

◆ 邢禹 主编

# 3ds max 4!

## 角色动画技术全解

- 生产级动画流程
- 角色动画模型要素
- Character Studio 全面学习
- 群组动画
- 角色动画分析

人民邮电出版社  
www.pptph.com.cn



◆ 邢禹 主编

# 3ds max 4!

## 角色动画技术全解

人民邮电出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

3ds max 4 角色动画技术全解 / 邢禹主编. —北京: 人民邮电出版社, 2002.1  
ISBN 7-115-09967-7

I. 3... II. ①邢... III. 三维—动画—图形软件, 3ds max 4 IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 092726 号

### 内容提要

角色动画是三维制作中的核心技术环节。能够制作精彩的角色动画是每一个动画制作人员的理想和奋斗目标。本书作为 3ds max 角色动画的专项技术书籍, 系统讲述了 3ds max 角色模型的全套解决方案。尤其是重点讲解了在角色动画制作中占主导地位的 Character Studio 3.X 角色动画系统, 其中包括的 Character Studio 动作编辑和群组动画在内的高端技术内容, 已经超越了其自身的技术局限, 真正从应用角度出发, 形成了一套全面地、系统地讲述 Character Studio 工具的案例教程。

作为另外一个重要组成部分, 本书还详细介绍了 3ds max 自身的骨骼系统。我们也细心地整理了角色动画对模型的要求供读者参考, 以使整个动画工程更加流畅和规范, 提高成品质量。

本书技术全面、详略得当, 适合 3ds max 用户使用, 不但可作为专门从事三维电脑动画设计、三维影视广告设计、三维游戏设计等有角色动画制作需要的专业人员的自学用书, 同时也可作为高等美术院校、动画学院相关专业师生的参考用书和社会相关领域培训班的教材。

### 3ds max 4 角色动画技术全解

◆ 主 编 邢 禹

责任编辑 陈江芸

◆ 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@pptph.com.cn

网址 <http://www.pptph.com.cn>

读者热线 010-67180876

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京顺义向阳胶印厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787 × 1092 1/16

印张: 16.5

字数: 396 千字

2002 年 1 月第 1 版

印数: 1 - 5 000 册

2002 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-09967-7/TP·2681

定价: 32.00 元(附光盘)

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010)67129223

## 本书编写人员

主 编：邢 禹

编著人员：（按姓氏笔划排序）

于 涛 石 磊 许一帆

许 毅 余 瑾 周 琛

邢 禹 肖 勇

# 前 言

角色动画是三维应用中最为瞩目的部分。在所有的动画作品中，角色承担着作者构思的情节、演绎着作者想表达的情感、牵动着观众的视线、主导着整个画面。在三维创作中，“角色”的含义不仅仅局限于人物角色的范畴——凶猛的野兽、温顺的小宠物、交通工具、日常器具，甚至一个沙袋、一个足球都可以成为生动的角色，来讲述一段故事。可以这样说，只要是能运动，而且被赋予了生命的特征的物体，就可以成为我们的角色。

角色动画技术，就是为一个角色模型加载一段动作的技术。运动起来的角色，才是动画师技艺最鲜明的展现。角色动画技术有两个主要组成部分，一个是如何将角色模型设定为可以运动的一套系统；另外一个，也是更重要的就是如何使这套系统像生命体一样运动起来。本书正是针对于角色动画需要解决的这两个技术问题，将 Discreet 3ds max 的全套角色动画方案展现在您面前。

本书以较大篇幅叙述了 Character Studio 插件的操作和技术难点。Character Studio 功能强大、易于学习、易于应用、操作规范，它是 3ds max 最主要的角色动画工具，被直接包含在 3ds max 软件中捆绑销售。本书的作者们在长时间系统学习和应用过 Character Studio 的基础上，自主撰写了全新、全面的教学资料。我们的目标就是要超越 Character Studio 随软件提供的英文教材，为广大读者提供更优秀、更适合的学习教程。

此外，本书还收录了 3ds max 自身的相关技术组成部分，作为 Character Studio 的补充和扩展，本书中所涉及到的骨骼系统（Bones）更是任何动画师都必须懂得运用的强大工具。我们在书中提出了一些应用中常会遇见的难题并提出了解决的办法，希望能给您带来帮助。

3ds max 最大的优势就在于资源相对丰富的学习环境，有非常多的书籍和资料可供选择。我们相信，随着行业内总体技术水平的提高，三维制作的分工、合作会日益成熟起来，因此我们希望能够针对于软件的某一技术环节进行深入而全面的研究，并且兼顾到对整体流程的考虑。此次，希望我们所提供的角色动画方面的这本书籍能够满足读者的要求。

编著者

2001 年秋

# 目 录

<b>导读与概述</b> .....	1
<b>第 1 章 两足动物步迹动画</b> .....	15
1.1 两足动物骨架系统 .....	16
1.2 步迹动画 .....	20
1.2.1 关于步迹动画 .....	20
1.2.2 创建步迹 .....	20
1.2.3 步迹类型及其时间参数 .....	26
1.2.4 创建后添加步迹 .....	29
1.2.5 调整步迹 .....	30
1.2.6 Biped 的显示功能 .....	31
1.2.7 在 Track View 中调整步迹动画 .....	38
1.3 Biped 角色动画的运动原理 .....	38
1.4 步迹动画的保存和导入 .....	41
<b>第 2 章 两足动物的体形变化</b> .....	43
2.1 Figure Mode .....	44
2.2 添加额外的肢体 .....	47
2.3 体形改变和动画的关系 .....	48
<b>第 3 章 自由动画 ( Freeform Animations )</b> .....	51
3.1 自由动画的基本介绍 .....	52
3.2 自由动画的菜单和命令 .....	58
3.3 IK key info 部分 .....	67
3.4 Layers 层的概念和应用 .....	84
3.4.1 “层”的概念和应用 .....	84
3.4.2 总结 .....	87
<b>第 4 章 Motion Flow 动作编排</b> .....	89
4.1 使用 Show Graph .....	90
4.1.1 在 Motion Flow 中建立 Clip .....	92
4.1.2 Motion Flow Scripting .....	92
4.1.3 建立和运行 Motion Flow Scripts .....	94



4.2 扩展功能 .....	97
4.2.1 Ghost 的使用 .....	97
4.2.2 在 Motion Flow 模式下怎样调节关键帧 .....	100
4.2.3 使该动画在 Motion Flow 模式之外有效 .....	101
4.2.4 多个 Biped 共享动作库 .....	101
<b>第 5 章 Motion Capture 数据引用 .....</b>	<b>107</b>
5.1 Motion Capture 面板 .....	108
5.2 转换运动捕捉数据 .....	110
5.3 Motion Capture 的应用 .....	112
<b>第 6 章 骨骼系统与反向动力学 .....</b>	<b>117</b>
6.1 IK(反向运动)与骨骼 .....	118
6.1.1 Bone(骨骼)的介绍 .....	118
6.1.2 创建骨骼 .....	120
6.1.3 将物体转化为骨骼 .....	124
6.2 IK 的介绍 .....	125
6.3 两足角色骨骼的创建与设定 .....	131
6.3.1 创建腿部骨骼 .....	131
6.3.2 完成下肢骨骼的调整 .....	132
6.3.3 创建躯干骨架 .....	134
6.3.4 创建肩与手臂 .....	134
6.3.5 骨架的设置 .....	135
6.3.6 骨骼设置的注意事项 .....	142
<b>第 7 章 Skin 蒙皮捆绑 .....</b>	<b>147</b>
7.1 Skin 蒙皮功能 .....	148
7.1.1 Skin 基本操作 .....	148
7.1.2 Skin 权重控制 .....	152
7.2 Skin 针对角色动画的优化 .....	155
7.2.1 添加角度变形器 (Angel Deformer) .....	155
7.2.2 添加肌肉角度变形器 (Bulge Angel Deformer) .....	158
7.2.3 添加变体角度变形器 (Morph Angel Deformer) .....	159
7.2.4 小结 .....	161
<b>第 8 章 Physique 捆绑 .....</b>	<b>163</b>
8.1 Physique 的应用 .....	164
8.1.1 Physique 卷展栏里的命令按钮 .....	164

8.1.2 初次创建 Physique Links 和 Envelopes .....	166
8.2 Envelope 封套编辑 .....	169
8.3 Link 子物体中的参数 .....	171
8.4 Bulge 卷展栏 .....	176
8.5 Tendons 肌腱卷展栏 .....	179
8.6 Vertex 卷展栏 .....	182
8.7 应用实例 .....	185
<b>第 9 章 群组动画 ( Crowd Animation ) .....</b>	<b>193</b>
9.1 Crowd Animation 初步介绍 .....	194
9.2 Crowd 参数 .....	197
9.3 Delegate 参数 .....	199
9.4 Crowd 矢量场 ( Vector Field ) .....	201
9.4.1 创建矢量场 .....	201
9.4.2 把 Delegate 用于 Space Warp 空间扭曲 .....	202
9.4.3 运用矢量场空间扭曲到粒子系统 .....	203
9.5 Crowd 下拉菜单参数 .....	204
9.5.1 Clone panel 复制面板 .....	204
9.5.2 Position panel 位置面板 .....	206
9.5.3 Rotation 旋转面板 .....	206
9.5.4 Scale 缩放面板 .....	207
9.5.5 All Ops 面板 .....	208
9.6 Behavior 行为篇 .....	215
9.6.1 避让行为 ( Avoid Behavior ) .....	215
9.6.2 方向行为 ( Orientation Behavior ) .....	215
9.6.3 路径追随行为 ( Path Follow Behavior ) .....	216
9.6.4 排斥行为 ( Repel Behavior ) .....	217
9.6.5 寻找行为 ( Seek Behavior ) .....	218
9.6.6 脚本语言行为 ( Scripted Behavior ) .....	218
9.6.7 空间扭曲行为 ( Space Warp Behavior ) .....	219
9.6.8 速度变化行为 ( Speed Vary Behavior ) .....	219
9.6.9 表面到达行为 ( Surface Arrive Behavior ) .....	219
9.6.10 跟随表面行为 ( Surface Follow Behavior ) .....	220
9.6.11 墙壁排斥行为 ( Wall Repel Behavior ) .....	221
9.6.12 墙壁寻找行为 ( Wall Seek Behavior ) .....	221
9.6.13 散步行为 ( Wander Behavior ) .....	222
9.7 实例部分 .....	222





<b>第 10 章 制作一个高质量的角色模型</b> .....	239
10.1 人体结构基础 .....	240
10.2 模型建造方式概述 .....	241
10.3 模型与材质 .....	246
10.4 为角色动画做准备 .....	250

# 导读与概述



作为本书最先面对读者的一段文字，这篇“导读”将向读者介绍本书的整体结构和内容组成，并介绍一些与角色动画制作相关的基础知识和工作流程。希望这部分内容有利于读者对整个知识体系的了解，有利于读者在学习过程中保持明晰的思路，有利于提高读者对本书学习的兴趣。

### (一)

这是一本关于 3ds max 角色动画的专业书籍，由多人合作而成，我们每个人负责其中的一部分，最后再串联为一个整体。一段时期以来，我们分别在“角色动画制作”这个大项目的不同环节中工作，互相切磋、互相学习、互相传授。这是一件非常幸运的事，我们这么多人能够在一家规模宏大的正规公司中任职并将自身分别安置在三维动画工程的不同环节中，这不仅有利于我们在技术上不断深入发掘，也有利于我们用规范的工作流程进行分工合作。

作为职业的动画制作者，工作的压力迫使我们不断学习最新的知识和技艺。我们深感自学的艰辛，更感慨技术更新的迅速。记得刚刚入门学习的时候，有教师的指导，有很多的书藉和资料，有朋友、同学的帮助。那时候真的感觉如同置身于浩瀚的海洋，不知道自己能走多远。可真等有了些经验，迫不及待地想驾船扬帆，却又发现身边已然一片沙漠，贫瘠得令人步履维艰。

经过一段时间的工作积累，我们深切地感觉到当前的知识环境还是不够好，行业中业已积累的养分还不足以供年轻人汲取、吸收。当一个人完成了基础课程的学习后，往往迫于环境无法继续前进。

这其中的缘由，除去客观上我国 CG 业所处的环境窘迫的缘由，更有人为的原因。但值得庆幸的是，我和我的同事长时间共事在交流、开放的氛围中。因为我们知道：囤积、保守的知识只会在不断的锈损中逐渐失去价值；只有不断流动的信息才能带来更大的收获。

经过一个夏天的努力，我们终于完成了这本书的写作，作为几个人一段时期以来的知识积累，也为同是这个行业的朋友提供一份资料。

### (二)

角色动画是三维制作中的核心技术环节，也是最具吸引力的环节。能够制作精彩的角色动画是每一个动画制作人员的梦想。

作为专业书籍，本书系统讲述了 3ds max 角色模型的全套解决方案，其中最主要的就是 3ds max 的 Character Studio 3.X 角色动画系统。Character Studio 作为 Discreet 开发的创作工具，具有以下优点：

- 应用简便。Character Studio 以一套 Biped（两足动物）骨架为核心进行角色的动

画记录。Biped 骨架模拟人类骨骼系统设计，不但可以随意调整、演变（详见本书第 2 章），而且自带反向动力学（IK）系统。操作者可以由此迅速进入实际的工作状态，减少了前期准备时间。

- 功能全面。Character Studio 的骨骼系统完全按照直立行走动物的运动方式和运动特征来设定，提供了一整套动画工具供用户使用。从基本的“脚步生成行走动画”（详见第 1 章）到比较复杂的正向/反向动力学切换，再到多个运动片断的剪辑、编排，甚至群组角色的控制等，Character Studio 的技术体系覆盖面是当前所有的角色动画解决工具中独有的。
- 标准化、开放化。Character Studio 非常适合于项目的合作。这不仅仅是指几个人之间的合作，Character Studio 甚至也适应多个部门之间、多种动画解决方案之间的配合和流通。由于 Character Studio 骨骼是已经定制的规范化系统，因此我们的动画记录可以存储为文件，进行调转、修缮、剪辑和转化。
- 群组动画。群组动画的含义是“集群”的整体运动控制和编排。Character Studio 的群组动画功能——Crowd（详见第 9 章）提供了大场面镜头的调配功能，提高了 Character Studio 在商业和工业中的应用价值。其他软件如果希望得到群组动画的效果，可以使用粒子系统、脚本语言或者后期合成，但是粒子系统本身不能提供高精度的计算结果，脚本语言方法又不是基层动画师所能掌握，后期合成的成本十分高昂，灵活性也有限，因此 Crowd 是不可多得的宝贵工具。
- Character Studio 自身的模型/骨骼绑定系统对动物体进行了大量优化，譬如其肌肉起伏、肌肉扭曲、肌腱变形的部分。经过一段时间训练，我们就可以非常迅速地处理好骨骼和模型之间的运动关系。

在国内，Character Studio 的资料仅散见于国内的一些书籍中，我们相信这本书是国内第一本脱离其自身教材，真正从应用角度出发，全面、系统地讲述 Character Studio 工具的一套较完备的资料。

本书还包括了一章 3ds max 自身的骨骼（Bones）部分。3ds max 的骨骼经过几年来的发展，已经成为了一种非常完善的角色动画工具。对比 Character Studio 的 Biped 骨骼，3ds max 自身的骨骼系统更灵活、发掘潜力更大。非常适合于高质量要求的角色动画制作。

骨骼（Bones）系统需要依靠手工操作，将角色的每一块骨骼建立、连接起来，并且设置旋转角度限制和反向连接关系。3ds max 自身的骨骼系统虽然需要动画师进行大量的创建和调节、适配工作，但这个手动过程能够提供更丰富和更精细的肢体动画特性。配合 3ds max 不断优化的表达式和脚本语言控制系统，它自身的骨骼系统的动画效果所达到的难度和精彩程度是 Biped 系统无法企及的——但这对于动画师自身素质以及工作量的要求也更高。

一个漂亮的模型不一定适合于制作动画，不一定能成为完善的角色。这除了动画制作的原因外，还依赖于模型本身的特性——是否利于动画的调制，是否利于骨骼的适配。本书的最后一章中包含了部分“用于动画的人物角色模型”的制作要求。从建造模型时的布线方法、到模型的面数控制。作者的每段叙述都是从大量实践中积累出的经验，对于动画

工程的顺利进行有不可忽略的指导作用。

希望读者能够利用本书，迅速掌握角色动画的基本操作方式，尽早进入动画制作的高级阶段，少受软件的束缚，多留些时间和精力在动画效果中去。

### (三)

在开始本书的学习之前，我们需要对各章做逐一的介绍。这除了能让读者对本书有基本了解，还能够将全书的知识体系贯穿起来，并且对角色动画的基本工作流程有一个初步认识。

人类以及所有脊椎动物的绝大多数运动，都是依靠肌肉的变形带动骨骼的旋转，最后牵引整个身体的变形。从微小的敲打键盘、移动鼠标，到剧烈的扭打、格斗，根本的运动流程都是相似的。

当前的角色动画实现方法，大多是直接操纵骨骼系统，利用骨骼带动角色模型的变形来实现——这个带动的过程，需要通过“捆绑”来实现。因此，骨骼的运动，是角色肢体动画的基本部分。而“捆绑”的含义就是设置骨骼对肌肉、皮肤以及一切附属物的支撑和牵引范围。

在本书的第1章中，我们会展示 Character Studio 系统的 Biped 骨骼。从如何建立、调整，到建立简单的行走动画，使读者基本了解骨骼系统的运动方式。

如图 0-1 所示，Biped 骨骼的布局和外形非常类似人体——也许是因为 Biped 骨骼具有体积感。但我们调整骨骼的时候，更重要的是骨骼的分布——包括数量、长度、角度以及关节的位置等。

Biped 的直接含义是“两足动物”，就是依靠两条腿来支撑身体并且行走的动物。由于这个名字，Character Studio 在早期往往被直接称为“两足运动系统”，而不是“角色动画系统”。“两足动物”的含义，来源于动画师在长期工作中对于人类运动特性的认识。

人的大幅度肢体运动中最重要的部分就是“下肢运动”。具体而言，两条腿的运动方式影响着人类运动的行进方式和肢体平衡方式。“行进”在动画中比我们想象的要重要得多。因为“行进”是我们对于角色最基本的要求，也直接影响着角色的空间位置关系和调度。人体的下肢运动对角色的平衡控制也是决定性的，“平衡”可以作为一切物理变化的核心要素。无论是生物还是非生物，其平衡状况直接影响着运动形式。而人类的运动，也是从一个平衡的状态演化成另外一个平衡——即便摔倒了，也不过是获得了非常彻底的平衡姿态。

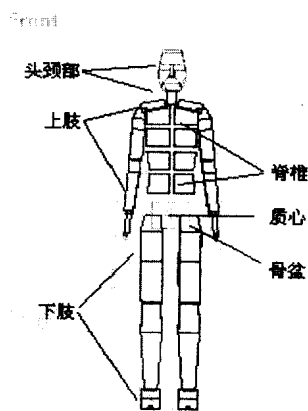


图 0-1

Character Studio 的 Biped 系统有一个非常创造性的动画工具，就是利用人体的运动特性，通过“足迹”来产生行走动画——这被称为“步迹动画”（Footstep Animation）。

如图 0-2 所示，在步迹动画模式中，你可以建造有序的或者凌乱的步迹，然后通过解释运算，让角色依靠脚步的位置和顺序定位，自动产生行走、奔跑或者跳跃的动画，而且这不仅仅是两条腿的运动，角色身体的躯干部分和上肢同时也会产生配合动作。这些步迹甚至可以建立在起伏的表面上，而骨骼系统会自动计算双腿的弯曲和身体的平衡。

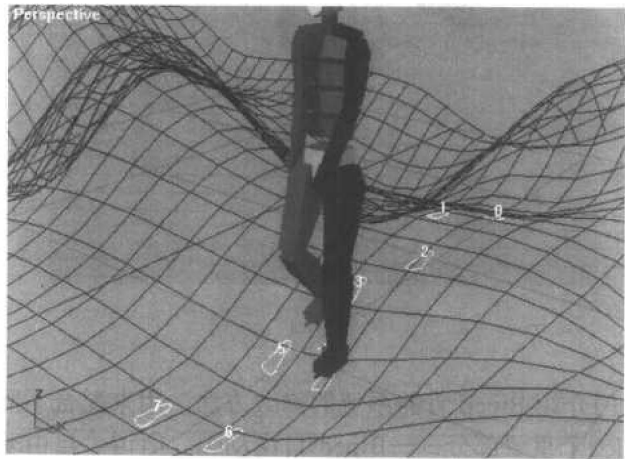


图 0-2

步迹动画本身也附带了一些优化参数，用来满足不同的动画要求，如图 0-3 所示。步迹动画是比较初级的角色动画解决方法，往往作为浅显的演示、测验，我们可以把它看作 Biped 骨骼附送的一套工具，用来进行更细致的调节阶段之前的准备工序。

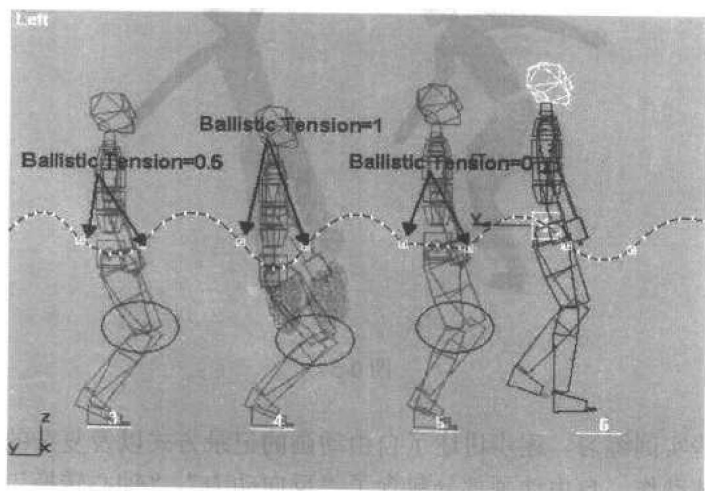


图 0-3

Biped 骨骼的一个有趣的（也是强大的）特性就是其变化性。为了使一套骨骼能适配任何角色模型，你可以应用移动、旋转、缩放、复制等诸多手段进行调整，当然也包括骨骼整体的尺寸变化。如图 0-4 所示的恐龙骨骼缩放都可以迅速完成，那么任何人物角色都应该没有什么问题。

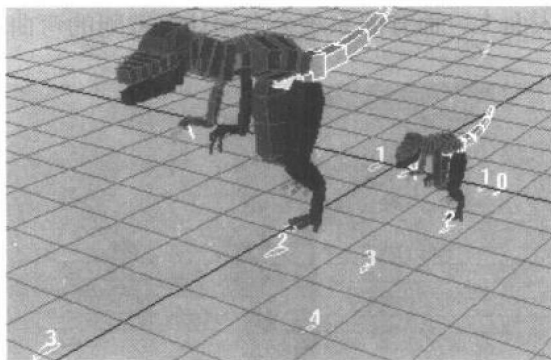


图 0-4

本书的第 2 章专门介绍 Biped 骨骼系统的修改方法，用来配合不同模型的要求。

第 3 章是本书的一个重要部分——Biped 自由动画。所谓“自由动画”（Freeform）就是通过直接控制、改变 Biped 骨骼系统的各部分骨骼的运动，来手工记录的动画，如图 0-5 所示。自由动画是 Biped 动画的主体部分，甚至可以说 Character Studio 的所有功能都是以自由动画为基础，或者是围绕自由动画展开的。



图 0-5

本章通过一些实例练习，逐步讲述了自由动画的记录方式以及复杂的功能。为了实现精彩、细腻的肢体动作，自由动画部分包含了“反向动力”、“轴心转换”、“动作层”等高级特性。如图 0-6 所示，通过反向动力计算，能够将角色动作同道具的运动紧密关联。

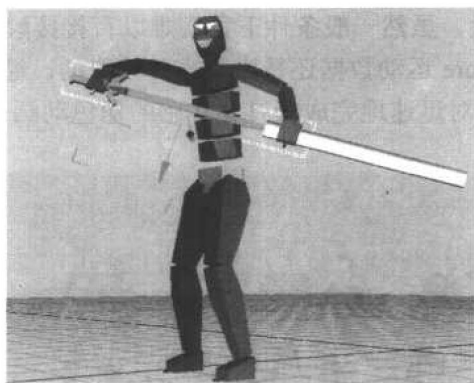


图 0-6

**Biped** 骨骼系统是一套已经设置了连接关系的完整体系，其中包含正向（FK）与反向（IK）两套计算方式。正向动力是依靠上层骨骼带动下层骨骼的运动，比如你抬起上臂，那么前臂和手也跟随着转动。反向动力则是由下层骨骼带动上层运动的运算方式——例如一个人的手被牵扯的时候会反向带动整条手臂。反向动力往往用于身体的末端（手、脚）受到支撑、牵引等外力作用的时候，例如双脚的支撑效果。还有就是身体的末端作为肢体运动的核心时，拳击的过程就是如此。**Biped** 骨骼的一个特色就是支持正向、反向动力的混合运算和实时转化。

“轴心转换”则是人性化地体现了角色运动的实际情况。当肢体同环境中稳固的物体接触时——比如地面、墙壁、门窗、家具等，肢体将以接触点作为部分肢体运动的轴心。一个最经典的例子就是人在行走的时候，脚跟、脚掌与脚尖受力/支撑状况。**Biped** 骨骼系统支持多轴心的动态转化，实现了这一特性。

此外，“运动层”的概念在 **Biped** 骨骼自由动画的具体应用中也有增强和细化。经过人们长时间应用和信息反馈考虑到角色动画在具体操作中的切实需求，**Biped** 骨骼系统已经发展为完善的动画工程体系。一段动画由简单到复杂，由基础到详实，由普遍到特性，由粗糙到细腻，它在调制期间需要很多反复的过程。如果使用其他的骨骼系统进行操作，那么整个动画调节过程到最后都反映在一个角色的动作层面之中，都记录为各个关节的关键帧，而 **Biped** 骨骼系统则可以将整个调节过程分为不同的层次，逐类、逐步记载下来。

**Biped** 骨骼系统一个非常强大的功能就是能够进行多个不同动作的循环、剪切、连续等的编辑操作，这就是 **Biped** 的 Motion flow 功能。这个动画的编辑功能在具体应用中非常有效，不但可以减轻动画的操作难度，而且可以丰富多个角色的动画效果。如图 0-7 所示，应用 Motion Flow 功能为多个角色赋予不同的几套动作，并随机组合，能够生成复杂的动画场面。

**Motion Capture** 系统通过光学或者机械的原理，将真实的角色肢体动作“捕捉”为运动数据。应用这些数据，我们可以驱动骨骼做非常逼真的运动——这些运动本身就如同真实运动的影像一般。

**Biped** 骨骼可以非常迅速地处理 **Motion Capture** 系统的数据，将所捕捉的动作转化为



Biped 骨骼自身的动画记录。虽然一般条件下我们难以直接接触到昂贵的 Motion Capture 设备，但一些 Motion Capture 运动数据还是比较容易获取的。通过 Motion Capture 系统和 Biped 的转化功能，可以相对迅速地完成极具真实感的角色动画效果。

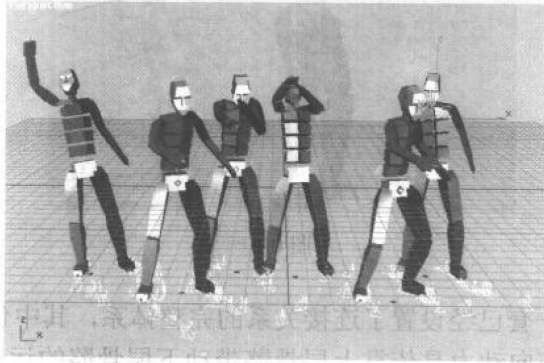


图 0-7

如图 0-8 所示，一段 Motion Capture 数据被转化后，成为了 Biped 骨骼系统的关键帧记录。而且这段数据还可以通过自由动画的方式进行再加工，不断完善。同时也可以应用 Motion Flow 功能将多段动作结合。

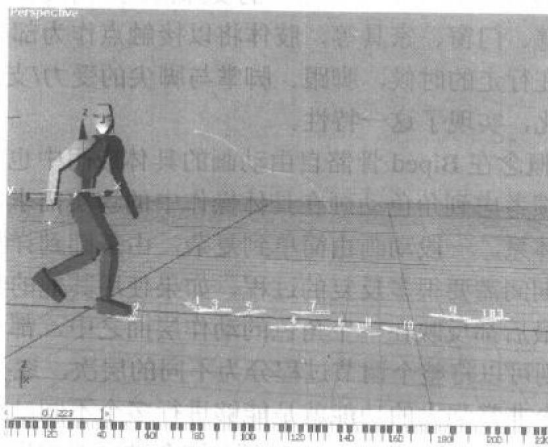


图 0-8

创建骨骼，并手工设定 IK 进行动画控制是目前 CG Animation 领域角色动画最成熟的方法之一。3ds max、Maya、SoftimageXSI 等目前最流行的三维动画软件都无一例外地遵循这一流程。3ds max 的骨骼系统经过多年的发展，具有自己独特的特性。如图 0-9 所示，这是一套基础的 3ds max 人体骨骼系统。如果需要增加肢体动画的细腻程度，这套骨骼还可以进行进一步的优化处理。