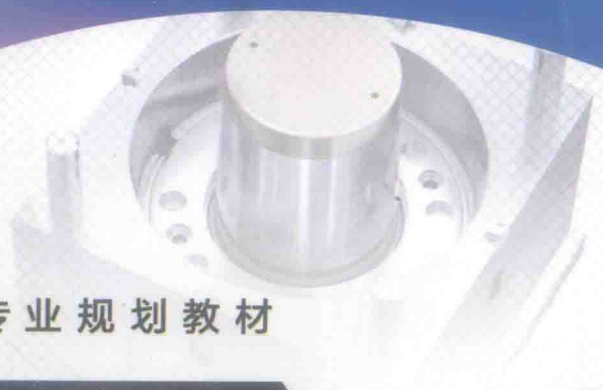




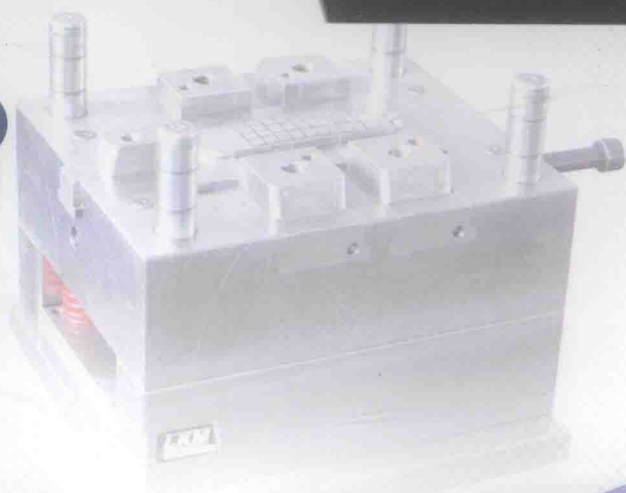
普通高等教育机电类专业规划教材



# 塑料成型工艺 与模具设计

第3版

屈华昌 张俊 主编



赠电子课件  
教师免费下载



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育机电类专业规划教材  
机械工业出版社精品教材

# 塑料成型工艺与模具设计

第 3 版

主 编 屈华昌 张 俊  
副主编 齐晓杰  
参 编 孙振中 张 旭 江昌勇  
金 燕 洪 琢 雷 霄  
张守学 任兆坤  
主 审 伍建国



机械工业出版社

本书是普通高等教育机电类专业规划教材,是根据高等院校模具专业人才培养目标与规格的要求组织编写与修订的。

全书共分10章,内容包括绪论、塑料成型基础、塑料成型工艺与塑料成型制件的结构工艺性、注射成型模具结构及注射机、注射模设计、注射成型新技术的应用、压缩模设计、压注模设计、挤出模设计、气动成型工艺与模具设计。其中,注射模设计一章对塑料制件在模具中的位置与浇注系统设计、成型零件设计、合模导向机构设计、推出机构设计、侧向分型与抽芯机构设计、温度调节系统和注射模的标准模架等作了重点介绍。

本书在内容安排上将每一类模具成型原理和成型工艺过程集中在一起进行介绍,以便对各类不同的模具的成型原理与成型工艺进行分析和比较;同时,教材增加了注射成型新技术、新工艺的内容,包括热固性塑料注射成型、气体辅助注射成型、精密注射成型、低发泡注射成型、共注射成型、反应注射成型等。由于侧向抽芯机构的结构设计是教材的重点和难点,因此在斜导柱侧向抽芯机构的结构设计介绍结束后,增加了相应的模具应用实例。在注射模设计一章的最后增加了注射模的标准模架相关内容。为了便于读者自学与思考,教材在每章后面均附有一些思考题。

本书可作为应用型本科院校、高职高专院校模具设计与制造专业、材料成型及控制工程专业教材,也可供机械类其他专业选用,亦可供模具企业有关工程技术人员参考。

本教材配有电子教案,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教育服务网 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com),注册后免费下载。咨询邮箱: [cmpgaozhi@sina.com](mailto:cmpgaozhi@sina.com)。咨询电话:010-88379375。

## 图书在版编目(CIP)数据

塑料成型工艺与模具设计/屈华昌,张俊主编. —3版. —北京:机械工业出版社,2014.9  
普通高等教育机电类专业规划教材  
ISBN 978-7-111-48030-3

I. ①塑… II. ①屈… ②张… III. ①塑料成型—工艺—高等学校—教材②塑料模具—设计—高等学校—教材 IV. ①TQ320.66

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第216549号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:于奇慧 责任编辑:于奇慧

版式设计:霍永明 责任校对:陈越

封面设计:马精明 责任印制:刘岚

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2014年11月第3版第1次印刷

184mm×260mm·24印张·582千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-48030-3

定价:46.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

## 第3版前言

本书是普通高等专科学校教育机电类规划教材，它是在原全国高等专科学校模具专业教育协会所组织编写的《塑料成型工艺与模具设计》教材的基础上进行修订的。

模具工业的迅猛发展需要大量现代模具工业的技术人员，而这些技术人员必须具备正确设计塑料成型模具和合理制订塑料成型工艺的知识、技术和能力，同时应该了解塑料成型的发展趋势和塑料成型的新技术与新工艺，此外，还应该了解模具材料选用和模具设计的基本程序。针对这一模具工业技术人才培养的目标要求，本书在第2版的基础上进行修订。第一章绪论介绍模具和模具工业，塑料成型工业在生产中的重要地位，塑料成型技术的发展趋势，塑料成型模具的概念、功用与分类，以及本课程的学习目的与方法；第二章介绍塑料成型与模具设计所必要的理论基础，包括高分子聚合物结构特点与性能、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；第三章介绍塑料的注射、压缩、压注、挤出等各类成型工艺和塑料制件的设计工艺性；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注射机与注射模具的关系；第五章介绍注射模的设计技术、注射模的标准模架、注射模具材料选用、注射模具设计程序；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、精密注射成型、低发泡注射成型、共注射成型及反应注射成型等；第七、第八章分别介绍热固性塑料的压缩模与压注模的设计；第九章介绍挤出模设计；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、真空成型及压缩空气成型的工艺与模具的设计。

在每一类模具的设计中，详细介绍了模具的结构组成、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的设计、温度调节系统与注射模的标准模架等作了重点介绍。

在修订过程中，力求知识新型实用，结合近年来模具技术的发展，注重反映先进技术。在内容的安排上，力求知识结构完整统一，在详略处理和重点突出方面是十分鲜明的，这样便于教师组织教学。

本教材与原版教材的不同之处还在于：第一章绪论进行了全新的改编；在第三章第二节塑料制件的结构工艺性的尺寸及其精度中，更新了塑料件尺寸公差的国家标准和塑料产品精度选用国家标准（GB/T 14486—2008）；为了使学生在实践中正确选择模具材料和进行注射模具设计，在第五章中增加了注射模具材料选用和注射模具设计程序介绍。在注射模标准模架中，介绍了我国2007年4月1日起实施的最新塑料注射模模架（GB/T 12555—2006）。为了配合模具工业国际化，还介绍了美国、德国、日本等工业发达国家的注射模标准模架。另外，更改了附录G塑料注射模用材料。

本书的10章中，第五章第四、六、七节，第六章以及附录A、B、C、D、E、F由南京工程学院屈华昌老师编写；第二章、第三章由黑龙江工程学院齐晓杰、孙振中老师编写；第四章



由湖南工程学院张旭老师编写；第五章第一、二节及第九章由常州工学院延陵分院江昌勇老师编写；第五章第三节由河南理工大学金燕老师编写；第五章第五节由上海理工大学洪琢老师编写；第一章，第五章第八、九、十节，附录G及本书的电子教案由宿迁学院张俊老师编写；第七章由沈阳理工大学应用技术学院雷霄老师编写；第八章、第十章由华北航天工业学院张守学、任兆坤老师编写。

全书由南京工程学院屈华昌教授负责统稿及修改，屈华昌、张俊老师任主编，齐晓杰老师任副主编，并由沙洲工学院伍建国教授任主审。

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。同时也十分感谢所有参考文献的作者。

由于编者水平有限，书中难免有不当和错误之处，恳请广大读者批评指正。

**编 者**

# 目 录

<b>第3版前言</b>	
<b>第一章 绪论</b> ..... 1	
第一节 模具和模具工业..... 1	
第二节 塑料成型工业在生产中的重要地位..... 2	
第三节 塑料成型技术的发展趋势..... 2	
一、CAD/CAE/CAM 技术在模具设计与制造中的应用..... 3	
二、大力发展快速原型制造..... 4	
三、研究和应用模具的快速测量技术与逆向工程..... 4	
四、发展优质模具材料和采用先进的热处理与表面处理技术..... 4	
五、提高模具标准化水平和模具标准件的使用率..... 5	
六、热流道技术的广泛应用..... 6	
七、模具的大型化与精密化、复杂化..... 6	
八、用于模具工业的高速加工技术的推广..... 6	
九、塑料注射成型新工艺和新技术的发展..... 7	
第四节 塑料成型模具的概念、功用与分类..... 9	
一、塑料成型模具的概念和功用..... 9	
二、塑料成型模具的分类..... 10	
第五节 本课程的学习目的与方法..... 11	
一、课程开设的目的与基本要求..... 11	
二、本课程的学习方法..... 12	
思考题..... 12	
<b>第二章 塑料成型基础</b> ..... 13	
第一节 聚合物的分子结构与热力学性能..... 13	
一、聚合物的分子结构..... 13	
二、聚合物的热力学性能与加工工艺性..... 15	
第二节 聚物流变方程与分析..... 17	
一、牛顿流体及其流变方程..... 17	
二、温度和压力对粘度的影响..... 20	
三、聚合物熔体的粘弹性..... 21	
四、热塑性和热固性聚物流变行为的比较..... 22	
第三节 聚合物在成型过程中的流动状态..... 24	
一、聚合物熔体在简单截面导管内的流动..... 24	
二、注射成型中的流动状态分析..... 29	
第四节 聚合物在成型过程中的物理和化学变化..... 32	
一、聚合物的结晶..... 32	
二、成型过程中的取向..... 33	
三、聚合物的降解..... 34	
四、聚合物的交联..... 35	
第五节 塑料的组成及工艺特性..... 36	
一、塑料的组成..... 36	
二、塑料的分类..... 38	
三、塑料的成型工艺性能..... 38	
第六节 常用塑料..... 44	
一、热塑性塑料..... 44	
二、热固性塑料..... 51	
思考题..... 52	
<b>第三章 塑料成型工艺与塑料成型制品的结构工艺性</b> ..... 54	
第一节 塑料成型原理与成型工艺特性..... 54	
一、注射成型原理及其工艺特性..... 54	
二、压缩成型原理及其工艺特性..... 60	
三、压注成型原理及其工艺特性..... 68	



四、挤出成型原理及其工艺特性 .....	69	二、成型零件工作尺寸的计算 .....	161
第二节 塑料制件的结构工艺性 .....	74	三、模具型腔侧壁和底板厚度的计算 .....	167
一、尺寸及其精度 .....	75	第四节 合模导向机构设计 .....	177
二、表面粗糙度 .....	75	一、导向机构的作用 .....	177
三、形状 .....	75	二、导柱导向机构 .....	177
四、斜度 .....	79	三、锥面定位机构 .....	180
五、壁厚 .....	79	第五节 推出机构设计 .....	181
六、加强肋及其他防变形结构 .....	82	一、推出机构的结构组成 .....	182
七、支承面及凸台 .....	83	二、脱模力的计算 .....	183
八、圆角 .....	84	三、简单推出机构 .....	183
九、孔的设计 .....	85	四、推出机构的导向与复位 .....	188
十、螺纹设计 .....	86	五、动定模双向推出机构 .....	189
十一、齿轮设计 .....	88	六、顺序推出机构 .....	190
十二、嵌件设计 .....	89	七、二级推出机构 .....	192
十三、文字、符号及标记 .....	93	八、浇注系统凝料的脱模机构 .....	195
思考题 .....	93	九、带螺纹塑件的脱模机构 .....	199
<b>第四章 注射成型模具结构及注射机</b> .....	95	第六节 侧向分型与抽芯机构的设计 .....	202
第一节 注射模具的分类及结构组成 .....	95	一、侧向分型与抽芯机构的分类 .....	202
一、注射模具的分类 .....	95	二、斜导柱侧向分型与抽芯机构 .....	203
二、注射模具的结构组成 .....	95	三、弯销侧向分型与抽芯机构 .....	229
第二节 注射模具的典型结构 .....	97	四、斜导槽侧向分型与抽芯机构 .....	231
一、单分型面注射模 .....	97	五、斜滑块侧向分型与抽芯机构 .....	232
二、双分型面注射模 .....	98	六、齿轮齿条侧向抽芯机构 .....	236
三、斜导柱侧向分型与抽芯注射模 .....	100	七、其他侧向分型与抽芯机构 .....	238
四、斜滑块侧向分型与抽芯注射模 .....	101	第七节 温度调节系统 .....	241
五、带有活动镶件的注射模 .....	102	一、模具温度调节的重要性 .....	241
六、定模带有推出装置的注射模 .....	104	二、冷却系统的计算 .....	242
七、角式注射机用注射模 .....	104	三、冷却系统的设计原则与常见冷却系统的结构 .....	245
第三节 注射模与注射机的关系 .....	106	四、模具加热系统 .....	249
一、注射机有关工艺参数的校核 .....	106	第八节 注射模的标准模架 .....	250
二、国产注射机的主要技术规格 .....	110	一、我国的塑料注射模标准模架 .....	250
思考题 .....	117	二、国外塑料注射模标准模架简介 .....	251
<b>第五章 注射模设计</b> .....	118	第九节 注射模具材料选用 .....	253
第一节 塑料制件在模具中的位置 .....	118	一、注射模的工作条件和失效形式 .....	253
一、型腔数量及排列方式 .....	118	二、模具材料及其选用 .....	254
二、分型面的设计 .....	120	三、注射模具新材料 .....	257
第二节 浇注系统与排溢系统的设计 .....	125	第十节 注射模设计程序 .....	260
一、普通流道浇注系统的组成及作用 .....	125	一、塑料产品及成型工艺分析 .....	261
二、普通流道浇注系统的设计 .....	126	二、注射模具设计的一般步骤 .....	261
三、排溢系统的设计 .....	146	思考题 .....	264
四、热流道浇注系统 .....	147	<b>第六章 注射成型新技术的应用</b> .....	267
第三节 成型零件的设计 .....	153	第一节 热固性塑料注射成型 .....	267
一、成型零件的结构设计 .....	153		



一、热固性塑料注射成型工艺概述 .....	267	一、压注模的分类 .....	316
二、热固性塑料注射模设计简介 .....	270	二、压注模的结构组成 .....	318
第二节 气体辅助注射成型 .....	274	第二节 压注模成型零部件设计 .....	319
一、气体辅助注射成型的原理 .....	274	一、加料室结构 .....	319
二、气体辅助注射成型的分类及工艺 过程 .....	275	二、压柱结构 .....	320
三、气体辅助注射成型的特点 .....	276	三、加料室与压柱的配合 .....	322
四、气体辅助注射成型的周期 .....	277	四、加料室的尺寸计算 .....	323
五、气体辅助注射系统 .....	277	第三节 浇注系统与排气槽设计 .....	324
六、气体辅助注射成型应用实例 .....	278	一、主流道 .....	324
第三节 精密注射成型 .....	278	二、分流道 .....	324
一、精密注射成型的工艺特点 .....	280	三、浇口 .....	325
二、精密注射成型工艺对注射机的 要求 .....	280	四、浇口位置的选择 .....	325
三、精密注射成型对注射模的设计 要求 .....	281	五、排气槽 .....	326
第四节 低发泡注射成型 .....	284	思考题 .....	327
一、低发泡注射成型的方法 .....	284	第九章 挤出模设计 .....	328
二、低发泡注射成型的工艺参数 .....	285	第一节 概述 .....	328
三、低发泡注射成型模具设计简介 .....	286	一、挤出模分类及作用 .....	328
第五节 共注射成型 .....	287	二、挤出模的结构组成 .....	329
一、双色注射成型 .....	287	三、挤出成型机头的设计原则 .....	330
二、双层注射成型 .....	287	四、挤出模与挤出机 .....	331
第六节 反应注射成型 .....	289	第二节 管材挤出成型机头 .....	332
一、反应注射成型原理及其应用 .....	289	一、常用结构 .....	332
二、反应注射成型设备 .....	290	二、机头内主要零件尺寸及其工艺 参数 .....	334
三、反应注射成型模具 .....	290	三、定径套的设计 .....	337
思考题 .....	291	第三节 吹塑薄膜机头 .....	339
第七章 压缩模设计 .....	292	第四节 异型材挤出成型机头 .....	341
第一节 压缩模结构组成与分类 .....	292	一、板式机头 .....	341
一、压缩模结构组成 .....	292	二、流线型机头 .....	341
二、压缩模分类 .....	293	三、异型材挤出成型机头的设计要点 .....	342
第二节 压缩模与压机的关系 .....	296	第五节 电线电缆挤出成型机头 .....	343
一、压机有关工艺参数的校核 .....	296	一、挤压式包覆机头 .....	343
二、国产压机的主要技术规范 .....	298	二、套管式包覆机头 .....	344
第三节 压缩模成型零部件设计 .....	300	思考题 .....	345
一、塑件在模具内加压方向选择 .....	301	第十章 气动成型工艺与模具设计 .....	346
二、凸模与加料室的配合形式 .....	302	第一节 中空吹塑成型工艺与模具设计 .....	346
三、加料室尺寸计算 .....	307	一、中空吹塑成型模具的分类、特点及 成型工艺 .....	346
四、压缩模脱模机构 .....	309	二、吹塑成型的工艺参数 .....	348
思考题 .....	315	三、中空吹塑成型塑件设计 .....	349
第八章 压注模设计 .....	316	四、中空吹塑设备 .....	351
第一节 压注模的分类与结构组成 .....	316	第二节 真空成型工艺与模具设计 .....	354
		一、真空成型特点及成型工艺 .....	354





二、真空成型塑件设计 .....	356	附录 B 常用塑料的收缩率 .....	365
三、真空成型模具设计 .....	357	附录 C 注射成型塑件成型缺陷分析 .....	365
第三节 压缩空气成型工艺与模具设计 .....	358	附录 D 压缩成型塑件成型缺陷分析 .....	367
一、压缩空气成型特点及成型工艺 .....	358	附录 E 压注成型塑件成型缺陷分析 .....	369
二、压缩空气成型模具 .....	358	附录 F 聚氯乙烯硬管的挤出成型缺陷 及其解决措施 .....	369
思考题 .....	360	附录 G 塑料注射模用材料 .....	370
<b>附录</b> .....	<b>361</b>	<b>参考文献</b> .....	<b>373</b>
附录 A 塑料及树脂缩写代号 (GB/T 1844—2008) .....	361		

# 第一章

## 绪论

### 第一节 模具和模具工业

模具是工业产品生产用的重要工艺装备，现代工业生产离不开模具，模具工业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。单就汽车产业而言，一个型号的汽车所需模具达几千副，价值上亿元，而当汽车更换车型时约有80%的模具需要更换。另外，电子和通信产品对模具的需求也非常大，在发达国家往往占到模具市场总量的20%之多。电子、汽车、电机、电器、仪器、仪表、家电、通信和军工等产品中，60%~80%的零部件都要依靠模具成型。用模具成型的制件所表现出来的高精度、高复杂性、高一致性、高生产率和低消耗，是其他加工制造方法所无法比拟的。模具在很大程度上决定着产品的质量、效益和开发能力。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。模具工业在经济繁荣和经济萧条时代都不可缺，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”。

近几年，世界模具市场总体上供不应求，市场需求量维持在每年1000亿~1500亿美元，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，同时，我国的模具产业也迎来了新一轮的发展机遇。我国模具产业总产值保持15%的年增长率，模具及模具标准件出口量不断增加。据透露，我国模具行业企业数量和职工总人数在世界上已跃居第一位。我国模具行业的生产规模如今已占世界总量的近10%，位居世界前列。因此，研究和发展模具技术，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”；德国则冠之为“加工工业中的帝王”、所有工业的“关键工业”；在欧美其他一些发达国家模具被称为“磁力工业”；日本把模具誉为“进入富裕社会的原动力”、“模具是整个工业发展的秘密”，日本模具年产值达到13000亿日元，远远超过日本机床总产值9000亿日元。如今，世界模具工业的发展已经超过了新兴的电子工业。模具水平的高低，决定着产品的质量、效益和新产品的开发能力。它已成为衡量一个国家制造水平高低的重要标志。由此可见，模具工业在各国国民经济中占有重要地位。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。

## 第二节 塑料成型工业在生产中的重要地位

塑料成型所用的模具称为塑料成型模，是用于成型塑料制件的模具，它是型腔模中的一种类型。塑料成型工业是新兴的工业，随着石油工业的发展应运而生。目前，塑料制件几乎已经进入了一切工业部门以及人民日常生活的各个领域。塑料工业又是一个飞速发展的工业领域，世界塑料工业从20世纪30年代前后开始研制到目前塑料产品系列化、生产工艺自动化、连续化以及不断开拓功能塑料新领域，它经历了30年代以前的初创阶段、30年代的发展阶段、50~60年代的飞跃发展阶段和70年代至今的稳定增长阶段。我国塑料工业的发展也同样经历着这些阶段。目前，我国石化工业一年生产约500万t聚乙烯、聚丙烯和其他合成树脂，这些树脂中，很大一部分需要用塑料模具成型，制成塑料件，才能用于工业生产和人民生活。塑料作为一种新的工程材料，得到不断开发与应用，加之成型工艺的不断成熟、完善与发展，极大地促进了塑料成型方法的研究与应用和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日益增加，这些产品的更新换代的周期越来越短，因此对塑料的品种、产量和质量都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。

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，塑料成型模具的质量是关键，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，在国内模具工业的模具产品结构中，各类模具占模具总量的比例大致为：塑料模约占43%，冲模约占37%，铸造模约占10%，其他类模具占10%。尤其是在长江三角洲和珠江三角洲更为突出。由此可见，塑料模在我国的占有比例居首位。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显得日益重要。

## 第三节 塑料成型技术的发展趋势

目前，我国在塑料模的制造精度、模具标准化程度、制造周期、模具寿命以及塑料成型设备的自动化程度和精度等方面已经有了长足的进步，但与国外工业先进国家相比，仍有一定的差距。许多精密技术、大型薄壁和长寿命塑料模具自主开发的生产能力还较薄弱。要加速发展模具工业，应在模具先进的设计技术、先进的制造技术和开发研制优质的模具材料等方面下功夫，以提高模具的整体制造水平和模具在国内、国际的市场竞争能力。

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、模具标准化、优质模具材料的研究、专用的机床设备和生产技术的管理等出发,大致有以下几个方面的发展趋势。

### 一、CAD/CAE/CAM 技术在模具设计与制造中的应用

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,纸质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,纸质图样将被简化,甚至最终消失。近年来,CAD 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。CAD/CAE/CAM 技术从 20 世纪 60 年代基于线框模型 CAD 系统开始,到 70 年代以曲面造型为核心的 CAD/CAM 系统,80 年代实体造型技术的成功应用,90 年代基于特征的参数化实体/曲面造型技术的完善,为 CAD/CAM 技术提供了可靠的保障。目前该技术已发展成为一项比较成熟的技术,同时,其硬件和软件成本已经降低到中小企业普遍可以接受的程度,为其进一步普及创造了良好的条件。根据统计,90% 以上的模具供应商使用 3D 设计软件进行模具设计工作,所使用的软件种类也不尽相同,目前在模具工业中使用最为广泛的是 PTC 公司的 Pro/E、UGS 公司的 UG-II 和 SDRC 公司的 I-DEAS 三种软件。

2) 基于网络的 CAD/CAM/CAE 技术一体化结构将是未来的发展趋势。基于网络的 CAD/CAM/CAE 技术一体化结构将是未来的发展趋势并将发挥越来越重要的作用,如果设计信息不能被分享,将会严重压制企业的发展,将无法实际生产过程中的分工协作要求。未来的 CAD/CAM/CAE 会逐步发展为支持从设计、分析、管理到加工全过程的产品信息集成管理系统。同时,基于网络的产品设计、模具开发、生产管理、异地协同开发制造模式将日趋完善。无论身处何地,无论是任职于产品研发部门还是模具制造部门,都可以基于所赋予的权限共享数据库中的信息。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 模式就应运而生了,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,利于制造资源配置最优化。

另外,在大型复杂塑料模设计过程中,浇注系统的塑料熔体流动模拟显得必不可少。因此,CAE 技术的应用对注射模技术的发展起到十分重要的作用。CAE 技术从 20 世纪 60 年代一维流动和冷却分析到 70 年代二维流动和冷却分析,再到 90 年代三维流动和冷却分析,其应用范围已经扩展到保压分析、纤维分子趋向和翘曲预测测量等领域。塑料注射成型 CAE 商品化软件中应用最广泛的是美国 Moldflow 开发的模拟软件 MF。



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

## 二、大力发展快速原型制造

塑料模是型腔模具中的一种类型,其模具型腔由凹模和凸模组成。对于具有复杂形状的曲面塑料制件,为了缩短研制周期,在现代模具制造技术中,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以及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。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开发研制。该项先进制造技术在国内少数的塑料和压铸企业也已经开始得到应用,并且正在大力推广中。

## 三、研究和应用模具的快速测量技术与逆向工程

在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,这就需要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。首先获取零件表面几何点的数据,然后通过 CAD 系统对这些数据进行预处理,并考虑模具的成型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的模具成型技术,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。

## 四、发展优质模具材料和采用先进的热处理与表面处理技术

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能和加工性能好、热处理变形小、抗热疲劳性能好的新型模具钢种,如预硬钢、耐蚀钢等。

在材料的熔炼方面,提高材料的纯净度已成为进一步提高材料质量与性能的重要措施和发展方向。通过炉外精炼、真空脱气及电渣重熔等冶炼工艺来降低钢中的 S、P 含量,已经成为模具材料生产企业提高材质的常规措施。近年来,国外钢生产企业除了在冶炼上采取一系列措施提高钢的性能外,还采用多向锻造等措施,消除碳化物的偏析,缩小钢的纵横向性能差,提高钢的等向性,从而大幅度提高模具寿命。

表面处理对于提高模具材料的使用寿命也有一定的弥补作用。由于模具失效大多源于表

面,因此提高模具的耐磨性、耐蚀性和表面疲劳强度是提高模具寿命的一个重要途径。用于改变模具表面性能的途径有多种,其中热扩渗技术是普遍采用的改性技术。目前这项技术正向二元或多元共渗的工艺方向发展。渗氮和碳氮共渗是常用的工艺。渗氮工艺有气体渗氮法和离子渗氮法;碳氮共渗是在一定温度下同时在工件表面将碳氮渗入的工艺,模具表面硬度可以达到 500~700HV。

另外,热处理技术由大气热处理向真空热处理发展,激光强化、离子渗氮技术等也受到重视。目前,上述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。

### 五、提高模具标准化水平和模具标准件的使用率

模具标准化的水平在某种意义上也体现了某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,由全国模具标准化技术委员会(SAC/TC33)归口,桂林电器科学研究所、龙记集团、浙江亚轮塑料模架有限公司、昆山市中大模架有限公司联合修订的 28 项塑料模国家标准已于 2007 年 4 月 1 日起实施。新版国家标准包括 GB/T 4170—2006《塑料注射模零件技术条件》、GB/T 8846—2005《塑料成型模术语》、GB/T 12554—2006《塑料注射模技术条件》、GB/T 12555—2006《塑料注射模模架》、GB/T 12556—2006《塑料注射模模架技术条件》、GB/T 4169.1~4169.23—2006《塑料注射模零件》。新版注射模国家标准的最大特点是对模架和零件的尺寸规格作了全面的修改,符合当前国内模具行业的生产实际。

其中,温控能达到  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  的热流道及系统、精密塑料模具中的无油润滑推杆推管等,属于应予大力发展的高档模具标准件。这些产品生产技术的突破,包括热流道材料及精密温控技术、热流道喷嘴精密加工技术等,将有助于提高我国大型精密模具的水平。

从技术经济角度考虑,应大力推进模具标准化的原因有:

1) 对模架及通用零件实行标准化,可以减少不必要的品种、规格;实行模架系列化和结构零部件标准化,并使之进入商品流通领域,可以大大缩短模具的生产周期,降低生产成本,以取得最大的技术经济效益。

2) 在模具技术标准中严格规定模架和通用零部件的品种、规格、性能、试验及检验方法、包装和储运条件,可以保证模具设计质量和制造中必须达到的质量规范,进而保证模具制造质量,使零件的不合格率减少到最低限度。

3) 模具的技术名词术语和技术条件的规范化、标准化,利于与国际模具标准化组织制订的国际通用标准接轨,从而提高我国模具生产技术和产品质量,缩短与国际先进水平的差距,并逐步达到国际先进生产技术水平,进入国际科技和商品交流的前列和主导地位,以增强国家的技术经济实力和国际竞争能力。

4) 实行模具技术标准化,是采用现代模具生产技术与装备,实现模具的 CAD/CAM,采用和充分使用高效、精密数控加工机床,建立模具柔性成型加工技术的基础。同时,可以使模具设计人员将主要精力放在改进模具设计、研究新技术等创造性的劳动方面。



## 六、热流道技术的广泛应用

热流道技术最早应用于汽车制造业所需的大型塑料件，但随着热流道技术的不断成熟，同时伴随价格降低，越来越多的塑料模具采用热流道技术。据估测，目前，我国的热流道技术应用率不到10%，而欧美国家的应用率大约在30%以上。采用热流道技术的模具，一方面可以提高塑料件的生产率和质量，另一方面能节省塑料原材料，从而达到节约能源的目的。但热流道系统价格昂贵，结构相对复杂，加热元器件的质量有时也会影响模具的正常生产。热流道技术综合性强，难度较高，但所带来的益处也显而易见，所以，广泛应用这项技术是塑料模具行业今后的发展趋势之一。

## 七、模具的大型化与精密化、复杂化

随着塑料应用领域日益扩大，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大型化、精密化与复杂化方向发展。在建筑、机械、汽车、仪器、家用电器上采用的许多塑料件，例如汽车壳体、汽车保险杠、洗衣机桶、大周转箱等，都需要相应的大型模具，特别是大型塑料注射模具。大型模具设计要求有详细准确的理论计算，由于模具大、熔料流程长、型腔容易变形等，因此，结构设计时必须进行更为周密的考虑。

随着电子工业的飞速发展，计算机、手机等电子元器件的塑料件精度要求越来越高，这就要求设计精密塑料注射成型模具和采用精密注射成型设备。

大型和精密塑料件一般都是比较复杂的，成型模具更需要采用先进的模具CAD/CAE/CAM技术来设计与制造，否则，这类投资很大的模具研制将难以获得成功。

## 八、用于模具工业的高速加工技术的推广

为了提高模具的寿命，通常模具型腔及相关零件都要采用高强度材料制造。这些材料经过热处理以后强度更高，很难用常规的机械加工方法进行加工。因此，模具型腔一般都需要采用电加工（包括电成型和线切割），所以，电加工在模具制造中一直起着十分重要的作用。但是，电加工又存在加工过程缓慢、生产效率低、制造质量不稳定的缺点，不论在模具的开发速度方面还是在模具制造质量方面，不能满足批量生产的要求，从这一角度看，模具在一定程度上已成为影响新产品开发速度的一个关键因素。高速加工技术的出现，为模具制造技术开辟了一条崭新的道路。尽可能用高速加工代替电加工，是加快模具开发速度、提高模具制造质量的必经之路。

(1) 产品质量好 高速切削以高于常规10倍左右的切削速度对零件进行高速加工，毛坯材料的余量还来不及充分变形就在瞬间被切离工件，工件表面的残余应力非常小；切削过程中产生的绝大多数热量（95%以上）被切屑迅速带走，工件的热变形小；零件的精度高，表面质量好，表面粗糙度可以达到 $Ra0.6\mu\text{m}$ 以上。经切削的型腔表面质量达到磨削水平，可省去后续的许多精加工工序。

(2) 生产效率高 用高速度加工中心加工模具，可以在一次装夹中完成型腔的粗、精加工和模具零件其他部位的机械加工，且切削速度很高，加工效率比电加工高出好几倍。

(3) 加工范围广 高速切削可以加工硬度高达60HRC以上的淬火钢，加工过程不用切削液，这就是所谓硬切削和干切削。另外，在加工中，横向切削力很小，有利于加工模具复杂型腔中的细筋和薄壁，其壁厚甚至可以小于1mm。

目前，高速切削加工已向更高的敏捷化、智能化、集成化方向发展。高速铣削加工促进了模具加工技术的发展，特别是给汽车、家电行业中大型型腔模具制造注入了新的活力。

## 九、塑料注射成型新工艺和新技术的发展

随着人们对塑料制品品质要求的提高、应用领域的不断扩展,新的塑料注射成型技术和成型工艺不断涌现,下面简单介绍一些在近几年发展起来的注射成型新技术和新工艺。

### 1. 热变温高光无痕注塑技术

自2007年至今,热变温高光无痕注塑技术的应用在国内高速发展,产品领域已经涉及高端家用显示器产品、高端家用电器产品、高端电子设备以及高档汽车装饰部件等众多领域。同时,随着热变温高光无痕注塑技术在国内的不断应用发展,其复杂的模具制造技术也逐渐被国内模具制造企业掌握,在当前众多生产中的热变温高光无痕注塑模具中,国产模具的比例已经大幅提高,甚至一些特殊高光产品的模具制造技术理念已具备国际领先性。

(1) 蒸汽辅助注塑技术 蒸汽辅助注塑是利用高温热蒸汽,使模具某些局部位置瞬时达到相当高的温度,保证成型材料在与塑料模具温差很小的情况下快速填充型腔,并在成型材料冷却的同时将蒸汽变换为冷水,从而快速降低模具温度,以使产品局部位置获得非常高的表面质量的一种新型辅助成型工艺。蒸汽辅助注塑需要蒸汽热效控制器,在蒸汽热效控制器的作用下,将高温高压蒸汽、冷却水以及压缩空气进行顺序切换并输入至模具水路,从而使模具相应部位的温度升高及降低。该技术适合于大型热变温无痕注塑产品,如大型平板类显示器或相似产品,是当前最为广泛使用热变温高光无痕注塑技术的产品。

(2) 电热辅助注塑技术 电热辅助注塑是利用模具局部安装高效电加热装置,使模具某些局部位置瞬时达到相当高的温度,保证成型材料在与塑料模具温差很小的情况下快速填充型腔,并在成型材料冷却的同时快速降低模具温度,以使产品局部位置获得非常高的表面质量的一种新型辅助成型工艺。电热辅助注塑需要多功能电热控制器,在多功能电热控制器的作用下,内置在模具中的加热元件迅速通电加温,从而使模具相应部位的温度升高及降低。该技术适合于中、小型热变温无痕注塑产品,如中、小型平板类显示器或相似产品。

(3) 过热水辅助注塑技术 过热水辅助注塑是利用高温高压热水,使模具某些局部位置瞬时达到相当高的温度,保证成型材料在与塑料模具温差很小的情况下快速填充型腔,并在成型材料冷却的同时将热水变换为冷水从而快速降低模具温度,以使产品局部位置获得非常高的表面质量的一种新型辅助成型工艺。过热水辅助注塑需要过热水热效控制器,在过热水热效控制器的作用下,将热水机产生的高温热水(180℃)、冷却水以及压缩空气进行顺序切换并输入至模具水路,从而使模具相应部位的温度升高及降低。

(4) 热变温无痕注塑技术的特点 消除产品表面熔接线,产品无需后续喷漆加工处理;增强原料流动填充效果,提高生产效率,降低产品表面粗糙度值,使之达到镜面效果;解决加纤产品所产生的浮纤现象。可见,热变温无痕注塑技术具有常规注塑无法比拟的优势,在家用电器以及电子产品等领域有着广泛的作用。使用该技术可以免除喷漆、涂装等一系列环节,大大节省了直接生产成本,提高了生产效率,而且对于国家日益关注的环保问题,有着重要的实际意义。

### 2. 动态注射成型

塑料动态注射成型技术是将物理场直接作用于成型加工的过程,其基本原理是在振动场(主要是机械振动和超声波振动)条件下,在塑料的主要剪切流动方向上叠加了一个附加的应力,使得聚合物在组合应力作用下完成物理与化学变化的加工过程。振动对聚合物成型制件的性能影响主要是通过聚合物的凝聚态转变和结晶动力学起作用的。周期性的振动力将有



效地促进分子取向，并在熔体的固化阶段控制晶粒的生长、形成和取向，可有效防止制件中缩孔、疏松与表面沉陷的形成，并可消除残余应力，使制品的机械性能显著提高。在成型过程中，施加振动的方式有机械振动、波振动和气体振动。施加机械振动的情况研究得较充分，包括模具加振成型、螺杆加振注射成型、辅助加振成型、单点动态进料保压注射成型、多点动态进料保压成型、推拉注射成型和全振动注射成型多种形式。在我国现已成功研制出塑料电磁动态塑化注射机，它将机械振动场引入到注射成型的塑化、注射和保压的全过程，具有能耗低、噪声小、可实现低温低压注射等特点，是一种全新先进的塑料注射成型工艺。

### 3. 水辅助注射成型

水辅助注射成型可用于生产形状复杂、大直径的中空零件，并具有良好的美观效果。在水辅助注射成型中，水的使用温度取决于零件和材料，一般为 $10 \sim 80^{\circ}\text{C}$ ，在水没有蒸发的条件下代替熔料。采用这种工艺的塑料件的壁厚和冷却时间可降低75%。由于水辅助模具难以适应高温，采用加压水，且要避免气泡的影响，其应用受到限制。不过，设在亚琛市的德国塑料加工研究所（IKV）已克服这些缺点。其新技术可以采用水辅助注射成型棒状或者管状空心制件，一台或多台液压泵将水注射进熔体中，通过置换进入模具或者已开始填充的熔体中心的物料形成空洞；以水不会蒸发的这种方式进行注射，水的前沿像一个位移柱塞那样作用在制件的熔融芯上，从水的前沿到熔体的过渡段固化了一层很薄的塑料膜，它像一个高粘度的型芯，进一步推动聚合物熔体；然后水流动通过已形成的空心体，最后压缩空气将水从制件中压出；通过一个储罐，水可循环再用。与气体比较，水提供的冷却效果更好，因此冷却和循环时间可缩短很多。注射速度很快，以至于聚合物熔体（如PA）不会出现水解降解。

### 4. 微孔发泡注射成型

微孔泡沫塑料是指微孔直径 $0.1 \sim 10.0\mu\text{m}$ ，微孔密度 $109 \sim 1015$ 个/ $\text{cm}^3$ ，密度减少20%~40%的泡沫塑料。它具有比一般泡沫塑料优异的力学性能，与不发泡塑料相比，其突出特点是具有优良的冲击韧性（可达实体塑料5倍以上）、高比刚性（可达实体塑料的3~5倍）、高疲劳寿命（可达实体塑料5倍以上）、高稳定性、低介电常数和热导率。热塑性微孔泡沫塑料的大多数特性已超过相应实体工程塑料，性能价格比更高，因此具有极大的应用前景。微孔发泡注射成型技术与传统塑料发泡技术比较，既不需要化学发泡剂，也不需要以烃基为原料的物理催化剂、泡沫剂等其他相关反应成分。以气室发泡法而著称的微孔发泡注射成型技术是利用超临界状态气体在整个聚合体中产生分布均一和尺寸统一的微小的气孔（根据聚合体不同的材质及应用，其尺寸通常为 $5 \sim 100\mu\text{m}$ ）的发泡注射成型技术，并且几乎可以应用于所有的发泡材料。合理利用微孔发泡注射成型技术可以扩大产品结构形式，提高生产效率，降低生产成本。由这种技术生产的制品有如下特点：①减轻重量，可在壁厚为 $0.25\text{mm}$ 的制品上控制重量的减少；②缩短生产循环周期，可比一般发泡成型法缩短50%；③节省能源，由于材料粘度降低和制品加工时重量的减轻，使需塑化的物质大量减少，因此可减少耗能36%。此种技术的缺点是制品表面质量不够完美，不过可通过预熔融技术弥补，从而得到表面光滑、芯部发泡的制品。

### 5. 高速低压注射成型

传统注射成型在注射过程中控制注射速度；而高速低压注射成型在注射过程中控制的是