

Macintosh 实用指南

3D

(第二版)

〔美〕Craig Lyn 著
许学军 等译

Second Edition
The Macintosh 3D Handbook



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

URL: <http://www.phei.com.cn>

The Macintosh 3D Handbook
(Second Edition)

Macintosh 3D实用指南

(第二版)

[美] Craig Lyn 著 林

许学军 等译

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 提 要

本书主要介绍了如何在Macintosh平台上进行3D设计,并通过示例练习和演示软件说明了3D图形的设计过程及技巧。全书分为三个部分共计16章,分别介绍了3D背后蕴藏的理论和技术、3D的实用技术以及在创意中加入动画内容等。本书选配的CD-ROM光盘中包括本书各示例练习的模型和纹理映射图以及动画示例等。本书适合从事3D创作的工程技术人员、大专院校相关专业的师生参考阅读。



Copyright©1998 by CHARLES RIVER MEDIA, INC.

Translation copyright©1998 by Publishing House of Electronics Industry and Beijing Media Electronic Information Co., Ltd. All rights reserved.

本书英文版由美国CHARLES RIVER MEDIA公司出版,CHARLES RIVER MEDIA公司已将中文版独家版权授予中国电子工业出版社及北京美迪亚电子信息有限公司。本书的任何部分不允许以任何手段抄袭、传播,这其中包括图片、图表和其它信息。未经授权不得使用或修改书中的有关文字。

书 名: Macintosh 3D实用指南(第二版)

著 者: [美] Craig Lyn

译 者: 许学军 等

审 校: 曹康

责任编辑: 曹星然、朱志刚

印 刷 者: 北京天竺颖华印刷厂

装 订 者: 三河金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社出版、发行

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编: 100036 发行部电话: 68279077

北京市海淀区翠微东里甲2号 邮编: 100036 发行部电话: 68207419

URL:<http://www.phei.com.cn>

经 销: 各地新华书店经销

开 本: 787×1092 1/16 印张: 20 625 字数: 520千字

版 次: 1999年6月第1版 1999年6月第1次印刷

书 号: ISBN 7-5053-5330-6/TP·2657

定 价: 35.00元

著作权合同登记号 图字: 01-1999-0936

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换
版权所有·翻版必究

前 言

当作者首次涉足计算机图形行业、特别是在3D设计方面时，并没有许多资料可供学习。虽然在该领域中确实有许多专业的设计人员，但他们就像天上的月亮一样可望而不可及。那时迫切需要一本书，希望从中可以学到前人的所有技巧和诀窍，但一无所获。作者的学习道路之所以不必要地又漫长又艰难，原因只是因为找不到任何人来教一下。作者是通过反复尝试来学会3D的，例如参加用户讨论会，和专业人士交谈等。这就是创作本书的原因，目的是帮助读者们尽快地步入3D领域。说不定，读者以后还可以教作者一两样东西呢。记住，知识只有共享才会有价值。作者相信，本领域中的每一个人都会愿意帮读者一把忙，无论是在读者的学习努力方面还是在职业方面。

我要祝愿读者们能在模型、映射图和动画方面学有所成。方便的时候，别忘了给作者发一个e-mail，谈谈对本书的想法，甚至可以展示一下自己已经完成的作品。

Craig Lyn
Craiglyn@aol.com

致 谢

作者要向帮助完成本书的人表示衷心的感谢。虽然《Macintosh 3D实用指南》的第二版要比第一版容易写得多，但仍然离不开许多朋友和同事的热情帮助。他们在作者的写作过程中给予了极大的支持，在此谨表示最热忱的谢意。

特别感谢Charles River Media的Dave Pallai和Jenifer Niles，他们给作者提供了写作第二版的机会，Jen还邀请作者为NT写一本书。感谢QEP Design的Reuben Kantor，他们在本书的格式编排和布局设计方面做了一件了不起的工作。感谢DV的Richard Popko和Kelly Lynch，他们是非常出色的编辑和非常要好的朋友，能够忍耐作者的唠叨和抱怨。

再次感谢Ben Long及Jose，如果没有他们本书就不可能取得成功。在写作本书以及开始本人的新职业方面，Ben都是一笔无法估量的财富。感谢Sean Wagstaff，他在3D方面的著作开辟了先河，作者正是通过他的书才对3D产生了浓厚的兴趣。感谢Lucien Rhodes，他总是关心着作者的未来，并当事情好转时总是乐于与作者分享同样的激动。非常感谢Electric Image的Wendy Bozigian和Karen Raz，他们始终关注着本行业中的新生长点。

感谢Rascanin，他总是能在作者的创作过程中提供最好的建议，希望在以后仍会继续如此。感谢Amy Lancaster，他是作者第一个、也是最喜欢的雇员。感谢Scott Andreae，他是作者最好的朋友之一。还要感谢Katherine Torrence，他将不得不再忍耐接下来的五年时光；感谢他的支持、耐心和爱。

还要感谢下面的公司及其代理，他们在本书以及杂志文章方面都提供了极大的帮助：Adobe公司的Patricia Payne和Kellie Bowman，auto•des•sys公司的Alexandra Yessios，Byte公司by Byte的Scott Peterson，Fractal公司的John Bass和Dale Wise，MetaTools公司的Kristin Keyes和Craig Clevinger，Knoll Software公司的John Knoll，Macromedia公司的Lynn Stadler，Onyx公司的Pjer Zanchi，RayDream公司的Kathy Englar，Specular公司的Dorothy Eckel和Chris Johnson，Strata公司的Josh Bevans，Valis公司的Roseanne Alspector，Virtus公司的Ashley Sharp，VIDI公司的Nick Pavlovic，VRL公司的Susie Woltjen以及YARC公司的Chiara Reeves。

最后还要向那些作者一下子尚想不起来的人们表示衷心的感谢。作者非常抱歉，现在脑袋有点疲劳，但以后绝不会再忘记他们了。

作者简介

Craig Lyn曾在加拿大、牙买加和美国的华盛顿D.C.居住过，近来搬迁到了圣.弗朗西斯科的海湾区。**Craig**最后投身于计算机图形行业，说来更多的是出于偶然而绝非故意。他对食物情有独钟，曾从事过烹调业，直到1993年才完全转到3D计算机图形行业中来。

自那以后，**Craig**就成了一名以3D造型、纹理映射、多媒体动画、广播电视和电影为专业的自由作家和设计师。每天他还要在《Digital Video》杂志上发表关于“Inside 3D”的文章。

Craig现正在为一家位于加利福尼亚州圣·拉斐尔的著名的动画片特殊效果公司工作。

译者序

随着3D技术的发展和普及，在Macintosh平台上开展3D设计已经得到了广大用户的欢迎。3D技术在国民经济的各个领域中发挥着日益重要的作用，从工业、商业、金融、艺术、新闻出版、广告等各个领域，以至到人们的日常生活，3D技术离我们越来越近，正以日新月异的发展影响着我们的生产和生活。

3D技术的最精细的特征之一就是能够渲染高质量的图像，但图像的质量主要还是取决于艺术家的绘画水平以及摄影家的拍摄水平。人们利用3D技术可以对图像进行艺术再加工，可创作出各种栩栩如生的生动作品；利用3D技术还可以创作供视频输出的广播级渲染图像。相信读者通过本书的学习，能够提高对3D技术的兴趣和创作水平。

本书由康博创作室策划并翻译，由许学军主译，曹康审校。参加本书翻译和制作的人员还有郭永红、郭洪涛、柳郁、许书明、刘春晓、刘利平、王维、刘艳平、孔祥峰、李增民等。由于译者的水平有限，书中不妥之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

译者

1999年1月

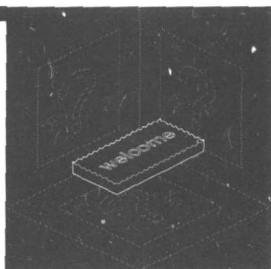
目 录

第1章	概述	1
1.1	新的内容	1
1.2	如何从本书学到最多的东西	2
1.3	全书概览	3
1.4	关于选配光盘	4
第2章	什么是3D	7
2.1	视觉暂留	7
2.2	动画制作的各个阶段	8
2.3	3D的用途	10
第3章	选用合适的硬件和软件	12
3.1	硬件方面的考虑	12
3.2	软件方面的考虑	22
第4章	绘制故事板	40
4.1	脚本	40
4.2	创建故事板	41
第5章	造型过程	46
5.1	配置好计算机	46
5.2	有用的造型技巧	49
5.3	造型过程	53
5.4	为3D场景创建粗略的模型	59
5.5	输出模型	62
第6章	高级造型	64
6.1	EPS模板	65
6.2	地形造型	73
6.3	3D数字化仪	83
6.4	人体和树木方面的专用造型程序	85
第7章	材质和纹理映射	91
7.1	材质——虚拟的炼金术士	92
7.2	纹理映射基础	101
7.3	创建定制的映射图	106
7.4	创建并对齐位图	108
7.5	纹理映射艺术	113

第8章	高级纹理映射	120
8.1	镜面反射映射图	122
8.2	透明度映射图	125
8.3	漫反射映射图	130
8.4	凹凸映射图	130
8.5	发光映射图	137
8.6	反射率映射图	142
8.7	具有动画效果的映射图	145
第9章	照明	154
9.1	基本的照明和颜色理论	154
9.2	光源的种类	158
9.3	入射角、光的衰减和阴影	163
9.4	照明场景	168
第10章	用照明技术模拟环境	174
10.1	太阳光	175
10.2	月光	179
10.3	雾和大气条件	179
10.4	太空	183
10.5	水下场景	184
10.6	人工照明	186
第11章	特殊的照明效果	188
11.1	明片、投影仪和遮光布	188
11.2	可见光源	200
11.3	镜头闪光	206
第12章	透视和虚拟相机	212
12.1	透视	212
12.2	虚拟相机	214
12.3	景深	218
第13章	动画：运动的魔术	222
13.1	动画简史	222
13.2	制作脚本	223
13.3	运动理论	232
13.4	基本摄影术	236
13.5	空对象动画 (Animating with Nulls)	238
第14章	特殊动画效果	242
14.1	烟火制造术	242
14.2	特殊动画功能	253
14.3	背景	260

第15章 渲染	266
15.1 渲染算法	266
15.2 配置计算机	271
15.3 渲染方面的注意事项	271
15.4 输出分辨率	272
15.5 QuickTime VR	275
第16章 后期制作	282
16.1 后期制作软件	282
16.2 数字合成	287
16.3 多道次渲染 (Multi-Pass Rendering)	300
16.4 准备输出	316
16.5 输出方法	318

第1章 概 述



欢迎阅读本书。这是一本关于如何在Macintosh平台上开展3D设计的书，是软件、硬件、造型、动画和照明技术方面的综合性指南。本书同时也提供了许多有用的提示和技巧，它们可以帮助读者学习有关的知识，成为一名职业的3D设计师。

1.1 新的内容

本节介绍书中所包含的新的主题、动手练习指导和演示软件。

1.2 如何从本书学到最多的东西

本节讨论一些最常提起的问题。读者根据本节中所提供的答案就可以知道，要从本书学到最多的知识，必须具备什么样的知识水平。

1.3 全书概览

对本书作一全面的介绍。这一节描述了本书的编排格式，各章是如何划分的，以及如何运用动手练习指导进行学习。

1.4 关于CD-ROM

本节介绍书中选配光盘的内容和组织方式，简要地说明了光盘中有何东西。从3D软件的演示版本到最流行的共享软件，真正是一览无余。

1.1 新的内容

本书的第二版中已增添了若干新的内容。先从硬件方面来说吧，书中给出了有关多进程计算机的详细信息，可以帮助读者决定选购哪种计算机系统。此外，本书在QuickTime VR方面也添加了完全崭新的一节。该节讨论如何设置3D场景以渲染对象或全景电影，然后介绍如何在MPW中合成文件。

在动手练习指导方面，本书提供了许多值得读者尝试的新项目，特别是在多道次渲染方面。书中先讨论若干种读者可以创建的特殊效果，例如景深、热变形和反射衰减等，然后介绍如何设置3D场景并正确地渲染它们。最重要的是，选配光盘上还给出了后期制作用的After Effects项目文件，它们可以向读者展示如何制造这些美妙的效果。

选配光盘中的内容也有了一些变化。其中添加了许多Electric Image项目文件，它们可用于创建本书中的一些图像。对于那些在设置3D场景方面或许有困难的新用户来说，这些项目文件是极为有价值的。选配光盘中还含有Electric Image的一个演示版本以及Adobe After

Effects的一个演示版本。许多具有动画效果的映射图项目以及后期制作项目都使用After Effects, 因此读者即使没有这些应用程序, 也一样可以完成书中的动手指导练习。

1.2 如何从本书学到最多的东西

1.2.1 本书是关于什么的

本书完全是关于3D的。书中从创建第一个模型开始, 说明了3D的基本原理。其中有些章节讨论纹理映射, 涉及各种可用的映射图以及如何创建读者自己的定制映射图之类的主题。在纹理映射之后, 讨论基本的动画和照明技术, 最后介绍后期制作和特殊效果。

1.2.2 读者必须具备哪些基础知识

本书是针对那些已经熟悉Macintosh计算机的用户的。读者应清楚地了解操作系统和硬件是如何工作的。譬如, 自己能区分RAM和硬驱吗? 能在桌面上创建文件夹吗? 如果读者尚不能回答这些问题, 那么建议在开始阅读本书之前先学一点计算机方面的基础知识。对于那些对计算机知之甚少的读者来说, 现在已有大量的东西可供学习。如果读者认为自己已经熟悉Mac, 那么就非常适合于马上阅读本书了。

1.2.3 需要哪些软件和硬件

软件

读者只需一个3D应用程序。本书的选配光盘上提供了书中每个动手练习指导中所使用的全部模型和纹理映射图, 因此读者甚至不必操心创建自己的! 这些模型是以DXF, 3DMF和form·Z格式保存的, 几乎任何一个3D应用程序都可以输入它们。所有纹理映射图都是以PICT文件格式保存的, 这是Macintosh的标准文件类型。

技巧: 如果读者有PhotoShop、Illustrator和After Effects的拷贝, 那么可以从本书中获益更多。选配光盘上提供了这些软件的不可保存的版本, 读者不妨用它们练练手。

硬件

读者将需要一台计算机。当然, 建议最好使用PowerPC。3D可能是读者在个人微机上将使用的最耗处理器时间的应用程序, 而PowerPC远比68K机器快。

此外, 基本的操作系统应是System 7.5。如果读者现在不在7.5下运行, 应考虑更新一下。计算机应至少有8MB RAM, 至少能够支持16位颜色。不妨参考第3章, 其中给出了硬件和软件推荐方面的讨论。

1.2.4 应具备3D方面的哪些基础知识

与流行的观点恰好相反的是, 3D并非只是少数人才能应用的神秘艺术或魔术, 读者完全可以像大师们那样开展3D设计。所需具备的全部基础知识就是对Strata StudioPro、Specular的Infini-D或Macromedia Extreme之类的3D软件包有非常基本的了解以及学习新东西的欲望和动力。

读者也许会问, 怎样才算对某个程序有了基本的了解呢? 答案是, 读者应熟悉将来要使用的造型工具并熟悉如何使用它们, 还需要知道纹理映射是如何完成的, 动画排序器是如何工作的等。本书并不意图代替3D应用程序的操作手册, 而是对它们作了有益的补充。

除了知道如何使用3D应用程序之外, 对Adobe的Photoshop或Fractal Design的Painter这类的2D图形软件有基本的了解也是很有用的。并且, 对于比较高级的动手练习指导, 对Adobe的Illustrator或Macromedia的FreeHand之类的演示程序有些了解也有好处, 但不是绝对必要的。最后, 对于后期制作工作, 熟悉Adobe的Premiere或After Effects也将是不无益处。但即使读者没有这些程序中的任何一个拷贝, 也不必担心: 本书的选配光盘上提供了不可保存的版本。

1.2.5 应如何使用本书

初学者

使用本书时有两种方法。读者可以一页页地阅读3D应用程序的指导手册, 进行所包含的动手练习, 然后一旦感觉到已比较熟悉该程序, 就可以捧起本书开始阅读了。另一种较好的方法是, 把本书当作应用程序指导手册的补充材料, 先阅读自己的指导手册, 了解应用程序所提供的每一项功能, 然后参考本书以便最充分地利用那些功能。

中级至高级的读者

本书可用作常用的参考书。读者不必一页页地、或以任何特定的次序阅读本书。对于那些已颇有经验、想改善渲染效果质量的读者, 书中提供了数百条技巧和技术。读者可以随便跳到自己感兴趣的章节, 然后阅读自己想知道的内容。

如果一页页地阅读本书, 读者就会注意到, 本书的设计是遵循动画制作所涉及的一般性创造过程的。因此, 读者可以跳过已经熟悉的内容, 然后阅读接下来的章节。即使对于那些最熟练的老用户, 书中也含有大量有价值的信息。如果读者正在研制某个项目, 或在创建某种特殊效果方面正手足无措, 不妨读一读本书。

1.3 全书概览

本书可以分成三部分, 它们分别对应于动画制作的各个发展过程。

1.3.1 第一部分: 第1章~第4章

本书的第一部分简要地介绍3D背后所蕴藏的技术和理论, 以便为读者进入3D动画世界打下良好的基础。其中讨论了硬件和软件选择方面的主要考虑、计算机上3D的本质, 并给出了如何整理和组织自己的想法方面的建议。第二版中已用Genesis MP计算机增添了一些标准结果, 并且为了弄清使用单个、两个和四个处理器配置时渲染场景有多快, 还运行了Electric Image的Animation System。这些数据可以帮助读者决定选购哪种系统。

1.3.2 第二部分: 第5章~第11章

书中的第二部分讨论3D的实用技术, 是全书的心脏和灵魂。这些章节涉及造型、纹理

映射方面的主题，另外也进行了照明方面的探讨。新用户将发现这一部分非常有用，应引起高度重视。

1.3.3 第三部分：第12章～第16章

第三部分是一个大汇总，介绍如何通过动画把运动添加到自己的创意上。这部分讨论如何使用并放置相机以及如何选用合适的渲染算法。书中的最后部分介绍后期制作过程，并给出了一份有关软件开发商的索引。第二版中添加了许多与QuickTime VR和多道次特殊效果渲染有关的新素材。QuickTime VR部分介绍如何在3D中创建然后渲染全景或对象电影的整个过程。

在多道次渲染部分，介绍如何使用该技术制造景深、反射衰减和热变形之类的特殊效果。

1.3.4 章节、动手练习指导和动画

书中各章均分为若干独立的小节。每一节通常由一则简短的讨论或3D方面的解释以及若干动手练习指导组成。在改善自己的3D技能方面，这些动手练习指导是非常重要的。作者的信条是，真知来源于实践。学习并记住信息的最好方法是亲自实践。

动手练习指导以及书中的其余部分都假定读者对于3D应用程序的工作原理已有了基本的了解。动手练习指导涉及大多数3D应用程序中可以获得的主要功能，同时也为不支持这些功能的应用程序提供了若干替代方法。选配光盘上提供了每个动手练习指导的全部源文件，例如模型、纹理甚至一些动画实例。

在每一章的开头可能有“附加的章节要求”之类的标题。意思是，我们有时可能暂不用3D应用程序而采用Photoshop或Premiere之类的另一个程序。在该标题下面，列出了可能要使用的其他程序，以及读者应了解的该程序的具体功能。不必担心，我们通常不会用它们做非常复杂的事情，而且即使做了，书中的动手练习指导也会一步步地给出具体的引导。第二版中已添加了许多新的3D项目文件，作者用它们来创建书中的图像。这些项目文件中的大多数都使用Electric Image格式。此外，动画已经改成与第一版不同的格式：现在的电影都是以QuickTime格式保存的，确保几乎与所有计算机系统都兼容。选配光盘中还含有与许多动手练习指导相对应的After Effects项目文件。

1.4 关于选配光盘

本书有一张选配CD-ROM，其中包含下述内容：

- 书中所有插图的彩色版本
- 每个动手练习指导的全部模型和纹理映射图
- 示例动画
- 取自于主要开发商的一系列3D软件
- 第二版中新添加的内容：Electric Image和After Effects的演示版本

CD-ROM上的软件库提供了一些当今可以获得的最流行的3D应用程序的不可保存的演

示版本，同时也包含DeBabelizer的一些功能有限的版本以及若干功能强大的3D共享软件应用程序。

1.4.1 格式

CD-ROM上的所有信息都是针对Macintosh计算机配置的，因此读者需要有一台能读取这些文件的Mac计算机。因为每一章通常都安排有一系列动手练习指导，所以不可避免地会存在文件格式和程序间兼容性问题。虽然并非每个人都使用相同的3D应用程序，但不必担心，书中已对此给予了特别的注意。

模型

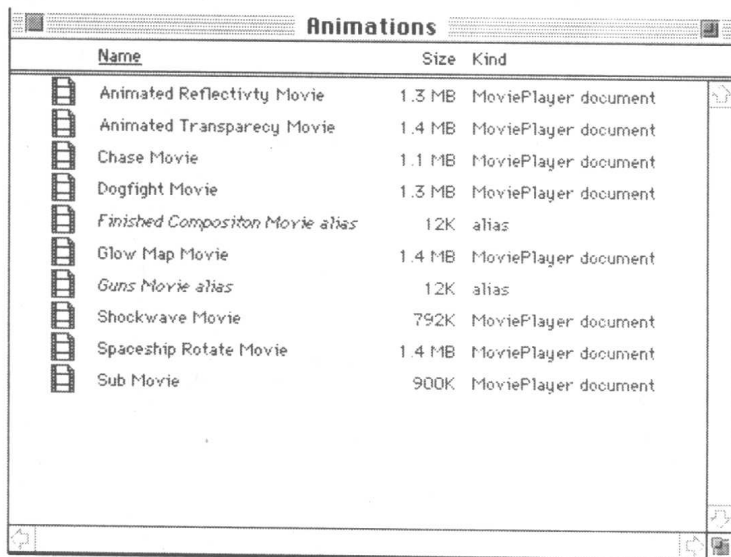
每个3D模型都是用两种不同类型的常用文件格式保存的：DXF和3DMF。读者的3D应用程序或许可以读取其中的一种，或许两者都可以读取。此外，大多数造型工作都是在auto•des•sys的form•Z中完成的，所以也包含了那种文件格式。

纹理映射图

所有纹理映射图均是以24位的PICT文件格式保存的。在Mac上，这是一种标准的文件格式。任何图形程序都将可以输入和操作PICT图像。所有Illustrator文件都已经保存成.EPS文档，确保应用程序之间具有完全的兼容性。

动画

CD-ROM上包含的动画均是以使用QuickTime格式的Animation或Cinepac.codec压缩的。但注意在这些动画中，没有一个是按从CD-ROM中直接播放而制作的。建议先把合适的文件复制到自己的硬盘上然后再播放，这样可以确保获得最佳的播放效果。



Name	Size	Kind
Animated Reflectivty Movie	1.3 MB	MoviePlayer document
Animated Transparency Movie	1.4 MB	MoviePlayer document
Chase Movie	1.1 MB	MoviePlayer document
Dogfight Movie	1.3 MB	MoviePlayer document
Finished Compositon Movie alias	12K	alias
Glow Map Movie	1.4 MB	MoviePlayer document
Guns Movie alias	12K	alias
Shockwave Movie	792K	MoviePlayer document
Spaceship Rotate Movie	1.4 MB	MoviePlayer document
Sub Movie	900K	MoviePlayer document

图1.1 CD-ROM上包含的动画是与书中的许多动手练习相对应的。
所有文件的格式均为QuickTime，可以在硬盘上播放它们

1.4.2 CD-ROM

书中所有插图的彩色图像以及全部的动手练习指导都放在选配光盘上名为Tutorials & Color Images的文件夹中（如图1.2所示）。文件夹内含有完成每个动手练习指导所必需的源文件。

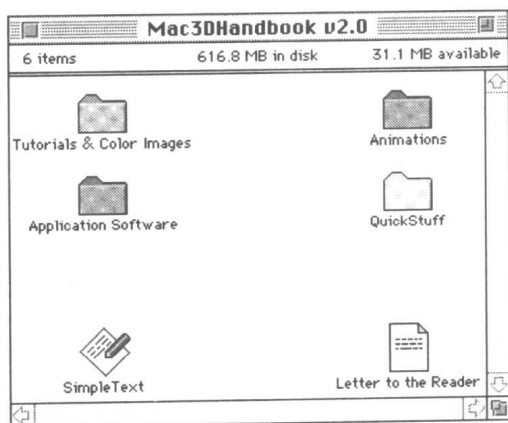


图1.2 本书选配的CD-ROM中含有动手练习指导、彩色图像和若干动画文件

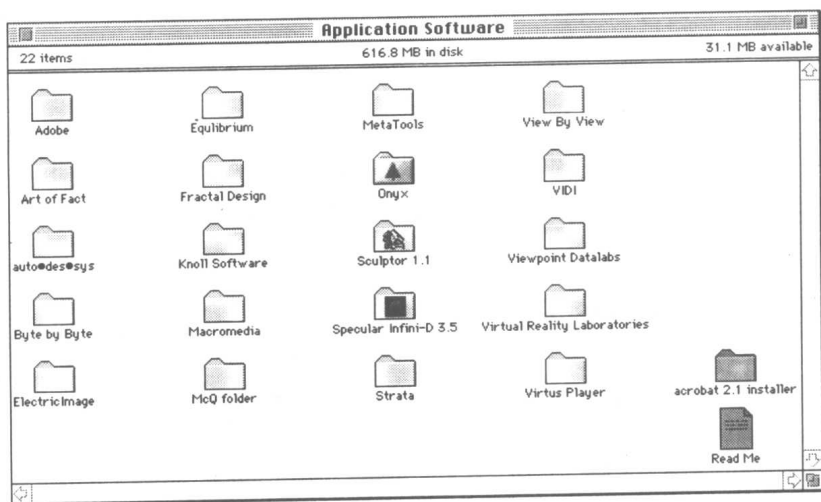
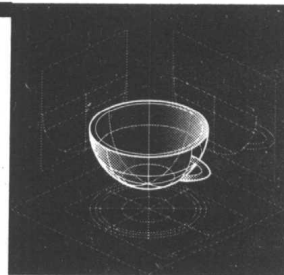


图1.3 CD-ROM中还包含许多不可保存的和共享的3D应用程序

CD-ROM中还含有若干以QuickTime格式保存的动画。这些动画对应于书中的各个动手练习。在名为Application Software的文件夹中，含有若干最流行的3D应用程序的测试版。其中也有一些功能完整的共享软件，例如Terrainman。读者可以用它根据2D灰度图像创建地形。

第2章 什么是3D



大概每个人都曾在电视上看到过令人瞠目结舌的特殊效果，或曾听到各种媒体漫无边际地谈论计算机生成的图形，但一般人往往并不确切地知道这种技术的原理。有种流行的错误观点认为，3D动画制作方面的巨大工作量完全是由计算机代劳的。不幸的是，人们并不能直接告诉计算机让它作出一幅全息图。实际上，3D设计是一个非常费时的多学科领域，仅学习基本知识就足以吓跑大多数意志顽强的人。

在计算机世界中，3D设计多年来一直笼罩着神秘的气氛。用布尔功能和反向运动学之类的无用术语或技术称谓使这门技术变得过分复杂化，计算机的高手们负有不可推卸的责任。对3D技术知之不多的人们被引入茫茫黑暗中，在闪烁着的显示器周围缩成一团，听信着这样一种无休止的夸夸其谈：个人计算机不是一个可行的3D平台，永远都不能制作出他们在电视和电影中看到的那些图形。这正是写作本书的目的。请相信，利用计算机还是可以做一些字处理和电子报表之外的事情的。但为了能够制作3D动画，必须先了解动画和3D的原理。

2.1 视觉暂留

本节摘要介绍动态画面所造成的幻觉及解释如何使动画运动起来。

2.2 制作动画的步骤

本节介绍制作动画的一般步骤及延时的意义。

2.3 3D的用途

3D不仅仅可用于动画。本节介绍3D在图形图像领域的其它用途。

2.1 视觉暂留

虽然现代人已经不是生活在亚马逊丛林深处的原始人，但大多数人仍深信电视或电影中的图像确实是动的。他们认为，在那个魔术盒内有小人在四处走动。甚至读者的猫也会认为电视机里有小动物或人，但我们却应更为清楚。

我们在电影屏幕上看到的实际上是一系列快速变化的图片，它们在我们眼前以每秒24幅图片或帧的速率刷新。由于一种称为视觉暂留的神奇现象，使屏幕上的图片看上去象是在运动。

我们的眼睛会暂时记住前一帧图像的痕迹，随着一帧一帧依次播放，图像就会显得运动起来。这有点类似于老式的快翻书，用手指翻动一下，就可以使上面的图像看上去象是在跳舞。