

免费提供
电子教案

高等院校规划教材
计算机科学与技术系列

计算机图形学

主 编 徐文鹏
副主编 侯守明 刘永和
参 编 王辉连 强晓焕 王永茂



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等院校规划教材·计算机科学与技术系列

计算机图形学

主 编 徐文鹏
副主编 侯守明 刘永和
参 编 王辉连 强晓焕 王永茂



机械工业出版社

本书系统地介绍了经典计算机图形学的基本知识、原理及相关技术,包括图形系统、经典光栅图形学、实体造型、曲线曲面、图形变换与观察、交互技术、消隐,同时还对真实感图形绘制技术作了详细的介绍。书后有3个附录,分别为图形学的相关数学基础、课程实验指导与模拟试题及答案。

本书可作为高等院校相关专业的本科生教材,也可供从事计算机图形学或相关领域的科技人员和爱好者参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学/徐文鹏主编. —北京:机械工业出版社,2009.1

高等院校规划教材. 计算机科学与技术系列

ISBN 978-7-111-25845-2

I. 计… II. 徐… 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(2008)第201319号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:张宝珠 责任编辑:唐德凯

版式设计:霍永明 责任校对:姜婷

责任印制:杨曦

三河市国英印务有限公司印刷

2009年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·15.5印张·381千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-25845-2

定价:26.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379753 88379739

封面无防伪标均为盗版

出版说明

计算机技术的发展极大地促进了现代科学技术的发展，明显地加快了社会发展的进程。因此，各国都非常重视计算机教育。

近年来，随着我国信息化建设的全面推进和高等教育的蓬勃发展，高等院校的计算机教育模式也在不断改革，计算机学科的课程体系和教学内容趋于更加科学和合理，计算机教材建设逐渐成熟。在“十五”期间，机械工业出版社组织出版了大量计算机教材，包括“21世纪高等院校计算机教材系列”、“21世纪重点大学规划教材”、“高等院校计算机科学与技术‘十五’规划教材”、“21世纪高等院校应用型规划教材”等，均取得了可喜成果，其中多个品种的教材被评为国家级、省部级的精品教材。

为了进一步满足计算机教育的需求，机械工业出版社策划开发了“高等院校规划教材”。这套教材是在总结我社以往计算机教材出版经验的基础上策划的，同时借鉴了其他出版社同类教材的优点，对我社已有的计算机教材资源进行整合，旨在大幅提高教材质量。我们邀请多所高校的计算机专家、教师及教务部门针对此次计算机教材建设进行了充分的研讨，达成了许多共识，并由此形成了“高等院校规划教材”的体系架构与编写原则，以保证本套教材与各高等院校的办学层次、学科设置和人才培养模式等相匹配，满足其计算机教学的需要。

本套教材包括计算机科学与技术、软件工程、网络工程、信息管理与信息系统、计算机应用技术以及计算机基础教育等教材系列。其中，计算机科学与技术系列、软件工程系列、网络工程系列和信息管理与信息系统系列是针对高校相应专业方向的课程设置而组织编写的，体系完整，讲解透彻；计算机应用技术系列是针对计算机应用类课程而组织编写的，着重培养学生利用计算机技术解决实际问题的能力；计算机基础教育系列是为大学公共基础课层面的计算机基础教学而设计的，采用通俗易懂的方法讲解计算机的基础理论、常用技术及应用。

本套教材的内容源自致力于教学与科研一线的骨干教师与资深专家的实践经验和研究成果，融合了先进的教学理念，涵盖了计算机领域的核心理论和最新的应用技术，真正在教材体系、内容和方法上做到了创新。而且本套教材根据实际需要配有电子教案、实验指导或多媒体光盘等教学资源，实现了教材的“立体化”建设。本套教材将随着计算机技术的进步和计算机应用领域的扩展而及时改版，并及时吸纳新兴课程和特色课程的教材。我们将努力把这套教材打造成为国家级或省部级精品教材，为高等院校的计算机教育提供更好的服务。

对于本套教材的组织出版工作，希望计算机教育界的专家和老师能提出宝贵的意见和建议。衷心感谢计算机教育工作者和广大读者的支持与帮助！

机械工业出版社

前 言

计算机图形技术是随着计算机技术在图形处理领域中的应用而发展起来的新技术，是计算机科学技术应用的一个重要分支。近几十年来，计算机硬件、软件性能的飞速发展、价格的大幅下降及计算机的广泛应用，使计算机图形技术的发展十分迅速。在此形势下，计算机图形学已成为相当成熟的重要学科，并渗透到各行各业，在各个领域中起着越来越大的作用。国内外各高等院校对计算机图形技术非常重视，基本上都为研究生和本科生开设了“计算机图形学”课程。但是国内图形学的高级人才还十分匮乏，培养合格的图形学人才，是高等院校计算机教学急待解决的问题。

本书是为适应高等院校本科“计算机图形学”课程教学需要而编写的一本教材。目前，图形学方面的教材根据内容可分为两类：一类是讲解图形学基本原理和底层细节的；另一类是讲解如何使用现代图形学 API 如 OpenGL、Direct3D 和 Java3D 的。编者相信，无论图形学还是其他学科，传授基本原理都是正确的选择。基于此观点，本书定位于前一种类型。它面向教学，面向本科，理论与应用并重，通过简洁的图形学基础理论与算法介绍，结合具体的例程，层层深入地讲解图形学基础知识及编程开发的各个要素，循序渐进地引导读者将图形学理论与实际应用相结合，为读者今后从事图形学理论研究或更大规模的图形学工程开发打下坚实的基础。它将会很好地满足大学“计算机图形学”课程教与学的真正需求，并具有以下特点。

1. 面向教学需求。从计算机图形学基础知识教学需求出发，结合作者多年图形学的教学经验，合理地编排内容结构，并附有课程实验指导、模拟试题与习题来满足教学需求。

2. 面向本科学习需要。以清晰的本科学习需要为定位，在内容上以经典的图形学基础知识作为主线来介绍，基本上不涉及图形学的高级主题和艰深内容，非常适于本科学生学习和自学需要。

3. 理论与应用并重。目前国内多数计算机图形学教材主要讨论图形学的基础理论与算法，而社会上的培训班多以培训 3D Max、AutoCAD、Maya 等建模工具的使用为主。本书希望在二者之间求得较好的平衡，以培养具备一定理论基础，又具有较强动手能力的图形开发人才为目标。因此，在理论上以图形学的经典基础理论与算法为主，应用上配有相关算法的 C 及 OpenGL 的代码例程。值得一提的是，教材附录中的课程实验指导内容也以 VC++ 及 OpenGL 的代码来实现。

本书的第 1 章、附录 A、B 由徐文鹏编写，第 2 章、附录 C 由强晓焕编写，第 3 章由王永茂编写，第 4、6 章由刘永和编写，第 5 章和第 8 章 8.7 节由王辉连编写，第 7 章和第 8 章 8.1~8.6 节由侯守明编写。

为方便教学，本书免费提供电子教案，读者可在机械工业出版社网站 (www.cmpedu.com) 上下载。

感谢河南理工大学，使编者能够利用工作余暇时间完成此书。特别感谢河南理工大学教

务处，本书编写正是在其教研教改基金项目（645044）的资助下才得以完成。在本书的编写过程中，参阅了许多计算机图形学的参考书及相关文献，谨向这些文献的作者和译者表示衷心的感谢。

欢迎读者在阅读本书的过程中，对本书存在的缺点和问题提出批评与建议。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 绪论	1
1.1 计算机图形学研究领域	1
1.1.1 图形概念	1
1.1.2 计算机图形学研究内容	4
1.1.3 计算机图形学与相关学科的关系	5
1.2 计算机图形学应用领域	6
1.2.1 计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM)	6
1.2.2 计算机仿真和模拟	7
1.2.3 娱乐动画	8
1.2.4 地理信息系统	9
1.3 计算机图形学的发展	11
1.3.1 计算机图形学的诞生 (1950 ~ 1960)	11
1.3.2 线框图形学 (1960 ~ 1970)	11
1.3.3 光栅图形学 (1970 ~ 1980)	11
1.3.4 真实感图形学 (1980 ~ 1990)	12
1.3.5 实时图形学 (1990 ~ 至今)	12
1.4 习题	13
第2章 图形系统	14
2.1 图形系统概述	14
2.1.1 图形系统组成结构	14
2.1.2 图形系统分类	19
2.2 图形硬件显示原理	20
2.2.1 图形显示设备及工作原理	20
2.2.2 图形显示方式	25
2.2.3 光栅扫描图形显示系统	27
2.3 图形系统的体系结构	29
2.3.1 概述	29
2.3.2 应用程序阶段	30
2.3.3 几何处理阶段	30
2.3.4 光栅阶段	31
2.4 图形支撑软件	32
2.4.1 OpenGL	32
2.4.2 DirectX	33
2.4.3 Java2D 和 3D	34

2.5 习题	34
第3章 基本图形光栅化	35
3.1 直线光栅化	35
3.1.1 DDA 画线算法	36
3.1.2 中点画线算法	37
3.1.3 Bresenham 画线算法	38
3.2 圆的光栅化	41
3.2.1 圆的八对称性	41
3.2.2 中点画圆算法	41
3.2.3 Bresenham 画圆算法	42
3.3 区域填充	44
3.3.1 多边形填充算法	44
3.3.2 边填充算法	49
3.3.3 种子填充算法	50
3.4 字符表示	53
3.4.1 点阵字符	53
3.4.2 矢量字符	54
3.5 反走样	55
3.5.1 光栅图形走样	55
3.5.2 常用反走样技术	56
3.6 习题	57
第4章 实体造型与曲线曲面	58
4.1 三维实体表示基础	58
4.1.1 基本几何元素	58
4.1.2 几何信息与拓扑信息	59
4.1.3 实体定义	59
4.2 三维实体表示方法	60
4.2.1 边界表示	60
4.2.2 扫描表示	62
4.2.3 构造实体几何表示	63
4.2.4 空间细分表示	64
4.3 三次参数曲线	66
4.3.1 基本知识	66
4.3.2 Hermite 曲线	67
4.3.3 Bezier 曲线	72
4.3.4 B 样条曲线	77
4.4 双三次参数曲面	84
4.4.1 Coons 曲面	84
4.4.2 Bezier 曲面	86
4.4.3 B 样条曲面	87
4.4.4 双三次参数曲面片的绘制	89

4.5 习题	89
第5章 图形变换与观察	91
5.1 二维几何变换	91
5.1.1 基本几何变换	91
5.1.2 齐次坐标	94
5.1.3 变换矩阵功能分区	95
5.1.4 复合变换	96
5.2 三维几何变换	97
5.2.1 基本几何变换	98
5.2.2 复合变换	100
5.3 投影变换	102
5.3.1 基本概念	102
5.3.2 平行投影	103
5.3.3 透视投影	106
5.4 三维观察流程	108
5.4.1 坐标系统	109
5.4.2 建模变换	110
5.4.3 观察变换	110
5.4.4 投影变换	110
5.4.5 窗口—视区变换	110
5.5 裁剪	112
5.5.1 点的裁剪	112
5.5.2 直线裁剪	113
5.5.3 多边形裁剪	118
5.5.4 其他裁剪	122
5.6 OpenGL 中的图形变换	124
5.6.1 视点变换与模型变换	124
5.6.2 投影变换与视口变换	125
5.7 习题	127
第6章 交互技术	128
6.1 基本交互技术	128
6.1.1 定位	128
6.1.2 选择	128
6.1.3 数值输入和文字输入	131
6.2 高级交互技术	131
6.2.1 分组与图层	131
6.2.2 几何约束	132
6.2.3 拖动、旋转、缩放与形变	132
6.2.4 橡皮筋	132
6.2.5 双缓存	133
6.2.6 全图的漫游、缩放	133
6.2.7 三维交互	134

6.3 习题	134
第7章 消隐	135
7.1 概述	135
7.1.1 消隐的定义	135
7.1.2 消隐算法的分类	136
7.1.3 消隐的基本原则	138
7.2 多面体的消隐算法	139
7.2.1 凸多面体消隐	139
7.2.2 任意多面体的消隐	141
7.3 深度缓冲器算法	144
7.3.1 算法基本思想	144
7.3.2 算法描述	144
7.3.3 深度值的计算	145
7.3.4 深度缓冲器算法特点	146
7.4 扫描线深度缓存算法	146
7.4.1 算法基本思想	147
7.4.2 算法描述	147
7.4.3 扫描线与多边形面片求交算法的实现	148
7.4.4 扫描线消隐算法特点	150
7.5 画家算法	150
7.5.1 画家算法的基本思想	150
7.5.2 深度优先级表的建立	150
7.5.3 深度优先级冲突解决的排序算法	151
7.5.4 画家算法的特点	152
7.6 光线追踪算法 (Ray Casting)	153
7.6.1 算法基本思想	153
7.6.2 算法描述	153
7.7 习题	154
第8章 真实感图形绘制	156
8.1 简单光照明模型	156
8.1.1 基本光学原理	157
8.1.2 环境光	157
8.1.3 漫反射光	158
8.1.4 镜面反射光	158
8.1.5 Phong 光照明模型	160
8.2 多边形绘制	161
8.2.1 恒定光强的多边形绘制	161
8.2.2 双线性光强明暗处理	162
8.2.3 双线性法向明暗处理	164
8.3 透明与阴影	165
8.3.1 透明处理	165

8.3.2 阴影	165
8.4 纹理与纹理映射	167
8.4.1 纹理概述	167
8.4.2 常见纹理映射技术	168
8.5 整体光照模型和光线跟踪	173
8.5.1 整体光照模型	173
8.5.2 Whitted 光照模型	174
8.5.3 光线跟踪算法	175
8.6 实时真实感图形学技术	182
8.6.1 层次细节显示和简化	183
8.6.2 基于图像的绘制技术	185
8.7 OpenGL 光照	187
8.7.1 OpenGL 颜色模型	187
8.7.2 光源	188
8.7.3 光照模型	190
8.7.4 材质和纹理	191
8.8 习题	192
附录	194
附录 A 线性代数基础知识	194
A.1 矢量及其运算	194
A.2 矩阵及其运算	195
附录 B 课程实验指导	197
B.1 实验总体方案	197
B.2 实验具体方案	197
附录 C 模拟试题及参考答案	223
模拟试题 A	223
模拟试题 B	227
模拟试题 A 参考答案	231
模拟试题 B 参考答案	233
参考文献	236

第1章 绪 论

图形图像是现代社会信息化的重要支柱。计算机图形学便是与图形图像密切联系的一门综合性学科。所有现代科学和工程领域几乎都可以采用计算机图形以加强信息的传递与表达，因此无论科学家还是工程师都需要具备计算机图形学的基本知识。从应用领域来看，计算机图形学在造船、航空航天、汽车、电子、机械、建筑、影视、轻纺化工等众多领域有着广泛的应用，而这些应用又在不断地推动着计算机图形学的发展，进一步充实和丰富了它的内容。

本章将从计算机图形学的研究领域、应用领域及其历史发展三方面概括地介绍计算机图形学的有关内容，使读者对计算机图形学有一个初步的认识。

1.1 计算机图形学研究领域

计算机图形学是一门旨在研究用计算机来生成、显示和处理图形信息的学科。毫无疑问，它的研究对象是图形。

1.1.1 图形概念

人们生活在一个客观的世界中，大部分的事物都是有“形”的，看得见摸得着，可以描述它们的形状。“形”因此成为人们认识事物和相互交流的一个关键元素，正是因为它的存在，人们在交流时，一谈到某种事物，人们首先就会联想到它的形状。图形具有不同于语言和文字的独特功能，它能够表达一些语言和文字难以表达的信息。图形信息表达直观，易于理解。在科学技术高度发达的今天，图形信息显示出任何语言无法比拟的优越性，它能直接反映出客观世界变幻无穷的图像，供全人类所共享，不受语言和文化的限制。图形还具有让人在一瞬间把握整体的特点，它比文字更加简明精练，不像文字那样需要逐字、逐句、逐段联系起来才能理解，这就是为什么有时通篇大段的语言文字所描述的信息反倒不及一幅简单图形所包含的信息清楚明晰的原因。另外，图形包含的信息量较大，所谓“一图胜千言”，“百闻不如一见”，图 1-1 正是体现了图形表达信息准确、直观、海量的这些优点。

同时，图形信息是人类从外界获得信息的主要来源。据统计，在一个人所获得的所有信息中，约有 80% ~ 90% 的信息来自视觉。人们认识客观世界，首先是靠眼睛观察事物的外表形象，至于语言、文字、符号，都是在此以后经过千万年的进化才逐渐形成的。

如今，图形已成为科技与工程领域中一门通用语言，在工程上用来构思、设计、指导生产、交流；在科学研究中用来处理各种实验数据、图示和图解各种研究问题等。可以说，各行各业都离不开图形。

那么，究竟什么是图形呢？

从图形的历史发展来看，图形是一个不断发展和变化的概念。在早于计算机图形学和计

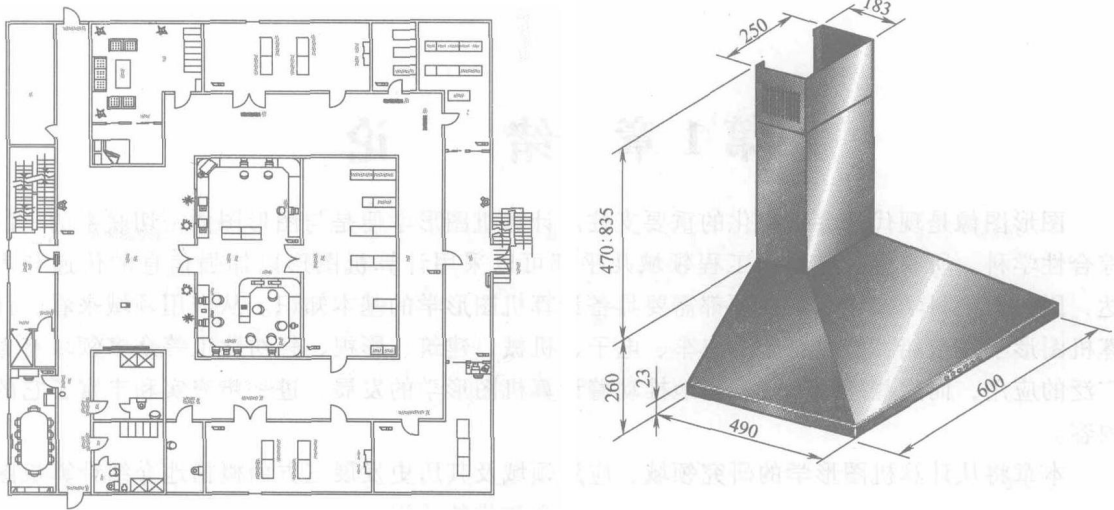


图 1-1 图形信息

计算机辅助设计的时代，图形就是用油墨在纸上绘制出的所有线条，它包括各种几何图形，以及由函数式、代数方程所描述的图形，这是人们习惯的图形概念。然而，随着计算机及计算机图形学技术的迅速发展，目前计算机图形处理的范围已远远超出了传统的图形概念，如今的图形已不同于绘制在图纸上的线条图形，它由点、线、面、体等几何要素和明暗、灰度（亮度）、色彩等非几何要素构成，不仅包括具有形状的几何信息，还包括颜色、材质等非几何信息。例如，描述一个红色的圆圈这样一幅图形，不仅要指出这个圆的数学方程，同时也要指出这个圆的颜色。因此，图形通常可用形状参数和属性参数来表示。形状参数描述其形状的数学方程的系数、线段的起始点及终止点等，它突出图形的数学描述，强调了图形的“形”的方面，即几何概念；属性参数则包括明暗、灰度、色彩、线型等非几何属性，强调图形的“图”的要素。

无论是早期图纸上的油墨线条还是如今带有灰度、色彩及形状的图形，从性质上来看，图形都是真实物体或想象物体的可视化抽象的显示与表示，不同的是，早期它是简单抽象的表示，而现在它是更加真实的抽象表示。图 1-1 所给的两个例图有力地证明了这点。

与图形紧密联系的另一个重要概念是图像。从广义上说，图像是自然界事物的客观反映，它也是一个不断发展的概念。早期英文书籍中一般用 picture 代表图像，其原意是指各种图片、图画、照片及光学影像，是采用绘画或者拍照的方法获得的人、物、景的模拟。现在普遍采用 image 代表离散了的数字图像，image 的含义是“像”，是客观世界通过光学系统产生的视觉映像。计算机只能处理离散的数据，图像数据若需要用计算机进行存储、显示或处理，首先需要进行数字化。数字化即为对图像 x 、 y 方向的网格化和颜色灰度信息的量化。因此，计算机图像又称为数字图像，它就是离散化后的图像数据。数字图像的每个基本单元叫做像素，每个像素具有灰度和颜色信息。因此数字图像强调图像由哪些点组成，并具有什么灰度或颜色两方面信息。

因此，从本质上来说，图像是记录在介质上客观对象的映像。对于计算机这种介质而言，它就是数字图像。图形与图像两个概念比较容易混淆，它们的差异如表 1-1 所示。

表 1-1 图形与图像比较

比较内容	图 形	图 像
基本元素	矢量元素如直线、圆和多边形等	像素
存储数据	各个矢量的参数(属性)	各个像素的灰度或颜色分量
实例	工程图样	照片
应用领域	计算机辅助设计	图像处理

工程图样是图形，照片是图像，一个关心的是线条及其各种属性，另一个关心的是各像素的灰度值，由此人们不难区分两者的差异。

同时，两者之间有着紧密联系。理想的图形只能在几何数学中存在，对计算机而言，所有的图形最终都要通过图像的方式显示或表示。对图形对象进行放大、旋转及平移等变换处理的最终结果也都需要通过图像来显示，这一过程在计算机图形学中称为光栅化或扫描转换，也称为绘制。另一方面，图像带有大量信息，其中就包括图形信息。可以通过图像处理的一些技术方法将图像中的图形信息提取出来并可将其转换输出为图形，这一过程在图像处理中称为矢量化。如图 1-2a 为一个真实矿山钢井架的照片图像，图 1-2b 所示即为一个矿山钢井架三维图形某个环境角度下绘制的图像，在相应的软件中可以对其旋转、放缩及平移等操作，从而可以对井架三维模型进行全方位不同角度的观察。对于真实井架或井架图片来说，这种方便的观察是很难达到的。同时，井架三维模型还可以忽略真实场景中的钢井架的一些无关信息，集中抽象表示钢井架的空间形状信息，并可以把现实井架中的一些不可见部分如斜撑基础、被封闭包围的立架清晰地显示出来。从这个角度来说它可以比图 1-2a 更好

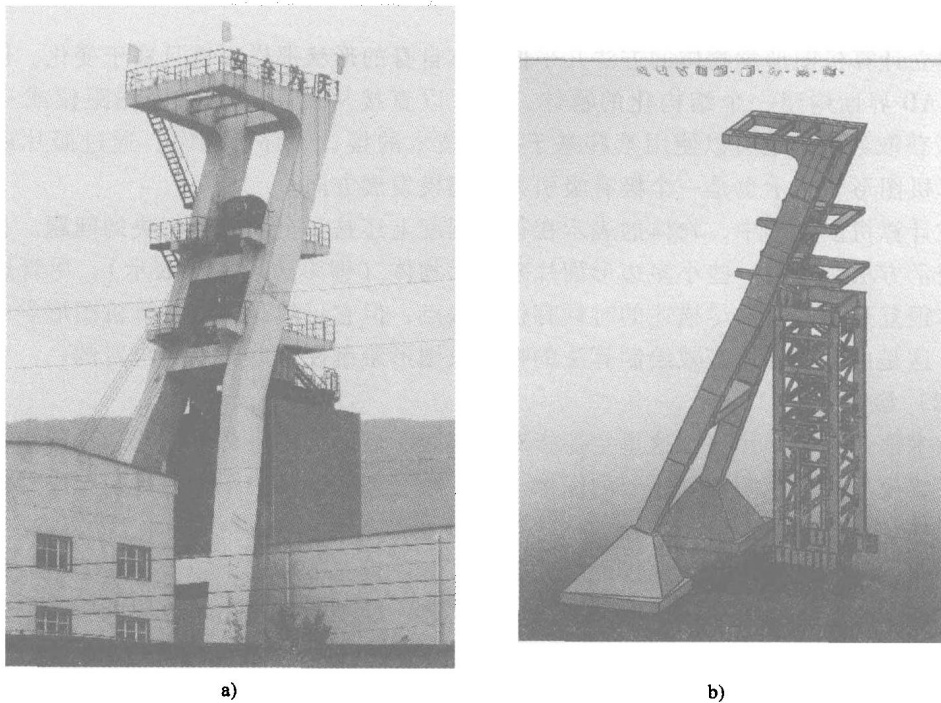


图 1-2 矿山钢井架
a) 井架照片图像 b) 井架三维图形绘制的图像

地传达并架的几何信息，正因为如此，一定程度上来说，图形相对图像可以更好地传达物体的几何信息。

1.1.2 计算机图形学研究内容

计算机图形学是计算机科学中一个最为活跃的分支之一，同时也是一门与传统数学理论、现代数学有着紧密联系的交叉性学科。正因为如此，世界各国的专家学者与组织对计算机图形学有着各自不同的定义。国际标准化组织 ISO 把它定义为：计算机图形学是研究通过计算机将数据转换为图形，并在专门显示设备上显示的原理、方法和技术的学科。

从以上定义可以看出，计算机图形学是以计算机为工具，研究如何生成现实物体或虚拟物体对象的图形模型并最终将其显示出来的学科。如前所述，对计算机而言，图形的最终显示结果只可能是数字图像。因此，简言之，计算机图形学是一门研究如何根据物体信息在计算机内生成其模型，并据此生成其相应图像的学科。所以，其核心技术是如何建立所处理对象的模型并生成该模型的图像。那么，如何在计算机中表示、定义一个物体对象，如何对物体对象修改、控制，如何生成物体对象的图像，一切与此相关的原理、算法与技术，构成了计算机图形学的基本研究内容。以下就是大多数从事图形学研究的专业人士都比较认同的三个计算机图形学核心研究领域：

(1) 建模

要在计算机屏幕上生成三维物体的一幅图像，首先必须在计算机中建立该物体的模型。构造这一模型的技术称为建模技术，包括形体的表示、构造及运算。最常用的是几何建模，即由一批几何数据及数据之间的关系来表示所要显示的形体，一般是规则形体。建模的可靠性及覆盖域是研究工作的重点。

建立计算机图形学物体的方法几乎像物体自身的形状那样丰富且富于变化。例如，可以通过 CAD 界面构建一个结构化的物体，也可以直接从设备（如激光测距仪或三维数字化仪）来获取数据，还可以使用某些基于扫描技术的接口程序。同时，通过照片或者视频建立计算机图形学表示也是一个极有吸引力的建模发展方向。

在计算机图形学中，物体的表示在很大程度上还是一个未完全解决的问题。目前，最流行的表示方法仍是用一些小多边形面片来表示物体（即多边形网格表示）。尽管这种表示法在物体很复杂和需要详尽描述的时候有很多缺点，但它仍然是主流计算机图形学中最通用的方法，这是由目前常用有效绘制算法的特点及图形绘制硬件的特点所决定的。

(2) 绘制

该术语来自艺术领域，这里主要指对建模表示后的物体进行可视化，一般指在计算机中根据三维模型生成带阴影和光照的图像。这一过程如同绘画中根据石膏模型进行素描速写将其展现在画布上一样。

绘制过程一般在对物体建模之后才能完成。建模完成后，下一步就是将其放置于指定的场景中，并给定一定的光源来照亮场景中的物体。绘制就是将物体连同其所在场景一起，映射到观察表面（即监视器二维屏幕）的过程。这一过程实质上就是将物体和场景等对象的三维坐标转换到屏幕上的像素坐标，该过程需要经过一系列的坐标变换。

(3) 动画

随着计算机图形学和计算机硬件的不断发展，人们已经不再满足于仅仅生成高质量的静态

场景，人们对由计算机生成的动画更感兴趣。事实上，计算机动画是由计算机生成一幅幅连续的静态图像，其中一幅图像也称为一帧图像。每一帧都是对前一帧做一小部分修改，这样当这些画面连续播放时，整个场景就动起来了。这里，如何修改图像便是计算机动画的研究内容。

计算机动画实质上就是利用图像序列，产生物体运动的视觉效果的一种技术，当然也要用到建模和绘制技术，但更关键的问题是如何实现快速图像生成及如何控制时间。注意动画与视频容易混淆，它们的区别在于视频的采集来源于自然的真实图像，而动画则是利用计算机产生出来的图像，是合成的动态图像。

除以上三个核心领域外，还有很多与计算机图形学相近或交叉的学科领域，现简单列出如下：

1) 人机交互：在输入设备（如鼠标、写字板等）、应用程序和以图形或者其他感官方式向用户发送的反馈之间建立接口。历史上，人机交互很大程度上服务于计算机图形的显示，因为计算机图形学研究人员最早开始使用这些输入/输出设备。但随着人机交互技术的普及，这些设备已成为了计算机的常用设备。

2) 虚拟现实：试图让用户置身于三维虚拟世界。为了产生这种效果，系统至少有立体显示，并对头部运动产生反应。真正的虚拟现实系统还要有声音反馈和力反馈，甚至具有味觉和触觉。由于这一领域需要先进的图形显示技术，因此与计算机图形学的关系非常密切。

3) 可视化：试图通过视觉显示让用户看得更逼真或更清晰。比如将气压场、温度场等抽象现象的空间分布以三维图形方式显示出来。

以上内容，涉及到用计算机对图形数据进行处理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。这些算法按照生成、表示物体图形的准确性、真实性、实时性的顺序要求大致可分为以下几类：

1) 基于图形设备的基本图形元素生成算法，如直线段、圆弧、多边形及区域的生成算法，线、面消隐，光照与明暗处理、纹理、阴影等各种真实感图形显示技术。

2) 图形变换与裁剪，如图形的平移、旋转、放缩、对称、错切、投影等各种变换操作方法及软硬件实现技术。

3) 几何造型技术，如各种不同类型几何模型的构造方法，曲线曲面表示与处理等。

4) 图形信息的存储、检索与交换技术，如图形信息的各种内外表示方法、组织形式、存取技术、通信问题等。

5) 人机交互及用户接口技术，如各种构造技术、选择技术等交互技术研究，及用户模型、反馈方法等用户接口技术研究。

6) 动画技术。

7) 图形输出设备与输出技术，如各种图形显示器逻辑结构的研究，高速图形功能的芯片开发。

8) 图形标准与图形软件包的研究开发。

总之，计算机图形学的研究内容十分丰富，它不仅涉及到计算机的各个学科，同时也涉及到诸如线性代数、计算几何、制图学、光学等多门学科。因此，它既是理论性很强的学科，同时又是对实践性要求很高的学科。

1.1.3 计算机图形学与相关学科的关系

计算机图形学与数字图像处理、模式识别、计算几何等学科具有很强的联系和交叉。

如前所述，图像是记录在介质上的客观事物的映像，如照片、电影等。数字图像是用摄像机或扫描仪等手段将图像数字化或将客观世界中原来存在的景物摄制成适合于计算机存储和处理的数字图像。那么，从狭义上来看，图像处理就是对图像进行增强、去噪、滤波以改善图像的视觉效果，突出感兴趣的内容，或者计算图像的统计特征。广义的图像处理不仅包含图像处理等内容，还包括模式识别，后者是对图像进行理解和分析，从图像中提取有意义的信息，如对图像矢量化，识别图像中的符号，提取图像中所表达的现象的特征，或从图像中提取所关注的景物的二维或三维几何信息的过程。可以说狭义的图像处理所处理的对象为图像数据本身，而模式识别所关注的则是图像所表达的信息的特征。从某种意义上说，广义图像处理所包含的模式识别是计算机图形学的一个逆过程，如图 1-3 所示。

计算几何是一门通过计算机技术求解几何问题的学科，如求任意多边形的面积和周长；任意多面体的体积和表面积；生成特定的几何图形如最优三角形网等。计算几何所处理的几何数据可以使用计算机图形学技术进行显示，而某些计算机图形的生成和绘制过程需要借助于计算几何的算法来处理图形数据。

与图形学相关的学科还有计算机视觉。计算机视觉是研究用计算机来模拟生物微观或宏观视觉功能的科学和技术，它模拟人对客观事物模式的识别过程，是从图像到特征数据、到对象的描述的处理过程。这几门学科之间的关系如图 1-3 所示。

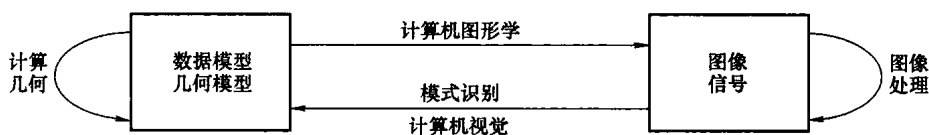


图 1-3 图形学与相关学科的关系

近年来，随着多媒体技术、图像数据传输、三维数据场可视化以及虚拟现实等技术的迅速发展，以上几个学科的界限变的模糊起来。例如在图像处理中需要用计算机图形学中的交互技术和手段输入图形、图像，以及控制相应的过程；在计算机视觉中，也经常采用图形生成技术来帮助合成对象的图像模型。它们之间的这种相互渗透，反过来也促进了学科本身的发展。

1.2 计算机图形学应用领域

如前所述，“一图胜千言”，“百闻不如一见”，这些都充分说明，一幅图能容纳大量信息，它不仅比文字直观、逼真，而且信息载荷量大。随着计算机图形学的发展，以及计算机软、硬件性能的提高和成本下降，计算机图形学的应用领域也越来越广泛，下面是一些主要的应用领域。

1.2.1 计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM)

CAD/CAM 是计算机图形学最早也是最主要的一个应用领域，该领域至今仍是工业界最广泛、最活跃的一个领域。在这一领域中，计算机图形学被用来进行土建工程、机械结构和产品的设计，包括设计飞机、汽车、船舶的外形和发电厂、化工厂等的布局以及电子线路、电子器件的结构等。CAD 着眼于绘制工程和产品相应结构的精确图形，然而更常用的是对