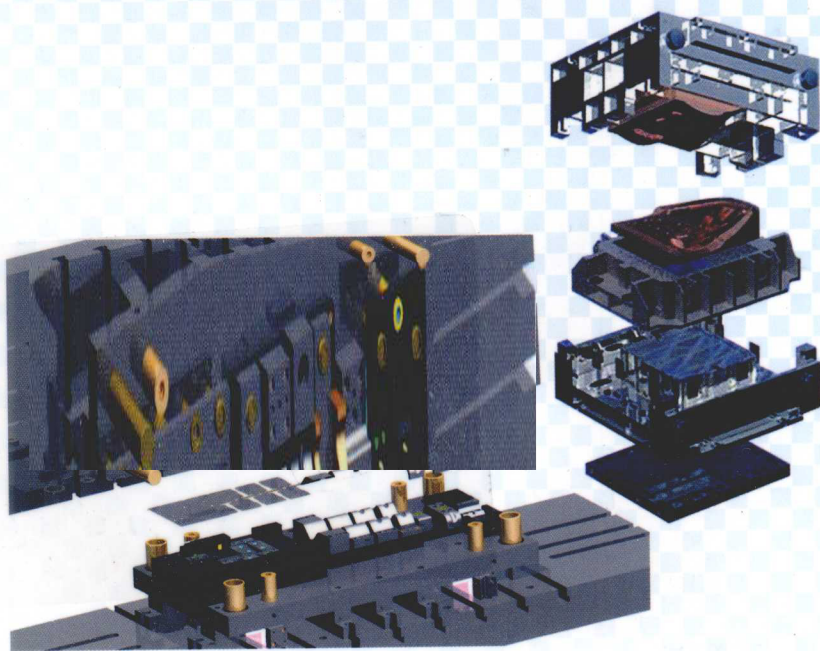




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

模具CAD基础

华中科技大学 王义林 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

模具 CAD 基础

主 编 王义林

参 编 周华民 郑志镇 王耕耘

廖敦明 王华昌

主 审 李志刚 华 林

机 械 工 业 出 版 社

本书阐述了模具 CAD 的基本理论和方法,并具体介绍了模具 CAD 系统的开发方法和功能概况。全书分三篇,第一篇介绍了模具 CAD 技术基础,包括模具 CAD 概论、产品零件造型、装配造型、产品数据交换技术等内容,并简单介绍了一些常用 CAD 系统;第二篇围绕着模具 CAD 系统开发中的一些关键技术,介绍了模具 CAD 系统的开发流程、数据处理技术、模具设计过程中的通用技术等内容,重点讲述了级进模 CAD 系统、汽车覆盖件模具 CAD 系统和塑料注射模具 CAD 系统的开发;第三篇为模具 CAD 技术的应用,通过介绍 NX PDW、NX MOLDWIZARD 和自主开发的铸造 CAD 等模具 CAD 系统的应用过程,使学习者理论联系实际,掌握模具 CAD 系统的具体运用。

本书可作为高等院校材料成形及控制工程专业的教材,也可供从事模具 CAD 系统研究、开发与应用的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

模具 CAD 基础/王义林主编. —北京:机械工业出版社, 2011.6
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-111-34330-1

I. ①模… II. ①王… III. ①模具 - 计算机辅助设计 - 高等学校 - 教材 IV. ①TG76 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 075907 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:冯春生 责任编辑:冯春生 丁昕祯 版式设计:张世琴

责任校对:李秋荣 责任印制:乔 宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2011 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17.5 印张 · 431 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-34330-1

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

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

作为汽车、航空航天、家电、电子、机械等制造业的基础工艺装备，模具的设计制造水平是衡量一个国家制造业水平的重要标志。它不仅影响着相关行业产品开发的质量、性能和更新换代的速度，同时还将直接制约着制造业的创新能力。为此，早在 20 世纪 70 年代，一些工业发达国家即开始研究与应用计算机技术解决模具设计制造中的问题，开发出一些面向模具的 CAD/CAE/CAM 技术和系统。我国在 20 世纪 80 年代初才开始这方面的研究工作，几十年来已取得了不少的成果。目前，随着模具设计制造要求的不断提高，以及计算机、网络、CAD、CAM、CAE 等技术的快速发展，全面采用数字化技术进行模具的设计制造，已成为模具技术发展的必然趋势。

虽然 CAD/CAM 技术已普遍开始应用，但在模具设计与制造方面，由于通用 CAD 软件不能完全满足模具设计的需要，而模具专用软件系统尚在开发完善过程中，故使模具 CAD 的应用在国内尚未普及。随着产品形状越来越复杂，模具的发展也面临着大型化、精密化、复杂化，而传统的设计方法已跟不上技术发展的需求，因此，很多模具企业为了提升自身企业的市场竞争力，而迫切希望加快模具 CAD 技术的应用，培养出更多熟练掌握模具 CAD 技术的人才。为了加速这方面人才的培养，有必要编写有关模具 CAD 的教材，供材料加工工程及相关学科专业的人员学习和掌握 CAD 技术原理及其相应软件系统的应用方法，通过与模具专业知识相结合，以解决模具企业所面临的许多工程技术问题。

编者多年来一直从事模具 CAD 技术的研究与教学工作，在冲压模 CAD 系统、注塑模 CAD 系统和铸造模具 CAD 系统等方面，积累了丰富的开发与应用经验。在本书的编写过程中，力求在阐述清楚 CAD 的基本概念与基本原理的基础上，系统地介绍模具 CAD 系统的开发技术，以及应用 CAD 技术进行模具设计的方法。为此本书既可作为高等学校的教材，也可作为模具技术人员的培训班教材。在内容安排上，本书首先全面地介绍了 CAD 技术基础的相关内容，着重介绍计算机在产品零件造型、装配造型、产品数据交换等方面的理论知识和应用技术；然后系统地介绍模具 CAD 系统的开发流程和共性技术，并以汽车覆盖件模、级进模、注塑模为对象，介绍了 CAD 系统在开发过程中所采用的一些关键技术；最后，详细介绍了几个成熟的模具 CAD 系统，使读者理解系统开发的思路，更快、更好地掌握模具 CAD 技术，并能够应用系统设计模具。

本书由华中科技大学李建军教授策划，并主持确定编写大纲，由王义林副教授主编和统稿。各章分工如下：第 1、3、4、5、6、8、10 章及第 2 章第 2.1~2.6 节由王义林编写，第 2 章 2.7 节由王耕耘编写，第 7 章由王华昌编写，第 9、12 章由郑志镇编写，第 11、13 章由周华民编写，第 14 章由廖敦明编写。在编写过程中参考了国内外许多专家学者的论著和文献资料，谨此致谢。

全书由华中科技大学李志刚教授和武汉理工大学华林教授主审，他们对本书提出了许多宝贵的建议和修改意见，特此表示感谢。

由于作者水平有限，加上模具 CAD 技术仍在不断发展之中，故书中难免有错误之处，敬请批评指正。

编 者

目 录

前言

第一篇 模具 CAD 技术基础

第 1 章 模具 CAD 概述 2

1.1 模具 CAD 的基本概念 2

1.2 模具 CAD 技术的发展历程 3

1.2.1 级进模 CAD 技术 3

1.2.2 汽车覆盖件模 CAD 技术 5

1.2.3 塑料注射模 CAD 技术 6

1.2.4 铸造模 CAD 技术 7

1.2.5 锻造模 CAD 技术 8

1.3 模具 CAD 系统的特点与关键技术 9

1.3.1 模具 CAD 系统的特点 9

1.3.2 模具 CAD 系统的关键技术 10

1.4 模具 CAD 系统的组成结构 12

1.4.1 模具 CAD 系统的硬件组成 12

1.4.2 模具 CAD 系统的软件组成 13

1.4.3 模具 CAD 系统的功能组成 14

1.5 模具 CAD 技术的发展趋势 16

1.5.1 智能设计技术 16

1.5.2 基于仿真的设计 17

1.5.3 优化设计 19

1.5.4 并行设计 20

思考题 20

第 2 章 产品零件造型 22

2.1 基本概念 22

2.2 形体的表示模式 24

2.2.1 边界表示法 (B-Rep 法) 24

2.2.2 构造体素法 (CSG 法) 26

2.2.3 CSG 和 B-Rep 混合表示 26

2.3 参数曲线与曲面建模 27

2.3.1 自由曲线和曲面的参数表示 27

2.3.2 曲线定义 28

2.3.3 曲面定义 30

2.3.4 曲线曲面生成 32

2.4 参数化设计技术 34

2.4.1 参数化模型 35

2.4.2 参数驱动法 36

2.4.3 变量几何法 38

2.5 特征造型技术 40

2.5.1 特征的定义 40

2.5.2 特征的分类 41

2.5.3 特征造型系统实现模式 41

2.5.4 基于特征的参数化造型系统 42

2.5.5 基于特征的建模方法 43

2.6 同步建模技术 45

2.6.1 简介 45

2.6.2 技术产生的背景 45

2.6.3 技术特点 47

2.7 应用实例：基于 NX 的覆盖件模具设计 51

2.7.1 设计前准备 51

2.7.2 冲压工艺设计 52

2.7.3 拉延模设计 55

思考题 59

第 3 章 装配造型 60

3.1 装配造型模式 60

3.2 装配模型的表示 60

3.3 装配约束 62

3.3.1 零件自由度分析 62

3.3.2 装配约束类型 62

3.3.3 装配约束/实体对应矩阵 64

3.3.4 装配约束规划 65

3.4 自底向上的装配建模 66

3.5 自顶向下的装配设计方法 68

3.5.1 基本概念 68

3.5.2 设计步骤 68

3.6 装配模型的简化表达 70

3.6.1 完全表达 70

3.6.2 引用集 70

3.6.3 包封 72

3.6.4 模型的选择 72

3.7 装配工程图 72

3.7.1 装配工程图的建立 73

3.7.2 装配爆炸视图	73
3.7.3 装配明细表	74
思考题	75
第4章 产品数据交换技术	76
4.1 产品数据交换接口	76
4.2 IGES 标准	77
4.3 STEP 标准	78
4.3.1 STEP 标准的特点	79
4.3.2 STEP 标准的组成	80
4.3.3 STEP 标准的应用	83
4.4 产品模型轻量化技术	84
4.4.1 产品模型轻量化数据格式	84
4.4.2 JT 数据格式	85
思考题	87
第5章 常用 CAD 系统简介	88
5.1 UG NX 软件简介	88
5.1.1 UG NX 软件的特点	88
5.1.2 NX CAD 模块介绍	88
5.2 CATIA 软件介绍	90
5.2.1 CATIA 软件的特点	91
5.2.2 CATIA CAD 模块介绍	92
5.3 Pro/E 软件介绍	94
5.3.1 Pro/E 软件的特点	94
5.3.2 Pro/E CAD 模块介绍	95
5.4 SolidWorks 软件介绍	96
5.5 Cimatron 软件介绍	98
思考题	99

第二篇 模具 CAD 系统的开发

第6章 模具 CAD 系统的开发流程 ..	102
6.1 模具 CAD 系统的支撑平台	102
6.1.1 UG NX 平台的二次开发	103
6.1.2 Pro/E 平台的二次开发	103
6.1.3 SolidWorks 平台的二次开发	103
6.1.4 CATIA 平台的二次开发	103
6.2 模具 CAD 系统的一般开发流程	104
6.3 面向功能的模具 CAD 系统开发	107
6.3.1 面向功能的模具开发过程	107
6.3.2 模具功能的划分	108
6.3.3 功能到结构的映射	109
6.3.4 功能结构单元库的生成与管理 ..	109
6.4 实例——级进模 CAD 系统开发方	

法简介	111
6.4.1 系统功能建模	111
6.4.2 系统总体设计	112
6.4.3 系统详细设计	114
思考题	116
第7章 数据处理技术	117
7.1 数表和线图的程序化处理	117
7.1.1 数表的程序化	117
7.1.2 数表的公式化	118
7.1.3 线图的程序化	121
7.2 文件系统的应用	121
7.2.1 数据文件的建立	122
7.2.2 模具 CAD 系统模块间的数据 传递	122
7.3 数据库技术及其应用	123
7.3.1 数据库系统的特点	123
7.3.2 数据库管理系统	124
7.3.3 实例——模具 CAD 系统中 BOM 表的生成	124
7.4 标准件及典型结构库	126
7.4.1 标准件的特征模型	126
7.4.2 标准件的属性描述	128
7.4.3 标准件库的管理	129
7.4.4 标准件库管理功能组成及界面 ..	129
思考题	131
第8章 模具设计过程中的通用技术 ..	132
8.1 参数/几何关联技术	132
8.1.1 参数关联技术	132
8.1.2 几何关联技术	134
8.2 用户自定义特征	135
8.2.1 用户自定义特征概述	135
8.2.2 基于 NX 的用户自定义特征	136
8.2.3 基于 Pro/E 的用户自定义特征 ..	138
8.2.4 基于 SolidWorks 的用户自定义 特征	139
8.3 基于 UDO 的关联式孔表创建技术	140
8.3.1 问题的提出	140
8.3.2 对象关联的基本原理	141
8.3.3 关联式孔表的实现	142
8.4 BOM 表的自动生成技术	144
8.4.1 问题的提出	144
8.4.2 功能定义及设计	145
8.4.3 BOM 表的功能实现及相关	

技术	145	10.5 覆盖件模具结构设计	191
8.5 知识重用技术及其在模具标准件库的		10.5.1 基于功能组件的覆盖件模具结构	
应用	148	设计	191
8.5.1 知识重用的概念	148	10.5.2 基于功能组件的拉延模结构	
8.5.2 基于知识重用的标准件技术	149	设计	193
思考题	152	思考题	199
第9章 级进模 CAD 系统的开发	153	第11章 塑料注射模具 CAD 系统的	
9.1 概述	153	开发	200
9.1.1 级进模的发展趋势	153	11.1 注射模具的基本结构	200
9.1.2 级进模 CAD 系统的开发状况及发		11.1.1 注射模具的典型结构	200
展趋势	154	11.1.2 注射模具的分类	201
9.2 级进模 CAD 系统的组成与实现	155	11.2 注射模具设计制造的特点及发展	
9.2.1 级进模 CAD 系统的功能	155	阶段	203
9.2.2 级进模 CAD 系统的组成结构	156	11.3 注射模具 CAD 的主要内容及设计	
9.2.3 级进模 CAD 系统的实现技术	156	流程	204
9.3 级进模 CAD 开发中的关键技术	159	11.4 注射模具成型零部件的设计	205
9.3.1 级进模设计中的变更及关联		11.5 标准模架的建库与选用	208
技术	159	11.5.1 标准模架库的建立	208
9.3.2 钣金特征识别	164	11.5.2 标准模架库的管理与调用	209
9.3.3 零件展开及中间工序的生成	166	11.6 典型结构与零件设计	209
9.3.4 级进模结构协同设计技术	169	11.7 模具工作过程运动仿真	213
9.3.5 级进模干涉检查	173	11.7.1 注射模具运动的特点	213
思考题	177	11.7.2 模具运动模拟的方法	215
第10章 汽车覆盖件模具 CAD 系统的		11.7.3 干涉检验的原理	215
开发	178	11.8 结构零件强度与刚度校核	216
10.1 覆盖件冲压工艺设计内容	178	11.8.1 校核准则	216
10.1.1 冲压工艺设计内容及 DL 图的		11.8.2 计算方法	217
绘制	178	思考题	218
10.1.2 覆盖件冲压工艺设计流程	179		
10.1.3 拉延工艺设计	180	第三篇 模具 CAD 技术的应用	
10.2 覆盖件模具结构设计内容	181	第12章 NX PDW 的应用	220
10.2.1 覆盖件模具的分类	181	12.1 零件分析与准备	221
10.2.2 拉延模设计	182	12.1.1 直接展开	221
10.2.3 修边模设计	183	12.1.2 直弯的展开	222
10.3 覆盖件模具 CAD/CAM 系统结构	183	12.1.3 自由形状的展开	222
10.4 冲压工艺计算机辅助设计		12.2 项目初始化	224
(CAPP)	184	12.3 级进冲压工艺设计	225
10.4.1 冲压 CAPP 系统的总体结构	184	12.3.1 创建毛坯	225
10.4.2 基于 KBE 的汽车覆盖件冲压		12.3.2 毛坯排样	225
工艺方案设计	186	12.3.3 冲裁废料设计	227
10.4.3 基于截面控制线的模具型面		12.3.4 条料排样	229
设计	188	12.4 模具结构设计	231

12.4.1 模架设计	231	思考题	247
12.4.2 冲裁子模设计	232	第 14 章 铸造 CAD 系统	248
12.4.3 弯曲镶件设计	234	14.1 铸造 CAD 概述	248
12.4.4 成形镶件设计	234	14.1.1 铸造工艺设计的基本过程	249
12.4.5 导正钉设计	236	14.1.2 铸造工艺 CAD 的组成	250
12.4.6 拾料钉的设计	236	14.2 基于 UG 的三维铸造工艺 CAD	251
12.4.7 让位设计	237	14.2.1 三维铸造工艺 CAD 的特点	251
12.4.8 安装孔生成	238	14.2.2 三维铸钢 CAD	252
思考题	239	14.2.3 三维压铸模 CAD	258
第 13 章 NX Moldwizard 的应用	240	思考题	269
13.1 NX Moldwizard 系统简介	240	参考文献	270
13.2 Moldwizard 应用实例	243		

第一篇

模具 CAD 技术基础

1

第1章 模具 CAD 概述

模具是制造业的基础工艺装备,广泛地应用于汽车、家用电器、航空航天、船舶、电力、仪器仪表等领域的产品零件制造。根据国际生产协会预测,在21世纪,75%的零件将需通过模具来成形加工。因此,能否设计制造出高水平、高质量的模具已成为衡量一个国家制造业发展水平的重要标志。其中,模具的设计水平和设计质量是决定模具水平和质量的关键,它除了依赖于模具的设计理论和设计经验外,还依赖于采用何种设计技术和方法。随着CAD技术不断进步与发展,它已成为提高模具设计水平和质量的最有效技术手段。

1.1 模具 CAD 的基本概念

CAD (Computer Aided Design) 是利用计算机软硬件系统辅助人们对产品或工程进行设计、绘图、工程分析与技术文档编制等设计活动的总称。CAD 是人和计算机相结合共同进行设计的一种新设计方法,从而使人和计算机的最好特性联系起来。人的特性是具有思维、逻辑推理、学习以及直观判断的能力。而计算机具有运算速度快、精确度高、信息存储量大、不易忘与不易出错等特点。结合的方式是首先由人根据设计目标将设计过程与方法进行综合分析建立模型(包括数学模型、数据模型、几何模型),并编制成可运行的解析这种模型的程序。在程序运行过程中,计算机将发挥其特长完成数值分析、计算、图形处理以及信息管理等任务。而人将运用自己的经验与判断能力来控制整个设计过程,这种控制是通过人-机对话或图形显示的方式进行,让人和计算机之间进行信息交流,相互取长补短,从而获得最优设计结果。由此可见,不能将CAD与计算机绘图等同起来,计算机绘图只是使用图形软件和硬件进行绘图及有关标注的一种以摆脱繁重的手工绘图为其目标的方法和技术,但它是CAD的基础技术之一。

模具CAD是利用现代计算机技术、CAD技术解决模具设计问题的一项高新技术。它以计算机软件的形式,为模具设计人员提供一种有效的辅助工具,使他们能够针对加工产品零件的制造要求,借助于计算机进行成形工艺、模具结构、数控加工及成本的设计和优化。目前,模具CAD技术主要有两类。一类是采用通用的CAD系统进行模具的设计,如CATIA、UGNX、Pro/E、Cimtron、SolidWorks、AutoCAD等,这类技术主要解决了模具设计过程中形状设计的问题。设计人员需要根据模具设计特点,通过利用这些系统提供的建模命令,如特征建模、装配建模等进行模具结构的设计,从某种程度而言它仅是应用这些系统的技巧,而非技术。至于模具设计过程中的计算、分析、优化等,还依赖于设计人员,对设计人员要求很高。另一类则是在通用CAD系统基础之上,通过二次开发,为模具设计人员提供专业的设计软件,它可辅助设计人员完成分析、计算、优化等工作,而且还可极大地简化成形工艺及模具结构的设计过程,较通用的CAD系统,可大幅度地提高模具设计效率和设计质量,减少甚至避免出错。

目前,一些通用CAD系统都提供了专业的模具设计软件。由于不同类型模具的结构形

式、设计内容及设计要求也不尽相同,因此,针对不同类型的模具通常都需要提供不同的模具设计软件。例如,UGNX 针对注塑模提供了 NX/MW 设计软件、针对级进模提供了 NX/PDW 设计软件;Pro/E 针对注塑模提供了 PTC EMX 设计软件、针对级进模提供了 PTC PDX 设计软件;Solid Works 针对注塑模提供了 Solid Mold 设计软件、针对级进模提供了 Solid Press 设计软件。实际上,如何根据模具的设计特点和要求,开发高性能的专用模具 CAD 系统,已成为模具 CAD 技术研究与发展的一个重要内容。

本书将针对以上问题进行全面的阐述,以使读者可从不同层次上理解与掌握模具 CAD 技术。

1.2 模具 CAD 技术的发展历程

模具 CAD 是改造传统模具生产方式的关键技术,是一项高科技、高效益的系统工程。它以计算机软件的形式,为企业提供一种有效的辅助工具,使工程技术人员借助于计算机对产品性能、模具结构、成形工艺及生产管理进行设计和优化。模具 CAD 技术能显著缩短模具设计与制造周期,降低生产成本和提高产品质量,这已成为模具界的共识。

CAD 技术自 20 世纪 60 年代出现以来,经历了二维平面图形设计、三维线框模型设计、三维实体造型设计、自由曲面造型设计、参数化设计、特征造型设计等发展过程。它首先在航空航天、汽车、船舶等领域中获得成功应用,解决了这些产品中复杂零件形状的设计与表达问题,并与 CAM 技术相结合,取得了显著的经济效益。此后,模具行业的工程技术人员尝试将 CAD 技术应用于模具设计之中,也取得了很好的效果,并在 20 世纪 70 年代,就有一批学者开始针对模具设计特点研究开发专用的模具 CAD 系统,以期充分发挥 CAD 技术在模具设计中的作用。

与任何新生事物一样,模具 CAD 在 40 多年的发展中经历了从简单到复杂、从试点到普及的过程,进入 21 世纪以来,它的发展速度更快、应用范围更广。下面针对模具中应用最广泛、最具有代表意义的级进模、汽车覆盖件模、注塑模、铸造模具、锻造模具 CAD 的发展状况作概括性的介绍。

1.2.1 级进模 CAD 技术

国外级进模 CAD/CAE/CAM 的研究始于 20 世纪 60 年代末,20 世纪 70 年代便有初步应用,但仅限于二维图形的简单冲裁级进模。弯曲级进模 CAD/CAM 系统出现在 80 年代,如日本日立公司和富士通公司的弯曲级进模系统等。为了能够适应复杂模具的设计,富士通系统采用了自动设计和交互设计相结合的方法,在该系统中除毛坯展开、弯曲回弹计算和工步排序为自动处理外,其余均需要设计人员的参与。应用三维几何造型技术的级进模系统始于 20 世纪 80 年代末,如美国 Auto-Trol 公司的 Die-Design 系统,采用了三维几何模型来描述钣金零件,并将三维图形技术应用于模具结构设计,显示出三维图形软件在模具设计中的重要作用。

进入 20 世纪 90 年代,一些商品化三维 CAD/CAM 系统,如美国的 Pro/E、UG、CADD5、SolidWorks、MDT 等均陆续在模具界得到应用。为了解决冲压产品的三维造型问题,这些软件纷纷加入了钣金零件造型模块,如 PTC 公司开发的 Pro/Sheet Metal,UGS 公司

开发的 UG/Sheet Metal 等。美国 Computer Design 公司开发的级进模软件 Striker Systems 是当时销售量较大的商业化 CAD/CAM 系统,包括钣金零件造型、毛坯展开、毛坯排样、模具设计和数控加工等模块。该系统支持钣金零件的特征造型,虽已具有某些自动化设计的功能,但其设计过程仍以交互操作为主,而且只适用于弯曲冲裁级进模的设计。

进入 2000 年以来,级进模 CAD 技术的研究与开发进入了成熟应用阶段。由于模具企业大量应用 CAD 技术,软件公司看到了其中的商机,开始投入人力开发商品化级进模设计系统。美国 UGS 公司与我国华中科技大学合作,在 UG 软件平台上开发出基于三维几何模型的级进模软件 NX/PDW,并已在 2003 年投入市场。该软件提供了完善的三维级进模设计解决方案,具有特征识别与重构、三维条料排样和仿真、标准件和凹凸模镶件设计、高级的复杂零件处理功能、变更设计管理、与 CAM 的自动集成、全三维结构关联等显著特色,功能上覆盖了级进模设计的全过程,并且实现了与 Teamcenter Engineering 的集成,代表了当今级进模设计的最高水平。PTC 公司也推出了与 UGS 竞争的基于 Pro/E 软件的级进模设计系统 PDX,同样采用了面向过程的工作流程,充分利用了 Pro/E 软件的参数化造型功能,实现了从钣金造型到模具零件设计等完整的级进模设计工作。基于 TopSolid 软件平台开发的级进模设计解决方案 TopSolid Progress 也是一个全 3D 的级进模设计系统,其特色是集成了有限元分析软件 AUTOFORM 的模拟展开算法,从而可以设计带复杂曲面的冲压产品,加上 TopSolid 本身一体化钣金设计和数控加工与线切割编程模拟系统,真正实现了 CAD、CAM、CAE 的完全集成。Cimatron 作为全球工业模具 CAD/CAM 一体化软件,在新版本 E8 当中,推出了全新的 Die Design (级进模设计)功能,通过对冲压产品钣金反求工艺、条料排样、模具设计三大步骤实现整个级进模的设计。其他的类似软件还有在 SolidWorks 平台上开发的 LogoPress 3 和 3D QuickPress。与此同时,新加坡、马来西亚、印度及我国台湾、香港地区的有关机构和公司也在开发和试用新一代级进模 CAD 系统。

冲压模具设计的难度主要表现在设计理论的不完备性以及只能意会而难以言传的专家经验的表达和利用上。同手工设计一样,在利用通用 CAD 软件(包括新型集成化 CAD 软件)进行模具设计时,很大程度上依然依赖于模具专家的干预。即使是上述商品化级进模软件,虽然局部功能已实现自动化,但大量的操作仍以交互为主。为了实现模具设计的自动化,减少对模具专家的依赖性,必须开发专用的模具设计智能化软件,把总结出来的以往设计、制造中的成功经验应用到模具设计中去,形成计算机里的知识库和智能库,生成专家系统,从而使 CAD 系统能够胜任模具设计专家的工作。

国内的研究从 20 世纪 90 年代开始,华中科技大学、上海交通大学、西安交通大学和北京机电研究院等相继开展了级进模 CAD/CAM 系统的研究和开发。如华中科技大学模具技术国家重点实验室在 AutoCAD 软件平台上开发出基于特征的级进模 CAD/CAM 系统 HMJC,包括钣金零件特征造型、基于特征的冲压工艺设计、模具结构设计、标准件及典型结构建库工具和线切割自动编程 5 个模块。上海交通大学为瑞士法因托(Finetooll)精冲公司开发成功精密冲裁级进模 CAD/CAM 系统。西安交通大学开发出多工位弯曲级进模 CAD 系统等。近年来,国内一些软件公司也竞相加入了级进模 CAD/CAM 系统的开发行列,如深圳雅明软件制作室开发的级进模系统 CmCAD,富士康公司开发的用于单冲模与复合模的 CAD 系统 Fox-CAD 等。

进入 21 世纪,国内的研究也主要是围绕着级进模设计的自动化、智能化等方面开展。

国内研究工作者在基于知识的冲模设计系统开发方面也做了大量有益的研究工作,并在某些方面取得了长足进展。由于在级进模设计技术研究方面的领先,美国 UGS 公司主动和华中科技大学模具技术国家重点实验室合作,开发级进模设计系统 PDW。其中,就采用了基于知识的设计方法,通过将设计实例和手册集成在系统中,规则和参数以电子表格形式存储,与特征相关的规则和参数通过 UG/KF(知识融合)与 CAD 系统集成,实现了钣金冲压知识的高效获取、共享和应用,使得缺乏经验的设计师可如同高级模具设计师一样快速地设计模具。

1.2.2 汽车覆盖件模 CAD 技术

国际上最早开展汽车覆盖件模 CAD/CAM 系统研究与开发的是各大汽车制造公司。早在 1965 年日本丰田汽车公司已将数控技术用于汽车覆盖件的模具加工,取得了很好的经济效益。20 世纪 80 年代丰田汽车公司所采用的汽车覆盖件 CAD/CAM 系统包括了 NTDFB 和 CADETT 两个设计软件及加工凸、凹模的 TINCA 软件,可完成车身外形设计、车身结构设计、冲模 CAD、主模型与冲模加工和夹具加工等任务。据报道,该系统投入使用后可使丰田汽车公司的汽车覆盖件成形模设计与制造时间减少 50%。21 世纪初,丰田汽车公司和美国 PTC 公司合作,开发了基于 Pro/E 软件平台的面向拉伸模型面设计的专业化软件 Pro/Dieface。

美国通用汽车公司依托美国 UGS 公司在 UGII 软件平台上也开发了用于汽车覆盖件模具设计的专用模块,如钣金件设计、车身设计、覆盖件冲压工艺设计(包括冲压方向选择、工艺余量补充、压边面形状设计和修边线确定)和模具结构设计等。与此同时,美国福特汽车公司、英国 PSF 公司、日本荻原铁工所、富士铁工所等国外生产汽车覆盖件模具的公司也开发了各自公司专用的汽车覆盖件模 CAD/CAM 系统。但这些系统都不对外出售。

近年来,随着国际著名的 CAD/CAE/CAM 集成软件(如 CATIA、UG NX)功能的迅速发展,各大汽车公司纷纷采用这些商品化软件作为整个公司的数字化应用平台,如美国通用汽车公司、日本尼桑公司等采用 UG NX,德国各大汽车公司普遍采用 CATIA 作为其 CAD/CAM 系统的主导软件,而福特汽车公司则同时采用 UGNX 和 CATIA 建立了多 CAD 的平台。一些原来采用自主开发的 CAD/CAM 系统的公司也纷纷转向这些通用系统。另一个显著的变化是各大汽车公司通过与这些软件公司合作,将各公司开发的覆盖件模具的数字化设计制造系统移植到新的平台。

在商业开发方面,为满足市场的需求,UGS 公司开发了 Die Engineering 和 Die Design 模块,可以完成覆盖件冲压工艺设计和模具结构设计的任务。另一个较著名的软件是 CAD-CEUS/Press Design,它是以日本唯一的国产三维 CAD/CAM 系统 CADCEUS 为基础,专门用于冲压模具结构设计制造领域,它通过标准的实体参数化功能与先进的专用功能结合,能够全面支持冲压模具结构设计制造的全部过程。目前,此软件的主要用户是日本的汽车公司及车身模具企业。

目前,这些商品化的覆盖件模具 CAD/CAM 系统的功能还不能完全满足企业的要求,还有很多研究和开发工作要做。中国台湾高雄第一科技大学的学者在 Pro/E 软件平台上开发了一个基于知识的拉伸模参数化设计系统,通过总结拉伸模的结构形状,定义了一组参数包括毛坯尺寸、冲模型面、凹模口线、拉伸行程和压力机数据作为设计的初始输入,在知识库和

推理机的帮助下,完成拉延模主要部件(如上模、下模、压边圈)的设计。

华中科技大学、吉林大学和天津大学等高校近几年来对汽车覆盖件模 CAD/CAM 技术进行了系统而深入的研究,取得了许多可喜的成果。例如,郑清春等通过对汽车覆盖件模具的结构分析,提出了基于模块化思想的汽车覆盖件模具快速设计技术,建立了模块化产品系列和模块划分方法,利用知识工程(KBE)技术和参数化模板实现汽车覆盖件模具的快速设计。赵力平等研究了基于自顶向下方式的汽车覆盖件模具结构参数化设计方法,针对形状类似的系列汽车覆盖件产品,建立其模具结构的装配模型并实现结构的变形设计。

板料成形领域的 CAE 即板料成形数值模拟技术,自 20 世纪 90 年代以来在国外工业界得到了广泛的应用,并已经由单纯的工艺校核工具和成形过程仿真转变为参与产品设计、工艺设计、模具设计全流程的智能化设计系统的重要组成部分。近年来特别是自 2002 年以来,板料成形数值模拟技术在国内汽车和模具企业也得到了普遍的应用与推广,各大汽车及模具企业均购买了 AUTOFORM、DYNAFORM、PAM-STAMP 等国外商品化软件和部分国内软件如华中科技大学开发的 FASTAMP 系列软件。但与国外数值模拟技术参与产品与模具全生命周期的应用相比,国内对数值模拟技术的应用还停留在工艺校核工具层面,并没有真正发挥数值模拟技术的作用。

1.2.3 塑料注射模 CAD 技术

塑料注射模 CAD 技术是随着机械 CAD 技术的发展而发展的。最初的研究主要集中于塑料在型腔中的流动、保压和冷却的分析模拟,即通常所说的计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, CAE),同时塑料注射模 CAD 的各个单项功能的研究成果也十分突出,研究范围从注射机选择、塑料品种选择、模具各个部件设计到模具价格评估无所不包,为以后的注射模 CAD 设计软件的商品化打下了坚实的基础。随着实体造型技术,特别是近十年来特征造型技术的日趋成熟,各种通用三维造型商品化图形软件包的推出,为塑料注射模采用 CAD/CAE 技术提供了可靠的保证,注射模 CAD 软件不断被推向市场。目前在国内外市场已涌现出一批成功应用于塑料注射模的 CAD 系统。

现在,国外一些著名的商品化三维造型软件都带有独立的注射模设计模块,如美国 PTC 公司的 EMX、美国 UGS 公司的 Mold Wizard、以色列 Cimatron 公司的模具设计和制造系统 Quick、英国 DELCAM 公司的塑料模设计和制造系统 PS - Moldmaker、法国 Missler Software 公司的注塑模专用软件 TopMold、日本 UNISYS 株式会社的塑料模设计和制造系统 CADCEUS 等。这些系统都各具特色,拥有各自的用户群。

这些软件的主要功能有:

1) 强大的造型功能,尤其是曲面造型功能,可以方便地设计出具有复杂自由曲面的塑料制品。

2) 方便的模具分型面定义工具,成形零件自动生成。

3) 标准模架库品种齐全,调用简单。

4) 典型结构、标准零件库添加方便。

5) 非标准零件造型和装配简单实用。

国内对注射模 CAD 技术的研究与应用相对国外来说起步比较晚,经过近 20 年的努力,已取得了很大的发展,主要的研究开发成果有:华中科技大学从 1988 年开始开发的注射模

CAD/CAE/CAM 集成系统 HSC 系列软件, 合肥工业大学的注射模 CAD 三维参数化系统 IPM-CAD 系列软件, 上海交通大学开发的集成化注射模智能 CAD 系统, 浙江大学开发的精密注射模 CAD/CAM 系统, 东南大学的 SEIMCAD, 郑州工业大学的 Z-MOLD 等系统。

以上这些软件的技术特点是能在统一的系统环境下, 使用统一的数据库, 完成特定模具的设计。例如 Mold Wizard 实现了模具零件的结构关联, CADCEUS 的特色在于三维设计与二维视图的联动, PS-Moldmaker 做到了加工信息的自动封装, 这些特点使得专业软件更加宜人化。但是, 这些专用的 CAD 系统从自动化程度而言, 仍然过分依赖用户的交互, 难以达到令人满意的程度。

塑料注射模 CAE 技术的发展也十分迅速, 从 20 世纪 60 年代的一维流动和冷却分析到 20 世纪 70 年代的二维流动和冷却分析再到 90 年代的准三维流动和冷却分析, 其应用范围已扩展到保压分析、纤维分子取向和翘曲预测等领域并且成效显著。

塑料注射成形 CAE 商品化软件中应用最广泛的为美国 Moldflow 公司的模拟软件 MF, 该软件主要包括流动模拟 (MF/FLOW)、冷却分析 (MF/COOL)、翘曲分析 (MF/WARP)、气体辅助分析 (MF/GAS) 和应力分析 (MF/STRESS) 等。该公司于 1998 年推出准三维的双面流软件 (Part Adviser), 2002 年推出真三维的实体流软件模块, 目前该公司在世界上拥有较大的用户群。

近十余年来, 我国对塑料注射成形 CAE 技术也开展了系统而深入的研究。华中科技大学、上海交通大学、郑州大学和南昌大学等都相继取得了可喜的成果。如华中科技大学模具技术国家重点实验室最近推出了商品化塑料注射成形集成化仿真系统 HSCAE6.10, 从 1989 年推出 HSCAE1.0 版到如今的 6.10 版, 经历了从二维分析到三维分析, 从实用化到商品化, 从局部试点到大面积推广应用的进程。该软件系统已成为塑料制品设计、模具结构优化和工程师培训的有力工具, HSCAE 仿真系统目前已在国内 80 多家工厂和学校推广应用。

1.2.4 铸造模 CAD 技术

铸造成形过程模拟的探索性工作始于求解铸件的温度场分布。1962 年丹麦的 Fursund 用有限差分法首次对二维形状的铸件进行了凝固过程的传热计算, 1965 年美国通用汽车公司 Henzel 等对汽轮机铸件成功进行了温度场模拟, 从此, 铸件在模具型腔内的传热过程数值分析在全世界范围内迅速开展。从 20 世纪 70 年代到 80 年代, 美国、英国、法国、日本、丹麦等国家相继在铸件凝固模拟研究和应用上取得了显著成果, 并陆续推出了一批商品化模拟软件。进入 20 世纪 90 年代后, 我国的高等院校 (如清华大学和华中科技大学) 在该领域也取得了令人瞩目的成就。

单纯的传热过程模拟并不能准确计算出铸件的温度变化和预测铸造中可能产生的缺陷, 充模过程对铸件初始温度场分布的影响以及凝固过程中液态金属的流动对铸件缺陷形成的影响都是不可忽视的因素。铸件充模过程的模拟技术始于 20 世纪 80 年代, 它以计算流体力学的理论和方法为基础, 经历十余年, 从二维简单形状开始, 逐步深化和扩展, 现已成功实现了三维复杂形状铸件的充模过程模拟, 并能将流动和传热过程相耦合。目前国外已有一批商品化的三维铸造过程模拟软件, 如日本的 SOLIDIA、英国的 SOLSTAR、法国的 SIMULOR、瑞典的 NOVACAST、德国的 MAGMA 和美国的 AFSOLID、PROCAST 等。国内也有清华大学的铸造之星、华中科技大学的华铸 CAE 等。这些铸造模 CAE 软件已覆盖铸钢、铸铁、铸铝

和铸铜等各类铸件,大到数百吨,小至几千克。无论是在消除缩孔和缩松,还是在优化浇冒口设计、改进浮渣夹渣等方面都发挥了显著作用。

伴随着 CAE 技术在铸造领域的成功应用,铸造工艺以及模具结构 CAD 的研究和应用也在不断深入。1983 年,美国 Michigan 大学的 R. D. Pehlke 教授和佐治亚工学院的 J. T. Derry 教授提出了铸造工艺 CAD 的概念,并把它归结为计算机模拟 (Computer Simulation)、几何造型 (Geometrical Modeling) 和数据库 (Database) 的有机结合。之后,各国都把目标转向了系统地开展综合性铸造工艺 CAD 的研究,组织力量联合攻关,近年来相继出现了一批接近实用的软件,如美国铸造协会 (AFS) 的 AFS 软件,可用于铸钢铸铁件的浇冒口设计;英国 Foseco 公司的 FEEDERCALC 软件可计算铸钢件的浇冒口尺寸,补缩距离及选择保温冒口套等;丹麦迪砂公司的 DISAMATIC 软件专用于垂直分型生产线的浇冒口设计等。不过由于铸造工艺的复杂性,这些软件实际应用效果都不太理想,还有一定的局限性,要开发出成熟、通用的铸造工艺 CAD 软件还需要较长的一段时间。

我国对铸造工艺 CAD 的研究始于“七五”期间,在国家重点攻关项目中安排了“大型铸钢件铸造工艺 CAD 研究课题”。经过十年的国家级联合攻关,研制出了一系列计算机软件,可以针对国家急需的重大装备中的大型铸钢件进行浇注系统设计、冒口工艺设计、外冷铁工艺设计。此后,随着数值模拟技术的成熟与推广,应用铸造工艺 CAD 的工厂越来越多。华中科技大学和清华大学在铸造工艺以及模具结构 CAD 方面也做了许多工作,如清华大学开发的 THFS CAD 软件,主要由图形扫描及矢量化和铸造工艺 CAD 两部分组成。前一部分对扫描输入的图形进行消蓝去污和矢量化,后一部分用来建立参数化图形、计算铸件的加工余量、绘制工艺卡等。THFS CAD 是在二维图形学的基础上开发的,采用了 AutoCAD 软件作为开发平台。随着 CAD 技术的快速进步,三维 CAD 系统正在逐步取代二维 CAD 系统而成为铸造生产领域的主流设计系统。

1.2.5 锻造模 CAD 技术

自 20 世纪 70 年代以来,国内外许多学术机构和公司对锻模 CAD/CAE/CAM 技术进行了广泛研究,在锻造工艺过程设计、锻模结构设计和金属流动模拟等方面均取得了显著的成绩。

轴对称锻件约占锻件总数的 30% 左右,由于轴对称锻件的几何形状简单,易于描述和定义,所以在开发锻模 CAD/CAM 系统时,国内外大多数都是从轴对称锻模入手。轴对称锻模 CAD/CAM 系统的主要组成部分包括锻件设计、模锻工艺设计、锻模结构设计和 NC 编程。锻件设计指的是设计冷锻件图和热锻件图,包括选择分模面、补充机加工余量、添加圆角和拔模斜度等。模锻工艺设计决定是否采用预成形工序、怎样采用预成形工序以及如何选择锻压设备的吨位。

另一类广泛应用的锻件是长轴类锻件,其成形工序设计和模具结构设计远比轴对称锻模复杂,因此开发长轴类锻模的 CAD/CAM 系统的难度更大、通用性也低,目前在许多通用商品化软件上,二次开发的长轴类锻模的 CAD/CAM 系统仅限于在特定产品和特定场合的应用。

锻模 CAD/CAM 系统的发展方向是成组技术和模具标准化技术的进一步贯彻执行,以及 CAE 技术和人工智能技术的深入应用。

在 CAE 技术方面,有限元法一直是分析和研究金属锻造成形的主要数值分析方法,多年来已取得不少阶段性的成果。1973 年 Lee 和 Kobayashi 以矩阵分析法导出了刚塑性有限元的 Lagrange 算法,成功分析了锻造成形过程。1974 年 Zienkiewicz 提出了刚粘塑性有限元的罚函数法,分析了轧制、挤压和拉拔等成形工艺。1982 年 Mori 和 Osakada 提出了刚塑性有限元中的材料可压缩法并用于轧制和挤压中。20 世纪 80 年代初,Oh 和 Altan 用大型刚塑性有限元分析软件 ALPID 对各类塑性变形问题进行了深入研究。20 世纪 90 年代以后,国外一些商品化的专业有限元分析软件,如法国的 FORGE 2、美国的 DEFORM、ABAQUS、MSC/AutoForge 等,都已成功地应用于锻造领域。这些软件不仅可以预测锻件成形的全过程,而且可以定量地给出与变形有关的各种物理量,如位移、速度、应力、应变和载荷等,为获得最优的模具设计、最合理的工艺方案和最少的试模时间提供了技术保证。

1.3 模具 CAD 系统的特点与关键技术

1.3.1 模具 CAD 系统的特点

模具 CAD 技术的广泛应用,可以节省设计时间、提高生产率、较大幅度地降低成本,同时将技术人员从繁冗的计算、绘图工作中解放出来,使其可以从事更多的创造性劳动。计算机与设计人员交互作用,有利于发挥人机各自的特长,使模具设计和制造工艺更加合理化。CAD 系统采用的优化设计方法有助于某些工艺参数和模具结构的优化。随着塑性成形过程计算机模拟技术的提高,模具 CAD/CAM/CAE 一体化技术可以大大增加模具的可靠性,减少直至不需要试模修模过程,提高模具设计、制造的一次成功率。因此,由于采用模具 CAD/CAM 技术,生产准备时间缩短,产品更新换代加快,大大增强了企业的市场竞争能力。

一个稳定的、可以满足实际生产设计需要的模具 CAD 系统应该具备下列特点:

1) 模具 CAD 系统必须具有产品构型(亦称产品建模)的功能。这是因为模具设计与一般产品设计过程不同,一般产品设计是来源于市场需求,而这种需求只是功能的要求,设计人员根据这种要求,确定产品性能、建立产品总体设计方案,然后进行具体结构的设计。这种市场需求只有功能要求或一些主要技术参数要求,至于结构形状则由设计人员自己构思。而模具设计是根据产品零件图的几何形状、材料特性、精度要求等进行工艺设计与模具设计。

利用计算机辅助设计模具时,首先必须输入产品零件的几何图形及相关信息(如材料性能、尺寸精度、表面粗糙度等),而计算机图形的生成必须先建立图形的数学模型和存储数据结构,再通过有关运算,才能把图形储存在计算机中或显示在计算机屏幕上,这就是产品造型。因此,模具 CAD 系统应具有产品造型功能,产品造型有四种方法,即线框模型、表面模型、实体模型、特征建模等。但由于前三种方法属于几何形状建模,这些几何模型仅能描述零件的几何形状数据,难以在模型中表达特征及公差、精度、表面粗糙度和材料特征等信息,也不能表达设计意图。而模具设计中的成形工艺与模具结构设计不仅需要产品零件的几何形状数据还需要其他信息,所以前三种构型方法均不适合用于模具 CAD/CAM 系统中,只有采用特征建模方法才适合建立模具 CAD/CAM 集成系统。