

21世纪高等学校机械设计制造
及其自动化专业系列教材

计算机图形学

(第二版)

常明 朱林 主编
何玉林 主审

华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



21世纪高等学校机械设计
制造及其自动化专业系列教材

计算机图形学

(第二版)

常 明 朱 林 主编

何玉林 主审

责任编辑: 王为成

封面设计: 王为成

封面设计: 王为成

封面设计: 王为成

华中科技大学出版社

中国武汉

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学(第二版)/常明 朱林 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2001年2月
ISBN 978-7-5609-1983-6

I. 计… II. ①常… ②朱… III. 计算机图形学 IV. TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第177860号

21世纪高等学校

机械设计制造及其自动化专业系列教材

计算机图形学(第二版)

常明 朱林 主编

责任编辑:钟小珉

封面设计:潘群

责任校对:王崇军

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录排:华中科技大学惠友文印中心

印刷:华中科技大学印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:21

字数:400 000

版次:2001年2月第2版

印次:2007年12月第7次印刷

定价:24.00元

ISBN 978-7-5609-1983-6/TP·334

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书介绍了计算机图形学的基础理论和算法以及实现这些算法的二、三维图形系统。主要内容包括：图形系统硬件、交互技术基础、图形变换、图形生成算法、几何造型基础、消隐处理、真实感图形与可视化技术初步。为了便于自学，每部分内容都精心设计了用 C++ 语言编写的程序实例，使读者在学习理论和算法的同时，也能掌握在计算机上实现这些算法的方法。这是本书的特色所在。

本书可作为高等院校各专业的本科生、研究生学习计算机图形学的教材，也可作为广大工程技术人员从事 CG/CAD 工作的参考书。

21 世纪高等学校
机械设计制造及其自动化专业系列教材
编 审 委 员 会

顾问: 姚福生 黄文虎 张启先
(工程院院士) (工程院院士) (工程院院士)
谢友柏 宋玉泉 艾 兴
(工程院院士) (科学院院士) (工程院院士)
熊有伦
(科学院院士)

主任: 杨叔子 周 济
(科学院院士) (工程院院士)

委员: (按姓氏笔画顺序排列)

于骏一	王明智	毛志远	左武炘	卢文祥
朱承高	师汉民	刘太林	李培根	吴昌林
吴宗泽	何玉林	陈康宁	陈心昭	张春林
张福润	张 策	张健民	冷增祥	范华汉
周祖德	洪迈生	姜 楷	黄纯颖	童秉枢
傅水根	傅祥志	廖效果	黎秋萍	戴 同

秘书: 钟小珉 徐正达

21 世纪高等学校 机械设计制造及其自动化专业系列教材

总 序

发展是硬道理，而改革是关键。唐代大诗人刘禹锡写得多么好：“请君莫奏前朝曲，听唱新翻《杨柳枝》。”这是这位改革派的伟大心声。

1998 年教育部颁布了新的普通高等学校专业目录。这是一大改革。为满足各高校开办“机械设计制造及其自动化”宽口径新专业教学的需要，华中科技大学出版社在世纪之交，千年之替，顺应时代潮流，努力推出了“机械设计制造及其自动化”专业系列教材。这套系列教材是在众多院士支持与指导下，由全国 20 余所院校数十位长期从事教学和教学改革工作的教师经多年辛勤劳动编写成的，它有特色，能满足机械类专业人才培养要求。

这套系列教材的特色在于，它紧密结合“机械类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”与“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”两个重大教学改革项目，集中反映了华中科技大学和国内众多兄弟院校自实施教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”以来，在改革机械类专业培养模式和课程内容体系方面所取得的成果。

这套系列教材，是完全按照两个重大教学改革项目的成果所提出的“机械设计制造及其自动化”宽口径专业培养方案中所设置的课程来编写的。这一培养方案的一个重要特点是：专业基础课按课群方式设置，即由力学系列课程，机械设计基础系列课程，计算机应用基础系列课程，电工、电子技术基础系列课程，机械制造技术基础系列课程，测控系列课程，经营管理系列课程等七大课群组成，有效地拓宽了专业口径和专业基础，体现了机械类专业人才培养模式的改革。

同时专业基础课按课群设置，也有利于加强课群内各门课程在内容上的衔接，有利于课程体系的进一步整合、优化及改革。专业基础课按七大课群设置，这得到了全国高校机械工程类专业教学指导委员会的充分赞同。

21 世纪工程教育的一个基本特征就是“适应性”，就是坚持邓小平同志指出的教育的“三个面向”的战略思想。能适应，才能创业。要能多方适应科学技术的突飞猛进和社会的不断进步，就得进一步明确指导思想，进一步合适地拓宽专业口径与专业基础，构造现代化的人才知识结构、能力结构和素质结构，就得因史制宜、因地制宜、因势制宜，努力实现培养模式的多样化，切忌“千篇一律”、“千人一脸”，万紫千红方能有一个大好的春天。

这是一套具有较大改革力度的系列教材。教材的作者们认真贯彻了中央的教育方针与改革思想，体现出两个重大改革项目成果所提出的“以创新设计为核心，以机械技术与信息技术结合为龙头，以计算机辅助技术为主线，拓宽基础，强化实践”的总体改革思路，并本着整合、拓宽、更新和更加注重应用的原则，对课程的内容、体系进行了诸多重要改革，而且许多课程在开发电子教材方面也取得了长足进展。

按照减少学时、降低重心、拓宽面向、精选内容、更新知识的原则，对原机械专业三门主要专业课(机械制造工艺学、金属切削机床设计、金属切削原理与刀具)实行了整合和改造，编写出了供“机械设计及其自动化”宽口径专业学生学习的《机械制造技术基础》新教材。

改造了原电工技术、电子技术系列课程，将分散在几门课程中的强电知识整合为《机电传动控制》新课程，减少了重复，拓宽了基础，突出了“机电结合、电为机用”的特点。

使用自主版权软件改革传统工程制图内容体系，不仅实现了工程制图和计算机绘图内容的有机融合，也实现了制图课教学手段的现代化。

以设计为主线，重新规划了《机械设计》和《机械原理》课程体系结构，在内容上努力实现由注重学科的系统性向更加注重工程综合性的转化，在教学手段上全面引入多媒体技术，提升了课堂教学的效果和效率。

《金属材料及热处理》更名为《工程材料及应用》，除紧密结合现代科技成就，讲解金属材料的基本理论及应用外，还讲解了其他各类工程材料的有关知识。

《测试技术》更名为《工程测试与信息处理》，加强了与信息获取、传输、存贮、处理及应用有关的内容，并率先在国内建成网上测试技术虚拟实验室。

《液压传动》与《气压传动》整合为《液压传动与气压传动》，精简了内容，强化了应用，并制作出了相应的电子教案。

《材料成形工艺基础》在精选传统金属成形工艺内容的基础上，较大幅度地增加了新材料、新工艺、新技术方面的知识。

编写出版了《现代设计方法》、《机构与机械零部件 CAD》、《柔性制造自动化概论》、《机电一体化控制技术与系统》及《机器人技术基础》等教材,反映了现代科技的新发展。

科学与工程既有联系又有区别。科学注重分析,工程注重综合。任何一项工程本身都是多学科的综合体。今天,工程技术专家的基本作用正是一种集成作用,工程技术专家的任务是构建整体。我们必须从我国国情出发,按照现代工程的特点和工程技术专家的基本作用来构建机械工程教育的内容和体系。

华中科技大学出版社依托全国高校机械工程类专业教学指导委员会、全国高校机械基础课程指导委员会,经过多年不懈的努力,使这套系列教材的出版达到了较高的质量水准。例如,目前已有 11 本被教育部批准为“面向 21 世纪课程教材”,有 5 本获得过国家级、省部级各种奖励,全套教材已被全国几十所高校采用,广泛受到教师和学生的欢迎。特别是其中一些教材(如《机械工程控制基础》、《数字控制机床》等),经长期使用,多次修订,已成为同类教材中的精品。

现在这套系列教材已经正式出版 20 多本,涵盖了“机械设计制造及其自动化”专业的所有主要专业基础课程和部分专业方向选修课程,能够较好地满足教学上的需要。我们深信,这套系列教材的出版发行和广泛使用,将不仅有利于加强各兄弟院校在教学改革方面的交流与合作,而且对机械类专业人才培养质量的提高也会起到积极的促进作用。

当然,由于编者学术水平有限,改革探索经验不足,组织工作还有缺陷,何况,形势总在不断发展,现在还远不能说系列教材已经完善,相反,还需要在改革的实践中不断检验,不断修改、锤炼,不断完善,永无休期。“嚶其鸣矣,求其友声。”我们殷切期望同行专家及读者们不吝赐教,多加批评与指正。

江泽民同志在 2000 年 6 月我国两院院士大会上号召我们:“创新,创新,再创新!”实践、探索、任重道远,只有努力开拓创新,才可能创造更美好的未来!

全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员

中国科学院院士

华中科技大学教授

2000 年 6 月 6 日

杨叔子

第二版前言

本书是 1999 年 3 月版的修订版, 由于内容符合教学的实际情况, 理论联系实际, 算法与编程实现结合得较好, 深受广大师生欢迎, 国内众多院校采用本书作为本科生和研究生的教材。本书经专家评议, 教育部审定为面向 21 世纪课程教材。

本书为“机械设计制造及其自动化”专业系列教材之一。它集中反映了近五年我校机械类专业在计算机图形学课程建设以及相关领域的科学研究中所取得的主要成果。为兼顾其他专业的教学要求, 本修订版力图使全书取材更为全面, 充实了本课程所涉及的基础知识和基本概念, 更加符合目前国内各院校“计算机图形学”这门课程的学时安排以及上机实践的条件。

具体地讲, 在这一次修订中, 在以下几个方面作了较大修改:

1. 由于教学使用的二维图形软件 CADTool 和三维图形软件 GStar 均已推出了基于 Windows 2000 的新版本, 因此本书第八章及第十二章中所介绍的图形系统均为华中科技大学国家 CAD 支撑软件中心研制的具有自主版权的二、三维图形系统, 这样可以保证教学中使用的图形系统符合当前国内外图形软件发展的趋势, 以便及时反映本学科领域发展动向, 开阔读者视野, 更好地适应国内外图形技术的快速发展。

2. 为了兼顾研究生教学的需要, 本修订版对于三维图形的生成与显示作了适当的补充。具体体现在对第十章与第十一章的内容作了必要的补充, 并对三维立体模型与真实感显示的程序实例作了调整, 使之更加贴近每一章的教学内容。

3. 为了给广大读者上机实践提供方便, 本修订版提供教学光盘一张(需购买者, 请与出版社联系), 除了提供第八章中使用的凯图 CADTool Win2000 版和 InteSolid Win2000 版外, 光盘中还提供了教材中所用的 C++ 源程序, 这样可节省大量上机调试、运行程序的时间。

本书由常明、朱林主编。参加编写的还有张彩缤、纪俊文、李丹、胥北澜等老师。常明编写了第三、四、九、十一章, 朱林编写了第二、六章, 纪俊文编写了第八、十章, 张彩缤编写了第五、七两章, 胥北澜编写了第一章, 第十二章由常明、李丹共同编写。

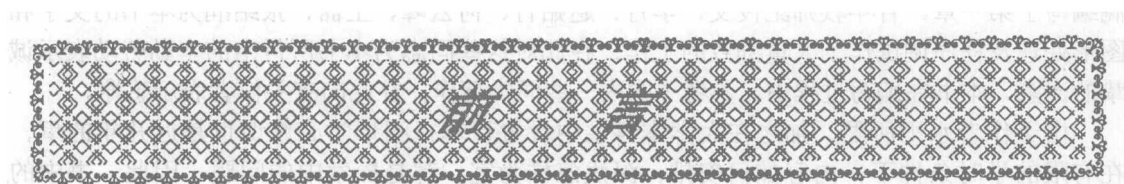
青年教师何云峰、张绍润为本书的文字和图形处理作了大量细致的工作, 对这些同志为本书所付出的辛勤劳动表示诚挚的谢意。本书编写过程中, 参考了国内一些同类著作, 在此向有关作者表示感谢。

由于作者水平所限, 加之在大学本科中设置计算机图形学必修课也是近几年的事,

在有限的学时条件下，教材如何编写，内容如何安排，深浅怎样为宜，都是在教学实践中不断探索的问题。因此，书中的错误和不足之处在所难免，恳请同行专家和广大读者批评指正。

编者

2000年12月于喻园



计算机图形学(Computer Graphics)是人类 20 世纪下半叶在科学技术领域中取得的重大科技成果之一,也是近 30 年来计算机领域发展迅速、应用广泛的一门新兴学科。它主要是研究用计算机和相关的硬件设备来产生、处理、存储和输入、输出图形的理论和方法。

目前,基于计算机图形学理论和方法的图形系统已广泛用于工业、农业、交通运输、文化教育、医疗卫生等部门。可以预见,人类跨入 21 世纪后,计算机图形学必将在国民经济建设的各个领域乃至人们的日常生活中发挥越来越大的作用,成为当今信息社会最显著的特征。现在在校学习的大学生,是 21 世纪祖国“四化”建设的栋梁之材,学习并掌握计算机图形学的基础理论知识是极其必要的。编写本书的目的,就是为大学本科生和研究生提供一本简明实用的计算机图形学教材。

考察国内外许多著名大学的计算机图形学教学计划,可以发现,各校在教学内容的安排上有十分相似之处,即把计算机图形学中二维图形系统相关的内容安排在大学本科阶段学习,就是本书前八章所介绍的内容,而把与三维图形系统相关的一些较为深入的内容安排在研究生阶段学习,如本书后四章所介绍的内容。本书主要内容有:计算机图形系统的硬件及软件环境;窗口、菜单及图形交互技术基础;图形变换的矩阵方法;基本图形的生成算法;窗口、视区及二维图形剪取;三维几何造型;消隐处理;真实感图形与可视化技术初步;华中科技大学图形软件中心研制的二维和三维图形系统简介。

本书适合大学本科生 40~60 学时的教学内容要求。第十一章深入浅出地介绍了真实感图形和可视化技术的一些初步知识,适合读者自学,其目的在于向读者介绍本学科最新的研究成果和前沿研究课题,激发读者深入学习计算机图形学的兴趣。

本书要求读者先修的课程为 C 语言程序设计方法、线性代数和工程制图。因此,在大学二年级学习本书是比较适宜的。

书中介绍的工程设计用的图形软件系统——凯图(CADTool)和三维造型软件(GStar)是华中科技大学图形软件中心研制的具有自主知识产权的图形软件系统,也是作者及课题组成员多年来从事计算机图形学教学和科研所取得的成果之一。有需要该软件的读者,可直接与作者联系。

本书由常明、朱林主编。参加编写的还有张彩缤、胥北澜两位老师。常明编写了第四、九、十、十一章,朱林编写了第二、三、六、十二章,张彩缤编写了第五、七、八章,胥北

澜编写了第一章。青年教师纪俊文、李丹、赵贻竹、何云峰、王磊、张绍润为本书的文字和图形处理及程序调试作了大量细致的工作，在此对这些同志为本书所付出的辛勤劳动表示诚挚的谢意。本书在编写过程中，参考了国内一些同类著作，在此向有关作者表示感谢。

由于作者水平所限，加之在大学生本科生中设置计算机图形学必修课也是近几年的事，在有限的学时条件下，内容如何安排，深浅怎样为宜，都是探索中的问题。因此，书中的错误和不足之处在所难免，恳请同行专家和广大读者批评指正。

编 者

1999 年 3 月于华工园



计算机图形学

第一章 计算机图形学概述	(1)
1-1 概述	(1)
1-2 计算机图形系统的硬件环境	(5)
习题	(10)
第二章 C 语言图形程序设计	(11)
2-1 文本模式下使用的库函数	(11)
2-2 图形模式下使用的库函数	(15)
2-3 西文状态下的汉字显示	(30)
2-4 图形程序设计	(36)
习题	(41)
第三章 图形显示算法基础	(42)
3-1 直线的生成算法	(42)
3-2 圆弧的生成算法	(46)
3-3 规则曲线的生成算法	(53)
3-4 自由曲线的生成算法	(59)
3-5 工程曲面的构造方法	(65)
习题	(94)
第四章 图形变换的矩阵方法	(95)
4-1 二维图形变换	(95)
4-2 三维图形变换	(103)
习题	(118)
第五章 图形处理算法	(119)
5-1 视见变换	(119)

5-2	二维图形剪取.....	(126)
5-3	光栅图形的扫描转换与区域填充.....	(138)
	习题.....	(144)
第六章	图形交互技术初步.....	(145)
6-1	图形交互技术基础.....	(145)
6-2	人机交互界面设计.....	(147)
6-3	鼠标的使用.....	(148)
6-4	窗口技术.....	(153)
6-5	菜单的设计与应用.....	(162)
6-6	橡皮筋技术.....	(164)
	习题.....	(181)
第七章	图形数据结构.....	(182)
7-1	数据结构概述.....	(182)
7-2	线性表结构.....	(184)
7-3	数组.....	(186)
7-4	栈.....	(189)
7-5	队列.....	(191)
7-6	链表.....	(195)
7-7	树形结构与二叉树的应用.....	(205)
7-8	图形数据文件.....	(207)
	习题.....	(209)
第八章	二维图形软件系统.....	(210)
8-1	二维设计绘图软件 CADTool 简介.....	(210)
8-2	CADTool 系统的预备知识.....	(212)
8-3	CADTool 的主菜单工具箱.....	(214)
8-4	主绘图工具箱.....	(216)
8-5	计算机绘制三视图.....	(222)
	习题.....	(225)
第九章	三维几何造型初步.....	(226)
9-1	三维图形系统的坐标系.....	(226)
9-2	三维图形中的几何元素.....	(227)
9-3	三维立体的构造模型.....	(229)
9-4	正则实体.....	(232)

9-5 三维物体的表示方法.....	(234)
习题.....	(242)
第十章 三维图形显示与消隐处理.....	(243)
10-1 三维图形显示过程.....	(243)
10-2 观察坐标系的定义及有关计算.....	(244)
10-3 三维图形显示的数学基础.....	(247)
10-4 三维图形剪取.....	(251)
10-5 分段可见性判断算法.....	(252)
10-6 隐藏量算法.....	(254)
10-7 可见面判别算法.....	(256)
10-8 深度缓冲器算法(Depth-Buffer Method).....	(257)
10-9 扫描线算法.....	(259)
10-10 画家算法.....	(261)
习题.....	(274)
第十一章 真实感图形与可视化技术基础.....	(275)
11-1 引言.....	(275)
11-2 颜色的基础知识.....	(276)
11-3 光照模型.....	(288)
11-4 绘制方法.....	(292)
11-5 可视化技术基础.....	(298)
11-6 虚拟现实系统简介.....	(301)
习题.....	(304)
第十二章 三维图形系统.....	(305)
12-1 三维几何造型系统 InteSolid 简介.....	(305)
12-2 系统操作概述.....	(307)
12-3 三维几何造型实例.....	(309)
习题.....	(317)
参考文献.....	(318)



计算机图形学概述

1-1 概 述

计算机图形学是近 20 年来科学技术领域中取得的重要成就之一。它与计算机辅助设计和计算机辅助制造成为当今世界引人注目的高新技术之一，同时也是一个国家现代化水平的重要标志。

在一些工业化国家里，计算机图形学已被广泛应用于机械、电子、建筑、造船、航天航空，还有军事、文化教育、气象，乃至娱乐等各个领域。大家知道，传统的手工设计绘图不仅工作效率低、劳动强度大，而且设计、绘图的精度难以保证。特别是在科技高度发达的今天，图样越来越复杂，对设计绘图的精度要求也越来越高。例如，超大规模集成电路掩膜图，印刷电路布线图，复杂的船舰和飞行器的曲面外壳设计图，都是手工设计绘图难以胜任的。同时，随着社会的进步，商品竞争日趋激烈，要求产品更新换代的周期越短越好，而计算机图形学的成果对提高工业产品的设计质量，加快产品的更新换代发挥了极大作用。例如，美国哥伦比亚号航天飞机表面隔热系统由 24 000 多块形状奇特而又复杂的 SiO_2 瓦片粘接而成，由于采用了计算机图形模拟和计算机辅助设计，确保了粘接的精度与质量。又如，美国波音公司生产波音 747 型飞机时，需要先生产 12 架试验飞机才能达到装配的精度要求，而采用了计算机图形模拟和计算机辅助设计后，生产的第一架波音 767 型飞机就达到了装配的精度要求。

可以预见，在 21 世纪中，计算机图形学以及以它为核心内容的计算机辅助设计和辅助制造技术必将对世界经济的发展产生深远的影响。

一、什么是计算机图形学

计算机图形学(Computer Graphics)是一门新兴学科，国际标准化组织(ISO)是这样定义

的：“计算机图形学是研究通过计算机将数据转换为图形，并在专门的显示设备上显示的原理、方法和技术的学科。”它是建立在传统的图学理论、应用数学及计算机科学基础上的 一门边缘学科。

二、计算机图形学的研究内容

计算机图形学的研究内容涉及到用计算机对图形数据进行处理的硬件和软件两方面的技术，以及与图形生成、显示密切相关的基础算法。按照二维和三维图形可归纳为以下几个主要研究内容。

1. 二维图形中基本图素的生成算法

图素是组成图形的基本要素，例如：点、直线段、规则曲线、自由曲线、文本等。

2. 二维图形的基本操作和图形处理算法

即对图形的平移、放大和缩小、旋转、镜像等操作，此外还包括二维图形的剪取，多边形的填充以及二维图形的布尔运算。

3. 二维图形的输入输出

工程界输入图形的方法分为交互式输入和自动扫描输入两大类。交互式输入主要是指通过交互设备(如键盘、鼠标、数字化仪等),一个图元一个图元地输入；自动扫描输入主要是指采用光电扫描仪逐行扫描输入。这两种方法都是借助计算机实现图与数之间的转换。

4. 三维几何造型技术

它包括：对基本体素的定义及输入，规则曲面与自由曲面的造型技术，以及它们之间的布尔运算方法的研究。

5. 真实感图形的生成算法

其内容是：三维图形的消隐算法,光照模型的建立,阴影层次及彩色浓淡图的生成算法。

6. 科学计算可视化技术

这是 20 世纪 90 年代中计算机图形学领域的前沿课题。其主要的研究内容是，将科学计算中大量难以理解的数据通过计算机图形显示出来，从而加深人们对科学过程的理解。例如，有限元分析的结果，应力场、磁场的分布，各种复杂的运动学和动力学问题的图形仿真等。

在大学本科阶段，应着重了解前面三个内容，而后面三个涉及三维图形的内容可留待研究生学习阶段去研究。本书将对后三个内容作简要介绍。

三、与计算机图形学相关的学科

计算机处理图形信息的方式分为图形学(Graphics)、图像处理(Image Processing)和图像的模式识别(Pattern Recognition)。