



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

清华大学机械工程及其自动化系列教材

机械 CAD 技术基础 (第3版)

Fundamentals of Mechanical
CAD Technology
(Third Edition)

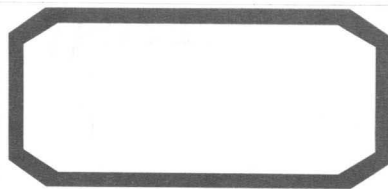
童秉枢 吴志军 李学志 冯涓 编著

Tong Bingshu Wu Zhijun Li Xuezhi Feng Juan

清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



清华大学机械工程及其自动化系列教材

机械 CAD 技术基础

(第3版)

Fundamentals of Mechanical
CAD Technology
(Third Edition)

童秉枢 吴志军 李学志 冯涓 编著

Tong Bingshu Wu Zhijun Li Xuezhi Feng Juan

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

面向机械领域 CAD 技术和应用的新发展,本书对第 2 版内容作了大幅度修改,新增与改写的内容约占全书的 2/3。全书共分 4 篇 14 章,第 1 篇为 CAD 基础(第 1~5 章),第 2 篇为图形处理基础(第 6、7 章),第 3 篇为建模技术(第 8~10 章),第 4 篇为协同、管理与集成(第 11~14 章)。本书系统地介绍了计算机辅助设计的基础知识和应用技术,既保持了内容的基础性,又体现了技术的先进性,同时具有实用性、模块性和与商用软件无关性等特点。

本书可作为高等院校机械类专业用教材,也可供科研单位和企业中从事 CAD 应用的工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械 CAD 技术基础/童秉枢等编著. —3 版. —北京:清华大学出版社,2008. 5

(清华大学机械工程及其自动化系列教材)

ISBN 978-7-302-17208-6

I. 机… II. 童… III. 机械设计:计算机辅助设计—高等学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 034811 号

责任编辑:庄红权

责任校对:赵丽敏

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 刷 者:北京四季青印刷厂

装 订 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×230 印 张:30.25

字 数:613 千字

版 次:2008 年 5 月第 3 版

印 次:2008 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:46.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:022000-01

清华大学机械工程及其自动化系列教材编委会

顾 问 (按姓氏笔画序)

金国藩(中国工程院院士)

温诗铸(中国科学院院士)

主 任 李庆祥

副主任 丁天怀 贾惠波 申永胜

委 员 刘朝儒 陈 恩 王东生 王伯雄

毛文炜 郁鼎文 郝智秀 季林红

秘 书 冯 涓

序言

随着科学技术的发展和经济全球化,当今人类已进入知识经济社会和信息社会。我国经济体制将进一步由计划经济向社会主义市场经济接轨,经济的竞争性、变动性大大加强。过去在计划经济下形成的对口专业教育的观念,需要转向适应不断变化的社会需求,也就是说由对口性转向适应性。由于技术进步迅速发展,知识更新的周期缩短,现代教育观念将转变为终身教育。

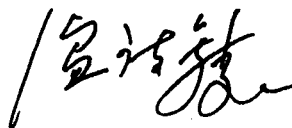
认清当前教育改革的发展趋势,进一步转变教育思想和教育观念。需要培养“高层次、高素质、多样化、创新型”人才。高层次人才要具有良好的高素质,包括政治思想素质、业务素质和文化素质。通识教育给学生以宽广的知识面,为进一步深造和就业打下坚实的基础。

通识教育是当代学科发展趋势的需要,通过多学科的交叉和本硕统筹教育模式,把通与专结合起来,使学生既具有本学科的坚实基础,又通晓相关学科的发展趋势和知识。在综合学科的基础上,培养出多样化创新型的人才。我国当前国情与发达国家不尽相同,我国现状是工业化与知识化并存,所以不能照搬国外的培养模式。大学教育应成为提供高素质人才的基础,为我国的经济发展做出贡献。所以通过课程结构调整、教学内容更新和教学方法的改革,改善人才的知识结构才能创出具有特色的一流人才培养模式。

教材在培养人才中起着举足轻重的作用,是深化课程体系和教学内容的改革和教学方式改革成果的总结。清华大学精密仪器系组织编写的系列教材,主要涉及机械工程专业本科生课程中的基础课、专业课和实践课。本着“先进性、创新性、实用性”的宗旨,力争

反映当代机械科学技术的基本内容和发展趋势,尽可能地将最新的生产和科研成果纳入到教材中。在编写中力图符合教学特点和学生的认识规律,全面提升教材质量,创出新的教学体系。

中国科学院院士

A handwritten signature in black ink, appearing to read '王震' (Wang Zhen), written in a cursive style.

2003年2月24日

第 3 版前言



本书第 2 版于 2003 年 9 月出版,到现在已经有 4 年多了。在此期间,CAD 的技术、应用和相关软件都有了很大发展,原第 2 版中的有些内容已经显得陈旧,而一些必需的新内容又没有得到反映,因此,更新版本势在必行。在广大读者的热情鼓励下,在清华大学出版社的大力支持下,本书第 3 版与读者见面了。

第 3 版继续遵循第 1 版和第 2 版编写时的指导思想,即面向机械行业,将当前 CAD 应用中的共性问题提炼出来构成全书的内容,既要强调 CAD 基础,又要反映 CAD 应用中的先进技术,以适应培养高素质 CAD 应用人才的需要。

当前国内外关于 CAD 技术方面的书籍有很多,大致可分为三类:第一类是以某种软件为背景(例如 AutoCAD)的 CAD 书籍;第二类是以 CAD 技术基础为主的书籍;第三类是 CAD/CAM 书籍。与第一类书籍相比,本书不与某个具体的 CAD 软件绑定,故有明显不同。与第三类书籍不同的是,本书不涉及 CAM 内容,故在叙述 CAD 内容时有更大的空间。与第二类书籍相比,目标一样,均以介绍 CAD 基础技术为主,但本书以机械行业为应用背景,在内容组织、应用举例、技术实现等方面体现了机械 CAD 的特点,更贴近机械类行业或专业的读者。此外,在体现 CAD 先进技术的章节中,融入了作者多年的科研成果与经验,具有一些个性化特色。

第 3 版的主要特点如下。

(1) 基础性。以机械行业的 CAD 应用为背景,将应用中的共性问题作为重点阐述对象,全书中体现基础的内容约占全书 2/3,包括 CAD 基础、图形处理基础与建模技术等,反映了 CAD 技术的基本原理和方法。

(2) 先进性。引入当前 CAD 研究与应用中的一些热点技术,例如,三维参数化特征建模、变量化设计、协同设计、产品生命周期管理、产品数据交换、应用系统集成等,内容约占全书的 1/3,体现了技术的与时俱进。

(3) 实用性。书中采用的应用举例、习题、商用软件应用,以及教学过程中所安排的项目训练等,组成了多样化的实践环节,体现了课程的实用性。

(4) 模块性。全书由 4 个不同主题的模块(即 4 篇)组成,每个模块中的各章又相对独立,使教师在组织教学时可根据不同的教学对象选择不同的模块与章节。

第 1 篇 CAD 基础,包括 CAD 技术概论、CAD 系统、工程手册的数据处理、机械 CAD 中常用的数据结构、信息存储与管理共 5 章。

第 2 篇图形处理基础,包括图形变换、图形技术基础共 2 章。

第 3 篇建模技术,包括二维几何建模方法、三维建模技术、装配建模技术共 3 章。

第 4 篇协同、管理与集成,包括产品协同设计技术、产品数据交换技术、产品数据与产品生命周期管理技术、3C/PDM 集成技术共 4 章。

(5) 与商用软件无关性。某些章节以举例的方式简略地介绍了一些相关软件,但全书不依赖于某个商用软件,不与某个商用软件绑定,不着力介绍某种软件的详细操作与使用,而将重点放在 CAD 技术的理论与方法上,软件操作留在实践环节中解决,以利于学生掌握 CAD 技术的基础和培养独立工作的能力。

与第 2 版相比,新增与改写的内容约占全书 2/3。第 10 章装配建模技术、第 11 章产品协同设计技术,以及第 13 章中的产品生命周期管理技术为新增内容。第 1,2,5,7,8,9,12,13 章,改写的力度均较大。

本书的授课时间仍为 50 小时左右,有些章节可不作教学要求,供学生自学。

本书可作为高等学校教学用书,也可作为技术参考书,读者对象以大专院校学生及工程技术人员为主。

第 3 版书中的第 1,2,3,9,12,13,14 章由童秉枢编写,第 4,8,10 章由李学志编写,第 6,7 章由吴志军编写,第 5,11 章由冯涓编写,全书由童秉枢负责汇总与整理。由于作者的学识有限,书中难免存在不足或疏漏之处,敬请读者批评指正。

作者

2008 年 3 月

第 1 版前言



CAD 是一门多学科综合性应用新技术,发展十分迅速。在我国第八个五年计划期间(1991—1995 年),在机电行业中,约有 50%的大、中型企业使用 CAD 技术。到 20 世纪末,我国主要的设计及企业部门,普及 CAD 技术、实现产品设计现代化将成为现实。据预测,到那时 CAD 人才约需 50 万人,因此 CAD 基础教育已刻不容缓。此书宗旨即为上述人才培养的宏大目标提供一本合适的基础教程。

本书的主要编著者曾经是清华大学出版社 1988 年 2 月出版的《计算机辅助机械设计技术基础》的部分编著者,由于 CAD 技术的飞速发展,深深感到原书内容及技术已不太适应当前教学及技术工作的需要,在体系内容上需作较大调整,因此决定本书不作为原书的修订本,但仍继承了原书部分章节及图、例。

在编写本书时我们突出了两点:一是强调基础性,二是强调实践性。在基础性方面,考虑到本书是以机械行业的 CAD 为其应用背景,于是将那些应用中的共性问题抽取出来作为本书重点阐述的对象。概括起来这些基础技术涉及工程手册的数据处理、常用数据结构、信息存储与管理、计算机图形处理的基础及几何造型技术等。掌握这些基础技术不仅对从事机械 CAD 的技术工作者是必需的,而且对从事其他领域的 CAD 工作者也是有帮助的。在实践方面,我们注意理论联系实际,在书中有不少实例与应用的阐述。在软件实践上选择了目前较为流行的开发环境,即微机上的 C 语言、AutoCAD 图形系统以及 FOXBASE 关系型数据库。

本书共分 10 章。第 1,2 章介绍计算机辅助设计概念、基本知识及系统硬软件的组

成;第 3,4,5 章讲述工程手册的数据、图表资料的处理方法,建立设计问题机内数据结构的方法以及工程数据库的使用;第 6,7 章是图形处理的基础,讲述图形的几何变换、开窗、裁剪、消隐等;第 8 章是图形应用软件的设计技术,并扼要介绍 AutoCAD 的应用与开发;第 9 章讨论三维几何造型技术;第 10 章概述实现 CAD/CAM 集成的技术与方法。

上述各章可按相近内容组成若干模块,实现模块化教学,模块间内容相互独立。本书讲课时间约需 40~50 学时,可根据学时情况,对某些章节不作教学要求,在使用与阅读本书时,可以不依编排的章节顺序来进行。

本书可作为高等学校教学用书,也可作为培训与继续教育用书。读者对象以大专院校学生及工程技术人员为主。读者在阅读或听课的同时,必须进行上机实践,才能收到较好的效果。

本书第 1,2,3,9,10 章由童秉枢编写;第 4,8 章由李学志编写;第 6,7 章由吴志军编写;第 5 章由张春风编写;全书由童秉枢负责汇总和整理。书中内容虽为作者多年来从事 CAD 教学与科研工作的总结与体会,但由于我们在 CAD 理论及实践方面水平有限,难免存在错误与不足之处,敬请读者批评指正。

作 者

1994 年 6 月

第 2 版前言



CAD 技术推动了几乎一切领域的设计革命,对加速工程建设和缩短产品开发周期、提高产品质量、降低成本、增强企业的市场竞争能力与创新能力发挥着重要作用。CAD 技术已成为衡量国家科技与工业现代化的重要标志之一,成为企业信息化的重要技术基础。

我国在 20 世纪 90 年代的“八五”和“九五”计划期间,大力进行了 CAD 技术的推广应用,启动了 CAD 应用工程。1992 年,CAD 应用工程以“甩掉图板”为突破口,经过 8 年努力,CAD 的普及和推广工作取得了巨大的成绩,表现在:CAD 技术得到了广泛应用和普及,据统计,2000 年全国已有 29 个省(市),4 个行业,近 600 家示范企业,3000 个重点应用单位,约 10 万家企业和设计院应用和普及了 CAD 技术,提高了企业的技术创新能力、产品开发能力和市场竞争能力;以应用和市场为导向,推动了国产 CAD 软件的产业化;通过 CAD 技术培训网络,培养了一大批 CAD 技术人才;组建了咨询服务体系,形成了 CAD 咨询服务业;制定了相关的 CAD 技术标准和规范。

尽管 CAD 技术的应用取得了巨大成就,但与发达国家相比仍有较大差距,在我国国内 CAD 技术的应用也还很不平衡,仍然需要向广度和深度发展。分析我国当前 CAD 技术的应用情况,大致可分为四个层次:基于计算机绘图、产品三维几何造型的应用层次;基于计算机辅助工程分析进行产品性能设计的应用层次;基于产品数据管理(PDM)的应用层次;基于企业信息化平台的应用层次。

为顺应国内外 CAD 技术飞速发展的形势,高等工科院校中的 CAD 教学必须及时地

在体系和内容上加以更新,以便能适应培养高素质 CAD 应用人才的需要。为此,我们对 1996 年出版的《机械 CAD 技术基础》进行了仔细分析,决定保持原有的基础性与实用性,同时通过更新部分陈旧内容和适当增加新内容使全书的内容具有先进性。由于新旧两本书之间有一定的继承性,故不改变书名,而作为原书的第 2 版。

在第 2 版中各章内容变动如下:

内容保持基本不变的有:第 3 章工程手册的数据处理、第 4 章 CAD 中常用数据结构、第 6 章图形变换、第 9 章中的三维几何造型。

内容重新改写的有:第 1 章 CAD 技术概论、第 2 章 CAD 系统、第 5 章信息存储与管理、第 7 章图形技术基础、第 8 章二维几何建模方法、第 12 章 3C 集成技术。

新增加的内容有:第 9 章中的特征建模、参数化设计和变量化设计,第 10 章产品数据交换技术,第 11 章产品数据管理技术,第 12 章中的基于 PDM 的应用集成。

本书的授课时间仍保持在 50 学时左右,有些章节可不作教学要求,供学生自学。

前面已经指出,第 2 版仍然保持了 CAD 技术的基础性,同时,这里需要强调指出 CAD 技术的实践性,学生必须在学习本书内容时,学习相关软件的操作,进行一定设计任务或应用项目的训练,方能较好地掌握书中的理论与技术。

本书可作为高等学校教学用书,也可作为技术参考书。读者对象以大专院校学生及工程技术人员为主。

第 2 版书中的第 1,2,3,9,10,11,12 章由童秉枢编写;第 4,8 章由李学志编写;第 6,7 章由吴志军编写;第 5 章由冯涓编写;全书由童秉枢负责汇总与整理。书中内容均为作者 10 多年来 CAD 教学与科研工作的总结,但难免有疏漏之处,恳请读者批评指正。

作者

2003 年 8 月

目录



第 1 篇 CAD 基础

| | |
|----------------------------|----|
| 1 CAD 技术概论 | 3 |
| 1.1 机械设计概述 | 3 |
| 1.2 CAD 技术的内涵 | 4 |
| 1.3 CAD 技术在我国制造业中的应用 | 7 |
| 1.4 CAD 技术的发展简史 | 10 |
| 1.5 CAD 技术的发展趋势 | 11 |
| 习题 | 13 |
| 2 CAD 系统 | 14 |
| 2.1 CAD 系统的构成与配置形式 | 15 |
| 2.1.1 系统的基本组成 | 15 |
| 2.1.2 计算机类型 | 15 |
| 2.1.3 CAD 系统的配置形式 | 16 |
| 2.2 CAD 系统的硬件 | 21 |
| 2.2.1 计算机主机 | 21 |
| 2.2.2 外存储器 | 22 |
| 2.2.3 图形输入设备 | 22 |
| 2.2.4 图形输出设备 | 24 |
| 2.2.5 图形显示设备 | 29 |
| 2.3 CAD 系统软件 | 34 |

| | | |
|----------|------------------------------|-----------|
| 2.3.1 | 系统软件 | 34 |
| 2.3.2 | CAD 支撑软件 | 36 |
| 2.3.3 | CAD 图形支撑软件的发展 | 37 |
| 2.3.4 | 典型 CAD 软件简介 | 38 |
| 习题 | | 40 |
| 3 | 工程手册的数据处理 | 41 |
| 3.1 | 数表的程序化 | 42 |
| 3.1.1 | 6 个实例 | 42 |
| 3.1.2 | 一元函数的插值 | 46 |
| 3.1.3 | 二元函数的插值 | 48 |
| 3.2 | 线图的程序化 | 52 |
| 3.3 | 建立经验公式的方法 | 53 |
| 3.3.1 | 最小二乘法拟合的基本思想 | 53 |
| 3.3.2 | 最小二乘法的多项式拟合 | 54 |
| 3.3.3 | 最小二乘法的其他函数的拟合 | 56 |
| 3.3.4 | 列主元素高斯消去法求解线性联立方程 | 57 |
| 习题 | | 62 |
| 4 | 机械 CAD 中常用的数据结构 | 63 |
| 4.1 | 基本概念 | 63 |
| 4.2 | 线性表 | 64 |
| 4.2.1 | 线性表的顺序存储结构 | 65 |
| 4.2.2 | 线性表的链式存储结构 | 67 |
| 4.3 | 栈 | 75 |
| 4.3.1 | 栈的结构 | 75 |
| 4.3.2 | 栈的运算 | 75 |
| 4.3.3 | 栈的应用举例 | 76 |
| 4.4 | 树 | 79 |
| 4.4.1 | 树的逻辑结构 | 79 |
| 4.4.2 | 树的存储结构 | 79 |
| 4.4.3 | 树的应用举例 | 80 |
| 4.5 | 二叉树 | 81 |
| 4.5.1 | 二叉树的逻辑结构 | 81 |
| 4.5.2 | 二叉树的存储结构 | 82 |

| | | |
|----------|--------------------------------|-----------|
| 4.5.3 | 二叉树的遍历 | 82 |
| 4.5.4 | 树的二叉树表示 | 84 |
| 4.5.5 | 二叉树的应用举例 | 84 |
| | 习题 | 87 |
| 5 | 信息存储与管理 | 88 |
| 5.1 | 基本概念 | 89 |
| 5.2 | 文件系统 | 89 |
| 5.2.1 | 顺序文件 | 90 |
| 5.2.2 | 索引文件 | 90 |
| 5.2.3 | 多重链表文件 | 92 |
| 5.2.4 | 倒排文件 | 93 |
| 5.3 | 数据库系统 | 94 |
| 5.3.1 | 数据库系统的主要特征 | 94 |
| 5.3.2 | 数据库系统的基本组成 | 96 |
| 5.3.3 | 数据库系统的体系结构 | 97 |
| 5.3.4 | 数据模型 | 98 |
| 5.4 | 关系型数据库和 SQL 语言 | 99 |
| 5.4.1 | 数据库对象 | 99 |
| 5.4.2 | SQL 语言 | 100 |
| 5.5 | SQL Server 关系型数据库管理系统 | 101 |
| 5.5.1 | SQL Server 2000 的启动和常用工具 | 101 |
| 5.5.2 | 数据库的创建和管理 | 104 |
| 5.5.3 | 表的创建和管理 | 109 |
| 5.5.4 | 表中数据的管理 | 112 |
| 5.5.5 | 数据的查询 | 117 |
| 5.5.6 | 创建和修改索引 | 121 |
| 5.5.7 | 创建和修改视图 | 123 |
| 5.6 | 工程数据库系统简介 | 125 |
| 5.6.1 | 工程数据分析 | 125 |
| 5.6.2 | 工程数据库系统的主要特点 | 126 |
| | 习题 | 127 |

第 2 篇 图形处理基础

| | | |
|----------|-----------------------|-----|
| 6 | 图形变换 | 131 |
| 6.1 | 图形变换的方法 | 131 |
| 6.1.1 | 构成图形的基本要素及其表示方法 | 131 |
| 6.1.2 | 点的变换 | 132 |
| 6.2 | 二维图形几何变换 | 132 |
| 6.2.1 | 二维基本变换 | 132 |
| 6.2.2 | 二维组合变换 | 140 |
| 6.3 | 三维图形几何变换 | 143 |
| 6.3.1 | 三维基本变换矩阵 | 143 |
| 6.3.2 | 三维基本变换 | 144 |
| 6.3.3 | 三维基本变换矩阵的组合 | 148 |
| 6.4 | 三维图形投影变换 | 150 |
| 6.4.1 | 平行投影变换 | 151 |
| 6.4.2 | 透视投影变换 | 157 |
| | 习题 | 163 |
| 7 | 图形技术基础 | 164 |
| 7.1 | 坐标系 | 164 |
| 7.1.1 | 世界坐标系 | 165 |
| 7.1.2 | 观察坐标系 | 165 |
| 7.1.3 | 规格化设备坐标系 | 165 |
| 7.1.4 | 设备坐标系 | 166 |
| 7.2 | 图形的输出 | 166 |
| 7.2.1 | 窗口与视区 | 166 |
| 7.2.2 | 窗口-视区变换 | 167 |
| 7.2.3 | 二维图形的输出流程 | 168 |
| 7.2.4 | 三维形体的输出流程 | 169 |
| 7.3 | 二维图形的裁剪 | 169 |
| 7.3.1 | 点的裁剪 | 169 |
| 7.3.2 | 直线段的裁剪 | 170 |
| 7.4 | 隐藏线和隐藏面的消除 | 174 |

| | | |
|-------|-----------------|-----|
| 7.4.1 | 隐藏线和隐藏面问题 | 174 |
| 7.4.2 | 消隐算法中的基本测试方法 | 176 |
| 7.4.3 | z 向深度缓冲区算法 | 179 |
| 7.4.4 | 扫描线算法 | 179 |
| 7.4.5 | 循环细分算法 | 180 |
| 7.5 | 图形标准 | 181 |
| 7.5.1 | 图形核心系统 | 183 |
| 7.5.2 | 程序员级层次结构交互式图形系统 | 183 |
| 7.5.3 | 开放式图形库 | 184 |
| 7.5.4 | Direct3D | 191 |
| 7.5.5 | Java 3D | 192 |
| 7.5.6 | 三维几何造型引擎 ACIS | 197 |
| | 习题 | 199 |

第3篇 建模技术

| | | |
|-------|----------------|-----|
| 8 | 二维几何建模方法 | 203 |
| 8.1 | 交互几何建模 | 203 |
| 8.1.1 | AutoCAD 图形系统简介 | 203 |
| 8.1.2 | 交互几何建模的一般步骤 | 219 |
| 8.1.3 | 交互几何建模实例 | 219 |
| 8.2 | 参数化几何建模 | 225 |
| 8.2.1 | 图形参数化 | 225 |
| 8.2.2 | 参数化几何建模的编程实现 | 227 |
| 8.2.3 | 参数化几何建模的非编程实现 | 229 |
| 8.3 | 形状特征拼合法几何建模 | 233 |
| 8.3.1 | 形状特征的概念与确定 | 233 |
| 8.3.2 | 形状特征拼合法的编程实现 | 234 |
| 8.4 | 二维装配图建模 | 240 |
| 8.4.1 | 装配图设计方法概述 | 240 |
| 8.4.2 | 装配图中的隐藏线处理 | 241 |
| 8.4.3 | 装配图建模实例 | 242 |
| | 习题 | 245 |