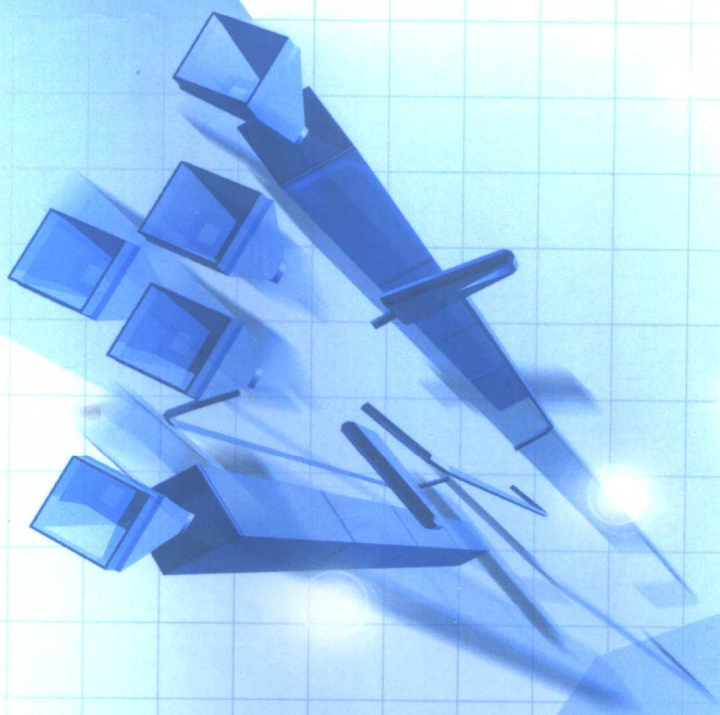


非金属制品的 成型与设计

◆ 党新安 葛正浩 等编



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

非金属制品的成型与设计

党新安 葛正浩 等编

化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

非金属制品的成型与设计/党新安等编. —北京:化学工业出版社, 2003

ISBN 7-5025-4757-6

I. 非… II. 党… III. ①非金属材料-成型②非金属材料-结构设计 IV. TB32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 078972 号

非金属制品的成型与设计

党新安 葛正浩 等编

责任编辑:宋向雁

责任校对:凌亚男

封面设计:潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话:(010)64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 15¼ 字数 377 千字

2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4757-6/TQ·1804

定 价:32.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

内 容 提 要

本书结合作者长期从事教学和科研工作的经验,在参阅大量国内外有关专业资料的基础上对塑料、橡胶、陶瓷、玻璃等主要非金属材料的性能特点、模塑成型的原理与方法、模塑成型制品的结构设计以及特征建模技术在制品设计中的应用等内容进行较全面系统的论述。书中内容理论联系实际,具有较强的实用性,对于提高非金属模塑制品质量、降低产品造价有一定的指导意义。

本书可作为高等院校工业设计、机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程等专业师生的教学参考书,也可供从事非金属材料产品设计、模具设计与制造、制品成型加工以及相关工程技术人员参考。

前 言

非金属材料模塑制品已广泛用于工农业生产及国民经济各个部门和日常生活中。实用、价廉、美观、性能优异的非金属材料模塑制品不仅给人民生活带来具体的物质享用,而且能使人们得到美的、艺术的精神享受。然而,制得一件满意的非金属材料模塑制品并非容易,涉及多方面的专业知识。为了适应非金属材料模塑制品成型加工的需要,提高产品质量,降低造价以及满足众多产品生产与设计者要求,我们根据长期从事教学和科研工作的经验,并参阅了大量国内外有关专业资料编写了本书。

本书对塑料、橡胶、陶瓷、玻璃等主要非金属材料的性能特点、模塑成型的原理与方法、模塑成型制品的结构设计以及特征建模技术在制品设计中的应用等内容作了较全面系统的论述。本书内容理论联系实际,具有较强的实用性。

本书可作为高等院校工业设计、机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程等专业的专业课教材或教学参考书,也可供从事产品设计、模具设计与制造以及相关工程技术人员参考使用。

本书第一章的第一节至第四节由党新安编写,第五节由赵雪妮编写,第二章至第五章由葛正浩编写,全书由党新安、葛正浩统稿主编。

本书由陕西科技大学张德翱教授主审,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误、不妥、疏漏之处,恳请读者批评指正。

编者

2003年6月

目 录

第一章 塑料制品的模塑与结构设计	1
第一节 塑料及其性能特点.....	1
一、概述	1
二、塑料的基本特性及用途	4
三、塑料的分类	6
四、塑料的力学状态与性能	8
五、常用塑料的特性及应用.....	11
六、塑料的鉴别与回收利用.....	23
第二节 塑料的压制、传递和注射模塑及应用.....	27
一、压制模塑.....	27
二、传递模塑.....	34
三、注射模塑.....	38
第三节 塑料压制、压铸和注射模塑制品的结构设计.....	55
一、概述.....	55
二、结构设计.....	55
三、带有嵌件模塑制品设计	103
四、塑料模塑制品设计的基本程序	112
第四节 塑料其他模塑制品的成型与结构设计.....	115
一、塑料挤出模塑制品的成型及结构设计	115
二、塑料中空模塑制品的成型与结构设计	131
三、塑料真空、压缩空气模塑制品的成型与结构设计.....	139
四、塑料发泡模塑制品的成型与结构设计	145
第五节 塑料制品的装潢、修饰与结构设计	151
一、塑料制品的色彩装饰	151
二、塑料制品的工艺装饰与结构设计	159
第二章 橡胶制品的模塑成型与结构设计	172
第一节 概述.....	172
一、橡胶的特性与分类	172
二、常用橡胶的性能及用途	173
三、橡胶的硫化	174
第二节 橡胶制品的模塑成型.....	175
一、橡胶压制成型	175
二、橡胶压铸成型	177

三、橡胶注射成型	181
四、橡胶挤出成型	184
第三节 橡胶制品的结构设计	186
第三章 陶瓷制品的模塑成型与结构设计	190
第一节 概述	190
一、陶瓷与陶瓷制品	190
二、陶瓷制品的生产工艺过程	191
第二节 陶瓷制品的模塑成型	191
一、成型方法的分类与选择	191
二、可塑成型	192
三、注浆成型	201
四、压制成型	206
第三节 陶瓷制品的结构设计	211
第四章 玻璃制品的模塑成型与结构设计	212
第一节 概述	212
一、玻璃	212
二、玻璃的成型	212
第二节 玻璃制品的压制法成型	213
第三节 玻璃制品的吹制法成型	214
一、压-吹法	214
二、吹-吹法	215
三、转吹法	215
四、带式吹制法	216
第四节 玻璃制品的浇铸法成型和烧结法成型	216
第五节 玻璃制品的结构设计	217
第五章 非金属材料模塑制品的建模技术	221
第一节 概述	221
第二节 三维实体建模	222
一、实体建模的原理	222
二、实体生成的方法	223
三、三维实体建模中的计算机内部表示	225
第三节 三维特征建模	227
一、特征的定义	228
二、特征建模系统的框架	228
三、特征建模的功能及特点	229
四、特征建模系统的实现模式	230
第四节 三维 CAD/CAM/CAE 集成软件 Pro/ENGINEER 系统简介	230
一、Pro/E 系统的建模原理及其特点	231

二、Pro/E 2001 的组成模块及其功能简介	231
三、Pro/E 2001 系统的其他模块简介	232
第五节 非金属材料模塑制品的建模技术	233
一、概述	233
二、非金属材料模塑制品建模的特点	233
三、用 Pro/E 软件进行制品建模和模具设计	234
参考文献	236

第一章 塑料制品的模塑与结构设计

塑料作为高分子化学和材料科学发展的重要成果，早已成为人类社会不可缺少的重要生产资料。塑料制品、制件在工业生产和日常生活实践中得到了愈来愈广泛的应用。现在，全球范围的以塑料代替金属的趋势更加速了塑料制品模塑成型加工业的迅速发展。塑料制品从设计到投产是一个十分复杂的过程，它包括制品概念设计、结构设计、模具总体方案设计、结构设计、模具零件制造加工与装配以及模塑生产加工等多个环节。塑料制品的设计需要综合考虑制品应用需求、制品结构与工艺特点、对塑料性能的要求、对模具的结构及制造工艺的要求、模塑设备和生产量、生产成本等多个方面的影响因素。由于这些因素存在相互影响，要得到一个塑料制品的合理设计方案并非易事。必须借助于计算机 CAD 技术或设计师的丰富经验才可完成实现。

塑料的模塑成型加工是将塑料制成一定形状、尺寸及外观要求的制品的重要手段，而且在成型过程中，可通过添加各种助剂、拉伸定向、淬火退火、辐射交联等技术措施，能改善塑料的机械强度、韧性、耐磨性等，或使塑料制品具有热收缩、导电性、导磁性等特殊性能。因此，在塑料制品设计时，不能单纯根据制品的用途及其工作条件来确定其结构形式和尺寸大小，还必须考虑制品的结构工艺性、成型加工的可能性和成型加工后的性能特点以及经济性。

第一节 塑料及其性能特点

一、概述

(一) 塑料工业发展概况

人们很早就开始利用天然可塑性高聚物。在 19 世纪以前已利用的天然树脂有沥青、松香、琥珀、达玛脂、虫胶等。到 19 世纪中叶以后，人们发现了加工改性天然高聚物的方法，如天然橡胶经过硫化，制成橡皮和硬质橡胶；硝酸纤维用樟脑作增塑剂，制成赛璐珞；乳酪蛋白质用甲醛塑性化制成酪素塑料。这些用天然高聚物（橡胶、蛋白、纤维素等）为基础的塑料在 19 世纪末，已经有了工业价值，但产量不大，性能也不太理想。

在 1872 年发现用苯酚和甲醛可以合成酚醛树脂。由于电气工业和仪器设备制造工业的发展，推动了酚醛树脂在 20 世纪初投入工业生产，为塑料工业开辟了新的道路。

到 20 世纪的 20~30 年代，相继又出现了醇酸树脂、聚氯乙烯、丙烯酸酯类树脂（如有机玻璃）、聚苯乙烯等。从 40 年代起，因科学技术和工业的高度和石油资源的开发，塑料生产更获得极其迅速的发展，出现了聚乙烯、聚丙烯、不饱和聚酯、聚硅醚树脂、氟塑料、环氧树脂、聚甲醛、聚碳酸酯、氯化聚醚、聚酰亚胺等新品种。

从塑料制品来说，从 20 世纪初酚醛塑料开始工业化以后，到 1950 年全世界塑料总产量达到 150 万吨左右，1960 年增加到 690 万吨，1970 年达到 3000 万吨左右，1980 年则为 5900 万吨，1985 年达 7000 万吨以上，成为四大工业材料（钢铁、木材、水泥和塑料）之

一，且其年增长率也居于首位。

至于塑料制品的发展，几乎与塑料生产是同步的。当塑料最初问世时，由于品种不多和对它的本质理解不足，在塑料制品生产技术上，只能从塑料与某些材料具有若干相似之处而进行仿制。主要是借鉴橡胶、木材、金属和陶瓷等材料的生产工艺成型制品。此后，随着塑料品种增多，在其制品成型生产不断实践和实验的基础上，对塑料各类制品和塑料的特征都有了比较明确的认识，因此，不论在生产技术和成型方法上，都有显著的改进和扩展。这一时期的开始约在 20 世纪的 20 年代。20 世纪 50 年代以来，因各项尖端科学技术以及许多工业领域和农业生产技术发展的需要，要求具有某些特种性能和性能特别优良的塑料制品，且对制品数量、结构、尺寸大小和准确程度也提出了更高标准，同时还力求不使塑料固有性能在制品生产过程中有所下降。基于这些要求，就许多原料的生产方法不得不从头至尾细心研究，作一番革新，且对适合客观需要所设计的新型塑料和制品又不能不分别根据具体的特点在生产成型技术上创新。为最大限度使用新材料创造了良好的条件，同时又促进了新材料和新制品的研制，使二者取得了同步快速的发展。截至目前为止，不仅塑料制品的数量和应用种类都有了显著的增长，而且绝大多数的新旧生产成型方法也逐渐形成合理的系统，从而使塑料制品的生产日益成为一个专门而又较大的生产部门。

塑料除了能制得色彩鲜艳、令人喜爱的日用品外，它还有许多用途。由于塑料具有许多独特的实用性能，如质轻、耐腐蚀、绝缘和良好的多种防护特性等，因而被广泛地应用于机电、化工、建筑、交通运输、能源利用、轻纺、农业、渔业等国民经济、国防和科研的各个领域。它不仅可以代替或节约贵重金属、木材、皮革、纤维等材料，提高制品质量、简化加工工序、降低生产成本和提高生产效率，而且可以解决工程上不少关键问题。建筑材料、包装材料和农业薄膜是塑料用量最大的几个方面。某些塑料具有耐高温、耐烧蚀和抗辐射的特征，可成功地应用于航天和原子能等尖端技术领域，曾是世界各国竞相研制的重要材料。

(二) 塑料成型及其在塑料工业中的重要性

塑料工业共包含塑料生产（包括树脂和半成品的生产）和塑料制品生产（也称为塑料成型工业或加工工业）两个系统。这两个系统是相辅相成、互相依赖的。没有塑料的生产，就没有塑料制品的生产，其理由是十分明显的。但没有塑料制品的生产，塑料就不会成为生产或生活资料。要生产一个合格的塑料制品，除了要对塑料性能提出要求外，尚需要有一个合理的成型方法，否则难以达到目的。显而易见，塑料成型是塑料工业和其他工业联系的桥梁。由于塑料生产和塑料制品生产是一个系统的两个连续部分，其关系见图 1-1-1 所示。

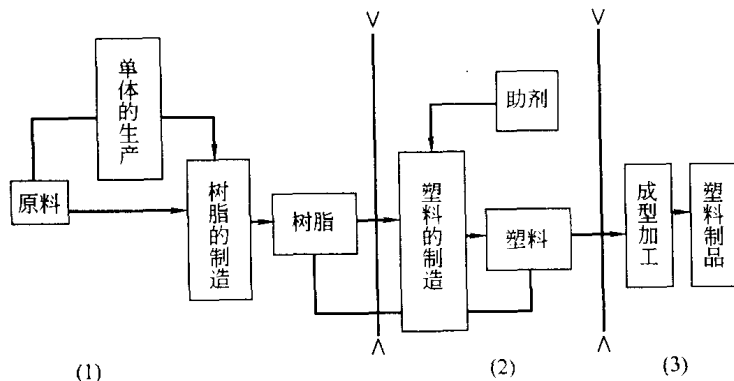


图 1-1-1 由塑料到塑料制品的简单生产流程

从图 1-1-1 可以看到，由塑料到塑料制品的流程共分为 3 个连续部分。图中长方形表示过程；正方形表示原料、中间产物或成品；实线箭头表示流程前进的方向；虚线箭头表示该段流程前进的另一种方式。据上所述，当知（1）和（3）两部分是分别属于树脂和塑料制品两个生产领域，而实际生产过程也确实是这样分的。至于第（2）部分，按理也应属于树脂生产领域，但一般较大的成型工厂往往为了方便，也有将这部分归入自己的生产范围。这样，除能满足它自己对塑料在配方上的多样性要求外，还可以简化仓库的管理。

塑料制品的生产是一种既复杂而又繁重的过程，它的目的在于根据各种塑料的固有性能，利用一切可以实施的方法，使其成为具有一定形状而又有使用价值的制品或型材。当然，除加工技术外，生产成本和制品质量都应列为重点考虑因素。塑料制品生产系统主要是由成型、机械加工、修饰和装配四个连续过程组成的（如图 1-1-2）。成型是将各种形态的塑料（粉料、粒料、溶液和分散体）制成所需形状的制品或坯件的过程，它在四个过程中最为重要，是一切塑料制品或型材生产的必经过程。塑料成型的方法很多，诸如各种模塑、层压以及压延等。其他三个过程，通常是根据制品的要求来取舍的，也就是说，不是每种制品都须完整地经过这三个过程。机械加工指的是在成型后的工件上钻孔、切螺纹、车削或铣削等过程，它是用来完成成型过程所不能完成或完成得不够准确的一些工作。修饰的目的是美化塑料制品的表面或外观，间或也有为达到其他目的，例如，为提高塑料制品的介电性能就要求具有高度光滑的表面。装配是将各个已经完成的部件连接或配套以使其成为一个完整制品的过程。后三种过程有时统称为加工，从对比角度来说，加工过程常居于次要地位，塑料制品生产系统的组成见图 1-1-2 所示。

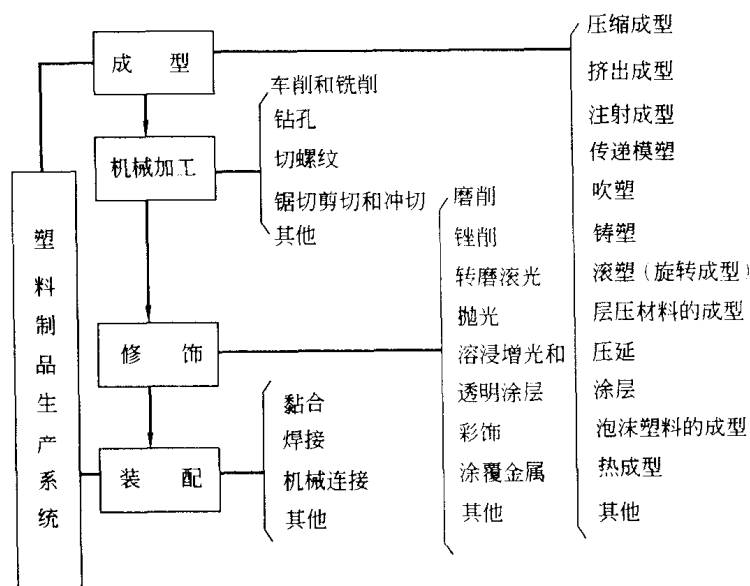


图 1-1-2 塑料制品生产系统的组成

（三）我国的塑料制品生产

我国的塑料制品生产仅在建国后才得到发展。建国前，塑料制品生产极少，只能生产一些日常用品，质量既差，数量又少。一切原料和设备几乎全部依靠进口。

建国后，我国塑料工业也和其他工业一样，得到很大的发展，30 多年来的平均年增长率竟超过 30%，而成为国民经济的重要组成部分。特别是我国的石油工业的发展，为塑料工业提供了原料，可以预料，今后塑料工业将会得到更大的发展。现在，全国各地都建立起

塑料厂，不但沿海城市有，而且内地和农村都有。工厂的生产条件都得到改善，且向着自动化方向发展。根据生产发展的需要，各地已建立起不少的研究机构和专业学校，既为塑料工业培养了人才，而且也取得了许多创新成果。除此以外，我们还建立了生产塑料成型设备的工厂，制造各种成型方法所需的设备，有些已达到国际先进水平。

二、塑料的基本特性及用途

塑料是一种以天然或合成高分子化合物为主要成分，加入一定量的填充剂、增塑剂、稳定剂、着色剂等，在一定温度、压力下，可塑制成型，并在常温下能保持其形状不变的、具有一定强度和刚度的材料叫塑料。

塑料根据其基本组成可分为简单组分和复杂组分。简单组分塑料基本上以合成高分子化合物为主，加入少量的辅助材料，其性能主要取决于高分子化合物本身的特性，如聚四氟乙烯（不加入助剂）、聚苯乙烯、有机玻璃等。复杂组分的塑料则由多种组分组成，除高分子化合物外，还加入填料、增塑剂、稳定剂、润滑剂等，其性能不完全取决于高分子化合物，且与各种助剂加入的量及其与高分子化合物的相互作用有关，如酚醛塑料、环氧塑料等。

（一）基本特性

塑料材料品种繁多，其性能也大不相同。有的以高强度著称，有的以耐腐蚀领先，有的侧重于电气绝缘性等等。虽然塑料品种较多，性能差异大，但塑料材料与其他材料相比，仍具有共同特性，其表现主要为如下几个方面。

（1）质轻 普通塑料的密度一般在 $0.83 \sim 2.30 \text{g/cm}^3$ 范围，仅为钢的 $1/8 \sim 1/4$ ，铝的 $1/2$ ，而各种泡沫塑料的密度仅为 $0.01 \sim 0.05 \text{g/cm}^3$ 。这在要求减轻自重的用途中有着特殊重要的意义。如在波音 747 飞机上就聚碳酸酯一种塑料制成的零件大约有 2500 多件，重约两吨。在运输机械用材上，塑料的比例不断增加，尤其是结构泡沫塑料和纤维增强塑料。

（2）电气绝缘性好 在电性能方面，塑料包含着极其宽广的指标范围。塑料的介电常数常常小到 2 左右，体积电阻率高达 $10^{16} \sim 10^{20} \Omega \cdot \text{cm}$ ，介电损耗低到 10^{-4} 。总的来说，大多数塑料在低频、低压条件下具有良好的电气绝缘性，不少塑料即使在高频、高压下也能作为电气绝缘材料和电容器介质材料。

（3）隔热性能好 塑料的热导率极小，比金属小上百倍甚至上千倍，是热的不良导体或绝缘体，因而常被用作绝热保温材料。泡沫塑料的热导率与静止的空气相当。因此，聚苯乙烯、聚氨酯等许多泡沫塑料广泛用于冷藏、建筑、节能装置和其他绝热工程。

（4）力学强度范围宽，比强度高 塑料的力学强度范围广，从柔顺到坚韧甚至到刚、脆都有。大多数塑料的模塑制品的刚度与木材相近。不同塑料材料的力学强度差别很大，拉伸强度从 10MPa 至 50MPa 甚至更大的都有。由于塑料对异物具有良好的埋没性和就范性（即良好的浸润性），故用玻璃纤维增强的塑料比强度高，大约为 $1700 \sim 4000$ ，而普通碳钢比强度仅为 1600 ，若用碳纤维增强其比强度将大大超过金属材料。因此，普通塑料特别适用于受力不大的结构件。

（5）成型加工性能好 塑料成型加工方便，例如，用塑料做的机器零件，在多数情况下可以不需经过铸造、车削、铣、刨等工序，只要一次成型即可。

（6）减震、消音作用强 许多塑料由于柔软而富于黏弹性，当它受到外界的机械冲击震动或频繁的机振、声振等机械波作用时，塑料内部产生黏弹内耗，将机械能转变为热能而散发。因此，工程上常利用塑料（尤其泡沫塑料）材料作为减震和消音材料。

（7）减摩、耐磨性能好 大多数塑料摩擦系数都比较低，有些塑料还具有优良的减摩、

耐磨和自润滑特性。许多工程塑料制品的摩擦零件可以在各种液体摩擦、边界摩擦和干摩擦等条件下有效地工作。有些塑料的耐磨性为许多金属材料所不及。例如，各种氟塑料以及用氟塑料增强的聚甲醛、聚酰胺塑料就是良好的耐磨材料。可作为轴承、齿轮、活塞环和密封圈等在腐蚀介质或者在少油、无油润滑条件下有效地运转。

(8) 耐腐蚀性能好 一般塑料都具有较好的化学稳定性，对酸、碱、盐溶液等化学药物具有良好的抵抗能力，对水、水蒸气、有机溶剂等具有不同程度的稳定性，超过了许多金属及其合金材料。所以，塑料广泛地用作防腐材料。号称“塑料王”的聚四氟乙烯在腐蚀性极强的介质——煮沸的“王水”中也无法被腐蚀，而耐蚀性极强的纯金在该介质中却能被溶解。

(9) 透光性及其防护性能良好 不少塑料如聚苯乙烯、聚氯乙烯、聚碳酸酯和丙烯酸类等塑料是无定型的（或很少结晶）。有些塑料（如聚酯、聚酰胺等）虽然结晶度较高，但其晶粒可以控制得很小，所以，许多塑料制品可以作成透明或半透明。其中聚苯乙烯和丙烯酸类塑料与玻璃一样透明，常用作特殊环境下玻璃的替代品。利用聚丙烯、聚乙烯等塑料薄膜既透光又保暖的特性，大量用于保护农作物。

综上所述，由于塑料优良的、多样的实用性，故在工农业生产、日常生活、国防以及高科技领域中获得相当广泛的应用。然而，塑料也有许多缺陷，有待进一步改善提高。主要表现在以下几个方面。

(1) 热性能差。塑料的许多性能对温度的依赖性十分显著，即在不太高的温度之下，足以改变大分子的热运动方式和聚集态结构，从而几乎影响到塑料所有的性能。因此，使用温度范围窄，耐热性较差，是塑料作为工程材料使用存在的突出问题。

(2) 强度低，刚度特低。

(3) 不易成型尺寸精密的制品。

(4) 塑料制品在使用过程中易产生蠕变、冷流和结晶等现象，尺寸稳定性差。

(5) 塑料的疲劳性能、耐老化性较差，导热性不良和热膨胀系数大。

(6) 许多塑料均容易燃烧，等等。

因此，需要通过各种技术手段对塑料的这些缺陷加以改善，以满足各种需要。

(二) 用途

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、包装工业以及家用电器、日用杂件等诸多领域均获得了广泛的应用。由塑料制成的轴瓦、滑轮、凸轮、导轨、密封环以及燃烧轮机的压缩环、增压机叶片等；在各种腐蚀介质中工作的零件如在化工、石油等设备中用塑料可以大量地节约镍、铬、铜等贵金属；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。用塑料制造飞机的外壳、内装饰件及仪器仪表的传动零部件，既可减轻质量，又可延长使用寿命。据统计：在波音 747 飞机上仅聚碳酸酯一种塑料制成的零件约有 2500 件，重约两吨。在每辆现代化的小轿车上大约有 300~400 个塑料零件，如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 6000~10000 小时；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。同时电视机、洗衣机、照相机、电冰箱、手表、摩托车、缝纫机、音响设备以致舞台灯光、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更是大显神通。

三、塑料的分类

塑料的品种很多，而且每个品种又有许多个牌号。人们为了便于认识和使用塑料，对塑料进行分类。分类的方法很多，现就常用的两种方法介绍如下。

(一) 以塑料受热后行为分类

1. 热固性塑料

热固性高分子化合物在受热条件下本身先行软化，然后内部发生化学反应，引起分子间的粘结或交联、硬化或聚合，固化成型变硬后保持稳定，即使再加热也不能使其回复到成型前的原始软化状态，加工时发生化学变化的塑料即称热固性塑料。该塑料成型后再无法回炉使用，所以也俗称不能回炉塑料。

热固性塑料是一种化学不溶解的高分子材料。通常是将热固性高分子化合物与填料和增强物等混合组成模塑原料，通过模塑方法制造制品。属这一类的常用塑料有酚醛塑料、氨基塑料、环氧树脂等。与热塑性塑料相比，它们具有如下共同性能特点。

(1) 制品刚度大 热固性塑料在承载下弹性和塑性变形极小，表现出较大的刚度，且温度对刚度的影响也很小。

(2) 耐热性能好 热固性塑料固化后再也不会软化，制品对热相当稳定。用 1.8MPa 载荷测试它们的热变形温度，一般为 150~260℃，含填料的塑料热变形温度还可提高。

(3) 制品尺寸稳定性好 热固性塑料一般都是含有填料的多组分材料，成型固化后的制品受温度、湿度、盐雾等环境影响小，尺寸稳定性好，成型收缩率小，容易制成比热塑性塑料尺寸精度高的制品。

(4) 加工性能好 热固性塑料能适应多种模塑加工，选择正确的加工方法和工艺条件，就可以一次成型形状复杂、尺寸精度较高的制品。

(5) 电性能优良 热固性塑料的电性能一般均很优良，若以云母为填料的制品其电性能更为优异，可以用它来制造耐电弧性、耐电压、感应特性优越的电气零件。

(6) 蠕变量小 蠕变是指塑料制品在连续载荷作用下发生的形状和尺寸变化，蠕变量决定于载荷的大小、温度的高低和加载时间长短等因素。在相同的载荷和温度条件下，热固性塑料的蠕变量比热塑性塑料要小得多。

(7) 耐腐蚀性好 热固性塑料不受有机溶剂和弱酸、弱碱等的腐蚀。

2. 热塑性塑料

热塑性高分子化合物在室温下是固体状态，在受热条件下本身软化，达到一定温度变为黏性液体，冷却到该温度以下时黏性液体重新凝固。循环地加热与冷却，熔融和凝固重复出现，可反复多次仍具有可塑性，成型加工时发生物理变化的塑料即称为热塑性塑料。该塑料可以反复多次成型使用，所以俗称为可以回炉塑料。

热塑性塑料可以单独加工成型制品，也可以加入各种添加剂加工成制品。属这一类的常用塑料有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯三元共聚物 (ABS)、聚甲基丙烯酸甲酯 (有机玻璃)、聚酰胺 (尼龙)、聚甲醛、聚碳酸酯、聚砒、聚四氟乙烯等。与热固性塑料相比，它们具有如下共同性能特点。

(1) 质轻 热塑性塑料的密度在 0.83~2.20g/cm³ 范围，约为铝的 1/2，钢的 1/4。

(2) 比强度高 以单位质量计算材料的强度称为比强度。许多塑料，特别是以玻璃纤维、碳纤维等增强的塑料，其比强度可达到或超过钢的比强度。

(3) 电绝缘性能高 热塑性塑料是有机材料,不导电,具有良好的电绝缘性能,优良的耐电弧性能,可与陶瓷、橡胶或其他绝缘材料相媲美。

(4) 化学稳定性好 这类塑料对酸、碱、有机溶剂等大都有良好的耐腐蚀性,特别是聚四氟乙烯塑料。

(5) 优良的减摩、耐磨和润滑性能 这类塑料的许多摩擦系数都很小且耐磨,可以用作减摩和耐磨材料。

(6) 良好的着色性能 这类塑料常以美观、色泽鲜艳而丰富人们的生活。它可以直接着色,也可以通过喷涂、热压印、印刷等多种表面整饰工艺获得各种外观的塑料制品。

(7) 模塑加工方法多、生产效率高 热塑性塑料可用多种模塑方法制造制品,制造过程易实现自动化、连续化,操作简便,生产效率高。

热塑性塑料的缺点是耐热性差,热膨胀系数较大,尺寸稳定性差,在载荷作用下易变形,易老化。

(二) 以塑料的使用特点分类

1. 通用塑料

通用塑料是指常用的塑料品种,这类塑料产量大,用途广,价廉。它包括聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、酚醛和氨基塑料等六种。它们的产量占整个塑料产量的 80% 以上。

2. 工程塑料

工程塑料是指具有优良力学性能的一类塑料,它可以用来制造承受载荷的工程结构零件,能代替金属材料制成各种零部件和配件。目前工程塑料常指 ABS、聚甲醛、聚碳酸酯、聚酰胺等。但是随着塑料工业的发展,塑料应用范围的不断扩大,通用塑料或其改性的塑料,其性能也能起到工程塑料的作用。通用塑料与工程塑料的界限难以区分。

3. 特种塑料

特种塑料是指具有某一方面特殊性能的塑料,这类塑料具有高的耐热性或电绝缘性、耐腐蚀性等。例如氟塑料、聚酰亚胺塑料等。特种塑料还包括专用改性塑料,如导电塑料、导磁塑料、导热塑料等。

(三) 以高分子化合物的微观聚集状态分类

组成塑料的高分子化合物都是由一种或多种简单低分子化合物聚合而成为分子量很大的化合物,所以也称为高聚物或聚合物。通常具有三种分子结构形式,即线型分子链、带有支链的线型分子链和空间结构的体型分子链结构。以这些分子的微观聚集状态可将其分为结晶型塑料和非结晶型塑料。前两种分子链可以形成结晶和非结晶两种聚集状态,而体型分子结构仅有一种聚集状态就是非结晶态。

1. 结晶型塑料

高聚物的结晶是指长分子链部分地形成有序排列,组成规整结构的过程,如图 1-1-3 所示。在结晶高聚物内,大分子作有规则排列的区域称为“晶区”,晶区内长链大分子(往往是链的某些部分)可以按折叠、伸展、螺旋等方式做规则排列。除晶区之外,大分子均处于无序状态,这些区域称为“非晶区”。

高聚物“结晶”与“晶区”的概念与低分子化合物及金属的晶体概念是有本质区别的,如金属晶体(参见图 1-1-4),其各质点(分子、原子、离子等)均在空间固定点上作有规则的排列。在高聚物内既有晶区又有非晶区,而且晶区与非晶区比整个大分子链要小得多,所

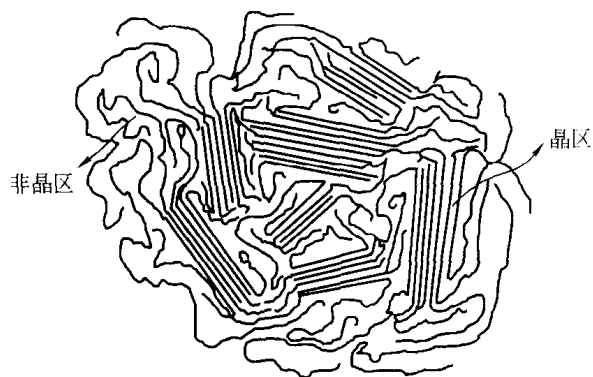


图 1-1-3 高聚物晶区与非晶区结构示意图

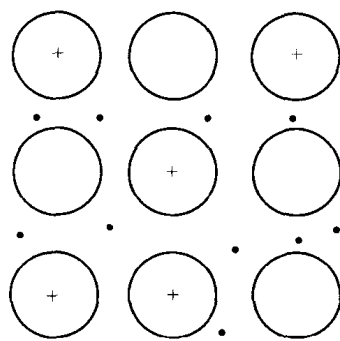


图 1-1-4 金属晶体结构示意图

以每一个聚合物分子都可以同时穿过几个晶区和非晶区。也就是说，高聚物中每个分子既包含着规则部分（晶区），又包含着不规整部分（非晶区）。晶区部分所占的质量分数（或体积分数），称为结晶度。一般的结晶型高聚物如尼龙、聚乙烯等，其结晶度为 50%~95%。

结晶度对塑料性能有重要影响，一般结晶度越高，晶区范围越大，分子间作用力越强，塑料的熔点、密度、强度、刚性、硬度越高，耐热性、化学稳定性也越好，但与分子链运动有关的性能如弹性、伸长率、耐冲击性则降低，如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 聚乙烯结晶度与性能

性能指标	低密度聚乙烯	高密度聚乙烯	交联聚乙烯
结晶度/%	40~50	60~80	—
密度/(g/cm ³)	0.91~0.93	0.94~0.97	0.97~1.4
拉伸强度/MPa	6.86~14.70	20.58~36.26	9.80~20.58
断裂伸长率/%	90~800	15~100	180~600
熔点/℃	105	135	—
最高使用温度/℃	80~100	120	135
用途	软塑料制品、薄膜材料	硬塑料制品、管材、棒材、结构零部件	海底电缆、电工器材

2. 非结晶型塑料

组成塑料的高聚物大分子链杂乱无章地相互穿插交缠着，均处于无序的状态堆积在一起，如图 1-1-3 所示的非晶区。该塑料的性能主要取决于高聚物本身的特性、分子链的结构、分子量的大小和分子链的长短等因素。

四、塑料的力学状态与性能

一切物质在一定条件下都呈现一定的物理状态，如气、液、固三态，且可相互转化。然而，不同物质的各种状态所存在的温度范围不同，以及同种状态所表现出的性能也不同。对于塑料也是如此。随着温度的变化，塑料同样也呈现出不同的物理力学状态。所以掌握塑料各种力学状态与性能之间的基本规律，对塑料的加工成型、选材与应用均有着十分重要的意义。

1. 线型非结晶性塑料的力学状态

在线型（或带有支链的线型）非结晶性高聚物中，由于不同温度高聚物分子运动程度的差异，使这种高聚物呈现出三种不同的力学状态：玻璃态、高弹态和黏流态。对同一高聚物，这三种力学状态是在不同温度范围内出现的，所以，通常采用在一定载荷下，测定高聚物随温度变化而引起的状态改变，绘出温度-形变曲线（热机曲线）来描述高聚物的力学状

态,如图 1-1-5 所示。

(1) 玻璃态 它是塑料在低温时呈现一定的刚性和强度的状态。由图 1-1-3 可知,在温度足够低时,分子链间的作用力比较大,分子链段运动被冻结,在外力作用下,分子只能维持在平衡位置上的轻微振动,宏观上产生可逆的普弹形变,呈现出较好的机械强度,是塑料作为结构材料的使用状态。

如图 1-1-5 所示, T_g 称为玻璃化温度。它通常是塑料材料作为结构材料使用的最高温度。也是玻璃态向高弹态转变温度。凡是 T_g 高于室温的塑料则可作为结构材料使用,若 T_g 低于室温的塑料则可作为弹性材料或橡胶使用。如经常使用的塑料密封件就是其 T_g 低于室温。

T_x 称为脆化温度。在此温度下,高聚物分子受外力时,大分子链轻微振动也不复存在。宏观上呈现脆性状态,失去使用价值。 $T_x \sim T_g$ 是塑料作为玻璃态的温度范围。

(2) 高弹态 随着温度的升高,热运动能量不断增加,当温度超过玻璃化温度 T_g 后,虽然整个大分子链不能移动,但大分子链中的某些链段开始发生位移,大分子链的形状可以拉直或卷曲,表现出很大的柔顺性,宏观上呈现高弹状态,如同橡胶,故也叫橡胶态。

高聚物在高弹态所产生的形变也是可逆的,即在外力作用下可产生较大的变形,除去外力后又可缓慢地恢复原状称为高弹形变。应该指出,处于高弹态的大分子,常会出现形变速度跟不上应力变化速度的滞后现象。如图 1-1-6 所示橡胶在一次拉伸与回缩过程中应力与形变的关系。当拉伸时,应力与形变沿 AB 线增长;当回缩时,则沿 BEA 线进行,而没有沿原来的路线。对于同一应力值,回缩时的形变值较拉伸时为大。由于拉伸与回缩不是沿着同一曲线,橡胶在一次循环中的能量收支不能抵消。橡胶在被拉伸时,外力对它做功,其量等于 AB 曲线下包围的面积;当回缩时,橡胶对外界做功,其量等于 BEA 曲线下所围的面积。二者之差,称为“滞后圈”。它代表在一次循环中,橡胶所净接受的能量。这一能量消耗于分子链段运动所引起的内摩擦。内摩擦转变为热能,称为内耗。

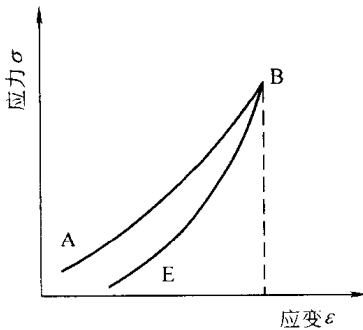


图 1-1-6 橡胶的应力-形变

内耗作为弹性材料是不希望有的,它的存在将使塑料材料升温老化。但作为减震材料则是非常有利的。注意不是所有的塑料都具有明显的高弹态,只有部分属于柔性分子链的高聚物才呈现高弹态。然而只有高分子材料才有可能出现高弹态,室温下处于高弹态的高聚物均可作弹性材料使用。 $T_g \sim T_f$ 是高弹态的温度范围。

(3) 黏流态 当温度继续上升,达到一定温度时,高聚物大分子链将产生整体位移,宏观上呈现黏性流动状态,即称黏流态。高聚物大分子链开始滑动位移的温度称为黏流化温度 T_f 。黏流化温度 T_f 也是高弹态转变为黏流态的温度。

高聚物呈黏流态时,因大分子链整体发生位移,所以受到外力时将产生黏度很大的流动形变,即使外力去除后,也不能恢复原状。这种不可逆的形变,常称为塑性形变或黏性流动形变。 T_d 是高聚物的分解温度,当超过这一温度时,高聚物大分子链的化学键被破坏而分解,所以 $T_f \sim T_d$ 是高聚物呈现黏流态的温度范围,是塑料材料加工成型状态。

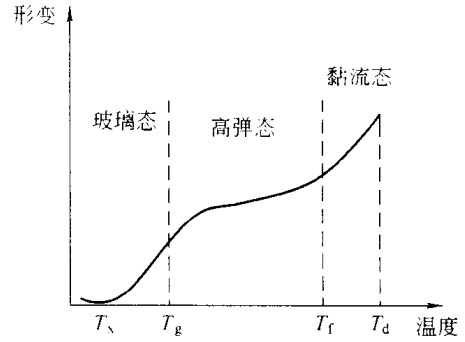


图 1-1-5 线型非结晶性塑料的温度-形变曲线