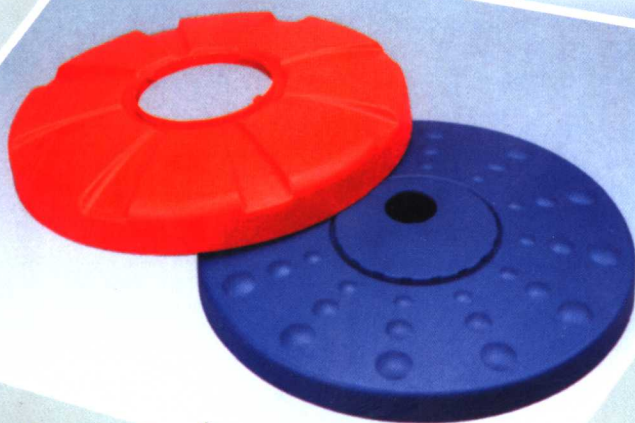
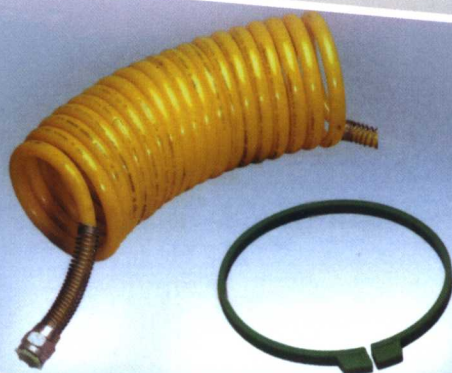


塑料制品

设计方法及应用实例

申开智 主编



国防工业出版社
National Defense Industry Press

选题策划: 肖志力 zlxiao@ndip.cn
责任编辑: 程邦仁 brcheng@ndip.cn
责任校对: 钱辉玲
封面设计: 李 珊 sli@ndip.cn

塑料制品

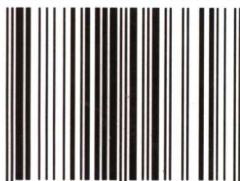


设计方法及应用实例

— 上架建议: 塑料工业 —

<http://www.ndip.cn>

ISBN 7-118-04661-2



9 787118 046618 >

ISBN 7-118-04661-2/TQ · 95

定价: 48.00 元

塑料制品设计方法及 应用实例

申开智 主编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书深入浅出地叙述了塑料的基本物理力学特性、成型特性、塑料制品的开发程序,讲述了受力塑料件的力学设计、结构设计、塑料件的精度和表面粗糙度设计,并从不同的成型工艺出发来讨论制品的工艺设计。针对常见塑料制品如塑料管材、塑料轴承、塑料齿轮的设计方法进行论述,或者按塑料在不同应用领域如电工、化工、光学中的不同用途及其制品设计特点进行阐述。

本书可作为高等院校相关专业师生的教学参考书,也可供从事塑料制品设计的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

塑料制品设计方法及应用实例/申开智主编. —北京:
国防工业出版社, 2007. 1
ISBN 7-118-04661-2

I. 塑... II. 申... III. ①塑料制品—设计②塑料
制品—应用 IV. TQ320.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 081838 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 24 字数 602 千字

2007 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 48.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

《塑料制品设计方法及应用实例》

编 委 会

主编 申开智

编委 徐佩弦 吴崇峰 唐 萍

李光宪 吴世见

前 言

当前全世界塑料材料的体积产量已超过了钢铁和其他各种有色金属材料体积产量的总和,在国民经济中扮演着十分重要的角色。塑料材料只有通过正确的制品设计,并采用正确的成型方法才能成为供人们使用的各种制品,从而发挥出材料应有的价值。

客观地说,塑料材料的某些物理力学性能是不及金属材料的,例如材料的强度、模量、耐热性等,但某些塑料品种的某些性能又大大优于金属材料,如耐磨性、自润滑性、减震性、绝热、绝缘性等。因此只有深入地认识和掌握各种塑料材料的性能,才能在使用时扬长避短,正确地选用材料,充分地发挥出该材料最大的特点。

正是由于塑料材料性能的特殊性,因此不能采用金属、木材等材料的传统设计方法来进行制品设计;塑料是黏弹性材料,即使在常温下也必须考虑它的蠕变、松弛行为。除具有特殊的力学性能外,塑料的电学性能、光学性能、成型性能等都是制品设计者必须深入学习和全面掌握的。

本书深入浅出地叙述了塑料的基本物理力学特性、成型特性、塑料制品的开发程序,在此基础上讲述了受力塑料件的力学设计、结构设计、塑料件的精度和表面粗糙度设计,并从不同的成型工艺出发来讨论制品的工艺设计;针对常见塑料制品如塑料管材、塑料轴承、塑料齿轮的设计方法进行论述,或者按塑料在不同应用领域如电工、化工、光学中的不同用途及其制品设计特点进行阐述。本书可作为高等院校相关专业师生的教学参考书,也可供从事塑料制品设计的工程技术人员参考。

本书第一、二、三、五、九章由四川大学申开智教授编写,第四、八、十一章由华东理工大学徐佩弦教授编写,第六章由天津轻工业大学吴崇峰教授编写,第七、十章由四川大学吴世见副教授编写,第十二章由复旦大学唐萍教授和四川大学李光宪教授编写。全书由申开智教授修改和统稿。博士生高雪芹参与了第5章的编写工作,感谢硕士生颜士兵等在本书编撰中所给予的大力协助。

由于编者水平所限,书中缺点和不足之处在所难免,诚恳希望广大读者和专家批评指正。

编 者
2006年6月

目 录

第一章 塑料制品在国民经济中的地位及其发展趋势..... 1	快速原型技术..... 30
1.1 塑料制品的主要发展和应用领域 1	3.2.1 制品的使用功能设计..... 30
1.2 塑料制品成型技术的发展趋势 2	3.2.2 制品材料选用..... 30
1.3 废旧塑料制品的回收和无害化处理 3	3.2.3 塑料件结构设计的工艺性..... 32
第二章 塑料制品的各种特性..... 4	3.2.4 塑料件的艺术造型设计..... 32
2.1 塑料制品的使用特性 4	3.2.5 塑料制品的力学设计..... 32
2.1.1 力学性能 4	3.2.6 产品制样(原型)和快速原型技术..... 35
2.1.2 电学特性 6	第四章 塑料制品的力学设计 39
2.1.3 光学特性 9	4.1 塑料结构件的设计..... 39
2.1.4 热学特性..... 12	4.1.1 梁的设计..... 39
2.1.5 聚合物的阻隔特性..... 15	4.1.2 柱体设计..... 50
2.1.6 塑料制品的减摩、耐磨特性..... 18	4.1.3 悬臂梁设计..... 52
2.2 塑料制品的成型性能..... 19	4.1.4 板的设计..... 56
2.2.1 热塑性塑料熔体的热稳定性..... 20	4.1.5 容器设计..... 61
2.2.2 塑料熔体的流变性能..... 21	4.1.6 管件设计..... 64
2.2.3 塑料成型时的收缩特性..... 23	4.2 纤维增强塑料设计..... 71
2.2.4 热塑性塑料的可加工性(可模性) 24	4.2.1 增强方法..... 71
2.2.5 塑料成型过程中的形态控制..... 25	4.2.2 长纤维增强..... 73
第三章 塑料制品的研发程序 27	4.2.3 短纤维增强..... 79
3.1 并行工程和逆向工程..... 27	第五章 塑料件尺寸精度设计和表面粗糙度设计 85
3.1.1 并行工程..... 27	5.1 塑料件尺寸精度设计..... 85
3.1.2 逆向工程..... 28	5.1.1 塑料件尺寸公差表的编制原理..... 87
3.2 塑料制品设计的内容和	5.1.2 我国塑料模塑件尺寸公差标准特点..... 90
	5.1.3 塑料模塑件尺寸公差国家标准介绍..... 91
	5.1.4 国外塑料件尺寸公差

标准介绍	98	6.4.1 几何形状及外观设计	193
5.2 塑料件表面粗糙度设计	105	6.4.2 凹槽、转角与大平面 增强设计	194
5.2.1 塑料件表面粗糙度的 重要性	105	6.4.3 原料片材厚度和制品 壁厚确定	195
5.2.2 模具型腔表面粗糙度 标准	105	6.5 旋转模塑制品设计	195
5.2.3 塑料件表面粗糙度 标准	106	6.5.1 几何形状及外观设计	196
第六章 塑料制品的工艺设计	109	6.5.2 分型面位置选取与起 模斜度	196
6.1 注塑件、传递模塑件与压塑件 设计要点	109	6.5.3 大制品增强结构设计	197
6.1.1 避免内外侧凹	109	6.5.4 壁厚、转角等结构要素 设计	197
6.1.2 脱模斜度	111	6.5.5 旋转模塑制品尺寸精度	198
6.1.3 塑料件壁厚	114	6.6 铸塑与其他方法成型制品 设计	198
6.1.4 加强筋	119	6.6.1 反应注塑成型制品 设计	198
6.1.5 圆角	121	6.6.2 蘸涂成型制品设计	200
6.1.6 支承面	123	第七章 泡沫塑料制品设计	203
6.1.7 孔的设计	123	7.1 泡沫塑料的种类及其应用	203
6.1.8 凸台与角撑	129	7.1.1 泡沫塑料的类型	203
6.1.9 边缘、平面与曲面	131	7.1.2 泡沫塑料制品的性能和 应用	203
6.1.10 螺纹设计	133	7.2 结构泡沫塑料制品的设计	205
6.1.11 表面处理与花纹 设计	138	7.2.1 结构泡沫塑料分类	205
6.1.12 文字、标记与符号	141	7.2.2 制品的工艺设计	207
6.1.13 嵌件设计	146	7.2.3 制品的力学设计	208
6.1.14 塑料件尺寸精度及 影响因素	159	7.3 包装用制品设计	209
6.2 挤塑制品设计	163	7.3.1 弹性包装材料对被包装 物品提供保护的主要 功能	209
6.2.1 管材尺寸、公差设计	164	7.3.2 材料选用	210
6.2.2 异型材断面设计	169	7.3.3 设计	211
6.2.3 共挤复合异型材设计	175	7.4 建筑绝热制品设计	215
6.2.4 其他挤塑制品尺寸 精度设计	177	7.4.1 绝热用泡沫塑料分类	215
6.3 中空吹塑制品设计	181	7.4.2 泡沫塑料绝热计算	216
6.3.1 中空容器几何形状设计	181	7.4.3 泡沫绝热的结构设计	217
6.3.2 中空制品结构设计与塑料 特性关系	183	7.5 泡沫塑料漂浮制品设计	219
6.4 热成型制品设计	192		

7.5.1 漂浮材料的性能要求	219	8.3.4 齿面接触疲劳强度计算 ...	255
7.5.2 海运及海洋漂浮 制品设计	220	8.3.5 齿轮摩擦和磨损	257
7.6 交通运输制品设计	221	8.3.6 齿轮材料的选择	259
7.6.1 泡沫塑料制品在车、船、 航空上的应用	221	第九章 塑料管材设计	262
7.6.2 坐垫与垫材	222	9.1 概述	262
7.6.3 结构件、密封垫与 密封条	222	9.1.1 塑料管材的常用塑料 材料	262
7.6.4 机舱、车厢内装饰	222	9.1.2 塑料管材的结构形式	264
7.6.5 绝热与隔声结构	223	9.2 塑料管材的力学设计	266
7.7 日用与医用泡沫塑料制品 设计	223	9.2.1 长期静压下制管塑料设计 应力求取	267
7.7.1 家具与日常生活用品及 设计	223	9.2.2 管材壁厚计算和规范	269
7.7.2 医疗技术制品及设计	224	9.2.3 塑料管快速裂纹扩展 破坏	270
7.8 军用及航天泡沫塑料制品 设计	224	9.3 塑料管材的连接方法和 技术	272
7.8.1 军事技术方面的应用 及设计	224	9.3.1 粘结	272
7.8.2 航天技术方面的应用 及设计	225	9.3.2 聚烯烃管材的热熔对 接焊	272
第八章 塑料支承和齿轮设计	227	9.3.3 聚烯烃管材的电热 熔焊	273
8.1 塑料的摩擦和磨损性能	227	9.3.4 热熔承插焊	274
8.1.1 摩擦特性及影响因素	227	9.3.5 金属接头连接	274
8.1.2 磨损	232	9.3.6 橡胶密封圈承插连接	274
8.2 塑料支承设计	235	9.3.7 钢塑过渡接头连接钢管和 塑料管	274
8.2.1 轴承材料	235	9.4 主要塑料管材规范	275
8.2.2 轴承类型	238	9.4.1 公称外径、公称压力和最小 要求强度允许值	275
8.2.3 轴承参量设计	239	9.4.2 聚乙烯燃气管技术规范 ...	276
8.2.4 橡胶轴承	242	9.4.3 聚乙烯和硬聚氯乙烯给 水管技术规范	278
8.2.5 聚四氟乙烯软带导轨	243	9.4.4 冷热水用聚丙烯管材	283
8.3 塑料齿轮设计	245	9.4.5 建筑排水用硬聚氯乙烯 管材	288
8.3.1 齿轮模塑成型	245	9.4.6 埋地排水用硬聚氯乙烯	
8.3.2 齿轮几何参数计算	247		
8.3.3 齿轮弯曲疲劳强度计算 ...	250		

双壁波纹管材	290	11.4.1 电缆用塑料材料	348
9.5 关于管件	293	11.4.2 电缆绝缘层厚度计算	355
第十章 塑料化学化工制品设计	295	11.4.3 电缆料的使用要求	356
10.1 塑料在化学工业中的应用	295	第十二章 光学塑料件设计	360
10.1.1 塑料的耐腐蚀特性	295	12.1 塑料的光学性质	360
10.1.2 塑料在化学化工中的 应用	298	12.1.1 透光性与透明性	361
10.2 塑料制化工容器、塔器、 管道的设计	301	12.1.2 折射与反射性	361
10.2.1 设计计算	301	12.1.3 光弹特性(光的 双折射性)	362
10.2.2 典型结构举例	307	12.2 光学塑料的品种及性质	362
10.3 塑料作容器、塔器、管道衬里 结构设计	316	12.2.1 聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)	363
10.3.1 衬里常用塑料	316	12.2.2 聚碳酸酯(PC)	363
10.3.2 衬里施工方法及特性	316	12.2.3 聚苯乙烯(PS)	363
10.3.3 典型结构举例	319	12.2.4 二甘醇双烯丙基碳酸 酯(CR-39)	363
10.4 塑料泵、阀设计	320	12.2.5 聚甲基1-戊烯 (TPX)	364
10.4.1 塑料泵、阀特性	320	12.3 塑料透镜	364
10.4.2 典型结构举例	321	12.3.1 塑料透镜的材料与设计 方法	365
10.5 塑料机械密封及其他 密封件	322	12.3.2 塑料透镜的种类与 应用	366
10.5.1 塑料在机械密封中的应用 及其设计	322	12.3.3 塑料透镜的成型 加工技术	370
10.5.2 密封圈成型	324	12.4 光盘基材用光学塑料	371
第十一章 电工塑料件设计	328	12.4.1 光盘的存储原理、结构和 种类	371
11.1 塑料的电性能	328	12.4.2 光盘盘基材料及性能 要求	371
11.1.1 介电性能	328	12.5 塑料光纤	372
11.1.2 导电性能	332	12.5.1 POF的特点及对聚合物 材料的要求	373
11.1.3 耐电压性能	334	12.5.2 POF的种类及特点	373
11.2 塑料接插件	336	12.5.3 POF的发展方向	374
11.2.1 接插件的技术性能	336	参考文献	375
11.2.2 接插件用塑料	338		
11.3 印制电路板	341		
11.3.1 工艺过程	341		
11.3.2 性能要求	343		
11.4 线缆包覆层设计	348		

第一章 塑料制品在国民经济中的地位及其发展趋势

塑料的应用十分广泛,它已从最初作为其他材料如象牙、玻璃、陶瓷、金属等的代用品,成为了在许多领域不可取代的材料。目前,塑料制品的体积产量已大大超过了钢铁的体积产量。

1.1 塑料制品的主要发展和应用领域

(1) 农业塑料制品:我国面临着可耕地不断减少,土地质量下降、水资源日趋贫乏的问题,在这种严峻的形势面前,塑料制品将发挥着巨大的作用,广泛使用着各种具有增温保墒作用的农用覆盖材料,这对于防灾减灾建设高产优质农业具有重要的作用,其中最大用量的是地膜,再加上氨化膜,青储膜,缠绕膜的饲草用膜、塑料育苗容器、遮阳网、防虫网、捕捞网具、农产品储藏保鲜材料、农药器械等,我国农用塑料制品每年需 300 万吨以上。

我国是严重缺水的国家,人均水占有量仅为世界人口平均占有量的 $1/4$,而在总用水中,灌溉用水量占 70%,可见节水灌溉的重要性,节水灌溉中采用渠道防渗、低压管道输水、喷灌与微灌等措施,减少水量损失,而这些措施均需要大量使用塑料管材、管件或用塑料片材对水库衬里。此外水利建设还采用各种塑料土工材料如土工膜、土工布等。

(2) 包装塑料制品:包装用塑料制品仍是塑料应用中最大的领域,近年来塑料包装已占全部包装材料的 $1/3$ 。塑料包装在生产能耗低,抵抗外界侵蚀能力强、密度轻、外观好等方面都具有很大优势,主要用于水泥、化肥、粮食、化工和农副产品、食品、饮料、药品等的包装。

(3) 建筑塑料制品:塑料建材常见有塑料管、塑料门窗、建筑防水材料、隔热保温材料、装饰装修材料。塑料建材具有节约能源、以塑代钢,以塑代木,改善生态,改善居住环境,防腐防蛀,提高建筑功能与质量,降低建筑自重,施工便捷等优点,与其他材料相比最突出的是节约生产能耗与使用能耗,从生产能耗来看,建筑 PVC 型材塑料仅为建筑用钢材、铝材生产能耗的 $1/4.5$ 和 $1/8.8$,塑料管比金属导管可减少输水能耗 5%,塑料窗比铝窗可节省取暖能耗 30%。

(4) 电子电器工业:塑料制品在电子电器工业中大量使用,如 ABS、阻燃 HIPS 等用来制作计算机、冰箱、冷柜、空调、洗衣机、电风扇等的外壳、内胆、支架、扇叶、齿轮等结构件外,还有不少功能性塑料产品用于电子电器,如高电磁性能的塑料合金、导电塑料、电磁波屏蔽材料、光电机能性材料、高性能复合材料等。此外高性能的电线、电缆包皮,通信用塑料光纤、新型传感器用塑料及信息处理中用的各种记录存储材料、光盘、CAD 用静电记录膜,缩微用胶片等在信息化社会中需求量日益增大。

(5) 车辆、船舶用塑料件:汽车、飞机、船舶上的塑料件很多,特别是汽车工业,因其产量大、塑料制品多,是一个很有前景的广阔市场,工业发达国家中汽车工业用塑料占其塑料总用

量的 7% ~ 10%, 而我国仅占 2%。为提高时速, 降低能耗, 通常更多采用密度小的塑料件, 如美国 1991 年每辆 1.6t 的车中塑料件质量 114kg ~ 125kg, 占 7.1% ~ 7.8%, 1995 年塑料件质量增加到 15%, 2000 年增加到 20%, 据预测 2013 年各类汽车中将有一半是用可回收的塑料复合材料制成。

(6) 航空、航天工业: 航空、航天工业采用塑料复合材料着眼点之一也是减轻机体质量, 以提高速度、节约能耗。如美国洛克西勒航空公司复合材料中心采用新型热塑性树脂为母体的增强复合材料, 用它制造的战斗机前体结构, 结构件质量可减轻 40%, 紧固件减轻 73%, 以 F-5 战斗机为例, 机重若减少 10%, 飞机起飞滑跑距离将缩短 30%, 美国计划 2010 年战斗机用高级塑料复合材料占结构总质量的 50%, 欧洲 21 世纪的航空、航天发展规划都非常重视使用先进的高性能的新型合成材料和复合材料, 用来制作航空航天空间站、人造卫星和航天飞船上的蜂窝结构外壳、机体外板、卫星和飞船回收的烧蚀材料及其他结构件, 其用量虽然不大, 但其作用却无可替代。

1.2 塑料制品成型技术的发展趋势

(1) 塑料制品新成型技术不断涌现: 采用新的成型方法和成型技术将大大提高制品的质量, 避免塑料制品经常出现的精度低、内应力大、翘曲变形、表面凹陷、内部缩孔、外观档次低、光泽差等各种缺陷。例如气体辅助注射成型、水辅助注射成型被誉为注射成型的第二次革命, 不但可减轻制品的质量而且避免了凹陷、翘曲变形等缺陷, 成型时型腔内压力均匀, 制品内应力小。注射压制成型技术可以降低制品内应力和翘曲变形, 适于生产 DVD 光盘等信息存储塑料件。

热流道模具技术不但可大大减少浇注系统回头料, 而且可提高制品质量, 提高生产效率, 适于大批量、高效率、自动化生产, 在欧洲和美国其使用比例已接近 30%, 但在我国使用比例还在 5% 以内, 在国内有很大的推广应用空间。

另一类新成型技术是以挖掘出制品的潜在力学性能为目标, 从聚合物化学结构分析, 聚合物的分子链由能量很高的共价键构成, 因此具有很高的理论强度。许多聚合物如聚乙烯的理论强度并不亚于钢铁, 但是在一般情况下聚合物的分子处于无规排列的状态, 即使生成球晶, 其晶片的方位也完全是无序的, 但在拉伸、剪切、振动、高压等外力场作用下成型, 可使大分子取向或生成新的结晶形态, 可在一定程度上发挥出聚合物潜在的力学潜质。典型的有制品的固相成型, 挤出制品的固相拉伸等, 如 BOPP 薄膜、PP 薄膜, 经过双向拉伸后薄膜的强度不仅没有因减薄而降低反而有所提高, 且透明度和光泽度都有所改善。这一技术可用于板材、管材, 通过纵向和横向(径向)扩张后制品的强度得到提高, 在注射成型中通过高压注塑成型、动态保压注塑成型、振动注塑成型等方法不但可以减小制品缺陷, 降低收缩率; 提高熔接缝的熔接强度, 而且能大幅度地提高制品的力学强度。

(2) 新型、功能型、特种高分子材料不断涌现: 为了满足各种塑料制品对性能的多方面要求, 例如耐高温、高强度、耐磨、导磁、导电、阻燃等, 因此对塑料原材料提出了各种不同的千变万化的要求。近年来出现了一些特殊的合成聚合物材料品种, 如特种工程塑料中聚砜、聚芳砜、聚苯硫醚、聚醚醚酮等, 这些品种有很好的力学性能和耐热性能, 但价格较高、产量较小, 限制了它们的广泛应用, 而在工业和日用塑料中有更多的不同用途的塑料品种是通过对常见塑料品种增强、共混、改性来达到的。

20 世纪 80 年代中期发展起来的纳米材料由于其独特的小尺寸效应、表面与界面效应,在电磁、光、声、热、力学、催化等方面呈现出许多独特的性能,用它填充改性的塑料在高新技术和塑料制品领域具有广阔的应用前景,被称为 21 世纪最有前途的塑料。

在功能高分子材料及其制品方面,运用高分子学科知识与其他学科领域进行学科交叉,研究出能满足其他学科领域需要的新材料和新技术,主要制品有医用功能材料及制品,如药物缓释材料,电子聚合物如导电、发光及非线性光学制品,磁性高分子材料及制品等。

高分子液晶材料及其制品方面,智能高分子凝胶材料及其制品,如记忆性塑料,功能分离膜如电渗析膜、微孔过滤膜、血液透析膜、逆向渗透膜、气体分离膜等,吸附与分离功能树脂产品,高分子催化剂,相变储能材料及制品等。

近年来在塑料制品原材料方面出现的较有影响的进展还有茂金属催化合成的高性能聚烯烃材料及其制品,具有高强度、高耐磨的超高相对分子质量聚乙烯制品,新合成或改性的综合了橡胶和塑料特性的热塑性弹性体及制品,研究它们的成型和应用已成为一个热点。

目前合成环境友好的可自行快速降解的塑料已成为另一个研究热点,例如目前以玉米发酵为原料生产的聚乳酸,已进入了工业化生产。其价格与通用塑料已相差不多,而且不依赖日渐紧缺的石油资源。

1.3 废旧塑料制品的回收和无害化处理

塑料制品广泛使用的同时,废旧塑料制品的处理已逐渐成为一个不容忽视的环保问题。同时塑料原料的生产也会带来一定环境污染,优化环境问题是可持续发展战略重要的一环,企业经济活动与地球环境间有密切联系,也关系着该制品是否能继续生存,能否被社会承认。为适应市场应用和环保要求,应对塑料材料制品进行技术创新,开发出许多高性能和环境友好的材料,在塑料制品生产时就应对制品的回收利用路线进行合理、科学地设计,使在消费中和消费后的塑料能得到综合治理。常见的措施有:

(1) 省资源化,使塑料的利用率提高,减少废弃物产生量,包括延长制品寿命,增加功能,制品在满足使用性能前提下通过结构合理设计使制品薄型化和轻量化,使废弃物减量。

(2) 再使用,即将制品重复多次使用,如采用能重复灌装使用的洗涤剂瓶,重复使用饮水机用纯净水瓶,回收使用工业包装等,但在制品重复使用时要作好组织回收清洗工作,防止发生污染。

(3) 再资源化,通过正确的配方设计使废弃物能多次循环使用,废料经重新染色、造粒、成型,再生利用,对于不能回收利用的聚合物如多种原料混杂的聚合物或被有毒有害物污染的废弃物(如农药瓶)可采用化学回收利用,废料通过裂解成单体再提纯(如聚甲基丙烯酸甲酯),再重新聚合,或对废塑料的化学成分回收利用。

(4) 通过裂解燃烧,实现热能回收利用。

(5) 为避免废弃物对土地、河流等的污染,采用可生物降解的配方生产,可降解塑料制品等。

上述这些途径除需解决技术问题外还取决于正确的政策导向,对废弃物的收集、分拣、净化、回收等工作的管理和技术经济问题的研究,其中也包括加强公共道德教育,提高群众自觉爱护环境的意识。政府部门发布对废旧塑料的回收组织管理等相关政策、措施,以及正确科学的舆论导向等。

第二章 塑料制品的各种特性

2.1 塑料制品的使用特性

要正确地进行塑料制品的设计,必须深入而全面地掌握塑料材料的特性。与其他材料相比,特别是与金属材料相比,塑料材料有其不足之处,例如强度和模量一般说来比金属小,耐热性也低得多。但塑料也有其突出的特点,如耐磨性、抗腐蚀性、电绝缘性等均优于金属,其性价比、易成型性、可装饰性也具有很大的优势,因此只有在全面掌握塑料材料的使用特性后才能够扬长避短,发挥塑料材料独特的性能,科学地设计出具有创新意义的塑料制品。

由于塑料应用领域的迅速扩展,如何正确地设计塑料制品已成为一门专门的学科,设计塑料制品时主要要考虑以下几方面问题:

(1) 材料的使用性能。其中最重要的有力学性能、热学性能、电学性能、耐磨与自润滑性能、对环境与化学介质的耐受性能、阻隔性能等。

(2) 材料的成型性能。成型性能是指该材料成型的难易程度,包括材料成型的温度范围是否宽阔,在加工温度下能否稳定地停留较长的时间,在加工条件下熔体的流动性是否属于高黏度难流动的材料。熔体黏度对温度的敏感性、对压力的敏感性及熔体的强度等都直接影响材料的成型性能,应注意当加工方法不同时要求不同的材料成型性能,因此应根据不同成型方法有针对性地选择原材料牌号。

(3) 材料的经济性。材料的经济性往往是决定是否采用该材料的重要依据,人们希望材料有高的性价比,即在满足使用性能和成型性能的前提下,应尽量选用较便宜的塑料材料,目前聚氯乙烯、聚烯烃一类的通用塑料价格便宜,得到了广泛的应用,工程塑料和特种工程塑料价格昂贵,只有在要求高强度、耐高温等特殊情况下才考虑采用。

下面分别介绍塑料材料的各种使用特性。

2.1.1 力学性能

塑料材料的主要力学指标包括:

(1) 模量,它又分为拉伸模量(杨氏模量) E 、剪切模量 G 、体积模量 B ,模量愈高材料发生单位形变所需施加应力愈大,即材料的刚性愈大。

(2) 泊松比,指材料在拉伸试验中试样的横向尺寸收缩率与纵向长度增加率之比。

(3) 强度,强度是材料最重要的力学指标,它是材料发生屈服变形或断裂破坏时所承受的应力。

强度指标主要有:

拉伸强度,即在拉伸时发生屈服变形或断裂破坏时的应力,前者叫拉伸屈服强度,后者叫拉伸断裂强度;

压缩强度,塑料材料在压缩时同样有压缩屈服强度和压缩断裂强度;

剪切强度,即材料达到剪切破坏时的剪切应力;

弯曲强度,长条形标准试样在受三点式弯曲时发生弯曲断裂或达到规定挠度时试样中点最大的弯应力;

疲劳强度,在循环载荷作用下,若应力过大材料会发生疲劳断裂,在循环受力次数达 $10^7 \sim 10^8$,而试样尚有 50% 不破损时的应力叫该试样的疲劳强度;

冲击强度,是指长条状标准试样被冲断时单位截面或单位宽度所吸收的能量,即冲击摆锤所损耗的功。对板状塑料制品来说还可以测落球或落锤冲击强度,冲击强度的高低反应了材料的韧性。除此以外,根据试样的受力状态还有扭转强度,撕裂强度等。

(4) 断裂伸长率,是指材料在发生拉伸断裂的瞬间试样变形后长度与原长度之比

$$\varepsilon_B = (\Delta L / L_0) \times 100\%$$

对于延伸率很大的韧性材料有时还使用自然拉伸比

$$R_N = L_1 / L_0$$

式中: L_1 为当应力在应力应变曲线的屈服平台上再次上升时的试样长度; R_N 可代表塑料材料发生高弹(包括强迫高弹)形变的能力。

(5) 断裂功,是指材料发生断裂时外力所作的功,也就是材料断裂时所吸收的能量,它可由应力—应变曲线下方与横坐标所包围的阴影面积大小来计算。

(6) 黏弹性,上述力学性能指标对于大多数金属和非金属都是同样适用的,但对于聚合物材料来说由于其分子结构的特殊性,有两项力学性质是必须重点加以考察的,那就是聚合物材料在长期静力作用下的蠕变特性即静态黏弹性和在交变应力作用下的动态黏弹性。

聚合物材料不同于理想的弹性固体也不同于纯黏性液体,它在外力作用下所产生的应变行为具有弹性和黏性两种特征,它既发生普弹形变,又发生有时间依赖性的高弹形变,对线形聚合物随时间延长还会产生永久形变,黏弹性可以用虎克定律和牛顿流动定律组合建立的应力应变方程来描述,也可以用按各种方式串联、并联或串并联的弹簧和黏壶组成的力学模型来模拟,模拟应力、应变和时间之间的关系。

静态黏弹性中最重要的表现形式是在恒定应力下发生的应变随受力时间增加而增大的蠕变现象,以及在恒定应变下应力随时间增长而逐渐衰减的松弛现象。聚合物的蠕变和松弛现象明显地高于金属或常用的无机非金属材料。它在较低的应力范围内,在常温下甚至在较短时间内就能表现出来。为了提高作为结构材料使用的塑料特别是工程塑料的尺寸稳定性,需要研究内外各种因素对蠕变和松弛的影响,如外界因素(温度和应力)、材料内在的相对分子质量、分子间交联程度、结晶度的影响等。

动态黏弹性是指黏弹性材料在应力、应变下的力学行为,黏弹性材料在交变应力作用下,发生形变落后于应力的现象,称为滞后。产生滞后时一部分能量由于分子或链段间摩擦作用转变成热能而损耗,同时使制品的温度升高,这种现象称为力学损耗或内耗,如在载荷作用下转动的汽车轮胎或塑料齿轮的轮齿都会发生这种现象,试样在受到拉伸一回缩循环时,应力(σ)与应变(ε)曲线如图 2-1 所示,曲线 1 为拉伸曲线,其

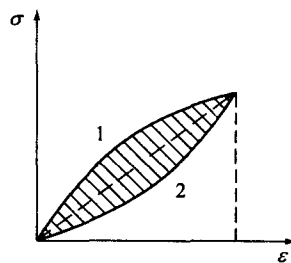


图 2-1 聚合物应力应变的滞后曲线
1—拉伸曲线; 2—回缩曲线。

与应变轴所包围的面积等于拉伸外力对试样所做的功。曲线 2 为回缩曲线,它与应变轴所包围的面积等于试样对外界作的功,在每一个拉伸一回缩循环周期中所损耗的能量等于这两块面积之差,即拉伸和回缩曲线所包围的面积,就是图中阴影部分,这一闭合曲线一般称为滞后圈。

高分子材料根据用途不同,其对动态力学性能的要求也不同,对于制造轮胎的橡胶、聚氨酯弹性体来说,希望它具有最小的内耗,高速行驶时发热量少,可避免迅速老化和破坏。对于用作防震、隔声、消声的聚合物材料,则要求它在使用条件下,具有较大的内耗,它可将外来的机械能或振动波、声波转换成热能而消耗掉,这种塑料制品具有很好的减震和吸声性能。

2.1.2 电学特性

(1) 电导率,用电导率 ν 来衡量材料导电性大小。电导率是电阻率的倒数, ($\nu = 1/\rho$), 电阻率中体积电阻率 ρ_v (体积电阻系数) 和表面电阻率 ρ_s (表面电阻系数) 是衡量塑料电绝缘性最重要的指标,体积电阻率是指电流通过电极之间塑料本体时的阻力,是在沿试样体积电流方向的直流电场强度 (V/cm) 与电极间电流密度 (A/cm^2) 之比,单位为 $\Omega \cdot cm$ 。表面电阻率是指电流通过试样表面时沿试样表面电流方向的直流电场强度 (V/cm) 与单位长度表面传导电流 (A/cm) 之比,单位为 Ω 。根据体积电阻率不同可将材料分为超导体、导体、半导体、绝缘体四大类,绝大多数的塑料都属于绝缘体,其体积电阻、表面电阻和介电强度,如表 2-1 所列。

表 2-1 常见聚合物的 ρ_v 、 ρ_s 和 E 值

聚合物	$\rho_v/(\Omega \cdot m)$	$\rho_s/(\Omega \cdot m)$	介电强度 $E/(kV/mm)$	聚合物	$\rho_v/(\Omega \cdot m)$	$\rho_s/(\Omega \cdot m)$	介电强度 $E/(kV/mm)$
PTFE	$>10^{18}$	$\geq 10^{17}$	25 ~ 40	POM	$10^{15} \sim 10^{16}$	3×10^{13}	18 ~ 20
LDPE	$\geq 10^{17}$	$\geq 10^{15}$	19 ~ 28	PSD	10^{16}	10^{16}	15 ~ 30
HDPE	2×10^{16}	2×10^{12}	18 ~ 20	PA-6	$10^{11} \sim 10^{15}$	10^{15}	16 ~ 20
PP	$\geq 10^{16}$	—	20 ~ 26	PA-66	$10^{11} \sim 10^{14}$	10^{13}	>15
PS	$\geq 10^{16}$	—	20 ~ 28	硬 PVC	$\geq 10^{16}$	—	14 ~ 20
ABS	$\geq 10^{16}$	$>10^{13}$	16 ~ 22	软 PVC	$10^{11} \sim 10^{14}$	—	10 ~ 12
天然橡胶	$10^{15} \sim 10^{17}$	—	—	乙酸纤维素	$10^{10} \sim 10^{14}$	—	10 ~ 24
PC	$\geq 10^{16}$	$10^{12} \sim 10^{14}$	17 ~ 22	硝化纤维素	$10^{10} \sim 10^{11}$	—	>15
PET	10^{15}	—	16 ~ 22	酚醛树脂	$10^{11} \sim 10^{12}$	—	12 ~ 24
PMMA	$10^{15} \sim 10^{16}$	10^{15}	18 ~ 22	环氧树脂	$10^{12} \sim 10^{14}$	—	12 ~ 22

聚合物的理论电阻率为 $10^{25} \Omega \cdot cm$,但实际上聚合物的体积电阻要比它低几个数量级或更低,这表明聚合物中存在着其他导电粒子,聚合物中存在引发剂、溶剂、增塑剂、填料等各种小分子物质都会使聚合物电阻率大大降低,聚合物材料尤其在吸水后由于电解质的电离作用也会使电阻率显著降低。

由于聚合物具有高电阻率,因此它被广泛用作各种绝缘材料,如用来作电线包皮、印制电

路板、电容器、绝缘子等。但有时为了消除静电或使塑料机壳等制品有屏蔽作用又要求塑料件有导电性。导电塑料有两大类,一类是合成型的导电聚合物,另一类是在塑料中加入导电粒子构成的填充型导电塑料。

(2) 耐电击穿性。聚合物除了导电性外还有耐电击穿性,一般用介电强度来表示聚合物的耐电击穿性,当电压到达击穿点后出现电流突然增大,聚合物丧失电绝缘性,材料发生熔化、烧焦甚至燃烧,在继续不断升压情况下会发生电击穿,击穿电压与材料厚度之比叫介电强度。

$$E = V/d$$

式中: V 为电压(kV); d 为材料厚度(mm)。

常见聚合物的介电强度已列在表 2-1 中。

聚合物的介电强度与聚合物使用的环境温度有关,温度愈高电导率上升,介电强度下降。采用交联结构和玻璃纤维增强是增加介电强度的有效方法,聚合物材料内部如果有微孔、裂隙,在高电压下都容易在这些部位首先产生电击穿,由于薄膜经拉伸取向之后结构更均匀,其介电强度明显高于一般制品,一些塑料制品和薄膜的介电强度如表 2-2 所列。

表 2-2 一些塑料制品和薄膜的介电强度

塑 料	$E/(kV/mm)$		塑 料	$E/(kV/mm)$	
	制 品	薄 膜		制 品	薄 膜
PE	18 ~ 40	40 ~ 60	PET	—	100 ~ 130
PP	20 ~ 26	100 ~ 140	聚酰亚胺	22	80 ~ 110
PS	20 ~ 28	50 ~ 60			

(3) 介电性。聚合物按其结构单元偶极矩的大小可分为非极性、弱极性和极性几大类,偶极矩为 0 的是非极性聚合物,偶极矩为 $0D \sim 0.5D$ (德拜) 的是弱极性聚合物,偶极矩在 $0.5D$ 以上的为极性聚合物,物质分子在外电场中偶极矩增加的现象称为极化,这是由于其分子内部的电子、质子或偶极子沿电场方向移动或规则排列所致,此外对于非均相体系,在外电场作用下电荷还能在两相界面处聚集发生极化,叫界面极化,极化使聚合物介电常数和介电损耗增大。

介电常数指在平行板电容器间充满电介质(塑料)时电容器电容量 C_p 与平行板间为真空时电容量 C_0 之比,即该电介质的介电常数为电介质引入使电容器电容增加的倍数 $\left(\epsilon = \frac{C_p}{C_0}\right)$ 作为电介质使用的聚合物如电容器的介质,其介电常数愈大愈好。

介电损耗是指电介质在交变电场中由于发热而消耗部分电能的现象,产生介电损耗的原因有两个:一是聚合物中含有微量能够导电的载流子,它在外加电场作用下产生漏导电流,部分电能转变为热能,称为漏电电流损耗;另一个原因是在交变电场中聚合物发生极化作用,当极化不能及时跟上外电场变化时也要消耗部分能量,使之变为热能,称为极化电流损耗,在理想电容器里电流 I 比施加的电压 V 超前 90° ,但在以聚合物为电介质的电容器里,由于上述各种损耗 I 比 V 只超前 ϕ 角,比理想电容器电流 I 滞后 δ 角 ($\delta = 90^\circ - \phi$),一般用介电损耗角正切 $\tan\delta$ 来表示这种介电损耗。用于高频绝缘的聚合物材料,如通信电缆绝缘层、微波元件、雷达天线罩等介电损耗愈小愈好,否则会造成传输损耗大,聚合物也易发热老化,常见聚合物的 ϵ 和 $\tan\delta$ 如表 2-3 所列。