ≥ 39	宽 10 宽 5	2 ± 0.2
棒 状	宽 10	宽 10		2 ± 0.2

【测试仪器】

通常采用镜式检流计或高阻计进行测量。

1) 镜式检流计。图 1-2-65 示出了镜式检流计测量原理图。用检流计法测试时,对线路的基本要求是:

- ① 检流计电流常数 C 不大于 10^{-9} A/mm ;
- ② 保护电阻 R 的阻值为 $10^6 \Omega$;
- ③ 测量检流计常数时,应采用阻值为 $10^6 \Omega$,误差不大于 1% 的电阻器;
- ④ 与检流计相匹配的分流器 N 的调节级数不少于 5 级;
- ⑤ 直流电源的输出电压必须稳定,电压表的精度为 0.5 级;
- ⑥ 检流计、分流器和测量电极的接线应有良好的屏蔽,对地有良好的绝缘。

检流计法测量结果重复性好,但测试灵敏度受电流常数所限并不高,一般能测量 $10^{12} \Omega$ 以下的绝缘电阻。

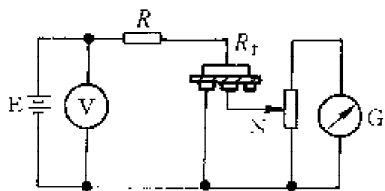


图 1-2-65 镜式检流计法测量原理图

R_r —试样绝缘电阻; R —保护电阻; G —检流计;
 E —直流电源; N —分流器

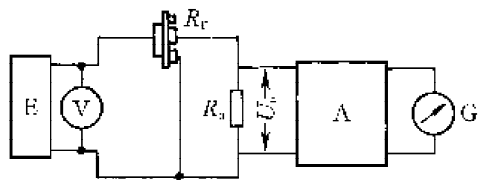


图 1-2-66 高阻计法测试原理图

R_r —试样绝缘电阻; R_0 —标准电阻; V —试验电压;
 U_0 — R_0 上的电压降; E —直流电源; A —放大器; G —指示仪表

2) 高阻计。图 1-2-66 示出了高阻计法测量原理图。用高阻计法测量时,应满足以下要求:

- ① 阻值大于 $10^{12} \Omega$ 时,测量误差小于 $\pm 20\%$;阻值等于或小于 $10^{12} \Omega$ 时,测量误差小于 $\pm 10\%$;
- ② 零点飘移每小时不大于全标尺的 4%;
- ③ 输入接线的绝缘电阻应大于仪器输入电阻的 100 倍;
- ④ 测试电路应有良好屏蔽;
- ⑤ 仪器应定期检定。

用高阻计法测试,一般可检测 $10^{17} \Omega$ 以下的绝缘电阻。

【测试条件】

为减小试样以往放置条件不同而产生的影响,并使试验结果有较好的重复性和可比性,对测试试样应进行适当的预处理。预处理条件可由表 1-2-22 选取。

表 1-2-22 测量绝缘电阻和电阻率的试样预处理条件

温度,℃	相对湿度, %	时间, h
20 ± 5	65 ± 5	≥24
70 ± 2	<40	4
105 ± 2	<40	1

当考核材料性能受温度、湿度及浸渍液等各种因素影响时,应将试样在所要求环境下经过一定时间的处理,处理后立即进行试验。此处理条件通常由有关产品标准规定。无特殊要求时,一般测试应在温度 (20 ± 5)℃,相对湿度 (65 ± 5)% 的条件下进行。试验电压 100~1 000V,误差范围 ±5%。在进行对比试验中,须采用相同的电压。

【结果计算】

用锥销电极测量的绝缘电阻可由高阻计上直接读取。

体积电阻率和表面电阻率按表 1-2-23 计算。表中:

表 1-2-23 体积电阻率和表面电阻率的计算公式

测试方法	试 样	体积电阻率 $\rho_V, \Omega \cdot \text{cm}$	表面电阻率 ρ_S, Ω
高阻计法	板状	$\rho_V = R_V \frac{A_e}{t}$	$\rho_S = R_S \frac{2\pi}{\ln \frac{d_2}{d_1}}$
	管状	$\rho_V = R_V \frac{2\pi l_e}{\ln \frac{D_2}{D_1}}$	$\rho_S = R_S \frac{2\pi D_2}{\Delta}$
	棒状		$\rho_S = R_S \frac{\pi D_2}{\Delta}$
检流计法	板状	$\rho_V = \frac{V \cdot n \cdot A_e}{C_g \cdot a \cdot t}$	$\rho_S = \frac{2\pi \cdot V \cdot n}{C_g \cdot a \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}}$
	管状	$\rho_V = \frac{2\pi l_e \cdot V \cdot n}{C_g \cdot a \cdot \ln \frac{D_2}{D_1}}$	$\rho_S = \frac{2\pi D_2 \cdot n}{C_g \cdot a \cdot \Delta}$
	棒状		$\rho_S = \frac{\pi D_2 \cdot V \cdot n}{C_g \cdot a \cdot \Delta}$

t ——平板试样的厚度或管状试样的壁厚, cm;

d_1 ——平板测量电极直径, cm;

d_2 ——平板保护电极内径, cm;

D_1 ——管状试样内径, cm;

D_2 ——管状 (或棒状) 试样外径, cm;

l_e ——管状试样测量电极的有效长度, $l_e = l + g$, cm;

l ——管状试样测量电极长度, cm;

g ——测量电极与保护电极间隙宽度, cm;

Δ ——测量电极与高压电极间的距离, cm;

A_e ——平板测量电极的有效面积, $A_e = \frac{\pi}{4} (d_1 + g)^2$, cm^2 ;

R_v ——体积电阻, Ω ;

R_s ——表面电阻, Ω ;

V ——试验电压, V;

n ——分流比;

a ——检流计两次读数的平均值, mm;

C_g ——检流计电流常数, A/mm。

测试结果以各次试验数值的对数的算术平均值计算,并以带小数的个位数乘以 10 的 n 次方表示,取二位有效数字,数据处理按产品标准规定。

二、介电常数和介质损耗角正切

【方法要点】

采用电桥法或谐振法,测量工程塑料试样的介电常数和介质损耗角正切。本方法的频率适用范围为 50Hz~100MHz。

【术语】

1) 介电常数 ϵ : 表征绝缘材料在交流电场下介质极化程度的参数。它是充满此绝缘材料的电容器的电容量 C_x 与以真空为电介质时同样电极尺寸的电容器的电容量 C_0 的比值。

2) 介质损耗角正切 $\text{tg}\delta$: 表征绝缘材料在交流电场下能量损耗的一个参数。是外施正弦电压与通过试样的电流之间的相角的余角正切。

【试样】

工程塑料试样通常采用平板试样,也可用管状试样。平板试样可以是圆形,也可以是方形,但以采用圆形试样为好。试样表面应平整、均匀、无裂纹和机械杂质等缺陷。试样边缘必须光滑并与片状平面相垂直,边缘轮廓鲜明,厚度尽可能地均匀。试样厚度不大于 3mm。试样数不少于 3 个。

【电极】

1) 二电极和三电极。二电极 (不带保护电极) 和三电极 (带保护电极) 均可适用于平板试样和管状试样。平板试样采用圆形平板电极,管状试样采用圆柱形电极。

在工频下测试时如使用有保护端的仪器,应尽可能采用三电极。三电极的优点是能消除试样表面漏电流的影响,使测量电极下的电场趋近均匀电场,故无需校正边缘电容。为起到良好的保护作用,保护电极的宽度至少是试样厚度的两倍。

在工频下测试时如仪器没有保护端可采用二电极,此时必须根据电极和试样间的不同配置方式校正边缘电容。采用二电极时,电极可以与试样相等或小于试样。当二电极不易对准时可以采用不等电极。

表 1-2-24 和 1-2-25 分别示出了三电极和二电极的试样和电极尺寸。

表 1-2-24 三电极的试样和电极尺寸 (单位:mm)

试 样	试样尺寸	电 极 尺 寸			保护间隙	频率范围
		测量电极	高压电极	保护电极宽度		
板状	方形: 100×100 圆形: 直径 100	直径 70±0.1	直径≥94	≥10	2±0.2	工频、音频、 高频
	方形: 100×100 圆形: 直径 100	直径 50±0.1	直径≥74	≥10	2±0.2	
	方形: 80×80 圆形: 直径 80	直径 37±0.1	直径≥60	≥10	1±0.1	
管状	长 100	宽 50±0.1	宽≥74	≥10	2±0.2	工频

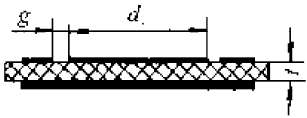
表 1-2-25 二电极的试样和电极尺寸 (单位:mm)

试 样	试样尺寸	电 极 尺 寸		频率范围
		测量电极	接地电极	
板状	直径 ≥ 60+4t)	直径 50±0.1	直径 50±0.1 直径 ≥ 60+4t)	音频、高频
	直径 50	直径 50±0.1	直径 50±0.1	
	直径 ≥ 68+4t)	直径 38±0.1	直径 38±0.1 直径 ≥ 68+4t)	
	直径 38	直径 38±0.1	直径 38±0.1	
管状	长 50	外电极宽 18±0.5	内电极宽 30±0.5	音频、高频

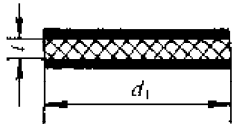
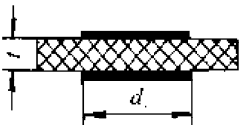
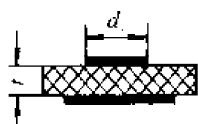
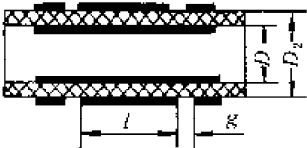
〔注〕 t 为平板试样的厚度,mm。

2) 电极配置。电极配置和试样几何电容见表 1-2-26。

表 1-2-26 电极配置和试样几何电容

电 极 配 置	试样几何电容 (pF)
三电极系统平板电极 	$C_{co} = \epsilon_0 \frac{A_e}{t} = 0.088\,54 \frac{A_e}{t}$ $A_e = \frac{\pi}{4} (d_1 + g)^2$ A_e——平板试样测量电极有效面积

续表)

电 极 配 置	试样几何电容 (pF)
二电极系统平板电极 a) 电极与试样尺寸相等  b) 上、下电极相等  c) 上、下电极不等 	$C_{a0} = \epsilon_0 \times \frac{\pi}{4} \times \frac{d_1^2}{t} = 0.069\ 54 \frac{d_1^2}{t}$
三电极系统圆柱形电极 	$C_{a0} = \epsilon_0 \times \frac{2\pi (l+g)}{\ln \frac{D_2}{D_1}} = 0.241\ 6 \frac{(l+g)}{\lg \frac{D_2}{D_1}}$ $(l+g)$ ——管状试样测量电极有效长度

【注】 t —平板试样厚度,cm; g —保护间隙宽度,cm; d_1 —平板电极测量电极直径,cm; l —圆柱形电极测量电极长度,cm; D_1 —管试样内径,cm; D_2 —管试样外径,cm。

3) 测微电极。在高频下可减小由联接导线的电阻、电感和测试电容器串联产生的误差。带有微调电容器的测微电极可用于变电纳法中。采用测微电极时,试样和电极尺寸见表 1-2-27。

表 1-2-27 测微电极的试样和电极尺寸 (单位:mm)

试样形状	试 样 尺 寸	电 极 尺 寸	
		测量电极	高压电极
板 状	直径 50 ± 0.1 直径 $\leq 60 - 4t$	直径 50 ± 0.1	直径 50 ± 0.1
	直径 38 ± 0.1 直径 $\leq 68 - 4t$	直径 38 ± 0.1	直径 38 ± 0.1

【注】 t 为平板试样的厚度,mm。

图 1-2-67 和 1-2-68 分别为测微电极和简易测微电极的原理图。

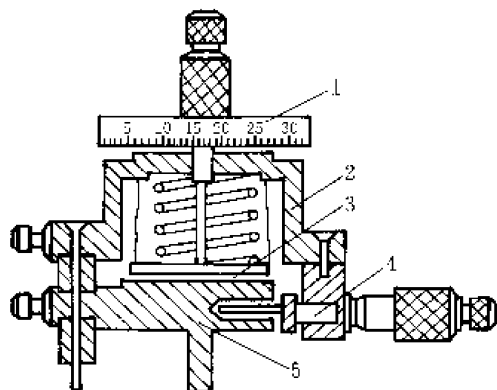


图 1-2-67 测微电极原理图

1—测微器；2—接地电极；3—放试样空隙；
4—微调电容器；5—高压电极

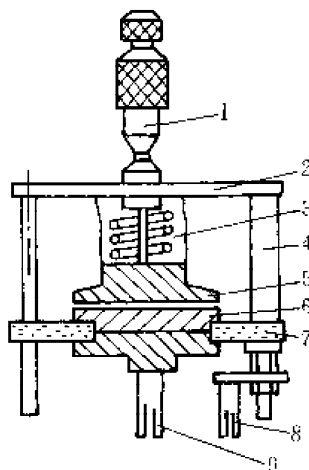


图 1-2-68 简易测微电极原理图

1—测微器；2—金属板；3—金属波纹管；4—支柱；
5—接地电极；6—高压电极；7—PTFE 绝缘固定板；8—接地引线柱；9—高压引线柱

【测试方法】

① 电桥法。

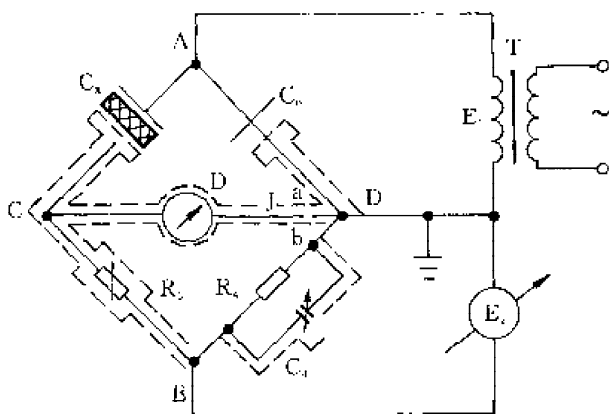


图 1-2-69 高压西林电桥原理图

T—试验变压器； C_x —试样； C_0 —标准电容器；
 R_3 —可变电阻； R_4 —标准电阻； C_4 —可变电容；
D—平衡指示器； E_1 —高压电源； E_2 —辅助电源

赫兹的宽广的频率范围。

② 谐振法。

又可分为变 Q 值法、变电纳法和变电导法。适用于 50 千赫兹到百兆赫兹的频率范围内。谐振法不能提供保护端，只能作两端测量。测试仪器的选择主要决定于测试频率和精确度要求以及操作方便等因素。

【测试步骤】

① 试样的预处理。为减小试样以往放置条件的不同而产生的影响，以使试验结果有较好的重复性和可比性。预处理条件可由表 1-2-28 选取。

① 高压西林电桥：这是测量 ϵ 和 $\tan \delta$ 的最经典的方法，用于工频下测量。电桥简单原理见图 1-2-69。辅助电源 E_2 用来补偿桥体杂散电容和电导的影响。平衡时，加上测量电压后，把开关交替地合向“屏”a 和“桥”b，反复调节辅助电源的大小和相位以及主电桥的 C_4 和 R_3 ，直到不论合向“屏”或“桥”，电桥都达到平衡。

② 变压器电桥：此方法是用两个耦合系数接近 1 的线圈 L_1 、 L_2 组成两电感比例臂，代替西林电桥中的两个电阻臂。它的优点是杂散电容影响小，可应用于从数十赫兹到数兆

表 1-2-28 测量 ϵ 和 $\text{tg}\delta$ 的试样预处理条件

温度, °C	相对湿度, %	时间, h
20 ± 5	65 ± 5	≥ 24
70 ± 2	< 40	4
105 ± 2	< 40	1

②) 试样厚度测量。在试样测量电极面积下, 沿直径测量不少于 3 点, 取其算术平均值。厚度测量误差不大于 1%, 对于厚度小于 0.1mm 的试样, 厚度测量误差应不大于 $1\mu\text{m}$ 。

③) 试验环境。常态时的试验环境为温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, 相对湿度 $65 \pm 5\%$, 经加热预处理后的试样须在温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, 相对湿度 $65 \pm 5\%$ 条件下, 冷却到温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 后方能进行常态试验。

④) 根据选用的测试方法, 将试样置于电极装置中, 按仪器说明书的规定进行测量。

【结果计算】

ϵ 和 $\text{tg}\delta$ 按所用测试方法或仪器说明书中的公式计算, 以各项试验的算术平均值作为试验结果, 取二位有效数字。

高压西林电桥法的计算公式如下:

$$\epsilon = \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{C_0}{C_{a0}} \quad (1-2-78)$$

$$\text{tg}\delta = \omega C_4 R_4 \quad (1-2-79)$$

式中: R_4 ——电桥中与试样相对臂上的电阻, Ω ;

R_3 ——电桥中与标准电容器相对臂上的可调电阻, Ω ;

C_0 ——标准电容器电容, pF;

C_{a0} ——试样的几何电容, pF;

ω ——角频率, rad/s ;

C_4 ——电桥上与 R_4 并联的可调电容, pF。

三、介电强度

【方法要点】

用连续均匀升压或逐级升压的方法, 对工程塑料试样施加工频电压, 使试样发生击穿, 计算试样的击穿电压值与两个电极间试样的平均厚度之比值。

【试样】

工程塑料试样应平整、均匀, 无裂纹和机械杂质等缺陷。试样的形状、尺寸见表 1-2-29。试样数量不得少于 5 个。

供一般试验用的板、管试样的厚度一般不大于 3mm。厚度大于 3mm 的板材应从单面加工至 $(2 \pm 0.1)\text{mm}$ 。壁厚大于 3mm 的管状材料应两面加工至 $(2 \pm 0.1)\text{mm}$ 。供沿层试验用的试样厚度为材料原厚, 但不应小于 6mm, 用板对板电极时不应小于 1.5mm。

表 1-2-29 测量介电强度的试样形状与尺寸

项 目	试 样	尺 寸,mm	适 用 范 围
一般试验	板状、型材	方形:边长 ≥ 100 圆形:直径 ≥ 100	板材及型材试样,以及箔片、漆片、漆布等
	管 状	长:100~300	
	带 状	长 ≥ 150 ,宽 ≥ 5	
沿层试验	板 状	长 100,宽 25	板对板电极
		长 60,宽 30	针销对板电极及锥销电极
	管、棒状	高 25 ± 0.2 ,弧长 ≤ 100 的一段环	板对板电极
		长 100	锥销电极
		高 30	针销对板电极

【电极】

1) 板状试样用电极。电极与试样的配置如图 1-2-70 所示,上下电极应同心。电极压力:图 1-2-70 中 a)、b)、c)电极为自重;d)电极为 50g;e)电极以与试样接触的压强为 0.01MPa 计算。电极材料为黄铜或不锈钢,工作面粗糙度 R_a 应小于 0.80。

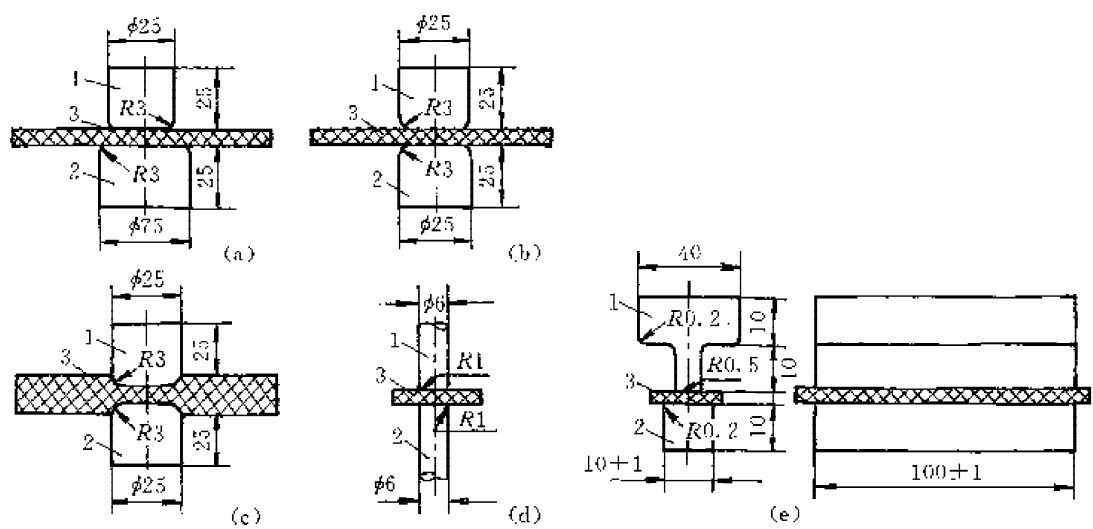


图 1-2-70 板状试样与电极配制

2) 硬管试样用电极。内径大的管材推荐采用图 1-2-71 中的 a)或 b)的电极配置;壁厚大于 3mm 的应从两面加工至 $2 \pm 0.1\text{mm}$ 后,按 c)的电极配置。

3) 层压材料沿层击穿试验用电极。采用图 1-2-72 的针销对板电极配置。电极插入孔位于试样厚度和宽度的几何中心,孔的深度应保证试样有效试验厚度为 $(10 \pm 0.2)\text{mm}$ 。

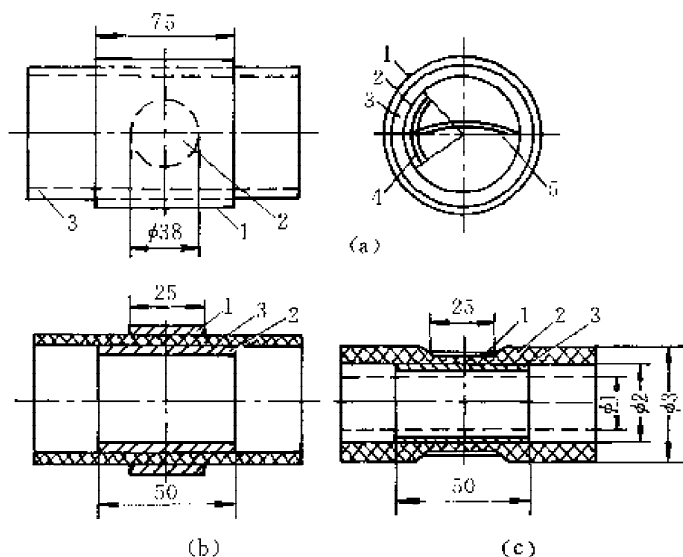


图 1-2-71 硬管试样与电极配置

1—外电极 (金属箔带); 2—内电极 (金属箔或弹性金属片); 3—试样; ϕ_1 、 ϕ_3 —硬管标称直径;
 ϕ_2 —硬管加工后内径; 4—橡皮; 5—弹性绝缘带

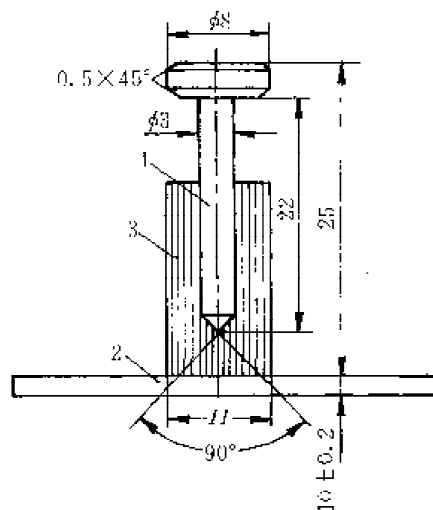


图 1-2-72 沿层击穿试验试样与电极配置

1—针销电极; 2—板电极; 3—试样; H —层压板的厚度或管的壁厚或棒材直径

【测试设备】

测试设备基本电路如图 1-2-73 所示。

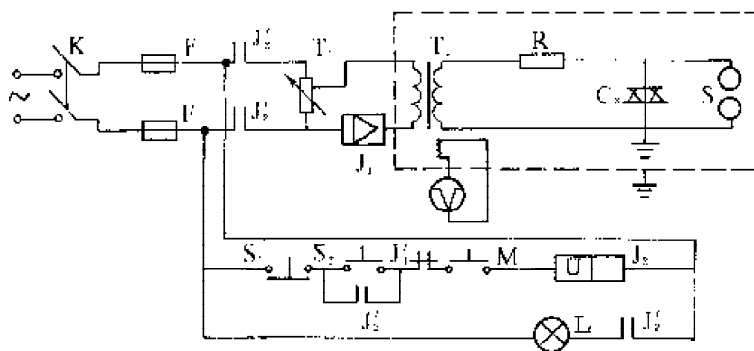


图 1-2-73 试验设备基本电路

T_1 —调压器; T_2 —试验变压器; R —保护电阻; C_x —试样; S —电压测量球隙; V —伏特计; F —熔断器; L —指示灯; S_1 、 S_2 —按钮; J_1 —过电流继电器线圈; J_2 —接触器;
 J_1' —过电流继电器触点; J_2' —接触器触头; M —门开关; K —电源开关

对测试设备线路的基本要求如下:

- ① 高压试验变压器的容量,应保证次级额定电流不小于 0.1A。
- ② 工频电源为 50Hz 的正弦交流电源,试验变压器输出电压波峰系数为 $\sqrt{2} \pm 0.07$ 。
- ③ 保护电阻阻值以高压每伏 0.2~0.5 Ω 计算。
- ④ 调压器应能均匀地调节电压,其容量与试验变压器的容量相同。
- ⑤ 过电流继电器应能保证试样击穿时在 0.1s 内切断电流。
- ⑥ 高压侧电压可用精度不低于 1.5 级的静电计、球隙或通过精度不低于 0.5 级的电压互感器来测量。低压侧电压用精度不低于 0.5 级伏特表测量。测量误差不应超过 $\pm 4\%$ 。

【测试步骤】**1) 试样的处理:**

- ① 用绸布蘸无水酒精或其它无腐蚀作用的溶剂将试样表面擦拭干净。
- ② 试样的预处理条件可由表 1-2-30 选取。
- ③ 经过加热预处理或高温处理后的试样需放在温度 $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 及相对湿度 $(65 \pm 5)\%$ 的条件下冷却到温度 $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 后,方能进行常态试验。

表 1-2-30 测量介电强度的试样预处理条件

温度, $^{\circ}\text{C}$	相对湿度, %	处理时间, h
20 ± 5	65 ± 5	≥ 24
70 ± 2	< 40	4
105 ± 2	< 40	1

2) 试样厚度的测量:在试样测量电极面积下沿直径测量不少于 3 点,取其算术平均值作为试样厚度,或在试样击穿附近测量其厚度。厚度测量误差不大于 1%,对于厚度小于 0.1mm 的试样,厚度测量误差应不大于 $1\mu\text{m}$ 。

3) 媒质:

- ① 气体媒质。采用空气,如有闪络可在电极周围加用柔软硅橡胶等制造的防飞弧圈。
- ② 液体介质。常态试验及 90°C 以下的热态试验采用清洁的变压器油, $90 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 以内的热态试验采用清洁的过热气缸油。

4) 试验环境:

- ① 常态试验环境温度应为 $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 $(65 \pm 5)\%$ 。
- ② 热态试验或潮湿环境试验条件可参见表 1-2-31。

表 1-2-31 热态试验及潮湿环境试验条件

项 目	温度, $^{\circ}\text{C}$	相对湿度, %	时间, h	注 意 事 项
高温处理与热态试验环境	90 ± 2 、 105 ± 2 、 120 ± 2 、 130 ± 2 、 155 ± 2 、 180 ± 2 、 200 ± 3 、 220 ± 3 、 250 ± 3 、 275 ± 5 、 320 ± 5	< 40	可由试样的温度、时间与性能的关系曲线来确定	① 在规定条件下,放入试样,并开始计时 ② 热态试验在温度到达规定温度时进行
浸蒸馏水、沸水或其它液体处理	20 ± 5 、 100 ± 5		0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 16, 24, 48, 96, 168 或 168 的整数倍	① 在规定的处理条件下,放入试样,开始计时 ② 试样经浸沸水或其它高温液体处理后,取出,立即放入常温同样液体中冷却至 $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$
受潮处理与潮湿环境	20 ± 5	95 ± 3	0.5、1、2、4、6、8、16、24、48、96、168 天或 168 天的整数倍	在规定的处理条件下放入试样,并计时

6) 升压方式与升压速度:击穿试验时采用连续均匀升压法或一分钟逐级升压法。连续升压法的升压速度见表 1-2-32。

表 1-2-32 连续升压的升压速度

试样击穿电压, kV	升压速度, kV/s	试样击穿电压, kV	升压速度, kV/s
<1.0	0.1	5.1~20	1.0
1.0~5.0	0.5	>20	2.0

采用一分钟逐级升压法时,按下列方式升压:第一级加电压值为标准规定击穿电压的50%,保持1min,以后每级升压后保持1min,直至击穿,级间升压时间不超过10s,此10s应计入下一分钟内,每级电压值采用表1-2-33规定的数值。如果击穿发生在升压过程中,则以击穿前开始升压的那一级电压作为击穿值;如果击穿发生在保持不变的电压级上,则以该级电压作为击穿电压。

表 1-2-33 一分钟逐级升压法的每级升压值

击穿电压值, kV	每级升压值, kV	击穿电压值, kV	每级升压值, kV
≤25	1	51~100	5
26~50	2	>100	10

【结果计算】

以试样沿施加电压方向及位置有贯穿小孔、开裂、烧焦等痕迹为击穿。如痕迹不清可用重复施加试验电压来进一步判断。测试结果按式(1-2-80)计算:

$$E_b = \frac{U_b}{d} \quad (1-2-80)$$

式中: E_b ——介电强度, kV/mm;

U_b ——击穿电压, kV;

d ——试样厚度, mm。

以测试数据的算术平均值表示,取三位有效数字。

数据处理按产品标准规定进行。如无规定,则可按如下方法处理:试验结果取5次试验的平均值,如个别测试值对平均值的相对误差超过15%,则另取试样重新进行5次测试,测试结果由10次试验的算术平均值计算。

四、耐 电 弧 性

【方法要点】

固体绝缘材料的表面在工频高电压小电流电弧间歇作用下,电极之间的材料表面由于局部发热、化学分解和腐蚀等作用而成为导体,从而使电极之间形成导电通路。材料抵抗上述趋势的能力,称为耐电弧性。

工程塑料的耐电弧性通常用工程塑料试样在一定的电弧作用程序的作用下的耐久时间来度量。电弧作用程序通常被设计为初始阶段比较缓和(电弧作用间歇时间较长),随后逐渐加剧(电弧作用间歇时间缩短),直至电弧连续作用,最后逐级加大电流的一整套试验过程。表1-2-34示出了经常使用的电弧作用程序。工程塑料的耐电弧性就是指其表面在该表示出的电弧作用程序的作用下,直至破坏所需的试验总时间。

表 1-2-34 电弧作用程序

程序	电弧电流,mA	点弧时间,s	各程序时间,s	试验所经时间,s
1	10	1 A 通,7 A 断	60	60
2	10	1 A 通,3 A 断	60	120
3	10	1 A 通,1 A 断	60	180
4	10	连续	60	240
5	20	连续	60	300
6	30	连续	60	360
7	40	连续	60	420

【试样】

- 1) 试样应平整、光滑、无毛刺。
- 2) 试样形状与尺寸:一般为平板试样,方形每边长 $(100 \pm 1)\text{mm}$,圆形直径为 $(100 \pm 1)\text{mm}$,厚度为 $2\sim 4\text{mm}$ 。
- 3) 试样数量:不少于 3 个。

【电极】

电极由无损伤的钨棒制造。两电极直径均为 2.5mm ,长度约 20mm ,其一端应磨出一个与轴线呈 30° 角的椭圆面。钨电极焊接在一个长度 L 约 40mm ,直径 ϕ 约为 8mm 的金属棒上 (图 1-2-74)。

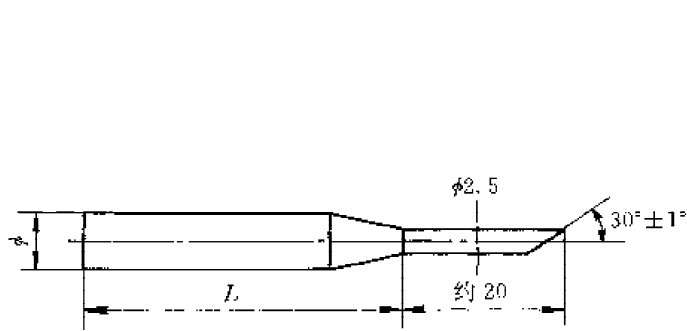


图 1-2-74 测试耐电弧性的电极

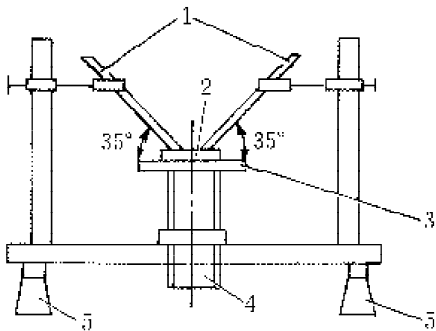


图 1-2-75 测试耐电弧性的电极装置

1—电极; 2—试样; 3—支架托盘; 4—螺纹立柱;
5—绝缘支柱

电极应保持端面清洁,经常用绸布蘸乙醇揩拭其尖端。使用 15 倍放大镜应观察不到毛刺和边缘凹凸不平等现象。

电极在电极装置中应处在与试样相垂直的平面上,而且和水平面成 35° 倾斜角。电极尖端的椭圆面短轴应成水平,椭圆面正对试样表面,两电极尖端之间距离为 $(6.0 \pm 0.1)\text{mm}$ (图 1-2-75)。

试验时为避免外界影响,电极应罩在具有出气孔的玻璃屏蔽罩内。如果试验环境没有空气流动,不产生电弧飘移,也可不加屏蔽罩。

【测试设备】

测试设备应具有表 1-2-34 所示的电弧作用程序的平稳的电弧,并可达到 40mA 的电弧电流。耐电弧设备的原理线路图见图 1-2-76。测试设备的主要组成如下:

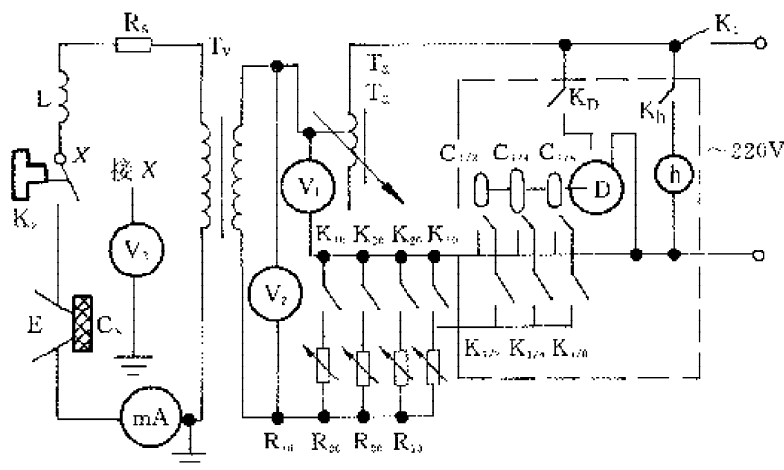


图 1-2-76 耐电弧设备线路原理图

T_v —试验变压器; T_a —自耦调压器; V_1 、 V_2 —伏特表; V_3 —静电计; mA —交流毫安表;
 L —空心电感; R_s —保护电阻; D —同步电机; h —计时器; K_1 —门安全开关; K_2 —高压
 开关; C_x —试样; E —电极; C_{10} 、 C_{20} 、 C_{30} —断续控制器的常开触点; K_{10} 、 K_{20} 、 K_{30} 、 K_{40} —手控开关; R_{10} 、 R_{20} 、 R_{30} 、 R_{40} —限流电阻

- 1) 试验变压器 T_v : 高压边额定电压等级 15~35kV, 高压边短路电流在 60mA 以上。
- 2) 自耦调压器 T_a : 额定电流 6~10A, 调压范围 0~250V。
- 3) 伏特表 V_1 、 V_2 : 量程为 0~250V。
- 4) 静电计 V_3 : 用于回路校正、检查, 调节变压器 T_v 的空载电压, 量程为 0~15kV。
- 5) 交流毫安表 mA : 量程为 0~50mA, 1.0 级以上。
- 6) 限流电阻 R_{10} 、 R_{20} 、 R_{30} 、 R_{40} : 调节 R_{10} 、 R_{20} 、 R_{30} 、 R_{40} 分别可以达到 10mA、20mA、30mA、40mA 的电弧电流。
- 7) 空心电感 L : 它与保护电阻 R_s 一起抑制电弧回路中的寄生高频成分, 总电感量为 1.2~1.5H。
- 8) 保护电阻 R_s : 其电阻值应能保证电弧电流在 10~40mA 内可调。
- 9) 断续控制器 I:
 - ① C_{10} 、 C_{20} 、 C_{30} 为断续控制器 I 的一组常开触点;
 - ② 同步电机 D 以 30r/min 的速度带动常开触点 C_{10} 、 C_{20} 、 C_{30} 发生如表 1-2-35 所列的最初三个电弧程序, K_D 为其控制开关;
 - ③ 计时装置 h 用来记录电弧燃烧时间, 要求精确到 1s, K_h 为其控制开关。
- 10) 门安全开关 K_1 : 对操作者和设备起安全保护作用。
- 11) 高压开关 K_2 : 能经受 15kV 的单刀单掷开关, 用一足够长的绝缘手柄来操作。
- 12) E 为电极, C_x 为试样。

【测试步骤】

- 1) 试样按产品标准规定进行预处理, 表面用绸布蘸无水乙醇擦拭干净。
- 2) 按要求的距离将电极放置于电极架上, 然后放入耐电弧性好的云母玻璃板或陶土片, 使电极与之接触。将各个限流电阻值均放在最大值位置上, 检查线路, 高压部分对地应有良好的绝缘, 接地部分要安全可靠。

将静电计 V_3 接在 X 位置上, 打开高压开关 K_2 , 合上开关 K_{10} , 接通电源, 调节自耦调压

器 T_a , 使 V_2 的读数为 12.5kV, 即为变压器 T_v 的高压边空载电压值。然后闭合高压开关 K_2 , 使两电极燃弧, 调节电阻 R_{10} , 使毫安表上的电流指示为 10mA。如此反复调整, 使静电计 V_3 和毫安表上的读数分别保持在 12.5kV 和 10mA, 记下此时伏特表 V_1 上的读数, 这个电压值是以后校正和试验中经常要保持在的数值。

同时使电阻 R_{10} 保持不变, 闭合开关 K_{20} , 调节电阻 R_{20} , 使毫安表的示值为 20mA, 分别闭合开关 K_{30} 、 K_{40} , 并相应调节电阻 R_{30} 、 R_{40} , 使各自的电弧电流值为 30mA 和 40mA。切断电路, 打开开关 K_{10} 、 K_{20} 、 K_{30} 、 K_{40} 。

3) 转动放置试样的支架托盘, 使试样与电极接触。接通电路, 开始计时, 直到试样发生破坏便立即切断电路, 记下电弧的持续时间 (ξ)。将计时装置复零, 以备下次试验。试验后应将燃烧生成物和有毒气体排除。

4) 每个试样上测 3~4 点。燃弧部分离试样边缘应在 7mm 以上, 每两测试点之间应间隔 15mm 以上。在三个试样上共测 10 点。

【结果计算】

以 10 个测试结果的算术平均值来表示工程塑料试样的耐电弧性。允许的最大相对误差应不大于平均值的 20%。最大相对误差以百分数表示, 并按式 (1-2-81) 计算:

$$\text{最大相对误差 } (\%) = \frac{[\text{最大值 (或最小值)} - \text{平均值}]}{\text{平均值}} \times 100\% \quad (1-2-81)$$

当计算结果超过允许相对误差时, 去掉误差最大的测试值, 然后将剩余的测试值再按式 (1-2-81) 计算, 直到符合规定为止。但舍去的测试值的个数不得超过试验次数的 40%, 否则应重新取样试验。

第八节 流动性能测试

一、熔 点

1. 偏光显微镜法

尼龙、聚甲醛等工程塑料, 是部分结晶聚合物, 其结构是晶相与非晶相共同存在, 晶相被非晶相所包围, 它们不像低分子结晶物质有一个明显的熔点, 而是有一个熔融范围, 对于这类高聚物, 利用偏光显微镜法测定其熔点较为合适及准确。

【方法要点】

当光射入晶体物质时, 由于晶体对光的各向异性作用而出现双折射现象, 当物质熔化, 晶体消失时, 双折射现象也随之消失。基于这种原理, 将试样放在偏光显微镜的起偏镜和检偏镜之间进行恒速加热升温, 则从目镜中可观察到试样熔化晶体消失时而发生的双折射消失的现象。把试样双折射消失时的温度就定义为该试样的熔点。

【测试仪器】

测试仪器是由带有微型加热台的偏光显微镜、温度测量装置及光源等组成。微型加热台有加热电源, 台板中间有一个作为光通路的小孔, 靠近小孔处有一个温度测量装置可插入的插孔。加热台上面有热挡板和玻璃盖片小室以供通入惰性气体保护试样。

【试样】

所需的试样量很少,只需 2~3mg 即可。除了粉状试样外,对于其它各种形状的试样都必须用刀片切取成 0.02mm 以下的薄片,而后按标准要求制备成供测试的试样,即将 2~3mg 的试样放在干净的载玻片上,并用盖玻片盖上。然后将此带有试样的玻片放在微型加热台上,加热到比受测材料的熔点高出 10~20℃ 时,用金属取样勺轻压玻璃盖片,使试样在两块玻片中间形成 0.01~0.05mm 的薄片,而后关闭加热电源,使其慢慢冷却,这样就制成了具有结晶体的试样。

【测试步骤】

1) 将已制备好的试样,放在偏光显微镜的加热台上,将光源调节到最大亮度,使显微镜聚焦,转动检偏镜得到暗视场。对于空气能引起氧化、降解的试样(如尼龙 66 等),必须在热挡板和玻璃盖片小室内通入一股微弱的惰性气体,以保护试样。

2) 调节加热电源,以标准规定的升温速率进行加热,并注意观察双折射现象消失时的温度值,记下此时的温度,即为该试样的熔点。

【测温装置的校正】

温度测量装置的准确与否直接影响其测试结果的可靠性,所以必须定期对测温装置进行校正,一般采用熔点固定而明显的物质作为校正的参照物,对于不同的温度范围,可分别采用表 1-2-35 所列的试剂级化学药品作为参照物。

表 1-2-35 偏光显微镜法测定熔点的校正用参照物

化学药品名称	熔点,℃	化学药品名称	熔点,℃
薄荷醇-1	42~43	琥珀酸	188~189
羟基喹啉	75~76	酚酞	261~262
N-乙酰苯胺	113~115		

校正时,将参照物作为试样放在玻璃片上,而后测定其熔点是否在其对应的范围内。为了使测试结果更准确,最好在每次测定受试样品之前,用与受试样品的熔点相接近的参照物进行校正。

2. 热分析法**【方法要点】**

用热分析法测量工程塑料的熔点,有差热分析法(DTA)及示差扫描量热法(DSC)。其原理是在一台适用的 DTA 或 DSC 仪器上,以规定的升温速率对试样及一个对应的惰性参比物同时进行加热。由于试样的熔化过程是一种吸热现象,而参比物在试样的熔化温度范围内对热呈惰性,因此在样品熔化时,试样的温度低于参比物的温度(DTA 法)或输入到试样的能量大于输入到参比物的能量(DSC 法),其温度的差值(DTA)或能量的差值(DSC)被仪器在加热过程中连续记录的曲线反映出来,曲线上出现了明显的峰(典型的 DTA 或 DSC 曲线如图 1-2-77 所示)。从被仪器记录下来的曲线中即可得到试样开始熔融的温度 T_0 及熔融峰的温度 T_p 。 T_0 及 T_p 温度值就分别表示为试样开始熔融的温度及最终的熔融温度。

【测试仪器】

DTA 或 DSC 仪器在结构上相似,无论是用哪一种仪器,对灵敏度都具有一定要求,即必须使被测样品的曲线峰高至少是噪声电平的 10 倍以上,其峰面积至少在 1cm^2 以上。而

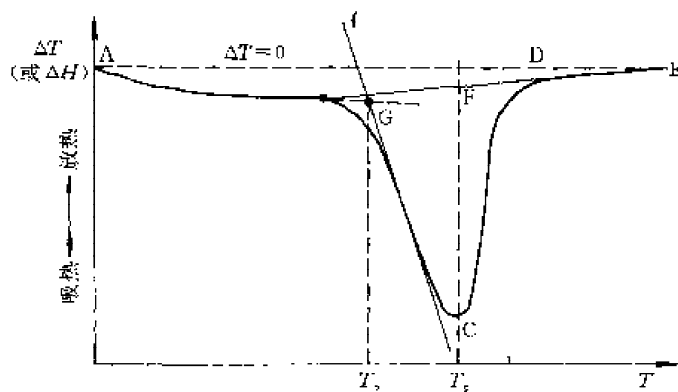


图 1-2-77 典型的 DTA 或 DSC 曲线图

对仪器的测温系统,应定期进行校准,如果被测试样的熔融温度与前一次所校准过的温度偏离较大时,则应在测定前选用与试样熔融温度较接近的一种标准参比物进行校准。推荐使用表 1-2-36 所列的参比物。

表 1-2-36 热分析法测定熔点推荐使用的参比物

参 比 物	开始熔融温度 T_o , $^{\circ}\text{C}$	峰温度 T_p , $^{\circ}\text{C}$
硝酸钾	128	135
铜	154	159
锡	230	237
硫酸银	424	433

【试样】

由于热分析所需的试样量很少,一般在 50mg 以下,所以在取样或测试过程中,应保证样品不受任何污染,不用手直接触摸试样。

试样的形状可以是粒料或切片。粒料直径在 0.5mm 以下;切片厚度为 0.05~0.5mm,面积为 0.25~4.00mm²。

【测试步骤】

1) 测定过程中一般都要通入氮气或其它惰性气体到试样保持器中对试样进行保护,以防试样在加热过程中氧化。

2) 为了消除先前的热史,应将试样以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速率加热到比峰温度高出 30 $^{\circ}\text{C}$ 后保持 10min,然后以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率冷却到比结晶温度低 50 $^{\circ}\text{C}$ 。

3) 以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升温,记录试样的吸热曲线,在此曲线上由峰的前一边上最大斜率点上的切线与外推基线的交点定为外推起始熔融温度 T_o (如图 1-2-77 中的 G 点),曲线上温差或热流差最大值时的温度为峰温度 T_p (如图 1-2-77 中的 C 点)。

3. 毛细管法

【方法要点】

在控制升温速率的情况下对毛细管中的工程塑料试样加热,观察其形状变化,将试样开始变形时的温度,作为该工程塑料的熔点。

【测试仪器】

1) 毛细管熔点仪:结构如图 1-2-78 所示。在金属塞块上有两个或多个孔,以便将温度

计和一根或多根毛细管插入金属加热块上部凹陷部分构成的空室中。该空室侧壁上有四个按互成直角的直径方向排列的耐热玻璃窗。其中的一个窗上装有观察毛细管的目镜,其余三个用于把灯光透入以照亮空室内部。金属块带有加热系统,通过一个变阻器调节输入功率,以控制升温速度。

②) 毛细管:用耐热玻璃制成的一端封闭的管子,其最大外径推荐为 1.5mm。

③) 温度计:分度值为 1°C ,应经过校准。安装时不应妨碍仪器内的热分散。

【试样】

①) 最好用粒度不大于 $100\mu\text{m}$ 的粉末或厚度为 $10\sim 20\mu\text{m}$ 的薄膜切片。如果受试样品为不易研成粉末的颗粒,则可用刀片切成约 5mm 长,截面尺寸略小于毛细管内径的细丝。在进行对比试验时,如采用粉末状试样,它们的粒度应相同或相近;如采用非粉末状试样,它们的厚度应近似。

②) 为了便于观察和比较,粉末状试样的装样高度约为 $5\sim 10\text{mm}$,并可用自由落体法在坚硬表面上敲击以使其尽可能紧密填实。

③) 如果没有其它规定或约定,试样应在 $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 和相对湿度 $(60\pm 5)\%$ 的条件下状态调节 3h 后再进行测定。

【测试步骤】

①) 应在试验所使用的温度范围内,定期用试剂级或经检验合格的标准物质(表 1-2-37)对仪器的温度测量系统进行校准。

表 1-2-37 毛细管法测熔点校准用的标准物质

名 称	熔点, $^{\circ}\text{C}$	名 称	熔点, $^{\circ}\text{C}$
薄荷醇-1	42.5	对氨基苯磺酰胺	165.7
偶氮苯	69.0	氢醌	170.3
δ -羟基喹啉	75.5	琥珀酸	189.5
萘磺酸	80.2	2-氯蒽醌	208.0
苯偶酰	96.0	蒽	217.0
N-乙酰苯胺	113.5	邻磺酰苯甲酰亚胺	229.4
安息香酸	121.7	锡	231.9
非那西汀	136.0	二氯化锡	247.0
己二酸	151.5	酚酞	261.5
铜	156.4		

②) 将温度计和装好试样的毛细管插入加热空室中,开始快速加热。当试样温度到达比预期的熔点低大约 20°C 时,将升温速度调整到 $(2\pm 0.5)^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。仔细观察并记录试样形状开始改变的温度。

对于粉末状试样,该温度一般指试样从不透明变得刚刚完全透明时的温度;对于不能达

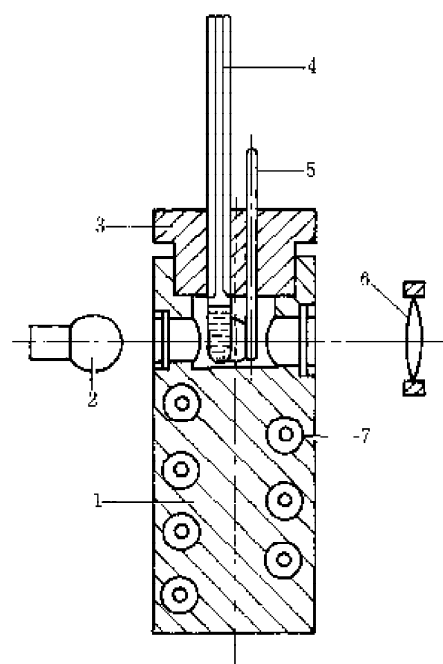


图 1-2-78 毛细管熔点仪

1—金属加热块; 2—灯; 3—金属塞块; 4—温度计; 5—毛细管; 6—目镜; 7—电阻丝

到透明阶段的试样,则可用试样出现萎缩、凝聚时的温度代替。

对于非粉末试样,该温度一般指试样锐边消失时的温度,但对于一些薄膜试样,熔融时往往粘附在管壁上,不易观察到锐边的消失,则可用试样出现坍下、粘附时的温度代替。

3) 用第二个试样重复上述操作步骤。

如果同一操作者对同一样品测得的两个结果之差超过 3°C ,则结果无效,应另取两个新的试样重复上述操作。

【结果表示】

把上述测得的两个试样有效结果的算术平均值作为受试工程塑料的熔点。

二、熔体流动速率

【术语】

熔体流动速率:热塑性塑料在一定温度和载荷下,熔体每 10min 通过标准口模的质量。

【方法要点】

使用熔体流动速率仪,在规定的标准试验条件下,测定各种热塑性塑料(包括工程塑料)的熔体流动速率。

【试样】

1) 试样形状:颗粒、粉料、小块、薄片等均可。

2) 试样干燥处理:吸湿性试样,试验前必须按产品标准规定进行干燥处理。

【测试设备】

使用熔体流动速率仪,其主体部分见图 1-2-79。

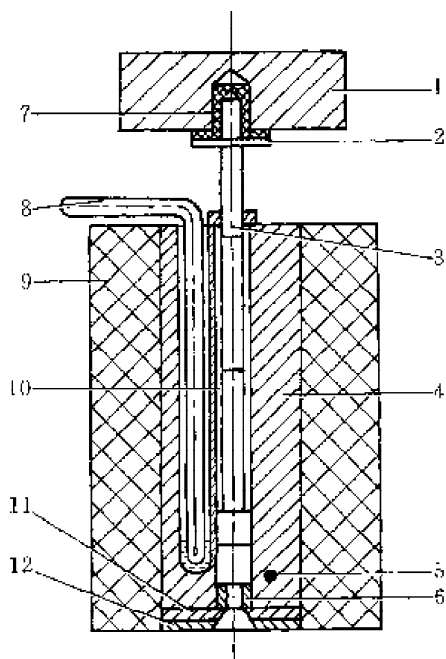


图 1-2-79 熔体流动速率仪示意图

1—砝码；2—砝码托盘；3—活塞；4—炉体；5—控温元件；6—标准口模；7—隔热套；8—温度计；9—隔热层；10—料筒；11—托盘；12—隔热垫

1) 料筒:钢制圆筒,内径为 9.550 ± 0.025 mm,长度在 150~180mm 之间,轴线弯曲不得大于 $0.02/100$,圆筒内壁粗糙度 R_a 不大于 0.4,并具有耐腐蚀性。

2) 活塞:钢制活塞长度应不小于料筒长度,活塞杆直径为 9mm,轴线弯曲不得大于 $0.02/100$,活塞头长度为 6.35 ± 0.10 mm,其直径比料筒内径均匀地小 0.075 ± 0.015 mm,表面粗糙度 R_a 不大于 0.40。活塞头下部边缘倒角的半径为 0.4mm,上部边缘须除去锐边。

在活塞上相距 30mm 处刻有两道环形标记。当将其插入料筒后,要求此下环形标记与料筒上口相齐平时,活塞头底面至标准口模上端的距离为 50mm。

3) 标准口模:用碳化钨制成。要求与料筒成间隙配合,其内径要求严格,通常有两种规格: 2.095 ± 0.005 mm 和 1.180 ± 0.010 mm,高度均为 8.000 ± 0.025 mm,内壁粗糙度 R_a 不大于 0.4,并要求具有耐腐蚀性。

4) 载荷:载荷是砝码、托盘和活塞质量之和,精度为 0.5%。若料筒内径在 9.5~10.0mm 之间,则载荷 P 按

式 (1-2-82) 计算:

$$P = K \frac{D^2}{d^4} \quad (1-2-82)$$

式中: P ——载荷, g ;

K ——口模系数 (决定于标准口模内径和剪切速率范围), $g \cdot mm^2$;

D ——活塞头直径, mm ;

d ——标准口模内径, mm 。

5) 温控系统: 仪器应有温度自动控制装置, 并保证温度波动在 $\pm 0.5^\circ C$ 以内, 炉温须在距标准口模上端 $10mm$ 处测量。

6) 温度监测装置: 水银温度计或其它测温装置, 精度为 $0.1^\circ C$, 须经计量部门定期校正。

【温度校正】

仪器在固定温度使用时, 至少每天试验前校正一次, 每当变换温度时也必须进行校正。先调节加热控制系统使监测孔中的温度计达到规定温度, 同时把校正温度计插入料筒预热至相同温度。取出后将流动性较好的材料 (或试样) 加入料筒压实, 随即再插入校正温度计, 待料熔融后把校正温度计浸入熔体, 使温度计球距标准口模顶部 $10mm$ 。经至少 $4min$ 后, 以测出的两支温度计读数差来校正。

【试验条件】

标准试验条件见表 1-2-38。有关工程塑料及通用塑料的试验条件选用序号如下:

聚甲醛	3
ABS	7, 9
聚碳酸酯	16
聚酰胺	10, 15
聚乙烯	1, 2, 3, 4, 6
聚丙烯	12, 14
丙烯酸酯	8, 11, 13
纤维素酯	2, 3

表 1-2-38 测试熔体流动速率的标准试验条件

序 号	标准口模内径, mm	试验温度, $^\circ C$	口模系数, $g \cdot mm^2$	载荷, kg
1	1.180	190	46.6	2.160
2	2.095	190	70	0.325
3	2.095	190	464	2.160
4	2.095	190	1 073	5.000
5	2.095	190	2 146	10.000
6	2.095	190	4 635	21.600
7	2.095	200	1 073	5.000
8	2.095	200	2 146	10.000
9	2.095	220	2 146	10.000
10	2.095	230	70	0.325
11	2.095	230	258	1.200

(续表)

序 号	标准口模内径,mm	试验温度,℃	口模系数,g·mm ²	载荷,kg
12	2.095	230	464	2.160
13	2.095	230	815	3.800
14	2.095	230	1 073	5.000
15	2.095	275	70	0.325
16	2.095	300	258	1.200

【测试步骤】

1) 首先应将仪器调至水平。在装好标准口模并插入活塞后开始升温。当升到规定温度后至少恒温 15min。

2) 根据试样的预计流动速率,按表 1-2-39 称取试样并加入料筒。试样加入时用活塞压紧,并在 1min 内加完,将活塞留在料筒里,根据选定的试验条件加载荷。

3) 试样经 4min 预热,炉温应恢复到规定温度,用手压使活塞降到下环形标记距料筒口 5~10mm 为止,这个操作时间不应超过 1min。待活塞下降至下环形标记和料筒口相平时,切除已流出的样条,并按表 1-2-39 规定的切样时间间隔开始正式切取。保留连续切取的无气泡样条三个。当活塞下降到上环形标记和料筒口相平时,停止切取。

注:① 易氧化降解的试样,在装料前须用氮气吹扫料筒。

② 流动速率在 25g/10min 以上者,可采用内径小的标准口模。

③ 样条长度最好在 10~20mm 之间,但以切样时间间隔为准。

4) 样条冷却后,置于天平上,分别称量。

5) 若所取样条中的质量的最大值和最小值之差超过其平均值的 10%,则试验重做。

6) 每次试验后必须用纱布擦净标准口模表面、活塞和料筒,模孔用直径合适的黄铜丝或木钉趁热将余料顶出后用纱布擦净。

表 1-2-39 流动速率与试样加入量及切样时间间隔的关系

流动速率,g/10min	试样加入量,g	切样时间间隔,s
0.1~0.5	3~4	120~240
>0.5~1.0	3~4	60~120
>1.0~3.5	4~5	30~60
>3.5~10	6~8	10~30
>10~25	6~8	5~10

【结果计算】

熔体流动速率 MFR 按式 (1-2-83) 计算:

$$\text{MFR} = \frac{600 \times m}{t}, \text{ g/10min} \quad (1-2-83)$$

式中: m ——切取样条质量的算术平均值, g;

t ——切样时间间隔, s。

试验结果取两位有效数字。

第九节 老化性能试验方法

现行的工程塑料老化试验方法大致可分为两类。一类是自然老化试验方法,一类是人工加速老化试验方法。自然老化试验方法是利用自然环境条件进行老化的一类试验方法,它主要包括:自然气候暴露试验方法;耐光性试验方法;仓库贮存试验方法等。人工加速老化试验方法是在实验室内用各种老化试验箱进行老化的一类试验方法,老化试验箱可以模拟并强化自然环境条件的某些老化因素,加快材料的老化进程,从而能较快获得试验结果。这类方法主要包括:人工气候老化试验方法;热空气暴露试验方法;湿热老化试验方法;盐雾试验方法等。以下介绍几种主要的老化性能试验方法。

一、自然气候暴露试验方法

【方法要点】

将工程塑料试样置于自然气候环境下暴露,使其经受日光、温度、氧等气候因素的综合作用,通过测定其性能的变化来评价工程塑料的耐候性。

【试样】

试样可采用注射、模压等方法制备。层压材料、板材及管材经机械加工制成。试样的形状和尺寸按我国塑料性能试验方法中有关试样标准的规定。

试样的数量由有关的工程塑料性能试验方法和测试周期决定。非破坏性测试所需的试样数量,等于一次测试所需的数量。对照试验所需的试样数量,可根据其测试要求和测试周期来计算。

【试验场地】

1) 暴露场的位置应选在能代表某一气候类型最严酷的地区或近似于实际应用的地区。具体需根据实验目的、要求,结合我国的气候类型来选择。

2) 场地应平坦空旷。用朝南 45° 角暴露时,暴露面的东、南、西方向应没有仰角大于 20° 、北方向没有仰角大于 45° 的障碍物。

3) 场地应无有害气体和尘类的影响。

4) 场地应保持该地区的自然植被状态。草高不超过 30cm。有积雪时,不应破坏其自然状态。场地四周应围以铁丝网或木栅等。

5) 工业气候暴露场设在工厂区内,沿海地区暴露场设在海边或岛屿上。它们都宜设在该地区主导风向的下风向处,并符合 2) 的规定。

6) 允许在房顶平台上进行暴露试验,但应符合 2)、3) 的规定,并在试验报告中注明该房顶平台所用建筑材料。

【试验装置】

1) 暴露试验用的装置是暴露架。暴露架面有一定的倾斜角,其结构可以是一种有固定架面倾角的暴露架(图 1-2-80),也可以是一种有可调架面倾角的暴露架(图 1-2-81)。

2) 暴露架可用钢铁或木材制造,表面涂上防护漆;也可用铝合金、不锈钢或钢筋混凝土制造。结构力求简单、牢固。

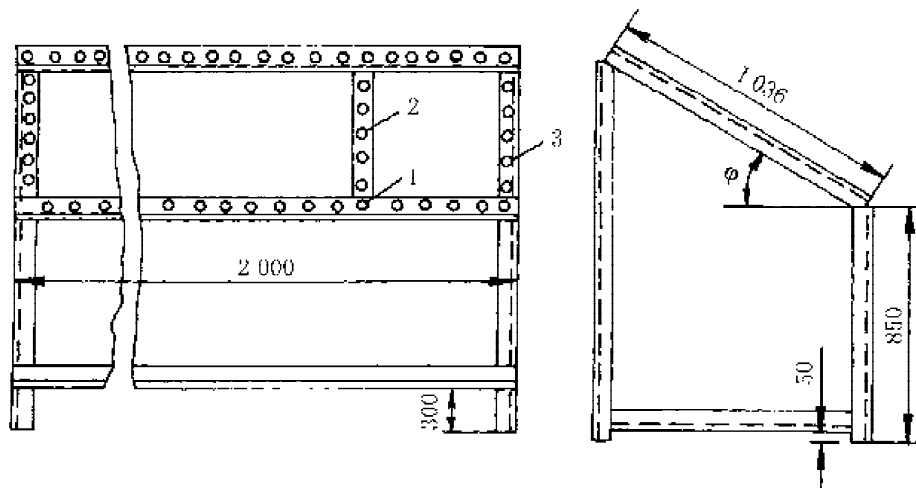


图 1-2-80 固定角度的暴露架

1—螺栓；2—扁钢；3—骨架；架面倾斜角 $\varphi = 45^\circ$ 或当地地理纬度

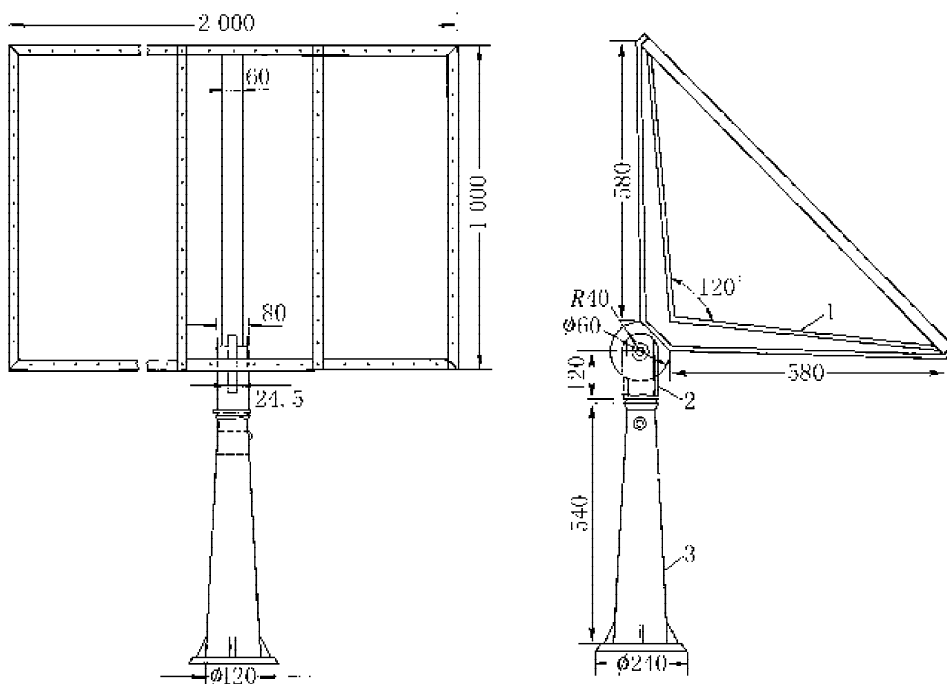


图 1-2-81 可调角度的暴露架

1—三角架支撑；2—角度调节叉轴；3—架座

3) 试样固定架可用轻便、不易变形的木条钉成,也可用其它惰性材料制成。木条品质要求至少能经得起一次暴露试验。

【试验条件】

1) 暴露架固定在暴露场内,应经得起当地风力的吹刮。

2) 架面的方位朝正南。

3) 架面与水平面的倾角 (即暴露角)一般采用 45° 。为使试样获得最大的年辐射量,暴露角应等于场地的地理纬度。对特定场地或特殊用途,可采用其它角度。

4) 暴露架的行距以不遮阳光和便于工作为原则。北纬 30° 以南地区其距离取 1m 为宜。 30° 以北地区行距按式 (1-2-84) 计算:

$$L = H \operatorname{tg} (\varphi + 23^{\circ}27')$$
(1-2-84)

式中: L ——两行暴露架间的距离, m;

H ——暴露架面上下两端高度差, m;

φ ——当地地理纬度;

$23^{\circ}27'$ ——常数, 为太阳赤纬最大绝对值。

【试验开始时间和期限】

① 试验开始时间最好在春末夏初。

② 试验期限应根据试验目的、要求和结果而定。通常在暴露前需先估计试样的老化寿命而预定试验期限。

③ 当主要性能指标已降至实际使用的最低允许值或某一保留率以下时, 试验便可结束。

【测试指标和周期】

① 测试指标应根据工程塑料的品种、用途和特性来选择。一般选择外观和物理力学性能指标。

② 测试周期可根据预定的试验期限而定, 一般取 12 个左右。在试验过程中, 应视性能变化快慢, 酌情缩短或延长测试周期。

【试验步骤】

① 试验前应拟定试验方案, 内容包括: 试验目的和要求; 试验场地、纬度; 暴露方位及暴露角; 试验用工程塑料的品种、牌号、批号、配方、来源及试样制备工艺条件; 试样的形状和尺寸; 试验开始时间和期限; 测试的指标、周期和方法等。

② 试验前, 将一个周期的试样按 GB2918—82 (89)《试样的状态调节和试验的标准环境》的规定进行预处理, 然后按有关的工程塑料标准测试原始值。

③ 若要进行对照试验, 应在试验的同时, 把对照试样放在室内黑暗处保存。

④ 试样的固定:

① 在试样上端非工作部分钻孔, 然后用铁钉固定在木框上, 下端让其处于自由状态, 以避免在暴露过程中因热胀冷缩或其它原因而产生应力。铁钉可预先涂上清漆, 也可在钉后用清漆涂在露出试样的钉头部分。

② 不适宜钻孔的试样, 可采用镶嵌固定法。

③ 把放有试样的木框用铁丝固定在暴露架上, 并开始计时, 一般以日、月、年作为单位。若条件具备, 最好同时以太阳辐射量作计时单位。

④ 框架上的试样离地面或任何别的障碍物最近部分应不小于 0.5m。

⑤ 为使试样不致混淆, 可在放置有试样的木框上或试样的非工作部分作标记。

⑥ 到测试周期时, 从暴露架上取下试样, 用经水浸湿的纱布仔细抹去表面上的灰尘和污垢, 按 GB2918—82 (89) 规定进行预处理, 然后按有关工程塑料标准进行测试。

⑦ 需作外观检查的试样, 每周期应保留一片进行拍照, 以便比较各周期的外观变化。

⑧ 非破坏性测试后的试样, 仍按原暴露面放回暴露架上继续试验, 扣除未暴露的时间, 直至试验终结。

【气象观测】

① 在暴露场或其邻近设立气象观测站。长期连续地观测气温 (最高、最低和平均)、相

对湿度(最大、最小和平均)、降水量(包括总降水量)、日照时数(包括总日照时数)、太阳总辐射量以及对风力、风向、雨、露等的观测。

位于国家气象台站邻近的暴露场,则可直接利用国家气象台站的观测资料。

②) 工业气候暴露场应测定大气中的腐蚀性化工气体和杂质的含量。沿海地区的暴露场应测定大气中的氯化钠含量。

【测试结果】

①) 工程塑料的耐候性,以其试样在该试验场气候条件下被测指标的变化达到规定值(实际使用的最低允许值或某一保留率)时的暴露时间表示。

②) 用图解法确定耐候性。为此,作出表示工程塑料被测指标变化与暴露试验时间的关系图。在纵坐标上标出被测指标值,在横坐标上标出暴露试验时间或其对数值。在图上绘一条平行于横坐标轴、表示被测指标下降至规定值的直线。被测指标变化曲线和此直线交点的横坐标,便可用以量度工程塑料的耐候性。

③) 如果在试验过程中对某种工程塑料要测定几项指标,或者进行不同暴露角度的对比试验,则应按每项指标和每种暴露角度确定耐候性。

二、人工气候老化试验方法

人工气候老化试验系指在实验室用人工气候箱进行的老化试验。人工气候箱有模拟太阳的人造光源,有温度、湿度、雨水等环境因素,这些因素比自然环境强烈,因此可以加快材料的老化过程,较快得到试验结果。

【方法要点】

将待测工程塑料试样与测量光剂量的装置同时暴露于实验室光源下进行加速老化试验,然后测定暴露引起的试样各种性能的变化。所用光源类型包括:氙弧灯、封闭式碳弧灯、敞开式碳弧灯、荧光灯等。

①) 光源。实验室光源必须尽量接近自然光,尤其是在紫外区。关于材料耐破坏试验的累计辐照强度,其推荐值为 $1\,000 \pm 100 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

① 氙灯:氙灯发出的光的波长范围是从低于 270nm 的紫外区通过可见区而延伸到远红外区。由氙灯发出的光要经过滤光,以减少短波紫外线和大量的红外线。由于氙灯和滤光器在使用过程中老化,因此使用一定时间后应该更换。由于脏物积聚也会影响其性能,因此应定期清扫。照到试样表面上的波长为 300~890nm 光的辐照度在正常情况下应为 $(1\,000 \pm 200) \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 。特殊情况可采用其它强度,但要在试验报告中说明。波长低于 300nm 光的辐照度应不超过 $1 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 。在整个试样表面辐照度的变化不应超过 $\pm 10\%$ 。

② 封闭式碳弧灯:该灯发出的弧光是由炭棒电极间放电形成,一个电极是有芯炭棒,一个电极是无芯炭棒。封闭式碳弧灯的滤光器是由耐热玻璃制成的球形玻璃罩,它对波长 275nm 以下的光透过率小于 1%,而对 370nm 以上直到全部可见光谱的透过率在 90%左右。球形玻璃罩应安装牢固,清洁、无缺口和裂纹,在每次换炭棒时都应保持这种良好状态。该滤光器的性能在使用中会因老化而发生变化,需要定期更换。炭棒燃烧时产生的灰烬会附着在滤光器上,最好将一块永久磁铁安装在滤光器顶部的适当位置上,它能搜集大部分灰烬。照在试样表面上波长在 300~750nm 的光的辐照度正常情况下应不超过 $500 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

特殊情况下可用较高的强度,但应在试验报告中注明。300nm 以下的光的辐照度应不超过 $1\text{W}/\text{m}^2$ 。

③ 敞式碳弧灯:该灯发出的弧光是由炭棒电极在自由空气中放电形成的,电极是表面镀铜的有芯炭棒。弧光通过一个耐热玻璃滤光器后才照到试样上,滤光器对波长 255nm 以下的光的透过率小于 1%,对波长 360nm 以上直到全部可见光谱的透过率为 90%。玻璃滤光器的性能在使用过程中由于老化会产生变化,并有积垢,因此应定期更换。照在试样表面上波长在 300~750nm 的光的辐照度正常情况下应不超过 $600\text{W}/\text{m}^2$ 。特殊情况下可用较高的强度,但应在试验报告中注明。波长在 300nm 以下的辐照度应不超过 $2\text{W}/\text{m}^2$ 。

④ 荧光灯:荧光灯的光源是由许多荧光灯管按一定的几何形状排列而成,通常按圆筒形排列。灯的数量取决于试样暴露的面积,灯的长度和强度要适当。可使用长 100cm,功率 20W 或长 200cm,功率 40W 的荧光灯。对一些特殊应用来说,灯也可以排列为壁板形。可以采用的荧光灯的类型很多,各类灯所发光的光谱分布各不相同。荧光灯的类型列于表 1-2-40 中。老化试验箱所用荧光灯可只是一种类型,也可是几种类型并用,以使光谱能量分布尽量接近太阳光。

表 1-2-40 人工气候老化试验用荧光灯的类型

灯的类型	功率, W	输出峰, nm
A	20	317
B	20	355
C	20	374
D	20 或 40	365
E	40	313

2) 试验室。试验室内有一个圆筒形框架,用以固定试样支架,还有使试验室空气流通的排风装置。如果灯燃烧时产生了臭氧,则应通入室外的冷空气,以保证试样不与臭氧接触。

灯放置的位置应使被暴露试样整个面积上所受的辐照量的差别不大于 $\pm 10\%$ 。

为使试样接受的光照均匀,安装试样的框架应围绕光源旋转,如果需要可定期调换每个试样的竖直位置。试样支架在与框架一起旋转的同时,也可绕其轴自转,使曾受不到光照的试样支架的一面直接受到光照。

3) 黑板温度计。黑板温度计用来指示试验温度。它有一块涂黑了的吸热金属板,接近“黑体”的吸收性能。黑板的厚度至少 1mm,其大小以能装到试样支架上为准。黑板温度通过与黑板接触良好的合适的温度计或热电偶来指示。当把黑板温度计安装在试样支架上时,其涂黑的金属面要对着灯。在足以使温度达到稳定的时间之后再读取温度值。黑板温度的高低通过调节冷却空气流来控制。

所采用的黑板温度应根据材料的性能和用途经有关方面协商而定,最好采用下列温度之一:

$$45 \pm 3)^{\circ}\text{C}; \quad 55 \pm 3)^{\circ}\text{C}; \quad 63 \pm 3)^{\circ}\text{C}$$

对一些特殊要求,可能希望采用较高的温度,但这有增加热降解的倾向,从而影响试验结果。

4) 相对湿度。如果需要一定的相对湿度,应将流过试样的空气的相对湿度控制在规定的数值上。相对湿度用干湿球温度计或其它合适的装置测量,将它们安装在试验室内,并避免受灯光的直接照射。试验选用的相对湿度要经有关方面商定,最好采用下列湿度之一:

30%~40%; 45%~55%; 60%~70%; 85%~95%

5) 喷水。经有关方面协商同意,可以在规定条件下周期性地对试样喷水。所用水应为蒸馏水或无离子水。试验所用喷水周期最好采用表 1-2-41 所列周期之一。

表 1-2-41 人工气候老化试验的喷水周期

喷水时间,min	两次喷水之间的干燥时间,min	喷水时间,min	两次喷水之间的干燥时间,min
3	17	12	48
5	25	18	102

6) 试样支架。试样支架可以是开放式框架型,使被暴露的试样背面露出,也可以有一个背板。为了不影响试验结果,整个支架应由惰性材料(如铝或不锈钢)制成。试样附近不应有黄铜、钢或青铜。

7) 测定辐照剂量的装置。根据所选方法确定采用下列装置之一:

① 1号~7号蓝色羊毛标准样板和评价颜色变化的灰色色标。

② 测量光剂量的仪器。该仪器有一个光接受器系统,并与一个累积器相连,用来指示在整个试验期间所接受到的总能量。光接受器接受辐照的立体角应与试样接受辐照的立体角相同,而且,该光接受器系统应对通过此立体角接受到的辐照很敏感。光谱响应应符合有关方面商定的要求,并应与使试样产生变化的光谱范围一致。该仪器经用合适的辐照度单位(例如 J/m^2)标定后才能使用。标定应不受光强度或温度等变量的影响。

【试样】

1) 测定颜色变化的试样。试样为矩形长条,长条的各表面尺寸不小于 15mm,并且要能装到所用的试验装置上。进行试验的试样至少两个。对于颜色不均或对暴露的敏感性不规则的制件必须采用多个试样。还要把一个试样贮存在黑暗环境中,作为评价颜色变化的参照标准。

2) 测定性能变化的试样。试样的数量和尺寸应满足以下要求:

- ① 要能安装到所用的试验装置上;
- ② 要满足暴露取样次数的要求;
- ③ 要满足测定原始值和进行对比试验的要求。

如果被测材料是复合材料,那么应由复合材料通过适当的方法直接制备试样,或者将材料用适当方法制成薄板,然后从薄板上切割试样。如果被试材料是挤出件、模塑件、板材等,试样可以在制件暴露前制备,也可以在暴露后制备,这要根据试验的特定要求和材料的性质而定。例如,在暴露期间明显变脆的材料应在暴露前制备成性能测试所需要的形状,因为暴露后再加工成所需形状就很困难了。

由于暴露会影响切割边缘的性能,因此暴露前制备试样和暴露后制备试样所得到的性能测试结果可能不同。

试样在加工之后一定要经过条件化处理。有时为便于制备试样,可在机械加工前对板

材进行预处理。

【测试步骤】

①) 安装试样。把试样装在试样架上时,不要使其受到任何应力。把测量辐照剂量的装置装在试样架上,与试样在相同的方式下暴露。如果采用蓝色羊毛标准样板,则要防止喷水时把样板弄湿。

当试样是用来测定颜色和外观变化时,可以在整个试验期间用不透明的盖板遮住试样的一部分,这样,在试样暴露部分的旁边就有不暴露部分,非常便于颜色和外观的比较,这对于检验暴露进程非常有用。不过,试验报告所报的数据都是与室内不见光贮存的参照试样比较的结果,而不是与遮挡部分比较的结果。

为使试样各个部位受光均匀,应随时变换试样在设备中的位置。

②) 测量辐照剂量。用上述测定辐照剂量装置中规定的任何一种装置测量辐照剂量。用蓝色羊毛标准样板测量辐照剂量时,可用“暴露等级”表示;用仪器测量时,可用 J/m^2 表示。

③) 测定暴露后性能的变化。按照有关标准的规定测定试样经暴露后的性能。

三、热空气暴露试验方法

【方法要点】

将工程塑料试样置于强制通风的空气热老化试验箱中,使其经受热和氧的加速老化作用,通过检测暴露前后性能的变化,以评定工程塑料的耐热老化性能。

【术语】

①) 暴露试验:将试样暴露于自然或人工环境中,经受环境因素的作用,对材料耐老化性能做出评定的试验。

②) 试验箱工作室容积:试验箱工作室内部空间的实际容积。

③) 试验箱工作空间:试验箱工作室中能够保持试验条件所规定容差范围内的那一部分空间。

④) 试验箱全部内容积:包括试验箱工作室及充满加热空气的风道和叶轮室等所有装置空间的容积。

【试验装置】

①) 试验箱。它应满足如下要求:

- ① 工作温度 $40\sim 200^{\circ}\text{C}$ 或 $40\sim 300^{\circ}\text{C}$ 。
- ② 温度波动度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$, 应备有防超温装置。
- ③ 温度均匀性,即温度分布的偏差应 $\leq 1\%$ 。
- ④ 平均风速 $0.5\sim 1.0\text{ m/s}$, 允许偏差 $\pm 20\%$ 。
- ⑤ 换气率 $1\sim 100$ 次/h。
- ⑥ 工作室容积一般为 $0.1\sim 0.3\text{ m}^3$, 室内备有安置试样的网板或旋转架。
- ⑦ 旋转架转速,单轴式为 $10\sim 12\text{ r/min}$; 双轴式的水平轴和垂直轴均为 $1\sim 3\text{ r/min}$, 两轴的转速比应不成整数或整数分之一。
- ⑧ 双轴式试样架的旋转方式,一边以水平轴作中心旋转,同时水平轴又环绕垂直轴

旋转。

②) 温度指示计。用分度不大于 1°C 的水银温度计或其它测温仪表。

【试样】

①) 形状和尺寸: 试样的形状和尺寸应符合有关塑料性能检测方法的规定。不同规格的试样的试验结果不能做比较。

②) 制备: 试样按有关塑料试样制备方法制备。

③) 数量: 试样数量由有关塑料检测项目和试验周期决定。每周期每组试样数量一般不少于 5 个, 试验周期数根据有关检测项目而定, 一般不少于 5 个。

【试验条件】

①) 试样状态。调节按 GB2918—82 (89) 中的标准环境及正常偏差范围进行, 调节时间 48h 以上。

②) 试验温度。根据工程塑料的使用要求和试验目的确定试验温度。选择温度上限及温度下限的基本原则如下:

① 温度上限, 可根据有关工程塑料技术规范确定。一般应低于其维卡软化点, 或者通过探索性试验, 选取不致造成试样分解或明显变形的温度。

② 温度下限, 是能导致必要的老化速率的温度。通常可选择比工程塑料实际使用温度高 $20\sim 40^{\circ}\text{C}$ 的温度。

③) 温度均匀性。试验箱工作空间温度分布的偏差应小于或等于该试验温度的 1%。

④) 平均风速。试验箱工作室内的平均风速可在 $0.5\sim 1.0\text{m/s}$ 范围内选取, 允许偏差 $\pm 20\%$ 。

⑤) 换气率。试验箱全部容积的换气率可根据试样的特性和数量在 $1\sim 100$ 次/h 范围内选取。对于不能确认试样是否有互相影响, 而又必须同时进行试验时, 最好选用较大的换气率。

⑥) 试验周期及期限。按预定目的确定试验取样周期次数及时间间隔长短, 也可根据性能变化加以调整。

试验期限应根据工程塑料特性决定, 一般以某一规定的暴露时间, 或以性能变化至某一规定值 (通常取保持率 50%) 时的暴露时间为试验终止时间。

【试验步骤】

①) 调节试验箱。根据试验条件的规定, 调节试验箱的试验温度、温度均匀性、平均风速及换气率。

②) 安置试样。试验前, 试样需统一编号, 测量尺寸, 并应保证试样清洁。

试样可用衬有或包有惰性材料的合适的金属夹或金属丝, 将其安置在网板、单轴旋转架或双轴旋转架上。试样与工作室内壁之间距离不小于 70mm, 试样之间距离不小于 10mm, 工作室容积与试样总体积之比不小于 5:1。

对于要求试验准确度较高的小型试样, 建议采用双轴旋转架进行试验。

互有影响的试样不允许同时在一箱内进行试验。

③) 升温及计时。试样的升温方式一般是将试样安置于常温的试验箱中, 然后逐渐升温至规定的试验温度。试验持续时间从箱温达到试验温度后开始计时。

在已知温度突变不会对试样造成有害影响和对试验结果影响不大的情况下, 亦可将试

样放置于已达到规定温度的试验箱中,待温度恢复后开始计试验持续时间。

4) 周期取样。按有关工程塑料的技术标准或预定的试验周期,依时从试验箱中取样,直至试验结束。取样速度要快,可暂停鼓风,尽可能减少箱内温度的变化。对于网板式试样架,为减少温度不均匀的影响,可周期地交换网板上试样的位置。

5) 性能检测。根据试验所选定的性能项目,按有关工程塑料性能检测方法,检测暴露前后试样性能的变化。

【试验结果】

1) 性能评定。工程塑料的老化程度是根据其在暴露试验中性能的变化来评价的。应选择对工程塑料应用最适宜及变化较敏感的下列一种或几种性能的变化来评定它的热老化性能:

- ① 通过目测试样发生局部粉化、龟裂、斑点、起泡及变形等外观的变化;
- ② 质量的变化;
- ③ 拉伸强度、断裂伸长率、弯曲强度及冲击强度等力学性能的变化;
- ④ 变色、退色及透光率等光学性能的变化;
- ⑤ 电阻率、耐电压强度及介电常数等电性能的变化;
- ⑥ 其它性能的变化。

2) 结果表示。根据有关工程塑料技术标准的规定或试验协议处理试验结果。试验结果应包括试样暴露前后各周期性能的测定值、保持率或变化百分率等。

四、湿热老化试验方法

【方法要点】

在湿热试验室等试验环境中,在稳态或循环试验的条件下,测试工程塑料的耐湿热老化性能。

【试验条件】

1) 稳态试验。温度: 40 ± 2 °C; 相对湿度: 90%~95%。

2) 循环试验。以 24h 为循环周期,温度从 25 ± 1 °C 升到 65 ± 2 °C; 相对湿度保持在 80%~100%之间。

以 12h+12h 为循环周期,温度从 25 ± 3 °C 升到 40 ± 2 °C,再上升到 65 ± 2 °C。相对湿度在较高温度下为 90%~96%,在循环试验的其余时间内不低于 95%。

给试样供湿应使用蒸馏水或无离子水。

【试样持续时间】

建议从下列标准时间中选择试验时间:

24, 48, 96, 144, 168h;

若需要较长的试验时间,则建议从下列时间中选择:

1, 2, 4, 8, 16, 26, 52, 78 星期。

【试样】

1) 测质量变化用的试样。试样可直接用模塑方法制备,也可用机械加工方法制备。

若用机械加工方法时,切割表面应光滑,并无碳化的痕迹。

① 模塑和挤出料:试样应是长、宽均为 50 ± 1 mm、厚 3 ± 0.2 mm 的板状试样。也可以使用具有同样表面积的长条试样。

② 片材:试样上下表面应为 50 ± 1 mm 的正方形,或为具有同样表面积的矩形,应从被试验的片材上切取。如果片材的厚度等于或小于 25 mm,试样的厚度应与片材厚度相同;如果片材的厚度大于 25 mm,并且在有关的技术标准中无特殊的规定,那么试样的厚度应减至 25 mm,其方法是只从一面进行机械加工。

③ 半成品和成品:这类试样的尺寸和形状要尽量与上述①的试样相同,并按照制件的技术标准或有关各方商定的意见制备。

④ 试样的数量:至少用三个试样进行试验。

①) 测尺寸和外观变化用的试样。按照与 ①) 规定相同的方法制备试样。对于各向异性的材料,试样的两个侧面要分别平行于片材的长度方向和横向。

②) 测物理性能变化用的试样。试样的大小、形状和数量应符合测定物理性能的标准方法的有关规定。如果是破坏性试验,试样数量必须加倍。

【状态调节】

试验前试样应在 23 ± 2 °C 和相对湿度 45%~55% 的条件下处理不少于 86 h,也可用有关方面商定的方法或按材料的技术标准要求进行处理。

【暴露后的处理】

暴露后的试样或者立即进行性能测试,或者进行干燥处理后再测试。

①) 暴露后立即测试:将暴露后的试样用蒸馏水或无离子水清洗并擦干后,放入温度为 23 ± 2 °C 的密闭容器中处理,一般处理 4 h。

②) 暴露后经干燥或再处理之后再测试:将暴露后的试样清洗擦干后,将其放到与上述“状态调节”相同的环境中进行处理,使其达到平衡,称为再预处理。试样的干燥应在 60 ± 2 °C 的烘箱中干燥 24 h,然后在干燥器中冷却到 23 ± 2 °C。

【试验步骤及结果的表示】

①) 测质量变化:

① 称量每个试样的质量 (m_1),精确至 0.001 g;

② 将试样暴露到试验环境中;

③ 按预定周期取出试样,擦干试样表面;

④ 按上述“暴露后的处理 ①)”规定对试样处理后,称量每个试样的质量 (m_2),精确至 0.001 g;

⑤ 如果需要,按上述“暴露后的处理 ②)”规定的程序,对试样进行再预处理和干燥,然后称量每个试样的质量 (m_3),精确至 0.001 g;

⑥ 结果的表示有两种方法,可采用其一。

第一种以单位面积质量的变化 (g/m^2) 表示:

$$\frac{m_2 - m_1}{S} \quad (1-2-85)$$

或

$$\frac{m_3 - m_1}{S} \quad (1-2-86)$$

式中, S ——试样的总表面积 (包括试样的各侧面), m^2 。

第二种以质量变化百分数表示:

$$\frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1-2-87)$$

或
$$\frac{m_3 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1-2-88)$$

当质量增加时,变化的百分数为正值;当质量减少时,变化的百分数为负值。

上述两种表示法的试验结果都要取所有试样测试结果的平均值。

②) 测试尺寸和外观变化:

① 在每个试样上划出四个标记点,然后用千分尺测量每个试样上四个标记点处的厚度,精确至 0.01mm ,计算厚度的平均值 ($\bar{a}_1$);分别测量试样正方形或矩形表面四个边的长度,精确至 0.1mm ,然后分别计算相互垂直的两个方向尺寸的平均值 (长 $\bar{l}_1$ 和宽 $\bar{b}_1$)。对于非正方形或矩形表面试样 (例如由半成品或成品制成的试样),要测量最有意义的尺寸。

② 将试样暴露于试验环境中。

③ 按预定周期取出试样,擦干试样表面。

④ 用与暴露前同样的测量方法去测量暴露后的试样的尺寸 ($\bar{a}_2$ 、 $\bar{l}_2$ 和 $\bar{b}_2$)。

⑤ 观察试样外观,记下肉眼可见的任何变化。

⑥ 如果需要,按上述“暴露后的处理 ②)”规定的程序对试样进行再预处理和干燥,然后测量每个试样的尺寸 ($\bar{a}_3$ 、 $\bar{l}_3$ 和 $\bar{b}_3$)。

⑦ 结果的表示有两种方法,可采用其一。

第一种用尺寸变化的百分数表示:

$$\frac{\bar{l}_2 - \bar{l}_1}{\bar{l}_1} \times 100\% \quad (1-2-89)$$

$$\frac{\bar{b}_2 - \bar{b}_1}{\bar{b}_1} \times 100\% \quad (1-2-90)$$

$$\frac{\bar{a}_2 - \bar{a}_1}{\bar{a}_1} \times 100\% \quad (1-2-91)$$

或
$$\frac{\bar{l}_3 - \bar{l}_1}{\bar{l}_1} \times 100\% \quad (1-2-92)$$

$$\frac{\bar{b}_3 - \bar{b}_1}{\bar{b}_1} \times 100\% \quad (1-2-93)$$

$$\frac{\bar{a}_3 - \bar{a}_1}{\bar{a}_1} \times 100\% \quad (1-2-94)$$

当尺寸增加时,结果为正值;当尺寸减少时,结果为负值。

第二种用最终尺寸与原始尺寸之比的百分数表示:

$$\bar{l}_2 / \bar{l}_1 \times 100\% \quad (1-2-95)$$

$$\bar{b}_2 / \bar{b}_1) \times 100\% \quad (1-2-96)$$

$$\bar{a}_2 / \bar{a}_1) \times 100\% \quad (1-2-97)$$

$$\bar{l}_3 / \bar{l}_1) \times 100\% \quad (1-2-98)$$

$$\bar{b}_3 / \bar{b}_1) \times 100\% \quad (1-2-99)$$

$$\bar{a}_3 / \bar{a}_1) \times 100\% \quad (1-2-100)$$

当试验结果等于 100% 时,表示尺寸无变化;小于 100% 时,表示尺寸减少;大于 100% 时,表示尺寸增加。

外观变形应包括:

- ① 变形,如翘曲、弯曲、分层等;
- ② 可见的表面降解的征兆,如局部隆起等;
- ③ 增塑剂渗出,样品发粘;
- ④ 固体组分析出 (起霜);
- ⑤ 金属元件 (如果有的话)的锈蚀等。

如果可能,对上述变化应给予明确的鉴定意见,如鉴定为轻微、中等、严重等。

6) 测物理性能的变化:

- ① 先测定欲考察的每一个性能的初始值 (P_1);
- ② 将试样暴露于试验环境中;
- ③ 按预定周期取出样品,擦干试样表面;
- ④ 测定暴露后的每一个性能值 (P_2);
- ⑤ 如果需要,按上述“暴露后的处理 2)”规定的程序对试样进行干燥和再预处理,然后再测定每一个性能值 (P_3);
- ⑥ 结果的表示有两种方法,可采用其一。

第一种用性能变化的百分数表示:

$$\frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100\% \quad (1-2-101)$$

或
$$\frac{P_3 - P_1}{P_1} \times 100\% \quad (1-2-102)$$

第二种用最终性能与原始性能之比的百分数表示:

$$P_2 / P_1) \times 100\% \quad (1-2-103)$$

或
$$P_3 / P_1) \times 100\% \quad (1-2-104)$$

第三章 工程塑料成型加工

第一节 成型加工原理

工程塑料的成型加工是将各种形态的工程塑料成型物料（粉料、粒料等）转变成为具有固定形状制品的过程。它通常包括两个过程，首先使物料变形或流动，并取得所需要的形状；然后进行固化以保持所取得的形状成为制品。

工程塑料的成型加工工艺包括成型和加工两个部分。成型的主要方法有：注射、挤出、吹塑、模压、热成型等。加工主要由机械加工、修饰和装配三个环节组成。其中，机械加工主要方法有车削、铣削、钻削、冲切等；修饰主要方法有锉削、磨削、抛光、涂饰、印刷、表面金属化等；装配主要方法有焊接、粘接、机械连接等。图 1-3-1 示出了工程塑料成型加工的工艺。

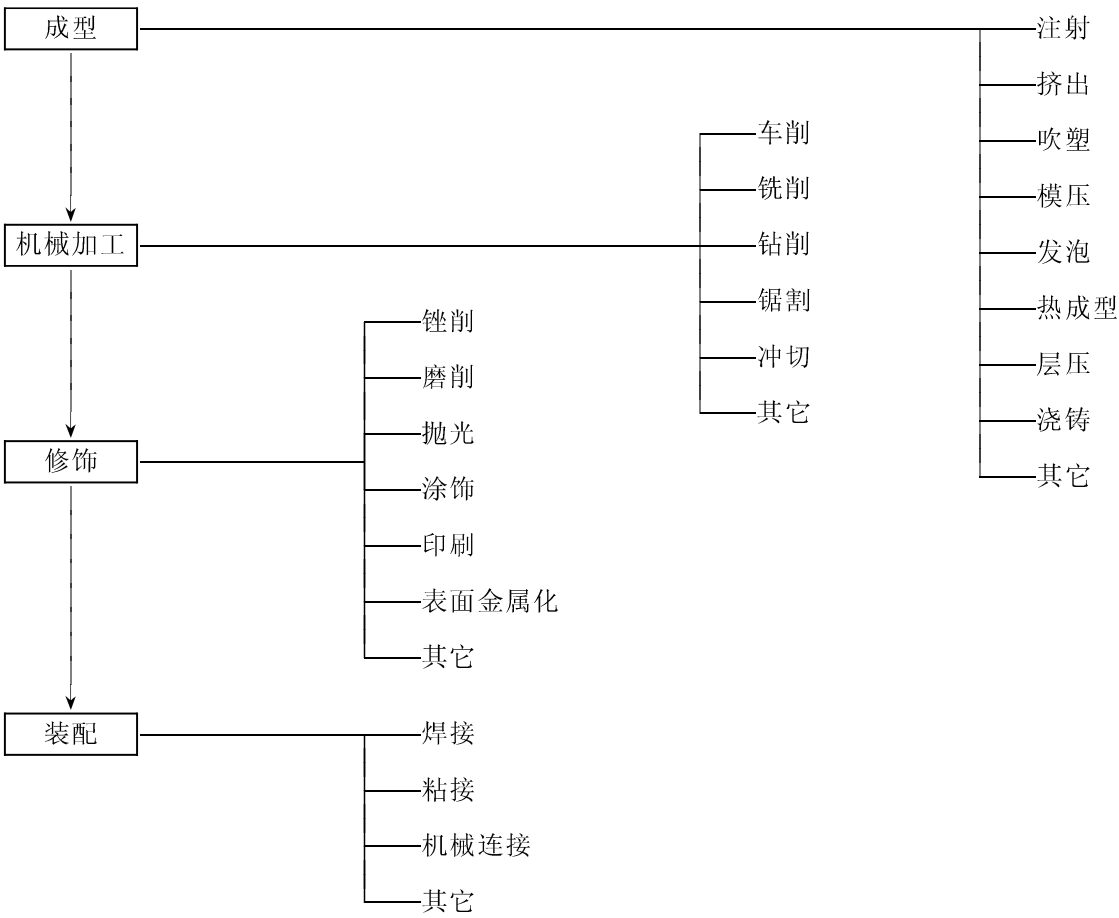


图 1-3-1 工程塑料的成型加工工艺

表 1-3-1 列举了各种工程塑料的主要成型方法。每种工程塑料选择哪一种成型方法，应根据其自身的成型特性、制品性能、使用要求及经济上的合理性等因素来决定。

表 1-3-1 各种工程塑料的主要成型方法

名 称	注射成型	挤出成型	吹塑成型	模压成型	发泡成型	层压成型	浇铸成型	热成型
ABS	○	○	△		○			△
聚酰胺	○	○	△	△	△		△	△
聚碳酸酯	○	○	△	△	△		△	△
聚甲醛	○	○	△					
改性聚苯醚	○	○	△		△			
PBT	○	○						△
PET	○	△	○					
超高分子量聚乙烯	△	△	△	○				
聚砒	○	○	△					△
聚醚砒	○	○	△	△			△	△
聚酰亚胺				○	△	△		
聚苯硫醚	○	△		△				
聚芳酯	○	○	△					
聚苯酯	△			△		△		
聚醚醚酮	△	△				△		
液晶聚合物	○							
聚四氟乙烯	△	△		○				

〔注〕 ○:优;△:良。

一、工程塑料的成型加工性

工程塑料的基体是各种合成树脂,工程塑料在成型加工过程中所表现出来的许多性质和行为,基本上是由合成树脂的特性所决定的。合成树脂都是由许多特定结构的大分子所组成,它们也称为聚合物或高聚物。在讨论工程塑料成型加工原理时,就必须研究这些合成树脂的各种特性。

无论是哪一种工程塑料,它之所以能被成型加工成为一定形状的制品,首先是因为作为其基体的聚合物具有优良的成型加工性,包括可挤压性、可模塑性、可延展性和粘弹性等。正是因为具有这些特性,才为工程塑料提供了适宜于各种成型加工技术的可能性。

(一) 可挤压性

聚合物通过挤压作用形变时获得形状和保持形状的能力称为可挤压性。

工程塑料在成型过程中经常受到挤压作用,例如在挤出机和注射机的料筒中,以及在模具中等。

工程塑料通常只有处于粘流态时才能通过挤压获得有效的形变。工程塑料的可挤压性主要取决于熔体粘度。大多数工程塑料的熔体粘度随剪切力或剪切速率的增大而降低。如果挤压过程中工程塑料的熔体粘度很低,则虽然具有良好的流动性,但保持形状的能力较差;相反,如果熔体粘度很高,则会造成流动困难,不易成型。工程塑料的可挤压性还与加工设备的结构有关。挤压过程中工程塑料熔体的流动速率随压力的增大而增加,通过流动速率的测定可以决定成型加工时所需的压力和设备的几何尺寸。

熔体指数是评价工程塑料熔体粘度和可挤压性的重要参数。它是指在给定的剪切应力和温度下,工程塑料在 10min 内从熔体指数仪出料孔挤出的质量 (g),简称为“MI”。熔体指

数主要与聚合物的分子量有关。分子量大,则熔体指数小,表现出较高的粘度和较低的流动性;反之,分子量小,则熔体指数大,表现出较低的粘度和较高的流动性。

(二) 可模压性

聚合物在温度和压力的作用下形变的能力称为可模压性。利用可模压性,可使聚合物在温度和压力作用下充满模腔,从而模压成型为各种制品。模压成型最常用的方法有注射、挤出、模压等。

可模压性主要与聚合物的流变性、热性质及物理性质等有关。

图 1-3-2 为模压成型的分析图。当温度过高,熔体流动性大,易于成型,但会引起分解,且制品收缩率大;当温度过低,熔体粘度大,流动困难,成型性差,且制品形状稳定性差。当压力过高,将会引起溢料,增大制品内应力;当压力过低,则会造成缺料,制品无法成型。因此,只有处于适当的温度和压力,在表面不良线、溢料线、分解线和缺料线所构成的区域,才是模压的最佳区域。

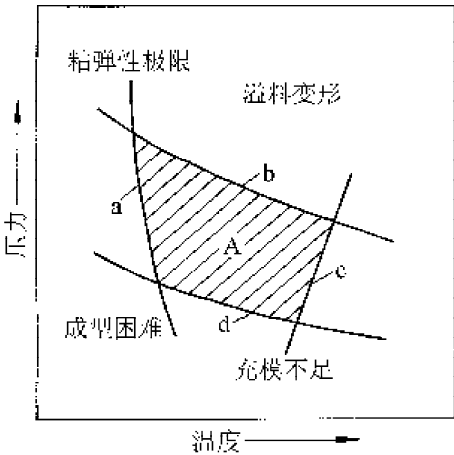


图 1-3-2 模压成型分析图

A—成型区域; a—表面不良线; b—溢料线; c—分解线; d—缺料线

(三) 可延展性

聚合物在一个方向或两个方向上受到压延或拉伸时变形的能力称为可延展性。

聚合物的可延展性来自其大分子的长链结构和柔性。当聚合物在 $T_g \sim T_m$ (或 T_f) 温度区间受到大于屈服强度的拉力作用时,就产生宏观的塑性延伸形变 (T_g 为聚合物的玻璃化温度, T_m 为熔融温度, T_f 为流动或软化温度)。图 1-3-3 示出了聚合物拉伸时典型的应力-应变图。直线 oa 说明聚合物的初期形变为普通形变。ab 处弯曲说明聚合物抵抗形变的能力开始下降,出现形变加速的倾向,并由普通形变转变为高弹形变。b 点称为屈服点,对应于 b 点的应力称为屈服应力 σ_y 。从 b 点开始,近水平的曲线说明在屈服应力作用下,通过链段的逐渐形变和位移,聚合物逐渐延伸应变增大。在 σ_y 的持续作用下,形变的性质也逐渐由弹性形变发展为以大分子链的解缠和滑移为主的塑性形变。由于聚合物在拉伸时发热,

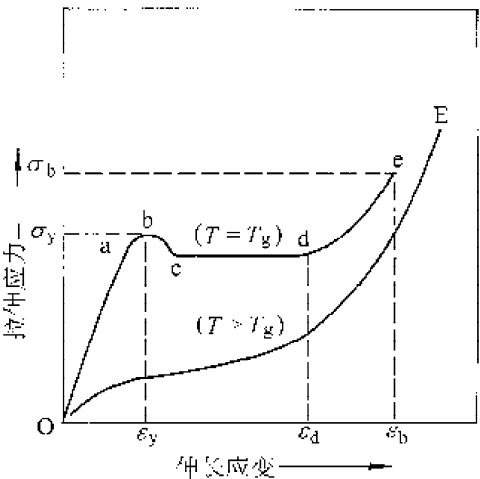


图 1-3-3 聚合物拉伸时典型的应力-应变图

温度升高,以致形变明显加速,并出现形变的“细颈”现象。这种因形变引起发热,使聚合物变软形变加速的作用称为“应变软化”。所谓“细颈”,是指聚合物在拉伸应力的作用下截面形状突然变细的一个很短的区域。细颈的出现说明在屈服应力下聚合物中结构单元因拉伸而开始取向。细颈区后(图中 cd 线段)的聚合物在恒定应力下被拉长的倍数称为自然拉伸比 A。显然 A 愈大,聚合物的延伸程度愈高,结构单元的取向程度也愈高。随着取向程度的提高,大分子间作用力增大,引起聚合物粘度升高,使聚合物表现出硬化倾向,形变也趋于稳定而不再发展。取向过程的这种现象称为“应力硬化”,它使聚

合物的模量增加,抵抗形变的能力增大,引起形变的应力也就相应地升高。当应力达到 e 点,材料因不能承受应力的作用而破坏,这时的应力 σ_b 称为拉伸强度或极限强度。形变的最大值 ϵ_b 称为断裂伸长率。

聚合物的可延性取决于材料产生塑性形变的能力和应变硬化作用。形变能力与聚合物所处的温度有关,在 $T_g \sim T_m$ (或 T_f)温度区间聚合物分子在一定拉伸应力作用下能产生塑性流动,以满足拉伸过程材料截面尺寸减小的要求。对半结晶聚合物拉伸在稍低于 T_m 以下的温度进行,非结晶聚合物则在接近 T_g 的温度进行。通常把在室温至 T_g 的拉伸称为“冷拉伸”,在 T_g 以上的温度下的拉伸称为“热拉伸”。

利用工程塑料的可延展性,可通过压延或拉伸成型方法,生产长径比 (即长度比直径,或长度比厚度, L/D)很大的产品,如薄膜、片材等。

(四) 粘弹性

工程塑料在成型过程中通常是从固体变为熔体,再由熔体变为固体,成为制品。在成型过程中即分别表现出固体的弹性和熔体的粘性。但由于聚合物大分子长链结构运动是逐步进行的,因此所表现的并非是单纯的弹性和粘性,而是两者综合的性能,即粘弹性。

工程塑料在成型过程中的总形变由以下三个形变组成:

1) 普弹形变 聚合物在玻璃化温度以下,大分子链和链段被冻结,当受外力时只是链段作瞬间形变,外力除去后恢复原状,这种可逆性形变称为普弹形变。

2) 高弹形变 聚合物在大于玻璃化温度时,大分子链仍不能运动,但链段已具有活动能力,在外力作用下能产生较大形变,外力除去后仍能恢复原状,但速度较慢,这种形变称为高弹形变。

3) 粘性形变 当聚合物处于粘流态时,大分子链活动能力增加,链段运动同时或相继向同一方向运动,在外力作用下整个大分子链间互相滑动而产生形变,外力除去后不能恢复原状,这种不可逆形变称为粘性形变。

利用聚合物的粘弹性,可以按照其在不同形变下的状态进行各种成型。例如,在温度高于熔点(T_m)或流动温度(T_f)时,聚合物处于粘流态,以粘性形变为主,粘度低,流动性大,可进行注射、挤出、吹塑等成型。在温度低于 T_m (或 T_f)和高于 T_g 时,聚合物处于高弹态,以高弹形变为主,在较大的外力和较长时间作用下,会产生不可逆的塑性流动,可进行中空容器的吹塑、真空成型、压力成型、以及薄膜的热拉伸等。

二、工程塑料熔体的流变性

流变性是聚合物在应力作用下产生弹性、塑性和粘性形变的行为。流变性与各种因素 (如聚合物的分子结构及性质、温度、应力作用方式及作用时间、聚合物体系的组成等)之间的相互关系密切。流变性及其与各种因素的关系,是工程塑料成型加工的最基本的工艺特征,它们对原料的选择和使用,成型最佳工艺条件的确定,成型设备及模具的设计,以及提高制品的品质,都具有重要的作用。

(一) 工程塑料熔体的流变行为

聚合物在加工过程中的形变是由于外力作用的结果,它在受力后内部产生与外力相平衡的应力。聚合物的大分子结构和运动特点,在力学聚集态上可分为四种,即结晶态、玻璃

态、高弹态和粘流态。

熔体的流动和形变都是在应力的作用下实现的。应力主要有剪切、拉伸、压缩三种,其中尤以剪切应力最为重要。图 1-3-4 示出了熔体受剪切、拉伸、压缩应力作用下的形变情况。

流体在平直导管内受剪切应力而发生流动的形式有层流和湍流两种。层流时,流体是按许多彼此平行的流层进行的,同一流层之间的各点速度彼此相同,但各层之间的速度不一定相同,各层之间无可见的骚扰。如果将流动速度增大并超过临界值,则层流转为湍流,流体点速度的大小、方向均随时间而变化,流体内出现骚扰。

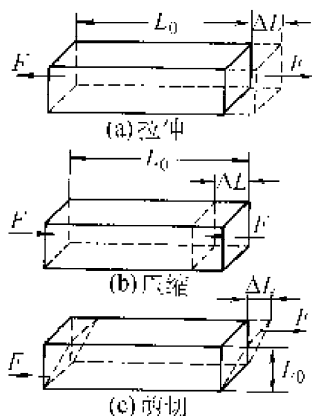


图 1-3-4 工程塑料熔体受剪切、拉伸、压缩应力作用下的形变

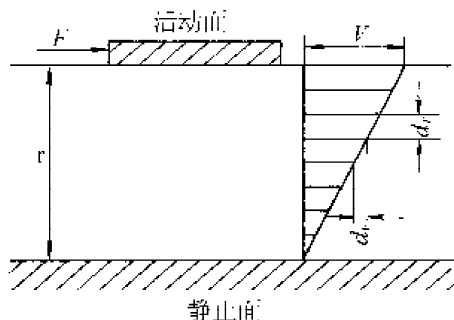


图 1-3-5 剪切应力与剪切速率关系图

层流和湍流以雷诺数 (Re) 加以区分。当 Re 小于 2 100 时为层流流动, Re 大于 2 500 时液体就从层流逐渐转变为湍流流动, 由层流到湍流的过渡区 Re 为 2 000~4 000, Re 大于 4 000 时为湍流流动。在工程塑料成型过程中, 熔体流动时的 Re 一般均小于 10, 因此属于层流。

描述液体层流的最简单规律是牛顿定律, 即: 在指定的温度下, 剪切应力 τ 加于两个相距为 dr 的液体平行层面以相对速度 dv 移动时, 则剪切应力 τ 与剪切速率 dv/dr 之间呈下列线性关系 (图 1-3-5):

$$\tau = \eta \frac{dv}{dr} = \eta \dot{\gamma} \quad (1-3-1)$$

式中, η 为比例常数, 通称为牛顿粘度。

实际上, 工程塑料熔体中, 除聚碳酸酯等少数品种外, 绝大多数都只在剪切应力很小或很大时才表现为牛顿流体。

凡在受力流动时不符合牛顿定律的, 称为非牛顿流体。非牛顿流体仍然用粘度 (称为表观粘度或非牛顿粘度) 表示流动时剪切应力和当时所发生的剪切速率的比值, 该粘度值是随所施加的剪切应力而变化的。

图 1-3-6 示出了一些工程塑料的表观粘度与剪切

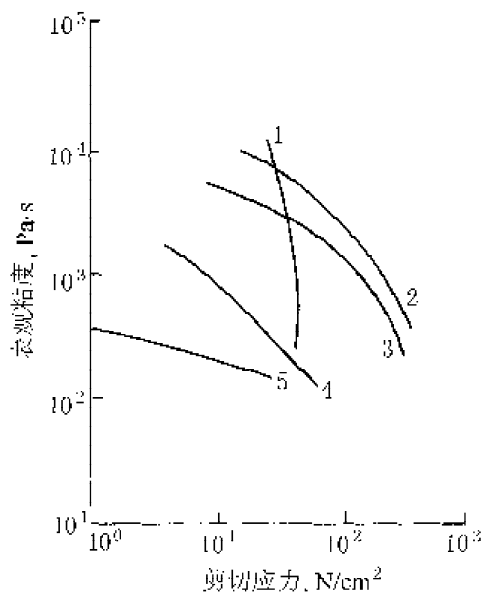


图 1-3-6 一些工程塑料的表观粘度与剪切应力的关系

1—ABS (210℃); 2—聚砜 (310.5℃); 3—聚碳酸酯 (276.5℃); 4—尼龙 1010 (234℃); 5—PET (268.5℃)

应力的关系。

图 1-3-7~1-3-13 分别示出了一些工程塑料在不同温度下的流动曲线。

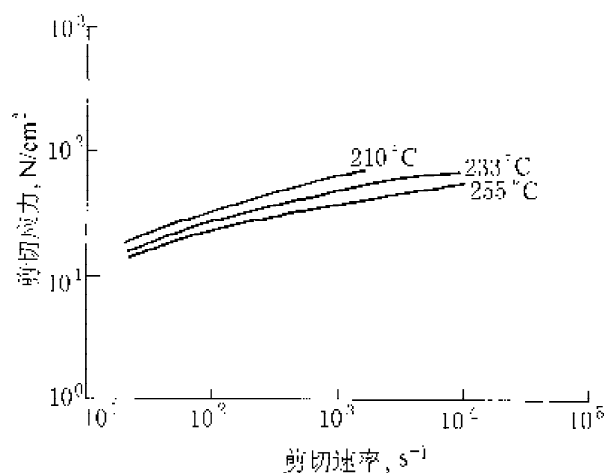


图 1-3-7 ABS 流动曲线 ($L/D = 40/1$)

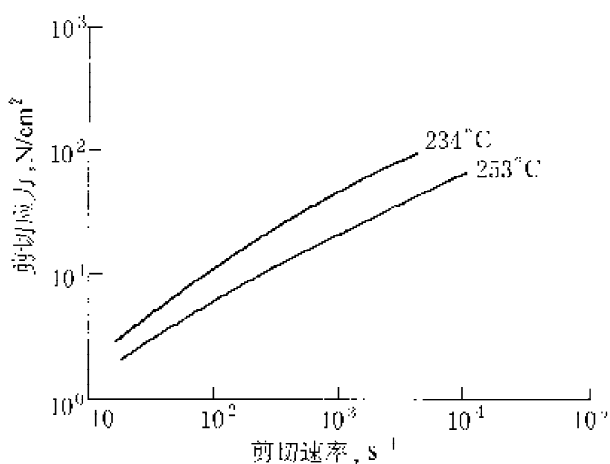


图 1-3-8 尼龙 1010 流动曲线 ($L/D = 40/1$)

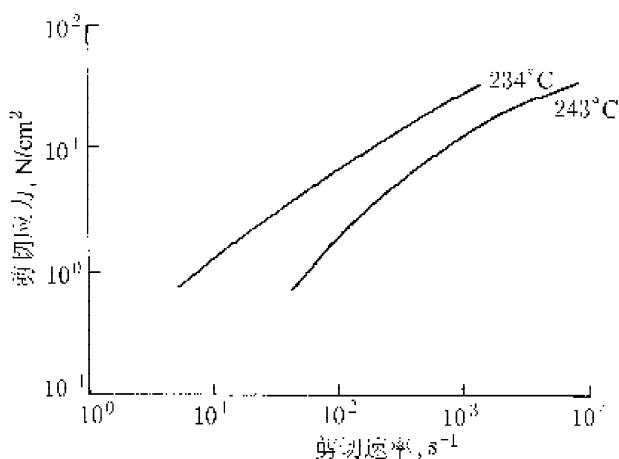


图 1-3-9 尼龙 6 流动曲线 ($L/D = 40/1$)

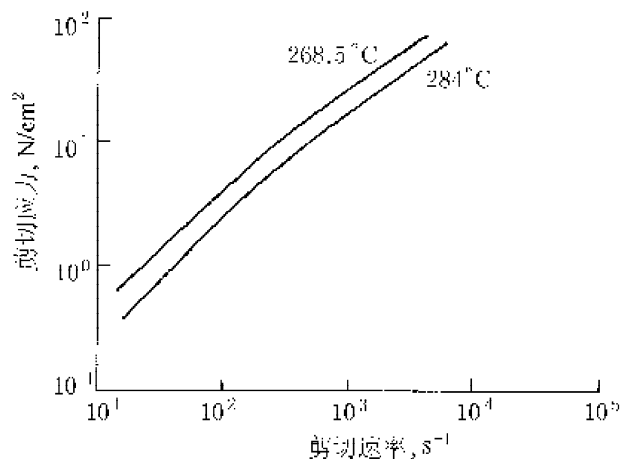


图 1-3-10 PET 流动曲线 ($L/D = 40/1$)

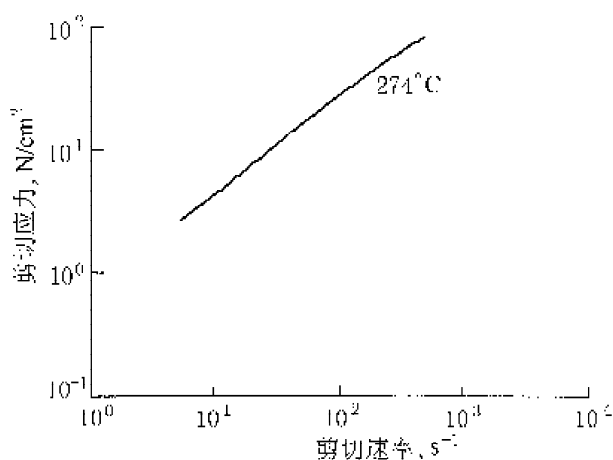


图 1-3-11 聚碳酸酯(酯交换法)流动曲线 ($L/D = 40/1$)

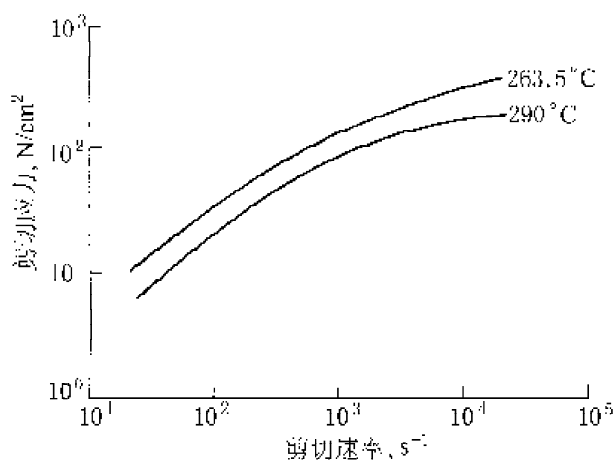


图 1-3-12 聚碳酸酯(光气法)流动曲线 ($L/D = 10/1$)

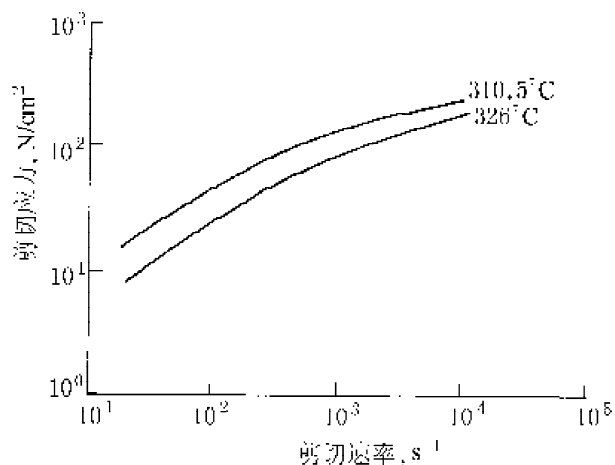
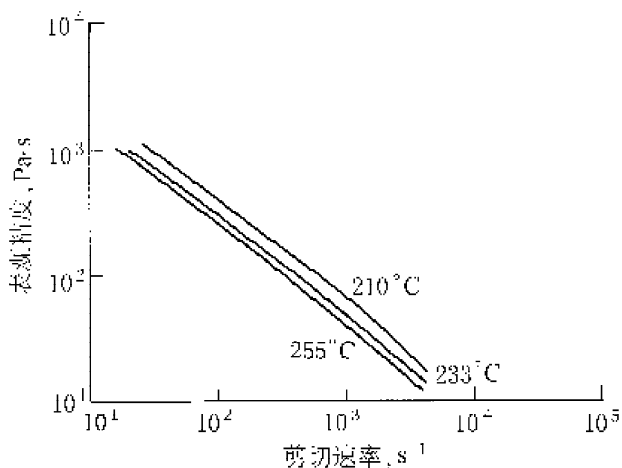
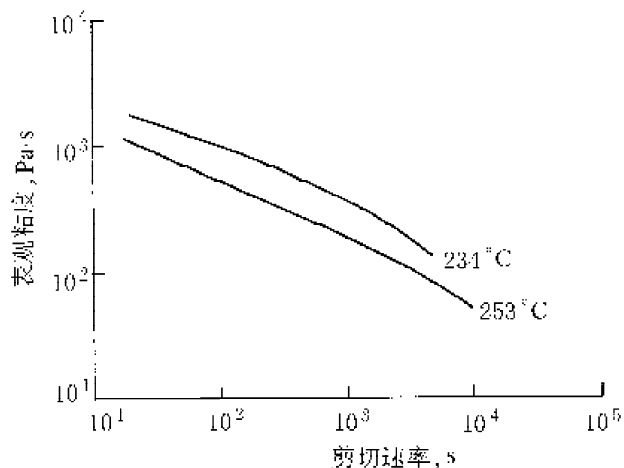
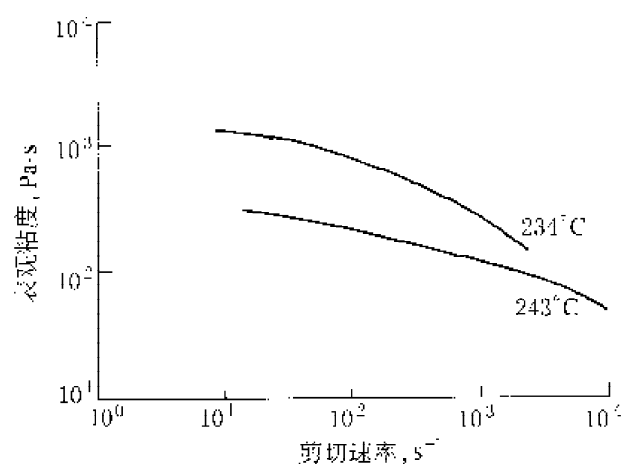
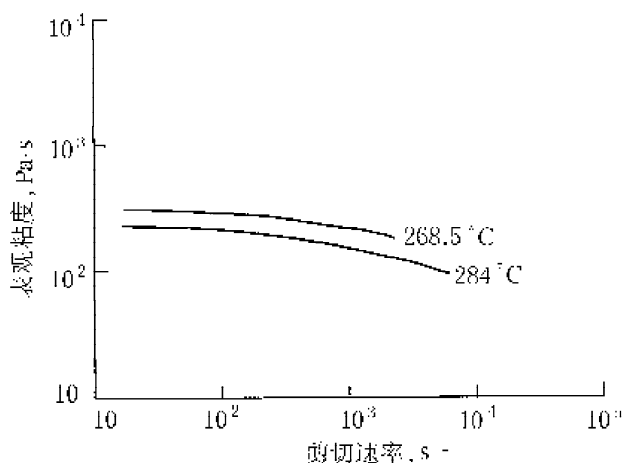
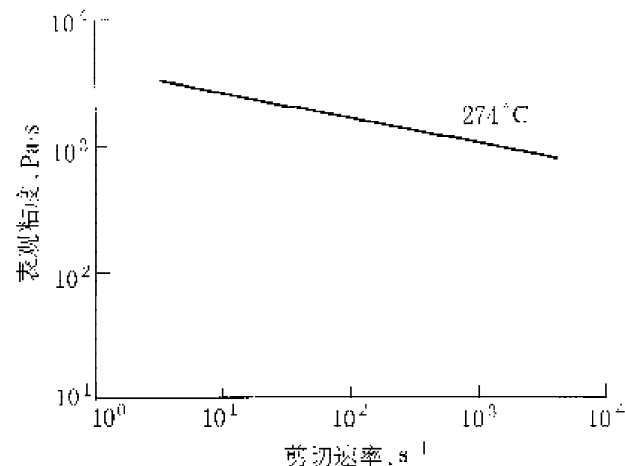
图 1-3-13 聚砷流动曲线 ($L/D = 10/1$)图 1-3-14 ABS 表观粘度与剪切速率的关系 ($L/D = 40/1$)

图 1-3-14~1-3-20 分别示出了一些工程塑料的表观粘度与剪切速率的关系。

图 1-3-15 尼龙 1010 表观粘度与剪切速率的关系 ($L/D = 40/1$)图 1-3-16 尼龙 6 表观粘度与剪切速率的关系 ($L/D = 40/1$)图 1-3-17 PET 表观粘度与剪切速率的关系 ($L/D = 40/1$)图 1-3-18 聚碳酸酯(酯交换法)表观粘度与剪切速率的关系 ($L/D = 40/1$)

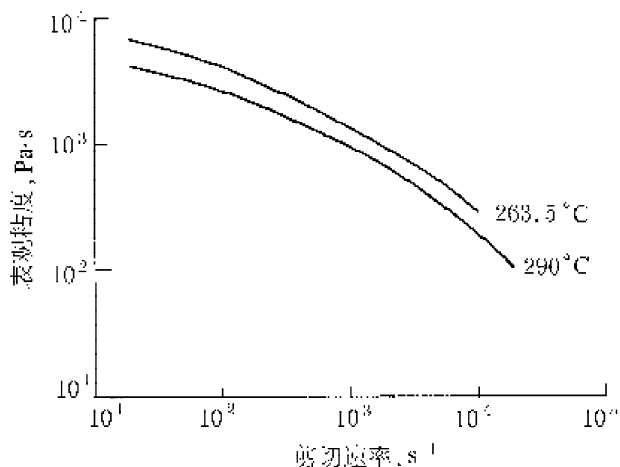


图 1-3-19 聚碳酸酯(光气法)表观粘度与剪切速率的关系 ($L/D = 10/1$)

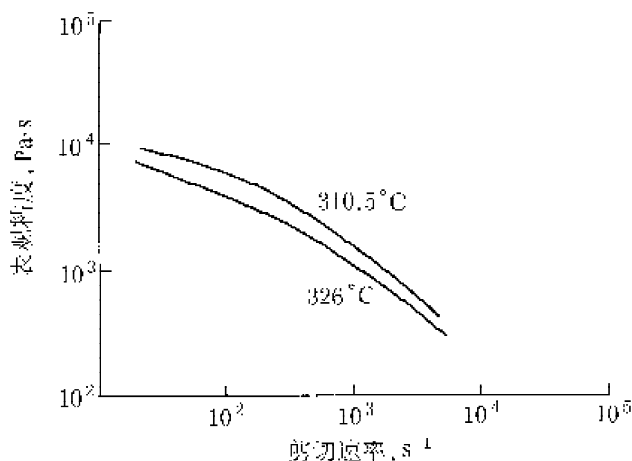


图 1-3-20 聚砜表观粘度与剪切速率的关系 ($L/D = 10/1$)

表 1-3-2 列举了工程塑料在成型时的剪切速率范围。

表 1-3-2 工程塑料在成型时的剪切速率范围

成型方法	剪切速率范围, s^{-1}	成型方法	剪切速率范围, s^{-1}
模压	1~10	涂覆	$10^2 \sim 10^3$
挤出	$10^2 \sim 10^3$	浇铸	1~10
注射	$10^3 \sim 10^5$		

工程塑料熔体的粘度范围一般在 $10 \sim 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s}$; 分散体的粘度范围在 $1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 左右。

如果引起熔体流动的不是剪切应力而是拉伸应力, 则拉伸粘度 (λ) 可用式 (1-3-2) 求得:

$$\lambda = \frac{\sigma}{\dot{\epsilon}} \quad (1-3-2)$$

式中, σ 为拉伸应力, $\dot{\epsilon}$ 为拉伸速率。

(二) 温度对熔体粘度的影响

工程塑料熔体的粘度随温度升高而呈指数函数方式下降, 可用式 (1-3-3) 表示:

$$\ln \eta = \ln A + \frac{E_{\eta}}{RT} \quad (1-3-3)$$

式中, A 为相当于温度 $T \rightarrow \infty$ 时的粘度常数, R 为气体常数 [$8.325 \text{ J} / (\text{mol} \cdot \text{K})$], E_{η} 为工程塑料的粘流活化能 (kJ / mol)。由于过高的温度会使聚合物出现热降解, 所以熔体所处的温度范围不可能很宽。在给定的条件下, 由于 A 、 R 和 E_{η} 均为常数, 因此粘度仅与温度有关, 它们所呈的是线性关系, 斜率即为粘流活化能 E_{η} 。 E_{η} 的大小反映出熔体粘度对温度的依赖性, E_{η} 值愈大, 熔体粘度对温度愈敏感。图 1-3-21 示出了一些工程塑料的表观粘度

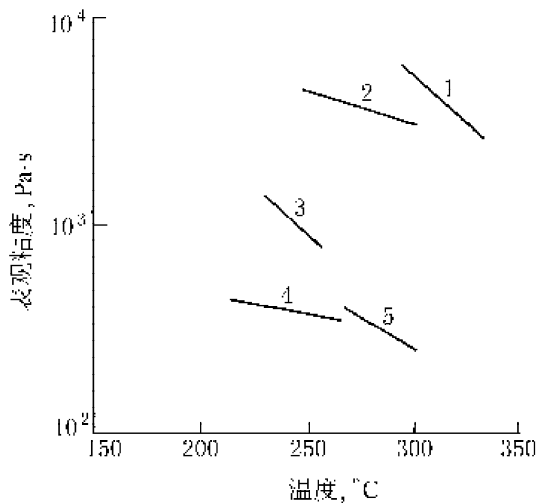


图 1-3-21 一些工程塑料的表观粘度与温度的关系

1—聚砜; 2—聚碳酸酯; 3—尼龙 1010;
4—ABS; 5—PET

与温度的关系。

在温度对熔体粘度的影响中,还应考虑时间的因素。任何工程塑料在成型加工过程中长期受热都会有不同程度的降解,并引起粘度的下降。在高温区域内停留时间越长,则粘度的下降越严重。

(三) 压力对熔体粘度的影响

工程塑料作为聚合物,其聚集态实际上存在着很多微小空穴,即“自由体积”,从而使其熔体具有一定的可压缩性。在工程塑料成型加工时,经常要受到自身流体静压力和外部压力的双重作用而使其体积减小。

体积减小用体积变化百分率来表示,称为压缩率,它是工程塑料在加热加压时减少的体积 ΔV 与压缩前原有体积 V 之比。

由于工程塑料熔体具有可压缩性,因此,当压力作用使其自由体积减小时,大分子间的距离缩短,链段跃动范围减小,分子间作用力增大,导致粘度也随之增大。由于工程塑料熔体的压缩率不同,因此,粘度对压力的敏感性也不同。图 1-3-22 示出了尼龙 66 和共聚甲醛熔体粘度对压力的依存性。

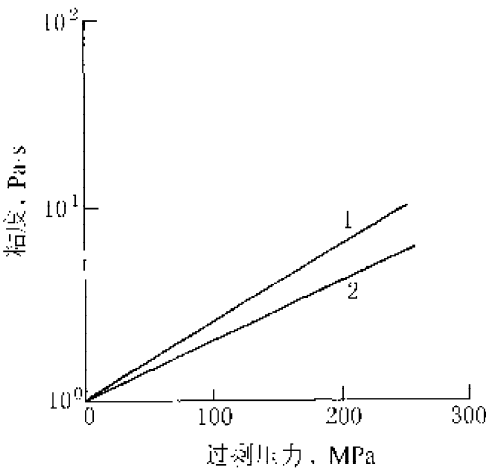


图 1-3-22 尼龙 66 和共聚甲醛熔体粘度对压力的依存性
1—尼龙 66；2—共聚甲醛

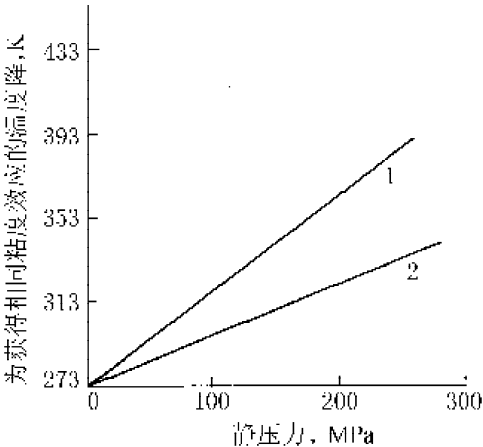


图 1-3-23 尼龙 66 和共聚甲醛的压力-温度等效性
1—共聚甲醛；2—尼龙 66

一种工程塑料在正常的成型温度范围内,增加压力对粘度的影响往往相当于降低温度对粘度的影响。这种在成型过程中通过改变压力或温度能获得同样粘度变化的效应,称为压力-温度等效性。图 1-3-23 示出了尼龙 66 和共聚甲醛的压力-温度等效性。

三、工程塑料在成型加工过程中性质的变化

工程塑料在成型加工过程中,会发生一些物理和化学性质的变化,如呈现不同的力学聚集状态,产生结晶、取向、降解和交联等变化。这些变化将直接影响制品的性能,也会影响成型加工过程的进行。因此,必须了解这些变化,以便根据制品性能和用途的需要,对这些变化进行控制。

(一) 不同温度下的力学聚集状态

1. 非晶相聚合物

非晶相聚合物在不同温度范围内可表现出三种力学聚集状态：玻璃态、高弹态和粘流态。各种状态的特征，主要从温度变化所引起的形变（一般以伸长率或压缩率表示）来体现（图 1-3-24）。

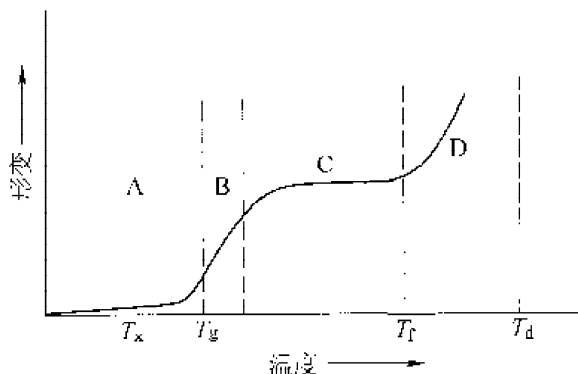


图 1-3-24 线型非晶相聚合物在恒定应力下的加热曲线

A—玻璃态；B—过渡态；C—高弹态；D—粘流态；
 T_x —脆化点； T_g —玻璃化温度； T_f —流动温度；
 T_d —分解温度

1) 玻璃态 在温度足够低，分子间力比较大时，大分子链和链段都不能离开原来的位置，这就形成非晶相的玻璃态。聚合物由高弹态转变为玻璃态的温度称为玻璃化温度（ T_g ）。聚合物处于玻璃态时，整个分子的活动和链段的内旋转都已冻结，分子的状态和相对位置都已固定下来，分子只能在自己的位置上振动。当施加外力时，形变很小，链段只作瞬时微小的伸长和压缩；除去外力，立即恢复原状。所以这时只有可逆形变或弹性形变。

当玻璃态的聚合物处于低于 T_g 的某一温度时，将出现不能拉伸或压缩的脆性，该温度称为脆化点（ T_x ）。脆化点与分子链的柔曲性有关。如果是柔性链，脆化点就接近玻璃化温度；如果是刚性链，脆化点就比玻璃化温度低得多。聚合物在 T_g 与 T_x 区域内表现为可拉伸或压缩，而不变脆。

2) 高弹态 高弹态又称橡胶态。随着温度逐渐上升，分子的动能增加，整个大分子链还不能移动，但小链段已可产生内旋转。此时如施加外力，能产生缓慢的形变；如果除去外力，又会缓慢地恢复原状，这种状态称为高弹态。在高弹态时所发生的形变称为高弹形变。处于高弹态的无定形聚合物具有显著的高弹性，其高弹形变最高可达 1 000%。它也有明显的松弛现象，即它的形变不是瞬时的，而是需要一定的松弛时间才能完成。

3) 粘流态 粘流态又称流动态。当温度继续上升达到适当范围时，分子间的作用力变小，分子的动能增加，使分子链及链段都可以移动，聚合物成为流动的粘液。该温度称为流动温度（ T_f ）。当施加外力时，分子间相互滑动而产生形变，除去外力后不能恢复原状。这种形变是不可逆形变，称为粘性流动形变或塑性形变。

工程塑料的粘流态具有很大的实际意义，因为如果工程塑料受热时不会流动，就无法进行成型加工。另外，工程塑料在成型过程中必须有足够的时间达到完全流动，使高弹形变达到完全松弛，否则高弹形变冻结在玻璃态时，所形成的内部应力会导致制品开裂。

2. 晶相聚合物

结晶聚合物的加热曲线如图 1-3-25 曲线 1 所示（曲线 2 为非晶相聚合物的加热曲线）。从图中曲线 1 和曲线 2 的比较可以看出，结晶聚合物在 T_g 温度以上仍不转变为高弹态，这样对工程塑料来说便扩大了温度使用范围。

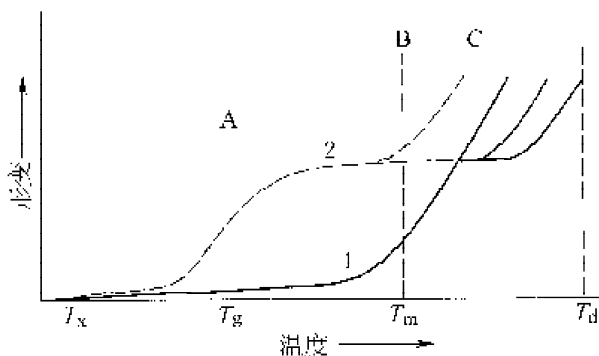


图 1-3-25 结晶聚合物在恒定应力下的加热曲线

1—结晶相；2—非晶相；A—玻璃态；B—流动态；
 C—高弹态； T_x —脆化温度； T_g —玻璃化温度（非晶相）； T_m —熔点； T_d —分解温度

同时,结晶使工程塑料的强度增加,从而使其的应用范围也更为广阔。

完全结晶的聚合物,在熔点以下无高弹态,不论分子量多么低也不会产生流动。当加热到熔点 T_m 以上,可能是高弹态,也可能是粘流态,视分子量而定。如果有高弹态出现,即在曲线上有水平部分,再升高温度到流动点以上才变成粘流态。结晶聚合物的熔点是不随分子量变化的,而非晶相聚合物的流动温度随分子量的增大而升高。表 1-3-3 列举了一些工程塑料的熔点。

表 1-3-3 一些工程塑料的熔点(T_m)

名 称	$T_m, ^\circ\text{C}$	名 称	$T_m, ^\circ\text{C}$
尼龙 6	215~225	共聚甲醛	165
尼龙 11	187	PET	267
尼龙 12	178	PBT	232
尼龙 46	295	聚醚醚酮 (PEEK)	343
尼龙 66	260	聚四氟乙烯	327
尼龙 610	215	聚三氟氯乙烯	215
尼龙 1010	200~210	聚偏氟乙烯	165~185
聚碳酸酯	220~230	聚氟乙烯	198~200
均聚甲醛	175		

结晶聚合物在熔融后如果呈现高弹态,对成型加工是不利的。因此在材料的强度要求能够得到满足的情况下,往往选用分子量较小的品种,使其在熔融后能成为流动态,从而具有较好的成型加工性能。另外,非晶相聚合物的温度使用范围是在脆化点与玻璃化温度之间;结晶聚合物则是在脆化点与熔点之间。很明显,后者要比前者的范围宽得多。

工程塑料在加热情况下所表现出来的这些特征,使其在成型加工过程中表现出不同的行为,从而在很大程度上决定了它们对于成型加工技术的适应性。图 1-3-26 为工程塑料力学聚集态与成型方法关系的示意图。

工程塑料物料在成型加工过程中的加热与冷却的难易程度,是由温度或热量在物料中

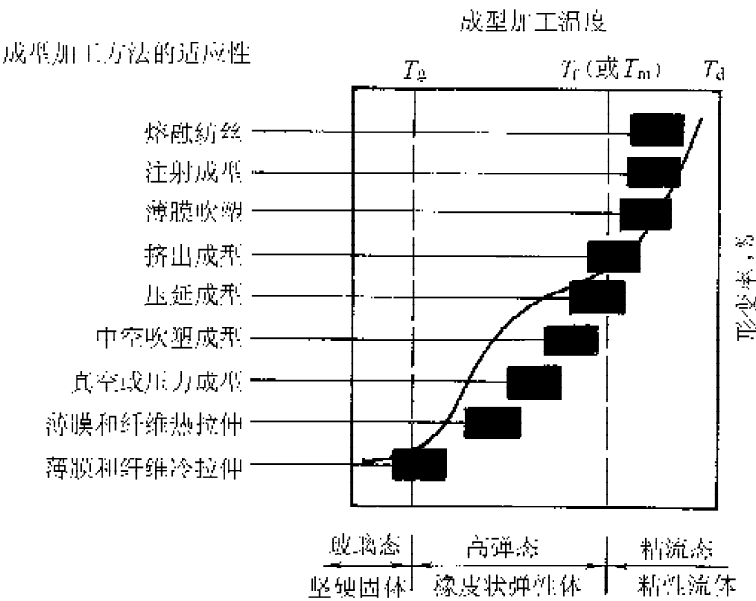


图 1-3-26 工程塑料聚集态与成型方法关系示意图

的传递速度所决定的,而传递速度又取决于工程塑料物料自身的热扩散系数 α 。它可用下式表示:

$$\alpha = \frac{k}{c_p \cdot \rho} \quad (1-3-4)$$

式中, k 为热导率, c_p 为比定压热容, ρ 为密度。

与金属材料相比,工程塑料的传热速率很小,加热和冷却都不很容易。另外,处于粘流态的工程塑料物料,由于它们的粘度都很高,因此传热速率也很小。

(二) 结晶

按照熔融的工程塑料冷却凝固时是否结晶的状况,可将工程塑料分为结晶性和无定形两类。结晶性工程塑料是在适当条件下能产生某种几何形态晶体结构的聚合物,一般为具有立体规则结构,分子对称性好,侧链小,没有分枝或分子间凝聚力大的聚合物。典型的结晶性工程塑料有聚酰胺、聚甲醛、聚醚醚酮、聚四氟乙烯、聚三氟氯乙烯等。无定形工程塑料是分子形状、分子相互排列为无序状态的聚合物,也称无晶态工程塑料。典型的无定形工程塑料有聚碳酸酯、聚苯醚、聚砒、聚醚砒等。

结晶性工程塑料并非为全部结晶化的高聚物,在它的分子结构中同时存在着结晶区和非结晶区。通常以聚合物总质量中结晶部分所占的百分比即结晶度来衡量它的结晶程度。结晶度随化学结构、立体规整性、有无支链和氢键及结晶条件等不同而异。一般结晶性工程塑料的结晶度在10%~60%的范围之内。

聚合物在等温条件下的结晶称为静态结晶过程,但实际上大多数成型加工都是一种动态结晶过程。影响动态结晶过程的主要因素有模具温度、应力、熔融时间及热处理条件等。

结晶性工程塑料的性能,在较大程度上取决于其结晶度,而结晶度的大小,又与成型工艺有很大关系。如果料筒温度和模具温度高,熔体冷却速度慢,工程塑料制品的结晶度就大,则制品的密度大、硬度和刚性高,机械强度大,耐磨性好,电性能和耐化学腐蚀性能提高;如果料筒温度高而熔体冷却速度快,制品的结晶度就小,则制品的柔软性、透明性、耐折性好,伸长率高,冲击强度提高。

另外,某些低分子物质(如溶剂、增塑剂、水等)和固体杂质等在一定条件下也能影响聚合物的结晶过程。如溶剂四氯化碳扩散入聚合物后能促使在内应力作用下的区域加快结晶过程;吸湿性大的聚酰胺等聚合物在吸收水分后也能加速表面的结晶作用;在聚合物中加入炭黑、二氧化硅、氧化钛、滑石粉等固体物质,也能大大加快聚合物的结晶速度。

(三) 取向

聚合物的分子链、链段以及结晶性聚合物的晶片、晶带沿特定方向进行排列称为取向。取向的结果可使聚合物的力学性能、光学性能及耐热性等发生显著变化。

工程塑料在成型加工过程中,在外力的作用下,会产生不同程度的取向。按照不同的外力场,可分为流动取向和拉伸取向两种;按照不同的取向方向,可分为单轴取向和双轴取向两种。

1. 流动取向

工程塑料在成型加工过程中,其熔体通常都必须在成型设备的管道或型腔中流动,这是一种剪切流动。在剪切流动中不同部位的流动速度不同,使卷曲的长链分子沿流动方向舒

展伸直和取向。同时由于熔体温度很高,分子的热运动剧烈,大分子在取向的同时也存在着解取向作用。流动取向的结构分布如图 1-3-27 所示。

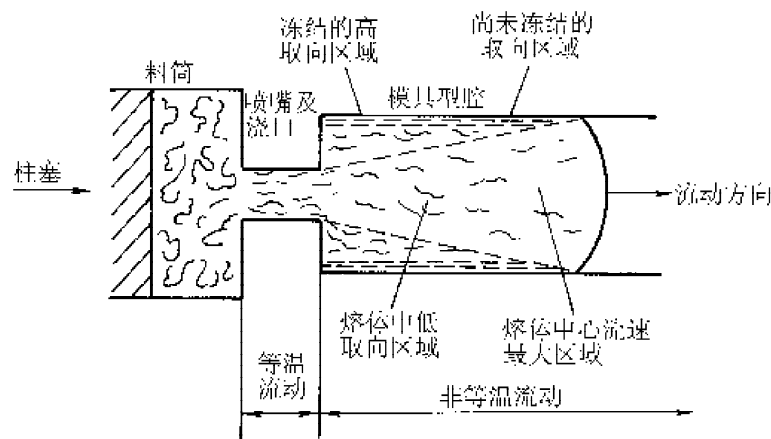


图 1-3-27 工程塑料熔体的流动取向结构分布

在等温流动区域,由于管道截面小,故管壁处剪切速率最大,紧靠管壁的熔体取向程度最高;在非等温流动区域,熔体进入截面尺寸较大的模腔后压力逐渐降低,故熔体中的剪切速率也由浇口处的最大值逐渐降低到料流前沿的最小值,所以熔体前沿区域分子取向程度低,当这部分熔体首先与温度低得多的模壁接触时,即被迅速冷却而形成取向结构少或无取向结构的冻结层。但靠近冻结层的熔体仍然移动,且粘度高,流动时剪切速率大,故次表面层(距表面约 0.2~0.8mm)的这部分熔体有很高的取向程度。模腔中心的熔体,流动中剪切速率小,取向程度低,同时由于温度高,冷却速度慢,分子的解取向有时间发展,故最终取向程度极低。

在模腔中,既然熔体中的剪切速度沿流动方向降低,故流动方向上分子的取向程度是逐渐减小的。但取向程度最大的区域不在浇口处,而在距浇口不远的位置上。因为熔体进入模腔后最先充满此处,有较长的冷却时间,冻结层厚,分子在这里受到的剪切作用也最大,因此取向程度也最高。图 1-3-28 示出了注射成型矩形长条试样中取向结构分布。

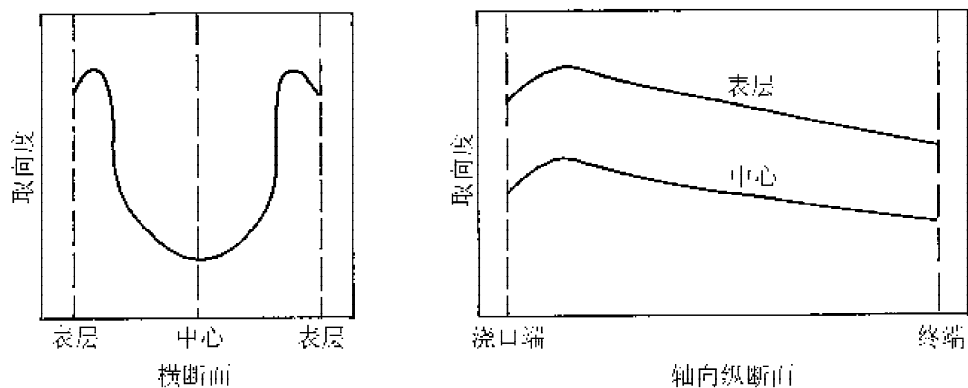


图 1-3-28 注射成型矩形长条试样中取向结构分布

2. 拉伸取向

非晶相工程塑料的拉伸取向主要由高弹拉伸、塑性拉伸和粘流拉伸所引起。拉伸时包含着链段的形变和大分子作为独立结构单元的形变两个过程。两个过程可以同时进行,但速率不同。在外力的作用下最早发生的是链段取向,进一步发展才引起大分子链

的取向 (图 1-3-29)。

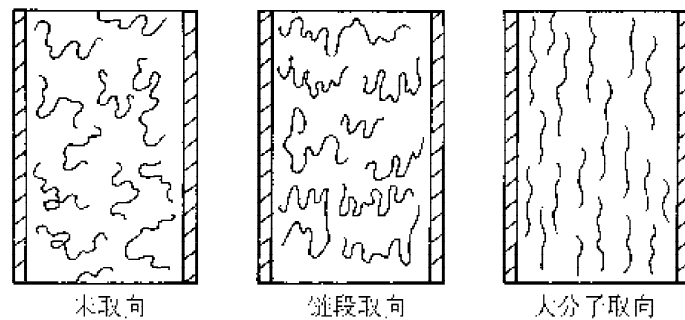


图 1-3-29 非晶相工程塑料的拉伸取向

结晶性工程塑料的拉伸取向所需应力比无定形工程塑料大,且应力随结晶度提高而增加。取向过程包含着结晶区与非晶区的形变。结晶区的取向发展得快,非晶区的取向发展得慢,当非晶区达到中等取向程度时,结晶区的取向就已达最大程度。

拉伸取向具有如下规律:

- ① 在给定拉伸比 (拉伸后的长度与原来长度的比)和拉伸速度下,拉伸温度越低 (不低于玻璃化温度)越好。其目的是增加高弹形变而减少粘性形变。
- ② 在给定拉伸比和给定温度下,拉伸速度越大,所得分子取向程度越高。
- ③ 在给定拉伸速度和温度下,拉伸比越大,取向程度越高。
- ④ 不管拉伸情况如何,骤冷的速率越大,则能保持取向的程度越高。

(四) 降解

降解是工程塑料因降解反应而引起大分子链断裂或化学结构发生有害变化致使物性变坏的过程。降解可分为热降解、力降解、氧降解和水降解。

1. 热降解

在正常的成型温度下,工程塑料中一些具有较不稳定结构的分子出现降解,只有在过高的温度和过长的加热时间下才会引起其它分子降解。

热降解为游离基连锁反应过程,降解反应的速度随温度的升高而加快。

工程塑料在成型加工时,确定合理的成型温度和加热时间,使物料能在不易产生热降解的工艺条件下成型,这对于那些热稳定性较差,加工温度和分解温度非常接近的工程塑料品种来说尤为重要。表 1-3-4 列举了一些工程塑料的分解温度与成型温度。

2. 力降解

工程塑料在成型加工过程中常因粉碎、研磨、搅拌、混炼、挤压、注射等而受到剪切和拉伸应力,这些应力在一定条件下可以使聚合物分子链断裂而发生降解。引起分子链断裂不仅与聚合物的化学结构有关,而且与聚合物在成型时所处的物理状态有关。另外,受力时常伴有热量发生,如果不能将热量及时排除,则有可能同时产生热降解。

表 1-3-4 一些工程塑料的分解温度与成型温度

名 称	热分解温度,℃	成型温度,℃
ABS	260	180~230
聚碳酸酯	340	240~300
氯化聚醚	290	180~270

续表)

名 称	热分解温度,℃	成型温度,℃
聚甲醛	220	170~200
聚苯醚	350	260~310
尼龙 6	360	220~270
尼龙 66	370	240~290
PET	380	250~300
聚砒	440	320~370

在通常情况下,工程塑料的分子量越大,越易发生力降解;施加的应力越大,力降解的速率也越大,最终生成的断裂分子链段越短;一定大小的应力,只能使分子链断裂到一定的长度,当全部分子链都已断裂到施加的应力所能降解的长度后,力降解将不再继续;而当工程塑料添加了增塑剂后,力降解的倾向将趋减弱。

3. 氧降解

工程塑料在成型加工过程中往往有空气存在,空气中的氧在高温下能使聚合物生成极不稳定的过氧化结构,过氧化结构的活化能较低,容易形成游离基,从而大大加速降解反应。图 1-3-30 示出了聚甲醛在单纯受热和有氧存在下受热时的降解动力曲线。从图中可以看出,氧能大大加速降解速度。

工程塑料分子结构不同,氧降解速率和降解产物也不一样。通常情况下,饱和碳链分子结构氧化较慢,并且不易形成过氧化物,但主链中如存在薄弱点时也会形成过氧化结构;反之,不饱和碳链分子结构由于双键较活泼,较易氧化而形成过氧化物游离基,因此更易产生热氧降解反应。

4. 水降解

工程塑料中存在的微量水分在成型温度下有加速降解的作用。降解现象主要发生在大分子的碳-杂原子键上。 H^+ 或 OH^- 存在能加速水解速度,因此酸和碱是水解过程的催化剂。水解的难易程度取决于工程塑料分子结构中官能团和键的特性,如酰胺类 ($-CONH-$)、酯类 ($-COO-$)、腈类 ($-CN$) 及某些酮类,或当工程塑料经氧化而使其具有可水解基团时,都可为水所降解。

工程塑料物料可以从空气中吸附或吸收水分,虽然大多数工程塑料在空气中的平衡吸水率不高,一般小于 0.5%,但是在成型加工过程中的高温下却会引起显著的降解。因此工程塑料在成型前必须对物料进行严格干燥。

表 1-3-5 示出了 PET 含水量对降解的影响情况。表 1-3-6 列举了工程塑料成型前允许的含水量。

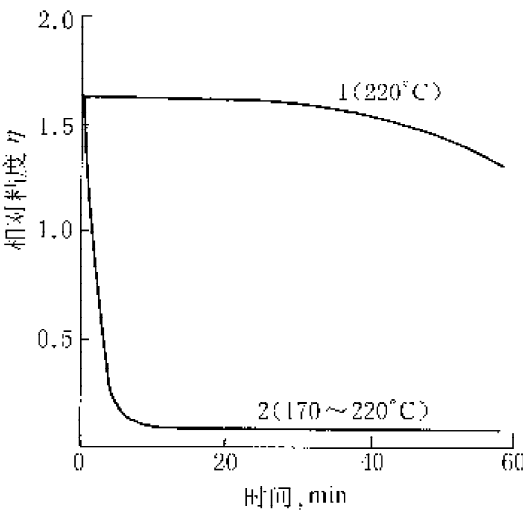


图 1-3-30 聚甲醛在单纯受热和有氧存在下受热时的降解动力曲线
1—热降解; 2—热氧降解

表 1-3-5 PET 含水量对降解的影响

水分, %	数均分子量 $\overline{M}_n$	特性粘度 ($[\eta]$)	降解率, %	
			$\overline{M}_n$	$[\eta]$
未吸水	21 182	0.692		
0.01	18 974	0.640	10.43	0.75
0.05	13 366	0.500	36.92	27.70
0.10	8 894	0.380	58.20	45.00

表 1-3-6 工程塑料成型前允许含水量

名 称	允许含水量, %	名 称	允许含水量, %
尼龙 6	0.1	ABS (电镀级)	0.05
尼龙 66	0.1	聚碳酸酯	0.02
尼龙 9	0.05	聚苯醚	0.1
尼龙 11	0.1	PET	0.1
尼龙 12	0.1	PBT	0.01
尼龙 610	0.05	聚砒	0.05
尼龙 1010	0.05	聚芳酯	0.02
ABS (通用级)	0.1	聚四氟乙烯	0.05

第二节 工程塑料成型物料的组成和配制

一、工程塑料成型物料的组成

工程塑料成型物料主要有粒料和粉料两种,其中又以粒料为最主要。但近年来,由于成型加工技术及工程塑料生产技术的发展,有些粒料已被粉料所取代。

工程塑料成型物料可分为简单组成和复杂组成两类。简单组成的工程塑料,其组分全部或多数是合成树脂,不加或仅加入少量助剂;复杂组成的工程塑料,其组分除合成树脂外,还加入多种助剂。

加入助剂的目的是为了改善工程塑料的成型加工性能、制品的使用性能及降低成本等。

助剂又称添加剂,它的种类很多,在使用过程中,应根据具体需要,来选择并确定助剂的种类和数量。适用于工程塑料的助剂主要有:抗氧剂、光稳定剂、填充剂、阻燃剂、着色剂、发泡剂和偶联剂。增塑剂和热稳定剂也是重要的助剂品种,它们主要用于聚氯乙烯等通用塑料。

(一) 树脂性能对物料的影响

树脂是工程塑料最基本的组分,赋予工程塑料最主要的特性。树脂的性能对工程塑料成型物料的影响很大,直接关系到物料成型加工过程及成型加工后制品的性能。其影响因素包括分子量及分子量分布、颗粒结构、粒度、结晶度、密度、水分、低分子量挥发物含量等。

树脂分子量对物料的影响见图 1-3-31 所示。分子量增大,有利于提高物理机械性能,但流动性降低,物料的配制及成型加工比较困难。分子量减小,会影响物理机械性能,但有利于成型加工。

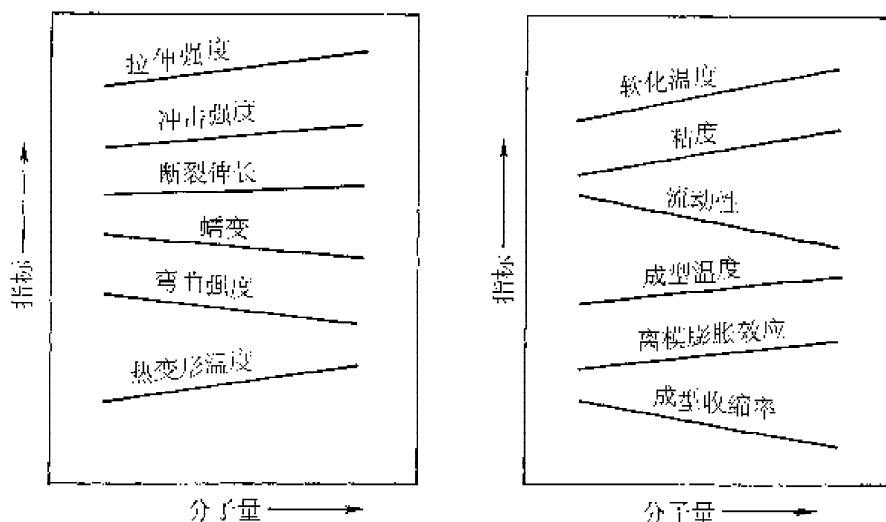


图 1-3-31 树脂分子量对物料的影响

树脂分子量分布过宽,会明显给物料的配制带来不良影响,并会降低力学性能及热性能。

树脂颗粒结构对物料的配制有着显著影响。对于表面疏松、多孔、粗糙、不规则的颗粒,容易配制;反之,对于表面紧密、无孔、光滑、规则的颗粒,则不易配制。

树脂的粒度,主要影响配制的均匀性。粒度大,混合均匀性差,但粒度过小,则会影响配制的操作性和精确性。

(二) 助剂的分类与作用

助剂是指赋予被添加的物质原有性质以外的性质所添加物质的总称。对工程塑料来说,则是指为改进树脂的性能而添加到树脂中的物质。工程塑料的助剂种类很多,作用不一,分类也较复杂。目前通常按助剂的功用分类,在功用相同的类型中,再按作用机理或化学结构分成若干小类。

1) 改善力学性能的助剂 这类助剂的功能主要是改善树脂的某些力学性能,如拉伸强度、硬度、刚性、热变形性、冲击强度等。具有这种功能的助剂主要有填充剂、偶联剂及抗冲击剂等。

2) 改善成型加工性能的助剂 这类助剂的功能主要是改善树脂在成型加工过程中的某些性能,如流动性、脱模性等。具有这种作用的助剂主要有脱模剂、润滑剂等。

3) 改善稳定性的助剂 这类助剂的功能主要是改善树脂在贮存、成型加工和使用过程中的稳定性,防止老化变质,因此可统称为“稳定剂”或“防老剂”。由于引起老化的因素有氧化、热、光、高能辐射、机械疲劳和微生物等,老化机理各不相同,因此类别也很多,主要有抗氧化剂、光稳定剂、热稳定剂、防霉剂等。

4) 改善表面性能及轻质化的助剂 这类助剂的功能主要是改善制品的外观、色泽、透明度、抗静电性等表面性能,以及使制品轻质化等。具有这种作用的助剂主要有着色剂、抗静电剂、发泡剂等。

5) 改善难燃性的助剂 这类助剂的功能是改善制品的难燃性。“难燃”包含不燃和阻燃两个概念,目前使用的难燃性助剂主要是指阻燃剂。

(三) 物料配制中组分的相互影响

如上所述,工程塑料成型物料由树脂和各种助剂组成。由于助剂种类繁多,因此物料的

组分也很复杂,这些众多的组分在配制过程中存在着一些制约因素,会在一定程度上影响制品的品质,因此在选择和确定物料各个组分及其具体品种时必须慎重考虑。

1. 树脂与助剂的配伍性

合成树脂与助剂的配伍性,主要是指它们之间的相容性以及稳定性方面的相互影响。

树脂与助剂之间必须要有良好的相容性,如果相容性不好,助剂就容易析出。固体助剂的析出,俗称“喷霜”;液体助剂的析出,俗称“渗出”或“出汗”。助剂的析出,不仅失去其应有的作用,直接影响制品的性能,而且影响制品的外观和手感。

树脂与助剂的相容性主要取决于它们化学结构的相似性。例如,具有较长烷基的抗氧化剂和光稳定剂,可改善它们与具有较长烷基的聚酰胺(如尼龙 11、尼龙 12、尼龙 1010 等)的相容性。

对于某些助剂,如无机填料和无机颜料,它们在树脂中的分散是非均相的,不会析出,无相容性可言。对这类助剂,主要要求它们细度小,分散性好。

2. 制品用途对助剂的制约性

助剂的选择常常受到制品最终用途的制约。不同用途的制品对所采用的助剂的外观、气味、污染性、耐久性、电气绝缘性、耐热性、耐候性、毒性等都有一定的要求。例如,在用作食品和药品的包装材料以及医疗器械等工程塑料制品中,对加入助剂的毒性有严格的限制。表 1-3-7 列举了一些含硫抗氧化剂的急性毒性 LD_{50} 值(半致死量,其值越大,毒性越小)。

表 1-3-7 一些含硫抗氧化剂的急性毒性 LD_{50} 值

名 称	动 物	中毒途径	LD_{50} 值,mg/kg
硫代二丙酸	小白鼠	经口	2 000
	小白鼠	经腹腔	250
	小白鼠	经静脉	175
	大白鼠	经口	3 000
	大白鼠	经腹腔	500
	大白鼠	经静脉	>300
硫代二丙酸二月桂酯	小白鼠	经口	>2 000
	小白鼠	经腹腔	>2 000
	大白鼠	经口	>2 500
硫代二丙酸双十八酯	小白鼠	经口	>2 000
	小白鼠	经腹腔	>2 000
	大白鼠	经口	>2 500

3. 助剂配合中的协同作用和相抗作用

在工程塑料成型物料中,一种树脂常常同时使用多种助剂,这些助剂同处在一个树脂体系中,彼此之间有所影响。如果配合得当,不同助剂间常会相互增效,起到“协同作用”;反之,不同助剂间便会削减原有的效能,产生“相抗作用”。因此,在配料时应尽量使助剂的选择能达到协同作用的目的而避免相抗作用的发生。例如,树脂的老化是多种因素的综合结果,每一种稳定化助剂都有其局限性,只有将几种不同类型、不同作用机理的稳定化助剂相配合,充分发挥它们的协同作用,才能获得最有效的稳定体系。

4. 助剂的耐久性

助剂的耐久性即是助剂长期保留在树脂中的能力。如果助剂不能长期保留在树脂中,即由于助剂的挥发、抽出和迁移等原因造成的损失,将会导致工程塑料制品品质的劣化。

一般来说,挥发性的_{大小}主要取决于助剂本身的结构;抽出性与助剂在不同介质中的溶解度直接相关;迁移性的_{大小}与助剂在不同树脂中的溶解度有关。

5. 助剂对成型工艺的适应性

每种树脂都有其各自的成型工艺要求,如温度、时间、压力等,对于这些成型工艺条件,助剂必须能够适应。因此,应根据不同的成型工艺来选择不同的助剂,以确保经过成型加工后,助剂原有的功效不受影响。

在成型工艺对助剂的要求中,最主要的是耐热性,即要求助剂在成型温度下不分解、不挥发、不升华。

二、各类助剂的主要品种

(一) 抗氧剂

能减缓树脂自动氧化反应速度的物质称为抗氧剂。对抗氧剂性能的基本要求是:

- 1) 与树脂有良好的相容性;
- 2) 有优良的抗氧化性能;
- 3) 使用时不影响树脂的其它性能,也不和其它助剂有不良反应;
- 4) 不变色,污染性小;
- 5) 无毒或低毒。

抗氧剂的品种很多。按功能可分为链终止型和预防型两种;按分子量可分为低分子量型和高分子量型两种;按化学结构可分为胺类、酚类、含硫化合物类、含磷化合物类、有机金属盐类等多种。

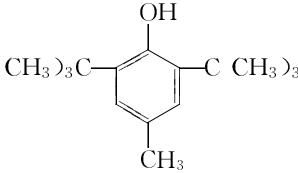
在实际使用时,为了使工程塑料获得优良的抗氧化降解性能,往往将两种或两种以上抗氧剂配合使用,以使其具有良好的协同效应。但是,当抗氧剂配合使用时,也会发生彼此削弱抗氧效果的现象,称为抗氧剂的对抗效应,这是在选择抗氧剂时必须充分注意的。

在选择抗氧剂时,还应考虑抗氧剂自身的稳定性,其所防护的聚合物在大气环境中经受老化的能力,以及抽出稳定性、挥发性、迁移性等。

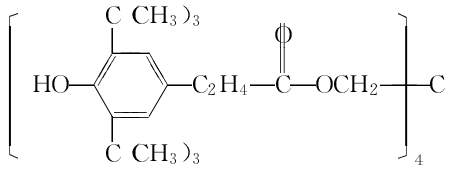
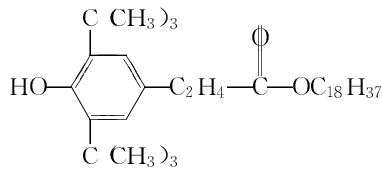
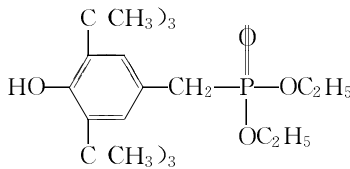
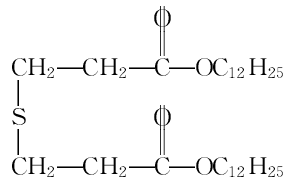
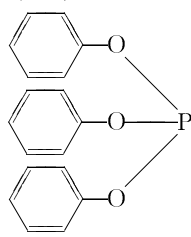
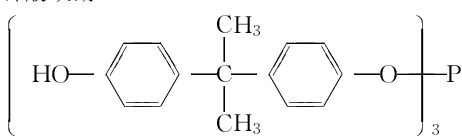
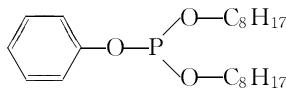
抗氧剂的用量取决于树脂的种类、抗氧剂的效率、协同效应、制品的使用条件及成本等。大多数抗氧剂都有一个最适宜的浓度范围,在此范围内,随着抗氧剂用量的增大,抗氧能力增加到最大值;超过这一范围,增加浓度则会出现不利影响。抗氧剂的用量通常为体系的0.3%~0.5%,但也有少数大于2%或更高的。

表 1-3-8 列举了适用于工程塑料的抗氧剂主要品种的性状和用途。

表 1-3-8 适用于工程塑料的抗氧剂主要品种的性状和用途

名称及结构式 (或分子式)	性 状	用 途
抗氧剂 264 2, 6-二叔丁基-4-甲基苯酚) 	白色至淡黄色结晶粉末。分子量 220.4, 相对密度 1.05, 熔点 69~71℃, 沸点 257~265℃, 闪点 127℃。不溶于水, 溶于大多数有机溶剂。无毒	用于 ABS、PET、PBT 等。为非污染性抗氧剂。适用于白色、浅色制品, 能有效地抑制空气氧化、热降解及铜害等

(续表)

名称及结构式 (或分子式)	性 状	用 途
抗氧剂 1010 [4, 6, 5-二叔丁基-4'-羟基苯基)丙酸季戊四醇酯] 	白色粉末。分子量1177.65,熔点119~123℃。不溶于水,溶于大多数有机溶剂。贮存稳定性好	用于 ABS、聚酰胺等。为非污染性抗氧剂。挥发性小,热稳定性好,持效性久,耐抽出性好
抗氧剂 1076 [4-羟基-3, 5-二叔丁基苯基)丙酸十八酯] 	白色结晶粉末。分子量 530.87,熔点 50~55℃。不溶于水,溶于大多数有机溶剂。贮存稳定性好	用于 ABS、聚酰胺、聚甲醛等。耐热性优良,协同效应好
抗氧剂 1222 [6, 5-二叔丁基-4-羟基苄基膦酸二乙酯) 	白色结晶粉末。分子量 356.12,熔点 119~124℃。微溶于水,溶于大多数有机溶剂。低毒	用于 PET、PBT、聚酰胺等。受阻胺类抗氧剂。耐抽提性优良,与紫外线吸收剂并用,协同效应好
抗氧剂 CA [1, 1, 3-三 (2-甲基-4-羟基-5-叔丁基苯基)丁烷] $C_{37}H_{52}O_3$	白色结晶粉末。分子量 544.82,熔点 182~188℃。微溶于水,溶于大多数有机溶剂	用于 ABS、聚酰胺等。挥发性小,热氧稳定性和协同效应好
抗氧剂 DLTP (硫代二丙酸二月桂酯) 	白色絮片状结晶体。分子量 514.30,相对密度 0.975,熔点 40℃。微溶于水,溶于大多数有机溶剂。无毒。可燃	用于 ABS 等。为辅助抗氧剂。协同效应好
亚磷酸三苯酯 (TPP) 	淡黄色透明液体。分子量310.08,熔点 22 ~ 25℃,沸点 220℃ (1.3kPa),闪点 218.3℃。不溶于水,溶于大多数有机溶剂。有毒	用于 ABS、PET、PBT 等。为辅助抗氧剂
亚磷酸双酚 A 	松香状透明块状固体。分子量 712.12。性松脆。能研磨成白色粉末。不溶于水,溶于乙醇、乙醚、丙酮等有机溶剂	用于聚碳酸酯、PET、PBT 等。耐高温性和耐水解性优良
亚磷酸苯二异辛酯 [亚磷酸苯基二 (2-乙基己酯)] 	无色透明液体。分子量 382.23,相对密度 0.946,沸点 148 ~ 156℃ (0.8kPa),折射率1.479 1	用于 PET、PBT 等。为辅助抗氧剂。抗变色性、光稳定性优良

(二) 光稳定剂

树脂曝露在日光或强的荧光下,由于吸收了紫外光能量,引发了自动氧化反应,导致降解,使制品的外观和物理机械性能劣化,这一过程称为光氧化或光老化。凡是能够抑制这一过程的物质称为光稳定剂,也称紫外光稳定剂。对光稳定剂性能的基本要求是:

- 1) 能强烈地吸收 290~400nm 波长的紫外光,或能有效地猝灭激发态分子的能量,或具有足够的捕获自由基的能力。
- 2) 与树脂及其它助剂的相容性好,在成型加工及使用过程中不喷霜,不渗出。
- 3) 热稳定性良好,在成型加工和使用时不因受热而变化,热挥发损失小。
- 4) 光稳定性优良,在长期曝晒下不遭破坏。
- 5) 化学稳定性良好,不与其它组分发生不利的化学反应。
- 6) 不污染制品。
- 7) 无毒或低毒。
- 8) 耐抽出性和耐水解性优良。
- 9) 成本低廉。

光稳定剂按其作用机理可分为光屏蔽剂、紫外线吸收剂、猝灭剂和自由基捕获剂四类。光屏蔽剂包括炭黑、氧化锌和一些无机颜料;紫外线吸收剂主要有水杨酸酯类、二苯甲酮类、苯并三唑类、取代丙烯腈类、三嗪类等有机化合物;猝灭剂主要是镍的有机络合物;自由基捕获剂主要是受阻胺类衍生物。

可见光的能量几乎不能使任何化学键发生断裂。光的波长越短,能量就越大。不同化学键的键能及其破坏时所需波长见表 1-3-9 所示。

表 1-3-9 不同化学键的键能和受到破坏时的波长

化 学 键	键能, kJ /mol	达到相应能量所需波长, nm
O—H	463.0	259
C—F	441.2	272
C—H	413.6	290
N—H	390.9	306
C—O	351.6	340
C—C	347.9	342
C—Cl	328.6	364
C—N	290.9	410

光稳定剂应对 290~400nm 的紫外线有尽可能高的吸收系数,或尽可能低的透过率。通常以吸收曲线来衡量。表 1-3-10 列举了光稳定剂的吸收系数。

表 1-3-10 光稳定剂的吸收系数

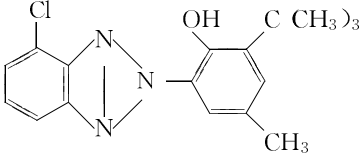
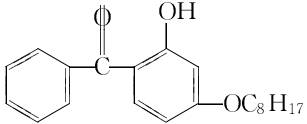
名 称	波长, nm	吸收系数
2, 4-二羟基二苯甲酮	288	66.5
2-羟基-4-甲氧基二苯甲酮	287	68.0
2-羟基-4-辛氧基二苯甲酮	290	48.0
2-羟基-4-癸氧基二苯甲酮	288	42.0
2-羟基-4-十二烷氧基二苯甲酮	288	40.0
2, 2'-二羟基-4-甲氧基二苯甲酮	285	46.0

(续表)

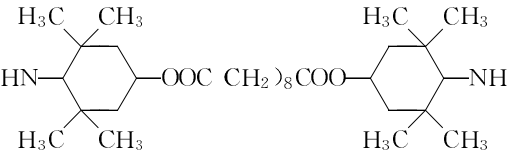
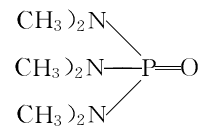
名 称	波长, nm	吸收系数
2-羟基-4-甲氧基-2'-羧基二苯甲酮	320	34.8
2, 2'-二羟基-4, 4'-二甲氧基二苯甲酮	288	45.5
2, 2', 4, 4'-四羟基二苯甲酮	286	48.8
2-羟基-4-甲氧基-5-磺基二苯甲酮	288	46.0
2, 2'-二羟基-4, 4'-二甲氧基-5-磺基二苯甲酮	333	16.5
5-氯-2-羟基二苯甲酮	262	60.0
水杨酸苯酯	310	24.0
水杨酸对-特丁基苯酯	311	17.0
水杨酸对-特辛基苯酯	311	16.0
间苯二酚单苯甲酸酯	340	28.0
2 2'-羟基-5'-甲基苯基)苯并三唑	298	61.0
2 6', 5'-二特丁基-2'-羟基苯基)苯并三唑	305	50.0
2 6'-特丁基-2'-羟基-5'-甲基苯基)-5-氯苯并三唑	313	46.0
2 2'-羟基-4', 6'-二特戊基苯基)苯并三唑	300	45.0
2-氰基-3, 3'-二苯基丙烯酸乙酯	303	46.0
2-氰基-3, 3'-二苯基丙烯酸异辛酯	308	34.0
N- β-氰基-β-丙烯酸甲酯基)-2-甲基咪唑啉	338	129.6
2-甲酯基-3- (对甲氧基苯基)丙烯酸甲酯	315	95.5
硫代双 (辛基苯酚)镍	390	12.0
硫代双 (特辛基苯酚)正丁胺镍	296	13.5
双 β, 5-二特丁基-4-羟基苄基膦酸单乙酯)镍	283	7.1

表 1-3-11 列举了适用于工程塑料的光稳定剂主要品种的性状及用途。

表 1-3-11 适用于工程塑料的光稳定剂主要品种的性状及用途

名称及结构式 (或分子式)	性 状	用 途
紫外线吸收剂 UV-326 [2- 6'-叔丁基-2'-羟基-5'-甲基苯基)5-氯苯并三唑] 	浅黄色晶体。分子量315.80,熔点140℃。不溶于水,微溶于苯、甲苯、苯乙烯、醋酸乙酯、石油醚。低毒	用于 ABS 等。光稳定性、抗氧化性优良。与抗氧剂并用,协同效应好
紫外线吸收剂 UV-531 [2-羟基-4-正辛氧基二苯甲酮] 	浅黄色晶体。分子量336.21,相对密度 1.160。溶于苯、乙醇、丙酮、正己烷,微溶于二氯乙烷。低毒	用于聚酰胺、PET、PBT、ABS 等。能吸收 300~375nm 紫外线。用量为 0.25%~1.00%
光稳定剂 2002 [双 β, 5-二叔丁基-4-羟基苄基膦酸单乙酯)镍] $C_{34}H_{50}O_3P_2Ni \cdot XH_2O$	无色或微黄色结晶粉末。分子量 713.52 (无水),熔点 180~200℃。微溶于水,易溶于一般有机溶剂	用于聚酰胺、PET、PBT 等。耐抽出性好,着色性小,有阻燃效果。特别适用于高温下的制品。用量 0.1%~1.0%。通常与酚类抗氧剂并用

续表)

名称及结构式 (或分子式)	性 状	用 途
光稳定剂 GW-480 [2, 2', 6, 6'-四甲基哌啶基)癸二酸酯] 	无色或微黄色结晶粉末。分子量 480.72, 熔点 79~84℃, 含氮量 5.83%。不溶于水, 溶于乙醇、苯、醋酸乙酯。有毒	用于 ABS 等。与抗氧剂并用能提高耐热性, 与紫外线吸收剂并用协同效应好。用量 0.1%~5.0%
三嗪-5 [2, 4, 6-三 (2'-羟基-4'-正丁氧基苯基) 1, 3, 5-三嗪] $C_{33}H_{39}O_6N_3$	淡黄色粉末。分子量 573.67, 熔点 156~165℃。不溶于水, 微溶于正丁醇, 溶于六甲基磷酰三胺	用于聚甲醛等。能吸收波长为 300~400nm 的紫外线。用量为 0.1%~1.0%。与树脂的相容性稍差, 且有着色性
六甲基磷酰三胺 (HPT) 	无色透明液体。分子量 179.20, 相对密度 1.021, 沸点 230~232℃, 凝固点 2~7℃, 折射率 1.4572。溶于水、极性和非极性溶剂。易燃。低毒	用于聚酰胺等。户外防老化性、耐寒性优异。并可降低制品的成型加工温度 10℃左右

(三) 填充剂

填充剂又称填料, 一般是指加入树脂中以改善其性能或降低成本的固体物质。对填充剂性能的基本要求是:

- 1) 价格低廉。
- 2) 在树脂中分散性好, 填充量大, 相对密度小。
- 3) 不降低树脂的加工性及制品的力学性能, 具有广泛的改性效果。
- 4) 耐水和溶剂的抽出性好。
- 5) 耐水性、耐热性、耐化学腐蚀性和耐光性优良。
- 6) 不影响其它助剂的分散性和效能, 不与它们发生有害的化学反应。
- 7) 纯度高, 不含对树脂有害的物质。
- 8) 制品不会因加入填充剂而出现曲折白化现象。

填充剂按照其化学组成可分为无机类和有机类; 按照来源可分为矿物性填充剂、植物性填充剂和合成填充剂; 按照外观形状可以分为粉状、粒状、薄片状、纤维状、微球状等; 按照其在工程塑料中的功能可以分为增量性、增强性、阻燃性、导电性、着色性、耐热性、耐候性和抗粘连性等多种类型。

填充剂对工程塑料的作用效果首先取决于其形状, 一般来说, 纤维状、薄片状填充剂加入到工程塑料中, 会影响其加工性能, 但机械强度则会有所提高; 反之, 使用球状填充剂时, 加工性能好, 但对机械强度则会带来不利影响。另外, 工程塑料的热性能、电性能及耐化学药品性等主要受填充剂化学成分的影响, 而与填充剂的形状关系不大。

表 1-3-12 列举了各种填充剂对聚酰胺主要品种性能的影响。

表 1-3-13 列举了适用于工程塑料的填充剂主要品种的性状及用途。

表 1-3-12 填充剂对聚酰胺主要品种性能的影响

名 称	含量, %	拉伸强度, MPa	伸长率, %	弹性模量, MPa	冲击强度 (缺口), kJ /m ²	热变形温度 (1.82MPa), °C	密度, g /cm ³
尼龙 6		74	200	1 200	25	63	1.14
短玻璃纤维	30	148	3.5	5 500	16	208	1.37
玻璃珠	30	65	20	3 000	14		1.35
石棉	30	123	3.0	8 000	3	193	1.30
碳纤维	20	100		8 000			
二氧化硅	10	57	140	1 000			1.19
碳酸钙	30	50	30	3 000	6	60	1.35
尼龙 66		80	60	1 500	16	70	1.14
短玻璃纤维	30	153	3.0	7 200	15	240	1.37
玻璃珠	30	81	5.0	3 700	11	74	1.35
石棉	30	133		9 200			
碳纤维	20	197	4.0	16 900		257	1.23
云母	30	39		6 900			
尼龙 610		57	200	1 900	11	60	1.08
短玻璃纤维	30	128	3.0	7 800	12	204	1.30
滑石粉	20	60	5.0	4 000			1.25
尼龙 11		55	300	1 200	27	55	1.04
玻璃纤维	30	93	4.0	6 200	11	173	1.26
青铜粉	90	34	4.0	5 500		100	4.00
尼龙 12		50	350	1 200	20	55	1.02
玻璃纤维	30	83	6.0	3 500	9	147	1.23
玻璃珠	30	45	25	2 500	8	120	1.23

表 1-3-13 适用于工程塑料的填充剂主要品种的性状及用途

名称及分子式	性 状	用 途
碳酸钙 (轻质) CaCO ₃	白色极细轻质粉末。分子量 100.09, 相对密度 2.71~2.91, 熔点 1 339℃。难溶于水和乙醇。溶于酸类, 放出二氧化碳, 呈放热反应。加热至 825℃ 分解为氧化钙和二氧化碳	用于聚酰胺等。可改善工程塑料的加工性, 调整粘度, 降低成本
滑石粉 3MgO • 4SiO ₂ • H ₂ O	白色至淡黄色粉末。分子量 379.22, 相对密度 2.7~2.8。有滑腻感, 质地柔软。不溶于水。具有润滑性、耐燃性、电绝缘性和抗酸碱性。化学性质不活泼	用于聚酰胺、ABS 等。广泛用于耐酸碱、耐热及电绝缘制品。有润滑性, 可减少对成型机械及模具的磨损。并可提高制品的刚性, 改善尺寸稳定性, 防止高温蠕变
玻璃纤维	纤维状玻璃。主要化学成分为二氧化硅、三氧化二铝、三氧化二铁、三氧化二硼等多种氧化物。相对密度 2.5~2.7。具有不燃性、不吸水性、电绝缘性等玻璃性能; 也具有高强度、低伸长、完全弹性体等纤维性能	广泛用于聚酰胺、聚碳酸酯、聚甲醛、聚苯醚、PBT、PET、聚砜、聚醚砜、聚苯硫醚等工程塑料。可显著提高工程塑料的机械强度、刚性及热变形温度
石棉 3MgO • 2SiO ₂ • 2H ₂ O	白色至灰白色纤维状物质。分子量 276.12, 相对密度 2.4~2.6, 熔点 1 500℃, 折射率 1.50~1.57。耐碱性强, 耐酸性稍差。是电、热的不良导体	用于聚酰胺、氟塑料等。能赋予制品良好的耐热性和耐腐蚀性

续表)

名称及分子式	性 状	用 途
白炭黑 $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	白色无定形微细粉末。相对密度2.0~2.6,熔点1 750℃,折射率1.46。不溶于水和酸,溶于氢氧化钠和氢氟酸。多孔性,内表面积大。不燃	用于ABS等。用作补强填充剂。可改善工程塑料的成型加工性和物理性能,提高透明度,耐热性和耐磨性优良
碳纤维	无机高分子纤维。具有强度、弹性模量高,耐高温,防辐射,抗疲劳,耐腐蚀等特点	作为增强材料与聚酰胺、聚醚砜、聚醚醚酮等树脂制成复合材料,用作宇航、化工厂耐腐蚀设备等的优良材料

(四) 阻燃剂

能够提高塑料耐燃性和自熄性的物质称为阻燃剂。含有阻燃剂的工程塑料大多是自熄的,也可以是不燃的。对阻燃剂性能的基本要求是:

- 1) 不损害工程塑料的物理机械性能,特别是不降低热变形温度、机械强度和电性能。
- 2) 分解温度应适应进行阻燃加工的工程塑料的需要,即分解温度不应太高,但在加工温度下又不分解。
- 3) 耐久性好。
- 4) 耐候性好。
- 5) 成本低廉。

阻燃剂大多是周期表中的第Ⅴ、Ⅶ和Ⅲ族元素的化合物,如第Ⅴ族的氮、磷、锑、铋的化合物,第Ⅶ族的氯、溴的化合物和第Ⅲ族的硼、铝的化合物。此外,硅和钼的化合物也可作为阻燃剂。其中最常用的是磷、溴、氯、锑和铝的化合物。

通常将阻燃剂分为添加型和反应型两大类。添加型阻燃剂主要有磷酸酯、卤代烃和氧化锑等,它们在使用时简单地掺和在工程塑料中,使用方便,适应面广,但对工程塑料制品的使用性能有较大影响。反应型阻燃剂主要有卤代酸酐和含磷多元醇等,它们在聚合物制备过程中作为原料单体之一,通过化学反应使其成为聚合物分子链的一部分,因此对制品的使用性能影响小,阻燃性持久。

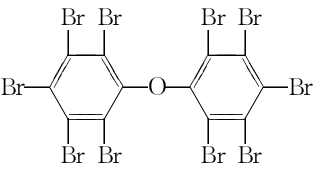
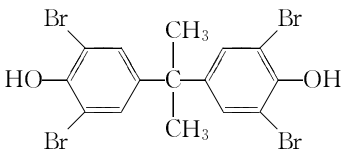
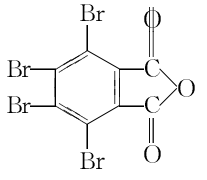
各种工程塑料对不同类型阻燃剂的需要量也各不相同。表 1-3-14 示出了一些工程塑料对阻燃剂的需要量。

表 1-3-14 一些工程塑料对阻燃剂的需要量

名 称	单独使用时阻燃剂元素量,%	协同使用时阻燃剂元素量,%
ABS	Br = 3;Cl = 23	$\text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{Cl} = 5 + 7$
聚酰胺	Cl = 3.5 ~ 7;P = 3.5	$\text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{Cl} = 10 + 6$
聚碳酸酯	Br = 4 ~ 5;Cl = 10 ~ 15	$\text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{Cl} = 7 + 7$
聚酯	Br = 12 ~ 15;Cl = 26;P = 5	$\text{P} + \text{Br} = 2 + 6$ $\text{P} + \text{Cl} = 1 + 17$ $\text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{Br} = 2 + 8$ $\text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{Cl} = 1 + 17$

表 1-3-15 列举了适用于工程塑料的阻燃剂主要品种的性状和用途。

表 1-3-15 适用于工程塑料的阻燃剂主要品种的性状和用途

名称及结构式 (或分子式)	性 状	用 途
十溴联苯醚 (阻燃剂 FR-10) 	白色至淡黄色粉末。分子量 959.0, 溴含量 83.3%, 熔点 304~309℃。几乎不溶于所有溶剂。热稳定性良好, 质量减少 5% 时温度为 354℃。无毒	用于 ABS、PBT、PET。与三氧化二锑并用有良好的协同效应
双 (2, 3-二溴丙基) 反丁烯二酸酯 (阻燃剂 FR-2) $C_{10}H_{12}Br_4O_4$	白色细微粉末。分子量 516.0, 溴含量大于 62%, 熔点 63~68℃, 热分解温度 220℃。不溶于水, 溶于乙醇、丙酮等有机溶剂。有毒	主要用于 ABS, 用量 15% 左右。通常与三氧化二锑并用
四溴双酚 A 	浅黄色或白色粉末。分子量 543.9, 熔点 179~181℃, 溴含量 58.8%, 分解温度 240℃。不溶于水, 溶于醇、冰醋酸、苯等有机溶剂	主要用于聚碳酸酯。与三氧化二锑并用, 具有良好的协同效应
四溴邻苯二甲酸酐 	白色至淡黄色粉末。分子量 463.7, 溴含量 67.0%~68.9%, 熔点 279~280℃。不溶于水及脂肪族烃类溶剂, 微溶于丙酮、二甲苯, 溶于硝基苯、二甲基甲酰胺	用于聚碳酸酯等, 为反应型阻燃剂
氢氧化镁 $Mg(OH)_2$	白色晶体。分子量 58.3, 相对密度 2.36, 分解温度 350℃, 折射率 1.559。不溶于水, 溶于酸及铵盐溶液	用于 ABS、聚苯醚等。使用时需用阴离子表面活性剂处理。阻燃作用显著, 且有消烟效果
三氧化二锑 Sb_2O_3	白色粉末。分子量 291.5, 相对密度 5.67, 熔点 655℃, 沸点 1456℃, 折射率 2.087。不溶于水和有机溶剂, 溶于浓盐酸、硫酸、氢氧化钠、氢氧化钾和酒石酸溶液。有毒	用于 ABS、PBT、PET、聚碳酸酯等。通常与十溴联苯醚、双 (2, 3-二溴丙基) 反丁烯二酸酯或四溴双酚 A 等阻燃剂并用
硼酸锌 $2ZnO \cdot 3B_2O_3 \cdot 3.5H_2O$	白色结晶粉末。分子量 434.70, 相对密度 2.69, 熔点 980℃, 折射率 1.58~1.59。在冷水中溶解度极小, 在热水中缓慢溶解形成含 1% 三氧化二硼的溶液。无毒	用于 ABS 等。是三氧化二锑的代用品。适合于高温加工的需要。与含卤阻燃剂并用具有良好的协同效应

(五) 发泡剂

能够使处于一定粘度范围内的液态或塑性状态的塑料形成微孔结构的物质称为发泡剂。发泡剂可以是固体、液体或气体。在发泡过程中根据气泡产生的方式,可分为物理发泡剂和化学发泡剂两大类。物理发泡剂在发泡过程中通过物理形态的变化(如压缩气体的膨胀、液体的挥发或固体的溶解)产生气孔;化学发泡剂在发泡过程中通过化学变化分解产生一种或多种气体产生气孔。目前除了少数使用氮气和氟利昂这类惰性气体的物理发泡剂外,一般都采用化学发泡剂。

对化学发泡剂性能的基本要求是:

- 1) 分解产生气体的温度范围要窄。
- 2) 放出气体的速率可以控制,而且应有恒定的速率。
- 3) 放出的气体无腐蚀性。
- 4) 容易在树脂体系中分散,最好能溶解在其中。
- 5) 分解残渣无味、无色、无毒。
- 6) 分解时不应大量放热。
- 7) 不损坏塑料的物理化学性能。
- 8) 分解残渣与制品应相容,不发生喷霜。
- 9) 成本低廉。

化学发泡剂又可分为无机发泡剂和有机发泡剂两类。无机发泡剂主要有碳酸氢钠、碳酸铵、亚硝酸铵、硼氢化钾及过氧化氢等;有机发泡剂主要有偶氮化合物、亚硝基化合物、酰肼类化合物及尿素衍生物等,其中尤以偶氮化合物为最重要。

图 1-3-32 示出了几种常用的有机发泡剂的分解曲线。图 1-3-33 和图 1-3-34 分别示出了发泡剂 H (N,N'-二亚硝基五次甲基四胺)和发泡剂 AC (偶氮二甲酰胺)的发气曲线。

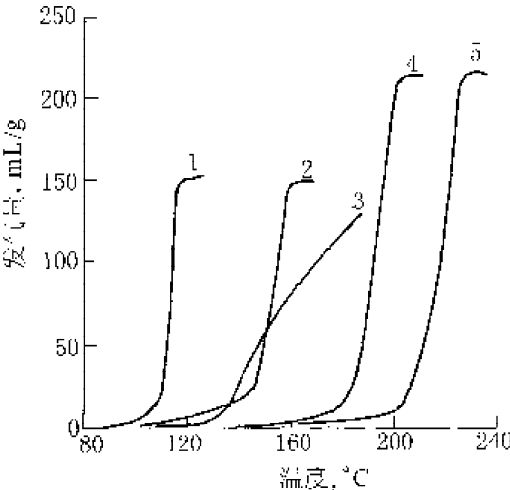


图 1-3-32 几种常用的有机发泡剂的分解曲线

1—偶氮二异丁腈; 2—4, 4'-氧代双苯磺酰肼; 3—对甲苯磺酰肼; 4—发泡剂 H; 5—发泡剂 AC

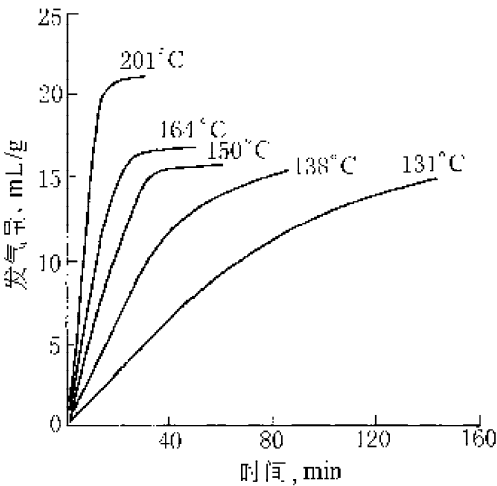


图 1-3-33 发泡剂 H 的发气曲线

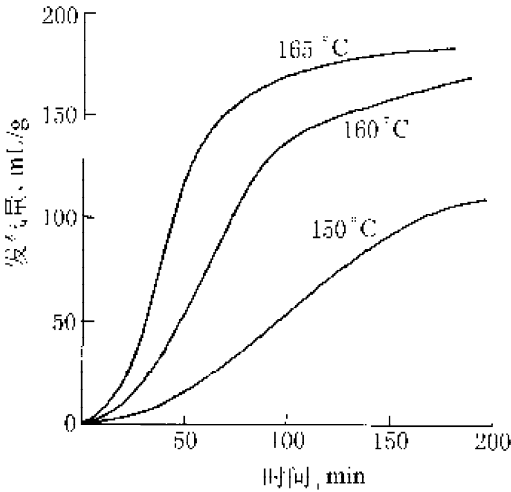


图 1-3-34 发泡剂 AC 的发气曲线

表 1-3-16 列举了适用于工程塑料的发泡剂主要品种的性状和用途。

表 1-3-16 适用于工程塑料的发泡剂主要品种的性状和用途

名称及结构式	性 状	用 途
发泡剂 AC (偶氮二甲酰胺) $\begin{array}{c} \text{O} \qquad \qquad \text{O} \\ \parallel \qquad \parallel \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{N}=\text{N}-\text{C}-\text{NH}_2 \end{array}$	橘黄色结晶粉末。分子量 116.10, 相对密度 1.66, 分解温度 180~200℃, 发气量 230~250mL/g。溶于碱, 不溶于醇、苯、吡啶等有机溶剂。室温贮存稳定。有自熄性。在 120℃ 以上易分解, 产生大量气体	应用最广泛的发泡剂之一。用于聚酰胺、聚苯醚、ABS 等。分解产物无毒, 不污染, 可得纯白的泡沫体。适用于闭孔发泡, 常压或加压发泡
发泡剂 H (N, N'-二亚硝基五次甲基四胺) $\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{N}-\text{CH}_2 \\ \qquad \qquad \\ \text{ON}-\text{N} \qquad \text{N}-\text{NO} \\ \qquad \qquad \\ \text{CH}_2-\text{N}-\text{CH}_2 \end{array}$	淡黄色结晶粉末。分子量 186.18, 熔点 207℃, 分解温度 190~205℃。水中溶解度 1% 左右, 在浓酸、浓碱及热水中水解。易燃	用于聚酰胺等。发气量大, 发泡效率高, 制品有独立的微细气泡结构
发泡剂 TSH (对甲苯磺酰肼) $\text{H}_3\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{SO}_2-\text{NH}-\text{NH}_2$	白色结晶粉末。分子量 186.21, 相对密度 1.42, 分解温度 105℃, 发气量 120mL/g。易溶于碱, 溶于醇、酮, 微溶于水、醛, 不溶于苯。在热水中水解产生磺酸。分解放出氮气。无毒	用于聚酰胺、ABS 等。能产生细微闭孔结构, 无污染, 制品收缩率小。不能与发泡剂 H 并用

(六) 润滑剂

凡能改善塑料在加热成型时的流动性和脱模性的物质称为润滑剂。除一般概念的润滑剂外, 从广义上说, 脱模剂、防粘剂、光泽剂等均属润滑剂的范畴。对润滑剂性能的基本要求是:

- 1) 与树脂的相容性好, 分散均匀。
- 2) 热稳定性优良, 在高温下挥发性小, 相容性随温度变化小。
- 3) 不损害塑料的力学性能。
- 4) 不引起颜色漂移。
- 5) 无毒。
- 6) 成本低廉。

一种优良的润滑剂不仅能改善塑料的润滑性, 而且还能使塑料改善色泽、防止静电、避免降解、增加韧性等。对 ABS 等工程塑料来说, 润滑剂更兼具热稳定剂的作用。

润滑剂根据其作用方式可以分为内润滑剂和外润滑剂两大类。内润滑剂用于减少聚合物分子链间的内聚力, 起加速熔融、降低熔融粘度、延长加工寿命、改善流动性和提高透明性的作用。外润滑剂主要起防止熔融聚合物粘附于热加工设备表面的作用。润滑剂的内外润滑功能是由它的化学组成、极性以及在聚合物熔体中的可溶性所决定的。

根据化学组成的不同, 润滑剂可以分为烃类、脂肪酸类、脂肪酸酰胺类、酯类、醇类、金属皂类和复合润滑剂等多种。

通常使用挤出型塑化仪来测定润滑剂的润滑性, 它是在螺杆转矩一定的条件下, 单位转矩和单位时间的挤出量, 以 g/(N·m·min) 表示。表 1-3-17 列举了一些润滑剂的润滑性。

表 1-3-17 一些润滑剂的润滑性

名 称	润滑性,g / (N · m · min)	名 称	润滑性,g / (N · m · min)
无润滑剂时	2.60	硬脂酸铅	5.93
硬脂酸钡	2.74	正辛酸铅	5.48
硬脂酸钙	3.57	月桂酸铅	5.68
硬脂酸镁	3.93	肉豆蔻酸铅	5.72
硬脂酸镉	5.47	二盐基硬脂酸铅	5.68
硬脂酸锌	5.92	二盐基邻苯二甲酸铅	4.20

表 1-3-18 列举了适用于工程塑料的润滑剂主要品种的性状和用途。

表 1-3-18 适用于工程塑料的润滑剂主要品种的性状和用途

名称及结构式	性 状	用 途
硬脂酰胺 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}-\overset{\overset{\text{O}}{\parallel}}{\text{C}}-\text{NH}_2$	无色叶状结晶。分子量283.5,相对密度 0.96,熔点 108.5~109℃,沸点 250℃ (1.6kPa)。不溶于水,溶于热乙醇、乙醚、氯仿。无毒	用于 ABS 等。具有优良的外部润滑效果和脱模性,良好的透明性和电绝缘性,但润滑持效性较短,热稳定性较差,并有初期着色性。与少量高级醇配合,可以克服上述缺点
油酸酰胺 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7-\overset{\overset{\text{O}}{\parallel}}{\text{C}}-\text{NH}_2$	白色粉末状、片状或粒状物。分子量 281.52,相对密度 0.90,熔点 75~76℃,闪点 210℃,着火点 235℃。不溶于水,溶于乙醇、乙醚等有机溶剂	用于聚酰胺等。用量 0.2%~0.5%
乙烯双硬脂酸酰胺 $\text{C}_{17}\text{H}_{35}-\overset{\overset{\text{O}}{\parallel}}{\text{C}}-\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{NH}-\overset{\overset{\text{O}}{\parallel}}{\text{C}}-\text{C}_{17}\text{H}_{35}$	白色至淡黄色粉末。分子量 593.24,熔点 142~144℃,相对密度 0.98。不溶于水及大多数有机溶剂,溶于热的氯化烃类和芳香烃类	用于 ABS 等。兼具内润滑和外润滑作用

(七) 偶联剂

能够增加无机填料与树脂之间亲和力的物质称为偶联剂。对偶联剂性能的基本要求是：

- ① 具有两性结构,分子中的一部分基团可与无机物表面的化学基团反应,另一部分基团则具有亲有机物的性质。
- ② 可配制成水溶液或非水溶液,直接加入到树脂或填充剂中均匀混合。
- ③ 加入到填充剂中,可抑制填充剂粒子的相互作用,降低粘度,提高分散性。
- ④ 成本低廉。

表 1-3-19 示出了对于不同的填充剂,加入偶联剂后在降低粘度和改善机械强度上所显示的偶联效果。

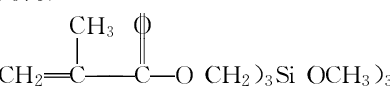
表 1-3-19 偶联剂的偶联效果

名 称	粘度,Pa·s		弯曲强度,MPa			
	未处理	KH-570 偶联剂处理	原始值		经 8h 水煮	
			未处理	KH-570 处理	未处理	KH-570 处理
滑石粉	58	30	61.6	72.1	30.8	50.4
云母	104	28	19.6	45.5	18.2	24.5
二氧化硅	52	14	72.1	123.9	46.2	102.2
硅酸钙	90	54	72.8	109.2	53.9	87.5
含水氧化铝	65	48	50.4	84.7	32.2	58.1
烧结粘土	56	37	79.1	112.0	61.6	98.7
含水粘土	95	39	70.7	77.0	31.5	45.5

偶联剂根据化学结构可以分为硅烷类、钛酸酯类、铬类和有机铬络合物等四类。

表 1-3-20 列举了适用于工程塑料的偶联剂主要品种的性状和用途。

表 1-3-20 适用于工程塑料的偶联剂主要品种的性状和用途

名称及结构式	性 状	用 途
γ -氨基丙基三乙氧基硅烷 (KH-550) $\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$	无色至淡黄色透明液体。分子量 221.09, 相对密度 0.946, 沸点 217℃, 闪点 96℃, 折射率 1.420。不溶于水, 溶于苯、醋酸乙酯等有机溶剂	用于聚酰胺。适用的填充剂为玻璃纤维、白炭黑、滑石粉、高岭土、云母粉等
γ -缩水甘油醚氧丙基三甲氧基硅烷 (KH-560) $\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_2\text{O})_3\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$ 	无色至淡黄色透明液体。分子量 236.09, 相对密度 1.069, 沸点 290℃, 闪点 111℃, 折射率 1.427。不溶于水, 溶于苯、丙酮、醋酸乙酯、四氯化碳等有机溶剂	用于 ABS、聚酰胺等。可提高制品的耐水性和机械强度
γ - (甲基丙烯酰氧基) 丙基三甲氧基硅烷 (KH-570) $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{C}(=\text{O})\text{O}(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$ 	无色至淡黄色透明液体。分子量 248.02, 相对密度 1.045, 沸点 255℃, 闪点 88℃。不溶于水, 溶于丙酮、苯、醋酸乙酯、四氯化碳等大多数有机溶剂	用于 ABS 等。可提高制品的透光性、耐水性和机械强度
乙烯基三乙氧基硅烷 (A-151) $\text{CH}_2=\text{CHSi}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$	无色或淡黄色透明液体。分子量 190.31, 相对密度 0.894, 沸点 160.5℃, 折射率 1.396 1。溶于丙酮、苯等大多数有机溶剂	用于 ABS、聚酰胺、PBT 等玻璃纤维增强工程塑料。可提高制品的机械强度

(八) 着色剂

凡是能够改变塑料固有颜色的物质称为着色剂。塑料制品的着色可分为内着色和外着色两种。内着色是在塑料加工前的配料中加入着色剂,使制品内外有均匀的色泽;外着色是指采用印刷、烫金、电镀、喷涂、贴花、真空蒸镀等仅在塑料制品表面着色的方法,属于塑料的二次加工。此处所指的是内着色所使用的着色剂。对着色剂性能的基本要求是:

- 1) 着色力大,色彩鲜艳。
- 2) 在塑料成型物料中分散性好,不凝聚。
- 3) 耐热性好,不影响塑料的耐老化性及其它使用性能。

- 4) 不影响塑料的流动性及其它加工性能。
- 5) 光稳定性好,长期受日光照晒不褪色。
- 6) 成本低廉。

着色剂主要分为无机颜料、有机颜料和染料三大类,后两类又统称为有机着色剂。染料是有强烈着色能力的有机化合物,但在印染工业中大量使用的水溶性染料一般都不适用于塑料,只有某些油溶性和醇溶性染料如偶氮类、蒽醌类染料可用于耐热性要求不高的塑料制品上,因此在塑料中使用的着色剂主要是无机颜料和有机颜料。无机颜料热稳定性好,价格便宜,但色泽缺乏光亮和透明性;有机颜料着色力大,色彩鲜艳,但价格较贵。

表 1-3-21 列举了主要着色剂对一些工程塑料的适用性。

表 1-3-21 着色剂对一些工程塑料的适用性

名 称	颜色	聚酰胺	ABS	氟塑料	聚甲醛	聚碳酸酯
钛白粉 锌钡白	白	○ ○	○ ○	○ ×	○ ○	○ ○
炭黑 苯胺黑	黑	○ ○	○ ○	○ ○	△ △	△ △
镉黄 联苯胺黄	黄	○ ×	○ △	○ ×	△ ×	△ ×
联苯胺橙 还原艳橙 GR	橙	×	△ ○	×	×	×
镉红 铁红 油溶性红	红	○ ○ ×	○ ○ △	△ △	△ △ △	○ ○ ×
锰紫	紫		△	○		
群青 钴蓝 酞菁蓝	蓝	○ ○	○ ○	△ ○ △	△ ○ △	○ ○ ○
氧化铬绿 酞菁绿	绿	○	○ ○	○ △	△ △	○ ○
铝粉	银	△	○		△	△
黄铜粉	金		△			

【注】 ○:适用;△:可用;×:不可用。

表 1-3-22 列举了适用于工程塑料的着色剂主要品种的性状和用途。

表 1-3-22 适用于工程塑料的着色剂主要品种的性状和用途

名 称	性 状	用 途
钛白粉 (二氧化钛) TiO ₂	无嗅无味的白色粉末。分子量 79.9,相对密度 3.84~4.30,熔点 1 560~1 580℃,折射率 2.55~2.70,平均粒径 0.3~0.5μm。不溶于水、有机酸、稀无机酸、有机溶剂和油,微溶于碱。根据结晶形式可分为金红石型 (R 型)和锐钛型 (A 型)两种	白色着色剂。广泛用于聚酰胺、ABS、聚苯醚、聚甲醛、聚碳酸酯、PBT、氟塑料等。具有优良的遮盖力和着色力

(续表)

名 称	性 状	用 途
锌钡白 (立德粉)	是硫化锌和硫酸钡的混合物。白色粉末。平均粒径 $0.3\sim 0.5\mu\text{m}$, 遮盖力 $100\text{g}/\text{m}^2$, 吸油量 18%, 着色力大于 95%。不溶于水, 遇酸分解释放出硫化氢	白色着色剂。广泛用于聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯、聚苯醚和 PBT 等, 在氟塑料中不适用
镉红	是硫化镉和硒化镉的混合物。火红色粉末。相对密度 4.5~5.3, 平均粒径 $0.3\sim 2.0\mu\text{m}$, 耐热性大于 370°C 。不溶于水和有机溶剂。耐碱性优良, 耐酸性较差	红色着色剂。广泛用于聚酰胺、ABS、聚碳酸酯、聚甲醛和氟塑料等。色泽鲜艳, 遮盖力和着色力大, 耐热性好。与硫酸钡并用可降低成本
铁红 Fe_2O_3	红色粉末。分子量 159.69, 相对密度 5.24。不溶于水、油和有机溶剂, 溶于硫酸、盐酸	红色着色剂。用于聚酰胺、ABS、聚碳酸酯、聚甲醛和氟塑料等。遮盖力和着色力大
镉黄	主要成分为硫化镉。淡黄色至橘黄色粉末。平均粒径 $1\sim 3\mu\text{m}$, 相对密度 4.3~4.6。不溶于水和有机溶剂, 溶于酸和氨水	黄色着色剂。广泛用于聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯、聚苯醚、ABS 和氟塑料等。耐热性、耐水性和耐溶剂性优良, 但耐酸性较差, 着色力和遮盖力较低
群青	蓝色粉末。相对密度 2.35~2.74, 平均粒径 $0.3\sim 2.0\mu\text{m}$, 折射率 1.50~1.54。不溶于水和有机溶剂。易受空气和酸作用而变色	蓝色着色剂。用于 ABS、聚酰胺、聚碳酸酯、聚甲醛和氟塑料等。色彩鲜艳, 具有优良的耐光性、耐热性、耐水性、耐溶剂性和耐碱性, 有增白作用。耐酸性较差
氧化铬绿	橄榄绿色粉末。主要成分为三氧化二铬。相对密度 4.9~5.2, 平均粒径 $0.3\sim 1.0\mu\text{m}$ 。不溶于水	绿色着色剂。用于 ABS、聚碳酸酯、氟塑料和聚甲醛等。具有优良的耐热性、耐光性、耐水性、耐酸碱性能, 但着色性较小, 色彩不鲜艳
炭黑	黑色粉末状物质。主要成分是元素碳。相对密度 1.8~2.1。不溶于各种有机溶剂	黑色着色剂。用于 ABS、聚酰胺、氟塑料、聚甲醛和聚碳酸酯等。遮盖力和着色力大, 具有极高的耐光性
联苯胺黄 G	淡黄色粉末。熔点 317°C 。不溶于水, 微溶于乙醇。耐晒 4~5 级, 耐酸 1~2 级, 耐碱 1~2 级。吸油量 50%~60%。耐热 $170\sim 180^\circ\text{C}$	黄色着色剂。适用于 ABS 等。耐热性、耐光性、耐溶剂性优良, 色彩鲜艳
永固橙 G	橙色粉末。熔点 332°C 。耐晒 5~6 级, 耐酸 1 级, 耐碱 2 级。吸油量 50%~60%。耐热 $140\sim 150^\circ\text{C}$	橙色着色剂。适用于 ABS、聚酰胺等。着色力强, 耐光性、耐热性、耐酸碱性好, 但透明度较差, 迁移性较大
酞菁蓝	深蓝色粉末。不溶于水、乙醇及烃类, 溶于硫酸。耐晒 7~8 级, 耐酸 1 级, 耐碱 1 级。吸油量 60%。耐热 200°C	蓝色着色剂。用于聚碳酸酯、聚甲醛、氟塑料等。遮盖力强, 分散性好, 耐热性、耐光性优良。可单独使用, 也可与其它着色剂并用。适用于透明制品
酞菁绿	深绿色粉末。耐晒 8 级, 耐酸 1 级, 耐碱 1 级。吸油量 40%。耐热 200°C	绿色着色剂。广泛用于聚酰胺、ABS、聚碳酸酯、聚甲醛、聚苯醚、氟塑料和 PBT 等。着色力强, 分散性好, 耐热性、耐光性优良。可单独使用, 也可与其它着色剂并用

三、工程塑料成型物料的配制

工程塑料成型物料的配制,是指按预先确定的配比,将树脂与各种助剂混合成适于成型加工的用料的过程。这种混合过程可以有两种形式,即简单混合和分散混合。简单混合是指两种或多种组分占有的空间分布情况发生变化,各自向其它组分的空间分布的过程。分散混合是指在混合中一种或多种组分的物理状态或物理性能发生变化并向其它组分渗透的过程。这两个过程通常是同时进行和完成的。

(一) 配制原理

工程塑料成型物料的配制,主要是混合的过程。混合过程一般是依靠扩散、对流、剪切这三种作用来完成的。

1) 扩散作用 利用各组分之间的浓度差,使组分微粒从浓度大的区域向浓度小的区域迁移,从而达到组分均匀的作用。

2) 对流作用 两种或两种以上的组分各自向其它组分占有的空间流动,从而达到组分均匀的作用。

3) 剪切作用 利用机械剪切力使两种或两种以上的组分达到均匀的作用。

配制有不同的情况,如不同组分的粉状物料的互相混合,是固体与固体的混合;粉状或纤维状物料与液状物料的混合,是固体与液体的混合;熔融物料的互相混合,是粘性液体与粘性液体的混合等。

扩散作用在液体与液体之间或液体与固体之间表现得较为明显。但在固体与固体之间,则需依靠提高温度、减少料层厚度、增加接触面积才能促使扩散。

对流作用可在各种状态的物料中进行,但都需借助于外力,通常采用机械搅拌力。物料的配制,如要达到均匀混合的目的,则必须借助于这种对流作用。

剪切作用特别适用于粘性液体之间的混合,因它们的粘度大,流动性差。由于剪切作用能使它们很方便地变形,增大了接触面积,从而达到均匀混合的目的。

实际的配制过程,通常同时存在着扩散、对流和剪切作用,只是在一定条件下,其中的某一种作用占有优势而已。但不管是哪一种作用,都必须造成物料各组分之间的层内流动和层间流动,才能达到最佳的混合效果。

配制可采用不同的工艺,主要有初混合、捏和、塑炼三种。通常可将初混合看作是粉状物料之间的简单混合;捏和是指液体与粉状物料之间的浸渍与混合;塑炼是指塑性物料与液体或固体之间的分散混合。初混合和捏和是在树脂熔融温度以下和较缓慢的机械力作用下完成的,混合后物料各组分的性质基本上没有变化。而塑炼则是在树脂的熔融温度以上和较高的剪切速度下进行的,混合后的物料各组分的物理性质甚至化学性质会有一定变化。在初混合时物料各组分多为粉状固体,混合主要靠对流作用来进行。而捏和及塑炼时,则主要依靠剪切作用。

(二) 配制工艺

1. 粉料的配制

粉料的配制主要分原料准备和原料混合两个工序。

原料准备主要分原料预处理、原料称量及原料输送等步骤。

原料混合主要依靠各种机械设备来完成。对混合机械设备的基本要求是:

1) 混合过程应在尽可能短的时间完成,以达到物料混合的平衡状态。

2) 物料在混合过程中有基本相同的接触几率。

3) 整个混合室内不应存在“死角”。

4) 具有足够的结构强度。

5) 容易出料及清洗。

常用的混合设备有转鼓式混合机、螺带式混合机、捏和机和高速混合机等。

1) 转鼓式混合机 有筒式、斜筒式、方角形式、双筒式、锥式、双锥式等。混合作用主要依靠混合室的转动来完成。为强化混合作用,混合室内壁可加设曲线型挡板。

2) 螺带式混合机 混合室固定,内有方向相反的两根螺带。当螺带转动时,即以一定方向带动物料进行混合。

3) 捏和机 主要由一个带有鞍形底钢槽的混合室和一对相反方向旋转的Z形搅拌器组成。混合时,物料借助两个Z形搅拌器的相反转动,使物料沿混合室的侧壁翻动,并在混合室中间落下,从而使物料受到重复的折叠和撕裂作用,达到均匀混合的目的。混合室槽壁附有夹套,以供加热或冷却用。捏和机可用于树脂与玻璃纤维及其它填充剂等的混合。

4) 高速混合机 如图 1-3-35 所示,由一个圆筒形混合室及一个设在混合室内的搅拌装置组成。搅拌装置包括位于

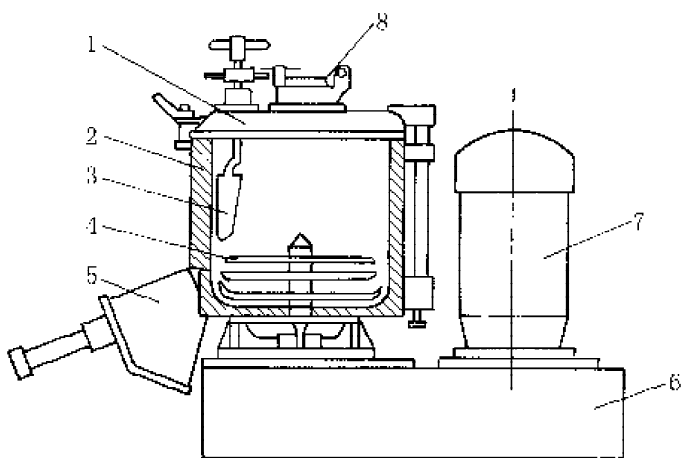


图 1-3-35 高速混合机

1—回转盖; 2—容器; 3—挡板; 4—快转叶轮; 5—出料口;
6—机座; 7—电机; 8—进料口

下部的快转叶轮和可以垂直调整高度的挡板。混合时物料受到高速搅拌 (860r/min), 在离心力作用下, 由混合室底部沿侧壁上升, 至一定高度落下, 然后再上升和落下, 从而使物料之间产生较高的剪切作用和热量。因此, 除具有混合均匀的效果外, 还可使物料部分塑化。挡板的作用是使物料运动呈流化状态, 更有利于分散均匀。高速混合机的混合效率高, 所用时间比捏和机短, 一般为 $8\sim 10\text{min}$ 。

2. 粒料的配制

粒料的配制是在制成粉料的基础上, 再经过塑炼和造粒而成。

塑炼是借助加热和剪切应力使树脂获得熔化、剪切、混合等作用而去除其中的挥发物并进一步分散其中的不均匀组分的过程。塑炼通常在树脂流动温度以上和较大的剪切速率下进行, 常用的设备主要有双辊机、密炼机和挤出机等。

1) 双辊机 又称双辊筒塑炼机或开炼机, 其主要结构部分是一对能转动的平行辊筒 (图 1-3-36)。

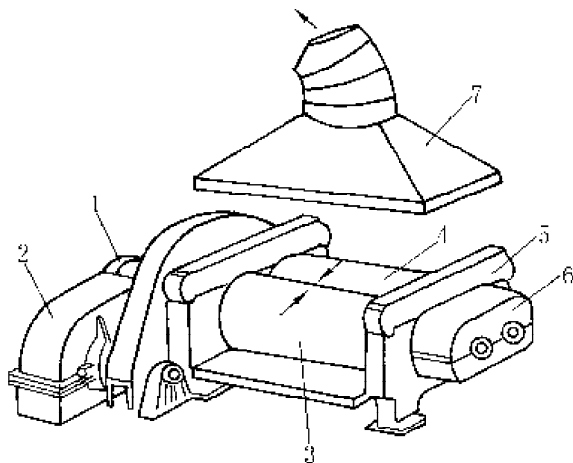


图 1-3-36 双辊机

1—电机; 2—减速箱; 3—前辊; 4—后辊; 5—机架;
6—速比齿轮罩; 7—排风罩

辊筒多由冷铸钢铸成,表面硬度很高。辊筒靠电机经减速箱、离合器,然后由两个互相啮合的齿轮带动。辊筒间的间隙是可调节的,辊筒内有加热或冷却结构。两个辊筒的转动轴位于同一水平面上并作相向不等速转动,从而使处于辊筒间的物料获得速度梯度,产生剪切力,达到混合塑炼的作用。表 1-3-23 列举了双辊机的规格及主要性能参数。

表 1-3-23 双辊机的规格及主要性能参数

规格	速比	前辊线速度, m/min	电机功率, kW	机器中心高度, mm	外形尺寸, mm	整机总重, t
φ60×200	1.22~1.50	2.42~2.96	1.0	800	600×460×900	0.32
φ100×250	1.35	5.03	2.6		900×600×1 000	0.65
φ160×320	1.35	8.90	6.6	1 009	1 010×720×1 449	1.1
φ230×630	1.30	11.30	10.0		1 800×1 100×1 400	2.5
φ360×900	1.25	16.25	28.0	970	3 940×1 780×1 740	5.9
φ400×1 000	1.27	18.65	40.0	1 000	4 235×1 850×1 800	8.0
φ450×1 200	1.27	25.40	75.0	1 100	5 830×2 200×1 930	13.0
φ550×1 500	1.20	27.70	95.0	955	6 120×2 280×2 175	27.0
φ650×2 100	1.08	32.00	55.0	1 010	6 260×2 580×2 370	30.0
φ660×2 130	1.08	30.00	115.0	1 120	8 920×3 388×1 838	36.0

2) 密炼机 其主要结构部分是一对转子和一个混炼室(图 1-3-37)。转子的横切面呈梨形,并以螺旋方式沿轴向排列。当其转动时,物料不仅绕着转子,也顺着横向移动。两个转子的转动方向相反,转速也不相同,转子与混炼室内壁之间的间隙也很小,因此能对物料产生强大的剪切力。混炼室的顶部设有由压缩空气操纵的活塞,借以压紧物料而使其更有利于塑炼。密炼机能在较短的时间给物料以大量的剪切能,而且是在隔绝空气的情况下进行操作的,因此塑炼效果及操作条件均较理想。表 1-3-24 列举了密炼机的规格及主要性能参数。

3) 挤出机 塑炼用的挤出机与挤出成型用的挤出机结构基本一致。其主要结构部分是螺杆和料筒,物料投入料斗后,即被转动的螺杆卷入料筒,一方面受筒壁的加热而熔化,一方面则绕着螺杆向前移动,由于物料在各点的速度不等,因此产生一定的剪切作用,物料的塑炼即是在受热和剪切的作用下完成。

由双辊机和密炼机制得的物料通常是片状和团状的,由挤出机制得的物料通常是条状的,它们都必须再采用具有切割作用的设备进行造粒。一般处理片状物料采用切料机,处理条状物料则是采用在挤出机口模处安装旋转刀来进行切粒。切粒的方法主要有以下四种:

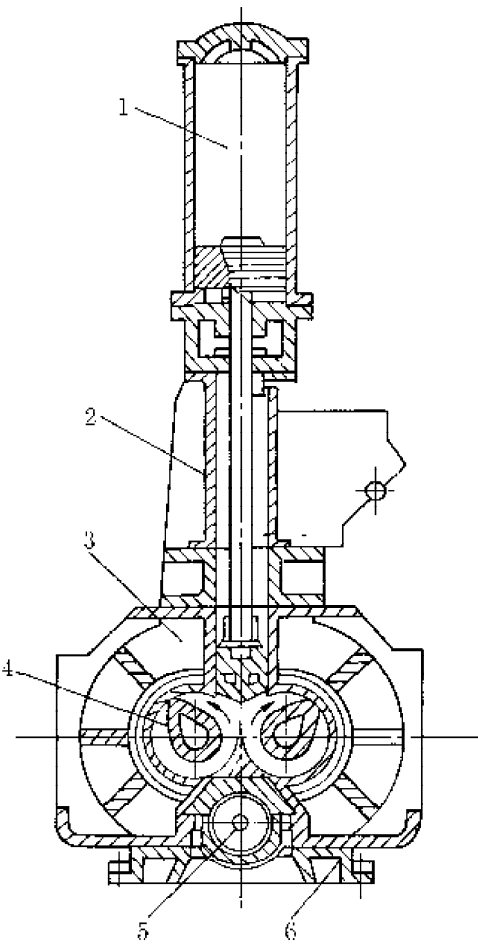


图 1-3-37 密炼机

1—加料斗; 2—上顶柱; 3—混炼室; 4—转子; 5—下顶柱; 6—底座

表 1-3-24 密炼机的规格及主要性能参数

项 目	XM-4.3 83-100	XM-46 50	XM-50 42	XM-75 85-70	XM-253 20	XM-245 40	XM-253 40-20
总容量, L	4.3	46	50	75	253	245	253
额定容量, L	2	25	30	50	140	140	140
转子转速, r/min	33~100	50	42	35~70	20	40	40~20
压缩空气压力, MPa	0.6~0.8	0.6~0.8	0.6~0.8	0.6~0.8	0.6~0.8	0.6~0.8	0.6~0.8
冷却水温度, °C		≤15	≤15	≤15	≤15	≤15	≤15
转子速比		1 : 1.11	1 : 1.19	1 : 1.15	1 : 1.14	1 : 1.14	
电机功率, kW	7.3~22	55	75	110~220	240	630	600
卸料门形式	滑动	滑动	下落	滑动	滑动	下落	滑动
外形尺寸, m	1.5×1.1×3.0	3.5×1.2×2.9	4.1×1.8×3.1	6.6×4.9×4.1	8.7×3.0×4.7	9.0×2.0×5.5	6.0×3.8×5.2
整机总重, t	2.5	7.5	11	18	45	50	50

1) 挤条冷却法 将经挤出机塑化后呈圆条状的物料经风冷或水冷后输送到有一把固定底刀和 2~8 把回转甩刀的切粒装置中进行切粒。其特点是设备简单, 适合于多品种、小批量生产; 缺点是颗粒外观品质较差。

2) 干热切法 将旋转的切刀紧贴在机头的模板上, 切刀 2~8 把, 切刀形状为长条形或镰刀形, 直接将刚从挤出机中挤出的热条状物料切成粒料, 然后再冷却。其特点是操作方便、设备简单; 缺点是容易发生粘粒现象。

3) 空中热切法 此法与干热切法大致相同, 但为了防止粘粒现象的产生, 在切粒罩内用鼓风或喷淋温水进行冷却。

4) 水下热切法 即将机头和切刀置于循环水中进行造粒。其特点是颗粒外观好, 不易粘粒。

第三节 工程塑料制品的结构设计

工程塑料制品的成型, 必须要进行合理的结构设计; 在结构设计之前, 又必须对工程塑料的各项性能有充分的认识, 才能作出合理的选材; 而在设计工程塑料制品时, 还应分析制品在使用时的受力情况、成型工艺要求以及使用要求等。

一、工程塑料制品的设计程序

1. 选材

根据用户提供的制品外观、形状和品质要求, 使用环境和功能, 要求数量和交货时间等

条件,选择合适的工程塑料品种、型号和配方。其中,应特别注意用户对制品使用功能的特殊要求,例如光学透明性、耐化学腐蚀性、耐热性或耐辐射性等,以缩小选材的范围。

2. 确定成型方法

根据选定的工程塑料品种和成型特性,制品的形状、尺寸、生产数量以及制品所要求的性能,选择并确定制品的成型方法以及相应的成型工艺。必须着重考虑的是成型方法的合理性和经济性。

3. 初步设计

初步设计的主要内容为:制品的形状、尺寸、壁厚、加强肋、圆角、斜度、支承面及孔的位置等。

初步设计的原则有以下几点:

- 1) 充分发挥工程塑料的特性,避免或补偿其缺点。
- 2) 充分考虑工程塑料的成型特性,尤其是其流变性能。
- 3) 在保证使用要求的前提下,制品的形状应有利于充模、排气、补偿收缩,应能适应成型中的高效冷却固化。
- 4) 充分重视工程塑料在成型后的收缩情况,以及各向收缩率的差异。
- 6) 综合考虑成型模具的总体结构、复杂程度、材质、制造工艺及加工精度。

参照上述原则,绘制出制品草图。

4. 样品制造

根据初步设计要求,设计并制造模具,再按选定的工程塑料品种和确定的成型方法制造样品,然后通过试验以鉴定其实用性。

试验包括短期破坏性试验、加速寿命试验、耐热性试验、电气性能试验、阻燃性试验及老化试验等。

5. 制品设计

在获得初步设计的样品及通过一系列试验后,综合考虑制品的性能、工艺性和经济性等因素,选择最佳设计方案,绘制正式设计图纸。按正式设计制得的样品交用户试用,经用户认可,即可正式投产。投产前应编制制品设计说明书和产品标准等技术性文件。

二、工程塑料制品选材

(一) 按制品用途选材

1. 一般结构材料

作为一般结构材料的工程塑料,主要有 ABS、聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯、改性聚苯醚等。一般结构材料通常用作壳体、容器、管件、手柄、管接头和各种紧固件等一般结构零部件。这类零部件不要求承受很大载荷,但要求有良好的冲击强度、硬度和尺寸稳定性。这些零部件的工作温度一般不高,因此对耐热性的要求也不高。

2. 传动结构材料

作为传动结构材料的工程塑料,主要有尼龙 6、尼龙 66、MC 尼龙、聚甲醛、聚碳酸酯、改性聚苯醚、玻璃纤维增强 PET、玻璃纤维增强 PBT、聚砜、聚醚砜、聚四氟乙烯、聚苯硫醚和超高分子量聚乙烯等。

传动结构零件可分为啮合传动零件和摩擦传动零件两类,前者有齿轮、齿条、链轮、蜗轮蜗杆等,后者有轴承、轴套、滑杆、带轮等。它们广泛用于各种机械和仪器仪表中。

传动结构零件在使用过程中都承受一定的载荷和摩擦力,必须具有较高的强度和刚性,同时还应有良好的耐磨性和耐热性。

上述工程塑料是制造传动结构零部件的理想材料,它们不仅具有足够的强度、刚性和耐热性,而且摩擦因数低,传动效率高,可在无润滑或少润滑的条件下运转,相对密度小,能减轻传动部件的重量,降低起动惯性。

3. 耐腐蚀材料

作为耐腐蚀材料的工程塑料,主要有聚四氟乙烯、聚三氟氯乙烯、聚偏氟乙烯、聚砒、聚苯硫醚、氯化聚醚和超高分子量聚乙烯等。耐腐蚀材料通常用作化学工业部门的设备、仪表及各种零部件,如反应器、搅拌器、贮槽、阀门、密封件、管配件、仪表壳体等。耐腐蚀材料必须具有抵抗各种酸、碱、氧化剂及有机溶剂的能力。用作耐腐蚀材料的工程塑料,应具有优良的化学稳定性,良好的力学性能和耐热性,而且价格与不锈钢及贵金属等金属耐腐蚀材料相比较低。

4. 电气绝缘材料

作为电气绝缘材料的工程塑料主要有改性聚苯醚、聚碳酸酯、PBT、聚四氟乙烯、聚酰亚胺等。电气绝缘材料要求在低频至中频下电绝缘性优良,具有较高的强度和抗冲击性,优良尺寸稳定性,良好的耐热性和耐疲劳性。

5. 透明材料

作为透明材料的工程塑料,主要有聚碳酸酯、聚砒和聚芳酯等。透明材料要求具有高透光度,低浑浊度,耐冲击和振动,不易击碎,并具有一定的可弯曲性和较高的拉伸强度,以及良好的成型加工性和二次成型性。

6. 耐热材料

作为耐热材料的工程塑料,主要有聚酰亚胺、聚酰胺亚胺、聚醚亚胺、聚苯硫醚、聚芳砒、聚醚砒和聚醚醚酮等。耐热材料不仅要求具有高耐热性,还应有较高的强度和刚性,以及优良尺寸稳定性等。

(二) 按制品性能选材

1. 相对密度

与金属相比,塑料的突出优点之一是相对密度低,通常在 0.90~2.40 之间,泡沫塑料更可降至 0.10 或更低。工程塑料的相对密度通常在 1.02~2.40 之间。表 1-3-25 列举了工程塑料和其它各种材料的相对密度,可依据制品性能要求加以选择。

表 1-3-25 各种材料的相对密度

名 称	相对密度	名 称	相对密度	名 称	相对密度
铸铁	8.0	木材	0.2~0.9	聚碳酸酯	1.20
合金钢	8.0	ABS	1.02~1.06	均聚甲醛	1.42
黄铜	8.6~8.8	尼龙 6	1.14	共聚甲醛	1.41
铝	2.8	尼龙 66	1.14	聚苯醚	1.06
钛	4.6	尼龙 11	1.04	聚砒	1.24
水晶	2.7	尼龙 12	1.02	聚苯硫醚	1.30
玻璃	2.2~3.0	尼龙 1010	1.05	聚四氟乙烯	2.14~2.20

2. 强度

用于制造受力结构件的工程塑料必须有足够的强度。工程塑料的拉伸强度和压缩强度比钢铁等金属材料低,但其比强度(强度/相对密度)则可与金属相抗衡。特别是工程塑料经玻璃纤维增强后,其强度可得到成倍的提高。表 1-3-26 列举了一些工程塑料在玻璃纤维增强前后的力学性能的比较值。

表 1-3-26 工程塑料玻璃纤维增强前后力学性能的比较值

名 称		拉伸强度,MPa	伸长率,%	弯曲强度,MPa	弯曲弹性模量,GPa
尼龙 6	未增强	74	200	112	2.6
	30%玻纤增强	160	5	240	7.5
尼龙 66	未增强	80	60	96	3.0
	30%玻纤增强	170	5	240	8.0
聚甲醛	未增强	62	40	91	2.6
	25%玻纤增强	128	3	200	7.7
聚碳酸酯	未增强	63	100	90	2.3
	30%玻纤增强	125	4	190	7.8
改性聚苯醚	未增强	65	60	80	2.5
	30%玻纤增强	120	5	140	7.7
PBT	未增强	56	300	87	2.5
	30%玻纤增强	140	4	200	9.0
聚砷	未增强	71	70	110	2.8
	30%玻纤增强	130	2	160	8.3
聚苯硫醚	未增强	67	1.6	98	3.9
	40%玻纤增强	137	1.3	204	11.2

如果制品设计得当并且注意加强受力部位,工程塑料,特别是玻璃纤维增强工程塑料,完全可以满足制品对强度的要求。

3. 蠕变

蠕变是指在恒定应力作用下材料应变随时间变化的现象。工程塑料在长时间外力作用下会发生应力松弛现象,分子滑移,取向重排,产生永久形变。这种永久形变称为应变,应变会随时间的延长而逐渐增加。

工程塑料用于制造结构零部件时,如果发生蠕变,必然会影响其使用性能。了解工程塑料的蠕变特性,对于选材、设计与使用关系很大。工程塑料的蠕变值与载荷作用的时间、载荷的大小、温度及工程塑料的品种有关。经玻璃纤维增强或添加矿物填充剂的工程塑料,蠕变值减小。蠕变值较小的工程塑料主要有聚碳酸酯、聚砷和聚苯醚等;蠕变值较大的工程塑料主要有氟塑料和聚酰胺等。

图 1-3-38~图 1-3-40 分别示出了高抗冲 ABS、增强尼龙 6 和聚甲醛的蠕变曲线。

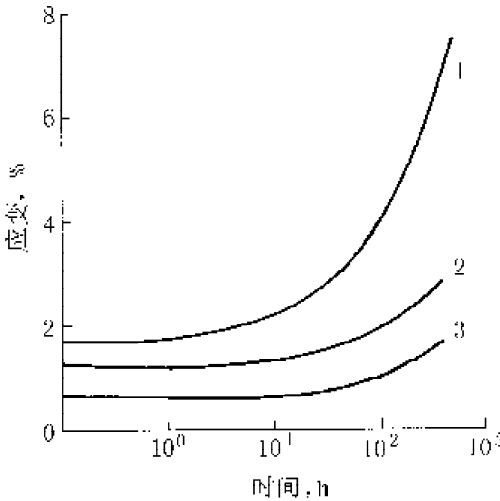


图 1-3-38 高抗冲 ABS 蠕变曲线

1—27.6MPa; 2—20.1MPa; 3—13.8MPa

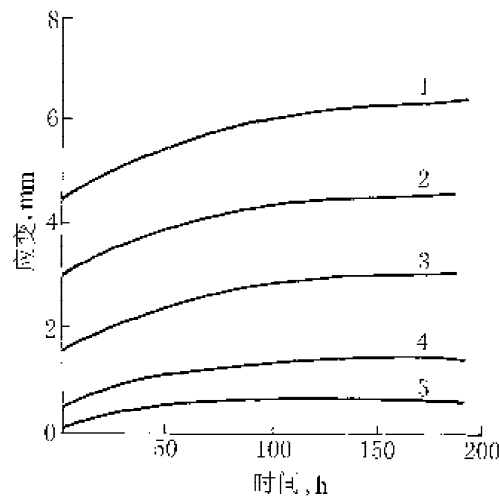


图 1-3-39 增强尼龙 6 蠕变曲线
1—40%无机填料, 20MPa; 2—40%无机填料, 15MPa; 3—40%无机填料, 8MPa; 4—40%无机填料, 3MPa; 5—20%玻璃纤维, 5MPa

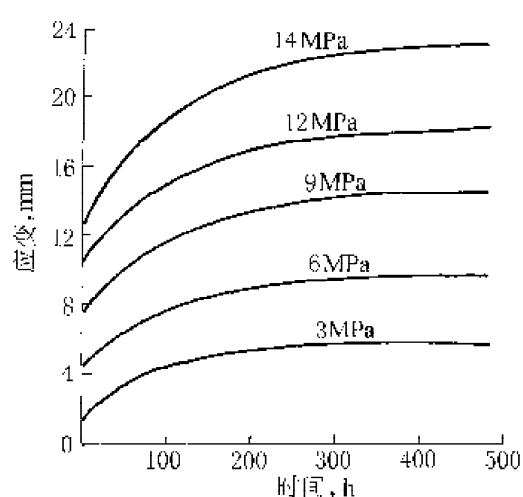


图 1-3-40 聚甲醛蠕变曲线

4. 疲劳

材料在经受循环应力或应变后力学性能的衰减或材料损坏的现象称为疲劳。在给定的动态条件下 (如一定的应力和应变速率), 使材料产生损坏或材料性能下降到某一指标值时所经历的循环次数称为疲劳寿命。施加于材料的应力越大, 则材料的疲劳寿命越短, 所经历的循环次数越少。

当工程塑料处于足够低的应力水平时, 将不发生疲劳断裂破坏, 这一极限应力值, 称为疲劳极限。工程塑料的疲劳极限不明显, 严格来说, 多数工程塑料没有明确的疲劳极限值, 通常以 10^7 循环次数的应力值作为其疲劳极限。

工程塑料的疲劳极限远低于其自身的屈服强度。聚碳酸酯、聚砜的疲劳极限一般只有静态拉伸强度的 10%~20%; 聚甲醛、PET 等的疲劳极限较高, 但也只有静态拉伸强度的 50% 以下 (表 1-3-27)。在进行制品设计时应选有足够安全系数, 并考虑到滞后效应和环境效应, 还应特别注意消除应力集中的缺口和棱角。

表 1-3-27 一些工程塑料的静态拉伸强度和疲劳极限

名 称	静态拉伸强度, MPa	疲劳极限, MPa
尼龙 6	74	20
尼龙 66	80	21
MC 尼龙	91	20
聚甲醛	69	34
聚碳酸酯	65	7~14
20%玻纤增强聚碳酸酯	98	37~44
改性聚苯醚	87	21
聚酰亚胺	88	25
PET	68	23
聚砜	71	9~12
30%玻纤增强聚砜	130	38~42

图 1-3-41~图 1-3-44 分别示出了尼龙 66、玻璃纤维增强尼龙 6、聚碳酸酯和聚砜的疲劳曲线。

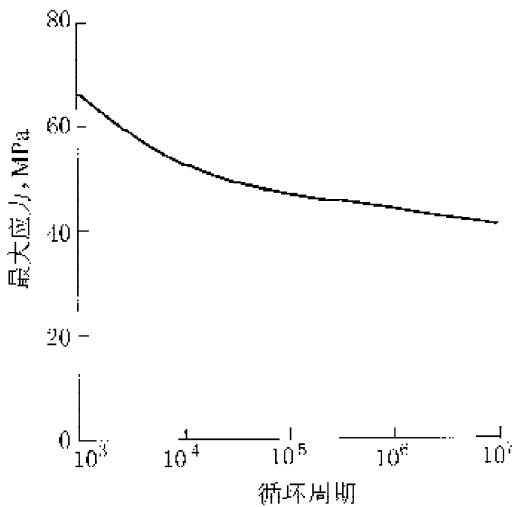


图 1-3-41 尼龙 66 的疲劳曲线 (室温, 0.3%吸水率)

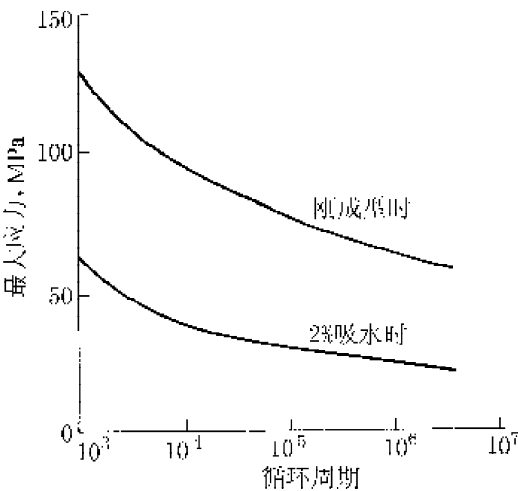


图 1-3-42 玻璃纤维增强尼龙 6 的疲劳曲线 (室温, 30%玻璃纤维)

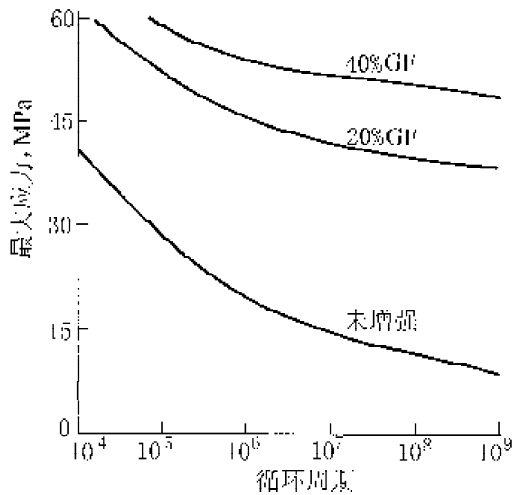


图 1-3-43 聚碳酸酯的疲劳曲线

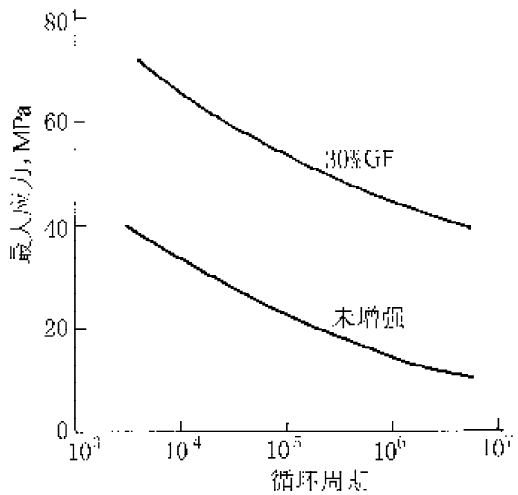


图 1-3-44 聚砜的疲劳曲线

5. 冲击

工程塑料的冲击强度比金属低。各种工程塑料中冲击强度较高的有聚碳酸酯、聚四氟乙烯、增韧尼龙和 ABS 等。工程塑料对缺口冲击很敏感,因此设计时应注意锐角、螺纹及其它应力集中的缺口影响,并应尽量避免尖棱尖角,防止缺口损伤或穿孔等。表 1-3-28 列举了一些工程塑料的冲击强度。

表 1-3-28 一些工程塑料的冲击强度

名 称	悬臂梁冲击强度 (缺口),J/m	名 称	悬臂梁冲击强度 (缺口),J/m
尼龙 6	56	尼龙 1010	40~50
尼龙 66	40	ABS	105~215
尼龙 11	39	聚碳酸酯	660~880
尼龙 12	50	聚甲醛	60~80
尼龙 610	56	聚四氟乙烯	150~180

6. 摩擦

塑料一般均有自润滑性,干燥状态下的动摩擦因数较低,一般在 0.02~0.50 范围内。塑料,特别是工程塑料,具有良好的耐磨损性能。表 1-3-29 列举了部分工程塑料的磨损量。另外,材料的 PV 值是设计耐摩擦零部件的重要技术参数, P 是摩擦表面上的压力, V 是滑动速度。图 1-3-45 示出了部分工程塑料的 PV 值。

表 1-3-29 部分工程塑料的磨损量

名 称	磨损量 (载荷 9.8N),mg /10 ³ 周期	名 称	磨损量 (载荷 9.8N),mg /10 ³ 周期
ABS	22	尼龙 6	5
聚碳酸酯	14	聚四氟乙烯	14
改性聚苯醚	17	超高分子量聚乙烯	3
聚甲醛	13		

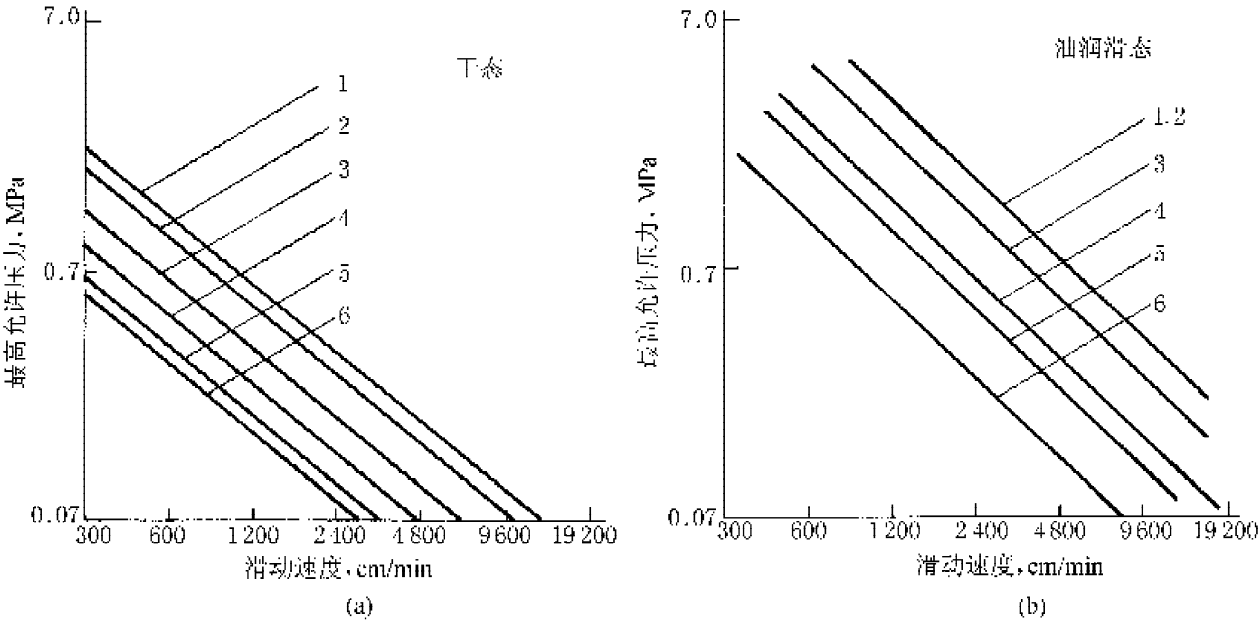


图 1-3-45 部分工程塑料的 PV 值(23℃ ,RH50%)

a) 1—铸型尼龙; 2—尼龙+MOS₂; 3—尼龙 66; 4—氟塑料+陶瓷粉; 5—氯化聚醚; 6—聚四氟乙烯
b) 1—铸型尼龙; 2—尼龙+MOS₂; 3—氟塑料+陶瓷粉; 4—尼龙 66; 5—氯化聚醚; 6—聚四氟乙烯

7. 耐热性

工程塑料在实际使用中,不仅要求在室温下具有较高的力学性能,而且要求在高于室温 and 较高温度下也具有良好的力学性能。工程塑料的耐热性远比金属材料为低,因此在制品结构设计时,必须考虑温度对设计应力的影响因素。

工程塑料的热变形温度、连续使用温度和熔点则代表了工程塑料的耐热性。各种工程塑料的热变形温度和连续使用温度可参见表 1-2-4; 各种工程塑料的熔点可参见表 1-3-3。

与通用塑料相比,工程塑料的耐热性较高,特别是分子主链上含有芳香环或杂环的工程塑料,如聚酰亚胺、聚芳酯、聚苯酯、聚醚醚酮和液晶高分子化合物等,则具有更为优异的耐热性。表 1-3-30 示出了工程塑料的耐热等级。

表 1-3-30 工程塑料的耐热等级

耐热等级	温度,℃	工 程 塑 料
Y 级	90	聚甲醛、尼龙 1010
A 级	105	氯化聚醚、MC 尼龙
E 级	120	玻纤增强尼龙、聚碳酸酯、改性聚苯醚、聚三氟氯乙烯
B 级	130	玻纤增强聚碳酸酯、玻纤增强 PBT
F 级	155	聚砒、聚芳酯
H 级	180	聚醚砒、玻纤增强 PET
C 级	>180	聚四氟乙烯、聚酰亚胺、聚芳砒、聚苯酯、聚醚醚酮、液晶聚合物 (kydar)

8. 线膨胀系数

工程塑料的线膨胀系数一般要比金属材料大 3~10 倍,因此工程塑料制品容易因温度变化而影响尺寸的稳定性。另外,在制造带有金属嵌件或与金属件结合在一起的工程塑料制品时,往往会由于线膨胀系数相差过大而造成开裂、脱落或松动等。因此,当设计与金属构件相连接的工程塑料制品时,必须注意因工程塑料与金属线膨胀系数差异而引起的内应力,一般可通过选用长玻璃纤维增强工程塑料的方法加以弥补。

与膨胀相对应的是收缩。当工程塑料制品通过成型冷却至室温后,发生收缩这种热特性称为收缩性。工程塑料的收缩性,除因熔融状态在凝固时引起的体积变化而造成的收缩外,对结晶性工程塑料来说,还因分子排列的各向异性而呈现异方性。另外,影响收缩性的因素还有制品的形状、尺寸、壁厚、嵌件数量、成型工艺以及模具结构等。因此,在进行工程塑料制品结构设计时,也必须予以重视。

表 1-3-31 列举了各种工程塑料的线膨胀系数和计算收缩率。

表 1-3-31 工程塑料的线膨胀系数和计算收缩率

名 称	线膨胀系数,×10 ⁻⁵ /℃	计算收缩率, %
尼龙 6	8.0	0.6~1.4
尼龙 66	8.9	1.5
玻纤增强尼龙 66	2.5	0.2~0.8
尼龙 610	10.0	1.0~2.0
尼龙 1010	14.0	0.7~2.3
尼龙 11	11.0	
尼龙 12	11.0	
ABS	7.0	0.4~0.7
PET	6.0	1.8
玻纤增强 PET	2.5	0.2~1.0
聚碳酸酯	6.0	0.5~0.7
玻纤增强聚碳酸酯	3.2~4.8	0.05~0.5
聚甲醛	7.0~9.0	1.5~3.0
聚砒	5.6	0.5~0.6
玻纤增强聚砒	2.8	0.3~0.4
聚醚砒	5.5	0.8
改性聚苯醚	6.7	0.5~0.7
聚四氟乙烯	10.0	3.1~7.7
聚三氟氯乙烯	10.0	1.0~2.5
聚偏氟乙烯	7.9~14.2	2.0

9. 电绝缘性

通常用介电性、电阻率、介电强度和耐电弧性等来表征工程塑料的电绝缘性能。

工程塑料的介电性通常用介电常数和介电损耗角正切来表示。介电常数和介电损耗角正切的数值越小,介电性能越好。

作为绝缘材料的体积电阻率一般应不小于 $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$,而工程塑料的体积电阻率大多在 $10^{13} \sim 10^{18}$ 范围之内,电绝缘性能优良。表 1-3-32 列举了一些工程塑料的体积电阻率。

表 1-3-32 一些工程塑料的体积电阻率

名 称	体积电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$	名 称	体积电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$
尼龙 6	$>10^{15}$	PBT	$>10^{16}$
尼龙 66	$>10^{15}$	超高分子量聚乙烯	$10^{16} \sim 10^{18}$
ABS	$10^{15} \sim 10^{16}$	聚砜	$>10^{16}$
聚碳酸酯	$>10^{16}$	聚醚砜	$>10^{16}$
聚甲醛	$10^{14} \sim 10^{15}$	聚四氟乙烯	$>10^{17}$
改性聚苯醚	$10^{16} \sim 10^{17}$	聚三氟氯乙烯	$>10^{17}$

介电强度和耐电弧性是工程塑料电绝缘性能的重要指标,特别在高电压作用下使用时,介电强度和耐电弧性的优劣直接影响工程塑料的应用性能。表 1-3-33 列举了一些工程塑料的介电强度和耐电弧性。

表 1-3-33 一些工程塑料的介电强度和耐电弧性

名 称	介电强度, kV/mm	耐电弧性, s
ABS	14~15	66~82
尼龙 6	18.0	130~140
尼龙 66	15.0	120~135
尼龙 12	>15.0	120~125
聚碳酸酯	20~22	100~120
聚甲醛	20.0	220~240
PBT	18.0	80~130
改性聚苯醚	16~22	70~80
玻纤增强改性聚苯醚	20~24	80~100
聚四氟乙烯	>60	>300
聚三氟氯乙烯	>15.0	>360

10. 耐化学药品性

与金属相比,工程塑料的耐化学药品性优良,尤其如聚四氟乙烯、聚三氟氯乙烯、聚苯硫醚等,可以耐强酸及几乎所有的化学药品。但各种工程塑料的耐化学药品性差异很大,当工程塑料用于接触各种化学药品的场合,必须选择能耐相应的化学药品的工程塑料品种。表 1-3-34 列举了一些工程塑料的耐化学药品性的相对指数。

表 1-3-34 一些工程塑料的耐化学药品性的相对指数

名 称	耐化学药品性的相对指数				
	有机溶剂	盐 类	碱 类	酸 类	氧化剂
ABS	4	10	8	9	4
尼龙 66	7	10	7	3	2
聚碳酸酯	6	10	2	7	8

续表)

名 称	耐化学药品性的相对指数				
	有机溶剂	盐 类	碱 类	酸 类	氧化剂
聚甲醛	9	10	3	3	3
改性聚苯醚	4	10	9	10	8
PBT	9	10	6	6	6
聚苯硫醚	10	10	10	10	8
聚四氟乙烯	10	10	10	10	10
聚三氟氯乙烯	10	10	10	10	10

[注] 10:最好;1:最差。

三、工程塑料制品的受力和强度设计

在设计工程塑料制品时,除对工程塑料品种进行选定和详细了解工程塑料自身的特性外,还应分析制品在使用时的受力情况,并在此基础上进行强度设计。

(一) 受力分析

工程塑料制品在使用时经常受到弯曲载荷和扭转载荷,其应力计算方法如下。

1. 梁的弯曲应力

当梁受到弯曲载荷时,材料产生应力,其最大应力为:

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$
 (1-3-5)

式中:σ——弯曲应力,Pa;

M——弯曲转矩,N·m;

Z——截面模量,m³。

截面模量可用下式计算:

$$Z = \frac{I}{e}$$
 (1-3-6)

式中:I——截面惯性矩,m⁴;

e——中心轴至截面最远表面的距离,m。

当截面为矩形实心梁时,弯曲应力计算公式如下:

1) 末端受载荷的悬臂梁 (图 1-3-46):

$$\sigma = \frac{6PL}{bh^2}$$
 (1-3-7)

$$f_{\max} = \frac{4PL^3}{Ebh^3}$$
 (1-3-8)

式中:σ——梁 A 处最大应力,Pa;

f_{max}——最大挠度,m;

E——弹性模量,Pa;

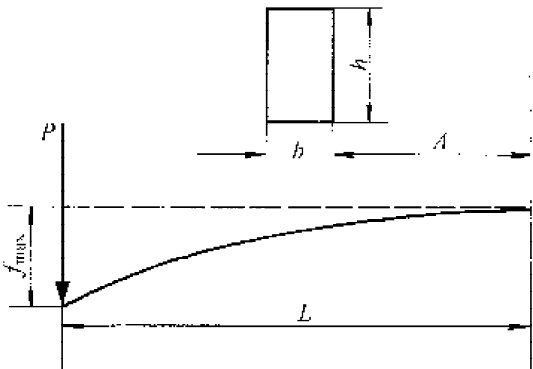


图 1-3-46 末端受载荷的悬臂梁

L ——受载荷梁长度, m;

b ——梁的宽度, m;

h ——梁的高度, m;

P ——载荷, N。

②) 中间受载荷的简支梁 (图 1-3-47):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1-3-9)$$

$$f_{\max} = \frac{PL^3}{4bh^3E} \quad (1-3-10)$$

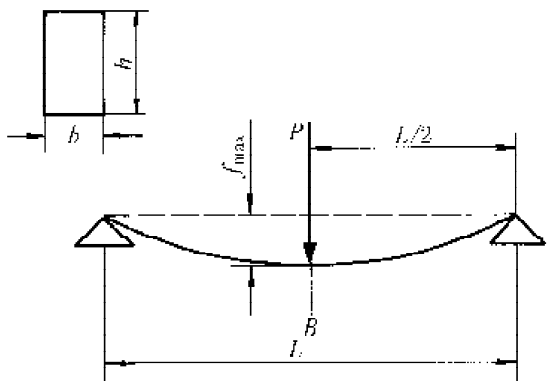


图 1-3-47 中间受载荷的简支梁

式中: σ ——材料最大拉伸应力, Pa;

$f_{\max}$ ——梁 B 处最大挠度, m;

E ——弹性模量, Pa;

L ——两端的长度, m;

b ——梁的宽度, m;

h ——梁的高度, m;

P ——载荷, N。

③) 两端固定承受中央载荷的简支梁 (图 1-3-48):

$$\sigma = \frac{3PL}{4bh^2} \quad (1-3-11)$$

$$f_{\max} = \frac{PL^3}{16bh^3E} \quad (1-3-12)$$

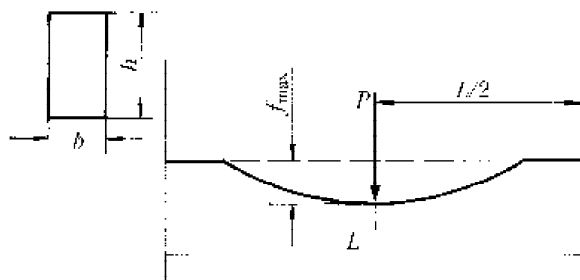


图 1-3-48 两端固定承受中央载荷的简支梁

式中各符号意义及单位参照式 (1-3-9) 和

(1-3-10)。

2. 梁的最大弯矩和挠度

①) 末端受载荷的悬臂梁:

$$M = PL \quad (1-3-13)$$

$$f_{\max} = \frac{PL^3}{3EI} \quad (1-3-14)$$

式中: M ——最大弯矩, N·m;

$f_{\max}$ ——最大挠度, m;

I ——截面惯性矩, m⁴;

P ——载荷, N;

L ——梁的长度, m;

E ——弹性模量, Pa。

②) 中心受载荷的简支梁:

$$M = \frac{PL}{4} \quad (1-3-15)$$

$$f_{\max} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (1-3-16)$$

式中符号意义同式 (1-3-14)。

3. 几种截面的惯性矩和截面系数

1) 正方形、实心、通过中央的惯性矩 (图 1-3-49):

$$I = \frac{b^4}{12} \quad (1-3-17)$$

$$Z = \frac{b^3}{6} \quad (1-3-18)$$

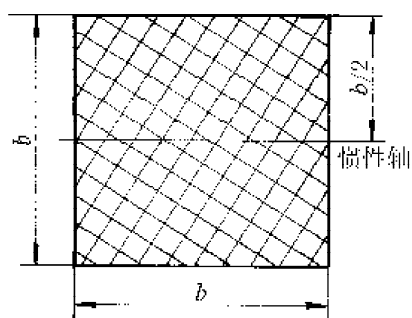


图 1-3-49 正方形截面

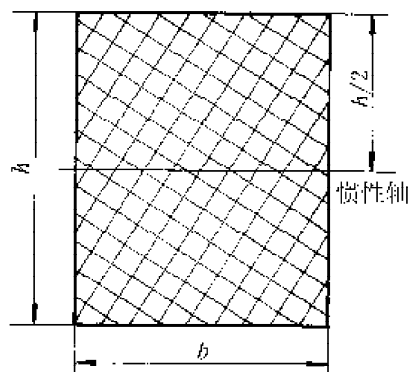


图 1-3-50 长方形截面

2) 长方形、实心、通过中央的惯性矩 (图 1-3-50):

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (1-3-19)$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} \quad (1-3-20)$$

3) 工字形、通过中央的惯性矩 (图 1-3-51):

$$I = \frac{bh^3 - b_1h_1^3}{12} \quad (1-3-21)$$

$$Z = \frac{6h^3 - b_1h_1^2}{6h} \quad (1-3-22)$$

$$b_1 = b - t \quad (1-3-23)$$

$$h_1 = h - 2c \quad (1-3-24)$$

4) 空心管、通过圆心的惯性矩 (图 1-3-52):

$$I = 0.049 (d^4 - d_1^4) \quad (1-3-25)$$

$$Z = 0.098 \left(\frac{d^4 - d_1^4}{d} \right) \quad (1-3-26)$$

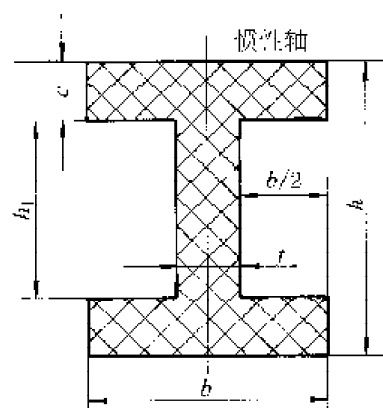


图 1-3-51 工字形截面

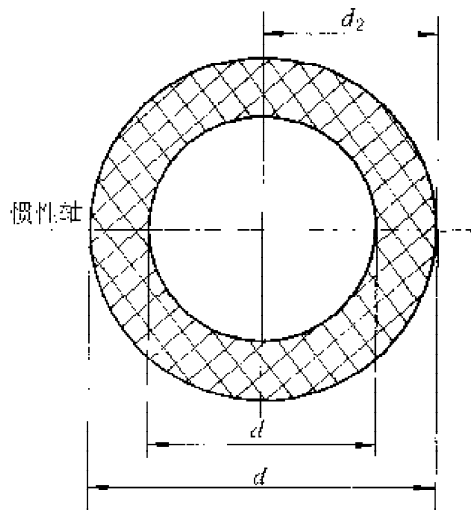


图 1-3-52 空心管截面

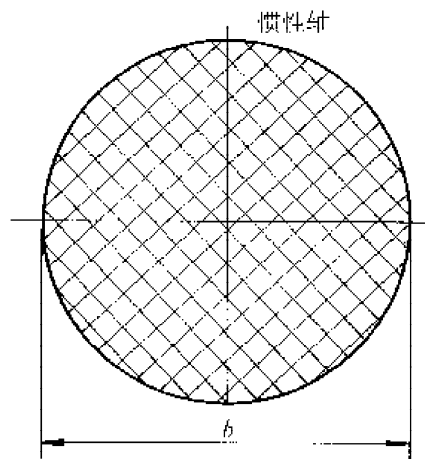


图 1-3-53 实心管截面

6) 实心管、通过圆心的惯性矩 (图 1-3-53):

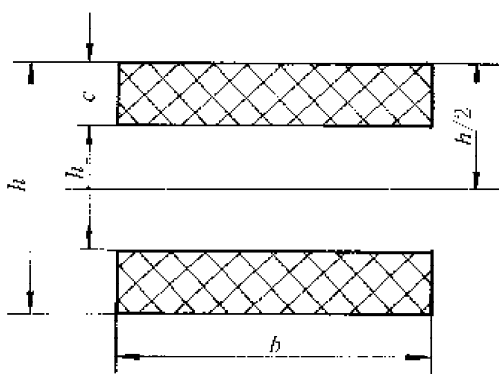


图 1-3-54 平行管截面

$$I = \frac{\pi r^4}{4} = 0.049d^4 = 0.785r^4 \quad (1-3-27)$$

$$Z = \frac{\pi r^3}{4} = 0.098d^3 = 0.785r^3 \quad (1-3-28)$$

6) 平行板、通过中央的惯性矩 (图 1-3-54):

$$I = \frac{b(h^3 - h_1^3)}{12} \quad (1-3-29)$$

$$Z = \frac{b(h^3 - h_1^3)}{6h} \quad (1-3-30)$$

$$h_1 = h - 2c \quad (1-3-31)$$

以上各式中: I ——截面惯性矩, m^4 ;

Z ——截面系数, m^3 。

4. 扭转应力

长方形梁受短时间载荷的扭转应力 (图 1-3-55)按式 (1-3-32) 计算:

$$\phi = \frac{TL}{I_p G_s} \quad (1-3-32)$$

式中: ϕ ——扭转角度;

T ——扭矩;

L ——长度;

I_p ——极惯性矩;

G_s ——剪切弹性模量。

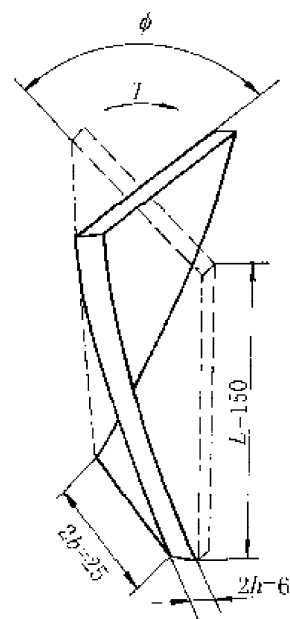


图 1-3-55 长方形梁受短时间载荷的扭转

$$G_s = \frac{E}{2(1+\epsilon)} \quad (1-3-33)$$

式中： E ——纵向弹性模量；

ϵ ——泊松比。

剪切应力计算公式为：

$$\tau = \frac{T(8b + 1.8h)}{8b^2h^2} \quad (1-3-34)$$

5. 热应力

因热膨胀而产生的作用于材料的热应力，可按下式计算：

$$\sigma_t = (\alpha_1 - \alpha_2)E\Delta t \quad (1-3-35)$$

式中： σ_t ——热应力；

E ——材料弹性模量；

α_1, α_2 ——两种材料的线膨胀系数；

Δt ——温度差。

(二) 强度设计

在了解载荷所引起的应力大小的基础上，必须考虑材料能否承受这种外界载荷产生的应力。由于考虑到实际使用时的应力与计算所得应力之间的差异，以及伴随材料自身性的不均匀而带来的偏差和因老化性而带来的持久性因素，在设计时，通常应确定允许应力，并在此基础上确定安全系数。

把破坏前的最大安全应力作为设计计算的基本应力，该应力即为材料的允许应力。在设计时，对绝大多数情况而言，必须根据材料的拉伸强度、屈服点、疲劳强度等来确定允许应力。将拉伸强度、屈服点、疲劳强度等作为基准强度，则基准强度和允许应力的比即为安全系数，表示允许应力的安全程度。

根据工程塑料制品不同形状断面结构及受力形式所计算出的最大应力，即使用应力，必须低于材料的允许应力，否则该制品在使用时即易遭受破坏。

由于考虑到工程塑料的蠕变和疲劳等因素，因此安全系数通常确定得较大，一般为2.25~6.00，以确保制品在蠕变极限和疲劳极限下使用。

又由于工程塑料的力学性能对温度的依存性很大，因此所采用的基准强度必须根据材料在使用温度下的应力-应变曲线中求得。

另外，在设计工程塑料制品时，也可不进行复杂的结构受力分析，而采用等强度设计方法。即通过增加厚度或加强肋等方法使工程塑料制品具有相当于金属的刚性。

工程塑料制品的厚度与金属材料制品厚度的关系为：

$$\text{工程塑料厚度} = \text{金属材料厚度} \sqrt[3]{\frac{E_{\text{金属}}}{E_{\text{工程塑料}}}} \quad (1-3-36)$$

式中， $E_{\text{金属}}$ 、 $E_{\text{工程塑料}}$ 分别代表金属和工程塑料的弹性模量。

四、工程塑料制品结构设计的工艺要求

(一) 尺寸精度

影响工程塑料制品尺寸精度的因素主要有以下几个方面：

1) 模具 包括模具制造精度,模具型芯、顶杆等滑动部分的固定方法,模具的拼合方式,进料口的尺寸以及成型过程中模具的磨损等。

2) 成型物料 包括成型物料的组成、配制工艺、挥发物含量、水分,以及物料的成型收缩率等。

3) 制品形状 包括制品的几何形状、脱模斜度等。

4) 成型工艺 包括成型温度、压力、时间等。

5) 制品成型后的存放条件 包括存放时的温度、湿度等。

工程塑料制品的尺寸大小主要根据制品的使用要求进行设计,并受工程塑料物料的流动性及成型设备的制约。对于流动性较差的工程塑料及薄壁制品,尺寸不宜过大。模压成型制品的尺寸要受到压机最大压力和压机台面最大尺寸的限制;注射成型制品的尺寸则要受到注射机的注射量、锁模力及模板尺寸的限制。

原电子工业部根据我国塑料工业成型技术水平,制订了塑料制品尺寸公差标准 SJ 1372—78 (表 1-3-35),可作为选定一般工程塑料制品公差的主要依据。

表 1-3-35 塑料制品尺寸公差(SJ 1372—78)

公差尺寸,mm	精 度 等 级							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	公 差 数 值,mm							
<3	0.04	0.06	0.08	0.12	0.16	0.24	0.32	0.48
3~6	0.05	0.07	0.08	0.14	0.18	0.28	0.36	0.56
6~10	0.06	0.08	0.10	0.16	0.20	0.32	0.40	0.61
10~14	0.07	0.09	0.12	0.18	0.22	0.36	0.44	0.72
14~18	0.08	0.10	0.12	0.20	0.24	0.40	0.48	0.80
18~24	0.09	0.11	0.14	0.22	0.28	0.44	0.56	0.88
24~30	0.10	0.12	0.16	0.24	0.32	0.48	0.64	0.96
30~40	0.11	0.13	0.18	0.26	0.36	0.52	0.72	1.04
40~50	0.12	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.80	1.20
50~65	0.13	0.16	0.22	0.32	0.46	0.64	0.92	1.40
65~80	0.14	0.19	0.26	0.38	0.52	0.76	1.04	1.60
80~100	0.16	0.22	0.30	0.44	0.60	0.88	1.20	1.80
100~120	0.18	0.25	0.34	0.50	0.68	1.00	1.36	2.00
120~140		0.28	0.38	0.56	0.76	1.12	1.52	2.20
140~160		0.31	0.42	0.62	0.84	1.24	1.68	2.40
160~180		0.34	0.46	0.68	0.92	1.36	1.84	2.70
180~200		0.37	0.50	0.74	1.00	1.50	2.00	3.00
200~225		0.41	0.56	0.82	1.10	1.64	2.20	3.30
225~250		0.45	0.62	0.90	1.20	1.80	2.40	3.60
250~280		0.50	0.68	1.00	1.30	2.00	2.60	4.00
280~315		0.55	0.74	1.10	1.40	2.20	2.80	4.40
315~355		0.60	0.82	1.20	1.60	2.40	3.20	4.80
355~400		0.65	0.90	1.30	1.80	2.60	3.60	5.20
400~450		0.70	1.00	1.40	2.00	2.80	4.00	5.60
450~500		0.80	1.10	1.60	2.20	3.20	4.40	6.40

[注] 表中数值以制品成型后或经必要的后处理后,在相对湿度为 65%,温度为 20℃,放置 24h 后进行测量为准。

在使用表 1-3-35 时,对于基准孔,取表中数值冠以 (+)号;对于基准轴,取表中数值冠以 (-)号;对于中心距尺寸,取表中数值的一半冠以 ($\pm$)号。表 1-3-35 中,1、2 级精度一般不采用,只有在特殊条件下才采用。

由于各种工程塑料收缩率不同,选用表 1-3-35 中的精度等级也各不相同,表 1-3-36 列出了一些工程塑料选用的精度等级。未收入此表中的其它工程塑料品种,可按其自身的尺寸稳定性,参照选择。另外,在选用时,还应考虑脱模斜度对制品尺寸公差的影响情况。

表 1-3-36 工程塑料精度等级的选用

类 别	名 称	建议采用的精度等级		
		高精度	一般精度	低精度
一	ABS 聚碳酸酯 聚砵 聚苯醚 30%玻纤增强工程塑料	3	4	5
二	尼龙 6 尼龙 66 尼龙 610 尼龙 1010 氯化聚醚	4	5	6
三	聚甲醛	5	6	7

(二) 壁厚

根据不同使用条件,各种工程塑料制品都应确定一定的壁厚,以确保足够的强度。但制品的壁过厚也是不合理的,这是因为为此要消耗大量材料而增加成本,其次要增加制品成型后的冷却硬化时间,此外还易产生气泡、凹陷、夹心和导致收缩不均匀,从而造成应力集中,降低强度。

工程塑料制品的壁厚一般在 1~6mm 的范围内,而最常用的为 2~3mm,但大型工程塑料制品的壁厚也有大于 6mm 的。表 1-3-37 列举了一些工程塑料制品的最小壁厚及常用壁厚推荐值。

表 1-3-37 一些工程塑料制品的最小壁厚及常用壁厚推荐值

名称	最小壁厚,mm	壁厚推荐值,mm		
		小型制品	中型制品	大型制品
聚酰胺	0.45	0.76	1.5	2.4~3.2
氯化聚醚	0.90	1.35	1.8	2.5~3.4
聚碳酸酯	0.95	1.80	2.3	3.0~4.5
聚苯醚	1.20	1.75	2.5	3.5~6.4
聚甲醛	0.80	1.40	1.6	3.2~5.4
聚砵	0.95	1.80	2.3	3.0~4.5

工程塑料制品的壁厚与流程(熔体从进料口起流向型腔各处的距离)有密切关系。在通常的工艺条件下,流程的大小与制品壁厚成正比关系,即壁厚越大,允许最大流程越长。

对于聚酰胺等流动性好的工程塑料,其壁厚可按式 (1-3-37)计算:

$$t = \left(\frac{L}{100} + 0.5 \right) \times 0.6 \quad (1-3-37)$$

对于聚甲醛等流动性中等的工程塑料,其壁厚可按式 (1-3-38)计算:

$$t = \left(\frac{L}{100} + 0.8 \right) \times 0.7 \quad (1-3-38)$$

对于聚碳酸酯、聚苯醚、聚砜等流动性差的工程塑料,其壁厚可按式 (1-3-39)计算:

$$t = \left(\frac{L}{100} + 1.2 \right) \times 0.9 \quad (1-3-39)$$

式中: t ——壁厚,mm;

L ——流程,mm。

对同一件制品而言,壁厚应尽可能一致,否则会因冷却或硬化速度不同而产生应力集中。当制品结构必须有厚度不均匀情况存在时,则应使其壁厚平缓过渡,防止突变。图 1-3-56~图 1-3-59 分别就壁厚不均匀、壁厚过大、壁部与底部厚度不均匀,以及制品结构必须有厚度不均匀等情况示出了改进的设计。

(三) 斜度

为了便于工程塑料制品从模具型腔中取出,或从制品中抽出型芯,在设计时必须考虑制品的内外壁应具有足够的脱模斜度 (图 1-3-60)。工程塑料制品的脱模斜度取决于工程塑料的性质、成型收缩率的大小、制品的壁厚和几何形状等。形状复杂、深度越深,则脱模斜度也应加大。壁厚增加会使成型收缩加大,脱模斜度也应适当加大。斜度过小,则脱模困难,会造成表面损伤或破裂。但斜度过大也会影响制品的尺寸精度。表 1-3-38 示出了几种常用工程塑料推荐的脱模斜度。

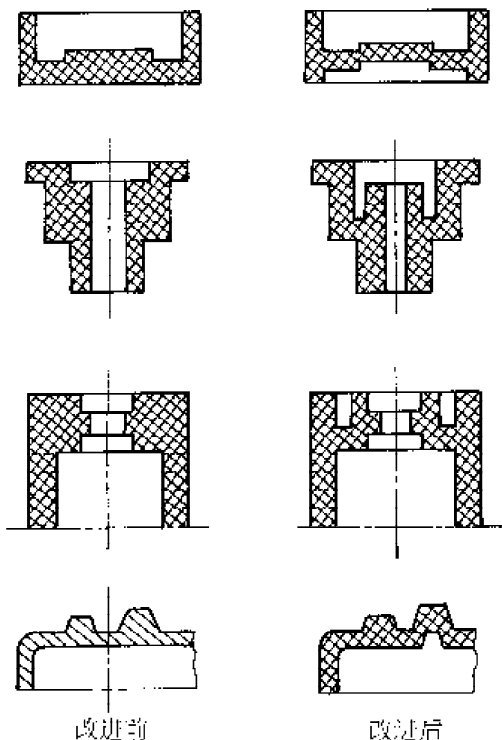


图 1-3-56 塑料制品壁厚不均匀的改进设计

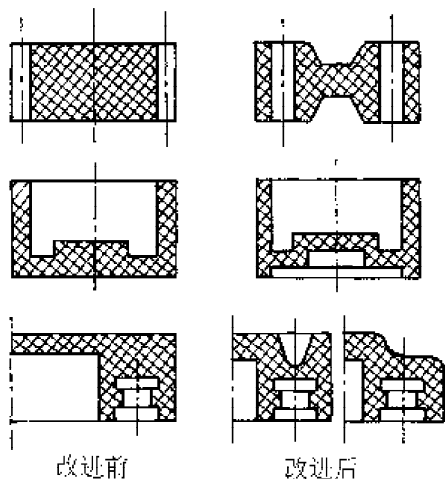


图 1-3-57 塑料制品壁厚过大的改进设计

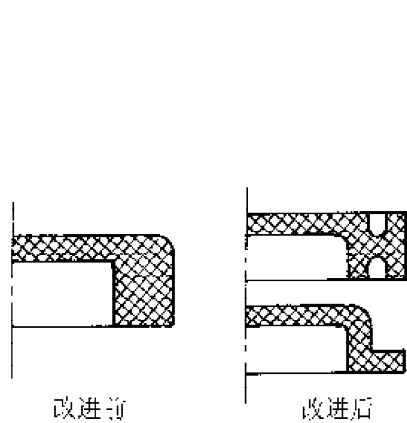


图 1-3-58 塑料制品壁部与底部厚度不均匀的改进设计

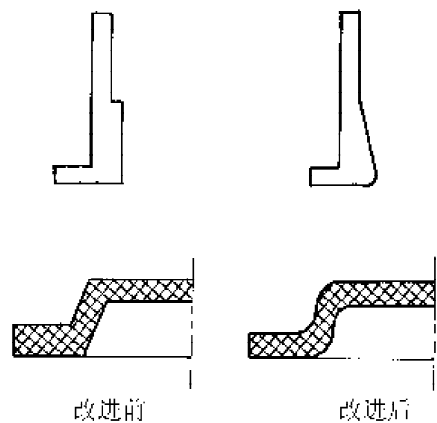


图 1-3-59 塑料制品结构必须有厚度不均匀时的改进设计

表 1-3-38 一些工程塑料推荐的脱模斜度

名 称	脱模斜度	名 称	脱模斜度
聚酰胺	40′~1°30′	改性聚苯醚	40′~1°30′
聚碳酸酯	50′~2°	ABS	40′~1°30′
聚甲醛	40′~1°30′	聚砜	50′~2°

斜度的设计应注意以下几点：

- 1) 制品精度要求高的，应选用较小的脱模斜度。
- 2) 制品较高、较大的，应选用较小的脱模斜度。
- 3) 制品形状复杂、不易脱模的，应选用较大的脱模斜度。
- 4) 工程塑料成型收缩率大的，应选用较大的脱模斜度。
- 5) 制品的壁厚过大的，应选用较大的脱模斜度。
- 6) 如果要求脱模后制品留在型芯一边，则制品的内表面脱模斜度可选用比外表面小；反之，如要求脱模后制品留在型腔一边，则制品外表面脱模斜度应小于内表面。
- 7) 增强工程塑料制品宜选用较大的脱模斜度。
- 8) 含润滑剂的制品宜选用较小的脱模斜度。
- 9) 成型深度较大的制品，不仅要求阴阳模均应有足够的斜度，且阳模斜度应大于阴模斜度，内侧的斜度则应更大些，如图 1-3-61 所示。

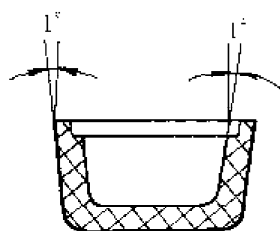


图 1-3-60 工程塑料制品的脱模斜度

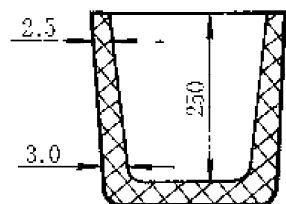


图 1-3-61 深型工程塑料制品的脱模斜度

(四) 加强肋

为了确保工程塑料制品的强度和刚性，而又不致使制品的壁厚过厚，可在制品的适当部位设置加强肋。加强肋还可以避免制品的变形，以及改善制品成型过程中物料的流动性。

图 1-3-62 示出了加强肋的典型尺寸。

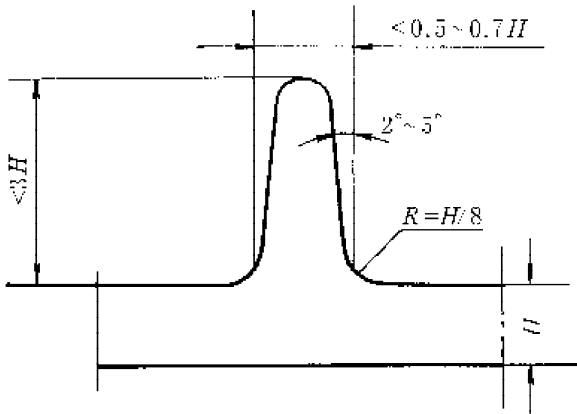


图 1-3-62 加强肋的典型尺寸

加强肋的设计应注意以下几点：

- ① 加强肋的设置方向应与物料流动方向一致。
- ② 加强肋的布局要合理、均匀,应减少、避免因收缩不匀而引起的变形和开裂。
- ③ 加强肋不宜设在大面积的中央部位。
- ④ 加强肋不应设计得过厚,否则容易在其对应的壁上产生凹陷。
- ⑤ 加强肋应有足够的斜度,底部应呈圆弧过渡。
- ⑥ 对于大面积的制品,加强肋应设计得多

一些、矮一些为好。

⑦ 为保证制品的基面平整,加强肋的端面不应与制品的支承面相平,应有大于0.5mm的间隙。

(五) 支承面

当工程塑料制品需要由一个面作为支承面时,在设计时应注意不宜用整个面作为支承面,而应采用凸边或支角的形式来代替。当制品底部有加强肋时,应在设计时使加强肋与支承面有 0.5mm 左右的高度差。而在制品紧固用的凸耳支承面上,为使其有足够的强度以承受紧固力,应避免凸耳台阶的突然过渡,可采用设有加强肋的支承面。表 1-3-39 列举了工程塑料制品不合理的支承面设计和推荐采用的合理设计。

表 1-3-39 工程塑料制品的支承面设计

不合理设计	推荐采用的合理设计	不合理设计	推荐采用的合理设计
1 		3 	
2 		4 	

(六) 圆角

在工程塑料制品设计过程中,为了避免应力集中,提高制品强度,改善物料流动情况及

便于脱模,在制品的各面及内部连接处,均应采用圆弧过渡。圆角大小可由图 1-3-63 确定。

图 1-3-64 示出了内圆角 R 、壁厚 T 与应力集中系数的关系。如果 R 增大,则 R/T 增大,应力集中系数减小;当 R/T 小于 0.25 时变化明显;而当 R/T 大于 0.75 时曲线下降甚微,表明再增大 R 已意义不大。因此, R/T 的选择范围应是 $0.75 > R/T > 0.25$ 。如果圆角过大,有时还会导致制品外表在相应位置出现凹陷。

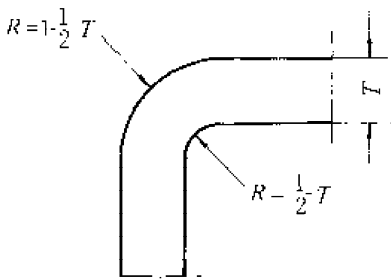
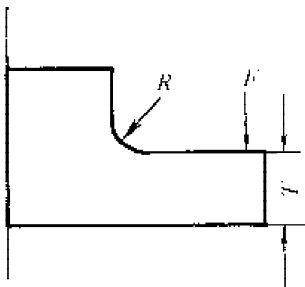
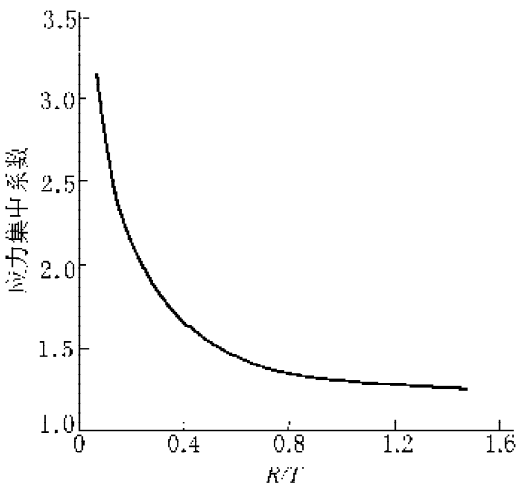


图 1-3-63 两壁相交处的圆角半径



R : 圆角半径
 T : 厚度

图 1-3-64 制品内圆角半径、壁厚与应力集中系数的关系

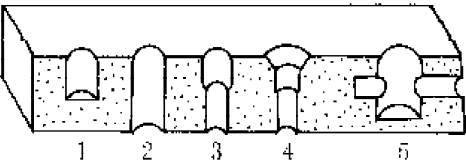


图 1-3-65 孔的各种类型

1—盲孔; 2—通孔; 3—阶梯孔; 4—凹穴阶梯孔; 5—相贯孔

(七) 孔

工程塑料制品由于各种用途的需要,经常设置各种孔眼,其类型如图 1-3-65 所示。

孔的设计应注意以下几点:

① 孔与孔之间及孔与边缘之间均应留有足够的距离。表 1-3-40 示出了孔与孔之间及孔与边缘之间的最小距离。

表 1-3-40 孔与孔之间及孔与边缘之间的最小距离

(单位:mm)

孔 径	孔与孔之间最小距离	孔与边缘之间最小距离
1.6	3.6	2.4
2.4	4.8	2.8
3.2	6.4	4.0
4.8	7.9	5.5
6.4	11.1	6.4
7.9	14.3	7.9
9.5	22.2	8.7
12.7	22.2	11.1

②) 应有适当的孔径与孔深比。图 1-3-66 示出了各种不同的成型方法对应的孔径与孔深之比。图 1-3-67 示出了小孔的直径与深度之比。

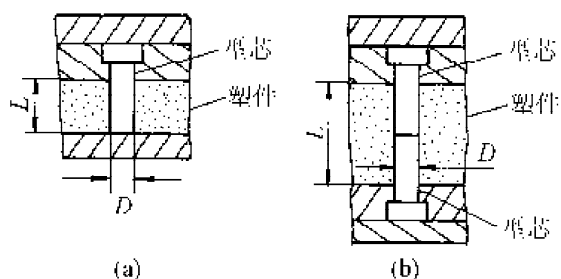


图 1-3-66 孔径与孔深之比

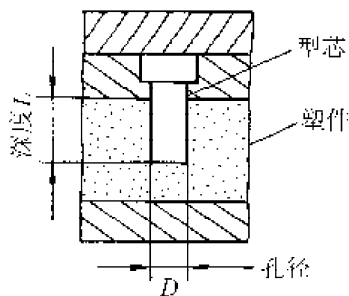
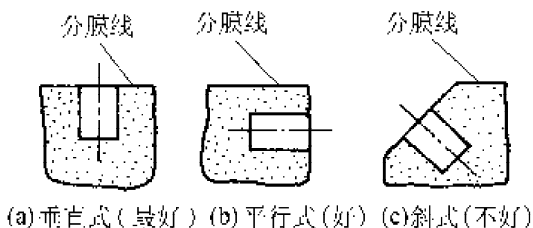


图 1-3-67 小孔的直径与深度之比

③) 孔的轴线应尽量与模具移动方向平行, 即孔的轴线与分模线垂直, 如图 1-3-68 (a) 所示; 必要时孔的轴线也可平行于分模线, 如图 1-3-68 (b) 所示; 但应尽可能避免倾斜, 如图 1-3-68 (c) 所示。



(a) 垂直式 (最好) (b) 平行式 (好) (c) 斜式 (不好)

图 1-3-68 孔的轴线与分模线的相对关系

④) 孔的位置应设置在不易削弱制品强度的地方。除了在孔与孔之间和孔与边缘之间留有足够的距离之外, 对于制品固定用孔及其它受力孔的周围则应予以加强。

⑤) 盲孔底部的最小壁厚应是孔径的 1/6, 否则, 孔底部在成型时会产生下垂现象。如图 1-3-69 (a) 所示; 图 1-3-69 (b) 为盲孔合理的设计, 壁厚均匀, 无尖锐的转角, 无应力集中。

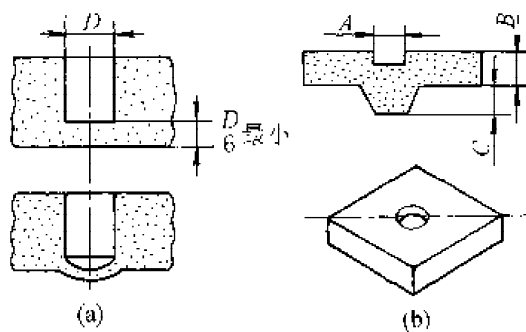


图 1-3-69 盲孔底部设计

(a) 孔底应有适当厚度; (b) 壁厚均匀的盲孔设计
A—孔径; $B = 1 \sim 2)A$; $C = B$

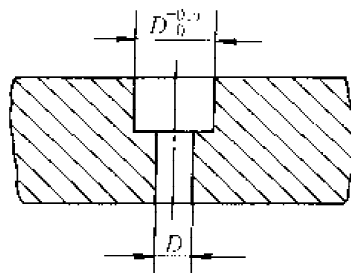


图 1-3-70 对接孔设计

⑥) 两型芯相对的通孔, 为避免上下偏芯, 设计时应将其中一个孔加大, 如图 1-3-70 所示。

⑦) 在制品上应尽量避免针孔和形状复杂的孔。如不可避免时应考虑采用能拼合的型芯来成型。

⑧) 直径过小或深度过大的孔最好采用成型后再用机械加工的方法。在成型时先成型出定位浅孔, 定位浅孔的轴线可垂直或平行于分模线, 然后再进行钻孔。

(八) 凸台

工程塑料制品设置凸台, 其目的是为自攻螺钉或螺杆插入件等紧固件提供坐落部位。

凸台设计应注意以下几点：

- ① 凸台应尽可能设置在制品转角处。
- ② 凸台应有足够的脱模斜度。
- ③ 凸台侧面应采用角撑，以分散载荷。
- ④ 凸台与壁面的接合处应有足够的圆角。
- ⑤ 凸台直径一般应大于或等于孔径的一倍。
- ⑥ 凸台高度应不大于凸台外径的一倍。
- ⑦ 凸台壁厚不应超过其所连接部分壁厚的 3/4，一般为 1/2。
- ⑧ 凸台背面壁部可能会形成凹痕，可通过在凸台背面设计一个装饰点加以弥补。

图 1-3-71 示出了凸台的设计实例。图 1-3-72 为凸台设计的改进。

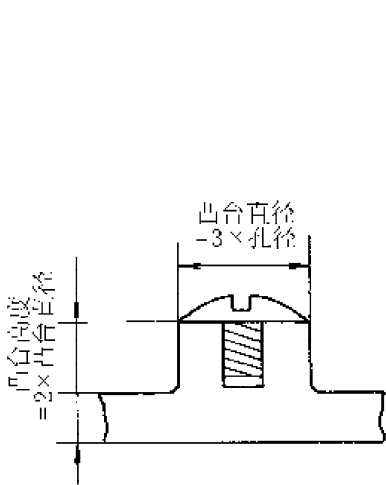


图 1-3-71 凸台设计实例

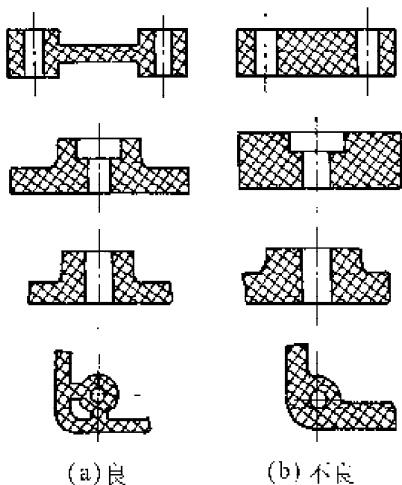


图 1-3-72 凸台设计的改进

(九) 螺纹

工程塑料制品上的螺纹，可以直接成型而得，也可用机械切削等后加工的方法制得。经常装拆及受力较大的部位应采用金属螺纹嵌件。

螺纹直接成型的方法主要有以下几种：

- ① 采用成型杆或成型环在成型后从制品上拧下来。
- ② 外螺纹采用瓣合模成型。
- ③ 要求不高的内螺纹采用强制脱模，但螺牙断面宜设计得浅一些，且呈圆形或梯形断面。

表 1-3-41 列举了工程塑料制品直接成型螺纹的选用范围。

表 1-3-41 工程塑料制品直接成型螺纹的选用范围

螺纹公称直径,mm	螺 纹 种 类				
	公制标准螺纹	1 级细牙螺纹	2 级细牙螺纹	3 级细牙螺纹	4 级细牙螺纹
<3	○	×	×	×	×
3~6	○	×	×	×	×
6~10	○	○	×	×	×
10~18	○	○	○	×	×

续表)

螺纹公称直径,mm	螺 纹 种 类				
	公制标准螺纹	1 级细牙螺纹	2 级细牙螺纹	3 级细牙螺纹	4 级细牙螺纹
18~30	○	○	○	○	×
30~50	○	○	○	○	○

注] ○:可选用;×:不可选用。

螺纹设计应注意以下几点:

- 1) 直接成型的螺距不应小于 0.75mm,如必须小于 0.75mm,则应考虑采用成型后机械加工方法。
- 2) 工程塑料螺纹与金属螺纹的配合长度,一般不大于螺纹直径的 1.5 倍。
- 3) 螺纹的配合应留有 0.1~0.4mm 的间隙。
- 4) 内螺纹始端应设置一台阶孔,孔深 0.2~0.8mm,螺纹牙应渐渐凸起;外螺纹始端也应下降 0.2mm 以上,末端不宜延长至与垂直底面连接处。
- 5) 螺纹的始端和末端均不应突然开始和结束,而应有过渡部分,其尺寸见表 1-3-42 所示。

表 1-3-42 工程塑料制品直接成型螺纹始末部分尺寸选用表

螺纹直径,mm	始末部分长度,mm		
	螺距<0.5mm	螺距 0.5~1mm	螺距>1mm
<10	1	2	3
10~20	2	2	4
20~34	2	4	6
34~52	3	6	8
>52	3	8	10

6) 在同一螺纹型芯上有前后两段螺纹时,应使两段螺纹旋转方向相同,螺距相等,否则无法将制品从螺纹型芯上拧下;当螺距不等或旋转方向不同时,应采用将两段型芯组合在一起,成型后分段拧下。

7) 采用机械加工螺纹时,应在制品上先钻孔或开槽,以免孔入口处发生破裂。

(十) 嵌件

工程塑料制品常采用各种形状、各种材料的嵌件,压入制品中形成不可卸的连接。

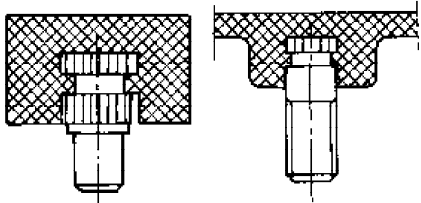
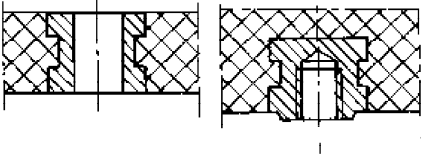
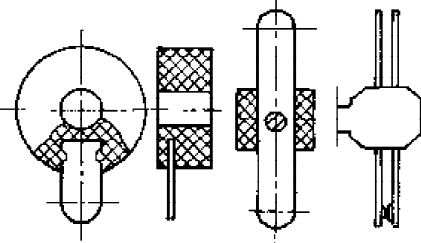
采用嵌件的目的是:

- 1) 增加工程塑料制品局部的强度、硬度、耐磨性、导电导磁性。
- 2) 增加尺寸和形状的稳定性和提高精度。
- 3) 降低工程塑料的消耗。
- 4) 满足连接、安装等要求。

采用嵌件一般会增加制品的成本,使模具结构复杂化,而且向模具中安装嵌件会降低生产效率,难于实现自动化。

多数嵌件系由金属制成,也有用玻璃、木材及已成型的塑料等制成。常用的金属嵌件种类见表 1-3-43 所示。

表 1-3-43 金属嵌件的种类

种 类	图 形	说 明
圆 柱 形		一般为螺杆、轴销、接线柱等
套形、管形		一般为细纹套、轴套、冲制拉伸而成的薄壁套管等
板形、片形		一般为导电片、接触片等
其它形式	一般为起增强作用的嵌件,以及其它较复杂的不规则形状嵌件	

嵌件设计应注意以下几点:

- 1) 嵌件材料的线膨胀系数应与制品材料的线膨胀系数尽可能接近,以减小内应力,防止制品开裂。
- 2) 嵌件周围的工程塑料层应有足够的厚度,以避免制品因收缩而开裂。表 1-3-44 列举了不同直径嵌件周围工程塑料层最小厚度的推荐值。

表 1-3-44 嵌件周围工程塑料层最小厚度推荐值

工程塑料名称	嵌 件 直 径,mm					
	φ3.2	φ6.4	φ9.5	φ12.7	φ19.0	φ25.4
ABS	3.2	6.4	9.5	12.7	19.0	25.4
聚酰胺	3.2	6.4	9.5	12.7	19.0	25.4
聚碳酸酯	1.6	3.2	4.7	6.4	9.5	12.7
聚甲醛	1.6	3.2	4.7	6.4	9.5	12.7
改性聚苯醚	1.6	3.2	4.7	6.4	9.5	12.7

- 3) 嵌件应尽可能采用圆形或对称形状,以使制品在发生收缩时能保持均匀。
- 4) 嵌件各尖角部位应倒成圆角,以减少内应力。
- 5) 小型圆柱形嵌件可采用滚花和开槽结构,以提高嵌件与制品的连接强度。
- 6) 圆杆形嵌件,如起导电作用须保持一定截面时,可在嵌件中间压扁,并以此作固定嵌件用。
- 7) 嵌件设计应考虑制品安装方便,定位正确牢固,成型时有利于物料流动,模具制造

方便。

8) 为防止细长形或薄片形嵌件成型时弯曲变形,应采用销轴支承结构。

9) 工程塑料制品的金属导体或装饰件,可在成型后装配。

第四节 注 射 成 型

注射成型又称注射模塑、注塑,是塑料成型物料在注射机加热料筒中塑化后,由螺杆或柱塞注射到闭合模具的模腔中形成制品的成型方法。

注射成型能加工外形复杂、尺寸精确或带嵌件的制品,生产效率高,除聚四氟乙烯、均苯型聚酰亚胺之外的大多数工程塑料均可采用此法进行成型。

注射成型主要是通过注射机和模具来完成的。通常把塑料成型物料、注射机和模具称为注射成型三要素;而把成型压力、成型温度和成型周期称为注射成型三原则。

近年来,在通用的注射成型基础上,又发展了其它许多先进的注射成型方法,以适应新塑料品种及新塑料制品的工艺要求,如共注射成型、反应注射成型、流动注射成型、旋转注射成型及吹塑注射成型等。

一、注射成型设备

注射成型设备主要是注射机,它由注射系统、锁模系统和模具三部分组成。注射机的类型和规格很多,按外形特征可分为立式、卧式、直角式等,其中立式和直角式主要用于一次注射量在 60g 以下的小型注射制品,卧式适用于一次注射量在 60g 以上的大、中型注射制品。另外还有带旋转台的类型,旋转台可装置多副模具。按塑化方式和注射方式,注射机可分为柱塞式和螺杆式,其中柱塞式主要用于一次注射量在 60g 以下的小型注射制品,螺杆式适用于大于 60g 的注射制品,是目前使用最广泛的注射机。

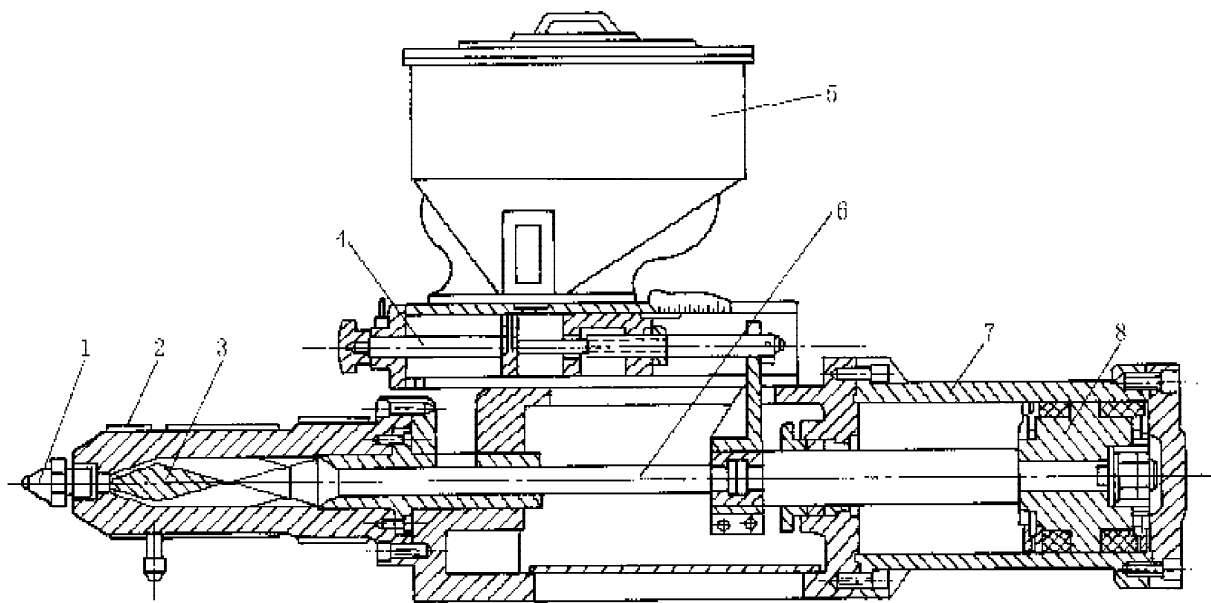


图 1-3-73 柱塞式注射机装置

1—喷嘴; 2—加热器; 3—分流梭; 4—计量装置; 5—料斗; 6—柱塞; 7—注射油缸; 8—注射活塞

注射机的规格,通常用一次注射量来表示,注射量的表示方法有两种:一种是质量法,即用注射出熔融物料的质量表示注射量的大小;另一种是容积法,即用注射出熔融物料的容积表示注射量的大小,此法与物料的密度无关,因此较为方便可行。目前我国注射机规格已经统一,即按容积法表示。

图 1-3-73 示出了柱塞式注射机的装置图。图 1-3-74 示出的是注射量为 500cm³ 的螺杆式注射机 (型号 XS-ZY-500)的装置图。表 1-3-45 列举了部分国产注射机的规格及主要性能参数。

表 1-3-45 注射机的规格及主要性能参数

项 目	XS-ZS-30	XS-ZS-60	XS-ZY-125	XS-ZY-500	XS-ZY-1000	XS-ZY-4000
类型	柱塞式	柱塞式	螺杆式	螺杆式	螺杆式	螺杆式
注射量,cm ³	30	60	125	500	1 000	4 000
螺杆直径,mm			42	65	85	130
柱塞直径,mm	28	38				
注射压力,MPa	120	122	120	104	121	106
注射行程,mm	130	170	115	200	260	370
注射时间,s	0.7	2.9	1.6	2.7	3.0	6.0
螺杆转速,r /min			29~101	20~80	21~83	16~74
锁模力,kN	250	500	900	3 500	4 500	10 000
最大成型面积,cm ²	90	130	320	1 000	1 800	3 800
模板最大行程,mm	160	180	300	500	700	1 100
模具最大厚度,mm	180	200	300	450	700	1 000
模具最小厚度,mm	60	70	200	300	300	700
拉杆空间,mm	235	190×300	260×290	540×40	650×550	1 050×950
模板尺寸,mm	250×280	330×440	428×458	700×850		
锁模方式	液压机式	液压机式	液压机式	液压机式	稳定式	稳定式
油泵流量,L /min	50	70, 12	100, 12	200, 25	200, 18	50
油泵压力,MPa	6.5	6.5	6.5	6.5	14	20
电机功率,kW	5.5	11	10	22	40	17
螺杆驱动功率,kW			4	7.5	13	30
模具定位孔径,mm	φ55D	φ55D	φ100D	φ150D	φ200D	φ300D
喷嘴球径,mm	R12	R12	R12	R18	R19	R18
整机外形尺寸,m	2.34×0.8×1.46	3.61×0.85×1.55	3.34×0.75×1.55	6.5×1.3×20	7.67×1.74×2.38	11.5×3.0×4.5
整机总重,t	0.9	2.0	3.5	12	20	65

(一) 注射系统

注射系统是注射机最主要的部分,其作用是使塑料物料均化和塑化,并在很高的压力和较快的速度下,通过螺杆或柱塞的推挤,将均化和塑化的物料注入模具。注射系统主要由加料装置、料筒、螺杆 (螺杆式)、柱塞和分流梭 (柱塞式)、喷嘴等部件组成。

1. 加料装置

小型注射机的加料装置,一般为与料筒相连的锥形漏斗。料筒的容量约为生产 1~2h 用料量。容量过大,物料会从空气中重新吸湿,对制品的品质不利。只有配置加热装置的料斗,方可适当增大容量。使用锥形漏斗时,如塑料颗粒不匀,则在设备运转时所产生的振动会引起料斗中小颗粒或粉料的沉析,影响物料的松密度,造成前后加料不均匀。锥形料斗用于柱塞式注射机时,一般应配置定量或定容的加料装置。

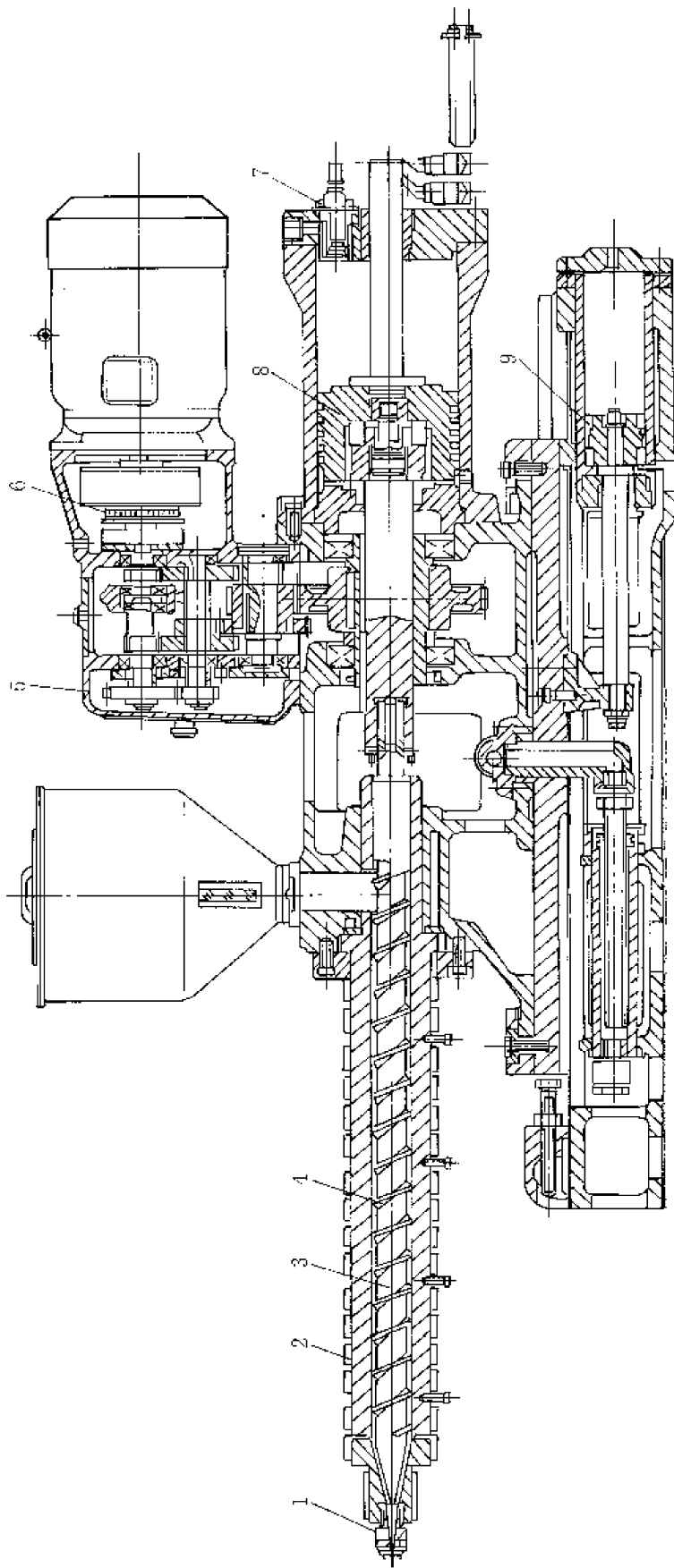


图 1-3-74 XS-ZY-500 注射机装置

1—喷嘴; 2—加热器; 3—螺杆; 4—料筒; 5—减压器; 6—离合器; 7—背压阀; 8—注射缸活塞; 9—整体移动缸活塞

大型注射机上用的料斗基本上也是锥形的,但需另行配有自动上料的装置。

2. 料筒

料筒为物料加热和加压的容器,因此要求料筒能耐压、耐热、耐疲劳、耐腐蚀和传热性好。柱塞式注射机的料筒容积约为最大注射量的 4~8 倍。容积过大时,物料在高温料筒内受热时间较长,可能引起分解和变色,影响制品品质;容积过小时,物料在料筒内受热时间太短,塑化不均匀。螺杆式注射机因为有螺杆在料筒内对物料进行搅拌,料层较薄,传热效率高,塑化均匀,因此在一般情况下,料筒容积只需为最大注射量的 2~3 倍。

料筒外部配有加热装置,一般将料筒分为 2~3 个加热区,使其能进行分段加热和控制。近料斗一端的温度较低,靠喷嘴一端的温度较高。料筒各段温度通过热电偶和恒温控制仪表进行精确控制。料筒内壁转角处均应制成流线型,以防存料而影响制品品质。

料筒的结构大多采用整体式,通常采用含铬、钼、铝的特殊合金钢制造,并经氮化处理,氮化层深约 0.5mm。料筒的壁厚主要按强度和结构要求来确定 (表 1-3-46)。

表 1-3-46 注射机料筒壁厚

料筒壁厚,mm	螺杆直径,mm	外径与内径比	注射压力,MPa
25	34	2.46	126
29	42	2.50	119
35	50	2.40	130
47.5	65	2.46	104
47	85	2.10	120
75	110	2.35	90
75	130	2.19	106
60	150	1.80	85

3. 螺杆

螺杆是螺杆式注射机的重要部件,其作用是对物料进行输送、压实、塑化和加压。按结构形式螺杆可分为渐变型和突变型两大类。渐变型螺杆是指由加料段较深螺槽向均化段较浅螺槽的过渡,是在一个较长的螺杆轴向距离内完成的;而突变型螺杆的上述过渡是在较短的螺杆轴向距离内完成的。图 1-3-75 示出了这两类螺杆的基本结构。

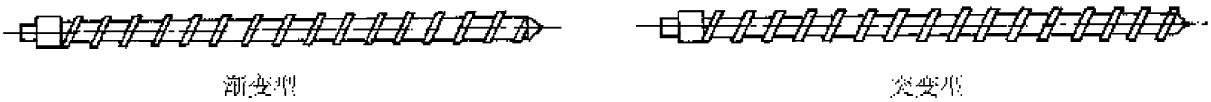


图 1-3-75 渐变型螺杆和突变型螺杆

除渐变型和突变型之外,还有一种通用型螺杆,其压缩段长度介于渐变型和突变型之间,约 $2\sim 3D$,以适应结晶性塑料和非结晶性塑料的需要。之所以有通用型螺杆,是因为在注射成型过程中,经常更换塑料品种,拆除螺杆比较频繁,要花费大量人力和时间,从而影响生产,因此通常采用通用型螺杆,用调整工艺条件 (温度、螺杆转数、背压等)来满足不同物料的要求。采用通用型螺杆虽然可以提高螺杆的适应性,但是其塑化效率较低,使用性能比不上渐变型或突变型这些专用型螺杆。

注射机螺杆的基本参数见图 1-3-76 所示。

1) 螺杆的直径 D_s 与行程 螺杆的直径应从保证注射量和塑化能力来加以确定。一次

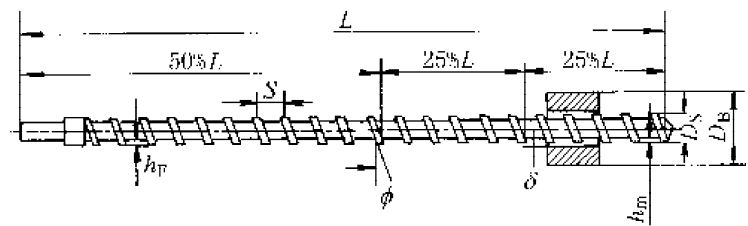


图 1-3-76 注射机螺杆的基本参数

D_B —料筒外径； D_S —螺杆直径； h_m —均化段螺槽深度； h_F —加料段螺槽深度； L —螺杆长度； ϕ —螺纹角； δ —径向间隙； S —螺距

最大注射量是根据螺杆直径与最大行程决定的。一般螺杆的行程与直径之比 $R = 2 \sim 4$ ，常取 3 左右。

2) 螺距 (S)和径向间隙 (δ) 注射机螺杆一般具有恒定的螺距，且螺距与螺杆直径相等。螺杆梭顶的宽度一般为直径的 10%。螺杆与料筒的径向间隙通常为 $(0.002 \sim 0.005) D$ 。表 1-3-47 示出了注射机系列标准规定的径向间隙。

表 1-3-47 螺杆与料筒的径向间隙

螺杆直径,mm	径向最大间隙,mm	径向最小间隙,mm
30、35、40、50	0.30	0.18
55、60、80	0.40	0.25
100、115	0.45	0.30
130、150、170	0.55	0.35
200、220、250	0.56	0.40
280、310、350	0.80	0.50

3) 螺杆的长径比 (L/D)和分段长度 注射机螺杆的长径比 (L/D)一般为 15~18，也可加长至 20。长径比大，塑化效果好，温度均匀，混炼效果也好，还可在保证塑化品质的前提下，提高螺杆转速，增加塑化量。但从制造的角度看，需要效果好而短的螺杆，因为短的螺杆制造容易，也可以缩短注射机的机身，减轻注射机质量，便于清理螺杆。

表 1-3-48 列举了各类螺杆的分段长度。其中 L_1 为加料段， L_2 为压缩段， L_3 为均化段(计量段)。

表 1-3-48 螺杆的分段长度

螺杆类型	L_1	L_2	L_3
渐变型	30%~35%	50%	15%~20%
突变型	65%~70%	$1 \sim 1.5 D$	20%~25%
通用型	45%~50%	20%~30%	20%~30%

4) 螺槽深度 (h)和压缩比 (h_m/h_F) 注射机螺杆均化段的螺槽深度 h_m 是螺杆的重要参数之一。它根据物料的比热容、导热性、热稳定性、粘度及塑化压力等因素决定。 h_m 小，剪切热大，功率消耗大；相反， h_m 大，可以提高塑化能力。 h_m 一般为 $(0.04 \sim 0.07) D$ ，小直径取大值，大直径取小值。

注射机螺杆的压缩比，是均化段螺槽深度与加料段螺槽深度之比，即 h_m/h_F 。对聚酰胺等结晶性工程塑料，一般取 3.0~3.5；对聚甲醛等粘度高的工程塑料，一般取 1.4~2.0。通用型螺杆可取 2.0~2.8。

当压缩比和 h_m 确定后,即可确定加料段的螺槽深度 h_F 。

表 1-3-49 列举了部分注射机的螺杆参数。

表 1-3-49 部分注射机的螺杆参数 (单位:mm)

螺杆直径 D	螺杆长度 L	长径比 L/D	分段长度			螺槽深		h_m h_F	螺距 S	螺纹截面			注射机型号
			L_1	L_2	L_3	h_F	h_m			R_1	R_2	e	
42	717	17.1	480	40	197	2.7	7.5	2.8	40	2	7	4	XS-ZY-125
42	745	17.5	220	400	125	3.0	7.5	2.5	40	3	7	4	XS-ZY-125
50	770	15.5	458	50	262	3.0	8.0	2.6	50	3	6	5	XS-ZY-250
50	803	16.0	233	350	220	3.3	8.0	2.4	50	3	6	5	XS-ZY-250
65	1 056	16.5	746	70	240	3.0	9.5	3.2	65	3	11	7	XS-ZY-500
65	1 056	16.5	330	560	249	3.5	8.0	2.3	65	3	11	7	XS-ZY-500
85	1 280	15.1	850	100	330	4.5	14.0	3.1	80	6	12	8	XS-ZY-1000
85	1 310	15.5	450	600	260	5.5	13.5	2.5	80	6	12	8	XS-ZY-1000
90	1 875	20.8	390			5.0	10.0	2.0	90	4	10	9	SZY-2000
110	1 875	17.0	1 405	110	360	5.0	14.0	2.8	110	4	12	11	SZY-2000
120	1 875	15.5	1 395	120	360	4.0	15.0	2.7	120	4	12	12	SZY-2000
130	1 925	14.8	1 315	130	480	5.5	19.0	3.5	120	5.5	16.5	12	XS-ZY-4000
130	2 020	15.5	1 550	1 065	405	7.0	16.8	2.4	180	5.5	14.5	12	XS-ZY-4000
110	2 090	19.0				5.0	12.5	2.5	112	4	8	12.6	T-S-ZY-7000
150	2000	13.3				7.0	17.5	2.5	144	5	10	10.5	T-S-ZY-7000

为了减少注射时物料流动的阻力,尤其是在成型热敏性、高粘度物料时,避免发生螺杆头处排料不干净而造成的滞料分解现象,注射机螺杆头多采用尖头结构形式。

另外,为了进一步提高螺杆的塑化能力,对物料提供尽量大的剪切作用,获得较低温度下的熔体,从而降低成型制品的内应力,近年来出现了各种类型的新型螺杆,它们通常是在螺杆的计量段增设一些各种类型的混炼剪切元件,常见的有屏障型、销钉型和分流型等。图 1-3-77 示出了带有不同混炼剪切元件的新型螺杆的结构形式。

4. 柱塞和分流梭

柱塞和分流梭是柱塞式注射机的重要部件,其作用是将注射油缸的压力传递给物料并使之注射入模具。柱塞直径通常为 20~100mm,注射油缸与柱塞截面积的比例范围在 10~20 之间。注射机每次注射的最大注射容量是柱塞的行程与柱塞截面积的乘积。柱塞和料筒的间隙应以柱塞能自由地往复运动而又不会漏料为原则。

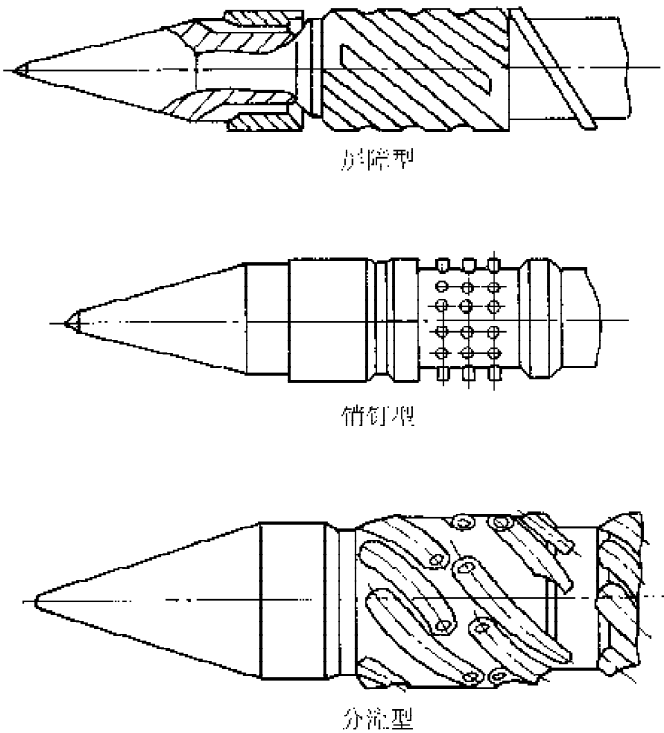


图 1-3-77 带有不同混炼剪切元件的新型螺杆

分流梭是装在料筒前端内腔中而形状似鱼雷体的部件。其作用是使料筒内的物料分散为薄层并均匀地处于或流过料筒和分流梭组成的通道,从而缩短传热导程,加快热传递和提高塑化品质。物料在柱塞式注射机内升温所需热量,主要是靠料筒外部加热器所供给,但物料在料筒内的流动,通常都是层流流动,所受剪切速率不高,且粘度较大,而塑料的导热系数又很低,这样,如通过提高料筒外部温度梯度来增加传热量,以求塑化均匀,不仅会延长塑化时间,而且使靠近料筒部分的物料容易发生热分解。装上分流梭后,可使料层变薄,有利于加热;分流梭还装有紧贴料筒壁起定位作用的若干肋条,因此热量就可从料筒通过肋条传到分流梭而加热物料,使分布在通道内的薄层物料受到内外两面加热。另外,在通道内,由于料层截面积减小,熔融物料所受的剪切速率和摩擦热都会增加,致使其粘度下降,从而有利于传热和注射。图 1-3-78 示出了分流梭的结构。

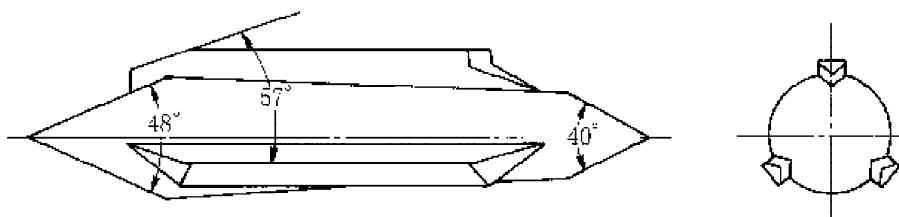


图 1-3-78 分流梭结构图

5. 喷嘴

喷嘴是连接料筒和模具的部件。熔融的物料在螺杆或柱塞的作用下,以相当高的压力和速度通过喷嘴注射到模具的型腔中。当熔融物料高速流经喷嘴时,受到较大的剪切力作用,有部分压力通过节流损失而转化为热能,使物料温度上升;同时熔料的部分压头转变为速度头,使物料以更高速度射入模腔。当进行保压时,还要求有少量熔料经喷嘴向模腔补充。

喷嘴的类型很多,结构各异,目前用得较为普遍的是以下几种:

1) 通用式喷嘴 (图 1-3-79) 其优点是结构简单,制造方便,注射压力可降低。缺点是无加热装置,冷料有进入制品的可能;加工熔体粘度低的塑料时,有流涎作用。通用式喷嘴主要适用于通用塑料的注射成型。

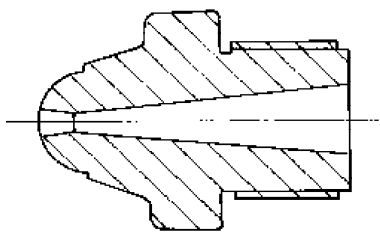


图 1-3-79 通用式喷嘴结构示意图

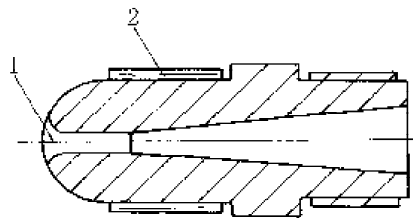


图 1-3-80 延伸式喷嘴结构示意图

1—喇叭口; 2—电热圈

2) 延伸式喷嘴 (图 1-3-80) 其是通用式喷嘴的改进类型,有加热装置,杜绝了冷流的产生;注射压力降小,补料作用大,注射进程长。缺点如果是温度控制不当,易产生冷却和流涎。延伸式喷嘴适用于聚烯烃、聚苯乙烯等通用塑料及 ABS、聚甲醛、聚酰胺等工程塑料的注射成型。

3) 弹簧针阀式喷嘴 (图 1-3-81) 其优点是杜绝了熔体粘度较低的塑料的流涎作用。缺点是结构复杂,制造困难,注射压力降较大,补料作用小,注射流程较短。弹簧针阀式喷嘴适用于聚酰胺、PET 等工程塑料及泡沫塑料等的注射成型。

要使喷嘴与模具相吻合,喷嘴的凸球面圆弧与模具主流道衬套的凹球面圆弧必须一致,同时喷嘴的喷孔直径一定要比主流道直径小 0.5~1.0mm,并在同一中心线上。这样既能防止漏料现象,又能避免死角。喷嘴的喷孔直径见表 1-3-50 所示。

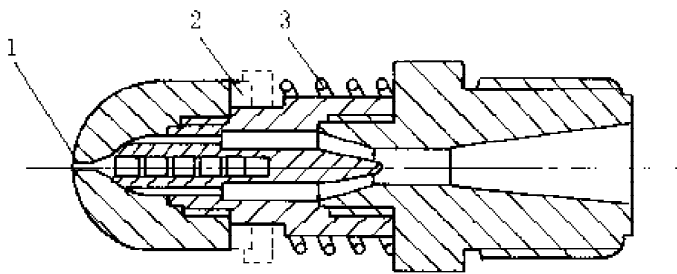


图 1-3-81 弹簧针阀式喷嘴结构示意图
1—顶针；2—导杆；3—弹簧

表 1-3-50 喷嘴的喷孔直径

喷嘴形式	喷 孔 直 径,mm					
	注射量 20~30g	注射量 60g	注射量 200~400g	注射量 500g	注射量 1 000g	注射量 4 000g
通用式喷嘴	2	3	4			
延伸式喷嘴		4	6	8	10	13
弹簧针阀式喷嘴		1.5	2	3	4	6

6. 加压和驱动装置

加压装置是使柱塞或螺杆在柱塞周期中产生必要的往复运动进行注射的设施,其动力源有液压和机械两种,目前以液压为主,且多采用自给式油压系统供压。

驱动装置是驱动螺杆转动而使其完成对物料塑化的装置,常用的驱动器有单速交流电机和液压电机两种,由于液压电机驱动螺杆调速范围较大,启动惯性小,易平滑地实现螺杆转速的无级调速,装置体积小,结构简单,因此目前多采用液压电机。

(二) 锁模系统

锁模系统的主要作用是在注射过程中能锁紧模具,而在取出制品时能打开模具。在注射成型时,熔融物料通常以 40~200MPa 的高压注入模具,但由于注射系统的阻力,使压力损失,实际施加于模腔内熔体的压力远小于注射压力,一般约为注射压力的 40%~70%,因此所需的锁模压力比注射压力要小,但应大于或等于模腔内的压力才不致在注射时引起模具离缝而产生溢边现象。

锁模结构应保证模具启闭灵活、准确、迅速、安全。从工艺要求来说,启闭模具时要有缓冲作用,模板的运行速度应在闭模时先快后慢,而在开模时应先慢后快再慢,以免损坏模具及制品,延长机器和模具的使用寿命。

启闭模板的最大行程,决定了注射机所能生产制品的最大厚度,而在最大行程以内,模板的行程是可以调整的。

锁模系统中启闭模具和锁模的机构,主要有以下三种型式。

1. 机械式

机械式是以电机通过齿轮或蜗轮、蜗杆减速传动曲臂或以杠杆动曲臂的机构来实现启闭模和锁模作用的。这种型式结构简单,制造容易,使用和维修方便。缺点是启动负荷大,

噪声大,零部件易磨损,模板行程短,因此一般只适用于小型注射机。

2. 液压式

液压式是以油缸和柱塞并依靠液压力推动柱塞作往复运动来实现启闭模和锁模作用。这种型式移动模板和固定模板之间的开档较大,移动模板可在行程范围内的任意位置停留,易于安装和调整模具。缺点是需配备较大功率的液压系统,投资较大。

3. 液压-机械组合式

液压-机械组合式是以液压操纵连杆或曲肘撑杆机构来实现启闭模具和锁模作用,是目前较多采用的型式。其结构如图 1-3-82 所示。这种结构的连杆或曲肘自身均有增力作用,即使撤除液压,锁模力也不会消失,因此液压系统只用于操纵连杆或曲肘运动,所需载荷不大,从而节省了投资。另外,机构的运动特性能满足工艺要求,肘杆推动模板闭合时,其速度可先快后慢,而在开模时又可以先慢后快再慢,锁模可靠。缺点是机构较易磨损和调模较麻烦。

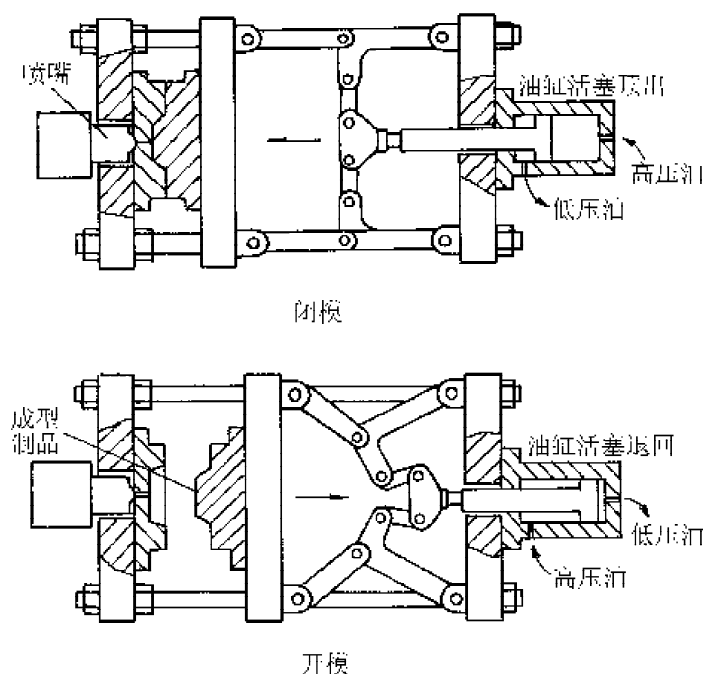


图 1-3-82 液压-机械组合式锁模系统结构示意图

(三) 模具

注射模具主要由浇注系统、成型零件和结构零件三部分组成。浇注系统是指塑料熔体从喷嘴进入型腔前的流道部分,包括主流道、分流道、浇口等。成型零件是指构成制品形状的各种零件,包括动模型腔、定模型腔、型芯、排气孔等。结构零件是指构成模具结构的各种零件,包括执行导向、脱模、抽芯、分型等动作的各种零件。

按照总体结构特征,注射模具可以分为以下几种:

1. 单分型面注射模具

单分型面注射模具又称双板式注射模具,是注射模具中最简单的一种(图 1-3-83)。构成型腔的一部分在动模上,另一部分在定模上。主流道设在定模一侧,分流道设在分型面上,开模后制品连同流道凝料一起留在动模一侧。动模上设有顶出装置,用于顶出制品和流道凝料。

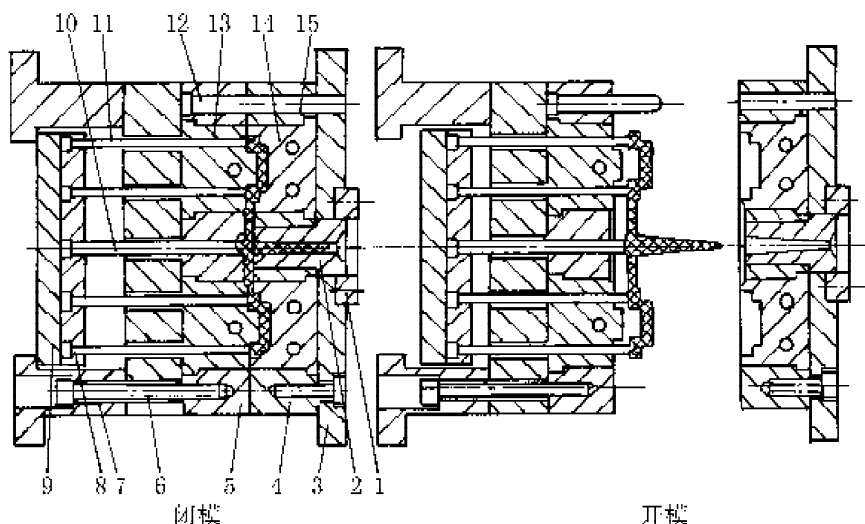


图 1-3-83 单分型面注射模具

1—定位环；2—主流道衬套；3—定模底板；4—定模板；5—动模板；6—动模垫板；7—模脚；8—顶出板；9—顶出底板；10—拉料杆；11—顶杆；12—导柱；13—凸模；14—凹模；15—冷却水通道

2. 双分型面注射模具

双分型面注射模具又称三板式注射模具（图 1-3-84）。浇注系统凝料和制品由不同的分型面取出，与单分型面注射模具相比，增加了一个可移动的中间板。开模时，中间板与固定模板作定距离分离，以便取出这两块板间的浇注系统凝料。

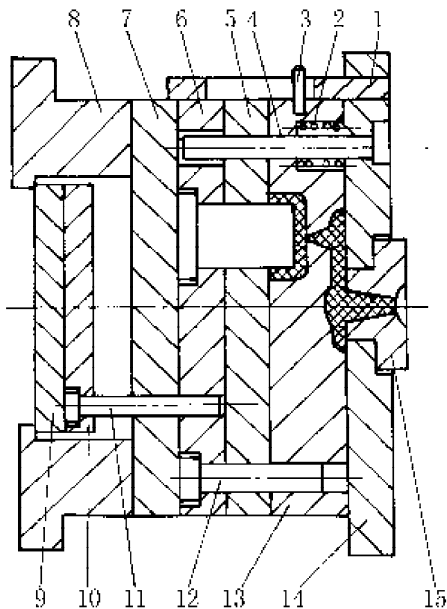


图 1-3-84 双分型面注射模具

1—定距拉板；2—弹簧；3—限位钉；4—导柱；5—脱模板；6—型芯固定板；7—动模垫板；8—模脚；9—顶出底板；10—顶出板；11—顶杆；12—导柱；13—中间板；14—定模板；15—主流道衬套

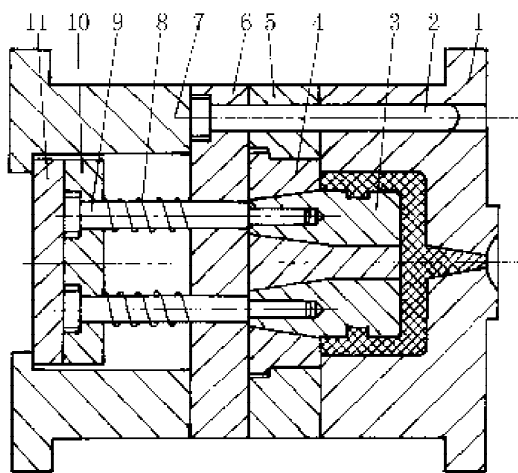


图 1-3-85 带活动镶件的注射模具

1—定模板；2—导柱；3—活动镶件；4—型芯；5—动模板；6—动模垫板；7—模脚；8—弹簧；9—顶杆；10—顶出板；11—顶出底板

3. 带活动镶件的注射模具

带活动镶件的注射模具设有活动的螺纹型芯或侧向型芯等（图 1-3-85）。开模时，这些部件不能简单地沿开模方向与制品分离，必须在制品脱模时连同制品一起移出模外，然后通

过手工或简单工具使它与制品分离。模具的这些活动镶件装入模具时,应可靠地定位,以免造成制品报废或模具损坏。

4. 横向分型轴芯注射模具

横向分型轴芯注射模具适用于有侧孔或侧凹的制品,设有斜导柱或斜滑块等横向分型抽芯机构(图 1-3-86)。开模时,利用开模力带动侧型芯作横向移动,使其与制品分离。也有在模具上装设液压缸或气压缸带动侧型芯作横向分型抽芯的。

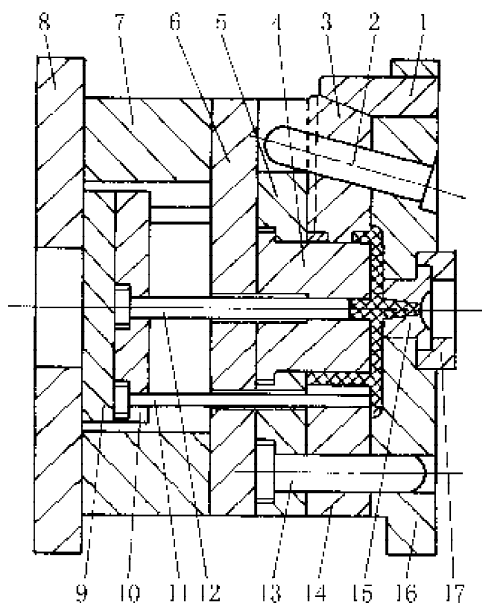


图 1-3-86 横向分型轴芯注射模具

1—压紧楔形块; 2—斜导柱; 3—侧型芯滑块; 4—型芯;
5—固芯板; 6—动模垫板; 7—支架; 8—动模底板; 9—顶
出底板; 10—顶出板; 11—顶杆; 12—拉料杆; 13—导柱;
14—动模板; 15—主流道衬套; 16—定模板; 17—定位环

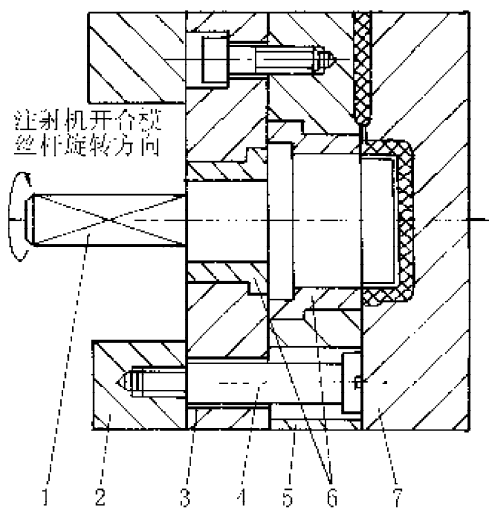


图 1-3-87 自动卸螺纹注射模具

1—螺纹型芯; 2—模脚; 3—动模垫板; 4—定距螺钉;
5—动模板; 6—衬套; 7—定模板

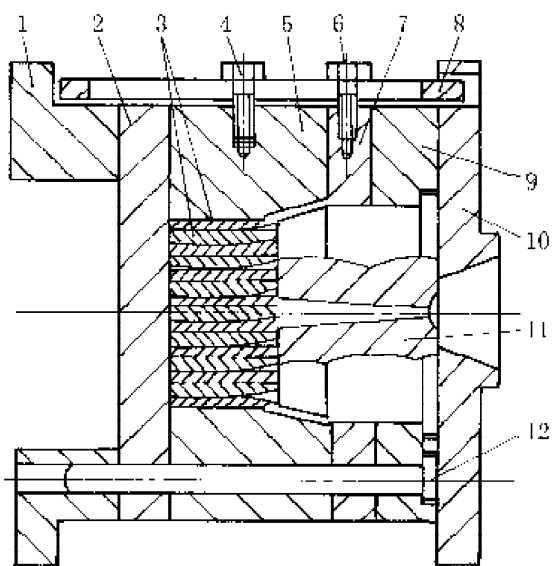


图 1-3-88 定模设顶出装置的注射模具

1—模脚; 2—动模垫板; 3—成型镶片; 4—螺钉;
5—动模; 6—销钉; 7—脱模板; 8—拉板; 9—定模
板; 10—定模底板; 11—凸模型芯; 12—导柱

5. 自动卸螺纹注射模具

自动卸螺纹注射模具适用于要求自动脱模的带有内螺纹或外螺纹的制品,设有可转动的螺纹型芯或型环(图 1-3-87)。利用机床的旋转运动或往复运动,或装置专门的原动机件和传动装置,带动螺纹型芯或型环转动,使制品脱出。用于直角式注射机,主螺纹型芯由注射机开合模的丝杆带动旋转使其与制品分离。

6. 定模设顶出装置的注射模具

定模设顶出装置的模具适用于制品留在定模一侧的场合,在定模一侧设有顶出装置(图 1-3-88)。开模时,由拉板或链条带动顶出装置顶出制品。

7. 无流道注射模具

无流道注射模具包括热流道或绝热流道注射

模具 图 1-3-89)。所谓无流道,其实是采用对流道进行加热或绝热的办法来保持从注射喷嘴到型腔浇口之间的物料呈熔融状态,在每次注射后无浇注系统回头料,这样既提高了劳动生产率,又保证了压力在流道中的传递,达到操作的全自动化。

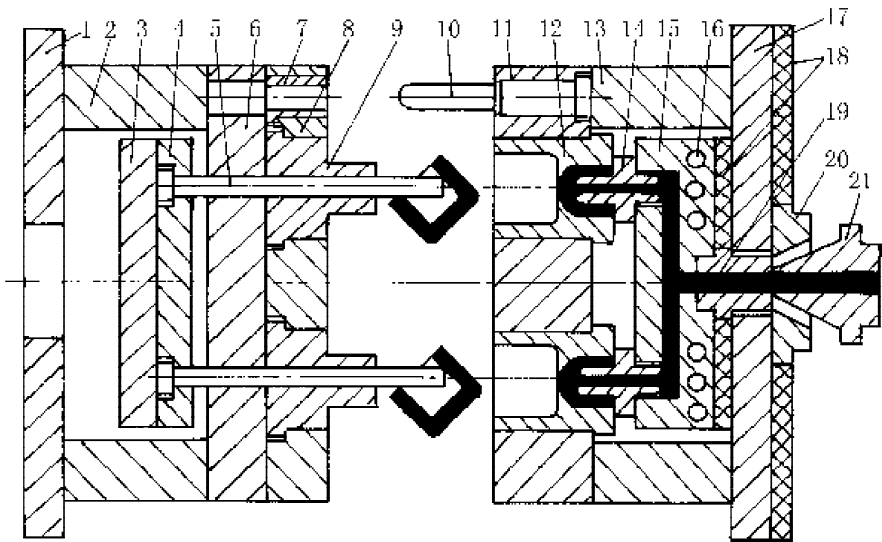


图 1-3-89 无流道注射模具(热流道模具)

1—动模底板; 2—支架; 3—顶出底板; 4—顶出板; 5—顶杆; 6—动模垫板; 7—导套; 8—动模板; 9—凸模; 10—导柱; 11—定模板; 12—凹模; 13—支架; 14—喷嘴; 15—热流道板; 16—加热器通道; 17—定模底板; 18—绝热层; 19—主流道衬套; 20—定位环; 21—注射机喷嘴

二、注射成型工艺

注射成型工艺包括成型前的准备、注射过程和制品的后处理等步骤。

(一) 成型前的准备

为使注射成型顺利进行,并保证制品的品质,在成型前应做好一系列准备工作。

1. 原料的检验

原料的检验主要包括测定物料的粘度、熔体指数、热稳定性、水分含量、收缩性及外观等,其中尤以水分的测定为最重要。如测定结果与原料技术指标不符,应予以处理或调换。

2. 原料的预热及干燥

注射成型一般采用粒状物料,粒料在成型时一般应进行预热干燥处理,使含水量降到允许范围。否则由于水分在高温料筒中迅速蒸发成水气或促使聚合物水解等原因,将引起物料起泡,粘度下降,影响成型和降低制品品质。

各种工程塑料在成型时的允许含水量因品种而异,一般在 0.05%~0.20% 左右。其中,分子结构上含有亲水基团的品种,如聚碳酸酯、聚酰胺、聚砜等,容易吸湿,对水敏感,少量水分即会造成制品缺陷,因此预热及干燥的要求也较高。表 1-3-51 列举了工程塑料物料成型前的允许含水量。

表 1-3-51 工程塑料物料成型前的允许含水量

名 称	允许含水量, %	名 称	允许含水量, %
尼龙 6	0.10	尼龙 66	0.10

(续表)

名 称	允许含水量, %	名 称	允许含水量, %
尼龙 11	0.10	聚碳酸酯	0.01~0.03
尼龙 12	0.10	聚苯醚	0.10
尼龙 610	0.05	聚砒	0.05
尼龙 1010	0.05	ABS (电镀级)	0.10
PET	0.05~0.10	ABS (通用级)	0.20~0.50
PBT	0.10	聚四氟乙烯	0.05

预热及干燥的方法有多种,如热风循环干燥、红外线干燥、真空干燥等。表 1-3-52 示出了常用工程塑料物料的热风循环干燥工艺条件。

表 1-3-52 工程塑料物料热风循环干燥工艺条件

名 称	温度, °C	时间, h
ABS	85~95	4~5
尼龙 6	80~90	20~24
聚碳酸酯	120	6~8
聚甲醛	110	2
聚苯醚	95~110	2~4
PET	130	3~4
PBT	110~120	3~4
聚砒	120~140	3~4
聚苯硫醚	120	5

3. 脱模剂的选择

在注射成型时,由于制品本身的复杂性或因工艺条件控制不合理等原因,会造成制品脱模困难,因此,需选用合适的脱模剂喷涂或擦涂在模具表面上,以易于脱模。脱模剂的用量必须适当,过少达不到应有的脱模效果;过多则不但影响制品外观,还会出现毛斑或混浊现象。表 1-3-53 列举了常用脱模剂的适用范围。

表 1-3-53 常用脱模剂的适用范围

名 称	适 用 范 围	名 称	适 用 范 围
甲基乙氧基硅油 液体石蜡 硬脂酸锌	ABS 等 聚酰胺等 除聚酰胺外的各种塑料	硅酮类脱模剂 硬脂酸丁酯	聚碳酸酯、聚甲醛等工程塑料 各种增强塑料

并非所有工程塑料制品都必须使用脱模剂,外观品质要求高的制品一般不宜使用脱模剂。另外,透明制品也应慎用。

4. 料筒的清洗

在注射成型前,原注射机料筒内所余物料如与将要使用的物料不同或颜色不一致时,一般都应进行清洗。

柱塞式注射机料筒的清洗通常比螺杆式注射机困难,因为柱塞式注射机料筒内的存料量较大,而且不易对其转动,因此清洗时必须拆卸。

螺杆式注射机料筒的清洗必须注意以下几点:

1) 如果将要使用的物料的成型温度大于筒内残余物料时,应将料筒和喷嘴升温至将要使用物料的最低加工温度,然后加入将要使用的物料,并连续进行对空注射,直至全部除尽残余物料。

2) 如果将要使用的物料的成型温度低于残余物料时,应将料筒和喷嘴升温至将要使用物料的最高加工温度,切断电源后再加入将要使用的物料,再连续进行对空注射,直至全部除尽残余物料。

3) 如果两种物料的成型温度相同,则不必变更温度,先进行回料,再用将要使用的物料直接替换。

4) 如果残余物料为对热敏感的种类,应选用流动性好、热稳定性高的高密度聚乙烯、聚苯乙烯等作为过渡物料,或用清洗料筒的专用物料进行清洗。专用料筒清洗物料是一种无色高分子量热弹性材料,在 100°C 时具有橡胶状的特性,但并不流动、熔融或粘附,犹如一个塞子,将残余物料带出筒外。

(二) 注射过程

注射过程主要包括物料塑化和熔体模塑两个阶段。

1. 物料塑化阶段

物料塑化阶段是指物料在料筒内经加热达到流动状态并具有良好的可塑性的过程。对这一过程的要求是:物料在未进入模腔之前要达到规定的成型温度,并提供足够的熔融料,以保证成型;所提供的熔融料必须各点温度都均匀一致,并且热分解产物的含量应最小。

物料塑化的快慢直接影响注射机的生产效率,塑化是否均匀又直接影响制品的外观及内在的品质。如何控制和提高塑化速度和塑化的均匀性,是关系到注射成型能否顺利进行的关键。

2. 熔体模塑阶段

熔体模塑阶段是使物料各点温度达到均匀一致,并使之成为具有流动性良好的塑料熔体,然后进入模具型腔冷却定型。整个模塑过程分为以下几个阶段(图 1-3-90)。

1) 柱塞空载期 在时间 $t_0 \sim t_1$ 间,物料在料筒中加热塑化,注射前柱塞(或螺杆)开始向前移动,但物料尚未进入模腔,柱塞处于空载状态,而物料在高速流经喷嘴和浇口时,因剪切摩擦而引起温度上升,同时因流动阻力而引起柱塞和喷嘴处压力增加。

2) 充模期 时间 t_1 时塑料熔体开始注入模腔,模具内压力迅速上升,至时间 t_2 时,型腔被充满,模腔内压达最大值,同时物料温度、柱塞和喷嘴处压力均上升到最高值。

3) 保压期 在时间 $t_2 \sim t_3$ 间,塑料仍为熔体,柱塞需保持对物料的压力,使模腔中的物料得到压实和成型,并缓慢地向模腔中补压入少量物料,以补充物料冷却时的体积收缩。随模腔内料温下降,模内压力也因物料冷却收缩而开始下降。

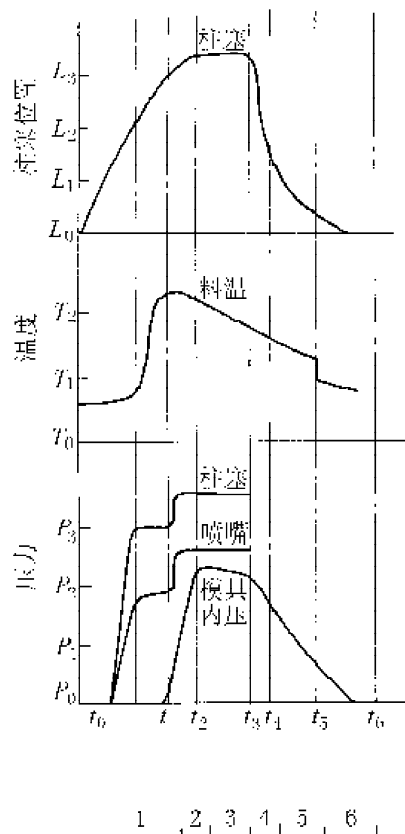


图 1-3-90 模塑过程

1—柱塞空载期; 2—充模期; 3—保压期; 4—返料期; 5—凝封期; 6—继冷期

4) 返料期 (返压期或倒流期) 柱塞从 t_3 开始逐渐后移,过程中并向料筒前端输送新料预塑,由于料筒喷嘴和浇口处压力下降,而模腔内压力较高,尚未冻结的塑料熔体被模具内压返推向浇口和喷嘴,出现返流现象。

5) 凝封期 在时间 $t_4 \sim t_5$ 间,型腔中料温继续下降,至凝结硬化的温度时,浇口冻结倒流停止。凝封时间是 $t_4 \sim t_5$ 间的某一时间。

6) 继冷期 是在浇口冻结后的冷却期,实际上型腔内物料的冷却是从充模结束后 (时间 t_2) 就已开始。继冷期是使型腔内的制品继续冷却到塑料的玻璃化温度附近,然后脱模。

(三) 制品的后处理

注射成型制品从模腔中取出后,还要经过一系列的后处理工作才能使制品达到外观质量及内在性能符合使用要求。后处理工作包括切除毛边和浇口、质量检验、抛光、表面涂饰及热处理等,其中尤以热处理与制品关系最为密切。

塑料在料筒内塑化不匀或在模腔内冷却速度不同,常会产生不均匀的结晶、定向和收缩,致使制品内产生应力,从而引起力学和光学性能劣化,表面产生银纹甚至变形开裂,这种现象对厚壁或带有金属嵌件的制品尤为突出。热处理包括退火和调温,目的都是消除内应力和稳定尺寸。热处理的工艺条件及适用范围见表 1-3-54 所示。表 1-3-55 列举了一些常用工程塑料的热处理条件。

表 1-3-54 制品后处理工艺条件及适用范围

处理方法	工 艺 条 件			适 用 范 围
	温 度	时 间	热源及介质	
退 火	高于制品实际使用温度 $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$, 低于塑料热变形温度 $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$	视厚度而定, 一般为 $30\text{min} \sim 1\text{h}$	热源为红外线灯、热风循环烘箱, 介质为空气、水、甘油、矿物油、液体石蜡等	除聚酰胺外的各类塑料
调 温	$100 \sim 121^{\circ}\text{C}$, 热变形温度高者用上限, 低者用下限	视厚度而定, 一般在 $2 \sim 96\text{h}$ 范围内	沸水或醋酸钾水溶液 (沸点为 121°C)	聚酰胺

表 1-3-55 常用工程塑料的热处理条件

名 称	温度, $^{\circ}\text{C}$	保温时间, h
ABS	70	2~4
尼龙 1010	90~100	4~10
玻纤增强尼龙 66	100~110	4~10
聚碳酸酯	100~130	2~8
聚甲醛	90~145	2~6
聚苯醚	110~150	2~6
增强 PET	130~140	20~30min
聚砒	110~160	2~8
聚酰亚胺	140~160	2~6

并非所有工程塑料制品成型后都要进行退火和调温处理,通常只是对厚壁、带金属嵌件、使用温度较宽、尺寸精度要求较高的制品,才需进行热处理。

三、注射成型工艺的影响因素

(一) 料筒温度

在注射成型过程中,物料的温度是由料筒控制的,选定料筒温度时,应考虑到能保证物料塑化良好,能顺利实现注射而又不引起物料的局部降解等。

对于无定形工程塑料来说,料筒温度应控制在它的粘流温度(T_f)以上;对于结晶型工程塑料来说,则应控制在熔点(T_m)以上,而最高都不能超过它们的分解温度(T_d),即料筒温度应控制在流动温度到分解温度之间。

对于 $T_f \sim T_d$ 间温度较窄的热敏性工程塑料以及分子量较低和分子量分布较宽的工程塑料,料筒温度应选择较低值,即比 T_f 稍高即可;而对于 $T_f \sim T_d$ 间温度较宽以及分子量较高和分子量分布较窄的工程塑料,可以适当地选取较高值。

在决定料筒温度时,还必须考虑物料在加热料筒中停留的时间,这对聚甲醛和聚三氟氯乙烯等会分解出腐蚀性气体的工程塑料来说尤为重要。一般随着料筒温度的提高,物料在料筒中的停留时间缩短。因此在注射过程中,除严格控制料筒温度外,还应控制物料在料筒中的停留时间。

在确定料筒温度时,还应考虑制品和模具的结构特点。成型薄壁制品时,物料的流动阻力很大,且极易冷却而失去流动能力,此时提高料筒温度能增大物料熔体的流动性,改善充模条件;成型厚壁制品时,物料的流动阻力较小,且冷却时间长,物料在料筒内受热时间长,此时可选择较低的料筒温度;对形状复杂或带有嵌件的制品,物料熔体要经过较长而曲折的流程,因此料筒温度控制也应较高。

料筒温度与注射成型工艺、物料的成型性质、制品的性能等关系密切(图 1-3-91)。通常随料筒温度的升高,熔体粘度降低,料筒、喷嘴和模具浇注系统中压力降减小,物料在模具中流动长度增加,从而改善了成型性能。另外还会使注射速率增大,充模时间减少,制品表面粗糙度减少。但温度过高时,将会引起热分解,并引起某些力学性能的下降。

(二) 模具温度

在注射成型过程中,被塑化好的熔融物料经过喷嘴、主流道、分流道进入模腔,在模腔内冷却变硬,获得所要求的形状与性能。模具温度对成型性能及制品性能的影响见图 1-3-92 所示。通常随模具温度提高,制品大多数机械强度有所提高,但伸长率和冲击强度则有所下降。

模具温度的确定应根据工程塑料的品种、制品性能要求、制品形状尺寸及成型工艺条件等进行综合考虑。

① 为使制品脱模时不变形,模温通常应低于工程塑料的玻璃化温度(T_g)或不易引起制品变形的温度,但制品的脱模温度(T_c)则应稍高于模温。制品在模腔中的冷却时间随制品壁厚增大、料温和模温升高而增加(图 1-3-93)。

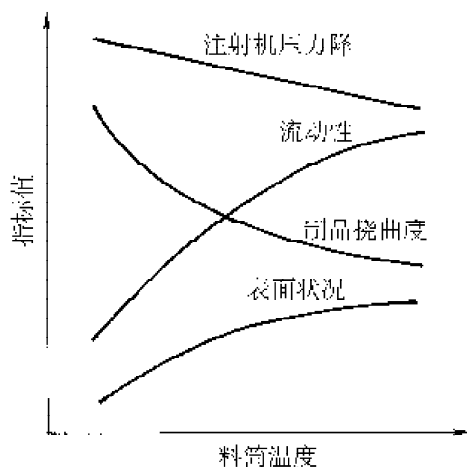


图 1-3-91 料筒温度对成型性能和制品性能的影响

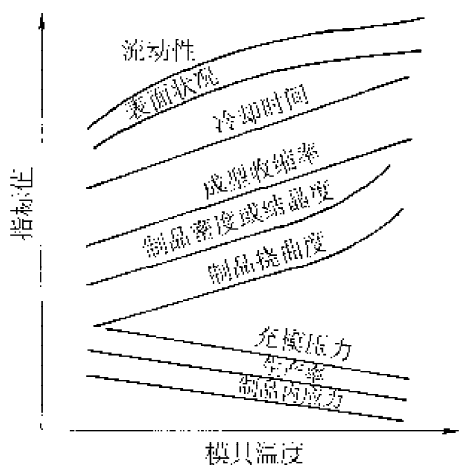


图 1-3-92 模具温度对成型性能和制品性能的影响

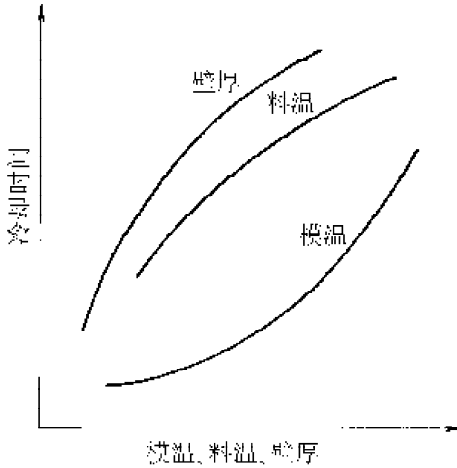


图 1-3-93 制品冷却时间与制品壁厚、料温、模温的关系

2) 为保证充模时制品的完整性和品质的紧密性,对熔体粘度大的工程塑料如聚碳酸酯、聚砜等,宜采用较高的模温;对熔体粘度小的工程塑料如聚酰胺等,则宜采用较低的模温。随模温的降低,工程塑料的凝封速度和冷却速度加快,有利于缩短生产周期,但过低的模温可能导致过早出现浇口凝封,引起缺料和充模不全,降低制品品质。

3) 模温低时聚合物分子取向作用大,制品内应力高,模温高则有利于聚合物结晶。由于厚壁制品充模时间和冷却时间较长,模温过低会引起内部形成气泡和收缩,并因而引起内应力,因此厚壁制品不宜采用过低的模温来冷却。

(三) 注射压力

注射压力对物料充模具有决定性的作用,而压力大小和保压时间的长短对制品性能也有极为重要的影响。注射压力的大小取决于工程塑料的品种、注射机的类型、模具的结构、制品的壁厚和流程及注射机工艺条件等。

注射压力的选择原则如下:

- 1) 成型流动性好的工程塑料,形状简单的厚壁制品,注射压力取 $\leq 68.6\text{MPa}$ 。
- 2) 熔体粘度较低、制品形状一般、对精度有一般要求的制品,注射压力取 $68.6\sim 98.0\text{MPa}$ 。
- 3) 具有较高或中等熔体粘度、制品形状一般、对精度要求较高的制品,注射压力取 $98.0\sim 137.2\text{MPa}$ 。
- 4) 具有高熔体粘度、薄壁长流程、壁厚不均、精度要求严格的制品,注射压力取 $137.2\sim 176.4\text{MPa}$ 。
- 6) 加工优质、精密、微型、复杂制品,注射压力取 $225\sim 245\text{MPa}$,甚至超过此值。

表 1-3-56 列举了一些工程塑料的注射压力。

表 1-3-56 一些工程塑料的注射压力

名 称	注射压力, MPa		
	易流动的厚壁制品	中等流动程度的一般制品	难流动、薄壁、窄浇口制品
ABS	80~100	100~130	130~150
聚酰胺	80~100	100~140	>140

续表)

名 称	注射压力, MPa		
	易流动的厚壁制品	中等流动程度的一般制品	难流动、薄壁、窄浇口制品
聚碳酸酯	100~120	120~150	>150
聚甲醛	85~100	100~120	120~150
改性聚苯醚	100~120	120~140	>140
玻纤增强 PET	50~60	60~80	80~100
聚砒	100~130	130~150	>150
玻纤增强聚苯硫醚	70~100	100~130	>130

注射压力与其加工制品的流长比有一定的对应关系。流长比是指熔融物料自喷嘴出口处流至最远距离 L 与制品壁厚 δ 之比。不同工程塑料具有不同的流长比。注射压力与流长比的关系见表 1-3-57 所示。根据表中列举的数据,可大致判断一种制品成型的难易程度以及所需注射压力的大小。

表 1-3-57 一些工程塑料注射压力与流长比的关系

名 称	流长比 (L/δ)	注射压力, MPa
尼龙 6	320~200	88.2
尼龙 66	130~90	88.2
	160~130	127.4
聚碳酸酯	130~90	88.2
	150~120	117.6
	160~120	127.4
聚甲醛	210~110	98.0

注射过程中,注射压力与物料温度实际上是相互制约的。料温高时注射压力减小;反之,料温低时注射压力增大。以注射压力和料温为坐标,绘制的成型面积图能正确反映注射成型的适宜条件,如图 1-3-94 所示,在成型区域中适当的注射压力和温度的组合都能获得满意的结果,而在成型面积之外的各种注射压力与温度的组合,都会给成型带来困难或给制品造成各种缺陷。

(四) 注射速度

注射速度是指柱塞或螺杆在注射时的移动速度。为保证制品品质,对注射速度通常有一定的要求。对制品的机械强度和收缩率来说,每种工程塑料制品都有其最佳的注射速度。注射速度对成型性能及制品性能的影响见图 1-3-95 所示。

在一般情况下,应尽量采用低压慢速注射,但对下列几种情况,则应采用高速注射:

- 1) 熔体粘度高,成型温度范围窄的物料。
- 2) 成型冷却速度快的物料。
- 3) 大型、薄壁、精密制品。

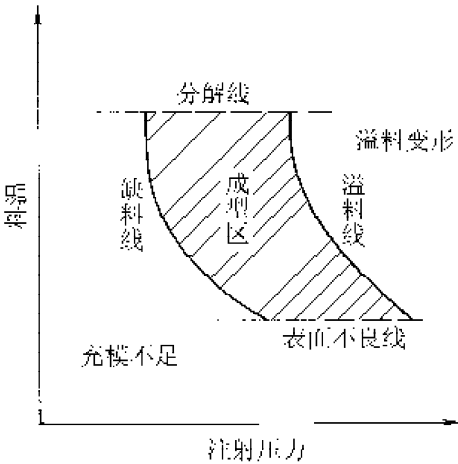


图 1-3-94 注射成型面积图

- 4) 流程长的物料。
- 6) 玻璃纤维增强制品。

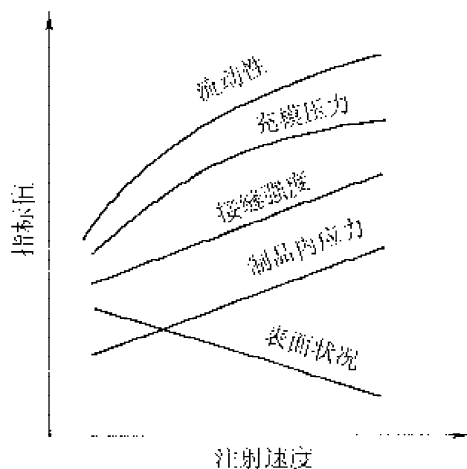


图 1-3-95 注射速度对成型性能和制品性能的影响

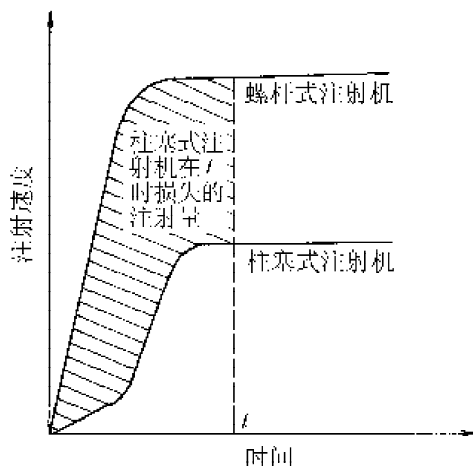


图 1-3-96 螺杆式和柱塞式注射机注射速度的比较

在确定注射速度时,还应考虑模具结构的特点及注射机的类型。螺杆式注射机所提供的注射速度要比柱塞式注射机大(图 1-3-96),因此对要求高速高压注射的制品,应采用螺杆式注射机,否则就难于保证品质。

(五) 成型周期

成型周期是指完成一次注射过程所需的时间,实际上包括以下几个部分:

- 1) 注射时间,包括充模时间和保压时间。
- 2) 闭模冷却时间,包括柱塞后撤或螺杆转动后退时间。
- 3) 其它时间,包括开模、取出制品、涂抹脱模剂、安放嵌件及闭模等时间。

成型周期直接影响劳动生产率和设备利用率。其中开模和闭模时间是由设备自身的操作特性及工程塑料性质所决定,对制品质量有影响的是注射时间和冷却时间。要缩短成型周期,可采取以下措施:

- 1) 设置料斗干燥器预热物料。
- 2) 调节加料量,控制最小缓冲垫。
- 3) 用强制对流和冷冻水以及采用模具温度控制器加强模具冷却。
- 4) 当制品壁厚大于 4.8mm 时,注射后制品外层冷却至足够坚固,不必等整体冷却即可脱模取出,立即浸入水浴中冷却。
- 5) 制品提前脱模用夹具固定。
- 6) 调整成型限位开关,使辅助时间减小到最低限度。

注射时间是指柱塞(或螺杆)开始向前动作至注射压力释放的时间。注射时间主要由材料的流动性、制品尺寸、模具浇注系统形式、注射速度等决定。一般制品的注射时间在 5~130s 左右,但特别厚的制品注射时间可高达 10~15min。

冷却时间是指注射结束至开启模具的时间。冷却时间主要由制品壁厚、物料冷却速度及模具温度等决定,以制品脱模时不引起变形为原则。冷却时间过长,不仅会降低生产效率,而且对复杂制品还会造成脱模困难,一般制品的冷却时间在 30~120s 左右。

表 1-3-58 示出了一些常用工程塑料的注射时间和冷却时间。

表 1-3-58 常用工程塑料的注射时间和冷却时间

名 称	注射时间,s	冷却时间,s
ABS	20~90	20~120
尼龙 1010	20~90	20~120
玻纤增强尼龙 66	20~60	20~60
聚碳酸酯	20~90	20~90
聚甲醛	10~60	10~30
聚苯醚	30~90	30~60
玻纤增强 PBT	10~30	10~40
聚砒	30~90	20~60
聚三氟氯乙烯	20~60	20~60

四、特种注射成型

(一) 共注射成型

共注射成型是生产两种或两种以上颜色或材料的注射制品的方法。它又可以分为双色(或多色)注射成型和双层(或多层)注射成型。

1. 双色(或多色)注射成型

双色(或多色)注射成型是用两个料筒和一个共用的喷嘴所组成的注射机,通过液压系统调整两个推料柱塞注射熔融物料进入模具的先后次序,取得所要求的不同混色情况的双色制品。其注射结构如图 1-3-97 所示。

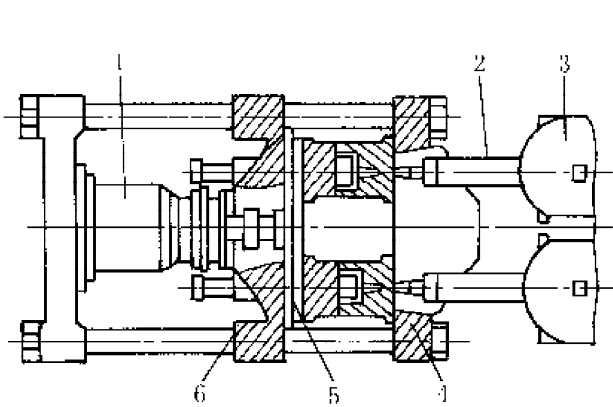


图 1-3-97 双色注射结构

1—合模油缸；2—注射装置；3—料筒；4—固定模板；
5—模具回转板；6—动模板

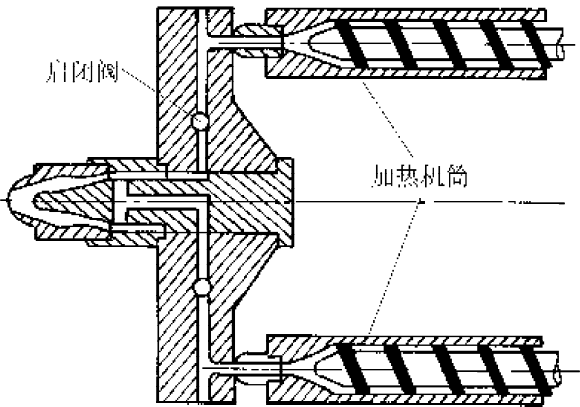


图 1-3-98 双色花纹注射结构

另外,为了满足双色(或多色)花纹制品的需要,还可采用双色花纹注射机成型,其结构见图 1-3-98 所示。它具有两个沿轴向平行设置的注射单元,喷嘴通路中装有启闭机构,调整启闭机构的换向时间,即可制得各种花纹的注射制品。

2. 双层(或多层)注射成型

双层(或多层)注射成型,主要用于同一种工程塑料的新旧不同的物料的注射成型。通

常制品的内部为旧的回收物料,外部为新鲜物料,所得到的制品外表与全部采用新料完全相同,其机械强度也可接近于新料的制品。另外,这种成型方法也可用于不同品种的工程塑料。

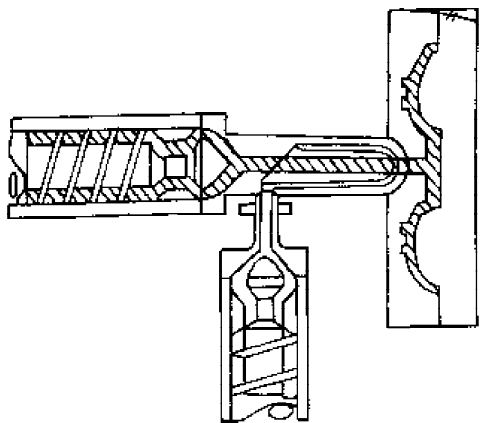


图 1-3-99 双层注射结构

双层注射结构如图 1-3-99 所示。它是由两个移动螺杆注射系统组成,装有交叉喷嘴。在第一种物料注射入模腔后,当接触模腔壁的材料已很快硬化,而内部物料仍处于熔融状态时,迅速将第二种物料注入模腔。这样,第一种物料压向模壁形成制品外层,而第二种物料则成为制品内层。经冷却定型后,即可得到第一种物料(通常为新鲜物料)均匀包覆第二种物料(通常为回收物料)的注射制品。

双层注射成型方法也被用于双组分结构发泡制品的注射成型。在注射时,先注入皮层物料,然后通过同一浇口注入混有发泡剂的芯部物料,使模腔得到完全填充,然后再注入少量不含发泡剂的物料,使浇口封闭。制品取出后,去掉浇口,即得到具有不发泡致密表层和芯部发泡的轻质制品。通常用于双组分结构发泡制品的表层和芯部工程塑料有:改性聚苯醚(表层)-发泡改性聚苯醚(芯部);改性聚苯醚(表层)-发泡聚苯乙烯(芯部);聚碳酸酯(表层)-发泡聚碳酸酯(芯部);聚酰胺(表层)-发泡聚酰胺(芯部);ABS(表层)-发泡 ABS(芯部);ABS(表层)-发泡聚苯乙烯(芯部)等。

(二) 反应注射成型

反应注射成型(Reaction Injection Molding,简称 RIM)是使能够起化学反应的两种物料进行混合注射,并在模腔中进行反应固化成型的一种方法。RIM 目前主要用于聚氨酯等热固性塑料及尼龙 6 等工程塑料的反应注射成型。另外,为了提高 RIM 制品的力学性能、热性能和尺寸稳定性,将玻璃纤维等增强材料加入反应体系,被称为 RRIM(Reinforced Reaction Injection Molding)。

RIM 的设备要求有准确的流量和混合比率,能快速加热和冷却,以确保反应的正常进行和控制其制品有稳定的质量。它主要由以下三个系统组成:

- 1) 贮料系统,由贮料槽和管路系统组成。
- 2) 液压系统,由泵、阀门、管件和控制分配缸的油路系统组成。
- 3) 混合系统,由混合头、注射喷枪、模具组成,混合头的柱塞和混合阀芯在油压控制下进行操作。

本书第二篇第二章对 RIM 尼龙有详细介绍。

(三) 旋转注射成型

旋转注射成型是指一台注射成型机的合模系统是转盘式的结构,旋转台上装有多副模具,随着旋转台定时间歇旋转,每转一个角度即停留一定时间,并依次和注射系统的喷嘴相接触进行注射,离开喷嘴后进行冷却,开模取出制品,如此重复循环。旋转注射成型充分利用了注射成型的塑化效率,缩短了制品的成型周期。其缺点是由于合模力受到限制,制品在成型过程中容易造成溢边。

旋转注射成型除采用旋转台外,也可采用旋转注射模芯,如图 1-3-100 所示。由于模芯

的旋转,使注射模内的物料受到剪切应力的作用,使分子取向,从而改进了制品的韧性和抗应力开裂性。取向作用在成型结晶性工程塑料时能加快结晶速度并改变结晶形态,因此控制不同的取向度,可使制品具有不同的结晶度和结晶形态。对无定形工程塑料采用旋转注射成型,可获得具有一定结晶度的制品。其结晶度随转矩和旋转时间的增加而提高,形成结晶所必须的转矩随转速的增加与注射速度的下降而减小。

(四) 注射吹塑成型

注射吹塑成型是将注射成型和吹塑成型相结合,生产中空容器的成型方法。它先用注射成型机成型型坯,然后将型坯连同型芯从凹模中拔出,转入吹塑成型的模具内,最后吹入压缩空气冷却成型,得到制品。

注射吹塑成型一次可注射多个制品,生产效率高,制品上无接缝,尺寸精度高。可用于 PET、聚碳酸酯等工程塑料的中空容器的成型。

在注射吹塑成型过程中,成型型坯十分关键,因为在这个程序中,物料要进行塑化和熔融。在成型型坯时,应采用较低的注射压力和较高的温度,并使型坯的温度保持均衡。芯棒与型坯模具的结构应根据材料的性质来设计,工程塑料的密度、流变性能和离模膨胀等性质都会影响到充模质量和制品性能。

表 1-3-59 示出了聚碳酸酯注射吹塑成型工艺条件。聚碳酸酯在成型型坯时,注射螺杆计量段的螺槽不宜过浅,否则会产生剧烈的剪切热,使料筒温度难以控制。表 1-3-60 列举了不同注射螺杆适宜的计量段槽深尺寸。

表 1-3-59 聚碳酸酯注射吹塑成型工艺条件

工 艺 条 件	数 值	工 艺 条 件	数 值
料筒温度,℃	280~290	模腔温度,℃	145~170
注射压力,MPa	10~13	型芯温度,℃	140~170
保压压力,MPa	10~11	吹气压力,MPa	0.9
背压压力,MPa	1.4~1.5	成型周期,s	12~15

〔注〕 制品质量:33g;制品尺寸:φ54×150 (mm)。

表 1-3-60 聚碳酸酯注射吹塑成型不同螺杆直径适宜的计量段螺槽深度尺寸 (单位:mm)

螺 杆 直 径	计量段螺槽深度	螺 杆 直 径	计量段螺槽深度
30	2.4	60	3.6~4.2
40	2.9	75	4.5~5.4
50	3.6	90	5.0~6.8

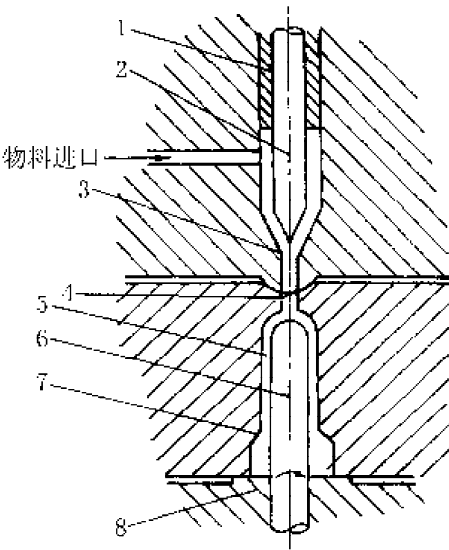


图 1-3-100 旋转注射模芯的旋转成型结构

1—注射柱塞; 2—喷头阀; 3—喷嘴;
4—浇口; 5—模腔; 6—芯套; 7—模套;
8—密封垫

第五节 挤出成型

挤出成型又称挤出模塑成型,简称挤塑。是借助螺杆或柱塞的挤压作用,使受热熔融的塑料成型物料,在压力推动下强行通过口模而成为具有恒定截面的连续型材的成型方法。

挤出成型能加工管材、板材、棒材、薄膜、电线电缆包覆物、涂层制品等,生产效率高,用途广泛,适应性强。几乎可用于所有的工程塑料。

挤出成型可分为连续法和间歇法两种。连续法所用设备为螺杆式挤出机,间歇法所用设备为柱塞式挤出机。近年来研制成功的带有贮料器的柱塞式挤出机也可用于连续法。目前,挤出成型大多采用连续法,间歇法一般只用于聚四氟乙烯、超高分子量聚乙烯等工程塑料的挤出成型。

一、挤出成型设备

在挤出成型设备中,最重要的是螺杆式挤出机。它有单螺杆和双螺杆之分,另外,为了改善螺杆式挤出机的排气性,还有排气式挤出机。

(一) 单螺杆挤出机

单螺杆挤出机的基本结构包括:传动装置、加料装置、料筒、螺杆、机头和口模等五个部分,如图 1-3-101 所示。单螺杆挤出机的规格,通常用螺杆直径来表示。目前单螺杆挤出机规格已经统一,并形成系列化。例如型号 SJ-90 中,S 表示塑料,J 表示挤出,数字表示螺杆直径。表 1-3-61 列举了单螺杆挤出机的规格及主要性能参数。

表 1-3-61 单螺杆挤出机规格及主要性能参数

[illegible]

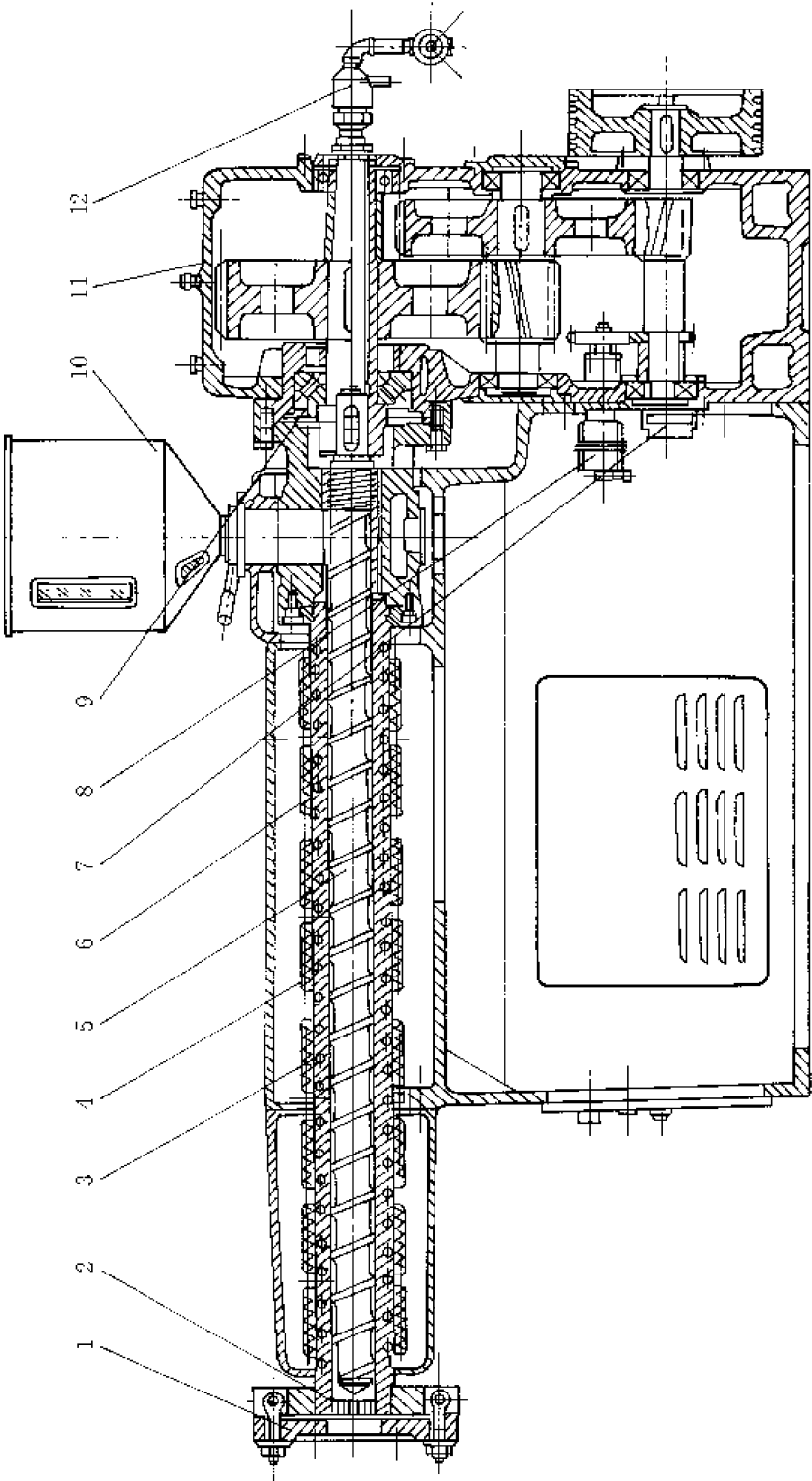


图 1-3-101 单螺杆挤出机

1. 传动装置

传动装置的作用主要是带动螺杆转动,通常由电动机、减速机构和轴承组成。

在挤出过程中,要求螺杆转速稳定,不随螺杆载荷的变化而变化,以保证制品质量的稳定。但是在不同的场合,又要求螺杆的转速能够变化,以达到一台挤出机能适应挤出不同物料或不同制品的要求。为此,挤出机的传动装置可采用无级调速。一般螺杆转速为 $10\sim 100\text{r/min}$ 。挤出机的调速范围通常为 $1:6\sim 1:10$ 。表 1-3-62 列举了单螺杆挤出机的转速范围及驱动功率。

表 1-3-62 单螺杆挤出机的转速范围及驱动功率

螺杆直径,mm	转速范围,r/min	驱动功率,kW
30	20~120	1~3
45	17~102	2~5
65	15~90	5~15
90	12~72	7~22
120	8~48	18~55
150	7~42	25~75
200	5~30	33~100

2. 加料装置

单螺杆挤出机的供料一般多为粒料,也可采用粉料和带状料。加料装置多采用加料斗。加料斗形状很多,有圆锥体、圆柱圆锥体、长方体、正方体等。其中以圆柱圆锥体较为普遍。

料斗的容量至少要能容纳 1h 的用料。料斗内应有切断料流、标定料量和卸除余料等的装置。如能设置定时、定量供料及带有干燥和预热装置,则更为实用。此外,也有采用在减压下加料的装置,这种装置特别适用于成型易于吸湿的物料。

随着挤出设备和成型工艺的改进,以粉料作为供料形式的已越来越多,粉料和粒料可依靠本身的质量进入加料孔,但随着料层高度的改变,可能引起加料速度的变化,同时还可能产生“架桥”现象而使加料口缺料。因此,如有条件,应在加料口设置搅拌器或螺旋输送强制加料器。

加料口的形状有矩形和圆形两种,目前以矩形用得较多,其长边平行于轴线,长度为螺杆直径的 $1.0\sim 1.5$ 倍,在进料侧有 $7^\circ\sim 15^\circ$ 的倾斜角。在加料口周围设有冷却夹套,以避免高温料筒向料斗传热。

3. 料筒

料筒是挤出机的主要部件之一,其重要性仅次于螺杆。物料的塑化和加压过程都在料筒中进行,挤压时料筒内压力可达 55MPa ,工作温度一般为 $180\sim 250^\circ\text{C}$,因此料筒可看作是受热和受压的容器。

料筒有整体式和分段式等形式,采用何种形式主要取决于挤出机的用途、使用要求、物料品种和成型工艺等因素。

料筒内表面与熔融物料接触,除承受高温、高压外,有些物料还有强烈的腐蚀性,因此制造料筒的材料必须具有较高的强度、硬度和耐腐蚀性。料筒通常是由钢制外壳和合金钢内衬组成。

料筒外部设有分段加热和冷却装置。加热方法目前多采用电阻加热法和感应加热法。

电阻加热法体积小,加热温度高,但电热丝易氧化烧断,温度波动较大 ($\pm 5^{\circ}\text{C}$);感应加热法升温速度快,使用寿命长,耗电少,温度波动小 ($\pm 2^{\circ}\text{C}$),但体积庞大,加热温度不够高。

另外,挤出机在料筒与机头之间还设有粗滤器,它是由带孔的合金钢板制成的,主要作用是使物料由旋转流动变为平直流动,且沿螺杆方向形成压力,增大塑化的均匀性,阻止杂质及未塑化物料进入机头。如果再加设过滤网,它又可作为过滤网的支承件。粗滤器的外形一般呈碟形,厚度为料筒内径的 20% 左右,上面钻有直径为 3~6mm、排列规整的孔。粗滤器大多用于挤出成型片材或平直薄膜。

4. 螺杆

螺杆是挤出机最重要的部件,它直接关系到挤出机的适用范围和生产效率。通过螺杆的转动对物料产生挤压作用,物料在料筒中才能产生移动、增压和从摩擦取得部分热量,物料在移动过程中得到混合和塑化,熔体在被压实而流经口模时,取得所需形状而成型。

为适应加工各种通用塑料和工程塑料,螺杆的种类很多。表示螺杆结构特征的基本参数见图 1-3-102 所示。

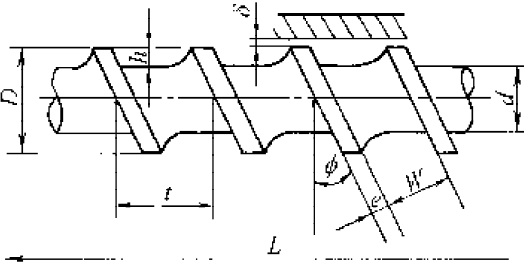


图 1-3-102 螺杆结构的基本参数

D—螺杆外径; d—螺杆根径; l—螺距; W—螺槽宽度; e—螺纹宽度; h—螺槽深度; ϕ —螺旋角; L—螺杆长度; δ —间隙

1) 螺杆直径 (D)和长径比 (L/D) 螺杆直径应根据制品形状和大小及其所要求的生产效率加以选定。因此,挤出机的大小规格也常用螺杆直径来表示。螺杆直径与制品大小的关系见表 1-3-63 所示。

表 1-3-63 螺杆直径与制品大小的关系 (单位:mm)

螺杆直径 D	硬管材外径	吹塑薄膜折径	板材宽度
30	3~30	50~300	
45	10~45	100~500	
65	20~65	400~900	400~800
90	30~120	700~1 200	700~1 200
120	50~180	~2 000	1 000~1 400
150	80~300	~3 000	1 200~2 500
200	120~400	~4 000	

螺杆的有效长度与其直径之比称为长径比 (L/D)。长径比大,能改善物料温度分布,有利于物料的混合和塑化,并能减少漏流和逆流,提高挤出机的生产效率,而且螺杆的适应性强,能用于多种工程塑料的挤出成型。但长径比过大,会使物料受热时间增长而降解,同时因螺杆自重增加,自由端挠曲下垂,易引起料筒与螺杆间擦伤,而且制造难度较大,增大挤出机功率消耗。目前,大多数工程塑料的挤出成型采用长径比为 18~25。

2) 螺杆的送料段、熔化段和计量段 按照物料在螺杆上的运转情况,螺杆可分为:

① 送料段。自物料入口向前延伸的一段距离 ($2\sim 10D$)为送料段。在送料段中物料依然是固体状态,这段螺杆的主要作用是使物料受热并向前移动。送料段螺杆的螺槽容积可以保持不变,一般做成等距等深。螺槽深度不小于 $0.1D$,螺距为 $1.0\sim 1.5D$ 。另外,为使

物料有最好的输送条件,可在料筒与物料接触的表面开设纵向沟槽,降低螺杆表面粗糙度,并在螺杆中心通水冷却。

2) 熔化段。熔化段又称压缩段,处于螺杆中部 ($6\sim 15D$)。在熔化段中,物料除受热和向前移动外,固体逐渐压实并熔融,同时还将夹带的空气排出。熔化段的螺槽逐渐变小,缩小的程度由物料压缩比决定。物料压缩比是制品的密度与进料的表观密度之比。在螺杆设计上通常采用几何压缩比来代替物料压缩比,它是熔化段开始处的一个螺槽容积与终止处的一个螺槽容积之比。螺杆的几何压缩比取决于塑料的种类、进料时的聚集状态以及挤出制品的形状。表 1-3-64 列举了常用工程塑料的几何压缩比。

表 1-3-64 常用工程塑料的几何压缩比

名 称	几何压缩比	名 称	几何压缩比
尼龙 6	3.5	聚碳酸酯	2.5~3.0
尼龙 66	3.7	聚甲醛	4.0 (2.8~4.0)
尼龙 11	2.8 (2.6~4.7)	改性聚苯醚	2.0 (2.0~3.5)
尼龙 1010	3.0	聚砒	3.0~5.0
ABS	1.8 (2.0~2.6)	聚三氟氯乙烯	2.5~3.3 (2.0~4.0)

〔注〕 括号内为使用范围,括号外为常用值。

6) 计量段。计量段又称均化段,处于螺杆的末尾 ($4\sim 7D$)。计量段的作用是使熔体进一步塑化均匀,并使物料定量、定压由机头流道均匀挤出。计量段螺杆的螺槽截面可以是恒等的,但比前两段都小,螺槽深度一般为 $0.02\sim 0.06D$ 。

3) 螺杆的螺旋角 ϕ 和螺纹宽度 e 螺杆的螺旋角大小与物料的形状有关,粉料的螺旋角以 30° 为宜,圆柱形料以 17° 为宜,方块状料以 15° 为宜。但从螺杆制造方面考虑,通常以螺距等于直径时最易加工,此时的螺旋角为 $17^\circ 41'$ 。螺旋方向一般为右旋。

螺杆的螺纹宽度一般为 $0.08\sim 0.12D$,但在螺杆根部较宽,而且应有圆弧过渡。

在通常情况下,挤出机螺杆为一条螺纹,但有些新型的挤出机,螺杆压缩段有一条附加螺纹,而在机头内螺杆则为多螺纹。

4) 螺杆头 螺杆头一般呈钝尖的锥形,以避免物料在螺杆头停滞过久而引起分解。如果螺杆能在轴向变位,则此时螺杆头还有调整压力的作用。螺杆头也有制成鱼雷状的,称为鱼雷头。鱼雷头与料筒间隙通常小于螺槽深度,其表面也可开设沟槽或滚成特殊的花纹,更有利于加热和混合。

5. 机头和口模

机头和口模通常为一个整体,习惯上统称为机头。但也有机头与口模各自分开的情况。机头的作用是将处于旋转运动的物料转变成为平直运动,使物料进一步塑化均匀,并将熔体均匀而平稳地导入口模,还赋予必要的压力,使物料易于成型和得到密实的制品。口模的作用是赋予熔体以所需要的形状,并被口模外的定型装置和冷却系统硬化成型。

图 1-3-103~图 1-3-107 示出了典型的机头结构。

(二) 双螺杆挤出机

双螺杆挤出机是在一个“8”字形料筒内,由两根啮合或非啮合、整体或组合、同向回转或异向旋转、平行或锥形的螺杆组成(图 1-3-108)。

1. 双螺杆挤出机的特点

与单螺杆挤出机相比,双螺杆挤出机具有如下特点:

- 1) 加料容易 单螺杆挤出机的输送作用主要靠摩擦,加料性能受到限制,粉料、玻璃纤维、无机填料等难以加入,而双螺杆挤出机靠正位移原理输送物料,没有压力回流,各种物料均可方便地加入。
- 2) 物料停留时间短 单螺杆挤出机中物料停留时间较长,而物料在双螺杆挤出机中停留时间短,适宜于那些停留时间长会固化或凝聚的物料着色或混料。

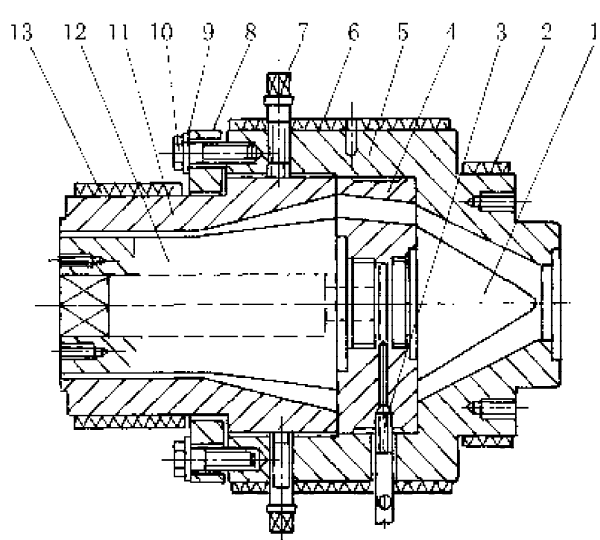


图 1-3-103 直通式挤出管材机头

1—分流锥; 2—电热圈; 3—喷嘴; 4—分流栅板; 5—机头过滤体; 6—电热圈; 7—调节螺钉; 8—压圈; 9—垫圈; 10—螺钉; 11—口模; 12—模芯; 13—电热圈

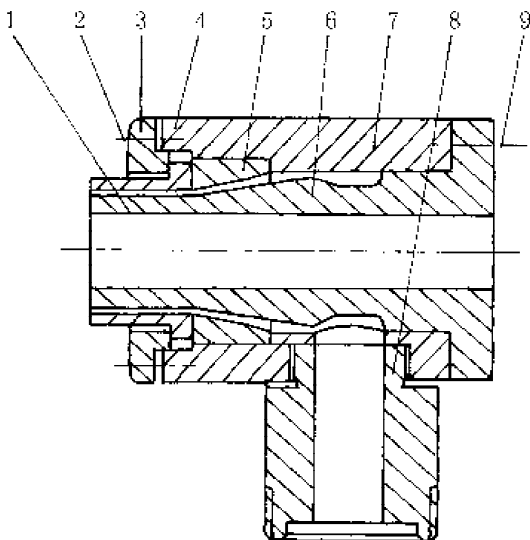


图 1-3-104 直角式挤出管材机头

1—口模; 2—螺栓; 3—压环; 4—调整螺栓; 5—口模过渡体; 6—芯模; 7—机头过滤体; 8—接颈; 9—螺钉

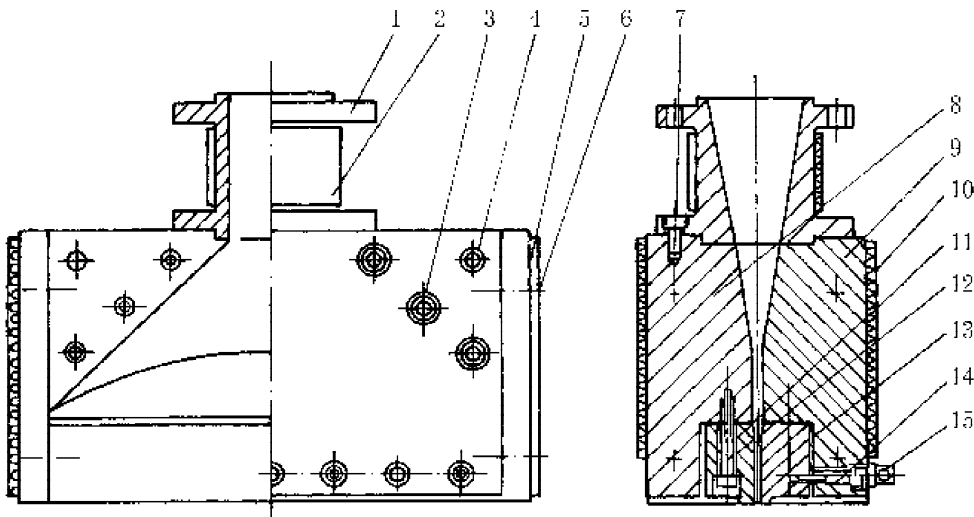


图 1-3-105 鱼尾式挤出板材机头

1—接颈; 2—电热圈; 3—内六角螺栓; 4—柱销; 5—电热片; 6—内六角螺栓; 7—内六角螺栓; 8—下模板体; 9—上模板体; 10—电热片; 11—下模唇; 12—内六角螺栓; 13—上模唇; 14—内六角螺栓; 15—调整螺栓

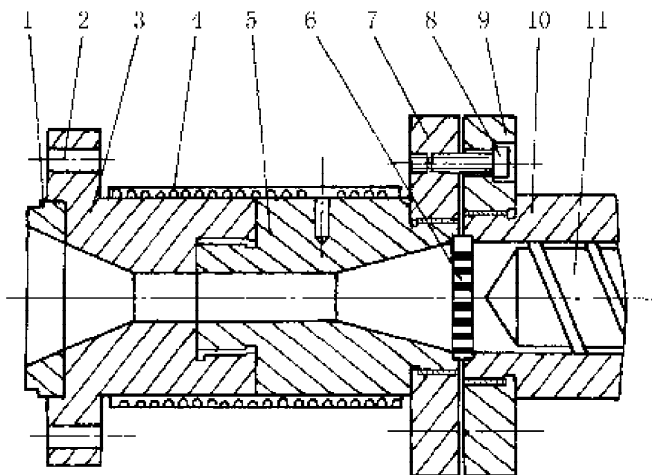


图 1-3-106 圆形挤出棒材机头

1—口模；2—定型套连接螺栓；3—机头口模过渡体；
4—加热圈；5—机头过渡体；6—滤板；7—机头法兰盘；
8—内六角螺栓；9—料筒法兰；10—料筒；11—螺杆

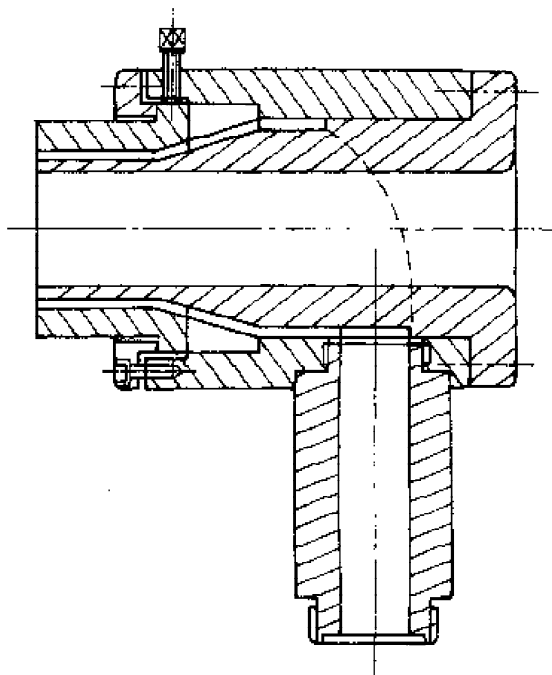


图 1-3-107 塑料包覆管挤出机头

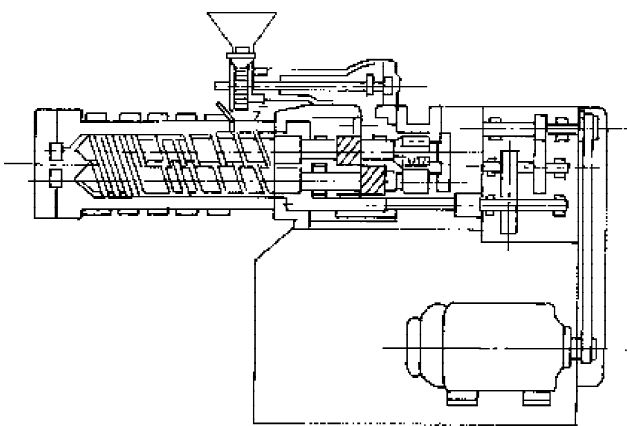


图 1-3-108 双螺杆挤出机

3) 混合塑化效率高 双螺杆挤出机由于两根螺杆互相啮合,物料在挤出过程中进行着较单螺杆挤出机复杂得多的运动,经受着纵横向的剪切作用,因此具有优异的混合塑化效果。

4) 排气性能优良 物料在单螺杆挤出机排气区的表面更新作用较小,因此排气效果较差。而双螺杆挤出机啮合部分的有效混合,排气部分的自洁功能使物料获得完全的更新表面,因此排气性能优良。

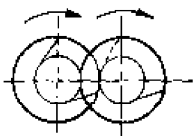
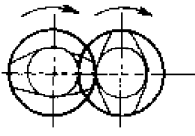
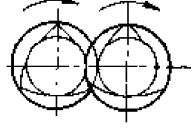
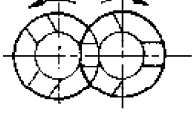
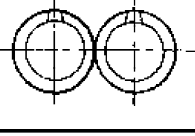
5) 功率消耗低 双螺杆挤出机的螺杆长径比较小单螺杆小,而且物料的能量多由外热传入,而单螺杆挤出机的长径比较双螺杆挤出机大 20%~30%,而且机头和分流板筛网增加了阻力,因此双螺杆挤出机的功率消耗低,约比单螺杆挤出机要少 50%左右。

6) 容积效率高 单螺杆挤出机的流率对口模压力变化较为敏感,而双螺杆挤出机不敏感,因此容积效率高,适于挤出大截面的制品。

2. 双螺杆挤出机结构

双螺杆挤出机有螺杆外径接触型、螺杆啮合同向回转型、螺杆啮合异向旋转中心加料型、螺杆啮合异向旋转两边加料型等多种结构。表 1-3-65 列举了常用的双螺杆挤出机的结构特点。

表 1-3-65 双螺杆挤出机结构特点

类 型		结 构	特 点
啮合同向回转	单头螺纹深螺槽		专用于成型硬质聚氯乙烯,不适用于普通物料
	两头螺纹中等深度螺槽		适用于混料及成型工程塑料,自洁性能与高速挤塑性能优良,受热时间短,受热均匀
	三头螺纹浅螺槽		可自由选择物料沿料筒所需的压力和温度分布,加料稳定,排气区表面更新效果好,适用于成型工程塑料
异向旋转	啮合型		剪切作用强,适用于成型聚氯乙烯及工程塑料,塑化均匀
	非啮合型		主要用于混料,无自洁作用,功能接近单螺杆挤出机,但加料稳定性和排气性更好

啮合同向回转双螺杆的螺槽与料筒壁组成了封闭的小室,物料在小室中按螺旋线运动,但由于在啮合处两根螺杆圆周上各点的运动方向相反,而且啮合间隙很小,使物料不能自上部到下部,这样就迫使物料从一根螺杆与料筒形成的小室移向另一根螺杆与料筒形成的小室,形成螺旋“∞”字形运动。这种同向互相啮合的双螺杆,一根螺杆的外径与另一根螺杆的根径之间的间隙一般设计得很小,因此具有自洁作用,物料停留时间短,混合作用大。

异向旋转啮合双螺杆的两根螺杆是对称的,一根螺杆的螺梭顶部与另一根螺杆根径有一定间隙,由于两根螺杆回转方向不同,一根螺杆上物料螺旋前进的道路被另一螺杆堵死,不能形成“∞”字形运动。物料在螺纹推动下通过各部分的间隙而做圆周运动,同时也向着口模方向运动。物料通过两根螺杆之间的径向间隙所受的剪切搅拌作用强烈,塑化效果好。

螺纹头数对物料的作用影响很大。单头螺纹主要用于啮合型同向回转的双螺杆中,由于螺槽深,专用于硬质聚氯乙烯成型,不适用于其它通用塑料及工程塑料。两头螺纹有中等深度的螺槽,在单位长度上有较大的自由体积,剪切热较低,混合作用柔和,适于混料及成型不需要高剪切的工程塑料。三头螺纹的螺槽较浅,在相同的螺杆转速下,物料比在两头螺纹中遭受更高的剪切,适用于需要高剪切的工程塑料的挤出成型。

3. 双螺杆挤出机的主要参数

- ① 螺杆直径:指螺杆外径,直径越大,则挤出量越大。
- ② 螺杆长径比:指螺杆的有效长度与外径之比。对于整体式双螺杆,长径比为一定值,一般为 18~30;对于组合式双螺杆,长径比为可变值。
- ③ 螺杆转速:通常列出螺杆的转速范围,即从最低转速到最高转速的范围。

4) 驱动功率:指驱动双螺杆挤出机的电动机功率。

6) 产量:即每小时的生产能力。

表 1-3-66 列举了双螺杆挤出机的主要参数。

表 1-3-66 双螺杆挤出机的主要参数

项 目	SHJ-30A	SHJ-72	TCE-60	TSSJ-40	TSSJ-80
螺杆直径 Φ , mm	30	72	60	40	80
螺杆长径比 L/D	23.2	28.0	28.0	30.0	30.0
螺杆转速, r/min	30~200	26~260	30~300	5~300	5~250
电机功率, kW	5.5	55.0	30.0	18.5	75.0
生产能力, kg/h	5~20	150~360	50~210	70	400

(三) 排气式挤出机

排气式挤出机在挤出过程中具有优良的排气性,它可用于普通挤出机无法使用的情况:

- 1) 含有水分、溶剂、单体的物料在不预先干燥的情况下的直接挤出。
- 2) 加有各种填料的预混合物料的挤出。
- 3) 夹带大量空气的松散或絮状物料的挤出。

排气式挤出机的螺杆由两根常规三段螺杆串联而成,在两根螺杆连接处设置排气口。排气口前的一段螺杆为一级螺杆,由加料段、第一压缩段、第一均化段组成;排气口后的一段螺杆为二级螺杆,由排气段、第二压缩段、第二均化段组成(图 1-3-109)。

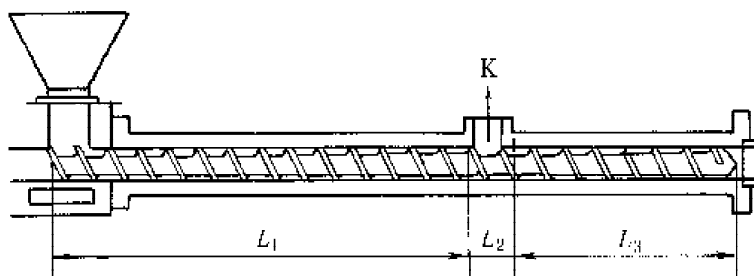


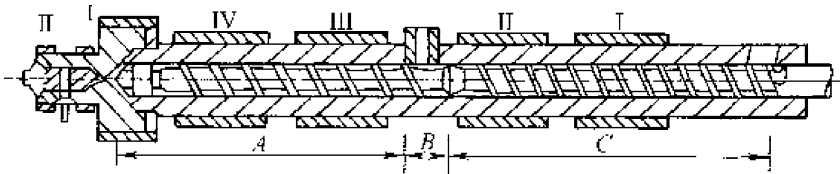
图 1-3-109 排气挤出机的螺杆结构

排气式挤出机的挤出过程是,首先物料由加料口至第一均化段达到基本塑化,物料中所含的一部分气体,由于物料被压实而由料中逸出;基本塑化的物料进入排气段后,由于该段螺槽突然加深,加之排气孔抽真空,压力骤降,因而物料中一部分受压缩的气体和气化的挥发物直接逸出,还有一部分在熔体中的气体和气化挥发物使熔体发泡,在螺纹的搅拌下气泡破裂,这些气体由排气口抽真空排走。脱除气体和挥发物的熔体被第二压缩段重新压缩,在第二均化段进一步均化,最后挤入口模得到制品。

排气式挤出机按照排气结构的不同,可分为以下三种:

- 1) 直接抽气式 结构简单,加热器容易布置,但其缺点是一级螺杆和二级螺杆间的流量平衡比较困难,在排气口易造成溢料。
- 2) 旁路排气式 在第一均化段末有一段反螺纹,使物料改由旁路流入排气区然后进入二级螺杆,但挤出机结构复杂,不适于成型热敏性物料。
- 3) 中空排气式 在第一均化段的高压熔体被反螺纹迫使通过螺杆内部的通道进入排气段,适合于大型制品的挤出成型,但螺杆加工困难,螺杆冷却受中心通道位置的限制。

图 1-3-110 列举了采用排气式挤出机的成型温度。



塑料名称	II	I	IV	III	II	I
PBT	270	270	270	255	255	270
ABS	230	240	240	235	230	240
聚苯醚	280	290	290	290	290	290
尼龙 6	220	230	230	210	220	230
尼龙 66	280	280	275	260	270	280
聚碳酸酯	300	300	300	270	270	310
聚砒	350	350	340	330	350	330

图 1-3-110 排气式挤出机各段成型温度(单位:℃)

A—二级螺杆; B—排气段; C—一级螺杆

二、挤出成型工艺

采用挤出成型工艺的产品主要有管材、棒材、板材、片材、中空容器及薄膜等,它们的成型工艺各有不同,现分别介绍如下。

(一) 管材挤出成型工艺

管材是挤出成型的重要品种,管材所用的工程塑料有 ABS、聚酰胺等。

管材的挤出成型通常采用粒料,如为粉料,通常需经过造粒后再进行挤出成型。如直接采用粉料加以成型,则应使用排气式单螺杆挤出机或双螺杆挤出机,以便有效地排除粉料中夹带的空气。

1. 成型前的准备

① 首先根据产品尺寸选好机头规格,并将机头安装就绪。常用的管材挤出机头有直管机头、弯向机头和旁侧机头三种,其中以直管机头使用最为普遍。

② 安装好压缩空气通气管、芯模电加热棒及机头加热电圈。

③ 初步调整口模,并检查挤出机、机头、冷却水箱、牵引装置、切割装置等中心线是否对准,有误差应及时校正。另将辅机安装在轨道上。

④ 检查压缩空气系统、用水系统等。

⑤ 开启电热器,对机头、机身均匀加热升温,待各部分温度比正常生产温度高 10℃ 左右时,保温 30~60min,使机内外温度一致,达到热平衡。

2. 挤出过程

管材挤出成型工艺流程示意图见图 1-3-111 所示。

挤出过程包括以下几个步骤:

① 以启动转速开车,空转后逐渐加料,待管材挤出口模后,开始以正常投料量投料。

② 加快螺杆转速至正常生产转速,当管材从口模挤出时,如有弯曲现象,应调整调节螺柱,使管壁厚度四周基本相等。

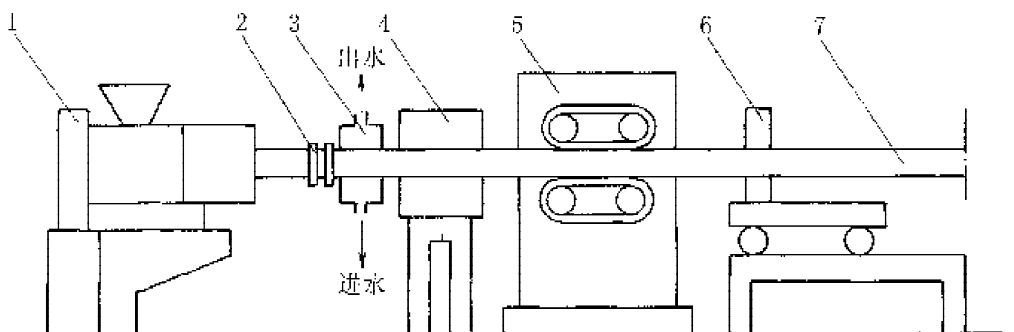


图 1-3-111 管材挤出成型工艺流程示意图

1—挤出机；2—机头；3—定型套；4—冷却水槽；5—牵伸装置；6—切割装置；7—管材

③) 管材经冷却定型装置进入牵引装置,管内加压缩空气,管外加冷却定型套,使管外表面贴附在定型套内迅速冷却硬化。压缩空气由芯模中孔道经闷头上几个直径 2~3mm 的圆形小孔进入,压力为 20~50kPa。

④) 连续切割已冷却定型的管材,切割装置有自动式或手推式电动圆锯切割机、行星式自动切割机等。

(二) 棒材挤出成型工艺

工程塑料棒材一般指实心圆棒,如棒材截面为正方形、矩形、三角形、菱形等,则称为异型棒材。棒材所用的工程塑料品种有聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯、改性聚苯醚和 ABS 等。

1. 成型前的准备

①) 棒材挤出成型前,物料必须经过预热干燥,如果物料中含有微量水分,会导致棒材内部产生大量蜂窝状空隙,因此对易吸水的工程塑料如聚酰胺、聚碳酸酯等更应严格控制。经过干燥的物料应立即使用或放置在 80~90℃ 的保温烘箱中保温备用,否则物料会重新吸水而失去干燥作用。

②) 开车前,挤出机和机头一般可呈两种状态,一种是内部不含塑料,即上次停车后,机头、机筒、螺杆均已清拆过,此时只要当各部分温度达到规定值时,即可立即开车;另一种是内部含有塑料,上次停车后未经清拆,此时当温度达到规定值时,还需保温 30~45min,让物料完全熔融方可开车。否则就会发生阻力过大,造成出料不正常,甚至导致螺杆及设备损坏。

其它准备工作与管材基本相同。

2. 挤出过程

棒材挤出成型工艺流程如图 1-3-112 所示。

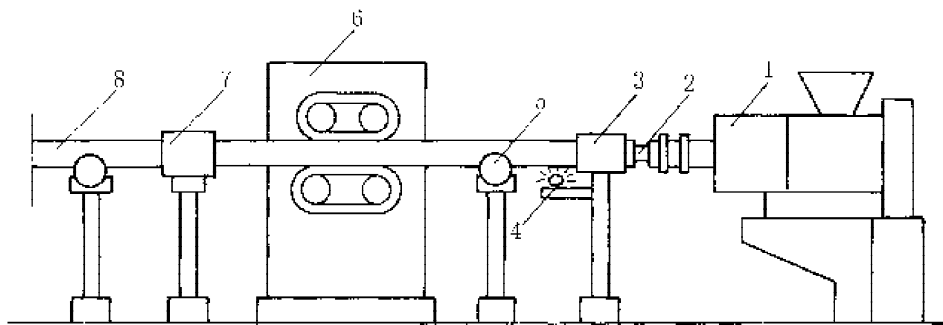


图 1-3-112 棒材挤出成型工艺流程示意图

1—挤出机；2—机头；3—冷却定径模；4—电珠；5—导轮；6—制动装置；7—托架；8—棒材

挤出过程主要包括以下几个步骤：

1) 开车时应少量逐步加料，当棒材挤出后方可按正常生产的投料量投料。

2) 挤出温度一般控制在比工程塑料熔融温度高 20~30℃，机头温度比机身温度低 10~20℃。如棒材挤出后出现毛糙或裂纹，可适当提高机头温度。

3) 开车时需将挤出的棒材引出至制动装置。开车前先将带有螺纹的金属棒插入冷却定径模内，代替棒材，夹入制动装置内，开车后熔融物料经机头进入冷却定径模，凝结在金属引出棒上，形成棒材，并将金属引出棒从冷却定径模中推出，当棒材通过制动装置后就可以将引出装置取出。

4) 当棒材达到规定长度后，使用切割机将棒材锯下。切割装置与管材相同，一般采用手动式。但切割棒材的圆锯片尺寸应比相同直径的管材的圆锯片大。

5) 棒材挤出后，外观尺寸可用卡尺测量，内部质量对聚碳酸酯等透明工程塑料，可直接用肉眼检查；对聚酰胺等呈半透明特性的工程塑料，可用 6~10V 电珠放于冷却定径模出口处照射进行检查。

6) 当棒材直径超过 60mm 时，应进行热处理，以消除残留的内应力。热处理可用水浴、油浴或空气加热等方法。热处理温度及时间，应视棒材大小、工程塑料品种而定。表 1-3-67 列举了几种工程塑料棒材热处理的条件。

表 1-3-67 工程塑料棒材热处理条件

名 称	棒材直径,mm	热处理方法	热处理温度,℃	热处理时间,h
尼龙 66	60~100	水浴法	100	2.5~4.0
聚碳酸酯	60	常压鼓风烘箱	130~140	1.5~3.0
聚砒	50	常压鼓风烘箱	150~160	1.5~3.0

(三) 板材和片材挤出成型工艺

板材和片材之间并没有严格的界限，按产品的厚度，一般将 1mm 以上的称为板材，0.25~1mm 的称为片材，而 0.25mm 以下的则称为薄膜。板材和片材的挤出成型工艺基本相同。采用挤出成型方法可以生产 20mm 以下的各种板材和片材，工程塑料品种有 ABS、聚酰胺等。

板材和片材成型前的准备与棒材基本相同，其挤出工艺流程示意图见图 1-3-113 所示。

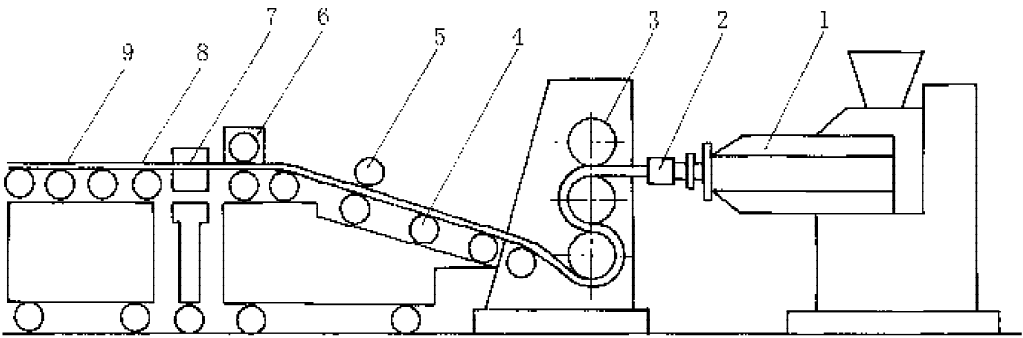


图 1-3-113 板材和片材挤出成型工艺流程示意图

1—挤出机；2—机头；3—三辊压光机；4—冷却输送辊；5—切边装置；6—二辊牵引机；7—切割装置；8—板材或片材；9—堆放装置

挤出过程主要包括以下几个步骤:

1) 以启动转速开车,先进行空转,再少量加料,待正常运转方可按正常投料量投料。

2) 加快螺杆转速至正常生产转速,机头温度一般控制比机身温度稍高 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ 左右。

3) 板材或片材从机头挤出后由三辊压光机压光并逐渐冷却,同时还有一定的牵引作用,以调整板材或片材各点速度,保证表面平直。三辊牵引速度比挤出速度快 $10\%\sim 25\%$ 。三个辊筒安装偏心不得超过 0.025mm ,中辊位置固定,辊距靠移动上、下两辊位置来调节。

4) 板材或片材经压光、冷却后,通过切边装置将两端过厚或过薄的边缘切去 $10\sim 25\text{mm}$,一般板材或片材采用旋转圆刀切边,厚板材采用圆锯片切边。

5) 经切边后,板材或片材通过牵引辊至切割与堆放位置,先用自动切割装置按要求长度进行切割。切割时,工作台向前移动,切割完毕,工作台退回到原来位置,板材或片材即整齐叠放在堆放装置上。

(四) 薄膜挤出双轴拉伸成型工艺

薄膜的挤出双轴拉伸是将从挤出机 T 型机头挤出的薄膜或片材经纵、横方向的拉伸,使分子链或待定的结晶面进行取向,然后在拉伸的情况下进行热定型处理。拉伸通常是在薄膜熔点以下,玻璃化温度以上的温度范围内进行的,以不同方式拉伸时,分子链段或结晶主轴的取向也将不同(图 1-3-114)。

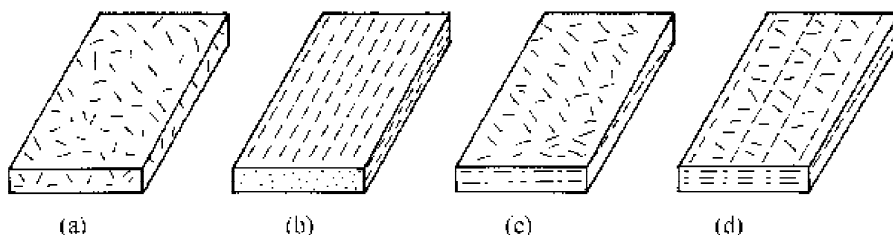


图 1-3-114 不同方式拉伸时分子链段或结晶主轴的取向

a) 未拉伸薄膜; b) 单轴拉伸薄膜; c) 同时双轴拉伸薄膜; d) 逐次双轴拉伸薄膜

经过双轴拉伸的薄膜,由于分子链段定向,结晶度提高,因此可以显著提高拉伸强度、拉伸弹性模量、冲击强度、撕裂强度,改进耐热性、耐寒性、透明性、气密性、防湿性、电绝缘性及光泽等。

拉伸方式有平面式拉伸和管式拉伸两种。平面式拉伸可分为单轴拉伸和双轴拉伸。双轴拉伸又可分为逐次双轴拉伸和同时双轴拉伸。管式拉伸是将挤出时呈管状的薄膜,在纵横向同时拉伸。目前常用的双轴拉伸方式主要有管式拉伸、逐次双轴拉伸和同时双轴拉伸等三种。对于工程塑料来说,PET 薄膜适用逐次双轴拉伸方式,而聚酰胺薄膜三种拉伸方式均适用。

1. 平面式双轴拉伸

平面式双轴拉伸生产工艺流程见图 1-3-115 所示。经挤出机挤出的熔融物料经 T 型机头制成片材,通过冷却辊冷却硬化,再经预热辊和纵向拉伸辊进行纵向拉伸,然后引入横向拉伸段。纵向拉伸装置由几个辊组成,拉伸方式可采用多点拉伸,也可采用单点拉伸。横向拉伸装置由预热段、拉伸段和热定型段组成。薄膜在横向拉伸段中被夹子夹住两边,进行加热、拉伸和定型。经过双轴拉伸及定型的薄膜,最后经冷却后卷取,即得成品。

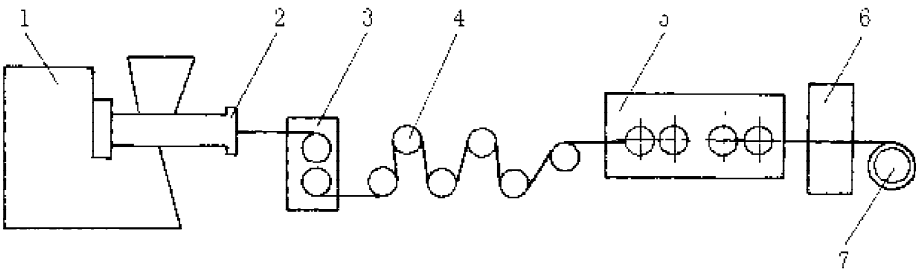


图 1-3-115 平面式双轴拉伸生产工艺流程图

1—挤出机；2—T 型机头；3—片材冷却装置；4—纵向拉伸装置；5—横向拉伸装置；
6—空气冷却装置；7—卷取装置

2. 管式双轴拉伸

管式双轴拉伸薄膜在挤出时呈管状，纵横向同时拉伸，无需切边，比平面式操作简单，但操作技术较为复杂，不易控制。管式拉伸方法有两种：一种是在挤出管内通入气体，利用气体压力进行吹胀拉伸；另一种是在挤出管的内部进行机械拉伸。利用气体压力进行吹胀拉伸又可分为两种：一种是静压法，即管内压力是由静止的空气压力形成的；另一种是动压法，由内部芯轴和薄膜之间的流动气体压力对管膜进行拉伸。后一种方法可以采用通入热空气的方式，在拉伸的同时从管子内部进行加热，从而有利于薄膜生产的高速化和大型化。图 1-3-116 示出了动压法管式双轴拉伸的装置。

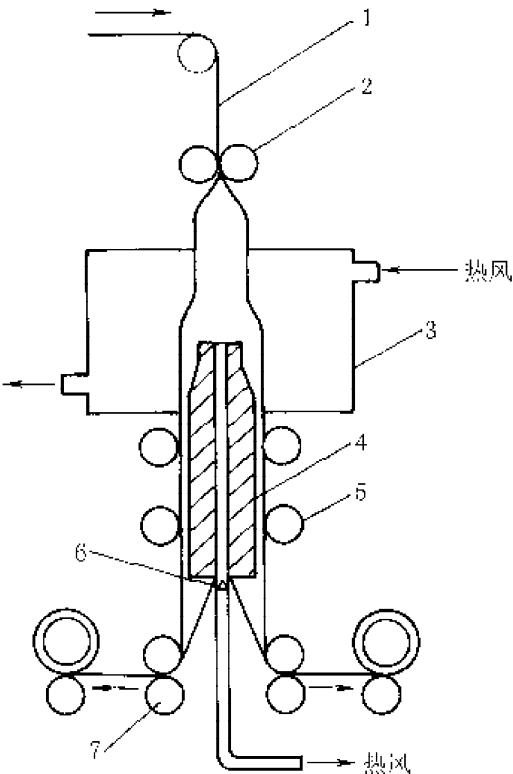


图 1-3-116 动压法管式双轴拉伸装置

1—薄膜；2—输送夹辊；3—加热槽；4—芯轴；
5—吹风口；6—分切器；7—夹辊

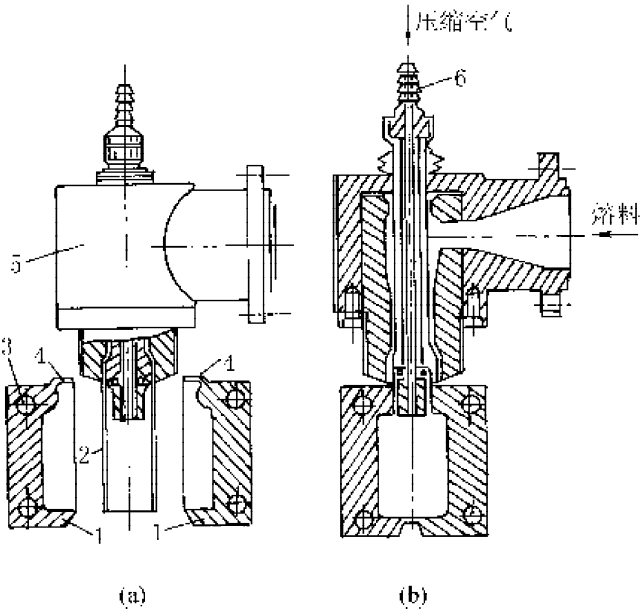


图 1-3-117 中空容器的挤出吹塑成型工艺流程示意图

1—模具；2—管坯；3—冷却水孔；4—切口；5—直角机头；
6—气嘴

(五) 中空容器挤出吹塑成型工艺

中空容器（如瓶、罐、桶等）的挤出吹塑成型是将熔融状态的塑料管坯，置于模具内，借助

压缩空气吹胀冷却而得到一定形状的中空制品方法。PET、聚芳酯等工程塑料,可采用挤出吹塑成型方法制造中空容器。图 1-3-117 示出了中空容器挤出吹塑成型工艺流程示意图。

工程塑料型坯的吹胀比(型坯直径与成品最大直径之比)可达 1:4,但通常以 1:2 为宜。

挤出吹塑的锁模机构,可用液压传动,也可用机械传动。其锁模压力应足以防止在型坯吹胀时模具开启,能够使模具的切料刃口切断型坯,以及能够使两块模板同步进行动作。

挤出吹塑的模具,通常不要求过高的强度,因此可用铝、铜甚至环氧树脂等材料来制造。

挤出吹塑过程主要包括以下几个步骤:

1) 先由挤出机经机头获得一定尺寸的管状熔融物料,挤出成型型坯的方法有间歇挤出法和连续挤出法两种。间歇挤出法是挤出型坯后,停止挤出机螺杆的转动,然后再吹塑、冷却、脱模。连续挤出法是挤出型坯后,并不停止挤出机螺杆的转动,而是连续不断地挤出型坯,供后续的吹塑、冷却等工序。

2) 型坯挤出后,经夹入闭合的模具,由吹塑系统将型坯吹胀成模具所具有的形状,直到冷却定型可以出模为止。吹塑方法主要有针吹法、顶吹法和底吹法三种(图

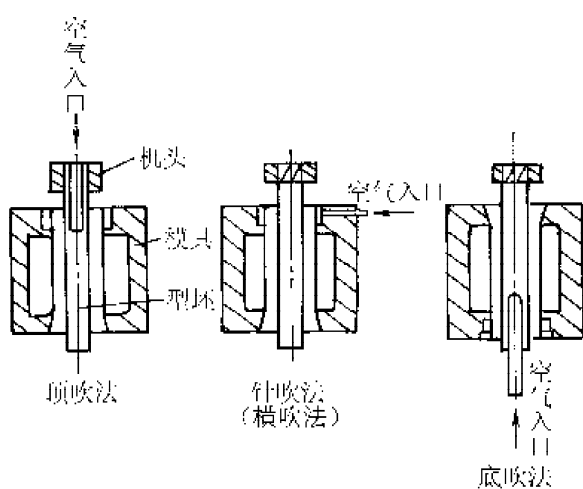


图 1-3-118 中空容器型坯的吹塑方法

1-3-118)。针吹法的吹针机构设置在模具的一个半片中,当模具闭合时,吹针前进,刺破型坯壁,并以压缩空气吹胀型坯,然后吹针退回,熔融物料密闭针孔痕迹。顶吹法在模具闭合时,型坯在底部被夹住让顶部开口,压缩空气从吹气芯轴中通过。底吹法的型坯从挤出机挤出后落到模具底部的吹气芯轴上,吹气芯轴的作用除吹胀型坯外,还和模具颈部的两半配合夹住型坯。

3) 中空容器经吹胀成型后,经加大压缩空气量及模具夹套通冷却水定型冷却后,脱模即为成品。

三、挤出成型工艺的影响因素

(一) 挤出温度和挤出压力

在挤出过程中,物料的温度除主要来自料筒加热器外,还来自螺杆对物料的剪切作用产生的摩擦热。当转入正常生产时,摩擦产生的热将变得更为重要。料筒中料温升高时粘度降低,有利于塑化;同时随着料温的升高,熔体流量增大,挤出物出料加快,但机头和口模温度过高时,挤出物的形状稳定性差,制品收缩率增加,甚至引起制品发黄、出现气泡等,使挤出不能正常进行。温度降低时,熔体粘度大,机头压力增加,挤出制品压得较为密实,形状稳定性好,但离模膨胀较严重,必须适当增大牵引速度,以减小因膨胀而增大的壁厚。温度过低时,塑化较差,且因熔体粘度大而使功率消耗增加。当口模与模芯温度相差过大时,挤出制品易出现向内或向外翻或扭歪的现象。图 1-3-119 示出了挤出机中温度和压力的分布情况。

(二) 螺杆转速

螺杆转速对挤出量有直接关系。转速增加，挤出量也随之提高，但功率消耗也显著增加。

螺杆转速的提高，会使物料在螺杆中得到更多的剪切作用，这对混合及塑化是有利的，同时也使制品的机械强度有所提高。

螺杆转速提高后，牵引速度也要相应地提高，同时冷却定型套及冷却槽也应相应放长，否则，由于通过冷却槽时间过短，制品的冷却程度变差，易产生变形。另外，由于螺杆转速提高，物料在螺杆内的停留时间较短，而过高的摩擦热又会使制品表面变得毛糙，因此，必须精确地控制热平衡。

螺杆转速随其直径的增大而减少，随螺杆旋转线速度的增加而提高，如下式所示：

$$n = \frac{v}{3.14D}$$

(1-3-40)

式中， n ——螺杆转速，r/min；
 v ——螺杆旋转线速度，mm/min；
 D ——螺杆直径，mm。

此外，螺杆转速的增加，对于大多数工程塑料来说，还能降低其熔体粘度，提高料筒中物料的压力，这对挤出成型工艺和制品的质量来说无疑都是十分有利的。

(三) 牵引速度

在挤出成型过程中，物料由口模经定型套至冷却槽，由粘流态冷却为玻璃态，中间经过高弹态，在牵引力的作用下，分子就发生定向作用。在挤出机生产能力容许的情况下，牵引速度应取大一些，但必须与挤出机出口线速度相当，否则在制品中将产生内应力或不必要的定向拉伸作用，甚至使制品发生断裂，正常生产受到破坏。

牵引速度与挤出线速度之比可表示为拉伸力的大小，其比值大于 1。制品的壁厚减小，受到的拉伸力小。此外，温度对拉伸程度也有影响，如果冷却槽的长度不变，冷却水的温度不变，牵引速度增加，则制品经过冷却槽的时间就缩短，制品温度就变高，定向程度也就减小。牵引速度越大，管壁越薄，其长度方向的收缩率也就越大。正因为这个原因，所以一般管材长度方向的收缩率比径向要大。

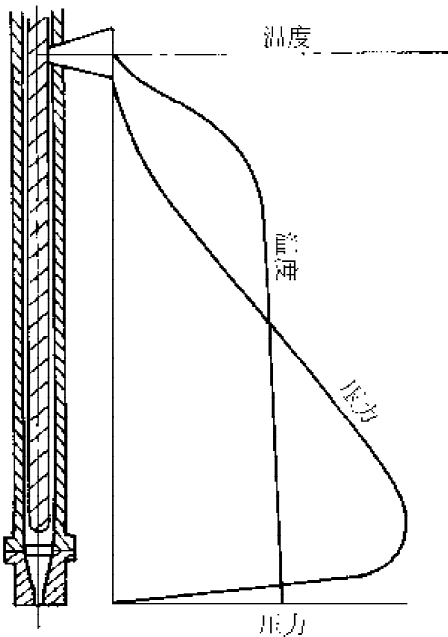


图 1-3-119 挤出机中温度和压力的分布情况

第六节 模压烧结成型

模压成型是塑料成型加工技术中历史最悠久的成型方法。它是塑料成型物料在闭合模腔内借助加热、加压，使其固化而形成制品的成型方法。模压成型是热固性塑料的重要成型方法之一，所有的热固性塑料均可采用此法成型。包括工程塑料在内的热塑性塑料也可采用模压成型，但由于生产效率远低于注射成型和挤出成型，因此除个别品种外，一般较少

采用。

聚四氟乙烯和聚酰亚胺模塑粉等工程塑料,由于它们的熔点高(聚四氟乙烯的熔点为 327°C),而且在熔融状态下的熔体粘度很高(聚四氟乙烯的熔体粘度高达 $10^{10}\text{Pa}\cdot\text{s}$),因此,它们不能采用注射成型等熔融加工方法,通常只能采用类似于粉末冶金的模压烧结成型方法。超高分子量聚乙烯的熔点虽然不高(136°C),但熔体粘度高达 $10^8\text{Pa}\cdot\text{s}$,因此,也常采用模压烧结成型方法制造各种制品。

聚四氟乙烯和超高分子量聚乙烯的模压烧结成型,通常是将它们的粉末填入金属模具的型腔中加压,制得预成型品,然后放入烧结炉中进行烧结。而聚酰亚胺模塑粉则直接在高温高压下模压烧结成型。

模压烧结成型与模压成型有许多相似之处,因此通常也归入模压成型范畴。

一、成型设备

(一) 压机

在模压成型中,压机的作用是通过模具对物料施加压力,开闭模具和顶出制品。压机的主要技术参数是公称吨位、压板尺寸、工作行程和柱塞直径。这些参数决定压机所能模压制品的面积、厚度,以及压机所能达到的最大模压压力。

压机按其传动方式可分为机械式压机和液压机。机械式压机常见的有螺旋式压机。它通过一根垂直安装的可升降的旋转丝杆来推动上压板作往复运动,为了增大压机的压力,丝杆头上带有一惯性转盘,转盘的旋转运动通过皮带轮、摩擦轮或人力拖动。此外,还有双曲柄杠杆式压机等。机械式压机压力不准确,操作噪声大,机械易磨损,现已很少采用。

液压机按其结构可分为上压式液压机、下压式液压机、角式液压机和层压机。目前使用较多的是上压式液压机。液压机按动力来源可分为水压机和油压机。现大量使用的是带有单独油泵的油压机。此种油压机的油压可以调节,其最高油压有16、30、32、50MPa等数种。油压机多数具有半自动或全自动操作系统,对压制时间等可进行自动控制。

另外,按压机的机架结构不同又可分为柱式液压机和框式液压机。图1-3-120和图1-3-121分别示出了上压式的柱式和框式液压机的结构。

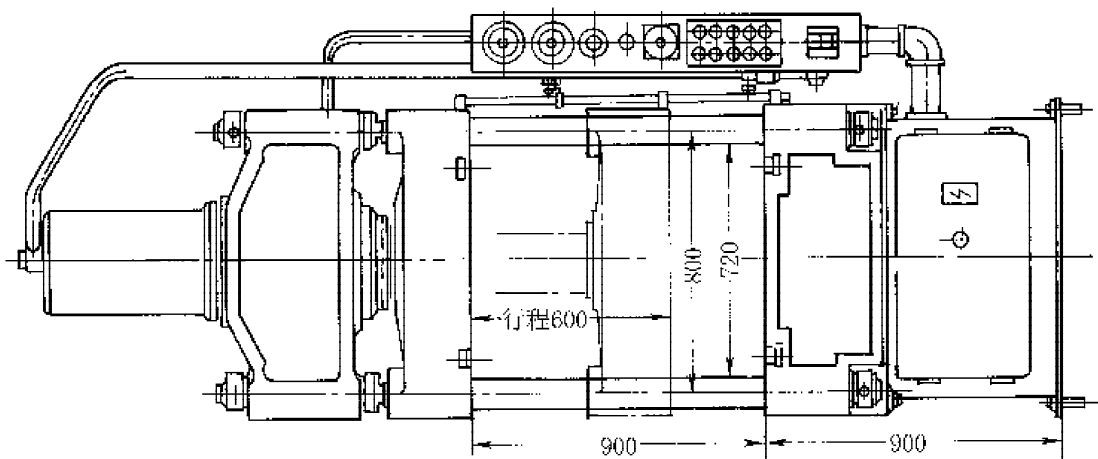


图 1-3-120 BY32-100 型上压式柱式液压机结构

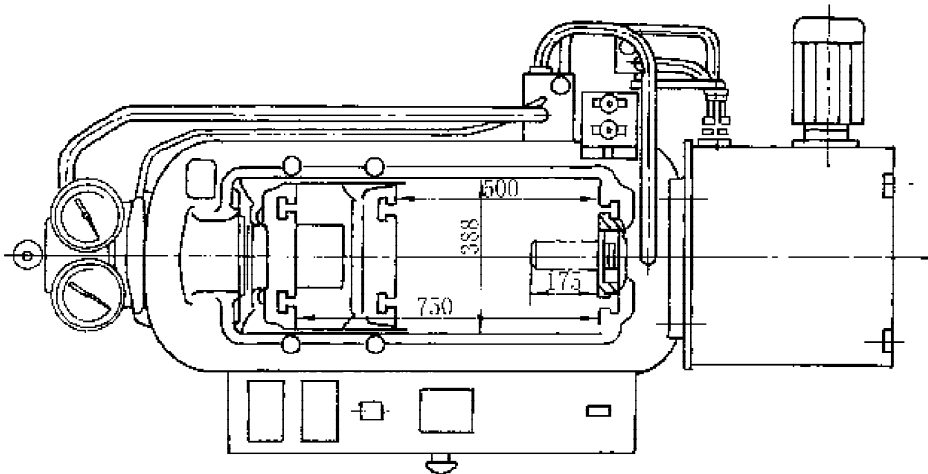


图 1-3-121 SY71-45 型上压式框式液压机结构

模压烧结成型通常采用 20~500t 压机，视产品投影面积的大小而定。应可调节压缩速度，能控制在 5~10mm/min 的范围。在预成型时使物料中的气体能够及时逸出，防止制品分层。

(二) 模具

按模具在压机上固定的形式，可分为移动式、半固定式和固定式三种。

1. 移动式模具(图 1-3-122)

不固定在压机上，成型后移出模具，用卸模工具开模，取出制品。移动式模具结构简单，生产周期较短，但因加料、开模、取件等工序均由手工操作，因此模具容易磨损，而且劳动强度较大。移动式模具质量一般不超过 20kg，适用于压制批量不大的中小型制品，以及形状复杂、嵌件较多、加料困难及带有螺纹等的制品。

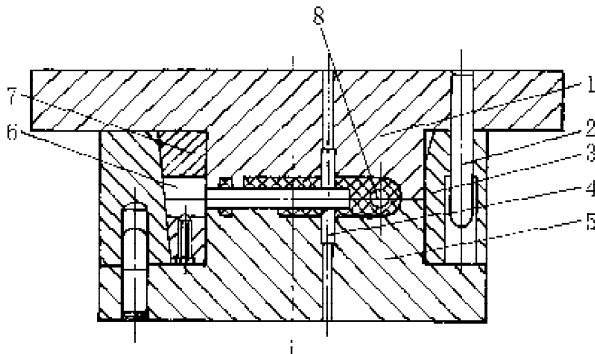


图 1-3-122 移动式模具

2. 半固定模具(图 1-3-123)

一般上模固定于压机上，下模可以沿导轨移动，用定位块定位。也可按需要采用下模为固定的。成型时移出下模或上模，用手工取件或用机外顶出装置取件。半固定模的结构便于放嵌件和加料，减轻劳动强度，并可与通用模架配合使用，适用于嵌件较多、质量较大、不适宜用移动式模具的制品。

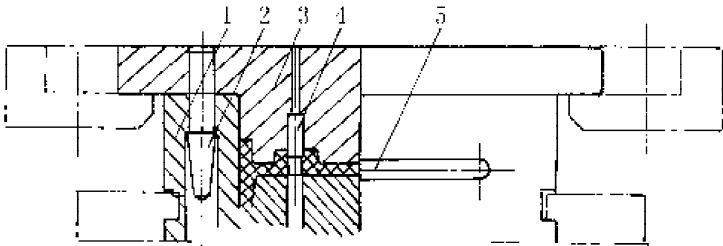


图 1-3-123 半固定式模具

1—凹模（型腔）；2—导柱；3—凸模（上模）；4—型芯；5—手柄

3. 固定式模具(图 1-3-124)

上下模均固定于压机上,开模、闭模、顶出等工序均在压机内进行。采用固定式模具,生产效率高,操作简单,劳动强度小,开模振动小,模具使用寿命长,但结构复杂,成本高,且安放嵌件不便,适用于压制大批量或大型制品。

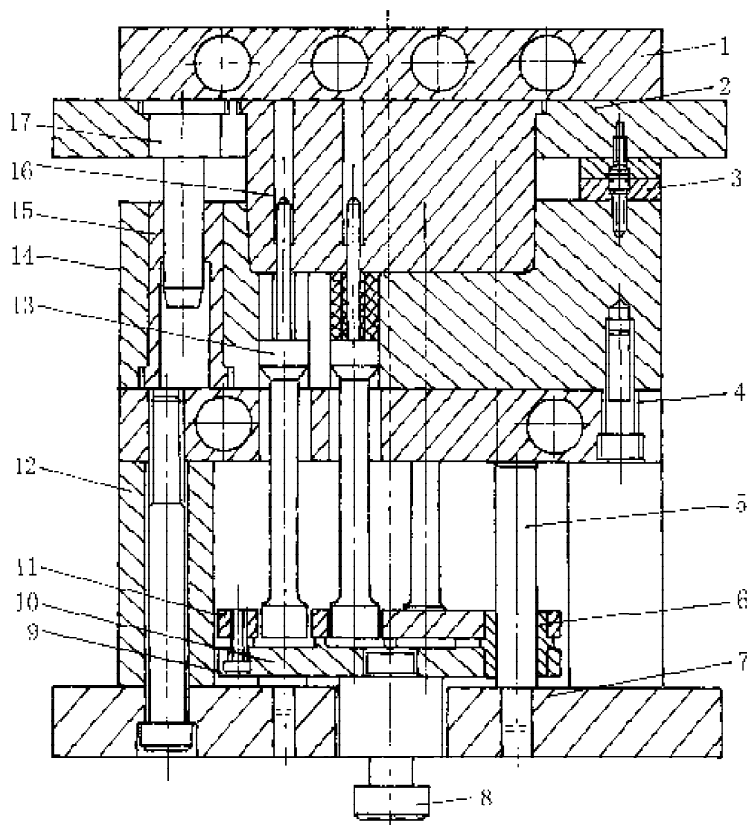


图 1-3-124 固定式模具

1—上加热板; 2—上模板; 3—调整块; 4—下加热板; 5—导柱; 6—导套; 7—下模板; 8—尾轴; 9—调整螺钉; 10—顶板; 11—顶杆固定板; 12—支撑板; 13—顶杆; 14—凹模(型腔); 15—导套; 16—凸模(上模); 17—导柱

按模具的结构特点,也可分为敞开式、半封闭式和封闭式三种。

1. 敞开式模具(图 1-3-125)

又称溢式模具,无加料室,型腔即为加料腔,模腔总高度基本上就是制品高度,由于凸模与凹模无配合部分,因此压制时过剩的物料极易溢出而成为飞边。采用敞开式模具对加料

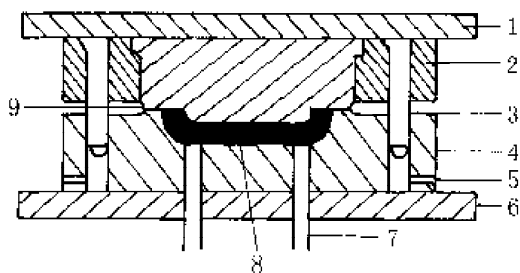


图 1-3-125 敞开式模具

1—上模板; 2—组合式凸模; 3—导合钉; 4—凹模; 5—气口; 6—下模板; 7—推顶杆; 8—制品; 9—溢料缝

精度要求不高,加料量应大于制品质量的 5%。敞开式模具适用于压制小批量、低精度或薄壁大型制品。

2. 半封闭式模具(图 1-3-126)

又称半溢式模具,是在型腔上方设置一断面尺寸大于制品尺寸的加料室,凸模与加料室呈动配合,加料室与型腔分界处有一环形挤压面,过剩的物料通过配合间隙或在凸模上开设专门的溢料槽排除。半封闭式模具操作简便,加料时只需按体积计量,制

品高度由型腔高度决定,可达到每模基本一致。适用于压制流动性较好的塑料及形状复杂的制品。

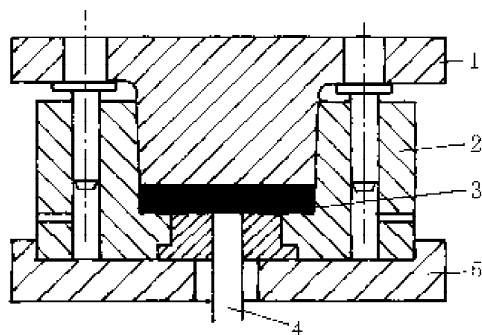


图 1-3-126 半封闭式模具

1—凸模；2—凹模；3—制品；4—脱模杆；5—下模板

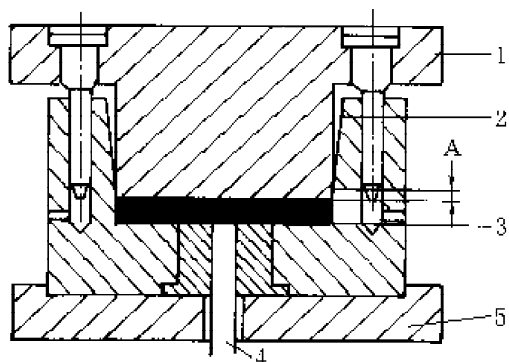


图 1-3-127 封闭式模具

1—凸模；2—凹模；3—制品；4—脱模杆；5—定位下模板

3. 封闭式模具(图 1-3-127)

又称不溢式模具,加料室为型腔上部断面的延续,无挤压面,压机所施加的压力全部作用在制品上,物料的溢出料很少。采用封闭式模具,制品密实性好,机械强度高,适用于压制形状复杂、薄壁、长流程和深型制品;也适用于压制流动性特别小、单位比压高、比容大的塑料。

以聚四氟乙烯、聚酰亚胺等工程塑料为原料,采用模压烧结成型,制造大型制品如板、毛坯、直径大于 100mm 的棒材等,均采用固定式模具。小型制品一般采用移动式模具。而批量较大的小型零件采用自动模压工艺,要用固定式模具,并需要更高的精度和硬度。为防止模具生锈,表面应镀硬铬处理,镀层厚度 0.01~0.02mm。

(三) 烧结炉

通常采用能够升温至 500℃连续工作的电加热烧结炉。炉温精确度应能控制在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内。为保持炉温的均匀性,必须保证有效的空气循环及放置预压件的圆盘能均匀旋转。由于在烧结温度下物料会产生少量分解产物,因此烧结炉应有排气装置,能将气体排出炉外。当关闭炉门冷却时,其冷却降温速度应不超过 20°C/h 。

二、成型工艺

(一) 模压预成型

聚四氟乙烯、超高分子量聚乙烯等物料,在贮运过程中易结块成团,导致成型时加料困难,因此在成型前应将物料捣碎,然后用 20 目筛子过筛,使物料为松散的纤维状粉末。

称取规定量的物料,均匀加入模具型腔中,然后闭模加压。为避免制品产生分层和气泡,在升压过程中要进行放气,最后还需保压,使压力传递均匀,各处受压保持一致。

聚四氟乙烯的模压成型压力在 10~100MPa 范围内,大多为 25~50MPa,保压时间为 3~15min。超高分子量聚乙烯的模压成型压力为 42MPa 左右,保压时间为 3min 左右。

保压结束后即缓缓卸压,应防止压力解除后预成型品由于回弹作用而产生裂纹。卸压后应小心进行脱模。

模压预成型通常是在室温下进行的,适当提高物料温度,可降低预成型压力。在总压力不足的情况下,可通过提高温度来弥补。

(二) 烧结

烧结过程包括升温、保温和冷却三个阶段。烧结条件应根据物料品种、制品大小等加以确定。烧结可在空气中以自由状态或在氮气中以保护状态下进行。

1) 升温 是将预成型品由室温加热至烧结温度的过程。由于物料传热性能差,所以加热应按一定的升温速度进行。升温太快,预成型品各部分膨胀不均匀,易使制品产生内应力,甚至出现裂纹,而且还可能出现“内生外熟”的现象。升温太慢,则会延长成型周期。一般来说,聚四氟乙烯的升温速度控制在 $25\sim 60^{\circ}\text{C}/\text{h}$,而超高分子量聚乙烯则控制在 $60\sim 80^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。大型制品升温速度应放慢,而小型制品则可适当加快。

烧结温度应根据物料的热稳定性加以确定。通常聚四氟乙烯的烧结温度为 $360\sim 380^{\circ}\text{C}$,超高分子量聚乙烯为 163°C ,而聚酰亚胺模塑粉为 450°C 。烧结温度对制品性能影响明显。提高烧结温度,可提高制品的结晶度和密度,但收缩率也随之增大。

2) 保温 是将已达到烧结温度的预成型品在该温度下保持规定时间使其完全“熟化”的过程。保温时间主要取决于烧结温度、物料的热稳定性及制品的大小等。在保证烧结质量的前提下,烧结温度高时,保温时间应短些;热稳定性较差的物料,保温时间也应短些,否则会引起物料分解,制品表面不光,产生气泡和裂纹;大型制品或厚壁制品,保温时间应适当延长。聚四氟乙烯大型制品,保温时间为 $5\sim 10\text{h}$,小型制品的保温时间一般为 1h 左右。

3) 冷却 是将已经烧结好的制品从烧结温度降到室温的过程。冷却可分快速冷却和慢速冷却两种。快速冷却又称“淬火”,慢速冷却则称为“不淬火”。这两种冷却方法对制品的性能具有明显的影响(表 1-3-68)。

表 1-3-68 冷却速度对聚四氟乙烯制品性能的影响

项 目	快速冷却 (淬火)	慢速冷却 (不淬火)
结晶度, %	65	80
密度, g/cm^3	2.195	2.245
收缩率, %	$0.5\sim 1.0$	$3.0\sim 7.0$
断裂伸长率, %	$355\sim 365$	$349\sim 395$
拉伸强度, MPa	$30.0\sim 31.5$	$35.0\sim 36.0$

不同制品对冷却速度的要求也不尽相同。大型制品,如果冷却速度加快,内外层温差就大,会因收缩不均而产生内应力,甚至出现裂纹。因此厚度或高度大于 4mm 的聚四氟乙烯制品,一般都不淬火,通常以 $15\sim 24^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度缓慢冷却,并应在结晶速度最快的温度范围内保持一段时间,以增加其结晶度,待冷却至 150°C 后取出再放入石棉箱中冷却至室温。厚度大于 25mm 的聚四氟乙烯制品应在烧结炉内缓慢冷至室温方可取出。对于板材或尺寸要求精确的制品,从烧结炉中取出后应放在定型模内并在受压的情况下冷却至室温。小型聚四氟乙烯制品则一般以 $60\sim 70^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的冷却速度冷却到 250°C 以下即可取出。

在氮气等惰性气体氛围中烧结,可提高制品的烧结温度,如超高分子量聚乙烯的烧结温度可从 163°C 提高到 200°C 。在惰性气体氛围中或在真空中烧结,不但可以提高制品的致密性、耐磨性和耐蠕变性,降低制品在载荷情况下的变形,而且还可以防止金属填充剂(如铜、钼等)的氧化。表 1-3-69 示出了在空气或氮气中聚四氟乙烯烧结制品性能的比较。

表 1-3-69 在空气或氮气中聚四氟乙烯烧结制品性能的比较

项 目	25%玻璃纤维		20%玻璃纤维+5%石墨		40%锡青铜	
	氮气	空气	氮气	空气	氮气	空气
拉伸强度,MPa	18.2	16.9	15.4	14.1	13.3	14.7
伸长率,%	304	276	160	163	328	168
弯曲强度,MPa	20.9	20.2	36.7	21.4	28.3	23.9
冲击强度,kJ /m ²	14.2	13.6	55.5	52.8	135	143
压缩强度,MPa	17.1	16.7	22.6	22.1	31.6	31.1
硬度 (HB), kPa	5.5	5.1	7.4	6.1	6.2	5.9
磨痕,mm	5.5	5.6	4.9	5.4	8.8	10.5
磨损,mg	2.6	3.1	1.4	2.9	45.5	88.0
摩擦因数	0.25	0.26	0.19	0.16	0.16~0.22	0.22
线膨胀系数,×10 ⁻⁵ /℃	15.3	15.0	16.8	11.7	10.0	13.5
载荷 24h 形变 (3.7MPa), %	3.87	8.51	2.44	7.98	8.58	10.00

第七节 发泡成型

发泡成型是通过机械、物理或化学方法,使塑料成型物料内部形成大量微孔,并固化形成固定微孔结构的泡沫塑料制品的成型方法。无论采取什么方法发泡,其基本过程都是:首先在液态或熔融态物料中引入气体,产生微孔;其次使微孔增长到一定体积;最后通过物理或化学方法固定微孔结构,成为制品。

发泡成型中所形成的微孔结构,有开孔和闭孔两种。如各个微孔是互相连通的,称为开孔泡沫结构;如各个微孔是互相分隔的,则称为闭孔泡沫结构。

根据发泡成型中的气体发泡倍率,可分为高发泡和低发泡两种工艺。发泡倍率是指发泡后比发泡前体积增大的倍数。发泡倍率小于 5 的为低发泡;大于 5 的为高发泡。所制得的泡沫塑料则相应称为低发泡泡沫塑料和高发泡泡沫塑料。

采用不同的发泡成型工艺,可得到不同硬度的制品。通常弹性模量小于 70MPa 的为软质泡沫塑料,大于 700MPa 的为硬质泡沫塑料,介于 70~700MPa 之间的为半硬质泡沫塑料。

几乎所有热塑性和热固性塑料均可通过发泡成型生产各种泡沫塑料。但就工程塑料而言,目前常用的是 ABS、改性聚苯醚、聚酰胺和聚碳酸酯等。

一、发泡成型设备

发泡成型的设备根据不同的成型方法及泡沫塑料品种有所不同。使用机械发泡法,主要成型设备为鼓泡机;使用物理发泡法,主要成型设备为预发泡机;使用化学发泡法,可采用模压、注射、挤出等成型设备。对于不同的成型方法和泡沫塑料品种,一般均需配备具有特殊要求的模具。

(一) 鼓泡机

鼓泡机主要用于机械发泡工艺,其作用主要是用强烈的机械搅拌将空气卷入树脂的乳液、悬浮液或溶液中,使其成为均匀的泡沫物。

鼓泡机的结构如图 1-3-128 所示。它是由钢或不锈钢制成的圆筒和搅拌系统共同组

成。筒径一般为 0.6m,筒高为 2m。搅拌器采用多桨叶式,转速约为 400r/min,可以按顺、逆两个方向转动。顺转时,桨叶使液体向上运动鼓泡;逆转时,桨叶使液体向下运动,主要在出料时使用。圆筒下部设有空气进口,底部设有出料口,出料口由轻便的闸板操纵其启闭。

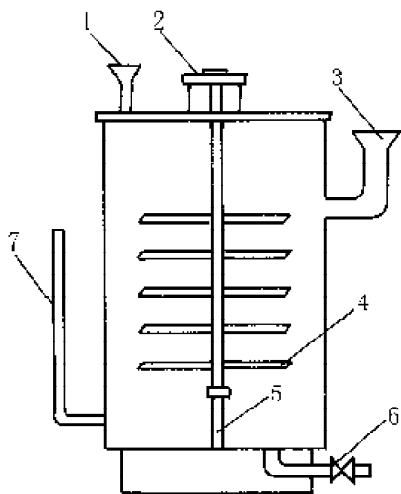


图 1-3-128 鼓泡机结构示意图

1—发泡液进口; 2—传动轮; 3—树脂进口; 4—搅拌桨叶; 5—搅拌轴; 6—闸门; 7—空气管道

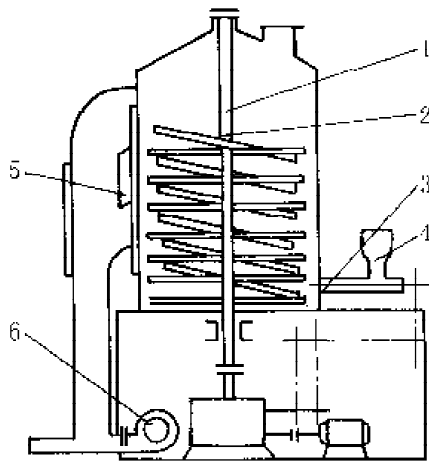


图 1-3-129 预发泡机结构示意图

1—旋转搅拌器; 2—固定搅拌器; 3—螺旋进料器; 4—加料斗; 5—出料口; 6—鼓风机

(二) 预发泡机

预发泡机主要用于连续法物理发泡成型工艺,其主要作用是通过不断的搅拌、加热,使珠状物料得到一定的膨胀,以使制品的密度下降及减少密度梯度形成的倾向。

预发泡机的结构见图 1-3-129 所示。珠状物料连续均匀通过螺旋进料器进入筒体内,筒体内设有搅拌器和四根管道,其中三根管道通蒸汽,从管道上开设的小孔直接进入筒体,以助发泡;另外一根管道可通入压缩空气以调节底部温度。出料口设有蜗轮机构,可以调节升降,从而控制预发泡物料在筒内的停留时间。

(三) 喷枪

喷枪主要用于喷涂法化学发泡成型工艺。其主要作用是将两个组分物料在枪内充分混合并同时喷涂至工作面上进行发泡。两个组分,通常以树脂、催化剂、水、发泡剂、稳定剂等为一组分,以能与树脂起化学反应的化合物为另一组分。两个组分分别按配比由计量泵送至喷枪,以压缩空气为动力,将两个组分的物料在喷枪出口处充分混合。主要适用于聚氨酯的发泡成型。

(四) 模具

1. 模压发泡成型模具

模压发泡成型模具主要用于化学发泡成型工艺,生产闭孔性泡沫塑料。它的所有活动的或固定的配合面必须紧密闭合,在加热过程中不产生漏料的现象或使气体大量逸出,为此闭合面通常采用硬铅作垫片或采用紧密的活塞式配合。另外,为使发泡均匀,必须使模具型腔得到均匀的加热和冷却,通常采用蒸汽加热、冷水冷却。加热和冷却管道的排列应尽量采用双进双出或外进外出形式,以降低出入口的温差。

图 1-3-130 为模压发泡成型软质泡沫塑料平板用的移动式模具。其上下模密封面采用硬铅作垫片,在上模开有环形槽,填入铅垫片,在下模对应有凸起的环形,闭模时与上模的槽

互相嵌合,并将铅垫片压紧,由于硬铅在受压后变形,而保证上下模密合。在下模四周有一伸出的环形凹模用于收集高压下溢出的物料。

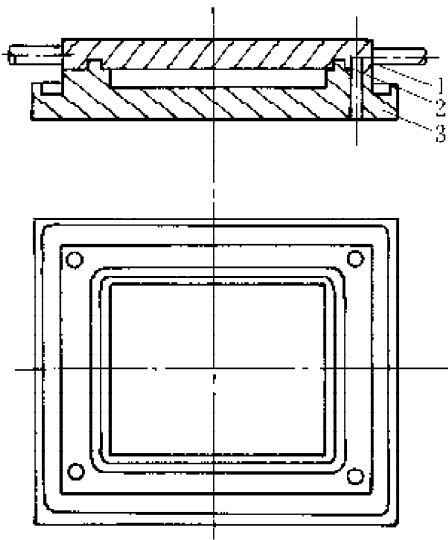


图 1-3-130 模压发泡平板用模具
1—上模; 2—硬铅垫片; 3—下模

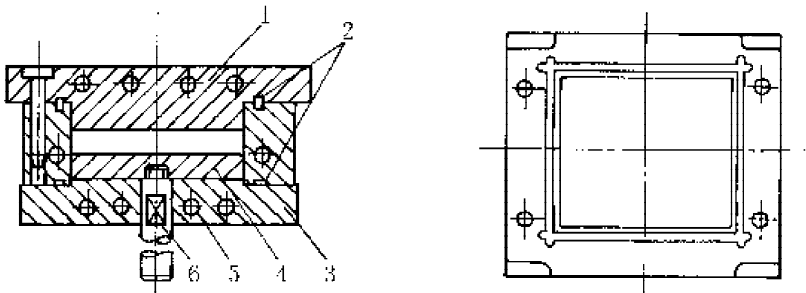


图 1-3-131 模压发泡硬平板用模具
1—上模; 2—密封圈; 3—下加热板; 4—下模; 5—加热孔; 6—尾轴

图 1-3-131 为模压发泡成型硬质泡沫塑料平板用的固定式模具。其上模与下模之间采用活塞式配合,上模板与凹模上平面接触处设置了一圈硬铅密封垫,凹模与底板组合时也嵌有铅垫片,以进一步提高气密性。制品压制定型后即可分模,制品常胀紧在模具型腔内,模具内装有顶板可将制品托出。

2. 注射发泡成型模具

注射发泡成型模具主要用于化学发泡成型工艺,生产低发泡泡沫塑料。其结构与普通注射成型模具大致相似,不同之处主要有以下几点:

- 1) 主浇道 由于发泡物料的冷却速度较慢,因此在浇口道的外部应通以冷却水。
- 2) 分浇道 在低发泡成型过程中,应尽量使物料在流入型腔前不产生气泡,因此分浇道应尽量缩短,而且断面尺寸比普通注射模具要大。
- 3) 排气槽 注射发泡成型中从型腔排出的气体量比普通注射要多 8~10 倍,物料中产生的发泡气体至少有 50% 是多余而需排出模腔之外,因此排气就显得格外重要。其模具排气槽通常采用深 0.15~0.20mm、宽 20mm 以上的浅槽,由模腔直接通过合模面排出。排气的位置在型腔底部时,应采用嵌入的排气栅 (图 1-3-132),栅上有直径为 0.50~0.75mm 的小孔,或宽为 0.15~0.30mm 的狭缝,栅的厚度为 6~10mm,可用电加工方法制造,然后压入套筒内。

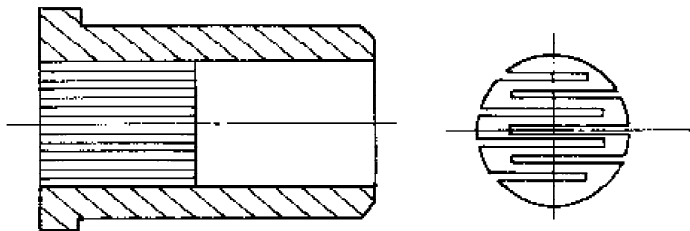


图 1-3-132 注射发泡成型模具排气栅

4) 顶出机构 由于泡沫塑料内部充满细微孔洞,顶出面积应尽量大,否则会造成顶破制品或变形。如果采用顶出杆,其直径应比普通注射成型模具用的大 20%~30%。对于大型环形制品,可采用压缩空气顶出。

5) 脱模斜度 由于发泡成型的注射压力低,而且制品的表面强度也比普通注射成型品为低,因此脱模斜度应比普通注射模具要大一些,以减小脱模力。通常 ABS 低发泡泡沫塑料的脱模斜度取 1°。

3. 物理发泡成型模具

物理发泡成型模具由两部分组成,用于立式成型机的分为上、下模;用于卧式成型机的分为左、右(或动、定)模,每一半都要有模腔和蒸汽室。模腔根据制品几何形状来确定,蒸汽室则根据生产量来选择。对于小批量生产,可采用通用蒸汽室,模具制造较简单;对于中、大批量生产,可采用匣式蒸汽室或随形蒸汽室,以节约蒸汽和冷却水,但模具较复杂。

1) 通用蒸汽室模具(图 1-3-133) 上蒸汽室较大,用于凹模腔的加热,下蒸汽室较浅,用于型芯的加热。

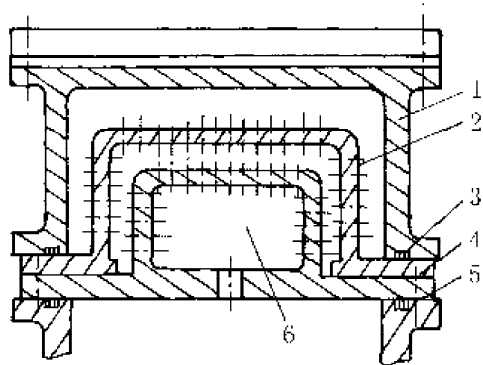


图 1-3-133 物理发泡成型通用蒸汽室模具

1—上气室; 2—气孔; 3—密封垫; 4—凹模; 5—凸模;
6—下气室

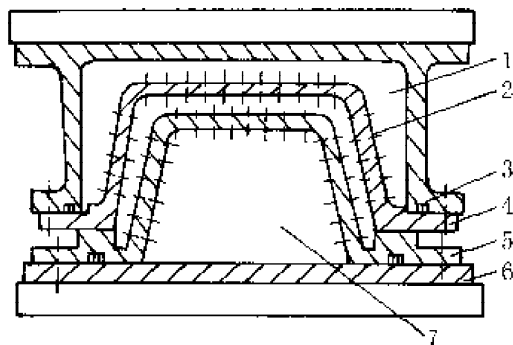


图 1-3-134 物理发泡成型匣式蒸汽室模具

1—上气室; 2—气孔; 3—密封垫; 4—凹模; 5—凸模;
6—模板; 7—下气室

2) 匣式蒸汽室模具(图 1-3-134) 上模由上气室和凹模组成,下模由模板、凸模及下气室组成,在凹模和凸模的成型部位上开气孔。

3) 随形蒸汽室模具(图 1-3-135) 凹模和凸模均为薄壳体,蒸汽室由与凹凸模外形相

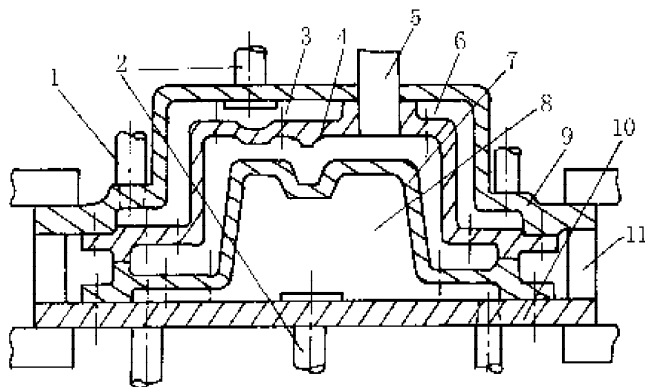


图 1-3-135 物理发泡成型随形蒸汽室模具

1—排气道; 2—入气道; 3—上气室; 4—凹模; 5—进料口; 6—上气室;
7—凸模; 8—下气室; 9—壳体; 10—底板; 11—承压垫

同的壳体及与凹凸模之间的空腔组成,加热和冷却均匀。合模力由承压垫承受,以避免壳体接合面受过大的压力,延长模具寿命。

二、发泡成型工艺

工程塑料主要采用物理发泡法和化学发泡法生产泡沫塑料。

(一) 物理发泡法

物理发泡法是指利用物理原理进行发泡的方法。它又可以分为多种方法:

①) 在加压的情况下先使惰性气体溶于熔融状树脂或糊状复合物中,然后再减压使被溶解的气体释放而发泡。

②) 先将挥发性的液体均匀地混合于树脂中,然后再加热,使其在树脂中气化发泡。

③) 先将颗粒细小的物质混入树脂中,然后用溶剂或伴以化学方法,使其溶出而发泡。

④) 先将微型空心玻璃球等埋入熔融的树脂或液态树脂中,然后使其冷却或交联硬化成为泡沫塑料。

⑤) 将疏松、粉状的热塑料通过烧结成为泡沫塑料。

目前以 ①)、②)两种方法为主。采用物理发泡法成型的工程塑料品种主要有 ABS、改性聚苯醚和聚酰亚胺等。

(二) 化学发泡法

化学发泡法通常采用将发泡剂和工程塑料粒子混合在一起,发泡剂在成型时受热分解,从而产生发泡成型所需要的气体。化学发泡法可采用模压、注射、挤出等成型工艺。采用化学发泡法成型的工程塑料品种主要有聚酰胺、改性聚苯醚、ABS、聚碳酸酯和聚酰亚胺等。

1. 模压法

模压法生产泡沫塑料的工艺过程主要包括:将树脂和发泡剂等配成糊料或制成粒料,装料入模,加热加压进行发泡,冷却,脱模,以及在适当温度下使预制品进一步膨胀等步骤。例如,模压法生产 ABS 泡沫塑料的工艺过程是,先将混有发泡剂偶氮二甲酰胺的 ABS 粒料装入模具内,将模具闭合,加热升温至 $200\sim 233^{\circ}\text{C}$ (偶氮二甲酰胺分解温度),使 ABS 粒料熔融、膨胀、发泡。一般可采用循环热空气烘箱进行加热,发泡时间 $10\sim 30\text{min}$ 。发泡结束后,将模具从烘箱内取出,采用喷水方法使其冷却,脱模后经后处理得制品。

2. 注射法

注射法生产泡沫塑料一般只限于低发泡制品,注射设备通常采用移动螺杆式注射机,其工艺过程与一般注射成型基本相同,物料的升温、混合、塑化、发泡均在注射机内进行。

注射时,一般都采用较高的注射速率,这样不仅可以减少气体的逸失,还可得到表层光滑和芯层均匀的制品。为了防止注射中熔料或气体从喷嘴处漏出,喷嘴处应设置阀门。

3. 挤出法

挤出法有以下两种成型工艺:

①) 将物料在低于发泡剂分解温度的料筒内塑化并挤成具有一定形状的中产品,然后再在挤出机外加热使其成为制品。

②) 采用低温分解的发泡剂,使发泡在料筒中进行,挤出物在离开口模冷却后即成为制品。

第八节 热 成 型

工程塑料的热成型属于二次加工,是一种将已经过成型的工程塑料板材作为原材料,在加热情况下进行加工得到制品的方法。这种方法适应性强,设备投资少,模具制造简便,因此得到了广泛的应用。

用于热成型的工程塑料品种有聚酰胺、ABS、聚碳酸酯、PBT、聚砜、聚醚砜等。

工程塑料的热成型,需要先将工程塑料板材裁成一定尺寸和形状,然后夹持在框架上加热到热弹态,再凭借气体压力、机械压力或液体压力使其紧贴模具的型面,取得与型面相同的形状,最后经冷却脱模并加以适当的修整,得到制品。工程塑料的热成型可分为真空成型法、压力成型法、覆盖成型法、柱塞辅助成型法、推气成型法和对膜成型法等,但基本原理均是相同的。

工程塑料热成型制品大多为半壳体,如仪表外壳、建筑构件、冰箱内衬、汽车车顶、飞机舱罩、医疗器皿及电视机壳体等。这些制品的壁厚最厚可达 20mm,最薄仅 0.05mm,但大多数制品的壁厚在 1~2mm 之间。

一、热成型设备

工程塑料热成型设备主要有成型机、模具和加热装置,另外还包括一些辅助设备,如夹持装置、真空装置、空气压缩装置及冷却装置等。

(一) 成型机

成型机有多种类型。按操作方式,可分为手动、半自动和全自动三种。手动成型机中的一切操作,如夹持、加热、抽真空、冷却、脱模等均由人工调整来完成;半自动成型机中的各项操作,除夹持和脱模需由人工完成外,其余操作按预先调定的条件和程序由设备自动完成;全自动成型机中的一切操作完全由设备自动进行。

按原材料的进料方式,成型机可分为分批进料式和连续进料式两种。分批进料式成型机适用于不易成卷的厚片,生产大型制品。设备采用三段轮转工序,即设备按装卸、加热和成型的工序分为三段(图 1-3-136),加热器和成型用的模具都设在固定区域内,工程塑料

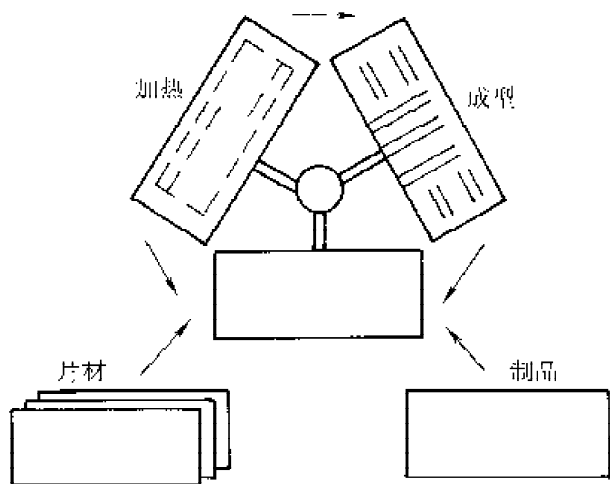


图 1-3-136 三段轮转式分批进料成型机

板材则是由三个按 120°角度分隔而且可以旋转的夹持框夹持,并在三个区域内轮流转动,轮转动作为间歇性。连续进料式成型机适用于可以成卷的片膜材料或由挤出机直接供给的坯料,生产薄型、小型制品。设备也采用多段式,每段只完成一个工序(图 1-3-137)。

按夹持机构的不同,成型机又可分为凸轮式、肘节式、直压式和圈套式等多种。凸轮式成型机利用凸轮的旋转,使加热板及成型台上下运动;肘节式成型机利用肘节机构的

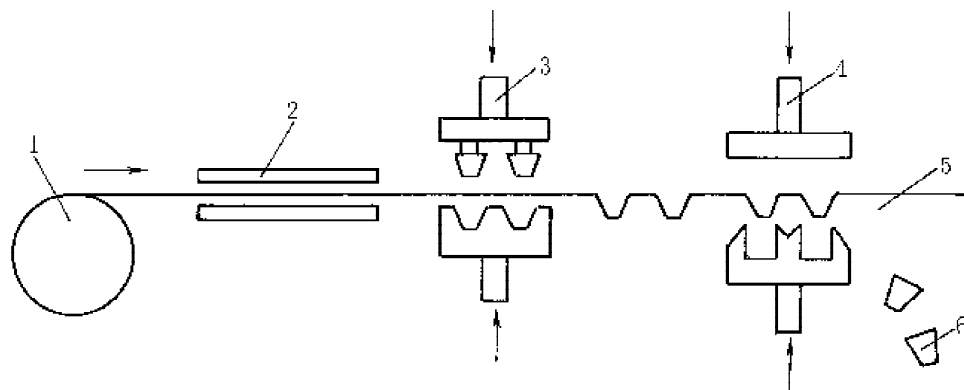


图 1-3-137 连续进料式成型机

1—料卷；2—加热器；3—模具；4—切边；5—废料；6—制品

运动,使加热板及成型台上下运动;直压式成型机采用油压或压缩空气使柱塞动作,将加热板和模具型刃之间的片材夹住,直到成型完成;圈套式成型机主要用于生产带翻口的圆形制品,利用具有真空分配管的支持杆,将预先制成圆形的片材连续成型。

成型机种类繁多,但其基本组成部分大致是相同的,主要由加热板、成型台、基板、面板、框架及控制仪表等组成。图 1-3-138 为成型机的基本结构图。

(二) 模具

工程塑料热成型的压力不高,因此对模具刚度的要求较低。用于制造模具的材料有钢、铝、热固性塑料、木材及石膏等。用于试制产品热成型时,可选用木材或石膏;用于产量不大的热成型制品时,可选用酚醛、脲醛或环氧树脂等热固性塑料;当用于大批量及品质要求较高的热成型制品生产时,则可用钢或铝作为模具材料。

热成型模具在设计时,应注意以下几点:

1) 不同模具应选取所允许的拉伸比。拉伸比是制品的高度与宽度之比,一般来说,柱塞辅助成型法的模具所允许的拉伸比最大,可大于 1,单凸模的允许拉伸比小于 1,单凹模的允许拉伸比最小,不得大于 0.5。

2) 为便于脱模,制品角隅的曲率半径应尽量选取大值,最小曲率半径不得小于片材厚度。制品应有一定的斜度,阳模一般为 $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$,阴模 $0.5^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 。

3) 如果制品壁厚较薄,应设计加强筋,以增强刚性。

4) 根据对制品各部位厚度及表面粗糙度的要求,应选用不同类型的模具,如制品的边缘较厚而中央较薄,应选用阴模;如制品的边缘较薄而中央较厚,则应选用阳模。

6) 模具上气孔的位置,一般应均匀分布在制品各个部分,但在角隅和边缘部位,可适当集中。气孔直径一般为 $0.5 \sim 1.0\text{mm}$,最大不可超过片材厚度的 $1/2$,以免在制品上留下孔痕。

6) 为制得尺寸准确的制品,应充分考虑原材料的收缩率。以 ABS 为原材料时,收缩

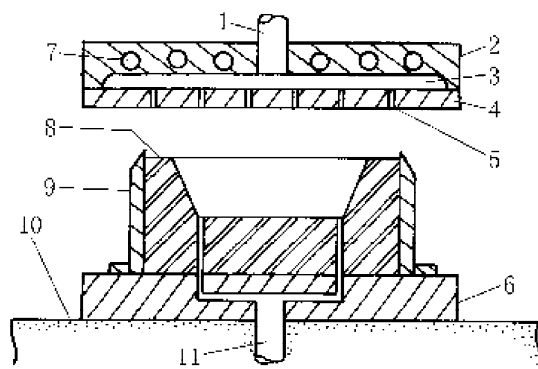


图 1-3-138 成型机基本结构图

1—压缩空气管；2—加热板；3—气槽；4—面板；
5—排气孔；6—成型台；7—电热丝；8—模具；
9—型刃；10—基板；11—通气孔

率通常为 0.4%~0.8%；以聚碳酸酯为原材料时，收缩率为 0.5%~0.8%。

7) 在选用两个以上的凸模成型时，各个凸模之间要有一个适当的距离，以免制品边缘出现折皱现象。阴模则无须留有间隔距离。

8) 为使原材料取得最大的利用率，应尽量采用多工位模具。

为了使制品从原材料上切断取下，模具顶部应安装型刃。在设计型刃时，应注意以下几点：

1) 为使压缩应力均匀分布在型刃上，应将型刃制成宽度为 0.10~0.15mm 的圆弧。

2) 型刃角度以 20°~30°为宜。角度小虽然可以减小切断力，但角度过小型刃的使用寿命将缩短；角度过大则要增加切断力。

3) 型刃应选择刚性大、变形小、耐磨性好的材料，但其硬度不应高于加热板，以免万一接触加热板造成损伤。

(三) 加热装置

工程塑料热成型的加热装置种类很多，如加热板、加热棒、烘箱、红外线灯等。供给热量的方法有电、油、过热水和蒸汽等。图 1-3-139 为加热板的示意图。

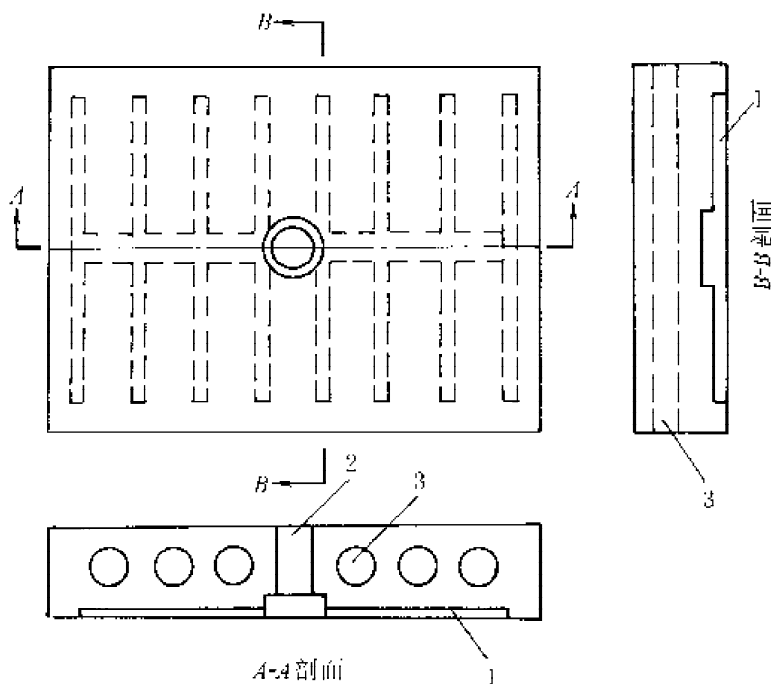


图 1-3-139 加热板示意图

1—压缩空气沟；2—压缩空气入口；3—圆筒形加热器

为提高加热速率，在片材厚度大于 3mm 时，通常采用两面加热的方法，在夹持片材的上下各用一套加热器。两面加热时，下加热器的温度应低于上加热器，以防止片材在加热时过分下垂。

加热器的加热面积一般应略大于夹持框的夹持面积，以充分保证片材全部受热。超过范围约为每边 10~50mm。

工程塑料热成型时，模具温度通常保持在 45~75℃。如果模具由金属材料制成，可采用温水循环于模具内的通道中；如果模具由非金属材料制成，则可采用红外线辐照的方法进行加热。如采用柱塞辅助成型法，柱塞也必须保持与片材相近的温度，一般可采用内部电热

的方法对柱塞进行加热。

(四) 辅助设备

1. 夹持装置

夹持装置的作用是夹持坯料使其固定,并确保气密性。夹持装置通常由上下两个机架组成,压力可在一定范围内调整,框架上常附有自动补偿压力的装置。为便于操作,夹持机架大多做成能在垂直方向或水平方向移动的。

2. 真空装置

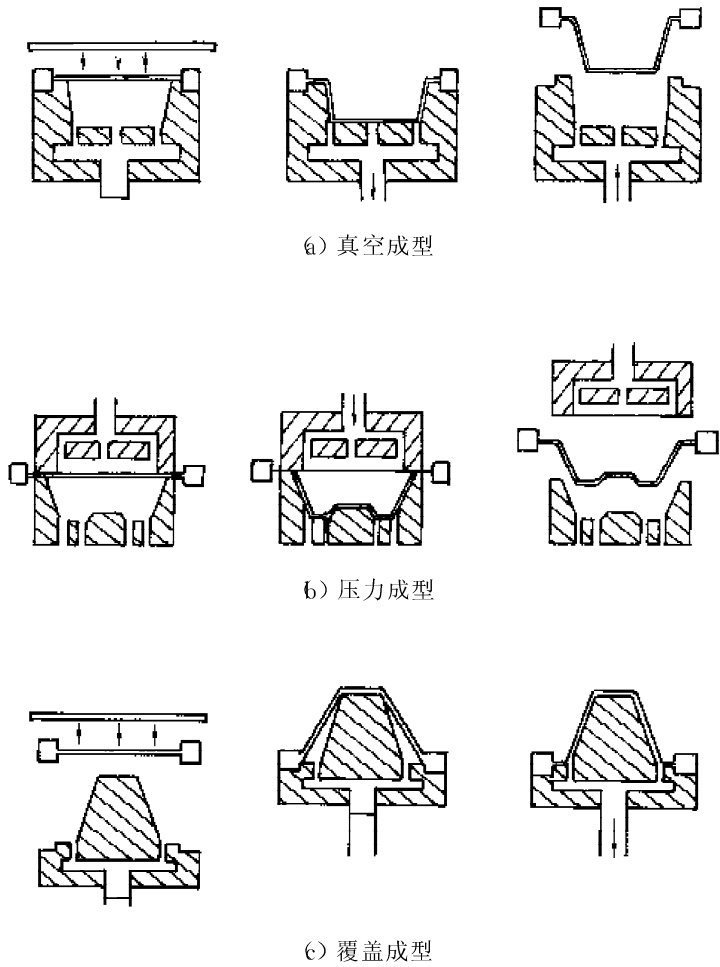
真空装置主要由真空泵、真空贮罐及管道、阀门等组成。真空装置应能达到较高的真空度。真空泵大多采用叶轮式或蒸汽喷射式。

3. 压缩空气装置

压缩空气装置主要由空气压缩机、贮压罐及管道、阀门等组成。空气压缩机的额定排气量一般为 $0.15\sim0.30\text{m}^3/\text{min}$,压力为 $0.6\sim0.7\text{MPa}$,但实际使用时,一般不大于 0.35MPa 。

二、热成型工艺

工程塑料的热成型工艺较为简单,热成型方法尽管有多种,但其成型工艺基本上均包括片材的夹持、片材的预加热、成型、冷却、脱模等几个步骤。图 1-3-140 示出了几种主要热成型方法的基本成型过程。



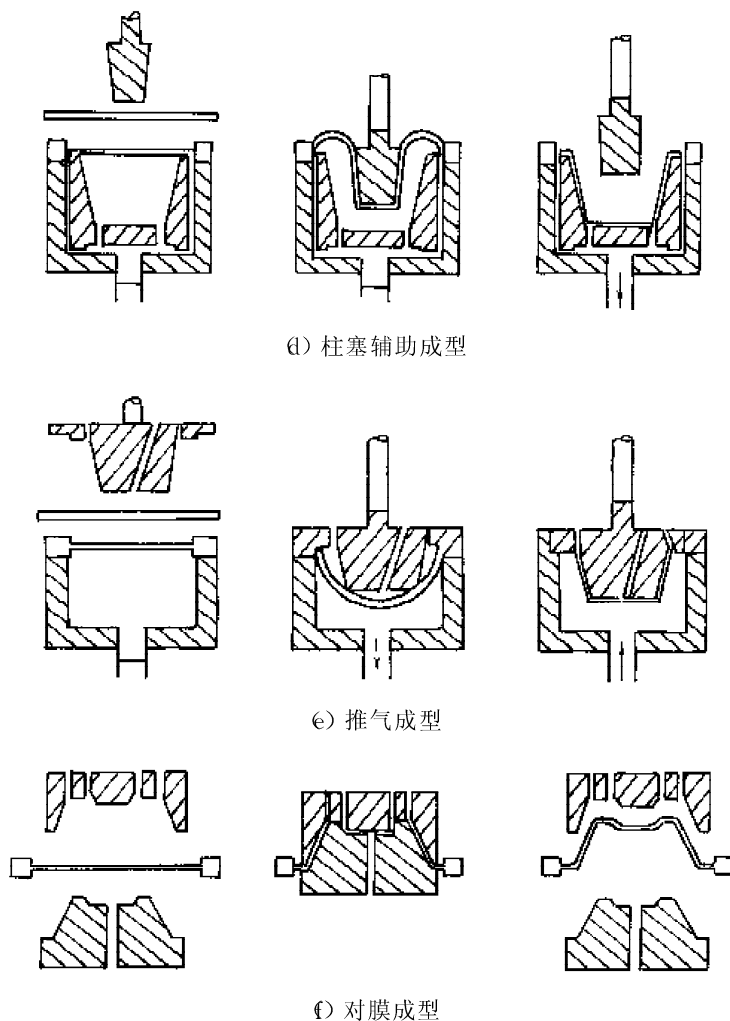


图 1-3-140 几种主要热成型方法的基本成型过程

(一) 预加热

坯料的加热时间主要取决于工程塑料的种类和坯料的厚度。加热坯料所需的时间,随坯料厚度的增加而增加。另外,加热坯料所需的时间,还随工程塑料的比热增大而增加,随工程塑料导热系数的增大而减少。

为了使热成型制品减小内应力,坯料的加热应均匀稳定,坯料厚薄应尽量均一。坯料的厚薄公差通常不应大于 4%~8%,否则应适当延长加热时间。

坯料在夹持架上有时会出现下垂现象,这是由于坯料的热膨胀和熔融流动所产生的。为此,应严格控制加热温度,并且尽量采用定向型坯料。

(二) 成型工艺

工程塑料的热成型工艺主要应控制合理的成型温度、成型速度和成型压力。

1. 成型温度

表 1-3-70 列举了一些工程塑料的热成型温度和线膨胀系数。随着成型温度的提高,坯料的拉伸强度下降;而坯料的伸长率随之增大到某一极大值后,会出现反而下降的趋势。通常在伸长率最大时的温度,应是最适宜的成型温度,在此温度下,可以制得成型深度最大的制品。但如果在此温度下坯料的拉伸强度已下降到小于成型压力所引起的应力,坯料在成型时便会引起过度形变,甚至发生破坏。在这种情况下,应选择较低的成型温度或降低成型

压力。但是成型温度不能下降过大,否则会影响制品的尺寸精度和尺寸稳定性。

表 1-3-70 工程塑料的热成型温度和线膨胀系数

名 称	成型温度,℃	线膨胀系数,×10 ⁻⁵ /℃
ABS	150~175	4.8~11.2
聚碳酸酯	225~245	5.0~7.0
尼龙 6	215~220	7.9~8.7
尼龙 66	220~250	9.0~10.0
聚砒	220~280	5.0~6.0

2. 成型速度

工程塑料热成型时,在压力或柱塞等的推动下,坯料要产生伸长变形,直到达到与模具尺寸相同为止。形变过程中坯料受到拉伸,成型速度不同,坯料受到拉伸的速度也不同。如果成型的温度不高,则适宜于采用慢速成型,这时坯料的伸长率较大,这对于拉伸程度高、断面尺寸收缩大的大型制品是十分重要的。但是成型速度过慢,坯料容易冷却,从而造成成型困难,同时还会延长成型周期。因此,对于一定厚度的坯料,在适当提高加热温度的同时,宜用较快的成型速度。

3. 成型压力

成型压力的作用是使坯料产生形变。在成型温度下,只有当压力在坯料中引起的应力大于坯料在该温度下的弹性模量,才能使坯料产生形变。如果在某一温度下所施加的压力不足以使坯料产生足够的伸长和形变,则应提高成型压力或成型温度。由于各种工程塑料的弹性模量不同,并且对温度具有不同的依赖性,因此成型压力也不相同。

(三) 冷却脱模

工程塑料的导热性差,随着坯料厚度的增加,冷却时间就会增长。因此应采用人工冷却的方法缩短成型周期。

冷却可分为内冷却和外冷却两种,它们既可以单独采用,也可以组合采用,应视制品的具体情况而定。但由于外冷却简单易行,因此被较多地采用。

冷却温度应根据工程塑料的品种而定。冷却温度过高,冷却不足,制品脱模后会发生变形;冷却温度过低,冷却过度,则易使制品收缩包紧在模具上,造成脱模困难。通常冷却温度应略低于工程塑料的热变形温度为宜。表 1-3-71 列举了一些工程塑料在热成型时的冷却温度。

表 1-3-71 工程塑料热成型的冷却温度

名 称	冷却温度,℃	名 称	冷却温度,℃
ABS	55~75	尼龙 66	70~100
聚碳酸酯	80~110	聚砒	90~120
尼龙 6	60~90		

为便于脱模并确保制品的表面粗糙度,可在模具表面涂抹脱模剂,但脱模剂用量不宜过多。常用的脱模剂有硬脂酸锌、二硫化钼和硅油的甲苯溶液等。

有些工程塑料品种在热成型过程中容易产生内应力,使制品在使用中发生开裂或产生银纹,如聚碳酸酯。为了消除制品内应力,有效的方法是在脱模后对制品进行退火处理。退

火处理方法是將制品加热到一定温度,然后再缓慢而均匀地冷至室温。退火的温度和速度,通常根据制品的厚度而定,制品越厚,退火温度越高,速度越慢;反之,制品越薄,退火温度越低,速度越快。但是,退火温度不应超过工程塑料热成型的温度,否则会影响制品的结构尺寸的稳定性。

第九节 机 械 加 工

工程塑料的机械加工,是采用各种机械方法对塑料进行加工的总称。与热加工一样,也属二次加工。它主要包括车削、铣削、钻削、锯削、冲切等。

与通用塑料相比,聚碳酸酯、聚甲醛、聚酰胺等工程塑料,由于具有较高的机械强度、弹性模量、抗冲击性、耐摩擦磨损性,以及较大的强迫高弹形变等特点,所以更适合于机械加工。

工程塑料的机械加工,通常以板材、片材、管材、棒材等型材为基础,主要用于制造尺寸精度高及数量不多的制品,也可用作其它成型工艺的辅助工序。

一、车 削

在工程塑料的机械加工中,车削属于单刃工具加工,通常可使用金属加工车床或木材加工车床,也可使用专用车床。所使用的车床有普通车床、六角车床、半自动车床和自动车床等。

用于车削加工的工程塑料工件,主要是回转体的圆件、杆件、管件和盘形件等。通常对这些工件进行车削外圆、成型端面、内外锥形表面、螺纹及切断等。

(一) 车刀

车刀是工程塑料车削加工的刀具,而其它任何一种切削方法所使用的刀具也都是由车刀组成或从车刀演变而来,因此是工程塑料机械加工刀具的最基本的形式。这里介绍的参数不仅针对车削,而且同样适用于铣削、钻削等其它机械加工方法。

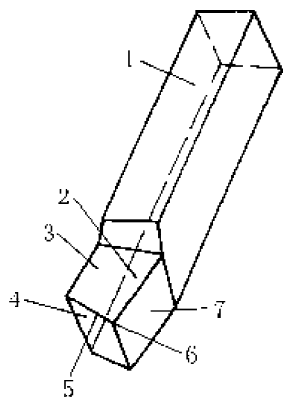


图 1-3-141 车刀的组成

1—刀杆；2—主切削刃；
3—前刀面；4—副后刀面；
5—副切削刃；6—刀尖；
7—后刀面

1. 车刀的组成

车刀的组成如图 1-3-141 所示,由切削部分和刀杆两大部分组成。其中,车刀的切削部分又由以下部分组成。

- ① 前刀面:工程塑料切削流出的面。
- ② 后刀面:刀具与工程塑料工件加工表面相对的面。
- ③ 副后刀面:刀具与工程塑料工件已加工表面相对的面。
- ④ 主切削刃:前刀面和后刀面的交线。
- ⑤ 副切削刃:前刀面和副后刀面的交线。
- ⑥ 刀尖:主切削刃和副切削刃的交点。

2. 车刀的标注角度

车刀在切削时可以分解为三个平面,即基面(P_r)、切削平面(P_s)和主剖面(P_0)。基面是指通过主切削刃上任意点而又垂直于合成运动速度方向的平面。切削平面是指通过主切削刃上任意点而又切于

加工表面的平面,其垂直于基面。主剖面是指通过主切削刃上任意点而又垂直于主切削刃在基面上投影的平面。

车刀的标注角度如图 1-3-142 所示,其中包括:

1) 前角 γ_0 是前刀面和基面之间的夹角,表示前刀面的倾斜程度。 γ_0 越大,切削沿前刀面流出越容易,和前刀面的摩擦也越小。但是,如果 γ_0 过大,则使刃口强度下降,散热条件变差,使切削区域内温度增高,从而增加了刀具的磨损。 γ_0 可以为正值、负值和零值(图 1-3-143)。

2) 后角 α_0 是后刀面和切削平面之间的夹角,表示后刀面向刀体内的倾斜程度。 α_0 越大,后刀面向刀体内倾斜越大,后刀面和加工表面之间的摩擦越小。但是,如果 α_0 过大,刃口强度会有所下降,而且由于传热变差,会造成刀具耐用度下降。 α_0 只能是正值,不能是负值和零值。

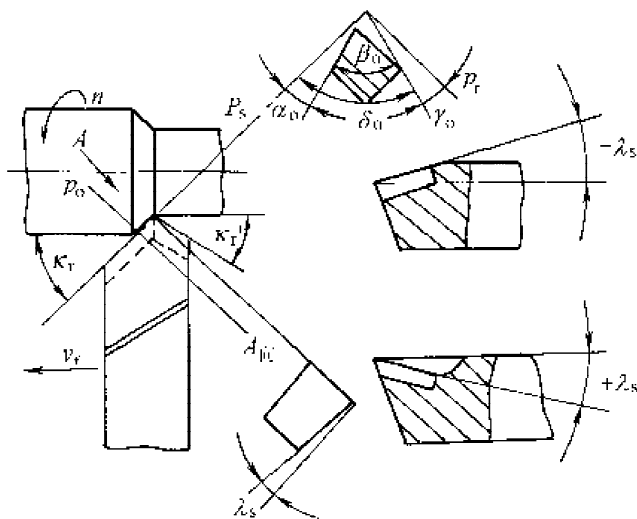


图 1-3-142 车刀的标注角度

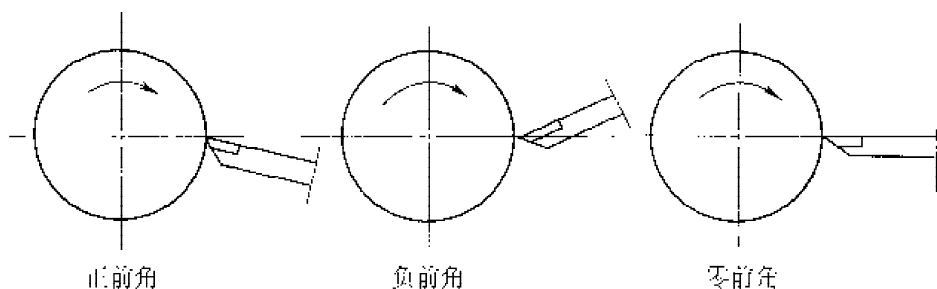


图 1-3-143

3) 切削角 δ_0 是切削平面和前刀面之间的夹角。 δ_0 和 γ_0 互为余角,即 $\delta_0 + \gamma_0 = 90^\circ$ 。

4) 楔角 β_0 是前刀面和后刀面之间的夹角,表示刃口的强弱程度。 $\beta_0 = 90^\circ - \gamma^\circ - \alpha_0$ 。

5) 主偏角 κ_r 是主切削刃在基面上投影和走刀方向的夹角。在进给量 f 一定时,主偏角 κ_r 越大,切削厚度 a_c 越大,切削宽度 a_w 越小,径向力 F_y 越小,轴向力 F_x 越大,表面粗糙度 R_a 越大。 κ_r 主要根据机床—工件—夹具系统刚度选取。

6) 副偏角 κ'_r 是副切削刃在基面上投影和进给方向的夹角。主要影响已加工表面粗糙度 R_a 值的大小。要求已加工表面越光洁,则 κ'_r 尽量选取小值。

7) 刃侧角 λ_s 是主切削刃和基面之间的夹角,表示主切削刃的倾斜程度。当刀尖最高时为 $+\lambda_s$,刀尖最低时为 $-\lambda_s$,主切削刃水平时为 $\lambda_s = 0^\circ$ 。

3. 切削参数

如图 1-3-144 所示,切削参数主要包括:

1) 切削速度 v 是主运动的线速度,当外圆车削时,切削速度按下式计算:

$$v = \frac{\pi d_w n}{1000} \quad (1-3-41)$$

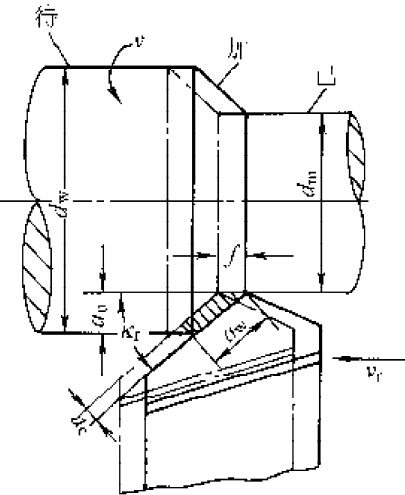


图 1-3-144 切削参数

式中： v ——切削速度， m/min ；
 d_w ——工件待加工表面的直径， mm ；
 n ——工件单位时间的转数， r/min 。
2) 进给量 f 是工件或刀具每转一转后，两者沿着进给运动方向相对位移的距离。
3) 切削深度 a_p 是已加工表面与待加工表面的垂直距离。当外圆纵向车削时，切削深度按下式计算：

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \tag{1-3-42}$$

式中： a_p ——切削深度， mm ；
 d_w ——待加工表面直径， mm ；
 d_m ——已加工表面直径， mm 。

4) 切削厚度 a_c 是每进给量 f 后，主切削刃相邻两位置的垂直距离。
5) 切削宽度 a_w 是主切削刃参加切削的长度。当刀具刃倾斜角 $\lambda_s = 0$ 时，切削厚度和切削深度按下式计算：

$$a_c = f \sin \kappa_r \tag{1-3-43}$$

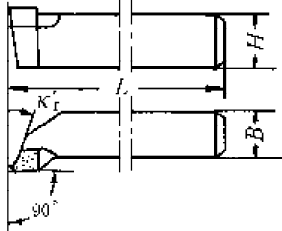
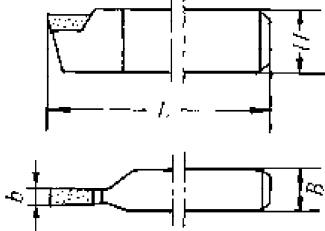
$$a_p = a_w \sin \kappa_r \tag{1-3-44}$$

4. 车刀类型及材料
车削工程塑料的车刀类型见表 1-3-72 所示。

表 1-3-72 车刀的基本类型

名称	图 示	用 途	名称	图 示	用 途
直头外圆车刀		车外圆、倒角	镗刀		镗孔，多用于镗盲孔，切轴肩、凸台
弯头外圆车刀		车外圆、端面、倒角	切断刀		切断、切槽

续表)

名称	图 示	用 途	名称	图 示	用 途
90° 偏车刀		车外圆、台阶，多用于车细长轴	精车刀		精车外圆

车刀的刀杆用普通结构钢制造。车刀的切削部分可用以下几种材料制造：

- 1) 碳素工具钢 主要牌号有 T7A、T8A、T10A、T12A。在室温下硬度 HRC62~65，在 200~250℃才失去室温下的硬度。但淬火后变形较大。可以用于制造非尺寸车刀，但不能用于制造成型车刀。
- 2) 合金工具钢 主要牌号有 CrW5、CrWMn、9CrSi。室温下，在 250~325℃才失去室温下的硬度，切削速度比碳素工具钢稍高。淬火后变形小，可以制造成型车刀。
- 3) 高速钢 主要牌号有 W18Cr4V、W6Mo5Cr4V。室温下硬度 HRC62~67，到 600~650℃才失去室温下的硬度。可在高速度下进行切削。淬火后变形小，可以制造各种类型的车刀。
- 4) 硬质合金 主要有钨钴类 (YG 类)和钨钛钴类 (YT 类)两种。室温下硬度 HRC89~91，到 850~1 000℃才失去室温下的硬度，可以在很高的切削速度下进行切削。制造难度较大。用于工程塑料车削的主要是 YG3X 和 YG6X 等导热性较好的牌号。

(二) 车削工艺

工程塑料均为热塑性塑料，其车削时所需的切削力较小，通常仅是普通碳钢的 1/14，因此所消耗的功率很少，而产生的切削热量也小。但由于其导热系数小，切削区域的温度较高。其次，在车削工程塑料时，常常会形成带状切屑，缠绕在工件或刀具上，影响切削的正常进行，还会影响工件的加工精度，因此必须及时排除。再次，工程塑料的弹性模量仅是普通碳钢的 1/100 左右，车削时在切削力的作用下产生的弹性变形较大，容易导致工件加工精度的下降，这对车削细长工件时尤为明显。因此，通常在加工细长工件时应加中心架或跟刀架等加以弥补。表 1-3-73 列举了一些工程塑料的车削工艺参数。

工程塑料车削所用车刀的几何参数，应进行合理的选择，其中主要是前角 γ_0 、后角 α_0 和刀尖圆弧半径 r 。

前角 γ_0 对切削效果的影响很大，其中包括表面粗糙度、切削速度、进给量及刀具磨损量等。在通常情况下，前角越小，表面粗糙度越小，切削阻力越大 (图 1-3-145)。随着前角的增大，允许的最大进给量相应减小 (图 1-3-146)。

后角 α_0 的作用，是减少刀具后面与工件之间的摩擦。后角大时，刀刃锋利，易切入工件；但后角过大，会导致散热不良，刃口强度减小，耐用度下降。后角与切削厚度关系密切，当切削厚度大，如对工件粗加工时，摩擦力大，应选取大的前角和小的后角；反之，当切削厚度小，如对工件精加工时，摩擦与磨损主要在后面，因此应选取小的前角和大的后角。

表 1-3-73 工程塑料车削工艺参数

名 称	刀具材料	车刀耐用度, min			车削速度, m /min		进给量, mm /f		切削深度, mm		表面粗糙度 R_a , μm
		通用车床	半自动车床	自动车床	粗车削	精车削	粗车削	精车削	粗车削	精车削	
聚酰胺	W18Cr4V	15~30	30~90	90~120	100~200	200~250	0.2~0.5	0.1~0.2	2.0~4.0	1.0~2.0	0.8~0.4
氟塑料	W18Cr4V	30~60	60~120	120~240		70~120		0.02~0.14		1.0~2.0	0.8~0.4
聚甲醛	高速工具钢 碳化钨工具钢				120~152 136~152		0.05 0.13		3.8		
聚碳酸酯	高速工具钢 碳化钨工具钢				76~91 136~152		0.2 0.3		3.8		
AS	碳化钨工具钢				120~136		0.38				

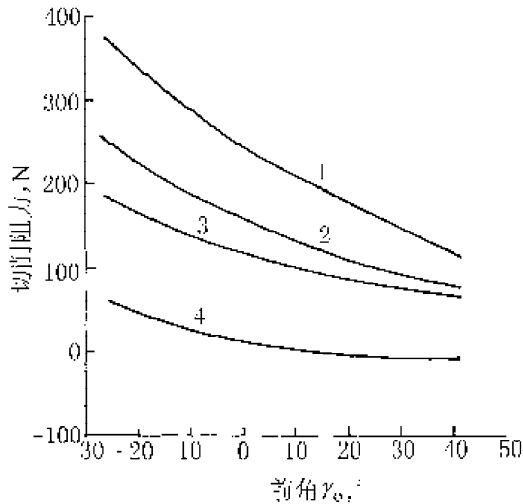


图 1-3-145 聚碳酸酯车刀前角与切削阻力的关系(切削线速度:400m/min)

1—吃刀量 0.247mm; 2—吃刀量 0.123mm; 3—吃刀量 0.08mm; 4—吃刀量 0.02mm

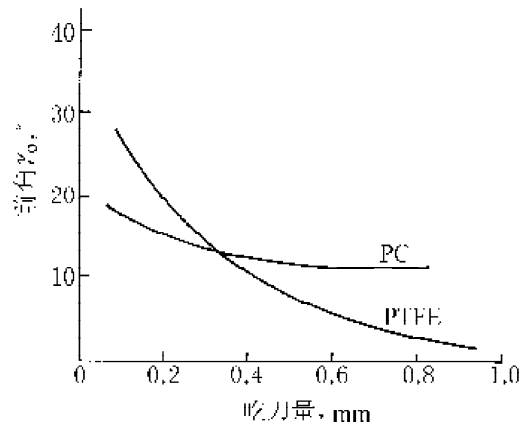


图 1-3-146 车刀前角与吃刀量的关系(切削线速度:0.8m/min)

刀尖圆弧半径 r 的作用,是使刀具磨损减慢,提高工件光洁度。但刀尖圆弧半径过大,会增加切削阻力。硬质合金车刀的刀尖圆弧半径一般取 0.5~2.0mm,在精加工时取高值,粗加工时取低值。

二、铣 削

工程塑料的铣削属于多刃工具加工,通常使用金属加工的普通铣床,也可使用专用铣床。

工程塑料工件采用铣削工艺,主要用于制成各种平面、曲面、沟槽、台阶及用于工件的截断等。

(一) 铣刀

工程塑料铣削时所用的铣刀一般可利用金属加工的铣刀,但也有使用为工程塑料加工专门设计制造的专用铣刀。这是因为,工程塑料铣削时具有以下特点:

- 1) 工程塑料铣削时通常产生蓬松的带状切屑,因而需要较大的容屑空间,铣刀应尽量减少齿数和选用适宜的齿背形式。
- 2) 工程塑料加工的切削力比金属要小得多,因此铣刀可选用较大的直径。
- 3) 工程塑料在铣削时,工件对铣刀的磨料磨损较为严重,尤其是玻璃纤维增强工程塑料,这种情况更为突出。

工程塑料铣削时所用的铣刀主要有以下几种类型。

- 1) 锯片铣刀 主要用于开槽及厚度大于 2.5mm 工程塑料板材的切断。其宽度是铣刀中最小的。图 1-3-147 示出了锯片铣刀的结构。
- 2) 圆盘铣刀 主要用于加工不同深度的沟槽和小平面。按其结构,又可分为单面刃铣刀、两面刃铣刀、三面刃铣刀和镶齿铣刀等多种。图 1-3-148 和图 1-3-149 分别示出了单面刃铣刀和三面刃铣刀的结构。这类铣刀有足够的刃口宽度,可减少产生的摩擦热,齿根处有

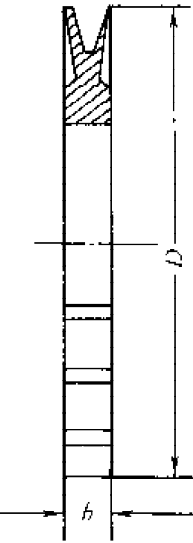


图 1-3-147 锯片铣刀
D—铣刀直径；b—铣刀宽度； β —铣齿前角； α_0 —铣齿后角

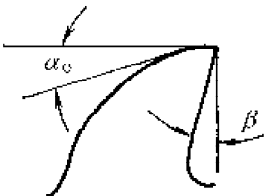


图 1-3-148 单面刃圆盘铣刀

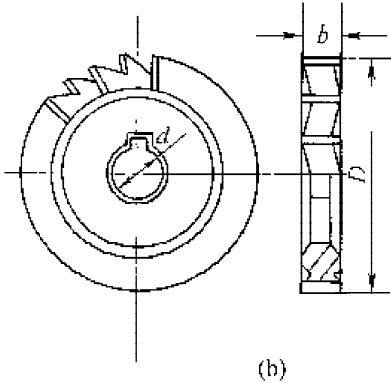
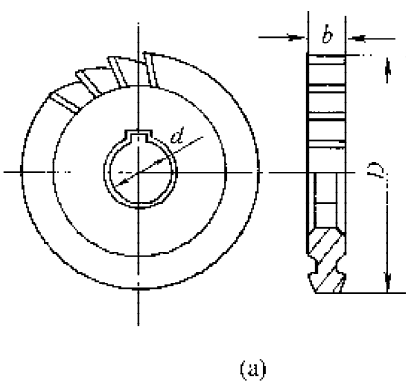
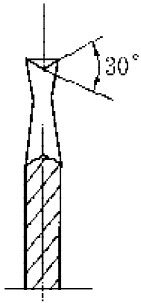
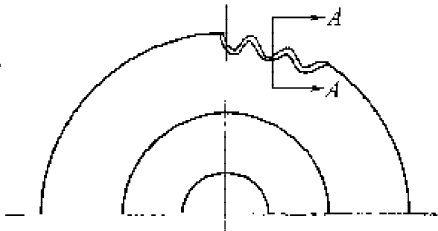


图 1-3-149 三面刃圆盘铣刀
a) 细齿三面刃圆盘铣刀； b) 粗齿三面刃圆盘铣刀

圆形的凹槽，可容纳切屑，凹槽上有专门的斜面，切屑不会在凹槽内阻滞，铣刀不会发热。

用于铣制齿轮的圆盘铣刀，一般根据加工齿轮的齿数，将铣刀分为 8 个刀号（表 1-3-74）。

表 1-3-74 齿轮铣刀刀号

铣刀刀号	1	2	3	4	5	6	7	8
加工齿轮齿数	12~13	14~16	17~20	21~25	26~34	35~54	55~134	≥135

- 3) 圆柱铣刀 主要用于加工平面。图 1-3-150 示出了圆柱铣刀的结构。
- 4) 成型铣刀 主要用于加工具有特殊表面形状的工程塑料工件，如凹半圆、凸半圆、齿轮、螺纹等。成型铣刀有多种类型，图 1-3-151 示出的是凸半圆成型铣刀的结构。

(二) 铣削工艺

表 1-3-75 示出了工程塑料聚酰胺的铣削工艺参数。除了表中所列的工艺参数外，切削速度的选择还应考虑工程塑料工件的硬度和拉伸强度，如图 1-3-152 所示，当工件的硬度和拉伸强度高时，切削速度应取低值。

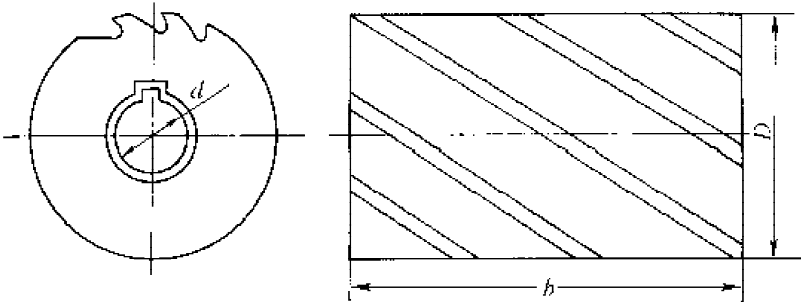


图 1-3-150 圆柱铣刀

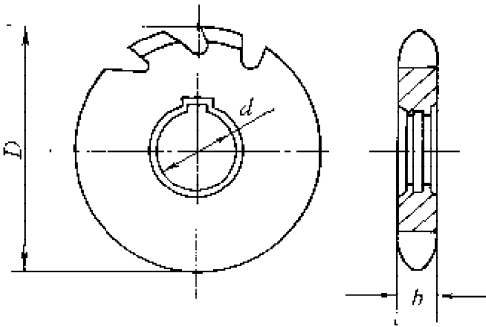


图 1-3-151 凸半圆成型铣刀

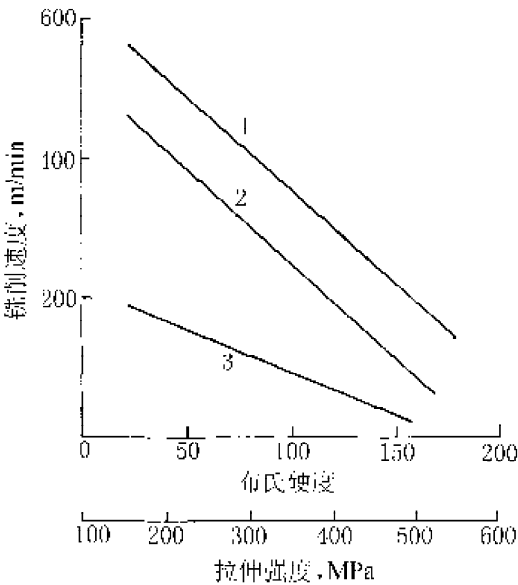


图 1-3-152 切削速度与工程塑料工件的硬度和拉伸强度的关系

1—超硬工具钢；2—高速工具钢；3—碳素工具钢

表 1-3-75 聚酰胺的铣削工艺参数

名 称	刀具耐用度,min		切削速度,m /min		进给量,mm /齿		铣削宽度,mm		表面粗糙度 R_a , μm
	万能铣床	半自动铣床	粗铣削	细铣削	粗铣削	细铣削	粗铣削	精铣削	
尼龙 6	60~120	120~180	100~140	150~180	0.20~0.25	0.05~0.12	3~5	1~2	1.6~0.8
尼龙 66	60~120	120~180	300~500	500~700	0.1~0.4	0.05~0.10	1~2	0.5~1.0	3.2~0.8

三、钻 削

工程塑料的钻削,与铣削一样,属于多刃工具加工,通常使用金属加工的普通钻床、排钻床、复轴钻床及手钻等。

工程塑料工件采用钻削工艺,主要用于加工螺栓过孔、铆钉孔、销孔、铰削前或功丝前底孔以及进行扩孔等。

(一) 钻头

用于工程塑料钻削的钻头主要有麻花钻、群钻、金刚石钻和飞钻等类型,其中又以麻花钻为最重要。

1. 麻花钻

麻花钻结构如图 1-3-153 所示,包括工作部分、颈部和尾部。

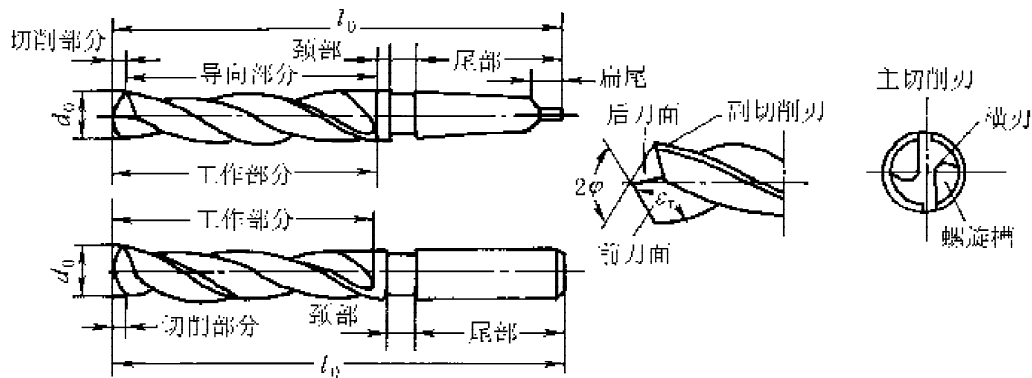


图 1-3-153 麻花钻

1) 工作部分 又分切削部分和导向部分:切削部分主要起切削作用,由两个前刀面和两个后刀面、两个主切削刃和两个副切削刃、一个横刃组成;导向部分主要起引导方向的作用,也是切削部分的备磨部分。

2) 颈部 处于工作部分和尾部之间,主要在磨削尾部时起退刀作用。

3) 尾部 主要用于夹持钻头和传递扭矩作用。当钻头直径 d_0 小于 12mm 时,尾部通常制成圆柱形;当直径大于 12mm 时,通常制成圆锥形,直径越大采用的锥度也越大。另外也有将尾部制成方形的钻头。

麻花钻的几何参数主要有:

1) 前角 γ_0 是前刀面和静止基面间的夹角。在切削刃的各点上,它的数值是不同的。通常在外缘处为 $+30^\circ$,越往中心越小,至靠近中心和横刃相连接处减小至 -30° 。当前角变为负值时,切削条件开始变差,到和横刃相连接处,切削条件更差。

2) 后角 α_0 是主切削刃上任意一点切削平面与该点后刀面的切面之间的夹角。在切削刃的各点上,它的数值也是不同的。通常在外缘处最大,越靠近中心越小,一般为 $8^\circ \sim 30^\circ$,加大中心处后角值,可以改善切削条件。

3) 螺旋角 β 是螺旋槽上最外缘的螺旋线展开成直线后与中心线之间的夹角。实际上可将钻头的螺旋角看成是其纵向前角,越接近中心,其值越小。钻头直径越大,螺旋角越大。其变化范围一般为 $18^\circ \sim 30^\circ$ 。当螺旋角增大时,前角也随之增大,切削条件变好,但切削刃的强度却相应降低。

4) 顶角 2φ 是两个主切削刃在中剖面上投影的夹角,通常为 $80^\circ \sim 90^\circ$ 。

5) 主偏角 $2\kappa_r$ 是主切削刃在基面上的投影与进给方向的夹角。主切削刃在基面上的投影是变化的,主切削刃上各点的主偏角也是变化的。越接近钻头中心,其值越小。

表 1-3-76 示出了钻削工程塑料的麻花钻头几何参数。

表 1-3-76 钻削工程塑料的麻花钻头几何参数

工程塑料名称	顶角 $2\varphi, ^\circ$	后角 $\alpha_0, ^\circ$	螺旋角 $\beta, ^\circ$
聚酰胺	70~90	9~15	17
聚碳酸酯	80	9~15	27
聚甲醛	60~90	10~15	10~20

2. 群钻

群钻实际上是一种特殊的麻花钻,是将普通的麻花钻经过专门刃磨而成的。经刃磨后改变了切削几何参数,从而改变了切削性能。

3. 金刚石钻

金刚石钻主要用于玻璃纤维增强工程塑料的钻削。它具有优良的耐磨性,但脆性较大,且冷却与排屑较为困难。

4. 飞钻

飞钻由单刀或双刀安装在飞刀杆上组成。主要用于无法使用麻花钻的场合,适用于薄板大孔的钻削。飞钻的参数与开槽刨刀相似。

(二) 钻削工艺

工程塑料在钻削时,应注意以下几点:

- 1) 由于工程塑料的线膨胀系数较大,因此应选择比孔的公称直径稍大的钻头,通常应大 0.05~0.25mm。
- 2) 钻削时,钻头不可在钻穴中空钻,以免引起局部过热,并且在钻削时应时常退钻,以便清除切屑。
- 3) 冷却方式以风冷为宜,如使用冷却液冷却,应使用不会引起工程塑料变质的冷却液,如聚碳酸酯不应使用含氯代烃或芳烃的冷却液。
- 4) 在工程塑料钻削的场所,往往有工程塑料钻屑飞扬,为此,应尽可能安装钻屑的除尘装置。

工程塑料的钻削工艺条件,主要根据工程塑料的品种和孔径来加以选择。一般来说,工程塑料的硬度越高,弹性变形越小,钻头的转速应越大,进给量应越小;孔径越大,钻头的转速应越小。表 1-3-77 列举了一些工程塑料在钻削时不同孔径的钻头转速。表 1-3-78 列举了一些工程塑料在钻削时不同孔径的进给量。

表 1-3-77 一些工程塑料钻削时不同孔径的钻头转速 (单位:r/min)

名 称	公称孔径,mm		
	3	13	25
聚酰胺	1 000	800	400~500
聚甲醛	1 000	800	400~500
聚四氟乙烯	1 000	500	250~500

表 1-3-78 一些工程塑料钻削时不同孔径的进给量 (单位:mm/r)

名 称	公称孔径,mm							
	1.6	3.2	6.3	12.7	19.0	25.4	38.0	51.0
聚四氟乙烯	0.13	0.25	0.30	0.38	0.46	0.51	0.64	0.76
ABS	0.05	0.10	0.13	0.15	0.15	0.20	0.20	0.25
聚甲醛	0.05	0.13	0.15	0.20	0.25	0.30	0.38	0.38
聚碳酸酯	0.05	0.13	0.15	0.20	0.25	0.30	0.38	0.38
聚酰胺	0.05	0.13	0.15	0.20	0.25	0.30	0.38	0.38

工程塑料在钻削过程中,孔径与钻头转速和进给量有密切关系,而钻头转速与进给量之间也存在着相互制约的关系。对于各种工程塑料来说,根据钻头转速和进给量的这种相互制约的关系,可以得出各自最佳的钻削工艺条件。图 1-3-154~图 1-3-157 分别示出了一些工程塑料的孔壁、孔入端、孔出端钻削工艺条件的选择。

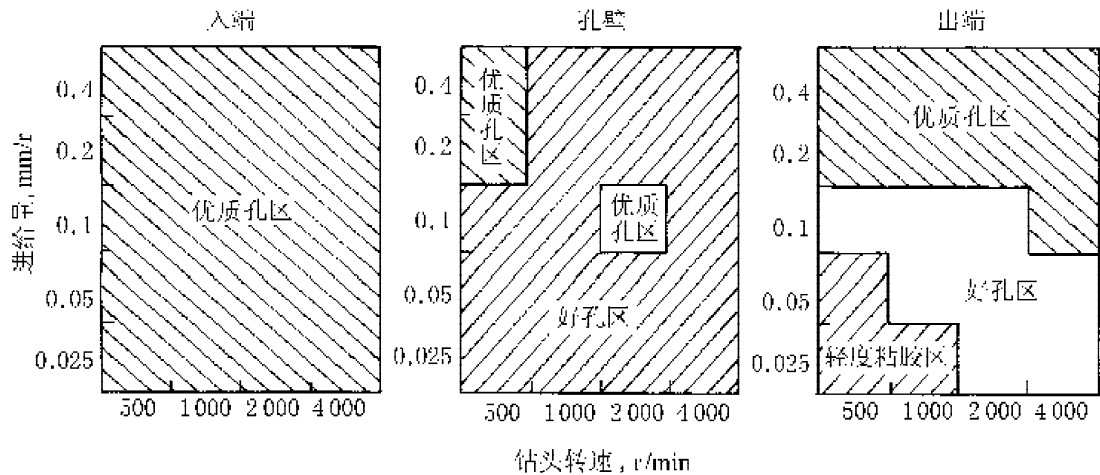


图 1-3-154 尼龙 6 孔壁、孔入端和孔出端钻削工艺条件的选择

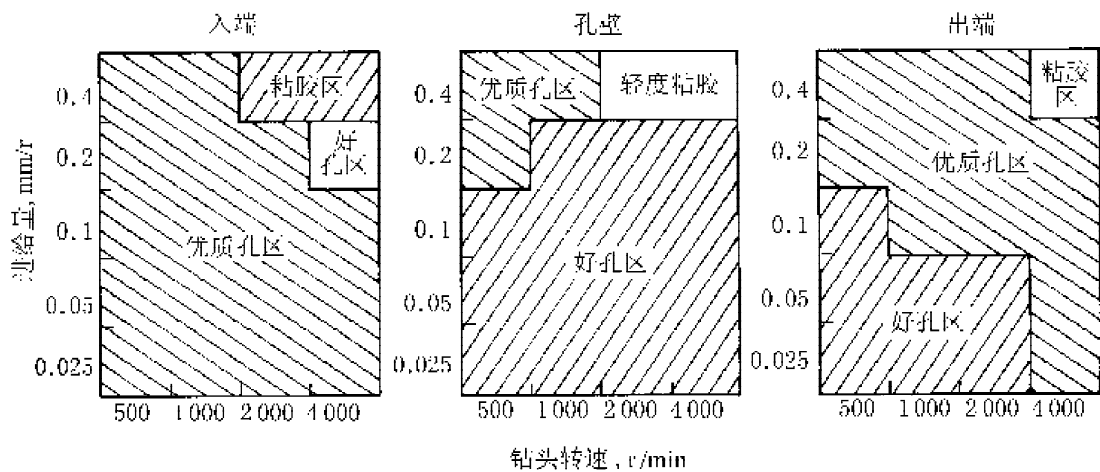


图 1-3-155 尼龙 66 孔壁、孔入端和孔出端钻削工艺条件的选择

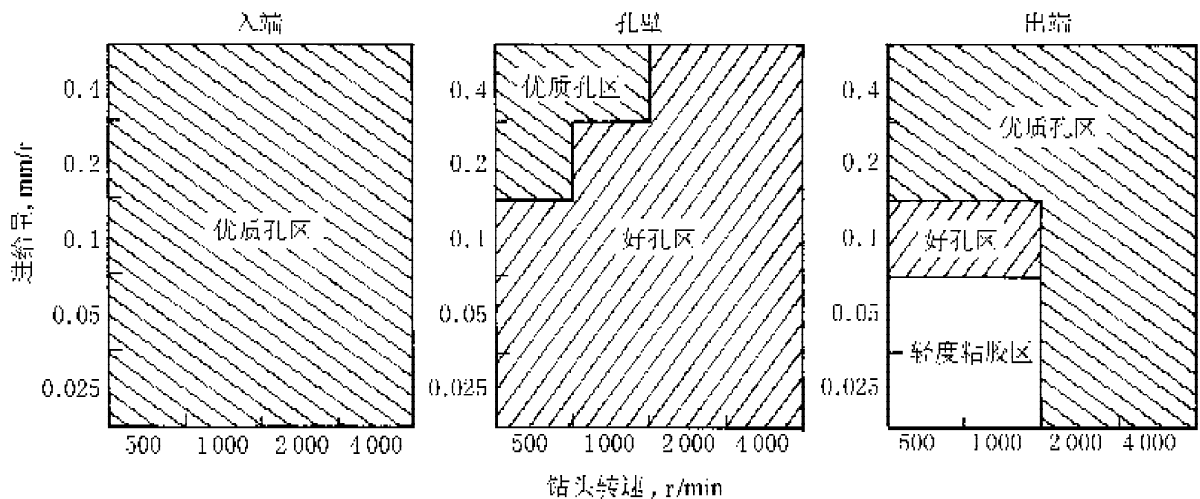


图 1-3-156 尼龙 610 孔壁、孔入端和孔出端钻削工艺条件的选择

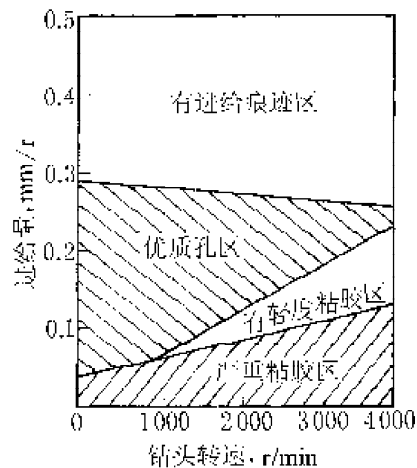


图 1-3-157 聚碳酸酯孔壁钻削工艺条件的选择

四、锯 割

工程塑料的锯割是指采用各种锯具 (如圆锯、带锯或手工锯),在木工锯床将工程塑料工件裁断的机械加工方法。工程塑料的裁断还可有其它方法,如电热丝切割、超声波切割、剪断等,但以锯割最为重要。

(一) 锯具

锯具是一种多刃刀具,其边缘有许多齿。根据锯具的形状,可以分为许多类型,其中主要有圆锯、带锯和砂轮锯。在实际使用中,应按工件的品种、厚度、形状等加以选择。

1. 圆锯

圆锯是工程塑料锯割中应用最广泛的锯具。其基本结构如图 1-3-158 所示。圆锯主要用于工程塑料的直线锯割,也可用于制品的修饰。它又可分为平圆锯、单面右偏锥形圆锯、单面左偏锥形圆锯、双面锥形圆锯和刨削圆锯等种类。其中,以平圆锯和刨削圆锯为最常用。平圆锯片的外径通常为 150~1 500mm,刨削圆锯的外径为 200~500mm,两种锯具都是外径每递增 50mm 为一种规格。圆锯最小直径应根据锯床规格及工件厚度进行选择。

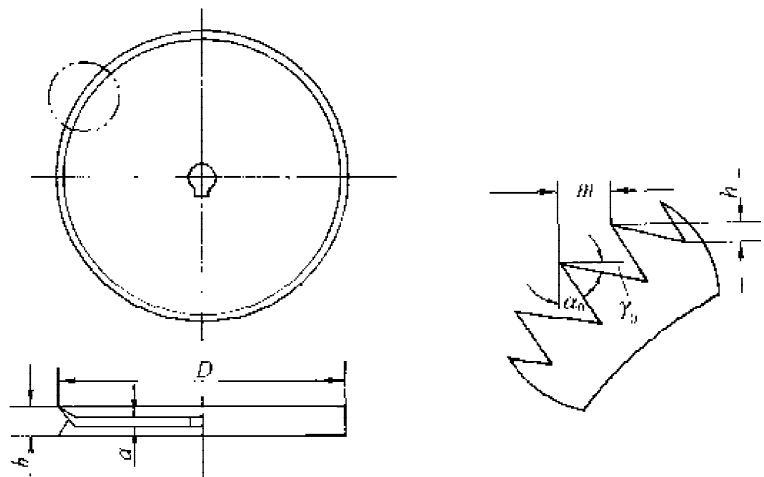


图 1-3-158 圆锯

D—外径; a—厚度; b—锯路宽度; m—齿距; h—齿高; γ_0 —锯齿前角; α_0 —锯齿后角

同一直径的圆锯,常有不同的厚度,以供锯割不同工件时选择。平圆锯的厚度通常为0.9~4.2mm,当厚度小于1.1mm时,每隔0.1mm为一个规格;当厚度大于1.1mm时,每隔0.2mm为一个规格。刨削圆锯的厚度通常为1.8~3.2mm,每隔0.2mm为一个规格。

圆锯内径均根据锯床主轴直径进行选择,以能安装紧密为原则。

圆锯的齿根一般比齿尖薄,称为齿根薄差。在锯割时,因有足够的齿根薄差,可使锯边平滑,锯缝也可小些。圆锯的齿节,是每100mm的齿数。齿节太少,即齿距过大,工件在锯割时易出现犬牙状崩裂;齿节太多,即齿距过小,则锯具容易发热,导致工件割面被灼焦。一般齿距以2~8mm为宜,工件偏厚者,齿距取大值为宜。

2. 带锯

带锯主要用于工程塑料的直线锯割,也可用于曲线锯割及制品修饰。其结构参数与圆锯基本相同。

带锯的锯割厚度比圆锯大,通常可大于25mm。其生产率也比圆锯高。

带锯的长度主要由锯轮直径、两个锯轮的中心距及锯条焊接时接头长度决定。其中锯条焊接时的接头长度又由锯条厚度决定(表1-3-79)。

表 1-3-79 带锯接头长度和厚度的关系

锯条厚度,mm	18	19	20	21	22
接头长度,mm	10	10	13	13	13

确定带锯厚度的主要因素是被锯割工件的损耗率、锯割生产率和带锯的强度。从减少工件损耗的角度来说,带锯越薄越好;从提高锯割生产率的角度来说,带锯越厚越好,这样可以确保带锯的强度,采用较大的锯割速度和进给量。就带锯的强度来考虑,应使带锯在实际锯割中所承受的应力不大于带锯自身材料的许用应力。

带锯用于直线锯割时,锯宽通常为13~20mm,采用中等齿错;用于曲线锯割时,锯宽通常为5.0~9.5mm,采用较大的齿错。锯齿的形状,应视工件的厚度而定,工件厚度小于25mm者,宜采用标准形,工件厚度大于25mm者,则宜采用爪形。

3. 砂轮锯

砂轮锯由碳化硅与粘合剂制成,其两个平面通常制成带有网状的突出物,并用金属薄膜覆盖,摩擦因数小,导热快,强度高,锯割速度快,工件具有良好的品质。

砂轮锯主要用于直线锯割,特别适用于增强工程塑料和层压塑料工件的锯割。

砂轮距的直径通常为150~500mm,厚度为1~3mm,突出物宽度为1mm,突出物高度为0.5mm,突出物间距为5mm。

4. 手工锯

手工锯可分为木工手锯、手用钢锯、绕锯和钢丝锯等多种。

木工手锯有粗齿锯和细齿锯之分,粗齿锯的厚度通常为0.55~0.70mm,齿距为4~8mm;细齿距的厚度通常为0.45~0.50mm,齿距为2~4mm。

手用钢锯一般采用齿距为1.4mm的粗齿锯。

绕锯又称挖锯,锯条狭窄,锯割灵活,适用于曲线锯割。其长度为400~800mm,每隔50mm为一个规格,宽度通常为9.5~11.0mm,厚度为0.56~0.70mm,齿距为4.8mm。

钢丝锯一般用钢丝自制而成,适用于锯割几何形状特别复杂的工件。

(二) 锯割工艺

表 1-3-80 示出了一些工程塑料圆锯锯割工艺参数。在用于工程塑料工件锯割时,圆锯材料可采用碳钢和高速工具钢。

表 1-3-80 工程塑料圆锯锯割工艺参数

名 称	工件厚度,mm	齿节,个	锯割速度,m /min	进给量,mm /min
ABS	≤6	16~23	600~1 500	0.6~3.0
聚碳酸酯	<6	39	1 800	0.3~3.0
	6~25	12~35	2 400	
聚苯醚	<6	39	1 800	0.3~3.0
	6~25	12~35	2 400	
聚酰胺	<6	20~35	1 200~1 800	0.6~3.0
	6~25	12~20	910~1 200	
聚甲醛	<6	20~35	1 200~1 800	0.6~3.0
	6~25	12~20	910~1 200	
聚四氟乙烯	<6	20~35	910	0.6~6.0
	6~25	12~20	600	

圆锯的进锯方式一般有两种,一种是锯具固定,工件移动;另一种是锯具移动,工件固定。工程塑料管材和棒材的锯割,通常采用后一种方式。其它工件,则要视大小而定。一般情况下,工件大者,采用后一种方式;工件小者,采用前一种方式。

圆锯在用于工程塑料工件的修饰时,通常装在轻便工具上,锯具不作固定,以便于操作。但在修饰大型工件时,也可将锯具加以固定。

圆锯在锯割时,一般无须冷却。但有时为了防止锯割时过热,也可使用压缩空气或冷却液进行冷却。

表 1-3-81 示出了工程塑料带锯锯割工艺参数。带锯锯齿的前角 γ_0 一般取 $5^{\circ}\sim8^{\circ}$,后角 α_0 取 $30^{\circ}\sim40^{\circ}$ 。

表 1-3-81 工程塑料带锯锯割工艺参数

名 称	工件厚度,mm	齿节,个	锯割速度,m /min	进给量,mm /min
ABS	<6	16~31	600~910	0.6~3.0
聚碳酸酯	<6	39~55	300~600	0.3~3.0
	6~25	23~39	600~910	
聚苯醚	<6	39~55	300~600	0.3~3.0
	6~25	23~39	600~910	
聚酰胺	<6	31~39	1 200~1 800	0.6~3.0
	6~25	16~31	910~1 200	
聚甲醛	<6	31~39	1 200~1 800	0.6~3.0
	6~25	16~31	910~1 200	
聚四氟乙烯	<6	47~62	1 500	0.6~6.0
	6~25	31~39	1 200	

带锯材料一般采用普通碳钢。带锯的散热情况良好,适用于较厚工件的锯割,锯割时无须采取冷却措施。

五、冲 切

工程塑料的冲切是将安装在冲床上的冲模,对工程塑料板材进行冲压使之分离的机械加工方法。这种方法可用于工程塑料板材的冲裁、冲孔、切断、切口、剖切或修饰,其中以冲裁和冲孔为最主要。

(一) 冲模

冲模按其结构形式,可分为简单冲模、连续冲模和复合冲模等多种。

1. 简单冲模

简单冲模的结构如图 1-3-159 所示。它是在冲床上一次冲程中完成冲切的模具。如图所示,凹模和卸料板用螺栓固定在下模板上,下模板用螺栓固定在冲床的工作台上。凸模用上压板固定在上模板上,上模板通过模柄和冲床的滑块连接。凸模可以随滑块作上下运动。为使凸模向下冲切时能够对准凹模,并保持凹凸模之间的均匀间隙,通常采用导柱和套筒的结构。工程塑料板在凹模上沿两个导尺之间送进,碰到挡料销为止。当凸模冲下的工件进

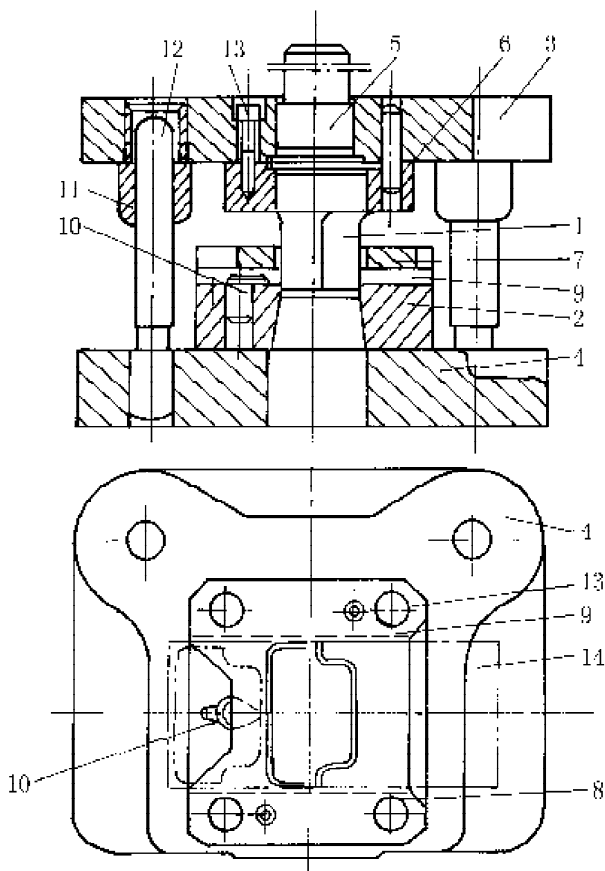


图 1-3-159 简单冲模

1—凸模; 2—凹模; 3—上模板; 4—下模板; 5—模柄;
6—上压板; 7—卸料块; 8—定位销; 9—导尺; 10—挡
料销; 11—套筒; 12—导柱; 13—螺栓; 14—塑料工件

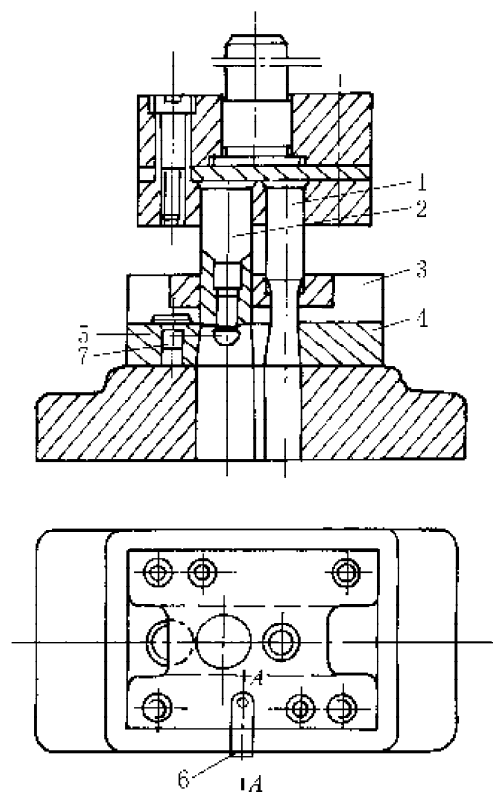


图 1-3-160 连续冲模

1—凸模; 2—落料模; 3—导板; 4—凹模; 5—导正销;
6—临时挡料销; 7—固定挡料销

入凹模孔后,余下的废料则夹在凸模上,随同凸模一起回程向上时,碰到卸料块被推下。定位销和螺栓把上压板固定在上模板上。

2. 连续冲模

连续冲模的结构如图 1-3-160 所示。它是在冲床上一次冲程中,在不同位置上同时完成数道冲切工序的模具。其所完成的冲切工序均匀分布在工程塑料工件的送进方向上。如图所示,连续模具由凸模、落料模、凹模、固定挡料销和导板等组成。冲切时用手按入临时挡料销,限定工程塑料工件的初始位置,临时挡料销在弹簧作用下可以自动复位。然后将工件再送进一个件距,用固定挡料销初步定位,在落料时用装在落料模端部的导正销保证工件的正确位置,导板则兼具卸料的作用。

在制造冲模的过程中,正确控制凹凸模之间的间隙具有十分重要的意义,它直接影响冲切品质、工件尺寸精度和冲模的使用寿命。如果间隙合理,所得的冲切断面光洁,间隙过小,冲切口易造成毛刺和层片,间隙过大,则易造成塌角。表 1-3-82 示出了氟塑料工件冲切时所取的凹凸模的双面间隙值。

表 1-3-82 氟塑料冲切时凹凸模双面间隙值 (单位:mm)

工件厚度	冲切孔件时的双面间隙值			冲切非孔件时的双面间隙值					
	最小值	最 大 值		最小值	最 大 值				
		孔径<10	孔径<50		工件<10	工件<50	工件<100	工件<150	工件<200
<0.6	0.015	0.020	0.025	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035
<0.65	0.020	0.025	0.030	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040
<0.8	0.025	0.030	0.035	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040	0.045
<1.0	0.030	0.035	0.040	0.025	0.030	0.035	0.040	0.045	0.050
<2.0	0.045	0.055	0.065	0.040	0.050	0.060	0.070	0.080	0.090
<3.0	0.065	0.075	0.085	0.060	0.070	0.080	0.090	0.100	0.120
<4.0	0.085	0.090	0.100	0.080	0.090	0.100	0.120	0.140	0.160
<5.0	0.120	0.140	0.160	0.100	0.120	0.140	0.160	0.180	0.200
<6.0	0.140	0.160	0.180						
<7.0	0.160	0.180	0.200						
<8.0	0.180	0.200	0.250						
<9.0	0.200	0.250	0.300						
<10.0	0.250	0.300	0.350						

(二) 冲切工艺

工程塑料的冲切可分为冲裁、切断、冲孔、切边、切口、剖切和修饰(图 1-3-161)。冲裁是用冲模沿封闭曲线冲切,冲切下的部分为工件,剩下的部分为废料。切断是用冲模沿不封闭的曲线冲切,多用于加工形状简单的工件。冲孔是用工件需要的形状和尺寸的冲模进行冲切,冲切下的部分为废料,剩下的部分为工件。切边是将工件的边缘修切成一定的形状。切

口是用和工件切口尺寸相同的冲模进行冲切,冲切下的部分为废料,剩下的部分为工件。剖切是将半成品的工程塑料坯件切成两个或多个工件。修饰是当工件精度要求较高时,对工件进行冲切,以消除工件的粗糙表面和斜度,使其成为平整光洁的表面。

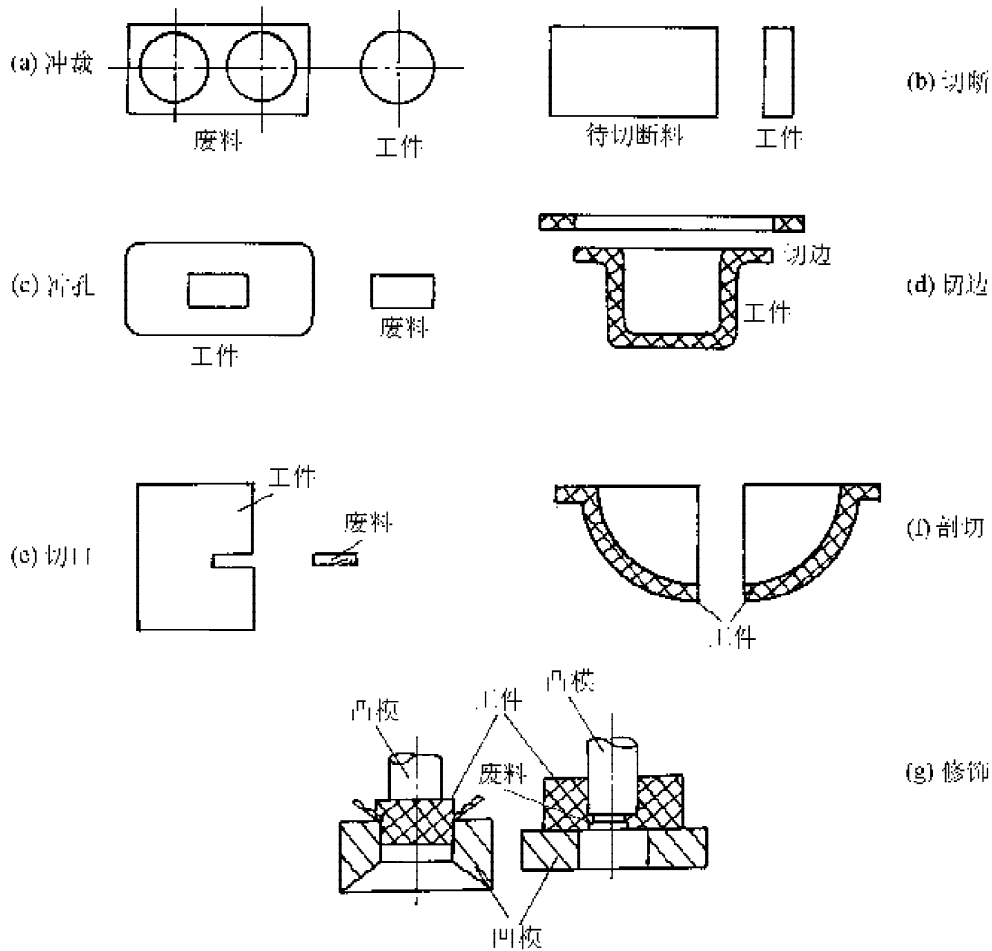


图 1-3-161 工程塑料的冲切类型

第四章 工程塑料的应用

第一节 在汽车上的应用

一、汽车塑料化

汽车工业是国民经济中重要的基础工业之一。汽车工业的发展将带动冶金、石化、轻工、纺织、电子电器、机械、建筑材料和道路建设的发展。汽车工业的发展水平是衡量一个国家经济实力的重要标志之一。所以,汽车工业在世界各国特别是日本、美国、德国、法国等近 20 年来发展尤为迅速,产量激增。1996 年世界汽车产量约 4 500 万辆,其中日本约 1 300 万辆,欧洲为 1 240 万辆,美国约 1 100 万辆。

当前,在汽车工业中,已大量使用塑料代替各种有色金属和合金钢材。汽车上采用塑料的量正在逐年增长,汽车工业已成为塑料的一大市场。20 世纪 80 年代,普通轿车每辆车用塑料为 50~60kg,占整车自重的 5%~6%。20 世纪 90 年代初期,发达国家每辆汽车上的塑料平均用量为 100~130kg,占整车自重的 7%~10%。至 2000 年这一比例已增加至 20%左右。例如,德国汽车的塑料平均用量在 1976 年仅为 76.1kg,占车重的 4.6%,而在 1985 年、1992 年已分别增加到 158.0kg、268.8kg,占车重的 9.5%、15.6%,到 2000 年则增加到 337.0kg,占车重的 22.7%。

车用塑料中,热塑性塑料占有相当高的比例。1994 年西欧轿车的热塑性塑料用量已达 1 200kt,到 2000 年将达 1 700kt。车用热塑性塑料中,聚丙烯的用量最大,其次是聚氯乙烯、ABS 和聚乙烯。

车用塑料中,工程塑料的用量增长迅速,所占比例正在上升。例如,日本工程塑料在车用塑料中的比例,已由 1980 年的零上升至 1992 年的 15%。1993 年每辆车工程塑料平均用量,美国为 27.6kg,日本为 17.8kg,而总用量分别达到 365.9kt 和 239.7kt。

目前车用塑料的品种与所占比例大体为:聚丙烯 21.1%,聚氨酯 19.6%,聚氯乙烯 12.2%,热固性复合材料 10.4%,丙烯腈—丁二烯—苯乙烯共聚物 (ABS) 8.0%,聚酰胺 7.8%,聚乙烯 6.0%,聚碳酸酯 2.6%,改性聚苯醚 1.9%,聚甲醛 1.8%,PBT 和 PET 1.5%,其它 7.1%。

表 1-4-1 示出了美国汽车各种塑料的使用量。由该表所列数据可以看出,从 20 世纪 90 年代开始,美国汽车用塑料品种有了明显的变化,五大通用工程塑料的使用量有明显增多的趋势。例如,聚碳酸酯的使用量从 1979 年的 8kt,发展到 1990 年的 30kt,平均增长率为 12.5%;聚酰胺的使用量从 1979 年的 25kt,发展到 1990 年的 52kt,平均增长率为 6.9%;热塑性聚酯 (PBT 等)、改性聚苯醚、聚甲醛等也有不同程度的增长。说明美国车用塑料中,高档次的工程塑料使用量逐年增长,汽车塑料件的品质也随之提高。

表 1-4-1 美国汽车各种塑料的使用量

(单位: kt)

名 称	1979 年	1985 年	1990 年	平均增长率, %
聚丙烯	155	191	240	4.1
聚氨酯泡沫	128	117	120	-0.6
不饱和聚酯	56	65	117	6.9
ABS	93	84	84	-0.9
聚氯乙烯	86	76	75	-1.2
反应注射成型聚氨酯	23	32	59	9.1
聚乙烯	30	34	56	5.7
聚酰胺	25	43	52	6.9
聚碳酸酯	8	14	30	12.5
酚醛树脂	17	20	25	3.7
热塑性聚酯 (PBT 等)	10	13	17	5.2
环氧树脂	13	13	13	0
聚甲醛	10	10	11	1.2
改性聚苯醚	7	7	10	2.9
聚苯乙烯系列	8	7	7	-11.0
热塑性聚氨酯	3	5	6	8.0
纤维素塑料	5	4	4	-9.0
聚四氟乙烯	1.4	1.9	1.9	3.7

随着汽车生产量的逐年增加,每年均要消耗大量的汽油和柴油,因此,节约能源已成为汽车制造业关注的头等大事。汽车的小型化和轻量化则是节约能源的有效措施。

汽车轻量化的措施是要选用轻质材料。轻质材料有塑料、铝合金、高强度钢等。其中塑料是首选材料,这是因为塑料不仅可使汽车轻量化,而且也是提高汽车造型的美观与设计的灵活性,降低零部件加工、装配和维修费用的有效途径。

表 1-4-2 示出了美国 Franklin Associated 公司对汽车上 16 种配件由金属改用塑料后质量减轻的对比数据。

汽车的塑料化带来了汽车的轻量化,汽车的轻量化则带来了能源的节约。据美国统计,汽车的质量每减轻 425kg,每升汽油就可多跑 1km 路程。

我国的汽车工业起步于 1956 年,经过 40 多年的发展,已取得了长足的进步。特别是改革开放以来,汽车工业获得了迅速发展。1990 年我国的汽车产量为 56 万辆,1995 年为 110 万辆,2000 年达到 270 万辆,2010 年将达到 600 万辆。1996 年我国的汽车工业产值占国民经济总产值的 1%,2000 年达到 3%,2005~2010 年可望达到 5%。由于汽车工业的发展,塑料的用量也在显著增长,如上海桑塔纳轿车每辆车的塑料用量已增至 74.55kg,占整车自重的 6.9%,其中聚丙烯 18.79kg、ABS 10.55kg、聚酰胺 2.87kg、聚甲醛 0.83kg、改性聚苯醚 0.34kg、聚氯乙烯 11.77kg,以及聚碳酸酯、PET、PTFE 等。

表 1-4-2 车用塑料配件的轻量化

名 称	原来质量,kg	改用塑料后质量,kg	减轻质量,kg	轻量化率, %
空调器支架	3.18	0.91	2.27	71
盘式制动器活塞	0.82	0.41	0.41	50
发动机盖	16.34	12.26	4.08	25
后门	20.88	12.71	8.17	39
座椅架 (2 座)	22.70	11.35	11.35	50
燃料箱	22.70	18.16	4.54	20
轮胎 (4 只)	54.48	40.86	13.62	25
驱动轴	10.22	4.31	5.91	58
叶片弹簧	12.71	2.04	10.67	84
门梁	7.72	3.18	4.54	59
车身	209.29	94.43	114.86	55
车架	128.48	93.98	34.50	27
车门 (4 扇)	70.82	27.69	43.13	61
前后保险杠	55.84	19.98	35.86	64
车头	43.58	13.17	30.41	70
车轮 (4 只)	41.77	22.25	19.52	47
合 计	721.53	377.69	343.84	47.7

二、主要车用工程塑料部件

与通用塑料相比,工程塑料在强度、刚性、耐热性、耐冲击性和尺寸稳定性等方面具有优势,所以,近年来工程塑料在汽车上的应用日益增多,主要用作保险杠、燃油箱、仪表板、车身板、车门、车灯罩、燃油管、散热器以及发动机相关零部件等。

(一) 前后保险杠

以往汽车保险杠主要采用电镀钢板制造。保险杠的材料要求具有足够的强度、刚性、耐冲击性、耐热性、耐气候性、耐污染性、耐药品性、耐磨损性、耐震性及良好的外观。近年来,金属保险杠已逐渐被塑料所取代。塑料制造的保险杠属大件汽车塑料件,一般每只保险杠重 4~6kg。所用的塑料品种有:PP、EPDM、PC、PBT、热塑性聚氨酯、改性聚苯醚和 SMC (片状模塑料)等。

中低档轿车一般多用 PP、EPDM,该材料具有质量轻,较好的耐冲击性和刚性,加工方便,成本低,废品可回收利用等特点,但涂装性能较差,强度较低。国际上高档的汽车,保险杠大多用工程塑料系聚合物合金 PC/PBT 制成,该材料的特性是具有高刚性、高耐冲击性、可焊接性、优良的涂装性及良好的表面光泽性。特别是它的低温冲击强度特别好,在-40℃的低温下,悬臂梁冲击强度 (缺口)仍有 299J/m 这样高的数值。用此材料制成的保险杠,车身和保险杠可一次涂装,成同一色彩。保险杠可以做得色彩鲜艳夺目,称为彩色保险杠。德国的 BENZ (奔驰)、BMW (宝马)、MAESTRO,美国的 FORD、ESCOT,日本的 PEATHA 等

车种均采用 PC/PBT 合金制造保险杠。

用 PC/PBT 合金为原料制造保险杠的成型加工方法有注射成型和吹塑成型。由于是共混聚合物,所以在注射成型时浇口部位可能产生剥离现象,因此,熔融的物料在流经浇口之前,应尽可能在低速下充填,这样就会有效地防止剥离现象的产生。美国 GE 公司开发了新的双层结构吹塑成型工艺,由 PC/PBT 合金制得了具有优良抗冲击性和防震性能的保险杠。

表 1-4-3 示出了美国 GE 公司生产的 PC/PBT 合金汽车专用品级 Xenoy 1101 的性能。该汽车专用品级是 GE 公司在 PC 与 PBT 共混物中再加入少量弹性体经熔融挤出造粒而制得的,因而具有优异的耐冲击性,专门用于制造汽车前后保险杠。

表 1-4-3 PC/PBT 汽车专用品级 Xenoy 1101 的性能

项 目	数 值	项 目	数 值
相对密度	1.21	0℃	677
拉伸强度,MPa	59	-20℃	608
断裂伸长率,%	120	-40℃	299
弯曲强度,MPa	85	热变形温度,℃	
弯曲弹性模量,GPa	2.96	0.45MPa	106
悬臂梁冲击强度(缺口),J/m		1.82MPa	99
23℃	709	成型收缩率,%	0.9

(二)燃油箱

1. 选材

以往燃油箱主要用金属制造。燃油箱的材料首先要求能长时间承受高温与低温交变载荷,甚至能承受-40℃下的骤然变化。另外,燃油箱材料还应具有足够的耐冲击性、刚性、尺寸稳定性和耐化学药品性。

在西欧和美国,金属燃油箱现已大多为塑料所取代。适合制造燃油箱的塑料主要有高分子量高密度聚乙烯、超高分子量聚乙烯和尼龙 6。后两种材料为工程塑料。

尼龙 6 具有良好的耐冲击性、刚性和尺寸稳定性,耐油性优异,可在 120℃长期使用,但在 0℃以下耐冲击性减弱,为此若干受力点需安置金属嵌件。

高分子量高密度聚乙烯和超高分子量聚乙烯在低温下的性能优于尼龙 6,它们能耐-50℃的低温,但在 100℃以上的高温条件下的性能则不及尼龙 6,但燃油箱使用条件常遇-40℃环境,却不遇 100℃以上的高温环境。在永久载荷下,它们的性能和尼龙 6 相似。高分子量高密度聚乙烯和超高分子量聚乙烯对汽油、柴油、变压器油、润滑油、润滑脂、表面活性剂等化学药品具有优异的抵抗性。当施加冲击力时,它们较之尼龙 6 更耐冲击。因此,现多数汽车使用高分子量高密度聚乙烯和超高分子量聚乙烯制造燃油箱。为了进一步降低汽油渗透率,高分子量高密度聚乙烯和超高分子量聚乙烯燃油箱还可进一步进行磺化或氟化处理。

与金属燃油箱相比,工程塑料燃油箱具有如下优点:

① 能充分利用汽车的不规则空间作为工程塑料燃油箱的外形,因而燃油箱的体积可

增大。

- 2) 燃油箱的重量可减轻。
- 3) 耐化学药品性好。
- 4) 较好的热绝缘性能,遇火警时燃料油不会迅速升温。
- 5) 简化生产制造工序。

2. 成型方法

工程塑料燃油箱的成型方法有:回转成型、单体浇铸成型、注射成型、真空吸塑成型和中空吹塑成型等。

1) 回转成型 将金属模具安装在回转成型机机架上进行三维方向旋转,工程塑料粉加入热模具内。当回转成型机旋转时,工程塑料粉不断熔融粘贴在热模具内壁,待完全塑化达到要求厚度后,往模具夹套内注入冷水进行冷却,然后脱模得制品。其不足之处在于较难保证转角处和狭窄断面处壁厚的均匀性。

2) 单体浇铸成型 将己内酰胺单体注入受热回转模具内,在模具内壁进行阳离子聚合成尼龙 6,然后冷却脱模得燃油箱成品。用此法不仅可制得燃油箱,也可制得各种容器。利用尼龙 6 优异的耐油性,这些容器多用于存装油类。由于单体浇铸成型模具内无压力,因而模具造价较低。摩托车和助动车燃油箱多采用单体浇铸成型,成型品易于进行外表面喷漆处理。

3) 注射成型 由于受到脱模限制,采用注射成型生产燃油箱势必分成两个半件,然后再用粘合剂或热熔焊接将两半件粘合成整体。另外,模具要承受高压(60~130MPa),结构复杂,因而造价较高。注射成型的优点是制得的成型品壁厚均匀,在模具内可以装配所需要的嵌件,并且可将燃油箱箱体与附属零部件进行整体注射成型。

4) 真空吸塑成型 将工程塑料板材加热后用真空吸塑成型制成燃油箱两个半件,然后再用粘合剂或热熔焊接成整体。它与注射成型不同之处在于,真空吸塑成型不能成型形状结构复杂的箱体,而且无法在成型时装配各种嵌件,但是其模具多为铝合金材料,强度要求较低,结构简单,因而造价也低。

5) 中空吹塑成型 是制造塑料燃油箱的最佳成型方法。高分子量高密度聚乙烯和超高分子量聚乙烯适合于中空吹塑成型。成型时,物料连续加热熔融挤出,送进蓄料器中贮存,再通过模芯模套由上往下挤出形成型坯,用哈夫模具将型坯夹紧,然后往型坯内鼓气吹胀贴牢模腔内成型,经冷却脱模得成品燃油箱。

3. 测试评价

为了准确判断生产出来的燃油箱是否符合使用要求,通常需进行一系列试验,主要有坠落试验、冲击试验、燃烧试验、耐压试验和渗透试验等。表 1-4-4 列举了超高分子量聚乙烯燃油箱的检测项目和性能要求。

表 1-4-4 超高分子量聚乙烯燃油箱的检测项目和性能要求

检测项目	性能要求
坠落试验	箱体内注满冷冻液,在-40℃环境中放置 12h,由 6m 高度自由落下,箱体不破裂,不泄露
摆锤冲击	箱体内注满冷冻液,在-35℃环境中放置 12h,用 1t 重的摆锤,冲击能量为 4kJ,冲击后箱体不破裂,不泄漏

续表)

检测项目	性 能 要 求
尖锤冲击	箱体内存满冷冻液,在-40℃环境中放置 12h,用 14.7N 尖锤,冲击能量为 30J,冲击后箱体不出现裂纹,不泄漏
燃烧试验	箱体内存入 50%燃油,置于直接或间接火焰上加热 120s,箱体不破裂,不爆炸
耐压试验	箱体内存满液体,加压至 0.3MPa,箱体不破裂,不泄漏
渗透试验	箱体内存入 50%含芳香烃的燃油,在 40℃温度环境中经 8 周,平均泄漏不超过 20g/24h

(三) 仪表板

车用各种仪表、里程表、油耗表、钟表以及空调系统控制、收音机、录音机等都安装在仪表板上。仪表板的表面温度往往较高,为了适应发动机室高温及阳光照射,要求塑料仪表板具有良好的耐热性,在较高温度下蠕变小,不变形。另外,还应具有良好的耐冲击性、刚性和阻燃性。适用的材料有 ABS、ABS/PVC 合金、聚丙烯复合材料及改性聚苯醚等。近年来国外较好的车种(如日本的本田轿车)都采用档次较高的工程塑料系聚合物合金 PC/ABS 制造。表 1-4-5 和 1-4-6 分别示出了用于制造仪表板的 ABS 和 PC/ABS 的性能。

表 1-4-5 用于制造仪表板的 ABS 性能

项 目	数 值	项 目	数 值
熔体指数, g/10min	3.5	弯曲弹性模量, GPa	2.35
拉伸屈服强度, MPa	44	悬臂梁冲击强度(缺口), J/m	294
伸长率, %	30	热变形温度(0.45MPa), °C	95
弯曲强度, MPa	69	洛氏硬度	105

表 1-4-6 用于制造仪表板的 PC/ABS 合金性能

项 目	数 值	项 目	数 值
相对密度	1.20	悬臂梁冲击强度(缺口), J/m	
熔体指数, g/10min	10~15	23℃	650
拉伸强度, MPa	58	-30℃	450
伸长率, %	120	线膨胀系数, $\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	8.0
弯曲强度, MPa	83	热变形温度(1.82MPa), °C	120
弯曲弹性模量, GPa	2.50	成型收缩率, %	0.5~0.7

(四) 车身外板

车身外板材料要求有优良的耐冲击性、耐挠曲性、耐湿热老化性以及较高的机械强度。适用的材料有非结晶型聚酰胺、RIM 聚氨酯和 SMC(玻璃纤维增强不饱和聚酯树脂片状模塑料)等。

近年来,已有愈来愈多的汽车车身外板采用工程塑料系聚合物合金制造。这些聚合物合金主要有 PPO/PA、PC/ABS、PC/PBT 等。它们与 RIM 聚氨酯相比,其成型品外观品质高,韧性好,耐热性高,注射成型周期缩短 1/2 以上,成本低;与 SMC 相比,其成型品冲击强

度高,外观品质好,质量轻 40%,加工成本低 50%等。基于上述优点,工程塑料系聚合物合金作为车身外板材料日益受到重视,特别在前端板、后侧板、挡泥板、阻流板等的应用上有取代 RIM 聚氨酯及 SMC 材料之势。表 1-4-7 示出了用于车身外板的工程塑料系聚合物合金的性能。

表 1-4-7 用于车身外板的工程塑料系聚合物合金的性能

项 目	Noryl GTX-910	サイコロイ 800	Xenoy 1100
聚合物合金类型	PPO/PA	PC/ABS	PC/PBT+弹性体
相对密度, g/cm ³	1.10	1.12	1.22
拉伸强度, MPa	58	58	56.9
伸长率, %	60	100	145
弯曲强度, MPa	102	90	86.3
弯曲弹性模量, GPa	2.14	2.70	2.09
悬臂梁冲击强度 (缺口), J/m	250	550	810
热变形温度 (1.82MPa), °C	143	118	95

(五) 车灯罩

汽车车灯罩主要采用有机玻璃和聚甲基丙烯酸甲酯共聚模塑料制造。但近年来采用透明工程塑料聚碳酸酯和聚芳酯日益增多。这是因为聚碳酸酯和聚芳酯与有机玻璃相比,耐热性、机械强度和耐冲击性要高得多。使用聚碳酸酯制造的车灯罩,可承受汽车行驶中跳起的碎石的猛烈撞击。聚芳酯是所有透明材料中综合性能最好的品种之一,其中,P 系列高透明型聚芳酯当厚度为 2mm 时,光线透过率可达 90%。表 1-4-8 列举了用于制造车灯罩的聚芳酯的性能。

表 1-4-8 用于制造车灯罩的聚芳酯的性能

项 目	数 值	项 目	数 值
相对密度	1.21	悬臂梁冲击强度 (缺口), J/m	450
吸水率 (24h), %	0.25	洛氏硬度 (R)	120
拉伸强度, MPa	68	线膨胀系数, $\times 10^{-5}$ /°C	6.3
伸长率, %	80	热变形温度 (1.82MPa), °C	155
弯曲强度, MPa	90	阻燃性 (UL94)	V-2
弯曲弹性模量, GPa	2.1	光线透过率 (厚度 2mm), %	90

(六) 燃油管

汽车用输送燃料油的软管多用尼龙 12 (或尼龙 11)制造。因为尼龙 12 耐油性的优异,渗透性低,抗撕裂强度高,富有弹性,使用温度范围宽。它的低温性能突出,可耐-55°C 的低温。欧洲汽车燃油管的 70%和美国汽车燃油管的 50%,是用尼龙 12 制造的。表 1-4-9 示出了用于制造汽车燃油管的尼龙 12 性能。

表 1-4-9 用于制造汽车燃油管的尼龙 12 的性能

项 目	数 值	项 目	数 值
相对密度	1.02	洛氏硬度 (R)	80
吸水率 (24h), %	0.25	热变形温度, °C	
拉伸强度, MPa	50	0.45MPa	135
断裂伸长率, %	>250	1.82MPa	55
弯曲强度, MPa	70	软化点, °C	160
弯曲弹性模量, GPa	1.1	熔点, °C	178
悬臂梁冲击强度 (无缺口), J/m	250~300		

(七) 发动机零部件

采用塑料代替金属制造汽车发动机零部件具有成本低、质量轻、噪声小、耐腐蚀等特点,但必须具备耐高温、刚性高、尺寸稳定性好,以及对震动、冲击有阻尼性等条件。适用的塑料主要有玻璃纤维增强聚酰胺、玻璃纤维增强 PPS 及氟树脂等工程塑料。近年来,在各种新型汽车中,这些工程塑料已大量取代镀铬件和不锈钢件制造发动机零部件。表 1-4-10 示出了使用工程塑料制造汽车发动机零部件的名称及性能特点。

表 1-4-10 工程塑料制造汽车发动机零部件的名称及性能特点

名 称	选 用 的 工 程 塑 料	主 要 性 能 特 点
进气支管	玻纤增强 PPS、玻纤增强尼龙 66	轻量化、降低成本
废气再循环阀	玻纤增强 PPS	成型性,使零件能整体成型
进气消声器	尼龙 66 (无机填料增强)	降低噪声、小型化、轻量化、降低成本
化油器	氟树脂	轻量化、绝热性
散热器	玻纤增强尼龙 66	轻量化、生产工序简化、装卸方便
水泵叶轮	玻纤增强尼龙 66	轻量化、降低成本
汽缸盖罩	玻纤增强尼龙 6、无机填料增强尼龙 66	轻量化、降低成本、降低噪声
油箱壳	玻纤增强聚酰胺模压成型薄板	轻量化、降低成本、降低噪声

(八) 其它

除上述主要汽车部件外,还有许多汽车零部件用工程塑料制造。例如,汽缸盖、垫圈、真空管、手柄、操纵杆、固定支架等可用玻璃纤维增强尼龙制造;水泵叶轮、排气阀、油门踏板、开关、轴套、齿轮、滑块、锁定装置固定垫片等可用聚甲醛制造;后视镜、车门拉手、空调器喷嘴、摩托车挡风玻璃等可用聚碳酸酯制造;连接器、自动复位按钮、蓄电池板、定时器、减震器、工具箱盖、扬声器格栅、反射镜支架等可用改性聚苯醚制造;照明灯壳体、后转角格栅、门手柄、内镜撑条、刮水器支架、制动系统组件、各种阀门等可用 PBT 制造;护板、分速器盖、风扇罩等可用聚砒制造;前照灯反射器、制动器轴用衬套、止推环等可用聚醚砒制造;排气控制阀、气动信号调节器、转速表传感器罩等可用 PPS 制造。

三、国内汽车用工程塑料现状

目前国内汽车使用工程塑料的情况见表 1-4-11 所示,这是根据 8 种车型的统计汇总的。由该表可以看出,目前国内汽车中工程塑料的使用量还是比较少的。ABS 和聚酰胺的使用量相对较多。

表 1-4-11 中国七种汽车用工程塑料状况

(单位:kg)

名 称	一 汽 CA141	东 风 EQ153	济 南 STEYR	仿五十铃 BJ136	仿五十铃 BJ1041	上 海 SANTANA	天津夏利 TJ730	总 重
ABS	2.40	2.07	0.77	5.29	6.06	10.60	3.28	40.87
改性聚苯醚						0.34		2.34
聚酰胺	0.92	0.43	1.28	2.23	0.22	2.90	0.01	16.19
聚甲醛	0.82	0.15	0.09	0.06	0.04	0.83	0.01	2.50
PBT	0.09						0.02	0.11
AAS		0.20					0.07	0.27
聚碳酸酯		0.75				0.18		1.13
PTFE		0.01	0.50					0.51
合 计	4.23	3.61	2.64	7.58	6.32	14.85	3.39	63.92

以下为国内工程塑料在汽车部件上的应用实例:

1. 仪表板

上海大众桑塔纳的仪表板重 4.12kg,用 ABS/PVC 合金制成。有一定的机械强度和耐气候老化性,阻燃性良好,价格便宜。缺点是冲击性和手感较差。国外则多用 PC/ABS 合金制造。

2. 散热器格栅

桑塔纳轿车的散热器格栅用 ABS 制造,因为 ABS 的耐候性较差,所以设计者只能把它做成黑色,以改善耐候性能。而国外高档次的轿车则采用改性聚苯醚或聚甲醛制造。

3. 燃油箱

桑塔纳轿车的燃油箱用超高分子量聚乙烯经吹塑成型后再经氟化或磺化制成,质量为 5.36kg。经渗透、冲击、坠落、耐压等试验,性能符合使用要求。国外高档轿车采用三层共吹塑法制成,内外层均采用高分子量高密度聚乙烯,中间用聚酰胺作为阻隔层,每层之间用特种粘合剂粘接。采用这种共吹塑法制成的燃油箱防漏油性能特别好。

4. 暖风水室

长春汽车材料研究所以尼龙 66 为主要原料,将其和 EPDM、抗氧剂、热稳定剂、着色剂等共混,用于制造暖风水室。产品性能优于铜暖风水室,价格低 60%,质量也减轻 0.5kg。

5. 轴承保持架

江苏无锡锡珠塑料厂以玻璃 y 纤维增强尼龙 66 及超韧尼龙 66 为原料,制成了轿车轴

承保持架。制品具有优良的耐热性、刚性和尺寸稳定性。

6. 车轮罩

北京化工研究院开发的工程塑料系聚合物合金 PPO/PA 可用于制造轿车的车轮罩。制品具有刚性高,耐热性和尺寸稳定性优良等特点。

表 1-4-12 汇总了桑塔纳轿车工程塑料的应用情况。

表 1-4-12 桑塔纳轿车工程塑料应用情况

名 称	汽 车 零 部 件 名 称
尼龙 6	转向盘法兰、排挡手柄、油管夹头、车门内饰板夹头、加速踏板限位器、前座椅调整杆轴套、嵌件凸块、电线束夹头 (六件)、内扳手 (左右两件)、摇窗球形把手
尼龙 66	隔套、软管夹头、内楔形垫块、冷凝器保护栅支架、Y 型三通、螺母塞、支撑夹头
尼龙 12	油管 (左右两根)、备用油箱
ABS	转向盘开关壳体、烟灰盒盖、车门锁杆按钮、仪表板开关饰板、车门头道密封压板、仪表板插片、起动拉索手柄、靠背框架、空调出风口、百叶窗 (两件)、出风口阀板、内盖密封片、后视镜内盖、拉手盖板 (两件)、衬里支架 (两件)、车门搁手 (左右各一)、散热器罩 (左右各一)、散热器格栅、除霜器喷嘴 (左右各一)、杂物箱及内饰总成、手套箱及内饰总成、杂物箱中间饰板、刮水器挡风薄膜
聚甲醛	夹头 (三件)、套管、角度杆 (左右两件)、锁拉杆、支承套、隔套、导向杆 (两件)、护盖、导向片 (两片)、滑块、保险杠支架 (四件)、支撑铆钉、电线束夹头 (五件)、衬套、出风阀门操纵杆
聚碳酸酯	仪表板中加热板、点烟器夹紧套
改性聚苯醚	出风百叶窗、各种电线夹头、车轮饰盖

第二节 在机械上的应用

一、在机械零件上的应用

(一) 轴承

工程塑料具有优良的机械强度、刚性、自润滑性、耐磨性、低摩擦因数和特殊的抗咬合性,即使在润滑条件不良的情况下也能正常的工作,被广泛用作轴承材料,以取代金属材料。作为轴承材料的耐磨工程塑料,主要有聚四氟乙烯、聚酰胺、聚甲醛、聚砒、改性聚苯醚及聚酰亚胺等。

1. 工程塑料轴承的选材

工程塑料轴承所用的材料,主要应根据各种工程塑料的磨损特性、摩擦特性、 p_v 极限值等进行选择。

1) 工程塑料的磨损特性 工程塑料的磨损特性取决其所受的载荷、滑动速度、环境温度、对磨材料的性质、硬度和表面粗糙度等。表 1-4-13 列举了各种工程塑料的磨损特性。表 1-4-14 为聚四氟乙烯与不同材料对磨时的相对磨损值。

2) 工程塑料的摩擦特性 工程塑料的摩擦特性主要用摩擦因数表征。由于工程塑料的自润滑性优良,所以干燥状态下的摩擦因数较低,一般在 0.02~0.50 范围内。摩擦因数随载荷增大而降低,随滑动速度的增快而增高。表 1-4-15 示出了各种工程塑料的摩擦

因数。

表 1-4-13 各种工程塑料的磨损特性

名 称	载荷, MPa	时间, min	磨痕宽度, mm	磨损量, mg
聚甲醛	3.0	180	5.5	3.8
尼龙 1010	3.0	15	15.0	
尼龙 6	3.0	120	8.5	
尼龙 66	3.0	180	9.7	33.1
MC 尼龙	3.0	120	4.8	9.3
超高分子量聚乙烯	3.0	180	7.5	
氯化聚醚	3.0	180	5.4	3.0
聚碳酸酯	3.0	120	16.5	
改性聚苯醚	3.0	120	20.0	
聚砒	2.3	30	16.0	121.0
聚四氟乙烯	2.5	60	18.4	445.0
聚酰亚胺	3.0	120	4.0	1.4

表 1-4-14 聚四氟乙烯与不同材料对磨时的相对磨损值

名 称	相对磨损值	名 称	相对磨损值
聚四氟乙烯-碳钢	1	聚四氟乙烯-钢镀铬	10~20
聚四氟乙烯-铸铁	1~2	聚四氟乙烯-青铜	1~2
聚四氟乙烯-不锈钢	1.5~3	聚四氟乙烯-铝合金	20~50

表 1-4-15 各种工程塑料的摩擦因数

名 称	摩擦因数	名 称	摩擦因数
尼龙 6	0.15~0.40	聚全氟乙丙烯	0.08
尼龙 66	0.15~0.40	改性聚苯醚	0.18~0.23
MC 尼龙	0.15~0.30	聚甲醛	0.15~0.35
聚四氟乙烯	0.04	聚酰亚胺	0.17

3) 工程塑料轴承的 PV 极限值 工程塑料轴承和金属轴承一样,当滑动速度固定时,载荷逐步增加到一定程度,温度会突然上升,摩擦因数急剧增高,从而导致变形、烧焦及严重磨损。此时的滑动速度 V 与面压 P (单位投影面积所承受的压力)的乘积,通常是一常数,即被称为 PV 极限值或 PV 值。

工程塑料轴承的 PV 值随滑动速度的变化而异,当 V 值逐渐增大时, PV 值逐渐下降。但聚四氟乙烯的情况比较特殊,由于其摩擦因数极低,而承载能力也很小,对滑动速度的变化不敏感,因此在一定范围内,随着滑动速度的增快, PV 值反而增大。表 1-4-16 列举了几种工程塑料在不同滑动速度下的 PV 值。

表 1-4-16 几种工程塑料在不同滑动速度下的 PV 值 (单位: $\text{MPa} \cdot \text{m/s}$)

名 称	滑动速度 $v, \text{m/s}$		
	0.051	0.51	5.1
聚甲醛	0.141	0.126	<0.090
聚酰胺	0.108	0.090	<0.090
氯化聚醚	0.108	0.072	
聚四氟乙烯	0.043	0.064	0.089

润滑条件对工程塑料轴承 PV 值的影响很大。干摩擦时 PV 值很小, 当有油润滑或水润滑冷却时, PV 值将显著增大。表 1-4-17 示出了尼龙 66 在不同润滑条件下的 PV 值。

表 1-4-17 尼龙 66 在不同润滑条件下的 PV 值 (单位: $\text{MPa} \cdot \text{m/s}$)

润 滑 条 件	连续运转	间歇运转
干摩擦	0.017	0.034
初期摩擦	0.067	0.083
水润滑	0.083	0.083
油润滑	1.670	2.500

2. 工程塑料轴承的设计

1) 长径比与壁厚 工程塑料轴承的长径比, 即轴承长度与轴径之比, 一般以不超过 $1.5:1$ 为原则, 以 $1:1$ 为最理想, 此时热量易发散, 摩擦因数最小。

工程塑料轴承的壁厚不宜过大, 在保证强度和成型工艺许可的情况下, 越薄越好。这是因为工程塑料的导热系数很小, 壁太厚则摩擦热不易发散; 同时因为工程塑料的线膨胀系数较大, 壁太厚则膨胀量大, 内径收缩也大, 会影响运转的灵活度。但是壁厚过小, 压配时易引起变形, 同时在轴承座中的张紧力也不够。表 1-4-18 列举了工程塑料轴承的壁厚。表中所推荐的壁厚值, 系在通常条件下的数值, 当受冲击载荷时可适当增厚。

表 1-4-18 工程塑料轴承的壁厚 (单位: mm)

轴承内径	轴承壁厚	轴承内径	轴承壁厚
≤ 6	0.75	≥ 28	3.0
8	1.0	50	4.0~5.0
9~24	2.0	120	8.0~10.0
25	2.5	250	15.0

2) 润滑冷却沟槽 工程塑料轴承与金属轴承一样, 应在内壁上开润滑冷却沟槽。槽的形式通常有螺旋形和直线形两种。其中, 直线型沟槽对于排除磨屑更为有利。直线形沟槽可根据情况, 对称地开 3 个、4 个、6 个不等。槽越多对润滑冷却越有利, 但沟槽总面积以不影响轴承的承压面积为原则。

3) 压配过盈量 工程塑料衬套外径 D' 与轴承座内径 D 之差, 称为压配过盈量。由于

工程塑料与金属相比弹性模量较小,蠕变较大,因此其压配过盈量应比金属轴承略大,才能保持足够的张紧力。但压配过盈量也不宜过大,否则会造成压配困难,并易导致压碎衬套及影响衬套内壁的圆整度和粗糙度。图 1-4-1 示出了几种工程塑料轴承座的内径与压配过盈量的关系。

4) 配合间隙 工程塑料轴承的配合间隙比金属轴承大,这是因为工程塑料的线膨胀系数比金属大,由摩擦热引起的内径收缩也较大。另外,由于工程塑料都有一定的吸油性和吸水性,因而会产生体积膨胀。一般来说,对于精度要求不高的工程塑料轴承,可适当将配合间隙放大一些,但对于精度要求较高的工程塑料轴承,其配合间隙的确定,应尽可能慎重。表 1-4-19 示出了几种工程塑料轴承的配合间隙。

表 1-4-20 示出了聚甲醛轴承在不同温度范围的配合间隙。

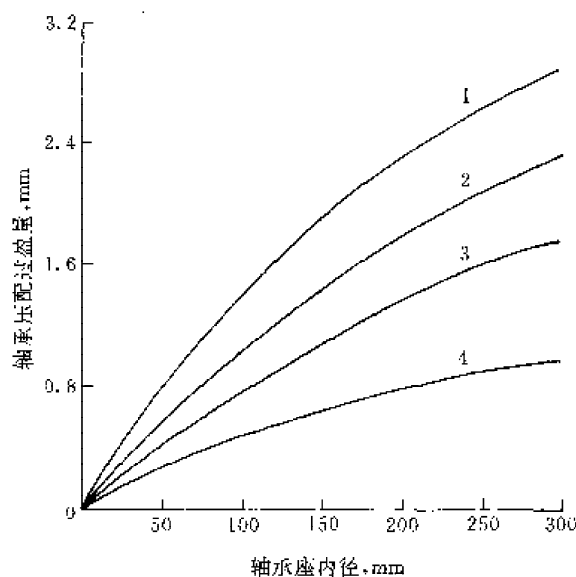


图 1-4-1 几种工程塑料轴承座内径与压配过盈量的关系

1—PTFE; 2—尼龙; 3—MC 尼龙; 4—陶瓷填充 PTFE

表 1-4-19 几种工程塑料轴承的配合间隙

(单位: mm)

轴承内径	尼龙 6、尼龙 66	聚四氟乙烯
6	0.050~0.075	0.050~0.100
12	0.075~0.100	0.100~0.200
20	0.100~0.125	0.150~0.300
25	0.125~0.150	0.200~0.375
38	0.150~0.200	0.250~0.450
50	0.200~0.250	0.300~0.525

表 1-4-20 聚甲醛轴承在不同温度范围的配合间隙

(单位: mm)

轴承内径	室温~60℃	室温~120℃	-45~120℃
6	0.076	0.100	0.150
13	0.100	0.200	0.250
19	0.150	0.310	0.380
25	0.200	0.380	0.510
31	0.250	0.460	0.640
38	0.310	0.530	0.710

(二) 齿轮

工程塑料耐磨性好,传动效率高,具有自润滑作用,可在无润滑或少润滑条件下运转;工程塑料齿轮有较好的弹性,较高的机械强度和刚性,有吸震防冲击作用,运转时噪声低,传动平稳;由于工程塑料齿轮的弹性能补偿加工和装配误差,因此制造和装配的精度要求可以相应降低;由于工程塑料的重量轻,可减轻机构重量,降低惯性力和启动功率;工程塑料的耐腐蚀性好,可在腐蚀介质中运转,节约贵重的耐腐蚀合金及不锈钢;工程塑料齿轮可用注射、压铸等方法一次成型复杂的齿轮。

1. 工程塑料齿轮的选材

制造齿轮的工程塑料,应具备以下一些条件:

- 1) 高的弯曲强度和接触疲劳强度;
- 2) 高的冲击强度和一定的弹性;
- 3) 低的摩擦因数,优良的耐磨性;
- 4) 高的耐热性和低的线膨胀系数;
- 5) 优良的耐老化性;
- 6) 应力开裂倾向性小;
- 7) 优良的尺寸稳定性;
- 8) 吸水、吸油率低,吸水、吸油后尺寸和强度变化小;
- 9) 成型工艺简便;
- 10) 价格较低。

目前,较多选用以下几种工程塑料制造齿轮。

1) 聚酰胺 常用的聚酰胺品种有尼龙 6、尼龙 66、尼龙 610、尼龙 1010、尼龙 11、MC 尼龙、玻纤增强尼龙、石墨或二硫化钼填充尼龙等,它们各自的性能以及用其所制造的齿轮的工作性能如下:

1) 尼龙 66: 有较高的疲劳强度和刚性,耐热性较好,摩擦因数低,耐磨性优良,但吸湿性较大,尺寸稳定性稍差。尼龙 66 齿轮可在中等载荷、较高的温度 ($100\sim 120^{\circ}\text{C}$) 及无润滑或少润滑条件下工作。

2) 尼龙 6: 疲劳强度、刚性和耐热性不及尼龙 66,但弹性好,有良好的减震及降低噪声能力。尼龙 6 齿轮主要在轻载荷、中等温度 ($80\sim 100^{\circ}\text{C}$)、无润滑或少润滑、要求噪声低的条件下工作。

3) 尼龙 610: 强度、刚性和耐热性稍差于尼龙 66,但吸湿性小,耐磨性优良。尼龙 610 齿轮主要在轻载荷、中等温度 ($80\sim 100^{\circ}\text{C}$)、无润滑或少润滑、湿度波动较大、要求齿轮尺寸比较精密的条件下工作。

4) 尼龙 1010: 强度、刚性和耐热性与尼龙 66 相似,而吸湿性比尼龙 610 更小。成型工艺性好,耐磨性优良。尼龙 1010 齿轮主要在轻载荷、湿度波动较大、要求噪声低、无润滑或少润滑的条件下工作。

5) 尼龙 11: 强度和刚性比尼龙 66 小,但吸湿性小。尼龙 11 主要在轻载荷、湿度波动大、要求噪声低或要求在水中运转的条件下工作。

6) MC 尼龙: 强度、刚性与耐热性均优于尼龙 66,吸湿性较低,耐磨性优良,适宜制造大型齿轮。MC 尼龙齿轮可在较高载荷、较高温度 (120°C)、无润滑或少润滑条件下工作。

7) 玻璃纤维增强尼龙: 玻璃纤维含量一般在 30% 左右,力学性能和热性能均优于未增强的尼龙,线膨胀系数、吸湿性小于未增强尼龙。可在高载荷、高温、要求一定传动精度的条件下工作,但在速度较高时需用油润滑。

8) 石墨或二硫化钼填充尼龙: 导热性及自润滑性能好,但强度和耐冲击性稍差。石墨或二硫化钼填充尼龙齿轮主要在轻载荷、较高速度、无润滑或少润滑条件下工作。

2) 聚甲醛 聚甲醛的耐疲劳强度和刚性优于尼龙,吸湿性较低,尺寸稳定性好,耐磨性也比尼龙好,但成型收缩率大于尼龙。聚甲醛齿轮主要在轻载荷、中等温度 (100°C 以下)、无润滑或少润滑条件下工作。

3) 聚碳酸酯 聚碳酸酯刚性好,吸湿性小,尺寸稳定性好,成型收缩小,耐热性优于尼龙和聚甲醛,但疲劳强度较低,耐磨性稍差,且有应力开裂倾向。聚碳酸酯齿轮主要在较高载荷、较高温度、要求一定传动精度的条件下工作,但在速度较高时需用油润滑。

另外,也可用玻璃纤维增强的聚碳酸酯制造齿轮。它具有优良的耐热性和耐疲劳性能,高强度和刚性,而吸水性、成型收缩率均低于聚甲醛和尼龙。应力开裂倾向明显减小,但耐磨性稍差。玻璃纤维增强聚碳酸酯齿轮主要用于较高载荷和温度以及精度要求较高的条件下,但速度较高时则需用油润滑。

4) 氯化聚醚 氯化聚醚有突出的耐腐蚀性,吸湿性和成型收缩率小,尺寸稳定性好,成型精度高,但强度和刚性较低。氯化聚醚主要在腐蚀介质及要求尺寸精高的条件下工作。

除上述工程塑料外,聚砵、聚芳砵及聚酰亚胺等特种工程塑料也可用于制造齿轮,它们的耐热性、刚性等性能均比尼龙、聚甲醛及聚碳酸酯为好,但由于价格较高,因此应用面还不够广泛。

2. 工程塑料齿轮的设计

1) 齿形几何参数

① 齿形。通常采用标准齿形,即分度圆压力角 $\alpha_{\text{分}} = 20^\circ$,齿高系数 $f = 1$,具有良好的强度和耐磨性能。但有时为了进一步提高强度,也有采用非标准齿形的,即 $\alpha_{\text{分}} > 20^\circ$, $f < 1$ 。非标准齿形的齿轮传动载荷可以增大,但对装配误差较为敏感。

② 齿侧间隙和径向间隙。由于工程塑料的线膨胀系数较大,导热较差,且易吸湿膨胀,因此工程塑料齿轮的齿侧间隙和径向间隙与金属齿轮相比应适当放大,以防温度升高或吸湿后咬死损坏。工程塑料齿轮的齿侧间隙 $C_{\text{侧}}$ (mm)可按式计算:

$$C_{\text{侧}} = 0.06 \sim 0.10)m \quad (1-4-1)$$

式中, m 为模数, mm。

工程塑料齿轮的径向间隙 $C_{\text{径}}$ (mm)可按式计算:

$$C_{\text{径}} = C_{\text{t}} + C_0 \quad (1-4-2)$$

式中: C_{t} ——补偿热膨胀的附加间隙量, mm;

C_0 ——防止啮合齿互相嵌入工作齿面所必须的径向间隙, mm。

以上几何参数的计算,只是从热膨胀方面考虑,如对尼龙 6、尼龙 66 等吸湿性较大的工程塑料来说,还应考虑湿度的影响。此时齿侧间隙 $C_{\text{侧}}$ 可按式计算:

$$C_{\text{侧}} = C_{\text{侧}}^0 + 0.02A (\epsilon_{\text{温}} + \epsilon_{\text{湿}}) \sin \alpha \quad (1-4-3)$$

式中: $C_{\text{侧}}^0$ ——必须的最小侧隙,可取 $m/30$, mm;

A ——中心距, mm;

$\epsilon_{\text{温}}$ ——热膨胀系数,可从图 1-4-2 查得, %;

$\epsilon_{\text{湿}}$ ——吸湿系数,可从表 1-4-21 选取, %;

α ——压力角。

2) 齿轮结构形式

工程塑料齿轮的结构形式可分为全工程塑料齿轮、带嵌件齿轮和机械装配式齿轮三种。

① 全工程塑料齿轮。其优点是成型简便,缺点是成型收缩率较大,精度较差,导热不良。设计原则是应保证最小的应力集中,防止因成型收缩的不均匀所造成的齿形歪斜。在结构上应避免尖角和断面突变,尽可能使各部分厚度相同。齿圈和轮毂的连接最好采用整

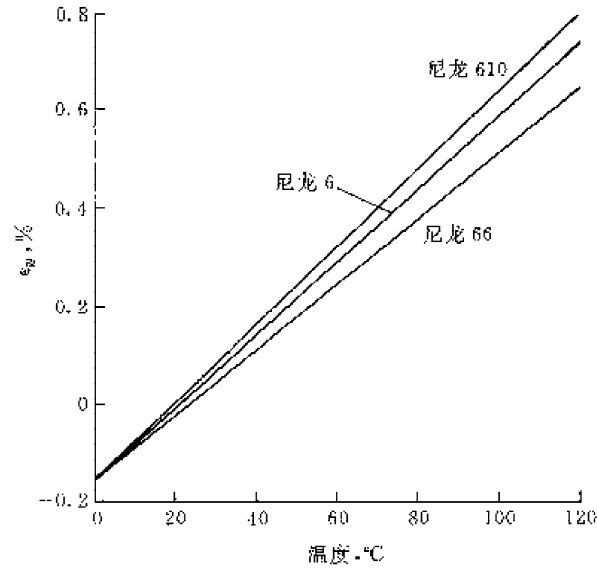


图 1-4-2 尼龙的 $\epsilon_{\text{湿}}$ 值与温度的关系

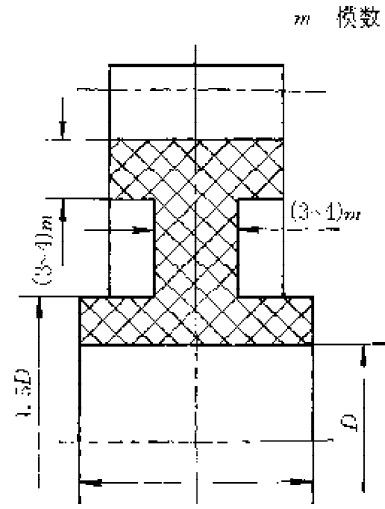


图 1-4-3 全工程塑料齿轮

体式辐板或将齿轮注塑成一个整体 (图 1-4-3), 而不要用辐条或带孔辐板等形式, 轮毂凸缘也不宜过长, 齿长小时, 可用平板型结构。

表 1-4-21 尼龙的 $\epsilon_{\text{湿}}$ 值

工作条件	$\epsilon_{\text{湿}}, \%$	工作条件	$\epsilon_{\text{湿}}, \%$
工作温度 $> 50^{\circ}\text{C}$	0.03	调质至含水量 4% 时	0.50
调质至含水量 2% 时	0.15	水中, 调质至 8% 时	0.50
未调质时	0.50	水中, 未调质时	2.50
潮湿空气, 未调质时	1.20		

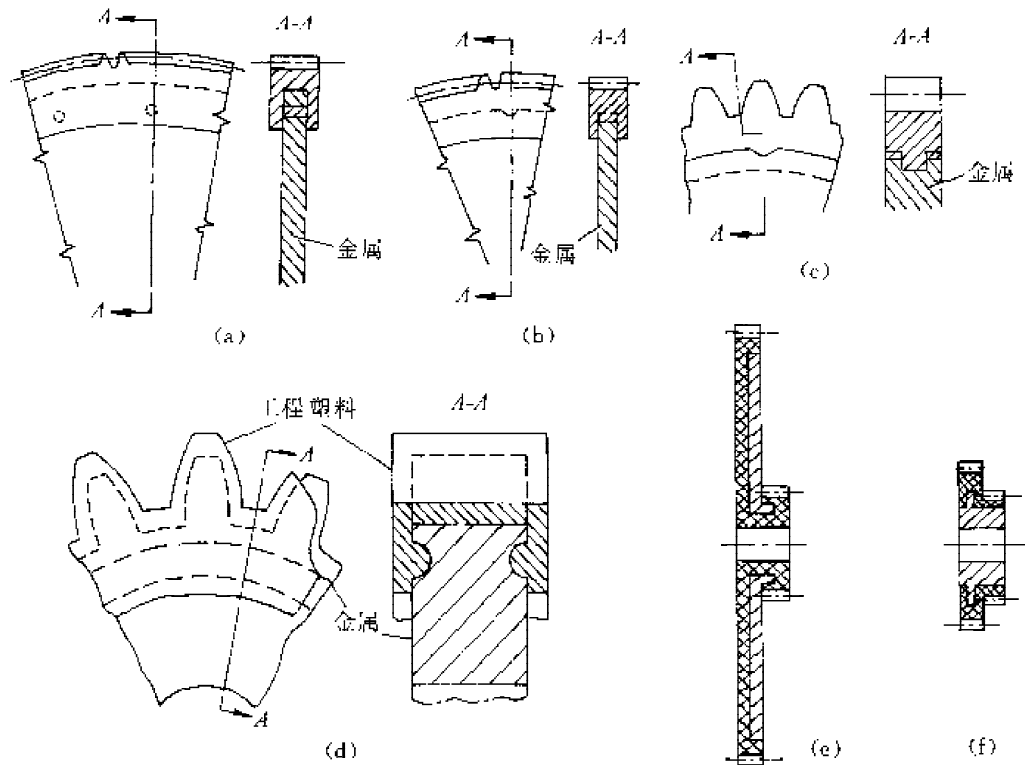


图 1-4-4 几种带嵌件的工程塑料齿轮

②) 带嵌件齿轮。其优点是强度和刚性较高,成型收缩率较小,提高了成型精度和尺寸稳定性。缺点是易产生内应力。带嵌件齿轮通常用于受力较大或要求有一定传动精度的场合。在设计嵌件时,应注意嵌件与工程塑料结合部分避免尖角;包覆在嵌件上的工程塑料层,要有足够的厚度;对有应力开裂倾向的工程塑料,嵌件应尽可能采用线膨胀系数较大的材料。图 1-4-4 示出了几种带嵌件的工程塑料齿轮的结构。

③) 机械装配式齿轮。其优点是在增加刚性和与轴连接可靠性的同时,避免大的内应力和发热松动现象。缺点是增加了机械加工工时和紧固件,使成本提高。图 1-4-5 示出了机械装配式工程塑料齿轮的结构。

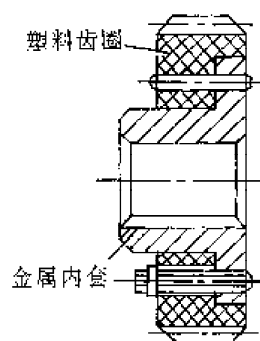


图 1-4-5 机械装配式工程塑料齿轮

3) 齿轮副配对材料 工程塑料齿轮在使用时与之啮合的配对方式有三种:

①) 两只齿轮均采用同种工程塑料。由于导热条件较差,而且同种工程塑料之间的摩擦力较大,因此容易发热咬死。

②) 两只齿轮中,一只用工程塑料,另一只用金属。改善了导热性,摩擦力小,磨损少,充分发挥了工程塑料的特性,是常用的形式。

③) 两只齿轮采用不同的工程塑料。如选材得当,可减少摩擦和磨损,并适用于要求耐腐蚀的工作条件,但不能根本解决导热不良的问题。

(三) 丝杠螺母

1. 机床丝杠螺母

机床丝杠螺母是直接影响机床加工精度的重要部件,要求螺母对丝杠不起磨损作用,有

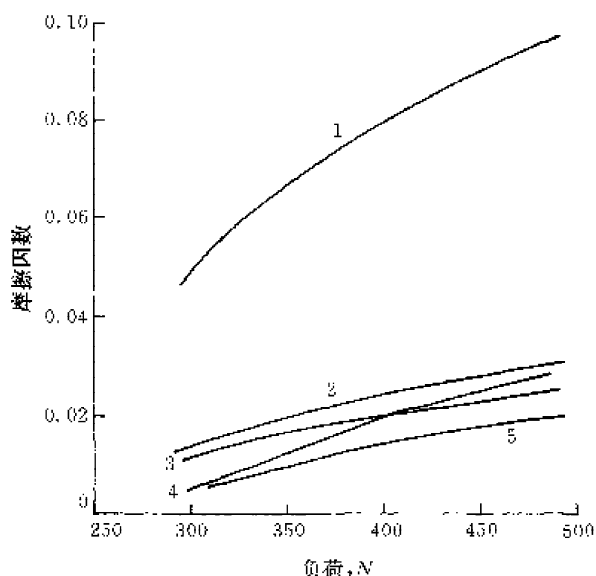


图 1-4-6 一些工程塑料及青铜材料在不同载荷下的摩擦因数

1—青铜; 2—MC 尼龙; 3—尼龙 1010; 4—聚甲醛; 5—氯化聚醚

一定的强度和刚性,不致因使用过多而变形或引起机床进给时的爬行。过去机床丝杠螺母一般采用青铜材料,现在可采用尼龙、氯化聚醚、聚甲醛等代替,不仅能满足使用要求,而且成型简便,提高了使用寿命。图 1-4-6 示出了上述工程塑料与青铜材料在不同载荷下的摩擦因数。表 1-4-22 列举了一些工程塑料与青铜材料对不同粗糙度的钢对磨时的磨损情况。表 1-4-23 示出了一些工程塑料螺母的破坏强度与安全系数。

工程塑料机床丝杠螺母通常采用注射方法成型。由于整体式螺母的壁较厚,给注射成型带来一定的困难,容易造成内部产生缩孔或表面出现凹陷,而且尺寸精度较难控制。为此,可采用工程

塑料与金属镶嵌结构形式。常用的工程塑料镶嵌螺母结构形式见图 1-4-7 所示。

表 1-4-22 一些工程塑料及青铜材料对不同粗糙度的钢对磨时的磨损情况

名 称	磨痕宽度,mm			
	$Ra=1.60,3h$	$Ra=1.60,6h$	$Ra=0.80\sim0.40,3h$	$Ra=0.20,6h$
尼龙 1010	7.0	9.6	2.7	3.5
尼龙 1010+3%石墨			3.5	
MC 尼龙	6.9	8.8		4.8
氯化聚醚 (缓冷)	8.6	8.4	4.3	3.4
氯化聚醚 (骤冷)	9.8	12.5		
聚甲醛	4.4	6.0	2.0	2.0
青铜			7.4	7.0

表 1-4-23 一些工程塑料螺母的破坏强度和安全系数

螺 母 材 料	破坏强度, $\times 10^4\text{N}$	安全系数
尼龙 1010	10	6.7
尼龙 1010+5%石墨	2.2	1.5
MC 尼龙	17	11.4
聚甲醛	6.6	4.4
氯化聚醚	9.8	6.5

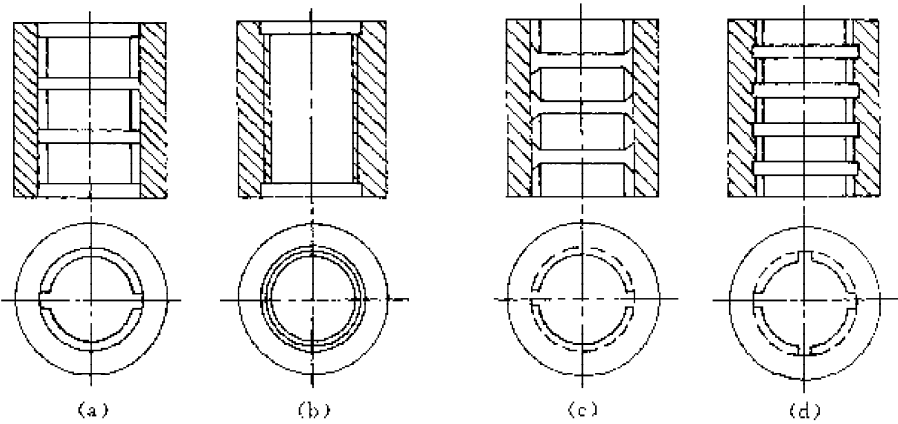


图 1-4-7 工程塑料镶嵌螺母结构形式

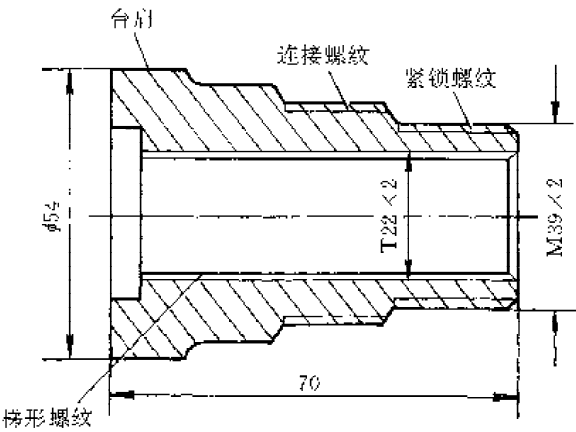


图 1-4-8 工程塑料阀杆螺母的结构

2. 阀杆螺母

阀杆螺母是阀门中的重要零件,要求拉伸、弯曲、剪切强度高,耐磨性好,摩擦因数低,而且还应具有良好的热机械性能。过去一般采用青铜材料,现可采用聚甲醛、尼龙等工程塑料代替,能取得良好的使用效果,而且可实现少油润滑。图 1-4-8 示出了工程塑料阀杆螺母的结构形式。表 1-4-24 列举了各种轴向力下聚甲醛阀杆螺母的拉断强度和安全系数。

表 1-4-24 在各种轴向力下聚甲醛阀杆螺母的拉断强度和安全系数

平 行 阀			截 止 阀		
轴向力, N	拉断强度, $\times 10^4$ N	安全系数	轴向力, N	拉断强度, $\times 10^4$ N	安全系数
7 400	5.2	7.0	8 800	6.8	7.7
11 600	6.5	5.6	17 540	11.5	6.5
16 500	6.5	4.0	24 620	14.0	5.7
18 700	7.8	4.1	34 600	18.0	5.2
29 900	8.0	2.7	79 600	24.0	3.0

(四) 密封件

1. 密封垫片

密封垫片大多是平面形的,一般用于压力较低的部位。它们应具有足够的强度、硬度、弹性和低压缩永久变形。如果工作压力较高,需采用在接触面和开孔的周边带有凸缘断面的结构形式。塑料密封垫片常采用聚氯乙烯、聚乙烯等通用塑料或聚四氟乙烯、尼龙等工程塑料。选用何种材料则视与其接触的介质情况及工艺要求等。如介质为腐蚀性很强的化学药品,一般选用聚四氟乙烯;介质为油类则选用尼龙;如果压力和温度较高,则应选用尼龙或聚四氟乙烯等机械强度和耐热性高的工程塑料品种;对没有特殊要求的场合,一般选用价格较低,成型简便,密封性和耐化学药品性良好的聚氯乙烯或聚乙烯等通用塑料品种。图 1-4-9 示出了塑料密封垫片的断面形状。

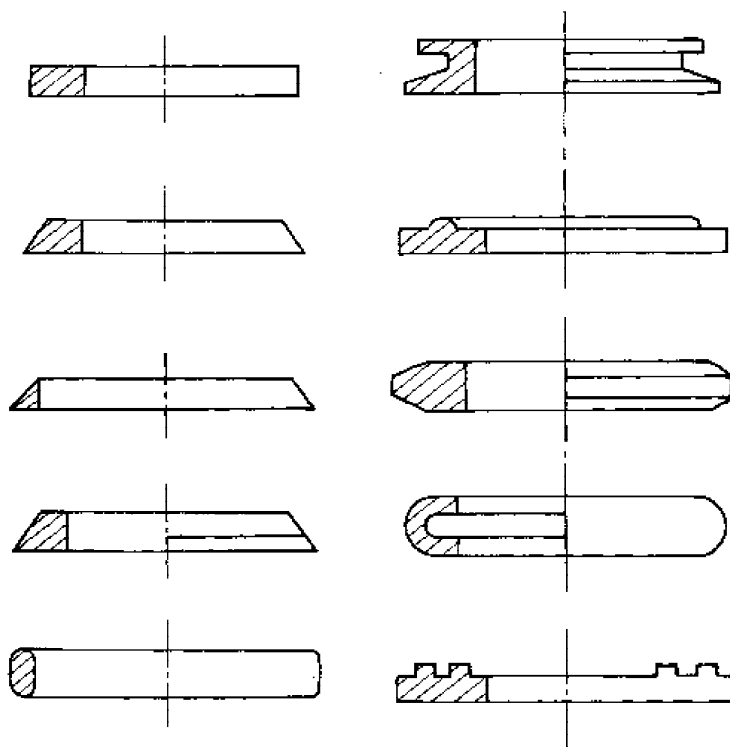


图 1-4-9 塑料密封垫片的断面形状

对于一些要求耐腐蚀、耐热并要求密封垫片具有足够弹性的场合,往往采用塑料-橡胶型复合密封垫片(图 1-4-10),它利用了塑料和橡胶各自的特点,取长补短,既具有塑料优良的耐腐蚀性,又具有橡胶的

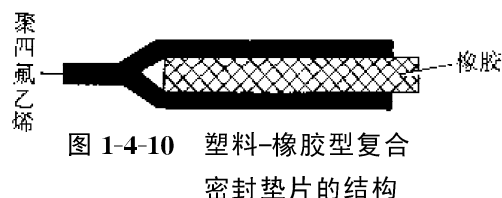


图 1-4-10 塑料-橡胶型复合密封垫片的结构

高弹性,其中塑料通常采用具有优异耐腐蚀性能和耐热性的聚四氟乙烯工程塑料。

2. 密封带

1) 聚四氟乙烯生料带 由未经烧结的聚四氟乙烯生料制成。其质地柔软,具有单分子膜效应,一定的延伸性和自粘作用,平时可以卷成盘状长期存放,使用时能自由成形,即使扯断后再接上去也很方便,只要一受压力,便能形成一个均匀的环状膜,具有良好的密封效果。其伸长率约为 150%~200%,使用温度为-180~250℃。

目前,对生料带进行了不少改进,出现了一些改进型的聚四氟乙烯生料带,主要有:

① 在聚四氟乙烯分散粉末中加入 10%~30% 经过烧结的聚四氟乙烯粉末,然后再一起用糊状推压法成型,可大大提高抗蠕变性、机械强度和耐压性。

② 在聚四氟乙烯分散粉末中加入适量的玻璃纤维填料,然后也用糊状推压法成型,制品最终的形状呈绳状,具有优良的挠曲性、柔韧性,耐压可高达 15MPa。

③ 在聚四氟乙烯分散液中加入石棉纤维,然后织成绳状,经烘干后成型。有的品种还在上述组分中再加入适量的碳纤维,耐热性可提高到 280℃。

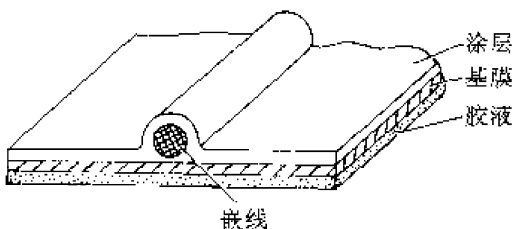


图 1-4-11 嵌线型压敏带的结构

2) 压敏型密封带 可分为嵌线型和编结型两类。嵌线型结构如图 1-4-11 所示,基膜可采用铝箔、聚酯树脂或聚醋酸乙烯酯薄膜等。嵌线一般采用尼龙,嵌线截面形状一般为圆形,但有时为便于贴合固定,也可采用椭圆形。涂层一般采用聚氨酯泡沫塑料,主要是固定嵌线,并作为嵌线的延伸面,起辅助密封的作用。压敏胶涂布在基膜底面,主要为了使

密封带具有一定的粘接性,能牢固的粘贴在密封表面上,提高密封效果。通常采用丙烯酸酯压敏胶。

编结型的结构如图 1-4-12 所示。其基膜与压敏胶,基本上与嵌线型相同,只是考虑到与编结层之间的粘附性,基膜一般采用聚酯树脂或聚醋酸乙烯酯等塑料,而不采用铝箔。编结层主要采用玻璃纤维,当在紧固外力作用下,能使密封带具有较大的弹性回复力和较高的抗张强度,从而达到较高的耐压性。轴心线的作用与嵌线基本相同,一般也采用尼龙制成。

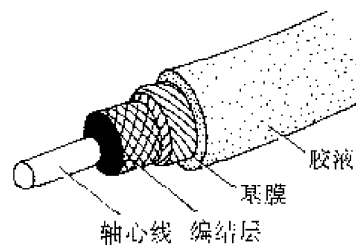


图 1-4-12 编结型压敏带的结构

3. 密封条

密封条是一种利用截面上的唇、空腔和凸缘等部位的弹性与接合部位产生接触压力,从而达到密封的材料。可以用于塑料密封条的品种很多,如聚丙烯、聚乙烯、聚氯乙烯等通用塑料以及尼龙等工程塑料。为了提高密封条的耐热性和尺寸稳定性,可以采用在塑料中添加石棉纤维或玻璃纤维增强的方法。

密封条的安装可采用嵌入固定法、机械固定法和粘接固定法等(图 1-4-13)。嵌入固定法是利用密封条本身的凹凸部分插入相应的接合部位来进行固定。机械固定法是采用铆钉或螺栓等机械手段来进行固定。粘接固定法是采用粘合剂胶接的方法来进行固定。有时,还可以使用两条分开的密封条从两面分别压紧的方法(图 1-4-14)。其中一条密封条靠紧基座,另一条用金属压条压紧。这种方法同样也能达到有效的密封,即使在外力很大的情况下也不会发生泄漏。

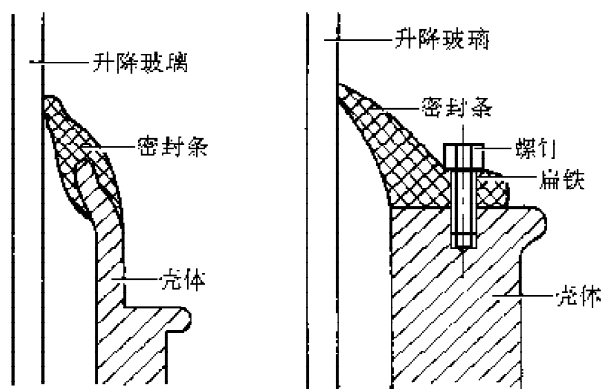


图 1-4-13 采用嵌入固定法和机械固定法的密封条安装

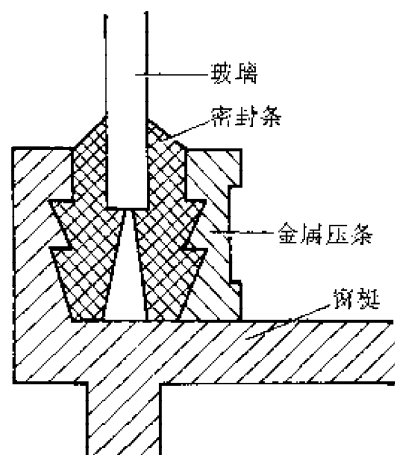


图 1-4-14 采用两面压紧法的密封条安装

另外,为了加强密封条与接合表面的贴合,还可采用在密封条中嵌入嵌条的安装(图 1-4-15)。这种方法需在密封条上开启嵌槽,以便让嵌条嵌入。

4. 活塞环

活塞环是动力机械中的重要零件,其主要作用是防止气体从压缩容器中泄漏。塑料活塞环大多采用聚四氟乙烯工程塑料,其优点主要有以下几点:

- ① 具有自润滑作用,不需润滑剂;
- ② 减少润滑剂的分离设备;
- ③ 改善汽缸套、活塞杆等的磨损情况;
- ④ 减少功率消耗;
- ⑥ 成型工艺简便,生产效率高。

工程塑料活塞环与金属相比导热性较差,线膨胀系数较大,弹性也较小,因此一般需采用平口切口及金属弹性胀圈。胀圈的形式有弹簧型、波纹型、人字型、丁字型及链搭型等多种。图 1-4-16 为塑料环的安装结构。表 1-4-25 示出了聚四氟乙烯活塞环的规格尺寸。

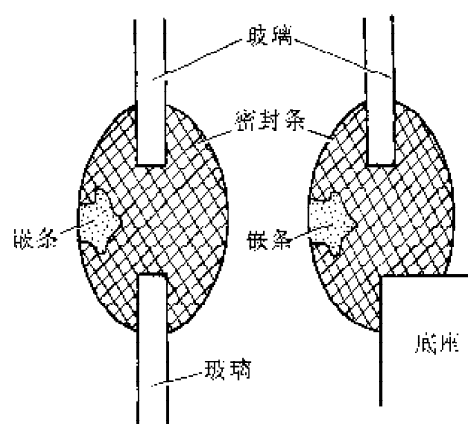


图 1-4-15 嵌条嵌入密封条的安装

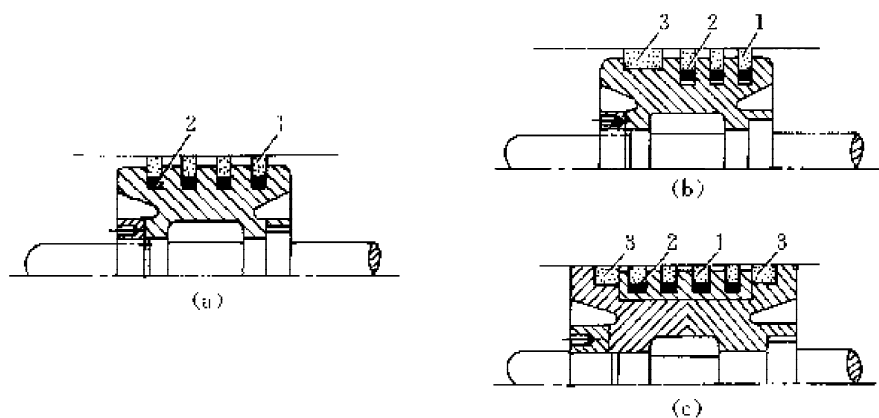


图 1-4-16 塑料活塞环的安装结构

1—塑料活塞环; 2—金属胀圈; 3—导向环

表 1-4-25 聚四氟乙烯活塞环的规格尺寸

(单位:mm)

外径 D	内径 d	轴向厚度 δ
30~40	20~30	5
45~75	33~63	6
80~155	64~139	8
160~275	140~255	10
280~390	256~366	12
400~600	371~570	15

二、在机械结构件上的应用

(一) 一般机械结构件

一般机械结构件主要有壳体、盖板、手轮、手柄、紧固件及管接头等。这些结构件广泛采用 ABS、尼龙 6、尼龙 1010、聚碳酸酯、聚甲醛、聚四氟乙烯、聚砒等工程塑料进行注射成型或挤出成型,代替各种金属材料,具有重要的实用价值。表 1-4-26~1-4-28 分别列举了工程塑料作为一般机械结构件的应用实例。

表 1-4-26 工程塑料壳体 and 手柄的应用实例

机械名称	结构件名称	原用材料	现用材料	使用条件
水表	外壳	铸铁或铸铜	ABS	1.5MPa, -20~40℃
单相串激电钻	外壳、中间盖、变速箱壳、开关盖板	铝	聚碳酸酯或尼龙 1010	湿热环境下的绝缘, 高速载荷
万能外圆磨床	罩壳衬板	铁	ABS	载荷, 绝缘
万能外圆磨床	走线槽底盖	铁	ABS	绝缘
磁罗经	罗经罩	黄铜	ABS	-60~80℃, 海水中
磨床	捏手	钢	尼龙 6	室温
单相串激电动扳手	手柄	铝合金	ABS 或尼龙 1010	载荷, <60℃

表 1-4-27 工程塑料紧固件的应用实例

机械名称	结构件名称	原用材料	现用材料	使用条件
电机	接线罩行管、螺母	铝合金	尼龙 1010	$\leq 80^\circ\text{C}$
电度表	宝石螺母	黄铜	尼龙 1010	0~50℃, 载荷
柴油机	喷油头、喷油塞	钢	尼龙 1010	65~85℃
摇臂钻床	管体、螺母	钢	尼龙 1010	0.3MPa, 室温
万能外圆磨床	管接头	钢	聚甲醛	0.3~0.8MPa, 油压, <55℃

表 1-4-28 其它工程塑料结构件的应用实例

机械名称	结构件名称	原用材料	现用材料	使用条件
分析天平	砝码钳	黄铜	聚碳酸酯	载荷
差压变送器	膜片	不锈钢	聚四氟乙烯	5~50℃, 腐蚀性介质
示波器	套管		聚砒	40℃, 绝缘
万能外圆磨床	联轴器	钢	尼龙 6	1450r/min, 156.8N 载荷
电焊机	控制阀座	铜	尼龙 1010	0.6MPa
普通磨床	方块铰链	钢	尼龙 6	735N 载荷
电磁计数器	拨叉		尼龙 1010	-10~50℃
电光天平	凸轮	黄铜	聚碳酸酯	-30~40℃
单相串激电动扳手	风扇	铝合金	聚甲醛	105℃
雨量计	漏斗	铜	尼龙 1010	室外

(二) 带嵌件机械结构件

尼龙、聚甲醛、聚碳酸酯、ABS 等工程塑料可制成带有嵌件的机械结构件。带嵌件的机械结构件弥补了纯塑料机械结构件因结构工艺性的不足而带来的缺陷,能进一步提高结构件的尺寸稳定性、精度和机械强度,降低材料消耗,能在一些特殊要求的条件下使用。嵌件的形式主要有以下几种(图 1-4-17):

- ① 销形,如螺杆、螺钉轴销等;
- ② 套形,如螺纹套、光滑套等;
- ③ 板形,如触板、瓣形板等;
- ④ 针形,如接触杆等;
- ⑤ 角形,即制品的端部和侧面都凸出的形式;
- ⑥ 穿通形,即与制品轴线相平行或垂直穿孔的形式;
- ⑦ 月环形,即与制品的半月呈平行或顶端露出的形式。

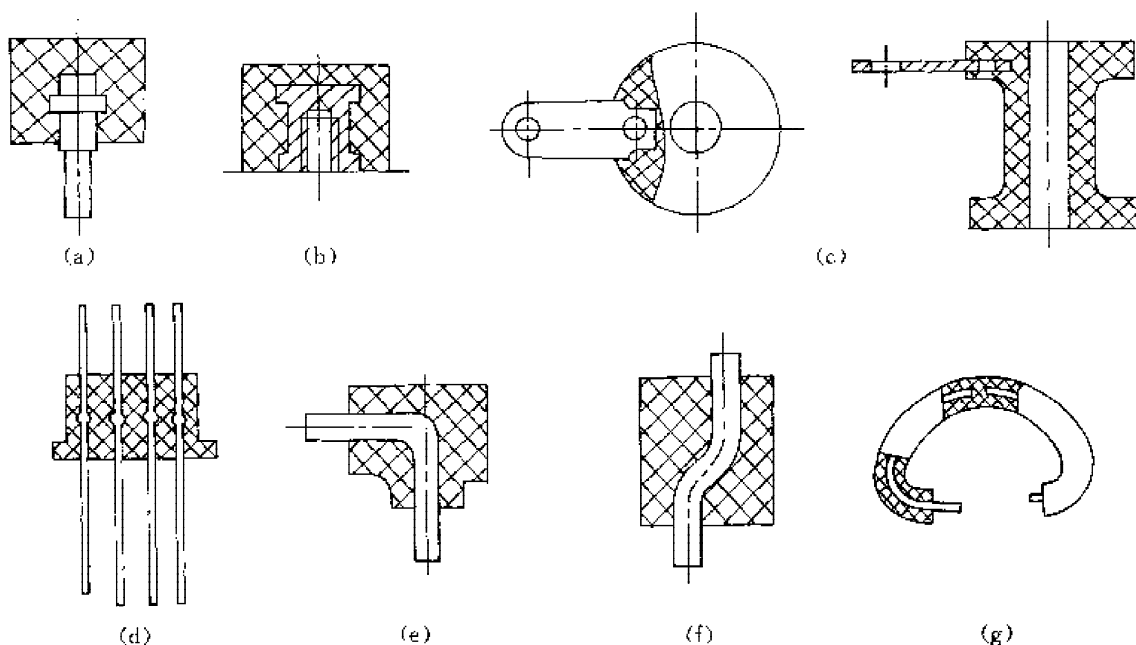


图 1-4-17 嵌件形式

(a)销形; (b)套形; (c)板形; (d)针形; (e)角形; (f)穿通形; (g)月环形

工程塑料带嵌件机械结构件的结构形式主要有以下几种:

1) 带有外螺纹嵌件的工程塑料结构件

① 外螺纹嵌件与成型模具之间,有光滑圆柱配合部分,具有较高的配合精度,以防止成型时溢料(图 1-4-18 (a))。

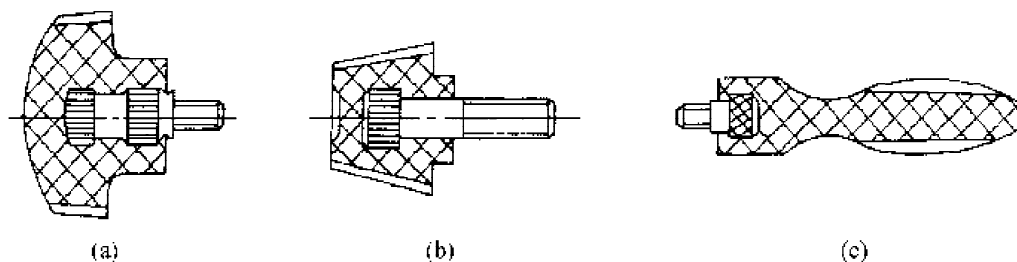


图 1-4-18 带有外螺纹嵌件的工程塑料结构件

②) 在嵌件的拐角处,应有圆角或斜角连接,以便于成型时工程塑料流动和减少制品的应力集中 [图 1-4-18 6)]。

③) 制品内嵌件的固定部分,外表面需制成菱形滚花、直滚花和作出凸肩等,以防嵌件在使用中转动和拔出 [图 1-4-18 6)]。

2) 带有内螺纹嵌件的工程塑料结构件

①) 内螺纹嵌件的螺纹部分应低于端面 1.5~2.0mm,以便于定位和成型时的溢料 [图 1-4-19)。

②) 嵌件的外表面应制成菱形滚花或六角外形,以增加抗拔力,可开设深度为 1~2mm、宽度为 2~3mm 的沟槽。

③) 内螺纹孔贯穿整个嵌件时,为防止嵌件受挤变形和模具的损坏,嵌件高度应低于成型高度 0.05mm 左右。

3) 带有圆柱形嵌件的工程塑料结构件

①) 嵌件圆柱部分与模具定位孔配合应有足够的精度。

②) 嵌件上用铣扁结构可防止结构件的转动和拔出 [图 1-4-20)。

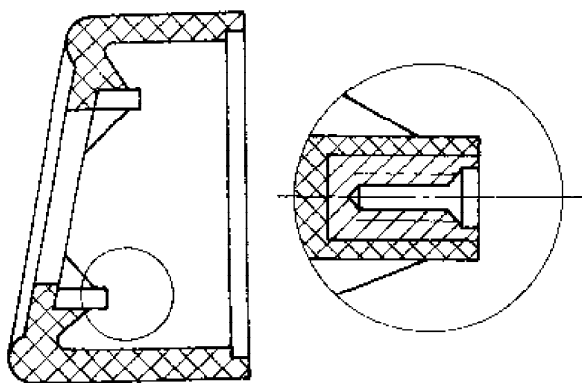


图 1-4-19 带有内螺纹嵌件的工程塑料结构件

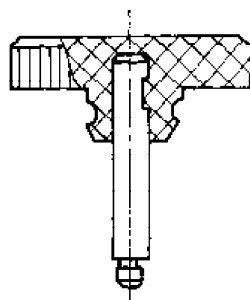


图 1-4-20 带有圆柱形嵌件的工程塑料结构件

4) 带有内孔嵌件的工程塑料结构件 嵌件端面应低于制品端面 1.5~2.0mm,以便于定位和型芯稳定 [图 1-4-21)。

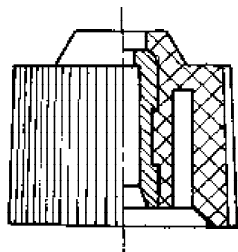


图 1-4-21 带有内孔嵌件的工程塑料结构件

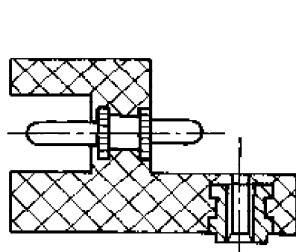
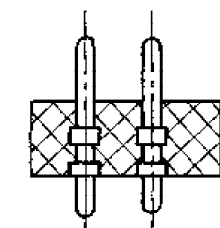
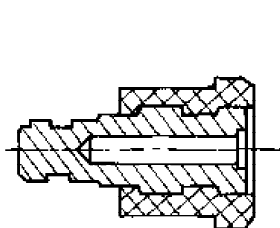


图 1-4-22 带有圆柱形接插嵌件的工程塑料结构件

5) 带有接插嵌件的工程塑料结构件 可分为带有圆柱形接插嵌件 [图 1-4-22)、片状接插嵌件 [图 1-4-23)和针状接插嵌件 [图 1-4-24)三种。

6) 在拐角、凸缘处设置嵌件的工程塑料结构件 在拐角、凸缘等位置上设置嵌件的工程塑料结构件,嵌件嵌入制品的深度应超过凸缘的高度或拐角的弯曲点,以减小应力集中 [图 1-4-25)。

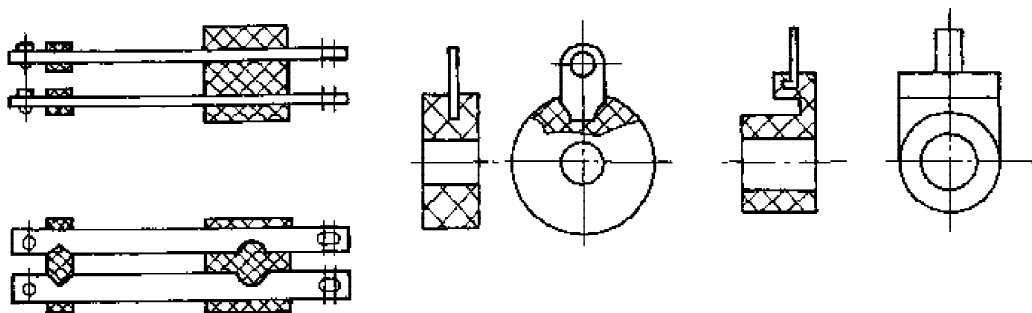


图 1-4-23 带有片状接插嵌件的工程塑料结构件

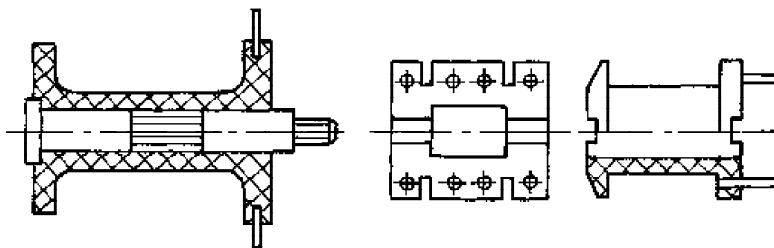


图 1-4-24 带有针状接插嵌件的工程塑料结构件

7) 带其它类型嵌件的工程塑料结构件

① 在采用细长嵌件时,成型过程中嵌件容易变形,因此可在嵌件上加支持柱或在嵌件易变形部位开孔(图 1-4-26 (a))。

② 带有两个嵌件的工程塑料结构件,两个嵌件的最小间距不得小于最小包围壁厚(图 1-4-26 (b))。

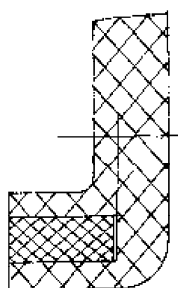


图 1-4-25 在拐角、凸缘处设置嵌件的工程塑料结构件

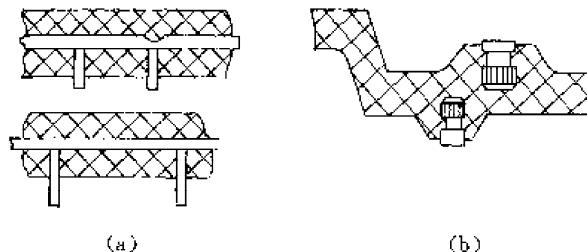


图 1-4-26 带其它类型嵌件的工程塑料结构件

第三节 在电子电器上的应用

一、在电子电器绝缘上的应用

工程塑料在用作电子电器领域的绝缘材料时,应具备以下性能:

1) 电性能 工程塑料作为绝缘材料,必须具有高电阻率、高介电强度,低介电常数、低介质损耗角正切。各种塑料的电性能由于其自身结构的不同,有很大的差异。图 1-4-27 示出了各种塑料的体积电阻率和介电强度。图 1-4-28 示出了各种塑料的介电常数和介质损耗角正切。从图中所示数据中可以看出,工程塑料 PTFE、PPO 在所有的塑料中具

有最好的电绝缘性能,而 PBT、PET、聚砒、聚碳酸酯和聚酰亚胺等工程塑料的电绝缘性能也相当好。

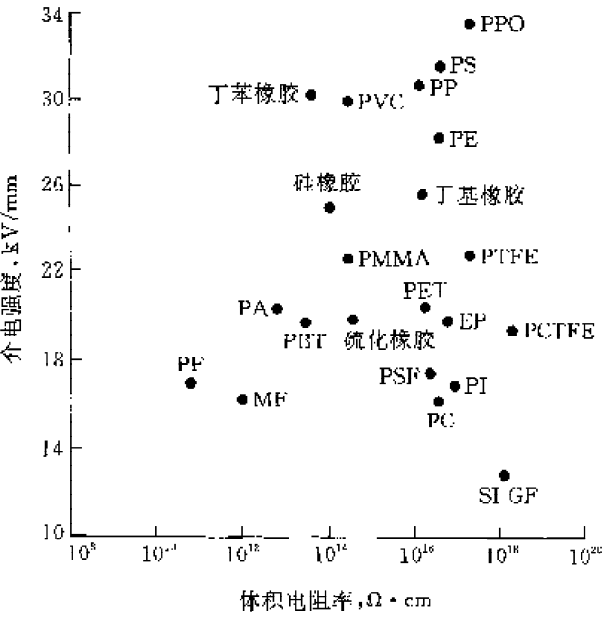


图 1-4-27 各种塑料的体积电阻率和介电强度

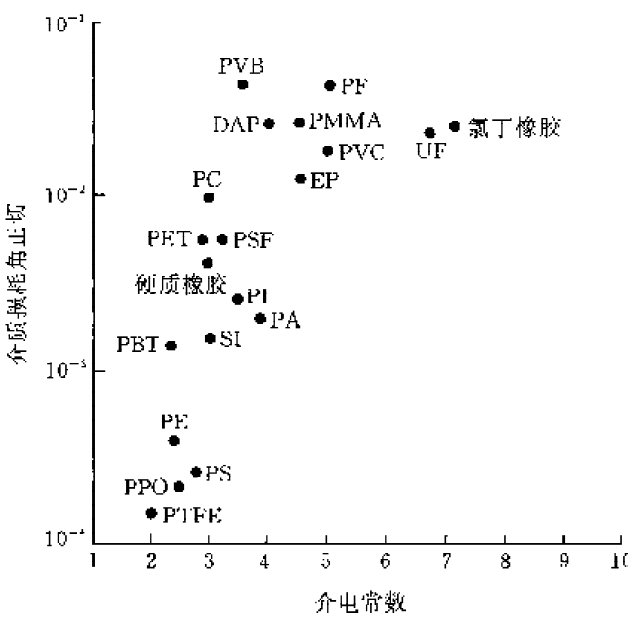


图 1-4-28 各种塑料的介电常数和介质损耗角正切

2) 耐热性 用作绝缘材料的工程塑料常用于制作各种电器元件,为保证电器设备的安全工作,要求工程塑料具有良好的耐热性。

用作电器绝缘材料的塑料按耐温高低可以分为 Y 级、A 级、E 级、B 级、F 级、H 级和 C 级共七个等级 (参见表 1-3-30)。工程塑料的耐热等级普遍高于通用塑料。通用工程塑料中的聚酰胺、聚碳酸酯、PET、PBT、改性聚苯醚、聚偏氟乙烯、聚氟乙烯可达 E-B 级;特种工程塑料中的聚砒、聚醚砒、聚芳酯、PPS、聚全氟乙丙烯等可达 F-H 级;特种工程塑料中的聚酰亚胺、聚酰胺酰亚胺、双马来酰亚胺、聚四氟乙烯、聚醚醚酮、液晶聚合物 (Xydar) 可达 C 级。

3) 耐湿性 避免电子电器受湿气侵蚀,是电子电气工业长期来所追求的目标,特别是对用于高频条件及高湿环境下的电子电器,对电子电器元件耐湿性的要求更高。影响耐湿性的重要因素是工程塑料自身所具有的吸水性。表 1-4-29 列举了一些工程塑料的吸水率及不同环境条件下的体积电阻率的变化。

表 1-4-29 一些工程塑料的吸水率及在不同环境条件下的体积电阻率

名 称	吸水率, %	体积电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$	
		常态	吸水 24h 后
聚四氟乙烯	0.005~0.010	10^{17}	10^{17}
改性聚苯醚	0.05~0.08	$10^{16} \sim 10^{17}$	$10^{16} \sim 10^{17}$
聚甲醛	0.20~0.30	10^{15}	10^{15}
聚碳酸酯	0.30~0.60	10^{16}	10^{15}
ABS	0.25~0.35	10^{16}	10^{16}
尼龙 1010	0.35~0.50	10^{14}	10^{13}
尼龙 66	1.20~1.40	10^{14}	$10^{12} \sim 10^{13}$

4) 力学性能 塑料的力学性能直接影响电子电器的使用效果,其中,尤以机械强度、耐挠曲性和尺寸稳定性为最主要。工程塑料的力学性能普遍优于通用塑料,因而广泛用作电器设备结构件。

(一) 电线电缆包覆

电线电缆中广泛采用塑料作为绝缘包覆材料。电线通常以铜、铝或钢等作为导电材料,由单根或多根绞并而成,再外用塑料进行包覆。电缆由一根或多根相互绝缘的导电芯线置于塑料密闭护套中而成,其外面还可加塑料保护覆盖层。电缆按其用途可分为电力电缆、控制电缆和通信电缆等多种。

用于电线电缆包覆的主要有聚氯乙烯、聚乙烯等通用塑料以及聚酰胺、氟塑料等工程塑料。聚氯乙烯具有较高的体积电阻率,优良的阻燃性和耐腐蚀性,但介电常数和介质损耗角正切较大,耐热性不高,其主要在 600V 的低压下使用,最高使用温度 60℃。聚乙烯的介电特性优良,特别适用于高频通信。为改善其耐热性,目前大多用交联聚乙烯。500kV 以上的超高压电线电缆,目前较多使用聚酰胺等工程塑料。对于一些耐热性要求高的场合,则采用聚四氟乙烯、聚全氟乙丙烯等氟塑料。

电线电缆包覆采用挤压法成型。图 1-4-29 示出了成型工艺流程,其设备主要由挤压机以及放线机、预热器、收线机等辅助设备组成。挤压机的机头,除成型聚四氟乙烯需采用特殊的直线型机头外,其余均采用转角式机头。机头与挤压机所构成的角度有 30°、45°、90°三种,而以 90°的直角机头为最常用。按机头口模结构形式的不同,机头又可分为挤管式和挤压式两种(图 1-4-30)。挤管式通常用于电缆及护套的挤压,挤压式多用于电线绝缘层的包覆。表 1-4-30 示出了一些工程塑料电线电缆挤压成型的工艺条件。

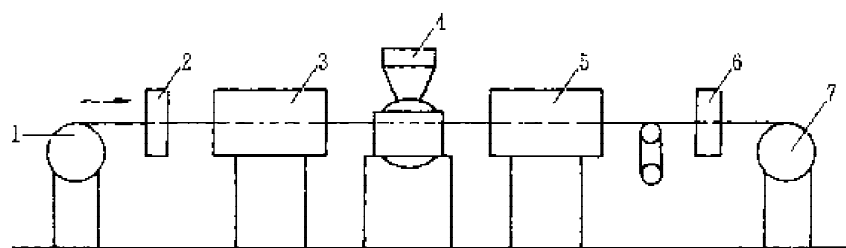


图 1-4-29 电线电缆包覆挤压成型工艺流程示意图

1—放线架；2—除油器；3—预热器；4—挤压机；5—冷却槽；6—检验器；7—收线架

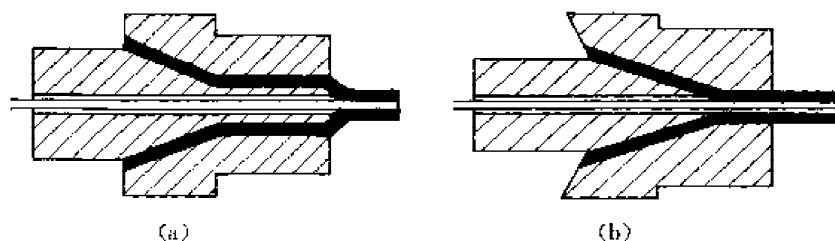


图 1-4-30 挤管式和挤压式机头口模结构示意图

(a) 挤管式机头口模；(b) 挤压式机头口模

(二) 印刷线路板

印刷线路板是在贴有铜箔的绝缘底板上,按所需电路涂以保护胶,通过腐蚀,将涂有保护胶以外的铜箔腐蚀掉而成的线路板。使用印刷线路板,可以显著减轻电子设备的质

量,减小体积,提高可靠性,简化生产工艺,因此得到了广泛的应用。用于印刷线路板的塑料,要求具有优良的电气绝缘性、耐电弧性、耐热性等。印刷线路板可分为硬质、柔性和多层三种。

表 1-4-30 一些工程塑料电线电缆包覆挤压成型工艺条件

项 目	尼龙 1010	尼龙 6	聚四氟乙烯
料筒温度,℃			
后部	190	252	280
中部	270	258	470
前部	290	258	430
机头温度,℃	240	252	350
熔体温度,℃	240	252	400
水温,℃	室温	25~50	
拉伸比	1.5~4.0	1.5~5.0	1.0~1.2
螺杆直径,mm	38	38	32
螺杆转速,r/min	10~20	10~20	30

1. 硬质印刷线路板

硬质印刷线路板主要采用纸基酚醛塑料与铜箔以及玻璃纤维布环氧树脂与铜箔的层压板。纸基酚醛塑料与铜箔的层压板价格低廉,使用寿命长,主要用于家用电器;玻璃纤维布环氧树脂与铜箔的层压板具有优良的耐热性和绝缘性,主要用于电子计算机、通信设备等。对于耐热性要求更高的印刷线路板,则可采用玻璃纤维布有机硅树脂或氟塑料、聚酰亚胺等工程塑料作为底板。

2. 柔性印刷线路板

柔性印刷线路板主要采用能弯曲的薄膜基板和成为线路部分的导体材料,用粘合剂进行粘接,然后进行镀装、印刷、蚀刻制得。通常采用厚度为 20~100 μm 的电解铜箔或压延铜箔为导体材料,以 PET、环氧树脂或聚酰亚胺薄膜为基板,其成型方法主要有两种:

①) 在薄膜基板上涂布粘合剂后,与铜箔复合,然后采用与硬质印刷线路板同样的热压方法成型;

②) 在薄膜基板上涂布粘合剂后,与铜箔复合,然后通过加热辊筒连续辊压成型。

用于制造柔性线路板的塑料薄膜要求具有优良的电性能、弯曲强度、耐冲击性、高温下的尺寸稳定性、耐热性、阻燃性、耐老化性、与铜箔的粘接性及尽可能低的吸水率。PET 薄膜弯曲强度较高,电性能优良,但耐热性不够高,不能用通常焊锡工艺连续加工;玻璃纤维增强环氧树脂薄膜耐热性比 PET 薄膜有明显提高,电性能优良,但弯曲强度及抗挠曲性较差;聚酰亚胺薄膜是目前用于柔性印刷线路板基板性能最优异的材料,它耐热性优异,能在焊锡加工温度 (260℃ 左右) 以上连续加工,力学性能突出,脱模性好,缺点是成本较高,另外值得一提的是其耐碱性较差,但作为印刷线路板,正好利用这一特性进行蚀刻。其它还可采用聚酰胺酰亚胺、芳香族聚酰胺、聚苯硫醚及三嗪树脂等。表 1-4-31 示出了聚酰亚胺柔性印刷线路板的性能。

表 1-4-31 聚酰亚胺柔性印刷线路板的性能

项 目	数 值	项 目	数 值
基板厚度, μm	50	加热收缩率, %	0.12~0.22
焊锡耐热性 (300℃), s	≥ 60	吸水率, %	≤ 2.58
空气中耐热性, min		表面电阻率, Ω	3.9×10^{13}
250℃	≥ 120	体积电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$	5.9×10^{14}
300℃	≥ 30	介电常数	5.9
剥离强度, N/cm	16	介质损耗角正切	0.019
弯曲性, 次	≥ 10000	阻燃性	自熄

作为导体材料可采用铜箔和铝箔,其中以铜箔为最常用。表 1-4-32 列举了以电解铜箔和压延铜箔为导体材料的柔性印刷线路板的使用性能。

表 1-4-32 以电解铜箔和压延铜箔为导体材料的柔性印刷线路板的使用性能

项 目	聚酰亚胺-电解铜箔	聚酰亚胺-压延铜箔
焊锡耐热性, °C	260	260
空气中耐热性 (250℃), h	2	2
剥离强度, N/cm		
常态	15	14
焊锡处理后	14	14
弯曲性, 次		
线路内侧	> 10000	> 10000
线路外侧	5000~7000	> 10000
收缩率, %		
纵向	0.16	0.16
横向	0.01	0.01

用作柔性印刷线路板的粘合剂,要求具有优良的耐热性、耐药品性,可在短时间加热或在低成型压力下连续进行迭合,不会降低柔性基板的弯曲性。目前较多采用以下几种粘合剂:

① 环氧树脂、酚醛树脂、丙烯腈-丁二烯共聚物组成的三元体系。如再加入聚乙烯醇缩丁醛,可进一步提高交联密度,改善耐热性。

② 丙烯酸-丙烯酸丁酯-甲基丙烯酸三元共聚物、酚醛树脂组成的体系。

③ 聚酯、环氧树脂、三羟甲基丙烷与甲苯二异氰酸酯、二月桂酸二丁基锡组成的体系。

3. 多层印刷线路板

多层印刷线路板 (图 1-4-31) 与其它印刷线路板相比,具有高得多的线路密度和信号传递速度。通常导体材料的厚度为 0.1~0.3mm,导体间隔 0.15~0.40mm,因此要求线路板材料具有高度的尺寸稳定性。家用电路的小型化和高性能化,需要采用这种印刷线路间距微细的集成电路。在照相机式磁带录像机及手提式电视机中,表面集成安装技术的采用率已达到 80% 以上,这种高密度化的印刷线路基板常采用 4~7 层的多层化技术,所用的树脂也从酚醛、环氧改为聚酰亚胺、聚醚亚胺、氟树脂等耐高温工程塑料。

(三) 绝缘薄膜

绝缘薄膜主要用于各类电机、电器作为主绝缘材料,如线圈绕包、槽绝缘、绝缘垫圈及垫

(续表)

项 目	SFM-1	SFM-2			SFM-3		SFM-4
	定向	定向	半定向	不定向	定向	不定向	不定向
介质损耗角正切	$\leq 3 \times 10^{-4}$				$\leq 3 \times 10^{-4}$		
介电常数	1.8~2.2				1.8~2.2		
介电强度, kV/mm	≥ 200	≥ 100	≥ 60	≥ 40	≥ 60	≥ 30	≥ 20
拉伸强度, MPa	≥ 29.4	≥ 29.4	≥ 19.6	≥ 9.8	≥ 29.4	≥ 9.8	≥ 9.8
断裂伸长率, %	≥ 30	≥ 30	≥ 60	≥ 100	≥ 30	≥ 100	≥ 150

3. 聚酰亚胺绝缘薄膜

聚酰亚胺绝缘薄膜由均苯四甲酸二酐和 4,4'-二氨基二苯醚缩聚成聚酰胺酸溶液,然后采用流涎法或浸渍法成膜,经烘焙、高温脱水和亚胺化制成。它具有优良的介电性能,良好的耐磨、耐电弧、耐辐照性能。耐高低温性能优异,可在 220℃ 下长期使用,300℃ 下短期使用,在液氮温度下 (-269℃) 仍能保持柔软性。它耐有机溶剂和酸等化学药品,但不耐强碱。表 1-4-35 示出了聚酰亚胺绝缘薄膜的性能。

聚酰亚胺绝缘薄膜主要用于电机电枢线圈的主绝缘,对地绝缘,并广泛用于铝线和电缆绝缘。

表 1-4-35 聚酰亚胺绝缘薄膜的性能

项 目	数 值	项 目	数 值
厚度, mm	0.03、0.05	介电常数 (50Hz)	≤ 4
密度, g/cm ³	1.40	介电强度, kV/mm	
表面电阻率, Ω	$\geq 10^{14}$	25℃	100
体积电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$		200℃	60
25℃	10^{15}	拉伸强度, MPa	≥ 98.1
200℃	10^{12}	断裂伸长率, %	≥ 20
介质损耗角正切 (50Hz)	≤ 0.01		

4. 聚酰亚胺-聚全氟乙丙烯复合薄膜

聚酰亚胺-聚全氟乙丙烯复合绝缘薄膜分别由聚酰亚胺薄膜单面或双面涂敷聚全氟乙丙烯树脂复合而成。单面复合称 HF 薄膜,双面复合称 FHF 薄膜。它们兼具聚酰亚胺和聚全氟乙丙烯的性能,在高温下 (300~400℃) 能自熔密封,并具有优良的电性能和力学性能 (表 1-4-36),是一种优异的耐高温绝缘材料。

HF 和 FHF 薄膜主要用于 H 级绝缘电机、电器的线圈绕包以及用于制造 H 级薄膜导线。H 级薄膜导线广泛用于电气机车和内燃机车的电机,以及潜油、潜卤的电机中。

表 1-4-36 HF 和 FHF 薄膜的性能

项 目	HF 薄膜	FHF 薄膜
总厚度, mm	0.045	0.047
F 层厚度, mm	0.010	0.007
表面电阻率, Ω	$\geq 10^{14}$	$\geq 10^{14}$

(续表)

项 目	HF 薄膜	FHF 薄膜
体积电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$	$\geq 6 \times 10^{15}$	$\geq 3 \times 10^{15}$
介质损耗角正切	$\leq 5.4 \times 10^{-3}$	$\leq 5.3 \times 10^{-3}$
介电常数	3.0~4.0	3.0~4.0
介电强度, kV/mm	≥ 176	≥ 153
拉伸强度, MPa	≥ 88	≥ 78
伸长率, %	≥ 40	≥ 40
剥离强度, N/25mm	3.9	3.9

二、在电器设备结构件上的应用

电器设备工程塑料结构件种类繁多,应用面极为广泛;而制造电器设备结构件的工程塑料品种也很多,不同种类的工程塑料性能差异较大,即使是同一种工程塑料,由于使用环境条件的不同,也必须根据具体的条件加以合理的选择。

电器设备工程塑料结构件可按使用要求、电压和频率高低以及成型方法等加以分类。

(一) 按使用要求分类

1. 电器结构件

这是一类具有较高电性能要求的电器结构件。种类较多,如接插件、线圈骨架、转换开关、继电器等。

1) 接插件 低频接插件和管座要求绝缘电阻高和介电强度高,高频的则还要求高频介质损耗小,介电常数小。两者都还要求有足够的机械强度,良好的耐溶剂性能,较高的耐热性以及高的尺寸精度和尺寸稳定性。低频接插件可采用聚碳酸酯、聚砒及尼龙等制造。高频工程塑料插座和插头可选用高频损耗小、电气绝缘性能优异的聚四氟乙烯和改性聚苯醚制造。

接插件的发展趋势是更薄、更长、精度更高,如半导体工业新的设计开发导致芯片或电路板上的电子器件功能增加,因而就要求生产更长、更紧凑、更紧密的接插件,接插件的间距也由平均 2.5mm 降为 1.2mm 以下,厚度低到 1.3mm,平整度为 0.13mm。近年来,采用了一种被称为表面安装技术的新工艺进行接插件等电子器件的组装,是采用高温下自动化操作完成组装的,要求材料具有优异的耐热性和尺寸稳定性,可采用液晶聚合物和 PPS 等工程塑料制造。

2) 线圈骨架 又分为变压器骨架、高频线圈骨架和偏线圈骨架等。变压器骨架应具有优良的介电性能,足够的机械强度,良好的耐溶剂性和耐老化性,可选用增强 PET、聚碳酸酯、聚砒和增强 PBT 制造。高频线圈骨架除与变压器骨架相同要求外,还要求具有良好的高频介电性能,可选用聚砒、改性聚苯醚等工程塑料制造。偏转线圈骨架壁薄,尺寸较大,形状特殊,在力学性能和绝缘性能满足要求的前提下,壁厚越薄越好,可选用尼龙、增强尼龙及增强 PBT 等制造。

3) 转换开关 要求材料介电性能好,并具有优良的尺寸稳定性、耐热性和良好的阻燃性,可选用尼龙 6、改性聚苯醚、PBT、聚砒等制造。

4) 继电器 要求材料具有优良的电绝缘性能、耐热性及良好的成型加工性。目前继电

器的发展趋势是小型化和薄型化,因而要求材料的熔融流动性要好,固化速度要快,注射成型时制品的微细部分容易填充。适用的材料主要有尼龙 46、PBT 等。

2. 一般结构件

对电性能没有特殊的要求,但必须具有较高力学性能的电器结构件。在电器上一般用于受力但不与电路直接接触的部位,如电动机和电动工具罩、二次电池、磁带录音机飞轮等。

1) 电动机和电动工具罩 要求材料具有高刚性、高机械强度和耐冲击性能,以及良好的耐热性,适用的材料有聚碳酸酯、尼龙 66 和聚砒等。

2) 二次电池 家电制品小型轻量化的重要因素之一是电源能否达到高效和反复充电使用。随着可以反复充电 300 次以上的锂离子电池及氢镍电池的商品化,使家用电器得到快速发展。但家电设备中内装电池者在充电时不能使用而使用时又不能充电,所以对磁带录像机之类的视听设备要把电池部分与机体分开。为此,对这种电池部件壳体的设计,应考虑能容纳 5~10 个二次电池。电池组件的外壳由壁厚 1mm 左右的塑料片成型,要具有从 1m 高处跌落不破的性能及阻燃要求 (达 UL94 V-2 或 V-1 水平),常用阻燃 ABS、聚碳酸酯和改性聚苯醚等工程塑料来制作二次电池的部件壳体。

3) 磁带录音机飞轮 要求材料有良好的强度、刚性和耐疲劳性及一定的耐热性,可选用尼龙 6、聚甲醛、增强 PBT 等制造。

3. 耐磨结构件

对电性能及机械强度要求不高,但要求具有优良耐磨性的电器结构件。在电器上一般用于受力较小,但运转速度较高的部位。通常可选用聚甲醛、尼龙和聚四氟乙烯等来制造。例如,利用聚甲醛优良的耐磨性及尺寸稳定性,可用于制造打印机前底盘、微动开关凸轮、CD 转换器等电器结构件。

4. 耐腐蚀结构件

对电性能要求不高,但必须具有优良耐腐蚀性的电器结构件。主要用于在不同腐蚀介质中工作的电器。通常可选用聚四氟乙烯、氯化聚醚和 PPS 等制造。例如,用聚四氟乙烯制成的微孔渗透膜,已广泛用作各类电化学电池和燃料电池的电极室隔膜。在氢镍电池中用作氢电极的关键材料,要能在高压氢气和 30% 浓度氢氧化钾的碱雾环境中长期工作,要求聚四氟乙烯微孔膜孔径控制在 $0.5\mu\text{m}$,孔率 70%,膜厚 0.05mm。这种氢镍电池是新一代航天电源,能明显地提高电池的性能和寿命。

(二) 按电压和频率高低分类

1. 工频或直流低压电器设备用工程塑料结构件

这种电器设备结构件对介电性能要求并不很高,一般的工程塑料均能满足低压绝缘的要求。但应具有优良的耐热性、环境适应性,如耐潮、耐水、耐油、耐化学介质及耐候等性能。对于经常开断的电器上,还应注意选用的工程塑料的耐电弧性和阻燃性。可选用的工程塑料有氟塑料、聚酰亚胺等。

2. 中压或高压电器设备用工程塑料结构件

这种电器设备结构件要求具有优良的介电性能,其中主要是介电常数、介电损耗角正切和耐电晕性等。还要求具有良好的力学性能、耐热性和环境适应性。目前,大部分工程塑料由于耐电晕性均不甚理想,用于高压电器 (6kV 以上) 设备上还较困难。在中电压下使用的有氟塑料和聚碳酸酯等;在高电压下使用的主要有环氧树脂浇注体、聚酯纤维增强环氧塑料

及线型酚醛环氧树脂等热固性塑料。

3. 高频电器设备用工程塑料结构件

这种电器设备结构件要求具有尽可能小的介电常数,对高频有良好的适应性。对于一般的高频电器设备,可选用聚苯醚、聚酰亚胺和聚醚醚酮等工程塑料;而对于大功率高频电器设备,通常只能选用聚四氟乙烯及聚全氟乙丙烯等少数几种工程塑料。

(三) 按成型方法分类

1. 模压工程塑料结构件

1) 聚酰亚胺模塑料 由 3,3',4,4'-二苯醚四羧酸二酐与 4,4'-二氨基二苯醚在二甲基乙酰胺溶剂中聚合,再经成粉、亚胺化而制成。在室温下呈淡黄色粉末,细度 $250\mu\text{m}$,表观密度 $0.35\text{g}/\text{cm}^3$ 。经模压成型得到的制品具有优异的耐高低温性、耐磨性、耐辐射性、电绝缘性和力学性能,可在 $-269\sim 260^\circ\text{C}$ 温度范围内使用。但它耐水解性较差,价格较贵,成型加工性较差。聚酰亚胺模塑料主要用于宇航的电机部门,制造耐辐射、耐高低温的电器绝缘结构件,如航天飞机与液氮接触的结构件、集成电路基板、电器插座、连接器、开关、高频电器结构件等。表 1-4-37 示出了型号为 SY 20 的聚酰亚胺模塑料的成型条件。

表 1-4-37 SY 20 聚酰亚胺模塑料的成型条件

项 目	数 值	项 目	数 值
模压温度, $^\circ\text{C}$	340~380	补压压力,MPa	30
模压压力,MPa	20	卸压出模温度, $^\circ\text{C}$	200
保压时间,min	3~15		

2) 聚四氟乙烯模塑料 由四氟乙烯单体在水中经悬浮聚合或分散聚合制得。为白色粉状物或颗粒状物。经模压成型得到的制品具有优异的耐高低温性、电气绝缘性和耐化学药品性,阻燃性能和自润滑性能也非常好。聚四氟乙烯模塑料广泛用作耐腐蚀和耐磨电器设备结构件、高频电器设备结构件、印刷线路板、电池隔膜、电子管插座、接线柱等。表 1-4-38 示出了聚四氟乙烯自由烧结法模压成型条件。

表 1-4-38 聚四氟乙烯自由烧结法模压成型条件

项 目	数 值	项 目	数 值
毛坯预成型压力,MPa	10~100	冷却速度, $^\circ\text{C}/\text{h}$	
烧结温度, $^\circ\text{C}$	360~380	小件制品	50~150
升温速度, $^\circ\text{C}/\text{h}$	25~60	大件制品	≤ 50
烧结时间(厚 1mm),min	5~8		

2. 注射工程塑料结构件

目前,无论是热塑性塑料,还是热固性塑料,大部分可以通过注射成型的方法来生产不同形式和用途的制品,其中,电器设备注射成型的塑料结构件也占有相当重要的地位。但是,由于在电器设备上使用的注射塑料结构件,必须具有优良的力学性能、耐热性和介电性能,因此,选用的塑料品种大多数为工程塑料,如聚砵、聚苯硫醚、改性聚苯醚、增强 PET、增

强 PBT、聚醚酰亚胺和增强 ABS 等。

1) 聚砒注射电器设备结构件 具有优良的耐高低温性、化学稳定性、介电性能、耐蠕变性、耐辐射性及自熄性,可在 $-100\sim 150^{\circ}\text{C}$ 温度范围内长期使用,体积电阻率 $5\times 10^{16}\Omega\cdot\text{cm}$,介电强度 $17\text{kV}/\text{mm}$,介质损耗角正切 3.0×10^{-3} ,可用作集成电路架、连接器、线圈绕线管、仪表开关、电子组件外壳、灯具插座、灯罩等结构件。其缺点是耐酮类、芳香烃类及氯代烃类等有机溶剂性能较差,易发生溶解或引起应力开裂。

表 1-4-39 示出了聚砒电器设备结构件的注射成型条件。

表 1-4-39 聚砒电器设备结构件注射成型条件

项 目	数 值	项 目	数 值
预热温度, $^{\circ}\text{C}$	100~120	注射压力,MPa	100~140
预热时间,h	24	螺杆转速,r/min	50~100
料筒温度, $^{\circ}\text{C}$	300~350	成型周期,s	30~60
模具温度, $^{\circ}\text{C}$	100~120		

2) 聚苯硫醚注射电器设备结构件 具有优异的阻燃性、耐焊锡性、耐热性、耐蠕变性和介电性能,尺寸稳定性好,吸水性小,易于成型加工,特别适宜于用作耐高温的电绝缘结构件。表 1-4-40 列举了不同温度条件下聚苯硫醚介电性能的变化情况,从表中可知,即使在 200°C 的高温下它仍然具有良好的介电性能。

表 1-4-40 聚苯硫醚注射结构件在不同温度下的介电性能

温度, $^{\circ}\text{C}$	体积电阻率, $\Omega\cdot\text{cm}$	介电强度,kV/mm
10	9.5×10^{15}	23.2
20	6.5×10^{15}	
50	4.2×10^{15}	
70	2.6×10^{15}	
90	1.2×10^{15}	
105	7.8×10^{14}	33.2
130	4.2×10^{14}	
180	4.7×10^{12}	
200	3.8×10^{11}	33.3

作为电器设备结构件的通常由玻璃纤维增强的聚苯硫醚制造,以确保具有足够的机械强度。在一般情况下,采用玻璃纤维增强聚苯硫醚制造的结构件,拉伸强度可大于 118MPa ,弯曲强度可大于 196MPa ,无缺口简支梁冲击韧性大于 $25\text{kJ}/\text{m}^2$ 。通常玻璃纤维含量在 40%左右。

聚苯硫醚注射结构件可用作飞机天线、变压器及高频线圈骨架、接触器转鼓片、铝电解电容器盖板、插头、插座、仪表开关等。表 1-4-41 示出了增强聚苯硫醚电器设备结构件的注射成型条件。

表 1-4-41 增强聚苯硫醚电器设备结构件注射成型条件

项 目	数 值	项 目	数 值
料筒温度,℃	290~350	模具温度,℃	120~140
注射压力,MPa	70~130	保压时间,s	30~120

3) 改性聚苯醚注射电器设备结构件 改性聚苯醚由聚苯醚树脂经苯乙烯系聚合物改性而成。制品具有优异的介电性能,介电常数和介质损耗角正切值小,热变形温度较高,刚性较强,抗蠕变,尺寸稳定,线膨胀系数小,成型收缩率低,耐热水性和水蒸气性优良,并具有一定的阻燃性。

改性聚苯醚有多种型号,如通用型、普通耐热阻燃型、高耐热阻燃型、高抗冲阻燃型、高耐热阻燃增强型等。用玻璃纤维增强的改性聚苯醚,可进一步提高其耐热性、力学性能和尺寸稳定性,弯曲强度大于 128MPa,无缺口简支梁冲击强度大于 $27\text{kJ}/\text{m}^2$,体积电阻率 $1.5 \times 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$,介电强度 $24\text{kV}/\text{mm}$,介电常数 2.64,介质损耗角正切 7×10^{-3} 。可用于刚性、尺寸稳定性和电气绝缘性能要求较高的电器设备结构件,如大型电器壳体、精密仪表零部件、耐热和耐蒸煮的电气绝缘结构件等。

表 1-4-42 示出了改性聚苯醚电器设备结构件注射成型条件。

表 1-4-42 改性聚苯醚电器设备结构件注射成型条件

项 目	高耐热阻燃型	增强阻燃型
料筒温度,℃		
前段	260	290
中段	280	290
后段	280	290
模具温度,℃	70~80	90~100
喷嘴温度,℃	275	285
注射压力,MPa	120	130~140
螺杆转速,r/min	70	50
成型周期,s	30~60	30~60

4) 增强 PET 注射电器设备结构件 PET 是通过增强来提高性能的最有效的工程塑料之一,采用玻璃纤维增强的 PET 具有优良的介电性能,介电强度大于 $20\text{kV}/\text{mm}$,体积电阻率大于 $10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$,即使在高温和高湿环境条件下仍能保持良好的电绝缘性能。它的力学性能、耐磨性、耐蠕变性、耐热老化性也很优良,在 $-50 \sim 100^\circ\text{C}$ 温度范围内,力学性能基本保持不变。

增强 PET 可用于制造多种电器设备结构件,如连接器、线圈绕线管、集成电路外壳、电容器外壳、变压器外壳、电视机回扫变压器配件、调谐器、开关、计时器外壳、自动熔断器、电动机托架和继电器等。

表 1-4-43 示出了增强 PET 电器设备结构件注射成型条件。

表 1-4-43 增强 PET 电器设备结构件注射成型条件

项 目	数 值	项 目	数 值
料筒温度,℃		喷嘴温度,℃	265~300
前部	260~290	注射压力,MPa	50~80
中部	270~300	模具温度,℃	80~120
后部	270~300	螺杆转速,r/min	50~70

5) 增强 PBT 注射电器设备结构件 与 PET 一样,PBT 也是通过增强来提高性能的最有效的工程塑料之一。采用玻璃纤维增强的 PBT 机械强度高,吸水率低,尺寸稳定性好,耐磨性优良,成型加工性好,可在 130℃ 温度下长期使用。它还具有优良的介电性能,体积电阻率 $1.2 \times 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$,介电常数 3.60,介质损耗角正切 1.7×10^{-2} ,即使在高温高湿环境下,其介电性能的变化也很小。

增强 PBT 广泛用于制造各种电器设备结构件,如连接器、线圈骨架、插座、转换开关、继电器、电动机组件、自动电路阻断器、熔断器、端子板、高压电容器零件、阴极射线管基座等。

表 1-4-44 示出了增强 PBT 电器设备结构件注射成型条件。

表 1-4-44 增强 PBT 电器设备结构件注射成型条件

项 目	数 值	项 目	数 值
料筒温度,℃		注射压力,MPa	40~90
前部	180~200	模具温度,℃	50~80
中部	210~230	螺杆转速,r/min	60~70
后部	220~240	注射时间,s	3~8
喷嘴温度,℃	220~240	冷却时间,s	15~20

6) 聚醚酰亚胺注射电器设备结构件 聚醚酰亚胺是注射型聚酰亚胺,具有优异的耐热性、耐辐射性、耐磨性、力学性能和介电性能,可在 -160~180℃ 温度范围内长期使用,介电强度 33~35kV/mm,介电常数 3.5,介质损耗角正切 $(1 \sim 4) \times 10^{-3}$,体积电阻率 $10^{16} \sim 10^{17} \Omega \cdot \text{cm}$,在 150℃ 以下其介质损耗角正切和介电常数随温度的变化很小。它还具有优异的阻燃性能,氧指数 47%,阻燃性可达 UL94 V-0 级。

聚醚酰亚胺主要用于制造对耐热性、力学性能和介电性能要求较高的电器设备结构件,如导弹电池外壳、原子能电站仪表零件、火箭引信风帽、高温直流电机换向器、指挥仪编码轮、印刷线路板、高压断路器支架、高精密光纤连接器等。

表 1-4-45 示出了聚醚酰亚胺电器设备结构件注射成型条件。

表 1-4-45 聚醚酰亚胺电器设备结构件注射成型条件

项 目	数 值	项 目	数 值
预热温度,℃	150	前部	300~320
预热时间,h	4	中部	330~390
料筒温度,℃		后部	330~410

(续表)

项 目	数 值	项 目	数 值
喷嘴温度,℃	330~410	螺杆转速,r/min	50~300
注射压力,MPa	60~100	保压时间,s	5~30
模具温度,℃	70~170	冷却时间,s	5~30

7) 增强 ABS 注射电器设备结构件 增强 ABS 由 ABS 树脂加入玻璃纤维经混合、挤出、切粒后制成,玻璃纤维含量 10%~20%。它提高了 ABS 的耐热性和力学性能,降低了成型收缩率和线膨胀系数,主要用于制造尺寸精度要求较高的电器设备结构件,如电器外壳、录音机机芯底板、接插件、线圈骨架、电动工具零件等。

表 1-4-46 示出了增强 ABS 电器设备结构件的注射成型条件。

表 1-4-46 增强 ABS 电器设备结构件注射成型条件

项 目	数 值	项 目	数 值
预热温度,℃	80	模具温度,℃	70~80
预热时间,h	3	注射压力,MPa	
料筒温度,℃		柱塞式	98~140
柱塞式	180~230	螺杆式	70~100
螺杆式	160~220	成型周期,s	≤80

第四节 在家用电器上的应用

家用电器是和人们日常生活密切相关的耐用消费品,在市场上具有重要的地位。中国自实施改革开放政策以来,家用电器工业突飞猛进。电冰箱、电视机、洗衣机、电风扇等一大批家用电器的产量名列世界前茅。青岛海尔、江苏春兰、四川长虹等集团公司的电冰箱、空调器、电视机等的生产量已具有相当的规模,“海尔”等品牌的产品已打入国际市场,具有很高的知名度。中国已成为世界上主要家用电器的生产国和消费国。今后,家用电器领域将进一步向着多功能、高档次、智能化、节能化、无污染的方向发展。

一、家用电器的分类

家用电器品种很多,没有统一的分类方法。通常可按制品大小、产品所属工业领域和用途等加以分类。

1. 按制品大小分类

- 1) 大型家电 如电冰箱、冰柜、洗衣机等。
- 2) 小型家电 如电吹风、电熨斗、咖啡器、电热毯、驱蚊器等。

2. 按产品所属工业领域分类

- 1) 电子产品 如彩色电视机、黑白电视机、录像机、摄像机、录像磁盘等。

2) 电器产品 如电冰箱、洗衣机、空调器、电风扇、吸尘器、微波炉、电熨斗、电热毯等。

3) 音响产品 如收音机、录音机、立体声音响设备、电话机等。

3. 按用途分类

1) 厨房机械 如电饭锅、微波炉、电烤箱、电炊具、脱排油烟机、食品干燥机、果汁压榨机、豆浆机、绞肉机、烤面包机、电油炸锅等。

2) 家务机械 如洗衣机、脱水机、烘干机、洗碗机、吸尘器、电熨斗等。

3) 空调设备 如空调机、电风扇、加湿器、排气扇等。

4) 视听设备 如彩色电视机、黑白电视机、录像机、摄像机、录像磁盘、收音机、录音机、立体声音响设备、电话机等。

二、家用电器用工程塑料件的设计

家用电器用工程塑料件除要求达到使用功能外,往往对外观造型也有较高的要求。为了经济合理地组织生产,在进行加工前需要进行家用电器用工程塑料件产品设计。

产品设计主要包括:

1) 功能设计 主要以满足产品使用性能为目的,根据用户提出的要求进行设计。工程塑料件的力学性能、热性能和介电性能是其最主要的功能。

2) 材料选择 功能设计是材料选择的重要依据。材料选择应考虑制品结构、尺寸精度、工作环境、制造工艺、安全因素及工程塑料的特性等。

3) 结构设计 结构设计基于功能设计。结构设计包括几何结构、工艺结构和造型结构。结构设计确定工程塑料件零件草图。结构设计是在材料选择的基础上,考虑到生产成本、工作环境和成型工艺等诸多因素后进行的,它应满足工程塑料件的功能设计要求并体现加工工艺的适应性。

4) 零件图的确定 综合考虑上述内容后,修改零件图草图并设计出白图,经工艺会签、标准会签后进行设计评审。经设计评审通过的图纸可作为设计蓝图。

5) 试制样件 为验证设计的可靠程度,或验证与其它结构件的配合性,需试制样件,经测试和检验以确定是否符合要求,如有问题,需进行修改,直至达到所要求的各项指标。

在完成上述步骤后,即可按设计定型图纸进行批量生产。图 1-4-32 示出了工程塑料件设计程序图。

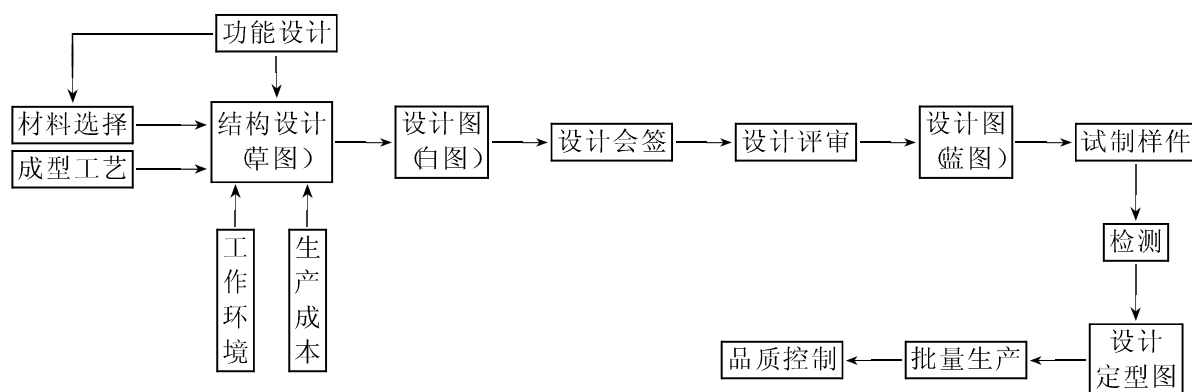


图 1-4-32 家用电器用工程塑料件的设计程序

三、家用电器用工程塑料的选材

在家用电器的发展中,各种优良性能的塑料,特别是工程塑料起着十分重要的作用。工程塑料具有质量轻、比强度高、不锈蚀、耐磨性和绝缘性好等优点,而且原料易得,成型方便,生产效率高。用工程塑料代替金属,生产成本低。由于工程塑料加工性能好,可以采用注射成型等方法加工,因而适合大量生产,而且带来了简化和减少零部件的好处。

不同的家用电器使用的工程塑料的品种和数量均不同,即使同一种家用电器,在选用工程塑料的品种和数量上,也因生产厂家、型号、规格等的不同而不同。选材的恰当与否,不仅关系到产品的品质和使用寿命,而且也关系到生产成本和产品的竞争能力。

(一) 选材依据

已经工业化生产的工程塑料品种有十几个大类,有数百个品种和品级。单一的工程塑料材料已向着合金化、复合化的方向发展,从而为家用电器的选材提供了更多的品种。工程塑料材料的选择依据主要有:工程塑料件的结构与尺寸精度;工程塑料件的工作环境;工程塑料的特性;经济指标;安全因素;制造工艺等。

1. 工程塑料件的结构与尺寸精度

工程塑料件的几何形状、尺寸及精度是材料选择的重要依据。对于一般的机件外壳、支架等工程塑料件较易选择,对于形状复杂或大型的工程塑料件,应采用对不同品种或牌号的工程塑料进行对比的方法,以便合理、正确地选择所用材料。工程塑料件的精度等级(尺寸精度、表面粗糙度、形位公差等)在一定程度上制约着材料的选择范围。这是因为工程塑料在使用过程中的尺寸稳定性差异较大;而工程塑料件的表面粗糙度虽然主要取决于模具及成型工艺,但工程塑料对制品的表面粗糙度也有一定的影响。

2. 工程塑料件的工作环境

工作环境包括温度、湿度、日光照射、灯光照射、紫外线辐射、受力状况、使用频次,以及是否处在溶剂、油类等化学药品的氛围中等。工作环境会引起工程塑料材料的老化、蠕变、环境应力龟裂及溶剂应力龟裂等,从而影响工程塑料件的正常工作,降低其使用价值。工作环境条件是材料选择时必须考虑的因素。

3. 工程塑料的特性

每种工程塑料均具有一定的特性。材料选择就是要充分利用工程塑料的这些特性来满足工程塑料件的不同要求。

用于家用电器的工程塑料要求具有下述性能:

1) 良好的力学性能 力学性能通常包括拉伸强度、冲击强度、蠕变性、硬度、尺寸稳定性、弯曲强度和弯曲弹性模量等。

2) 易成型性、着色性和光泽性 家用电器作为家庭日用品不仅应能满足使用要求,而且要求造型美观,具有装饰性、艺术性及观赏性。因此,要求所选择的工程塑料熔体粘度较低,熔融流动性好,易于成型加工,以保证外观造型设计的自由度。基于同样的理由,要求所使用的工程塑料具有良好的着色性和光泽性,使色泽与造型协调。

3) 阻燃性 与金属材料相比,工程塑料的阻燃性能较差。当工程塑料用作家用电器零部件时,出于安全上的考虑,人们往往对它的阻燃性能给予很大的重视。一般用于家用电器的工程塑

料件阻燃等级应达到 UL94 HB 级以上,对阻燃性能有严格要求的场合,则要达到 UL94 V-0 级。

4) 耐高低温性 与通用塑料相比,工程塑料的耐热性优越。而家用电器通常对耐热性的要求又不是很高,因而一般均能满足要求。有些家用电器制品,如电冰箱内部零件,对低温性能有较高要求,此时则应选择 ABS 等有良好低温性能的工程塑料。

5) 介电性能 工程塑料的基体为高分子化合物,因此大多数是优良的绝缘材料。但由于它们的分子结构不同,制造工艺和成型方法各异,因而它们的介电性能往往有很大的差异。对于电视机等家用电器中对介电性能有严格要求的零部件,如汇聚线圈框架、高压绝缘罩等,则应选用具有优异介电性能的改性聚苯醚、PBT 等工程塑料制造。

6) 耐化学药品性 可能与家用电器接触的化学药品有油烟、酸碱溶液、洗洁净、洗衣粉、氟里昂、有机溶剂等,要求选用的工程塑料对这些化学药品具有良好的抵抗能力。

4. 经济指标

工程塑料件的材料选择应考虑最大限度地降低成本。涉及成本的主要因素有:

- 1) 家用电器预计年产量;
- 2) 预定家用电器产品的成本价位;
- 3) 家用电器产品寿命 (或工程塑料件的更换年限);
- 4) 原材料的价格。

5. 安全因素

材料选择时考虑的安全因素,主要是指由该种材料制成的工程塑料件在使用状态下有无不安全因素。

6. 制造工艺

不同的生产工艺有不同的材料适应性。材料选择时应充分考虑对制造工艺的适应性,特别是对新研制或改性的新材料,应充分注意这一点。

(二) 家用电器用主要工程塑料品种

表 1-4-47 列举了家用电器用工程塑料的主要品种、性能特点及用途。

表 1-4-47 家用电器用工程塑料的主要品种、性能特点及用途

名 称	性能特点	用 途
ABS	耐冲击性、低温性能、耐化学药品性、尺寸稳定性、表面光泽性、易涂装和着色性、成型性	电视机、收录机、洗衣机、电冰箱、电唱机、电话机、吸尘器、空调器、电风扇等的外壳,电冰箱内衬
ABS PVC	阻燃性、耐腐蚀、冲击性、低温性能、尺寸稳定性、刚性、成型性	电视机、录像机、收录机、电话机等的外壳
AS (丙烯腈和苯乙烯的共聚物)	耐冲击性、耐应力开裂性、耐擦伤性、耐化学药品性	各种家用电器的开关,电冰箱的蔬菜盘
PA	耐磨性、机械强度、耐冲击性、自润滑性	各种家用电器中的齿轮、轴承、飞轮及滑动耐磨零件
PC	耐冲击性、耐蠕变性、耐气候性、尺寸稳定性、自熄性、透明性	光盘,电视机中的回扫变压器及偏转座盖,电吹风,电热器外壳,齿轮,齿条,透明罩壳
POM	耐磨性、耐疲劳性、耐蠕变性、耐冲击性、尺寸稳定性	录音机和录像机中的轴承、齿轮、轴套、滑动零件

续表)

名 称	性能特点	用 途
MPPO	电绝缘性、尺寸稳定性、机械强度、耐热性、耐蠕变性、自熄性、成型性、耐冲击性、着色性	电视机中的汇聚线圈框架、电子管插座、高压绝缘罩、调谐器零件、控制轴、硒电极夹、绝缘套管,电冰箱外壳,空调器外壳,CD 转盘,头发干燥器,咖啡壶,蒸汽熨斗
PET	耐热性、耐冲击性、耐蠕变性、耐磨性	PET 薄膜用作录音带、录像带的基材;增强 PET 工程塑料用作电热器具、高频电子食品加热器、电饭锅、干燥器、电熨斗
增强 PBT	耐热性、耐冲击性、耐疲劳性、耐磨性、自润滑性、尺寸稳定性、电绝缘性	电视机中的线圈骨架、变压器外壳,磁带盒
增强 PPS	耐热性、耐腐蚀性、电绝缘性、尺寸稳定性、机械强度、刚性、成型性	电视机中的高电压元件外壳、电子管插座、绕线管、接线柱、端子板,电冰箱中的架子、果菜盒、冷藏槽,CD 传感器外壳,录像机底盘,高频电子食品加热器,电熨斗
PSF	耐热性、电绝缘性、尺寸稳定性、透明性、刚性、机械强度	高频电子食品加热器用食器,咖啡壶,CD 光敏感元件

四、家用电器用工程塑料件常用成型方法

家用电器用工程塑料件的常用成型方法有注射成型、挤出成型、双轴拉伸成型、热成型、中空成型、泡沫成型、层压成型等,其中以注射成型为最重要。表 1-4-48 归纳了主要家用电器零部件的成型方法。

表 1-4-48 主要家用电器零部件成型方法一览表

成型方法	家用电器零部件名称
注射成型	电视机、录音机、录像机、收音机、计算机、打字机外壳,录像带、录音带外壳和芯轴,冰箱、洗衣机、复印机面板,复印机、打字机送纸盒,洗衣机内胆,冰箱蔬菜盒,冰箱门把手,冰箱内衬,电视机中电子管插座、汇聚线圈框架、高压绝缘罩、接线柱、端子板、调谐器零件、控制轴、绝缘套管、变压器外壳、线圈骨架,CD 转盘,CD 传感器外壳,CD 光敏感元件,录像机底盘,高频电子食品加热器,电熨斗,光盘,电饭锅外壳,录音机和录像机中的轴承、齿轮、飞轮、轴套、滑动零件,冰箱、洗衣机、微波炉等各种家用电器的开关和旋钮
挤出成型	冰箱内胆用片材、冰箱门密封条、各种装饰条
双轴拉伸成型	录音带、录像带基材 (薄膜)
热成型	冰箱内胆
中空成型	洗衣机排水管
泡沫成型	冰箱绝热层
层压成型	电路板

五、家用电器用工程塑料的品种

(一) 电冰箱

制造电冰箱的材料要求有足够的机械强度、刚性、尺寸稳定性和耐蠕变性。电冰箱的冷藏冷冻室主要用于食品贮藏,所以使用的材料除以上提到的一般的力学性能外,还要求无毒、无臭、耐低温、耐龟裂,耐食用油等。

表 1-4-49 示出了电冰箱中使用工程塑料制造的零部件一览表。

表 1-4-49 工程塑料制造电冰箱零部件一览表

零部件名称	选用材料	成型方法
门胆	ABS、ABS/HIPS	挤出成型
内胆	ABS、ABS/HIPS	挤出成型
蔬菜箱	AS	注射成型
肉盘	AS	注射成型
冰块盘	ABS	注射成型
冷冻室门	ABS	注射成型
门把手	ABS	注射成型
冰箱顶框	ABS	注射成型
鸡蛋存放架	ABS	挤出成型、真空成型
继电器罩壳	MPPO	注射成型
果菜盒	增强 PPS	注射成型
冷藏槽	增强 PPS	注射成型
把手定位器	POM	注射成型

(二) 洗衣机

制造洗衣机的材料要求具有较高的耐热性 (100℃),良好的耐化学药品性,对洗涤剂、润滑油、油腻等的优良抵抗能力,以及良好的抗冲击性。洗衣机中使用最多的材料是通用塑料聚丙烯,工程塑料使用较多的是聚甲醛、聚酰胺和 ABS 等。表 1-4-50 示出了工程塑料制造洗衣机零部件一览表。

表 1-4-50 工程塑料制造洗衣机零部件一览表

零部件名称	选用材料	成型方法
排水闸门	ABS	注射成型
叶轮	玻纤增强 PA	注射成型
带轮	玻纤增强 PA、POM	注射成型
变速机齿轮	POM	注射成型
行星齿轮	POM	注射成型
大凸轮	POM	注射成型
卡爪	POM	注射成型
杠杆	POM	注射成型
上下凸轮	POM	注射成型
电机底板	ABS	注射成型

(三) 空调器

制造空调器的材料要求有足够的刚性、耐蠕变性、耐冲击性、阻燃性、耐震动性、耐寒性、耐气候性,并要求材料的热变形温度在 70℃ 以上,同时要求材料具有优良的熔体流动性、尺寸稳定性和超声波焊接性等。

采用工程塑料制造空调器的部件主要有风机、进气窗、前面控制板、轴承架、水平散热器和后壳体等。

风机是空调器的主要部件之一。为提高效率、降低噪声,室内机大多采用横流风机,与其它风机相比,在相同风量下可以做到小型化和薄型化。这种风机大多采用不规则间距、偏转形叶片,材料要求在温热风中保持刚性和耐蠕变性不变,通常选用添加 20%~30% 玻璃纤维的 AS 树脂。室外机大多采用螺旋桨式风机,不仅通风效率高,而且静压下风量相对较大。材料一般选用玻璃纤维增强的 ABS 或 AS 树脂,以满足对大气强风具有高的刚性、耐冲击性和耐气候性的要求。

进气窗和前面控制板则可采用 ABS 或 HIPS 制造,但因对外观要求日益提高,要求材料具有抗静电和防止吸附灰尘的功能。轴承架和水平散热器要求具有良好的刚性、耐磨性、尺寸稳定性和耐热性,通常选用玻璃纤维增强的 ABS 制造。后壳体因会附着油烟,所以应选用耐化学药品性好的 ABS 品级制造。

(四) 电视机

目前电视机正向着性能优异、一机多用的方向发展,直角平面、大屏幕、数字化等新产品不断涌现,因此对其零部件的安全性、可靠性的要求越来越高,要求所用材料耐热、阻燃、耐电压、耐电晕、耐电弧,并要求具有良好的刚性、耐冲击性、尺寸稳定性和耐蠕变性等力学性能。

电视机工业的迅速发展推动了塑料工业的发展。目前用于电视机的塑料材料已达 20 多种,其中常用的工程塑料品种有 ABS、聚酰胺、聚甲醛、改性聚苯醚、聚碳酸酯、PET、PBT 等,耐热性要求更高的则采用 PPS 和聚砒等。这些材料主要用于制造电视机壳体以及旋钮、分度盘、镜片、线圈骨架、变压器、调谐器、控制轴、绕线管、绝缘套管等内装零部件。用量最大的是电视机壳体。

电视机壳体可采用 ABS 或 HIPS 制造。ABS 综合性能好,表面光泽高;HIPS 熔体流动性好,但是,表面光泽不如 ABS。目前以采用 ABS 者居多。

电视机壳体对阻燃性有严格要求,一般应达到 UL94V-O 级。因此,用于制造电视机壳体的 ABS、HIPS 均应是阻燃级的。美国大量采用阻燃性优良的 ABS/PVC 合金制造电视机壳体,我国也有采用改性聚苯醚制造电视机壳体的,但价格较高。

图 1-4-33 示出了电视机壳体的注塑模具示意图。模具采用 T 型斜滑块,利用弹力的四面分型结构。型腔由四块活动瓣合模块 6、11 组成,分别将 T 型滑块 7 用定位销 8、螺钉 9 固定在对应的瓣合模块上,并在定模锥套 17/T 型沟槽内滑动。开模后,弹簧 18 将瓣合模块 6、11 沿 T 型向四面抽动。T 型滑块 7 的滑动距离 t 以瓣合模块的动作足够使制品与型腔分离为度。最后,推板将制品推动,并与型芯 4 分离。

电视机壳体采用注射成型方法制造,目前已有越来越多的生产厂家采用气体辅助注射成型这种新的成型技术来生产电视机壳体,如果从制品设计到实际成型均能熟练掌握,不仅能降低成本,而且可提高产品质量。

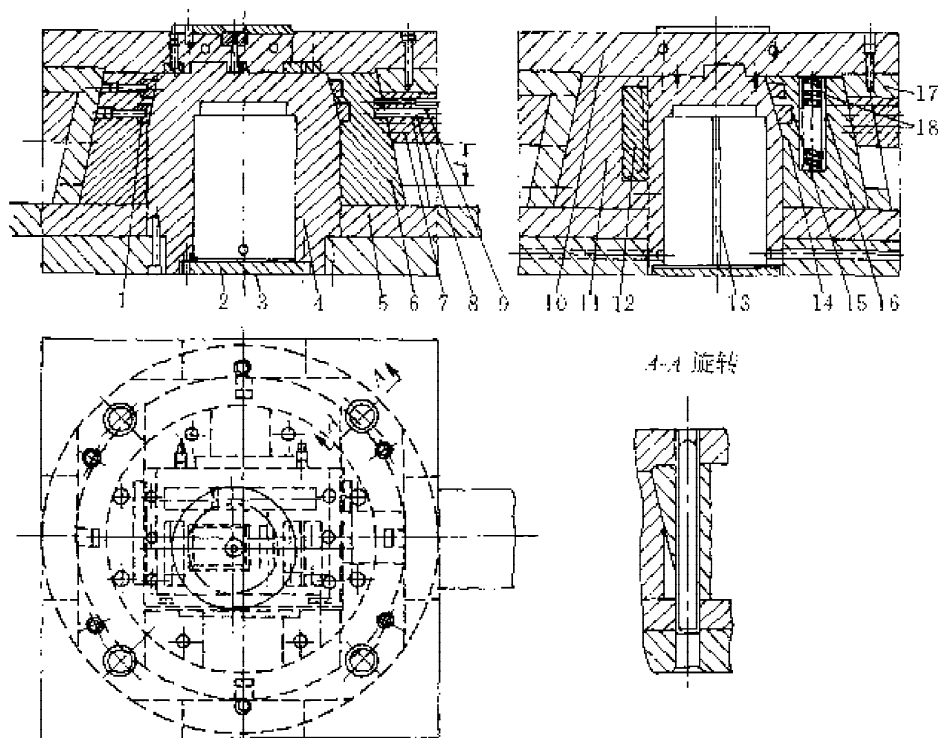


图 1-4-33 电视机壳体注塑模具示意图

1, 12, 15—镶块; 2—盲板; 3—封水橡胶片; 4, 14—型芯; 5—推板; 6, 11—瓣合模块; 7—滑块;
8—定位销; 9—螺钉; 10—定模板; 13—隔水片; 16—弹簧护套; 17—定模锥套; 18—弹簧

随着对电视机外观要求的日益提高,表面装饰日显重要。目前表面装饰的方法主要是塑料喷涂。用于塑料喷涂的漆要求具有优良的附着力、耐磨性、耐热性、耐湿热性和足够的硬度。主要品种有乙烯基漆、改性乙烯基漆、聚氨酯漆、环氧树脂漆和丙烯酸酯类漆等。用于 ABS 和 HIPS 的喷涂漆绝大多数为丙烯酸酯类涂料,是在甲基丙烯酸酯和苯乙烯共聚树脂的基料中加入助剂和有机溶剂等配制而制得的。

(五) 电风扇

电风扇的发展趋势是造型美观和轻量化。电风扇中塑料零部件的使用日益增多,一般约占电风扇总零部件的 70%,主要有叶片、叶片罩、壳体罩及旋钮板等。使用的塑料品种主要是 ABS、AS、增强 PPS 等工程塑料。不透明的叶片一般用 ABS 制造,透明的用 AS 制造。

电风扇的叶片有三片和六片的,但以三片为主。电风扇叶片为曲面,对其尺寸及壁厚的均匀性要求较高,而对粗糙度要求不高。图 1-4-34 示出了电风扇叶片注射成型模具示意图。成型部件采用了上下镶拼的组合形式,脱模动作由小顶杆中心顶出完成。视实际需要,可在成型镶圈 4 的空位处增设 3~5 根顶杆。开模时,随着下型腔镶块 3 与上型腔镶块 2 的脱离,顶杆 5 将制品从成型镶圈 4 中顶出。由于制品成型面积较大,故采用垫块 8,以防止注射时动模板 7 受力过大而变形。另外,制品对模具的冷却要求也较高,设计时应充分予以注意。

(六) 吸尘器

吸尘器除电机外几乎全采用塑料材料制造。吸尘器对材料的要求是刚性好、耐冲击、耐刮痕以及具有良好的染色性和光泽性,另外,还要求材料有良好的防静电性以避免吸灰。吸尘器的壳体大多用 ABS 制造,而吸尘器的内部构件,如电机支架、轮子、附件等一般采用工

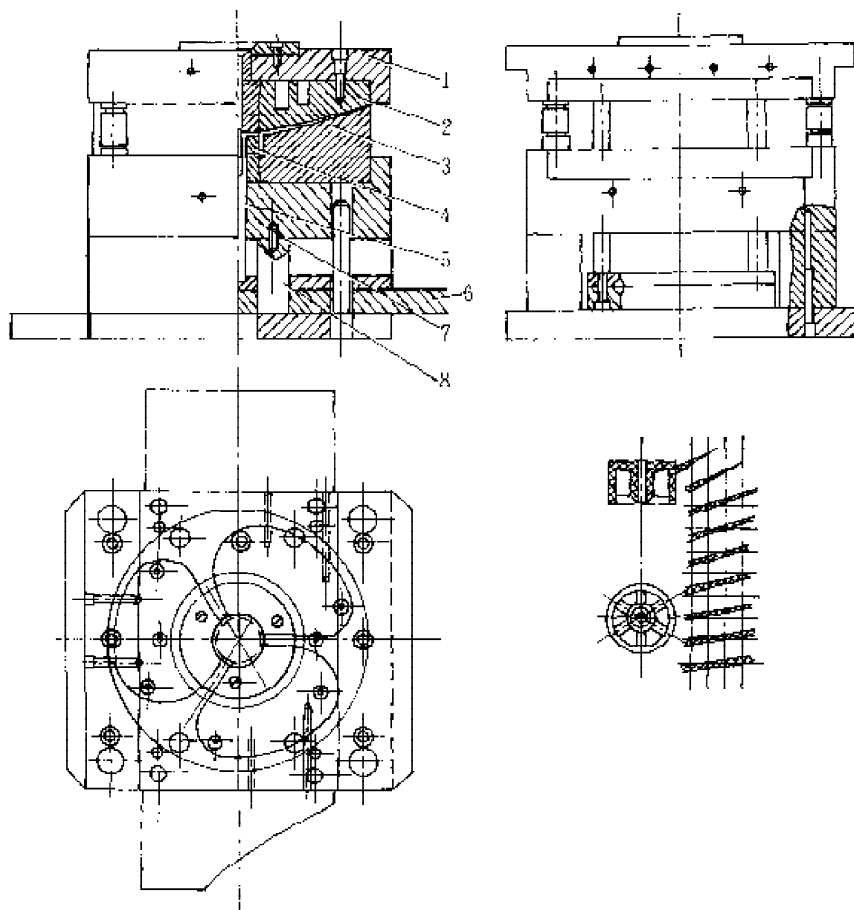


图 1-4-34 电风扇叶片成型模具示意图

1—定模板；2—上型腔镶块；3—下型腔镶块；4—成型镶圈；5—顶杆；6—顶出板；7—动模板；8—垫块

程塑料聚酰胺或通用塑料增强聚丙烯制造。轮子凹槽部分的设计要求防止应力集中和有足够的强度。

(七) 电熨斗

对用作电熨斗零部件的塑料材料的性能要求主要是耐热性,其次是冲击强度和外观。电熨斗的外壳、把手、水槽底板通常采用增强聚丙烯或 ABS 制造,靠近加热区的零部件要求耐热性高,可采用聚碳酸酯、聚酰胺或增强 PBT 制造。

(八) 微波炉和电饭煲

用作微波炉和电饭煲的工程塑料件主要是外部零部件,有外壳、底座、盖、把手、电器开关和旋钮等,要求材料有良好的耐热性、阻燃性、刚性和尺寸稳定性。外壳通常采用 ABS,把手、电器开关和旋钮等可用增强 PBT、ABS 等。它们均可采用注射成型制造。

微波炉内部零部件对耐热性有严格要求,通常连续使用温度要求达 200°C 以上,只有少数几种特种工程塑料,如玻璃纤维增强聚醚砜、玻璃纤维增强 PPS、聚醚醚酮和液晶聚合物能满足要求。微波炉内用容器要经受 $2\,450\text{MHz}$ 微波辐射以及零度以下至 250°C 范围的温度变化,所以需用特殊材料。目前大多采用耐热玻璃或陶瓷,现正开发采用全芳香族液晶聚合物制的容器。

(九) 收音机、录音机和录像机

1. 机框和芯轴

用于制造收音机、录音机、录像机的机框和芯轴的材料应具有良好的耐冲击性、尺寸稳

定性、耐化学药品性、表面光泽性、易涂装性和着色性。通常大多采用 ABS/PVC 合金或 ABS、HIPS 制造。

机框和芯轴通常采用注射成型法制造。图 1-4-35 示出了收音机框注射成型模具示意图。制品侧壁带有侧孔,下口两边内壁有凹槽,底面还有五个圆形凸台,内嵌铜螺纹嵌件。制品外观粗糙度要求高,与其它零件的配合尺寸精度要求也比较高。模具采用推板弹力抽芯,滑块顶动结构。开模时,弹簧 10 首先将推板 15 与型芯座板 16 分离,距离靠限位螺钉 11 限位。滑销型芯 7 受弹簧 6 作用抽离制品,同时,斜滑块 12 受制品带动,在滑块座 13 的燕尾槽内沿斜度向内侧抽离制品,最后,制品由顶杆 18 顶出。铜嵌件 17 可直接插入顶杆 18 的顶端,但应注意两者的配合不可过松或过紧,以防止溢料或嵌件安放不便,或取出制品时发生困难。顶出高度 H 应大于推板 15 弹开距离与制品高度之和。

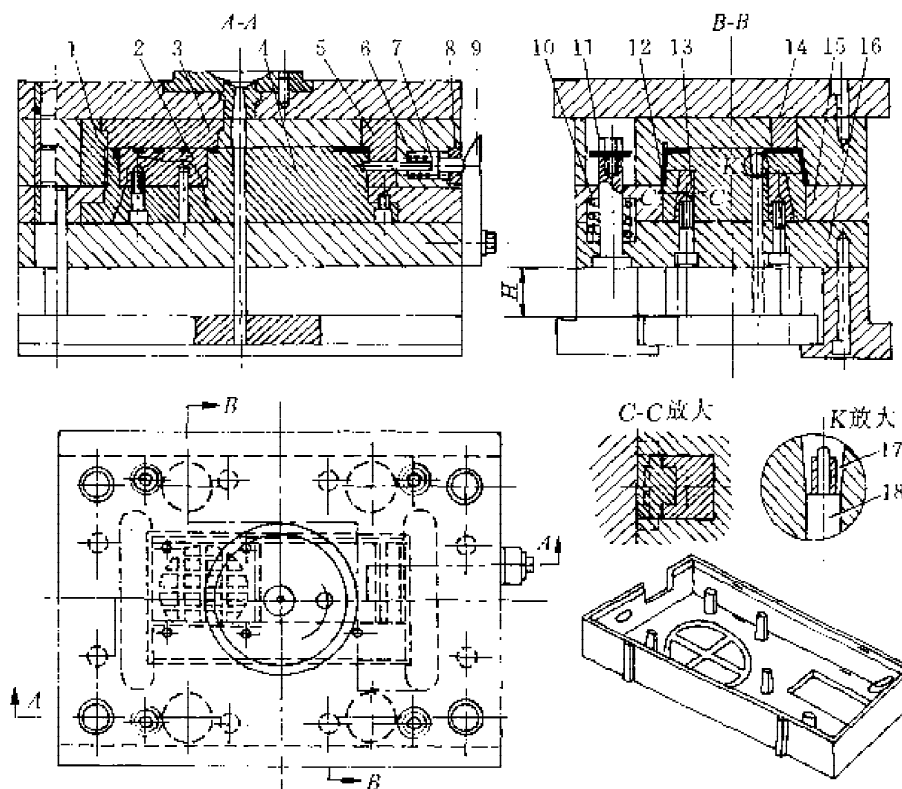


图 1-4-35 收音机框注塑模具示意图

1, 3, 5, 14—型腔镶块; 2—型芯镶块; 4—型芯; 6, 10—弹簧; 7—滑销型芯; 8—轴套圈; 9—闸板;
11—限位螺钉; 12—斜滑块; 13—滑块座; 15—推板; 16—型芯座板; 17—铜螺纹嵌件; 18—顶杆

2. 底盘和磁带盘

录像机底盘要求材料具有高刚性、高机械强度、优良的耐磨性、尺寸稳定性和成型性,通常可采用玻璃纤维增强 PPS 或聚甲醛制造。

录音机的录音磁带盘和录像机的录像带盘要求材料耐磨性好,刚性高,尺寸稳定性和成型性优良,通常采用聚甲醛制造。图 1-4-36 示出了录音磁带盘的注塑模具示意图。制品由两个半片塑料件叠合在一起组成,因此其配合部位要求有良好的精度。为便于模具加工,该部位由双层套圈 2、4 组成,型芯 3 与主流道衬套 8 的分型面表面淬硬。主流道衬套下口设有三条进料浇道。开模后,制品由小顶杆顶出。字母镶嵌 5 为两块可调换的活动件,用作制

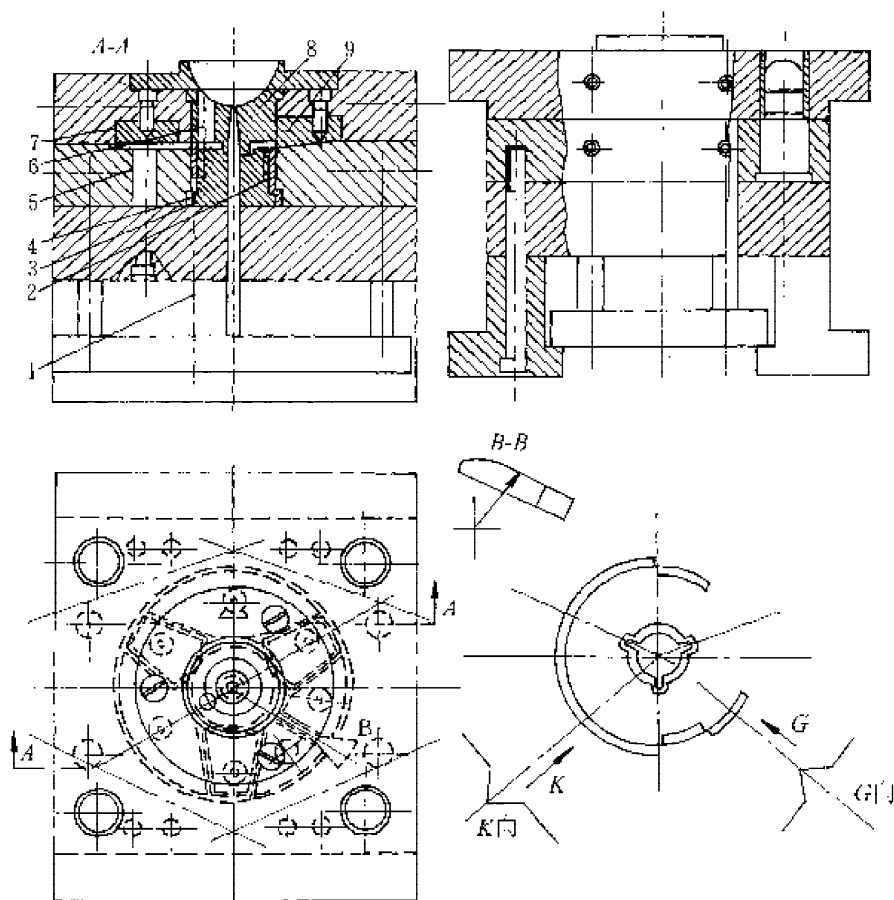


图 1-4-36 录音磁带盘注塑模具示意图

1—顶杆；2—内套圈；3—型芯；4—外套圈；5—字母镶块；6—镶芯；7,9—镶块；8—主流道衬套
K 向对应制品上的三角凹槽；G 向对应制品上凸起的三角

品上 A、B 两面的标记。

3. 内装零件

收音机、录音机和录像机中的轴承、齿轮、轴套、飞轮等内装零件，要求材料有优良的耐磨性、耐疲劳性、耐冲击性和尺寸稳定性，通常选用聚甲醛或聚碳酸酯制造。

(十) 组合音响设备与照明器具

组合音响设备中采用工程塑料的零部件有机箱、罩壳装饰件、插头和光盘等。机箱和罩壳要求材料有高的刚性、耐冲击性、尺寸稳定性和耐擦伤性，常采用 ABS 或 AS 制造。装饰件要求材料有优良的表面粗糙度以及刚性和尺寸稳定性，常采用 ABS、AS 或聚碳酸酯制造。插头要求材料耐冲击，刚性高，尺寸稳定性好，电绝缘性优良，常采用聚酰胺或聚砒制造。近年来，以聚碳酸酯为原料制造光盘发展迅速，广泛用于制造 CD、VCD、DVD 光盘，制造光盘的专用料具有纯度高、透明度高、熔体流动性好等特点，制得的光盘具有优良的透明性、耐磨性和尺寸稳定性。

照明器具品种很多，使用的塑料也较多，主要零部件有支座、灯罩、透镜等。支座和灯罩要求材料有良好的耐热性、刚性、耐冲击性和尺寸稳定性，通常可选用通用塑料聚丙烯或工程塑料 ABS 制造。透镜要求材料有优良的透明性、刚性、耐热性和尺寸稳定性，通常采用 AS 或聚碳酸酯制造。

第五节 在化工上的应用

工程塑料作为一种新型的化工结构材料,在化工设备及化工管路上得到了广泛的应用,具有极高的使用价值。据统计,1t 化工防腐蚀用的通用塑料,可代替 5~7t 钢材;1t 工程塑料,可节省 4~5t 有色金属。特别是在化工设备及化工管路的防腐蚀方面,工程塑料更是起着其它材料无法替代的独特作用。

一、工程塑料的耐腐蚀性

大多数工程塑料具有良好的化学稳定性,特别是在耐酸、碱、盐等腐蚀介质的稳定性方面,比金属、陶瓷等材料要优越得多。

采用工程塑料制造化工设备、化工管路、泵体、阀门等,不仅因为它们具有优良的耐腐蚀性,良好的成型加工性,而且因为与不锈钢、铅等贵重的防腐蚀金属相比,成本低许多倍,经济效益显著。

不同工程塑料的化学结构的组成差别很大,因此耐腐蚀性也表现出很大的差异。分析工程塑料耐腐蚀性的优劣,可以归纳成以下几点:

1) 在工程塑料分子中如存在酯键、酰胺键或醚键,则在酸或碱作用下容易发生水解。例如,聚酯易发生酸性和碱性水解,以及在高温下的纯水解;聚酰胺易溶于强酸而被破坏;聚甲醛在酸的作用下会加速裂解。聚苯醚的分子结构中虽含有醚键,但其两侧有两个非极性甲基基团,起着空间屏蔽作用,因而耐水性优良,并对酸、碱、盐溶液和洗涤剂等以水为介质的化学药品具有优良的抵抗性能。

2) 当工程塑料的分子极性和介质极性相似或相近时,容易受到腐蚀,反之,则不易腐蚀。例如,分子中含有酰胺键的极性工程塑料聚酰胺不耐酸、碱、盐类水溶液,但能耐汽油、四氯化碳等非极性溶剂。

3) 聚四氟乙烯的分子结构中,易受化学侵蚀的碳链骨架被一层键合力很强的氟原子严密地包围起来,使聚合物主链几乎不受任何化学物质的侵蚀,具有极为优异的化学稳定性。

4) 工程塑料除了受酸、碱、盐和水等电解质的侵蚀作用外,硝酸的硝化,浓硫酸的磺化及其氧化也是另一类重要的化学侵蚀作用。硝化、磺化易在大分子的苯环上进行,硝酸和发烟硫酸都是强氧化剂,会使大分子发生氧化反应,但由于氧化剂氧化性的强弱和工程塑料不同的抗氧化性,各种工程塑料所表现出的被侵蚀情况也不尽相同。

评定各种塑料耐腐蚀性的标准,目前各国尚未统一。表 1-4-51 所列的是目前国内较为通用的参考标准。

表 1-4-51 塑料耐腐蚀性评定参考标准

级 别	增重, %	失重, %	强度下降, %	尺寸变化率, %
一级 (耐腐蚀)	<3	<0.5	<15	<1
二级 (尚耐腐蚀)	3~8	0.5~3.0	15~30	1~3
三级 (不耐腐蚀)	>8	>3.0	>30	>3

各种工程塑料的耐腐蚀性数据的测定,应通过一系列试验来进行,目前主要的试验方法有以下一些:

1) 静态浸泡试验 是使工程塑料试样在一定温度下,在规定的介质中长时间浸泡,观察试样的外观、质量及力学性能的变化情况。浸泡试验的时间一般不少于 1 000h。

2) 动态耐介质试验 是在静态浸泡试验中加入动态条件进行试验。它又可分为以下一些试验:

- 1) 环境应力开裂试验;
- 2) 恒应力蠕变试验;
- 3) 恒应变应力松弛试验 (化学应力松弛试验);
- 4) 交变应力疲劳试验 (化学疲劳试验);
- 5) 温度梯度条件下耐介质试验;
- 6) 流动条件下耐介质试验;
- 7) 各种弯曲夹具试验。

在所有的塑料中,聚四氟乙烯是耐腐蚀性最好的品种。除了高温下的熔融碱金属、元素氟外,几乎所有的介质都不能明显地腐蚀它,包括强氧化性的王水在内,故有“塑料王”之称。

其它氟塑料也有类似的耐腐蚀性。聚全氟乙丙烯与聚四氟乙烯有几乎相同的耐腐蚀性,而且更便于使用;聚三氟氯乙烯的耐腐蚀性稍低于聚四氟乙烯,它会被醋酸乙酯、乙醚、某些芳烃和氯化烃溶解或溶胀,对发烟硫酸、浓硝酸、液氯等的耐腐蚀性也稍差,但对其它大多数氧化性介质和各种浓度的酸、碱、盐在不太高的温度下都是稳定的。

氯化聚醚的耐腐蚀性仅次于氟塑料,它对绝大多数无机酸、碱、盐溶液,在相当宽的温度范围内具有优良的耐腐蚀性,但浓硫酸、浓硝酸、液氯等强氧化剂在室温下会逐渐对它产生腐蚀。

PPS 具有优良的高温耐腐蚀性,它的极高的结晶性,使其除了一些强氧化性酸能侵蚀表面外,不受其它无机酸、碱、盐的任何影响,即使在高温下也显示了优良的耐腐蚀性。它在 175℃ 以下没有任何已知的溶剂能够溶解它。但其不足之处是能被氧化性酸脆化,以及被三氯乙烯、氯苯引发产生应力开裂。

聚苯醚具有优异的耐水性,对于以水为介质的酸、碱、盐溶液及洗涤剂,不论是在室温下还是在受热情况下,一般均不受影响。但是在 85℃ 浓硫酸中,在 12MPa 载荷下会产生应力开裂。卤代脂肪烃、芳香烃能使它溶胀或溶解。酮类、酯类及矿物油在受力情况下也会使其产生应力开裂。

聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯、PBT、PET、聚砜和聚酰亚胺等缩聚型工程塑料,由于分子结构上的原因,在各自不同的情况下具有一定的耐腐蚀性。聚酰胺和聚甲醛具有良好的耐碱性和耐油性,但耐酸性较差。聚碳酸酯对酸性及油类介质稳定,但不耐碱,溶于氯代烃,长期浸入沸水中易引起水解和开裂。PBT 和 PET 对有机溶剂有较强的抵抗能力,但不耐强酸、强碱及酚类等化学药品,在 50℃ 以下的温水中,其性能基本不受影响,但在热水中,其机械强度将明显下降。与聚酯类工程塑料相比,聚砜则具有较好的耐酸碱性和耐水解能力。聚酰亚胺具有优良的耐有机溶剂和耐酸性,但耐强碱性和耐沸水性较差。

ABS 由于分子结构中有腈基的存在,使它几乎不受稀酸、稀碱及盐类影响,但不耐酮、醛、酯类和氯代烃等有机溶剂。

表 1-4-52 列举了一些工程塑料的耐腐蚀情况。

表 1-4-52 一些工程塑料的耐腐蚀性

介质名称	氯化聚醚	聚苯硫醚	聚三氟氯乙烯	聚全氟乙丙烯	聚苯醚
硝酸	◎ (<10%, 100℃) × (<10%, 120℃) ◎ (<70%, 25℃) × 100%, 25℃)	○ 80%, 65℃ × 80%, 90℃ × >35%, 25℃)	◎ 60%, 175℃) ◎ 60%, 沸) ○ (<98%, 100℃) × 98%, 175℃)	◎ 100%, 200℃)	◎ 10%, 60℃) ◎ 20%, 20℃) ◎ 50%, 20℃) × 50%, 60℃)
硫酸	◎ (<80%, 120℃) ◎ 90%, 66℃) ◎ 95%, 25℃) × >98%, 25℃)	◎ 40%, 90℃) ○ 40%, 沸) ○ 60%, 沸) × 80%, 沸)	◎ 98%, 175℃) ◎ 100%, 100℃)	◎ 100%, 200℃)	◎ (<30%, 60℃) ◎ >30%, 20℃)
盐酸	◎ 68%, 120℃)	○ 沸)	◎ 沸)	◎ 沸)	◎ 60℃)
磷酸	◎ (<90%, 120℃)	◎ 沸)	◎ 175℃)	◎ 200℃)	◎ 60℃)
氢氟酸	◎ (<48%, 120℃) ◎ 60%, 100℃) × >70%, 25℃)	◎ 90℃)	◎ 60%, 25℃) × 60%, 175℃)	◎ 200℃)	◎ (<10%, 60℃) ○ 50%, 20℃)
硼酸	◎ 120℃)		◎ 沸)	◎ 200℃)	◎ 60℃)
高氯酸	◎ 10%, 66℃) × 70%, 25℃)	◎ 40℃)	◎ 100℃)	◎ 200℃)	
次氯酸	◎ 66℃)	× 20℃)	◎ 100℃)	◎ 200℃)	
氯磺酸	× 25℃)	× 20℃)	◎ 浓, 25℃) × 浓, 175℃)	◎ 200℃)	
王水	◎ 80℃)	× 20℃)	○ 100℃)	◎ 200℃)	× 20℃)
氟硅酸	◎ 120℃)		◎ 100℃)	◎ 200℃)	○ 20℃)
甲酸	◎ 120℃)	◎ 沸)	◎ 60℃) ○ 沸)	◎ 200℃)	◎ 60℃)
醋酸	◎ 80%, 120℃) ◎ 冰, 120℃)	◎ (<98%, 沸) ◎ 冰, 沸)	◎ 90℃) ◎ 沸) ○ 175℃) ◎ 冰, 90℃)	◎ 200℃)	◎ (<80%, 60℃) × 冰, 20℃)
醋酐	◎ 66℃)	◎ 90℃)	◎ 60℃)	◎ 200℃)	× 20℃)
脂肪酸	◎ 120℃)			◎ 65℃)	◎ 60℃)
油酸	◎ 120℃)			◎ 200℃)	◎ 60℃)
乳酸	◎ (<80%, 120℃)	◎ 90℃)	◎ 90℃)	◎ 200℃)	◎ 60℃)
氯乙酸	◎ 100℃)		◎ 90℃) ○ 140℃)	◎ 200℃)	
草酸	◎ 100℃)	◎ 80%, 100℃)	◎ 175℃)	◎ 200℃)	◎ 60℃)

(续表)

介质名称	氯化聚醚	聚苯硫醚	聚三氟氯乙烯	聚全氟乙丙烯	聚苯醚
酒石酸	◎ (120℃)		◎ (60℃)	◎ (200℃)	◎ (60℃)
柠檬酸	◎ (120℃)		◎ (90℃)	◎ (200℃)	◎ (60℃)
苯甲酸	◎ (120℃)		◎ (90℃)	◎ (200℃)	○ (20℃)
苯酚	◎ (100℃)	◎ (80%, 90℃) × (80%, 101℃)	◎ (25℃)	◎ (200℃)	× (20℃)
氢氧化钠	◎ (≤73%, 120℃)	◎ (≤70%, 沸)	◎ (60%, 175℃)	◎ (200℃)	◎ (≤50%, 60℃) × (≥50%, 20℃)
氢氧化钾	◎ (120℃)	◎ (≤60%, 沸)	◎ (60%, 沸)	◎ (200℃)	◎ (≤50%, 60℃)
氢氧化铵	◎ (120℃)	◎ 浓, 40℃)	◎ (100℃)	◎ (200℃)	◎ 浓, 60℃)
硫酸铵	◎ (120℃)		◎ (175℃)	◎ (200℃)	◎ (60℃)
硝酸铵	◎ (120℃)		◎ (70℃)	◎ (200℃)	◎ (60℃)
氯化铵	◎ (120℃)	◎ (25%, 40℃)	◎ (175℃)	◎ (200℃)	◎ (60℃)
硫酸钠	◎ (120℃)	◎ (80%, 150℃)	◎ (175℃)	◎ (200℃)	◎ (60℃)
硝酸钠	◎ (120℃)	◎ (80%, 150℃)		◎ (200℃)	◎ (60℃)
氯化钠	◎ (120℃)	◎ (150℃)	◎ (175℃)	◎ (200℃)	◎ (60℃)
碳酸氢钠	◎ (120℃)		◎ (175℃)	◎ (200℃)	◎ (60℃)
醋酸钠	◎ (120℃)	◎ (沸)	◎ (100℃)	◎ (200℃)	
重铬酸钾	◎ (120℃)	◎ (80%, 100℃)	◎ (175℃)	◎ (200℃)	◎ (60℃)
高锰酸钾	◎ (10%, 80℃)	◎ (10%, 90℃)	◎ (100℃)	◎ (10%, 200℃)	◎ (60℃)
氯气	◎ (80℃)	× (20℃)	× (60℃)	◎ (200℃)	○ (20℃)
液氯	× (25℃)	× (20℃)	◎ (100℃)	◎ (200℃)	
溴水	× (≥10%, 25℃)	× (25℃)	◎ (100℃)	◎ (200℃)	◎ (60℃)
过氧化氢	◎ (≤90%, 66℃)	○ (80%, 150℃)	◎ (80%, 60℃) ◎ (90%, 25℃)	◎ (200℃)	◎ (≤30%, 20℃) × (≥50%, 20℃)
硫化氢	◎ (100℃)	◎ (150℃)	◎ (175℃)		◎ (60℃)
甲醇	◎ (100℃)	◎ (60℃)	◎ (120℃)	◎ (200℃)	◎ (60℃)
乙醇	◎ (100℃)	◎ (150℃)	◎ (沸)	◎ (200℃)	◎ (20℃)
丁醇	◎ (100℃)	◎ (117℃)	◎ (沸)	◎ (200℃)	
乙二醇	◎ (100℃)	◎ (90℃)	◎ (175℃)	◎ (200℃)	◎ (60℃)
甲醛	◎ (≤37%, 120℃)	◎ (90℃)	◎ (90℃)	◎ (200℃)	◎ (40%, 60℃)
丙酮	○ (60℃)	◎ (90℃)	○ (沸)	◎ (200℃)	○ (20℃)
环己酮	◎ (25℃)	◎ (90℃)	○ (60℃)	◎ (200℃)	
醋酸乙酯	○ (66℃)	◎ (90℃)	○ (25℃)	◎ (200℃)	× (20℃)
醋酸丁酯	◎ (66℃)	◎ (90℃)	○ (90℃)	◎ (200℃)	× (20℃)
苯	○ (66℃)	◎ (90℃)	◎ (80℃)	◎ (200℃)	× (20℃)
甲苯	○ (25℃)	○ (110℃)	○ (100℃)	◎ (200℃)	× (20℃)
二甲苯	◎ (66℃)	◎ (90℃)	○ (25℃)	◎ (200℃)	× (20℃)

(续表)

介质名称	氯化聚醚	聚苯硫醚	聚三氟氯乙烯	聚全氟乙丙烯	聚苯醚
汽油	◎ 66℃) ○ 100℃)	◎ 150℃)	◎ 25℃) ○ 100℃)	◎ 200℃)	◎ 60℃)
煤油	◎ 120℃)	◎ 90℃)	◎ 100℃)	◎ 200℃)	
石脑油	◎ 120℃)	◎ 90℃)	◎ 100℃)	◎ 200℃)	
润滑油	◎ 120℃)		◎ 80℃)	◎ 200℃)	
机油	◎ 120℃)		◎ 100℃)	◎ 200℃)	
三氯甲烷	○ 66℃)	○ 90℃)	○ 60℃)	◎ 200℃)	× 20℃)
四氯化碳	◎ 120℃)	○ 40℃)	○ 90℃)	◎ 200℃)	× 20℃)
二氯二氟甲烷	◎ 100℃)		○ 25℃)	◎ 200℃)	◎ 60℃)
四氢呋喃	○ 25℃)	○ 90℃)	○ 60℃)	◎ 200℃)	× 20℃)
吡啶	◎ 120℃)		○ 115℃)	◎ 200℃)	

注] ◎:优;○:可;×:差;浓:浓溶液;沸:沸腾。

化工设备制造中对耐腐蚀工程塑料的选用,不仅应当考虑工程塑料自身的耐腐蚀性,而且还应当根据实际使用条件加以综合考虑。考虑的主要因素包括:

- 1) 介质的种类、组成、浓度及其状态;
- 2) 介质温度,设备、管道及环境的温度及其分布、变化情况;
- 3) 工程塑料化工设备在制造、安装过程中残留的内应力,以及使用过程中其承受的载荷的种类、大小、时间、交变周期;
- 4) 使用过程中有无发生燃烧的条件及发生静电的可能;
- 5) 结构的安全性、强度、使用寿命及生产成本等。

二、在化工设备上的应用

(一) 热交换器

热交换器是化工生产中的重要设备。金属热交换器在防腐蚀方面不能满足要求,即使采用不锈钢、钛、锆等贵金属也无法取得良好的效果。工程塑料热交换器不仅解决了防腐蚀问题,而且大大降低了成本,简化了制造工艺,因此发展很快。

用于制造热交换器的工程塑料主要是聚四氟乙烯、聚全氟乙丙烯等氟塑料。

聚四氟乙烯热交换器体积小,重量轻,具有优异的耐腐蚀和耐污染性,可在 150℃ 温度下长期使用。尽管聚四氟乙烯的导热不如金属,但因其管壁薄,管径小,换热面积大,所以仍具有优良的传热能力。

聚四氟乙烯热交换器有波纹板式、管壳式、浸淋式、管束式等多种类型。表 1-4-53 示出了用于氯油塔顶的聚四氟乙烯热交换器的结构和工艺参数。

表 1-4-53 用于氯油塔顶的聚四氟乙烯热交换器的结构和工艺参数

结构参数	换热面积, m ²	4			
	换热管数, 根	40			
	换热量, kJ/h	67 407	62 802	101 739	77 456
工艺参数	总传热系数, kJ/(m ² ·h·K)	909	917	1 126	1 281
	介质氯乙醇温度, °C	50	55	55	45
	冷却介质流量, kg/min	14.4	12.5	35.2	49.1
	冷却介质流速, m/s	0.3	0.3	0.7	1.0
	进口温度, °C	20	26	27	26
	出口温度, °C	39	46	39	32

聚全氟乙丙烯也被用于制造热交换器,其制造工艺优于聚四氟乙烯。表 1-4-54 示出了以含氟盐酸蒸气为介质的聚全氟乙丙烯热交换器的结构和工艺参数。

表 1-4-54 以含氟盐酸蒸气为介质的聚全氟乙丙烯热交换器的结构和工艺参数

结构参数	换热面积, m ²	2.8
	换热管数, 根	139
	换热管径, mm	φ5.5×0.5
	类型	管壳式
工艺参数	介质温度, °C	95
	介质压力	负压
	冷却水温度, °C	32
	冷却水压力, MPa	0.2

(二) 化工设备衬里

工程塑料在化工设备上用作衬里,使金属设备与工程塑料衬里成为复合结构,既具有金属的高强度、高刚性,又具有工程塑料优良的耐腐蚀性。用作化工设备衬里的工程塑料主要有聚四氟乙烯、氯化聚醚和超高分子量聚乙烯等。

1. 聚四氟乙烯衬里

聚四氟乙烯常用薄板空铺法(松套法)制作衬里。这种薄板空铺法衬里的制作关键是板与板、管与板之间的焊接。聚四氟乙烯焊接方法有如下三种:

①) 用聚全氟乙丙烯作过渡层进行热焊接,方法简便,但强度稍有下降。

②) 将两块聚四氟乙烯板材搭接起来,放在专用的焊接机上加热至 360~380°C,使之呈透明状态,并加压 10min,冷却即可。

③) 采用专用的进口聚四氟乙烯焊条焊接。

圆筒形设备的衬里可用聚四氟乙烯薄板预制成衬里套筒,再将衬里套筒两端用胎具翻边,并用法兰与设备连接成整体。

2. 氯化聚醚衬里

因氯化聚醚可用粘接剂牢固地粘贴在钢壳上,所以氯化聚醚衬里一般用粘贴法。粘贴方法是将厚 2~3mm 的氯化聚醚薄板剪裁后,用氯丁胶加配三异氰酸酯三苯基甲烷制成的粘接剂粘贴到金属表面,作为衬里层。

为防止板材拼接处的胶粘剂被介质腐蚀,接缝处要进行焊接,或用氯化聚醚板条覆盖接缝,再将板条焊在衬板上。

3. 超高分子量聚乙烯衬里

超高分子量聚乙烯耐腐蚀性优良,可用于制作化工设备的护面层和衬里,如开式罐、内

衬罐、冷却塔体、板式容器、水槽等。

由于超高分子量聚乙烯为非极性材料,难于用粘贴法衬里,一般采用松套法或螺栓压条固定法制作衬里。

三、在化工管路系统的应用

在化工生产中,管路占有重要的地位。由管材、管配件、阀门和泵等组成的化工管路系统,不仅规模繁多,而且数量很大。采用工程塑料替代金属、陶瓷、水泥等材料制作管材、阀门和泵等,不仅安全可靠、性能优良,而且成本较低,施工方便,具有很高的使用价值和经济效益。目前,常用作化工管路系统的工程塑料主要有氟塑料、聚酰胺、氯化聚醚、聚苯硫醚和ABS等。

(一) 管材及管配件

1. 氟塑料管及管配件

氟塑料具有极其优异的耐腐蚀性。其中,聚四氟乙烯既耐腐蚀又耐高温,并具有低摩擦因数和不粘性,但其管材的成型加工较为困难,目前主要采用推压法和挤压法制造。另外,由于聚四氟乙烯的机械强度和耐压性不高,线膨胀系数较大,而且其机械强度随温度升高而降低,易于变形,因此除纯聚四氟乙烯管以外,还普遍采用钢管内衬聚四氟乙烯及用玻璃钢增强的工艺来制造聚四氟乙烯管及管配件。钢管内衬聚四氟乙烯管具有优良的耐腐蚀性和良好的刚性,并能耐冲击、振动和扭曲,其使用温度范围为 $-80\sim 160^{\circ}\text{C}$,使用压力范围为 $53\sim 1570\text{kPa}$ 。玻璃钢增强聚四氟乙烯管具有玻璃钢和聚四氟乙烯两者的优点,并具有质量轻、耐内外介质腐蚀、耐真空、施工方便等特点,其使用温度可达 100°C ,真空度可达 100kPa 。

除聚四氟乙烯以外,聚三氟氯乙烯、聚全氟乙丙烯及聚偏氟乙烯等也可用于制造各种规格的管材。

表 1-4-55 和 1-4-56 分别列举了聚四氟乙烯管和钢管内衬聚四氟乙烯管的规格与尺寸。

表 1-4-55 聚四氟乙烯管规格与尺寸

(单位:mm)

内 径	内径公差	壁 厚	壁厚公差	长 度
0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0	± 0.1	0.2 0.3	± 0.05 ± 0.08	100~2 000
1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8	± 0.2	0.2 0.3 0.4	± 0.05 ± 0.08 ± 0.10	100~2 000
2.0, 2.2, 2.4, 2.5, 2.6, 2.8, 3.0, 3.2, 3.4, 3.5, 3.6, 3.8, 4.0	± 0.2	0.2 0.3 0.4 0.5 1.0	± 0.05 ± 0.08 ± 0.10 ± 0.10 ± 0.20	100~2 000
5, 6, 7	± 0.5	0.5 1.0 1.5 2.0	± 0.10 ± 0.20 ± 0.30 ± 0.30	100~1 000 100~2 000 100~1 000

续表)

内 径	内径公差	壁 厚	壁厚公差	长 度
8, 9, 10	± 0.5	1.0	± 0.20	100~1 000
		1.5	± 0.30	
		2.0	± 0.30	
11, 12, 13	± 0.5	1.0	± 0.20	100~2 000
		1.5	± 0.30	
14, 15		2.0	± 0.30	
16, 17, 18, 19, 20, 25, 29, 30	± 0.1	1.5, 2.0	± 0.20	100~500
		2.5, 3.0	± 0.30	

表 1-4-56 钢管内衬聚四氟乙烯管的规格与尺寸 (单位:mm)

直 径	内衬管壁厚	长 度	内管翻边外径
25	1.5	1 200	52
50	2.0	1 200	85
75	3.5	1 200	125
100	3.5	1 200	150

图 1-4-37~1-4-39 和表 1-4-57~1-4-59 分别示出了聚四氟乙烯内衬管配件的结构及它们的规格与尺寸。

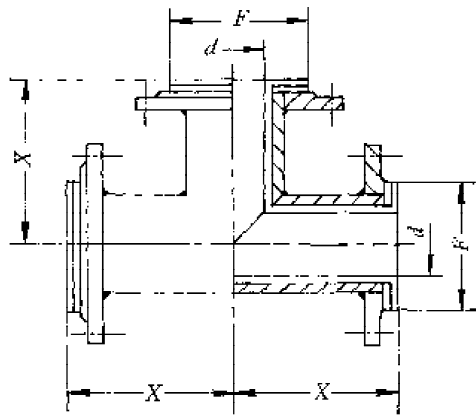


图 1-4-37 聚四氟乙烯三通

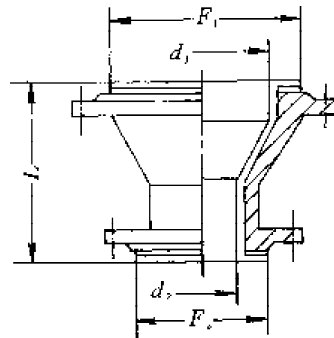
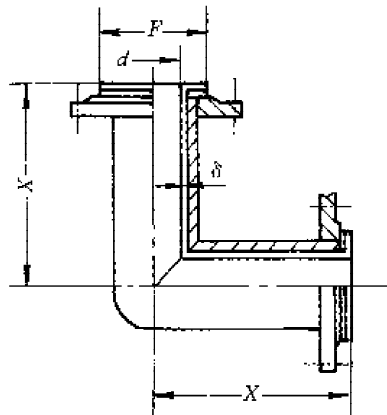
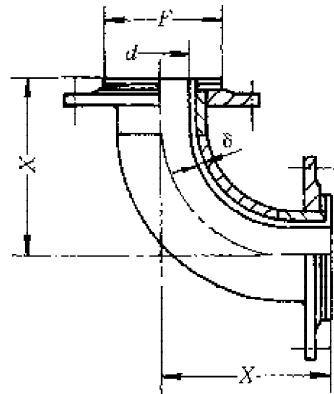


图 1-4-38 聚四氟乙烯异径接管



(a)



(b)

图 1-4-39 聚四氟乙烯弯头

表 1-4-57 聚四氟乙烯三通规格与尺寸

(单位:mm)

公称直径 D_g		内衬内径 d	内衬壁厚 δ	内衬翻边外径 F	肘长 X
A	B				
25	25.4	28 ± 1	1.2	≥ 52	104 ± 1
50	50.8	44 ± 1	1.5	≥ 85	119 ± 1
80	76.2	74 ± 1	2.0	≥ 120	144 ± 1
100	101.6	94 ± 1	2.5	≥ 150	154 ± 1

表 1-4-58 聚四氟乙烯弯头规格与尺寸

(单位:mm)

公称直径 D_g		内衬内径 d		内衬壁厚 δ		内衬翻边外径 F		肘长 X	
A	B	I 型	II 型	I 型	II 型	I 型	II 型	I 型	II 型
25	25.4		23 ± 1		1.5		≥ 45		93 ± 1
50	50.8	44 ± 1	44 ± 1	1.5	1.5	≥ 85	≥ 85	131 ± 1	119 ± 1
80	76.2	74 ± 1	74 ± 1	2.0	2.0	≥ 120	≥ 120	183 ± 1	159 ± 1
100	101.6	94 ± 1	94 ± 1	2.5	2.5	≥ 150	≥ 150	183 ± 1	199 ± 1

表 1-4-59 聚四氟乙烯异径接管规格与尺寸

(单位:mm)

公称尺寸 D_g		内衬内径 d		翻边外径 F		内衬厚度 δ	长度 L
A	B	d_1	d_2	F_1	F_2		
80 50	76.2×50.8	74 ± 1	44 ± 1	120	85	1.5	107 ± 1
100 50	101.4×50.8	94 ± 1	44 ± 1	150	85	1.5	107 ± 1
100 80	101.4×76.2	94 ± 1	74 ± 1	150	120	2.0	108 ± 1

2. 聚酰胺管

聚酰胺管的特点是强度高,耐油性好,用于对腐蚀性要求不太高的化工管道的制造。尼龙 1010 管材使用温度为 $-40 \sim 80^{\circ}\text{C}$,爆破压力为 $9.8 \sim 14.7\text{MPa}$ 。铸型尼龙管材广泛用于冶金、石油、化工等领域,最高使用压力为 5MPa 。

(二) 阀门

阀门是化工生产管路的重要部件,它的作用是切断或沟通管路内流体的流动,改变管路阻力,调节流体通过管内的流速。工程塑料阀门的种类主要有旋塞阀、球阀、单向阀、针形阀、截止阀、隔膜阀、衬里阀等。用于制造阀门的工程塑料主要有氟塑料、ABS、氯化聚醚和聚苯硫醚等。

1. 氟塑料阀门

氟塑料阀门主要采用聚四氟乙烯、聚三氟氯乙烯、聚偏氟乙烯或聚全氟乙丙烯制造。

聚四氟乙烯气动薄膜调节阀、直通阀、针形阀和球阀等,由于耐腐蚀性优异,使用温度较高,可在各种强酸、强碱、苯、氯、溴、强氧化剂中长期使用,因而在化工防腐领域应用广泛。

聚三氟氯乙烯衬里球阀、衬里截止阀、衬里隔膜阀等,适用于在各种浓度的硫酸、盐酸、硝酸、氢氟酸、强碱、氧化性介质中长期使用,使用温度范围为 $-50 \sim 130^{\circ}\text{C}$,最高使用压力为 2.5MPa 。

聚偏氟乙烯蝶阀、截止阀、底阀工作温度 $-40\sim 125^{\circ}\text{C}$,适用于输送浓硫酸、浓硝酸、氯、溴及溶剂等。

聚全氟乙丙烯衬里球阀、衬里截止阀、衬里隔膜阀、衬里旋塞阀、止回阀、蝶阀等可耐除高温熔融碱金属、氟元素、三氟化氯以外的各种腐蚀性介质。

2. ABS 阀门

ABS 阀门主要用于输送水、弱酸、弱碱等低腐蚀性流体介质,具有良好的耐油性和密封性。ABS 隔膜阀设计工作压力 980kPa ,使用压力 $294\sim 588\text{kPa}$,工作温度 60°C 以下,耐酸碱度: $\text{pH}2\sim 10$ 。ABS 阀门耐气候性不太好,在室外使用时,应在阀门表面涂以涂料以防老化。

3. 氯化聚醚阀门

氯化聚醚球阀适用于输送 100°C 以下腐蚀性流体介质,其工作压力 $588\sim 980\text{kPa}$,工作温度 $100\sim 120^{\circ}\text{C}$ 。用微晶玻璃作球芯的氯化聚醚球阀,使用寿命可达半年以上。

4. 聚苯硫醚阀门

聚苯硫醚阀门主要用于化工行业输送较高温腐蚀性流体介质和热水,主要品种有聚苯硫醚衬里球阀、衬里隔膜阀、衬里气动隔膜调节阀、玻璃布增强聚苯硫醚阀门等。

(三) 泵

泵是在化工生产管路系统中以能量提高流体的位能使之流动的机械。塑料泵的种类主要有离心泵、喷射泵、旋涡泵、往复泵等,其中又以离心泵为最普遍。塑料泵的制造,中小型多采用全塑料结构,可使用硬质聚氯乙烯、聚丙烯等通用塑料或氟塑料、氯化聚醚、聚苯硫醚等工程塑料;大型泵则主要采用塑料衬里结构,以保证泵体具有足够的强度和刚性。

1. 氟塑料泵

氟塑料泵具有优异的耐腐蚀性,适用于无机酸、碱、盐溶液和绝大多数有机介质的输送,在塑料泵中耐温最高,耐腐蚀性最好。

1) 聚四氟乙烯泵 聚四氟乙烯泵可输送几乎所有的腐蚀性介质。主要品种有:聚四氟乙烯离心泵、聚四氟乙烯内衬离心泵、聚四氟乙烯磁力驱动泵、聚四氟乙烯液下泵等。

2) 聚三氟氯乙烯泵 聚三氟氯乙烯泵的主要品种为离心泵,它耐腐蚀性优良,适用于温度不高于 100°C 的无机酸、碱、盐溶液的输送,特别是在输送氢氟酸介质方面,其性能较一般不锈钢泵或玻璃钢泵优越。它不适于输送含微小固体颗粒的介质以及高卤化物、芳香族化合物、发烟硫酸和 95% 浓硝酸等。表 1-4-60 列举了聚三氟氯乙烯离心泵的型号与规格。

表 1-4-60 聚三氟氯乙烯离心泵的型号与规格

型 号	流量, m^3/h	扬程, m	进口直径, mm	出口直径, mm	转速, r/min
80FS-24	54	24	75	65	2 900
80FS-24A	49.1	19	75	65	2 900
FS-6	26	32	50	40	2 880

3) 聚偏氟乙烯泵 聚偏氟乙烯泵的主要品种有聚偏氟乙烯离心泵和聚偏氟乙烯自吸泵。它们适用于输送浓硫酸、浓硝酸、氯、溴等强氧化物及溶剂,工作温度 $-40\sim 125^{\circ}\text{C}$ 。

2. 聚苯硫醚泵

玻璃纤维增强聚苯硫醚可用于制造水泵壳体,各种油泵、耐腐蚀泵的骨架和叶轮。用玻

玻璃纤维增强聚苯硫醚制造的采掘原油用的油泵叶轮,可在高温及腐蚀性很大的原油中长期高速运转,具有重量轻、耗能小、生产效率高的特点。

3. 氯化聚醚泵

氯化聚醚泵的耐腐蚀性仅次于氟塑料泵,除发烟硫酸、发烟硝酸、氯磺酸、氯、溴外,可耐绝大多数任何浓度的酸、碱、盐溶液及各种有机溶剂。其使用温度范围为 $0\sim 110^{\circ}\text{C}$ 。表 1-4-61 列举了氯化聚醚离心泵的型号与规格。

表 1-4-61 氯化聚醚离心泵的型号与规格

型 号	流量, m^3/h	扬程, m	允许吸入 高度, m	进口直径, mm	出口直径, mm	转速, r/min	电机功率, kW
40FS-20	6.6	20.5	6	40	20	2 900	1.5
40FS-20A	3.3	5.1	6	40	20	1 450	1.5
50FS-40	14.4	40	6	50	40	2 900	5.5
50FS-40A	13.1	32.5	6	50	40	2 900	4.0
80FS-24	54	24	5	80	24	2 900	1.0
80FS-24A	50	19	5	80	24	2 900	1.0

第六节 在飞机和宇航上的应用

一、在飞机上的应用

工程塑料作为质量轻,耐冲击,比强度大,电绝缘性能优良,耐腐蚀,耐磨和成型工艺简便的材料,在飞机上的应用极为广泛,几乎所有的工程塑料及其增强材料都可以在飞机上找到自己的合适位置,发挥作用。

工程塑料在飞机上的应用部件大体上可分为电气零部件、结构件、内部装饰件和透明件等几类。

(一) 电气零部件

飞机上使用工程塑料最早是为了利用其优良的电绝缘性能,主要用于电机、电器、仪表、输电系统等方面制造线圈骨架、接线板、插座、接插件、开关以及导线的绝缘层和保护套管等。例如,ABS、聚碳酸酯、改性聚苯醚、PBT 和聚酰胺等用于制造电气导管、调整器、连接器、各种开关等电器零部件;聚醚醚酮用于制造飞机的雷达零件和天线罩;均苯型聚酰亚胺薄膜因具有优异的耐热性和良好的电绝缘性能,用于制造航空导线和电缆的绝缘保护层等。

(二) 结构件

用工程塑料代替金属制造飞机发动机和各种附件上的结构零件,包括自润滑轴承、轴瓦、密封圈、挡圈、紧固件、仪表壳体、凸轮、滑轮、齿轮、衬套、卡箍及各种垫片等,是扩大工程塑料在飞机上应用的一个重要方面。例如,聚醚醚酮可用于制造发动机的各种零件;聚酰胺和聚甲醛可用于制造飞机上使用的各种滑轮、凸轮、挡圈、卡箍、齿轮等;聚四氟乙烯具有优良的自润滑性能,可用于制造飞机上使用的轴承;聚酰亚胺模塑料代替青铜制造飞机发动机前框架耐磨衬套;玻璃纤维增强聚酰亚胺模塑料用于制造喷气发动机机尾喷管和鱼鳞片等。

(三) 内部装饰件

内部装饰件是塑料在飞机上应用的另一重要方面。例如,一架波音 727 客机,总重为

77 180kg,使用的塑料 2 730kg,其中用作内部装饰件的塑料为 908kg。这些内部装饰件包括行李舱架、地板、衬垫、座椅、窗框、隔音绝热材料和粘贴装饰材料等。在客舱内大面积使用的装饰壁板、天花板、储物箱、分舱板等表面都粘贴有装饰效果良好又具有阻燃性能的聚氟乙烯薄膜。表 1-4-62 列举了工程塑料在飞机内部装饰件上的应用。

表 1-4-62 工程塑料在飞机内部装饰件上的应用

名 称	成型方法	装 饰 件 名 称
聚碳酸酯	旋转模塑、注射	窗框、书报架、废物箱、座椅、旅客服务设施、小桌板、地毯镶边
ABS	注射、挤出	座椅扶手、门内侧板、门内饰件
聚酰胺	注射、挤出	座椅靠背、弹性座垫、壁板、手提筐
聚砵	旋转模塑、热成型	通风及排泄管
聚氟乙烯薄膜	流涎或挤出	壁板、天花板等表面粘贴
聚醚砵	注射	窗框边槽、遮阳导轨、门把手、手柄、插销、氧气面罩外壳、电话机、旋钮
聚醚砵	挤出	装饰板、弹射座椅罩
聚醚砵	真空成型、热成型	遮阳板、灯罩、食品盒、卫生间纸箱、杂志架、放映机外壳

(四) 透明件

透明件是指在飞机上用于观察和采光的透明材料制件,包括风挡、座舱盖、机头罩、形状各异的舷窗、透明隔板、机内的仪表面板、旅客采光灯罩和各种飞机的航行灯罩等。由于透明件是机身结构的一部分,为保持机体有良好的气动外形,大多数透明件具有精确的曲面外形,在飞行中能承受气动载荷、增压载荷和气动力加热。因此,透明件既是结构件又是功能件,是飞机上不可缺少的一个结构组成部分。

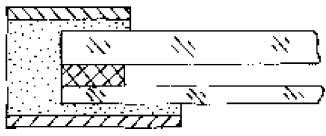
1. 透明材料的分类及性能

用于制造透明件的透明材料按聚合物类型分为聚甲基丙烯酸甲酯 (有机玻璃)和聚碳酸酯两大类,前者为通用塑料,后者为工程塑料。

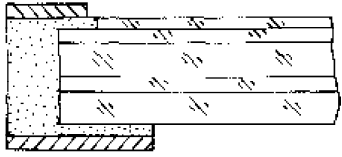
这类材料用于制造飞机的各种透明件以及用作玻璃-塑料复合透明材料的结构层。飞机透明件有单层、双层、层合三种结构形式,后两种结构形式按其材料的组合方式又可分为玻璃-玻璃、玻璃-有机玻璃、玻璃-聚碳酸酯、有机玻璃-聚碳酸酯五种类型。

表 1-4-63 示出了透明件的基本结构形式及应用部位。

表 1-4-63 透明件的基本结构形式及应用部位

结构类型	示意图	材料和组成	连接方式	主要特点	典型应用
单层结构		由一块有机玻璃或聚碳酸酯板组成	各种刚性和柔性连接	易于加工成形,制造方便	中小型客机、直升机的窗、歼击机的座舱罩、风挡、轰炸机的机关罩、观察窗
双层结构		由两块有机玻璃板组成,四周垫有橡胶或塑料条,中间空腔内充空气或氮气	压板或压框连接	破损安全结构,隔热隔音性能好	大中型机的旅客窗、门窗及部分驾驶舱侧窗

续表)

结构类型	示意图	材料和组成	连接方式	主要特点	典型应用
层合结构		由数块玻璃、有机玻璃或聚碳酸酯板用透明中间层粘结而成,有时层间带有电加温薄膜或电阻丝	层合玻璃用压框连接,层合透明塑料用压板或螺栓连接	具有抗鸟撞或防弹能力	军用机、民机和部分直升机的抗鸟撞风挡与防弹玻璃,少数歼击机的座舱罩

航空级聚碳酸酯板是由特殊规格的双酚 A 型聚碳酸酯树脂挤压成板材,再经压光而成。与有机玻璃相比,其突出优点是耐冲击性优异,落锤冲击强度比定向有机玻璃高 20 倍;耐热性高,热变形温度比有机玻璃高约 30℃。但耐磨性较差,在有机溶剂侵蚀下会产生应力开裂,对紫外线辐射敏感,使用时一般需用耐磨涂层保护。在飞机上通常不单独使用,而作为层合透明塑料板和复合透明材料的受力结构层应用。表 1-4-64 示出了美国 GE 公司聚碳酸酯板性能。

表 1-4-64 GE 公司聚碳酸酯板性能

项 目	Lexan XL-1 板	Lexan MR5 板	备 注
拉伸强度,MPa	65	65	厚度 3.2mm 板
拉伸弹性模量,GPa		2.33	
断裂伸长率,%	110		
悬臂梁冲击强度(缺口),J/m	853		
落球冲击强度,J/m			
室温	270	270	厚度 3.2mm 板 自熄
0℃		270	
-18℃	270	270	
洛氏硬度	M70, R118		
热变形温度(1.82MPa),℃	135	127	
线膨胀系数, $\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	6.75	6.75	
内应变,%	1.0		
透光率,%	89	85	
可燃性,cm/min	<2.5	<2.5	

2. 透明材料的要求

航空透明材料制成的飞机透明件要求具有良好的光学性能、足够的结构强度、耐磨性和使用寿命,以及使用可靠和维护方便等特点。由于现代飞机性能不断提高,工作条件更加苛刻,透明件不仅要承受座舱内外压差所造成的结构载荷,同时还要承受高速飞行气动加热及各种飞行条件下瞬时或长时间的热影响。另外,对于风挡还有防水和防雾的要求,以及能够抵御飞鸟的撞击等。

对于飞机的风挡、舱盖等关键部位,在光学性能和结构强度的设计上必须有较大的安全系数,制造时要有严格的品质管理体系,从而确保飞机透明件的安全可靠。

表 1-4-65 列举了飞机透明件的主要要求。

3. 透明材料在飞机上的应用

在飞机上透明材料主要用于制造风挡、座舱盖和观察窗等透明件。大型客机和轰炸机透明件数量较多,除驾驶舱内的各种用途的风挡外,在客机上还有大量旅客观察窗,在轰炸

机上还有后机身段观察窗、射击侧窗等。表 1-4-66 列举了不同类型飞机透明件的典型部位。图 1-4-40 示出了某轰炸机上的座舱透明件。

表 1-4-65 飞机透明件的主要要求

项 目	主 要 要 求
外形	要求外形为流线型,以减小空气阻力; 特殊情况如隐形飞机要求雷达波反射小,需特殊外形设计
视界	要求有良好的视界和清晰度; 歼击机除要求宽阔的前视、侧视外,还要求有良好的侧下视、上视和后视能力
光学性能	具有良好的透光率和表面光学品质,最小的雾度; 重要的观察窗有光畸变和光学角偏差等光学性能要求; 厚制件要考虑双目视差、光重影像等问题
承载能力	静载:能承受气动载荷、增压载荷及其它附加载荷; 动载:能满足疲劳载荷要求,使用寿命达到设计指标; 集中载荷:飞机正面的透明件有鸟撞指标,作战飞机透明件有防弹性能要求
耐高低温性	通常应能满足-55~60℃的工作条件,超高速飞机应能承受表面气动加热,此时温度可达 95℃以上
环境条件	具有耐老化、湿热、盐雾等环境条件
阻燃性	水平燃烧试验的燃烧速度不超过 64mm /min
加工性能	易于热成型和机械加工,分解温度应远高于成型温度
维修性	易于维修,同一制件之间具有良好的互换性

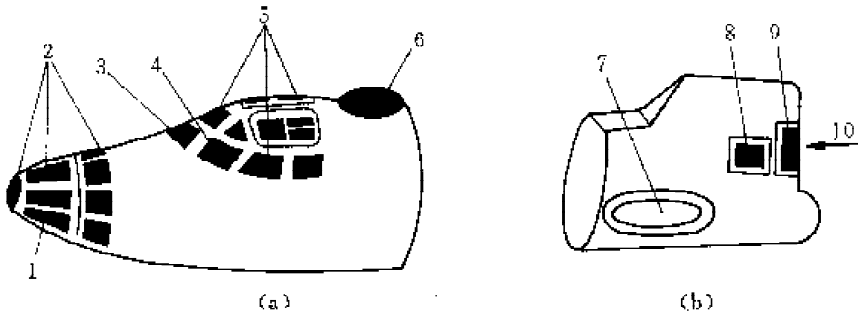


图 1-4-40 某轰炸机上的座舱透明件

 (a) 前机身段气密舱; (b) 后机身段气密舱
1—投弹观察窗; 2—其它机头罩和领航舱窗玻璃; 3—驾驶舱中央风挡; 4—驾驶舱主风挡;
5—其它驾驶舱窗玻璃; 6—上观察窗罩; 7—侧观察窗罩; 8—后射击员侧窗; 9—后射击员
侧防弹玻璃; 10—后射击员正面防弹玻璃

表 1-4-66 不同类型飞机透明件的典型部位

机 型	透 明 件 名 称
强 击 机	前风挡 (防弹玻璃) 侧风挡 活动座舱盖
轰 炸 机	投弹观察窗 驾驶舱中央风挡 驾驶舱主风挡 其它驾驶舱窗玻璃 机头罩及领航舱窗玻璃 上观察窗罩 侧观察窗罩

续表)

机 型	透 明 件 名 称
轰 炸 机	后射击员侧窗 后射击员正面防弹玻璃、侧防弹玻璃
旅 客 机	中央风挡 主风挡 眉窗 (上固定窗) 通风窗 (活动窗) 侧固定窗 登机门窗 旅客弦窗
直 升 机	绿色滤光玻璃 风挡 下视玻璃 驾驶员舱门下部玻璃 驾驶员舱门上部玻璃 滑动玻璃 前舱门玻璃 后舱门玻璃

二、在宇航上的应用

开发宇宙空间需要多种功能的运载工具,如火箭、航天飞机、卫星和轨道空间站等。对制造这些运载工具的各种材料的性能有着很高的要求。例如,航天飞机的支架、桁条、蒙皮,卫星的支架、蒙皮、天线,轨道空间站上的各种结构件等都要求采用质量轻、强度和刚性很高的材料,以节约发动机所需的燃料;导弹头部的防热材料、航天飞机的防热前缘和火箭发动机的喷管等,均需要采用耐高温和抗烧蚀的材料。适用的材料主要是复合材料和聚酰亚胺等少数特种工程塑料。

(一) 聚酰亚胺在宇航上的应用

聚酰亚胺具有优异的耐热性、耐辐照性,在高低温下具有优良的力学性能、电绝缘性能和阻燃性能。它是目前有机高分子化合物中耐热性最好的品种之一。就单一聚合物品种而言,它在宇航工业中的应用是其它品种所无法代替的。均苯型聚酰亚胺薄膜、模塑料和粘合剂在宇航上均有重要的应用。例如,宇宙飞船长达 22km 的电线是用聚酰亚胺薄膜制造的;飞船外可动单元的防护密封件需使用聚酰亚胺粘合剂;航天飞机位于高真空条件下与液态接触的阀门零件可用聚酰亚胺模塑料制造。

聚酰亚胺的另一重要品种双马来酰亚胺的热稳定性和耐辐照性优异,刚性高,是复合材料的优良基体树脂,以其为基体的纤维增强材料可用于制造航天飞机的结构件及导弹壳体。

(二) 复合材料在宇航上的应用

以树脂为基体,以纤维为增强材料所组成的复合材料在宇航中应用十分广泛。它具有如下特点:

- 1) 结构整体性 可在一个结构整体中体现复杂的几何形状,并包含有多种材料结构或镶嵌件,能减少零件数目,简化施工工艺,减轻质量,降低成本。
- 2) 结构高效性 比强度及比刚性高,疲劳寿命长,结构件的性能可高于质量大小相同

的金属材料结构件。

3) 性能多样性 除具有金属材料结构件通常所具有的性能外,还具有一些特殊性能,如能透过雷达波,有优良的振动阻尼性及耐化学药品腐蚀性等。

4) 可设计性 即在树脂和纤维选定后,可通过变动纤维排列方向和铺层次序来改变材料的性能,以满足不同条件下使用的设计要求。

作为复合材料的纤维增强材料主要有玻璃纤维、碳纤维和芳纶纤维等。而基体树脂则主要是环氧树脂、酚醛树脂、不饱和聚酯树脂和有机硅树脂等热固性树脂。在宇航工业领域,目前使用最多的是由碳纤维和环氧树脂组成的复合材料。

近年来,聚酰亚胺、聚醚醚酮、聚砜、聚醚砜、聚苯硫醚等热塑性特种工程树脂已越来越多地被用作复合材料的基体。它们与热固性树脂相比有下列优点:

- 1) 改善复合材料的韧性;
- 2) 提高复合材料的抗湿热性和抗溶剂性;
- 3) 缩短加工周期,可二次加工成型;
- 4) 便于整体成型,提高结构效率;
- 5) 贮存期不受限制;
- 6) 装配自由度大,制件损伤易被检出,便于修理和维护。

缺点是原料费用高,制造工艺尚有难度。

从发展的趋势看,这类特种工程树脂正在逐步与热固性树脂争夺先进树脂基复合材料基体的主导地位。这种局面的出现是因为很多特种工程树脂的力学性能和耐温性都能达到先进复合材料的要求,同时它们又具有上列许多优点。例如,英国 ICI 公司以聚醚醚酮为树脂基体制造的 APC-2 复合材料,比通用的环氧树脂复合材料韧性高 10 倍以上,已在宇宙空间站、飞机机翼等大型构件上取代环氧树脂。

第七节 在包装上的应用

塑料用于包装,是包装工业的一个重大改革。与传统包装材料相比,塑料具有重量轻、透明度高、强度大、易成型加工、耐腐蚀性好、包装效率高、有利于包装工业自动化等优点。

在所有的塑料制品中,用作包装材料的塑料使用量居首位,约占塑料制品总用量的 30%。就包装材料而言,塑料包装材料的使用量已远远超过玻璃、金属、木材等传统的包装材料,仅次于纸制品而居第二位。塑料包装材料在整个国民经济中具有十分重要的地位。

一、塑料包装材料的分类

(一) 按塑料包装材料的组成分类

在众多的塑料品种中,聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯等通用塑料,具有生产量大、性能均衡、易成型和价格低廉等特点,因而用作包装材料的数量最大。PET、聚酰胺、ABS、聚萘二甲酸乙二醇酯(PEN)、聚碳酸酯、超高分子量聚乙烯等工程塑料性能优异,生产规模较大,但价格较高,它们在包装材料中的用量虽不及通用塑料,但有些品种也具有相当大的规模。例如,1997 年仅 PET 瓶(聚酯瓶)的世界消耗量就高达 3 000kt 以上。至于特种工程

塑料,虽然在某些性能上具有独到的优点,但由于价格昂贵,所以除聚芳酯等少数品种外,很少用作包装材料。

(二) 按塑料包装材料的形态分类

塑料包装材料的主要形态有薄膜、中空容器、周转箱、编织袋及泡沫塑料等。

塑料薄膜是塑料包装材料中使用最为广泛的一大种类。其品种很多,除通常用的塑料包装袋外,还有许多专用品种,如液体包装薄膜、收缩薄膜、缠绕薄膜、冰箱保鲜膜、果蔬保鲜膜、表面保护膜、防静电薄膜和复合薄膜等。用于制造薄膜的塑料品种主要有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、PET、聚酰胺和 PEN 等。

中空容器是广泛应用的另一大类塑料包装材料。中空容器主要用于包装液态物质。它们大多采用吹塑方法制造,大型容器可采用滚塑成型方法制造。最小的塑料中空容器的容积仅几毫升(如眼药水瓶),而大型中空容器的容积可达几十立方米(如化工贮槽),使用最多的塑料中空容器是容量为几百毫升到几千毫升的塑料瓶。用于制造中空容器的塑料品种主要有 PET、聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚碳酸酯、PEN、聚酰胺和超高分子量聚乙烯等。

周转箱是用于商品或生产过程中的零部件贮运、周转的箱式容器。与一般塑料包装材料不同,周转箱一般均多次重复使用,而非一次性使用。用于制造周转箱的塑料品种主要有聚丙烯、聚乙烯、ABS 和 SBS 等。

泡沫塑料制品是塑料制品的一个重要分支,其性能上的主要特点是减振、防振及隔热保温等。广泛用于各种家用电器、电工仪表以及化学试剂等商品的防振包装,制品的形态有箱、盒、衬垫块以及薄片等。用于制造泡沫塑料制品的塑料品种主要有聚苯乙烯、聚乙烯、聚氨酯和 ABS 等。

二、包装用工程塑料薄膜

工程塑料薄膜是指以工程树脂为基材,经双轴拉伸等成型工艺加工制成的厚度在0.25 mm 以下的平整而柔软的塑料制品。工程塑料薄膜的主要品种有 PET 薄膜、PEN 薄膜和聚酰胺薄膜等。

(一) PET 薄膜

1. 通用型 PET 薄膜

PET 是结晶性高聚物,经过拉伸处理后其性能可得到大幅度提高。通常采用双轴拉伸成型工艺制造 PET 薄膜。经干燥后的粒料在挤出机中加热熔融,挤出成型为薄片,然后在高于玻璃化温度的条件下,先进行纵向拉伸,再进行横向拉伸,经热定型、热松弛处理、冷却、收卷得成品。表 1-4-67 示出了通用型 PET 薄膜双轴拉伸成型工艺条件。

表 1-4-67 通用型 PET 薄膜双轴拉伸成型工艺条件

项 目	数 值
拉伸温度,℃	85~90
拉伸速率(每分钟的拉伸倍数),%	>400
拉伸倍数,倍	2.5~3.0
热定型温度,℃	150~230
冷却速率,℃/min	70

PET 薄膜性能优良,具有以下优点:

1) 强度高。PET 薄膜的拉伸强度可与铝膜匹敌,是聚乙烯薄膜的 9 倍,聚酰胺薄膜和聚碳酸酯薄膜的 3 倍,因此 PET 薄膜可做得很薄而节约原料。

2) 使用温度范围广。既耐高温又耐低温,可在 $-30\sim 120^{\circ}\text{C}$ 温度范围内使用,因此可用于高温蒸煮及冷冻包装。

3) 透明性好。透光率在 88% 以上,被包装商品具有良好的展示效果。

4) 气体阻隔性好。对氧和二氧化碳等气体有优良的阻隔性能,而且阻隔性受湿度的影响较小,对食品等需隔氧贮存的商品有良好的保护作用,可作为真空包装、置换气体包装用复合薄膜的基材。

6) 耐油性、保香性、卫生性良好。是食品、药品的理想包装材料。

其缺点是热封性能差,通常要与聚烯烃类薄膜制成复合薄膜后使用。

表 1-4-68 示出了日本帝人公司 PET 薄膜的性能。

PET 薄膜除了用作食品和商品的包装材料外,在电子电器工业领域,还大量用作绝缘材料,电动机、电容器、变压器、印刷电路、电线电缆的包缠材料,还可用作录音带和录像带的基材。

2. 收缩性 PET 薄膜

PET 为结晶性树脂,可用来制造具有较大热收缩性的薄膜,这种薄膜受热时,在长度和宽度方向上会发生急剧收缩,一般收缩率可达 $30\%\sim 60\%$ 。

表 1-4-68 日本帝人公司 PET 薄膜的性能(薄膜厚度 $25\mu\text{m}$)

项 目	数 值
密度, g/cm^3	1.36
断裂强度, MPa	230
断裂伸长率, %	115
熔点, $^{\circ}\text{C}$	258
玻璃化温度, $^{\circ}\text{C}$	69
热收缩率 (150°C , 30min)	1.5
线膨胀系数, $\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	1.5
连续使用温度, $^{\circ}\text{C}$	100~120
吸水率, %	0.4
水蒸气渗透率 (24h), g/m^2	21.3
气体渗透率, CO_2	13.0
O_2	2.1
介电强度, kV/mm	280
介电常数 (25°C , 60Hz)	3.2
介质损耗角正切 (25°C , 60Hz)	0.002
体积电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$	7×10^{17}
透光率, %	88

收缩性 PET 薄膜可采用平拉法生产工艺制造。图 1-4-41 示出了其生产工艺流程示意图。物料经挤出机加热熔融由扁平机头挤成厚片后,经冷却辊冷却固化即被送至具有不同转速的一组拉伸辊上进行纵向拉伸,拉伸辊的前面是预热辊,经过预热使薄膜具有一定的温度,经过纵向拉伸的薄膜再送至拉幅机上作横向拉伸。拉幅机主要由烘道、导轨和夹持链等组成。作横向拉伸的薄膜由夹持器夹住沿有一定张角的导轨运行。薄膜离开拉幅机后即可

进行冷却和卷取。

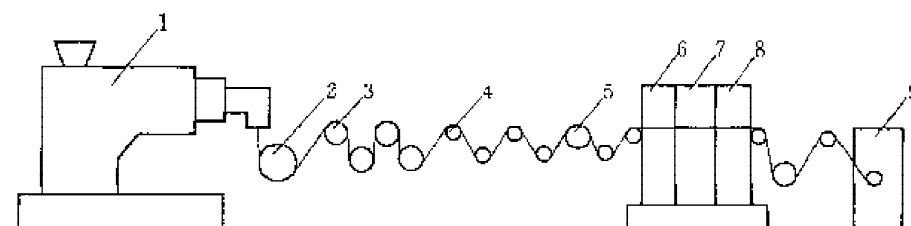


图 1-4-41 平拉法生产收缩性薄膜工艺流程示意图

1—挤出机；2—冷却辊；3—预热辊；4—拉伸辊；5—冷却辊；6—预热段；
7—横拉伸段；8—热定型段；9—卷取

收缩性薄膜主要用于制造收缩性薄膜袋。使用时,以适当大小的收缩性薄膜袋套在被包装的商品外(一般比商品尺寸大10%左右),然后放入加热设备中,在适当的温度下加热,薄膜在长度和宽度方向上立即发生收缩,紧紧地裹住商品,形成保护层。

采用收缩性 PET 薄膜袋进行包装,具有下列优点:

- ①) 密封,防潮,对商品保护性好,可防止商品之间的相互碰撞。
- ②) 包装紧贴商品,可显示商品原有的造型,包装尺寸紧凑。
- ③) 能均匀捆扎,固定商品。
- ④) 包装工艺简单,便于实现机械化包装。
- ⑤) 适用于用一般方法难以包装的异形商品。
- ⑥) 节省包装材料,减少包装体积。

收缩性 PET 薄膜袋已被广泛用于香肠、肉类、火腿、家禽、冷冻食品及熟食品等形状不规则食品的包装,不仅可延长贮存时间,而且还可以在露天贮存。是目前得到迅速发展的一种包装形式。

3. PET 复合薄膜

PET 复合薄膜的结构可分为二、三、四层等形式,各层之间用粘合剂胶接。二层的价格较低,但阻气性、防潮性及遮光性不够理想,所采用的两层薄膜为 PET 与聚烯烃。三或四层的复合薄膜均有一层为铝箔,各项性能优异,但成本较高。目前使用较多的是 PET/Al/PP 三层复合薄膜。其外层为 PET 薄膜,厚度为 $10\sim 16\mu\text{m}$,中层为铝箔,厚度为 $10\sim 16\mu\text{m}$,内层为聚丙烯薄膜,厚度为 $70\sim 80\mu\text{m}$ 。各层之间的粘合剂可采用聚氨酯、尼龙 12 或改性聚丙烯悬浮液等类型。表 1-4-69 示出了 PET/Al/PP 复合薄膜的性能。

PET/Al/PP 复合薄膜是典型的蒸煮型复合薄膜,既耐高温又具有优异的阻隔性能,此外它还具有可靠的遮光性能,因此是加工食品的理想包装材料。这种复合薄膜制成的包装袋,有类似于罐头的保护功能,因此蒸煮袋装食品有软罐头之称。用 PET 复合薄膜软罐头取代传统的马口铁罐头和玻璃罐头,是近年来出现的新型食品包装形式。这种被称为“第二代罐头”的复合薄膜软罐头具有下列优点:

表 1-4-69 PET/Al/PP 复合薄膜的性能

项 目	指 标
拉断力 (纵、横向), N	≥ 50
断裂伸长率 (纵、横向), %	≥ 15
撕裂力 (纵、横向), N	≥ 1.1

(续表)

项 目	指 标
剥离力, N	
PET /Al	≥ 3.0
Al /PP	≥ 4.5
封口剥离力, N	≥ 30
水蒸气透过量, $\text{g} / (\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$	≤ 0.5
氧气透过量, $\text{cm}^3 / (\text{m}^2 \cdot 24\text{h} \cdot 0.1\text{MPa})$	≤ 0.5
耐热性 封入 40℃ 饱和食盐水溶液, 于 120℃ 蒸煮 40min 后观察)	无明显变形, 热封部位无剥离现象

1) 体积小, 质量轻, 与玻璃罐头相比, 包装质量仅为 1/10。

2) 便于携带, 容易开启, 贮存无需冷藏, 适用于旅游、行军及野外作业。

3) 贮存期长, 一般为 1~2 年, 被包装的食品色香味均优于传统的马口铁罐头和玻璃罐头。

4) 不会出现传统罐头内壁因贮存太久而被硫化或氧化的现象。

5) 外形呈扁平状, 加热时很容易达到杀菌温度, 可大大缩短杀菌时间, 减低能耗, 提高设备利用率; 通常杀菌温度为 120℃ 左右, 杀菌时间为 30~45min。

(二) PEN 薄膜

PEN 是近年来开发成功的一种新型热塑性聚酯。PEN 可使用与 PET 同样的设备, 通过熔融、挤出、双向拉伸制得 PEN 薄膜。由于 PEN 的熔点及玻璃化温度较高, 因此在制膜条件及设备方面需作相应的调整。

与 PET 薄膜相比, PEN 薄膜除了透光率略低于 PET 外, 其余性能或优于 PET 或大体与 PET 相当, 特别是在气体阻隔性、耐热性、耐放射性、耐水解性等方面具有突出的特点。它可以制成厚度为 $0.8\mu\text{m}$ 的极薄薄膜。但由于价格较高, 在一定程度上限制了它的发展。表 1-4-70 示出了日本帝人公司 PEN 薄膜 テネックス 的性能。

利用 PEN 薄膜的高强度、高刚性及耐热性, 可用作磁带底膜、蒸镀带、柔性印刷线路板、超小型耐热电容器; 利用其电绝缘性、耐热性、尺寸稳定性好及不易产生低聚物等特点, 可用作透明导电膜、电子零部件、面状发热体以及压缩机电机、变压器等绝缘材料。

表 1-4-70 日本帝人公司 PEN 薄膜 テネックス 的性能(薄膜厚度 $25\mu\text{m}$)

项 目	数 值
密度, g / cm^3	1.36
断裂强度, MPa	270
断裂伸长率, %	85
熔点, °C	269
玻璃化温度, °C	113
热收缩率 (150℃, 30min), %	1.0
线膨胀系数, $\times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$	1.3
连续使用温度, °C	160~180
吸水率, %	0.3
水蒸气透过量 $\text{g} / (\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$	5.7
气体透过量 (CO_2) $\text{g} / (\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$	3.7
O_2) $\text{g} / (\text{m}^2 \cdot 24\text{h})$	0.8

(续表)

项 目	数 值
介电强度, kV/mm	300
介电常数 (25℃, 60Hz)	3.0
介质损耗角正切 (25℃, 60Hz)	0.003
体积电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$	10^{18}
紫外线穿透性 (360nm), %	8
透光率, %	82
摩擦因数	0.30

(三) 聚酰胺薄膜

聚酰胺薄膜是一种综合性能优良, 价格适中的阻隔性包装材料。与 PET 薄膜相比, 聚酰胺薄膜的主要优点是韧性好, 耐穿刺性能突出, 主要缺点是吸湿性强, 在高湿条件下, 其阻隔性能下降的幅度较大。

聚酰胺种类很多, 基本上均能制成薄膜。但基于价格、性能方面的综合平衡, 作为包装薄膜应用最多的是尼龙 6 薄膜, 其次是尼龙 66 薄膜。由于聚酰胺薄膜在受潮状态下阻隔性下降比较明显, 且热封合等二次加工性能不够理想, 因此聚酰胺薄膜除少量用于肠衣膜之外, 一般均不以单膜的形态使用。其常用形态是以双向拉伸尼龙 6 或双向拉伸尼龙 66 为基材的干法复合薄膜。这种复合薄膜中最重要的品种是聚酰胺和 LDPE 组成的复合薄膜。

1. 双向拉伸聚酰胺薄膜

双向拉伸聚酰胺 (BOPA) 薄膜以尼龙 6 或尼龙 66 树脂为原料, 经熔融挤出成膜后, 又经过双向拉伸处理, 聚合物分子处于平面定向状态, 因此具有优良的综合性能, 其主要特点如下:

① 力学性能优异, 拉伸强度、耐冲击性、撕裂强度等均是包装用塑料薄膜中最好之一, 耐穿刺性尤为突出。

② 耐高低温性优良, 使用温度范围广 ($-60 \sim 130^{\circ}\text{C}$), 适用于冷冻包装、蒸煮包装、真空包装等多种形式的包装。

③ 柔软性、耐油性好, 对 O_2 、 N_2 、 CO_2 等气体的阻隔性优良。

BOPA 薄膜可用于肉类、鱼类、油类、海产品等易氧化变质的食品, 需要保香的食品以及蔬菜等的包装。

表 1-4-71 示出了 BOPA 薄膜的性能。

表 1-4-71 BOPA 薄膜的性能

项 目	数 值
密度, g/cm^3	1.15~1.16
熔点, $^{\circ}\text{C}$	215~225
拉伸强度, MPa	250
伸长率, %	80~120
撕裂强度, N/mm	7~10
落球冲击强度, J/m	1000
透氧性 (0.1mm), $\text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h} \cdot 0.1\text{MPa})$	5.0
热收缩率 (20℃, 15min), %	0.5~1.0
推荐使用温度, $^{\circ}\text{C}$	$-60 \sim 130$

2. BOPA/LDPE 复合薄膜

BOPA /LDPE 复合薄膜是聚酰胺复合薄膜中最重要的品种。LDPE 薄膜层的引入,不仅使 BOPA 薄膜的热封合性能明显改善,而且可使其避免直接和含水较多的袋内所包装的物品相接触,保持较高的阻隔性能,因此该复合薄膜获得了广泛的应用。

根据复合薄膜中 LDPE 层厚度的不同,BOPA /LDPE 复合薄膜分为两类。A 类:LDPE 层的厚度大于 0.050mm;B 类:LDPE 层的厚度小于或等于 0.050mm。

表 1-4-72 示出了 BOPA /LDPE 复合薄膜的性能。

表 1-4-72 BOPA/LDPE 复合薄膜的性能

项 目	指 标	
	A 类	B 类
拉断力,N	≥40	≥30
断裂伸长率,%	≥35	≥30
直角撕裂力,N	≥3.5	≥3.0
层间剥离力,N	≥2.5	≥2.0
封口剥离力(袋),N	≥20	≥15
抗摆冲击能,N	>0.8	>0.6
氧气透过量,cm ³ /m ² · 24h · 0.1MPa)	≤50	≤50
水蒸气透过量,g /m ² · 24h)	≤12	≤12
耐热性(封入 40℃饱和食盐水,80℃, 30s)	无显著变形、分层及封口开裂	

BOPA /LDPE 复合薄膜主要用于包括大米、冷冻蔬菜、烤鱼片、牛肉干、火腿、酱菜、豆酱、流体汤料等的食品包装,包装的形式包括普通煮沸食品包装、真空包装、除氧包装、气体置换包装等。另外,BOPA /LDPE 复合薄膜还可用于包括电子元件、集成电路板、化妆品、洗液及液体香波等的非食品包装。

三、工程塑料中空容器

塑料中空容器主要用于包装各类饮料食品,每年世界上生产的塑料中空容器多达几十亿个,可见其应用范围之广,大有取代传统的玻璃瓶的趋势。塑料中空容器的优点是质量轻、耐冲击性好、比容量大、外观好、透明度高、耐化学介质性优良。

用于制造中空容器的通用塑料主要有聚乙烯、聚丙烯和聚氯乙烯等;用于制造中空容器的工程塑料主要有 PET、PEN、聚碳酸酯、聚酰胺、超高分子量聚乙烯和聚芳酯等。

与通用塑料相比,工程塑料虽然价格较高,加工较为困难,但它具有气体阻隔性好,强度高,刚性大,耐热性优良,尺寸精度高等一系列通用塑料无法比拟的优点,因此还是得到了广泛的应用,尤其是对于含有二氧化碳饮料的包装,由于其气体阻隔性的要求高,一般均采用 PET、PEN 等工程塑料制造。

(一) PET 中空容器

1. 生产工艺

PET 中空容器主要是各种规格的 PET 瓶,简称聚酯瓶。

PET 虽属结晶性聚合物,但由于其分子链的刚硬性,结晶速度较慢,可以通过快速冷却

的方法,得到基本上处于非晶态的,高透明易拉伸的 PET 瓶坯,再通过拉伸处理,得到高强度、高透明的 PET 拉伸吹塑瓶。

聚酯瓶的生产主要采用双向拉伸吹塑成型法,通常先制成型坯,然后与薄膜一样进行双向拉伸。双向拉伸吹塑成型法按型坯的预成型不同,可分为注射拉伸吹塑和挤出拉伸吹塑。

注射拉伸吹塑,又分为型坯预成型和拉伸吹塑成型在同一设备上完成的一步法与两者在双机上成型的两步法。一步法也称热型坯法,由预成型的热型坯直接拉伸吹塑成瓶;两步法是将预成型的型坯经运送、贮放、重新加热才能拉伸吹塑成瓶,因此又称冷型坯法。

挤出拉伸吹塑实际上也是一种冷型坯法,它是以高分子量的 PET 树脂为原料,挤出管坯,然后经靠底、修饰颈部,加工为预成型坯,以后再重新加热,经吹塑成型后再进行双向拉伸处理。表 1-4-73 示出了两步法聚酯瓶注射拉伸吹塑成型工艺条件。

表 1-4-73 两步法聚酯瓶注射拉伸吹塑成型工艺条件

项 目	数 值
型坯制造	
料筒温度,℃	275~285
口模温度,℃	280~285
模具温度,℃	
注射压力,MPa	60~70
螺杆转速,r/min	15~18
吹塑成型	
型坯加热温度,℃	95~105
型坯加热时间,s	80~90
吹塑压力,MPa	0.75~2.00
拉伸倍率,倍	11~13

2. 性能特点

与聚烯烃、聚氯乙烯树脂不同,PET 树脂的分子结构中具有刚硬的苯环和—COOR 极性基团,因而赋予聚酯瓶许多优良性能和特点。

1) 强度高 聚酯瓶具有优良的冲击强度、拉伸断裂强度和坠落强度。聚酯瓶的壁厚仅为聚氯乙烯瓶的一半左右,但落锤冲击强度却比聚氯乙烯瓶大 2 倍,而拉伸断裂强度却大 3 倍以上。

2) 质量轻 由于聚酯瓶强度高,可以制造得很薄,因此质量轻,有利于降低成本。与玻璃瓶相比聚酯瓶要轻得多,1L 和 2L 装碳酸饮料的聚酯瓶质量仅为同体积玻璃瓶的 1/15~1/17。

3) 气体阻隔性好 聚酯瓶对 O₂ 和 CO₂ 有良好的阻隔性能。在 38℃ 温度下,氧气渗透量为 0.43mL/(m²·h)。它的气体阻隔性优于通用塑料聚乙烯、聚丙烯和聚氯乙烯。

4) 商品展示性好 PET 光透过率达 88% 以上,因而聚酯瓶透明性很高,雾度小且光泽度高,所装商品有着良好的展示性。

5) 保香性好 聚酯瓶对于华尼拉香料、咖啡粉、红茶、腌火腿等,具有优良的保香性;对柠檬香料、咖喱粉等亦有较好的保香性。

6) 良好的耐化学药品性 聚酯瓶对乙醇、乙酸乙酯、丙酮、氯仿、苯、二甲苯、四氯化碳等有机溶剂具有优良的化学稳定性,耐油,耐稀酸,但不耐碱、浓酸及强氧化剂。

7) 卫生性能好 聚酯瓶不含增塑剂和抗氧剂,因而卫生性好。聚酯瓶符合 FDA 和中国食品卫生标准要求,可用作食品、饮料、药物的包装容器。

8) 可回收利用 聚酯瓶是被公认的有利于环境保护的一种塑料制品,可以通过熔融造

粒、化学降解、焚烧处理等方法有效地对其废弃物回收利用。

3. 用途

近年来,聚酯瓶获得了飞速的发展。聚酯瓶是 PET 塑料制品中产量最大的品种。1997 年美国聚酯瓶的消耗量占 PET 塑料制品消耗量的 79.0%,西欧更高达 87.5%。PET 瓶的应用极为广泛,其用途主要有如下几方面:

1) 饮料包装 聚酯瓶中以装碳酸饮料(可口可乐、百事可乐等)的用量为最大,这是因为 PET 树脂具有优良的透明性、气体阻隔性,足够的强度,以及轻量化、易成型等特点。除含碳酸饮料之外,它还广泛用于矿泉水、蒸馏水等净化水的包装。

2) 食品包装 聚酯瓶用于食品包装的应用正在不断增长。被包装的食品主要是调味料和食用油等。酱油及其它汁状调味品是聚酯瓶的一个巨大的潜在市场。聚酯瓶保香性好,质量轻,强度高,耐冲击,不易破碎等特点是它在该领域应用的有利条件。

聚酯瓶在食用油包装方面的应用已十分广泛,这是因为聚酯瓶耐油性优良,无毒,无味,不易破碎,而且对氧气的阻隔性好,可保护瓶内的食用油长期免受氧化而不易变质,同时聚酯瓶的高透明、高光泽等特性对食用油有良好的展示作用。

3) 日化产品包装 化妆品、洗涤剂等日化产品也是聚酯瓶应用的一个巨大的潜在市场。聚酯瓶良好的耐化学药品性、保香性以及高透明、高光泽等特性,正是日化产品包装所期望的性能,因此聚酯瓶在日化产品包装中的应用前景十分广阔。目前的难点是日化包装容器的设计比较喜欢异型结构,而双向拉伸吹塑成型难于制造异型瓶。

4) 药品包装 聚酯瓶无毒、无味,卫生性能可靠,并具有良好的防潮、隔氧和不易破碎等特性,这些都是它用于药品包装的基本条件,聚酯瓶的高透明、高光泽而产生的良好的展示效果,更推动了它在该领域中的应用。

4. PET 饮料瓶的分类、规格及技术要求

PET 饮料瓶在聚酯瓶中用量最大,在我国的应用也十分普遍,为规范 PET 饮料瓶的生产和使用,我国行业标准 QB1868—93 对 PET 饮料瓶的分类、规格及技术要求作了具体规定。

1) PET 饮料瓶的分类

PET 饮料瓶按用途可分为可充气瓶及不可充气瓶;按结构可分为有底座瓶(图 1-4-42)

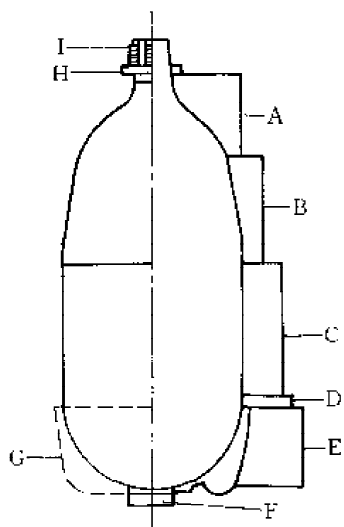


图 1-4-42 有底座 PET 瓶的结构图

A—上肩部; B—肩部; C—瓶壁; D—根部; E—底部; F—注塑口; G—底座; H—支撑环; I—螺纹

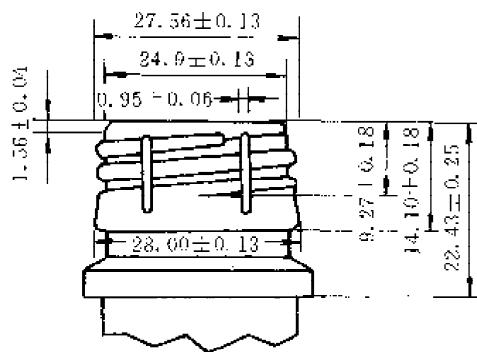


图 1-4-43 PET 饮料瓶的瓶口规格及偏差

及无底座瓶;按容积大小可分为:330~500mL; 501~1 000mL; 1 001~1 250mL; 1 251~1 500mL; 1 501~2 000mL。

2) PET 饮料瓶的瓶口规格及偏差

PET 饮料瓶的瓶口规格及偏差应符合图 1-4-43 的规定。

3) PET 饮料瓶的高度偏差

PET 饮料瓶的高度偏差应符合表 1-4-74 的要求。

表 1-4-74 PET 饮料瓶的高度偏差要求

高度 (H), mm	极限偏差, mm	高度 (H), mm	极限偏差, mm
$H < 150$ $150 \leq H \leq 300$	± 0.5 ± 1.0	$H > 300$	± 1.5

4) PET 饮料瓶各部位的最小壁厚

PET 饮料瓶各部位的最小壁厚应符合表 1-4-75 的要求,其中代号见图 1-4-42。

表 1-4-75 PET 饮料瓶各部位的最小壁厚

(单位:mm)

部位代号	各种容量的可充气瓶, mL					不可充气瓶
	330~500	501~1 000	1 001~1 250	1 251~1 500	1 501~2 000	
A	0.28	0.28	0.27	0.30	0.30	0.20
B	0.30	0.23	0.30	0.30	0.25	0.20
C	0.28	0.25	0.28	0.30	0.25	0.20
D	0.30	0.23	0.30	0.30	0.30	0.20
E	0.40	0.23	0.30	0.30	0.30	0.40
F	1.30	1.22	1.30	1.55	1.55	1.30

5) PET 饮料瓶瓶体中心线对瓶底平面的垂直度偏差

PET 饮料瓶瓶体中心线对瓶底平面的垂直度偏差应符合表 1-4-76 的要求。

表 1-4-76 PET 瓶体中心线对瓶体平面的垂直度偏差

(单位:mm)

瓶体高度 (H)	$H < 150$	$150 \leq H \leq 220$	$H > 220$
垂直度极限偏差	≤ 3	≤ 4.5	≤ 6.4

6) PET 饮料瓶的物理及力学性能

PET 饮料瓶的物理及力学性能应符合表 1-4-77 的指标。

7) 不同容量 PET 饮料瓶的指标

各种不同容量 PET 饮料瓶的指标应符合表 1-4-78 的要求。

表 1-4-77 PET 饮料瓶的物理及力学性能

项 目		指 标
密封性	内容物损失率, %	≤ 1
	CO ₂ 损失率, %	≤ 15
垂直载压, N		≥ 300

(续表)

项 目		指 标
底座粘接性能	扭力, N	≥ 90
	扭矩, N·m	≥ 8.5
跌落性能	有底座瓶	瓶体不破裂, 底座不破裂, 不松脱, 站稳
	无底座瓶	瓶体不破裂
透光率, %		≥ 85

表 1-4-78 不同容量 PET 饮料瓶的指标

项 目	各种不同容量瓶的指标				
	330~500mL	501~1 000mL	1 001~1 250mL	1 251~1 500mL	1 501~2 000mL
瓶体	不破裂				
底座	不松脱, 不破裂				
直径偏差, %	≤ 2.5	≤ 2.5	≤ 3.0	≤ 3.0	≤ 3.0
高度偏差, %	≤ 3.0	≤ 3.0	≤ 3.0	≤ 3.5	≤ 3.5
液面下降, mm	≤ 11.0	≤ 16.0	≤ 23.0	≤ 23.0	
垂直度, mm	≤ 9.0	≤ 9.0	≤ 9.0	≤ 9.0	

8) PET 饮料瓶的乙醛含量

PET 饮料瓶的乙醛含量应符合表 1-4-79 的要求。

表 1-4-79 PET 饮料瓶乙醛含量的要求

类 别	平均乙醛含量, $\mu\text{g/L}$	最大乙醛含量, $\mu\text{g/L}$
无色瓶	≤ 3.0	≤ 4.0
有色瓶	≤ 12.0	≤ 15.0

(二) PEN 瓶

与 PET 相比, PEN 几乎所有的性能都优于 PET。PEN 耐热性优异, 它的熔点为 263°C , 和 PET 相当, 但玻璃化温度则高出 PET 40°C 以上, 达 113°C , 长期使用温度在 150°C 以上。特别是它对 CO_2 、 O_2 和水分的阻隔性能远优于 PET。PEN 对 CO_2 的阻隔性比 PET 高 5 倍, 对 O_2 的阻隔性高 4 倍。因而 PEN 的使用在包装行业处于极大优势, 目前虽然价格较高, 但仍得到迅速发展。

PEN 瓶的制造方法和 PET 瓶相似, 同样可采用双向拉伸吹塑成型工艺。采用的树脂可以是 PEN、PEN 与 PET 共聚物或 PEN 与 PET 组成的合金。

在包装容器领域, PEN、PEN 共聚物及 PEN 合金已广泛用作啤酒瓶、碳酸饮料瓶、可回收重装瓶以及医药、化妆品包装瓶等 (表 1-4-80)。特别是啤酒瓶, 对气体阻隔性的要求很高, PET 难以达到要求, 而 PEN 则完全能满足要求。用 PEN 代替玻璃制造啤酒瓶具有不爆炸、不破裂、透明、质量轻, 便于回收和运输, 并可碱洗重用等特点。

PEN 作为啤酒、饮料、化妆品的包装容器, 在国内的市场潜力很大。据有关部门估计, 即使只有 1% 的啤酒改用 PEN 瓶装, 每年也将需要 PEN 10kt 以上。

表 1-4-80 PEN 在包装容器上的应用

应 用 领 域	PEN 的贡献	树 脂 类 型
啤酒瓶	提高气体阻隔性	PEN
饮料瓶	提高耐热性、气体阻隔性,延长贮存期	PEN、PEN 共聚物、PEN 合金
可回收重装瓶 (矿泉水、啤酒、果汁、消毒牛奶瓶)	提高耐热性;提高化学稳定性以利于清洗; 减少残留气味	PEN、PEN 共聚物、PEN 合金
医药、化妆品包装瓶	提高气体阻隔性、耐辐射性、耐化学药品性	PEN、PEN 共聚物、PEN 合金

(三) 聚碳酸酯中空容器

聚碳酸酯是一种重要的透明工程塑料,近年来也用于制造中空容器。聚碳酸酯中空容器的主要特点是耐冲击性优异;透明度高;表面硬度高,不易擦毛;无毒、无味、卫生性能好;耐热性好,热变形温度可达 138℃,不仅可高温热灌装,而且可经受高温消毒,可多次反复使用。因此,尽管聚碳酸酯中空容器的成本比 PET 要高,但仍得到了实际应用。聚碳酸酯中空容器应用最为成功的实例是装净化水用的 19 升桶和婴儿用的奶瓶。

(四) 聚酰胺中空容器

聚酰胺作为中空容器使用主要是利用它优异的耐油性以及强度大、刚性高和耐热性好等特点。可采用吹塑与滚塑的成型方法生产聚酰胺中空容器。由己内酰胺单体滚塑聚合,生产中、大型尼龙 6 中空容器的工艺,可制得相对于吹塑成型更为质优价廉的产品,是装汽油等燃料油的理想容器,具有较大的实用性。

聚酰胺在制造中空容器方面的另一重要应用是和聚烯烃树脂相配合,制造多层复合容器。聚酰胺仅属中等程度的阻隔性树脂,但它对芳烃、油类等的阻隔性优良,且成型较方便,价格也不高,因此是多层复合瓶中最常用的阻隔性树脂之一。多层复合容器的主要应用领域是食用油、番茄酱、蛋黄酱等食品包装,在汽车油箱方面的应用也相当广泛。此外,它还可用于含苯剂的农药瓶等特殊商品的包装。

(五) 超高分子量聚乙烯中空容器

中空容器是超高分子量聚乙烯 (UHMWPE) 目前应用最广泛的领域之一。UHMWPE 作为中空容器使用主要是利用它优异的耐冲击性能、耐化学药品性和疏水性。

UHMWPE 中空容器可采用吹塑成型工艺生产。UHMWPE 熔体粘度高,给成型加工带来难度,但它的熔体具有较大的熔融张力,型坯下垂现象较小,又为其中空容器吹塑成型,特别是大型中空容器的吹塑成型制造了有利条件。因此,UHMWPE 特别适合制造大型中空容器,如贮水桶、接水槽、浮筒、汽油箱以及用于太阳能设备的温水容器等。

(六) 聚芳酯中空容器

聚芳酯作为中空容器使用主要是利用它优异的耐热性、高透明性、紫外线屏蔽性以及无毒、无味等特点。聚芳酯的耐热性十分突出,热变形温度为 175℃,玻璃化温度高达 193℃。但作为特种工程塑料的聚芳酯价格昂贵,因而使它的应用受到了限制。目前主要是用于制造一些小型中空容器。例如,在医疗领域,可用于制造装药片的小瓶及点眼药水的容器等;在食品领域,可用于制造内装红茶、乌龙茶和微碳酸果汁饮料的耐热瓶等。

四、其它工程塑料包装材料

(一) 周转箱

用于制造周转箱的通用塑料主要有聚丙烯和聚乙烯等,用于制造周转箱的工程塑料主要有 ABS、SBS 等。工程塑料周转箱具有体积小、质量轻、坚固耐用、可以折叠、便于堆叠等优点。它可以制成敞口式的箱笼,也可以制成铰链连接式或锁扣锁紧式的箱体、箱盖组合式等,其内芯可以制成隔槽,使被包装的货物不会在贮运过程中相互碰撞,从而减少损失。目前,塑料周转箱已形成系列和标准,从外观造型和使用性能可分为直型、梯型、折叠型三种;按箱体结构可分为中间带隔层、有孔格和有平板等种类。近年来,塑料周转箱已大量取代传统的周转木箱,广泛用于水产品、蔬菜、果品、饮料、啤酒等商品流通中的周转,也用于商品生产过程中的零部件的周转,包括上、下工序间,车间与车间之间,以及配套厂与总装厂之间的零部件的周转。

工程塑料周转箱的结构与木箱的不同,这是因为两者的材料性能、成型方法、使用方法不同。结构既要符合工程塑料成型工艺要求,又要便于使用的周转箱的设计,主要有以下几点原则:

- 1) 箱体尖角处应为圆角以防止应力集中在尖角处发生破裂;
- 2) 箱体无通孔时,为避免脱模时负压引起变形、凹陷,应有排气孔;
- 3) 大面积平板周转箱面易造成凹凸不平,应采用瓦楞形平面;
- 4) 箱体四周应设加强肋,底部设方形肋以加强机械强度;
- 6) 骨架设计在保证收缩率一致的前提下,应尽量加强刚性和强度。

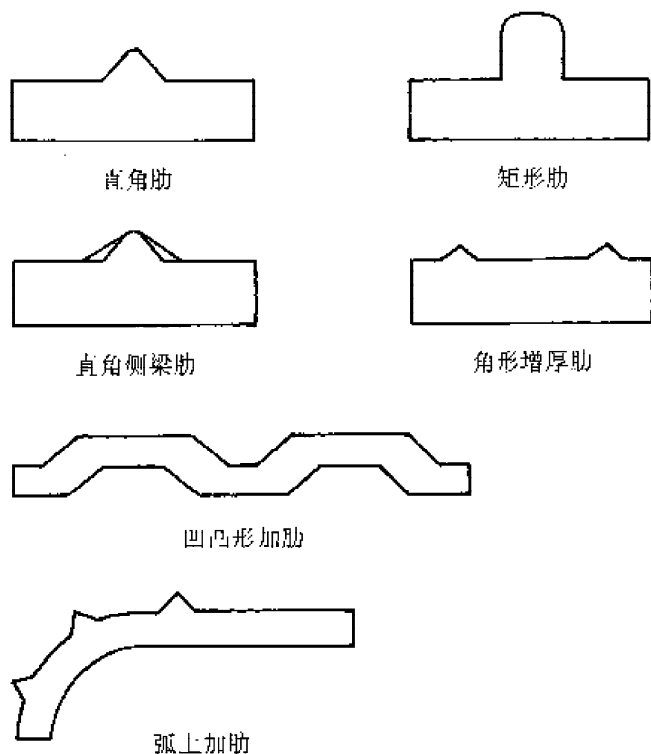


图 1-4-44 工程塑料周转箱加强肋的形式

工程塑料周转箱加强肋的设计,对箱体压缩变形、扭曲变形、刚性和冲击强度有直接影响。当孔格所占面积比例较大时,加强肋的尺寸要相应加大。工程塑料周转箱加强肋的功能规律是纵向加强肋可提高压缩强度,横向加强肋可提高刚性和平整度。图 1-4-44 示出了工程塑料周转箱经常采用的加强肋形式。

由于工程塑料周转箱的使用时间较长,并且经常在大气中曝晒、雨淋,因此对工程塑料的耐大气老化性能要求较高。为此,通常在物料中加入适量的抗氧剂、抗紫外线剂及防老剂。

对于工程塑料周转箱的性能要求,除了一般工程塑料材料应具备的性能外,还应进行如下一些特殊试验:

- 1) 摔落试验 夏季在日光曝晒下,箱内装上货物,在 1.2m 高度上分别以底部、侧部向水泥地面作摔落试验,要求无明显变形,不开裂,无损坏。对封闭式周转箱,要求货物

不得窜出。

2) 单垛堆放铲运试验 将周转箱装上货物,单垛堆放 7 箱,要求堆放平整,稳定可靠,无纵横滑移现象。然后用铲车铲运,应稳妥方便,其强度和刚性也能满足要求。

3) 运输颠簸试验 将周转箱装上货物,在各种不同的路面进行运载:沥青路以 60km/h 的速度运载 280km;土路以 40~50km/h 速度运载 100km;山路以 30~40km/h 速度运载 150km。试验后检查应无开裂现象,货物在箱内卡紧可靠,无窜动现象。

4) 低温试验 将周转箱装上货物,分别在 -15、-20、-25、-30、-35℃ 的低温下放置 40min 后,立即做摔落试验,应无损坏、无开裂,货物无窜出现象。

5) 抗静电试验 将刚成型好的周转箱测定静电荷数值,然后自然放置半年后复测静电值,应接近于零。如复测数值较大,应在加工物料中加入适量抗静电剂。

工程塑料周转箱通常采用注射成型工艺生产。由于通常周转箱体积较大,成型加工时需大容量注射机及复杂而笨重的模具,适用于大批量生产。

(二) 打包带

打包带是一种常见的用于捆扎的包装材料,主要用于外包装,多用于瓦楞箱和软包装的捆扎与加强。打包带按材质分,有金属打包带和塑料打包带两种。塑料打包带又可分为通用塑料型与工程塑料型两大类。通用塑料打包带的主要品种有聚乙烯、聚丙烯和聚氯乙烯打包带;工程塑料打包带的主要品种有 PET、聚酰胺打包带。

1. PET 打包带

PET 打包带是塑料打包带中性能最好的品种,其主要特点如下:

- ① 强度高,约为钢质打包带的二分之一;
- ② 延伸率低,约为 2%~3%;
- ③ 抗蠕变性好,捆扎后蠕变量小,弹性恢复能力强;
- ④ 有缺口时,缺口不易扩展,因而也不易断裂;
- ⑤ 抗湿性良好,不会因受潮而产生较大的蠕变。

PET 打包带价格适中,既适用于硬质物件的捆扎,也可用于趋于膨胀的货物的集成包装,是一种有良好发展前途的新型打包带。

2. 聚酰胺打包带

聚酰胺打包带具有强度高、弹性回复力好与抗蠕变能力强等特点,能长期紧紧地捆扎在被包装的物件上,特别适合于捆扎集合后趋于下沉的物件的包装。与 PET 打包带相比,聚酰胺打包带受潮后强度和抗蠕变性明显下降,如果受损伤出现缺口时容易断裂,其延伸率也比 PET 打包带高,对应力的长期保持能力也低于 PET 打包带。另外,聚酰胺打包带是塑料打包带中成本最高的品种,因而其应用面不及 PET 打包带。

第八节 在医疗卫生上的应用

现代医学的发展,对材料的性能提出了多功能要求,但大多数金属材料 and 无机材料难以满足;而合成高分子材料与生物体有着相似的化学结构,因可以设计出具有相似化学、物理特性的材料,以部分地取代或全部取代生物体的有关器官。

近年来,人造器官的研究取得了令人瞩目的进展,到目前为止,除了大脑和胃之外,几乎

所有的人体器官都在研制代用的,有些已经达到了实用化阶段。此外,高分子合成材料在医疗卫生领域还广泛用于制造各种医疗器械。

医用高分子材料需长期与生物肌体、血液、体液等接触,有的甚至永久性植入体内,因此这类材料必须具有生物功能性和生物相容性。一般来说,要求医用高分子材料具有稳定的化学和物理性能,无毒害,不过敏,不致癌,可灭菌消毒,易成型加工和具有抗血栓性。

工程塑料作为高分子合成材料的一个重要组成部分,在医疗卫生领域的应用也十分广泛。其应用范围大体上可分为人工脏器、外科等用的修复性材料以及医疗器械等。

一、在人工脏器上的应用

目前,采用各种工程塑料制成的脏器分为两类:一类是植入体内永久性使用的人工脏器,如人造血管、人造心脏瓣膜、人造胆管、人造气管等;另一类是手术过程中,用于体外暂时替代使用的人工脏器,如人工肾脏、人工心脏、人工肺等。

体内嵌入型人工脏器必须具有极为优良的生物功能性和生物适应性。例如,人造血管代替天然血管,应具有血液导管功能,人造心脏瓣膜应具有耐受血压及使血液流动保持定向的功能;又如,所有体内嵌入型人工脏器还应具备在与血液直接接触条件下使用的血液适用性,和在不与血液接触条件下使用的组织适用性等。但就目前的情况来看,体内嵌入型人工脏器在这方面还不够完善,人造血管、人造心脏瓣膜等只能用于相当严格条件限定下的病例中,如要在更广泛的范围内有效地使用,还必须进一步提高材料的性能,完善结构的设计。目前为了抢救患者的生命,大多采用体外运行的人工脏器,即使是体外运行的,仍必须在医生的严格指导下使用。

表 1-4-81 列举了用于各种人工脏器的工程塑料。

表 1-4-81 用于各种人工脏器的工程塑料

名 称	工 程 塑 料
人造血管	聚酯纤维、聚四氟乙烯膨体
人造心脏瓣膜	聚四氟乙烯、超高分子量聚乙烯
人工心脏	聚酰胺、聚酯、聚四氟乙烯
人工肾脏	聚砜、聚碳酸酯
人工肺	聚四氟乙烯
人工气管	聚四氟乙烯
人工食道	聚酯纤维、聚四氟乙烯
人工胆管	聚四氟乙烯、聚酯
人工喉	聚四氟乙烯
人工腹膜	聚酯纤维、聚四氟乙烯
人工输尿管	聚四氟乙烯水凝胶

(一) 人造血管

人造血管又称人工血管、血管代用品。作为人造血管的材料,除具备一般医用材料的性能外,还需具有以下一系列特殊的条件:

- 1) 无毒,无异物的反应;
- 2) 耐疲劳强度大,在生物体内不老化;

3) 富有弹性和伸展性,与人体血管尽可能相似;

4) 具有适当的孔隙 (在 13.3kPa 的压差下,其孔隙度在符合安全条件的上限时为 5 000mL /cm²,在治疗要求时为 4 000mL /cm²);

5) 优异的抗血栓性和对血液的高度适应性;

6) 易于缝合,不会绽开;

7) 具备对血液流动的有利状态;

8) 易于消毒,材料易得。

表 1-4-82 列举了人造血管在对血液适应性方面的设计原则。根据表中所列的设计原则,目前较多采用的是聚酯纤维或聚四氟乙烯纤维通过不同的编织方法成型加工的人造血管。编织方法主要有平织法和卷织法两种。经过编织后的人造血管为了使其具有类似人体血管的伸展性和弹性,再加工成蛇腹状。按照不同的需要,管径分大、中、小三类,大型管径大于 14mm,中型管径为 10~14mm,小型管径为 6~10mm。当血流通过纤维林立的粗糙表面时,在内壁表面上迅速形成稳定的凝固血栓膜,然后诱发出血管内皮细胞,形成了一层光滑的生物层——假内膜,使原来无抗血栓性的高分子材料获得天然的抗血栓性。

此外,常用的还有聚四氟乙烯膨体人造血管。将聚四氟乙烯树脂经双向拉伸后得到微孔结构的膨体。它具有平滑的表面,不粘性,低摩擦性,强韧性,柔软而可压缩。动脉用聚四氟乙烯膨体人造血管,外面再复合一层聚四氟乙烯膨体膜,以加强手术缝合处强度。静脉用聚四氟乙烯膨体人工血管,则在外面用丝状聚全氟乙丙烯呈螺旋状包覆增强,以抵抗外力的作用。近年来,又开发了细小人工血管的应用,例如内径 1.0~1.5mm 的聚四氟乙烯膨体人工血管应用于脑外科手术,内径 2.0mm 的聚四氟乙烯膨体人工血管应用于心脏搭桥手术等。

表 1-4-82 人造血管在对血液适应性方面的设计原则

设计因素	设计原则
表面平滑性	阻止细胞成分粘附
疏水性	临界表面张力及表面自由能的控制,提高抗血栓性
亲水性	含水率及表面自由能的控制,提高抗血栓性
负电性	阻止血小板在膜面的凝结
微相分离结构	亲-疏水性的平衡,提高血液相容性
肝素化	提高抗凝血性
假内膜化	诱导初期形成稳定的凝固血栓膜,而不扩展成血栓
多孔质化	亲-疏水性的平衡

为了进一步提高人造血管对血液的适应性,近年来已出现三层结构的人造血管,可以在不同阶段防止移植后形成血栓。其最内层是加入抗血液凝固剂肝素的胶原层,第二层为生物材料胶原层,最外层是聚四氟乙烯层,主要作用是保持血管形状并使之具有足够的强度。聚四氟乙烯层上要开许多直径为 0.1mm 的微细孔,内皮组织通过小孔向外侧生长。

人造血管在临床上已用于以下几个方面:

1) 胸部大动脉 大动脉缩窄症或先天性畸形、大动脉损伤、大动脉瘤的手术切除,可用人造血管进行移植或旁路移植。其缝合部分可用网状材料加敷增强。

2) 头部、上肢动脉 因动脉病变而产生的大动脉炎症、动脉损伤或动脉硬化等手术,以

及锁骨下动脉起始部位血栓的切除手术,可用管径为 10mm 的人造血管。

3) 胸腹部大动脉 大动脉瘤的手术切除,可用人造血管再接一条旁路,选用低孔性平织法聚酯纤维人造血管。异型大动脉缩窄,也可用人造血管再接旁路。

4) 肠骨动脉 以闭塞性动脉硬化症为主的肠骨动脉病变,可用双层卷织法聚酯纤维人造血管。采用双层血管的目的,是为了减少血管移植时的漏血现象。

5) 腹部内脏动脉 多数为动脉硬化或血管炎,可用人造血管旁路再移植,选用管径为 8mm 的双层丝绒型卷织法聚酯纤维人造血管。

(二) 人造心脏瓣膜

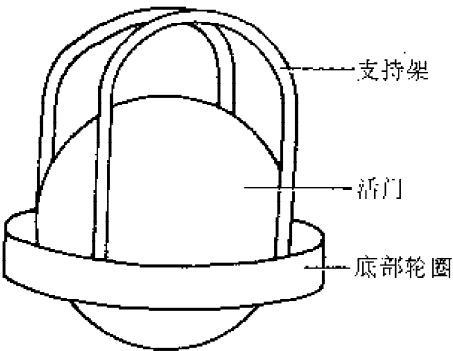


图 1-4-45 球笼型人造心脏二尖瓣膜结构示意图

人造心脏瓣膜又称人工心脏瓣膜,主要用于心脏病患者的病变心脏瓣膜的置换。人造心脏瓣膜有多种类型,如活塞式球笼瓣、碟片式人工瓣及用自体心包膜或阔筋膜制成的叶状瓣膜等。图 1-4-45 示出了球笼型人造心脏二尖瓣膜的结构示意图。

人造心脏瓣膜植入人体后容易产生异物反应,会由于在人体中因脂肪附着产生体积和质量的增加,由于不断运动摩擦而产生材料的磨损,以及由于与血液的直接接触而产生血栓。因此,对于人造心脏瓣膜的材料有很高的要求。表 1-4-83 列举了球笼型人造心脏二尖瓣膜的材料及其要求。

表 1-4-83 球笼型人造心脏二尖瓣膜的材料及要求

部件名称	采 用 材 料	要 求
支持架	钨铬钴合金或钛合金,覆盖聚四氟乙烯或聚酯织物	高机械强度,优良的抗血栓性
活门	空心球状的钨铬钴合金、钛合金或不锈钢;聚四氟乙烯、聚碳酸酯、聚甲醛、聚丙烯或硅橡胶,以聚四氟乙烯或聚酯织物增强	高耐磨性,优良的抗血栓性
底部轮圈	钨铬钴合金或钛合金,覆盖聚四氟乙烯或聚酯织物,中间衬一层硅橡胶	一定的弹性,优良的血液适应性和生物组织适应性,能在其表面形成假内膜

(三) 人工肺

目前研制和临床使用的人工肺尚处于初级阶段,只能暂时代替肺的气体交换功能,作为心内直视手术的一种辅助循环装置,用于治疗心房间隔缺损、心室间隔缺损、心脏瓣膜狭窄、闭锁不全、心肌缺损等心脏疾病。

人工肺可分为鼓泡式、转碟式、积层式和中空纤维膜式等多种。其中以中空纤维膜式为最常用,与其它人工肺相比,它最接近于人体肺的功能,而且体积小,质量轻,使用方便,透气量大,血液充填量大,氧合效率高,对血液适应性好,不产生溶血、凝血现象,干净卫生,安全可靠。表 1-4-84 示出了其装置的规格。

表 1-4-84 中空纤维膜人工肺装置规格

项 目	数 值
中空纤维膜内径,mm	0.2
中空纤维膜长度,mm	130~140

(续表)

项 目	数 值
孔率, %	60~70
中空纤维根数, 根	20 000~62 000
透析面积, m ²	1.6; 3.3; 5.4

人工肺采用的中空纤维膜要求气体透过系数 P_M 大, 氧透过系数 P_{O_2} 与氮透过系数 P_{N_2} 的比值 P_{O_2}/P_{N_2} 也要大, 这两者的综合性能好, 则有利于人工肺的小型化。目前用于制造中空纤维膜的材料主要有聚烷基砒、硅酮聚碳酸酯和硅橡胶等。表 1-4-85 列举了人工肺用膜的气体透过系数。

表 1-4-85 人工肺用膜的气体透过系数

膜 材	膜厚, μm	气体透过系数 P_M , $\text{mL} \cdot \text{cm} / (\text{min} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa})$	
		P_{O_2}	P_{CO_2}
聚烷基砒 (用微孔性聚丙烯膜增强)	2.5	10.86×10^{-3}	45.40×10^{-3}
硅酮聚碳酸酯 (均质膜)	50	1.44×10^{-3}	8.73×10^{-3}
硅橡胶 (用聚酯织物增强)	160	1.38×10^{-3}	7.60×10^{-3}

二、作为组织修复材料的应用

工程塑料作为组织修复材料在外科、骨科、皮肤科、五官科等医疗领域的应用已较为普遍, 例如人造皮肤、人工关节、人工骨、人工齿、人工耳、人工硬脑膜等。表 1-4-86 示出了工程塑料作为组织修复材料的应用。

表 1-4-86 工程塑料作为组织修复材料的应用

应 用 部 位	工 程 塑 料
人造皮肤	聚酰胺、聚酯等复合物
人工关节、人工骨	超高分子量聚乙烯、聚酰胺、聚酯、聚甲醛、聚四氟乙烯
人工齿及牙托	聚酰胺
人工耳小骨	聚四氟乙烯
人工耳及耳软骨	硅橡胶和聚四氟乙烯复合体
人工硬脑膜	聚酯、聚酰胺、聚四氟乙烯

(一) 人造皮肤

皮肤是覆盖在体表、维持机体功能的重要组织之一。人体皮肤由表皮和真皮组成, 表皮又由几种细胞层组成。最外层的角质层和颗粒层的功能是控制人体水分蒸发, 最内层的基底细胞层的功能是作为表皮各细胞的补给。真皮是结合组织层, 主要成分是胶原蛋白纤维, 含有血管、汗腺、脂腺、神经等。当皮肤受烧伤或其它损伤时, 对人体正常生理机能带来不同程度的障碍, 水分从皮肤的蒸发量会显著增加, 同时人体蛋白质、离子等有效成分也会和渗出液一起丢失。表 1-4-87 列举了不同程度损伤时的皮肤与正常皮肤的水分蒸发量的比较。

人体皮肤一旦因大面积烧伤而引起缺损, 植皮是一种决定性治疗方法。皮肤是一种再

生能力很强的组织,即使是大面积的损伤,也会因治疗得当而逐渐愈合恢复。人造皮肤即是在损伤的皮肤治疗过程中的一种暂时性的创面保护覆盖材料。

表 1-4-87 正常皮肤与损伤皮肤的水分蒸发量

皮肤损伤程度	水分蒸发量,mg/(cm ² ·h)
正常皮肤	1~2
I 度烧伤	1~2.5
II 度烧伤 (形成水疱)	2~4
II 度烧伤 (较浅)	20~40
II 度烧伤 (较深)	30~40
III 度烧伤	20~35
肉芽烧伤	30~40

人造皮肤的作用主要是:

- ①) 防止水分与体液从创面蒸发与流失;
- ②) 防止创面感染;
- ③) 使肉芽或上皮能逐渐成长,促进治愈。

对人造皮肤的功能要求是:

- ①) 和人体皮肤相近的柔软性、伸缩性和湿润性;
- ②) 能很好地吸收体内渗出液;
- ③) 和人体皮肤相近的透水蒸气性;
- ④) 有效地防止从创面逸出水分和体液;
- ⑤) 方便地被消毒灭菌。

对人造皮肤的生理要求是:

- ①) 非抗原性;
- ②) 无毒性;
- ③) 非炎症反应性;
- ④) 能使表皮肉芽生长;
- ⑤) 能和创面紧贴并抑制渗出液;
- ⑥) 能有效地防止感染、减少萎缩及有镇痛作用。

人造皮肤主要有织物类和膜类两种。织物类人造皮肤由底层和织物层组成。底层主要由聚多肽或硅橡胶制成,聚多肽性能良好,分泌物较少,不易感染;织物层主要由聚酰胺、聚酯等纤维制成丝绒状或毛絮状,以利于人体组织的长入和固定。另外,织物类人造皮肤也可由三层组成,最外层为聚酰胺丝绒状表面;中间层由聚氨酯或聚硅氧烷制成,以防止水分蒸发和细菌侵入;最内层也制成丝绒状,以便于内组织长入。膜类人造皮肤由内外两层组成。与创面接触的内层主要由各种氨基酸合成的聚氨基酸制成;作为支承体的外层可由聚氨酯等制成。

(二) 人工关节和人工骨

人工关节包括股关节、膝关节、肘关节、肩关节、手关节、指关节、脚关节等,其中以股关节和膝关节的承受力为最大。最初使用的是金属-金属人工关节,患者在使用中要承受很大痛苦。以后发展为金属骨-聚甲基丙烯酸甲酯宽骨臼或金属骨-聚四氟乙烯宽骨臼组成的人

工关节。由于金属存在耐磨性和耐腐蚀性的问题,因此进一步用耐磨性和耐腐蚀性优良、对生物机体无活性的氧化铝陶瓷来代替金属。近年来,塑料部分则大多采用超高分子量聚乙烯(分子量为300万左右)。超高分子量聚乙烯具有优异的耐磨性,其砂磨耗指数仅为高密度聚乙烯和聚酰胺的 $1/5 \sim 1/10$ 。它还具有优良的耐冲击性、耐疲劳性、自润滑性以及无表面吸附力和无毒性等特点。以不锈钢-超高分子量聚乙烯制造的人工股关节,年磨损量为0.14mm,以陶瓷-超高分子量聚乙烯制造的人工股关节,年磨损量仅为0.07mm。

应当指出,到目前为止,还没有一种材料能完全达到天然骨所具有的弹性变形能力。天然骨的模量约为 $7 \sim 30 \text{ GPa}$,断裂伸长率为 $0.5\% \sim 3.0\%$,临界应变释放能为 $600 \sim 5\,000 \text{ J/m}^2$ 。近年来,开发了以骨质成分羟基磷灰石增强的高密度聚乙烯,已能接近天然骨的性能。

在整形外科全髌置换术中,骨水泥起了重要的作用。典型手术是通过骨水泥的原位聚合将金属骨固定在股骨髓腔内,然后置入超高分子量聚乙烯髌臼。骨水泥的作用是填补骨骼与人工骨之间的空隙,但最终要靠新生骨骼的成长与人工骨接合。常用骨水泥的主要原料是甲基丙烯酸甲酯。骨水泥已长期应用于临床,取得良好效果。

三、在医疗器械上的应用

(一) 应用实例

聚四氟乙烯、聚砜和聚醚砜等工程塑料,在内科、外科、呼吸科、齿科、心内科、五官科等领域,广泛用作各种医疗器械。表1-4-88列举了工程塑料在医疗器械上的应用实例。

(二) 一次性医疗用品

一次性医疗用品又称随弃式医疗用品,是一种用之即弃的医疗用品。一次性医疗用品的推广,是医疗卫生水平提高的重要标志。它具有使用方便、避免交叉感染、安全可靠等优点。一次性医疗用品的出现,提高了临床医疗工作效率和护理水平,具有很高的实用价值。

近年来,一次性医疗用品发展迅速,应用十分普及,其中不少是选用工程塑料制造的,例如注射器、输液器、输血器、引流管、导管、插管和检验用具等。表1-4-89列举了一次性医疗用品的名称及所选用的工程塑料。

表1-4-88 工程塑料在医疗器械上的应用实例

应用领域	医疗器械名称	采用工程塑料	性能特点
内、外科等	烧杯、量杯、漏斗、过滤器、各种瓶、管等	聚四氟乙烯	耐热性、疏水性,对生物体无副作用,消毒方便
	杀菌器皿	聚砜	无毒,高温杀菌,透明性,强度高
	接触透镜杀菌器	聚醚砜	强度高,透明性、尺寸稳定性、耐热性
呼吸科	人工呼吸器、氧气罩、防毒面具	聚砜、聚醚砜	强度高,透明性、刚性、耐药品性、耐水蒸气性
外科	注射器、缝合针	聚四氟乙烯、聚砜、聚醚砜	高温消毒,透明性、强度、刚性、成型性
齿科	钻头柄、反射镜支架	聚醚砜、聚砜	高强度、刚性、食品卫生性、耐水分解性、耐药品性
内科	内视镜零件	聚砜	无毒,高强度,透明性、尺寸稳定性

(续表)

应用领域	医疗器械名称	采用工程塑料	性能特点
心内科	血压检查管	聚醚砜	高强度,耐热性、透明性、尺寸稳定性
五官科	鼻用吸入器、接触眼镜片的消毒箱	聚砜	无毒、高强度、透明性、刚性、尺寸稳定性、耐热性

表 1-4-89 一次性医疗用品的名称及所选用的工程塑料

名 称	适用的工程塑料
注射器	聚碳酸酯
输血器	聚酰胺
血液回路和连接管	聚碳酸酯
各种插管	聚四氟乙烯
各种导液管	聚酰胺、聚四氟乙烯
检验用具(试管、采用管、洗液管等)	ABS

第九节 工程塑料在其它方面的应用

一、建 筑

建筑业是国民经济的支柱产业之一,也是国民经济中发展最快的产业。而化学建筑材料则是继混凝土、钢材、木材之后发展最为迅速的第四大类新型建筑材料。塑料是化学建筑材料中最重要的一类材料,它在建筑领域中的应用极为广泛,已成为现代建筑,特别是现代住宅不可缺少的重要材料。

聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯等通用塑料,以及不饱和聚酯树脂、聚氨酯等热固性树脂在建筑领域中的应用很广,可用作水管、电气护套管、塑料门窗、壁纸、墙布、塑料地板、发泡型材、卫生洁具、装饰材料等。

工程塑料虽然具有优良的综合性能,但由于价格较高,成型加工与通用塑料相比要求较高,因而目前在建筑领域的应用尚不普遍。但是,ABS、ASA、聚碳酸酯、改性聚苯醚、聚四氟乙烯等工程塑料,目前在西欧和美国建筑领域的应用已愈来愈多,其应用范围主要有工程塑料门窗、透明件、装饰板、屋顶瓦、管材等。

(一) 工程塑料门窗

住宅与汽车、家电制品相比,要求有更长的使用寿命,现在人们认为应有 30~50 年之久。考虑到要经受大雪、台风、光照及剧烈的温差变化等自然力的作用,因此耐候性材料应是窗框、门板等外装建材的首选材料。

ASA 树脂(丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯共聚物)具有超群的耐候性、耐热老化性,长期在室外使用也不会变色,各项性能均能得到保持。它还具有高强度、高刚性,良好的化学稳定性以及优良的可回收再生性等。此外,ASA 树脂还具有优良的成型性,真空成型、异形挤出成型、热成型、吹塑成型和注射成型等各种成型加工方法均能适用。因此,在西欧和美国 ASA 树脂已被广泛用于制造各类住宅的窗框和门板,也用于制造住宅的浴槽及卫生间的冲洗水槽等。表 1-4-90 示出了用于窗框和门板的 ASA 树脂的性能。

此外,尼龙 66 树脂强度大,刚性高,耐磨性和润滑性好,可用作窗框缓冲撑档、门滑轮和窗帘导轨滑轮等。

表 1-4-90 用作窗框和门板的 ASA 树脂的性能

项 目	数 值
相对密度	1.07
拉伸强度,MPa	50
伸长率,%	18
拉伸弹性模量,GPa	2.5
弯曲强度,MPa	75
简支梁冲击强度(缺口),kJ/m ²	11
洛氏硬度(R)	106
热变形温度(1.82MPa),℃	87

(二) 透明件

在建筑领域,聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)已广泛用于室内高级装饰材料、大型吸顶灯具,以及防护玻璃等透明件的制作。作为透明工程塑料的聚碳酸酯其热性能和力学性能远优于有机玻璃。例如,聚碳酸酯的热变形温度为 132℃,比有机玻璃高 30℃ 以上;拉伸强度和断裂伸长率也显著高于有机玻璃。在各种透明材料中,聚碳酸酯具有超群的耐冲击性能,聚碳酸酯在室温下的冲击强度是浇铸有机玻璃的 16 倍,是定向拉伸有机玻璃的 5 倍。因此,近年来在建筑领域聚碳酸酯已部分取代有机玻璃用于透明件的制作,如各种宾馆、商厦的防护玻璃,采光用天棚板,以及高级装饰材料等。

在美国和西欧市场上,聚碳酸酯玻璃的消耗量近年来一直居聚碳酸酯树脂消耗量的首位。1998 年世界聚碳酸酯玻璃制品的消耗量已超过 200kt。

聚碳酸酯玻璃的缺点是表面硬度不够,容易磨损,为此,使用时经常在其表面涂上一层硬质保护涂层。另外,聚碳酸酯价格较高,也在一定程度上限制了它的应用。

(三) 装饰板

ABS、ACS(丙烯腈-氯化聚乙烯-苯乙烯共聚物)、尼龙 66、聚碳酸酯等工程塑料经挤出成型可制得各种规格的板材。这类板材强度高,刚性大,耐热性优良,尺寸稳定性好,又具有良好的抗疲劳、耐蠕变等性能。在建筑领域可用于制造各种装饰材料,如内墙壁板、门板、天花板、楼梯扶手等。另外,这类工程塑料板材还大量用于制作道路指示牌、室外广告牌、展览板以及各种家具等。

采用 ABS 等工程塑料制造的家具经久耐用,尺寸精度高,光泽度好,设计自由度高,造型美观。近年来,西欧和美国用于制作家具的 ABS 用量已具有相当规模,1998 年西欧和美国用作家具的 ABS 消耗量已分别达到 10kt 和 5kt。

(四) 屋顶瓦

美国 GE 公司于 20 世纪 90 年代以其生产的改性聚苯醚(商品名称 Noryl)为原料制造住宅屋顶瓦获得成功。由于该材料已通过 UL94 规定的燃烧试验,所以其市场用量逐年增加。

以 Noryl 树脂为原料生产屋顶瓦的成型工艺可选用注射成型或真空成型。成型时,可将数枚瓦连成一体成型,制成大型瓦板,然后用于施工。

与石棉瓦等传统屋顶瓦相比,Noryl 树脂屋顶瓦具有如下优点:

- 1) 设计自由度高,可批量生产;
- 2) 施工方便,减少劳动力,缩短施工时间;
- 3) 厚度薄 (2~3mm),重量轻,降低运输成本;
- 4) 可简化支撑屋顶重量的住宅结构。

作为住宅屋顶瓦原料的 Noryl 树脂,可选用耐热性好 (100℃ 以上),阻燃性优良的品级。表 1-4-91 示出了用于制造屋顶瓦的 Noryl 树脂的性能。

表 1-4-91 用于制造屋顶瓦的 Noryl 树脂的性能

项 目	数 值
相对密度	1.06
吸水率 (23℃, 24h), %	0.07
成型收缩率, %	0.5~0.7
拉伸强度, MPa	65
断裂伸长率, %	60
弯曲强度, MPa	93
弯曲弹性模量, GPa	2.48
冲击强度 (缺口), J/m	274
洛氏硬度 (R)	119
热变形温度 (1.82MPa), °C	129
热导率, W/(m·°C)	0.22
线膨胀系数, $\times 10^{-5}$ /°C	5.9
阻燃性 (UL94)	V-1

(五) 管材

建筑上使用的塑料管材主要是以聚氯乙烯为原料生产的,也有部分选用聚乙烯、交联聚乙烯、聚丙烯和 ABS 树脂。

ABS 工程塑料管是以 ABS 树脂为原料挤出成型制得。ABS 工程塑料管坚韧、刚性好、表面硬度高、耐酸碱等化学腐蚀、无毒、不生锈、耐磨、耐热、尺寸稳定、电绝缘性能良好,而且表面易于镀铬。它不耐酮、醛、氯代烃等有机溶剂。ABS 工程塑料管可用作排水管、上水管、芯层发泡管、大口径排污管、电线电缆管以及热空气调节导管等。

表 1-4-92 示出了 ABS 管材挤出成型工艺条件。

表 1-4-92 ABS 管材挤出成型工艺条件

项 目	数 值	项 目	数 值
机筒温度, °C		分流器	175~180
加料段	160~170	模口	180~185
压缩段	170~180	螺杆转速, r/min	10~12
计量段	170~175	牵引拉伸比	1.2
机头温度, °C			

二、办公自动化机器

随着现代工业、商业贸易及通讯技术等不断发展,办公自动化(OA)机器的用量在迅速增加。工程塑料由于具有优良的耐冲击性、尺寸稳定性、强度、刚性、耐磨性、耐热性、化学稳定性而大量用于OA机器中。

工程塑料用于OA机器,其应用的机器种类主要有复印机、传真机、台式计算机、打字机、电脑、现金出纳机、电话交换器、移动电话、扬声器等;应用的部位主要有壳体、结构零部件、驱动零件和光学零件等;选用的工程塑料品种主要有改性聚苯醚、聚碳酸酯、聚甲醛、PBT、尼龙66、尼龙46、ABS、液晶聚合物,以及PC/ABS、ABS/PVC等工程塑料系聚合物合金。

1. 壳体

复印机、传真机、打字机等OA机器的壳体,要求材料刚性高、强度大、质量轻、尺寸稳定并具有阻燃性,通常可选用阻燃品级的改性聚苯醚、聚碳酸酯、ABS等工程塑料,以及PC/ABS、ABS/PVC等工程塑料系聚合物合金。为了减轻OA机器的质量,近年来还开发使用发泡品级的改性聚苯醚树脂和ABS树脂制造各种OA机器壳体。

移动电话的壳体要求材料具有高的刚性、耐冲击性和尺寸精度以及良好的成型性。通常选用聚碳酸酯及PC/ABS合金制造。

2. 结构零部件

OA机器的结构零部件很多,如复印机、打字机、传真机等框架、轴承、导轨、滚筒、托架,电话机的按键,现金出纳机的轮壳,电磁卡片箱等。这些结构零部件对材料的刚性、尺寸精度及耐热性等有很高的要求,通常可选用改性聚苯醚、聚碳酸酯、PBT和聚酰胺等工程塑料制造。

3. 驱动零件

OA机器中大量使用驱动零件,包括正齿轮、斜齿轮、凸轮、滑轮、传动轴等,如计算机终端器齿轮、复印机滚筒凸缘齿轮、视频磁带录音机的带式传动轴等。驱动零件要求材料噪声低,具有高精度、高刚性、高润滑性,以及优良的耐磨性和耐热性。通常主要选用具有优良耐磨性、刚性高的聚甲醛高润滑品级。此外,聚酰胺、聚碳酸酯、PBT、改性聚苯醚等也可选用。

4. 光学零件

各种OA机器中的筒体透镜、曲面透镜、反射镜等光学零件现已塑料化,选用的树脂主要是丙烯酸酯和聚碳酸酯。成型方法可采用新近开发的浇口密封注射成型法。

表1-4-93列举了各种工程塑料在OA机器上的应用。

表1-4-93 各种工程塑料在OA机器上的应用

名 称	应 用 实 例	采 用 理 由
改性聚苯醚	复印机、打字机、传真机、台式计算机等壳体	刚性、强度、尺寸精度、阻燃性等
	现金出纳机轮壳、电磁卡片箱等结构零部件	刚性、耐热性、尺寸精度
	计算机终端器齿轮、复印机滚筒凸缘齿轮等驱动零件	刚性、尺寸精度、耐磨性、耐热性

(续表)

名 称	应 用 实 例	采 用 理 由
聚碳酸酯	传真机、复印机的机架等结构件	耐冲击性、刚性、强度、耐热性
	移动电话外壳及蓄电池槽	耐冲击性、阻燃性、刚性、尺寸精度
	OA 机器的透镜、反射镜等光学零件	透明性、尺寸精度
聚甲醛	复印机、传真机、打字机等 OA 机器的齿轮、滑轮等驱动零件	耐磨性、耐疲劳性、润滑性、低噪声
PBT	电脑键盘、电话按键等结构件	刚性、尺寸精度
	OA 风扇	刚性、强度、耐热性、成型性
	视频磁带录音机的带式传动轴等驱动零件	耐磨性、刚性、润滑性
尼龙 66	复印机、传真机等 OA 机器的壳体	强度、刚性、阻燃性
	电脑键盘基座、打字机机架等结构部件	刚性、耐久性、轻量化、设计自由度
尼龙 46	复印机等 OA 机器的齿轮、滑动零件	刚性、耐磨性、润滑性、成型性
ABS	传真机、计算机、复印机等壳体, 电脑显示屏	刚性、耐冲击性、成型性
液晶聚合物	Xydar: 复印机的轴承、分离爪等结构件; 电脑只读光盘驱动器等驱动零件	刚性、尺寸精度、润滑性、耐磨性、成型性
	Vectra: 扬声器振动板、CD 拾音器	刚性、阻尼性
PC /ABS 合金	传真机、复印机、电子计算机、移动电话等的壳体	刚性、耐冲击性、尺寸精度、成型性
玻璃纤维或碳纤维增强的 PC / ABS 合金	大型复印机、传真机等机架	刚性、尺寸精度、强度、耐冲击性
ABS /PVC 合金	复印机、传真机、台式计算机等的壳体	刚性、阻燃性、尺寸精度、成型性

三、船 舶

工程塑料在船舶上主要用作各种结构零部件和传动零部件, 如轴承、螺旋桨、活塞环、齿轮、滑轮、手柄、罩壳等。

(一) 轴承

1. 艏轴承

船舶艏轴承, 以前主要采用铁梨木、硬橡胶及铂合金等材料, 铁梨木和硬橡胶艏轴承用水润滑, 铂合金艏轴承用油润滑。它们制造工艺复杂, 周期长, 成本高。采用塑料艏轴承, 可以有效地弥补上述艏轴承的不足, 通常选用酚醛布质层压板等热固性塑料及 MC 尼龙等工程塑料作为基材。

MC 尼龙艏轴承是先用己内酰胺单体在碱性催化剂作用下, 经聚合反应并采用离心浇铸成型得到轴承坯铸件, 再经调湿处理去除残余应力及机械精加工而制得。它具有制造工艺简单、成本低、使用寿命长等优点, 可代替铂合金和铜合金轴承。表 1-4-94 示出了 MC 尼龙艏轴承的尺寸规格。

表 1-4-94 MC 尼龙艉轴承的尺寸规格

(单位:mm)

轴承内径		安装间隙	外径过盈量	轴承壁厚
名义尺寸	偏差			
<30	+0.40	0.25~0.30	0.10~0.12	3.0
30~50	+0.40~+0.70	0.30~0.50	0.10~0.18	3.0~4.0
50~80	+0.65~+1.00	0.48~0.75	0.15~0.24	4.5~7.0
80~100	+0.92~+1.15	0.72~0.90	0.20~0.25	7.5~9.0
100~150	+1.00~+1.50	0.80~1.20	0.22~0.30	9.5~14.0
150~200	+1.35~+1.85	1.10~1.50	0.27~0.36	14.5~19.0
200~300	+1.60~+2.25	1.30~1.90	0.30~0.36	19.0~25.0

2. 辅机轴承

船用辅机轴承,以前大都采用铜合金材料,用铜量大,使用中容易咬死或导致轴颈磨损。采用工程塑料轴承,不仅可以节省大量有色金属,而且耐磨损性和润滑性优良,运转中噪声小,即使工程塑料轴承烧坏,也不会影响轴颈。

1) 水泵轴承 船用辅机水泵轴承(如图 1-4-46 所示)原采用铜背浇铅材料,制造工艺复杂,要采用拂括工艺,安装也不方便。现采用 MC 尼龙材料,不仅节约了有色金属,简化了制造工艺,而且延长了使用寿命。另外,海、淡水泵的工作温度不高,可以方便地采用水来冷却润滑,十分有利于工程塑料轴承的使用。

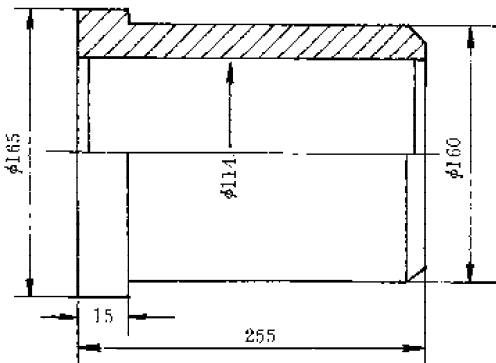


图 1-4-46 MC 尼龙水泵轴承结构图

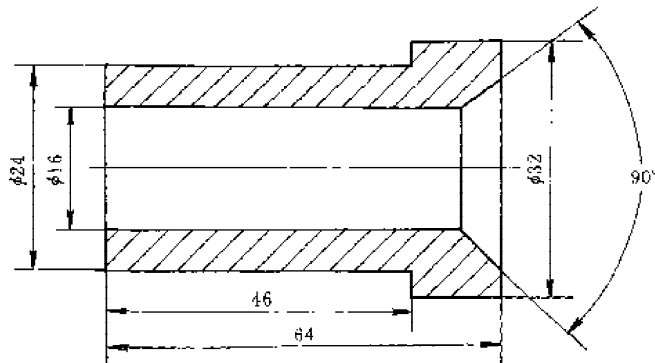


图 1-4-47 尼龙水密门梢轴衬套结构图

2) 水密门梢轴衬套 水密门梢轴衬套(如图 1-4-47 所示)原采用铜合金材料,制造时需将铜棒经多道机械加工工序,现采用尼龙(尼龙 66、尼龙 1010 等)经注射成型制得,大大提高了生产效率,并节约了大量有色金属。

3. 舵轴承

舵轴承包括舵杆上下轴承和舵托止推轴承,均可采用 MC 尼龙材料,经浇铸成型而得。图 1-4-48 示出了 MC 尼龙舵杆轴承。舵的转动速度较慢,载荷也不是很大,采用 MC 尼龙可以取得很好的效果。

4. 喷涂工程塑料轴承

在金属表面喷涂 0.3~0.5mm 工程塑料涂层的轴承,既能保持金属材料的刚性,又可获得优良的耐磨、减摩性能。如船舶主

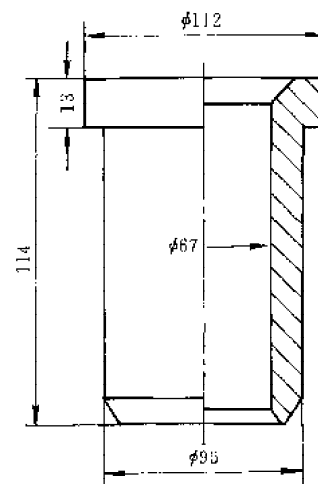


图 1-4-48 MC 尼龙舵杆轴承结构图

机推力轴承,用含有 5%二硫化钼的尼龙 1010 喷涂在普通的推力块上,以代替巴氏合金浇铸的推力块,在运转过程中,滑动线速度 7.1m/s,承受载荷 1.5MPa,油温可比巴氏合金轴承降低 10℃。又如,船舶主机连杆大端轴瓦,用同样的喷涂工程塑料的轴瓦,以代替巴氏合金材料制造的轴瓦,滑动线速度 6.7m/s,承受载荷 17.5MPa,油温比巴氏合金轴瓦降低 7℃,并具有更好的耐磨性。

(二) 螺旋桨

船用螺旋桨主要采用玻璃纤维增强尼龙 610 或 MC 尼龙制造。可用于游艇、救生艇、拖轮等船舶上。

玻璃纤维增强尼龙 610 螺旋桨叶片为双曲面,采用长度为 8mm 左右的高强度玻璃纤维。为提高材料的结晶性,在物料中通常加入 0.5%~1.0%的成核剂,以提高机械强度、耐磨性、硬度和减少表面粗糙度,降低吸水性、翘曲变形。成型一般采用注射法,在成型后,制品应进行后处理,以减少内应力,提高结晶度,稳定结晶结构。后处理条件为:110℃, 6h,并在 12h 内逐渐冷却至室温。

MC 尼龙螺旋桨耐磨性和耐腐蚀性好,生产工艺简便,可节约大量的铜等有色金属,质量轻,可提高船舶航速,其推力比铸铁大 20%,成本仅为铜的 1/5。但 MC 尼龙螺旋桨的耐热性较低,仅为 100℃,且易产生弹性变形。MC 尼龙螺旋桨的成型工艺见图 1-4-49 所示。

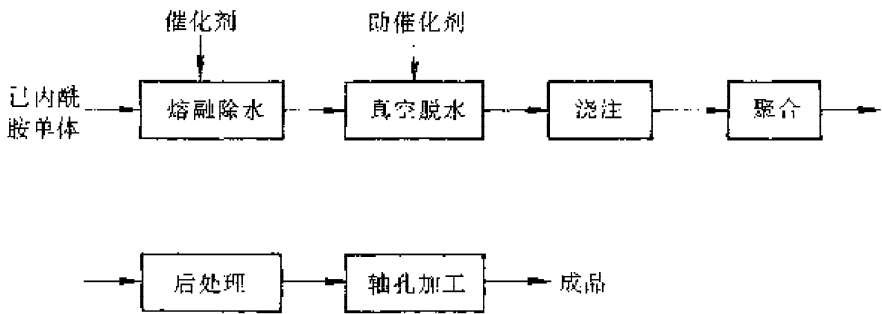


图 1-4-49 MC 尼龙螺旋桨成型工艺

MC 尼龙螺旋桨物料配方:

己内酰胺单体	1 000
催化剂:氢氧化钠	1.4
助催化剂:乙酰基己内酰胺	5.5
TDI	4.0
MDI	5.7
碳酸二苯酯	3.0

表 1-4-95 示出了 MC 尼龙螺旋桨尺寸及性能。

表 1-4-95 MC 尼龙螺旋桨尺寸及性能

项 目	数 值	项 目	数 值
桨叶直径,mm	890	桨壳直径,mm	120
螺距,mm	841	桨叶质量,kg/个	2
桨叶数,个	3	叶根处叶厚,mm	68

续表)

项 目	数 值	项 目	数 值
叶根处叶宽,mm	178	允许应力,MPa	11
压缩强度,MPa	100~140	安全系数	9
弯曲强度,MPa	90~100	螺旋桨转数,r/min	500

(三) 活塞环

在船舶上使用的塑料活塞环通常可选用酚醛层压塑料等热固性塑料或 MC 尼龙、聚四氟乙烯等工程塑料制造,主要用于常温下工作的海水泵、淡水泵、油循环泵和空气压缩机等设备上。

工程塑料活塞环可用注射、浇铸或冷压烧结等方法成型,也可采用工程塑料型材经机械切削加工的方法制造。用于液压起网机和液压舵机油泵上的 MC 尼龙循环油泵刮板,密封性能优良,可使油泵压力稳定,工作可靠,使用寿命长。其外观尺寸见图 1-4-50 所示。在空气压缩机上使用的聚四氟乙烯活塞环可实现无油润滑,使压缩气体干燥纯净,其尺寸规格见表 1-4-96 所示。

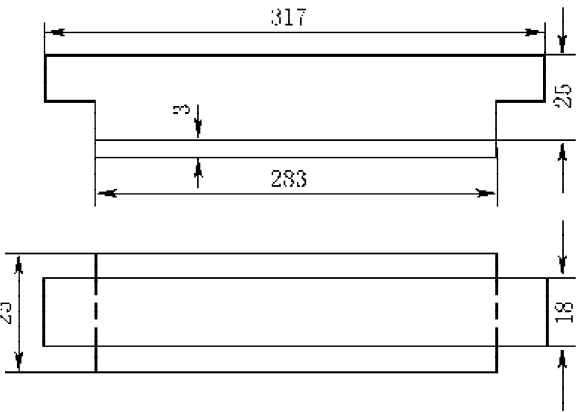


图 1-4-50 MC 尼龙循环油泵刮板的尺寸规格

表 1-4-96 聚四氟乙烯活塞环的尺寸规格 (单位:mm)

外 径	内 径	轴向厚度
30~40	20~30	5
45~75	33~63	6
80~155	64~139	8
160~275	140~255	10
280~390	256~366	12
400~600	371~570	15

(四) 齿轮

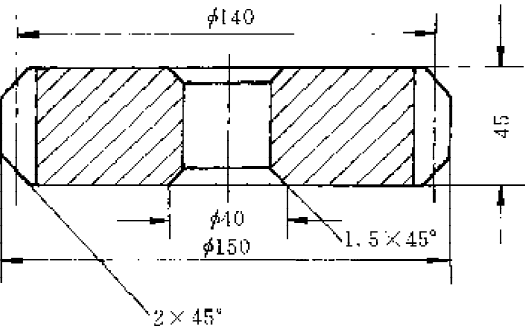


图 1-4-51 MC 尼龙打油齿轮结构图

在船舶上使用的塑料齿轮可由多种工程塑料制造,目前主要有尼龙 6、尼龙 66、尼龙 610、尼龙 1010、MC 尼龙、玻璃纤维增强尼龙、聚甲醛、聚碳酸酯、氯化聚醚等。它们具有较高的刚性和疲劳强度,耐磨性和耐热性好,摩擦因数低,成型简便,因此得到了 广泛应用。图 1-4-51 为船舶起货机的 MC 尼龙打油齿轮,齿数 $Z=28$,模数 $M=5$,啮合角 $\alpha=20^{\circ}\text{C}$ 。

(五) 滑块

在船舶上使用的工程塑料滑块主要由 MC 尼龙制成,用以代替青铜材料制成的滑块。其特点是成型加工性好,安装方便,润滑性能优良,即使在润滑剂不足的情况下也能有效地工作,运转时噪声小,并有消振作用,使用寿命比青铜滑块长几倍。图 1-4-52 为船舶起货机上的 MC 尼龙滑块。

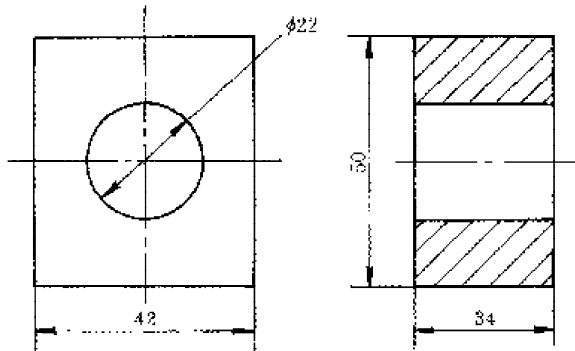


图 1-4-52 MC 尼龙滑块结构图

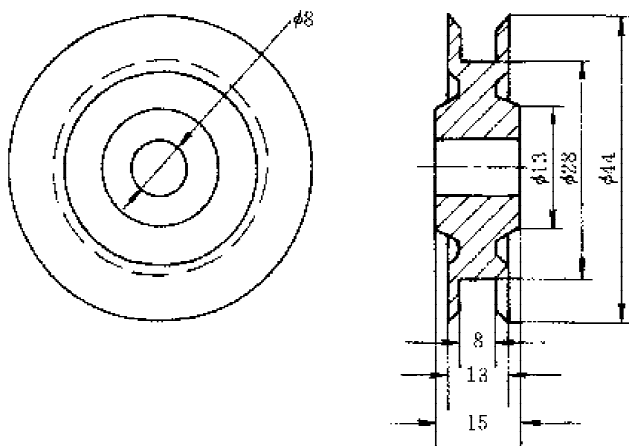


图 1-4-53 尼龙 1010 滑轮结构图

(六) 滑轮

在船舶上使用的工程塑料滑轮通常由尼龙 1010 注射成型或由 MC 尼龙浇铸成型加工而得。其特点是重量轻,耐腐蚀和耐磨性好,生产效率高。图 1-4-53 为船舶油箱快关阀操纵装置上的尼龙 1010 滑轮结构图。

(七) 手柄

在船舶上使用的塑料手柄通常由工程塑料 MC 尼龙、聚甲醛或热固性塑料酚醛模压塑料制成,以代替原先使用的铝铸件。

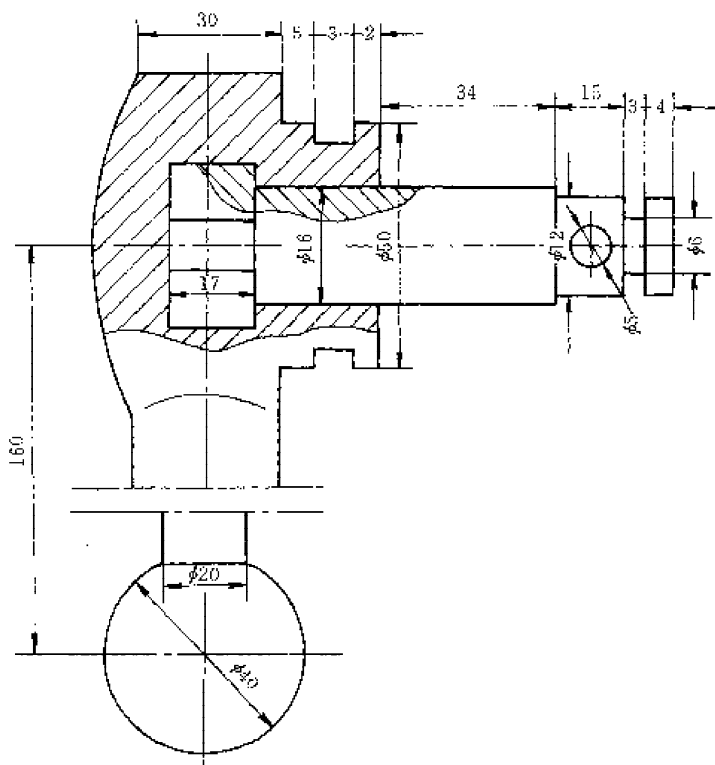


图 1-4-54 聚甲醛注射手柄

其特点是成型加工方便,外形美观,成本低廉,生产效率高,热导率低。

船用工程塑料手柄有甲板辅机主令控制器手柄、柴油机用星形捏手、换向手柄头、转换开关手柄头等。对一些强度要求较高的手柄可采用金属嵌件结构。图 1-4-54 为聚甲醛注射手柄结构图。

(八) 罩壳

在船舶上使用的塑料罩壳,通常均用各种增强工程塑料,如玻璃纤维增强尼龙 6、玻璃纤维增强尼龙 66、玻璃纤维增强尼龙 1010、玻璃纤维增强聚甲醛等制成。以代替各种钢板、铸铁、铝合金等金属材料。其特点是质量轻、耐腐蚀性好,生产效率高。

船用工程塑料罩壳有汽缸罩壳、凸轮轴罩板、曲轴箍盖板、主令控制器罩壳及齿轮盖等。

四、铁 路

工程塑料在铁路上的应用领域大致可分为工务部门 (即铁道工程)、电务部门 (即通信信号工程)和机车车辆等三类。

(一) 工务部门

工程塑料在工务部门应用的重点是在线路,即铁路轨道。由于列车的速度在不断提高,要求轨道结构具备高刚性、稳定性及适宜的弹性,实现高品质,少维修。近年来,工程塑料在新型轨道结构中的应用愈来愈多。例如,尼龙可用作钢轨扣件的挡板座及混凝土轨枕套管;增强增韧尼龙可用作岔枕套管;增强 PET 可用作可变垫板及电热垫板等。

1. 挡板座

钢轨扣件的挡板座是保护轨枕挡肩、绝缘、保持轨距的重要部件,要求它强度高,能缓冲轨道横向力,有良好的耐磨性和耐腐蚀性,尤其要求它能与轨距挡板一起,起到保持和调节轨距的作用。通常采用尼龙 6 或尼龙 1010 制造,但它们具有冲击性能不够理想等缺点,所以近年来采用增强增韧尼龙制造,取得了良好的效果。

2. 岔枕套管

为提高列车的运行速度,必须提高道岔的过岔速度。因此设计的提速道岔,采用了混凝土岔枕,岔枕中配置塑料套管。铁道部科学研究院金属及化学研究所以 30%玻纤增强并进行增韧改性的尼龙为原料,制造出新型复合材料套管,经试用证明,完全能满足提速混凝土岔枕对塑料套管的要求。

(二) 电务部门

工程塑料在铁路电务部门中的应用主要是用作通信信号工程的绝缘材料。国内在 20 世纪 70 年代以前,轨道电路绝缘件是采用浸渍绝缘清漆的层压纸板制作的,由于机械强度不够,吸水率大,所以使用寿命短,维修周期短。后来经过大量的研究与实践,确定用工程塑料尼龙 6、尼龙 1010 或 MC 尼龙加以代替,取得了良好的使用效果。

这类聚酰胺工程塑料具有如下特点:

- 1) 力学性能好,具有较好的抗冲击性能和疲劳强度,使用寿命较长,维修周期较长;
- 2) 化学性能稳定,具有较好的耐腐蚀、耐潮湿性能;
- 3) 电绝缘性能良好,能满足各种电路对电气性能的要求;
- 4) 耐高低温性能良好,能在较宽广的地区使用;
- 5) 摩擦因数较大而磨耗损失较小,既有耐磨性,又有防滑性;
- 6) 安装方便,产品通用性好,互换性能好;
- 7) 体积小,质量轻,不变形,加工方便,便于贮存,运输成本低。

由于聚酰胺类工程塑料在晴雨天气都能保持优良的绝缘性能,所以特别适用于传输较高频率信息的轨道电路。这类工程塑料的应用,确保了通信、信号的畅通,大大减少了行车故障,提高了行车安全性,因而从 70 年代中期起,我国轨道电路的各种绝缘件,包括原用环氧玻璃钢等材料制作的槽型绝缘件等,几乎都改用了聚酰胺类工程塑料。

采用尼龙 6、尼龙 1010 或 MC 尼龙为原料,生产轨道电路的绝缘件主要有槽型绝缘件、绝缘管垫、绝缘管、绝缘垫圈、各种绝缘板以及轨端绝缘件等,品种规格有 170 多个。行业标准 TB1485-83 规定了部分尼龙绝缘件的型式与尺寸(图 1-4-55)。

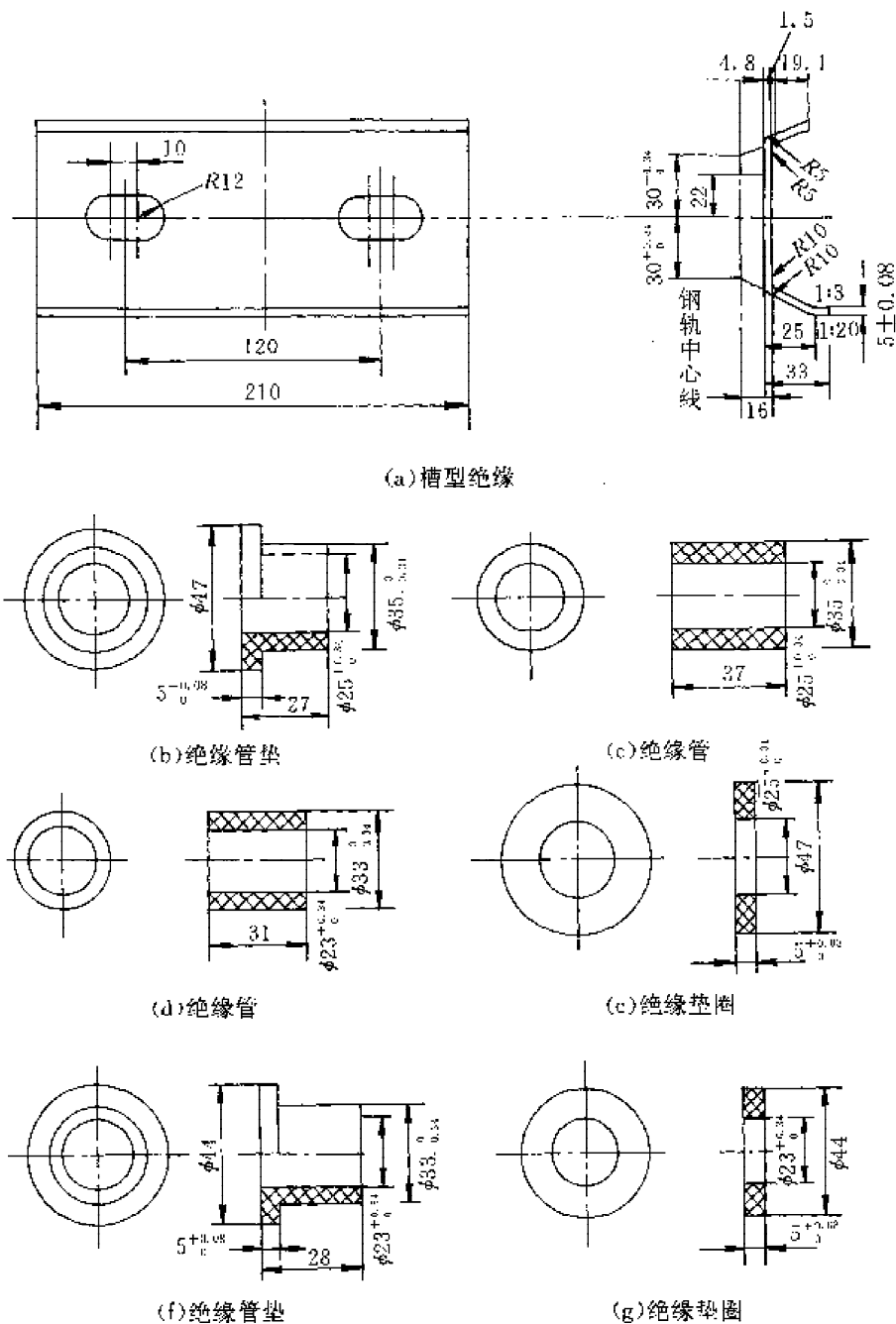


图 1-4-55 铁路轨道上使用的部分尼龙绝缘件的型号与尺寸

(三) 机车车辆

由于工程塑料具有耐磨、润滑、刚性高、尺寸稳定、成型方便等特点,使其在机车车辆减磨、润滑部位有不可替代的优势,例如用工程塑料制作的车辆心盘衬垫、球铁轴瓦瓦头、机车导框滑板、摩擦板、轴承保持架等。另外,透明工程塑料聚碳酸酯经过表面处理,可用作客车窗玻璃。

1. 心盘衬垫

车辆心盘衬垫采用工程塑料制作主要是为了解决上下心盘间的磨耗,缓冲车辆走行动

能,延长相关部件使用寿命。适宜制作车辆心盘衬垫的工程塑料应首选高强度尼龙类工程塑料,如玻纤增强增韧尼龙、含油铸型尼龙等。它们是尼龙类工程塑料的新型品种,具有耐磨、强韧、轻量、耐油、耐热、耐寒、易成型、自润滑等优点。

根据车辆心盘衬垫的使用特点,工程塑料力学性能中的压缩屈服强度是车辆心盘衬垫使用技术要求的关键性能之一,直接关系其使用功能和使用寿命。表 1-4-97 示出了几种工程塑料压缩屈服强度的比较。

由于车辆心盘衬垫是高承载车辆部件,在运行状态下纵向、横向、扭力及动载加速等因素的影响,其受力情况相当复杂,每个车辆心盘衬垫在静载状态下应能承载约 400kN,在动态状态下应能承载 600kN,车辆心盘衬垫受压约 11MPa。在车辆中使用的各种部件应有较高的安全系数,选择含油尼龙、玻纤增强尼龙或增强增韧尼龙材料制作心盘衬垫是适宜的。

表 1-4-97 几种工程塑料压缩屈服强度的比较

名 称	压缩屈服强度, MPa
含油尼龙	52
增韧改性含油尼龙	18
增强增韧尼龙	67
超韧尼龙	48
玻纤增强尼龙	75
超高分子量聚乙烯	15

2. 球铁轴瓦瓦头

为节约铜材,铁路货车上采用球墨铸铁取代铜制造轴瓦。但是,在使用过程中,出现了球铁轴瓦端部严重磨损以及磨损车轴轴领和轴肩的问题,另外,因摩擦产生的铁粉进入轴瓦,还造成大量运行事故,对铁路安全构成了威胁。

为解决这一问题,铁路部门进行了大量的试验研究工作,确定了在球铁轴瓦前后端镶一块塑料头(又称瓦头,厚约 10mm)的技术方案。并选用 MC 尼龙、尼龙 6、尼龙 1010、玻纤增强尼龙 6、聚碳酸酯、聚甲醛等工程塑料进行磨耗性能对比试验(对磨材料为轴钢)。

MC 尼龙耐磨性好,力学性能优良,耐热温度高(120~140℃),但耐寒性较差(−20℃),而且浇铸成型方式不适合大面积应用。尼龙 1010 耐磨性优良,耐寒性较好(−40℃),可注射成型,但耐热性较差(80~100℃),不适合于南方炎热地区使用。

聚甲醛是一种没有侧链、高密度、高结晶性的线型聚合物,具有尼龙类工程塑料所不及的优异的力学性能,特别是干摩擦性能、高抗蠕变性和高疲劳强度。其疲劳极限强度在所有的热塑性工程塑料中是最高的。在 1.82MPa 载荷下,聚甲醛的热变形温度为 124℃,脆化温度为 −50℃。此外,它还具有优越的耐冲击性及尺寸稳定性,极小的吸水率等优点,因此,目前它已取代了尼龙 1010,与 MC 尼龙一起成为铁路机车上制造轴瓦瓦头的主要材料,并且已被普遍地认为是综合效果较为理想的轴瓦瓦头材料。

聚甲醛可以采用注射成型方便地制造轴瓦瓦头,表 1-4-98 示出了聚甲醛轴瓦瓦头的注射成型工艺条件。

目前聚甲醛工程塑料瓦头主要用于重载轴,有两种型式,五个规格(图 1-4-56)。规格与尺寸见表 1-4-99。

表 1-4-98 聚甲醛轴瓦瓦头的注射成型工艺条件

项 目	数 值	项 目	数 值
预干燥		后部	180
温度,℃	110~120	注射压力 (表压),MPa	1.96
时间,h	8	注射时间,s	10
料筒温度,℃		拼模时间,s	20
前部	180	成型周期,s	40
中部	180	模具温度,℃	80~100

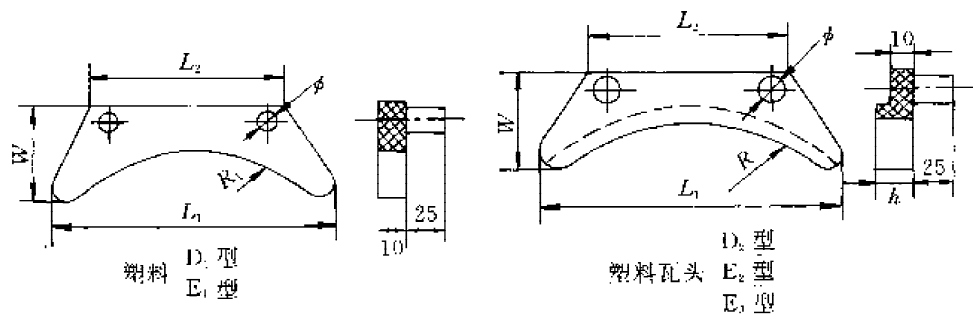


图 1-4-56 塑料瓦头的型式

3. 车窗玻璃

聚碳酸酯是一种具有优良性能的透明工程塑料。其透光率可达 85%~90%，耐冲击性优异，耐热性和机械强度良好，因此在铁路上可用作客车车窗玻璃。聚碳酸酯玻璃的缺点是表面硬度不够高，容易磨损而产生雾化现象，因而通常需进行表面处理。在聚碳酸酯玻璃表面上涂覆硅树脂是一种行之有效的方法，既能解决磨损问题，又不影响其透光度。此外，根据高速列车通过隧道风压加大的特点，可考虑采用多层窗玻璃配置方式。

表 1-4-99 聚甲醛轴瓦瓦头的规格与尺寸

规 格	尺 寸,mm
D ₁ 型	$L_1 = 132; L_2 = 76; W = 50$
D ₂ 型	$L_1 = 132; L_2 = 76; W = 50; h = 15$
E ₁ 型	$L_1 = 155; L_2 = 86; W = 60$
E ₂ 型	$L_1 = 155; L_2 = 86; W = 60; h = 15$
E ₃ 型	$L_1 = 155; L_2 = 86; W = 60; h = 20$

五、分 离 膜

通过高分子膜将两种或两种以上的物质加以分离的过程称为膜分离过程。膜分离过程与蒸发、萃取、冷冻、过滤等分离方法相比有许多独特的优点：

- 1) 高分子膜分离无相变化发生，因此所需能量少，分离过程温和。
- 2) 便于连续操作，容易扩大分离的规模。
- 3) 物质的分离、浓缩和精制的过程可同时完成。
- 4) 应用面广，可用于工业用水脱盐、高纯水制备、海水淡化、有机合成、电镀、造纸、稀

有金属分离和抗生素提炼等。

工程塑料在膜分离技术上有广泛的应用。聚砜、聚醚砜、氟塑料、聚苯醚、聚酰胺、聚碳酸酯、聚酰亚胺等工程塑料可用作各种分离膜的材料。采用工程塑料制造的高分子分离膜主要有电渗析膜、微孔过滤膜、超滤膜、反渗透膜和气体分离膜等。

(一) 电渗析膜

电渗析膜又称离子选择性透过膜。它是用阴、阳离子交换膜为分离材料,在膜的两侧施加一个直流电场达到离子的分离目的。主要用于水处理及化工过程的浓缩分离、提纯和精制,例如海水淡化、海水浓缩制盐、工业废水处理及制备高纯水等。

通常采用板框压滤机式电渗析装置(图 1-4-57)进行膜分离运作。在不影响分离功能的前提下,电阻越小越好,以降低电能消耗。对膜的选择性一般要求大于 85%,反离子迁移系数大于 0.9,并要求能在高浓度电解质溶液中仍有良好的选择性。

电渗析膜用材料可选择经过改性的聚砜、聚醚砜等树脂。例如,由聚砜树脂用氯甲基醚进行氯甲基化反应后,溶于环己酮中,将增强网布浸入其中,经多次浸胶、烘干,制得氯甲基化聚砜增强薄膜,最后在三甲胺水溶液中胺化制得可用作电渗析膜的 S-203 聚砜系均相阴离子交换膜。它具有强度高、耐酸碱性好和选透性高等特点。表 1-4-100 示出了 S-203 聚砜系均相阴离子交换膜的性能。

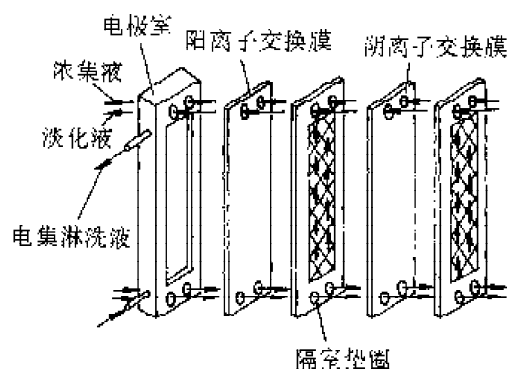


图 1-4-57 板框压滤机式电渗析装置

表 1-4-100 S-203 聚砜系均相阴离子交换膜的性能

项 目	数 值	项 目	数 值
质量全交换容量, mmol/g	1.1~1.5	选透性, %	≥90
含水量, %	25~35	爆破强度, MPa	≥0.6
面电阻系数, Ω·cm ²	≤8		

电渗析除了达到脱盐、浓缩的分离目的外,还可用于隔膜电解上。美国 Du Pont 公司开发成功含氟树脂的阳离子交换膜后,开拓了用离子交换膜隔膜电解法电解食盐制造烧碱的新技术,可制得高纯度烧碱,与传统的汞法和石棉隔膜法相比有节能和成本低廉等优点。制碱用的电解隔膜需耐 90℃ 温度和 40% 浓度的氢氧化钠,而且要具有高电导性、离子选择透过性和机械强度,因此至今只有全氟磺酸膜、全氟羧酸膜这类由含氟高分子材料加工成的全氟离子膜能够满足这种要求。

(二) 微孔过滤膜

由高分子材料制成的具有很多微孔而孔径分布又较均匀的过滤膜。微孔孔径从 0.03 μm 到十几微米。对微孔过滤膜的要求是孔结构稳定,过滤膜强韧,具有较大的过滤速度和精度,耐热性和耐化学药品性良好。微孔过滤膜的制法有溶剂凝胶化法、抽出法、烧结法、双轴拉伸法和电子照射蚀刻法等。微孔过滤膜常用组件为百褶裙式过滤器或平板过滤器,也可用中孔纤维组件。常用的制备微孔过滤膜的高分子材料有醋酸纤维素、硝酸纤维素、聚丙

烯、聚氯乙烯等通用塑料,以及聚酰胺、聚碳酸酯、聚砜、聚砜酰胺、聚四氟乙烯等工程塑料。微孔过滤膜主要用于除去液体中的细菌和颗粒物,如水的预处理或终端处理,也常用于生物和微生物的检查、水质检验、血浆分离、悬浊物分离等。亲水性的微孔过滤膜用于液体系统的分离,疏水性的用于气固系统分离。

(三) 超滤膜

超滤膜是由高分子合成材料制成的半透膜。适合于分离直径为数纳米到数微米范围的粒子。由聚合物、添加剂、溶剂配成制膜液,流延成管状或抽成中空纤维状,然后通过沉淀定型而制成。多数采用聚砜、聚砜酰胺、聚碳酸酯、芳香族聚酰胺和聚酰亚胺等工程塑料作为膜的基材。超滤膜的结构有非对称膜和对称膜两种。非对称膜具有致密表层和以指状结构为主的底层,表层厚度为 $0.1\mu\text{m}$ 或更小,并具有排列有序的微孔,底层厚度为 $200\sim 250\mu\text{m}$,属于表层过滤。对称膜是各向同性的,没有皮层,在所有方向上的孔隙都是一样的,属于深层过滤。工业上使用的超滤膜均匀非对称超滤膜,其组件有中空纤维式、板式、板框式和管式等。超滤膜的工业应用极为广泛,主要用于分离、浓缩、纯化各种生物制剂、药品以及食品工业中。还用于血液处理、废水处理和超纯水制备时的终端处理装置等。

(四) 反渗透膜

反渗透膜是一种不能通过溶质,只能通过水或溶剂的半透膜。反渗透膜要求透水率高,膜的纯水透过量越大越好,脱盐率愈高愈好。目前实际应用的反渗透膜都是由亲水性的高分子材料制取,包括醋酸纤维、磺化聚砜、磺化聚苯醚、聚芳酰胺、聚酰胺酸等。它们具有优良的抗氧化性和分离性,脱盐率可达 99% 以上,并可在广泛的 pH 值范围内 ($1\sim 12$) 应用。

用于反渗透的膜分离组件有板式、管式、中空纤维式和卷式四种形式。

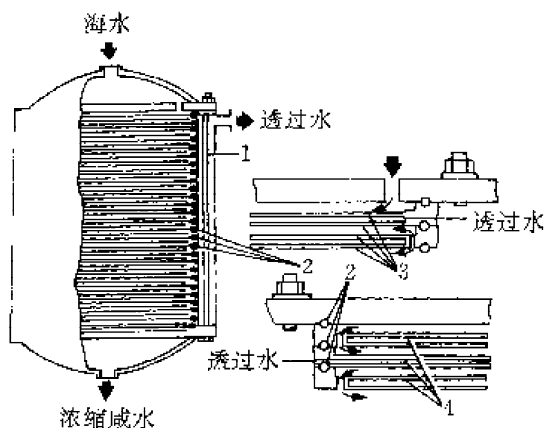


图 1-4-58 系紧螺栓式板式反渗透装置

1—系紧螺栓; 2—O 形圈; 3—膜; 4—多孔板

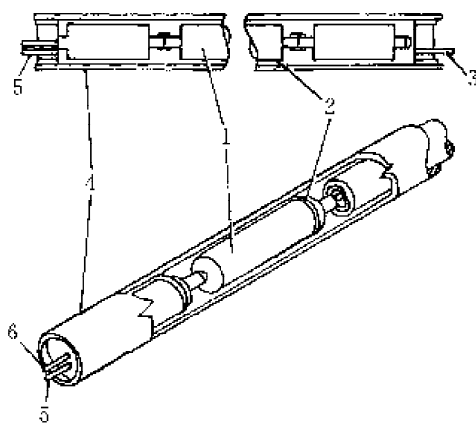


图 1-4-59 卷式反渗透装置

1—组件; 2—密封; 3—进料连接管; 4—水力管;
5—浓缩水出口; 6—产品水出口

1) 板式 由板框式压滤机发展而来,又有系紧螺栓式和耐压容器式两种类型。其中,系紧螺栓式是将一定数量的原料液导流板和透过液导流板依次紧密堆积,用 O 形圈密封,再用上下头盖以系紧螺栓固定而成(图 1-4-58);耐压容器式是把多层脱盐板串联、并联堆积组装后,放入耐压容器而成。

2) 管式 主要由圆管式的膜及相应的支撑体组成,根据膜放置的位置可以分为内压型和外压型两种。

3) 中空纤维式 将几十或几百万根中空纤维弯成 U 形, 装入圆柱形耐压容器内。纤维的开口端密集固定在环氧树脂的管板中, 即成中空纤维组件。

4) 卷式 主要构件是中间插入多孔支撑网的信封状膜袋, 其开口边与一根多孔中心集水管密封连接, 在膜袋外部的原水侧再垫一层隔网, 将膜袋—隔网—膜袋—隔网依次叠合, 绕中心集水管紧密地卷起来形成一个膜卷, 再将膜卷装到圆柱形压力容器内, 即成螺旋卷式组件 (图 1-4-59)。

上述四种形式中, 目前应用最广的是卷式组件。

反渗透装置主要用于海水淡化, 电镀废水、造纸废水、放射性废水及城市生活废水等废水处理, 乳品加工, 以及超纯水、医用纯水及锅炉补给水的制备等。

(五) 气体分离膜

气体分离膜是用于分离混合气体的功能膜。其类型主要有多孔膜、非多孔膜和非对称膜等。膜法分离气体主要是根据混合原料气中各组分在压力作用下, 通过半透膜的相对传递速率不同而得以分离的。

用于分离气体的高分子材料主要有聚二甲基硅氧烷、聚乙烯基三甲基硅烷、聚 4-甲基-戊烯-1、乙基纤维素、聚砜、聚苯醚、聚酰亚胺及氟塑料等。

气体分离膜主要用于分离以下四种类型的混合气体:

- 1) 以氧、氮混合气体为代表的, 各组分气体的性质及分子大小相似的混合气体。
- 2) 分子直径小的氢、氦与分子直径大的气体的混合气体。
- 3) 二氧化硫、二氧化碳、氨、氯等可凝聚的气体与氧、氮、甲烷、一氧化碳等难凝聚气体的混合气体。
- 4) 络合气体与不易络合气体的混合气体。

与其它气体分离过程相比, 气体分离膜具有耗能少、成本低、操作简便等优点。例如, 采用富氧分离膜, 可从空气中分离出广泛用于助燃及医疗中的富氧气体。用富氧气体助燃, 对提高燃烧速率、节能和减少氮氧化合物 (NO_x) 对环境污染都有很大益处。采用含氧 25% (即富氧 4%) 的空气, 燃烧时可节能 20%~40%。又如, 采用聚砜中空纤维外涂有机硅氧烷的富氢分离膜, 可制得浓缩的氢气, 用于合成氨工业。