



21世纪高职高专规划教材·机电类

塑料成型工艺及设备

主编 温志远 副主编 王世辉



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书集塑料材料、成型加工原理、成型设备于一体,最大特点是提取了原来塑料材料、成型加工原理、成型设备3门课程的精华,并结合了与塑料模具设计密切相关的内容。本书是在多年教学与生产实践经验积累的基础上,深入了解生产需要、深刻领会高职教育教学大纲和摸清教学规律的基础上编写而成的。

本书是根据高职教育的发展要求和特点编写的,适合高职模具设计与制造专业、塑料成型加工专业的学生使用,亦可作为机械制造类专业的教材,以及从事塑料加工行业生产一线的工程技术人员参考资料,同时也可以用于培养塑料成型工艺技术人员培训教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

塑料成型工艺及设备/温志远主编. —北京:北京理工大学出版社,
2007. 2

21 世纪高职高专规划教材·机电类

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1004 - 1

I. 塑… II. 温… III. 塑料成型 - 高等学校:技术学校 - 教材
IV. TQ320. 66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 006697 号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www. bitpress. com. cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京地质印刷厂

开 本/787 毫米×960 毫米 1/16

印 张/24. 5

字 数/493 千字

版 次/2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

印 数/1~4000 册

定 价/34. 00 元

责任校对/陈玉梅

责任印制/吴皓云

图书出现印装质量问题,本社负责调换

出版说明

当前，高度发达的制造业和先进的制造技术已经成为衡量一个国家综合经济实力和科技水平的重要标志之一，成为一个国家在竞争激烈的国际市场上获胜的关键因素。

如今，中国已成为制造业大国，但还不是制造业强国。我们要从制造业大国走向制造业强国，必须大力发展以机电一体化为主的先进制造技术，提高计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）的技术水平。

制造业要发展，人才是关键。尽快培养一批高技能人才和高素质劳动者，是先进制造业实现技术创新和技术升级的迫切要求。高等职业教育既担负着培养高技能人才的任
务，也为自身的发展提供了难得的机遇。

为适应制造业的深层次发展和机电一体化技术的广泛应用，根据高等职业教育发展与改革的新形势，北京理工大学出版社组织知名专家、学者，与生产制造企业的技术人员反复研讨，以教育部《关于加强高职高专人才培养工作的若干意见》等文件对高职高专人才培养的要求为指导思想，确立了“满足制造业对人才培养的需求，适应行业技术改革，紧跟前沿技术发展”的思路，编写了这套高职高专教材。本套教材力图实现：以培养综合素质为基础，以能力为本位，把提高学生的职业能力放在突出位置，加强实践性教学环节，使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者；以企业需求为基本依据，以就业为导向，增强针对性，又兼顾适应性；课程设置和教学内容适应技术发展，突出机电一体化、数控技术、模具等应用专业领域的新知识、新技术、新工艺和新方法；教学组织以学生为主体，提供选择和创新的空間，构建开放、富有弹性、充满活力的课程体系，适应学生个性化发展的需要。

本套教材的主要特色有：

1. 借鉴国内外职业教育先进教学模式，顺应现代职业教育教学制度的改革趋势；
2. 以就业为导向，进行了整体优化；
3. 理论与实践一体化，强化了知识性和实践性的统一。

本套教材适合于作为高职高专院校机电一体化、数控技术、机械制造及自动化、模具设计与制造等专业的课程教学和技能培训用书。

北京理工大学出版社

前 言

在编写过程中力求做到：课堂理论教学与实践教学相结合；模拟实践与应用实践相结合；传统成型工艺与现代先进成型加工技术相结合；文字说明与图片表达相结合；通用成型设备与现代专用成型设备相结合；高职教育与应用型人才培养相结合；塑料性能、成型原理和成型设备有机结合；也收集了生产企业的应用成果。全书紧紧围绕如何设计塑料模具、模具和设备的协同工作这一宗旨进行编排，既减少课程门类及教学时数又达到高职教育目标要求，尤其注重学生实践能力和应用能力的培养，即适用性教育。

本书共分5章：第1章，塑料概论，介绍了塑料材料及其应用、塑料和塑料制品的生产过程与塑料成型加工概述等内容；第2章，塑料成型的理论基础，介绍了高聚物的加工性质、流变性质、流动缺陷、加热与冷却、结晶、取向、降解、热固性塑料的交联、热塑性及热固性塑料的工艺性能等内容；第3章，塑料的性能及加工，介绍了14种常用的热塑性塑料及4种热固性塑料的组成、性能、加工特性和应用等内容；第4章，挤出成型工艺及设备，重点介绍了挤出成型原理及特点、挤出机、挤出成型工艺过程、工艺条件的选择及控制、吹塑薄膜生产工艺、管材挤出工艺、中空吹塑、其他挤出制品成型工艺；第5章，注射成型工艺及设备，介绍了注射成型原理及特点、注射机、注射成型工艺过程、工艺条件的选择及控制、注射成型制品的质量分析和其他形式的注射成型。

本书作为高职教材体现其实用性：本书的第2章以归纳总结、图形讲解简单扼要介绍了常见10种塑料成型原理、成型特点，成型生产过程所用的成型设备及模具，通过举例说明

成型制品的用途，将 10 种成型集中在一章书介绍使得读者（学生）通过对比方式区分十种成型方法，使学生能对各类塑料制品选择合适的成型方法；而在第 4、5 章都以典型的生产实例分析成型工艺条件，避免复杂的理论分析，便于学生理解——符合高职特点。

本书由广东轻工职业技术学院温志远主编，柳州职业技术学院王世辉副主编，广州职业技术学院李俊松和广东职业技术学院王玫瑰负责全书审定。全书共 5 章，其中温志远编写第 1 和第 5 章，王世辉编写第 2 和第 3 章，周铭杰编写第 4 章，对在编写过程中为本书提供帮助的王新奇、陈彦雄高级工程师以及广东轻工职业技术学院模具 043、模具 044、模具 051 班多位学生表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，时间紧任务重，加上作者知识的局限性，错误在所难免，恳请广大读者批评指正，也请专家提出宝贵意见。希望得到广大读者的支持和厚爱，我们将继续努力，争取做得更好。

编 者

目 录

第1章 塑料概论	(1)
1.1 塑料材料及其应用	(1)
1.1.1 塑料的概念及组成	(1)
1.1.2 塑料的命名及分类	(2)
1.1.3 塑料的性能与用途	(4)
1.1.4 塑料的树脂与助剂	(9)
1.2 塑料和塑料制品的生产过程	(17)
1.3 塑料成型加工概述	(19)
1.3.1 模压成型	(19)
1.3.2 压注(铸)成型	(19)
1.3.3 注射成型	(20)
1.3.4 挤出成型	(21)
1.3.5 压延成型	(22)
1.3.6 中空吹塑成型	(24)
1.3.7 真空成型	(25)
1.3.8 层压成型	(26)
1.3.9 泡沫塑料成型	(26)
1.3.10 浇铸成型	(27)
复习思考题	(30)
第2章 塑料成型的理论基础	(31)
2.1 高聚物的加工性质	(31)
2.1.1 高聚物的聚集态及其加工	(31)
2.1.2 高聚物的可挤压性	(33)
2.1.3 高聚物的可模塑性	(34)
2.1.4 高聚物的可纺性	(35)
2.1.5 高聚物的可延性	(35)

2.2 高聚物的流变性质	(35)
2.2.1 牛顿流体流变方程	(35)
2.2.2 指数流动规律与表观黏度	(38)
2.3 成型过程中聚合物在模内的流动状态	(41)
2.3.1 聚合物流体在圆形截面流道中的流动	(41)
2.3.2 聚合物流体在狭缝形流道中的流动	(43)
2.3.3 聚合物熔体在模内的流动行为	(44)
2.4 成型过程中聚合物的物理化学行为	(50)
2.4.1 聚合物的结晶	(50)
2.4.2 成型过程中的取向作用	(51)
2.4.3 聚合物的降解	(53)
2.4.4 聚合物的交联	(54)
2.5 塑料的成型工艺特性	(55)
2.5.1 热塑性塑料的工艺特性	(55)
2.5.2 热固性塑料的工艺特性	(57)
复习思考题	(60)
 第3章 塑料的性能及加工	(62)
3.1 热塑性塑料的性能及加工	(62)
3.1.1 聚乙烯	(63)
3.1.2 聚丙烯	(67)
3.1.3 聚氯乙烯	(71)
3.1.4 聚苯乙烯	(75)
3.1.5 ABS 塑料	(79)
3.1.6 聚酰胺	(84)
3.1.7 聚碳酸酯	(93)
3.1.8 聚砜	(99)
3.1.9 聚苯醚	(108)
3.1.10 聚甲醛	(112)
3.1.11 聚甲基丙烯酸甲酯	(118)
3.1.12 氟塑料	(123)
3.1.13 聚对苯二甲酸乙二酯	(129)
3.1.14 聚对苯二甲酸丁二酯	(136)
3.2 热固性塑料的性能及加工	(144)

3.2.1 酚醛树脂及其塑料	(144)
3.2.2 氨基树脂及其塑料	(151)
3.2.3 环氧树脂及其塑料	(154)
3.2.4 不饱和聚酯树脂及塑料	(154)
复习思考题	(155)
第4章 挤出成型工艺及设备	(158)
4.1 概述	(158)
4.1.1 塑料挤出成型的特点和应用	(158)
4.1.2 塑料挤出成型过程和挤出成型设备的组成	(158)
4.1.3 挤出机的分类	(160)
4.1.4 单螺杆挤出机的技术参数及型号	(160)
4.2 挤出机的主要零部件	(163)
4.2.1 螺杆	(163)
4.2.2 料筒	(175)
4.3 挤出机的其他零部件	(179)
4.3.1 挤出机传动系统	(179)
4.3.2 加热与冷却装置	(180)
4.3.3 加料装置	(184)
4.3.4 分流板与过滤网	(186)
4.4 挤出机的控制	(187)
4.4.1 挤出机温度控制要求	(187)
4.4.2 温度的测量和控制方法	(187)
4.4.3 物料压力的测量与控制	(189)
4.4.4 转速的控制	(191)
4.4.5 过载保护和其他安全防护	(192)
4.5 挤出成型的辅助设备	(192)
4.6 吹塑薄膜生产工艺	(192)
4.6.1 吹塑薄膜的生产形式	(193)
4.6.2 吹塑机头	(194)
4.6.3 生产操作程序及其控制	(200)
4.6.4 生产过程中不正常现象产生的原因及消除办法	(206)
4.7 管材挤出工艺	(208)
4.7.1 挤出成型机	(208)

4.7.2	机头	(209)
4.7.3	生产工艺流程及其控制	(211)
4.7.4	生产过程中不正常现象、产生原因及消除办法	(215)
4.8	中空吹塑	(216)
4.8.1	中空吹塑的形式	(217)
4.8.2	生产过程	(218)
4.8.3	中空吹塑设备及模具	(219)
4.8.4	成型条件的控制	(223)
4.9	其他挤出制品成型工艺	(224)
4.9.1	板、片材挤出成型工艺	(224)
4.9.2	异型材挤出工艺	(226)
4.9.3	丝、绳、带和网成型工艺	(229)
	复习思考题	(235)
第5章	注射成型工艺及设备	(237)
5.1	概述	(237)
5.2	注射成型机的结构	(238)
5.2.1	注射成型机的基本组成及其工作过程	(239)
5.2.2	注射成型机的分类	(242)
5.2.3	注射成型机的基本参数与型号	(245)
5.2.4	注射装置	(251)
5.2.5	注射成型机的合模装置	(265)
5.3	注射成型机液压及电气控制系统	(275)
5.3.1	普通继电器控制注射成型机的液压系统	(275)
5.3.2	普通继电器控制注射成型机电气系统	(280)
5.3.3	PC 控制注射成型机的液压系统	(285)
5.3.4	PC 控制的注射成型机电气控制系统	(288)
5.3.5	微处理机在注射成型机上的应用	(293)
5.4	注射成型机的安装、调试及操作	(297)
5.4.1	注射成型机的安装	(297)
5.4.2	注射成型机调试	(297)
5.4.3	注射成型机的操作	(299)
5.5	注射成型模具	(300)
5.5.1	概述	(300)

5.5.2 注射模具典型结构	(301)
5.5.3 注射模具分类	(302)
5.5.4 注射模具与注射机的关系	(305)
5.6 注射成型工艺	(309)
5.6.1 注射成型工艺过程	(309)
5.6.2 注射成型工艺条件	(318)
5.6.3 注射成型制品的质量分析	(324)
5.7 热固性塑料的注射成型	(336)
5.7.1 热固性塑料注射成型的特点	(336)
5.7.2 热固性塑料注射成型机的特点	(337)
5.7.3 热固性塑料成型工艺条件	(339)
5.8 其他形式的注射成型	(340)
5.8.1 排气式注射成型	(340)
5.8.2 流动注射成型	(341)
5.8.3 共注射成型	(342)
5.8.4 气体(水)辅助注射成型	(343)
5.8.5 反应注塑	(346)
复习思考题	(348)
附录1 常用塑料中英文名词对照	(350)
附录2 常用热塑性塑料主要性能特点和工艺参数	(354)
附录3 部分国产注射成型机技术规格	(368)
附录4 部分国产注射成型机锁模机构与模具安装尺寸	(371)
附录5 注射成型机的维护及保养	(375)
参考文献	(377)

—第 1 章

塑 料 概 论

1.1 塑料材料及其应用

1.1.1 塑料的概念及组成

塑料是以树脂为主要成分，其他材料为辅助成分所组成的高分子聚合物，在加热、加压等条件下具有可塑性，在常温下为柔韧的固体。

树脂是塑料的主要成分，有天然树脂和合成树脂之分。天然树脂是指自然界中存在的一些来自植物或动物分泌的有机物，如松香、虫胶和琥珀等。它们在受热后无明显的熔点，能够逐渐变软，并具有可塑性。这些高分子有机物质产量低、性能也不理想。为了寻找天然树脂的代用品，人们模仿它们的成分，用化学方法人工地制取各种树脂。这种以人工方法制取的树脂称为合成树脂。目前构成塑料的树脂主要指合成树脂。

在合成树脂中加入某些添加剂，如填充剂、增塑剂和着色剂等，可以得到各种性能的塑料品种。由于添加剂所占的比例较小且是塑料的辅助成分，因而塑料的性能主要取决于合成树脂的性能。

所谓高分子聚合物，是指由许许多多结构相同的普通分子组成的大分子。一般的低分子物质的相对分子质量仅为几十至几百，例如一个水分子仅含一个氧原子和两个氢原子，水的相对分子质量为 18，而一个高分子聚合物的分子含有成千上万个原子，相对分子质量可达到数万乃至几百万、几千万。原子之间具有很大的作用力，分子之间的长链会蜷曲缠绕。这些缠绕在一起的分子既可互相吸引又可互相排斥，使塑料产生了弹性。高分子聚合物在受热时不像一般低分子物质那样有明显的熔点，从长链的一端加热到另一端需要时间，即需要经历一段软化的过程，因此塑料便具有可塑性。高分子聚合物与低分子物质的重要区别还在于高分子聚合物没有精确、固定的相对分子质量。同一种高分子聚合物所含相对分子质量的大小并不一样，因此只能采用平均相对分子质量来描述。

例如：低密度聚乙烯的平均相对分子质量为 1.5 万~3.5 万，高密度聚乙烯的平均相对分子质量为 8 万~14 万等。

高分子聚合物常用来制造合成树脂、合成橡胶和合成纤维。这三大合成材料成为目前材料工业的一个重要支柱。其中，合成树脂的产量最大，应用也最广。

1.1.2 塑料的命名及分类

1. 命名法

单体的名字前加上一个“聚”字，例如单体乙烯、丙烯、氯乙烯、苯乙烯等，聚合物称聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯等。

由两种单体缩聚而得的聚合物，取其单体简名，后加“树脂”。例如单体苯酚和甲醛，聚合物称为酚醛树脂；单体尿素和甲醛聚合物称为脲醛树脂等。

以聚合物的结构特征来命名，例如大分子内含特征基团酰胺基、酯基、氨基酯基，聚合物名称为聚酰胺、聚酯、聚氨酯等。

塑料除了以学名来表示外，还常用英文名称的缩写代号来表示，例如聚酰胺英文名 polyamide 代号是 PA，聚乙烯 (polyethylene) 的代号是 PE 等。也有用“俗称”表示，例如聚酰胺 (PA) 俗称“尼龙”，聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 俗称“有机玻璃”，酚醛树脂 (PF) 俗称“电木”等。

不同的厂家 (公司) 的树脂牌号也不同，同一种名称的树脂可以有許多牌号 (树脂产品型号)，这里就不介绍了。

2. 塑料的分类

(1) 按合成树脂的分子结构及其特性分类

① 热塑性塑料。热塑性塑料的合成树脂都是线形或带有支链形结构 [见图 1-1 (a)、(b)] 的聚合物。其特点是受热变软或熔化，成为可流动的黏稠液体，在此状态具有可塑性，可塑制成一定形状的塑件；冷却后保持既得的形状；再加热，又可变软并可制成另一形状。在该过程中一般只有物理变化，其变化过程可逆。

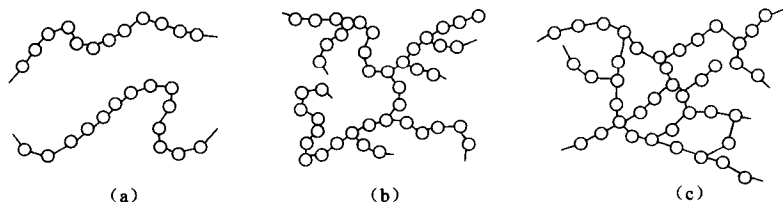


图 1-1 聚合物分子链结构示意图

(a) 线形；(b) 支链形；(c) 网状

简而言之，热塑性塑料是由可以多次反复加热而仍具有可塑性的合成树脂制得的塑料。

常见的热塑性塑料有：非结晶型塑料，如聚氯乙烯（PVC）、聚苯乙烯（PS）、聚碳酸酯（PC）、聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物（ABS）和聚砜（PSU）等；结晶型塑料，如聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）、聚甲醛（POM）、聚酰胺（PA）、饱和聚酯（SP）和聚四氟乙烯（PTFE）等。

② 热固性塑料。热固性塑料的合成树脂是带有体形网状结构 [见图 1-1 (c)] 的聚合物。

热固性塑料是由加热硬化的合成树脂制得的塑料。在加热之初，分子呈线形结构，具有可溶性和可塑性，可塑制成一定形状的塑件；继续加热时，温度达到一定程度后，分子呈现网状结构，树脂变成不溶或不熔的体形结构，使形状固定下来不再变化；再加热时，也不再软化、不再具有可塑性。其在加热变化过程中既有物理变化，又有化学变化，因而这一变化过程是不可逆的。

简而言之，热固性塑料是经加热硬化而得到塑料制品的合成树脂制得的塑料。常见的热固性塑料有酚醛塑料（PF）、环氧塑料（EP）、不饱和聚酯（UP）、氨基塑料、有机硅塑料、脲醛塑料和呋喃塑料等。

（2）按塑料的应用范围分类

① 通用塑料。通用塑料是指产量最大、用途最广、价格最低廉的一类塑料。目前公认的通用塑料为聚乙烯（PE）、聚氯乙烯（PVC）、聚苯乙烯（PS）、聚丙烯（PP）、酚醛塑料（PF）和氨基塑料六大类。其产量占塑料总产量的 80% 以上，构成了塑料工业的主体。

② 工程塑料。工程塑料是指用于工程技术中的结构材料的塑料。它具有较高的机械强度、良好的耐磨性、耐腐蚀性、自润滑性及尺寸稳定性等，即具有某些金属性能，因而可以代替金属作某些机械构件。常用的工程塑料主要有聚酰胺（PA）、聚甲醛（POM）、聚碳酸酯（PC）、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯（ABS）、聚砜（PSU）、聚苯醚（PPO）、聚四氟乙烯（PTFE）以及各种增强塑料。

③ 特殊塑料。特殊塑料是指具有某些特殊性能的塑料。这些特殊性能包括高的耐热性、高的电绝缘性和高的耐腐蚀性等。常见特殊塑料包括氟塑料、聚酰亚胺塑料、有机硅树脂、环氧树脂以及为某些专门用途而改性制得的塑料如导磁塑料、导热塑料等。另外还有用于特殊场合的医用塑料、光敏塑料、珠光塑料、导磁塑料和等离子塑料等。

（3）按塑料的树脂制造分类

① 加聚型塑料。加聚型塑料是指由通过加聚反应制得的树脂组成的塑料。所谓加聚反应是指在一定条件下，单体分子的活性链发生相互作用，加聚成一条大分子链的过程。

② 缩聚型塑料。缩聚型塑料是指由通过缩聚反应制得的树脂组成的塑料。所谓缩聚反应是靠单体中的可反应基团等来反应的，反应过程是逐步缩合的，并伴随某种小分子物质（氯化氢、氨、水和甲醇等）析出。

1.1.3 塑料的性能与用途

塑料的性能主要从三个方面来考虑,即塑料的材料性能(内在性能,包括高聚物本身和添加剂带来的影响)、加工性能和产品性能。三者之间联系紧密,不可分割。内在性能是材料的属性,取决于材料的化学和物理结构;产品性能则是物体的属性,并依赖于物体的形状,比如说,铁的电导率是一种内在性能,而一定尺寸铁丝的电导率则属于产品性能;加工性能处于中间地位,它决定材料被加工的可能性并决定经此种加工后产品所具有的性能总和。显然,一切产品的性能都取决于材料的选择、加工及应用三个环节,任何一个环节出现失误都不可能得到理想的产品。因此可以说,没有不好的材料,只有不好的产品。产品不好的原因可能是选错材料、加工不善、应用不当或设计低劣等。例如在塑料材料的发展过程中,塑料的偶然误用曾为工业带来损失,致使其多年名声不振。但人们很快就认识到,责怪塑料本身是不公平的,在某些场合应用塑料或许不适当,但在另一些场合却无与伦比,并且认识到每种塑料都有特定的优点和局限性。由此可见,在了解了塑料材料的性能之后,更有助于根据产品的需要及加工要求正确选择材料和进行模具设计。

一般来说塑料的密度均比金属低,即使经过填充或增强,增加也是有限的。从材料的使用角度来说,许多场合是以体积计,因而塑料常常较金属具有更高的性能价格比。塑料的成型加工性能也远较金属好,成型过程的能量消耗远较金属低。通常认为塑料的力学性能远比金属差,但许多场合下塑料的比强度是很高的。从另一角度来看,许多塑料的理论强度是很高的,甚至比金属更高(参见表1-1),但由于目前的成型加工方法等限制,使得其常规材料的实际强度远低于理论值。由此可知对塑料成型加工新方法的开发以制取力学性能大幅度提高的制品,其潜力和前景都是十分巨大和可观的。

大多数塑料都是电的绝缘体,在介电材料中得到广泛应用。近年来也逐步开发了一些本身有一定导电能力的结构型高分子导电材料,同时用复合(添加)方法制得了一大类抗静电、半导及导电塑料。

塑料的热变形及长期使用温度通常较低(通用热塑性塑料长期使用温度为 $50 \sim 90^{\circ}\text{C}$,工程塑料和热固性塑料可在 100°C 以上长期使用,少数可达 200°C),但在需要的场合开发了多种耐高温及纤维增强的耐热或烧蚀材料,在军事、航天、高科技领域得到广泛应用。塑料的热导率远较金属低,是良好的隔热、保温材料。经过发泡的塑料这种性能更为突出。根据需要在塑料中添加导热性填料(如石墨)也可用于生产耐腐蚀的换热器等。

塑料的耐腐蚀性优良,在防腐行业有很广的应用。

许多品种的塑料都是透明或半透明的,作为有机玻璃和农用地膜、包装材料等应用量大。此外经过改性、复合后用做磁性塑料,电磁波屏蔽、隐身材料(雷达波、红外波吸收)及阻燃抑烟材料等应用也很广。塑料的耐环境性、耐老化性在通过大分子结构改进及加入有效助剂后也得到很大改善。综合起来,塑料的特性和用途可归纳如表1-1所示。

表 1-1 某些塑料与金属的力学性能比较

GPa

材料类别	弹性模量			拉伸强度		
	理论值	实际值		理论值	实际值	
		纤维	常规材料		纤维	常规材料
聚乙烯	300	200 (66%)	1 (0.33%)	27 000	5 000 (18%)	30 (0.1%)
聚丙烯	50	20 (40%)	1.6 (3.2%)	16 000	13 000 (81%)	38 (0.24%)
尼龙 66	160	5 (3%)	2 (1.3%)	27 000	17 000 (63%)	50 (0.18%)
玻璃	80	80 (100%)	70 (87.5%)	11 000	4 000 (36%)	55 (0.5%)
钢	210	210 (100%)	210 (100%)	21 000	4 000 (19%)	1 400 (6.7%)
铝	76	76 (100%)	76 (100%)	7 600	800 (11%)	600 (7.9%)

1. 密度小

由于构成塑料的元素种类、分子链结构和空间排列形式以及聚集状态等因素,决定了塑料材料是一种密度小、质轻的材料。塑料的密度(ρ)一般在 $0.83 \sim 2.20 \text{ g/cm}^3$ 之间。最轻的塑料是聚 4-甲基-1-戊烯,密度只有 0.83 g/cm^3 ,比水还轻;最重的塑料是聚四氟乙烯,密度为 2.20 g/cm^3 。大多数塑料的密度在 $1.0 \sim 1.5 \text{ g/cm}^3$ 。总的说来,塑料的平均密度约为铝的 $1/2$,钢的 $1/5$,铅的 $1/8$ 。以空气或其他气体作为填料的泡沫塑料的密度更小,可达 $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{ g/cm}^3$,几乎只是软木的 $1/(9 \sim 10)$,一般木材的 $1/(30 \sim 35)$ 。

塑料的密度小,对于要求减轻自重的机械及装备具有特别重大的意义,尤其是汽车、飞机、船舶、建筑、宇宙航行器等。

例如,汽车工业重要变革之一是提高时速,降低能耗。其主要对策是更多地采用塑料件以减轻车体质量。如美国 1991 年每辆 1.6 t 重的车型中,塑料件质量 $114 \sim 125 \text{ kg}$,占车体质量的 $7.1\% \sim 7.8\%$;1995 年塑料件用量增加到 15% ,2000 年增加到 20% 。美国福特汽车公司制造的 38.2 kW 、气缸容量 1 L 的塑料发动机,较金属发动机质轻,耗油量减少 5% ,噪声减少 3.1 dB (A) ,废气排量减少 20% 。一辆中型汽车用塑料制成的零件已超过 800 多种,塑料用量高达 65 kg 。目前已出现的以塑料为车身的小轿车,车身质量只有 186 kg ,比钢板制车身轻 86 kg 。在 2004 上海国际橡塑展上,作为塑料橡胶产业的巨头 GE,在塑料工业方面取得巨大突破,在这次展会上特意带来一款高级跑车。这款车的外壳产品用 GE 最新的塑料产品制造,相对普通汽车来说最大的特点是抛弃了喷漆而直接制作而成,且外壳不易划伤,整体强度和质量都大大优于传统汽车外壳。这种使用了最新技术的塑料产品目前已经获得了国际上大多数汽车生产厂商的认可和欢迎,国内的部分汽车企业也表示了极大兴趣。据预测,2013 年各类汽车中将有一半是用可回收塑料复合材料制造的。

航空航天工业进步着眼点之一也是减轻机体质量,以加快速度,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制造的战斗机前体结构, 结构件质量可减轻 40%, 紧固件质量减轻 73%。以 F-5 战斗机为例, 机重若减少 10%, 飞机滑跑距离会缩短 30%, 航程增加 20%, 有效载荷增加 30%。美国 2000 年战斗机用高级塑料复合材料占结构总质量的 50%。大型喷气式客机, 其中塑料零件就有 12 万个, 使用玻璃钢总质量达 2.2 t 左右。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新型合成材料和高级复合材料, 在宇宙空间站、人造卫星和航天飞船上用于制造蜂窝式结构的外壳、机体外板及其他结构件, 塑料材料在人造卫星和宇宙飞船中的用量已占到该类设备总体积的一半。

有人设计一艘载重 15 t 的小货轮, 用钢制船身重 6 t, 用塑料制的船身, 质量只有 1.5 t, 现在还出现了长 50 m 的大型塑料船。用塑料制成的房屋, 冬暖夏凉, 隔音绝热, 防震抗震, 便于搬迁, 特别适于野外工作人员居住。

2. 比强度和比刚度高

塑料的强度比金属低, 但塑料的密度小, 所以比强度 (即强度与密度之比—— σ_b/ρ)

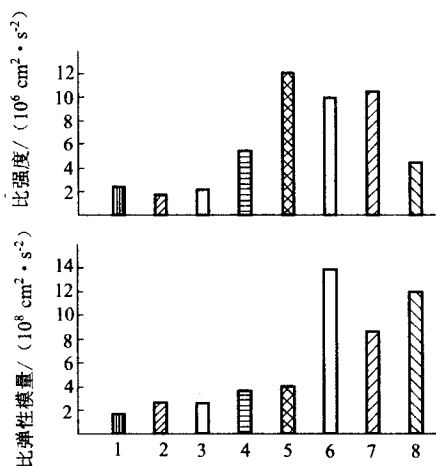


图 1-2 塑料与金属的比较

- 1—钛合金; 2—铝合金; 3—高强度钢;
 4—70% 玻璃纤维环氧塑料;
 5—75% 高强度玻璃纤维环氧塑料;
 6—70% 碳纤维环氧塑料;
 7—60% 高强度碳纤维环氧塑料;
 8—60% 高模量碳纤维环氧塑料

相当高, 尤其是玻璃纤维增强塑料的比强度达到甚至超过一般钢材的水平。塑料的比刚度 (又称比弹性模量, 即弹性模量与密度之比—— E/ρ) 也较高。图 1-2 所示为几种金属与增强塑料的比强度和比刚度的比较。从图中可知, 玻璃纤维增强塑料的比强度虽然很高, 但是它的比刚度却相形见绌。碳纤维和硼纤维增强塑料不仅比强度高, 而且比刚度也很高。

比强度和比刚度高, 对某些场合 (如空间技术领域) 具有重要意义。例如, 碳纤维和硼纤维增强塑料制成的人造卫星、火箭、导弹上的结构零件, 不但强度高, 刚度好, 而且质量轻。

3. 优异的化学稳定性

塑料具有优异的化学稳定性。有些塑料对汽油、煤油、苯、丙酮、乙醇等有机溶剂十分稳定; 有些塑料对酸、碱、盐、气体和蒸汽具有很强的耐腐蚀性。例如, 号称“塑料王”的

聚四氟乙烯, 除了熔融的碱金属以外, 目前还没有找到一种溶剂能使它溶解或溶胀, 对强酸、强碱及各种氧化剂等腐蚀性很强的介质都完全稳定, 甚至沸腾的“王水”、原子能工业中用的强腐蚀剂五氟化铀, 对它也不起作用。由于塑料具有优异的化学稳定性, 因此是一类