

FreeForm

触觉设计系统的操作与使用

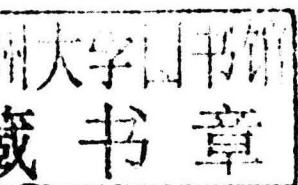
赵正旭 张廷廷 王威 编著



河北人民出版社

FreeForm触觉设计系统的操作与使用

赵正旭 张廷廷 王威 编著



河北人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

FreeForm触觉设计系统的操作与使用 / 赵正旭, 张廷廷, 王威编著. — 石家庄: 河北人民出版社, 2015. 11
ISBN 978-7-202-10869-7

I. ①F… II. ①赵… ②张… ③王… III. ①三维 — 动画 — 计算机图形学 — 教材 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第223953号

书 名 FreeForm触觉设计系统的操作与使用
著 者 赵正旭 张廷廷 王威

责任编辑 赵黎黎
美术编辑 李 欣
封面设计 张廷廷
责任校对 张三铁

出版发行 河北人民出版社(石家庄市友谊北大街330号)
印 刷 石家庄市育东印刷厂
开 本 787毫米×1092毫米 1/16
印 张 15
字 数 342 000
版 次 2015年11月第1版 2015年11月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-202-10869-7/ TP·62
定 价 35.00元

版权所有 翻印必究

前 言

虚拟现实这个术语一般指的是虚拟现实技术和虚拟现实系统。虚拟现实系统包括计算机、人、数据、软件、外围设备；而虚拟现实技术则是处理人的感知（视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉等）和计算机数据之间的关系并且解决物理环境和抽象环境（如人的思维空间）的数字化模拟问题。虚拟触觉设计FreeForm系统是基于虚拟“触觉”或力反馈技术而发展起来的三维模型的虚拟设计系统。它的基本概念来源于泥塑工艺，是通过虚拟化的雕塑过程来创建具有“自由形态”的三维数字化模型。为方便叙述起见，我和我的合作者在本书里把这个系统简称为FreeForm系统。

在20世纪90年代中期，FreeForm系统以SensAble FreeForm为注册名称问世于欧洲。之后，这个系统发展成了一个介于传统的计算机辅助设计CAD (Computer-aided Design) 和增强现实AR (Augmented Reality) 之间的三维建模系统，并且它很快在欧洲和美国的学术界和工业界得到了广泛的应用。但是，由于虚拟现实技术在第二度千禧年前后的几年里得到了媒体界的捧杀，FreeForm系统和所有虚拟现实系统一样也遭遇了极其坎坷的发展历程。经过新闻媒体对FreeForm系统的商业潜力和社会影响的过度解读之后，用户和公众对该系统的期望值和它的实际技术发展周期之间出现了严重脱节。不久之后，随着基于互联网的信息产业以及相关的计算机技术产业在千禧年间的泡沫危机，商业投机者对FreeForm系统的市场憧憬很快化为了泡影，业界对该系统背后的技术所寄予的期望也随之变成了失望甚至误解。因此，与同期发展起来的CAD（如AutoCAD、Pro/ENGINEER、SolidWorks等）系统相比，FreeForm系统一直是一个市场前景黯淡的高科技研发产品。即使在三维绘图系统（如3D Studio Max）和图像处理系统（如Adobe Photoshop）的用户当中，也很少有人了解甚至知道FreeForm系统。

自1992年，我在英国Derby大学计算机系任教并担任了该校计算机科学与技术学科的主任教授，一直从事虚拟现实技术的研究和相关系统的开发。在2000年夏季，我领导的研究小组承接了一项由英国国家医疗服务体系NHS(National Health Service)资助的研究项目。这一项目的一个研究内容是探讨人体组织重复劳损RSI(Repetitive Strain Injury)的机理并且试图通过虚拟现实技术来获取对RSI的防御措施以及计算机辅助医疗过程。课题组曾经遇到的一个技术难题是对生物软组织部位的动态建模及其具有力反馈的三维可视化与人机交互式分析。当时，FreeForm系统为解决这一难题提供了唯一的有效途径。实际上，即使在十几年之后的今天，在解决类似的技术问题时，依然没有其他系统可以取代FreeForm系统。其实，从工艺与美术、玩具与游戏、礼品与服装、信息与传媒、电器与电子、仪器与仪表，到快速成型和设备与制造，以及在生物、制药、医疗、教育、汽车、航空、航天等领域，人们已经意识到触觉式建模技术能够为这些行业带来的好处以及它在这些领域中的

应用潜力。

鉴于我个人在触觉式建模技术方面十几年的教学和科研经验，FreeForm系统是目前为数不多的而又最为成功的触觉式建模系统之一。它也是目前唯一对三维形态设计和美术工艺设计过程虚拟化最为成功的商业系统。FreeForm系统在传统的CAD系统和其他建模系统的人机交互操作和设计界面的基础上，把虚拟触觉引入了计算机三维模型之中，从而使模型的形态包涵了模型的功能并且集成了模型的设计与制作工艺过程。这也是FreeForm系统和其他CAD系统和三维建模系统的根本区别之处。传统的三维建模过程实际上仅仅是一个设计过程。通过这一设计过程所创建的模型一般需要付诸于独立的、互不兼容的制作过程（如数控制造和三维打印）才能生产出相应的物理模型或产品。而使用FreeForm系统来建模的过程不仅是一个设计过程，还是一个模型制作过程。虽然我们可以通过诸如数控制造和三维打印等生产手段来制作FreeForm模型的物理模型，但FreeForm系统的建模过程实际上是这些物理模型的塑造工艺和雕塑制作过程的虚拟化的制作过程。



英国Derby大学虚拟现实技术研究小组部分研究人员利用FreeForm系统对生物体软组织的触觉建模与交互式三维可视化分析（自左至右：Richard Bateman博士、张海燕博士、商晓磊博士、Christopher Dean 董事长Touch & Discover Systems公司 拍摄于2001年）。

我和我的合作者恳切地希望为广大读者和FreeForm系统的用户提供一个全面、系统、详细的学习读物和参考工具。根据FreeForm Modeling Plus软件的应用功能，我们将书中的内容分为十章，包括FreeForm系统简介、曲线设计、平面与绘图设计、粘土模型设计、参考模型设计、曲面与实体设计、渲染设计、分模设计、管理设计、菜单管理等。每一章都附带了详细的设计案例以方便读者学习和掌握系统的操作过程。由于水平有限，书中难免有疏漏之处，希望广大读者批评指正。

赵正旭

2015年4月于河北石家庄

目 录

第一章	FreeForm系统简介	1
1.1	FreeForm系统组成	1
1.1.1	PHANTOM触觉设备简介	2
1.1.2	FreeForm Modeling Plus软件简介	3
1.2	系统帮助	3
第二章	曲线设计	5
2.1	选择曲线	5
2.2	绘制曲线	7
2.3	编辑曲线	8
2.3.1	贴附曲线	8
2.3.2	分割曲线	10
2.3.3	合并曲线	10
2.3.4	延伸3D曲线	13
2.3.5	镜像3D曲线	15
2.3.6	平移复制3D曲线	16
2.3.7	平滑曲线	17
2.3.8	平坦曲线	18
2.3.9	细分闭合曲线	19
2.3.10	隐藏曲线	21
2.4	投影二维图形	21
2.5	将曲线投影到平面上	22
2.6	求相交曲线	22
2.7	2D曲线转换为3D曲线	23
2.8	从参考粘土中复制曲线	24
2.9	依平面求粘土的剖面线	24
2.10	依曲面求粘土的剖面线	25
2.11	复制实体边界线	27
2.12	求螺旋曲线	27
2.13	轴位标志	27
2.14	建立曲线曲率图	28

第三章 平面与草图设计	30
3.1 平面设计	30
3.1.1 创建平面	30
3.1.2 编辑平面	30
3.1.3 复制轮廓线	33
3.1.4 隐藏平面	33
3.2 草图设计	33
3.2.1 选择草图	34
3.2.2 变形草图	34
3.2.3 绘制草图	34
3.2.4 延伸2D曲线	35
3.2.5 倒圆角	35
3.2.6 裁切	36
3.2.7 镜像2D曲线	37
3.2.8 平移复制2D曲线	37
3.2.9 矩阵排列	38
3.2.10 导入图片	38
3.2.11 切换视角	39
3.2.12 锁定栅格点	39
3.2.13 退出草图模式	39
第四章 粘土模型设计	40
4.1 建构粘土	40
4.1.1 建立基本粘土模型	40
4.1.2 投影生成粘土	41
4.1.3 旋转生成粘土	45
4.1.4 依剖面线生成粘土	47
4.1.5 依3D曲线生成粘土	49
4.1.6 膨胀生成粘土	52
4.1.7 增加粘土	54
4.1.8 挤牙膏方式生成粘土	54
4.1.9 制作管状粘土	55
4.1.10 层状增加粘土	56
4.1.11 镜像粘土	57
4.2 雕刻粘土	58
4.2.1 球形刀具	58
4.2.2 方块状刀具	59
4.2.3 横式圆柱形刀具	59
4.2.4 直式圆柱形刀具	59

4.2.5	斜板形刀具	59
4.2.6	圆板形刀具	59
4.2.7	横式刮刀	59
4.2.8	直式刮刀	60
4.2.9	挤压粘土	60
4.2.10	吸附粘土	60
4.2.11	鞋钉工具	61
4.2.12	平滑粘土	62
4.2.13	区域平滑粘土	62
4.2.14	限制深度	62
4.3	精细粘土	62
4.3.1	生成凹槽	62
4.3.2	设置山脊	64
4.3.3	倒圆角	64
4.3.4	倒斜角	67
4.3.5	依3D曲线做浮雕	68
4.3.6	依选取范围做浮雕	70
4.3.7	依图像投影做浮雕	71
4.3.8	依贴附图像做浮雕	73
4.4	变形粘土	74
4.4.1	拖拉粘土	74
4.4.2	区域拖拉粘土	74
4.4.3	按曲面变形粘土	75
4.4.4	依矩形框变形粘土	78
4.4.5	依剖面变形粘土	81
4.4.6	依3D曲线拖拉粘土	85
4.4.7	平滑粘土表面	85
4.5	粘土着色	86
4.5.1	着色工具	86
4.5.2	喷枪工具	87
4.5.3	投影图像	88
4.5.4	贴覆图像	92
4.6	选择或移动粘土	93
4.6.1	依球形选取粘土	93
4.6.2	依方块形选取粘土	97
4.6.3	依轮廓线投影选取粘土	98
4.6.4	依成群方式选取粘土	99
4.6.5	依2D平面选取粘土	101
4.6.6	添加保护	102

4.6.7	依3D曲线或平面分割粘土	103
4.6.8	复位	105
4.6.9	重置粘土位置	106
4.6.10	重置原点坐标	106
4.6.11	对齐粘土物件	107
第五章	参考模型设计	110
5.1	编辑参考粘土	110
5.2	依闭合曲线编辑参考粘土	113
5.3	编辑并缝合参考粘土	115
5.4	依剖面变形参考粘土	117
5.5	依3D曲线拖拉参考粘土	117
第六章	曲面与实体设计	119
6.1	曲面设计	119
6.1.1	选择曲面	119
6.1.2	创建曲面	121
6.1.3	延伸曲面	123
6.1.4	裁剪曲面	125
6.1.5	镜像曲面和实体	127
6.1.6	变形曲面	128
6.1.7	曲面显示菜单	130
6.2	实体设计	131
6.2.1	依投影生成实体	131
6.2.2	旋转生成实体	133
6.2.3	依剖面线生成实体	135
6.2.4	依3D曲线生成实体	137
6.2.5	将实体或曲面转换成粘土	138
6.2.6	编辑和缝合实体	140
6.2.7	分割网格	144
6.2.8	缝合实体或曲面	145
6.2.9	复位实体或曲面	146
第七章	渲染设计	147
7.1	材质设置	147
7.2	灯光设置	149
7.3	场景设置	152
7.4	渲染设置	154
7.5	在渲染平面上贴纹理	157

第八章 分模设计	159
8.1 制作模具	159
8.1.1 生成分模线	159
8.1.2 优化分模线	160
8.1.3 修正拔模	162
8.1.4 区域修正拔模	163
8.1.5 抽空模型	164
8.1.6 创建拼接	165
8.1.7 分模	168
8.2 生成模具嵌件	169
8.2.1 嵌件属性设置	169
8.2.2 挤压分型面	170
8.2.3 修剪分型面	171
8.2.4 依分模线投影产生分型面	171
8.2.5 生成嵌件	172
8.2.6 创建模具零件	175
8.3 参数分析	176
8.3.1 粘土误差分析	176
8.3.2 粘土公差设置	176
第九章 管理设计	177
9.1 中间管理	177
9.1.1 建立文件副本	177
9.1.2 创建基本步骤文件夹	177
9.1.3 创建下一步骤文件夹	178
9.1.4 生成多个步骤文件夹	179
9.1.5 在文件夹之间跳转	181
9.2 实用管理	181
9.2.1 满窗口显示	181
9.2.2 隐藏或显示工具	182
9.2.3 透视图显示	182
9.3 收藏夹管理	182
第十章 菜单管理	183
10.1 文件管理	183
10.1.1 新建文件	183
10.1.2 打开文件	184
10.1.3 保存文件	184
10.1.4 恢复文件	185

10.1.5	导入文件	186
10.1.6	导出文件	187
10.1.7	退出文件	191
10.2	编辑管理	191
10.2.1	还原操作	191
10.2.2	复制与粘贴	191
10.2.3	选择操作	191
10.3	视图管理	191
10.3.1	视图显示	191
10.3.2	辅助显示	192
10.3.3	粘土显示	193
10.3.4	物件显示	194
10.4	工具管理	194
10.4.1	尺量工具设置	194
10.4.2	粘土属性设置	196
10.4.3	曲面设置	198
10.4.4	自定义设置	198
10.5	粘土管理	200
10.5.1	创建平移粘土	200
10.5.2	激活粘土	202
10.6	工具面板管理	202
10.6.1	工具栏显示	202
10.6.2	浮动工具面板	202
10.6.3	开启工具面板	202
10.7	帮助资源	203
附录一	工具面板工具说明	204
附录二	菜单栏指令说明	215
附录三	FreeForm系统功能按钮索引表	220
致 谢		229

第一章 FreeForm系统简介

在讲解FreeForm系统的操作与使用前，我们先来了解FreeForm系统的组成以及系统提供的快捷帮助。在FreeForm系统的组成中，重点围绕系统的硬件设备与软件平台进行解说，力求让读者体会到FreeForm系统的运行原理与设计优势。本书运用的FreeForm系统是运行在Windows Vista 64位操作系统上的，其操作与使用与Windows的其他操作系统基本相同。

1.1 FreeForm系统组成

本书介绍的虚拟触觉设计FreeForm系统是基于SensAble公司的3D Touch技术的模型设计系统。该系统由PHANTOM触觉设备、FreeForm Modeling Plus软件和OHAE软件开发包三个部分组成的。PHANTOM触觉设备提供给用户自由度为6的机械手臂，该机械手臂可完全代替鼠标，作为“虚拟刀具”雕刻模型。FreeForm Modeling Plus软件提供了数字粘土和三维设计界面。用户通过操纵PHANTOM上的机械手臂（也就是“虚拟刀具”），获得触觉反馈，从而在FreeForm Modeling Plus软件界面中实现对数字粘土的建立、雕刻、移动和抓持等操作。系统的另一个组成部分OHAE开发包是FreeForm系统的SDK软件开发包，可以对FreeForm Modeling Plus软件进行二次开发，实现其他应用。为了更好地理解FreeForm系统，读者可从图1-1中的“用户”角色出发，根据箭头指示感受FreeForm系统的建模原理。

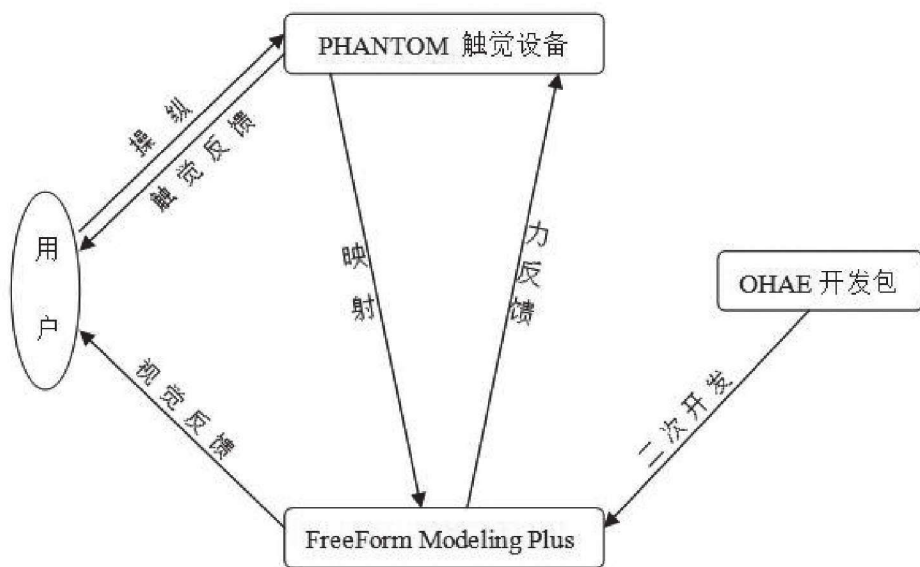


图 1-1 FreeForm系统建模原理图

1.1.1 PHANTOM触觉设备简介

PHANTOM 触觉设备，作为力/触觉反馈设置，分为Desktop、Omini、Premium三种类型。本书中用到的是Desktop触觉设备，其英文全称为PHANTOM Desktop 3D Touch Device（简称为PHANTOM Desktop）。PHANTOM Desktop是6自由度输入和3自由度力反馈输出设备，可提供最真实的3D触觉，具有高保真力反馈性能。

PHANTOM Desktop主要由底座（1）、指示灯（2）、机械臂（3）三大部分组成，如图1-2所示，每个部分都已用数字标注出来。其中PHANTOM机械臂主要是指位于机械臂末端的触针（4），触针的黑色橡胶柄处存在一个瞬时开关的按钮（5）。

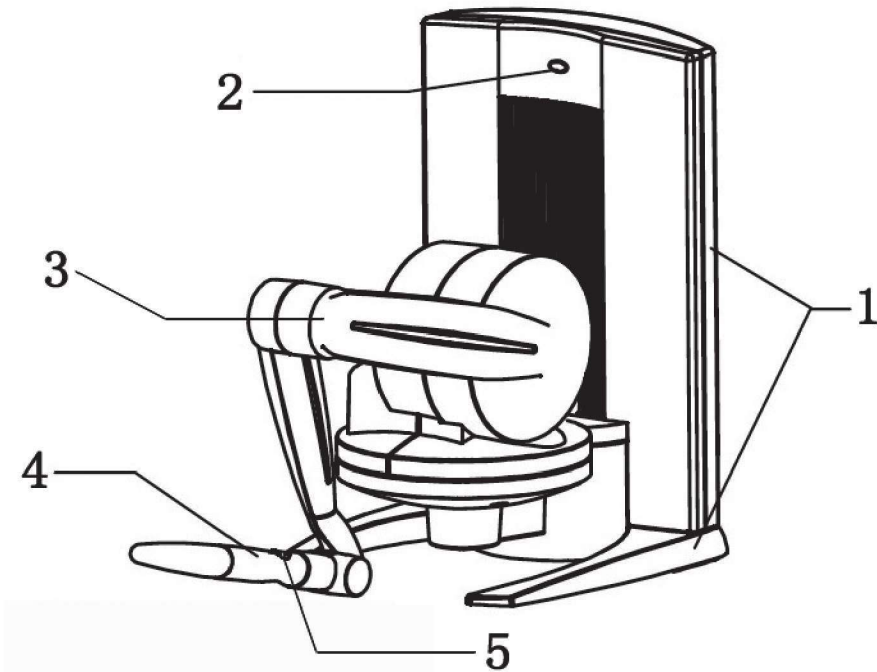


图 1-2 PHANTOM Desktop结构图

当指示灯持续不变地显示为绿色时，表示FreeForm系统已正常启动，可直接使用，即PHANTOM Desktop与计算机连接正常且FreeForm Modeling Plus已打开。当指示灯显示为闪烁的绿灯时，FreeForm系统可启动，但未校正。当指示灯闪烁黄色时，表示PHANTOM Desktop刚连接上电源线或刚连接上计算机。当指示灯持续显示橙色时，表示PHANTOM Desktop连接正常，处于待机模式。

机械臂扮演“虚拟刀具”的角色，用户在使用PHANTOM Desktop时，像握笔一样握住触针，可前/后、左/右、上/下移动或旋转触针，待其映射到FreeForm Modeling Plus软件中，便可对数字粘土进行雕刻。在以下章节中，我们将映射到FreeForm软件中的“虚拟刀具”称之为雕刻刀。在雕刻过程中，机械臂同时向用户反馈作用力，帮助用户更精确地操作粘土。必要时候点击触针上的按钮可向计算机发送操作信息，如选择工具、裁剪平面、选取区域、变形粘土等。

1.1.2 FreeForm Modeling Plus 软件简介

FreeForm Modeling Plus软件是对FreeForm Modeling软件的升级。书中介绍的软件的所有功能与案例都是基于FreeForm Modeling Plus V10版本进行讲解和实现的。

点击“开始”按钮，在“所有程序”项中选择“FreeForm Modeling Plus”，即可打开软件，软件窗口界面如图1-3所示。在图中可清晰地观察到FreeForm Modeling Plus软件窗口的组成：标题栏、菜单栏、工具面板（或称为工具模块）、工作区、动态工具栏、状态栏等。当用户将PHANTOM机械臂或鼠标箭头移动到工具面板的任意工具图标上时，在图标的下方都会出现一个工具条，用来显示工具名称。当用户点击机械臂按钮或鼠标左键选择该工具图标时，工具被选中。此时，在窗口左下方的活动工具图标处便会显示当前工具的图标与名称，动态工具栏中便会显示该工具包含的所有按钮与参数等设置信息，状态栏中用文字简单介绍该工具的使用方法与实现功能等。打开FreeForm Modeling Plus软件时，系统默认的已选中Sculpt Clay工具模块中的Carve with Ball工具，且动态工具栏与状态栏中显示其相关信息。

另外，FreeForm Modeling Plus软件默认的背景颜色为灰色，为了便于截图，本书将工作区的背景颜色全部设置为白色。当然，用户在建模的过程中，可自定义背景颜色（执行菜单栏中的“Tools>Options>View>Colors”命令，修改Background项）。

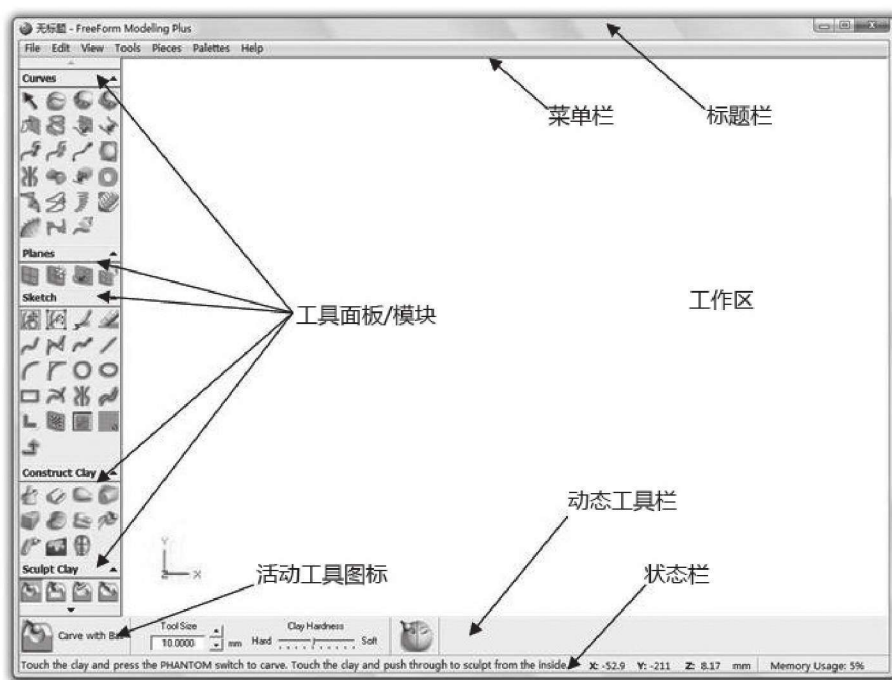


图 1-3 FreeForm Modeling Plus软件窗口组成

1.2 系统帮助

在FreeForm系统中存在很多快捷方式，可以帮助用户将模型调整到最合适的视角，以

便快速建模。为了便于读者更好地理解和实践本书中的案例，现将这些快捷方式简单地分为三种类型来介绍。

（1）使用电脑鼠标实现。长按鼠标左键，并移动鼠标，可在模型所处位置任意旋转模型。长按鼠标右键，并移动鼠标，可在用户视角前后缩放模型。同时按住鼠标左、右键，并移动鼠标，可使模型在屏幕中任意移动。

（2）使用键盘键实现。使用键盘上的上、下、左、右四个方向箭头，可使模型按照指定方向旋转。每按一次键盘上的方向箭头，默认将模型旋转15度。该旋转角度可以按照需要自行修改（执行菜单栏中的“Tools>Options>View>Setup”命令，修改View rotation increment参数）。

另外，使用键盘上的F2—F5键可分别观察主窗口模型的前（Front）、右（Right）、左（Left）、上（Top）视图。使用F6—F9键可调出辅助窗口从不同视角观察模型。辅助窗口和主窗口结合使用可同时观察到模型的两个不同视角，方便模型设计。

（3）使用PHANTOM设备和键盘键结合实现。按住键盘上的“g”键，任意移动PHANTOM机械臂，可实现模型六自由度的视角调整（沿前后、左右、上下移动和沿X、Y、Z轴旋转）。按住键盘上的“h”键，任意移动PHANTOM机械臂，可实现模型三自由度的视角调整（沿前后、左右、上下移动）。按住键盘上的“j”键，任意移动PHANTOM机械臂，可沿X或Y轴旋转模型，每次默认的旋转角度为90度，另外每次旋转到90度时机械臂会力反馈给用户，并显示旋转角度。

第二章 曲线设计

本章针对Curves模块进行讲解，其内容是关于如何通过FreeForm Modeling Plus软件对三维曲线进行选择 and 创建以及编辑和处理等操作。

2.1 选择曲线

选择曲线功能实现的工具为Select。在曲线设计过程中，需要针对某一特定曲线进行不同的操作。但是，在执行这些操作之前，必须预先选定这条曲线。

选择Select工具后，FreeForm Modeling Plus界面上的雕刻刀变成一个立体小球的形状。使用PHANTOM机械臂按钮点击曲线，便可以选择曲线，被选择后的曲线变为绿色。接下来，便可以对曲线进行以下操作。

点击**Axis Snap(X)**【坐标轴捕捉】按钮，曲线上会出现以该位置为原点的XY/XZ/YZ坐标轴，此时可以参照坐标轴移动或变形3D曲线。当机械臂按钮选中曲线上的任一个节点时，其他节点不动，曲线根据机械臂的运动而任意变形；当机械臂按钮选中曲线任意非节点位置时，曲线根据机械臂的运动而整体移动。如图2-1所示，移动图中曲线，上面显示的曲线为曲线的原始位置，下面显示的曲线为移动后的曲线位置，在移动曲线的过程中，系统会自动对移动点进行坐标轴捕捉。

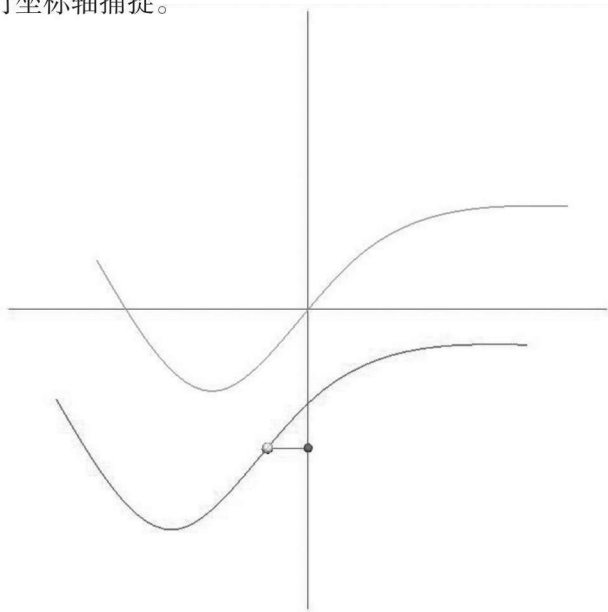


图 2-1 捕捉坐标轴的操作

点击**View Lock(V)**【视图锁定】按钮，当机械臂按钮点中曲线上的任一位置时，曲线上会出现以该位置为原点的XY/XZ/YZ坐标轴，从而对PHANTOM运动依坐标轴进行捕捉。

点击**Plane Lock(Z)**【平面锁定】按钮，在操作3D曲线的过程中，将PHANTOM机械臂的运动依曲线所在的平面进行捕捉，FreeForm Modeling Plus界面显示该平面。

点击**Precise Movement(Shift)**【精确运动】按钮，可以使曲线以较慢的速度精确运动。同样，当机械臂按钮点选曲线上任意非节点位置移动曲线时，曲线随着机械臂的运动而整体移动。当机械臂按钮点选曲线上的任一个节点移动曲线时，其他节点不动，曲线根据机械臂的运动而任意变形。

利用参数或按钮可编辑曲线节点。设置**Edit Points**【编辑节点数】参数，调整曲线上节点个数。Edit Points的下限为“1”。当节点数设置为“1”时，曲线即为一条仅包括头节点和尾节点的直线。Edit Points没有上限，可以为任意正整数。点击**Insert/Delete Edit Point**【增加/删除节点】按钮，雕刻刀显示“+/-”符号，为曲线添加或删除节点。当机械臂按钮放置在曲线的节点（不包括头结点和尾节点）位置时，雕刻刀显示“-”符号，点击按钮，该节点被删除。当机械臂按钮放置在曲线的非节点位置时，雕刻刀显示“+”符号，点击按钮，即可在此位置为曲线添加节点。另外，设置**Curve Length**【曲线长度】参数，以毫米（mm）为单位显示曲线的长度。

点击**Fit to Clay**【贴附粘土】按钮，将选择的3D曲线贴附在粘土模型上。点击**Fit to Reference Piece**【贴附参考粘土】按钮，将选择的3D曲线贴附在参考粘土上。点击**Fit to Patch/Solid**【贴附曲面/实体】按钮，将选择的3D曲线贴附在曲面或实体上。贴附功能将在2.3.1节中详细介绍，此处不再解说。

点击**Show/Hide Advanced Settings**【显示/隐藏高级设置对话框】按钮，弹出如图2-2所示的Advanced对话框。在此对话框中，可以设置控制点的间隔以及曲线的平滑程度等。

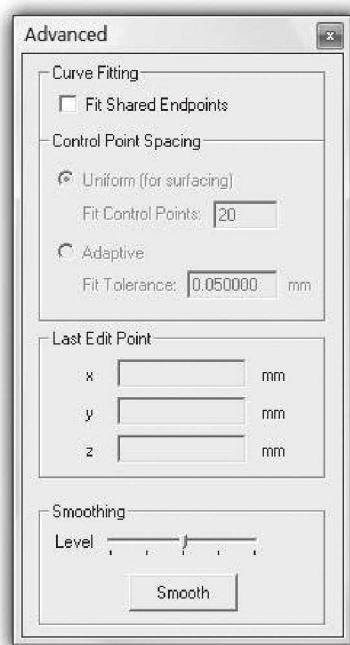


图 2-2 曲线高级设置对话框