



普通高等教育规划教材

计算机图形学基础

杜晓增 主编

41-43

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育规划教材

计算机图形学基础

主 编 杜晓增
副主编 丁雨辰
参 编 朱承东
 李 敏
主 审 陈建勋



机械工业出版社

本书作为计算机图形学的入门教材，主要介绍了计算机图形学的基本概念、原理、方法和内容，详细讲述了图形系统的组成、基本图形的光栅生成算法、常用交互技术和方法、图形裁剪和图形变换、典型曲线和曲面、可见面判断算法和真实感图形生成算法。

本书和其他同类型教材的最大不同是突出实用性，几乎所有算法都给出具体实现的 C 或 VC 源程序，读者可以直接使用这些源程序来理解和掌握所学内容，提高学习的兴趣。

本书可作为高等院校计算机、信息处理等相关专业本科生的教学用书，也可供对计算机图形学感兴趣的读者参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

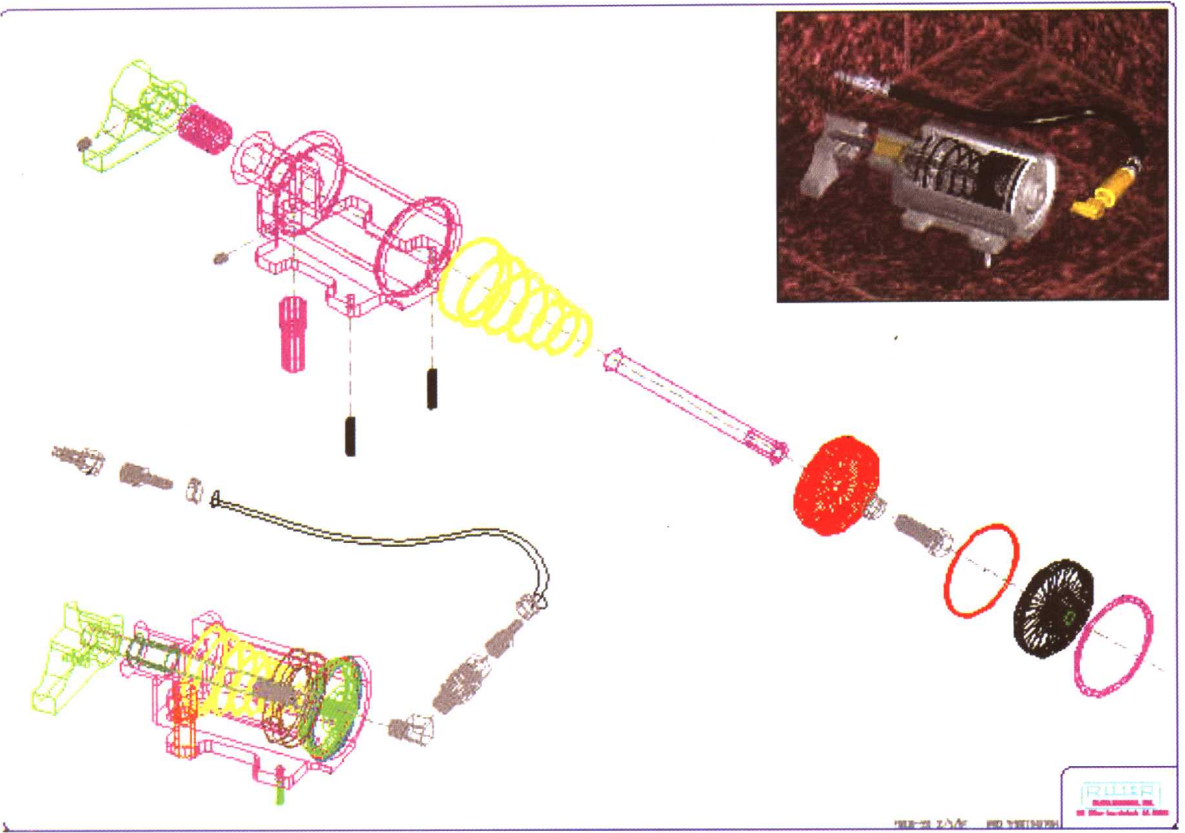
计算机图形学基础/杜晓增主编. —北京: 机械工业出版社, 2004.2
普通高等教育规划教材
ISBN 7-111-13754-X

I. 计... II. 杜... III. 计算机图形学 - 高等学校 - 教材
IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 000420 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑: 王小东 版式设计: 张世琴 责任校对: 张 媛
封面设计: 饶 薇 责任印制: 路 琳
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2004 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷
787mm × 1092mm $\frac{1}{16}$ · 14.25 印张·2 插页·349 千字
定价: 20.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646
封面防伪标均为盗版



彩图1 机械零件装配图(Autodesk 提供)



彩图2 恐龙(Disney 提供)

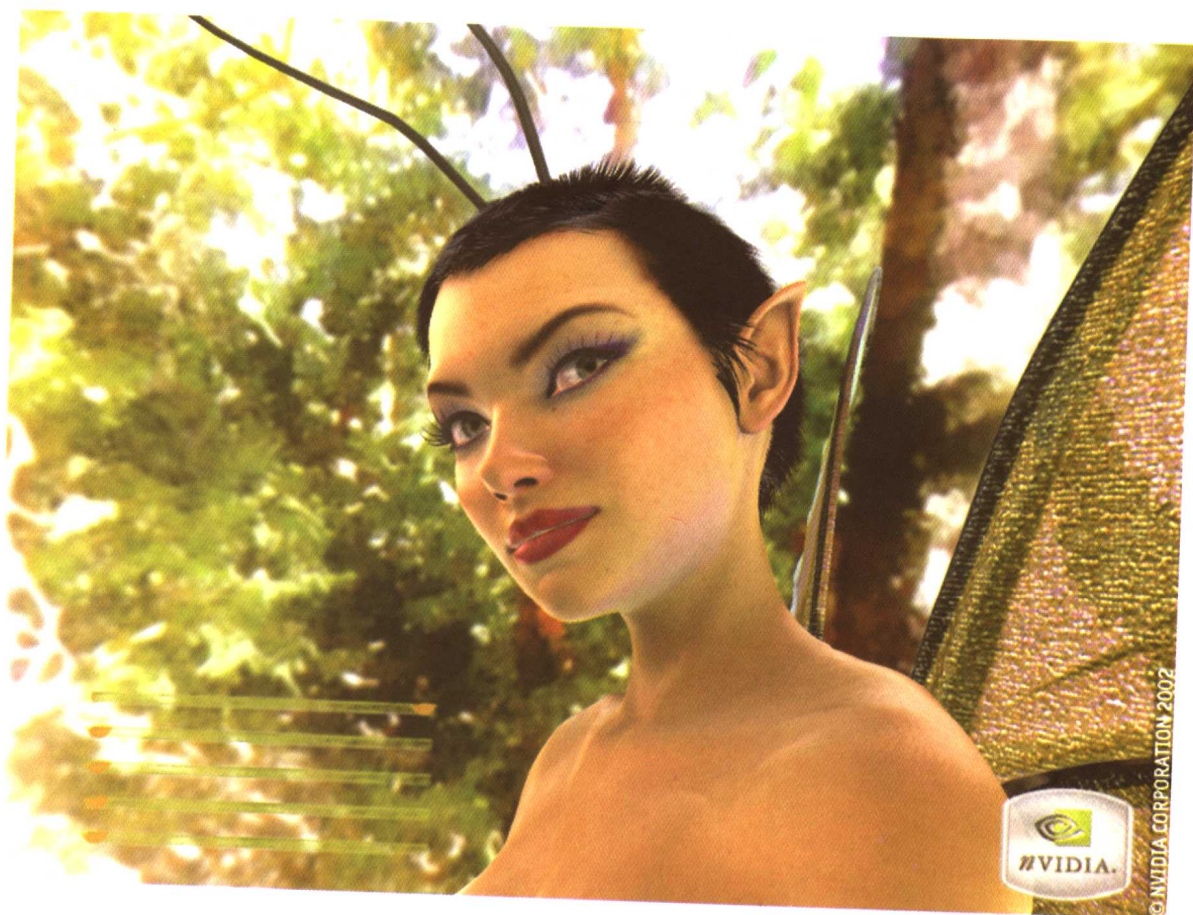
18375 10



彩图 3 风暴(Illinois 大学提供)



彩图 4 头盔和数据手套(来自 Internet)



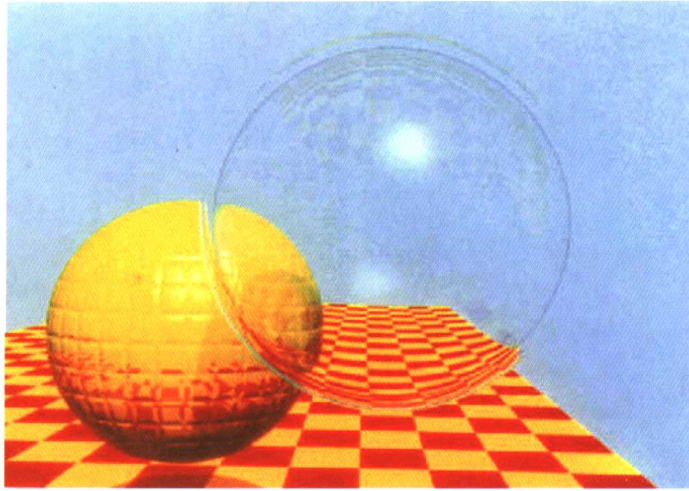
彩图 5 游戏(nVidia 提供)



彩图6 分形艺术(Lihua 提供)



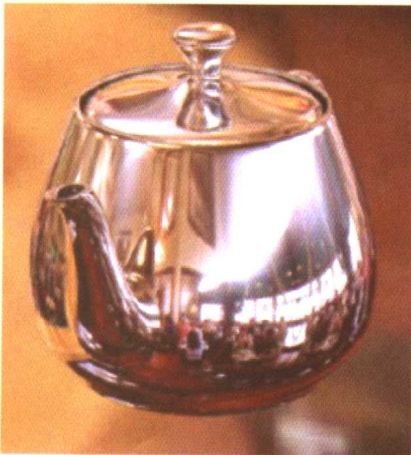
彩图7 具有高度真实感的卡车(Autodesk 提供)



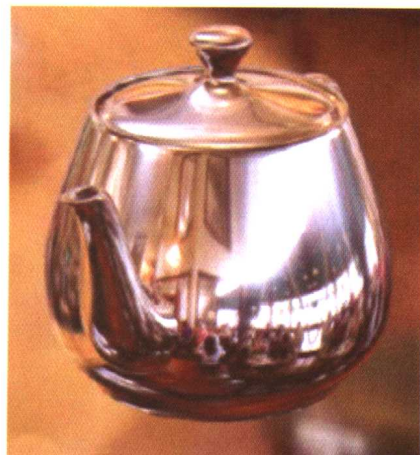
彩图8 整体光照模型(Tuner Whitted提供)



彩图9 纹理映射(来自 Internet)



Ray Traced



Environment Map

彩图10 环境映射与光线跟踪的比较

普通高等教育应用型人才培养规划教材 编审委员会委员名单

主任：刘国荣 湖南工程学院
副主任：左健民 南京工程学院
陈力华 上海工程技术大学
鲍 泓 北京联合大学
王文斌 机械工业出版社

委员：（按姓氏笔画排序）

任淑淳 上海应用技术学院
何一鸣 常州工学院
陈文哲 福建工程学院
陈志强 华北航天工业学院
陈 峻 扬州大学
苏 群 黑龙江工程学院
娄炳林 湖南工程学院
梁景凯 哈尔滨工业大学（威海）
童幸生 江汉大学

计算机科学与技术专业分委员会委员名单

主任：黄陈蓉 南京工程学院
副主任：吴永昶 上海应用技术学院
委员：（按姓氏笔画排序）
汤 惟 江汉大学
沈 涛 扬州大学
陈文强 福建工程学院
肖建华 湖南工程学院
邵祖华 浙江科技学院
靳 敏 黑龙江工程学院

序

工程科学技术在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。随着知识经济时代的到来,科学技术突飞猛进,国际竞争日趋激烈。特别是随着经济全球化发展和我国加入 WTO,世界制造业将逐步向我国转移。有人认为,我国将成为世界的“制造中心”。有鉴于此,工程教育的发展也因此面临着新的机遇和挑战。

迄今为止,我国高等工程教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大的贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标排名世界第 36 位,与我国科技人员总数排名世界第一形成很大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员特别是工程应用型技术人才市场供给不足。在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养工程应用型本科人才为主的高等院校,并于 2001 年、2002 年两次举办了“应用型本科人才培养模式研讨会”,对工程应用型本科教育的办学思想和发展定位作了初步探讨。本系列教材就是在这种形势下组织编写的,以适应经济、社会发展对工程教育的新要求,满足高素质、强能力的工程应用型本科人才培养的需要。

航天工程的先驱、美国加州理工学院的马·卡门教授有句名言:“科学家研究已有的世界,工程师创造未有的世界。”科学在于探索客观世界中存在的客观规律,所以科学强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学(包括自然科学、技术科学和社会科学)理论和技术手段去改造客观世界的实践活动,所以它强调综合,强调方案优缺点的比较并做出论证和判断。这就是科学与工程的主要不同之处。这也就要求我们对工程应用型人才的培养和对科学研究型人才的培养应实施不同的培养方案,采用不同的培养模式,采用具有不同特点的教材。然而,我国目前的工程教育没有注意到这一点,而是:①过分侧重工程科学(分析)方面,轻视了工程实际训练方面,重理论,轻实践,没有足够的工程实践训练,工程教育的“学术化”倾向形成了“课题训练”的偏软现象,导致学生动手能力差。②人才培养模式、规格比较单一,课程结构不合理,知识面过窄,导致知识结构单一,所学知识中有一些内容已陈旧,交叉学科、信息学科的内容知之甚少,人文社会科学知识薄弱,学生创新能力不强。③教材单一,注重工程的科学分析,轻视工程实践能力的培养;注重理论知识的传授,轻视学生个性特别是创新精神的培养;注重教材的系统性和完整性,造成课程方面的相互重复、脱节等现象;缺乏工程应用背景,存在内容陈旧的现象。④老师缺乏工程实践经验,自身缺乏“工程训练”。⑤工程教育在实践中与经济、产业的联系不密切。要使我国工程教育适应经济、社会的发展,培养更多优秀的工程技术人才,我们必须努力改革。

组织编写本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,建设一套富有特色、有利于应用型人才培养的本科教材,满足工程应用型人才培养的要求。

本套系列教材的建设原则是:

1. 保证基础,确保后劲

科技的发展,要求工程技术人员必须具备终生学习的能力。为此,从内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后具有较强的发展后劲。

2. 突出特色，强化应用

围绕培养目标，以工程应用为背景，通过理论与工程实际相结合，构建工程应用型本科教育系列教材特色。本套系列教材的内容、结构遵循如下9字方针：知识新、结构新、重应用。教材内容的要求概括为：“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通教学内容的基础上，挑选出最基本的内容、方法及典型应用；“新”指在将本学科前沿的新进展和有关的技术进步新成果、新应用等纳入教学内容，以适应科学技术发展的需要。妥善处理好传统内容的继承与现代内容的引进。用现代的思想、观点和方法重新认识基础内容和引入现代科技的新内容，并将这些按新的教学系统重新组织；“广”指在保持本学科基本体系下，处理好与相邻以及交叉学科的关系；“用”指注重理论与实际融会贯通，特别是注入工程意识，包括经济、质量、环境等诸多因素对工程的影响。

3. 抓住重点，合理配套

工程应用型本科教育系列教材的重点是专业课（专业基础课、专业课）教材的建设，并做好与理论课教材建设同步的实践教材的建设，力争做好与之配套的电子教材的建设。

4. 精选编者，确保质量

遴选一批既具有丰富的工程实践经验，又具有丰富的教学实践经验的教师担任编写任务，以确保教材质量。

我们相信，本套系列教材的出版，对我国工程应用型人才培养质量的提高，必将产生积极作用，会为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

机械工业出版社颇具魄力和眼光，高瞻远瞩，及时提出并组织编写这套系列教材，他们为编好这套系列教材做了认真细致的工作，并为该套系列教材的出版提供了许多有利的条件，在此深表衷心感谢！

编委会主任
湖南工程学院院长 刘国荣教授

前 言

计算机图形学是当今计算机技术中发展最快、最具活力的学科之一。它广泛应用于当今社会的各个方面，并且发挥着越来越大的作用。诸如工程建设中的计算机辅助设计和制造、科学研究中的数据可视化、教育和商业活动中的图形表示、医学研究中虚拟人体、影视电影中的计算机动画和娱乐行业的电子游戏等。因此，掌握计算机图形学的基本知识对于从事计算机应用研究和开发的技术人员来说是十分必要的。

计算机图形学是研究用计算机来输入、表示、处理和输出图形的原理、算法及系统的一门新兴学科，其内容非常丰富，特别是近年来计算机图形学的研究不断取得新成果，加之于计算机图像处理相互融合，使计算机图形学的涉及面不断扩大，所以，现在流行的计算机图形学教材大都是篇幅大、内容多、重理论描述、轻实践应用。为适应应用型计算机本科教学的需要，突出实践性和实用性及对学生动手能力的培养，作者根据多年来从事计算机图形学教学的实践经验，参考大量国内外计算机图形学教材，组织编写了本教材。

本书和其他同类型教材的最大不同是强调实用性。在系统讲授传统计算机图形学的基本内容、方法和原理的同时，对书中所涉及的算法，都尽可能地给出具体实现的 C 或 VC 源程序，使读者通过这些实例来直观地理解和掌握所学内容，提高学习的兴趣，提高程序设计能力和水平。为更好地学习计算机图形学，读者最好具备相关数学知识、掌握 C 或 VC 程序设计语言、了解 OpenGL。

本书第 1 章由李敏编写，第 2、4、8、9 章和附录 B 由杜晓增编写，第 3、5、6、7 章由丁雨辰编写，附录 A 由朱承东编写。杜晓增负责全书统稿。本书在编写过程中得到了江汉大学和南京工程学院的领导和同事的大力支持和帮助。武汉科技大学计算机科学与技术学院院长陈建勋教授在百忙中对本书进行了认真的审阅，并提出了很好的修改意见，使本书增色不少。在此对所有关心和支持本书出版的领导、导师、同事和出版社表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。作者联系方式：dxz@jhun.edu.cn。

作者

2003 年 10 月于武汉

目 录

序	
前言	
第 1 章 概述	1
1.1 计算机图形学的诞生	1
1.2 计算机图形学的应用	2
1.2.1 计算机辅助设计	2
1.2.2 用户接口	2
1.2.3 图示	3
1.2.4 计算机动画	3
1.2.5 科学可视化	3
1.3 图形软件标准	4
1.3.1 图形核心系统 (GKS)	4
1.3.2 程序员层次交互图形系统 (PHIGS)	4
1.3.3 开放图形库 (Open GL)	4
习题	5
第 2 章 图形系统	6
2.1 计算机图形软件系统	6
2.2 计算机图形硬件系统	6
2.2.1 图形输入设备	6
2.2.2 图形输出设备	7
2.3 图形显示设备	8
2.3.1 阴极射线管 (CRT)	8
2.3.2 随机扫描显示器	9
2.3.3 光栅扫描显示器	9
2.3.4 彩色 CRT	10
2.3.5 帧缓冲区 and 色彩	11
2.3.6 刷新式显示器的相关术语	12
2.4 液晶显示器 (LCD)	13
习题	14
第 3 章 基本图形元素的生成算法	15
3.1 直线的生成算法	15
3.1.1 点的生成	15
3.1.2 线段的生成	16
3.1.3 数值微分算法 (DDA)	16
3.1.4 中点法	18
3.1.5 Bresenham 算法	20
3.2 圆的生成算法	23
3.2.1 中点法	23
3.2.2 Bresenham 法画圆	25
3.3 椭圆的生成算法	28
3.4 区域填充算法	29
3.4.1 多边形的扫描线连贯算法	30
3.4.2 种子填充算法	32
习题	33
第 4 章 图形变换	34
4.1 二维几何变换	34
4.1.1 平移变换	34
4.1.2 旋转变换	34
4.1.3 比例变换	35
4.1.4 齐次坐标	35
4.1.5 级联变换	36
4.2 三维几何变换	38
4.2.1 平移变换	38
4.2.2 比例变换	38
4.2.3 旋转变换	38
4.2.4 绕空间中任一直线旋转变换	39
4.3 三维变换综合示例	42
4.4 投影变换	61
4.4.1 投影变换分类	61
4.4.2 正平行投影 (三视图)	61
4.4.3 正轴测投影	62
4.4.4 斜平行投影	64
4.4.5 透视投影	65
习题	68
第 5 章 交互技术	69
5.1 输入设备	69
5.1.1 定位设备 (Locator)	69
5.1.2 笔画设备 (Stroke)	69

5.1.3 选择设备 (Choice)	69	8.1.2 凹多面体的消隐	139
5.1.4 字符设备 (String)	69	8.2 Z缓冲区消隐算法	141
5.1.5 定值设备 (Value)	69	8.2.1 基本思想	141
5.1.6 拾取设备 (Pick)	70	8.2.2 深度的计算	142
5.2 输入控制	70	8.2.3 扫描线深度算法	142
5.2.1 请求模式	70	8.3 Warnock 算法	143
5.2.2 采样模式	70	8.3.1 基本思想	143
5.2.3 事件模式	70	8.3.2 二叉树结构	145
5.3 交互技术	71	8.3.3 包围盒分割算法	145
5.3.1 定位技术	71	8.3.4 Warnock 算法举例	145
5.3.2 约束技术	71	8.4 消隐算法程序	149
5.3.3 橡皮筋技术	73	习题	153
5.3.4 拖动技术	86	第9章 真实感物体绘制	154
习题	95	9.1 光照模型	155
第6章 图形裁剪	96	9.1.1 漫反射 (Diffuse)	155
6.1 窗口到视区变换	96	9.1.2 环境光 (Ambient)	156
6.1.1 坐标系	96	9.1.3 镜面反射 (Specular)	156
6.1.2 变换	97	9.2 Gouraud 明暗处理	158
6.2 线段裁剪	100	9.3 光线跟踪 (Ray-Tracing) 算法	160
6.2.1 标号法	100	9.4 纹理 (Texture) 映射	162
6.2.2 中点法	105	9.5 示例	163
6.3 多边形裁剪	110	习题	190
习题	118	附录	191
第7章 曲线和曲面	119	附录 A C语言图形函数	191
7.1 贝齐 (Bezier) 曲线曲面	119	A.1 图形系统控制函数	191
7.1.1 贝齐 (Bezier) 曲线	119	A.2 视区和屏幕操作函数	195
7.1.2 Bezier 曲线的性质	124	A.3 直线类绘图函数	198
7.1.3 Bezier 曲面	126	A.4 填充函数	200
7.2 B样条	127	A.5 圆弧类绘图函数	203
7.2.1 B样条 (Bspline) 曲线	127	A.6 颜色控制函数	205
7.2.2 均匀 B样条	127	A.7 像素和位映像操作函数	207
7.2.3 均匀非周期性 B样条曲线	130	A.8 图形文本函数	209
7.3 Nurbs 曲线	132	A.9 综合绘图示例	212
7.3.1 有理 B样条曲线	132	习题	214
7.3.2 非均匀有理 B样条曲线	132	附录 B OpenGL 编程	215
习题	137	B.1 OpenGL 概述	215
第8章 可见面判断算法	138	B.2 OpenGL 操作	215
8.1 多面体的消隐	138	B.3 OpenGL 编程方法	215
8.1.1 凸多面体的消隐	139	参考文献	217

第 1 章 概 述

电子计算机的诞生是 20 世纪最伟大的科技发明之一，它对整个人类社会的发展和进步所产生的影响是巨大的。计算机的应用领域从当初的科学计算扩大到人类生活的各个方面，而使用计算机的人也从当初的专业人员扩大到了一般民众。在这一变革中，除了计算机硬件的制造成本不断下降，计算机软件不断提高的易用性，特别是图形化的操作界面无疑起了非常重要的作用。

图形、图像是我们人类最容易接受的信息形式，也是最直观的信息形式。图形、图像中所包含的内容，远比文字所包含的信息要丰富的多。虽然用计算机处理图形、图像信息比处理文本信息复杂的多，但其形象的表现形式强烈吸引着无数研究学者。通过近四十年的不断努力，计算机图形学有了巨大的进步。看看我们天天使用的计算机，满眼望去几乎都是各式各样的图形标记，再看看当今的电影、电视和广告，我们就可以切身体会到计算机图形、图像所带来的视觉震撼。计算机图形强烈地吸引着人们的好奇心，迫切地想搞清楚这些图形、图像是如何用计算机表现的，使这门年轻的学科成为最热门的学科之一。同时，实际应用中图形、图像不断提高的要求和新的研究课题的不断提出，也促使这门年轻的学科成为近年来发展最快的学科之一。

1.1 计算机图形学的诞生

计算机图形学的产生和发展是计算机技术进步的必然结果。1946 年，当世界上首台电子计算机诞生后，计算机的技术的发展日新月异，它的应用领域也不断地扩大。图形、图像作为人类最容易接受和最直观的信息形式，自然成为计算机技术研究的对象。

1951 年，在美国麻省理工学院（MIT），诞生了首台具有实时图形显示的计算机旋风 1 号，如图 1-1 所示。它的出现为计算机图形学的诞生奠定了物质基础。

1963 年，MIT 林肯实验室的 Ivan E. Sutherland 发表了一篇题为“Sketchpad: A Man-machine Graphical Communications System”的博士论文，在论文中首次使用了“Computer Graphics”这一术语，标志着现代交互式计算机图形学的诞生。

严格地说，图形和图像是两个不同的概念。用计算机技术来处理图形和图像的方法和内容也有很大的差异。图形通常指的是用数学的方法所描述的几何形体，而图像则是指人眼或仪器所记录的观看景像。计算机图形学主要研究的是用计算机技术来生成、显示和处理图形，而计算机图像处理则主要涉及图像的增强、分割、去噪、重组、特征提取和存储等。但同时图形、图像也有着密不可分的内在联系，所以在许多场合，我们并不严格区分图形和图像。



图 1-1 旋风计算机 (Whirlwind Computer, 图片来自互联网)

1.2 计算机图形学的应用

随着计算机图形技术的不断发展,特别是图形硬件设备的价格不断下降,它的应用领域不断扩大,几乎涵盖了社会的各个方面。大到航天飞机的设计制造,小到家庭用户的电脑游戏。其代表性的应用领域有以下几个方面。

1.2.1 计算机辅助设计

计算机辅助设计,也就是通常所说的 CAD 系统,是计算机图形学最典型的应用领域。利用 CAD 系统来进行机械零件的设计,汽车、轮船、飞机的外形设计,大规模集成电路的设计和建筑设计同传统的手工设计相比,可以极大地提高产品的开发设计效率。将 CAD 系统和计算机辅助制造 (CAM) 相结合可以极大地降低生产成本,提高产品的开发速度。同时,也提高了产品的质量,是现代工业中不可缺少的技术手段之一。如图 1-2 和彩图 1 所示。

1.2.2 用户接口

所谓用户接口,实际上就是人与计算机进行信息“交流”的平台。即通过这一平台人们将命令输入计算机,而计算机也通过这一平台反馈处理结果。早期的用户接口几乎都是基于文本的,用户必须通过输入操作命令文本来使用计算机,计算机将处理结果以文字的形式呈现给用户。它对使用者提出了一定程度的技术能力要求。现在,绝大多数系统都采用图形化的用户接口,使用者只需通过交互设备,如鼠标点

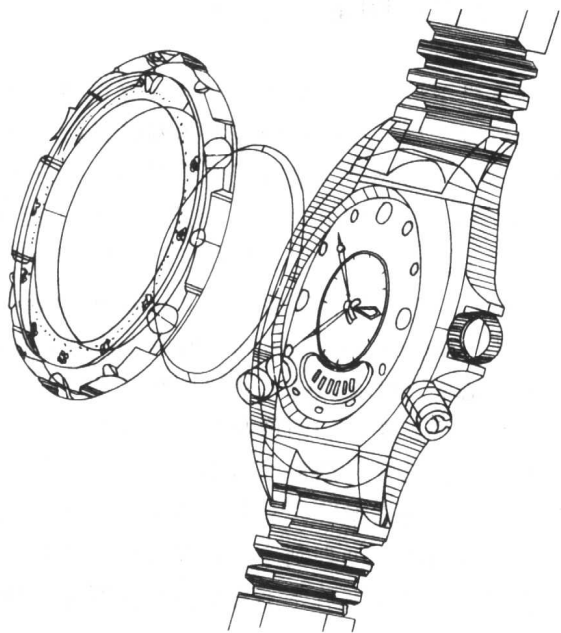


图 1-2 手表 (Autodesk 公司提供)

击菜单、图标、对象按钮就可以让计算机完成相关操作，操作结果会以“所见即所得”的方式呈现给用户，极大地方便了用户使用计算机，也促进了计算机向一般用户的普及，如图 1-3 所示。



图 1-3 一个平面图形、图像设计系统 (Adobe 公司提供)

1.2.3 图示

在商业活动、科学研究和教育培训中，我们常用直方图、饼图、折线图和曲面图来表示多种数据间的关系，如图 1-4 所示。这种形式远比用数字和表格来表示直观得多。因为人们可以很容易地从这类图形中直接看出数据之间的关系，并从中得出结论。

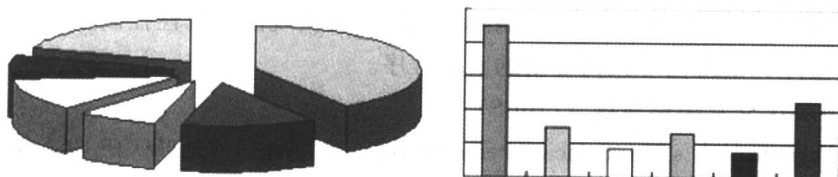


图 1-4 饼图和直方图

1.2.4 计算机动画

在现在的电影、电视和广告中，随处可见用计算机制作的动画。这些画面带给我们的是强烈的视觉冲击和逼真效果的震撼，这种冲击和震撼是传统的拍摄方式很难做到或是根本做不到的。如彩图 2 中的恐龙，这种在地球上早已灭绝的动物要再现在电影屏幕上，如果只采用人造模型拍摄，而不借助于计算机图形学技术。就不可能表现的如此逼真和淋漓尽致。

1.2.5 科学可视化

在大型科学计算中，所要处理的数据量非常大，而且结果通常也是大量的数据，想要从大量的结果数据中很快找出其内在关系和发展趋势是比较困难的。若能将这些结果数据以图形的形式绘制出来，并将处理过程用动画方式实时地表现出来，则会很容易看出其变化规