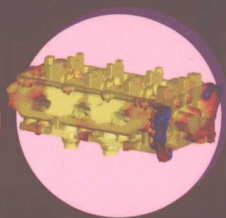
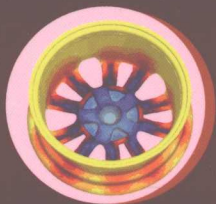
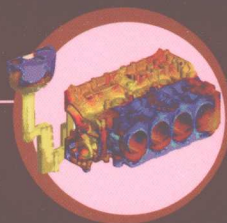
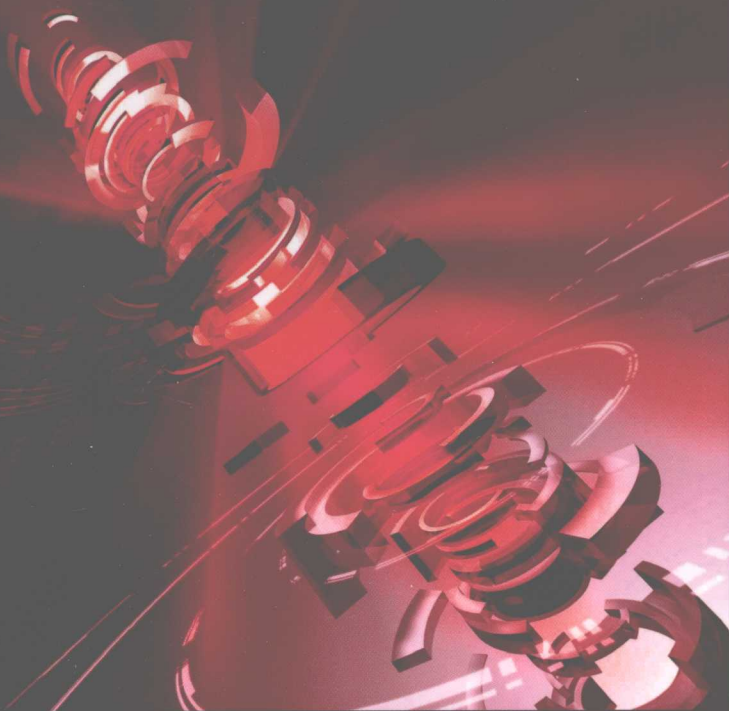


铸造 CAD/CAE

高等学校教材

◎ 周建新 廖敦明 等编著

ZHUZAO CAD/CAE



化学工业出版社

本书系统地介绍了铸造 CAD、铸造 CAE 技术。就铸造 CAD 技术而言,首先介绍了 CAD 系统的组成与分类、三维造型技术等基础知识;其次介绍了如何利用 AutoCAD、UG、SolidWorks、Pro/E 等通用 CAD 系统进行铸件及工艺的 CAD 设计;在上述基础上,介绍了基于 AutoCAD 的二维铸造工艺 CAD 系统与基于 UG 的三维铸造工艺 CAD 系统的开发与应用。就铸造 CAE 技术来说,首先介绍了有限差分法、有限元法等基础知识;其次详细介绍了铸造凝固过程及充型过程数学模型与数值求解、CAE 模拟软件、应用实例等;最后介绍了铸造应力/应变模拟及组织模拟。

本书是为高等学校设有铸造专业(或材料成形与控制专业铸造方向)的本科生、专科生编写的教材,也可以用作铸造 CAD/CAE 技术培训教材,本书亦可供铸造 CAD/CAE 技术开发与应用的高校教师、研究生以及铸造企业科研人员、技术管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铸造 CAD/CAE / 周建新, 廖敦明等编著. —北京: 化学工业出版社, 2009.8
高等学校教材
ISBN 978-7-122-06188-1

I. 铸… II. ①周… ②廖… III. ①铸造-计算机辅助设计② 铸造-计算机辅助分析 IV. TG2-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 114848 号

责任编辑: 彭喜英

文字编辑: 颜克俭

责任校对: 陶燕华

装帧设计: 王晓宇

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: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 21 字数 528 千字 2009 年 8 月北京第 1 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: 36.00 元

版权所有 违者必究

前 言

计算机技术的发展与普及,使传统的铸造生产从“经验”走向“科学”,从“定性”走向“定量”。计算辅助设计、计算机辅助工程等先进的计算机应用技术已越来越成为铸造生产不可或缺的关键技术。

本书专门论述了铸造 CAD/CAE。第 1 章介绍了铸造 CAD/CAE 的基本概念、发展趋势。第 2~5 章,介绍铸造 CAD 技术,第 6~9 章,介绍铸造 CAE 技术。第 2 章介绍了铸造 CAD 技术基础,如 CAD 系统的组成与分类、三维造型技术、数据信息交换技术以及铸造工艺 CAD 系统组成。第 3 章介绍了二维铸造工艺 CAD 系统,如 AutoCAD2009 基本知识、二维铸造工艺 CAD 系统的开发技术以及基于 AutoCAD 的二维华铸 CAD 系统。第 4 章介绍了三维铸造工艺 CAD 系统,如 UG 基本知识、三维铸造工艺 CAD 系统的开发技术以及基于 UG 的三维铸造工艺 CAD 系统。第 5 章介绍了其他通用 CAD 系统,如 SolidWorks、Pro/Engineer 等通用 CAD 软件的基本知识、应用实例。第 6 章介绍了铸造 CAE 技术基础,如铸造 CAE 技术研究目的与内容、有限差分法与有限元法等数值分析方法以及铸造 CAE 系统组成。第 7 章介绍了铸造凝固过程 CAE 技术,如凝固过程的数学模型与数值求解、凝固过程 CAE 软件、凝固过程 CAE 技术应用实例。第 8 章介绍了铸造充型过程 CAE 技术,如充型过程的数学模型与数值求解、充型过程 CAE 软件、充型过程 CAE 技术应用实例。第 9 章介绍了铸造过程中的其他 CAE 技术,如铸造应力场数值模拟、铸造微观组织模拟。

本书第 1 章,第 6 章的第 1、2、4 节,第 7 章以及第 8 章由华中科技大学周建新编写;第 2 章,第 3 章的第 1、2、3 节,第 4 章第 1、2、3 节,第 5 章,第 6 章的第 3 节,第 9 章由华中科技大学廖敦明编写;第 3 章的第 4 节由厦门理工学院李辉编写;第 4 章的第 4 节由湖北工业大学龚雪丹编写;全书由周建新负责统稿。在本书的编写过程中,华中科技大学刘瑞祥教授、陈立亮教授、魏华胜教授给予了大力的支持与帮助,在此深表感谢。

鉴于编者水平有限,书中难免有不当之处,敬请读者批评指正。

编者

2009 年 4 月

目 录

第1章 绪论	1	3.2 AutoCAD2009 介绍	38
1.1 CAD/CAE 基本概念	1	3.2.1 AutoCAD2009 简介	38
1.2 铸造 CAD/CAE 技术	2	3.2.2 AutoCAD2009 绘图 预备知识	42
1.3 铸造 CAD/CAE 技术发展趋势	3	3.2.3 AutoCAD2009 绘图基础	44
习题	4	3.2.4 AutoCAD2009 基本 绘图设置	55
第2章 铸造 CAD 技术基础	5	3.3 二维铸造工艺 CAD 系统的 开发技术	57
2.1 概述	5	3.3.1 基于 AutoCAD 的二次 开发技术	57
2.2 CAD 系统的组成与分类	6	3.3.2 二维铸造工艺 CAD 系统 开发工具的选用	58
2.2.1 CAD 系统的组成	6	3.4 基于 AutoCAD 的二维铸造 工艺 CAD 系统	59
2.2.2 CAD 系统的分类	12	3.4.1 二维华铸 CAD 系统介绍	59
2.3 CAD 系统的三维造型技术	14	3.4.2 华铸 CAD 二维铸钢系统	59
2.3.1 线框造型	15	3.4.3 华铸 CAD 二维球铁系统	78
2.3.2 曲面造型	16	习题	85
2.3.3 实体造型	16	第4章 三维铸造工艺 CAD 系统	86
2.3.4 特征造型	17	4.1 概述	86
2.3.5 参数化技术	19	4.2 UG 介绍	87
2.3.6 变量化技术	21	4.2.1 Siemens PLM Software 简介	87
2.4 CAD 系统的数据信息交换	22	4.2.2 UG 界面	89
2.4.1 产品数据交换接口	22	4.2.3 UG 的主要特点和功能 模块	91
2.4.2 初始图形交换规范—— IGES	23	4.2.4 UG 绘图实例	93
2.4.3 产品模型数据交换规 范——STEP	25	4.3 三维铸造工艺 CAD 系统的 开发技术	101
2.4.4 数据交换格式——STL	27	4.3.1 基于 UG 的二次开发 技术	101
2.5 铸造工艺 CAD 系统	29	4.3.2 三维铸造工艺 CAD 系统 开发工具 UG/Open	101
2.5.1 铸造工艺设计的基本过程	30		
2.5.2 铸造工艺 CAD 系统 的组成	31		
2.5.3 铸造工艺 CAD 系统的 研究现状	33		
2.5.4 铸造工艺 CAD 的发展 趋势	35		
习题	36		
第3章 二维铸造工艺 CAD 系统	37		
3.1 概述	37		

4.3.3 UG 二次开发工具之间 的关系	103	6.4.1 前处理模块	186
4.4 基于 UG 的三维铸造工艺 CAD 系统	103	6.4.2 计算分析模块	187
4.4.1 三维铸造工艺 CAD 系统 简介	103	6.4.3 后处理模块	187
4.4.2 铸钢件三维铸造 工艺 CAD	104	习题	187
4.4.3 球铁件三维铸造 工艺 CAD	114	第 7 章 铸造凝固过程 CAE 技术	188
4.4.4 三维压铸模 CAD	118	7.1 铸造凝固过程的数学模型与 数值求解	188
习题	130	7.1.1 传热的基本方式	188
第 5 章 其他通用 CAD 系统介绍	131	7.1.2 传热分析的常用数值 方法	189
5.1 概述	131	7.1.3 数学模型	189
5.2 SolidWorks 介绍	131	7.1.4 基于有限差分方法的 离散	191
5.2.1 SolidWorks 2008 的特点	132	7.1.5 初始条件与边界条件	193
5.2.2 SolidWorks 2008 的 基本操作	132	7.1.6 潜热处理	196
5.2.3 SolidWorks 2008 应用 实例	141	7.1.7 温度场数值模拟流程图	201
5.3 Pro/Engineer 介绍	151	7.2 铸造凝固过程 CAE 软件	202
5.3.1 Pro/Engineer 概况与特点	151	7.2.1 概述	202
5.3.2 Pro/Engineer Wildfire 5.0 的基本操作	152	7.2.2 凝固过程模拟分析 软件操作步骤	205
5.3.3 Pro/Engineer 应用实例	161	7.2.3 前处理网格剖分	208
习题	166	7.2.4 计算分析	211
第 6 章 铸造 CAE 技术基础	167	7.2.5 后处理数据可视化	213
6.1 概述	167	7.3 铸造凝固过程 CAE 技术应用 实例	222
6.1.1 研究目的与内容	167	7.3.1 砂型铸钢件应用实例	223
6.1.2 数值分析方法	167	7.3.2 熔模铸钢件应用实例	230
6.2 有限差分法基础	169	7.3.3 球铁件应用实例	235
6.2.1 差分原理及逼近误差	169	7.3.4 灰铁件应用实例	243
6.2.2 差分方程、截断误差和 相容性	172	7.3.5 铜合金铸件应用实例	245
6.2.3 收敛性与稳定性	176	7.3.6 铝合金重力铸件应用 实例	249
6.2.4 Lax 等价定理	179	7.3.7 铝合金低压铸件应用 实例	252
6.3 有限元法基础	180	7.3.8 压铸件应用实例	254
6.3.1 有限元法概述	180	习题	256
6.3.2 有限元解题的基本过程	182	第 8 章 铸造充型过程 CAE 技术	257
6.4 铸造 CAE 软件组成	186	8.1 铸造充型过程的数学模型 与数值求解	257

8.1.1	流体的基本概念	257	8.3.5	铝合金重力铸件应用实例	292
8.1.2	流动分析的主要方法	257	8.3.6	低压铸件应用实例	293
8.1.3	数学模型	259	8.3.7	压铸件应用实例	295
8.1.4	数学模型的离散	262	习题		301
8.1.5	SOLA-VOF 方法	263	第 9 章 铸造过程中的其他 CAE		
8.1.6	流动与传热耦合计算	265	技术		302
8.1.7	流动场计算分析的流程	267	9.1 铸造应力场数值模拟		302
8.2 铸造充型过程 CAE 软件		267	9.1.1 铸造应力 CAE 概述		302
8.2.1 充型过程模拟分析软件			9.1.2 弹塑性理论基础		304
操作步骤		267	9.1.3 铸造应力场特性及数值求解过程		309
8.2.2 前处理网格剖分		269	9.1.4 铸造应力场 CAE 实例		312
8.2.3 计算分析		272	9.2 铸造微观组织模拟		318
8.2.4 后处理数据可视化		277	9.2.1 概述		318
8.3 铸造充型过程 CAE 技术应用实例		282	9.2.2 铸造凝固过程的微观组织模拟		319
8.3.1 铸钢件应用实例		282	9.2.3 铸造组织模拟实例		324
8.3.2 球铁件应用实例		284	习题		328
8.3.3 灰铸应用实例		287	参考文献		329
8.3.4 铜合金铸件应用实例		289			

第1章 绪 论

计算机技术经过半个多世纪的发展,已渗透到社会的各个角落,对各行各业的发展起着重要作用;同样,计算机技术也深刻地改变了有着悠久历史的铸造行业,计算辅助设计、计算机辅助工程等先进的计算机应用技术已越来越成为铸造生产不可或缺的关键技术。

1.1 CAD/CAE 基本概念

(1) 计算机辅助设计

计算机辅助设计(Computer Aided Design)简称 CAD,是以计算机为主要手段来辅助设计者完成某项设计工作的建立、修改、分析和优化、信息输出等全部任务的综合性高新技术。

作为现代先进设计与制造技术的基础, CAD 是多学科相交叉、知识密集型的高新技术。它使产品设计的传统模式发生了深刻变革,不仅改变了工程界的设计思想及思维方式,而且影响到企业的管理和商业对策,是现代企业必不可少的设计手段。

计算机辅助设计的主要研究内容包括造型技术、优化分析、综合评价和信息交换等方面。

① 造型技术 计算机辅助设计是以各种数字化的图形来表达设计方案,因此图形处理和表达是计算机辅助设计技术研究的基础与关键。人们在解决了二维图形问题之后,将目光主要集中在三维的图形技术方面,曲面造型、实体造型、特征化造型、参数化设计等都是研究的重点。

② 优化分析 在工程设计中往往要进行某些分析,包括力学、传热学、流体力学等。如今,提供优化分析功能的各种专用软件和商品化的通用软件已被广泛地集成到计算机辅助设计系统中去。它允许使用者在设计的同时就能够充分地分析、优化所设计的方案,使设计达到最优。

③ 综合评价 一般情况下,设计方案完成后都需要进行校核和评价,包括尺寸校核、外观分析、内部结构剖析、碰撞检验以及材料加工中的各种缺陷预测等。现代先进的 CAD 系统往往提供分块、分层或剖切功能,三维 CAD 系统具备的实时旋转、缩放等功能,使设计者感觉就像是面对完全真实的物体,通过视点的变化对设计对象进行平滑的、逼真的、动态的观察,可以剖视它们的内部结构,进行各种校验和评价,从而获得改进的方案。对于由多个零件组成的机构, CAD 系统可以仿真各个零件的装配过程,给出准确的装配关系,自动检查干涉情况,为设计方案的修改提供准确的指导。

④ 信息交换 CAD 系统的信息交换包括 CAD 与 CAD 系统之间、CAD 与其他系统如计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing,简称 CAM)、计算机辅助工程(Computer Aided Engineering,简称 CAE)、计算机辅助工艺规划(Computer Aided Process Planning,简称 CAPP)以及快速原型制造(Rapid Prototype Manufacturing,简称 RPM)等之间以及通过因特网(Internet)进行的远程的、异地的信息沟通与资源共享。畅通无阻信息交换的前提是制定通用、科学的信息交换规则,即数据交换标准,诸如 IGES、STEP、SET 等纷纷出现,为 CAD 的资源共享起到了重要作用,推动了 CAD 技术的发展和应用。更合理、更高效、更

准确的信息交换仍是目前 CAD 技术研究的热点之一。

(2) 计算机辅助工程

计算机辅助工程 (Computer Aided Engineering, 简称 CAE) 又称模拟仿真技术。主要是通过构造能够准确描述研究对象的某一过程或属性的数学模型; 利用合适的求解方式, 设置合理的边界条件和初始条件, 得到研究对象的某一过程或属性的求解结果。预测可能产生的问题和发展趋势, 提出科学、合理的对策、建议和方法。

CAE 技术与 CAD 紧密配合, 大大提高了 CAD 的设计质量和效率, 是 CAD 智能化的一个重要途径。CAE 的主要研究内容有以下几方面。

① 有限元分析 用有限元 (Finite Element Method, 简称 FEM) 对产品结构的静态、动态特性、强度、振动、热变形、磁场强度、流场等进行分析和研究, 改进产品设计、优化工艺方案。

② 模拟仿真 通过建模、求解、分析, 模拟实际过程, 优化产品设计和工艺方案。常见的模拟仿真方法包括有限差分法 (Finite Different Method, 简称 FDM)、边界元法 (Boundary Element Method, 简称 BEM) 等, 有时也把上述的有限元法归类到模拟仿真技术的范畴。

③ 优化设计 研究用参数优化法进行方案优选, 这是 CAE 系统应具有的基本功能。

④ 三维运动机构的分析和仿真 研究机构的运动学特性, 对机构的运动参数、运动轨迹、干涉校核进行研究以及用仿真技术研究运动系统的某些性质, 从而为人们设计机构时提供直观的、可以仿真或交互的设计技术。

1.2 铸造 CAD/CAE 技术

铸造是机械制造工业毛坯和零件的主要提供者, 在国民经济中占有极其重要的地位, 将 CAD/CAE 技术应用到铸造行业, 对铸件工艺设计、铸件生产水平具有重要的意义。铸造 CAD/CAE 技术是传统铸造技术与计算机技术、信息处理技术等相结合的产物, 是铸造行业技术进步的重要标志。本书将系统地介绍铸造 CAD/CAE 技术, 下面简要介绍铸造 CAD/CAE 技术概念。

(1) 铸造 CAD 技术

广义的铸造 CAD 技术, 是指将通用的 CAD 软件, 如 AutoCAD、UG、Pro/Engineer、SolidWorks、CAXA 等, 应用到铸件的生产过程。狭义的铸造 CAD 技术是指铸造工艺 CAD 技术, 主要包含铸造浇注系统设计、冒口补缩系统设计、冷铁设计、砂芯设计、铸造分型面确定、加工余量确定、拔模斜度确定等, 还包括浇注系统库、冒口库、冷铁库、芯头库的建立, 工艺图的标注与打印等, 实现铸造工艺的快速准确设计。本书后续章节将介绍部分常用的 CAD 软件以及基于通用 CAD 系统铸造工艺 CAD 系统。

(2) 铸造 CAE 技术

铸造 CAE 技术是采用有限分析技术 (有限差分法、有限元法等) 进行铸造充型过程、凝固过程的模拟, 在电脑中“试生产”铸件, 为制定合理的铸造工艺提供有力的指导。铸造 CAE 技术涉及铸造成形理论与实践、计算机图形学、多媒体技术、可视化技术、三维造型、传热学、流体力学、弹性塑性力学等多种学科, 是典型的多学科交叉的前沿领域, 其主要研究内容有: 充型过程流动场模拟、凝固过程温度场模拟、应力应变分析、微观组织模拟等。

本书将重点介绍铸造凝固过程温度场 CAE 技术以及充型过程流动场 CAE 技术。

铸造 CAD/CAE 技术在铸造生产中起着越来越重要的作用，铸件的生产也越来越离不开铸造 CAD/CAE 技术。图 1-1、图 1-2 所示的就是铸造 CAD/CAE 技术应用示例，采用铸造 CAD/CAE 技术是铸造技术发展的必由之路。

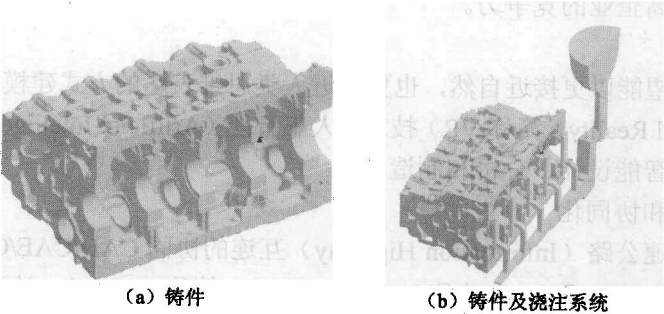


图 1-1 某缸体铸件及其工艺 CAD 模型

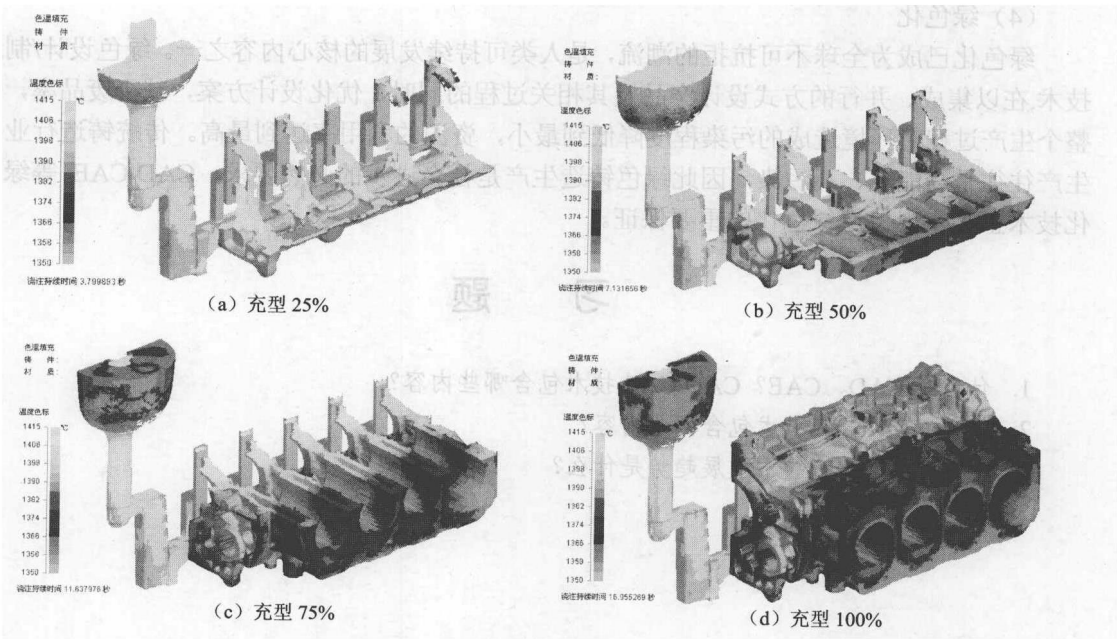


图 1-2 某缸体铸件充型过程 CAE 模拟结果

1.3 铸造 CAD/CAE 技术发展趋势

当今世界竞争越来越激烈，企业要赢得竞争，就要以市场为中心、以用户为中心，快速地响应市场的需要、高质量地满足用户的要求。因此，如何在最短的时间内设计铸造工艺并生产出合格铸件，并且具有最低的成本和价格是 CAD、CAE 要解决的现实问题，也就决定 CAD、CAE 技术发展的方向和趋势。特别是随着计算机、Internet 及相关技术的飞速进步，使 CAD、CAE 呈现出高度集成化、智能化、网络化和绿色化的发展趋势如下所述。

(1) 高度集成化

以特征三维造型为基础的 CAD/CAE 以及 CAPP/CAM 的集成是未来产品设计开发的主要模式。尤其进一步与快速原型制造 (RPM) 的集成, 可以构成一个闭环快速产品开发系统, 在并行工程 (CE) 环境下, 能够对产品进行快速评价、修改, 以响应市场大规模客户化生产的需要, 提高企业的竞争力。

(2) 智能化

智能化即希望能以更接近自然, 也更接近人类思维表达的方式建模、仿真和制造。利用虚拟现实 (Virtual Reality, 简称 VR) 技术、人工智能 (Artificial Intelligence, 简称 AI) 技术, 实现人机一体的智能设计、分析和制造。

(3) 网络化和协同化

形成信息高速公路 (Information Highway) 互连的协同 CAD/CAE/CAM, 实现计算机支持协同工作 (Computer Supported Cooperative Work, 简称 CSCW), 达到远程 (异地) 设计/制造 (Remote Design/Manufacturing) 的目的, 从而最大限度地充分发挥不同单位、区域和国家的各自优势, 多快好省地进行产品设计与制造。

(4) 绿色化

绿色化已成为全球不可抗拒的潮流, 是人类可持续发展的核心内容之一。绿色设计/制造技术, 在以集成、并行的方式设计产品及其相关过程的同时, 优化设计方案, 减少废品率, 使整个生产过程对环境造成的污染程度降低到最小, 资源的利用率达到最高。传统铸造行业的生产往往是高能耗、高污染, 因此绿色铸造生产是社会进步的必然要求, CAD/CAE 等绿色化技术正是实现铸造绿色化的重要保证。

习 题

1. 什么是 CAD、CAE? CAD/CAE 技术包含哪些内容?
2. 铸造 CAD/CAE 技术包含哪些内容?
3. 铸造 CAD/CAE 技术发展趋势是什么?

第2章 铸造 CAD 技术基础

2.1 概 述

计算机辅助设计 (Computer Aided Design, 简称 CAD) 就是设计人员在计算机硬件和软件系统的辅助下完成产品设计、绘图、工程分析与技术文档编制等工作的过程。CAD 技术将人和计算机的最好特性结合起来。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, 在工程和产品设计中, 可以帮助设计人员担负计算、信息存储和制图等工作。在设计中通常要用计算机对不同方案进行大量的计算、分析和比较, 以决定最优方案; 各种设计信息, 不论是数字的、文字的或图形的, 都能存放在计算机的内存或外存里, 并能快速地检索; 而设计人员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。CAD 能够减轻设计人员的劳动强度, 缩短设计周期, 加快新产品开发速度, 提高产品设计质量, 节约成本, 增强市场竞争能力和企业创新能力。

20 世纪 50 年代在美国诞生第一台计算机绘图系统, 开始出现具有简单绘图输出功能的被动式的计算机辅助设计技术。60 年代初期出现了 CAD 的曲面造型技术, 中期推出商品化的计算机绘图设备。70 年代, 完整的 CAD 系统开始形成, 后期出现了能产生逼真图形的光栅扫描显示器, 推出了手动游标、图形输入板等多种形式的图形输入设备, 促进了 CAD 技术的发展。80 年代, 随着强有力的超大规模集成电路制成的微处理器和存储器件的出现, 工程工作站问世, CAD 技术在中小型企业逐步普及。80 年代中期以来, CAD 技术向标准化、集成化、智能化方向发展。一些标准的图形接口软件和图形功能相继推出, 对 CAD 技术的推广、软件的移植和数据共享起了重要的促进作用; 系统构造由过去的单一功能变成综合功能, 出现了计算机辅助设计与辅助制造联成一体计算机集成制造系统; 网络技术、多处理机和并行处理技术在 CAD 中的应用, 极大地提高了 CAD 系统的性能; 人工智能和专家系统技术引入 CAD, 出现了智能 CAD 技术, 使 CAD 系统的问题求解能力大为增强, 设计过程更趋自动化。

CAD 技术的优越性赋予了产品设计无限的生命力, 使其得以迅速发展和广泛应用。无论在提高生产率、改善质量方面, 还是在降低成本、减轻劳动强度方面, CAD 技术的优越性是传统的产品设计制造方法所不能比拟的。

第一, CAD 可以提高产品的设计质量。在计算机系统内存储了各有关专业的综合性的技术知识, 为产品的设计和工艺的制定提供了科学的依据。计算机与设计人员交互作用, 有利于发挥人机各自的特长, 使产品设计和制造工艺更加合理化。系统采用的优化设计方法有助于某些工艺参数和产品结构的优化。

第二, CAD 可以节省时间, 提高生产率。设计计算和图样绘制的自动化大大缩短了设计

时间。CAD 与 CAM 的一体化可显著缩短从设计到制造的周期。例如,采用冲裁模 CAD 系统设计制造产品,比传统方法提高效率 5 倍以上。由于产品质量提高,可靠性增加,产品的交货时间大大缩短。

第三,CAD 可以较大幅度地降低成本。计算机的高速运算和自动绘图大大节省了劳动力。优化设计带来了原材料的节省,例如,冲压件的毛坯优化排样可使材料利用率提高 5%~7%。采用 CAM 可加工传统方法难以加工的复杂产品型面,可减少产品的加工和调试工时,使制造成本降低。CAD 的经济效益有些可以估算,有些则难以估算。由于采用 CAD 技术,生产准备时间缩短,产品更新换代加快,大大增强了产品的市场竞争能力。

第四,CAD 技术将技术人员从繁冗的计算、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劳动。

CAD 作为电子信息技术(IT)的一个重要组成部分,是实现设计自动化、智能化,促进科研成果的开发与转化,增强企业创新和竞争能力,加速国民经济发展和国防现代化的一个关键性高新技术;也是进一步向“计算机集成制造”(CIMS: Computer Integrated Manufacturing System)发展的重要技术基础。目前,CAD 已在机械设计、电子和电气、科学研究、软件开发、机器人、服装业、出版业、工厂自动化、土木建筑、地质、计算机艺术等各个领域得到了广泛应用。

2.2 CAD 系统的组成与分类

2.2.1 CAD 系统的组成

通常而言,一个 CAD 系统应具有图形显示、数据存储和输入输出等基本功能。因为 CAD 设计是一个人机交互设计的过程,在进行产品造型、零件或模具结构设计以及模拟仿真时系统应保证用户能随时观察、修改其设计结果,使用户的操作都能从显示器上及时得到反馈,以便达到最佳设计结果。同时,由于 CAD 系统运行时不仅需要大量存储在数据库中的静态数据,而且还有大量的中间运行产生的数据,如图形处理的数据、有限元网格划分的数据等,为了保证系统能够正常的运行,故必须配置容量较大的存储设备,支持数据在各模块运行时的正确流通,同时工程数据库系统的运行也必须有足够的存储空间。而且,在 CAD 系统运行过程中,用户需通过人机交互设计界面不断地将有关设计的要求与数据等输入计算机内,通过计算机的处理后能够输出系统处理的结果,且输入输出的信息既可以是数值的,也可以是图形数据与字符等。

CAD 系统为满足上述功能要求应配置相应的硬件与软件。

2.2.1.1 CAD 系统的硬件组成

CAD 系统的硬件由计算机主机、外存储器、图形显示设备、输入输出设备、网络及其他外部设备等组成。图 2-1 所示为 CAD 系统的硬件组成。

(1) 计算机主机

又称中央处理机,是计算机的核心。主机是控制及指挥整个系统并执行运算、逻辑分析的装置,是计算机的核心。主机由运算器、控制器和主存储器(内存)及 I/O 接口构成。运算器负责执行指令所规定的算术和逻辑运算;控制器负责解释指令、控制指令的执行顺序、访问存储器等;内存用来存放指令和数据。

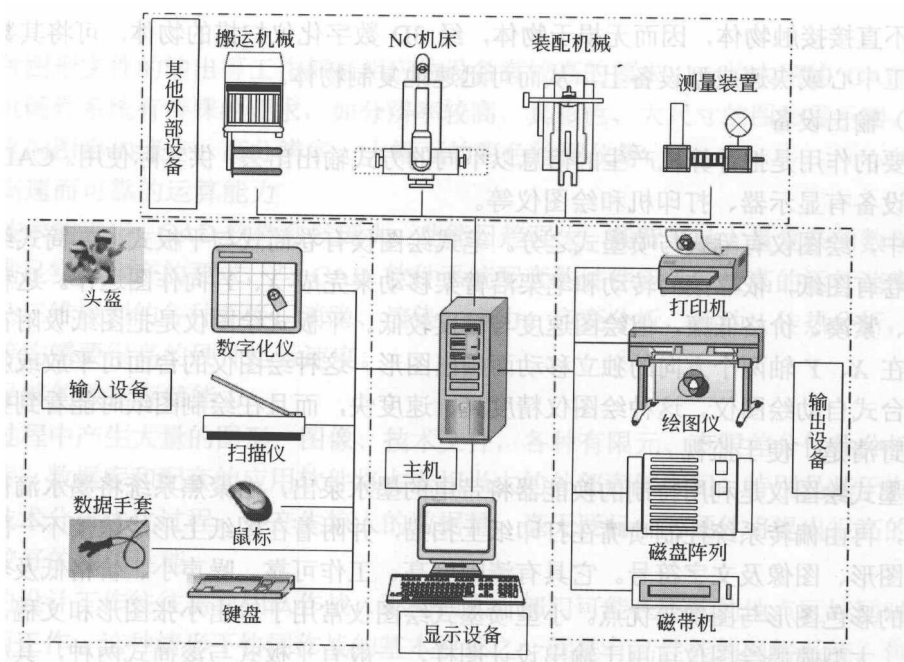


图 2-1 CAD 系统的硬件组成

(2) 外存储器

与内存的区别在于它是设置在计算机主机之外。与内存相比，其容量大，但存取速度较慢。CAD 系统需要存储的信息量很大，仅有内存是远远不够的，故一般要设置外存储器来存放暂时不用的程序和数据，既可作为对内存容量不足的一种弥补，又可起到永久性存储的作用。当需使用外存储器中的信息时，CPU 根据指令，通过控制器将这些信息调入到内存才能使用，如果要计算结果送至外存中存储起来，也必须经主存储器才能写入外存储器中。外部存储器中常见的有硬盘、光盘、U 盘、磁带等。

(3) 输入设备

主要的作用是把外界信息输送到计算机中，供计算机运算和处理。常用的有：键盘，图形输入设备如鼠标 (Mouse)，图形输入板 (Tablet)，光笔 (Light pen)，数字化仪 (Digitizer)，图纸自动扫描输入设备等。

其中，键盘是一种最基本的输入设备，其主要功能是输入命令或数据。键盘和其他输入设备配合使用，可以实现人机对话，或修改、编辑字符和图形。鼠标是 CAD 系统中最常用的光标控制设备，用来控制屏幕上光标的位置。用户可通过控制光标位置把需给定的数据输入到计算机中，如确定一直线的起点、终点、圆心坐标。另外也可利用光标拾起图形元素或“菜单”。自动扫描输入机是利用光学扫描原理，对已有图纸自动地进行高精度扫描，高速地完成图纸输入工作，并能把扫描输入的数据转换成计算机文件记录下来。目前扫描仪已由 2D (二维) 扫描发展到了 3D 扫描。一种是将 3D 物体直接转变为 2D 图像，典型产品是美国的 Kan Image 公司生产的扫描仪，称为 Kans Can，其过程为：在被扫描的物体周围设置灯光照射，扫描头沿导轨作二维运动，从而将物体变为一个彩色图像，输入计算机进行处理。另一种是将 3D 物体自动转化为 3D 模型，3D 自动化数字化仪可自动地将 3D 物体的表面形状以及色彩的信息输入到计算机中，它利用激光和视频技术，能以极高的分辨率快速扫描 3D 物

体,而不直接接触物体,因而无损于物体,经 3D 数字化仪扫描的物体,可将其数据传输到数控加工中心或快速成型设备上,从而可迅速地复制物体。

(4) 输出设备

主要的作用是把计算机产生的信息以不同的方式输出出去,供实际使用。CAD 系统的常用输出设备有显示器、打印机和绘图仪等。

其中,绘图仪有笔式与喷墨式之分。笔式绘图仪有卷筒式与平板式。卷筒式绘图仪是在卷筒上卷有图纸,依靠滚筒转动和笔架沿臂架移动来完成 X、Y 向作图运作。这种绘图仪结构简单、紧凑、价格低廉,但绘图速度与精度较低。平板式绘图仪是把图纸吸附在平台上,依靠笔在 X、Y 轴两个方向的独立移动而画出图形。这种绘图仪的台面可平放或斜置,所以也叫平台式自动绘图仪。这种绘图仪精度高,速度快,而且在绘制图纸时能看到整个画图过程,视野清楚,便于监视。

喷墨式绘图仪是利用特制的换能器将带电的墨水泵出,由聚焦系统将墨水滴微粒聚成一条射线,再由偏转系统控制喷嘴在打印纸上扫描,并附着在图纸上形成浓淡不一的各种单色或彩色图形、图像及文字符号。它具有清晰度高、工作可靠、噪声小、价格低及容易实现不同浓淡的彩色图形与图像等优点。小型喷墨式绘图仪常用于输出小张图形和文稿,又称喷墨打印机。大型喷墨绘图仪可用于输出设计图样,一般有平板式与滚筒式两种,其机械控制原理与笔式绘图仪相似。喷墨绘图仪也有单色型与彩色型。喷墨绘图仪绘图速度比笔式绘图仪快,但其耗材成本较高。

图形显示器是交互式 CAD 系统的关键设备之一。在 CAD 系统中广泛使用的是光栅扫描式显示器,采用光栅扫描方法产生图形。这些图形是由一连串的点组成的。在光栅扫描显示器上显示图形时,必须先将线条及字符信息转换为适合光栅显示的形式,这一过程叫做扫描转换。因为光栅扫描显示图形需存储每个像素的信息,所以需要较大的存储量。光栅扫描显示器不仅可以显示线图,也可以显示灰度、亮度、色调不同的图,使图形具有真实感,也可以产生动态的图形,并且具有选择性删除功能。图形显示器必须配有图形显示卡,图形显示卡也叫显示适配卡,简称显示卡,它通过总线与 CPU 和显示器相连,是 CPU 与显示器之间的接口,即视频控制电路。显示卡将显示缓冲存储器送出的信息转换成视频控制信号,用于控制显示器的显示。显示卡必须与显示器匹配,其性能好坏直接影响图形显示的速度及效果。显示卡大都制作成独立的卡插在主机扩展槽里,也有集成到主板上的。自 20 世纪 80 年代初以来,为增强图形显示功能,出现了带有图形处理功能的显示卡。这种卡既有高分辨率的显示控制功能,又有高性能 2D/3D 图形处理功能,减轻了对主机 CPU 处理图形的要求,使显示器图形显示功能大为增强。

(5) 网络

包括局域网和因特网(Internet),可以将多个不同硬件,甚至不同区域的硬件系统联系在一起,实现资源共享以及异地网络化设计。

2.2.1.2 CAD 系统的硬件要求

与一般计算机硬件系统相比,应用于 CAD 的硬件系统有如下的要求。

(1) 高性能的图形输入、输出设备

CAD 是以各种数字化的图形来表达设计方案,故 CAD 系统对图形输入、输出设备的要求较高。一方面要有较全面的输入、输出手段,另一方面这些设备的速度、精度、色彩性能要求较高。诸如产品几何模型的建立,三维模型的实时旋转、缩放、剖切,复杂模型的渲染、

消隐, 各种图形文件的输出等工作都对相应的设备有较高的要求。一些大型的 CAD 软件往往对计算机硬件系统有特殊的要求, 如分辨率较高、真彩色、大尺寸的图形显示器, 加快图形处理速度的图形加速卡, 高分辨率、大幅面的彩色绘图仪等。

(2) 高速而可靠的运算能力

随着技术的进步, CAD 软件愈发庞大, 功能日趋强大, 其背景是大量复杂的数学计算分析。为了满足实际生产的要求, 与 CAD 软件系统配套的硬件应具有较高的运行速度。如上所述的复杂三维模型的各种变换、消隐、渲染, 应力、应变分析, 流动、传热分析, 装配、干涉检查等均需要很高的硬件运行速度。

(3) 足够的数据存储能力

设计过程中产生大量的图形、图像、技术文件, 各种有限元、有限差分优化分析结果、各种图形库、数据库和配套的应用软件将占据相当大的外部存储空间。特别是基于有限元、有限差分技术分析优化过程, 会产生惊人的数据量, 毫无疑问, 对硬件将提出很高的要求。

(4) 较好的网络性能

复杂的设计工作往往需要团队作战, 不同的人、部门可能在不同的地点区域同时为一项设计任务而工作。这种情形下协同作战的基本要求之一就是高性能的网络系统, 包括网络系统的速度、稳定性、安全性等。特别是基于因特网 (Internet) 的计算机支持协同工作, 远程、异地的设计对网络的要求更为苛刻。

2.2.1.3 CAD 系统的软件组成

CAD 系统除有合适的硬件支撑外, 还应配备相应的软件。软件是使用计算机的技术和方法, 是程序和指令的集合。软件的水平是决定该系统性能的优劣、功能的强弱以及使用是否方便等的关键因素。CAD 系统软件的内容按其内涵可分为: 系统软件、支撑软件和应用软件三个层次, 如图 2-2 所示。

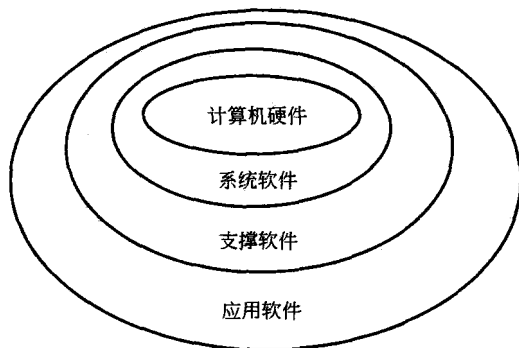


图 2-2 CAD 系统的软件组成

(1) 系统软件 (System Software)

系统软件主要用于计算机的管理、维护、控制和运行, 为用户提供清晰友好的界面, 并尽可能地使计算机系统的各种资源得到充分合理的利用。系统软件具有两个特点: 一个是通用性, 不同领域的用户都需要; 另一个是基础性, 即系统软件是支撑软件和应用软件的基础, 应用软件要借助系统软件进行编制和实现。系统软件主要包括操作系统、编程语言、网络通信及其管理软件。

① 操作系统 (Operating System) CAD 系统中的各种硬件的工作速度有快有慢, 很不

一致,为了协调这些设备的工作速度和减少它们的闲置时间,提高工作效率,通常采用多道程序技术。为满足这一要求,必须专门编制一个规模较大的、能协调并调度所有设备及多个应用程序高效运行的程序,且需事先将其存入计算机。该程序在整个计算机系统的工作中起总指挥和总调度的作用,使各设备能在它的统一安排下按时完成自己的任务,这个程序就是操作系统。操作系统是对计算机进行自动管理的机构和控制中心,若从其功能去定义,可以说是一个计算机资源管理系统。目前 CAD 系统中最常用的操作系统有 Windows、UNIX 与 Linux 等。

计算机操作系统通常具有如下功能。

a. 管理中央处理器 CPU 在多终端的计算机网络中, CPU 可以在操作系统的控制下,按照规定的原则和一定的顺序,轮流地有条不紊地为各用户服务,实现多个程序的同时运行。

b. 管理存储器 程序只有进入内存中才能被 CPU 执行,但与外存相比,内存的容量是较小的,多个程序不能同时都存入内存,为了解决这一问题,操作系统能自动根据用户的指令将所需的程序迅速调入内存并分配以适当地址。这样用户使用时就可不必考虑所编程序在内存中的实际地址,为编程带来了很大方便,同时也达到了充分利用内存的目的。

c. 管理外部设备 计算机的外部设备均在 CPU 的直接控制下工作。但这些设备的启动命令比较复杂,如果由用户编制程序来实现就很费时间。操作系统能对外部设备的输入输出动作进行统一的管理,用户只需给出简单指令就可以了。

d. 管理文件 在计算机系统中,外存储器的容量很大,能够存放许多程序和大量数据,这些程序和数据统称为文件。为便于用户调用文件和充分利用外存空间,操作系统通过其文件管理程序对文件实现统一的管理。用户只要给出简单的信息,便能调用他所需的文件,不必了解该文件在外存中的实际地址。

e. 网络通信管理 如网络内各个站点间程序、文件和数据的传输,一台计算机的进程调用另一台计算机硬盘的数据,网络的资源共享等。

② 编程语言 编程语言主要完成源程序编辑、库函数管理、语法检查、代码编译、程序联接、调试与执行等工作。按照程序设计方法的不同,编程语言可分为结构化编程语言和面向对象的编程语言;按照编程时对计算机硬件依赖程度的不同,编程语言可分为低级语言 and 高级语言。

③ 网络通信及其管理软件 随着计算机网络技术的发展与广泛应用,大多数 CAD 系统应用了网络通信技术,用户可共享网内全部硬件和软件资源。网络通信及其管理软件主要包括网络协议、网络资源管理、网络任务管理、通信浏览工具等内容。目前这种层次型的网络协议已经标准化,国际标准的网络协议方案为“开放式系统互联参考模型(OSI)”,它分为七层,即应用层、表示层、会话层、传输层、网络层、链路层和物理层。

(2) 支撑软件(Support Software)

支撑软件是应用软件的基础,为用户提供开发环境与相关工具,是一类带有一定的专门性而又具有普遍性的工具软件,是 CAD 系统中的重要组成部分,包括图形处理软件(含几何造型与绘图软件)、网络服务软件等。

① 图形处理软件 图形处理软件即目前通用的 CAD/CAM 系统,可用于二维和三维图形的产品造型及设计图纸的绘制。如早期的主要致力于实现交互式绘图的 CADAM、AutoCAD 等,以及目前流行的通用 CAD/CAM 集成系统 CATIA、UG、Pro/Engineer、I-DEAS、SolidWorks 等。用于 CAD 系统的图形处理软件一般应具有如下主要功能。

a. 计算机图形处理 计算机图形是借助于计算机,通过程序和算法在图形显示和绘图设备上生成图形,并按给定的指令来改变其内容的数据处理方式。在 CAD 系统中,图形处理是通过人-机交互进行的,操作者通知计算机欲对图形进行何种处理,计算机中的支撑软件就会根据指令自动进行准确的处理,并将处理结果显示出来。

b. 三维产品建模 一般的工程设计都是三维空间的求解问题。三维实体造型是产品造型的基础,涉及的问题比较广泛,如形体的定义,几何运算,模型的消隐、着色、渲染,实时动态的旋转、剖切、缩放,基于特征的尺寸驱动参数化和变量化设计的建模功能,数据结构与数据库处理等一系列问题。采用三维产品建模,可以自动计算物体的体积、重量、重心、转动惯量、表面积等参数;可以产生用于有限元和有限差分的三维网格;可以在计算机里进行装配、安装工作,自动检查干涉情况;可以为 CAM、CAPP、RPM、CAE 提供完整的必需的信息。因此三维建模是衡量 CAD 系统的性能的一个关键标准,强大的三维造型功能是先进 CAD 系统的基础与关键。

c. 有限元建模与分析 有限元建模与分析技术被广泛地应用到产品和零件结构分析以及产品性能的模拟仿真分析。目前,有限元分析技术比较成熟,已达到实用程度。一些大型的三维 CAD 系统,如 Pro/Engineer、UG、I-DEAS、CATIA 等均自身集成了有限元分析模块。对于一些中低档的 CAD 系统(如 SolidWorks、MDT、SolidEdge 等)一般可以考虑采用这些 CAD 系统建模,利用数据交换文件与商品化的有限元分析系统接口。市场上商品化的有限元分析系统较多,如 ANSYS、MARC、NASTRAN 和 SAP 等,选择时主要考虑被设计产品对分析计算的要求。

d. 机构运动分析 一般说来,机构运动分析由三部分组成,包括前置处理、模拟分析和后置处理。前置处理应具有交互式的、面向图形的、用于建立运动学/动力学分析模型的功能。模拟分析模块往往都具有静力平衡、运动学、动力学、装配等多种分析方法。后置处理能以静态或动态形式显示运动的包络图,在运动中可随时进行干涉检查。

e. 数据信息交换 如前所述,CAD 是实现 CAM、CAE、CAPP 以及 CIMS 的基础与关键,它为后续的这些先进技术提供必需的数据和信息。毫无疑问,顺利、准确的数据信息交换是完成它们集成的关键。另外,不同的 CAD 系统之间也需要数据信息交换,从而达到资源共享的目的。为了很好地完成上述工作,必须制定各系统间的数据信息交换规范。目前,世界各国使用的各种规范标准对统一数据传递格式,使各个环节能顺畅地、自动地进行数据交换与资源共享起到了重要作用。

f. 工程数据管理 在计算机辅助系统工作过程中,会产生大量的诸如图形、几何、装配、材料性能、工艺数据、分析优化结果等数据信息;同时,在 CAD 设计时,需要把许多手册和资料中的数表、线图数据事先存放起来。为了存放这些数据,需要建立一个大的数据仓库,这就是通常所说的数据库。数据库是存储在计算机系统里的、由数据库管理系统(DBMS)统一管理的数据集合,它可以为多个用户使用。

数据库管理系统负责管理庞大的数据信息,提供数据的增、删、查询、共享、安全维护等操作,是用户与数据之间的接口。数据库管理系统使用 3 种数据模型,即层次模型、网状模型、关系模型。目前流行的系统有 Foxbase+、Oracle、Ingres 等,它们都属于关系型数据库管理系统,常用于商业、事务管理。这种传统的数据库管理系统对于 CAD 系统来讲不太适用,因为在 CAD 系统中数据属于工程数据,这种数据的特点是:数据结构复杂,系统中除结构化数据外还有图形、文字、表格等非结构化数据;数据除有静态数据外(如标准、设