

“十二五”普通高等教育本科规划教材

祁红志 主编

模具制造工艺

第二版



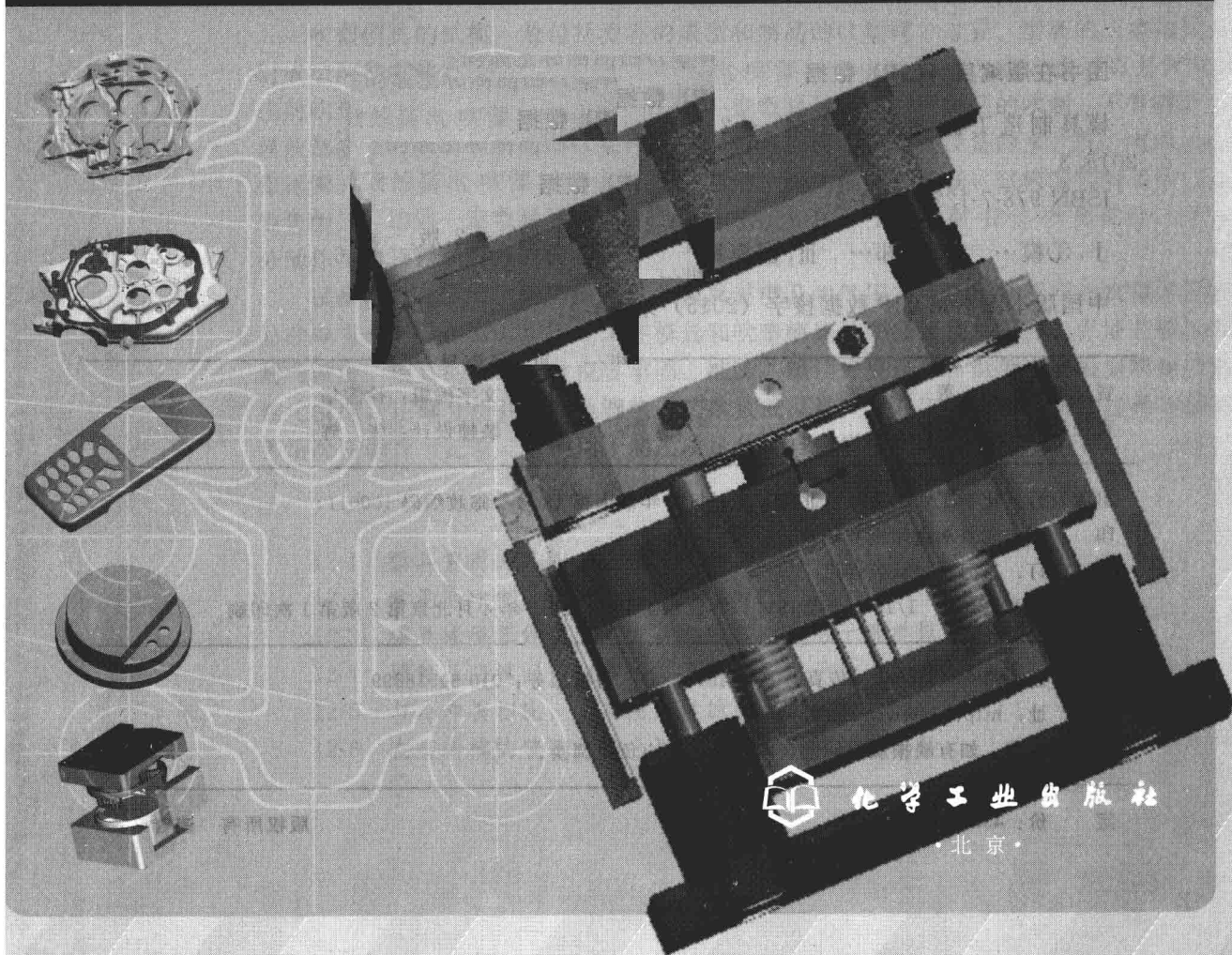
化学工业出版社

“十二五”普通高等教育本科规划教材

祁红志 主编

模具制造工艺

第二版



本书较为系统、全面地论述了模具制造工艺，主要包括模具制造工艺规程；模具材料及热处理；模具零件的机械加工；模具零件的精密加工；模具数控加工；模具特种加工；模具表面加工与处理技术；模具快速成型加工；其他模具制造新技术简介；典型模具制造工艺；典型模具的装配与调试。本书在编写上力图适应模具制造技术的发展，体现教学改革和课程建设的成果，内容上注重系统性、实用性和新颖性。

本书可作为高等院校机械类、材料工程类专业本科生的教材，亦可作为高职高专相关专业的教材，还可作为模具行业入门的自学、培训教材，并可供有关工程技术人员、工人和管理人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

模具制造工艺/祁红志主编. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2015. 3

ISBN 978-7-122-22781-2

I. ①模… II. ①祁… III. ①模具-制造-生产工艺 IV. ①TG760.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 008804 号

责任编辑: 杨 菁 李玉晖

文字编辑: 徐雪华

责任校对: 吴 静

装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19 1/2 字数 504 千字 2015 年 4 月北京第 2 版第 1 次印刷

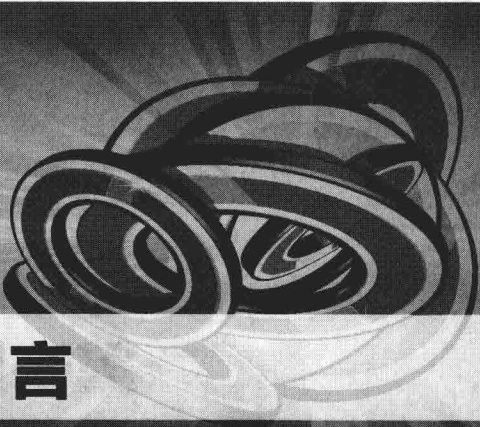
购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 43.00 元

版权所有 违者必究



前言

本书依据教育部颁布的本科专业目录,为满足高等教育教学改革与教材建设的需要,适应近年来模具制造技术的发展,培养急需的应用型人才而编写。

《模具制造工艺》(第一版)自2009年出版发行以来,经过众多院校的教学实践检验,相关专家和使用者优先认为该书理论严谨、内容丰富、重点突出、特色鲜明,并获2010年中国石油和化学工业优秀出版物(教材奖)二等奖;获2011年常州大学精品教材奖。

本书在第一版基础上,总结了5年教学实践的经验,汲取了使用该教材院校提出的建设性意见,并根据专业技术的发展需要,对内容进行了必要的增删完善,修改了第1版中的不妥之处。

本书针对培养应用型人才的要求,突出应用性和针对性,旨在使学生掌握模具制造的基本理论和常规工艺,了解先进模具制造技术及发展趋势,注重培养学生的实际工艺分析能力,使学生能通过正确地分析设计资料来选择工艺方法,确保加工的质量、效率和成本,同时从设计、设备、材料和工艺等全方位考虑问题,寻求工艺设计的整体优化;注重实用性,通过典型的工程实例和实用的工程方法,来增强学生的工程意识,并使学生能间接地获取一定的工程经验。

参加本书编写的有:常州大学祁红志(编写第1章,第2章,第4章,第5章,第7章,第11章,第12章),朱小蓉(编写第6章,7.2.3),常州工学院沈洪雷(编写第3章,第8章,第9章,第10章)。本书由祁红志担任主编,沈洪雷、朱小蓉任副主编,参加编写的还有部分其他院校老师。全书由祁红志负责统稿和定稿。

本书在编写过程中,得到了常州大学的有关领导和同行们的大力支持和帮助,在此表示衷心感谢。

限于编者水平,书中不足之处在所难免,敬请专家、同仁和广大读者批评指正,以便今后改正。

编者

2014年11月于常州



第一版前言

本书是材料成型及控制工程专业（模具方向）的专业教材。内容上在满足本专业的课程教学大纲的前提下，兼顾其他相关专业选修课需要，亦可供有关工程技术人员参考。

本书针对培养应用型人才的要求，突出应用性和针对性，旨在使学生掌握模具制造的基本理论和常规工艺，了解先进模具制造技术及发展趋势，注重培养学生的实际工艺分析能力，使学生能通过正确地分析设计资料来选择工艺方法，确保加工的质量、效率和成本，同时从设计、设备、材料和工艺等全方位考虑问题，寻求工艺设计的整体优化；注重实用性，通过典型的工程实例和实用的工程方法，来增强学生的工程化意识，并使学生能间接地获取一定的工程经验。

本教材与以往同类教材相比有以下特点：

（1）内容新：介绍近几年冷冲模、塑料模制造技术的最新变化，充分反映模具标准化和专业化、加工设备数控化、设计制造智能化和自动化的发展趋势。

（2）取材有详有简：常规机械加工从简，数控加工、精密加工、特种加工、新工艺新技术详述。

（3）内容丰富，系统完整，重点突出，便于教学。

（4）编入了许多取自生产实践的具有参考价值的实例。

书中各章后均附有一定量的习题，供教学使用。

参加本书编写的有：江苏工业学院祁红志（编写第1章，第2章，第5章，第7章，第11章，第12章），朱小蓉（编写第6章，7.2.3），施昱（编写第4章），常州工学院沈洪雷（编写第3章，第8章，第9章，第10章）。由祁红志担任主编，沈洪雷、朱小蓉、施昱任副主编。全书由祁红志负责统稿和定稿。

本书在编写过程中，得到了江苏工业学院的有关领导和同行们的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢。

限于作者的水平，书中难免有不妥之处，敬请专家、同仁和广大读者批评指正。

编者

2008年12月



1 绪论	1
1.1 模具制造技术的发展	1
1.1.1 模具工业在现代化生产中的作用及地位	1
1.1.2 我国模具技术的发展	2
1.1.3 模具技术的发展趋势	4
1.2 模具的类型	6
1.3 模具制造的特点及基本要求	6
1.3.1 模具制造的特点	6
1.3.2 模具制造的基本要求	7
1.4 模具的技术经济指标	8
1.4.1 模具的精度和刚度	8
1.4.2 模具的生产周期	8
1.4.3 模具的生产成本	9
1.4.4 模具寿命	9
1.5 本课程的性质、任务和学习方法	10
习题	10
2 模具制造工艺流程	11
2.1 模具制造工艺流程编制	11
2.1.1 基本概念	11
2.1.2 工艺规程制订的原则和步骤	14
2.1.3 模具零件的工艺分析	16
2.1.4 毛坯设计	18
2.1.5 定位基准的选择	20
2.1.6 零件工艺路线分析与拟订	27
2.1.7 加工余量与工序尺寸的确定	33

2.1.8 工艺装备的选择	43
2.2 模具制造精度分析	43
2.2.1 概述	43
2.2.2 影响零件制造精度的因素	44
2.3 模具机械加工表面质量	51
2.3.1 模具零件表面质量	51
2.3.2 影响表面质量的因素及改善措施	52
习题	58
3 模具材料及热处理	60
3.1 热处理的基本概念	60
3.1.1 普通热处理	60
3.1.2 表面热处理	62
3.1.3 特殊热处理	63
3.2 模具材料的基本性能要求	63
3.2.1 常规力学性能要求	63
3.2.2 特殊性能要求	65
3.3 模具常用钢及其化学成分	66
3.3.1 塑料模具常用钢及其化学成分	66
3.3.2 冲压模具常用钢及其化学成分	69
3.3.3 压铸模具常用钢及其化学成分	72
3.4 模具常用钢的热处理规范	73
3.4.1 塑料模具专用钢的热处理规范	73
3.4.2 冷冲压模具常用钢的热处理规范	78
3.4.3 压铸模具常用钢的热处理规范	81
习题	84
4 模具零件的机械加工	85
4.1 车削加工	85
4.1.1 车削加工工艺范围	85
4.1.2 工件的定位方式	86
4.1.3 车削在模具加工中的应用	86
4.2 铣削加工	87
4.2.1 铣削加工工艺范围	87
4.2.2 工件的定位方式	87
4.2.3 铣削在模具加工中的应用	87
4.3 刨削加工	88
4.3.1 刨削加工工艺范围	88

4.3.2 刨削加工工艺特点	88
4.4 钻削与铰削加工	88
4.4.1 钻削加工	88
4.4.2 铰削加工	89
4.5 磨削加工	89
4.5.1 平面磨削	89
4.5.2 外圆磨削	90
习题	90
5 模具零件的精密加工	91
5.1 坐标镗床与坐标磨床加工	91
5.1.1 坐标镗床加工	91
5.1.2 坐标磨床加工	92
5.1.3 坐标尺寸换算	94
5.2 成型磨削	95
5.2.1 概述	95
5.2.2 成型砂轮磨削法	95
5.2.3 夹具磨削法	98
5.2.4 成型磨削工艺尺寸的换算	100
5.2.5 光学曲线磨床磨削	100
习题	102
6 模具数控加工	103
6.1 数控加工技术	103
6.1.1 数控加工基本概念	103
6.1.2 数控机床的工作原理与分类	103
6.1.3 数控加工的特点与应用	105
6.2 数控加工程序编制基础	106
6.2.1 程序编制的基本步骤与方法	106
6.2.2 数控机床的坐标系	106
6.2.3 数控加工程序的结构与格式	108
6.2.4 数控加工程序的指令代码	108
6.2.5 手工编程与自动编程	111
6.3 数控加工的程序编制	112
6.3.1 数控铣削加工	112
6.3.2 加工中心切削加工	120
6.4 计算机辅助制造	124
6.4.1 CAM技术的应用情况	124

6.4.2 模具 CAM 技术的应用实例	124
习题	129
7 模具特种加工	130
7.1 模具电火花成型加工	130
7.1.1 电火花成型加工的基本原理	130
7.1.2 模具电火花加工的特点及应用范围	131
7.1.3 电火花成型加工的设备	132
7.1.4 电火花加工的基本工艺规律	133
7.1.5 模具电火花加工工艺	135
7.2 模具电火花线切割加工	145
7.2.1 概述	145
7.2.2 线切割加工工艺参数的选择	147
7.2.3 数字程序编制	149
7.2.4 模具电火花线切割加工工艺	153
7.3 模具电化学加工	156
7.3.1 电化学加工的基本原理及其应用范围	156
7.3.2 模具电解加工	156
7.3.3 模具电铸成型	159
7.4 模具超声波加工与激光加工	160
7.4.1 模具的超声波加工	160
7.4.2 模具的激光加工	161
习题	162
8 模具表面加工与处理技术	164
8.1 模具表面光整加工	164
8.1.1 光整加工的特点与分类	164
8.1.2 研磨加工	164
8.1.3 抛光加工	165
8.1.4 其他光整加工方法	171
8.2 电镀与化学镀技术	171
8.2.1 电镀基本原理与工艺	171
8.2.2 单金属电镀与复合电镀	173
8.2.3 化学镀原理与工艺	176
8.2.4 化学镀应用	176
8.3 表面蚀刻技术	177
8.3.1 光化学蚀刻技术	177
8.3.2 高能束蚀刻技术	180

8.4 热扩渗技术	180
8.4.1 热扩渗的基本原理与分类	180
8.4.2 气体热扩渗工艺及应用	181
8.4.3 固体热扩渗工艺及应用	184
8.5 高能束技术	186
8.5.1 激光表面处理	186
8.5.2 电子束表面处理	187
8.5.3 离子束表面处理	188
8.6 气相沉积技术	189
8.6.1 物理气相沉积	189
8.6.2 化学气相沉积	190
习题	191
9 模具快速成型加工	192
9.1 模具快速成型加工的基本原理	192
9.1.1 快速成型加工概述	192
9.1.2 快速成型加工的基本原理与基本过程	192
9.1.3 快速成型加工的特点	193
9.2 快速成型加工的方法	193
9.2.1 立体印刷成型	193
9.2.2 层合实体制造	194
9.2.3 选区激光烧结	194
9.2.4 熔融沉积制造	195
9.2.5 典型快速成型加工方法的比较与选用	195
9.2.6 快速成型加工对精度的影响	196
9.2.7 快速成型加工在模具制造中的应用	196
习题	199
10 其他模具制造新技术简介	200
10.1 并行工程	200
10.1.1 并行工程的提出	200
10.1.2 并行工程的关键技术	201
10.1.3 模具制造并行工程的实施	203
10.2 逆向工程	204
10.2.1 逆向工程的产生	204
10.2.2 逆向工程的应用	205
10.2.3 数据采集	205
10.2.4 后处理及逆向工程技术在模具制造中的应用	206

10.3 网络化制造	208
10.3.1 网络化制造简述	208
10.3.2 模具网络化制造	209
习题	210
11 典型模具制造工艺	211
11.1 模具常用零件制造工艺	211
11.1.1 导向机构零件的制造	211
11.1.2 模板类零件的加工	215
11.1.3 滑块的加工	222
11.2 冷冲模制造工艺	227
11.2.1 凸模、凹模的结构特点和技术要求	227
11.2.2 冲裁模凸模的制造工艺过程	228
11.2.3 冲裁模凹模的制造工艺过程	231
11.2.4 冷冲模结构的工艺性	234
11.3 塑料模制造工艺	237
11.3.1 塑料模具成型零件的加工	237
11.3.2 塑料注射模具制造工艺要点	243
11.3.3 塑料压缩模具制造工艺要点	245
11.3.4 塑料吹塑模具制造工艺要点	246
11.3.5 塑料挤出模具制造工艺要点	247
11.3.6 塑料热成型模具制造工艺要点	248
11.4 压铸模的制造	249
11.4.1 压铸模技术要求	249
11.4.2 压铸模的制造	249
11.5 简易模具制造工艺	250
11.5.1 低熔点合金模具	251
11.5.2 锌基合金模具	252
习题	254
12 典型模具的装配与调试	255
12.1 概述	255
12.1.1 模具装配的特点、内容及精度要求	256
12.1.2 装配尺寸链	256
12.1.3 模具装配的工艺方法	257
12.2 模具零件的固定方法	261
12.2.1 紧固件法	261
12.2.2 压入法	261

12.2.3	铆接法	262
12.2.4	热套法	262
12.2.5	焊接法	262
12.2.6	低熔点合金法	263
12.2.7	黏结法	263
12.3	间隙(壁厚)的控制方法	265
12.4	冷冲模的装配	266
12.4.1	冲压模具装配的技术要求	266
12.4.2	模架的装配	267
12.4.3	冲裁模的装配	272
12.4.4	复合模的装配	275
12.4.5	级进模的装配	276
12.4.6	其他冲模装配特点	280
12.5	冲压模具的调试	281
12.5.1	冲模试模与调整的目的	281
12.5.2	冲裁模的调整要点	281
12.5.3	弯曲模的调整与试冲	282
12.5.4	拉深模的调整与试冲	282
12.6	塑料模的装配	283
12.6.1	塑料模的装配顺序	283
12.6.2	组件的装配	284
12.6.3	塑料模总装配程序	290
12.6.4	塑料模装配实例	291
12.6.5	其他塑料模具的装配要点	294
12.7	塑料模具的试模	295
12.7.1	注射模具的试模	295
12.7.2	压缩模具的试模	297
12.7.3	挤出模具的试模	298
12.7.4	吹塑模具的试模	299
	习题	299

参考文献	300
-------------	------------



1.1 模具制造技术的发展

1.1.1 模具工业在现代化生产中的作用及地位

模具是制造业的重要基础工艺装备。它以其特定的形状通过一定的方式使原材料成型。用模具生产制件所达到的高精度、高复杂程度、高一致性、高生产率和低耗能、低耗材，使模具工业在制造业中的地位越来越重要。美国工业界认为“模具工业是美国工业的基石”；日本称模具工业为“进入富裕社会的原动力”；德国给模具工业冠之以“金属加工业中的帝王”称号；欧盟一些国家称“模具就是黄金”；新加坡则把模具工业作为“磁力工业”；国内也将模具工业称为“永不衰亡的工业”、“点铁成金的行业”、“无与伦比的效益放大器”等。可见，模具工业在各国经济发展中所具有的重要地位，模具技术已成为衡量一个国家产品制造水平的重要标志之一，没有高水平的模具就没有高水平的产品已成为共识。

近年来，全球制造业正以垂直整合的模式向亚太地区转移，我国正成为世界制造业的重要基地。据权威报告，中国已成为世界第一制造大国。作为产品制造的重要工艺装备，国民经济基础工业之一的模具工业将直面竞争的第一线。“十五”规划指出，模具是工业生产的基础工艺装备，国民经济的五大支柱产业——机械、电子、汽车、石化、建筑都要求模具工业的发展与之相适应。模具因其生产效率高、产品质量好、材料消耗低、生产成本低而获得广泛应用，这是其他加工制造业所无法比拟的。模具是现代工业，特别是汽车、摩托车、航空、仪表、仪器、医疗器械、电子通信、兵器、家用电器、五金工具、日用品等工业必不可少的工艺装备。据资料统计，利用模具制造的零件数量，在飞机、汽车、摩托车、拖拉机、电机、电器、仪器仪表等机电产品中占80%以上；在电脑、电视机、摄像机、照相机、录像机等电子产品中占85%以上；在电冰箱、洗衣机、空调、电风扇、自行车、手表等轻工业产品中占90%以上；在子弹、枪支等兵器产品中占95%以上。

我国加入WTO以后，各行业产品的品种和数量不断增加，换型加快，对产品质量、样式和外观也不断提出新要求，致使模具需求量增加，对模具的质量要求也越来越高，因此，迅速提高模具技术水平已成为当务之急。例如，日本汽车、计算机、电视机、手机等产品的品种、数量、质量在国际市场占有优势地位，其重要原因之一就是日本模具技术居于世界领

先水平。从资料获悉,目前,美国、日本、德国等发达国家的模具总产值都已超过机床总产值。模具技术的进步极大地促进了工业产品的发展,模具是“效益放大器”,用模具生产的最终产品的价值将超过模具自身价格的几十倍乃至上百倍、上千倍。

1.1.2 我国模具技术的发展

模具属于边缘科学,它涉及机械设计制造、塑性加工、铸造、金属材料及其热处理、高分子材料、金属物理、凝固理论、粉末冶金、塑料、橡胶、玻璃等诸多学科、领域和行业。从起步到现在,我国模具工业经历了半个多世纪的发展,已有了较大的提高,与国外的差距正在进一步缩小。纵观我国的模具工业,既有高速发展的良好势头,又存在精度低、结构欠合理、寿命短等一系列不足,无法满足整个工业迅速发展的迫切要求。

中国虽然在很早以前就制造模具和使用模具,但一直未形成产业。由于长期以来模具制造一直作为保证企业产品生产的手段被视为生产后方,因此一直发展缓慢。1984年成立了中国模具工业协会,1987年模具首次被列入机电产品目录,当时全国共有生产模具的厂点约6000家,总产值约30亿元。随着中国改革开放的日益深入,市场经济进程的加快,模具及其标准件、配套件作为产品,制造生产的企业大量出现,模具产业得到快速发展。在市场竞争中,企业的模具生产技术提高很快,规模不断发展,提高很快。1988年至1992年,国家委托中国模协和机械院在全国范围内组织了上百个模具企业和有关科研单位、大专院校,共同对模具关键技术进行攻关,取得了丰硕成果。这些成果主要有:冲压模具的设计制造技术、塑料模具的设计制造技术、铸压模具的设计制造技术、锻造模具的设计制造技术、模具表面处理技术、模具材料、模具计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)技术、模具标准件、模具加工关键设备、模具寿命研究等方面。由于这些成果的取得及推广应用,使中国模具技术前进了一大步。“七五”后期与“八五”期间,国家为模具工业加大了投入,分批分期改造了一批具有特色专长的专业模具厂和模具标准件厂,引进了一大批模具加工关键设备及精密塑料模、级进模、精冲模等设计制造技术。这对提高中国模具技术及生产水平起到了推动作用。同时,许多大专院校开始设立模具专业,由前联邦德国和日本援建及中国自己投资兴办的模具技术培训中心也陆续建立,模具技术发展及技术工人的培养开始步入轨道。1989年国家在华中理工大学成立了“塑性成型模拟及模具技术国家重点实验室”,其主要研究方向为模具CAD/CAE/CAM和新型模具材料。“八五”期间,国家对模具技术的发展采用“重点企业技术开发项目”的方式进行支持。“精密多工位级进模”、“大型复杂锻造模、压铸模”和“塑料注射具设计制造技术”三个项目被列入“大型精密模具设计制造技术”国家重点项目,项目实施后都通过了鉴定,达到了目标,使中国模具设计制造技术又前进了一大步。

20世纪90年代以来,中国在汽车行业的模具设计制造中开始采用CAD/CAM技术。国家科委“863”计划将东风汽车公司作为CIMS应用示范点,由华中理工大学作为技术依托单位,开发了汽车车身与覆盖件模具CAD/CAM软件系统,在模具和设计制造中得到了实际应用,取得显著效益。现在,吉林大学和湖南大学也成功地开发出了汽车覆盖件模具的CAD/CAE系统,并达到了较高水平,在生产中得到应用,收到良好效果。1994年,国家在上海交通大学建立了模具CAD国家工程研究中心,在郑州工学院建立了橡塑模具国家工程研究中心,使中国模具CAD/CAE/CAM研究、开发和应用工作得到了进一步发展,新的成果不断出现。由于CAD/CAE/CAM的应用,特别是20世纪80年代开始中国许多模具制造厂从国外引进了许多软件,包括冲压模、级进模、塑料模、压铸模、橡胶模、玻璃模、挤压模等相应软件,使中国模具设计制造水平有很大提高,也产生了较大的经济技术和社会效益。但由于人才缺乏和基础工作较差,引进的软件未能很好应用及发挥其应有的效益现象普

遍存在,这是今后应十分重视和有待解决的问题。

现在,中国已能生产精度达到 $2\mu\text{m}$ 的多工位级进模,寿命可达 2 亿冲次以上。在大型塑料模具方面,中国已能生产 34 英寸大屏幕彩电和 65 英寸背投式电视的塑壳模具、10kg 大容量洗衣机全套塑料件模具及汽车保险杠、整体仪表板等塑料模具。在精密塑料模具方面,中国已能生产照相机塑料件模具、多型腔小模数齿轮模具及精度达 $5\mu\text{m}$ 的 2560 腔塑封模具等。在大型精密复杂压铸模方面,国内已能生产自动扶梯整体踏板压铸模和汽车后桥齿轮箱压铸模及汽车发动机壳体的铸造模具。在汽车覆盖件模具方面,国内已能生产中高档新型轿车的部分覆盖件模具。子午线轮胎活络模具、铝合金和塑料门窗异型材挤出成型模、精铸或树脂快速成型拉延模等,也已达达到相当高的水平,可与进口模具媲美。

目前,我国模具总量虽然已达到相当大的规模,模具水平也已有了很大提高,但设计制造水平在总体上要比德、美、日、法、意等工业发达国家落后许多,也要比加拿大、英国、西班牙、葡萄牙、韩国、新加坡等国落后。存在的问题和差距主要表现在下列 5 个方面。

(1) 总量供不应求,国内的模具自配率只有 70% 左右。其中中低档模具供过于求,中高档模具自配率只有 50% 左右。

(2) 企业组织结构、产品结构、技术结构和进出口结构都不合理。我国模具生产厂点中多数是自产自配的工模具车间(分厂),自产自配比例高达 60% 左右,而国外 70% 以上是商品模具。国内专业模具厂大多数是“大而全”、“小而全”的组织形式,而国外大多是“小而专”、“小而精”。国内模具总量中,属大型、精密、复杂、长寿命模具的比例不足 30%,而国外在 50% 以上。进出口之比 2004 年为 3.7 : 1,进出口相抵后的净进口达 13.2 亿美元,为净进口量最大的国家。

(3) 模具产品水平要比国际水平低许多,而许多模具的生产周期却要比国际水平长。产品水平低主要表现在模具的精度、型腔表面粗糙度、寿命及结构等方面。

(4) 开发能力较差,经济效益欠佳。我国模具企业技术人员比例低,水平也较低,不重视产品开发,在市场经济中常处于被动地位。我国模具企业每个职工平均每年创造模具产值约合 1 万美元,国外模具工业发达国家大多为 15 万~20 万美元,有的达到 25 万~30 万美元,随之而来的是我国模具企业经济效益差,大都微利,缺乏后劲。

(5) 与国际水平相比,模具企业的管理落后更甚于技术落后。技术落后易被发现,管理落后易被忽视。国内许多模具企业还沿用过去作坊式管理模式,真正实现现代化企业管理的还不多。造成上述差距的原因很多,除了历史上长期以来未将模具作为产品得到应有的重视以及多数国有企业机制仍不能适应市场经济之外,还有下列几个主要原因。

① 人才严重不足,科研开发及技术攻关方面投入太少。模具行业是技术密集、资金密集、劳动密集的产业,随着时代的进步和技术的发展,能掌握和运用新技术的人才异常短缺,高级模具钳工及企业管理人才也非常紧缺。由于模具企业效益欠佳及对科研开发和技术攻关不够重视,因而总体来看模具行业在科研开发和技术攻关方面投入太少,致使科技进步的步伐不大,进展不快。

② 工艺装备水平低,且配套性不好,利用率低。近年来我国机床行业进步较快,已能提供比较成套的高精度加工设备,但与国外装备相比,仍有较大差距。虽然国内许多企业已引进不少国外先进设备,但总的来看装备水平仍比国外企业落后许多,特别是设备数控率和 CAD/CAM 应用覆盖率要比国外企业低得多。由于体制和资金等方面原因,引进设备不配套、设备与附配件不配套现象十分普遍,设备利用率低的问题长期得不到较好解决。

③ 专业化、标准化、商品化的程度低,模具企业之间协作差。由于长期以来受“大而全”“小而全”影响,模具专业化生产水平低,专业化分工不细,商品化程度也低。目前国

内每年生产的模具,商品模具只占40%左右,其余为自产自用。模具企业之间协作不好,难以完成较大规模的模具成套任务。与国际水平相比要落后许多。模具标准化水平低,模具标准件使用覆盖率低也对模具质量、成本有较大影响,特别是对模具制造周期有很大影响。

④ 模具材料及模具相关技术落后。模具材料性能、质量和品种问题往往会影响模具质量、寿命及成本,国产模具钢与国外进口钢相比有较大差距。塑料、板材、设备等性能差,也直接影响模具水平的提高。

1.1.3 模具技术的发展趋势

(1) 模具 CAD/CAE/CAM 正向集成化、三维化、智能化和网络化方向发展

① 模具软件功能集成化。模具软件功能的集成化要求软件的功能模块比较齐全,同时各功能模块采用同一数据模型,以实现信息的综合管理与共享,从而支持模具设计、制造、装配、检验、测试及生产管理的全过程,达到实现最佳效益的目的。集成化程度较高的软件还包括:Pro/E、UG 和 CATIA 等。

② 模具设计、分析及制造的三维化。传统的二维模具结构设计已越来越不适应现代化生产和集成化技术要求。模具设计、分析、制造的三维化、无纸化要求新一代模具软件以立体的、直观的感觉来设计模具,所采用的三维数字化模型能方便地用于产品结构的 CAE 分析、模具可制造性评价和数控加工、成型过程模拟及信息的管理与共享。

③ 模具软件应用的网络化趋势。随着模具在企业竞争、合作、生产和管理等方面的全球化、国际化,以及计算机软硬件技术的迅速发展,模具软件应用的网络化的发展趋势是使 CAD/CAE/CAM 技术跨地区、跨企业、跨院所在整个行业中推广,实现技术资源的重新整合,使虚拟设计、敏捷制造技术成为可能。

(2) 模具检测、加工设备向精密、高效和多功能方向发展

① 模具向着精密、复杂、大型的方向发展,对检测设备的要求越来越高。目前国内厂家使用较多的有意大利、美国、日本等国的高精度三坐标测量机,并具有数字化扫描功能。实现了从测量实物→建立数学模型→输出工程图纸→模具制造全过程,成功实现了逆向工程技术的开发和应用。

② 数控电火花加工机床。日本沙迪克公司采用直线电机伺服驱动的 AQ325L、AQ550LLS-WEDM 具有驱动反应快、传动及定位精度高、热变形小等优点。瑞士夏米尔公司的 NCEDM 具有 P-E3 自适应控制、PCE 能量控制及自动编程专家系统。另外有些 EDM 还采用了混粉加工工艺、微精加工脉冲电源及模糊控制(FC)等技术。

③ 高速铣削机床(HSM)。铣削加工是型腔模具加工的重要手段。而高速铣削具有工件温升低、切削力小、加工平稳、加工质量好加工效率高(为普通铣削加工的5~10倍)及可加工硬材料(<60HRC)等诸多优点。因而在模具加工中日益受到重视。HSM 主要用于大、中型模具加工,如汽车覆盖件模具、压铸模、大型塑料模等曲面加工。

④ 模具自动加工系统的研制和发展。随着各种新技术的迅速发展,国外已出现了模具自动加工系统,这也是我国长远发展的目标。模具自动加工系统应有如下特征:多台机床合理组合;配有随行定位夹具或定位盘;有完整的机具、刀具数控库;有完整的数控柔性同步系统;有质量监测控制系统。

(3) 快速经济制模技术的广泛应用 缩短产品开发周期是赢得市场竞争的有效手段之一。与传统模具加工技术相比,快速经济制模技术具有制模周期短、成本较低的特点,精度和寿命又能满足生产需求,是综合经济效益比较显著的模具制造技术。

快速原型制造(RPM)技术是集精密机械制造、计算机技术、NC 技术、激光成型技术

和材料科学于一体的新技术,是当前最先进的零件及模具成型方法之一。RPM 技术可直接或间接用于模具制造,具有技术先进成本较低、设计制造周期短、精度适中等特点。从模具的概念设计到制造完成仅为传统加工方法所需时间的 $1/3$ 和成本的 $1/4$ 左右。

现在是多品种、少批量生产的时代,这种生产方式占工业生产的比例达 75% 以上。一方面是制品使用周期短,品种更新快;另一方面制品的花样变化频繁,均要求模具的生产周期越快越好。因此,开发快速经济模具越来越引起人们的重视。例如,研制各种超塑性材料(环氧、聚酯等)制造(或其中填充金属粉末、玻璃纤维等)的简易模具、中、低熔点合金模具、喷涂成型模具、快速电铸模、陶瓷型精铸模、陶瓷型吸塑模、叠层模及快速原型制造模具等快速经济模具将进一步发展。快换模架、快换凸模等也将日益发展。另外,采用计算机控制和机械手操作的快速换模装置、快速试模技术也会得到发展和提高。

(4) 模具材料及表面处理技术的研究 因选材和用材不当,致使模具过早失效,大约占失效模具的 45% 以上。在整个模具价格构成中,材料所占比重不大,一般在 $20\% \sim 30\%$,因此,选用优质钢材和应用表面处理技术来提高模具的寿命就显得十分必要。对于模具钢来说,要采用电渣重熔工艺,努力提高钢的纯净度、等向性、致密度和均匀性及研制更高性能或有特殊性能的模具钢,如采用粉末冶金工艺制造的粉末高速钢等。粉末高速钢解决了原来高速钢冶炼过程中产生的一次碳化物粗大和偏析,从而影响材质的问题。其碳化物微细,组织均匀,没有材料方向性,因此,它具有韧性高、磨削工艺性好、耐磨性高、长年使用尺寸稳定等特点,特别对形状复杂的冲件及高速冲压的模具,其优越性更加突出,是一种很有发展前途的钢材。模具钢品种规格多样化、产品精细化、制品化,尽量缩短供货时间亦是重要发展趋势。

热处理和表面处理是能否充分发挥模具钢材性能的关键环节。模具热处理的主要趋势是:由渗入单一元素向多元素共渗、复合渗(如 TD 法)发展;由一般扩散向 CVD、PVD、PCVD、离子渗入、离子注入等方向发展;可采用的镀膜有:TiC、TiN、TiCN、TiAlN、CrN、Cr₇C₃、W₂C 等,同时热处理手段由大气热处理向真空热处理发展。另外,目前对激光强化、辉光离子氮化技术及电镀(刷镀)防腐强化等技术也日益受到重视。

(5) 模具研磨抛光将向自动化、智能化方向发展 模具表面的精加工是模具加工中未能很好解决的难题之一。模具表面的质量对模具使用寿命、制件外观质量等方面均有较大的影响,我国目前仍以手工研磨抛光为主,不仅效率低(约占整个模具制造周期的 $1/3$,且工人劳动强度大,质量不稳定,制约了我国模具加工向更高层次发展。因此,研究抛光的自动化、智能化是模具抛光的发展趋势。日本已研制了数控研磨机,可实现三维曲面模具研磨抛光的自动化、智能化。另外,由于模具型腔形状复杂,任何一种研磨抛光方法都有一定局限性。应发展特种研磨与抛光,如挤压研磨、电化学抛光、超声波抛光以及复合抛光工艺与装备,以提高模具表面质量。

(6) 模具标准件的应用将日渐广泛 使用模具标准件不但能缩短模具制造周期,而且能提高模具质量和降低模具制造成本。因此,模具标准件的应用必将日渐广泛。为此,首先要制订统一的国家标准,并严格按标准生产;其次要逐步形成规模生产,提高标准件质量、降低成本;再次是要进一步增加标准件规格品种,发展和完善联销网,保证供货迅速。

(7) 压铸模、挤压模及粉末锻模比例增加 随着汽车、车辆和电机等产品向轻量化发展,压铸模的比例将不断提高,对压铸模的寿命和复杂程度也将提出越来越高的要求。同时挤压模及粉末锻模比例也将有不同程度的增加,而且精度要求也越来越高。

(8) 模具工业新工艺、新理念和新模式 在成型工艺方面,主要有冲压模具多功能复合化、超塑性成型、塑性精密成型技术、塑料模气体辅助注射技术及热流道技术、高压注射成型技术等。另一方面,随着先进制造技术的不断发展和模具行业整体水平的提高,在模具行