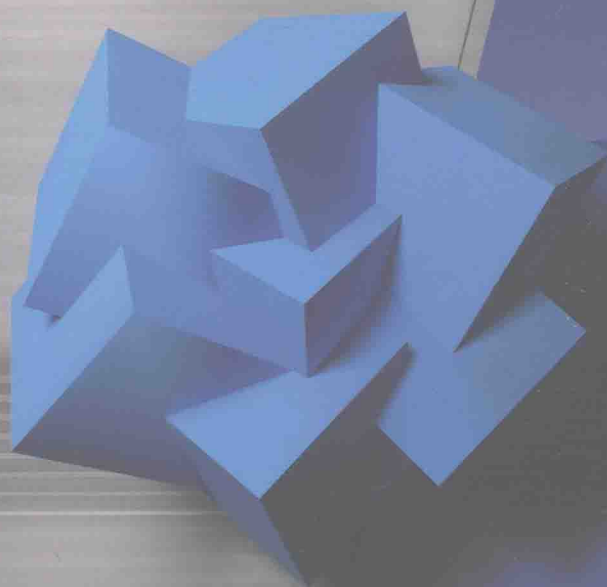


CAD/CAE

技术及其应用研究

CAD/CAE JISHU JIQI YINGYONG YANJIU 李宏娟◎著



CAD/CAE

技术及其应用研究

李宏娟◎著



 电子科技大学出版社
University of Electronic Science and Technology of China Press

· 成都 ·

图书在版编目(CIP)数据

CAD/CAE 技术及其应用研究/李宏娟著. —成都:
电子科技大学出版社, 2017. 11
ISBN 978-7-5647-4375-8

I. ①C… II. ①李… III. ①计算机辅助技术 IV.
①TP391.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 304325 号

内容简介

本书结合数字化设计制造技术的最新发展和应用需要,阐述了 CAD/CAE 技术的理论知识与应用技术,同时也反映了近年来 CAD/CAE 技术发展的新动向。全书主要内容涵盖了计算机辅助设计系统与技术、图形处理与 CAD 建模技术、计算机辅助工程(CAE)、CAD/CAE/CAM 系统集成及应用等。

CAD/CAE 技术及其应用研究

CAD/CAE JISHU JIQI YINGYONG YANJIU

李宏娟 著

策划编辑 杜倩 刘愚

责任编辑 刘愚

出版发行 电子科技大学出版社

成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦九楼 邮编 610051

主 页 www.uestcp.com.cn

服务电话 028—83203399

邮购电话 028—83201495

印 刷 北京亚吉飞数码科技有限公司

成品尺寸 170 mm×240 mm

印 张 18

字 数 233 千字

版 次 2018 年 5 月第 1 版

印 次 2018 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5647-4375-8

定 价 48.00 元

版权所有,侵权必究

前 言

CAD/CAE 技术是当代科学技术发展最为活跃的领域之一，是产品更新、生产发展、国际经济竞争的重要手段。这项技术从根本上改变了传统的设计、生产、组织模式，在各领域获得迅速推广应用，对于推动企业的技术改造、带动整个产业结构的变革、发展新兴技术、促进经济增长都具有十分重要的意义。CAD/CAE 技术的应用水平已经成为衡量企业综合实力的重要标志，它的应用和发展有力地推动了社会经济和社会生产力的发展。

随着市场竞争的日益激烈及全球化市场的形成，产品的更新换代速度越来越快，产品的性能价格比越来越高。对制造业来说，21 世纪企业竞争的核心将是新产品的开发能力及制造能力。CAD/CAE 技术是提高产品设计质量、缩短产品开发周期、降低产品生产成本的强有力手段，因此，国内外的企业对 CAD/CAE 技术的发展及应用都十分重视。世界上许多国家和企业都把发展 CAD/CAE 技术确定为本国制造业的发展战略，制订了很多由政府或工业界支持的计划，借以推动 CAD/CAE 技术的开发与应用。作为一个发展中国家，我国也非常重视 CAD/CAE 技术的发展。为了加快制造业的现代化进程，我国连续在近几个“五年计划”中极力倡导和引导企业开展 CAD/CAE 技术的应用推广。随着 CAD/CAE 技术的推广应用，CAD/CAE 技术已广泛应用于机械、电子、航空、航天、汽车、船舶、纺织、轻工及建筑等各个领域，它的应用水平已成为衡量一个国家技术发展水平及工业现代化水平的重要标志之一。可以预料，随着市场竞争的日趋激烈，以 CAD/CAE 技术为代表的现代先进设计、制造技术在我国的应用推广进程会进一步加快。在这种背景下，如何及时深入、全面地

掌握 CAD/CAE 技术,就成为摆在工程技术人员面前的重要任务。

本书在 CAD/CAE 技术理论基础之上突出 CAD/CAE 的概念、应用方法和应用技巧,并结合具体的 CAD/CAE 软件进行实际操作的教材。目前流行的 CAD/CAE 软件众多,不同的软件有不同的特点。但其主要功能、基本原理是相同的。相信本书的定位和内容体系会给读者带来清新的感觉,并对读者真正掌握和应用 CAD/CAE 技术提供帮助。

本书以简短的篇幅、明晰的图解,全面地介绍了 CAD/CAE 技术的发展概况、基本原理、实现方法以及工程软件的应用技术。作者在内容的取舍上注意突出重点,着重满足工程应用的需要;对基本概念和基本理论的阐述简明扼要、清晰透彻、深入浅出,便于读者掌握应用。

本书共分为 6 章。第 1 章为 CAD/CAE 技术概述,第 2 章为计算机辅助设计系统,第 3 章为计算机辅助设计技术,第 4 章为图形处理与 CAD 建模技术,第 5 章为计算机辅助工程(CAE),第 6 章为 CAD/CAE/CAM 系统集成及应用。

由于作者经验水平有限,加之时间仓促,书中疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作 者

2017 年 9 月

目 录

第 1 章 CAD/CAE 技术概述	1
1.1 CAD/CAE 基本概念及发展史	1
1.2 CAD/CAE 技术在产品设计制造过程中的地位	6
1.3 CAD/CAE 技术的发展趋势	7
第 2 章 计算机辅助设计系统	8
2.1 机械 CAD 系统的组成与分类	8
2.2 CAD 系统的功能与任务	12
2.3 CAD 系统的硬件与支撑软件	15
2.4 CAD 系统的设计原则	31
2.5 机械 CAD 系统工作流程	35
2.6 常见 CAD 软件系统	38
2.7 基于云计算的 CAD 系统	41
第 3 章 计算机辅助设计技术	48
3.1 CAD 概述	48
3.2 CAD 技术发展趋势——先进设计技术	49
3.3 CAD 技术在机械工程中的应用	52
第 4 章 图形处理与 CAD 建模技术	66
4.1 图形处理概述	66
4.2 图形的几何变换	74
4.3 图形的消隐技术	94

4.4	曲线和曲面	100
4.5	参数化建模技术	110
4.6	三维几何建模技术	122
4.7	特征建模技术	138
4.8	装配建模技术	154
4.9	图形处理辅助功能	163
第 5 章	计算机辅助工程(CAE)	168
5.1	CAE 概述	168
5.2	有限元分析技术	171
5.3	优化设计方法	184
5.4	可靠性设计方法	193
5.5	工程分析中的动态仿真	205
5.6	CAE 技术在机械工程中的应用	211
第 6 章	CAD/CAE/CAM 系统集成及应用	221
6.1	系统集成概述	221
6.2	CAD/CAE/CAM 系统集成数据管理	233
6.3	产品数据交换标准	239
6.4	CAD/CAE/CAM 集成方法与应用	259
参考文献		273

第 1 章 CAD/CAE 技术概述

CAD/CAE 技术以计算机及周边设备和系统软件为基础,包括绘图设计、三维几何造型设计、有限元分析、数控加工等内容。其特点是能够将人的创造能力和计算机的高速运算能力、巨大存储能力和逻辑判断能力有机地结合起来。CAD/CAE 技术随着互联网网络和并行高性能计算机事务处理的普及广泛应用于各个工程领域中。

1.1 CAD/CAE 基本概念及发展史

1.1.1 CAD/CAE 基本概念

电子计算机的出现极大地提高了科技人员的工作效率,降低了劳动强度,有些人工不能完成的高难度工作,计算机也能够很好地完成,目前计算机已经广泛应用于各行各业,极大地促进了社会生产生活的发展。在市场经济高速发展的今天,人们对产品设计和制造的要求越来越高,为了适应瞬息万变的市场需求,必须采用先进的设计和制造技术,才能在当今高效率、高技术竞争的时代占据一席之地。

电子计算机的发展使产品设计和生产的方法产生了巨大的变革,用机械化作业代替传统手工作业,不仅提高了工作效率,而且准确度和精度也得到了保证。计算机技术与数值计算技术、机械设计、制造技术相互结合与渗透,产生了计算机辅助设计与计算机辅助工程这样一门综合性的应用技术,简称机械 CAD/CAE 技术。机械 CAD/CAE 技术能够实现产品设计自动化,产品数值

模拟计算以及辅助完成产品生产制造的全过程,它的优点有很多,包括高智力、知识密集、综合性强、效益高等。机械 CAD/CAE 技术已经成了人们设计和生产各种产品的新型方式,它不仅能够充分发挥产品设计人员的主观能动性,加快产品的制造生产周期,而且极大地提升了企业管理水平,加强了企业的核心竞争力。

1.1.2 机械 CAD 技术的发展过程

机械 CAD 技术的发展与计算机技术、计算机图形化技术的发展密切相关。从 20 世纪 50 年代后期到现在,机械 CAD 技术一共经历了四次革命,如图 1-1 所示。

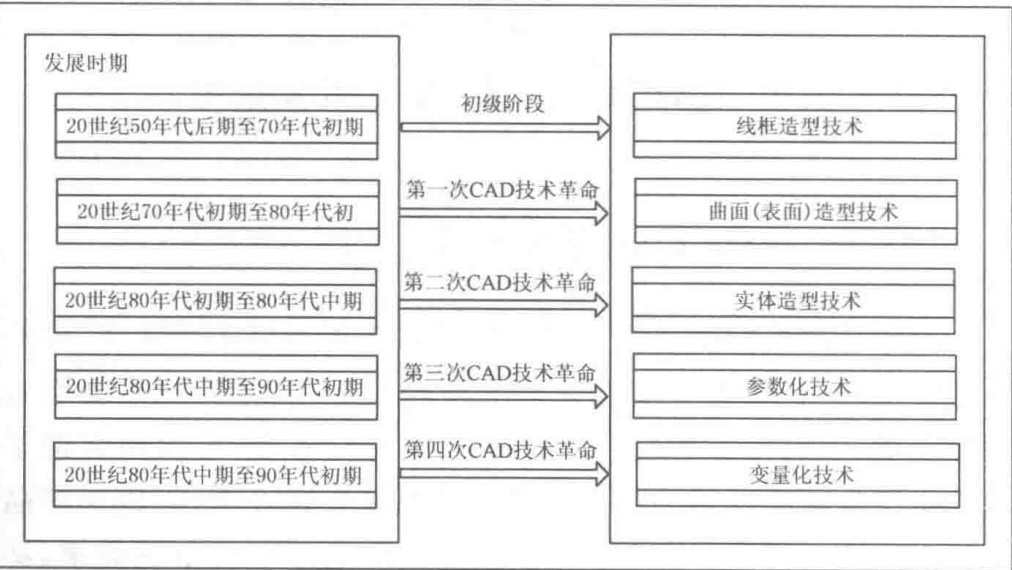


图 1-1 机械 CAD 技术经历的四次革命

1. 第一次机械 CAD 技术革命——曲面(表面)造型技术

机械 CAD 技术在初级发展阶段主要采用线框造型技术来表示三维实体,但在初期它只能表达基本的几何信息,无法有效表达形体几何信息间的拓扑关系,也无法有效表达形体的表面信息。直到 20 世纪 70 年代,法国达索公司采用贝赛尔算法使得三维曲面可使用计算机进行操作,在二维绘图系统 CADAM 的基础

上,开发出三维曲面造型系统 CATIA。

曲面造型技术的推出改变了原有的落后模式,加快了产品开发进度,缩短开发周期,被认为是 CAD 第一次技术革命。

2. 第二次机械 CAD 技术革命——实体造型技术

进入 20 世纪 80 年代初,此时的机械 CAD 系统在市场的应用受到了限制,因为表面造型技术只能表达形体的表面信息,对于零件的质量、重心等特性无法准确表达,使得 CAE 技术分析在进行前处理时非常困难。在探索 CAD/CAE 一体化技术的基础上,SDRC 公司推出了 I-DEAS——一款完全基于实体造型技术的大型 CAD/CAE 软件。实体造型技术能够精确地表达零件的全部属性,为 CAD/CAE 一体化技术的发展带来了极大地便利,并指引了未来 CAD 的发展方向。但实体造型技术的计算量非常大,限于当时的计算机硬件水平,无法在整个行业推广应用。

3. 第三次机械 CAD 技术革命——参数化技术

参数化技术被称为第三次机械 CAD 技术革命,它具有基于特征、全尺寸约束、全数据相关、尺寸驱动设计和修改等特点,使得 CAD 造型更加自由。Pro/E 参数化软件的出现获得了巨大的成功,充分体现出其在许多通用零部件设计上简便易行的优势。

4. 第四次机械 CAD 技术革命——变量化技术

在变量化技术尚未出现之前,参数化技术在实际应用中只是用于局部和小块的修改,这是因为参数化技术并没有解决全部的问题,还有很多不足之处,难以全面应用。SDRC 公司的开发人员在参数化技术的基础上,保持参数化的优点,克服参数化技术的不足,提出了一种更为先进的实体造型技术——变量化技术,形成了一整套独特的变量化造型理论及软件开发方法,被誉为机械 CAD 的第四次技术革命。

1.1.3 CAE 技术的发展过程

CAE 技术在进行产品分析时一般需要经历前处理、有限元分析以及后处理三个步骤,前处理的目的是完成有限元分析模型,后处理主要是对有限元分析结果进行处理,由此可见,CAE 技术的核心为有限元分析方法。实际上,CAE 技术的发展主要是有限元分析方法的发展,它经历了以下几个阶段。

1. 单物理场计算功能扩展

20 世纪 60 年代,有限元理论开始提出,20 世纪 70 年代末,理论已经趋于完善,主要功能和分析对象都得到了长足进步,如图 1-2 所示。

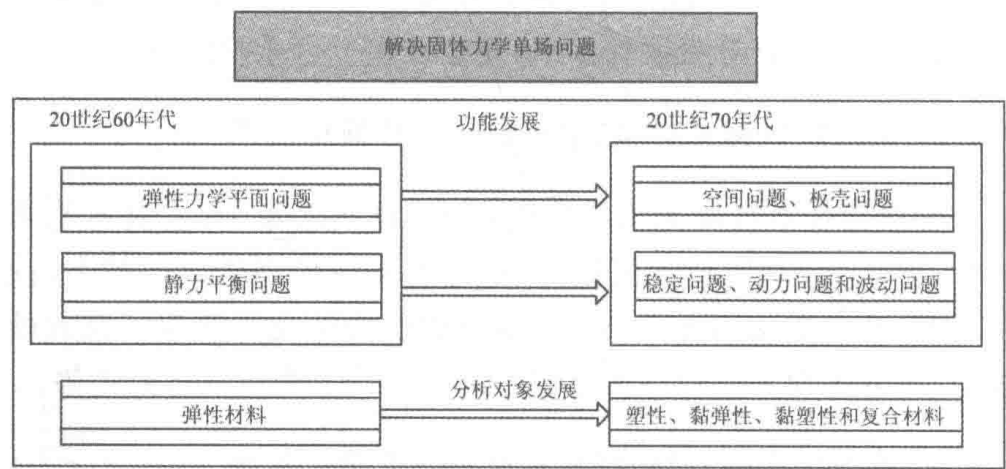


图 1-2 有限元理论的趋于完善

2. 由求解线性工程问题发展到分析非线性问题

有限元分析方法理论解决的固体力学单场问题是线性理论,随着工业发展,几何非线性问题越来越频繁地出现在产品设计中,必须采用非线性有限元算法才能解决这类问题。目前已经出现多款有限元软件能够解决非线性问题,在工程实践和产品设计中应用广泛。

3. 增强可视化前、后处理功能

有限元分析方法和软件早期的重心在求解算法上,对数据的准备——前处理,数据运算结果的处理——后处理的研究不够,因此在工程实践中,绝大部分的时间都耗费在前处理和后处理上。随着计算机的运算速度飞速发展,前处理和后处理耗费的时间成为有限元软件应用推广的障碍,故而商业化有限元软件开发出功能很强的可视化前处理、后处理模块,大大提升了软件的速度。

4. 单物理场计算问题发展到多物理场耦合计算问题

随着社会发展和人们生活水平的进步,工程实践和产品设计所要解决的复杂问题越来越多,有限元分析方法也从单物理场计算问题发展到多物理场耦合计算问题,如图 1-3 所示。

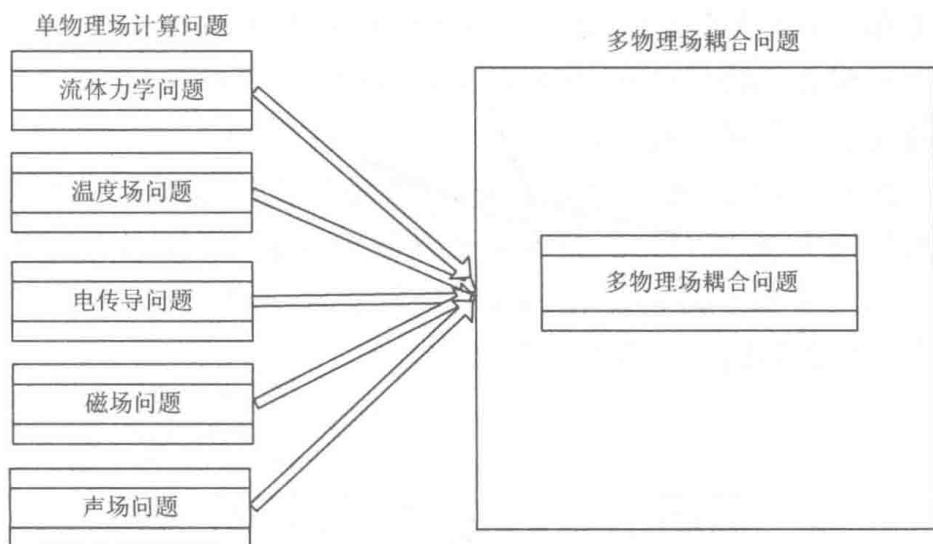


图 1-3 有限元分析方法的发展

5. CAE 软件与 CAD 软件的无缝集成

CAE 技术发展到现在,已经能够做到 CAE 软件与 CAD 软件无缝集成。在工程实践和产品设计过程中,二者相互配合,CAD 软件完成造型设计后会自动生成有限元网格,修改十分方便,极大地提高了设计水平和效率。

1.2 CAD/CAE 技术在产品设计制造过程中的地位

产品开发过程大体分为设计、分析和制造三个主要环节,如图 1-4 所示。

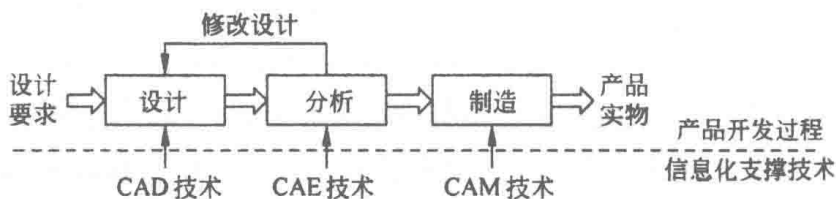
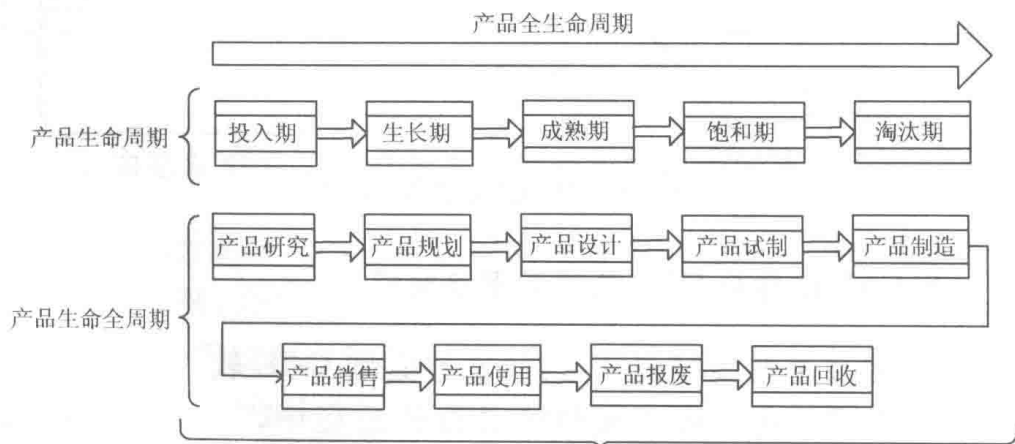


图 1-4 产品开发过程

产品是市场竞争的核心。产品设计与制造过程是从需求分析开始的,经过产品设计过程,工艺分析,加工、装配等制造过程,最后变成可供用户使用的成品。在这一过程中,产品设计阶段所完成的工作对应 CAD 技术所完成的任务,工艺分析阶段所完成的工作对应 CAE 技术,如产品的运动与动力学特性分析、强度与刚度分析等,制造阶段所完成的工作对应 CAM 技术,是将设计结果转化为产品实物的过程。

此外,从产品变化的观点来看,产品生命周期及产品生命全周期过程中,CAD/CAE 技术一直从事建模技术,如图 1-5 所示,从根本上解决产品在设计、生产、组织管理、销售、服务等各个环节内产品数据的交换和共享问题。



CAD/CAE技术从事整个产品生命周期的建模

图 1-5 CAD/CAE 技术从事整个产品生命周期的建模

1.3 CAD/CAE 技术的发展趋势

从总体上讲, CAD/CAE 技术的发展趋势是参数化、三维化、集成化、网络化、标准化和智能化, 具体如图 1-6 所示。

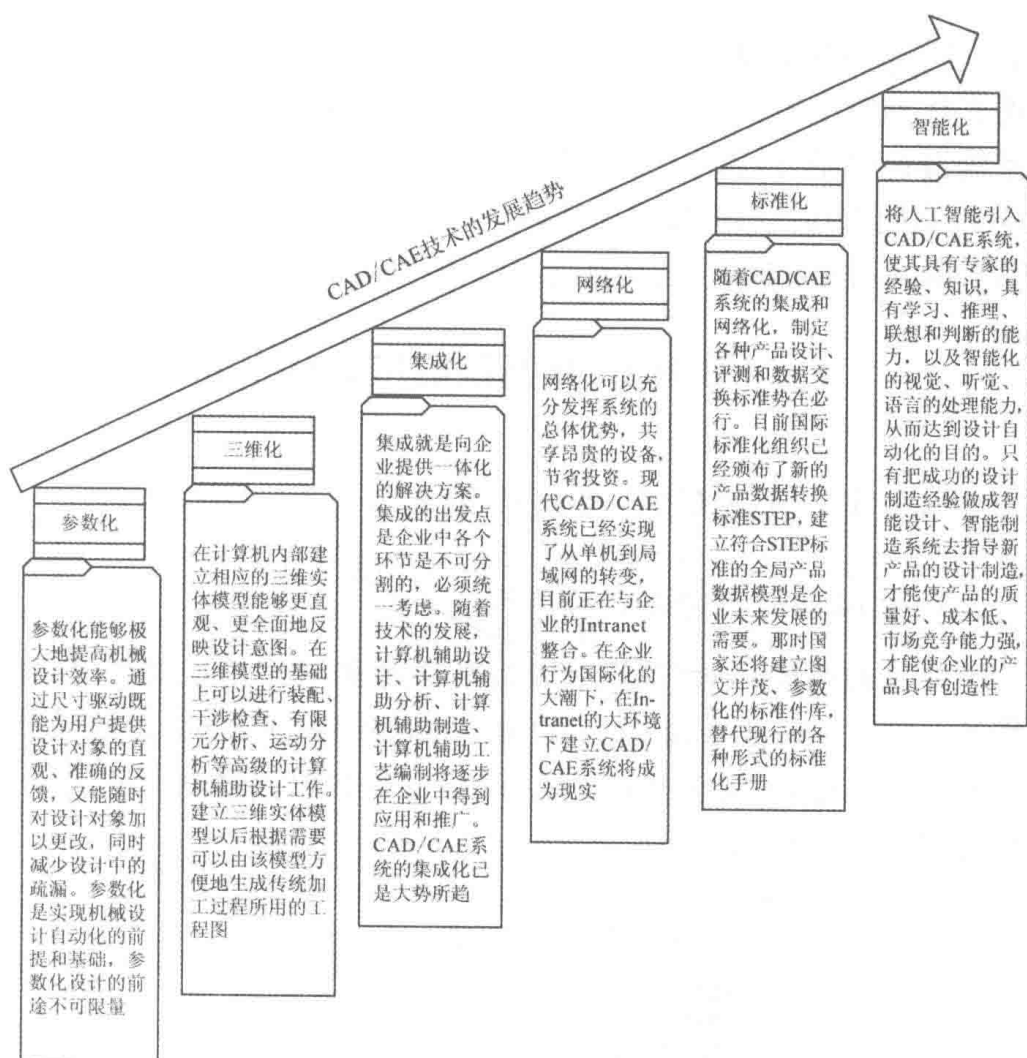


图 1-6 CAD/CAE 技术的发展趋势

第 2 章 计算机辅助设计系统

CAD 系统作为一种快速高效的设计制造支持系统,其功能的实现主要依赖于其硬件与软件系统的能力。硬件提供了 CAD 系统潜在的能力,软件则是使其潜力得以发挥的基本途径和工具。CAD 系统以计算机软硬件为基础,根据自身的特点和要求,设计配置成既满足功能要求,又具有良好经济性和可扩展性的系统。

2.1 机械 CAD 系统的组成与分类

2.1.1 机械 CAD 系统的组成

1. 机械 CAD 系统的结构体系

完整的机械 CAD 系统包括硬件系统和软件系统两部分,如图 2-1 所示。硬件系统是 CAD 技术实施的物理基础,是软件运行的支撑平台,主要包括计算机、网络设备和输入输出设备,其中核心硬件是计算机。

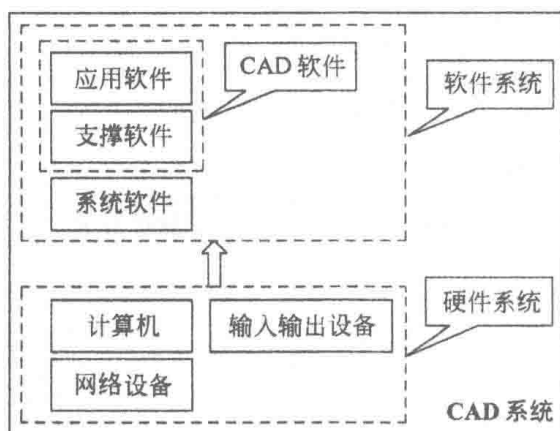


图 2-1 完整的机械 CAD 系统组成

软件系统是 CAD 功能的体现, CAD 技术的所有功能均需要通过软件来实现。软件包括系统软件、支撑软件和应用软件。除专用的绘图设备外, 由于 CAD 硬件都是通用的计算机设备, 因此通常所说的 CAD 系统一般是指 CAD 软件系统。

在 CAD 软件系统中, 系统软件是指操作系统、网络软件等通用软件, 是软件与硬件的接口。支撑软件是实现 CAD 功能的一些标准软件, 如 ACIS、Parasolid 等, 它为应用软件提供标准的、通用的功能支撑, 是 CAD 软件开发的基础。应用软件则是面向用户或应用来提供具体功能的软件, 它反映了整个 CAD 系统的功能和性能, 体现了 CAD 软件和其他应用软件的区别。因此, CAD 软件通常是指支撑软件以及在它的基础上开发的应用软件, 即图 2-1 所示的最里层虚线框中的内容。

2. CAD 系统的功能组成

CAD 系统由若干完成特定功能的子系统组成, 该子系统又称为功能模块。图 2-2 显示了 CAD 系统典型的功能模块, 分为通用模块和专用模块。通用模块包括二维草图、三维建模、曲面建模、装配建模和工程制图模块, 是三维 CAD 系统所必备的功能。专用模块是为特定行业或需求设计的, 包括钣金设计、模具设计等典型模块。

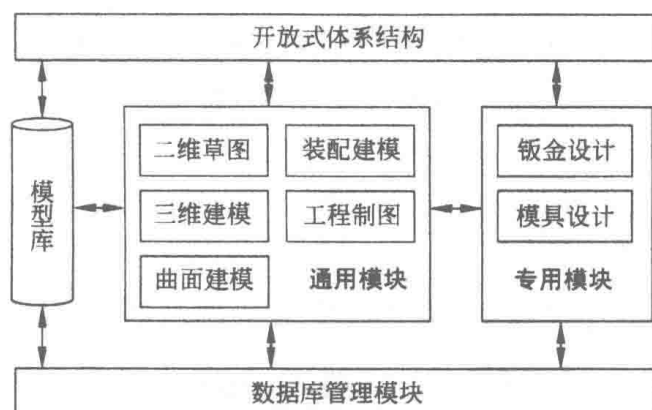


图 2-2 现代 CAD 系统的功能模块组成

2.1.2 CAD 系统的分类

近年来,世界各国都在积极开发具有各种功能的计算机辅助设计系统,其中不少系统已投入实际使用。尽管这些系统在设计对象和功能强弱方面各不相同,但可根据运行时设计人员的介入程度和解决实际问题的方式划分为信息检索型、智能型及人机交互型等。需要指出的是,在这些类别之间并无鲜明的界线,划分的目的在于突出系统的某些特性,便于用户确定自己的辅助设计方法。

1. 信息检索型 CAD 系统

信息检索型 CAD 系统主要用于设计已定型的、标准化和系列化程度很高的产品,例如电动机、汽轮机、变压器、泵、鼓风机和减速器等。它的工作原理是将已定型的产品的标准化图样,变成图形信息存入计算机。

例如某电动机设计系统,其工作流程如图 2-3 所示。在该系统中预先储存了 30 种电动机本体的标准图形和 50 种常用的零部件图。设计者根据订货要求,将参数标准化,并按系统的规定将有关参数的信息输入计算机,计算机就能自动地完成包括图形选择、尺寸和材料检索、图样及文件绘制在内的各项设计工作,所以速度快、效率高。但这种系统的不足之处是使用范围比较窄,通用性差。这种系统目前用得还不多,特别不适用于进行新产品的开发设计。

2. 智能型 CAD 系统

在机械设计过程中,需要解决大量的分析计算和图形绘制工作,在上述两种类型的 CAD 系统中,这些工作主要是用建立数学模型并用数值计算的方法加以解决的,但是在很多设计中遇到的问题,如设计方案的拟定、工艺过程及参数的设计、材料类型及热处理规范的选择、零部件结构设计等,均难以用数学方法来描述,