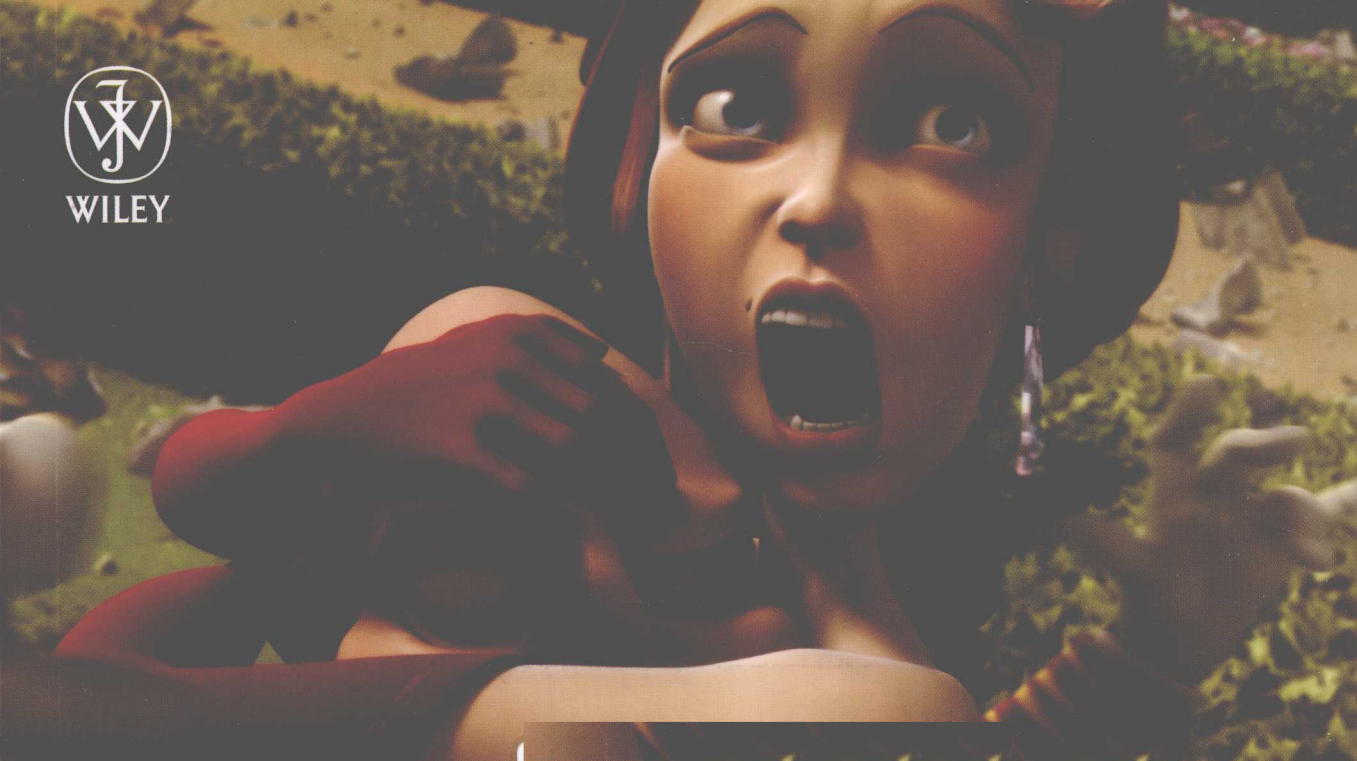




3D动画与特效制作艺术

迪士尼、梦工厂、皮克斯等各大知名动画公司倾情推荐

[美] Isaac Kerlow 著
陈宝国 红然 译

3D动画 与特效制作艺术

[美] Isaac Kerlow 著

陈宝国 红然 译

人民邮电出版社

北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

3D动画与特效制作艺术 / (美) 克罗 (Kerlow, I.)
著; 陈宝国, 红然译. — 北京: 人民邮电出版社,
2010.8

ISBN 978-7-115-23283-0

I. ①3… II. ①克… ②陈… ③红… III. ①三维—
动画—计算机图形学 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第116416号

版 权 声 明

ISAAC KERLOW

THE ART OF 3D COMPUTER ANIMATION AND EFFECTS 4TH EDITION

Copyright © 2009 by Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana

All rights reserved. This translation published under license.

Authorized translation from the English language edition published by Wiley Publishing, Inc..

本书中文简体字版由 Wiley Publishing 公司授权人民邮电出版社出版, 专有版权属于人民邮电出版社。

内 容 提 要

计算机三维动画技术是利用相关计算机软件, 通过三维建模、赋予材质、模拟场景、模拟灯光、模拟摄像镜头、创造运动和链接、动画渲染等功能, 实时制造立体动画效果和可以乱真的虚拟影像, 将创意形象化为可视画面的新一代影视及多媒体特技制作技术。本书全面介绍了三维计算机动画艺术的各个方面, 首先介绍了计算机动画技术和视觉效果的发展历程, 然后介绍三维物体和环境的建模技术, 接着介绍渲染的概念和技术。此外, 还讲解了计算机动画拍摄中相机和镜头的基本知识。最后, 本书探讨了动画制作中的光照、着色和特效。

本书结构严谨、组织清晰, 而且图文并茂、指导性强, 适合各个层次的人学习。如果您正在学习计算机动画制作, 本书可以提供关于建模、渲染等计算机动画制作技术的基本特征和功能; 如果您是具有一定经验的动画制作专家, 那么本书将是您的必备参考资料。

3D 动画与特效制作艺术

- ◆ 著 [美] Isaac Kerlow
- 译 陈宝国 红 然
- 责任编辑 陈 昇
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京精彩雅恒印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 24
字数: 902 千字 2010 年 8 月第 1 版
印数: 1—4 000 册 2010 年 8 月北京第 1 次印刷
著作权合同登记号 图字: 01-2010-3410 号

ISBN 978-7-115-23283-0

定价: 99.00 元

读者服务热线: (010)67132705 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154



谨将此书献给 ESTHER 和 SERGIO KERLOW





进化的虚拟生物的黑色和白色线条渲染。(Karl Sims 提供, Thinking Machines Corp.)

《冰河世纪》中固定风格的环境为戏剧化的动作构筑了框架。(© 2002 20 世纪福克斯版权所有)

前言

本书第4版包含了许多更新和补充内容,可以处理三维计算机动画师、技术主管和视觉效果艺术家所面对的专业现实问题。自本书1996年首次出版以来,这一领域已经发生了很大变化,其中许多变化已经使一些领域转变成了主流和成熟的行业,而这些领域起初只是作为专业化的新鲜事物出现。

21世纪的第一个10年中发生了多个具有里程碑意义的事件。台式计算机和显卡在如今的计算机动画制作中占主要地位,而在以前,这一领域由高端(和高价)的工作站占据。计算机网络和互联网,包括万维网上的流媒体,在此期间也发展到无所不在。带有大量引人入胜的三维计算机动画和视觉效果实景长片在成倍增加。现在,游戏机的强大图形处理能力可以渲染复杂的实时影像。高清数字视频是制作电影的可行方法,全数字影院也在继续向前发展。在世界范围内,由计算机动画和学习电影制作的学生所创作的作品质量在不断提高,学生的短片赢得了无数著名奖项。本书中包括以下一些新内容。

- 新增了一些篇幅,集中介绍创造性开发、故事、视觉样式和角色。
- 有关新的制作流程的信息。
- 扩充了计算机动画、视觉效果和技术(包括最近几年)的流行历史大事记年表。
- 超过300幅带有大量说明的新彩色图像,其中包括来自澳大利亚、克罗地亚、捷克、芬兰、印度、以色列和南非的新作品,以及好莱坞电影制片厂的新作品和比利时、加拿大、中国、丹麦、英国、法国、德国、日本、韩国、新西兰、挪威、波兰、西班牙、瑞士和美国的个人、制作公司的新作品。

- 新的动漫原理。
- 更新了动画章节,这些章节重点讲解传统动画原理与数字工艺的融合。
- 有关如何提高项目的艺术和技术质量的大量提示。
- 有关最新的风格趋势和技术的最新技术信息。
- 网站 www.artof3d.com 上包含本书中的部分内容,仅供在线阅读,例如很多人读过的《数字艺术家的十大要诀》以及其他有用的资源。

本书的范围

要完全记录和提供这一话题包含的所有主题和技术将需要大量工作。本书并不妄求去做这样的工作。为了使本书内容不受特定计算机程序的约束,同时又能提供详细、超越单纯理论的实用信息,我们付出了巨大的努力。本书中包含的知识是从多年的创作经验、各种软件程序的使用和教学、阅读无数的软件手册以及从实践和错误中提炼而来。希望本书内容可以帮助您尽量减少犯错并提供从错误中恢复的工具。欢迎您进行艺术创作。

如何阅读本书

掌握三维计算机动画和效果这门艺术及其制作可以有不同的方法。同样,也可以用多种方式阅读本书。

对于喜欢系统阅读的人,建议按由前向后的顺序阅读,并参考插图,以补充正文中提到的知识。对于那些喜欢在实践中学习或者等不及从头到尾阅读整本书的人,最好首先看一看插图。但欣赏插图的时候不要忘记阅读标题。标题中包含许多有用的信息。您可能想阅读书中的某一些章节,以作为软件手册中详细步骤说明的补充。本书中包含的一些信息在手册中很难找到,

实验课程的教师也很少提到。这些信息最初看起来没有那么重要，但是能帮助您完成从软件的熟练操作者（按按钮者）到具有创造性的数字动画师或艺术家的转变。

与软件一起使用本书

当您学习和试用特定的三维程序时或者在利用程序进行学习，并且没有实际的工作时，可以阅读本书。对于那些在开始学习实际动手部分之前喜欢通过阅读进行学习的人，本书提供了大量理论和实践参考的全面介绍。喜欢直接钻研特定计算机程序细节（并且事后进行阅读）的人将会发现本书以简洁的方式提供明确的解释，作为通过实验方法进行学习的补充。最后一个要点是，对于那些通过实验和概念理解相结合可以很好学习的人，本书提供了一种内容逐渐深入的方法，这比软件手册中介绍的方法要好。

本书的编排

本书包括5个部分，每一部分包含若干章。第1部分介绍计算机动画的发展历程和一般创造性开发和制作问题。本部分包含主要的创作和技术趋势的概述、计算机动画和视觉效果里程碑的简述以及关于项目制作计划的建议。绪论部分可以使您像历史学家、电影评论家和制片人一样思考问题。第2部分直接进入对三维物体和环境进行建模的细节讨论之中。建模部分可以使您像雕塑家一样思考问题。第3部分介绍许多最有用的渲染技术，既包括简单的又包括复杂的渲染。渲染部分可以使您像摄影师和画家一样思考问题。第4部分首先处理许多问题，它们都与通过表演、活动图像和视觉效果来叙事有关：基本剧本的编写、故事板的制作以及使动画角色变得栩栩如生的表演技术。动画部分可以使您像演员、编剧和摄影师一样思考问题。最后一部分介绍与录制和展示作品有关的问题，包括排序和合成。本部分让您像编辑以及在观众面前要花招的魔术师

一样思考问题。

本书包括的内容

本书致力于启发读者和向读者提供资料。书中介绍了理解三维计算机动画完全渲染的步骤和程序所需的概念。书中已制作了许多插图，以使用清晰和易于理解的方式介绍复杂的概念。我们已经做了大量努力，使本书的结构和细节包含尽可能丰富的内容：对许多软件程序和硬件平台进行了测试和评论，以便读者可以看到一致的论述和观点。本书的主要目标是通过一种独特的技术和创意组合让读者打下坚实的动画基础。

本书不包括的内容

本书不是计算机软件手册。它不以特定的软件程序为基础。对于想获得有关特定软件的详细操作或特定技术实现信息的读者，建议去查阅有关的软件手册。本书不是对计算机使用的一般介绍。我们假定读者已经熟悉计算机系统的基本使用，或者假定读者正在其他地方获得计算机的使用知识。使用过计算机或者对计算机系统的操作有基本了解的读者很可能比以前从未使用过计算机的读者更快地从本书中获益。

关于软件手册

按照软件手册操作有时很乏味，并且很快它们就会过时。如果考虑到软件的复杂性、功能的不断升级、软件和相关手册较短的开发生产周期以及要在竞争激烈的市场中将它们转变为实用和高效的产品，就不会对软件手册很快就会过时这一点感到奇怪。

我既当过软件手册的使用者，又当过软件用户手册的作者，因此对双方经历的挫折比较熟悉。现在的三维软件如此复杂并且不断在变化，以至于我们不能指望手册对每个软件的信息都能很好地融会贯通和更新。建议您使用软件手册中有

用的信息并将其作为基础。成为熟练的数字动画师和技术专家所需的一些细节信息可以在手册中找到。另外一些是从实践、试验和错误中获得的，或者通过阅读图书及杂志以及向比自己更有经验的个人请教而获得。学习需要努力。

一般原则与具体方法

本书介绍的大多数技术都可以在市场上销售的三维软件程序中找到。但本书并没有通过建模、渲染、动画和输出技术在计算机系统实现的方式来描绘这些技术，而是着眼于它们的基本特性和功能。具体的实现技术（不同系统的实现是不同的）未被论及。如果您想获得有关本书中提及的特定计算机系统的具体信息，建议查阅特定软件的参考手册。

致谢

书中包含的许多创意是在多年

的三维计算机动画和效果艺术的实践与教学中形成的。

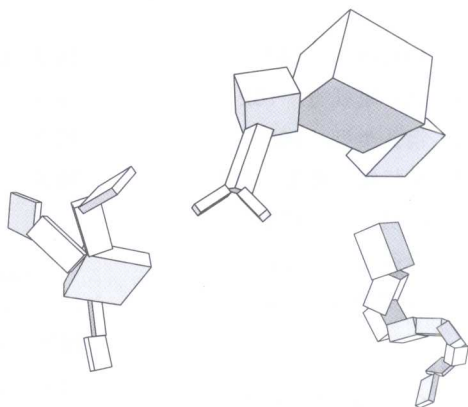
感谢对完成本书做出贡献的朋友和同事，特别感谢允许我在此处复制他们令人惊叹的作品的每个人和每家公司。特别感谢梦工厂动画公司和模糊工作室允许我将它们的作品放在封面上。感谢新加坡南洋理工大学的公休假。感谢我的编辑 Margaret Cummins 和 Diana Cisek 以及 John Wiley & Sons 整个团队的职业精神。

我希望学生、独立动画师和制作公司的成员觉得本书是有用的，并能帮助他们实现创作目标。享受创作的乐趣吧！

La Coruña, Hollywood 和
Orillamar



目 录



第 1 部分 绪论

第 1 章

动画和视觉 效果的背景 3

概要 3

- 1.1 数字创意环境 3
- 1.2 技术的发展 4
- 1.3 视觉重大事件：
1960 ~ 1989 年 12
- 1.4 视觉重大事件：
1990 ~ 1999 年 17
- 1.5 视觉重大事件：
2000 年 ~ 今 24
- 1.6 大事记年表 28
- 1.7 主要术语 40

第 2 章

创作开发与数字处理 41

概要 41

- 2.1 叙事 41
- 2.2 角色设计 48
- 2.3 视觉与外观开发 49
- 2.4 制作策略 50
- 2.5 数字计算机动画工作室 53
- 2.6 创作、技术和制作团队 56
- 2.7 计算机动画制作过程 61
- 2.8 开始工作 71
- 2.9 主要术语 74

第 2 部分 建模

第 3 章

建模概念 77

概要 77

- 3.1 空间、物体和结构 77
- 3.2 使用数值进行构建 80
- 3.3 顶点、边和面 80
- 3.4 移动物体 82
- 3.5 用于建模的文件格式 86
- 3.6 准备就绪 89
- 3.7 主要术语 94

第 4 章

建模技术 95

概要 95

- 4.1 引言 95
- 4.2 曲线 95
- 4.3 几何图元 98
- 4.4 扫掠 99
- 4.5 自由物体 101
- 4.6 基本建模工具 105
- 4.7 实时多边形模型 108
- 4.8 主要术语 112

第 5 章

高级建模和搭建技术 113

概要 113

- 5.1 自由曲面 113
- 5.2 细分面 117

- 5.3 逻辑运算符和修剪表面 118

- 5.4 高级建模工具 119

- 5.5 过程描述和物理模拟 120

- 5.6 摄影制图法和
基于图像的建模 126

- 5.7 动画搭建和层次结构 127

- 5.8 准备就绪 130

- 5.9 主要术语 132

第 3 部分 渲染

第 6 章

渲染的概念 135

概要 135

- 6.1 灯光、相机和材质 135
- 6.2 颜色模式 137
- 6.3 渲染步骤 140
- 6.4 隐藏表面移除 141
- 6.5 Z 缓存 141
- 6.6 光线追踪 142
- 6.7 全局照明和光能传递 143
- 6.8 基于图像的光照 145
- 6.9 非真彩渲染 149
- 6.10 硬件渲染 151
- 6.11 渲染图像的文件格式 154
- 6.12 准备就绪 155
- 6.13 主要术语 159

第 7 章

相机 161

概要 161

7.1 相机类型	161
7.2 金字塔视觉	162
7.3 镜头类型	166
7.4 相机镜头类型	169
7.5 相机动画	171
7.6 准备就绪	172
7.7 主要术语	174

第8章

光照 175

概述	175
8.1 光照策略和氛围	175
8.2 光源类型	180
8.3 光源的基本组件	181
8.4 场景中的光照	186
8.5 光源基本位置	189
8.6 准备就绪	192
8.7 主要术语	195

第9章

着色和曲面特征 197

概要	197
9.1 表面着色技术	197
9.2 表面明暗器和多重渲染	199
9.3 图像映射	201
9.4 表面反射率	209
9.5 表面颜色	214
9.6 表面纹理	215
9.7 表面透明度	218
9.8 与环境有关的着色	219
9.9 准备就绪	222
9.10 主要术语	226

第4部分 动画与特效

第10章

动画准则 229

概要	229
10.1 动画工艺	229
10.2 12条准则	236

10.3 6条附加准则	240
10.4 角色开发	245
10.5 故事板	252
10.6 主要术语	255

第11章

计算机动画技术 257

概要	257
11.1 关键帧插值和参数曲线	257
11.2 正向运动和模型动画	260
11.3 相机动画	264
11.4 灯光动画	268
11.5 层次角色动画	270
11.6 二维和三维的集成	272
11.7 动画文件格式	275
11.8 准备就绪	275
11.9 主要术语	277

第12章

高级计算机动画技术 279

概要	279
12.1 逆向运动	279
12.2 表演动画和运动捕捉	282
12.3 动力学模拟	288
12.4 过程动画	294
12.5 面部动画	298
12.6 群组动画	305
12.7 交互式动画	306
12.8 主要术语	310

第13章

视觉效果技术 311

概要	311
13.1 数字视觉效果的基本概念	311
13.2 相机跟踪	317
13.3 转描	318
13.4 蓝屏和绿屏	319
13.5 片场和人物扩展	321
13.6 计算机生成的粒子	323
13.7 人群复制	324

13.8 三维变形	325
13.9 运动控制	325
13.10 运动捕捉和虚拟角色	325
13.11 摄影测量法	325
13.12 实际效果	326
13.13 主要术语	329

第5部分 合成和输出

第14章

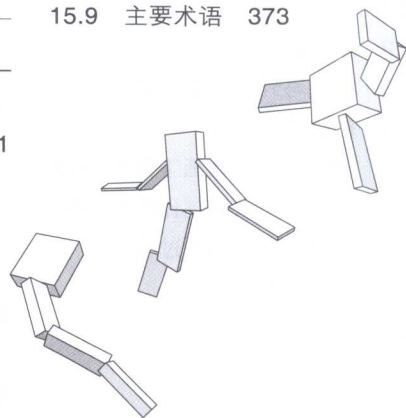
修饰、合成和输出 333

概要	333
14.1 图像操纵的基本概念	333
14.2 图像修饰	339
14.3 图像合成和混合	343
14.4 图像排序	348
14.5 颜色分级	350
14.6 主要术语	353

第15章

图像分辨率和输出 355

概要	355
15.1 数字输出的基本概念	355
15.2 图像分辨率	356
15.3 图像文件格式和纵横比	360
15.4 纸质输出	365
15.5 摄影媒体输出	366
15.6 视频媒介输出	367
15.7 数字媒体输出	369
15.8 三维媒体输出	371
15.9 主要术语	373



第 1 部分

绪论

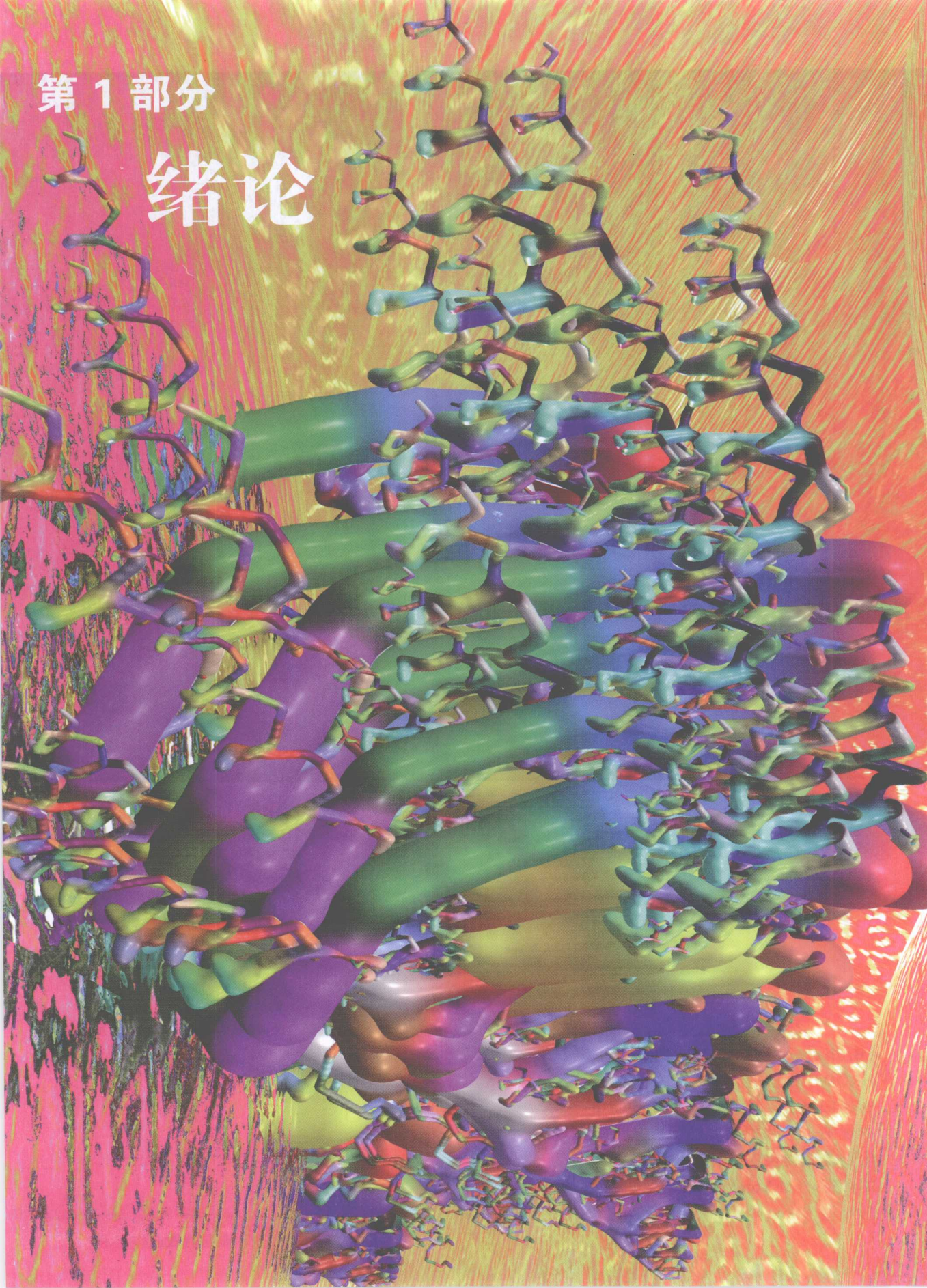




图 1.1.1 《顽皮跳跳灯》呈现了一盏跳跳灯寻求更大挑战的迷人场景。由约翰·拉赛特导演的这个短片是三维计算机动画中的力作，因为它是首次尝试并成功表现很多动画传统原则的短片之一。(© 皮克斯动画工作室)

《Brillia》是用 GROWTH 创建的。GROWTH 是一个培育复杂生命体的递归算法。该软件重复一些简单的规则，这些规则能够生成从海洋生物处获得灵感所创作的稀奇古怪的形态。(© Yoichiro Kawaguchi)

第 1 章 动画和视觉效果背景

概要

这里的简要历史信息提供了一个历史背景，方便读者在该背景下讨论与三维计算机动画和视觉效果相关的技术和风格。同时本章也概述了推进三维计算机动画和数字视觉效果技术创新与发展的项目和事件。

1.1 数字创意环境

在以往任何时候，计算机在我们的生活中都未如此重要，特别是在创作、生产和职业生活方面，它们无处不在：在金融交易中调节信息流，在电话会话中数字化声音并过滤噪声，在汽车中控制燃油喷射系统，而在相机和摄像机中它们调整设置以便获得最佳的图像质量。现今的视觉职业和行业内的绝大多数工作都要求有一定程度的计算机操作能力。许多广播、制造业、印刷技术和娱乐业的产品都已实现了计算机化。同样，很多独立艺术家和设计工作室都使用计算机进行创作并经常以数字格式交付工作成果。

这种对计算机系统日益依赖的趋势影响着很多创作者和技术员。很多高级视觉专业人员都需要接受再培训以学到新技能，而年轻的学生们都渴望学习其中的奥秘和捷径。这些期望从明智到荒谬，不一而足。例如，因为动画制作世界正在发生变化，那些完全抗拒变化的人就会被超越，但那些热情过度的人往往会有不切实际的期望。要寻找这样一个平衡点：既要接受计算机技术带来的好处，又要保留和发展从传统从业者处继承而来的知识。

现在的很多创作和图像产品实际上都是借助计算机完成的。来自众多视觉学科的专业人员越来越多地使用数字信息来工作。一些基于素描、着色、摄影和视频技术的传统视觉实践都与数字图像技术融合在了一起。过去作为完全独立和毫不相关的学科存在的创意环境（每个学科都有各自的工具、技术和媒介）如今正在转变成一个新的环境。在这个环境中，视觉从业人员可以使用涵盖不同媒介的工具与技术。因而视觉学科中的一些顽疾也就不复存在了。例如，动画、平面造型艺术、广播和电影等领域之间的重叠。数字创意环境促进了这种重叠，因为计算机技术让视觉从业人员的创造力更为强大。例如，几十年前，视觉专业人员常常购买专业性的工具，这些工具专门为他们这一职业而设计，在完成其专业领域的工作时非常有用，但在其他领域中却并非如此。例如，摄影师会使用相机来拍摄电影场景，传统的动画师会使用铅笔和看版台在纸上创作动画序列的素描。和其他很多创作专业人员一样，现在的摄影师和动画师将计算机作为共同的工具，通过载入专业软件来开展专属于自己的工作。

前数字时期的动画与特效

对于今天的很多人而言，很难想象仅仅数十年以前，所有的动画、特



本章要点

1.1	数字创意环境	3
1.2	技术的发展	4
1.3	视觉重大事件： 1960 ~ 1989 年	12
1.4	视觉重大事件： 1990 ~ 1999 年	17
1.5	视觉重大事件： 2000 ~ 今	24
1.6	大事记年表	28
1.7	主要术语	40

(顶端图《霍元甲》蓝屏镜头。
图像由 Menfond Electronic Art &
Computer Design Co. Ltd. 提供)

迪士尼未用数字技术的动画片

1937 《白雪公主》
1940 《木偶奇遇记》
1940 《幻想曲》
1941 《小飞象》
1942 《小鹿斑比》
1943 《致候吾友》
1945 《三骑士》
1946 《为我谱上乐章》
1947 《米奇与魔豆》
1948 《旋律时光》
1949 《伊老师与小蟾蜍大冒险》
1950 《仙履奇缘》
1951 《爱丽丝梦游仙境》
1953 《小飞侠》
1955 《小姐与流氓》
1959 《睡美人》
1961 《101 忠狗》
1963 《石中剑》
1967 《森林王子》
1970 《猫儿历险记》
1973 《罗宾汉》
1977 《小维尼熊历险记》
1977 《就难小英雄》
1981 《狐狸与猎狗》

图 1.1.2 华特迪士尼影视制作公司于 1937 年创作了第一部彩色动画电影并称霸动画电影市场几十年。这些电影都是在计算机动画技术出现之前创作出来的

效和文娱节目通常都不使用任何类型的计算机或数字技术进行制作、发行和消费，当时的确如此。首个全三维计算机动画独立短片之一，John Lasseter 的《顽皮跳跳灯》于 1986 年上映（图 1.1.1），而首部全三维计算机动画特效电影，皮克斯的《玩具总动员》于 1995 年上映（图 12.1.1）。

在期待试验新的建模、渲染和动画技术的同时，铭记那些动画先驱们的创新也是非常有意义的，这些先驱们发展了角色卡通动画片并开创了拼贴、剪切、上蜡、针头阴影、物体和抽象水墨动画等方法。例如，纽约和好莱坞的动画大师们创作了大力水手、调皮啄木鸟、邦尼兔、猫和老鼠和米老鼠等形象并发布了一部又一部滑稽故事，娱乐了观众。这些动画大师包括 Max Fleischer、Walt Disney、Walter Lantz、Tex Avery、Friz Freleng、Chuck Jones 和在他们的工作室工作的很多天才动画师。试验动画大师包括法国的 Léopold Survage（和 Alexander Alexeieff，德国的 Hans Richter、Oskar Fischinger 和 Lotte Reininger，加拿大的 Norman McLaren，以及美国的 Claire Parker、John Whitney, Sr. 使得动画电影流行的迪士尼经典动画片系列创作于 20 世纪 30 年代晚期和 20 世纪 40 年代（图 1.1.2）。第 10 章提及的著名的动画设计 12 条原则在同一时期（计算机动画出现 50 年前）也由迪士尼动画师们提出并在他们的动画工作室中应用（图 1.1.3）。

当我们寻求新的数字视觉效果时，应当记得 1939 年好莱坞的电影艺术和科学研究院在奖励计划中（Academy of Motion Picture Arts and Sciences, AMPAS）设立了特效奖（Special Effects），在 1964 年和 1971 年间此奖项更名为特别视觉效果奖（Special Visual Effects），1972 年和 1976 年间视觉效果奖项改名为特别成就奖，这个奖项并不是每一届都必须颁发的。从那时起这个奖项通常被称为最佳视觉效果奖。1939 ~ 2003 年间的获奖者名单已经在本章最后的大事年表中列出。

如果回溯的更远一些，只将三维计算机动画当成一种展望，就会发现，《玩具总动员》发行于 101 年前的 1894 年，在纽约第一家活动电影放映营业厅首映。这个事件是托马斯·阿尔瓦·爱迪生和他的助手 William K. Dickinson 改良一些装置的劳动成果，改良的装置用于创建运动图像，最重要的是同时记录声音和运动。爱迪生和他的助手开发了活动电影放映机（希腊语中意为“运动中观看”），它是一个密封的盒子，内有 50 英尺长的电影循环片，可从一个开口处观看。有少数活动电影放映机装备了耳机，能够听到同步的音乐，这些活动电影放映机被称为有声活动电影机。几年后，在大西洋的另一端，1900 年巴黎展会期间，由一台蒸汽机推动的机械平台呈现了带有现实和虚拟场景的全景乘坐装置。这种 19 世纪末，非常流行的全景乘坐装置是虚拟乘坐装置和场地娱乐的原型。回顾过去，可以非常清晰的看到，活动电影放映机衍生了很多其他电影观看系统和播放系统，这些系统促进了电影及其远亲——动画这种第七艺术的成长壮大。

1.2 技术的发展

计算机，特别是它们的视觉处理能力，深深地影响着创作和图像分发方式。但是今天看起来非常普通（每个人都会这么想）的强大的计算机系统其实存在的时间较短。

现代数字电子计算机的祖先是用于执行重复算术计算的机械加法器。那些早期的机械装置最终发展成每次能通过编程完成不同指令集的机器。20 世纪 40 年代，这些计算机的电动版开始投入使用。

早期的计算机雏形称为大型机，因为它们的所有大型元件放置在大的钢铁结构中。20 世纪 60 年代开发了两种类型的计算机。新开发的小型机与大型机相比更小更廉价，但功能却同样强大，其开发目的是使计算机的用户和应用领域更为广泛；而新开发的超级计算机与大型机相比更大更昂贵，

其开发目的是应对最为繁重的计算工程，仅关注速度与性能，而不计成本。

在 20 世纪 70 年代中期以前，绝大多数艺术家对计算机毫无兴趣，这些计算机成本昂贵，操作步骤繁琐，甚至最简单的任务都需要进行大量的编程。绝大部分机型都没有监视器、打印机、鼠标和图形输入板。微型计算机于 20 世纪 70 年代中期开发，在单个硅片上集成了数以百万计的微电子开关。20 世纪 80 年代，一些早期的微型计算机，例如，苹果的 Macintosh、Amiga 系列和基于 Intel 的一系列个人计算机，就受到了视觉专业人员的普遍追捧。今天很多功能强大的微型计算机体积非常小，甚至能够置于手提包或公文包中。那些袖珍型计算机对专业图像创作而言能力有限，但很多计算机在显示不同质量的运动图像方面已经足够好了。超微型计算机和并行计算机于 20 世纪 80 年代开发，对视觉从业人员应用计算机的方式产生了很大的影响。超微型计算机，也称为工作站，是构建在定制的强大的 CPU 之上的微型计算机，它擅长完成特定任务，例如三维计算机动画。大规模并行计算机通过将任务分解，在数目众多的更小的微处理器上完成计算，从而完成非常复杂的处理任务。并行计算机含有的处理器数目从几十个到几千个不等。

计算机图形技术于 20 世纪 50 年代早期开始发展，其目的是使人眼不可见的图形能被人观察到。在早期，这些装置大都与军事、制造或应用科学相关，包括飞行模拟器之类，用于不驾驶真实的飞机来训练战斗机飞行员；计算机辅助设计与制造（CADAM）系统使得电气工程师能够设计和测试拥有数百万个元件的电子电路，而计算机辅助断层分析（CAT）扫描仪使医生无需在物理上打开人体结构就可以观察到人体内部。但这些早期计算机图形系统在艺术工作方面并未得到发展。

20 世纪 50 年代和 60 年代，计算机图形技术发展的早期，计算机系统和技术在图像创作方面尚未成熟，局限性很强，特别是以今天的标准来衡量。那时，甚至很少有艺术家和设计师知道计算机能够用于创作图像。

在 20 世纪 70 年代和 80 年代，计算机技术变得更为实用，许多的视觉创作者开始对使用计算机感兴趣。在 20 世纪 90 年代，计算机价格显著下降，而计算能力显著提升。这种情形鼓励了很多视觉专业人员购买这种技术，并将其融入他们的日常专业实践中。计算机技术变得越来越强大，越来越实用，也越来越廉价，使得来自所有视觉学科的专业人员都接受了计算机技术。按照惯例，计算机动画和相关应用领域很多主要的技术创新都会在 SIGGRAPH 年会中介绍。SIGGRAPH 由美国计算机协会（ACM）计算机图形学专业组（SIGGRAPH）主办，自 20 世纪 60 年代以来，已经成为计算机动画领域里最具影响力的专业组织。图 1.2.1 列出了自奖项设置以来 SIGGRAPH 颁发的国际计算机动画项目奖项。表中还列出了一些 SIGGRAPH 奖项中获得计算机图形领域认可的计算机科学和工程创始人。这些技术创始人的部分研究论文和创新可在会议学报中找到。

自从 20 世纪 50 年代开发出首个系统以来，创作三维图像与动画所必须的计算机技术发展速度惊人。仅在几十年间，用于创作三维环境的软件和硬件能力从简单的表示发展成常常能够蒙骗我们视觉感知的高度复杂表示。

描述完全的三维计算机图形技术和创作的历史需要占用大量篇幅，但本章接下来所介绍的信息概述了一些最精彩的部分和划时代的事件。本章的介绍并不详尽，也没有对所有有意义的事件做出完全而详尽的描述，而是仅提供了个例的记述和对主要趋势的总结。

1.2.1 技术的发展：20 世纪 50 年代和 20 世纪 60 年代

在 20 世纪 50 年代和 20 世纪 60 年代，可看到首个交互式计算机系统

迪士尼使用数字技术的动画片

1985	《黑神锅传奇》
1986	《妙妙探》
1988	《奥丽华历险记》
1989	《小美人鱼》
1990	《就难小英雄澳洲历险记》
1991	《美女与野兽》
1992	《阿拉丁》
1994	《狮子王》和《贾方复仇记》*
1995	《风中奇缘》和《高飞狗》*
1996	《钟楼怪人》、《阿拉丁和大盗之王》*
1997	《大力士》
1998	《花木兰》
1999	《泰山》
1999	《幻想曲 2000》
2000	《变身国王》、《恐龙》和《跳跳虎历险记》*
2001	《失落的帝国》和《下课》*
2002	《星际宝贝》、《星银岛》和《梦不落帝国》*
2003	《熊的传说》、《森林王子 2》* 和《小猪大电影》
2004	《放牛吃草》和《花木兰 2》*
2005	《四眼天鸡》（全三维计算机图像）
2007	《拜见罗宾逊一家》（全三维计算机图像）
2008	《闪电狗》（全三维计算机图像）
2009	《公主与青蛙》
2010	《长发公主》（全三维计算机图像）

图 1.1.3 迪士尼公司在 20 世纪 80 年代中期开始在它的动画片中使用数字技术。列表中还包含了主要由电视动画公司作为“抢先版”创作的电影（以星号*标出）。一些“抢先版”电影也会进行有限剧院上映

SIGGRAPH 计算机动画奖项

最佳动画奖

- 1999 《邦尼兔》Chris Wedge
- 2000 《鬼武者》Takeshi Kaneshiro
- 2001 《父亲的价值》Van Phan
- 2002 《大教堂》Tomek Baginski
- 2003 《永恒的凝视》Sam Chen
- 2004 《祝生日》Sejong Park
- 2005 《9》Shane Acker
- 2006 《老鼠的故事》Alex Weil
- 2007 《方舟》Grzegorz Jonkajtys 和 Marcin Kobylecki
- 2008 《章鱼的爱情》Emud Mokheri 等

评审团荣誉奖

- 1999 《面具》Pitor Karwas
- 2000 《站台》Christian Swade-Meyer
- 2001 《F8》Jason Wen
- 2002 《逃亡者》Olivier Coulon、Aude Danset 等
- 2003 《提姆和汤姆》Romaip Segaud 和 Christel Pougeoise
- 2004 《拯救大师瑞恩》Chris Landreth
- 2005 《堕落的艺术》Tomek Baginski、La Migration Bigoudenn、Eric Castaing 等
- 2006 《458nm》Jan Bitzer 等
- 2007 《造梦者》Leszek Plichta
- 2008 《倒幕天》Alan Barbier、Camille Champion 等

图 1.2.1 SIGGRAPH 计算机动画最佳作品奖和评审团荣誉奖获奖名单和计算机图形技术研究方面的 SIGGRAPH 奖项名单, 包括计算机图形技术成就奖和 Steven A. Coons 杰出创作贡献奖

的发展, 在接下来的 10 年中, 交互式计算机将得到进一步的发展。此时计算机图形领域还处于初级阶段, 这段时期的大多数技术创新并没有表现出惊人的视觉结果。但是这些创新作为基础, 是 20 年后视觉效果蓬勃发展的推动力。

首个将 CRT 显示器作为输出外围设备的计算机是 20 世纪 50 年代早期麻省理工学院的旋风计算机。此系统被用于显示监测示波器上微分方程的解答。在 20 世纪 50 年代中晚期, 美国空军使用 SAGE 防空系统 (Air Defense System) 指挥和控制 CRT 的显示, 显示哪个操作员能够探测到飞行于美国大陆上空的航空器。SAGE 操作员还能够使用光笔指向它们的图标, 以获取有关此航空器的信息。

在 20 世纪 60 年代不同的高新技术组织开发了首个计算机辅助设计与制造 (CADAM) 系统。这些早期 CADAM 系统的目标是: 通过向用户提供完善的设计函数, 使设计过程更为有效; 通过将存货分析和工程分析等其他类型的信息链接到描绘一幅图像的数值数据的方式来改善制造过程的组织。首批 CADAM 系统之一在通用汽车公司得到发展, 系统包括用于设计汽车的不同的分时图形工作站。包括波音、IBM、麦道、通用电气和洛克希德在内的其他公司也开发了相似的系统。

有几个研究机构涉足计算机电影创作的早期尝试。在 20 世纪 60 年代早期波音的 William Fetter 和 Walter Bernhart 也创作出了短的动画片段。三维图画被绘制在纸上, 同时每次拍成一个电影以创作出航空母舰舰载机着陆的动画。Fetter 还建造了人类身材的模型, 以开展和驾驶员座舱设计有关的工程生理研究。在贝尔实验室, 研究员 Michael Noll 和 Bela Julesz 在影片中创作了不同的立体计算机动画, 其目的是在开展立体感的研究上提供帮助。在这个时期首批动画编程语言得到一定程度的发展, 但它们绝大部分导致程序仅能在非交互模式下运行。

在这 20 年中仅有少部分商业公司开展计算机图形研究, 此时期大部分技术的发展还是来自于麻省理工学院林肯实验室等政府资助的学术研究实验室。

20 世纪 60 年代早期, 计算机图形用于显现一些物体, 和在用其他方式无法表示或实现的代价过于昂贵的情况下使用。飞行模拟器、CADAM 系统和 CAT 扫描仪就是这些初始的计算机图形系统之一。

名为 Sketchpad 的首个交互式系统于 20 世纪 60 年代早期由 Ivan Sutherland 在麻省理工学院开发成功。该系统可使用户使用光笔与简单的线画图立体图形进行交互。在处理视觉信息上, 该系统使用了几个新的交互技术和新的数据结构。它是一个交互式设计系统, 具有处理和显示二维和三维线框图形的能力。

20 世纪 60 年代中期开发了首个曲面消隐算法, 并改进了实时创作全色表面遮盖动画系统。通用电气开发了一个飞行模拟器, 此动态模拟器能够同时对 40 个带有消隐曲面的全色立体物进行动画处理和显示。纽约 Elmsford 的数学应用集团 (MAGI) 是首批能够在商业环境下提供带有全色多边形物体的计算机生成动画的公司之一。它的处理过程被命名为 Synthavision, 首批合同包括军事模拟和与广告有关的工程。

早期的三维计算机动画和图像系统在昂贵的大型计算机上开发, 以今天的标准来看比较慢。大多数程序仅能在特定型号的计算机和显示设备上运行, 对其他系统而言并不能移植。在 20 世纪 60 年代, 计算机图形系统的使用因为价格昂贵和相关硬件的局限性而受限。

事实上此时期的所有图形软件都是内部开发的, 并没有进入市场, 相关证明也很少。大多数程序在批处理模式下执行, 很少具有交互式功能。用户几乎只能通过键盘输入数据; 能够带来更多艺术想象空间的其他类型