

---

# 计算机图形学

## ——基于MFC三维图形开发

---

孔令德 著

---



清华大学出版社

---

# 计算机图形学

## ——基于MFC三维图形开发

---

孔令德 著

---



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书采用面向对象语言 Visual C++ 的 MFC 框架作为开发平台,系统讲解“基本图元的扫描转换”、“二维变换与裁剪”、“三维变换与投影”、“自由曲线与曲面”、“建模与消隐”、“光照模型”与“纹理映射”的实现原理与算法。

以生成三维真实感光照模型为主线,引导读者重点掌握直线的扫描转换原理、多边形的有效边表填充原理、三维物体的几何变换原理与透视投影原理、多面体与曲面体的几何建模原理、Z-Buffer 与画家算法的面消隐原理、基于 Gouraud 明暗处理与 Phong 明暗处理的光滑着色原理、基于颜色纹理、三维纹理与几何纹理的真实感图形绘制原理等内容,从编程角度诠释计算机图形学原理的深刻内涵。通读本书,读者可以在三维场景中绘制出具有光照效果与纹理效果的三维物体的真实感图形动画,同时支持对图形的交互操作。

本书配有与每个原理一一对应且经过精心设计的 60 个案例源程序。这些程序经过了严格的测试,确保能在 Visual C++ 6.0 与 Visual C++ 2008 环境下正常编译运行。本书中的插图图均出自这些案例,其质量可以与 OpenGL 或 Direct3D 制作效果相媲美。请购买本书的读者到笔者的个人网站:<http://www.klingde.com> 上下载这 60 个源程序,或者添加笔者的 QQ:997796978 来获得在线帮助,也可以通过 QQ 邮箱或 [klingde@163.com](mailto:klingde@163.com) 邮箱与读者取得联系。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

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

计算机图形学:基于 MFC 三维图形开发/孔令德著. --北京:清华大学出版社,2014  
ISBN 978-7-302-30875-1

I. ①计… II. ①孔… III. ①计算机图形学—研究 ②C 语言—程序设计 IV. ①TP391.41 ②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 291410 号

责任编辑:汪汉友

封面设计:傅瑞学

责任校对:焦丽丽

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址:<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载:<http://www.tup.com.cn>,010-62795954

印 装 者:北京亿浓世纪彩色印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:17.25

字 数:419 千字

版 次:2014 年 1 月第 1 版

印 次:2014 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:66.00 元

产品编号:050635-01

# 前 言

计算机图形学是利用计算机研究图形的表示、生成、处理和显示的学科。主要原理包括基于光栅扫描显示器的基本图形的扫描转换原理；基于齐次坐标的二维、三维图形的几何变换原理；基于几何造型的自由曲线、曲面的生成原理；基于多面体和曲面体的三维几何建模原理；基于像空间和物空间的三维物体面消隐原理；基于材质模型、光源模型的简单光照原理；基于颜色纹理、三维纹理和几何纹理的纹理映射原理。本书采用类架构建立了三维光照场景，给定光源位置、视点位置和视线方向，只要简单地改变数据文件中物体的顶点表和表面表，就可以生成不同物体的真实感图形动画。

本书有以下特色。

1. 编程环境的先进性。本书选用了 Microsoft 公司的面向对象程序设计语言 Visual C++ 的 MFC 框架作为编程环境，不仅可以制作出和 3ds max 效果一致的三维真实感图形，而且支持交互式操作。

2. 所有原理的案例化。本书从编程角度讲解计算机图形学，要求所讲解的原理都产生相应的图形效果。笔者使用 MFC 框架自主开发了本书所有原理的案例，做到本书所讲解到的每个原理都有一个对应的源程序。

3. 所有图形彩色显示。计算机图形学是研究由物体的三维几何模型得到二维图像的技术。本书使用真彩色表示光照、纹理等特殊图像效果，意在让读者切实感受到计算机图形学的视觉冲击力，从而将学习的重点放置在真实感图形部分。

本书各章节主要内容如下。

第 1 章 导论。介绍了计算机图形学的定义、应用领域、图形显示器的工作原理以及计算机图形学目前研究的热点技术。

第 2 章 MFC 绘图基础。介绍 MFC 上机操作步骤，主要讲解了 CDC 类的主要绘图成员函数，最后给出了精美的双缓冲动画案例。本章要求重点掌握双缓冲技术。

第 3 章 基本图元的扫描转换。讲解直线、圆和椭圆的像素级扫描转换原理，以及 Wu 直线反走样算法。本章要求重点掌握直线的中点 Bresenham 扫描转换原理和 Wu 反走样原理。

第 4 章 多边形填充。讲解了有效边表填充原理、边缘填充原理以及区域填充原理，本章要求重点掌握有效边表填充原理，这是后续填充三维物体表面模型的基本原理。

第 5 章 二维变换与裁剪。讲解二维基本几何变换矩阵，Cohen-Sutherland 直线段裁剪原理、中点分割直线段裁剪原理、Liang-Barsky 直线段裁剪原理以及 Sutherland-Hodgman 多边形裁剪原理。本章要求重点掌握二维几何变换。

第 6 章 三维变换与投影。讲解三维基本几何变换、三视图、斜投影图以及透视投影的变换矩阵。本章要求重点掌握三维几何变换和透视投影原理。

第 7 章 自由曲线与曲面。讲解 Bezier 曲线曲面和 B 样条曲线曲面的生成原理。本章要求重点掌握 B 样条曲线和 B 样条曲面的生成原理。

第8章 建模与消隐。讲解描述物体的双表数据结构,多面体与曲面体的几何模型。物体的背面剔除原理以及深度缓冲面消隐和深度排序面消隐原理。本章要求重点掌握立方体、球体的几何建模方法,以及深度缓冲面消隐原理。

第9章 光照模型。讲解颜色模型、材质模型、简单光照模型、Gouraud 明暗处理、Phong 明暗处理、简单透明模型和简单阴影模型。本章要求重点掌握 RGB 颜色模型、简单光照模型、Gouraud 明暗处理和 Phong 明暗处理。

第10章 纹理映射。讲解颜色纹理、三维纹理和几何纹理的定义及映射方法。给出了将函数纹理与图像纹理映射到球面、圆柱面、圆锥面和圆环面的方法,最后介绍了一种简单纹理反走样方法。本章要求重点掌握国际象棋棋盘函数纹理映射到立方体表面和球体表面的颜色纹理映射方法。

为了帮助读者巩固上述原理的学习,笔者精心设计与本书讲解的原理一一对应的60个案例源程序。每个案例全部按照本书原理的算法步骤编码,可以互相参照学习。本书中所使用的效果图均出自这些案例。请购买本书的读者到笔者的个人网站上下载这60个源程序。为了方便教学,笔者也提供了各章的教学课件,并建立了计算机图形学教师群,愿意与全国高校的计算机图形学教师一起分享教学经验。

虽然计算机图形学领域每年有大量的新技术不断涌现,但绘制图形的基本原理和方法却一直保持着连贯性和稳定性。笔者是从计算机编程角度讲授计算机图形学原理,在不使用任何图形库的前提下,单纯使用 MFC 的绘制像素点成员函数(`CDC::SetPixelV`),按照本书讲解的计算机图形学原理开发出与 OpenGL 或 Direct3D 显示效果一致的真实感图形。更确切地说是笔者依据本书讲解的原理搭建了一个自主开发的图形库。只要在场景中构造出物体的几何模型,就可以根据假定的光照条件,动态渲染出包含材质、纹理的真实感图形,产生如临其境、如见其物的视觉效果。

感谢清华大学出版社编校人员对本书的大力支持,感谢国内计算机图形学教师对笔者的认可,感谢计算机图形学读者对源程序的厚爱。恳请从事计算机图形研究的专家学者继续提出宝贵的建议和意见,无论是针对文字、代码还是课件的。如果读者在学习期间有什么疑问,请添加笔者的 QQ 进行联系或者 QQ 留言,笔者将提供在线帮助。也可以通过 QQ 邮箱给笔者来信。笔者的 QQ 号及计算机图形学群号参见封底。

最后感谢我的妻子康凤娥女士。在我写作本书期间,给予了更多的时间;在我调试程序时,曾提出过宝贵的建议;在我完成初稿后,又进行反复校对。“噫!微斯人,吾谁与归?”

孔令德

2013年9月

# 目 录

<b>第 1 章 导论</b> .....	1
1.1 计算机图形学的定义 .....	1
1.2 计算机图形学的应用领域 .....	2
1.2.1 计算机游戏.....	2
1.2.2 计算机辅助设计.....	2
1.2.3 计算机艺术.....	3
1.2.4 虚拟现实.....	5
1.2.5 计算机辅助教学.....	6
1.3 计算机图形学的相关学科 .....	6
1.4 计算机图形学的确立与发展 .....	7
1.5 图形显示器的发展及其工作原理 .....	9
1.5.1 阴极射线管.....	9
1.5.2 随机扫描图形显示器 .....	10
1.5.3 直视存储管图形显示器 .....	10
1.5.4 光栅扫描图形显示器 .....	11
1.5.5 LCD 显示器 .....	17
1.5.6 三维图形显示原理及立体显示器 .....	18
1.6 图形软件标准.....	22
1.7 计算机图形学研究的热点技术.....	23
1.7.1 细节层次技术 .....	23
1.7.2 基于图像的绘制技术 .....	23
1.8 本章小结.....	25
习题 1 .....	25
<b>第 2 章 MFC 绘图基础</b> .....	27
2.1 MFC 上机操作步骤 .....	27
2.2 MFC 绘图方法 .....	30
2.2.1 CDC 类结构与 GDI 对象 .....	31
2.2.2 映射模式 .....	32
2.2.3 使用 GDI 对象 .....	35
2.2.4 CDC 类的主要绘图成员函数 .....	38
2.3 设备上下文的调用与释放.....	55
2.4 双缓冲机制.....	56
2.5 MFC 绘图的几种方法 .....	58

2.5.1	使用 OnDraw()成员函数直接绘图 .....	58
2.5.2	使用菜单绘图 .....	59
2.5.3	使用自定义函数绘图 .....	60
2.6	本章小结 .....	64
	习题 2 .....	64
<b>第 3 章</b>	<b>基本图元的扫描转换 .....</b>	<b>69</b>
3.1	直线的扫描转换 .....	69
3.1.1	算法原理 .....	69
3.1.2	构造中点误差项 .....	70
3.1.3	递推公式 .....	70
3.1.4	整数化处理 .....	71
3.2	圆的扫描转换 .....	72
3.2.1	算法原理 .....	72
3.2.2	构造中点误差项 .....	73
3.2.3	递推公式 .....	74
3.3	椭圆的扫描转换 .....	74
3.3.1	算法原理 .....	75
3.3.2	构造上半部分圆弧的中点误差项 .....	76
3.3.3	上半部分圆弧的递推公式 .....	77
3.3.4	构造下半部分圆弧的中点误差项 .....	77
3.3.5	下半部分圆弧的递推公式 .....	78
3.4	反走样技术 .....	79
3.5	Wu 反走样算法 .....	81
3.5.1	算法原理 .....	81
3.5.2	构造距离误差项 .....	82
3.5.3	计算机化 .....	82
3.5.4	彩色直线段的反走样 .....	82
3.6	本章小结 .....	83
	习题 3 .....	83
<b>第 4 章</b>	<b>多边形填充 .....</b>	<b>86</b>
4.1	多边形的扫描转换 .....	86
4.1.1	多边形的定义 .....	86
4.1.2	多边形的表示 .....	87
4.1.3	多边形着色模式 .....	88
4.1.4	多边形填充算法 .....	88
4.1.5	区域填充算法 .....	89
4.2	有效边表填充算法 .....	89

4.2.1	填充原理 .....	89
4.2.2	边界像素的处理原则 .....	89
4.2.3	有效边和有效边表 .....	91
4.2.4	桶表与边表 .....	93
4.3	边缘填充算法 .....	94
4.3.1	填充原理 .....	94
4.3.2	填充过程 .....	94
4.4	区域填充算法 .....	95
4.4.1	填充原理 .....	95
4.4.2	四邻接点与八邻接点 .....	96
4.4.3	四连通域与八连通域 .....	96
4.4.4	种子填充算法 .....	97
4.5	本章小结 .....	98
习题 4	.....	99
<b>第 5 章</b>	<b>二维变换与裁剪 .....</b>	<b>104</b>
5.1	图形几何变换基础 .....	104
5.1.1	二维变换矩阵 .....	104
5.1.2	规范化齐次坐标 .....	104
5.1.3	矩阵相乘 .....	105
5.1.4	二维几何变换 .....	105
5.2	二维基本几何变换矩阵 .....	106
5.2.1	平移变换矩阵 .....	106
5.2.2	比例变换矩阵 .....	107
5.2.3	旋转变换矩阵 .....	107
5.2.4	反射变换矩阵 .....	108
5.2.5	错切变换矩阵 .....	109
5.3	二维复合变换 .....	110
5.3.1	复合变换原理 .....	110
5.3.2	相对于任意参考点的二维几何变换 .....	110
5.3.3	相对于任意方向的二维几何变换 .....	113
5.4	二维图形裁剪 .....	115
5.4.1	图形学中常用的坐标系 .....	115
5.4.2	窗口与视区及窗视变换 .....	117
5.4.3	窗视变换矩阵 .....	118
5.5	Cohen-Sutherland 直线段裁剪算法 .....	120
5.5.1	编码原理 .....	120
5.5.2	裁剪步骤 .....	120
5.5.3	交点计算公式 .....	121



5.6	中点分割直线段裁剪算法 .....	122
5.6.1	中点分割直线段裁剪算法原理 .....	122
5.6.2	中点计算公式 .....	122
5.7	Liang-Barsky 直线段裁剪算法 .....	123
5.7.1	算法原理 .....	123
5.7.2	算法分析 .....	124
5.7.3	算法的几何意义 .....	124
5.8	多边形裁剪算法 .....	126
5.9	本章小结 .....	128
	习题 5 .....	128
<b>第 6 章 三维变换与投影 .....</b>		<b>131</b>
6.1	三维图形几何变换 .....	131
6.1.1	三维变换矩阵 .....	131
6.1.2	三维几何变换 .....	132
6.2	三维基本几何变换矩阵 .....	132
6.2.1	平移变换 .....	132
6.2.2	比例变换 .....	133
6.2.3	旋转变换 .....	133
6.2.4	反射变换 .....	134
6.2.5	错切变换 .....	135
6.3	三维复合变换 .....	136
6.3.1	相对于任意参考点的三维几何变换 .....	136
6.3.2	相对于任意方向的三维几何变换 .....	137
6.4	平行投影 .....	139
6.4.1	正投影 .....	139
6.4.2	三视图 .....	139
6.4.3	斜投影 .....	143
6.5	透视投影 .....	144
6.5.1	透视投影坐标系 .....	144
6.5.2	三维坐标系变换 .....	146
6.5.3	世界坐标系到观察坐标系的变换 .....	147
6.5.4	观察坐标系到屏幕坐标系的变换 .....	150
6.5.5	透视投影分类 .....	152
6.5.6	立方体的透视图 .....	152
6.5.7	屏幕坐标系的伪深度坐标 .....	154
6.6	本章小结 .....	156
	习题 6 .....	156

第 7 章 自由曲线与曲面	159
7.1 基本概念	159
7.1.1 样条曲线曲面	159
7.1.2 曲线曲面的表示形式	160
7.1.3 插值、逼近与拟合	161
7.1.4 连续性条件	161
7.2 Bezier 曲线	162
7.2.1 Bezier 曲线的定义	163
7.2.2 Bezier 曲线的性质	164
7.2.3 de Casteljau 递推算法	166
7.2.4 Bezier 曲线的拼接	167
7.3 Bezier 曲面	169
7.3.1 Bezier 曲面的定义	169
7.3.2 双三次 Bezier 曲面的定义	169
7.3.3 双三次 Bezier 曲面的拼接	170
7.4 B 样条曲线	172
7.4.1 B 样条曲线的定义	172
7.4.2 二次 B 样条曲线	173
7.4.3 三次 B 样条曲线	174
7.4.4 B 样条曲线的性质	176
7.4.5 构造特殊三次 B 样条曲线的技巧	177
7.5 B 样条曲面	179
7.5.1 B 样条曲面的定义	179
7.5.2 双三次 B 样条曲面的定义	179
7.5.3 双三次 B 样条曲面的连续性	180
7.6 本章小结	182
习题 7	183
第 8 章 建模与消隐	186
8.1 三维物体的数据结构	186
8.1.1 物体的几何信息与拓扑信息	186
8.1.2 三表数据结构	186
8.1.3 物体的表示模型	187
8.1.4 双表数据结构	189
8.2 常用物体的几何模型	190
8.2.1 多面体	190
8.2.2 曲面体	195
8.3 消隐算法分类	201
8.4 隐线算法	202

8.4.1	凸多面体消隐算法	202
8.4.2	曲面体消隐算法	205
8.5	隐面算法	206
8.5.1	深度缓冲器消隐算法	206
8.5.2	深度排序消隐算法	210
8.6	本章小结	211
	习题 8	211
<b>第 9 章</b>	<b>光照模型</b>	<b>216</b>
9.1	颜色模型	216
9.1.1	原色系统	217
9.1.2	RGB 颜色模型	218
9.1.3	HSV 颜色模型	219
9.1.4	CMYK 颜色模型	221
9.2	简单光照模型	222
9.2.1	材质模型	222
9.2.2	环境光模型	224
9.2.3	漫反射光模型	224
9.2.4	镜面反射光模型	225
9.2.5	光强衰减	227
9.2.6	增加颜色	228
9.3	光滑着色	229
9.3.1	直线的光滑着色	230
9.3.2	Gouraud 明暗处理	231
9.3.3	Phong 明暗处理	234
9.4	简单透明模型	236
9.5	简单阴影模型	237
9.6	本章小结	238
	习题 9	238
<b>第 10 章</b>	<b>纹理映射</b>	<b>242</b>
10.1	纹理的定义	242
10.2	颜色纹理	243
10.2.1	函数纹理	243
10.2.2	图像纹理	248
10.3	三维纹理	249
10.4	几何纹理	251
10.4.1	参数曲面的定义	251
10.4.2	映射原理	251

10.4.3 几何纹理的分类·····	253
10.5 简单纹理反走样·····	254
10.6 本章小结·····	255
习题 10 ·····	255
附录 A 配套案例的说明·····	259
参考文献·····	261

# 第1章 导 论

计算机图形学(computer graphics,CG)是随着计算机的发展,特别是图形显示器的发展而产生和发展起来的,是计算机技术与电视技术、图形图像处理技术相互融合的结果。人们使用计算机或手机处理日常事务时,首先看到的是图形化的人机交互界面,这便是计算机图形学带给人们最直接的感受。近年来,计算机图形学已经在游戏、电影、科学、艺术、商业、广告、教学、培训和军事等领域获得了广泛的应用。社会需求反过来又推动了计算机图形学的快速发展,计算机图形学目前已经形成一个巨大的产业。

## 1.1 计算机图形学的定义

计算机图形学是一门研究如何用计算机表示、生成、处理和显示图形的学科。图形主要分为两类:一类是基于线框模型描述的几何图形,图 1-1(a)所示的头颅网格模型是一种基于三角形网格表示的线框图形;另一类是基于表面模型描述的真实感图形。要绘制真实感图形,首先必须建立场景的几何模型,再利用某种光照模型,计算场景在假想光源、纹理、材质属性下的光照效果。图 1-1(b)所示的头颅表面模型是一种基于光照和材质表示的真实感图形。

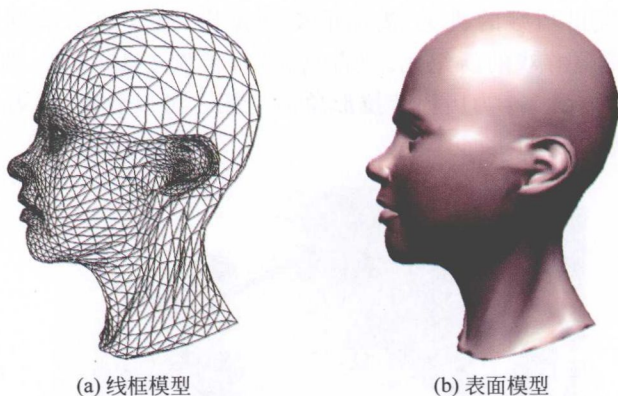


图 1-1 头颅图形

图形的表示方法有两种:参数法和点阵法。参数法是在设计阶段建立几何模型时,用形状参数和属性参数描述图形的一种方法,形状参数可以是直线段的起点、终点等几何参数,属性参数则包括直线段的颜色、线型和宽度等非几何参数。一般用参数法描述的图形依旧称为图形。点阵法是在绘制阶段用具有颜色信息的像素点阵来表示图形的一种方法,所描述的图形常称为图像。计算机图形学就是研究将图形的表示法从参数法转换到点阵法的一门学科。矩形的图形如图 1-2(a)所示,矩形的图像如图 1-2(b)所示。

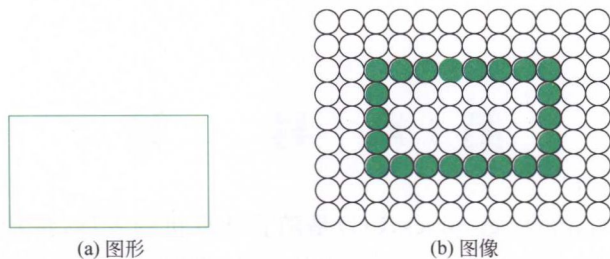


图 1-2 矩形的表示法

## 1.2 计算机图形学的应用领域

### 1.2.1 计算机游戏

计算机游戏是一种新兴的娱乐形式,为游戏参与者提供了一个虚拟空间,从一定程度上让人可以摆脱现实世界中的自我,在另一个世界中扮演现实世界中扮演不了的角色,因而吸引了众多的玩家。计算机游戏的核心技术来自于计算机图形学,如多分辨率地形生成、天空盒纹理、角色动画、碰撞检测、粒子系统、自然景物模拟、交互技术、实时绘制等。人们学习计算机图形学的一个潜在目的就是从事游戏开发,反过来,计算机游戏是计算机图形学发展的另一个重要推动力。计算机游戏主要包括单机游戏、网络游戏和网页游戏等几种类型。例如,从英国 Eidos 公司推出的动作冒险系列游戏《古墓丽影》的演变可以看出计算机游戏的发展过程,该游戏成功地创造了一个女性虚拟人物:动作派考古学家劳拉·克劳馥(Lara Croft)。《古墓丽影》凭借巧妙的机关、简洁的交互操作、逼真的三维效果赢得了人们的喜爱,开创了三维动作冒险游戏的新纪元。《古墓丽影》首发于 1996 年,图 1-3 为最新发行的《古墓丽影 9》游戏封面,图 1-4 为历代劳拉形象演变图。可以看出,随着计算机建模技术的进步,劳拉的形象逐渐从卡通走向真实。

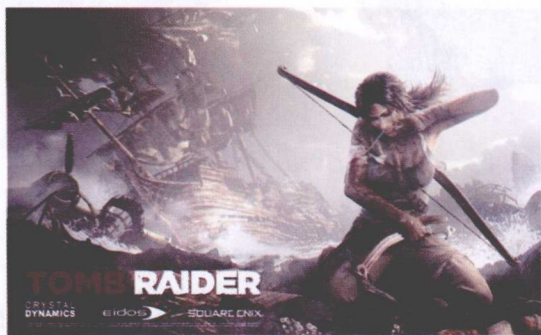


图 1-3 《古墓丽影》游戏截图

### 1.2.2 计算机辅助设计

计算机辅助设计(computer aided design, CAD)和计算机辅助制造(computer aided manufacture, CAM)是计算机图形学最早应用的领域,也是当前计算机图形学最成熟的应



图 1-4 历代劳拉形象演变图

用领域,典型的代表产品为 AutoCAD 系统软件。现在建筑、机械、飞机、汽车、轮船和电子器件等产品的开发几乎都使用 AutoCAD 进行设计。AutoCAD 可绘制二维工程图,也可建立三维实体模型。具体设计时,先绘制三维实体的某个轮廓,通过拉伸、旋转、放样等操作形成简单几何体,再通过布尔运算形成复杂的几何体。在产品设计接近完成时,可以采用真实光照模型技术生成最终效果图。图 1-5 为使用 AutoCAD 绘制的旋耕刀辊设计图。在计算机辅助设计领域中,另外一个常用的设计软件是 3ds max。《侏罗纪公园》、《玩具总动员》等影片均是使用该技术制作的典型产品。图 1-6 是使用 3ds max 软件设计的办公室效果图。

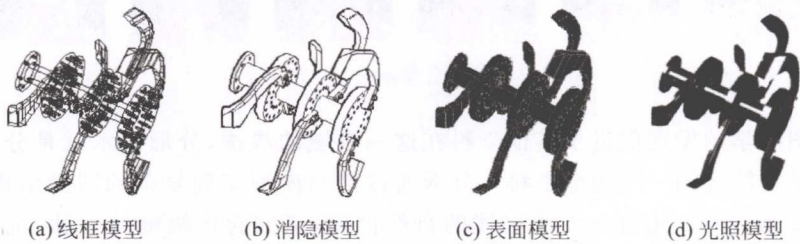


图 1-5 旋耕刀辊设计图



图 1-6 博创研究所所长办公室效果图

### 1.2.3 计算机艺术

计算机图形学广泛应用于艺术设计中,称为计算机艺术(computer art,CA)。计算机艺

术为设计者提供了一个充分展示个人想象力与艺术才能的新天地。目前,计算机艺术已经广泛应用于影视特技、商业广告、游戏和计算机辅助教学等领域。

动画是计算机艺术的典型代表。根据人眼的视觉暂留特性,将一系列的单幅静态画面(frame,帧)串接在一起,以24~30帧/秒的速度播放,形成运动的效果。根据1927年制定的工业标准,电影按24帧/秒的速度进行拍摄和播放。电视有多种制式,如PAL(phase alternate line)、NTSC(national television standards committee)等,我国采用的是PAL制式,该制式的播放速度是25帧/秒。动画技术中最重要的是帧动画与骨骼动画。帧动画是指以帧为基本单位组织的多个静态画面,通过在关键帧(key frame)之间插值的方法,可以得到平滑的动画效果。骨骼动画是由互相连接的“骨骼”组成的骨架结构,通过改变骨骼的朝向和位置来生成动画。另外,许多商业广告中还用到图像自然渐变(image morphing)的处理方法,可以把一幅图像以一种自然流畅的、戏剧性的、超现实主义的方式变换为另一幅图像。图1-7是“男变女”图像自然渐变效果图。



图1-7 图像自然渐变之“男变女”

计算机图形学的发展促进了其他学科在这一领域的渗透,分形艺术就是分形几何学与计算机图形学相结合的一门边缘学科。分形通过递归模型实现复杂的图形结构,主要用于描述欧几里得(Euclid)几何学无法描述的自然世界,诸如起伏蜿蜒的山脉、坑坑洼洼的地面、曲曲折折的海岸线、层层分叉的树枝、撕裂夜空的闪电、闪烁跳跃的火焰、生物的大分子结构,以及金属与非金属材料的断面等。图1-8是Menger分形海绵。Menger海绵的生成原理为,将一个立方体沿长、宽、高方向3等分,形成27个相同大小的小立方体,舍弃位于立方体面心的6个小立方体,以及位于体心的一个小立方体。对余下的20个小立方体按照相同的方法逐步递归,当递归深度 $n=4$ 时,生成图示的最后一个中间有大量空隙的Menger海绵<sup>[1]</sup>。从图形可以看出分形结构十分复杂,不借助于计算机图形学技术,Menger海绵根本无法手工绘制。

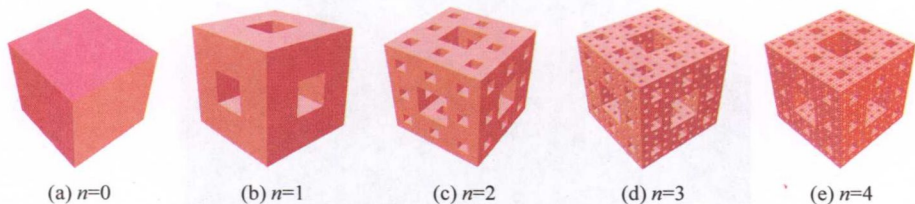


图1-8 递归深度 $n$ 为0~4的Menger海绵

由Mandelbrot提出的分形几何学是一门以非规则几何形态为研究对象的几何学。由于不规则现象在自然界是普遍存在的,因此分形几何学又称为描述大自然的几何学。分形几何学可以描述云彩、地形、雪花、草、树木等自然景象。使用分形几何学理论制作的分形草



与分形山如图 1-9 所示。



(a) 分形灌木丛



(b) 分形山

图 1-9 分形作品

### 1.2.4 虚拟现实

虚拟现实(virtual reality, VR)技术是利用计算机生成虚拟环境,逼真地模拟人在自然环境中的视觉、听觉、运动等行为的人机交互的新技术。用户可以“沉浸”到该环境中,随意观察周围的景物,并可以借助于数据手套、头盔显示器等特殊设备与该环境进行交互。在虚拟现实环境中,用户看到的是全彩色的图像,听到的是高保真的音响,感受到的是虚拟环境设备反馈的作用力,从而产生身临其境的感觉。桌面型虚拟现实系统是计算机图形学的自然扩展,虽然沉浸感略差,但毕竟为人们打开了一扇观察虚拟世界的窗口。正如 Ivan Sutherland 于 1965 年在《终极显示》(the ultimate display)一文中指出:“人们必须把屏幕看成一个窗口,并通过这个窗口注视整个虚拟世界。计算机图形学的挑战在于使这个窗口中的‘图像看起来像真的,声音听起来像真的,物体动起来像真的’。”图 1-10 为博创研究所完成的太原市科技规划局项目:中华傅山园虚拟漫游系统。图 1-11 为博创研究所(计算机工程研究所)虚拟漫游系统。

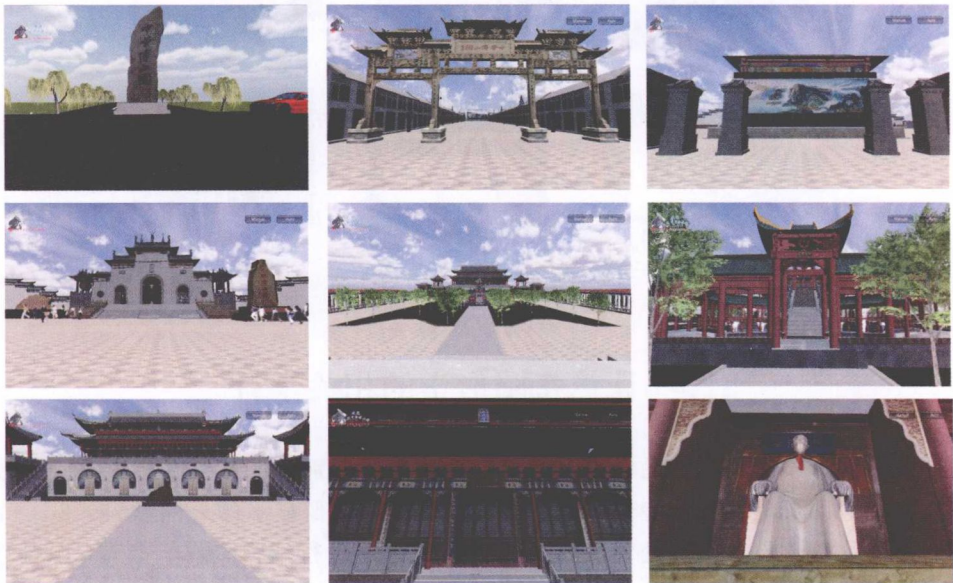


图 1-10 中华傅山园虚拟漫游系统截屏图