

mental images®公司指定 mental ray授权培训中文教材

Thomas Driemeyer 著
费广正 高薇华 姜浩等 译

mental ray®

第三版完全修订版

渲染技术超级手册



附光盘

包含: mental ray 3.4.3.61标准独立Demo版、场景文件和着色器源文件



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



mental images®公司指定mental ray授权培训中文教材

mental ray®

第三版完全修订版

渲染技术超级手册

Thomas Driemeyer 著

费广正 高薇华 姜浩等 译

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

mental ray®渲染技术超级手册 / 德里迈耶 (Driemeyer, T.) 著; 费广正等译.

—北京: 人民邮电出版社, 2007.6

ISBN 978-7-115-15981-6

I. m... II. ①德...②费... III. 三维—动画—图形软件, Mental Ray IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 038326 号

版 权 声 明

Translation from the English language edition:

Rendering with mental ray® by Thomas Driemeyer

Copyright © 1986-2006 mental images GmbH, Berlin Germany

All Rights Reserved

本书中文版由德国 mental images 公司授权人民邮电出版社独家出版发行。未经出版者书面许可, 对本书任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有, 侵权必究

mental ray®渲染技术超级手册

-
- ◆ 著 Thomas Driemeyer
 - 译 费广正 高薇华 姜 浩等
 - 责任编辑 郭发明

 - ◆ 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>
 - 北京顺义振华印刷厂印刷
 - 新华书店总店北京发行所经销

 - ◆ 开本: 880×1230 1/16
 - 印张: 35.25 彩插: 8
 - 字数: 779 千字 2007 年 6 月第 1 版
 - 印数: 1—3 000 册 2007 年 6 月北京第 1 次印刷
 - 著作权合同登记号 图字: 01-2006-1566 号
 - ISBN 978-7-115-15981-6/TP
-

定价: 78.00 元 (附光盘)

读者服务热线: (010)67175486 印装质量热线: (010)67129223

内 容 提 要

本书由 mental images 公司专家 Thomas Driemeyer 倾力打造。全书深入阐述了 mental ray 渲染器的渲染技术及其工作原理，是一本非常全面的 mental ray 参考手册。

全书分为 4 个部分，第 1 部分（第 1 章）介绍了 mental ray 渲染技术的整体情况，第 2 部分（第 2 章）介绍了 mental ray 渲染技术中的特性和常用术语，第 3 部分（第 3 章至第 21 章）全面介绍了 mental ray 的渲染技术和应用情况，第 4 部分（第 22 章）列举了 mental ray 渲染中的常见问题和解决方案。此外，本书还提供了 5 个附录，附录中的内容是正文内容的扩展和补充。通过本书的学习，读者不仅可以掌握 mental ray 渲染的常规技术，而且可以进一步掌握动画渲染的核心技术。

本书内容权威、系统、全面，是图形学研究人员、电脑动画制作人员、电影特技制作人员、效果图表现设计人员、工业产品设计人员及渲染技术爱好者的优秀学习用书。

Foreword to the Chinese Edition of Rendering with mental ray®

This handbook is conceived to provide concise and up to date general and technical information about the rendering software mental ray®. It addresses the needs of professional users of mental ray and of software developers who intend to integrate it into production pipelines and applications that require photorealistic and high-quality programmable rendering.

In addition, this book provides comprehensive information to students and researchers in computer graphics. mental ray is a valuable tool for teaching and demonstrating the fundamental concepts of photorealistic and programmable rendering as well as a benchmark and catalyst for further research.

The rendering software mental ray and many of its unique underlying concepts are the result of ongoing research and development at the company mental images since 1986. Leading vendors of 3D digital content creation and 3D CAD and product design software have made mental ray their rendering software of choice for all purposes of high-end visualization and image synthesis, ranging from visual effects and 3D animation for motion pictures, video film, and games production, to 3D mechanical and architectural CAD and industrial product design and automotive styling.

Products currently shipped with mental ray as an integrated renderer include AutoCad®, Autodesk® 3ds max®, Autodesk® Inventor®, Autodesk® Maya®, CATIA® V4/V5 from Dassault Systèmes, Softimage®|XSI®, and SolidWorks®. In addition to generating highest quality images and animations, 3D scene files generated with these products can also be used in the context of web applications and application services using RealityServer®, the new 3D web application platform product from mental images. More information on this can be found at www.mentalimages.com.

The Chinese edition has been a collaborative project between the Animation School of the Communication University of China (CUC), Shanghai Animation R&D Services Platform (ASP) Post & Telecom Press of China and mental images. We are grateful for the strong interest and support of our Chinese partners in this endeavor and I would like to thank, in particular, the director of the Animation School of CUC, Professor Lu Xuewu, the translation team under the leadership of Professor Fei Guangzheng, Zhang Jun and Wang Ting of ASP for their editorial contribution and Liu Tao of Post & Telecom Press of China.

We look forward to continuing our partnership with these and other institutions and companies in China and to work with these and other partners in China in jointly broadening the skill base and business opportunities in the area of advanced visual content creation and visualization technologies.

Rolf Herken
CEO & CTO of mental images

Berlin, February 2007

中文版序

这本手册是为介绍关于渲染软件 mental ray®的简要和最新的综合技术信息而编写的。它不仅满足了 mental ray 专业用户的需求，而且满足了那些想要将 mental ray 集成到需要实现照片真实感与高品质可编程渲染的制作流程和应用当中的软件开发者的需求。

此外，这本手册还为计算机图像领域的学生和研究者们提供了综合的信息。mental ray 不仅是一个非常有价值的工具，用来教授和展示实现照片真实感和可编程渲染的基本概念，同时也是进行更深入研究的基准和催化剂。

渲染软件 mental ray 以及它的很多独特的概念是 mental images 公司自 1986 年以来一直进行的研发工作的结果。许多一流的 3D 数字内容创作和 3D CAD 以及产品设计软件的厂商都选择 mental ray 作为他们的渲染软件，以实现高端可视化和图像合成的各种目的，包括从电影、电视、游戏制作中的视觉特效和 3D 动画设计，到机械和建筑辅助设计、工业产品设计以及汽车造型设计等。

目前将 mental ray 作为内置渲染器的产品包括 AutoCAD®、Autodesk® 3ds max®、Autodesk® Inventor®、Autodesk® Maya®、达索系统公司的 CATIA® V4/V5、Softimage® | XSI® 以及 SolidWorks®。除了生成高品质的图像和动画外，用这些产品生成的 3D 场景文件也可在使用了 RealityServer®的网络应用和应用服务的环境中使用。RealityServer®是由 mental images 推出的最新的网络应用平台产品，欲了解更多信息可浏览网站 www.mentalimages.com。

这本手册中文版的问世是一个由中国传媒大学动画学院、上海张江动漫科技有限公司、人民邮电出版社和 mental images 公司共同合作的项目。我们感谢中方合作伙伴为此所表现的强烈兴趣以及他们的大力支持，并且我愿特别地感谢中国传媒大学动画学院的院长吕学武教授、动画学院数字艺术系主任费广正教授领导的翻译小组全体成员对此书的翻译工作，上海张江动漫科技有限公司总经理张军和技术指导王挺，以及人民邮电出版社计算机图书出版分社副社长刘涛为此书的校译所做出的贡献。

我们期待着继续和我们的合作伙伴以及其他的机构、公司在中国保持合作关系，并且和他们一道，共同为拓展在高级视觉内容创作与可视化领域的技术基础和商业机会而努力。

Rolf Herken

mental images 公司首席执行官 & 首席技术官

2007 年 2 月于柏林

推荐序

数字内容产业，也称数字创意产业，是 21 世纪最有发展潜力、最有生命力的产业之一。特别是近些年来，随着软硬件技术的迅猛发展，数字内容产业已逐渐影响人们的日常生活。从巨大的电影银幕到口袋里小小的手机屏幕，我们都能看到数字内容产品的影子。在这些影子的背后，是强大的数字内容制作群体，从简单的多媒体课件，到 Flash 网络动画、交互光盘，到三维动画、数字影视特效、电子游戏、网络游戏，再到建筑表现、虚拟现实、工业产品表现、战争场面模拟等，都能看到许多专业设计师、教学人员、制作人员和研究人员的辛勤付出。

我国的数字内容产业起步相对较晚，和数字内容产业发展较快的美国、日本等国家还有一定差距，特别是在高端技术研究方面。比较热门的三维技术更是如此。

值得可喜的是，越来越多的年轻人正投身到数字内容产业，学习三维技术，从事三维作品创作。从各大三维技术网站和视觉设计网站论坛的繁荣程度，从三维技术在影视特效、广告、游戏、建筑表现等方面的应用来看，国内的三维行业发展相当“火爆”。

但是，很多人在学习三维技术的过程中也出现了一些问题。其中之一就是大多数学习者都只是广泛地涉猎某个三维制作软件的方方面面，而不是就某方面或某些环节进行深入研究。三维制作是一个复杂的过程，一件作品需要建模、材质、动画、灯光和渲染等多个环节才能完成。每个环节的深入，都需要学习者深入理解原理、掌握操作。一些学习者将大量时间用于浮光掠影地掌握软件各个模块的基础操作，不能迅速、有效地提高自己某一方面的技能，从而不能适应三维创作的需要。而在目前的教育和培训中，也亟需深入讲解三维制作某个环节的原理和技术的教材。

渲染是三维制作中决定最终图像效果的关键环节。深入掌握三维渲染技术首先需要学习者熟悉渲染软件的原理和应用，对计算机图像学和美术设计有一定的了解，并具有分析物体表面属性和细节的能力，然后才能事半功倍，制作出精美的作品。

mental ray 是目前国际上最为流行的高端渲染软件之一，在近年的《星球大战》系列、《黑客帝国》、《后天》等世界级电影特效、动画制作项目中，都得到了应用。目前国内的一些影视特效和三维动画制作项目中，也开始应用 mental ray 作为主要的渲染软件。mental ray 渲染器不仅在照片真实感渲染方面具有特别的优势，而且通过掌握着色器编写语言，使其具有极为方便的扩展性。mental ray 除独立版本外，3ds max、Softimage|XSI 和 Maya 等最主流的三维制作软件都将 mental ray 作为绑定的渲染器插件一并发行，这为广大从业者应用 mental ray 提供了极大的便利。

目前市场上已有的 mental ray 学习教材，一般只涉及某个软件中 mental ray 插件的简单功能，都没有从渲染软件本身架构上让读者去理解 mental ray 的运行原理。

《mental ray 渲染技术超级手册》一书的翻译和出版，填补了我们在三维渲染环节缺少权威教材和参考书的空白。《mental ray 渲染技术超级手册》是 mental ray 的开发者

mental images 公司的官方用户手册,是最为权威和深入地讲解 mental ray 的教材,由 mental ray 开发团队的主要成员编写而成。全书系统和深入地介绍了应用 mental ray 软件进行渲染的所有技术细节,也为专业用户提供了详细的创建高端渲染效果的参考用书。

《mental ray 渲染技术超级手册》就 mental ray 的场景结构、材质着色、光源和阴影、体积渲染、间接光照明、硬件渲染、轮廓渲染(卡通效果)、网络渲染和渲染优化等方面,以原理讲解结合大量实例的方式进行了深入细致的剖析。读者可以对 mental ray 场景描述和各类着色器进行深入学习,并深入了解软件运作原理和实际操作。《mental ray 渲染技术超级手册》采用的实例都是针对目前最新版本——mental ray 3.4 版本的,配套光盘中也包括了相应版本的场景文件、着色器和软件的演示版,以方便用户的学习。在附录中还收录了详尽的 mental ray 着色器的参考资料。

《mental ray 渲染技术超级手册》出版后将作为 mental images 公司官方指定的中文教材,在 mental ray 认证培训中使用。对广大三维学习者来说,本书既是 mental ray 初学者逐步学习软件应用的权威教材,也是 mental ray 高级用户手头必备的参考资料。

《mental ray 渲染技术超级手册》由中国传媒大学动画学院——费广正、高薇华、姜浩、陈文娟、孙国玉、夏旺盛、闫刚等多位老师合作翻译而成,并由王雷老师审校,他们都是具有深厚专业积淀和实践能力的三维创作专家。翻译和审校工作也得到了上海张江动漫科技有限公司总经理张军和技术指导王挺的大力支持。经过多次审校和修改,

《mental ray 渲染技术超级手册》的翻译质量在国内出版的三维技术类书籍中堪称上乘。将这本权威的 mental ray 三维渲染教材翻译为中文版,无疑是为我国三维行业的发展做了一件非常有意义的好事。我本人作为从事三维技术研究多年的科研工作者和教育工作者,能为这部严谨而深入的专业书籍写作一篇简短的序言,深感荣幸。

黄心渊

2007 年 3 月

前言

本书结构

本书基于完整的输入场景格式定义,对利用 mental ray®渲染进行了全面和综合的介绍,旨在帮助众多读者了解 mental ray 所支持的渲染技术。本书还可以作为强调渲染及相关概念的计算机图形学入门参考读物。本书分为 4 个大的部分,简介如下。

- | | |
|----------|--|
| 第 1 章 | 总体介绍。 |
| 第 2 章 | mental ray 的所有特性列表,常用术语解释。是对 mental ray 特性的综合介绍。 |
| 第 3~21 章 | 以使用手册的形式,通过大量实例展示了如何以更优化的方式使用渲染技术,并对如何选择和使用 mental ray 的特性给以提示。这些章节主要从技术角度讲解 mental ray 的应用。 |
| 第 22 章 | 列举常见问题及其解决方案。 |
| 术语表 | 常用专业术语中英对照表 |
| 附录 A | mental ray 的命令行选项列表 |
| 附录 B | 包含因太长而未被列入正文的场景数据 |
| 附录 C、D、E | 包含标准着色器库中的着色器描述 |

本手册还有一本姊妹篇手册 *Programming mental ray* [PROG]¹,它是一本技术性的参考手册,适用于需要编写自己的场景发生器,如场景文件输入输出程序、建模和动画应用程序的高级用户,以及需要编写自定义着色器的用户。

mental ray 不包含内置着色器,但是发行时包含了几个独立的外置着色器库。每个着色器库都包含一个独立的文档以描述该着色器库内的着色器。本书使用的主要着色器库是基本着色器库(base shader library),此外,一些物理着色器(physical shaders)和轮廓着色器(contour shasers)也有所应用。

¹ 两本手册的第三版均涵盖了 mental ray 新一代产品 3.4 版本。关于 mental ray 3.x 中所做的改进请见 1.11.3~1.11.6 节

文 件	目 的
• ray	独立的 mental ray 可执行文件
ivray	带发明者支持的 mental ray 可执行文件
• imf_disp	图像展示程序
• imf_copy	图像复制和转化程序
imf_info	图像信息程序
imf_diff	图像压缩程序
mkmishader	创建 C 着色器源骨架的程序
mitoapi	创建 C 场景 API 源骨架的程序
• base.so	基本着色器库
• bsae.mi	对基本着色器库的着色器声明
• physics.so	物理着色器库
• physics.mi	对物理着色器库的着色器声明
• contour.so	轮廓着色器库
• contour.mi	对轮廓着色器库的着色器声明
shader.h	使用 C 或 C++编写自定义着色器时包含的头文件
shader.lib	链接自定义着色器, 只在 windows NT 下

带有“•”标记的文件将在本书示例中用到。

mental ray 经常被嵌入到许多建模、动画和 CAD 系统中, 例如 Avid/Softimage 3D 和 XSI、Alias Maya、Autodesk 公司的 3D Studio MAX 和 Viz、Dassault Systemes 公司的 CATIA 和 Solidworks。这些系统提供面向 mental ray 的功能性图形用户界面。本书不针对上述任何具体的系统, 而是使用命令行和文本文件场景, 也就是总是可用的公共基线批处理模式。用户可参考相应软件的用户手册, 找到这里所描述的特性信息。

排版约定

Courier New 字体格式 用于输入场景的语言和命令行片段。

斜体 在场景语言和命令行片段中, 指示代表特定应用程序相关文本的可变内容, 或是下面解释中描述的其他插入内容。第一次出现的新术语也用斜体表示。

粗体字 用在列举中以强调解释的内容

在场景片段中, 还会用到以下这些特殊符号。

| 竖线隔开两个可选项。例如“x|y”代表“或者是 x, 或者是 y”。

..... 省略号表示省略“零个或多个前述内容”。

[] 方括号里是可选部分。例如“x[y]”代表“或者是 x, 或者是 xy”。

在某些版本才有效的特性, 用 mental ray 的版本号作为上标来表示。例如, 上标^{3.3}表示 metal ray 3.3 版本或可以得到更高版本的支持。

所有场景的例子都分行表示，使其易读。*mental ray* 把非引用序列中的空格、TAB 和换行看作可互换的空白空间，所以缩排和断行不会造成功能上的区别（除非在装入字符串的双引号间）。

文中第一次阅读可以略过的高级内容以一个星号(*)标记出。含有不需要使用 *mental ray* 的技术细节的章节以双星号(**)标记出。

本书使用操作系统名“Unix”泛指类 Unix 系的所有成员，如 Linux、Mac OS X、FreeBSD、Irix、Solaris、AIX 和 HP/UX 等。“Windows NT”则泛指包括 Windows 2000 和 Windows XP 在内的所有微软桌面操作系统，但不包括 Windows 2000 以前的版本（它们对多线程支持不足）。

万维网资源

mental images 的主页是 <http://www.mentalimages.com>。

附录 C、D 中描述的基本着色器库和物理着色器库的源代码可以从 <ftp://ftp.mentalimages.com/pub/> 中获得，详见该路径位置下的 README 文件。

mental images 开设了若干个讨论邮件列表，参见 <http://www.mentalimages.com> 获取更多细节以及如何订阅或发表信息的指导（沿 *mental ray* 和 *forum* 的链接）。

洛杉矶 *mental ray* 用户组搜集了一些有用的信息：<http://www.lamrug.org/>。

致谢

我要感谢 Rolf Herken 的建议，以及在 *mental images* 公司的工作小组全体成员为本版手册所做出的贡献，他们是 Juri Abramov, Pascal Amand, François Beaune, Per Christensen, Jennifer Courter, Susanna Fishel, Julia Flötotto, Albrecht Fritzsche, Bart Gawboy, Steffen Halme, Robert Hödicke, Henrik Wann Jensen, Kristjan Valur Jonsson, Alexander Keller, Andy Kopra, Jochen Kornitzky, Martin-Karl LeFrançois, Alexander Lobodzinski, Runa Löber, Jacopo Pantaleoni, Olivier Paugam, Slobodan Pavlić, Bernd Raabe, Stefan Radig, Steffen Römer, Thomas Schädlich, Karl Johann Schmidt, Tim Schröder, Dirk Schubert, Matthias Senz, Jürgen Singer, Gunter Sprenger, Tom-Michael Thamm, Max Wardetzky, Carsten Whimster 和 Barbara Wolfers。我们也要感谢 *mental images* 团队其他成员以各种方式所提供的支持，并感谢他们保持了一个创造性的环境使得本书所描述的软件能够开发出来，并且在未来得到持续的发展。

目 录

第 1 章	mental ray 概述	1
1.1	真实感渲染	1
1.2	场景和动画	1
1.2.1	几何物体	2
1.2.2	材质	5
1.2.3	光源	6
1.2.4	摄像机	7
1.3	着色器	7
1.4	Phenomenon	9
1.5	扫描线渲染和光线跟踪	10
1.5.1	透明、折射和反射	11
1.5.2	阴影	12
1.5.3	运动模糊	13
1.5.4	镜头	13
1.6	焦散、全局照明和光子贴图	14
1.7	参与介质	15
1.8	并行性	15
1.9	图像生成阶段	16
1.10	mental ray 配置	17
1.11	mental ray 版本	17
1.11.1	mental ray 2.0 版本到 2.1 版本的修改	18
1.11.2	mental ray 2.1 版本到 3.0 版本的修改	19
1.11.3	mental ray 3.0 版本到 3.1 版本的修改	20
1.11.4	mental ray 3.1 版本到 3.2 版本的修改	22
1.11.5	mental ray 3.2 版本到 3.3 版本的修改	24
1.11.6	mental ray 3.3 版本到 3.4 版本的修改	25
第 2 章	构建场景	27
2.1	一个简单的场景	28
2.2	场景剖析	30

第3章 摄像机	35
3.1 针孔摄像机	35
3.2 图像分辨率	36
3.3 宽高比	36
3.4 吉斯通式变形	37
3.5 渲染子窗口	38
3.6 正交摄像机	38
3.7 裁剪平面*	39
3.8 景深	40
3.9 完整的摄像机示例	42
第4章 表面着色器	45
4.1 色彩和照明	48
4.2 纹理映射	53
4.2.1 纹理投影	54
4.2.2 局部纹理: 避免网络传递	64
4.2.3 内存映射纹理: 减少内存的使用	65
4.2.4 未过滤纹理的抗锯齿	67
4.2.5 简单过滤纹理: 减少纹理锯齿	69
4.2.6 椭圆过滤纹理: 更好的反锯齿纹理	71
4.2.7 小结: 选择优化的纹理方法	73
4.2.8 3D 纹理	74
4.3 透明贴图	77
4.4 凹凸贴图	79
4.5 偏移映射	82
4.5.1 简单偏移近似	86
4.5.2 高级偏移近似*	87
4.6 各向异性着色	95
4.7 环境映射	99
4.8 灯光映射	102
4.9 反射	107
4.10 透明和折射	112
4.11 光滑反射	115
4.12 光滑透射(半透明)	118
4.13 照明模型小结	119
第5章 灯光与阴影	120
5.1 点光源、聚光灯和平行光	122
5.2 光线跟踪阴影	125

5.2.1 使用阴影着色器的透明阴影	126
5.2.2 面积光的软阴影	128
5.2.3 阴影模式：一般模式、整理模式、分段模式	132
5.3 阴影贴图的快速阴影	134
5.4 细节阴影贴图 ^{3.3}	139
5.5 内部机制：阴影如何生成**	141
5.5.1 光线跟踪阴影	141
5.5.2 阴影映射阴影	142
5.6 阴影小结和执行	145
5.7 颜色曲线 ^{3.4*}	146
第6章 体渲染	149
6.1 全局体效果：大气和雾	150
6.2 局部体效果：毛发、火、烟	151
6.3 光线推进	155
6.4 自动体检测 ^{3.3}	158
第7章 焦散和全局照明	160
7.1 光子贴图与 final gathering 的比较	161
7.2 局部照明、焦散和全局照明之间的比较	163
7.3 漫散射、光滑反射、镜面反射和透射	164
7.4 灯光路径分类	167
7.5 焦散和全局照明灯光	170
7.6 焦散	172
7.7 全局照明	179
7.7.1 漫散射全局照明（辐射度）	180
7.7.2 光滑全局照明（glossy global illumination）	183
7.7.3 一般全局照明	184
7.7.4 Final Gathering	193
7.8 参与介质	199
7.8.1 体焦散	200
7.8.2 多重体散射：体特效中的全局照明	205
7.8.3 体和表面中的全局照明	208
7.9 物理正确的着色器的重要性	210
7.9.1 光源与距离	211
7.9.2 照明模型	212
7.10 常见问题解答	213
7.11 小结	218
7.12 执行	221

第 8 章 运动模糊	223
8.1 运动变换	224
8.2 运动向量	226
8.3 小结和执行	228
第 9 章 硬件渲染	230
9.1 硬件渲染与软件渲染	230
9.2 分层	232
9.3 速度与质量的平衡	235
9.4 着色器接口	235
9.5 着色器声明	236
9.6 装载硬件着色器	237
9.7 使用硬件渲染	238
9.7.1 激活硬件渲染	240
9.7.2 选择硬件着色器类型	241
9.7.3 激活单个物体的硬件渲染	241
9.7.4 材质中的硬件着色器	241
9.7.5 提取 Cg 着色器代码	242
9.8 硬件着色器的实现	243
第 10 章 轮廓	245
10.1 外形轮廓	246
10.2 Postscript 轮廓	248
10.3 边缘轮廓	249
10.4 反射和折射中的轮廓	250
10.5 颜色对比处的轮廓	251
10.6 宽度可变的轮廓	252
10.7 发光轮廓	253
10.8 执行	254
第 11 章 着色器和 Phenomenon	255
11.1 声明	256
11.2 定义	259
11.3 着色器列表	261
11.4 着色器图表	262
11.5 Phenomenon	265
11.5.1 Phenomenon 接口参数赋值	266
11.5.2 着色器和 Phenomenon 选项	267
11.5.3 Phenomenon 根节点	269
11.6 用户数据块	271

11.7 小结	272
第 12 章 后期处理和图像输出	274
12.1 图像类型	275
12.2 帧缓存	277
12.3 图像格式	278
第 13 章 几何物体**	284
13.1 向量和顶点	289
13.2 多边形几何体	293
13.3 自由形状曲面几何体	295
13.3.1 基本曲线类型	297
13.3.2 曲面	302
13.3.3 Rational Surfaces and NURBS (有理曲面和非均匀有理 B 样条曲线 曲面)	306
13.3.4 裁剪和孔洞	308
13.3.5 参考曲线和参考点	312
13.3.6 纹理曲面	313
13.3.7 曲面导数	316
13.3.8 简单近似值	316
13.3.9 高级近似值*	317
13.3.10 三角形数量和性能*	323
13.3.11 连接	325
13.4 层次化曲面细分	326
13.4.1 增加细节	330
13.4.2 平滑褶皱	331
13.4.3 特色顶点	332
13.4.4 裁剪	335
13.5 毛发	337
13.5.1 毛发性能优化	339
13.5.2 示例	341
13.6 程序化几何体	342
13.7 按需装载几何占位符	344
第 14 章 实例化与成组	346
14.1 实例	346
14.2 实例组	348
14.3 多重实例化	348
14.4 坐标空间	351
第 15 章 继承	353

15.1	材质继承	353
15.2	标签材质继承	357
15.3	参数继承	361
15.4	物体标记继承	362
第 16 章	递增式改变和动画	367
第 17 章	使用和创建着色器库**	371
第 18 章	并行处理	376
18.1	线程并行处理	376
18.2	网络并行处理	377
18.3	并行处理的效率	378
18.4	平衡网络渲染	380
18.5	渲染动画	381
18.6	文件名改写	382
第 19 章	选项块	386
19.1	功能标记	386
19.2	渲染质量和效果	389
19.3	阴影	391
19.4	光线追踪控制	392
19.5	Final Gathering、全局照明和焦散	394
19.6	场景模型	397
19.7	诊断模式	398
第 20 章	mental ray 3.x 的构架**	400
20.1	场景数据库高速缓存	401
20.2	多线程和网络	402
20.3	高速缓存的性能	402
20.4	控制高速缓存性能	404
第 21 章	调试渲染质量和速度	406
21.1	阅读信息日志*	406
21.2	图像采样质量	409
21.3	光线跟踪与扫描线渲染*	413
21.4	OpenGL 硬件加速*	415
21.5	调整 BSP 光线跟踪参数*	416
21.6	使用诊断优化 BSP*	418
21.7	优化内存使用量*	419
21.8	优化高速缓存大小*	424
21.9	地址空间限制*	426
21.10	小结: 质量和渲染速度清单	427