



塑料制品设计

SULIAO ZHIPIN SHEJI



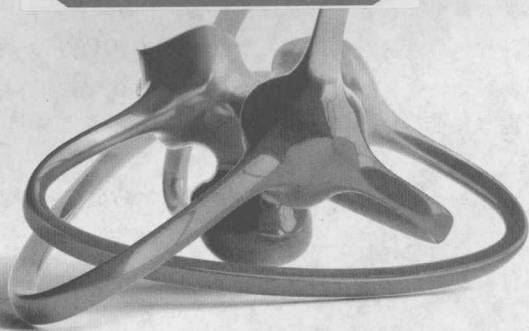
揣成智 主编



化学工业出版社

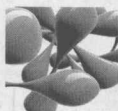
TQ320.7/2

2008



塑料制品设计

SULIAO ZHIPIN SHEJI



揣成智 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书详细介绍了塑料制品设计所需要的设计基础、设计方法、设计分析、最低成本模型、设计参数及载荷的确定。另外,还介绍了计算机辅助设计及塑料材料的性能,从测试、质量控制(QC)、产品的失效形式、安全因子等方面论述了设计的可靠性。

本书内容全面,并配有大量的图例,反映了塑料制品设计的发展水平。

本书可作为从事塑料制品设计、塑料成型加工、塑料成型模具设计的研究、设计、制造及生产的工程技术人员、生产人员、管理人员的参考书,也可供高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

塑料制品设计/揣成智主编. —北京:化学工业出版社,
2008.3

ISBN 978-7-122-02307-0

I. 塑… II. 揣… III. 塑料制品-设计 IV. TQ320.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 031387 号

责任编辑:白艳云 杜春阳
责任校对:宋 夏

文字编辑:林 丹
装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市延风装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张10½ 字数281千字

2008年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686)

售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:28.00 元

版权所有 违者必究

前言

工业生产的迅速发展、人们生活水平的日益提高,对塑料制品的材料、性能、外观等都提出了更高的要求。目前我国塑料制品的设计、生产情况与发达国家相比还有很大差距。塑料制品的大量使用,使塑料成型加工工业迅速发展,从事塑料加工的工程设计人员、产品开发人员、生产管理人员不断增多。为适合这些人员的需要,我们编写了《塑料制品设计》一书。

本书共分5章,全面介绍了整个塑料制品的设计过程。有些知识不仅适用于塑料制品的设计人员,也适用于塑料加工和塑料模具的设计和制造人员。

第1章介绍了塑料制品设计所需要的一些知识,包括热塑性塑料、热固性塑料、交联热塑性塑料、增强塑料的特性、通用塑料和工程塑料、弹性体/橡胶、塑料的行为和形态、分子结构、力学性能、黏度和熔体流动流变学、力学分析、加工过程与性能的关系、吸湿性及各种成型加工方法等。

第2章主要介绍了塑料制品设计的基础,包括塑料的力学特性、塑料制品的载荷分析、受力分析实例、塑料件失效分析、塑料制品的设计参数等。

第3章主要介绍塑料制品设计,包括几何形状的设计、平板结构设计、折叠板式结构设计、梁的设计、加强筋的设计、柱形结构的设计、欧拉方程、扭曲构件的设计、夹层结构的设计、齿轮的设计、垫圈和密封垫的设计、制品形状的设计、管材的设计、弹簧设计(包括片状弹簧、特殊弹簧、悬臂弹簧、扭曲梁弹簧)、铰链设计、压力装配、搭扣配合设计、传送带设计、包装制品设计、建筑用塑料制品设计、运输、导弹和火箭、电器和电子产品设计、设计

的局限性和约束等。

第4章介绍计算机辅助设计,包括计算机与人、几何造型、准确设计与设计效率、CAD系统的硬件组成、CAD软件、有限元分析、基于分析的设计、CAD的标准与转换接口、数据共享、工程用个人电脑、CAD的特殊应用等。

第5章介绍了设计的可靠性,包括可靠性理论基础、可靠性设计的特点、可靠性设计的基本原则和要求、可靠性设计的主要内容、可靠性的主要定量指标、可靠性设计方法及可靠性测试方法等内容。

本书第1章由申小义和揣成智编写,第2章由周晓明和蔡志江编写,第3章由揣成智编写,第4章由王华山编写,第5章由高雨苗编写。全书由揣成智主编并统稿。

由于作者水平有限,书中不妥之处敬请读者批评指正。

编者

2008年1月

目 录

第 1 章 塑料性能与塑料成型加工	1
1.1 概述	1
1.2 塑料材料	5
1.2.1 热塑性塑料	7
1.2.2 热固性塑料	8
1.2.3 交联热塑性塑料	8
1.2.4 增强塑料	9
1.2.5 工程塑料	10
1.2.6 再生塑料	10
1.3 塑料材料的选择	12
1.3.1 塑料材料的比较	13
1.3.2 选择塑料的方法	18
1.3.3 温度对塑料材料的影响	18
1.3.4 塑料的热性能	20
1.3.5 塑料的热导率	22
1.3.6 塑料的热膨胀	23
1.3.7 塑料的超环境	25
1.3.8 塑料的可燃性	28
1.4 塑料的其他性能与测试	29
1.4.1 烟雾	30
1.4.2 塑料在电器和电子工业中的应用	30
1.4.3 塑料的耐腐蚀性	32
1.4.4 塑料的耐化学性	32
1.4.5 塑料的耐磨损性	33

1.5	塑料成型加工	34
1.5.1	挤出成型	35
1.5.2	注射成型	43
1.5.3	热成型	49
1.5.4	泡沫塑料成型	50
1.5.5	压延成型	51
1.5.6	浇铸成型	52
1.5.7	涂覆成型	54
1.5.8	压制成型	55
1.5.9	反应注射成型	56
1.5.10	旋转模塑	58
1.5.11	塑料的收缩性与公差	60
1.6	塑料新材料与加工助剂的进展	64
第2章	塑料制品设计基础	66
2.1	概述	66
2.2	塑料的力学特性	66
2.2.1	黏弹性	66
2.2.2	应变特性	69
2.2.3	载荷分析	72
2.3	概念设计方法	80
2.3.1	设计分析	80
2.3.2	拟弹性方法	82
2.3.3	复合作用理论	84
2.3.4	受力分析实例	85
2.4	塑料件失效分析	93
2.5	塑料制品设计参数	94
2.5.1	确定载荷	94
2.5.2	设计分析过程	97
2.5.3	设计参数分析	99

第3章 塑料制品设计	117
3.1 概述	117
3.2 几何形状	118
3.2.1 弹性模量	119
3.2.2 弹性和惯性理论	119
3.3 平板结构设计	120
3.4 折叠板式结构设计	123
3.5 梁的结构设计	125
3.6 加强筋设计	127
3.6.1 塑料加强筋设计	127
3.6.2 加强筋设计原则	129
3.6.3 制品内外表面加强筋设计	131
3.7 柱形结构设计	133
3.8 欧拉方程	136
3.9 扭曲构件设计	138
3.10 夹层结构设计	140
3.10.1 概述	140
3.10.2 夹层结构	141
3.11 齿轮设计	150
3.11.1 概述	150
3.11.2 齿轮材料	152
3.11.3 接触应力	154
3.12 轴承设计	155
3.12.1 轴承材料	155
3.12.2 压力-速度因素	155
3.13 垫圈和密封垫设计	156
3.14 制品形状设计	158
3.14.1 概述	158
3.14.2 圆筒形结构设计	161
3.14.3 球形体结构设计	163

3.14.4	储罐设计	164
3.15	管材设计	175
3.15.1	热塑性塑料管设计	175
3.15.2	增强塑料管设计	175
3.16	弹簧设计	180
3.16.1	片状弹簧设计	181
3.16.2	特殊弹簧设计	189
3.16.3	悬臂弹簧设计	190
3.16.4	扭曲梁弹簧设计	191
3.17	铰链设计	192
3.18	压力装配设计	193
3.19	搭扣配合设计	194
3.20	传送带	197
3.21	包装制品设计	199
3.21.1	渗透性	200
3.21.2	缓冲材料	202
3.22	建筑用塑料制品设计	204
3.22.1	未来的住宅	206
3.22.2	住宅顶部	207
3.23	运输用塑料制品设计	209
3.23.1	汽车中的塑料制品设计	218
3.23.2	卡车中的塑料制品设计	220
3.23.3	飞机中的塑料制品设计	220
3.23.4	海运上的应用	223
3.24	导弹和火箭中的塑料制品设计	225
3.25	电器和电子产品中的塑料制品设计	225
3.25.1	电子屏蔽装置	226
3.25.2	天线屏蔽器	228
3.26	医学方面的塑料制品设计	229
3.26.1	外科用塑料制品设计	231

3.26.2	牙类用塑料制品设计	232
3.26.3	卫生保健用品设计	232
3.27	娱乐方面的塑料制品设计	233
3.28	仪表方面的塑料制品设计	233
3.29	家具方面的塑料制品设计	235
3.30	滤水器方面的塑料制品设计	237
3.31	木塑制品	238
3.32	金属	239
3.32.1	用塑料替换金属	240
3.32.2	性能	241
3.33	设计的局限性和约束	248
第4章 计算机辅助设计 251		
4.1	概述	251
4.2	计算机在 CAD 系统中的作用	253
4.2.1	几何造型	255
4.2.2	提高设计的准确性与效率	257
4.3	CAD 系统的硬件组成	258
4.3.1	输入/输出设备	259
4.3.2	中央处理器	260
4.4	CAD 的软件系统	260
4.4.1	CAD 程序	262
4.4.2	数据库及常用信息资源	264
4.4.3	供应链管理软件	269
4.5	计算机辅助设计系统中的有限元分析	269
4.5.1	有限元分析的概念	269
4.5.2	有限元分析的应用	271
4.5.3	有限元分析的过程	272
4.5.4	基于有限元分析的设计方法	274
4.6	CAD 系统的数据格式	275

4.7	CAD 数据交换方式	276
4.8	CAD 系统的软硬件配置要求	277
4.9	CAD 系统的功能及应用	278
4.9.1	图形编辑	278
4.9.2	优化设计	279
4.9.3	CAD 建模	280
4.9.4	快速模型制造	281
4.9.5	人工智能	282
4.9.6	网络 CAD	282
第 5 章	设计可靠性	285
5.1	概述	285
5.1.1	可靠性理论基础	286
5.1.2	可靠性设计的特点	286
5.1.3	可靠性设计的基本原则	287
5.1.4	可靠性设计的主要内容	288
5.1.5	可靠性的主要定量指标	289
5.1.6	可靠性设计方法	291
5.2	可靠性设计技术	293
5.2.1	应力-强度干涉模型	293
5.2.2	可靠度与应力-强度干涉模型的关系	294
5.2.3	可靠性优化设计	295
5.2.4	模糊可靠性设计	297
5.3	测试	302
5.3.1	测试过程	302
5.3.2	分类测试	305
5.3.3	疲劳载荷和实验室测试	306
5.3.4	长期测试的可靠性	307
5.4	产品可靠性与质量控制	308
5.4.1	质量控制 (QC)	309

5.4.2	质量与可靠性	310
5.5	安全系数法	310
5.5.1	安全系数概念	310
5.5.2	安全系数范例	312
5.5.3	可靠性与安全系数的关系	314
5.5.4	安全系数法与可靠性设计的关系	318
5.6	产品可靠性设计的发展趋势	319
5.6.1	故障或失效模式、机理及对策	319
5.6.2	定性设计与定量设计相结合	319
5.6.3	建立机械产品设计的可靠性数据库, 加强数据的 分析研究	319
5.6.4	制造中工艺缺陷的检测与控制	320
5.6.5	可靠性工程管理技术	320
参考文献		321

第①章

塑料性能与塑料成型加工

1.1 概述

一个世纪以来,由于塑料具有品种多、性能优良和生产工艺高速、低能耗等优点,而得到了广泛使用,塑料已经为全世界创造了巨大的经济效益。通过现代化学和工程技术的结合,塑料制品极大地提高了现代人的生活水平。借助塑料,几乎能生产出满足很多需要的产品,如果现在没有塑料产品,那世界将是令人难以想象的。

对材料的深入了解以及加工控制设备的改进,都极大地拓展了塑料产品的使用性能。根据不同行业和工业市场的需要,人们对塑料制品的要求主要包括以下几个方面:重量轻、拉伸强度高;包装精、表面光滑而不需二次加工;不同环境下的抗降解性、各种环境下保持良好的使用性能;适于批量生产;颜色范围较宽及有较好的表面状态;较高的耐冲击性和耐撕裂性;可用在负载结构的工业产品上;可以调节使用寿命(从降解到非降解产品);在生产中可在新材料中加入回用料,也可单独使用回用料;复杂形状的制品——包括许多用其他方法难以成型或用其他材料不能成型的,用塑料可以成型并且方法简单;在农业上使用的薄膜应具有透气性;以及耐热和耐烧蚀等性能。

塑料材料在人类的发展中起着重要的作用,由于塑料材料的性能有很宽的调整范围且容易加工成型,所以能被用来生产从简单到复杂的各种制品,并且制品的性能可根据客户的需要而调节。不过,目前塑料产品的设计并未达到尽善尽美,还有很多可提高的空间,在塑料材料、成型加工、机械工程设计等方面也都应该进行不

断的改进。

塑料工程设计在不同加工过程和不同材料方面有了很大的改进,但是市场需求仍要求设计效率、产品质量、生产质量和零件精度进一步提高,而费用尽量减少,这些需求涵盖了产品设计的整个过程,生产者可通过对加工工程进行改进和简化加工工序来完成,以获得令人满意的产品。

为了满足市场的需要,产品设计者必须具备塑料方面的知识,如加工过程、机械及外界负载压力的影响等。其中产品的负载包括短时间的静压力如拉伸、弯曲、扭曲等,长时间的动压力如蠕变、疲劳、冲击、运动控制等。一个成功的设计不可能仅靠一个灵感而产生,因为设计是一个非常复杂的工作,不仅需要直觉和创造力,还要受到经验和技术的影 响。经验在设计中起着重要的作用,所以设计者的经验必须紧跟材料和加工领域的最新发展。要想将一个想法转换成一种现实的产品,对于材料的了解和预先知道一些与加工技术有关的知识是非常必要的。

在设计任意一种产品时,如软包装袋、硬质容器、医用器械、汽车、船、水下装置、弹性管、建筑材料、飞机、导弹、太空船等,设计者都需要了解许多知识,包括工程学方面和非工程学方面的知识。设计这样的产品,通常需要不同专业的专家合作。只有综合考虑各方面的因素,设计出的产品才能保证质量,才能是一个满足使用需要的产品。在市场中,每个合格的产品都是在考虑了所有需要考虑的设计因素后才能得到的。

塑料产品的设计可以说是一种挑战。我们日常生活中看到的许多产品都只是为了满足实用的需要,并非是严格的产品设计。这些日常用品不需要接受复杂的设计分析,因为它们不会承载高的静载荷和动载荷。它们的设计仅仅需要来自塑料材料供应商提供的材料性能方面的数据,例如容器、杯子、玩具、盒子、计算机外壳、收音机外壳、电视机外壳、熨斗、娱乐产品、非结构或建筑物、汽车和飞机内部使用的各种次结构产品等。设计工程师必须知道何时使用实践的方法设计,何时使用严格的方法设计或者两者合二为一。

塑料不仅有优点,也有缺点和一些使用上的局限性,正如其他材料(钢、木材等)一样,遗憾的是没有一种材料(塑料、钢等)能满足所有的需要,如图 1-1 所示。值得注意的是,人们经常忽略了使用了几百年材料的缺点,却常常过分强调新材料的缺点。铁和钢在高温环境下(815°C)易损坏,常用的做法是涂上一层保护层(塑料、水泥等),使得它们免于破坏。木材是非常有用的材料,但易腐烂,易燃。混凝土易破碎。这些材料有各自的缺陷并不意味着钢、木材或混凝土不能被使用,这个道理也应该同样适用于塑料。在许多方面,短期使用塑料制品比用其他材料的制品优点多很多。塑料具有非常优秀的性能,如低密度、较强的耐穿透性、良好的热绝缘性、较高的机械缓冲性、高耐腐蚀性和耐化学侵蚀

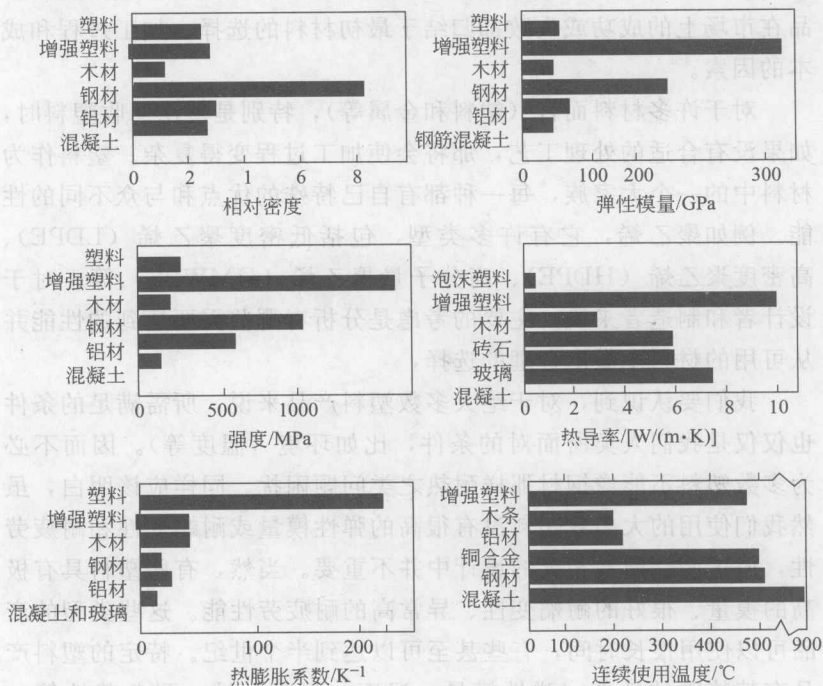


图 1-1 材料的力学和物理性能 (FALLO 塑料)

性，以及极好的电绝缘性。有些塑料，当它们暴露在阳光或紫外线下，或者在气候的作用下会出现老化，而有些塑料则具有很好的抗老化性能。

在设计允许的范围内，由于负载的作用，当应力超过屈服点时会产生永久形变，这可以直接由普通的拉伸应力-应变图确定。而大多数塑料的行为变化则更多依赖于施加负载的时间、负载的历史、相关的温度周期及环境情况。对这些条件缺少了解会导致塑料产品的设计缺陷。

当前生产的塑料材料，其性能信息和数据都会在手册中提供，读者可以从供应商或相关数据库中得到最新的和较详细的信息。由于塑料材料总是有新的发展，保持数据更新便十分必要了。这对于确保所生产的产品能够满足其性能需要是十分重要的。许多塑料产品在市场上的成功或失败都归结于最初材料的选择、加工过程和成本的因素。

对于许多材料而言（塑料和金属等），特别是使用回收塑料时，如果没有合适的处理工艺，那将会使加工过程变得复杂。塑料作为材料中的一个大家族，每一种都有自己特殊的优点和与众不同的性能。例如聚乙烯，它有许多类型，包括低密度聚乙烯（LDPE）、高密度聚乙烯（HDPE）、高分子量聚乙烯（HMWPE）等，对于设计者和制造者来说，主要的考虑是分析有哪些需要达到的性能并从可用的材料中做出合理的选择，

我们要认识到，对于绝大多数塑料产品来说，所需满足的条件也仅仅是我们人类所面对的条件，比如环境（温度等）。因而不必为多数塑料不能像钢材那样耐热之类问题困扰。同样应该明白，虽然我们使用的大多数塑料没有很高的弹性模量或耐蠕变性和耐疲劳性，但这些性能在相关的设计中并不重要。当然，有些塑料具有极高的模量、很好的耐蠕变性、异常高的耐疲劳性能。这些类型的产品可以使用很长时间，有些甚至可以达到半个世纪。特定的塑料产品有其特殊的性能（弹性模量、温度、耐化学性、耐负载性等），这些性能比钢或其他材料的性能要好得多。

设计者可以把塑料做成片材形式、工形梁或其他形式使用,就像其他许多材料一样。塑料产品的制备之所以占有一席之地,正是由于塑料真正的优点在于可以加工成所设计的形状,特别是当形状复杂的时候,例如具有机械和电子连接的两个或多个制品、活动铰链、带颜色的产品、能组装成一个产品的搭扣连接件等。

设计是一个使发明产品尽可能实现设计者的需要,同时在成本效益(在投资的返回上)上满足制造者需要的过程。有效利用最合理的材料和生产加工过程是每一个设计者努力的目标。产品设计是科学和艺术的结合,指导方针就是尽量从美学和科学两方面都得以满足。

1.2 塑料材料

塑料材料包含许多不同的成分,如聚合物、添加剂等。塑料在加工阶段中能成型出简单或形状极为复杂的产品,其产品也可以在极柔软到极刚硬的范围内变化。

塑料是包含助剂、填充剂和增强材料的聚合物或树脂(以及弹性体和增强塑料等)材料。弹性体是类似于橡胶的材料(包括天然的和合成的),增强塑料是用添加剂如纤维、晶须增强的塑料。添加这些材料的主要目的是提高产品的力学性能,其他方面包括增加耐热性和改进公差控制等。

目前全世界塑料的总消耗量超过 1.54 亿吨,90%是热塑性塑料,10%是热固性塑料,美国和欧洲塑料的消费占全世界消耗量的 1/3。世界上可使用的 35000 种塑料材料里大约有 200 种是基本的类型,经过商业化生产并流行使用的少于 20 种。这些塑料品种如下所示。

聚甲醛(POM)

丙烯酸树脂:聚丙烯腈(PAN)

聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)

醇酸树脂:间苯二甲酸二烯丙酯(DAIP)

邻苯二甲酸二烯丙酯(DAP)

氨基树脂:三聚氰胺-甲醛树脂(MF)

脲醛树脂(UF)

纤维素塑料:醋酸纤维素(CA)

醋酸-丁酸纤维素(CAB)

醋酸-丙酸纤维素(CAP)