



万水计算机编程技术与应用系列

注:

本书程序样
例源代码可到中
国水利水电出版
社网站下载

(www.waterpub.com.cn)

OpenGL

图形程序设计指南



尚游 陈岩涛 编著

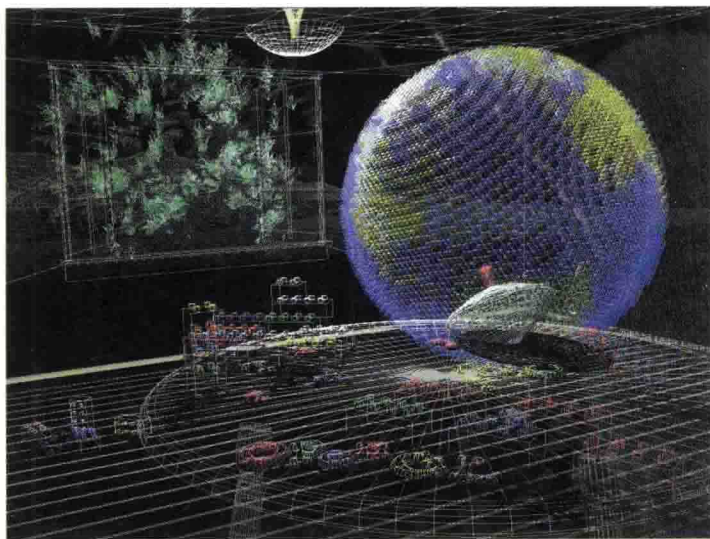
万水计算机编程技术与应用系列

OpenGL 图形程序设计指南

尚 游 陈岩涛 编著

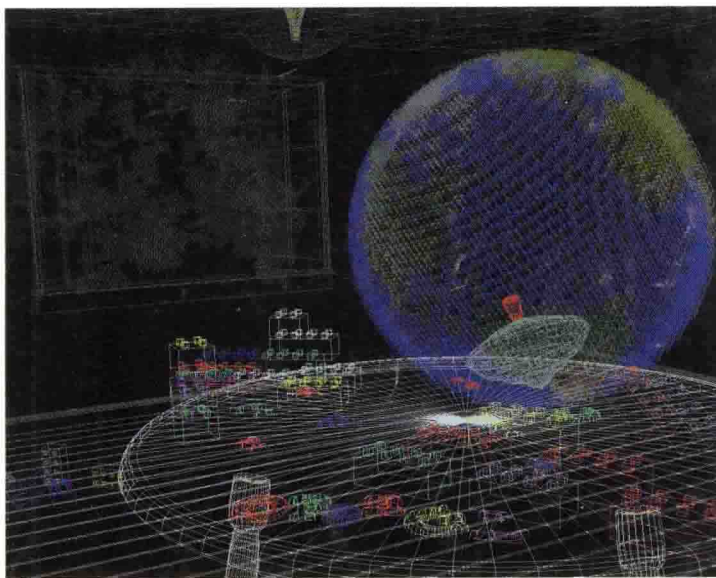
中国水利水电出版社

OpenGL 应用程序生成的场景彩图



彩图 1

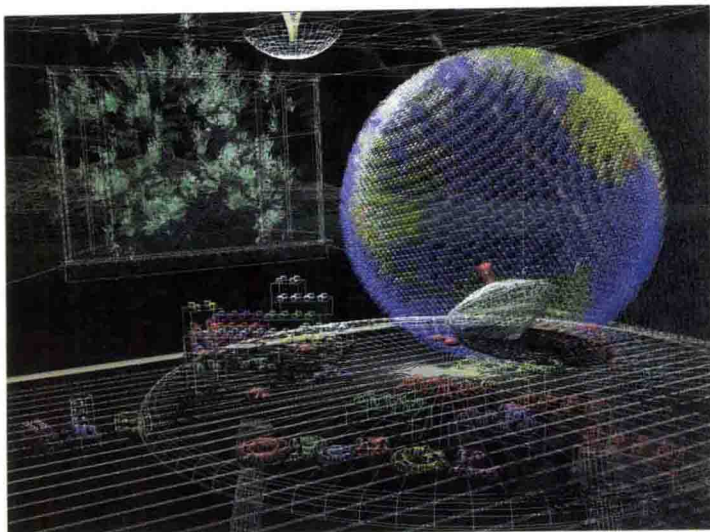
彩图 1 是由 OpenGL 生成的物体的线框图。参见第 3 章。



彩图 2

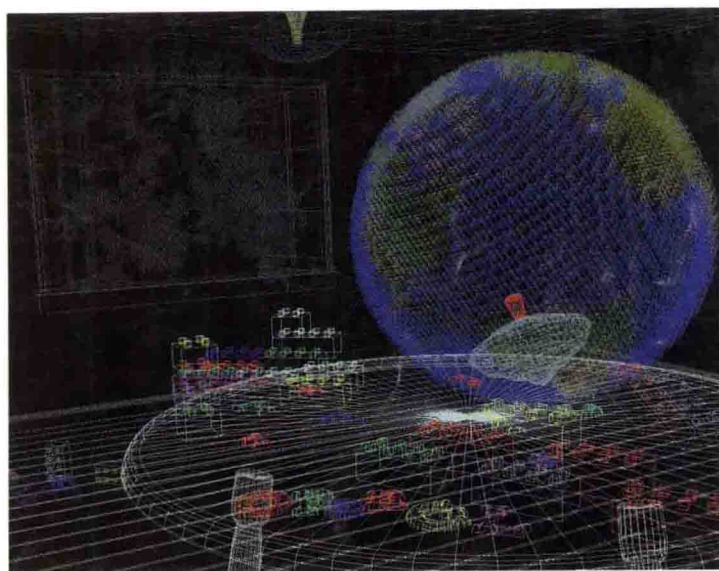
彩图 2 与彩图 1 是相同的场景，用雾来实现深度提示（离眼睛越远的线条显得越暗）效应。参见第 8 章。

OpenGL 应用程序生成的场景彩图



彩图 1

彩图 1 是由 OpenGL 生成的物体的线框图。参见第 3 章。



彩图 2

彩图 2 与彩图 1 是相同的场景，用雾来实现深度提示（离眼睛越远的线条显得越暗）效应。参见第 8 章。



彩图 6

彩图 6 加入了纹理图和阴影。参见第 10 章和第 14 章。



彩图 7

彩图 7 中的物体具有运动模糊效果。参见第 11 章。



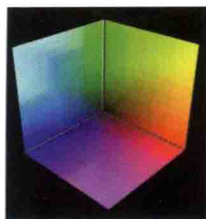
彩图 10

彩图 10 绘制了一些具有景深效果的茶壶。参见第 11 章。



彩图 11

彩图 11 是具有平滑明暗效果的三角形。参见第 6 章。



彩图 12



彩图 13

彩图 12 和 13 为着色的立方体。彩图 12 的轴分别为红色、绿色和蓝色；彩图 13 的轴分别为黄色、青色和洋红色。参见第 6 章。



彩图 14 a



彩图 14 b



彩图 14 c



彩图 14d

彩图 14 是以灰色材质参数和彩色光源绘制的物体。(a) 场景有淡蓝色的环境光和白色散射光源。(b) 场景有淡蓝色的散射光源，但几乎没有环境光。(c) 场景使用了平行光源。(d) 使用局部光源。参见第 7 章。

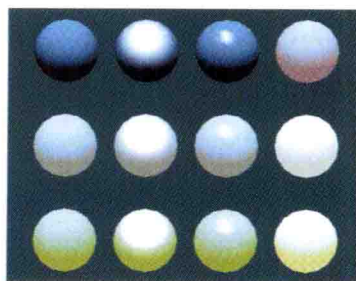


彩图 15a



彩图 15b

彩图 15 是用不同光照条件绘制的灰色茶壶。(a) 三个茶壶依次以渐强的环境光绘出。(b) 剪裁茶壶，将内部暴露出来。最上面的茶壶用的是单侧光，中间的用双侧光，正面和背面用同样的材质，最下面的茶壶用双侧光且正面和背面材质不同。参见第 7 章。



彩图 16

彩图 16 是十二个材质参数各不相同的球体。各行的性能：第 1 行没有环境反射；第 2 行是灰色环境反射；第 3 行为蓝色环境反射。第一列使用了没有镜面反射属性的蓝色散射材质颜色。第二列加入了亮度指数较低白色镜面反射。第三列加入了较高的亮度指数，因此高亮区更集中。第四列使用了蓝色散射颜色，用辐射指数代替镜面反射。参见第 7 章。



彩图 22a



彩图 22b



彩图 23a



彩图 23b

彩图 22 是几个明暗效果的物体。(a) 有锯齿现象。(b) 消除了锯齿现象。参见第 10 章。

彩图 23 是前面场景的放大。(a) 显示出锯齿状的边缘。(b) 是消除了锯齿现象的边缘。参看第 11 章。



彩图 24

彩图 24 是用纹理映射、光照和阴影绘制的场景。参见第 7 章、第 10 章和第 14 章。



彩图 25

彩图 25 是在纹理表面上的光照明暗效果平滑的一个模型。参见第 6 章，第 7 章和第 10 章。



彩图 26

彩图 26 是有明显光照和阴影效果的场景，大部分表面都有纹理。参见第 3 章、第 7 章和第 14 章。



彩图 27



彩图 28

彩图 27 和 28 是由可视化仿真程序生成的两幅场景。参见第 4 章，第 5 章和第 11 章。



彩图 29



彩图 30

彩图 29 为利用 OpenGL 制作的动画屏幕保护程序，参见第 15 章。

彩图 30 为利用分形算法生成的三维地形及蓝天白云图，参见第 16 章。



彩图 17

彩图 17 是以接近真实材料的不同材质绘制的有光照的明暗效果平滑的茶壶。参见第 7 章。



彩图 18a



彩图 18b

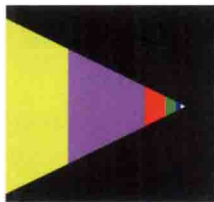


彩图 18c

彩图 18 是使用自动纹理坐标和红色轮廓纹理图生成的有光照的绿色茶壶。(a) 纹理轮廓条纹平行于平面 $x=0$ 。(b) 平面方程为 $(x+y+z=0)$ ，因此条纹具有不同方向。(c) 相对于人眼坐标计算的纹理坐标，纹理并不固定在物体上。因此当物体运动时，看起来就像是在纹理中游动。参见第 10 章。



彩图 19



彩图 20



彩图 21a



彩图 21b

彩图 19 是用求值程序创建的有纹理的 Bezier 曲面网格。参见第 10 章和第 12 章。

彩图 20 用一系列 mipmaps 纹理绘制出一个多边形。在本例中，每个纹理仅仅只有颜色不同。当多边形的可见区域变小时，相应地使用较小的 mipmaps。参见第 10 章。

彩图 21 为反射环境的物体。(a) 为原始纹理，是由广角镜拍摄的处理过的咖啡店的照片。(b) 是应用该纹理图的高脚酒杯。由于映射作用，高脚酒杯表面看起来反射出了咖啡店情景。



彩图 8

彩图 8 为场景的特写镜头。参见第 4 章。



彩图 9

彩图 9 利用大气效果（雾）模拟充满烟雾的房间。参见第 7 章。



彩图 3

彩图 3 也是同样一幅场景，但进行了反走样操作使边缘变得平滑。参见第 7 章。



彩图 4

彩图 4 是用具有无明暗效果的多边形绘出的场景。参见第 6 章。



彩图 5

彩图 5 是用光照和平滑明暗效果的多边形渲染的场景。参见第 5 章和第 6 章。

前 言

简介

图形处理是现代计算机区别于以前计算机的一个显著特征，使计算机走出了呆板的单一枯燥计算，在保证完成任务的同时更加接近真实世界，从而大大扩展了计算机应用领域，并带给编程人员和应用者丰富多彩的视听感受。

OpenGL 是 SGI 公司开发的一套高性能的图形处理系统，是图形硬件的软件界面，GL 即代表图形库（Graphics Library）。通过 OpenGL 程序员可以创建交互式应用程序，实现具有逼真效果的三维图形图像，从而在要求高度模拟真实世界的诸多领域中都可以大显身手。

与 AutoCAD，3DS MAX 等通用绘图及建模软件平台不同，OpenGL 不仅可以处理单幅的离散图形，在实时的三维仿真领域，由于其对环境及实体的渲染达到了高度逼真的视觉效果，从而显示出强大的生命力。

本书根据编者的实际应用经验，参照大量的原始资料，通过大量的实例详尽地阐述利用 OpenGL 进行图形程序设计的方法及技巧。

广阔的应用背景

应用程序可视化是计算机程序设计的发展趋势。在工程应用的许多领域中，计算机仿真的蓬勃发展使得人们可以不必在真实试验场便可以获得许多系统模型的性能，即使是真实试验，也少不了利用仿真系统对试验的再现。计算机仿真已经成为工程设计和软件开发人员不可或缺的重要工具。

涉及图形图像处理的应用领域，尤其是要求高实时性、大计算量和渲染量的仿真中，如：

- 动力学系统的可视化仿真。
- 结构应力有限元分析。
- 人体医学扫描数据显示。
- 交互式电子游戏开发。
- 三维造型设计。
- 动画制作。
- 广告设计。

这些都是 OpenGL 图形库的用武之地。不难看出，上述各个领域都是现代计算机应用的热门方向。图形处理方兴未艾，随着要求不断提高，竞争不断加剧，OpenGL 图形库必然占据不久以后的图形处理领域。

虽然 OpenGL 目前主要应用于图形工作站中的软件平台如 IRIS Performer，但是越来越

多的软件开发商们已经注意到了 OpenGL 图形库在微机上所具备的潜在前景。包括微软在内的许多著名公司所提供的编译平台，如 Visual C++ 6.0、C++ Builder、VB 等开发工具中，都将 OpenGL 作为一个重要的模块扩展进来，从而大大增强该编译平台对图形的处理能力。经典的三维造型设计软件 3DS MAX 在 R2 以上版本中也提供了与 OpenGL 图形库的接口。这不但从一个侧面表明了广大开发商对 OpenGL 图形库强大能力和潜在市场的认可，同时也证明了它的良好可移植性。

本书的主要特色

OpenGL 是一种功能强大，应用与开发前景广阔的软件平台，顺应着计算机工程应用可视化的潮流。本书的目的是要向设计及开发工程师提供 OpenGL 的全面和系统的操作指南和参考资料。本书具有以下几个特色。

1. 丰富、完备的参考资料

本书主要的参考资料来自 SGI 工作站上的原文在线帮助、编程指南和库函数说明，辅助的参考材料为 Visual C++ 6.0 及 C++ Builder 的 OpenGL 帮助和库函数说明，本书包括的源代码全部经过作者的实际调试，部分程序由作者开发，具有很强的实用性。

2. 将应用扩展到 PC 机

个人计算机计算速度的大幅度提高使得它们与工作站的差距在不断缩小。虽然在相当长的一段时间内还不能期望其与专门从事图形处理的 SGI 工作站相比，但是已经具备运行 OpenGL 应用程序的能力，软件商们也不甘示弱，各个软件编译平台都将 OpenGL 模块拓展集成到自己的麾下，使得熟悉 C、C++ 等语言及其相应编译器 VC++、C++ Builder 的软件工程师可以在 586 以上的微机上编制非常 COOL 的 OpenGL 程序。OpenGL 已经渐渐走向成熟期。在本书的编写过程中，作者将所有的源代码都移植到了微机环境下。在源代码中有关于海洋生物的仿真程序，该程序涉及到 OpenGL 的建模、纹理、光照及渲染等多种高级技术，对读者来说是一个不可多得的入门程序。

3. 渲染平台与建模平台的互相扩展

与其他图形处理软件如 AutoCAD、3DS MAX 等相比，OpenGL 最强大的优势在于其实时渲染复杂场景的能力。如果它能够与广泛使用着的建模平台相结合起来，这将使 OpenGL 在不久的将来迅速地占领图形处理领域。针对 AutoCAD 的 DXF 文件，作者对 OpenGL 与 AutoCAD 的文件接口进行了探索性的研究，并取得了一定的成绩。本书的第 15 章介绍了 OpenGL 与 AutoCAD 之间的接口及实现。

本书的主要内容安排

全书包括 16 章正文及 10 个附录，各章的安排如下：

第 1 章：OpenGL 入门。本章概括地介绍了 OpenGL 的基本原理和基本功能，以及 OpenGL 的各种应用领域。然后通过一个简单的例程，解释了利用 OpenGL 编写程序的基本

要领。本章的内容是学习后续章节的基础。

第 2 章：Windows 95 及 Windows NT 环境下开发 OpenGL 应用程序的基本过程。本章内容着重介绍了通用微型计算机系统下的 OpenGL 图形程序的编制开发过程，引导读者练习编译运行本书的例程，为进一步开发自己的应用程序做好准备。

第 3 章：实体建模基础。三维几何体最终要绘制到二维屏幕上。复杂的三维物体是由基本的几何图元构成的。这部分内容主要介绍如何对三维物体进行几何上的描述，以及通过程序创建三维几何物体。

第 4 章：视图。本章主要介绍了在将三维的物体绘制到二维的屏幕上之前，如何对所创建的三维模型实施各种变换。程序员可以通过对这些变换进行控制，来显示模型的特定视图。

第 5 章：显示列表。本章讨论了如何缓存多条 OpenGL 命令，以及如何实现 OpenGL 命令的批处理。程序开发人员可以利用这种特性来提高 OpenGL 应用程序的执行性能。

第 6 章：颜色。本章描述了在绘制物体时如何指定物体的颜色，以及如何生成效果逼真的阴影的方法。

第 7 章：光照。本章解释了如何控制物体周围的光照条件，以及物体对光照的响应（如吸收或反射等）。光照是 OpenGL 中重要的一个主题。如果没有光照，物体将缺乏真实的三维立体感。

本书的其余各章介绍了如何将更加复杂的特性加入到三维场景中，以及 OpenGL 作为一种渲染工具对建模工具中的实体模型的调用。在对 OpenGL 不是很熟悉时，读者可以暂不使用这些特性。下面列出了介绍这些特殊的高级技术的相关章节的主要内容。

第 8 章：混合、反走样、雾。本章描述了创建效果逼真的场景所必需的一种高级技术：alpha 混合（使程序员能创建透明物体），锯齿现象的消除及大气效果（如雾或烟等）。

第 9 章：绘制像素、位图、字体和图像。本章讨论如何将二维数据集合（如位图或图像）与三维物体的操作结合起来。位图的典型应用是用字体来描述字符。

第 10 章：纹理映射。本章解释了如何将一维或二维的称为纹理的图像映射到三维物体上。利用纹理映射可以产生许多奇妙的效果。

第 11 章：帧缓存。本章描述了在 OpenGL 的实现过程中可能用到的所有缓存，以及如何控制这些缓存。程序员可以利用这些缓存实现下列效果：隐藏面的消除，模板化，屏蔽，运动模糊化以及视野的聚焦等等。

第 12 章：求值程序和非均匀有理 B 样条（NURBS）。本章介绍了有效地生成曲线和曲面的高级技术。

第 13 章：选择机制。本章解释了如何利用 OpenGL 的选择机制来选中屏幕上的物体，同时解释了反馈机制，这种操作使程序员不需经过屏幕作图就可以采集到 OpenGL 生成的绘图信息。

第 14 章：OpenGL 应用及提高应用程序性能的技巧。本章描述了如何以巧妙的、出人意料的方式，利用 OpenGL 生成有趣的结果。这些技术其中有些是 SGI 的技术先驱们经过

多年的经验积累得来的。当然，这里面更有作者长期编程实践的体会。

第 15 章：高级应用（一）：OpenGL 与 AutoCAD 的图形接口。OpenGL 作为一种功能强大的渲染工具，与通用的建模工具结合起来，各取其长，将同时获得好的性能和效果。本章分析了 DXF 文件的数据结构，描述了在 OpenGL 中调用 DXF 文件的通用函数模块，同时给出了调用函数的程序源代码。

第 16 章：高级应用（二）：三维随机分形地形的生成。OpenGL 可以实现许多复杂的场景渲染。在这一章中，作者利用数学上的分形原理来生成复杂的三维地形及天空的模拟，同时给出了一个完整的三维地形模拟源程序。相信读者在学习完这一章之后，对 OpenGL 的强大功能会有更深刻的体会。

另外，我们在本书中列出了 10 个附录。这些附录对帮助程序员理解 OpenGL 的原理及机制，以及编写高效的应用程序是不无裨益的，其中对库函数的介绍部分是以应用类别排列，与库函数详解相区别。

附录 1：OpenGL 中的操作顺序。本附录给出了 OpenGL 应用操作的技术概览，并按照这些技术在应用程序中执行的顺序对它们进行了简洁的描述。

附录 2：OpenGL 的状态变量。本附录列出了 OpenGL 所支持的状态变量，并描述了如何获取这些变量的值。

附录 3：OpenGL 实用库。本附录简洁地描述了在 OpenGL 实用库中的实用子程序。

附录 4：OpenGL 对 X 窗口系统的扩展。本附录简要描述了在 OpenGL 对 X 窗口系统扩展中，程序员可以使用的子程序。

附录 5：OpenGL 辅助库。本附录简要介绍 OpenGL 的辅助库（GLAUX）。

附录 6：计算法线向量。本附录介绍了几种不同类型的几何体的法线向量的计算方法。

附录 7：齐次坐标和变换矩阵。本附录介绍了矩阵变换所需的基本的数学知识。

附录 8：OpenGL 编程要点。本附录列出了一些 OpenGL 编程要点。这些要点是从 OpenGL 的设计者的角度来考虑的，但在编制程序时读者将会发现这些要点是非常有用的。

附录 9：OpenGL 的不变性。描述了各种 OpenGL 实现所遵循的基本不变性规律。

附录 10：术语表。介绍了各种 OpenGL 编程常用术语的定义。

预备知识与参考书目

阅读和学习本书之前，需要读者了解如何运用 C/C++ 语言编程，并具有计算机图形学方面的初步知识（如几何学，三角法，线性代数，微积分学及微分几何学）。当然，计算机图形技术的经验很少甚至没有的人，仍能够参照使用本书中大部分内容。计算机图形学是一个非常丰富的领域，为丰富学习经验，读者可以参阅国内外相关的参考资料，如计算机图形学，Visual C++ 编程，OpenGL 程序设计等。

目 录

前言

第 1 章 OpenGL 入门.....	1
1.1 OpenGL 概览.....	1
1.2 简单的 OpenGL 程序举例.....	3
1.3 基本 OpenGL 操作.....	5
1.4 OpenGL 的命令语法.....	6
1.5 作为状态机的 OpenGL.....	7
1.6 OpenGL 相关函数库.....	8
1.6.1 OpenGL 相关函数库简介.....	8
1.6.2 OpenGL 辅助库 (GLAUX).....	9
1.7 动画.....	11
第 2 章 Windows 95 及 Windows NT 环境下开发 OpenGL 应用程序的基本过程.....	17
2.1 开发环境.....	17
2.1.1 系统硬件配置要求.....	17
2.1.2 开发 OpenGL 应用程序的软件要求.....	17
2.2 OpenGL 应用程序开发基本过程.....	18
2.2.1 源代码的编写.....	18
2.2.2 Win32 控制台风格应用程序的开发.....	18
2.2.3 Win32 MFC 风格应用程序的开发.....	22
第 3 章 实体建模基础.....	24
3.1 一个绘图补救工具包.....	24
3.1.1 清除窗口.....	25
3.1.2 指定颜色.....	27
3.1.3 完成绘图.....	28
3.1.4 隐藏面的消除.....	29
3.2 点、线和多边形的描述.....	30
3.2.1 点、线和多边形的定义.....	30
3.2.2 定义顶点.....	33
3.2.3 OpenGL 的几何绘图图元.....	34
3.2.4 使用 glBegin()和 glEnd()的限制.....	37

3.3	显示点、线和多边形	38
3.3.1	关于点的细节	38
3.3.2	关于线的细节	39
3.3.3	关于多边形的细节	43
3.4	法线向量	49
3.5	创建表面的多边形模型需注意的问题	51
第 4 章	视图	59
4.1	概述：照相机类比法	60
4.1.1	照相机类比法及其在计算机中的实现	60
4.1.2	一个简单的例子：绘制立方体	62
4.1.3	多种用途的变换函数	66
4.2	视图变换和模型变换	67
4.2.1	关于变换的说明	68
4.2.2	模型变换	70
4.2.3	视图变换	74
4.3	投影变换	78
4.3.1	透视投影	78
4.3.2	正交投影	80
4.3.3	视图体的裁剪	82
4.4	视区变换	82
4.4.1	定义视区	82
4.4.2	变换后的 Z 坐标	84
4.5	变换的诊断	84
4.6	矩阵堆栈的操作	86
4.6.1	模型视图矩阵堆栈	88
4.6.2	投影矩阵堆栈	88
4.7	附加裁剪平面	89
4.8	组合变换举例	92
4.8.1	建立一个太阳系模型	92
4.8.2	建立一个有关节的机器人手臂模型	95
第 5 章	显示列表	100
5.1	一个使用显示列表的范例	100
5.2	显示列表设计准则	102
5.3	显示列表的创建和执行	104
5.3.1	显示列表的存储内容	106