



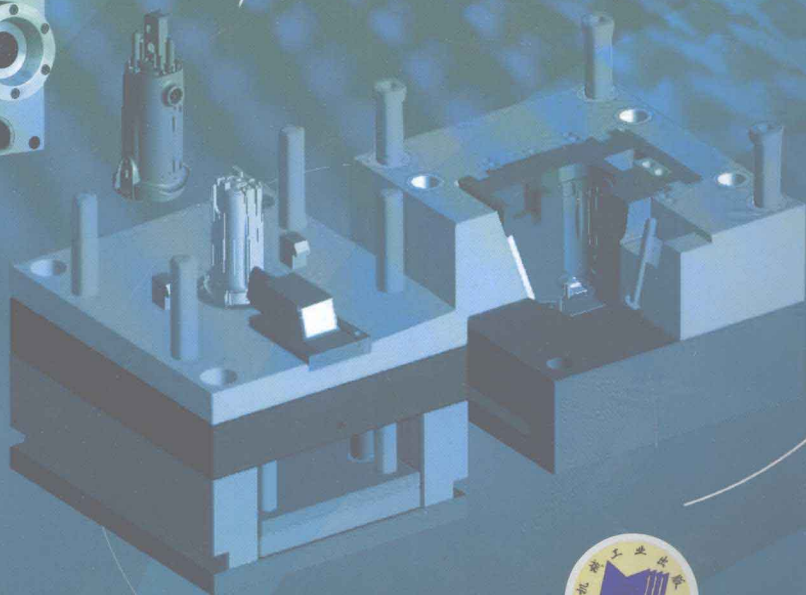
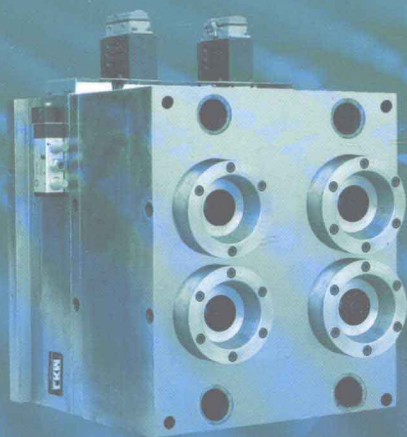
职业教育院校重点专业规划教材
模具设计与制造专业教学用书

机械工业出版社精品教材

塑料成型工艺 与模具设计

SULIAO CHENGXING GONGYI YU MUJU SHEJI

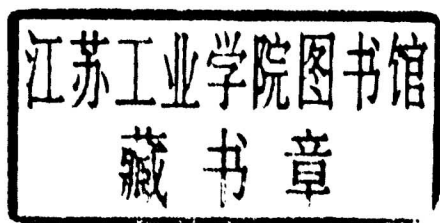
屈华昌 ● 主编



职业教育院校重点专业规划教材
模具设计与制造专业教学用书
机械工业出版社精品教材

塑料成型工艺与模具设计

主 编 屈华昌
副主编 吴梦陵
参 编 齐晓杰 张 旭 王兰珍
张守学 任兆坤 江昌勇
郝洪艳
主 审 伍建国



机械工业出版社

本书是职业教育院校模具专业规划教材，它是根据现阶段职业教育模具专业人才培养要求进行编写的。

全书共 11 章。第一章介绍塑料成型在生产中的重要地位、塑料成型技术的发展趋势、塑料成型模具的分类和学习本课程的基本要求；第二章介绍塑料成型与模具设计所必须了解的基础理论，包括高分子聚合物的结构特点与性能、聚合物的热力学性能和流变学性质，以及聚合物熔体在成型过程中的物理化学变化，此外还介绍了塑料的工艺特性与常用塑料；第三章介绍塑料制件的尺寸精度与结构工艺性；第四章介绍注射模的各种基本结构、注射机的主要技术参数及与注射模具的关系；第五章着重介绍了塑料制件在模具中的位置与浇注系统设计、成型零部件设计、合模导向机构设计、推出机构设计、侧向分型与抽芯机构和温度调节系统等有关内容；第六章介绍注射成型新技术的应用；第七章至第十章分别介绍了压缩成型工艺与压缩模设计、压注成型工艺与压注模设计、挤出成型工艺与挤出模设计、气动成型工艺与模具设计；第十一章介绍塑料注射模设计的技术要求及设计程序。

本书适合于高职及重点中职学校模具专业，成人高校、二级职业技术学院的模具专业和民办高校开设的职业技术学院模具专业使用，也可供机械类其他专业选用，并可供模具企业有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

塑料成型工艺与模具设计/屈华昌主编. —北京: 机械工业出版社, 2008. 7

职业教育院校重点专业规划教材. 模具设计与制造专业教学用书
ISBN 978-7-111-24574-2

I. 塑… II. 屈… III. ①塑料成型 - 工艺 - 高等学校: 技术学校 - 教材②塑料模具 - 设计 - 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 (2008) 第 099649 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 汪光灿 责任校对: 张 媛

封面设计: 陈 沛 责任印制: 杨 曦

北京机工印刷厂印刷 (兴文装订厂装订)

2008 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 22.25 印张 · 551 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-24574-2

定价: 34.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379182

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是职业教育院校模具专业规划教材,它是根据现阶段职业教育模具专业人才培养要求进行编写的。

本书共11章。第一章介绍塑料成型在生产中的重要地位、塑料成型技术的发展趋势、塑料成型模具的分类和学习本课程的要求;第二章介绍塑料成型与模具设计所必须了解的基础理论,包括高分子聚合物的结构特点与性能、聚合物的热力学性能和流变学性质,以及聚合物熔体在成型过程中的物理化学变化,此外还介绍了塑料的工艺特性与常用塑料;第三章介绍塑料制件的尺寸精度与结构工艺性;第四章介绍注射模的各种基本结构、注射机的主要技术参数及与注射模具的关系;第五章介绍注射成型工艺与注射模的设计技术;第六章着重介绍了注射成型新技术、新工艺,包括热固性塑料注射成型、气体辅助注射成型、低发泡注射成型、共注射成型及反应注射成型等;第七章介绍压缩成型工艺与压缩模设计;第八章介绍压注成型工艺与压注模设计;第九章介绍挤出成型工艺与挤出模设计;第十章介绍气动成型工艺与模具设计,其中主要介绍中空吹塑成型、抽真空成型及压缩空气成型的工艺以及模具的设计;第十一章介绍塑料注射模设计的技术要求及设计程序。

本教材编写的一大特点是,每一类模具的成型工艺与该类模具的设计放在一起进行介绍,让读者能够充分地将这两方面的内容结合起来学习,以便尽快入门。

在每一类模具设计内容的编写中,详细介绍了模具的组成、结构特点、工作原理、设计要点、模具成型生产所用的设备、模具材料和热处理要求等。由于注射成型模具应用最为广泛,而且模具的结构最为复杂,因此,在第五章中用了较大的篇幅对塑料制件在模具中的位置与浇注系统设计、成型零部件设计、合模导向机构设计、推出机构设计、侧向分型与抽芯机构、温度调节系统等作了重点介绍。

在本书的编写过程中,力求知识实用,结合近年来模具技术的发展,注重反映先进技术,编写了注射成型新技术、新工艺一章的内容;为了使教材通俗易懂,编写时省略了好多公式的推导而直接给出结论;教材还介绍了国家标准的注射模标准模架;在侧向抽芯机构的设计介绍后,列举了相应的模具应用实例,以便读者对注射模的重要结构设计有进一步理解;此外,为了方便读者学习与思考,每章后均附有一些思考题;在附录中,还介绍了各种塑料成型的缺陷及其产生的原因和解决的措施。

为了让读者能够较快地掌握设计塑料模具的技术,本教材比较详细地介绍了塑料注射模设计的技术要求及设计程序,这是本教材的又一特点。

本书的11章中,第一、五章5~8节、六章以及附录由南京工程学院屈华昌编写;第二章由黑龙江工程学院齐晓杰编写;第三章由湖南工程学院张旭编写;第十一章由南京工程学院王兰珍编写;第四、七章由南京工程学院吴梦陵编写;第八、十章由华北航天工业学院张守学、任兆坤编写。第九章由常州工学院延陵分院江昌勇编写;第五章1~4节由南京工程学院郝洪艳编写。

本书由南京工程学院屈华昌任主编,并负责全书的统稿及修改,吴梦陵任副主编,由沙洲工学院伍建国负责全书的审稿。

本书在编写过程中得到了南京工程学院以及兄弟院校、有关企业专家的大力支持和帮助,在

此一并表示感谢，同时也十分感谢所被引用文献的作者。

由于编者水平有限，书中难免存在不当和错误之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2008年6月

目 录

| | |
|------------------------------------|-----|
| 前言 | |
| 第一章 绪论 | 1 |
| 第一节 塑料成型在生产中的重要地位 | 1 |
| 第二节 塑料成型技术的发展趋势 | 3 |
| 第三节 塑料成型模具的分类 | 6 |
| 第四节 学习本课程的基本要求 | 7 |
| 思考题 | 7 |
| 第二章 塑料成型基础 | 8 |
| 第一节 聚合物的分子结构与热力学性能 | 8 |
| 第二节 聚合物流变方程与分析 | 11 |
| 第三节 聚合物在成型过程中的流动状态 | 19 |
| 第四节 聚合物在成型过程中的物理和化学变化 | 24 |
| 第五节 塑料的组成及工艺特性 | 29 |
| 第六节 常用塑料 | 37 |
| 思考题 | 45 |
| 第三章 塑料成型制件的尺寸精度与结构工艺性 | 46 |
| 第一节 塑料成型制件的尺寸精度 | 46 |
| 第二节 塑料制件的结构工艺性 | 49 |
| 思考题 | 65 |
| 第四章 注射成型模具结构及注射机 | 66 |
| 第一节 注射模具的分类及结构组成 | 66 |
| 第二节 注射模具的典型结构 | 68 |
| 第三节 注射模与注射机的关系 | 77 |
| 思考题 | 88 |
| 第五章 注射成型工艺与注射模设计 | 89 |
| 第一节 注射成型原理及其工艺特性 | 89 |
| 第二节 塑料制件在模具中的位置 | 100 |
| 第三节 浇注系统与排溢系统的设计 | 106 |
| 第四节 成型零件的设计 | 135 |
| 第五节 合模导向机构设计 | 159 |
| 第六节 推出机构设计 | 163 |
| 第七节 侧向分型与抽芯机构的设计 | 182 |
| 第八节 温度调节系统 | 223 |
| 第九节 注射模的标准模架 | 231 |
| 思考题 | 233 |
| 第六章 注射成型新技术的应用 | 235 |
| 第一节 热固性塑料注射成型 | 235 |
| 第二节 气体辅助注射成型 | 242 |
| 第三节 低发泡注射成型 | 246 |
| 第四节 共注射成型 | 249 |
| 第五节 反应注射成型 | 251 |
| 思考题 | 253 |
| 第七章 压缩成型工艺与压缩模设计 | 254 |
| 第一节 压缩成型原理及其工艺特性 | 254 |
| 第二节 压缩模结构组成与分类 | 258 |
| 第三节 压缩模与压机的关系 | 262 |
| 第四节 压缩模成型零部件设计 | 266 |
| 思考题 | 281 |
| 第八章 压注成型工艺与压注模设计 | 282 |
| 第一节 压注成型原理及其工艺特性 | 282 |
| 第二节 压注模的分类与结构组成 | 284 |
| 第三节 压注模成型零部件设计 | 287 |
| 第四节 浇注系统与排气槽设计 | 292 |
| 思考题 | 295 |
| 第九章 挤出成型工艺与挤出模设计 | 296 |
| 第一节 挤出成型原理及其工艺特性 | 296 |
| 第二节 挤出模的分类、结构组成及与挤出机的关系 | 300 |
| 第三节 管材挤出成型机头 | 304 |
| 第四节 异型材挤出成型机头 | 311 |
| 第五节 电线电缆挤出成型机头 | 314 |
| 思考题 | 315 |
| 第十章 气动成型工艺与模具设计 | 317 |
| 第一节 中空吹塑成型工艺与模具设计 | 317 |
| 第二节 真空成型工艺与模具设计 | 325 |
| 第三节 压缩空气成型工艺与模具设计 | 330 |

| | | | |
|----------------------------|-----|-------------------------|-----|
| 思考题 | 332 | 1980) | 338 |
| 第十一章 塑料注射模设计的技术要求 | | 附录 B 常用塑料的收缩率 | 340 |
| 及设计程序 | 333 | 附录 C 注射成型塑件成型缺陷分析 | 341 |
| 第一节 塑料注射模设计的技术要求 | 333 | 附录 D 压缩成型塑件成型缺陷分析 | 343 |
| 第二节 塑料注射模设计程序 | 336 | 附录 E 压注成型塑件成型缺陷分析 | 345 |
| 思考题 | 337 | 附录 F 挤出成型塑件成型缺陷分析 | 345 |
| 附录 | 338 | 附录 G 常用模具材料与热处理 | 347 |
| 附录 A 塑料及树脂缩写代号 (GB/T 1844— | | 参考文献 | 349 |

第一节 塑料成型在生产中的重要地位

一、模具和模具工业

模具是工业产品生产用的重要工艺装备，在现代工业生产中，60%~90%的工业产品需要使用模具，模具已成为工业发展的基础，许多新产品的开发和研制在很大程度上都依赖于模具生产，特别是汽车、摩托车、轻工、电子、航空等行业尤为突出。而作为制造业基础的机械行业，根据国际生产技术协会的预测，21世纪机械制造工业的零件，其粗加工的75%和精加工的50%都将依靠模具完成，因此，模具工业已经成为国民经济的重要基础工业。模具工业发展的关键是模具技术的进步。模具作为一种高附加值和技术密集型产品，其技术水平的高低已成为衡量一个国家制造水平的重要标志之一，世界上许多国家，特别是一些工业发达国家，都十分重视模具技术的开发，大力发展模具工业，积极采用先进技术和设备，提高模具制造水平，并且已经取得了显著的经济效益。不论在经济繁荣时期，还是在经济萧条时期，模具工业都不可或缺。经济发展快时产品畅销，自然要求模具能跟上；而经济发展滞缓时期，产品不畅销，企业必然千方百计开发新产品，这同样会对模具带来强劲需求。因此，模具工业被称为不衰的工业。

目前，世界模具市场仍供不应求，近几年，世界模具市场总量已超过700亿美元，其中美国、日本、法国、瑞士等国一年出口模具约占本国模具总产值的1/3。因此，研究和发发展模具技术，提高模具技术水平，对于促进国民经济的发展有着特别重要的意义。美国工业界认为“模具工业是美国工业的基石”，日本把模具誉为“进入富裕社会的原动力”，德国则冠之为“加工工业中的帝王”，在欧美其他一些发达国家，模具被称为“磁力工业”。由此可见，模具工业在各国国民经济中的重要地位。

中国加入WTO以来，全球制造业重心逐步向中国大陆转移，我国的汽车、电子、通信、电器、仪器和家电等相关产业得以飞速发展。而这些领域中85%以上的产品都是靠模具成形，这势必会带动模具产业的迅猛发展。目前，我国模具产业总产值已达到400亿元以上，发展势头强劲。随着上海GDP每年以10%以上的增长率高速发展，上海在全世界的经济地位日益重要。而以上海为龙头、江浙为两翼的长江三角洲地区，经济基础雄厚，区域条件优越，经济增长势头良好，发展潜力巨大。其中汇集了6万余家模具企业，增长势头迅猛，商业渠道覆盖到海内外的广阔市场领域，已成为全国模具产品的主要集散地。模具工业的发展对制造模具所用机床和设备的研制及生产带来了前所未有的机遇，国内的模具制造设备及机床也已经逐步走上规模化、专业化、国际化的发展道路，反过来又为广大模具企业提供良好的发展契机。随着全球制造业重心加快向中国大陆地区转移，我国将在10年内成为世界制



造业中心。中国积极发展汽车工业，并且保持连续增长势头，从而将带动模具工业市场的进一步繁荣。可以预言，随着工业生产的不断发展，模具工业在国民经济中的地位将日益提高，并在国民经济发展过程中发挥越来越重要的作用。

二、塑料及塑料工业的发展

塑料是以树脂为主要原材料的高分子有机化合物，简称高聚物。一般相对分子质量都大于1万，有的甚至达到百万级。在一定温度和一定压力下具有可塑性，加入了添加剂（增塑剂、稳定剂、增强剂、固化剂及其他配合剂）就成为塑料，可以利用模具成型为具有一定几何形状和尺寸精度的塑料制件。

塑料制件在工业生产中的应用日趋普遍，这是由于它们具有一系列特殊的优点所决定的。塑料密度小，质量轻，大多数塑料的密度在 $1.0 \sim 1.4\text{g/cm}^3$ 之间，相当于钢材密度的0.11和铝材密度的0.5左右，即在同样的体积下，塑料制件要比金属制件轻得多，这就是“以塑代钢”的优点。塑料的比强度高，钢的拉伸比强度为160MPa，而玻璃纤维增强的塑料的拉伸比强度可高达170~400MPa。塑料的绝缘性能好，介电损耗低，是电子工业不可缺少的原材料；塑料的化学稳定性高，对酸、碱和许多化学药品都有良好的耐蚀能力，其中聚四氟乙烯塑料的化学稳定性最高，“王水”对它也无可奈何，所以称之为“塑料王”。此外，塑料减摩、耐磨及减震、隔音性能也很好。因此，塑料已经代替部分金属、木材、皮革及无机材料发展成为国民经济各个部门不可缺少的化学材料，并跻身于金属、纤维材料和硅酸盐三大传统材料之列。在国民经济中，塑料制件已经成为各行各业不可缺少的重要材料之一。

塑料工业是一门新兴的工业，是随着石油工业发展，塑料工业的发展大致分为以下几个阶段。

(1) 初创阶段 20世纪30年代以前，科学家研制成了酚醛、硝酸纤维素及醋酸纤维素等塑料，它们的工业化特征仅是间歇法、小批量生产。

(2) 发展阶段 20世纪30年代，低密度聚乙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯和聚酰胺等热塑性塑料相继工业化，奠定了塑料工业的基础，为其进一步发展开辟了道路。

(3) 飞跃发展阶段 20世纪50年代中期到20世纪60年代末，石油化工的高速度发展为塑料工业提供了丰富而廉价的原材料，齐格勒-纳塔用有机金属络合物定向催化体系聚合工艺的创立、高分子学科的进一步发展及聚合技术的开拓，使得高密度聚乙烯和聚丙烯工业化。工程塑料也因聚碳酸酯和聚甲醛、聚酰亚胺等塑料的相继出现并实现工业化生产，使得塑料向耐高温的领域发展。增强及复合材料的出现使塑料步入高强度、耐高温的尖端领域。这一阶段，塑料的产量和品种不断增加，成型加工技术日趋完善。

(4) 稳定增加阶段 20世纪70年代以来，由于石油危机的出现，原材料价格猛涨，塑料的增长速度显著下降。这一阶段工业化的特点是通过共聚、交联、共混、复合、增强、填充和发泡等方法来改进塑料的性能，提高产品的质量，扩大应用领域，生产技术更趋合理。塑料工业向着生产工艺自动化、连续化、产品系列化以及不断开拓功能性塑料的新领域发展。

我国的塑料工业起步较晚，但也同样经历着这些阶段。20世纪40年代只有酚醛和赛璐珞两种塑料，年产量仅200t。20世纪50年代末，万吨级聚氯乙烯装置的投产和20世纪70年代中期几套石油化工装置的引进并建成投产，使塑料工业有了两次大的跃进，与此同时，塑料成型加工机械和方法也得到迅速发展，各种加工工艺也都已齐全。目前，我国石化工业

一年生产约 500 多万吨聚乙烯、聚丙烯和其他合成树脂。

塑料作为一种新的工程材料，由于不断被开发与应用，加之成型工艺不断成熟与完善，极大地促进了塑料成型模具的开发与制造。随着工业塑料制件和日用塑料制件的品种和需求量的增加，而且更新换代周期也越来越短，对塑料的产量和质量提出了越来越高的要求，这就要求塑料模具的开发、设计与制造的水平也必须越来越高。

三、塑料成型工业在生产中的重要地位

在现代塑料成型生产中，塑料制件的质量与塑料成型模具、塑料成型设备和塑料成型工艺这三项因素密切相关。在这三项要素中，塑料成型模具质量最为关键，它的功能是双重的：赋予塑料熔体以期望的形状、性能、质量；冷却并推出成型的制件。模具是决定最终产品性能、规格、形状及尺寸精度的载体。塑料成型模具是使塑料成型生产过程顺利进行，保证塑料成型制件质量不可缺少的工艺装备，是体现塑料成型设备高效率、高性能和合理先进塑料成型工艺的具体实施者，也是新产品开发的决定性环节。由此可见，为了周而复始地获得符合技术经济要求及质量稳定的塑料制件，塑料成型模具的优劣是成败的关键，它最能反映出整个塑料成型生产过程的技术含量及经济效益。

据新近有关统计资料表明，在国内外模具工业中，各类模具占模具总量的比例大致如下：冲压模、塑料模各占 35% ~ 40%；压铸模占 10% ~ 15%；粉末冶金模、陶瓷模、玻璃模等其他模具占 10% 左右，因此，塑料成型模具的应用在各类模具的应用中占有与冲压模并驾齐驱的“老大”位置。随着我国经济与国际的接轨和国家经济建设持续稳定发展，塑料制件的应用快速上升，模具设计与制造和塑料成型的各类企业日益增多，塑料成型工业在基础工业中的地位和国民经济的影响将显得日益重要。

第二节 塑料成型技术的发展趋势

在塑料成型生产中，先进的模具设计、高质量的模具制造、优质的模具材料、合理的加工工艺和现代化的成型设备都是成型优质塑件的重要条件。一副优良的注射模具可以成型上百万次，一副优良的压缩模具可以成型 25 万次以上，这与上述因素有很大的关系。

考察国内外模具工业的现状及其我国国民经济和现代工业品生产中模具的地位，从塑料成型模具的设计理论、设计实践和制造技术出发，塑料成型技术大致有以下几个方面的发展趋势。

1. CAD/CAE/CAM 技术在模具设计与制造中的应用日趋广泛

经过多年的推广应用，模具设计“软件化”和模具制造“数控化”已经在我国模具企业中成为现实。采用 CAD 技术是模具生产的一次革命，是模具技术发展的一个显著特点。引用模具 CAD 系统后，模具设计借助计算机完成传统设计中的各个环节的设计工作，大部分设计与制造信息由系统直接传送，图样不再是设计与制造环节的分界线，也不再是制造、生产过程中的唯一依据，图样将被简化，甚至最终消失。近年来，CAD/CAE/CAM 技术发展主要有如下特点：

(1) 模具 CAD 技术及其应用日趋成熟 模具 CAD/CAM 技术日益深入人心，并且发挥其越来越重要的作用。在 20 世纪，能够进行复杂形体几何造型和 NC 加工的 CAD/CAM 系统，主要是在工作站上采用 UNIX 操作系统开发和应用的，如美国的 ProE、UG II、CADDSS



软件等。随着微机技术的突飞猛进，新一代的微机 CAD/CAM 软件如 Solidworks、Solidage 崭露头角，并深得用户好评。这些微机软件不仅在采用诸如 NURBS 曲面、三维参数化特征造型等先进技术方面继承了工作站级 CAD/CAM 软件的优点，而且在 Windows 风格、动态导航、特征树、面向对象等方面有工作站软件级所不能比拟的优点。

(2) 基于网络化的 CAD/CAE/CAM 一体化系统结构初见端倪 随着计算机硬件和软件的进步以及工业部门的实际需求，国外许多著名计算机软件开发商已能按实际生产过程中的功能要求划分产品系列，在网络系统下实现了 CAD/CAM 的一体化，解决了传统混合型 CAD/CAM 系统无法满足实际生产过程分工协作的要求，而更能符合实际应用的自然过程。

(3) CAD/CAM 软件的智能化程度正在逐渐提高 由于现阶段模具设计和制造在很大程度上仍然依靠模具设计和制造者的经验，任何一个企业，要掌握全部先进的技术，成本都将非常昂贵，要培养并且留住掌握这些技术的人才也会非常困难。于是，模具 CAD 的 ASP 模式就应运而生，应用服务包括如逆向设计、快速原型制造、数控加工外包、模具设计和模具成型过程分析等，这样使得许多用于模具加工的数控机床统一化、一体化，使整个社会的模具制造企业，按照价值链和制造流程分工，使制造资源得以最优发挥。

(4) CAE 技术正在逐步推广 利用 CAE 技术可以在模具加工前，在计算机上对整个注塑成型过程进行模拟分析，准确预测熔体的填充、保压、冷却情况，以及塑件中的应力分布、分子和纤维取向分布、制品的收缩和翘曲变形等情况，以便设计者能尽早发现问题，及时修改制件和模具设计，而不是等到试模以后再返修模具。这是对传统模具设计方法的一次变革与突破。CAE 分析技术主要应用于塑料产品设计、模具设计和注塑成型。在塑料产品设计方面，利用流动分析熔融塑料能否全部充满模具型腔、制件实际最小壁厚的确定、浇口位置是否合适；在模具设计和制造方面，CAE 分析可指出模具良好的充填形式、最佳的浇口位置与浇口数量、浇注系统和冷却系统的优化设计，减少返修成本；在注射成型方面，可以给出更加宽广更加稳定的加工“裕度”、减小塑件应力和翘曲、省料和减少过量充模和采用最小的流道尺寸和回用料成本。

在实际应用中，澳大利亚 Moldflow 公司的三维真实感流动模拟软件 Moldflow Advisers 已经受到用户广泛的应用和好评。国内研制的同类软件有华中理工大学 HSC3D4.5F 及郑州工业大学的 Zmold，它们也正在不断地被推广和应用。

在今后的一段时期内，国内的模具企业要提高 CAD/CAE/CAM 技术在塑料模设计与制造中的应用层次。

2. 大力发展快速原型制造技术

塑料模是型腔模具中的一种类型，其模具型腔是由凹模和凸模所组成。对于具有形状复杂的曲面塑料制件，为了缩短研制周期，在现代制造模具技术中，可以不急于直接加工出难以测量和加工的模具凹模和凸模，而是采用快速原型制造技术，先制造出与实物相同的样品，看该样品是否满足设计要求和工艺要求，然后再开发模具。快速原型制造 (RPM) 技术是一种综合运用计算机辅助设计技术、数控技术、激光技术和材料科学的发展成果，采用分层增材制造的新概念取代了传统的去材或变形法加工，是当代最具有代表性的先进制造技术之一。快速原型制造工艺方法有选区激光烧结、熔融堆积造型和叠层制造等多种。利用快速成型技术不需任何工装，可快速制造出任意复杂的工件（甚至连数控设备都极难制造或根本不可能制造出来的产品样件），这样大大减少了产品开发风险和加工费用，缩短了研制

周期。值得我们关注的是，RPM 技术已发展到通过金属粉末直接烧结或熔射沉积直接制造模具的研究阶段。迅速发展的 RPM 技术将对传统的模具制造技术产生深远的影响。

目前，这种先进的快速原型制造设备，我国某些大学正在生产和进一步的开发研制。该项先进制造技术在国内少数的塑料企业也已经开始得到应用，并且正在大力推广中。

3. 研究和应用模具的快速测量技术与逆向工程

在塑料产品的开发设计与制造过程中，设计与制造者往往面对的并非是由 CAD 模型描述的复杂曲面实物样件，这就必须通过一定的三维数据采集方法，将这些实物原型转化为 CAD 模型，从而获得零件几何形状的数学模型，使之能利用 CAD、CAM、RPM 等先进技术进行处理或管理。这种从实物样件获取产品数学模型的相关技术，称为逆向工程或反求工程技术。对于具有复杂自由曲面零件的模具设计，可采用逆向工程技术。首先获取其表面几何点的数据，然后通过 CAD 系统对这些数据进行预处理，并考虑模具的成形工艺性再进行曲面重构，以获得模具的凹模和凸模的型面，最后通过 CAM 系统进行数控编程，完成模具的加工。原型实样表面三维数据的快速测量技术是逆向工程的关键。三维数据采集可采用接触式（如三坐标测量机测量和接触扫描测量）和非接触式（如激光摄像法等）方法进行。采用逆向工程技术，不但可缩短模具设计周期，更重要的是可提高模具的设计质量，提高企业快速应变市场的能力。逆向工程是一项先进现代模具成形技术，目前，国内能采用该项技术的企业还不多，应逐步加以推广和应用。

4. 发展优质模具材料和采用先进的热处理和表面处理技术

模具材料的选用在模具的设计与制造中是一个涉及到模具加工工艺、模具使用寿命、塑料制件成型质量和加工成本等的重要问题。国内外的模具材料的研究工作者在分析模具的工作条件、失效形式和如何提高模具使用寿命的基础上进行了大量的研究工作，开发研制出具有良好使用性和加工性能好、热处理变形小、抗热疲劳性能好的新型模具钢种，如预硬钢、耐腐蚀钢等。另外，模具成型零件的表面抛光处理技术和表面强化处理技术方面的发展也很快，国内的许多单位进行了研究与工程实践，取得了一些可喜的成绩。模具热处理的发展方向是采用真空热处理，国内的许多热处理中心和有些大型模具企业已经得到应用并且正在进一步推广。模具表面处理除普及常用表面处理方法如渗碳、渗氮、渗硼、渗铬、渗钒外，应发展设备昂贵、工艺先进的气相沉积、等离子喷涂等技术。目前，上述的研究与开发工作还在不断地深入进行，已取得的成果也正在大力推广。

5. 提高模具标准化水平和模具标准件的使用率

模具的标准化水平在某种意义上也体现了一个国家模具工业发展的水平。采用标准模架和使用标准零件，可以满足大批量制造模具和缩短模具制造周期的需要。经过一段时期的建设，我国模具标准化程度正在不断提高，估计目前我国模具标准件使用覆盖率已达到 40% 左右。发达国家的模具标准件使用覆盖率一般为 80% 左右。为了适应模具工业发展，模具标准化工作必将加强，模具标准化程度将进一步提高，模具标准件生产也必将得到发展。目前，我国塑料模标准化工作有了一定的进展，GB/T 12555—1990 是大型注射模架的国家标准；GB/T 12556—1990 是中小型注射模架的国家标准；GB/T 4169.1—1984 ~ GB/T 4169.11—1984 是塑料模的 11 个技术条件的标准。目前，国内企业有一定生产规模的模具标准件生产企业已超过 100 家。主要产品有塑料模架、推杆、推管等，其中塑料模架已可生产较大型产品，为发展大型精密模具打下了基础。此外，许多工厂还有各自的企业标准。



热流道标准元件和模具的温度控制标准装置以及精密标准模架和精密导向元件目前都正在进行重点研究和开发,已经取得了一些成果并正在推广应用。

但与国外工业先进国家的模具标准化程度相比较,在标准体系、标准件的品种和规格以及标准化的管理工作等方面仍有较大的差距。因此,提高模具标准化水平和模具标准件的使用率仍然是今后一段时期内我国模具工作者的一项任务。

6. 模具的复杂化、精密化与大型化

为了满足塑料制件在各种工业产品中的使用要求,塑料成型技术正朝着复杂化、精密化与大型化方向发展,例如,汽车的保险杠和某些内装饰件等塑料件的成型。大型塑料件和精密塑料件的成型,除了必须研制开发或引进大型的和精密的成型设备外,大型的和精密的塑料成型模具更需要采用先进的 CAD/CAE/CAM 技术来设计与制造模具,否则,这类投资很大的模具研制将难以获得成功。

7. 模具成型新技术与新工艺的不断涌现和推广

模具成型新的技术不断得到创新,模具成型新的工艺不断涌现,这尤其是在注射成型方面得到充分体现,使得成型塑料制件的质量得到了很大的提高。这些新的技术和工艺有:气体辅助注射成型、精密注射成型、热固性塑料注射成型、低发泡注射成型、共注射成型等。目前,新的工艺甚至可以使用金属粉料(例如不锈钢粉)加了某些添加剂后采用注射方法成型型坯,而后再烧结成产品。

第三节 塑料成型模具的分类

按照塑料制件成型的方法不同,塑料成型模具通常可以分成以下几类:

(1) 注射模 注射模又称注塑模。塑料注射成型是在金属压铸成型的基础上发展起来的,成型所使用的设备是注射机。它通常适合于热塑性塑料的成型。热固性塑料的注射成型正在推广和应用中。塑料注射成型是塑料成型生产中自动化程度最高、采用最广泛的一种成型方法。

(2) 压缩模 压缩模又称压塑模或压胶模。塑料压缩成型是塑件成型方法中较早采用的一种方法,也是热固性塑料通常采用的成型方法之一。成型所使用的设备是塑料成型压力机。与塑料注射成型相比,塑料压缩成型周期较长,生产效率较低。

(3) 压注模 压注模又称传递模。压注成型所使用的设备和塑料的适应性与压缩成型完全相同,只是模具的结构不同。

(4) 挤出模 挤出模安装在挤出机料筒端部,挤出模也称为挤出机头。成型所使用的设备是塑料挤出机。只有热塑性塑料才能采用挤出成型。

(5) 气动成型模 气动成型模是指利用气体作为动力介质成型塑料制件的模具。气动成型包括中空吹塑成型、抽真空成型和压缩空气成型等。与其他模具相比较,气动成型模具结构最为简单,只有热塑性塑料才能采用该方法成型。

除了上述介绍的几种常用的塑料成型模具外,还有浇铸成型模、泡沫塑料成型模、聚四氟乙烯冷压成型模和滚塑模等。



第四节 学习本课程的基本要求

塑料成型工艺与模具设计课程是设计类课程，要学会并且能够正确设计塑料模具，必须打好塑料模具设计的基础，这就需要了解模具成型所用的主要原材料——高分子聚合物的结构特点与性能、塑料的组成与工艺特性和塑料成型制件的结构工艺性，熟悉注射模、压缩模、压注模、挤出模和气动成型模等塑料模具的成型工艺，了解注射机的基本构造和熟悉注射模与注射机之间的关系。由于注射模在塑料成型工业中应用最广泛，模具的结构也最为复杂，因此，作为塑料模具设计的入门，我们必须重点学会该类模具的设计。在这一基础上，其他塑料模具设计方法的掌握就显得容易得多。而在注射模设计中，侧向分型与抽芯机构设计的难度最大，略为复杂一点的模具都要用到该机构，所以在学习时，应对此更加要给予足够的重视。

塑料成型技术发展十分迅速，新的成型工艺层出不穷，因此，在学习塑料成型工艺与模具设计课本理论知识的同时，还必须了解新的塑料成型工艺、成型技术和新材料的发展动态，以便掌握和推广。

由于“塑料成型工艺与模具设计”是一门实践性很强的课程，所以学习时必须理论联系实际。在努力学习理论知识的基础上，必须以负责任的态度到模具企业去积极参加生产实习，认真进行课程设计，将所学到的书本知识与模具工业的生产实际进行联系与比较、归纳与提升，从而在凭借自己的能力以及查阅有关资料的情况下，实现在校期间就能够设计具有一定难度的塑料模具。

思 考 题

- 1-1 塑料成型在工业生产中有何重要地位？
- 1-2 简述塑料成型技术的发展趋势。
- 1-3 塑料模是如何分类的？
- 1-4 本课程学习的基本要求是什么？

塑料成型基础

塑料是以高分子聚合物（树脂）为主要成分，再加入一些其他添加剂所形成的一种物质。高分子聚合物也称高聚物。要正确设计塑料成型模具，制订合理的塑料成型工艺，就应该了解塑料的性能和特点，为此，就必须认识高分子聚合物的结构、热力学性能、流变学性质、成型过程中的流动行为和物理及化学变化。

第一节 聚合物的分子结构与热力学性能

一、聚合物的分子结构

（一）高分子与低分子

无论是天然树脂还是合成树脂，它们都属于高分子聚合物，简称高聚物。塑料的许多优良性能都与聚合物的分子结构密切相关。下面先介绍高分子与低分子的区别。

众所周知，一切物质都是由分子组成的，而分子又是由原子构成的。无论是有机物还是无机物，它们的分子中所含的原子数一般都不多。例如，水分子 H_2O 由 3 个原子构成，石灰石分子 $CaCO_3$ 由 5 个原子构成，酒精分子 C_2H_5OH 由 9 个原子构成，蔗糖分子 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 中也只含有 45 个原子。有一种比较复杂的有机物称为三硬脂酸甘油酯，其分子 $C_{57}H_{110}O_6$ 中也不过只有 173 个原子。再复杂一点的化合物，其分子中所含的原子数最多也不过是几百个。但是，聚合物则不同，一个聚合物分子中含有成千上万、甚至几十万个原子。例如，尼龙分子中大约含有 4 千个原子，天然橡胶分子中大约含有 5 万到 6 万个原子，纤维素（木材中含有此成分）分子中大约含有 10 万到 20 万个原子。从相对分子质量来看，水的相对分子质量为 18，石灰石为 100，酒精为 46，蔗糖为 324，三硬脂酸甘油酯也只有 890，这些统称为低分子化合物，其相对分子质量只有几十或几百；而高分子化合物（简称高分子）的相对分子质量比低分子化合物的高得多，一般从几万至上千万。例如，尼龙分子的相对分子质量为 2.3 万左右，天然橡胶为 40 万。再从分子长度来看，低分子乙烯的长度约为 $0.0005\mu m$ ，而高分子聚乙烯的长度为 $6.8\mu m$ ，后者是前者的 13600 倍。

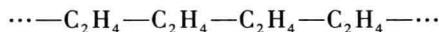
由此可见，高分子是含有原子数很多、相对分子质量很高、分子很长的巨型分子。正是由于高分子与低分子存在着如此悬殊的差异，才使聚合物具有许多与低分子化合物很不相同的特性。

（二）聚合物的分子结构

单就分子中所含原子个数、相对分子质量的大小和分子的长短还不足以表达高分子的结构特性。每个高分子里含有一种或数种原子或原子团，这些原子或原子团按照一定的方式排列，首先是排列成许多重复结构的小单元，称之为结构单元，再通过化学链连成一个高分子。例如，聚乙烯分子里的小单元为 C_2H_4 ，每个聚乙烯分子里含有 n 个像下面这样连接起



来的小单元:



这些小单元称为“链节”，好像链条里的每个链节； n 称为“链节数”（聚合度），表示有多少链节聚合在一起。由许多链节构成一个很长的聚合物分子，称为“分子链”。例如，聚乙烯的相对分子质量若是56000，那么一个聚乙烯分子里就含有两千多个乙烯单体分子（单体分子是指用以合成聚合物的小分子）。

如果聚合物的分子链呈不规则的线状（或者团状），聚合物是一根根分子链组成的，则称为线型聚合物，如图2-1a所示。如果在大分子的链之间还有一些短链把它们相互交联起来，成为立体结构，则称为体型聚合物，如图2-1c所示。此外，还有一些聚合物的大分子主链上带有一些或长或短的小支链，整个分子链呈枝状（见图2-1b），称为带有支链的线型聚合物。

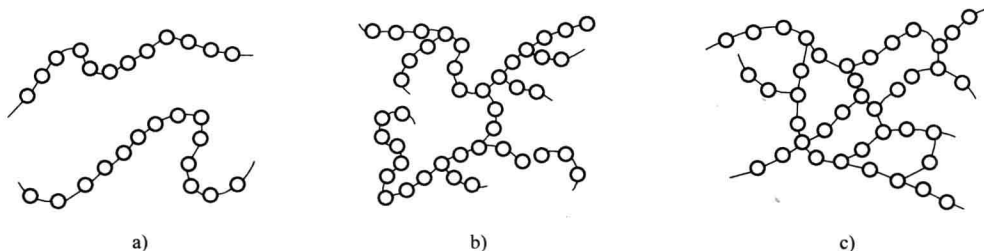


图 2-1 聚合物分子链结构示意图

a) 线型 b) 带有支链线型 c) 体型

聚合物的分子结构不同，其性质也不同。线型聚合物的物理特性是具有弹性和塑性，在适当的溶剂中可溶胀或溶解，温度升高时则软化至熔化状态而流动，且这种特性在聚合物成型前后都存在，因而可以反复成型，习惯上称这种材料具有热塑性。体型聚合物的物理特性是脆性大、弹性较高和塑性很低，成型前是可溶与可熔的，而一经成型硬化后，就成为既不溶解也不熔融的固体，所以不能再次成型。因此，又称这种材料具有热固性。

（三）聚合物的聚集态结构及其性能

聚合物由于分子特别大且分子间力也较大，容易聚集为液态或固态，而不形成气态。固体聚合物的结构按照分子排列的几何特点，可分为结晶型和无定形两种。

结晶型聚合物由“晶区”（分子作有规则紧密排列的区域）和“非晶区”（分子处于无序状态的区域）所组成，如图2-2所示。晶区所占的质量百分数称为结晶度。例如低压聚乙烯在室温时的结晶度为85%~90%。通常聚合物的分子结构简单，

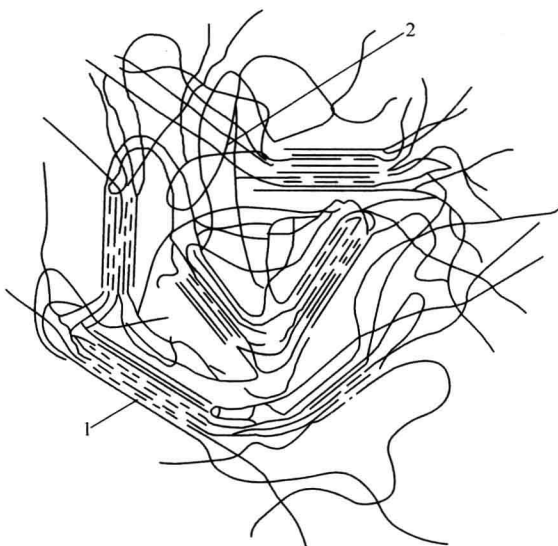


图 2-2 结晶型聚合物结构示意图

1—晶区 2—非晶区



主链上带有的侧基体积小，对称性高，分子间作用力大时，有利于结晶；反之，对结晶不利或不能形成结晶区。结晶只发生在线型聚合物和含交联链不多的体型聚合物中。

结晶对聚合物的性能影响重大，由于结晶造成了分子的紧密集聚状态，增强了分子间的作用力，所以使聚合物的强度、硬度、刚度及熔点、耐热性和耐化学性等性能都有所提高。而与链运动有关的性能，如弹性、伸长率和冲击强度等则降低。

对无定形聚合物的结构，过去一直认为其分子排列是杂乱无章、相互穿插交缠的。但用电子显微镜观察，发现无定形聚合物的质点排列不是完全无序的，而是大距离范围内无序，小距离范围内有序，即：“远程无序，近程有序”。体型聚合物由于分子链间存在大量交联，分子链难以作有序排列，所以都具有无定形结构。

二、聚合物的热力学性能与加工工艺性

(一) 聚合物的热力学性能

聚合物的物理、力学性能与温度密切相关，温度变化时，聚合物的受力行为发生变化，呈现出不同的力学状态，表现出分阶段的力学性能特点。图 2-3 中曲线 1 为线型无定形聚合物受恒应力作用时变形程度与温度的关系曲线，也叫热力学曲线。此曲线明显分为三个阶段，即线型无定形聚合物常存在的三种物理状态：玻璃态、高弹态和粘流态。

在温度较低时（低于 θ_g 温度），曲线基本是水平的，变形程度小，而且是可逆的；但弹性模量较高，聚合物处于刚性状态，表现为玻璃态。此时，物体受力的变形符合胡克定律，应变与应力成正比，并在瞬时达到平衡；当温度上升时（在 θ_g 至 θ_f 间），曲线开始急剧变化，但很快稳定趋于水平。聚合物的体积膨胀，表现为柔软而富有弹性的高弹态。此时，变形量很大，而弹性模量显著降低，外力去除变形量可以回复，弹性是可逆的。如果温度继续上升（高于 θ_f 温度），变形迅速发展，弹性模量再次很快下降，聚合物即产生粘性流动，成为粘流态。此时变形是不可逆的，物质成为液体。这里， θ_g 称为玻璃化温度，是聚合物从玻璃态转变为高弹态的临界温度； θ_f 称为粘流温度，是聚合物从高弹态转变为粘流态的临界温度。常温下，玻璃态的典型材料是有机玻璃，高弹态的典型材料是橡胶，粘流态的典型物质是熔融树脂（如胶粘剂）。

聚合物处于玻璃态时硬而不脆，可作结构件使用。但使用温度不能太低，当温度低于 θ_b 时，物理性能将发生变化，在很小的外力作用下就会发生断裂，使塑料失去使用价值。通常称 θ_b 为脆化温度，它是塑料使用的下限温度。当温度高于 θ_g 时，塑料不能保持其尺寸的稳定性和使用性能，因此， θ_g 是塑料使用的上限温度。显然，从使用的角度看， θ_b 和 θ_g 间的范围越宽越好。当聚合物的温度升高到图 2-3 中的 θ_d 温度时，便开始分解，所以称 θ_d 为热分解温度。聚合物在 $\theta_f \sim \theta_d$ 温度范围内是粘流态，塑料大部分的成型加工就是在这个范围内进行的。这个范围越宽，塑料成型加工就越容易进行。

据上所述，聚合物的成型加工是在粘流状态中实现的。欲使聚合物达到粘流态，加热只

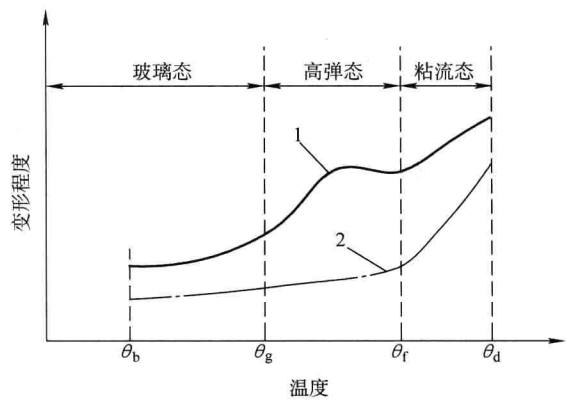


图 2-3 聚合物的热力学曲线