



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21世纪普通高等学校机械基础系列规划教材

模具CAD基础

MOJU CAD JICHU

余世浩 黄尚宇 主编



武汉理工大学出版社
Wuhan University of Technology Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
21 世纪普通高等学校机械基础系列规划教材

模具 CAD 基础

主 编 余世浩 黄尚宇
参 编 余际星 冯 玮 余长林

武汉理工大学出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了 CAD 的基本知识、技术、方法及其在模具设计与制造中的应用。内容包括: 模具的分类与应用特点、现代模具设计与制造方法、模具 CAD 系统的组成与分类、模具 CAD 中设计数据的处理方法、模具 CAD 中的图形处理技术、模具 CAD 中的几何建模、逆向工程技术与应用、塑性成形过程数值模拟方法与软件、通用 CAD/CAM 软件及在模具设计中的应用、专用模具 CAD/CAM 系统的原理及其实现方法等。

本书结构清晰严谨、内容丰富翔实、选材深度和广度适当, 既可作为材料成形及控制工程专业和相关专业的教材, 亦可作为从事模具 CAD 技术研究和应用开发人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模具 CAD 基础/余世浩, 黄尚宇主编. —武汉: 武汉理工大学出版社, 2009. 5
ISBN 978-7-5629-2904-8

I. 模…

II. ①余… ②黄…

III. 模具-计算机辅助设计-应用软件, AutoCAD, Solidworks, Pro/ENGINEER

IV. TG76-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 055262 号

出 版: 武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮编: 430070)

发 行: 武汉理工大学出版社发行部

印 刷: 武汉理工大印刷厂

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 18.75

字 数: 468 千字

版 次: 2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000 册

定 价: 32.00 元

(本书如有印装质量问题, 请向承印厂调换)

前 言

随着经济全球化步伐的加快,产品更新换代的周期越来越短,全球制造业都面临着市场全球化、产品多样化和制造国际化的挑战,传统的模具设计与制造方式已无法适应产品更新换代和提高质量的要求。模具技术水平的高低,在很大程度上决定着产品的质量、效益和新产品的开发能力。因此,模具 CAD/CAE/CAM 技术应运而生,它在提高模具设计效率与加工质量、缩短模具生产周期、降低模具生产成本等方面发挥着重要作用。

为满足社会对模具计算机辅助技术应用与开发人才培养的要求,教育部将《模具 CAD 基础》列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书即是按照“十一五”规划的要求,结合作者长期的教学经验和科研实践,并参考最新资料编写而成的。

全书共 9 章:第 1 章是概论,介绍模具的分类与应用特点、模具的设计制造方法、模具技术的现状及发展趋势;第 2 章是模具 CAD 系统的组成,介绍模具 CAD 系统的软硬件组成、分类及其特点;第 3 章是模具 CAD 中设计数据的处理,介绍数表的程序化、文件化、解析化处理方法,线图的处理方法,用数据库和专用数据处理软件管理设计数据的方法等;第 4 章是模具 CAD 中的图形处理技术,介绍计算机图形处理的基础理论、图形变换的原理和常用的图形处理技术;第 5 章是模具 CAD 中的几何建模,介绍几何造型的概念、各种造型方法和应用;第 6 章是逆向工程技术,介绍逆向工程中的数据测量和测量数据的处理技术、三维模型重构的方法和逆向工程软件的应用等;第 7 章是塑性成形过程数值模拟,介绍有限元法的原理、软件及在冲压成形中的应用;第 8 章是通用 CAD/CAM 软件及其在模具设计中的应用,介绍 Pro/ENGINEER 和 UG NX 软件的功能及在模具设计中的具体应用;第 9 章是专用模具 CAD/CAM 系统,以冲裁模为例,介绍模具 CAD/CAM 的功能、原理、实现方法及其应用。

本书第 1、2、3、7、9 章由余世浩编写;第 4 章由余际星编写;第 5 章由黄尚宇编写;第 6 章由余长林编写;第 8 章由冯玮编写;此外,刘容参加了部分章节的资料收集和编写工作。全书由余世浩统稿。本教材理论教学为 40 学时,上机实验在课外完成。

由于作者水平有限,不妥之处,恳请读者指正。

编 者

2008.10

目 录

1 概论	(1)
1.1 模具工业在国民经济中的地位	(1)
1.2 模具的分类及应用	(2)
1.3 模具的设计与制造	(4)
1.4 模具 CAD/CAM 的发展	(7)
2 模具 CAD 系统的组成	(15)
2.1 模具 CAD 系统的硬件组成	(15)
2.2 模具 CAD 系统的软件组成	(21)
2.3 模具 CAD 系统的类型	(24)
3 模具 CAD 中设计数据的处理	(28)
3.1 数表的程序化处理	(28)
3.2 数表的文件化处理	(31)
3.3 数表的数据库管理	(34)
3.4 数表的解析化处理	(42)
3.5 线图的计算机处理	(49)
3.6 通用数据处理软件	(50)
4 模具 CAD 中的图形处理	(54)
4.1 图形处理的数学基础	(54)
4.2 二维图形变换	(57)
4.3 三维图形变换	(67)
4.4 投影变换	(72)
4.5 图形裁剪	(80)
5 模具 CAD 中的几何建模	(90)
5.1 几何造型概述	(90)
5.2 几何造型方法	(93)
5.3 曲线和曲面的表示与处理	(104)
6 逆向工程技术	(149)
6.1 逆向工程概述	(149)
6.2 逆向工程中的数据测量	(151)
6.3 测量数据的处理	(157)

6.4 三维模型重构 (163)

6.5 逆向工程软件及应用 (171)

7 塑性成形过程数值模拟 (186)

7.1 有限元法的基本概念 (186)

7.2 弹性有限元法 (187)

7.3 塑性有限元法 (198)

7.4 常用塑性成形模拟软件及应用 (203)

8 通用 CAD/CAM 软件及其在模具中的应用 (214)

8.1 Pro/ENGINEER Wildfire 软件 (214)

8.2 UG NX 软件 (232)

9 专用模具 CAD/CAM 系统 (255)

9.1 模具 CAD/CAM 系统的开发过程 (255)

9.2 WGBD 系统的流程与功能 (258)

9.3 冲裁件图形输入 (260)

9.4 冲裁件工艺性检验 (264)

9.5 冲裁件排样优化设计 (272)

9.6 冲裁模工作零件设计 (275)

9.7 优化布置模具顶杆 (277)

9.8 模具图的设计与绘制 (280)

9.9 冲裁模 CAM (281)

9.10 模具 CAD/CAM 系统的应用 (286)

参考文献 (291)

模具技术水平的高低,在很大程度上决定着产品的质量、效益和新产品的开发能力。随着经济全球化步伐的加快,产品更新换代的周期越来越短,传统的模具设计与制造方法已不能适应产品及时更新换代和提高质量的要求。在这一背景下,模具 CAD/CAE/CAM 技术应运而生,它在提高模具设计效率与加工质量、缩短模具生产周期、降低模具生产成本等方面发挥着重要作用。

本章介绍模具工业在国民经济中的地位和作用、模具的分类及应用特点、模具的设计制造方法、模具 CAD/CAM 的概况及模具技术的发展趋势等。

1.1 模具工业在国民经济中的地位

模具是工业产品生产的主要工艺装备,与冲压、锻造、铸造等金属成形设备以及塑料等非金属材料成型设备相配套作为成形工具,其作用是控制和限制材料(固态或液态)的流动,使之成为所需的形体(产品或零件)。采用模具生产零件,具有生产效率高、产品质量好、材料消耗少、生产成本低等一系列优点,广泛应用于工业生产的各个部门,已成为现代工业生产的重要手段和主要发展方向之一。在汽车、机械、电工、轻工、纺织、航空、航天等工业领域里,模具承担了 60%~90% 的产品零件、组件和部件的生产加工,许多新产品的开发和生产都依赖于模具生产。据国际生产技术协会预测,21 世纪机械制造工业零件 75% 的粗加工和 50% 的精加工都将依靠模具完成。

模具工业是国民经济的基础工业,是国际公认的关键工业。模具生产技术水平的高低是衡量一个国家产品制造水平高低的重要标志,它在很大程度上决定着产品的质量、效益和新产品开发的能力。模具工业既是高新技术产业的一个组成部分,又是高新技术产业化的重要领域。从某种意义上讲,现代工业产品的发展和技术水平的提高,在很大程度上取决于模具工业的发展水平。在日本,模具被誉为“进入富裕社会的源动力”,在德国则冠之为“金属加工业中的帝王”,在罗马尼亚称“模具就是黄金”,美国工业界认为“模具工业是美国工业的基石”。可以断言,随着现代工业生产的迅速发展,模具工业在国民经济发展过程中将会发挥越来越重要的作用。

近几年来,世界模具市场总量为 600~650 亿美元,日、美等工业发达国家的模具工业产值已超过机床工业产值。模具的主要出口国是美国、日本、法国、瑞士等国家,这些国家每年的模具出口量约占本国模具总产量的 1/3。中国模具出口数量极少,但中国模具钳工技术水平高,劳动力成本低,只要配备一些先进的数控制模设备、提高模具加工质量、缩短生产周期、沟通外贸渠道,模具出口就会有很大发展。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具有特别重要的意义。

20 世纪 80 年代以来,我国国民经济的高速发展对模具工业提出了越来越高的要求,同时

也为模具的发展提供了巨大的动力。此后,中国模具发展十分迅速,模具工业一直以 15% 左右的增长速度快速发展。如何振兴和发展我国的模具工业,正日益受到人们的重视和关注。模具工业也正在广泛应用现代先进制造技术来加速技术进步。

1.2 模具的分类及应用

模具种类繁多,用途广泛。对模具进行科学合理的分类,有利于系统地研究和开发模具生产技术、制定模具技术标准、提高模具标准化和专业化协作生产水平、提高模具生产效率、缩短模具设计制造周期,促进模具设计制造技术的现代化,充分发挥模具的功能和作用。

1.2.1 模具的分类

总体上讲,模具可分为金属板料成形模具、金属体积成形模具、非金属材料制品成型模具和通用与经济模具等。表 1.1 列出了模具的种类、使用对象和工艺性质。

表 1.1 模具种类和用途

模具类型		模具品种	使用对象和工艺性质
金属板料成形模具	冲模	冲裁模:少、无废料冲模,整修模,光洁冲模,深冲孔模,精冲模等 单工序模:冲孔模,落料模,弯曲模,拉深模,成形模等 复合冲模 级进冲模(含传递模) 汽车覆盖件冲模 硅钢片冲模 硬质合金模具 微型冲件用精密冲模	使用金属(黑色或有色金属)板材,通过冲裁模和精冲模,或根据不同的生产批量、冲件精度,采用单工序模、复合模或级进模等相应的工艺方法,成形加工合格冲件
金属体积成形模具	压铸模	热压室压铸机用压铸模 冷压室压铸机用压铸模 铝合金压铸模 铜合金压铸模 锌合金压铸模 黑色金属压铸模等	金属零件产品,如汽车汽缸体、变速箱等有色金属零件(锌、铝、铜),通过注入模具型腔的液态金属加压凝固成型
	锻造成形模具	压力机用锻模 摩擦压力机用锻模 平锻机用锻模 滚锻机用锻模 高速锤用锻模 开(闭)式锻模 校正模、压印模、切边模、冲孔模、精锻模、多向锻模、胎模、闭塞锻模等 冷锻模、挤压模 拉丝模等	采用有色、黑色金属的块料或棒料、丝料,经锻、锻、挤、拉等工艺成形加工合格零件、毛坯和丝材
	铸造金属型模	易熔芯用金属型模 低压铸造用金属型模 金属浇注用金属型模等	液态金属或石蜡等易熔材料,经注入模具型腔成为金属零件毛坯、铸造用型芯、工艺品等
	粉末冶金成型模具	成型模具:实体单向、双向手动压模,手动实体浮动压模;机动大截面实体浮动压模,机动极掌单向压模,套类单向、双向、浮动压模 整形模:分手动和机动模,径向模带外台阶套类整形模,带球面件模;无台阶实体件自动整形模,轴套拉杆式半自动整形模,轴套通过式自动整形模,带外台阶与外球面轴套自动整形模等	主要用于铜基、铁基粉末制品的压制成型,包括机械零件、电器元件(如触头等)、磁性零件、工具材料、易热零件、核燃料制件的粉末压制成型

续表 1.1

模具类型	模 具 品 种	使用对象和工艺性质
非金属材料制品成型模具	塑料注射模:立式、卧式、角式注射机用模具,无浇道模具;电视机壳、录音机壳、洗衣机桶、汽车保险杠、录像机壳注射模等 压缩模(含压胶模) 挤塑模(含传递模) 挤出模:异型材、管件、薄膜挤出模 发泡模(含低发泡模) 吹(吸)塑模具 塑封模 滚塑模等	使用热塑性或热固性塑料,通过注射、压缩、挤塑、挤出、发泡、吹塑和吸塑等成型加工合格塑件 具有板材成型和体积成型两种成型工艺
	玻璃制品成型模具 注压成型模 吹-吹法成型瓶罐模 压-吹法成型瓶罐模 玻璃器皿成型模具等	用于玻璃瓶、罐、盒、桶,以及工业产品零件的成型加工
	橡胶制品成型模具 压胶模,挤胶模,注射模,橡胶轮胎模(整体和活络模),O型密封圈橡胶模等	汽车轮胎,O型密封圈及其他杂件,与硫化机配套,成型加工合格橡胶零件
	陶瓷模具 压缩模 注射模等	建筑用的陶瓷构件、陶瓷器皿,以及工业生产用的陶瓷零件的成型加工
通用模具与经济模具	组合冲模、薄板冲模、叠层冲模、快换冲模、环氧树脂模、低熔点合金模等	适用于产品试制,多品种、少批量生产

习惯上,模具的具体分类方法还有很多,主要包括:按模具的结构形式可分为冲模中的单工序模、复合模和级进模等,塑料模中的压缩模、注射模、挤出模等;按模具的使用对象可分为电工模具、汽车模具、电视机模具等;按模具的材料可分为硬质合金模具、低熔点合金简易模、钢带模和普通钢板模等;按工艺性质可分为冲模中的冲孔模、落料模、拉深模、弯曲模等,塑料模中的注塑模、吸塑模、吹塑模等。这些分类方法比较直观、方便,但也不尽合理,容易将模具类别和品种混淆,使种类繁多无序。

1.2.2 模具的应用及特点

模具的应用与模具的类别、品种有着密切的关系,并且每类模具都有其特定的用途、使用方法以及与其相配套的加工机床和设备。由于用模具生产产品或零件具有以下优点,因此模具广泛用于现代工业生产各个领域,成为工业产品生产的主要工艺装备。

(1) 适应性强

根据不同产品零件的结构、性质、精度和批量以及零件材料性质、供货形式,可采用不同种类、不同结构和档次的模具与之对应。如为适应产品零件的大批量生产,可采用高效率、高精度、高寿命、自动化程度高的模具;为适应产品试制或多品种、小批量的产品零件生产,可采用通用模具,如组合冲模、快换模具以及各种经济模具。

(2) 制件互换性好

在模具使用寿命范围内,生产零件的相似性好,可满足互换性要求。

(3) 生产效率高、消耗低

采用模具成形加工,产品零件的生产效率高。高速冲压可达 1800 次/min(由于模具寿命和产品产量等因素限制,常用的冲模也在 200~500 次/min 的范围内);塑料件注射循环时间可缩短在 1~2min 内成型,若采用热流道模具,进行连续注射成型,生产效率则更高,可满足塑料件大批量生产要求;采用高效滚锻工艺和滚锻模,进行连杆锻件连续滚锻成型;采用塑料异型材挤出模,进行建筑用门窗异型材挤出成型,其挤出成型速度可达 4m/min。因此,采用模具进行成形加工与机械加工相比,不仅生产效率高,而且生产消耗低,可大大节约原材料和人力资源,是进行产品生产的一种优质、高效、低耗的生产技术。

(4)社会效益好

模具是高技术含量的社会产品,其价值和价格主要取决于模具材料、加工、外购件三项直接发生的费用和模具设计与试模等技术费用。后者是模具价值和市场价格的主要组成部分,其中一部分技术价值计入市场价格,而更大一部分价值是使模具用户和产品用户受惠变为社会效益。如电视机模具,其模具费用仅为电视机产品价格的 1/5000~1/3000,尽管模具一次性投入较大,但在大批量生产中每台电视机的成本仅占极小一部分,而实际上很高的模具价值为社会拥有,变成了社会财富和社会效益。

1.3 模具的设计与制造

模具的设计与制造经历了从传统手工设计、普通机床加工和钳工修磨到计算机辅助设计与制造的现代模具制造三个阶段。

1.3.1 传统的模具设计与制造

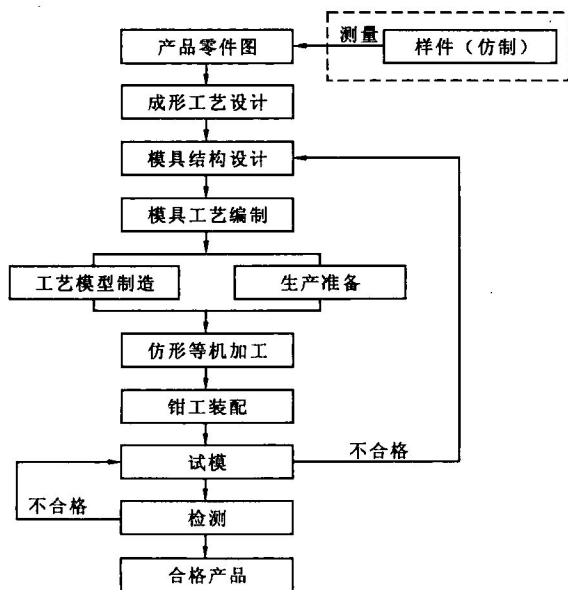


图 1.1 传统的模具设计制造流程

传统的模具设计方法是以经验总结为基础,把长期设计实践和理论计算而形成的经验公式、图表、设计手册等作为设计的依据,通过经验或类比等方法进行设计。传统的模具设计与制造过程包括工艺设计、模具设计、模具结构设计、工艺模型制造、零件加工、试模与调试和检验等。对于不同类型的模具,其工艺设计与模具结构设计的内容各不相同,主要的加工方式也有所不同,但设计制造流程大致相同,详细的设计制造过程如图 1.1 所示。

从流程图中可以看出,传统的模具设计制造过程是一个设计—制造—试模—修改的反复过程。传统的模具设计制造方式有以下特点:

(1) 产品信息以二维图样为主,对于复

杂零件,需要辅以样件或模型以表达零件的形状;

(2)进行模具工作零件设计时,需要对产品图进行再设计,如冲模设计中的毛坯展开和刃口设计、注塑模设计中材料收缩率的计算等;

(3)模具设计凭经验进行,往往需要经过多次试模、修模过程,结果难以预测;

(4)模具设计效率低,信息共享程度差;

(5)工艺模型的质量决定着整套模具的加工质量;

(6)仿形加工是大型型腔模具加工的主要方式,模具的研配和调试工作量很大。

1.3.2 模具计算机辅助设计与制造

为解决传统模具设计制造中的问题,在模具设计制造中应用 CAD/CAM 技术是有效的途径。模具 CAD/CAM 是指以计算机为主要技术手段来生成和应用各种数字信息和图像信息,进行模具的设计和制造。它是人和计算机相结合,充分发挥各自优势和特点共同进行设计的一种方法。人具有创造性思维、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、精度高、信息存储量大、不易忘记与不易出错等特点。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,编制成可运行的程序;然后,在程序运行过程中计算机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,而人则运用自己的经验与判断能力来控制整个设计过程。通过人机对话或图形显示的方式让人和计算机之间进行信息交流,互相取长补短,各施所长,从而获得最优的设计结果。

1. 模具 CAD/CAM 系统的流程

下面以图 1.2 所示的集成的汽车覆盖件模具 CAD/CAM 系统为例,说明模具计算机辅助设计与制造的流程。

图 1.2 中,产品定义分为 3 类:二维工程图、实物模型和产品电子数模。从系统集成角度看,以电子数模最为方便。对于主模型和样件,首先在三坐标测量机上进行三维扫描,然后进行几何造型,其几何模型可直接用于 NC 编程,或直接利用型面数字化点自动编程直接生成 NC 加工程序。对于二维工程图,则要进行三维造型,然后进行 NC 编程。几何造型所得的几何模型、产品 CAD 设计的产品模型,可输入到模具 CAD 系统,进行冲压工艺、模具型面和模具结构设计,其中三维曲面模型可用于 NC 工艺编程。生成的 NC 程序和工艺文件,可通过网络传到车间加工现场,验证模型 NC 程序或试切后,最后完成覆盖件模具的 NC 加工,再经装配和检验,形成合格的覆盖件模具成品。

2. 模具 CAD 系统的要求

模具设计不同于一般机械设计,因为模具的工作部分是根据产品零件的形状设计的,因而需要描述产品的几何模型。根据模具设计制造的特点,模具 CAD 系统应满足如下要求:

1)模具 CAD 系统必须具备几何造型功能

有些设计的初始条件是一些参数或性能指标,如材料成形设备提出的要求往往是吨位、行程、封闭高度或其他性能要求等,并不规定设备的形状如何。但是,模具设计则不同,因为模具的工作部分(如成形模、锻模和注射模的型腔)是根据产品零件的形状设计的,所以无论设计什

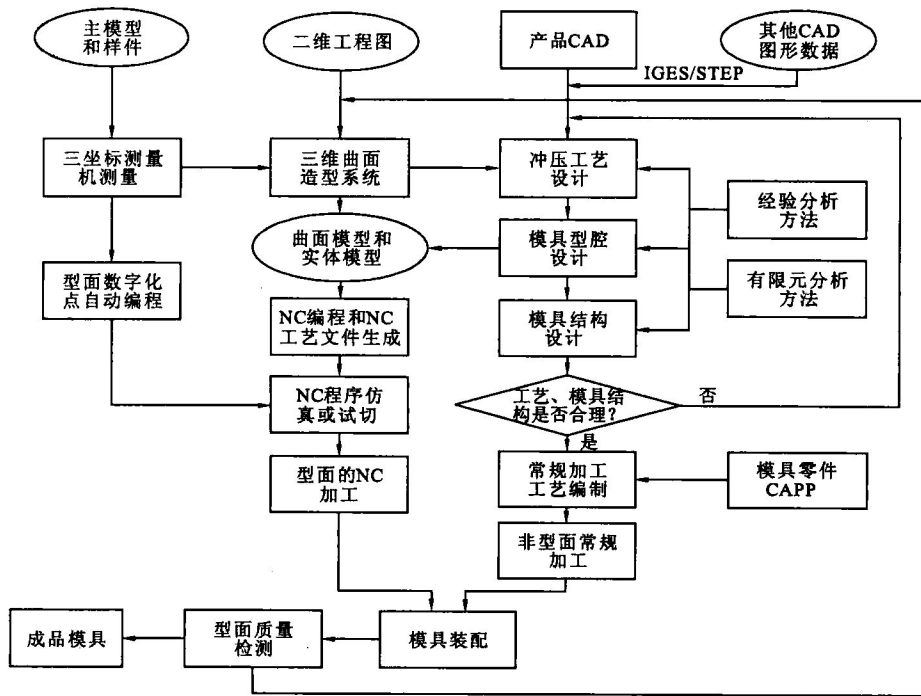


图 1.2 集成的汽车覆盖件模具 CAD/CAM 流程图

么类型的模具,开始阶段必须提供产品零件的几何形状,这就要求模具 CAD 系统需具备描述产品零件几何形状的能力,即几何造型的功能。否则,就无法输入关于产品零件的几何信息,设计程序便无法运行。另外,为了编制 NC 加工程序、计算刀具轨迹,也需要建立模具零件的几何模型。因此,几何造型是模具 CAD 的基础。

2) 标准化是模具 CAD 的前提

模具设计一般不具有唯一性,即使对于同一产品零件,不同设计人员设计的模具也不尽相同。因此,在建立模具 CAD 系统时,首先要解决的问题便是标准化问题,包括设计准则的标准化、模具零件和模具结构的标准化。只有实现了模具设计的标准化,模具 CAD 系统才能得以实现。有了标准化的模具结构,在设计模具时可以直接选用典型的模具组合,调用标准模具零件,而工作零件则可根据产品零件的几何模型进行设计。

3) 模具设计准则的计算机处理

人工设计模具所依据的设计准则大多是以图线、表格形式给出的。在进行模具 CAD 系统开发时,必须对这些图线、表格进行恰当的处理,将其转变为计算机能够接受和处理的表达形式。模具设计准则的计算机处理是模具 CAD 系统开发的一项基础工作,程序化和解析化是处理图线、表格形式设计准则的基本方法。对于某些定性的设计准则,计算机无法采用,需要深入研究,总结出便于使用的定量的设计准则。有些经验准则难以被程序化或解析化,则需要通过人机交互方式处理。

4) 模具 CAD 系统应具有充分的柔性

模具结构随产品的不同而变化,加之模具的几何型面形状复杂、种类繁多,因此,要求模具 CAD 系统具有充分的柔性,即可以根据不同产品的特点和生产条件,灵活地做出选择,方便地

修改设计。因此在开发模具 CAD 系统时,不仅要考虑全面的功能、较高的效率,还应提供充分的柔性。这是实用化的模具 CAD 系统所应具备的基本条件之一。

3. 模具 CAD 的优越性

模具 CAD/CAM 是模具工业技术进步的体现和发展方向,它无论是在提高生产率、改善质量和提高可靠性方面,还是在降低成本、减轻劳动强度和赢得市场竞争方面,都具有传统模具设计制造无法比拟的优越性。归纳起来,模具 CAD 的优越性主要体现在以下几个方面:

1)提高了模具设计质量

在计算机内存储了大量相关专业的综合信息和技术知识,为模具的设计和工艺的制定提供了科学依据。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。另外,系统还可采用优化设计方法对某些工艺参数和模具结构进行优化,从而提高模具设计质量。

2)提高了模具生产效率

由于成形工艺与模具设计计算以及图样绘制均由计算机自动完成,大大缩短了设计时间,同时由于 CAD 与 CAM 的一体化,显著缩短了从设计到制造的周期,提高了模具的生产效率,使产品更新换代加快,大大增强了产品的市场竞争能力。

3)降低了模具生产成本

计算机的高速运算和自动绘图大大节省了劳动力,将技术人员从烦冗的计算、绘图和 NC 编程工作中解放出来,使其可以从事更多的创造性工作。同时,优化设计带来了原材料的节省(如冲压件毛坯排样优化可使材料利用率提高 5%~7%),降低了模具生产成本。

4)增加了模具设计的可靠性

随着塑性成形过程计算机模拟技术的发展和在模具 CAD 中的应用,可以实现对模具成形质量的预判,模具 CAD/CAE/CAM 的一体化可以大大减少试模次数和修模时间,提高了模具的可靠性。

1.4 模具 CAD/CAM 的发展

模具 CAD/CAM 是计算机技术在模具生产中的综合应用,是模具新技术的重要组成部分和重要发展方向。

1.4.1 国外模具 CAD/CAM 的发展与应用情况

发达工业国家于 20 世纪 50 年代末开始模具 CAD/CAM 技术的研究,到 60 年代末,模具 CAD 技术已日渐成熟;70 年代研制出了许多模具 CAD/CAM 的专门系统,可应用于各种类型的模具设计与制造,并取得了显著的应用效果;80 年代,模具 CAD/CAM 技术已广泛用于冷冲模、锻模、挤压模、注塑模和压铸模的设计与制造;进入 90 年代后,国外 CAD/CAM 技术向着更高的阶梯迈进,从软件结构、产品数据管理、面向目标的开发技术、产品建模和智能设计、质量检测等方面都有所突破,为实现并行工程提供了更完善的环境。各类模具 CAD/CAM 软

件的成功开发,使其功能更趋完善,应用也更加广泛。

1. 冷冲模 CAD/CAM

早在 20 世纪 60 年代初,国外一些飞机和汽车公司便致力于飞机机身和汽车车身的 CAD/CAM 研究,CAD/CAM 技术也随之引入冲压模具的 CAD/CAM,并得到了迅速发展。

1971 年,美国 Die-comp 公司推出 PDDC 级进模 CAD/CAM 系统,使设计时间从几个月缩短为 1 天。福特汽车公司研制的汽车车身拉延模 CAD/CAM 系统,用三坐标测量机扫描黏土模型作为计算机的输入信息,并可由计算机进行拉延模模拟研究和成本分析等操作。

1977 年,捷克金属加工工业研究所研制的 AKT 系统,用于简单模、复合模和连续冲裁模的设计与制造,使模具生产周期由一个月缩短为 8 天,成本降低 50%。同年,日本在模具 CAM 方面研制成功了交互式的自动编程系统 JAPT,具有较强的功能,能控制 10 台以上的数控机床。

日本 1978 年推出的用于级进模的 MEL 系统和 1979 年推出的用于冲孔及弯曲模的 PENTAX 系统,采用了先进的人机交互式设计技术,使设计时间减少为原来的 10%。

20 世纪 80 年代后,随着计算机技术的发展,应用模具 CAD/CAM 技术的厂家大大增加,弯曲成形级进模和汽车覆盖件模具 CAD/CAM 系统研制成功。

1981 年,德国 STEPPER 公司针对本公司级进模的设计特点,开发了 KIWI 系统。该系统是在美国 HP 公司的 ME10CAD 图形软件基础上开发的,系统针对性强、效率高,但适应性不好。

1982 年,日立公司研制成弯曲成形模的 CAD/CAM 系统。该系统采用人工与计算机设计相结合的批处理方式运行。即由人工完成产品图展开及工序设计与条料排样、凹模布置,然后用类似 APT 的语言输入计算机,再分别由前处理程序、主处理程序及后处理程序完成毛坯排样与材料利用率的计算、冲压力计算、模具结构设计及输出模具装配图、零件图、线切割纸带等。日本富士通公司也研制成功了级进模 CAD 系统,该系统用于弯曲级进模设计。整个系统包括产品图形输入、凹模和凸模形状设计、条料排样、模板设计、辅助装置设计、绘制模具图并输出线切割纸带。系统中采用自动设计与交互设计相结合的方法,其中毛坯展开、弯曲回弹、凹模布置的工步排序均为自动处理。

Auto-trol 技术公司采用三维几何造型技术,于 20 世纪 80 年代末开发出交互式的模具设计系统 Die-Design。该系统以交互设计为主,采用三维几何造型技术描述钣金零件,然后将三维产品图展开为二维毛坯形状,再由用户交互进行排样,同时将三维图形技术用于模具设计,从而增强了系统模具结构的表达能力。

汽车覆盖件模具 CAD/CAM 的研究在世界各大公司均取得成效。其中日本丰田汽车公司于 1980 年开始采用模具 CAD/CAM 系统,该系统包括 NTDSE 和 CADETT 两个设计软件和加工凸、凹模的 TINCA 软件,可以完成汽车外形设计、车身结构设计、主模型与冲模加工、夹具加工等,可使覆盖件成形模的设计与加工时间减少 50%。美国通用汽车公司、福特汽车公司和英国 PSF 公司均已成功建立车身覆盖件拉延成形模 CAD/CAM 系统,特别是福特汽车公司在覆盖件塑性成形模拟方面取得了很大成就,例如应用大应变弹塑性有限元方法,模拟覆盖件的成形过程,并预测其中的压力、应变分布,失稳破裂及回弹的计算等。

20 世纪 90 年代,许多商品化的 CAD/CAM 系统,如美国的 Pro/ENGINEER、UG II、

SolidWorks、MDT 等系统在模具行业逐步得到应用。但由于这些 CAD/CAM 系统在开发之初是作为通用机械设计与制造的工具来构思的,为了提高模具设计的效率,美国 PTC 公司在 Pro/ENGINEER 的基础上,开发了钣金零件造型模块 Sheet Metal,UG 公司在 UG II 系统上,也开发了类似 Sheet Metal 的模块,但仍缺乏面向冲压成形工艺及模具的专用模块。

目前,许多开发通用 CAD/CAM 软件的公司正在陆续推出能够用于级进模设计与制造的专用软件。如美国 Computer Design 公司开发的级进模 CAD 软件 Striker Systems 是销售较多的商业级进模 CAD/CAM 系统。美国 UG 公司于 2000 年开始与国内华中科技大学合作,在 UG II 平台上开发基于三维图形的级进模 CAD/CAM 软件(PDW),目前已投入使用。

2. 锻模 CAD/CAM

CAD/CAM 技术应用于锻模始于 20 世纪 70 年代。美国贝特-哥伦布实验室的 Altan 等首先开发了轴对称锻件锻模 CAD 系统,随后又研究了有限元、切块法、上限法等塑性模拟中的应用,开发出挤压、轧制、制坯、终锻模 CAD/CAM 系统。用于叶片、螺旋锥齿轮、精锻、机翼轧制、铝型材挤压及预锻成形设计等。系统可模拟整个成形工序的金属流动,这样试验可以通过过程模拟在计算机上进行,其结果在图形终端上显示出来,以指导用户进行方案设计。

前苏联学者捷捷林等用控制论手段和方法,以及应用数学理论(运筹学理论、数理统计等)对锻模过程进行研究和数学描述,不仅能建立设计的客观基础,而且能控制设计过程,以便寻求工艺过程的最优方案,利用计算机实现模锻工艺过程的最优化和自动化。

伯明翰大学的 Bisswas 和 Knight 等针对无孔齿轮、曲轴等复杂锻件开发了包括锻件设计、毛边设计、坯料计算、载荷计算和预锻工步设计内容的程序,并应用专家系统进行预成形设计和模锻型槽布置等。

为了解决三维几何造型问题,伯明翰大学的陈于 1978 年研制成功了 MODCON 系统,此后又经过沃尔沙姆和史密斯等人的改进,使之成为较适合锻模 CAD/CAM 几何构型的系统。此外,在计算机模拟锻造过程方面,小林四郎等人研究发展了刚塑性有限元法,开发了 ALPID 有限元程序包,可以对模具进行描述,并对边界条件自动进行处理和自动产生初始解。此外还可以模拟锻件的二维流动,计算应变、应变速率和应力,并将计算结果以等值线形式显示于图形终端或在绘图机上输出,从而将锻模设计向前推进了一大步。

1987 年美国贝特-哥伦布实验室、Shultz 钢铁公司、加利福尼亚大学等联合开发了锻模 CAD/CAM/CAE 系统,包括工程分析、几何图形数据库、锻造材料数据库、工艺过程模拟、终锻模和预锻模设计、经济分析等功能。

轴对称锻件约占锻件总数的 30%,加上轴对称锻件几何形状简单,易于描述和定义,所以开发锻模 CAD/CAM 系统时国内外大多数机构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、锻模工艺设计、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。锻模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等。

除轴对称锻件外,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 CAD/CAM 软件上二次开发的长轴类锻模的 CAD/CAM 系统,仅限于

特定产品和特定场合的应用。

目前,国内外基于对锻模 CAD/CAM 进行的广泛研究,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就。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。

3. 注塑模 CAD/CAM

起初注射模 CAD 技术研究主要集中在塑料在型腔的流动、保压和冷却的分析模拟上。20 世纪 60 年代到 70 年代中期,英国、美国、加拿大的一些学者研究了塑料熔体在简单型腔(圆盘形、矩形)内的流动情况,建立了熔体一维流动数学模型。此后加拿大 McGill 大学的 Kamal, M. R 教授领导的科研小组系统地研究了塑料在型腔内的流动、保压、冷却的行为和特征,建立了注塑工艺过程计算机模拟的集成化系统 MCKAM。美国 Cornell 大学对注塑模 CAE/CAD/CAM 进行了深入的研究,先后建立了注塑过程流动、保压、冷却的一维、二维和三维数学模型,开展了塑料熔体流变性能和热性能的实验研究,创立了流道平衡计算的数学模型。此外,德国 Aachen 大学 IKV 塑料工程研究所开发出了一系列注塑模设计和工艺模拟的计算机软件。

随着实体造型技术的日趋成熟,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 Pro/ENGINEER、UGS 公司的 UG II、SDRC 公司的 I-DEAS,目前这 3 个 CAD/CAM 系统在塑料模生产中的应用最为广泛。也有在通用 CAD 软件上开发注射模设计系统的,如以色列的 Cimatron 公司,就在 Auto CAD 软件包上开发了注射模设计系统。此外还有美国 CV 公司的 CADDS 系统、法国 MATRA 公司的 EUCLID 系统、法国 DASSAULT 公司的 CATIA 系统、英国 DELCAM 公司的 DUCT 系统、日本造船信息系统株式会社的 Space-E 系统和日本 UNISYS 株式会社的 CADCEUS 系统等也都各具特色,而且拥有各自的用户群。

1.4.2 国内模具 CAD 的发展情况

国内对模具 CAD/CAM 研究起步相对较晚,直到 20 世纪 70 年代末才开始简单冲裁模 CAD/CAM 的研究工作,但发展较快。1981 年电子工业部下达了“精冲模 CAD/CAM”课题,于 1984 年通过了技术鉴定。1983 年机械工业部将“冷冲模 CAD/CAM”列为国家“六五”攻关项目,并于 1986 年通过鉴定。与此同时,有多个单位相继完成了冲裁模 CAD/CAM 系统、多工位级进模 CAD 系统等。20 世纪 90 年代中期,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 软件平台上开发的基于特征的级进模 CAD/CAM 系统 HMJC、上海交通大学为瑞士法因托(Finetooll)精冲公司成功开发的精密冲裁级进模 CAD/CAM 系统、西安交通大学开发出的多工位弯曲级进模 CAD 系统、深圳雅明软件制作室开发的级进模系统 CmCAD 等。

在汽车覆盖件模 CAD/CAM 研究中,也取得了许多可喜的成果。如华中科技大学模具技术国家重点实验室最新推出的汽车覆盖件冲压成形快速分析软件 FAS-TAMP,基于改进的有限元逆算法和板壳单元,综合考虑了摩擦、压边力和拉深筋等工艺条件,将产品设计、材料选择和工艺设计紧密联系起来,能够快速模拟汽车覆盖件成形后的起皱、破裂和成形不足等缺

陷,优化压边力、拉深筋和摩擦等工艺参数,校核压料面和工艺补充面的合理性,提供最优的毛坯形状,从而可以为汽车覆盖件工艺设计和模具设计提供全面的解决方案。

在锻模 CAD/CAM 方面,成功开发了长轴类锻件、饼类锻件和复杂锻件的锻模 CAD/CAM 系统及辊锻模 CAD/CAM 系统等。

在注塑模 CAD/CAM 方面,也已取得了很大发展,主要研究成果有:华中科技大学 1988 年实现了注射模 CAD/CAE/CAM,近年来还在华中软件公司的三维参数化造型系统 Inter-Solid 的基础上开发了三维注射模设计系统。合肥工业大学开发了注射模二维系统 IPMCAD 和三维系统 IPMCAD3.0;随后以 Auto CAD 和 MDT 为环境,进一步采用参数化特征模型、特征建模技术和装配模型技术,研制出注射模 CAD 三维参数化系统 IPMCAD4.0。此外,还有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、郑州工业大学的 Z-MOLD 等系统。

“十五”期间,我国在模具制造信息化方面取得了一些成就,例如,复杂模具设计与制造装备开发与应用示范,开发了汽车覆盖件拉延模的智能化设计与精密制造技术,并在汽车行业中得到应用;开发了大型覆盖件复杂模块化模具设计数据库、模块化模具设计专家系统、基于 CAE 的冲压工艺分析系统;开发了模具制造系统与装备,并实现了与其他相关技术与装备的系统集成;开发了具有自主知识产权实用化和商品化的注塑成型过程计算机模拟仿真软件,实现了与 CAD/CAM 系统的无缝拼接;研究开发了工程塑料精密注射成型模具智能化设计技术和塑料注射成型三维模拟仿真系统,并在国内 60 多家模具企业和高校中推广使用。

“十一五”国家科技支撑计划“先进近净成形与模具制造技术”重点项目正式启动以来,通过在精密铸造、精密塑性成形、精密连接等领域的深入研究,为我国装备制造业提高生产效率、节能减排作出了突出贡献。

尽管如此,与国外先进水平相比,我国的模具 CAD/CAM 技术还存在较大差距。虽然我国模具 CAD/CAM 研究取得的成果不少,但真正形成商品的不多,更难以形成产业。我国的模具 CAD/CAM 应继续开展产品特征建模方法的研究,以满足后续工艺设计与模具设计的需要;继续研究专家系统技术在模具设计中的应用,开展基于知识工程(KBE)技术的研究,逐步提高模具 CAD/CAM 系统的智能程度;开发面向并行设计的模具 CAD/CAM 集成系统,发展塑性成形过程的计算机模拟技术,并形成模具 CAD/CAE/CAM 集成系统,以提高模具设计的可靠性。

1.4.3 模具技术的发展趋势

根据模具技术的现状、需求和发展分析,未来的模具工业和模具技术的发展方向将主要集中在以下几个方面。

1. CAD/CAE/CAM 技术的广泛应用

实践证明,模具 CAD/CAE/CAM 技术是当代最先进、最合理的模具生产方式。从 CAD/CAE/CAM 一体化的角度分析,发展趋势是集成化、三维化、智能化和网络化,其中心思想是让用户在统一的环境中实现 CAD/CAE/CAM 协同作业,充分发挥各单元的优势和功能。

集成化要求模具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