

塑料制品设计师指南

唐志玉 徐佩弦 主编



国防工业出版社

塑料制品设计师指南

唐 志 玉
徐 佩 弦 主编

国防工业出版社

(京)新登字106号

内 容 简 介

本书就塑料制品设计原理及方法,给出了系统而完整的阐述。全书共二十章,内容十分广泛,几乎包括了塑料制品设计的一切重要方面。第一章总论。第二章至第五章简要介绍以聚合物为基体的塑料及其复合材料的应力应变行为,以及蠕变与断裂现象。第六章至第八章为受静态载荷与动态载荷塑件的响应特性数学关系。第九章至第十章为塑件几何形状与尺寸设计,以及成型方法和加工过程,对其性能所施加的影响。第十一章为环境因素的危害。第十二章至第十三章为塑料制品设计过程及CAD分析。第十四章至第十八章提供了塑件结构设计的典型应用领域。第十九章为塑件表面装饰与着色。第二十章就塑料性能规范与鉴别提供了咨询。

本书既是塑料工程的教科书,又是相关专业的科技书,可供有关专业师生及工程技术人员参考。

塑料制品设计师指南

唐志玉 徐佩弦 主编

责任编辑 李永亨

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)

新华书店经售

北京市大兴兴达印刷厂印装

787×1092毫米 16开本 印张 34 791千字

1993年9月第一版 1993年9月第一次印刷;印数: 0001—6000册

ISBN 7-118-01018-9/TQ·26 定价: 21.10元

作 者 序

塑料制品,在我国已显得越来越重要。从日用杂件、家用电器、包装,到交通运输、办公机械、化学防腐、建筑材料、电子技术、医药卫生、光学仪器、战术掩体、打捞救生,以至航空航天及宇宙飞行器等有关零部件,非塑料莫属。对于如此广泛使用的塑料制品的设计,必将成为设计师、工艺师以及其他与此有关工程技术人员的最活跃领域。

与金属、玻璃和陶瓷相比,塑料具有奇特的物理性能,其重要性在于受载荷时的结构设计。金属材料受载荷时,通常认为属于弹性响应,根据《材料力学》的有关结论,设计师就能准确地预测受载荷构件的工作性能。但就塑料结构件设计来说,这些设计原则必须修改。因为塑料材料受载荷后属于非弹性响应,去掉持续载荷后会经历一永久变形过程;与其它材料相比,塑料也具有较低的刚性;此外,塑料材料的物理性能还强烈地依赖于温度,其变化范围可达6个数量级。显然,塑料件的结构设计,要求有不同的设计方法。

在其它方面,如耐温设计、环境因素的考虑、制品几何形状及尺寸设计,也都因塑料的奇特性能而要求有所不同。成型方法与加工过程对塑件工作性能所施加的深刻影响,形成与金属构件设计不同的另一差别。

从塑料的奇特物理性能出发,探索其制品设计所受到的种种限制,寻找必经的途径与选择合理的设计方法,以使设计师设计出的塑料制品符合工作环境及使用寿命要求,从而达到经济效果好、技术性能先进和安全实用的目的。本书就企图在这一领域做出贡献,故定名为《塑料制品设计师指南》。

全书共二十章,大致可分成五部分。前几章简要介绍以聚合物为基体的塑料及其填充改性的复合材料之应力应变行为,以及蠕变与断裂现象。第二部分,讨论当塑料件受到静态与动态载荷时,其响应特性的数学关系。分析其特殊设计实例及其求解方法。由于塑料性能的复杂性,精确求解成为不可能,因而有必要探索使用图解法、曲线拟合法以及CAD技术。第三部分,研究有关塑料制品设计几何形状与尺寸的考虑,特别着重致力于讨论提高塑件结构刚性的实施办法,及其补偿材料非线性应力应变行为的有效途径。成型方法和加工过程对塑件设计所施加的限制,以及这些限制赋予设计过程的影响,也一并在此讨论。第四部分,涉及使用环境对塑件工作性能的危害,以使所设计的塑件具有实用的经济效益和合理的使用寿命。为使塑件具有某些特殊功能,常需将塑件着色或进行表面装饰处理,以及其它特殊加工,此乃构成本书的第五部分内容。

本书第十四至十八章,提供了塑件结构设计的典型应用领域,分别对塑料联接件、塑料轴承和齿轮、电工塑件、光学塑件以及泡沫塑件设计进行了讨论;书末还就塑料性能规范与鉴别提供了咨询。

本书既是高分子材料与工程的教科书,又是相关专业的科技书。可供有关专业师生、以及研究院所和工厂的工程技术人员参考。

在本书编写过程中,曾得到成都科技大学博士生导师张承琦教授以及黄锐教授、王

鹏驹教授、西北工业大学林德宽教授、华东工学院博士生导师王泽山教授、国营七八四厂副总工施也平高级工程师和上海无线电十八厂塑料测试中心主任干承世高级工程师的赐教与支持，国防工业出版社国防科技室给予了作者以巨大鼓励和帮助，在此一并表示深深地敬意和诚挚的感谢。

参加本书撰稿的有（以参编章节先后为序）：唐志玉副教授（成都科技大学。作者序、第一章、第十章的§10.3、§10.4和§10.5以及第二十章）、许瑞健讲师（华东工学院。第二、三、四章）、徐佩弦副教授（上海电子仪表工业职工大学。第五、六、七、八、十四、十六章和第十五章的§15.1和§15.3）、郭进宝副教授（西北工业大学。第九、十二章和第十九章）、张克惠副教授（西北工业大学。第十章的§10.1、§10.2、第十五章的§15.2以及第十七章和第十八章）、吴映辉讲师（成都科技大学。第十一章）和张广文高级工程师、张宝恩工程师（南京模具电脑辅助设计制造有限公司。第十三章）。全书由唐志玉筹划、提出编写大纲、主持撰稿、统稿和最后定稿。

我们妄图使本书尽善和完美，但由于时间、空间和学识水平所限，尚有许多不足之处，甚至谬误，诚望广大读者批评指正，我们深表谢忱。

编 著 者

1991.10.

目 录

第一章 总论	1	4.3.1 填料几何形状	44
§ 1.1 塑料特性与用途	1	4.3.2 填料粒度分布	46
§ 1.2 设计内容	2	4.3.3 填料的表面积	47
§ 1.3 设计程序	2	4.3.4 填料的堆砌系数	47
1.3.1 设计思想	2	4.3.5 化学组成对性能的影响	48
1.3.2 设计步骤	3	§ 4.4 填料的表面处理	49
第二章 聚合物结构特征与性能	6	§ 4.5 填料的改性作用	51
§ 2.1 塑料的分类	6	4.5.1 模量和抗张强度	52
2.1.1 按塑料的物理化学性能分	6	4.5.2 抗压强度	53
2.1.2 按塑料用途分	6	4.5.3 蠕变及其伸长	53
2.1.3 按塑料成型方法分	6	4.5.4 改善热性能	54
2.1.4 按塑料半成品和制品分	7	4.5.5 改进电性能	54
§ 2.2 高聚物的结构与性能	7	§ 4.6 填料的增强作用	55
2.2.1 高聚物分子运动特性	8	4.6.1 玻璃纤维增强塑料	55
2.2.2 高聚物的力学状态和热转变	10	4.6.2 增强机理及纤维临界长度	56
2.2.3 高聚物的玻璃化转变	12	4.6.3 影响增强性的因素	56
2.2.4 聚合物的结晶	13	§ 4.7 填料对塑料加工性能的影响	58
2.2.5 高聚物的取向	19	4.7.1 粘度变化	58
2.2.6 高聚物的静电效应	23	4.7.2 流变行为的改变	59
参考文献	25	4.7.3 填料的选择	60
第三章 塑料的应力-应变行为	26	参考文献	61
§ 3.1 模量、柔量与泊松比	26	第五章 蠕变与断裂	62
§ 3.2 虎克弹簧与牛顿粘壶	28	§ 5.1 蠕变行为	62
§ 3.3 Maxwell和Voigt 模型	28	5.1.1 蠕变数据	62
3.3.1 Maxwell 模型	28	5.1.2 温度对应变的影响	65
3.3.2 Maxwell模型在动态力场中的应用	30	5.1.3 其它应变形式	65
3.3.3 Maxwell-Weichert模型	31	5.1.4 应变的回复	66
3.3.4 Voigt模型	32	5.1.5 间歇应力下的蠕变	68
3.3.5 Voigt模型在动态力场中的应用	33	§ 5.2 断裂现象	69
3.3.6 四元件组合模型	34	5.2.1 脆性断裂	69
3.3.7 Voigt-Kelvin模型	35	5.2.2 韧性断裂	70
§ 3.4 应力-应变-时间的三维图	36	5.2.3 温度的影响	71
§ 3.5 Boltzman 叠加原理	38	§ 5.3 断裂与蠕变	72
参考文献	40	参考文献	73
第四章 填料对塑料性能的影响	41	第六章 结构件设计	74
§ 4.1 填料定义与分类	41	§ 6.1 设计过程及特点	74
§ 4.2 填料品种及属性	42	6.1.1 工作要求与失效形式	74
§ 4.3 填料聚集状态及性能的影响	44	6.1.2 材料选择	75
		6.1.3 计算过程	77

V

§ 6.2 构件设计实例	82
6.2.1 柱体设计	82
6.2.2 叶片轮设计	84
6.2.3 悬臂梁设计	85
6.2.4 圆管计算	87
§ 6.3 应变回复的计算	88
参考文献	90
第七章 刚性设计	91
§ 7.1 夹芯板	91
7.1.1 夹芯板的刚性分析	91
7.1.2 技术性能指标	93
7.1.3 材料选用	95
7.1.4 制造与固定	98
7.1.5 设计实例	100
§ 7.2 波纹板	107
7.2.1 波纹板特征	107
7.2.2 屋顶设计	109
§ 7.3 塑料曲面结构	112
参考文献	113
第八章 动态载荷分析	114
§ 8.1 交变载荷与疲劳强度	114
8.1.1 交变应力	114
8.1.2 疲劳试验	116
8.1.3 疲劳强度	117
§ 8.2 滞后热效应	118
8.2.1 滞后热现象	118
8.2.2 防止滞后热软化的方法	119
8.2.3 滞后热平衡分析	119
§ 8.3 减振特性	123
8.3.1 塑料的阻尼特性	123
8.3.2 减振计算	125
8.3.3 阻尼对应力和疲劳的影响	129
§ 8.4 冲击载荷	134
8.4.1 冲击强度	134
8.4.2 半波正弦脉冲载荷	136
8.4.3 抗冲保护计算	137
参考文献	140
第九章 成型方法对塑件设计的 影响	141
§ 9.1 常用的成型方法	141
9.1.1 熔体成型	141
9.1.2 固相成型	142
§ 9.2 模具的限制	142
9.2.1 避免侧孔、侧凹	143

9.2.2 脱模斜度	144
9.2.3 分型线	146
9.2.4 浇口痕	149
9.2.5 制品公差	150
9.2.6 壁厚	155
9.2.7 筋与凸台	159
9.2.8 圆弧与倒角	162
9.2.9 表面处理	164
9.2.10 孔与嵌件	166
§ 9.3 成型方法的限制	175
9.3.1 挤出成型	175
9.3.2 吹塑成型	177
9.3.3 反应注射成型	179
9.3.4 热成型	180
9.3.5 浇注成型	181
参考文献	183
第十章 成型过程对制品性能的 影响	184
§ 10.1 型腔模中所出现的问题	184
10.1.1 充模问题	184
10.1.2 缩孔与收缩应力	186
10.1.3 熔体流动受阻	187
10.1.4 各向异性	187
10.1.5 浇口区取向	188
10.1.6 熔接缝	189
10.1.7 碳化与焦斑	190
10.1.8 制品内应力	190
10.1.9 表面缺陷	191
10.1.10 收缩率波动	193
§ 10.2 挤出成型中所遇到的问题	193
10.2.1 取向与内应力	193
10.2.2 记忆效应	194
10.2.3 截面变形	194
10.2.4 尺寸变化	194
§ 10.3 热成型中存在的问题	195
10.3.1 取向与冻结应力	195
10.3.2 截面厚薄不均	196
10.3.3 解模塑趋向	197
10.3.4 双重削弱作用	197
§ 10.4 吹塑成型中的问题	197
§ 10.5 浇铸成型给制品带来的问题	197
参考文献	198
第十一章 环境因素的危害	199
§ 11.1 塑料制品的老化现象	199
§ 11.2 热环境老化	200

11.2.1 热裂解	200	13.1.1 CAD 的概念	243
11.2.2 热氧化	201	13.1.2 CAD系统的规模	244
§ 11.3 光氧环境老化	205	13.1.3 CAD 技术的核心	245
11.3.1 光氧老化机理	205	13.1.4 CAD 系统的配置	249
11.3.2 防止光老化方法	208	13.1.5 CAD 的意义和作用	252
§ 11.4 化学介质老化	209	§ 13.2 CAD在塑件设计中的应用	253
11.4.1 耐腐蚀性与评定标准	210	13.2.1 塑件设计的一般过程	253
11.4.2 不同塑料的耐腐蚀性能	210	13.2.2 塑件设计目录的编制	257
11.4.3 防腐塑料选用特性	215	13.2.3 塑件设计方法诸要素	259
§ 11.5 其它老化形式与环境试验	216	§ 13.3 注塑流动的计算机模拟	263
11.5.1 臭氧环境老化	216	13.3.1 注塑流动模拟的基本原理	264
11.5.2 水解老化	216	13.3.2 注塑流动的有限元分析	271
11.5.3 生物老化	218	13.3.3 Moldflow软件的使用	273
11.5.4 电晕老化	218	参考文献	279
11.5.5 环境应力开裂	218	第十四章 联接件设计	280
11.5.6 低温脆裂	218	§ 14.1 卡夹联接	280
11.5.7 环境试验	219	14.1.1 联接原理与分类	280
§ 11.6 常用塑料光热老化特性	220	14.1.2 设计实例	283
11.6.1 聚烯烃塑料	221	§ 14.2 铰链联接	286
11.6.2 卤代烯烃塑料	221	§ 14.3 常用联接实例	287
11.6.3 ABS塑料和丙烯酸酯类塑料	222	§ 14.4 压力装配联接	290
11.6.4 聚醚塑料	222	参考文献	293
11.6.5 聚酰胺塑料	224	第十五章 轴承和齿轮设计	294
11.6.6 聚酯、聚砜塑料	224	§ 15.1 塑料的摩擦和磨损性能	294
11.6.7 热固性塑料	224	15.1.1 摩擦	294
参考文献	225	15.1.2 磨损	299
第十二章 塑料制品设计过程	226	§ 15.2 轴承设计	301
§ 12.1 设计准备	226	15.2.1 轴承材料	301
12.1.1 设计思想	226	15.2.2 轴承类型	307
12.1.2 调查研究	226	15.2.3 设计考虑	308
12.1.3 设想方案	227	15.2.4 橡胶轴承	312
§ 12.2 设计步骤	227	§ 15.3 齿轮设计	314
12.2.1 功能设计	227	15.3.1 齿轮成型	314
12.2.2 材料选择	229	15.3.2 齿轮几何参数计算	318
12.2.3 结构设计	231	15.3.3 齿轮失效形式	321
12.2.4 尺寸设计	232	15.3.4 齿轮弯曲疲劳强度计算	322
12.2.5 性能估算	239	15.3.5 齿面接触疲劳强度计算	328
12.2.6 模型、制样及绘图	240	15.3.6 材料选择	332
12.2.7 试生产及定型	241	参考文献	334
§ 12.3 设计师的责任	241	第十六章 电工塑件设计	335
12.3.1 不断更新产品结构	241	§ 16.1 塑料的电学性能	335
12.3.2 质量与价格兼顾	242	16.1.1 塑料的绝缘性	335
参考文献	242	16.1.2 塑料的导电性	340
第十三章 CAD 与塑件设计	243	16.1.3 塑料的高电压性能	343
§ 13.1 CAD概述	243		

§ 16.2 接插件设计	344	18.3.8 缓冲减震性能	407
16.2.1 概述	344	18.3.9 阻燃性能	408
16.2.2 接插件的技术要求	345	18.3.10 化学性能	410
16.2.3 接插件用塑料材料	347	18.3.11 生物性能	411
§ 16.3 印刷线路板	348	§ 18.4 结构泡沫	411
16.3.1 工艺过程	349	18.4.1 结构泡沫的结构与特性	411
16.3.2 技术要求	350	18.4.2 结构泡沫成型方法	412
§ 16.4 线缆包覆层设计	357	18.4.3 增强结构泡沫	414
16.4.1 概述	357	18.4.4 组合泡沫	415
16.4.2 电缆用塑料材料	359	§ 18.5 耐高温泡沫	417
16.4.3 电缆绝缘层计算	366	18.5.1 有机硅泡沫	417
16.4.4 电缆料使用要求	368	18.5.2 聚异氰酸酯泡沫	418
参考文献	372	18.5.3 聚苯并咪唑泡沫	420
第十七章 光学塑件设计	373	18.5.4 聚酰亚胺泡沫	421
§ 17.1 塑料的光学性质	373	§ 18.6 泡沫塑料应用	423
17.1.1 透光性和透明性	373	18.6.1 包装用制品设计	423
17.1.2 折射和反射	375	18.6.2 绝热和建筑用制品设计	427
17.1.3 光弹性	378	18.6.3 交通运输用制品设计	432
17.1.4 持久性和稳定性	378	18.6.4 海运和海洋事业用制品	434
§ 17.2 光管效应及其应用	379	18.6.5 家具和日常生活用制品	437
§ 17.3 透镜和非涅尔透镜	382	18.6.6 医疗技术材料	437
§ 17.4 光学领域其它应用	383	18.6.7 军事和航空航天技术应用	438
17.4.1 镜片制造	383	参考文献	440
17.4.2 光栅复制	383	第十九章 表面装饰与着色	441
17.4.3 其它用途	384	§ 19.1 表面绘画技术	441
§ 17.5 光学塑料材料	384	19.1.1 模塑花纹技术	441
参考文献	387	19.1.2 热固性塑料制品的绘画技术	444
第十八章 泡沫塑料及其制品设计	388	19.1.3 热塑性塑料制品的绘画技术	444
§ 18.1 泡沫塑料分类	388	19.1.4 发泡装饰技术	445
18.1.1 按泡孔结构分	388	19.1.5 其它花纹技术	448
18.1.2 按软硬程度分	388	§ 19.2 表面涂饰技术	450
18.1.3 按密度大小分	389	19.2.1 涂饰的功能	450
§ 18.2 泡沫塑料结构	390	19.2.2 涂料的种类	451
18.2.1 泡孔形状	391	19.2.3 涂料的选用	451
18.2.2 泡孔尺寸	391	19.2.4 涂饰预处理	452
18.2.3 开孔系数	392	19.2.5 涂饰工艺	453
18.2.4 泡沫密度	393	19.2.6 涂饰对制品的设计要求	455
§ 18.3 泡沫塑料性能	393	§ 19.3 表面金属化	456
18.3.1 力学性能	394	19.3.1 金属喷镀	456
18.3.2 热学性能	399	19.3.2 真空镀膜	457
18.3.3 尺寸稳定性	402	19.3.3 化学镀金与电镀	459
18.3.4 电学性能	402	19.3.4 电镀塑料制品的设计要求	460
18.3.5 漂浮性能	404	§ 19.4 表面印刷技术	462
18.3.6 吸水性和透湿性	404	19.4.1 表面烫印	462
18.3.7 声学性能	406	19.4.2 丝网印刷(绢印)	464

19.4.3 其它印刷技术	465
§ 19.5 塑料着色	466
19.5.1 着色剂简介	467
19.5.2 着色剂选择	467
19.5.3 塑料着色技术	469
参考文献	474
第二十章 塑料性能与鉴别	475
§ 20.1 性能规范与标准	475
20.1.1 物理性能	475
20.1.2 热学性能	477
20.1.3 力学性能	478
20.1.4 电学性能	482
20.1.5 化学性能	483
20.1.6 老化性能	484
§ 20.2 塑料鉴别	506
20.2.1 燃烧鉴别法	506

20.2.2 溶解性试验法	508
20.2.3 元素检定法	511
20.2.4 最后鉴定法	51 ²
20.2.5 现代鉴定法	515
§ 20.3 聚合物分子结构	516
20.3.1 聚烯烃树脂	516
20.3.2 乙烯基树脂	519
20.3.3 丙烯酸树脂	520
20.3.4 聚酰胺树脂	521
20.3.5 聚酯树脂	522
20.3.6 含氟树脂	524
20.3.7 芳杂环树脂	525
20.3.8 纤维素塑料	526
20.3.9 聚醚醚树脂	528
20.3.10 其它热固性树脂	530
参考文献	534

第一章 总 论

§ 1.1 塑料特性与用途

塑料的优异特性及用途，已经众所周知。随着当代科学技术的发展，人们发现，从宇宙飞行到人民日常生活，都愈来愈离不开塑料，因而对“塑料世界”的提法，并不感到过分。

塑料是一类以树脂为基本成分，加入一定量的填料、增塑剂、稳定剂、着色剂等，在一定温度、压力和时间下能制成规定形状和尺寸的、具有一定功能的高分子材料。

塑料的密度小，一般仅为钢的 $1/4 \sim 1/7$ ，铝的 $1/2$ 左右。塑料通常对酸、碱、盐及有机溶剂等化学药物，有良好的抗腐蚀能力，尤以聚四氟乙烯为甚，它除与熔融的碱金属起作用外，差不多所有的化学药品包括王水在内，都不能腐蚀它。几乎所有的塑料，都具有良好的电绝缘性和耐电弧性，可与绝缘性能优异的陶瓷、橡胶等媲美。塑料还有优异的耐磨、减摩及自润滑性能；对异物有良好的埋没性与就范性；并有极高的比强度。例如玻纤增强塑料，它的比强度（抗拉强度与质量之比）高达 $1700 \sim 4000$ ，而普通钢材仅为 1600 左右。塑料还具有优良的吸收震动能、冲击能以及抗疲劳与消声的作用。许多塑料的着色性能、电镀性能与装饰性能，亦十分突出。此外，塑料的加工性能好，生产过程简单、成本低、效率高，极易实现塑件生产过程自动化操作与无人化管理，此乃塑料能获得广泛运用的又一重大原因。

正是由于塑料有如此众多的优良性能，因而在机械工业、电子工业、航空航天工业、汽车工业、化学工业、建筑业、农林渔业、钢铁工业、包装工业以及日用杂件等诸多领域，均获得广泛地运用。由塑料制成的轴瓦、滑轮、凸轮、导轨、密封环以至燃气轮机的压缩环、增压机叶片以及在各种腐蚀介质中工作的零部件，如在化工、石油等设备中用以大量地节约镍、铬、铜等贵重金属就是例证。在某些瞬时高温场所，如原子能工业、火箭导弹、超音速高空飞行器、宇宙飞船等方面，某些特殊零部件非塑料莫属。用塑料制造飞机外壳、内装饰件及仪器仪表传动零部件，既可减轻重量，又可延长使用寿命。据称，每辆汽车约 $300 \sim 400$ 个塑料零件，用铜粉或玻璃纤维填充氟塑料制成的无油润滑活塞环，其使用寿命高达 $6000 \sim 10000$ h；用塑料制作汽车仪表板、散热栅板、前后保险杠等大型汽车零部件，已成为汽车工业技术进步的标志。电视机、洗衣机、照相机、电冰箱、手表、摩托车、缝纫机、音响设备以至舞台道具等，均离不开塑料制品。在军事军工部门的塑料掩体、海军用船坞、水上飞机停泊浮筒、宇宙密封船、雷达防空罩、空间救生艇等，塑料的优异性能在此大显神通。

总之，从天上“飞的”、地上“跑的”、水中“游的”，到国民经济各部门以至于人民日常生活的整个空间，处处都有塑料制品的足迹。

§ 1.2 设计内容

由于塑料品种繁多、用途极其广泛，故塑料制品设计内容很宽、课题很大。本书着重讨论塑料制品工程设计原理及其质量控制途径。

对新产品研制工程师或产品设计师来说，设计意味着，对产品预期的、最终使用性能要求和塑料材料性能的设计极限加以考虑，在所研制的塑料构件（制品）的设计中，仔细地思考、并予以体现这些内容；设计也意味着，计划和保证具有适当设备，能以最佳效率和最低成本生产该制品；设计还意味着，该塑料制品在正常的使用中始终保持其可靠的工作性能。

为了设计一种新产品，设计师必须了解其基本任务，即产品的目标和功能。特别应该详细地弄清楚，该产品最终使用性能所需的背景资料，并按照所选取的树脂牌号，取得该树脂的有关“材料工程数据”。此外，该塑料制品的成型加工、装配和模具设计等有关资料，也需要由产品设计师收集和提供。

与金属材料相比，塑料在使用中更接近于它的设计极限。因此，任何产品的性能，不仅取决于所选用塑料品级的机械性能，而且也决定于设计师对塑料性能特点的深刻了解。总而言之，设计师的重要任务之一，是保证最终产品中材料的各方面性能，达到相互补充的最佳效果。所以塑料制品工程设计，必然涉及到如下内容：

（1）功能设计 即与制品生产、使用和装配有关的设计。亦即满足最终使用要求的设计；

（2）材料设计 即塑料材料的设计极限以及工作强度；如果有的话，还包括材料的固有缺欠；

（3）成型方法考虑 即制品形状与尺寸精度设计。注塑成型能达形状最复杂、精度最高的要求；但须形成大批量生产，方有理想效益；

（4）质量控制设计 此与生产过程工艺参数、模具结构合理程度、材料品质密切相关。制品设计师必须提出明确要求；

（5）着色与装饰设计 此乃制品外观质量控制设计（亦有功能考虑在内）。染色、表面电镀、喷涂；麻纹、木纹、皮革纹等属制品设计师的责任，亦在情理中；

（6）性能检测考虑 即塑料制品工作性能测试方法设计。所研制或设计的塑料制品，能否满足产品的目标和功能，设计师必须提出明确的性能指标与相应的检测方法。必要时，应有行之有效的补救措施。

§ 1.3 设计程序

设计程序包括设计思想与设计步骤。本节着重讨论设计步骤。此乃塑料制品设计成败关键所在。

1.3.1 设计思想

当设计师接受一项塑料制品设计任务时，他的思路总是千头万绪的。实践证明，利用科学的、合乎逻辑的设计思想作指导（见图 1.3.1），将是塑料制品设计获得成功的基本保证。

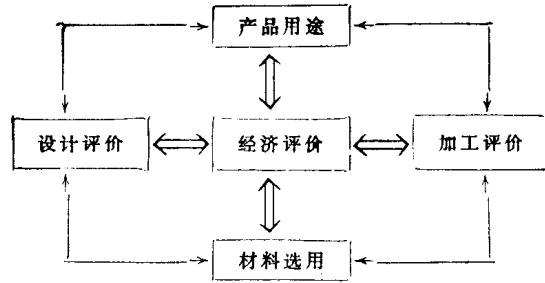


图1.3.1 设计思想五因素

设计师必须了解制品的预定用途，对最终使用性能的各项要求。制品设计必须考虑加工方法与过程的限制，当然也要考虑其有利条件，更要考虑规定的经济技术指标或设计该制品的成本参数。

塑料原料供应厂商应该提供：有关设计应力极限的资料，以确定该制品壁厚和在预计温度下承受预定载荷所需支承筋（加强筋）或瓦楞数量；塑料品级对各种不同环境——各种溶剂、酸碱盐、清洗剂、室外暴露、油漆等耐蚀性能；以及成型加工与装配性能的资料。

设计师需要大量的资料，以便根据原始要求制订出制品设计。如果能对所涉及的程序和步骤给予认真分析，那么设计过程将是顺利的。图1.3.1所示设计思想五因素是相互联系的，任何一个因素均不可忽视，当然其核心是经济评价因素。

1.3.2 设计步骤

下面，就一个新产品设计的五个推荐步骤，作个概要介绍。

第一步 确定产品的最终用途及要求

材料的选用，必须满足制品用途所必需的特定性能要求。其具体内容：

1. 预定的结构要求，包括

- (1) 载荷大小及持续时间；
- (2) 交变载荷性质及其频率；
- (3) 冲击力大小及性质；
- (4) 有无振动或抗疲劳要求；
- (5) 可预见的误用情况分析。

2. 预定的环境条件，通常有

- (1) 工作温度及其允许的极限温度；
- (2) 工作介质——空气、水、油、溶剂…；
- (3) 光照，是否要防气候老化。

3. 要求的成本限制，包括

- (1) 要有经济效益，产品的成本应是多少？
- (2) 预定年产量是多少？
- (3) 从经济上考虑，采用何种成型方法有利？
- (4) 竞争的材料价格是多少？
- (5) 期望的使用寿命多长，更换期限？

4. 遵循的准则或标准, 包括

- (1) 国家标准 GB;
- (2) 部颁标准;
- (3) 企业标准;
- (4) 国际标准。

第二步 定出初步设计方案

初步设计草图制定后, 设计师便清楚: 设计的哪些部分是灵活的, 哪些是用来获得所要求的结构性能水平的。在处理设计草图时, 设计师尚需注意规定的尺寸和可改变的尺寸。

第三步 选材

从繁多塑料品种中, 选用能满足产品规定的最终使用要求的树脂品种及品级。设计师在选材时, 既要认真审查选用树脂所有原始资料, 数据, 更需留心适合于该产品需要的、随时间、温度和环境而变化的材料性能特点, 以改进最初的选择。耐磨性、断裂伸长率等数据, 对进一步确定材料品种的选用, 也是需要的。材料的性能数据, 依设计用途可分为两类:

1. 产品数学设计用性能数据

- (1) 比例极限值;
- (2) 模量与温度的关系;
- (3) 表观 (或蠕变) 模量;
- (4) 疲劳极限;
- (5) 泊松比;
- (6) 断裂强度;
- (7) 热膨胀系数;
- (8) 摩擦系数;
- (9) 密度;
- (10) 成型收缩率。

2. 通过实验才能获得的性能数据

- (1) 硬度;
- (2) 冲击强度 (悬臂梁式或落锤式);
- (3) 耐化学性;
- (4) 断裂伸长率;
- (5) 易燃性;
- (6) 热变形温度;
- (7) 电性能;
- (8) 屈服 (或抗张) 强度。

第四步 修改设计

修改设计, 使反映出:

- (1) 选用塑料特定品种的综合性能;
- (2) 成型加工及过程的限制 (见第九、十章);

(3) 装配方法 (详见第十四章)。

在设计程序进入本步骤时, 设计师可根据最后的设计蓝图, 制作一个型样。型样的制作与测试, 可以帮助设计师:

- (1) 验证设计的可靠程度;
- (2) 对产品的初步性能有所了解;
- (3) 鉴别可能存在的问题所在。

要取得成功的设计, 下列四点值得重视:

- (1) 对产品最终用途的要求, 要做认真分析;
- (2) 要与成品尽量相似, 特别是在临界的或估算的性能方面;
- (3) 发展仿真应用或仿真贮存的试验方法;
- (4) 在产品投放市场之前, 按要求进行测试。

第五步 产品性能试验

必须定出哪些能反映制品最终使用要求的性能试验, 可以在实验室内进行。通常研制的试验设备, 以后还可用于未来的生产质量控制中。

产品性能试验, 可在功能性样品上进行, 也可在生产的零件上进行。由于功能性样品可以利用型样、非生产性工装或模拟部件来进行, 故在做试验时应该小心。型样的试验结果, 可能与生产零件的试验结果不尽相同。对最初生产的零件, 也应进行试验, 以验证产品性能的稳定性。

关于产品性能试验, 一般是使用标准 (常规) 试验和专用 (非标准) 试验同时进行。常用的测试技术, 包括

- (1) 应变仪分析;
- (2) 热循环试验用环境室;
- (3) 人工气候老化箱;
- (4) 仿真应用条件 (如重复载荷) 下寿命试验;
- (5) 特定性能专门试验。

第二章 聚合物结构特征与性能

§ 2.1 塑料的分类

塑料是指以高聚物（有时用单体在加工过程中直接聚合）为主要成分，大多含有添加剂（如增塑剂、填充剂、润滑剂、颜料等）、且在加工过程中能流动成型的材料。通常有以下几种分类方法。

2.1.1 按塑料的物理化学性能分

（1）热塑性塑料（Thermoplastics） 在特定温度范围内能反复加热软化和冷却硬化的塑料。如聚乙烯塑料、聚氯乙烯塑料、聚酰胺塑料等。

（2）热固性塑料（Thermosetting Plastics） 因受热或其它条件能固化成不熔不溶性物料的塑料。如酚醛塑料，环氧塑料等。

2.1.2 按塑料用途分

（1）通用塑料（General Plastics） 一般指产量大、用途广、成型性好、价廉的塑料。如聚乙烯、聚丙烯、酚醛等塑料。

（2）工程塑料（Engineering Plastics） 一般指能承受一定的外力作用，并有良好的机械性能和尺寸稳定性，在高、低温下仍能保持其优良性能，可以作为工程结构件的塑料。如尼龙、聚砒、耐热环氧等。

（3）特种塑料（Special Plastics） 一般指具有特种功能（如耐热、自润滑等），应用于特殊要求的塑料。如氟塑料、有机硅等。

2.1.3 按塑料成型方法分

（1）模压塑料（Compression Plastics） 供模压用的树脂混合料。如一般热固性塑料。

（2）层压塑料（Laminated Plastics） 指浸有树脂的纤维织物，可经叠合、热压结合而成为整体材料。

（3）注射、挤塑和吹塑塑料（Injection, Extrusion and Blow Plastics） 一般指能在料筒温度下熔融、流动、在模具中迅速硬化的树脂混合料。如一般热塑性塑料。

（4）浇铸塑料（Casting Plastics） 能在无压或稍加压力的情况下，倾注于模具中能硬化成一定形状制品的液态树脂混合料。如MC尼龙。

（5）反应注射模塑料（Reaction Injection Moulding Material） 一般指液态原材料，加压注入模腔内，使其反应固化制得成品。如聚氨酯类。

2.1.4 按塑料半成品和制品分

(1) **模塑粉** (Moulding Powder) 又称**塑料粉** 主要由热固性树脂 (如酚醛) 和填料等, 经充分混合、滚压、粉碎而得。如酚醛塑料粉。

(2) **增强塑料** (Reinforced Plastics) 加有增强材料使某些力学性能比原树脂有较大提高的一类塑料。

(3) **泡沫塑料** (Foamed Plastics) 整体内含有无数微孔的塑料。

(4) **薄膜** (Film) 一般指厚度在 0.25mm 以下的平整而柔软的塑料制品。

此外, 工程塑料、增强塑料和泡沫塑料又有其不同的类别, 如表 2.1.1、表 2.1.2 和表 2.1.3 所示。

表2.1.1 工程塑料分类

类 别		聚 合 物
通用工程塑料		尼龙、聚甲醛、聚碳酸酯、改性聚苯醚、热塑性聚酯、超高分子量聚乙烯、甲基戊烯聚合物、乙烯醇共聚物等
特程工程塑料	非交联型	聚砒, 聚醚砒、聚苯硫醚、聚芳醚、聚酰亚胺、聚醚醚酮、氟树脂等
	交 联 型	聚氨基双马来酰胺、聚三嗪、交联聚酰亚胺、耐热环氧树脂等

表2.1.2 增强塑料分类

按外形分	粒状增强塑料, 如钙塑塑料 纤维增强塑料, 如玻璃纤维或玻璃布增强塑料 片状增强塑料, 如云母增强塑料
按材质分	布基、石棉增强塑料, 如碎布增强塑料 无机矿物填充塑料, 如石英、云母填充塑料 玻纤增强塑料, 如预浸渍料、SMC、BMC等 特种纤维增强塑料 如碳纤维、凯芙拉纤维增强塑料 金属纤维增强塑料 如钢丝增强塑料

表2.1.3 泡沫塑料分类

类 别	定 义
硬质泡沫塑料	无柔韧性, 压缩硬度大, 应力达到一定值方产生变形, 解除压力后不能恢复原状的泡沫塑料
半硬质泡沫塑料	柔韧性介于硬质和软质泡沫塑料之间的泡沫塑料
软质泡沫塑料	富有柔韧性, 压缩硬度很小, 应力解除后能恢复原状, 残余变形较小的泡沫塑料

§ 2.2 高聚物的结构与性能

我们已经知道, 高聚物是塑料的主要成分。高聚物有着不同于低分子物质的结构特征。因此, 也就有着不同于低分子物质的独特性能。微观结构特征, 必须通过材料内部的分子运动, 方能在材料的宏观物理性质上表现出来。例如橡胶, 常温下是柔软的弹性体, 当冷却到 -100°C 以下时, 就变成象玻璃一样硬而脆的固体; 又如常温时坚硬的聚甲