



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

# 塑料成型工艺 与模具设计

屈华昌 主编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

# 塑料成型工艺与模具设计

屈华昌 主编

高等教育出版社

## 内容提要

本书是教育科学“十五”国家规划课题研究成果之一——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究成果,是根据应用型本科材料成型及控制工程专业人才培养目标与规格的要求组织编写的。

全书共17章。第1~3章是塑料模具设计的基础,分别介绍了高分子聚合物结构特点与性能、塑料的组成与工艺特性和塑料成型制件的结构工艺性。由于相对其他塑料模具而言,注射模具的设计最为复杂和困难,同时塑料注射成型的方法应用也最为广泛,因此第4~11章共用8章篇幅介绍注射成型工艺和注射模的设计,以便读者能够突破模具设计的难点,其内容包括注射成型原理及工艺特性、注射模基本结构与注射机、分型面的选择与浇注系统设计、成型零部件设计、结构零部件设计、推出机构设计、侧向分型与抽芯机构、温度调节系统。为了让读者能够了解国内外塑料成型先进技术和成型新工艺,第12章介绍了注射成型新技术及其应用。第13~17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、发泡成型工艺与模具设计。本书在内容安排上的一大特点是:将每一类模具成型原理和成型工艺过程与该类模具的设计放在一起介绍,以便在熟悉成型工艺的基础上正确设计该类模具。

本书适合于高等工科院校材料成型及控制工程专业使用,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。

### 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:高等教育出版社,2005.5

ISBN 7-04-016102-8

I. 塑... II. 屈... III. ①塑料成型②塑料模具—设计 IV. TQ320.66

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第013081号

策划编辑 庚欣      责任编辑 李京平      封面设计 王凌波      责任绘图 朱静  
版式设计 胡志萍      责任校对 张颖      责任印制 杨明

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100011  
总 机 010-58581000

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 人民教育出版社印刷厂

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>

开 本 787×1092 1/16  
印 张 23.75  
字 数 580 000

版 次 2005年5月第1版  
印 次 2005年5月第1次印刷  
定 价 29.60元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 16102-00

# 总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才培养需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型人才培养工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水

平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

# 前 言

本书是教育科学“十五”国家规划课题研究成果之一——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究成果。本书为应用型本科材料成型及控制工程专业规划教材之一。

按照现代模具工业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、技术和能力的人才培养目标要求,本书分成17章,在介绍了塑料成型在工业生产中的重要地位、塑料成型技术的现状及发展趋势、高分子聚合物结构特点与性能、塑料的组成与工艺特性、塑料成型制件的结构工艺性等设计塑料模具和制订塑料成型工艺基本知识的基础上,分别介绍了注射成型模、压缩成型模、压注成型模、挤出成型模、气动成型模、发泡成型模等模具的设计。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。在介绍每一类模具设计之前,都分别介绍了该类模具的成型工艺。由于在塑料的成型生产中,注射成型模应用最为广泛,而且模具的结构最为复杂,因此用7章的篇幅对注射模基本结构与注射机、分型面的选择与浇注系统设计、成型零部件设计、结构零部件设计、推出机构设计、侧向分型与抽芯机构和温度调节系统等作了重点介绍。此外,本书对热固性塑料注射成型、气体辅助注射成型、精密注射成型与模具设计、低发泡注射成型新技术的应用、热固射成型、共注射成型、排气注射成型、反应注射成型等注射成型的新技术、新工艺进行了介绍。

模具技术是一门综合性很强的学科,是近年来飞速发展的学科之一。本书力求知识新型实用,结合近年来模具技术的发展注重反映先进技术。考虑到材料成型及控制工程专业学生的知识结构,在内容的安排上力求知识结构完整统一,但在详略的处理上和重点的突出方面是十分鲜明的,这样便于教师组织教学。为了方便读者学习与思考,每章后面均附有一些思考题。

本书共17章,绪论和第6、7、9、10、12章以及附录由南京工程学院屈华昌编写,第1、2章由常州工学院张建梅编写,第3、8章由常州工学院沈洪雷编写,第4、5、15章由沈阳工业学院史安娜编写,第11、16、17章由南京工程学院吴梦陵编写,第13、14章由南京工程学院胡德君编写,全书由南京工程学院屈华昌主编,负责全书的统稿及修改工作,由沈阳工业学院史安娜任副主编。由沙洲工学院伍建国教授审阅。

本书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。同时感谢所引用文献的作者,他们辛勤研究的成果也使得本教材增色不少。

由于编者水平有限,书中难免存在不当和错误之处,恳请使用本书的教师和广大读者批评指正。

编 者

2005年2月

# 目 录

绪论 .....	1	3.5 壁厚 .....	36
<b>第 1 章 高分子聚合物结构特点与性能</b> ...	7	3.6 加强肋及其他增强防变形结构 .....	38
1.1 高分子聚合物的结构特点 .....	7	3.7 支承面 .....	40
1.1.1 高分子与低分子 .....	7	3.8 圆角 .....	40
1.1.2 高聚物的结构特点 .....	8	3.9 孔的设计 .....	41
1.2 聚合物的热力学性能 .....	10	3.10 螺纹的设计 .....	43
1.2.1 聚合物分子运动单元的多重性 .....	10	3.11 齿轮设计 .....	44
1.2.2 聚合物的热力学性能 .....	11	3.12 嵌件和自攻螺钉孔设计 .....	46
1.3 聚合物的流变学性质 .....	12	3.13 铰链 .....	50
1.3.1 牛顿流体与非牛顿流体 .....	13	3.14 标记、符号、文字 .....	51
1.3.2 假塑性液体的流变学性质及其 影响因素 .....	14	思考题 .....	51
1.4 聚合物成型过程中的物理化学变化 .....	16	<b>第 4 章 注射成型原理及工艺特性</b> .....	52
1.4.1 聚合物在成型过程中的物理变化 ..	16	4.1 注射成型原理 .....	52
1.4.2 聚合物在成型过程中的化学变化 ..	18	4.2 注射成型工艺 .....	53
思考题 .....	19	4.3 注射成型的工艺参数 .....	55
<b>第 2 章 塑料的组成与工艺特性</b> .....	20	思考题 .....	62
2.1 塑料的基本组成 .....	20	<b>第 5 章 注射模基本结构与注射机</b> .....	63
2.1.1 塑料的基本组成 .....	20	5.1 注射模的分类及结构组成 .....	63
2.1.2 塑料的分类 .....	22	5.1.1 注射模具的分类 .....	63
2.2 塑料成型的工艺特性 .....	22	5.1.2 注射模具的结构组成 .....	63
2.2.1 塑料的成型收缩性 .....	23	5.2 注射模的典型结构 .....	65
2.2.2 塑料的流动性 .....	23	5.2.1 单分型面注射模 .....	65
2.2.3 塑料的相容性 .....	24	5.2.2 双分型面注射模 .....	66
2.2.4 塑料的热敏性和吸湿性 .....	25	5.2.3 斜导柱侧向分型与抽芯注射模 .....	69
2.2.5 塑料的比容和压缩率 .....	25	5.2.4 斜滑块侧向分型与抽芯注射模 .....	71
2.3 常用塑料简介 .....	25	5.2.5 带有活动镶件的注射模 .....	72
2.3.1 热塑性塑料 .....	25	5.2.6 角式注射机用注射模 .....	74
2.3.2 热固性塑料 .....	29	5.3 注射模与注射机 .....	75
思考题 .....	30	5.3.1 注射机的分类 .....	75
<b>第 3 章 塑料成型制件的结构工艺性</b> .....	31	5.3.2 注射成型机型号规格的表达法 .....	77
3.1 尺寸和精度 .....	31	5.3.3 注射机有关工艺参数的校核 .....	78
3.2 表面粗糙度 .....	34	思考题 .....	85
3.3 形状 .....	34	<b>第 6 章 分型面的选择与浇注系统</b> <b>设计</b> .....	86
3.4 斜度 .....	35	6.1 分型面及其选择 .....	86

6.1.1 塑料制件在模具中的位置 .....	86	8.3 合模导向机构设计 .....	146
6.1.2 分型面的选择 .....	89	8.3.1 导向机构的作用 .....	146
6.2 普通浇注系统设计 .....	92	8.3.2 导柱导向机构 .....	146
6.2.1 普通浇注系统的组成及设计原则 .....	92	8.3.3 锥面定位机构 .....	151
6.2.2 主流道设计 .....	95	思考题 .....	151
6.2.3 分流道设计 .....	96	<b>第9章 推出机构设计</b> .....	153
6.2.4 浇口的设计 .....	98	9.1 推出机构的结构组成与分类 .....	153
6.2.5 浇口位置选择与浇注系统的平衡 .....	105	9.1.1 推出机构的结构组成 .....	153
6.2.6 冷料穴和拉料杆的设计 .....	109	9.1.2 推出机构的分类 .....	153
6.3 热流道浇注系统 .....	110	9.1.3 推出机构的设计要求 .....	154
6.3.1 绝热流道 .....	111	9.2 推出力的计算 .....	155
6.3.2 加热流道 .....	113	9.3 简单推出机构 .....	156
6.4 排气系统的设计 .....	117	9.3.1 推杆推出机构 .....	156
思考题 .....	118	9.3.2 推管推出机构 .....	159
<b>第7章 成型零部件设计</b> .....	119	9.3.3 推件板推出机构 .....	161
7.1 成型零部件的结构设计 .....	119	9.3.4 活动镶件及凹模推出机构 .....	162
7.1.1 凹模和凸模的结构设计 .....	119	9.3.5 多元推出机构 .....	163
7.1.2 螺纹型环和螺纹型芯结构设计 .....	123	9.3.6 推出机构的导向与复位 .....	163
7.2 成型零部件的工作尺寸计算 .....	125	9.4 二次推出机构 .....	165
7.2.1 影响成型零件工作尺寸的因素 .....	126	9.4.1 单推板二次推出机构 .....	165
7.2.2 型腔和型芯径向尺寸的计算 .....	127	9.4.2 双推板二次推出机构 .....	169
7.2.3 型腔深度和型芯高度尺寸的计算 .....	128	9.5 定、动模双向顺序推出机构 .....	172
7.2.4 中心距尺寸的计算 .....	129	9.6 浇注系统凝料的推出机构 .....	173
7.2.5 螺纹型环和螺纹型芯工作尺寸的计算 .....	129	9.6.1 点浇口浇注系统凝料的推出 .....	174
7.3 成型零部件的强度与刚度计算 .....	131	9.6.2 潜伏浇口浇注系统凝料的推出 .....	176
7.3.1 成型零部件强度、刚度计算需考虑的问题 .....	132	9.7 带螺纹塑件的脱模 .....	179
7.3.2 矩形型腔侧壁和底板厚度的计算 .....	133	思考题 .....	182
7.3.3 圆形型腔侧壁和底板厚度的计算 .....	137	<b>第10章 侧向分型与抽芯机构</b> .....	183
思考题 .....	140	10.1 侧向抽芯机构的分类及组成 .....	183
<b>第8章 结构零部件设计</b> .....	142	10.1.1 侧向分型与抽芯机构的分类 .....	183
8.1 注射模的标准模架 .....	142	10.1.2 侧向分型与抽芯机构的组成 .....	184
8.2 支承零部件设计 .....	144	10.2 抽芯力与抽芯距的确定 .....	185
8.2.1 固定板、支承板 .....	144	10.2.1 抽芯力的确定 .....	185
8.2.2 支承件 .....	144	10.2.2 抽芯距的确定 .....	185
8.2.3 动定模座板 .....	145	10.3 斜导柱侧向分型与抽芯机构 .....	186
		10.3.1 斜导柱侧向抽芯机构的组成与工作原理 .....	186
		10.3.2 斜导柱的设计 .....	187
		10.3.3 侧滑块的设计 .....	193
		10.3.4 导滑槽的设计 .....	193
		10.3.5 楔紧块的设计 .....	195



10.3.6 侧滑块定位装置的设计 .....	196	12.3 精密注射成型与模具设计 .....	246
10.3.7 斜导柱侧向分型与抽芯的应用 形式 .....	196	12.3.1 精密注射成型的工艺特点 .....	248
10.4 弯销侧向分型与抽芯机构 .....	209	12.3.2 精密注射成型工艺对注射机 的要求 .....	248
10.4.1 弯销侧向分型与抽芯机构的 工作原理 .....	209	12.3.3 精密注射成型对注射模的设 计要求 .....	249
10.4.2 弯销侧向分型与抽芯机构的 特点 .....	209	12.4 低发泡注射成型 .....	252
10.5 斜导槽侧向分型与抽芯机构 .....	211	12.4.1 低发泡注射成型方法 .....	252
10.6 斜滑块侧向分型与抽芯机构 .....	212	12.4.2 低发泡注射成型的工艺参数 .....	253
10.6.1 斜滑块导滑的侧向分型与抽芯 ..	213	12.4.3 低发泡注射成型模具设计简介 ..	254
10.6.2 斜导杆导滑的侧向分型与抽芯 ..	216	12.5 共注射成型 .....	256
10.7 齿条齿轮侧向分型与抽芯机构 .....	218	12.5.1 双色注射成型 .....	256
10.7.1 传动齿条固定在定模一侧 .....	218	12.5.2 双层注射成型 .....	257
10.7.2 传动齿条固定在动模一侧 .....	221	12.6 排气注射成型 .....	258
10.8 弹性元件侧向分型与抽芯机构 .....	221	12.6.1 排气注射成型原理 .....	258
10.9 手动侧向分型与抽芯机构 .....	223	12.6.2 排气注射成型工艺 .....	259
10.10 液压或气动侧向分型与抽芯机构 .....	224	12.7 反应注射成型 .....	261
思考题 .....	225	12.7.1 反应注射成型原理及其应用 .....	261
<b>第 11 章 温度调节系统</b> .....	226	12.7.2 反应注射成型设备 .....	262
11.1 模具温度及塑料成型温度 .....	226	12.7.3 反应注射成型模具 .....	262
11.1.1 模具温度及其调节的重要性 .....	226	思考题 .....	263
11.1.2 模具温度与塑料成型温度的 关系 .....	226	<b>第 13 章 压缩成型工艺与压缩模设计</b> ..	264
11.2 冷却回路的尺寸确定 .....	228	13.1 压缩成型工艺 .....	264
11.3 常见冷却系统的结构 .....	229	13.1.1 压缩成型原理及其特点 .....	264
11.3.1 冷却水回路的布置 .....	229	13.1.2 压缩成型工艺过程 .....	265
11.3.2 常见冷却系统的结构 .....	232	13.1.3 压缩成型的工艺参数 .....	266
11.4 模具的加热系统 .....	236	13.2 压缩模设计 .....	268
11.4.1 模具加热的方式 .....	236	13.2.1 压缩模的结构组成与分类 .....	268
11.4.2 模具加热装置的要求和计算 .....	237	13.2.2 压缩模与压力机的关系 .....	273
思考题 .....	239	13.2.3 压缩模成型零部件设计 .....	276
<b>第 12 章 注射成型新技术的应用</b> .....	240	13.2.4 加料室尺寸计算 .....	282
12.1 热固性塑料注射成型 .....	240	13.2.5 压缩模脱模机构设计 .....	283
12.1.1 热固性塑料注射成型工艺要点 ..	240	思考题 .....	289
12.1.2 热固性塑料注射模设计简介 .....	242	<b>第 14 章 压注成型工艺与压注模设计</b> ..	290
12.2 气体辅助注射成型 .....	243	14.1 压注成型工艺 .....	290
12.2.1 气体辅助注射成型的原理 .....	243	14.1.1 压注成型原理及其特点 .....	290
12.2.2 气体辅助注射成型的分类及工 艺过程 .....	243	14.1.2 压注成型的工艺过程 .....	291
12.2.3 气体辅助注射成型的特点 .....	245	14.1.3 压注成型的工艺参数 .....	291
		14.2 压注模设计 .....	292
		14.2.1 压注模的结构组成与分类 .....	293
		14.2.2 压注模与液压机的关系 .....	296

14.2.3	压注模零部件设计	296	15.7.1	鱼尾式机头	328
14.2.4	加料室尺寸计算	299	15.7.2	支管式机头	328
14.2.5	压注模浇注系统与排溢系统设计	300	15.7.3	螺杆式机头	330
	思考题	303		思考题	331
<b>第 15 章</b>	<b>挤出成型工艺与挤出模设计</b>	<b>304</b>	<b>第 16 章</b>	<b>气动成型工艺与模具设计</b>	<b>332</b>
15.1	挤出成型工艺	304	16.1	中空吹塑成型工艺与模具设计	332
15.1.1	挤出成型原理及特点	304	16.1.1	中空吹塑成型的分类及成型工艺过程	332
15.1.2	挤出成型工艺过程	305	16.1.2	中空吹塑制件结构工艺性	335
15.1.3	挤出成型工艺参数	306	16.1.3	吹塑成型的工艺参数	338
15.2	挤出模的结构组成及分类	309	16.1.4	中空吹塑设备	339
15.2.1	挤出模的结构组成	309	16.1.5	挤出吹塑模具设计	343
15.2.2	挤出机头的分类	310	16.2	抽真空成型工艺与模具设计	347
15.2.3	挤出机头的设计原则	310	16.2.1	抽真空成型的特点、分类及其成型工艺过程	347
15.2.4	机头材料的选择	311	16.2.2	抽真空成型塑件设计	350
15.3	挤出模与挤出机	312	16.2.3	抽真空成型模具设计	351
15.3.1	挤出机的分类	312	16.3	压缩空气成型工艺与模具设计	352
15.3.2	挤出机的结构组成	313	16.3.1	压缩空气成型工艺过程	352
15.3.3	单螺杆挤出机的主要技术参数	314	16.3.2	压缩空气成型模具设计	353
15.3.4	挤出机工艺参数的校核	315		思考题	357
15.4	管材挤出机头	316	<b>第 17 章</b>	<b>发泡成型工艺与模具设计</b>	<b>358</b>
15.4.1	管材机头的分类	316	17.1	发泡成型工艺	358
15.4.2	管材机头的结构设计	318	17.1.1	泡沫塑料的成型原理	359
15.4.3	定径套的设计	320	17.1.2	可发性聚苯乙烯的制备	360
15.5	异型材挤出机头	322	17.1.3	聚苯乙烯泡沫塑料的成型工艺	362
15.5.1	异型材的结构形式	322	17.2	发泡成型模具设计	362
15.5.2	异型材挤出成型机头的形式	323	17.2.1	聚苯乙烯泡沫塑料成型模具	362
15.5.3	异型材结构设计	324	17.2.2	模具设计应注意的问题	364
15.5.4	异型材挤出模具结构设计	324		思考题	365
15.6	电线电缆挤出机头	326	<b>参考文献</b>		<b>366</b>
15.6.1	挤压式包覆机头	326			
15.6.2	套管式包覆机头	327			
15.7	片材挤出机头	327			

# 绪 论

## 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,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。不论经济繁荣时期还是经济萧条时期模具工业都不可缺。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,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内地转移,我国的汽车、电子、通讯、电器、仪器和家电等相关产业得以飞速发展。而这些领域的产品85%以上都是靠模具成型,这势必带动模具行业的迅猛发展。目前,我国模具行业总产值已达到360亿元,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提高。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,且增长势头迅猛,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机床和设备的研制和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了良好的发展契机。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。我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。

## 1. 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,它是型腔模的一种类型。塑料成型工业是新兴的工业,并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,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经历了这些阶段。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,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,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的日益增加,这些产品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密切相关。在这三项要素中,塑料成型模具的质量最为关键,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,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成败是关键,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、玻璃模等其他模具约占10%,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齐驾并驱的“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的发展,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对本国经济的影响日益重要。

## 2. 塑料成型技术的发展趋势

目前为止,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工夫,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出发,设计与制造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

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,借助计算机完成传统模具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,图纸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,图纸将被简化,甚至最终消失。近年来,CAD技术发展主要有以下特点:

① 模具 CAD 技术及其应用日趋成熟 发达国家机械制造业中 CAD 覆盖率超过 60%,十分注重 CAD 专业应用软件的开发。模具 CAD/CAM 技术日益深入人心,并且发挥着越来越重要的作用。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 Pro—E、UG II、CADSS5 软件等。随着计算机技术突飞猛进的发展,新一代 CAD/CAM 软件(如 Solidworks、Solidage)已崭露头角,并深得用户好评。这些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,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,它可用于逆向设计、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,使得制造资源得到最优发挥。

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着十分重要的作用。澳大利亚 Moldflow 公司的三维真实感流动模拟软件 MoldflowAdvisers 已经受到用户广泛的好评。国内研制的同类软件有华中理工大学的 HSC3D4.5F 及郑州工业大学的 Z—mold 也正在推广和应用。

在今后一段时期内,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

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(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的开发研制。该项先进制造技术在国内少数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。

### (3) 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现代模具成型技术,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。

### (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设计与制造中是涉及模具加工工艺、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,开发研制出了具有良好使用性能和加工性能、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。该技术在国内外许多热处理中心和一些大型模具企业已经得到应用并且正在进一步推广。模具表面处理除完善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

模具标准化的水平在某种意义上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/\* 4169.1—1984~GB/\* 4169.12—1984 是塑料模的 12 个技术条件的标准。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。

但是,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重要任务。

### (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件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。

#### (7) 采用高速数控铣削技术

近年来,在塑料模型腔和型芯的铣削加工方面,高速(每分钟 1~4 万转)数控铣削机床已经在许多模具企业中得到应用并且正在进一步推广。这是因此高速切削加工和常规切削加工相比,有以下方面的特点和显著的优越性,使得这种先进的切削设备和切削技术越来越引起人们的关注:高速切削加工比常规切削加工单位时间材料切除率可提高 3~6 倍,从而提高了生产率和设备利用率;和常规切削加工相比,高速切削加工的切削力至少降低 30%,这对于加工刚性较差的零件(如薄壁件、细长轴等)来说,可以减少加工变形,提高零件加工精度,有利于延长刀具使用寿命,通常刀具耐用度可提高约 70%;在高速切削加工过程中,95% 以上的切削过程所产生的热量被切屑带离工件,工件积聚热量极少,零件不会由于温升导致翘曲或膨胀变形;高速切削加工允许使用较高的进给率(比常规切削加工提高 5~10 倍),可大大提高加工效率,缩短生产周期;应用高主轴转速、高进给速度的高速切削加工,其激振频率特别高,已远远超出机床-工件-刀具系统的固有频率范围,使加工过程平稳、振动较小,可以实现高精度、低粗糙度加工,高速切削加工获得的工件表面质量几乎可与磨削加工相比,因此可直接作为最后一道精加工工序。此外,高速切削加工还可增加机床结构稳定性和获得良好的技术经济效益。目前,高速铣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,特别是对汽车、家电行业中大型型腔模具制造注入了新的活力。

### 3. 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。注射模通常适合于热塑性塑料的成型,目前部分热固性塑料也可以采用该方法成型。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。成型所使用的设备是塑料成型压力机,是热固性塑料通常采用的成型方法之一。与塑料注射成型相比,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

挤出模是安装在挤出机料筒端部进行生产的,因此也称为挤出机头。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气动成型。

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。



塑料是以高分子聚合物(树脂)为主要成分的物质,高分子聚合物也称高聚物。要了解塑料的性能和特点,研究塑料成型工艺,正确设计塑料成型模具,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。

## 1.1 高分子聚合物的结构特点

任何物质的性质都是由结构决定的,高分子材料也不例外。为了改进高分子材料的某种性能,首先从改变其结构入手。高分子材料结构与性能间的关系是确定其加工成型工艺的依据。更好地了解高聚物的结构与物理性能的关系,就可以正确地选择和使用成型材料,改进成型材料性能,合成新的成型材料,从而进行塑料成型工艺的研究。

高聚物的结构是非常复杂的,在早期由于受生产和科学技术水平的限制和认识上的错误理解,曾把高分子看成是小分子的简单堆积。随着高分子工业的发展及近代科学技术的进步,人们对高分子结构的探究也在不断深化。

### 1.1.1 高分子与低分子

一切物质都是由分子构成,而分子又是由原子构成。无论是有机物单体还是无机物,它们分子中的原子数都不是很多,从几个到几百个不等。例如,氧分子 $O_2$ 由2个原子组成,相对分子质量32;酒精分子 $C_2H_5OH$ 由9个原子组成,相对分子质量46;而一种比较复杂的有机物三硬脂酸甘油酯,其分子 $C_{57}H_{110}O_6$ 中也不过只有173个原子,其相对分子质量890。无论多么复杂的单体化合物,其所含原子数最多也不过几百个,它们都属于低分子化合物。而高聚物就比较复杂了,高聚物的大分子是由很大数目( $10^3 \sim 10^5$ 数量级)的结构单元组成的。每一结构单元相当于一个小分子。这些结构单元可以是一种(均聚物),也可以是几种(共聚物),它们以共价键相连接,形成线型分子、支化分子(带有支链的线型分子)或网状分子。一个聚合物分子中含有成千上万甚至几十万原子。例如,尼龙大分子中,大约有4千个原子,相对分子质量为2.3万左右。天然橡胶分子中含有5~6万个原子,相对分子质量大约为40万。从相对分子质量来看,低分子化合物的相对分子质量只有几十到几百,而高聚物的相对分子质量比低分子化合物高得多。由于聚合物的高分子含有很多原子,相对分子质量很高,分子是很长的巨型分子,因此使得聚合物的热力学性能、流变学性质、成型过程中的流动行为和物理及化学变化等方面有其自身的特点。