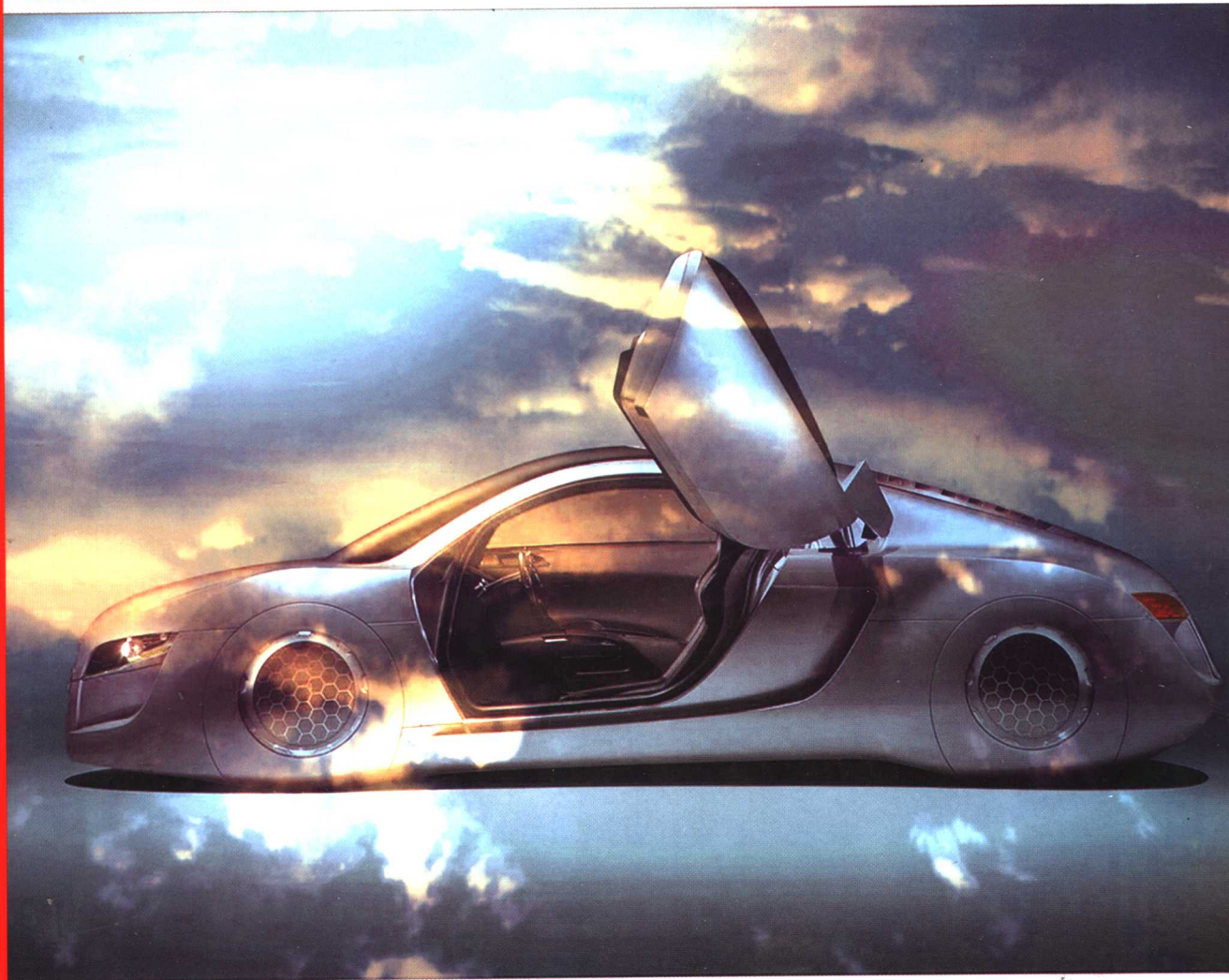


新火星人



Maya 深入精髓

王澄宇 编著

- 深入讲授表达式和MEL脚本的专著
- 源代码配合详细注释，更便于理解
- 注重传授原理和解决问题的方法
- 极大提高动画制作的效率和品质
- 配套光盘提供全部场景和脚本文件

兵器工业出版社
北京科海电子出版社



Maya 深入精髓

王澄宇 编著

兵器工业出版社

北京科海电子出版社

内 容 简 介

本书是由王琦电脑动画工作室策划推出的Maya高级技术教程,主要针对Maya中的表达式、脚本和MEL语言等知识进行系统化地讲解。从较为基础的Maya表达式入手,逐渐转入MEL脚本这一深入性的话题,采取循序渐进的方式向读者传授Maya高端技术。书中的内容主要包括:动画控制方式、表达式、数据变量、Maya预定义函数、循环语句和判断语句、用表达式控制粒子系统、建立操作窗口、创建用户菜单、MEL脚本的高级应用等。通过学习MEL脚本的编写方法并应用于实际工作中,能极大地提高专业动画制作的效率和质量。本教材是作者多年应用经验的积累和浓缩,是一部非常难得的Maya编程之经典大作。

本书包含配套光盘一张,提供了书中所涉及的全部场景和脚本文件,便于读者参照学习。本套教材非常适合Maya高端培训、自学和希望从事Maya编程研究的人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

Maya 深入精髓/王澄宇编著. —北京:兵器工业出版社;
社:北京科海电子出版社, 2005.1
ISBN 7-80172-351-1

I. M... II. 王... III. 三维—动画—图形软件,
Maya IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 002031 号

出 版: 兵器工业出版社 北京科海电子出版社
邮编社址: 100089 北京市海淀区车道沟 10 号
100085 北京市海淀区土地七街国际创业园 2 号楼 14 层
发 行: 北京科海电子出版社
电 话: (010) 82896442 82562038
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京顺义振华印刷厂
版 次: 2005 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

封面设计: 王琦电脑动画工作室
责任编辑: 李翠兰 甘志峰
责任校对: 刘雪莲
印 数: 1-5000
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 23
字 数: 574 千字
定 价: 68.00 元(1CD)

光盘使用说明

● 光盘内容说明

本教材含配套光盘 1 张, 提供了书中所涉及的全部场景和脚本文件, 与书中各章的实例相对应, 便于读者对照练习。在学习时应以书中讲解为主, 若制作范例时遇到难题, 可参考光盘中提供的已完成场景或脚本文件来修正自己的错误。

● 光盘目录安排

光盘中的内容分为 4 部分, 分别存放于下列目录中:

(1) 范例场景文件

存放于\Example\scenes 目录中, 包括相应章节提到的范例场景, 文件名见书中各章节的标注。

(2) 脚本文件

存放于\Script 目录中, 包括相应章节提到的完整范例脚本文件。

(3) 教材介绍

存放于\Demo 目录中, 包括火星时代推出的系列教材介绍。

(4) Maya 场景转换工具

存放于\mayaFileConverter 目录中, 用于转换不同版本 Maya 的场景文件。

● 光盘使用方法

读者可以根据自己的需要, 按照下面的方法打开相应内容。

(1) 范例场景文件

在 Maya 中通过菜单 File>Open Scene 打开。

(2) 脚本文件

在 Maya 中通过脚本编辑器打开。

(3) 教材介绍

在\Demo 目录中双击 cgbook.htm 打开浏览。

(4) Maya 场景转换工具

进入\mayaFileConverter 目录, 参考 ReadMe.txt 中的说明直接使用。

除此之外, 教材中有个别范例场景涉及到一些贴图, 相关文件已存放在光盘的\Example\sourceimages 目录中, 使用时根据读者的光驱盘符不同先行指定贴图的存放路径。

目 录

光盘使用说明	x
第 1 章 表达式、脚本和 Plug-in.....	1
1.1 超越 Maya 界面.....	1
1.2 表达式.....	2
1.2.1 表达式动画.....	2
1.2.2 关键帧动画与表达式动画.....	3
1.2.3 关联动画与表达式动画.....	5
1.2.4 动画方式的选择.....	6
1.2.5 动画控制节点网络结构.....	6
1.3 脚本.....	8
1.3.1 脚本应用.....	9
1.3.2 MEL 语言、MEL 命令与 MEL 脚本.....	12
1.3.3 脚本与表达式.....	12
1.3.4 MEL 脚本的调用.....	13
1.4 Plug-in.....	13
1.5 本章小结.....	14
第 2 章 第一个表达式——旋转的盒子.....	16
2.1 匀速旋转的盒子.....	16
2.1.1 例 2-01.....	16
2.1.2 实例说明.....	17
2.1.3 匀速变化的动画曲线与运动规律.....	18
2.2 加速旋转的盒子.....	21
2.2.1 例 2-02.....	21
2.2.2 实例说明.....	21
2.3 表达式编辑器窗口.....	24
2.3.1 表达式操作过程.....	24
2.3.2 表达式编辑器窗口菜单.....	25
2.4 Maya 的预定义函数.....	26
2.4.1 Maya 预定义函数的类型.....	26
2.4.2 Maya 中更多的函数.....	28
2.5 幂函数.....	28
2.5.1 幂函数的数学含义.....	28
2.5.2 Maya 中的幂函数.....	28
2.6 本章小结.....	29
第 3 章 滚动的箱子（一）	30

3.1 任务分析.....	30
3.2 用骨链控制滚动.....	31
3.2.1 例 3-01.....	31
3.2.2 表达式分析说明.....	35
3.3 数据变量.....	39
3.3.1 变量的类型.....	39
3.3.2 变量的定义.....	39
3.3.3 变量的匹配.....	40
3.3.4 变量的表示.....	43
3.4 运算.....	43
3.4.1 数学运算.....	43
3.4.2 关系运算.....	45
3.4.3 逻辑运算.....	47
3.5 条件语句.....	48
3.5.1 if 语句.....	48
3.5.2 switch 语句.....	49
3.6 本章小结.....	58
附录 A 向量的点乘与叉乘.....	52
第 4 章 滚动的箱子（二）.....	54
4.1 任务分析.....	54
4.2 用表达式控制箱子滚动.....	55
4.2.1 转动第一个 90°	55
4.2.2 找到通用公式.....	56
4.2.3 修改动画.....	57
4.3 滚动五棱柱.....	58
4.3.1 分析五棱柱的滚动过程.....	58
4.3.2 用表达式控制五棱柱的滚动.....	59
4.4 滚动六棱柱.....	60
4.5 取整函数.....	61
4.5.1 ceil（向上取整）函数.....	61
4.5.2 floor（向下取整）函数.....	62
4.5.3 trunc（截断取整）函数.....	63
4.5.4 int（取整）函数.....	63
4.6 三角函数.....	64
4.6.1 三角函数概述.....	64
4.6.2 cos 函数.....	64
4.6.3 cosd 函数.....	66
4.6.4 sin 函数.....	66
4.6.5 sind 函数.....	68

4.6.6 tan 函数.....	68
4.6.7 tand 函数.....	69
4.6.8 acos 函数.....	70
4.6.9 acosd 函数.....	71
4.6.10 asin 函数.....	72
4.6.11 asind 函数.....	73
4.6.12 atan 函数.....	73
4.6.13 atand 函数.....	74
4.6.14 atan2 函数.....	74
4.6.15 atan2d 函数.....	75
4.7 本章小结.....	76
第 5 章 推拉门.....	77
5.1 任务分析.....	77
5.2 用 locator 的移动控制推拉门.....	79
5.2.1 一个推拉单元——例 5-01.....	79
5.2.2 两个推拉单元.....	81
5.2.3 分析 N 个单元的推拉门.....	82
5.2.4 用表达式控制的完整推拉门——例 5-02.....	83
5.2.5 重写控制推拉门的表达式——例 5-03.....	86
5.2.6 对新表达式的说明.....	87
5.3 数组变量.....	88
5.4 循环语句.....	89
5.4.1 循环语句的基本形式.....	89
5.4.2 while 循环.....	89
5.4.3 do-while 循环.....	90
5.4.4 for 循环.....	91
5.4.5 for-in 循环.....	93
5.4.6 continue 语句和 break 语句.....	93
5.5 表达式与 MEL 命令.....	95
5.6 setAttr 命令.....	97
5.7 本章小结.....	98
第 6 章 龙卷风.....	100
6.1 粒子系统的特性.....	100
6.1.1 多态性.....	101
6.1.2 生命值.....	101
6.1.3 过程控制与初始状态.....	101
6.1.4 粒子系统的表达式.....	102
6.2 任务分析.....	104
6.3 龙卷风制作过程——例 6-01.....	104

6.4 表达式分析.....	110
6.4.1 运动分解.....	110
6.4.2 pointOnCurve 命令.....	112
6.4.3 粒子沿曲线运动——例 6-02.....	114
6.4.4 圆周运动的数学描述.....	117
6.4.5 粒子的圆周运动——例 6-03.....	117
6.4.6 沿螺旋线运动的粒子——例 6-04.....	119
6.4.7 沿渐开螺旋线运动的粒子——例 6-05.....	119
6.4.8 描述龙卷风的外轮廓线.....	120
6.4.9 龙卷风锥形——例 6-06.....	123
6.4.10 分散粒子分布——例 6-07.....	124
6.4.11 加入控制曲线影响.....	125
6.5 本章小结.....	126
第 7 章 海面.....	127
7.1 海面制作.....	127
7.1.1 操作步骤.....	127
7.1.2 标记菜单.....	129
7.1.3 制作分析.....	130
7.1.4 改进控制.....	133
7.1.5 重新制作海面.....	135
7.2 随机函数.....	136
7.2.1 gauss 函数.....	136
7.2.2 noise 函数.....	138
7.2.3 dnoise 函数.....	139
7.2.4 rand 函数.....	140
7.2.5 sphrand 函数.....	142
7.2.6 seed 函数.....	145
7.3 本章小结.....	146
第 8 章 MEL 概述.....	147
8.1 自己的第一个脚本.....	147
8.1.1 记录一个操作的 MEL 命令——例 8-01.....	147
8.1.2 深入了解记录的 sphere 命令.....	148
8.1.3 sphere 命令的其它状态.....	150
8.2 MEL 命令的一般形式.....	151
8.2.1 MEL 命令的使用格式.....	151
8.2.2 MEL 命令的修饰词.....	151
8.2.3 MEL 中的常用符号.....	153
8.2.4 MEL 命令与脚本命令.....	156
8.3 几个常用的 MEL 命令.....	157
8.3.1 ls 命令.....	157

8.3.2 select 命令.....	159
8.3.3 getAttr 命令.....	160
8.3.4 setAttr 命令.....	161
8.4 物体的显 / 隐开关.....	162
8.4.1 制作一个物体显 / 隐切换开关.....	162
8.4.2 简化脚本.....	163
8.4.3 修改脚本.....	163
8.5 本章小结.....	164
附录 A.....	166
第 9 章 建立操作窗口 (一)	168
9.1 Maya 窗口元素.....	168
9.1.1 Attributes Editor (属性编辑器) 窗口.....	168
9.1.2 窗口命令分类.....	169
9.2 建立窗口.....	170
9.2.1 window (定义新窗口) 命令.....	170
9.2.2 showWindow (显示窗口) 命令.....	172
9.3 窗口布局.....	174
9.3.1 formLayout 命令.....	174
9.3.2 columnLayout 命令.....	181
9.3.3 rowLayout 命令.....	184
9.3.4 scrollLayout 命令.....	190
9.3.5 frameLayout 命令.....	192
9.3.6 setParent 命令.....	195
9.3.7 deleteUI 命令.....	197
9.4 本章小结.....	198
第 10 章 建立操作窗口 (二)	200
10.1 控制体的一般工作方式.....	200
10.1.1 反应方式.....	200
10.1.2 控制过程.....	202
10.2 颜色控制体.....	203
10.2.1 attrColorSliderGrp 命令.....	203
10.2.2 colorIndexSliderGrp 命令.....	205
10.3 数字输入控制体.....	209
10.3.1 数字输入控制体所包含的内容.....	209
10.3.2 floatField 命令.....	210
10.3.3 floatFieldGrp 命令.....	212
10.3.4 floatSlider 命令.....	215
10.3.5 floatSliderButtonGrp 命令.....	216
10.3.6 floatSliderGrp 命令.....	216

10.3.7 intField 命令.....	216
10.3.8 intFieldGrp 命令.....	216
10.3.9 intSlider 命令.....	217
10.3.10 intSliderGrp 命令.....	217
10.4 文字控制体.....	217
10.4.1 text 命令.....	217
10.4.2 textField 命令.....	217
10.4.3 textFieldButtonGrp 命令.....	219
10.4.4 textFieldGrp 命令.....	220
10.5 选择控制体.....	221
10.5.1 radioButton 命令.....	222
10.5.2 radioButtonGrp 命令.....	224
10.5.3 checkBoxGrp 命令.....	226
10.6 button (按钮) 命令.....	228
10.7 本章小结.....	229
第 11 章 属性编辑窗口.....	232
11.1 任务分析.....	232
11.1.1 窗口内容分析.....	232
11.1.2 调用内容分析.....	233
11.2 任务窗口.....	233
11.2.1 操作窗口的界面.....	233
11.2.2 操作窗口状态切换及检错.....	240
11.3 场景操作.....	243
11.3.1 脚本内容.....	243
11.3.2 nodeType 命令.....	246
11.3.3 窗口选择内容读取.....	247
11.3.4 物体过滤.....	249
11.3.5 复合条件判断.....	249
11.4 编辑、保存脚本文件.....	249
11.4.1 编辑脚本文件.....	250
11.4.2 文件保存.....	251
11.5 本章小结.....	252
第 12 章 自定义符号.....	254
12.1 任务分析.....	255
12.2 合并物体的形状节点.....	256
12.2.1 parent 命令.....	257
12.2.2 改变形状节点的父节点.....	259
12.3 编写脚本.....	260

12.3.1 脚本工作方式.....	260
12.3.2 脚本工作内容列表.....	260
12.3.3 脚本逻辑过程.....	260
12.3.4 脚本内容.....	261
12.3.5 测试脚本.....	261
12.3.6 Freeze Transformations 操作.....	263
12.3.7 makeIdentity 命令.....	264
12.3.8 修改脚本.....	267
12.4 本章小结.....	268
第 13 章 海面制作.....	269
13.1 任务分析.....	269
13.2 添加用户属性.....	269
13.3 添加表达式.....	273
13.3.1 expression 命令.....	274
13.3.2 dynExpression 命令.....	276
13.4 编写脚本.....	276
13.4.1 脚本结构.....	276
13.4.2 程序单元.....	278
13.4.3 脚本内容.....	279
13.5 本章小结.....	282
第 14 章 尾巴控制系统.....	283
14.1 任务说明.....	283
14.1.1 控制方式.....	283
14.1.2 控制系统关联关系.....	284
14.1.3 脚本操作方式.....	286
14.1.4 脚本任务列表.....	287
14.2 相关命令.....	288
14.2.1 createNode 命令.....	288
14.2.2 listRelatives 命令.....	289
14.2.3 ikHandle 命令.....	290
14.2.4 spaceLocator 命令.....	290
14.2.5 xform 命令.....	290
14.2.6 group 命令.....	292
14.2.7 move 命令.....	293
14.2.8 stringArrayRemove 命令.....	293
14.2.9 aimConstraint 命令.....	294
14.2.10 pointConstraint 命令.....	294
14.2.11 orientConstraint 命令.....	294
14.2.12 connectAttr 命令.....	294

14.3 脚本内容说明.....	294
14.4 脚本的不足之处.....	301
14.5 本章小结.....	302
第 15 章 用户菜单文件.....	304
15.1 制作菜单.....	304
15.1.1 menu 命令.....	304
15.1.2 menuItem 命令.....	305
15.1.3 setParent 命令.....	307
15.2 自动调用的用户菜单.....	309
15.2.1 用户菜单文件.....	310
15.2.2 菜单文件的调用过程.....	311
15.3 本章小结.....	312
第 16 章 文件检查.....	313
16.1 任务说明.....	313
16.2 字符串操作命令.....	315
16.2.1 substituteAllString 命令.....	315
16.2.2 tokenize 命令.....	316
16.3 文件操作命令.....	317
16.3.1 fopen 命令.....	317
16.3.2 fprintf 命令.....	317
16.3.3 fgetline 命令.....	317
16.3.4 fclose 命令.....	318
16.3.5 workspace 命令.....	318
16.3.6 file 命令.....	319
16.3.7 filetest 命令.....	320
16.4 其它命令.....	320
16.4.1 symbolButton 命令.....	320
16.4.2 confirmDialog 命令.....	322
16.4.3 脚本命令 setWorkingDirectory 和 fileBrowser.....	324
16.5 文件检查.....	324
16.5.1 脚本基本说明.....	324
16.5.2 特殊单元说明.....	328
16.6 本章小结.....	329
第 17 章 物体批量改名.....	331
17.1 脚本的工作方式.....	331
17.2 脚本说明.....	339
17.2.1 操作窗口.....	339

17.2.2 改名操作主程序.....	343
17.2.3 给指定物体加前缀.....	346
17.2.4 给指定物体加后缀.....	347
17.2.5 替换物体名中的字符.....	348
17.2.6 物体形状节点改名.....	349
17.2.7 重新命名指定物体.....	350
17.2.8 文件结构.....	350
17.3 本章小结.....	351

第1章 表达式、脚本和 Plug-in

在 DOS 时代，几乎所有的软件都是采用命令行形式进行操作的，这对软件用户提出很高的要求：用户必须记住大量的命令以及这些命令的变化形式。自从 Windows 取代 DOS 成为 PC 的主流操作系统后，图形界面和操作窗口就逐渐代替了命令行形式，成为几乎所有软件的主要操作方式。但这种操作方式存在一个巨大的缺陷：就是软件现成的图形界面和操作窗口不能穷尽所有可能的命令操作，特别是大型软件。除了这个局限以外，还有一个问题是 DOS 时代和 Windows 时代的软件都必须面对的：用户对软件能力以外的功能需求。只有突破了这些局限，软件的功能才能真正发挥出来；也只有突破了这些局限，软件才能成为帮助使用者发挥创造力的工具，而不是限制或阻碍用户发挥创造力的累赘。因此，一个好的软件必须具备一种机制来允许用户突破这两种限制，而且越是大型软件、高端软件这种能力越应该强大。

作为三维制作方面一个举足轻重的软件，Maya 在用户自主控制和扩展软件功能方面提供了一整套解决方案，即“表达式——MEL 脚本——Plug-in”方式。

1.1 超越 Maya 界面

Maya 中为用户提供的编程方式控制与功能扩展手段可以分为三个层次：表达式、MEL 脚本和 Plug-in。

表达式

Maya 表达式通常用于动画控制。一般来说，用表达式控制的动画通常是采用其他动画控制方式较难控制或无法实现的。

脚本

MEL 脚本通常用来完成一些较为复杂的任务，这些任务通常是通过 Maya 本身菜单和操作界面不能直接实现的。例如，Maya 4.5 以前不能直接实现不同物体相互对齐的功能，为了便于进行对齐，有人写了一个脚本来实现这个功能，Maya 4.5 将这个工具集成进来，形成了今天 Maya 菜单中的 Modify>Snap Align Objects>Align Objects 工具。其实，Maya 中所有菜单命令都是基于 MEL 脚本实现的。Maya 操作界面上的每一个命令、每一个窗口都是调用一个或一组 MEL 脚本。用户自己撰写的脚本与这些 Maya 自带的脚本没有什么区别。这些脚本全部放在 Maya 安装路径下的 scripts 子目录下：

Maya 4.0 \AW\Maya4.0\scripts

Maya 4.5 \AliasWavefront\Maya4.5\scripts

Maya 5.0 \AliasWavefront\Maya5.0\scripts

这些脚本是学习 MEL 的最佳范例，用户可以多进行研究和参考。

Plug-in

MEL 是 Maya 内置的高级语言，MEL 是 Maya Embedded Language——“Maya 内嵌语言”的缩写，其基本单元是 MEL 命令，因此 Maya 脚本的编写受制于 MEL 命令的功能。也就是说，任何人无论是 Maya 用户还是 Maya 开发者，他们编写的 MEL 脚本的功能只是现有 MEL 命令功能的组合，而不可能超越 Maya 现有 MEL 命令和节点本身的功能。通过这种方式为用户提供新功能，就好像再好的工匠也不可能用木头做出铁柜来。比如说 Maya 本身渲染无法计算液体的散焦效果，这是因为所有的 MEL 命令和 Maya 节点功能中没有提供相应的算法。因此，想通过 MEL 脚本来实现这种功能根本就是不可能的。

要突破现有 MEL 命令与节点的功能局限，这就是 Plug-in 的任务了。

Plug-in 的编写无法在 Maya 内部完成，而是用 C++语言在 Maya 外部进行的，然后编译成 mll 文件在 Maya 中调用。

Plug-in 的结果是让 Maya 中出现新的 MEL 命令或新的节点类型，它们可以提供原有命令和节点所不具备的新功能。

1.2 表达式

在 Maya 中，用户会经常接触到一种最基本的编程控制方式——表达式。通过使用表达式，可以很方便地对动画进行精确控制，并且可以完成许多其他动画控制方式无法实现的复杂任务。

1.2.1 表达式动画

抛开纷繁各异的名称，三维软件控制动画的形式不外乎三种：关键帧动画、关联动画和表达式动画。关键帧动画直接记录物体参数随时间的变化关系；关联动画记录的并不是物体参数变化与时间变化的直接关系，而是一个物体参数变化受控于另一个物体参数的变化，只有当另一个物体参数即控制参数的变化与时间建立并联关系后，受控参数才会随时发生变化；表达式动画是用一系列逻辑关系和数学公式完成某种控制关系，这种控制既可以用时间控制一个属性的变化，也可以是用一个属性的变化控制另一个属性的变化。

上面所说的是动画控制方式的基本形式，这三种基本形式在不同的软件中会以不同的方式出现，也可以有一些其他的变化形式。在 Maya 中控制物体运动的基本方式有六种：

- Keyframe（关键帧动画）
- Set Driven Key（驱动关键帧）
- Constraint（约束）

- Motion Path（路径动画）
- Expression（表达式动画）
- Direct Connection（属性关联）

在这六种方式中，Set driven key（驱动关键帧）、Constraint（约束）、Direct Connection（属性关联）都是标准的关联动画，而 Motion Path（路径动画）则可以认为是将关键帧动画与关联动画结合起来的 application 方式。

与关键帧动画和关联动画相比，表达式动画是一种更为灵活也更为复杂的控制方式。表达式动画既可以实现用时间直接控制物体参数变化，也可以实现用一个物体参数的变化控制另一个物体参数的变化，也就是说表达式动画可以完成关键帧动画和关联动画的功能。

1.2.2 关键帧动画与表达式动画

同样是控制时间与物体参数的变化关系，用关键帧进行控制与采用表达式进行控制有较大的区别，需要根据不同的目标选用适当的方式。

关键帧动画

关键帧动画是通过规定关键帧位置、节点属性与时间的对应关系来控制动画过程的。在两个关键帧之间，节点属性随时间的变化是通过插值计算来确定的。如图 1.01 所示，其中横坐标代表时间，纵坐标代表节点属性值，图中的两个红点代表动画关键帧，这就构成了节点属性的动画曲线。

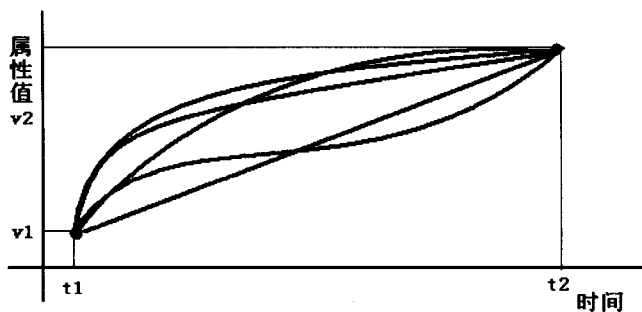


图 1.01

从图上可以看出，任意两个点之间可能有无数条曲线，因此即使确定了两个动画关键帧，两个关键帧之间节点属性的变化仍然具有无限多的可能性，也就是说动画过程是不唯一的。为了确保用户可以控制动画过程中属性的变化，Maya 允许用户调整关键帧动画的切线来改变曲线形状，如图 1.02 所示，并预设了几种切线类型。这实际上是改变了两个关键帧之间属性变化的插值计算方式。这种动画控制方式直观、迅速，但却很难实现精确控制，当动画过程需要属性值精确取值时，采用关键帧动画可能很难满足要求。

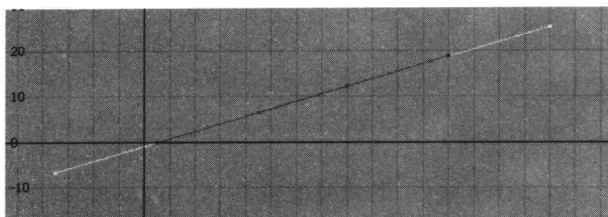


图 1.02

关键帧动画的另一个问题就是：任意两个关键帧之间数值变化的插值计算方式会受到前后关键帧的影响。如图 1.03 所示，动画曲线有三个关键帧，前两个与图 1.02 中动画曲线的关键帧完全一样，但是因为加入了第三个关键帧，所以动画曲线在第一个关键帧与第二个关键帧之间的部分发生了变化，与图 1.02 中的曲线形状不一样了。也就是说，在剃动画（Key）的过程中，经常要返回去修正动画曲线，以消除因加入新的关键帧而对前面动画产生的负影响。当然高水平的动画师可以预见到这种影响，并在剃动画的过程中充分考虑这种影响，经常“不足”或“有余”以利用这种影响。

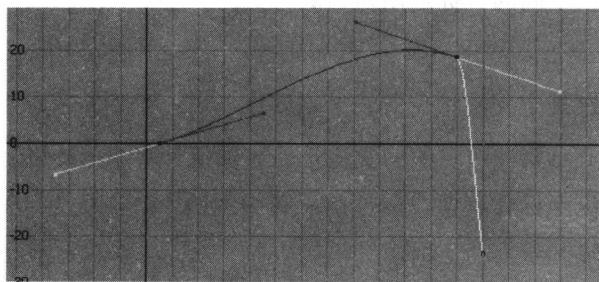


图 1.03

表达式动画

表达式动画通常是用一个或一组数学公式来描述属性的变化，这种方式非常适合制作具有数学精确的运动方式。另外，表达式对运动的控制是全程的，即只要数学描述是对的，受控属性值就不会出现“意外”的动作。

例如，制作太阳系的运动模型，只有九大行星的运动控制非常精确才能准确模拟“九星连珠”等天文景象。九大行星的运动轨迹都是椭圆形，这种运动用关键帧动画本身就很难控制，再要求九大行星的运动都与现实的运动轨迹吻合，这又给关键帧动画提出了更高的要求。因此，采用表达式来控制太阳系九大行星的运动将优于关键帧方式。就这个例子而言，使用表达式动画的另一个优越性是有利于调整，如果因某种特殊原因需要加速整个系统的运转速度，使用表达式控制只需要更改几个参数就可以了，而关键帧动画则需要修改大量关键帧数据。

从结果上看，表达式动画与关键帧动画还有一点小小的区别就是作用范围。在首尾关键帧范围以外，关键帧动画物体属性的变化规律只能以规定的几种方式变化，而且用户必须自行指定，这些预设的变化并不一定与关键帧动画范围内的动画规律一致。相反，表达