

第11章 正向运动与反向运动

使用3D Studio MAX 3进行动画设计时，当一组关联影响对象的协同运动时，就要涉及正向运动（Forward Kinematics）和反向运动（Inverse Kinematics）。正向运动与反向运动的概念虽存在较大差异，但都是为了有效地给物体设置和谐有序的动作，因为物体之间特别是物体的局部与主体间做相互关联动作时，对象之间的连接方式及组成结构对运动的结果影响很大。

正向运动是子物体跟随父物体的运动规律，即在正向运动时，子物体的运动跟随父物体运动，而子物体按自己的方式运动时，父物体不受影响。正向运动的概念可以理解为：如果模拟制作一只动物活动的动画，将动物的身躯设为父物体，头为子物体。当动物躺下时，身躯（父物体）向下，头（子物体）也跟着向下运动；而当头（子物体）左右转动时，身躯（父物体）不受影响。

同样道理，对动物来说，身躯是父物体，两条上肢是身躯的子物体，双臂同时又互为兄弟，因为它们共有一个父物体。上肢又是前肢的父物体，前肢是爪的父物体。如果移动身躯，则上肢、前肢、爪均随之运动，若转动爪则前肢、上肢和身躯不受影响。一个单一的父物体可以有許多子物体，而一个子物体只能有一个父物体。

反向运动与正向运动刚好相反，是父物体跟随子物体运动的系统。3D Studio MAX 3拥有一套完善的三维空间反向运动系统（Three-Dimensions Inverse Kinematics，简称IK），使用IK系统，只需移动层次连接中的单一物体而使整个物体出现复杂的层级运动。IK在设计制作复杂的人物、动物或机械运动时体现出不可替代的优势。

和正向运动相比较，IK系统要花一定的时间用于参数的设置工作，同时需要用到物理学、数学方面的知识及丰富而敏锐的想象力和观察力。如果经验丰富且善于联想，你能很快制作一个生动逼真的三维人物的行走动画。大致步骤是拨动物体活动的各关节，摆出所需的初始姿态，移动到另一个关键帧，确定该时刻的动作姿态，依此类推，3D Studio MAX 3会自动生成关键帧之间连贯的行走动作。

将人走路时头和四肢按一定的关系一层层连接起来，形成Hierarchy Linkage（层次树连接）。需要明确物体间运动的关联及影响，利用层次树结构可较好地建立物体及其各部分间的连接，使设置动作显得简明而轻松。

对于正向运动与反向运动来说，层级命令面板都很重要。经过层级命令连接，父物体与子物体均以层次连接的树形结构呈现，通常树只有一个主干（父物体），而有许多支干（子物体或孙一级子物体）。在3D Studio MAX 3中，树形结构的层次连接的效果会因使用正向运动还是反向运动而不同。系统的默认值是正向运动。

11.1 正向运动

3D Studio MAX 3中复杂对象的层次树连接类似于族谱的形式，其中单独的父物体可有多个子物体与之相连，而每个子物体只能有一个父物体。正向运动中父物体的运动影响子物体

的运动，而逆向运动中子物体的运动影响父物体的运动。


下面通过实例讲述正向运动的动画效果，主要以创建的一个机械手来演示父子物体层次连接后的正向运动。机械手的逻辑关系是：当底座移动时，其他物体都跟随运动。垂直长轴运动时，除底座保持不动外，其他连到垂直长轴上的物体都跟着运动。

11.1.1 创建机械手

机械手从下至上由六个物体组成：底座、垂直长轴、U形支架转轴、水平机械臂、机械臂上的水平长轴和在水平长轴末端的U形机械手，如图11-1所示。在3D Studio MAX 1.2的场景文件夹中该文件名为Tut10_1.Max。

在未建立层次连接之前，机械手各个部位之间的活动是互不影响的，无论移动或旋转任何一方，其他物体都不会产生关联运动。

连接父物体和子物体的方法是先选择一个对象作为子物体，然后在主工具栏上单击

Select and Link（选择并连接）按钮，从子物体上拖动光标到父物体便完成连接。连接后，一旦父物体产生运动，子物体就会受到影响。但子物体运动不会影响父物体。

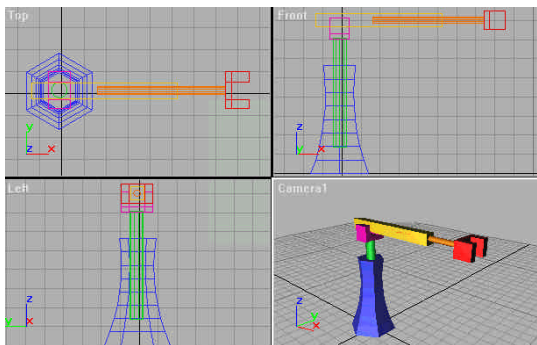


图11-1 在场景中创建一个机械手

首先将垂直长轴连接到底座上。方法是点选垂直长轴，单击主工具栏上的 Select and Link（选择并连接）按钮，在垂直长轴上按住鼠标左键不放并拖到底座上时松开鼠标，底座闪了一下，说明连接工作已经完成，垂直长轴已经是底座的子物体。这时移动或旋转底座，垂直长轴都将产生相关运动，而垂直长轴运动则底座保持不动。

依照上述方法，设置垂直长轴是U形支架转轴的父物体，U形支架转轴是水平机械臂的父物体，水平机械臂是水平长轴的父物体，水平长轴是U形机械手的父物体。

打开Track View（轨迹视图），用鼠标右键单击左侧项目窗口的 Objects，在弹出的对话框中选择Expand All，依次关闭底座、垂直长轴、U形支架转轴、水平机械臂、水平长轴和U形机械手左侧圆形减号的展开项目，父子关系的层次树连接显示得非常清晰，Base(底座)处于层级树的最顶端，Hand（U形机械手）处于最末端，如图11-2所示。

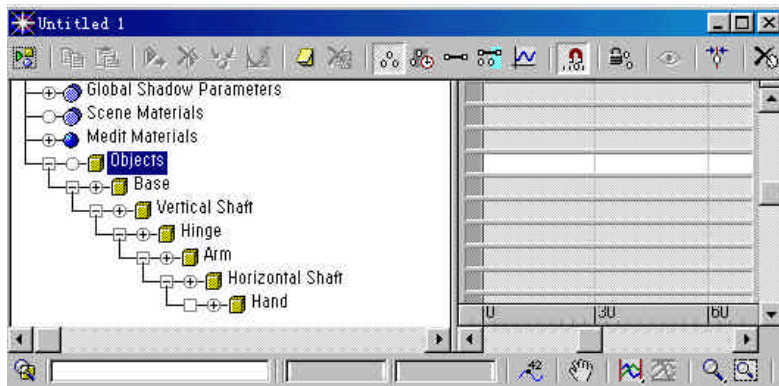



图11-2 机械手各个对象父子关系的层次树连接

11.1.2 锁定坐标轴

从逻辑上讲,连接起来的机械手中的某些子物体只能沿着某个特定的坐标轴移动或转动。比如垂直长轴只能上下运动, U形支架转轴只能跟随垂直长轴做上下运动,但自身可以做自由水平旋转运动。下面我们设法限制这些物体在某些轴向上的运动,以方便将来做动画。

1) 首先锁定垂直长轴,配合键盘上的 H键点选 Vertical Shaft (垂直长轴)。

2) 单击Hierarchy按钮,打开Hierarchy (层级) 命令面板,单击Link Info按钮,Link Info命令面板显示出来,如图11-3所示。


3) 在Locks面板的Move卷展栏下面勾选X轴和Y轴,以限制垂直长轴沿这两个方向运动。在Rotate卷展栏下面勾选X、Y、Z,限制垂直长轴的所有轴向的旋转运动。Scale卷展栏下面不做任何锁定。

4) 试着在前视图中移动垂直长轴,在X、Y轴被锁定的情况下垂直长轴只能沿Z轴上下垂直运动,不能做水平运动,如图11-4所示。垂直长轴的设置工作完成。

5) U形支架转轴是水平机械臂的父物体,它带动水平机械臂绕垂直长轴做旋转运动,应限制其在X、Y轴的旋转运动及所有轴的位移运动,如图11-5所示。

6) 在设置水平机械臂的旋转之前,先移动轴心点,以便保证水平机械臂能正确绕U形支架转轴的轴心点旋转。在Hierarchy (层级) 命令面板中单击Pivot按钮来调整轴心点,单击Affect Pivot Only按钮,如图11-6所示。

7) 水平机械臂的轴心点显示在该物体的中间,为了更加清晰地显示轴心点,暂时隐藏了其他物体,如图11-7所示。

8) 单击Select and Move按钮,在顶视图中,把水平机械臂的轴心点移动到转轴的U形支架转轴的轴心。

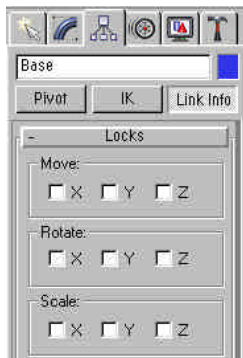


图11-3 Hierarchy (层级) 命令面板

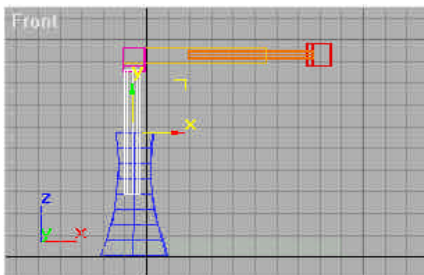


图11-4 X、Y轴被锁定的情况下垂直长轴只能沿Z轴上下垂直运动

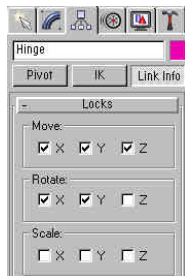


图11-5 限制其在XY轴的旋转运动



图11-6 层级命令面板中单击Pivot/ Affect Pivot Only

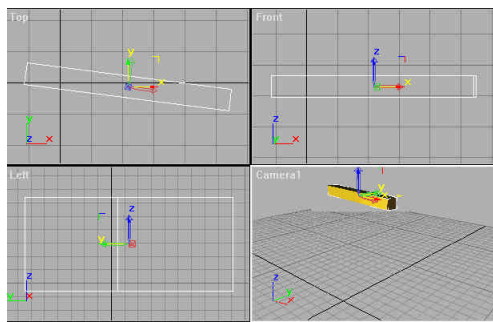



图11-7 水平机械臂的轴心点显示在该物体的中间

9) 使水平机械臂处于被选择状态, 单击层级命令面板的 Link Info按钮, 在Locks卷展栏中, 勾选Move下面的X、Y、Z, 勾选Rotate下面的X和Z, 如图11-8所示。

10) 单击主工具栏的 Select and Rotate按钮 , 旋转水平机械臂, 机械臂只绕 Y轴旋转, 不再受主工具条上当前轴的约束限制。如图11-9所示。

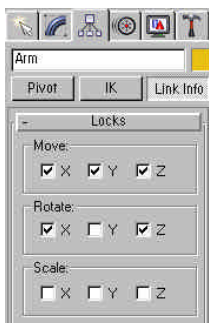


图11-8 Locks卷展栏中的设置

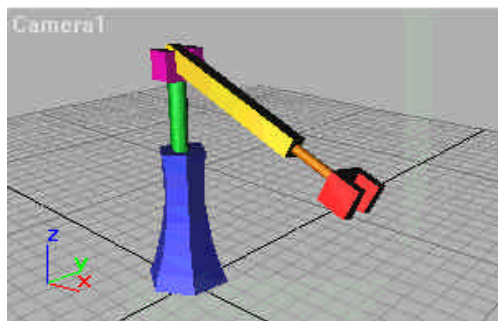


图11-9 旋转水平机械臂的结果

11) 下面锁定其他物体的轴向。机械臂上的水平长轴能沿 X轴移动和旋转, 因此锁定Y、Z轴, 在层级命令面板上的设置如图11-10所示。

12) U形机械手能绕X轴旋转, 锁定Y、Z轴, 在层级命令面板上的设置如图11-11所示。

13) 底座可以沿X、Y轴做水平移动, 因此要锁定Z轴, 在层级命令面板上的设置如图11-12所示。

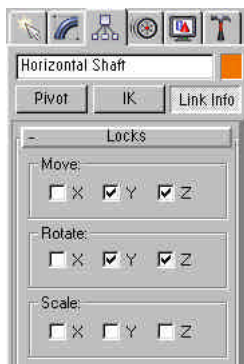


图11-10 水平长轴在层级命令面板上的设置

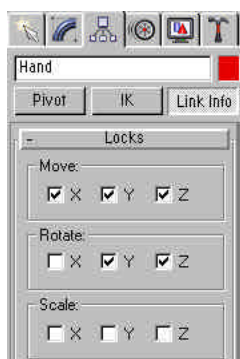


图11-11 U形机械手在层级命令面板上的设置

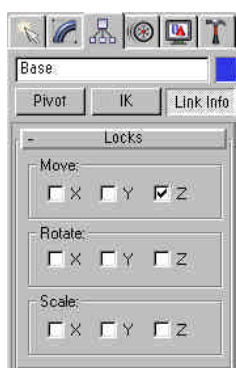



图11-12 底座在层级命令面板上的设置

11.1.3 设置正向运动

调整完成机械手的连接及轴向限制后, 我们以系统默认的正向运动环境制作一段机械手的动画。首先将动画时间设置得长一些, 单击 Time Configuration按钮 , 在弹出的对话框中设置Length(长度)为220, 单击OK按钮确定。

1) 单击Create (创建) /Shapes(平面造型)/Circle, 在顶视图中创建一个圆形。点选底座, 进入运动命令面板, 点取 Position, 单击 Assign Controller按钮进入位置控制器选择框, 选择 Path (路径) 控制器并退出。

2) 向上推动运动命令面板的卷展栏, 单击 Pick Path按钮, 在视图中点选圆形, 单击播放动画按钮, 底座(父物体)带着所有子物体沿圆形做圆周运动。

3) 点选 Animate (动画记录) 按钮, 确定机械手当前处于第 0 帧, 调整摄像机到合适的角度, 如图 11-13 所示。

4) 移动时间滑块到第 35 帧, 单击主工具栏的 Select and Move 按钮, 将底座上的垂直长轴向下移动。单击主工具栏的 Select and Rotate 按钮, 将 U 形支架转轴旋转 180° , 效果如图 11-14 所示。

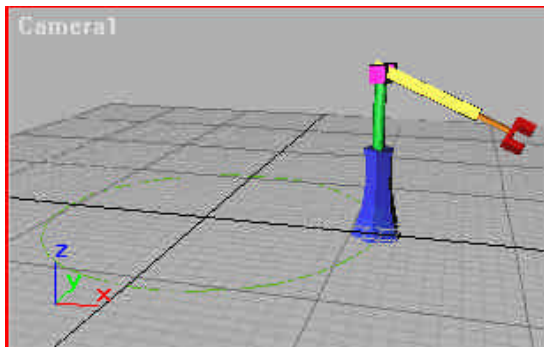


图11-13 机械手处于第0帧的状态

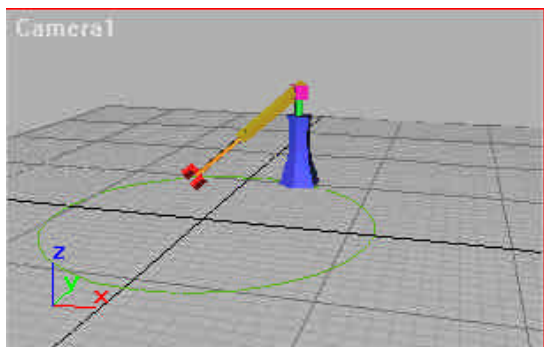


图11-14 移动垂直长轴并旋转U形支架转轴

5) 移动时间滑块到第 70 帧, 单击主工具栏中的 Select and Move 按钮, 将机械臂上的水平长轴拉长。单击主工具栏中的 Select and Rotate 按钮, 将水平机械臂向下旋转, 将 U 形机械手旋转几周。如图 11-15 所示。

6) 移动时间滑块到第 110 帧, 单击主工具栏的 Select and Rotate 按钮, 将 U 形支架转轴旋转 180° 。

7) 移动时间滑块到第 150 帧, 单击主工具栏的 Select and Move 按钮, 将底座上的垂直长轴向上移动。单击主工具栏的 Select and Rotate 按钮, 将水平机械臂向上旋转, 如图 11-16 所示。

8) 移动时间滑块到第 185 帧, 单击主工具栏的 Select and Move 按钮, 将机械臂上的水平长轴缩短。单击主工具栏的 Select and Rotate 按钮, 将 U 形支架转轴旋转 90° , 如图 11-17 所示。

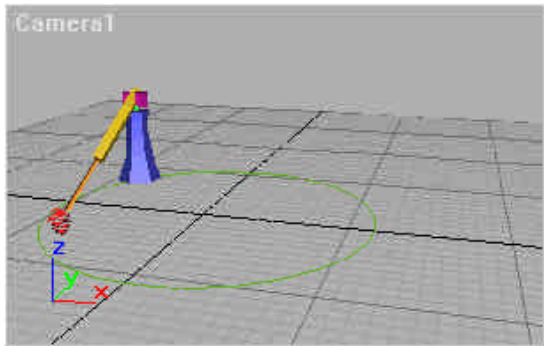


图11-15 第70帧时机械手的状态

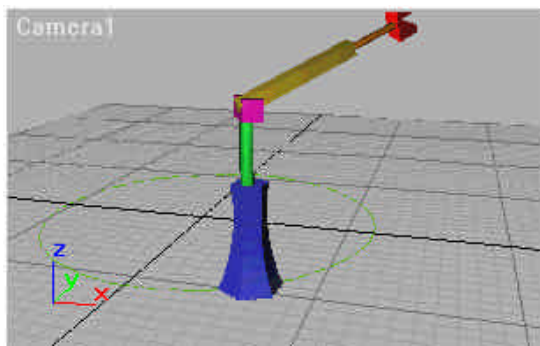


图11-16 第150帧时机械手的状态

9) 移动时间滑块到第220帧, 单击主工具栏的 Select and Move按钮, 将底座上的垂直长轴向下移动一点, 将水平机械臂向下旋转, 如图 11-18所示。

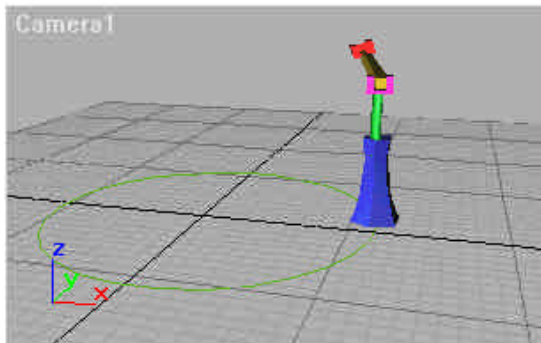


图11-17 第185帧时机械手的状态

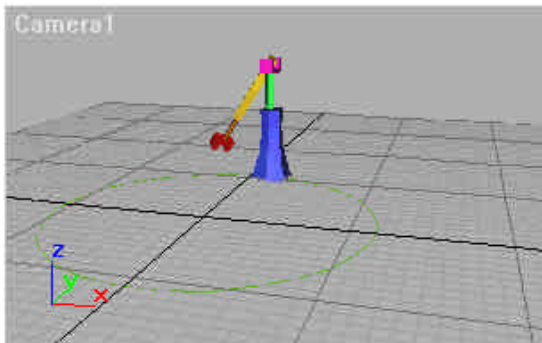



图11-18 第220帧时机械手的状态

10) 至此, 机械手动画的设置工作全部完成, 单击播放动画按钮  观看最后效果, 机械手在旋转运动中好像在地面拾起一样东西并将它运走。

11.2 层级命令面板

层级命令面板对于正向运动与反向运动具有同样重要的作用, 主要用于调节相互连接物体之间的层次关系。在层次命令面板中包含三个命令项目: Pivot (轴心点)、IK (反向运动)、Link Info (链接信息), 如图 11-19所示为层级命令面板的系统默认界面。

使用层级命令面板, 可以创建相对复杂的父子连接, 比如子物体可以分别连接到相同的或不同的父物体上, 建立复杂的复合父子连接; 通过 IK 反向运动系统, 能模拟人和动物的关节连接运动; 进行物体轴心点的设置; 控制物体移动、旋转、缩放时在 XYZ轴向上的锁定等等。

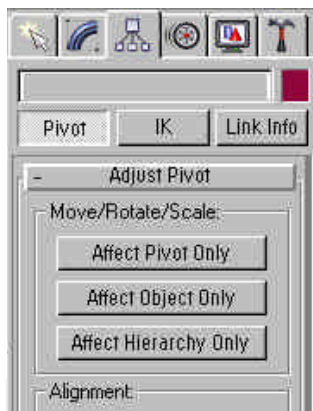


图11-19 层级命令面板的系统默认界面

11.2.1 Pivot

每一个物体都有轴心点, Pivot (轴心点) 就像物体的自用轴轴心, 主要功能有: 旋转和缩放时物体的轴心点即为相应变化的中心点; 作为父物体与子物体连接的中心点, 子物体将针对轴心点进行变换操作; 决定反向运动的连接坐标中心, 专用于 IK 反向运动的变换操作。

层级命令面板中 Pivot (轴心点) 的界面如图 11-20所示。

首先介绍 Adjust Pivot (调节轴心点) 下面的 Move/Rotate/Scale (移动 / 旋转 / 缩放) 卷展栏中各按钮的作用:

- Affect Pivot Only (仅影响轴心点) 对被选择物体的轴心点进行修改, 这时使用移动和旋转工具能够改变物体轴心点的位置和方向。
- Affect Object Only (仅影响物体) 对被选择物体产生变换影响, 例如使用移动和旋转工具可以以轴心点为坐标调节物体的位置和方向。

- Affect Hierarchy Only (仅影响层级连接) 对被选择物体的子物体产生影响, 不改变物体的轴心点位置与方向, 主要用于骨骼系统与几何形体之间的匹配。

Alignment (对齐) 只对上面的 Affect Pivot Only 和 Affect Object Only 两个命令起作用, 用于物体轴心点的自动对齐。当点选 Affect Pivot Only (仅影响轴心点) 按钮时, Alignment 卷展栏的命令由灰色变为可用状态, 如图 11-21 所示。

- Center to Object (对齐到物体中心) 将轴心点设置到物体的中心。
- Align to Object (对齐物体) 使物体轴心点旋转并与物体的变换坐标轴方向对齐。
- Align to World (对齐世界坐标系) 使物体轴心点旋转并与世界坐标系的坐标轴方向对齐。

当点选 Affect Object Only (仅影响物体) 按钮时, Alignment 卷展栏的界面命令如图 11-22 所示。

- Center to Pivot (对齐中心到轴心点) 设置物体的中心点到轴心点处。
- Align to Pivot (对齐轴心点) 旋转物体使它的坐标轴向与轴心点方向对齐。
- Align to World (对齐世界坐标系) 旋转物体使它的坐标轴向与世界坐标系的坐标轴方向对齐。

Reset Pivot (重新设定轴心点) 按钮用于将物体的轴心点恢复到刚创建时的状态。

Adjust Transform (调节变换) 用于进行层级树连接的物体, 如果对父物体移动、旋转、缩放, 也会影响到它的子物体, 在 Adjust Transform 中可以控制父物体在不影响子物体的情况下单独进行变换操作, 如图 11-23 所示。



图11-20 层级命令面板中Pivot (轴心点) 的界面



图11-21 点选Affect Pivot Only后 Alignment 卷展栏的命令



图11-22 点选Affect Object Only后 Alignment 卷展栏的命令

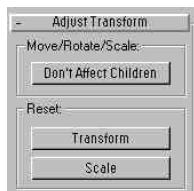


图11-23 Adjust Transform (调节变换) 卷展栏

- Don't Affect Children (不影响子物体) 控制父物体在不影响子物体的情况下单独进行变换操作。
- Transform (变换) 对齐世界坐标系并恢复物体自用轴坐标的方向, 不会影响子物体。不考虑物体当前的方向。
- Scale (缩放) 一般来说, 此选项对物体不会有直接的改变。通过使用该命令可以防止不等比的层次缩放问题。例如, 对层次连接对象中的父物体进行不等比缩放, 如果被层

级中的一个子物体继承，可能会造成意想不到的变形。

11.2.2 IK

Inverse Kinematics (反向运动) 简称 IK，是依据反向运动学的原理对层级树连接后的复合物体进行运动设置。与正向运动不同，运用 IK (反向运动) 系统控制层级树末端物体的运动，计算机将自动计算此变换对整个层级树的影响，并据此完成复杂的复合动画。

层级命令面板中 IK (反向运动) 的界面如图 11-24 所示。

1. Inverse Kinematics (反向运动) 卷展栏

- Apply IK (指定 IK) 为层级树中每个对象的运动指定 IK 计算，并在动画的每一帧产生相应的变换关键点。
- Apply Only to Keys (仅指定到关键点) 仅把 IK 影响指定给当前 IK 链末端引导物体已存在的关键点。
- Update Viewports (更新视图) 在指定 IK 后的计算过程中，随时更新每一帧的内容，这样会降低计算速度。
- Clear Keys (清除关键点) 在指定 IK 计算前删除 IK 链所有的移动和旋转关键点。
- Start/End (开始 / 结束) 设置 IK 计算的范围，默认为当前活动区段的每一帧。

2. Object Parameters (物体参数) 卷展栏

如图 11-25 所示，用于 IK 的深层控制，将引导物体与 IK 链的末端物体互相绑定，使引导物体发挥其引导作用。

- Terminator (终结子) 勾选终结子复选框，当前物体便成为 IK 链中的一个终结子。终结子可以将 IK 影响阻隔在该处，不再向上传递 IK 运算效果，从而控制受 IK 影响的范围。在 Bone 骨骼系统中，设定为终结子的节点将显示为红色。
- Position (位置) 设置是否进行位置绑定及绑定的轴向和强度。
- Bind Position (绑定位置) 将在层级树中选择的物体绑定到世界或一个引导物体上，如果引导物体已经被指定，那么它将转化引导物体的位置影响到 IK 计算中。
- Axis (轴向) 分别控制位置作用的 X、Y、Z 坐标轴。假如关闭一个坐标轴，则物体在其轴向上的位置影响将不会作用于 IK 系统。
- Weight (重力) 设置引导物体对控制物体的影响，设为 0 时关闭绑定。它可以决定影响的优先级数。
- Orientation (方向) 设置是否进行方向绑定及绑定的轴向和强度。
- Bind Orientation (绑定方向) 将在层级树中选择的物体绑定到世界或一个引导物体上，如果引导物体已经被指定，那么它将转化引导物体的旋转影响到 IK 计算中。
- Axis (轴向) 控制旋转作用的坐标轴向。关闭一个坐标轴向，则在该坐标轴向上的旋转影响将不会作用于 IK 系统。



图 11-24 层级命令面板中 IK (反向运动) 的界面

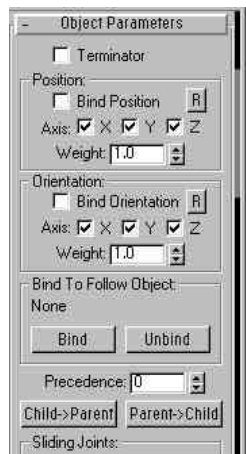


图 11-25 反向运动 Object Parameters (物体参数) 卷展栏

- Weight (重力) 以参数决定导引物体对控制物体的影响程度, 设为 0 时关闭绑定, 它可以决定影响的优先级数。
- Bind To Follow Object (绑定到导引物体) 单击 Bind (绑定) 按钮, 在视图中单击要绑定的物体, 拖动鼠标左键牵引出一条虚线到导引物体上, 释放鼠标即可将物体绑定到导引物体上。
- Bind (绑定) 单击该按钮, 将指定的物体绑定到导引物体上。
- Unbind (解除绑定) 将具有绑定关系的物体与其导引物体解除绑定关系。
- Precedence (顺位) 设置顺位值, 可以改变 3D Studio MAX 3 中连接物体接受 IK 计算的优先顺序。默认值为 0, 适用于大多数 IK 运动。
- Child->Parent (子级到父级) 自动设置顺位值为从子物体到父物体递减, 一般来说都使用这种顺位方式来控制 IK 链。
- Parent->Child (父级到子级) 自动设置顺位值为从父物体到子物体递减。
- Sliding Joints (滑动连接) 通过 Copy (复制) 和 Paste (粘贴) 按钮, 在 IK 控制器之间进行滑动连接设置的复制和粘贴。
- Rotational Joints (旋转连接) 通过 Copy (复制) 和 Paste (粘贴) 按钮, 在 IK 控制器之间进行旋转连接设置的复制和粘贴。
- Mirror Paste (镜像粘贴) 在粘贴的同时进行连接设置的镜像反转, 镜像反转的轴向可以随意指定, 默认为 None, 即不进行镜像反转。

3. Auto Termination (自动终结) 卷展栏

如图 11-26 所示, 暂时指定终结子物体一个特殊的连接号码, 使它从当前选择物体沿层级树向上传递, 在互动式 IK 状态下可以起到传递作用, 对指定式 IK 和 IK 控制器不起作用。

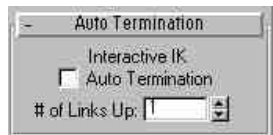


图11-26 Auto Termination (自动终结) 卷展栏

- Auto Termination (自动终结) 自动终结控制的开关项目。
- # of Links Up (向上链接号码) 指定终结设置向上传递的数目。假如该值定为 3 时, 沿此层级树向上第 3 个物体将自动作为终结子阻挡 IK 向上传递。当该值设为 1 时, 将锁定此层次链。

11.2.3 Link Info

Link Info (链接信息) 用于控制物体移动、旋转、缩放时 3 个轴向上的锁定和继承情况, 如图 11-27 所示。

- Locks (锁定) 控制物体可以活动的轴向。系统默认状态下, 物体可以在 X、Y、Z 各个轴向上进行移动、旋转或缩放。但如果勾选某个轴向的锁定开关, 它将不能再在此轴向上运动。例如勾选 Move 项目下的 X、Y 项, 表示此物体只能沿 Z 轴进行移动。
- Inherit (继承) 控制当前选择物体对其父物体运动的继承情况。默认状态为全部开启, 即父物体的任何变化都会影响其子物体。如果关闭了某项, 则相应的变动不会向上传递给子物体。

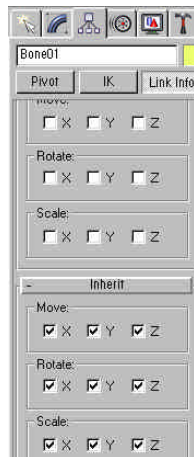



图11-27 Link Info(链接信息) 命令面板

11.3 反向运动

IK系统在运用过程中又分为指定式IK和IK控制器。IK控制器是最佳的反向运动学计算方法，当然可以给追随物体指定一个IK控制器。指定式IK常用于机械的连接运动，可以对IK链中所有物体的移动、旋转进行计算，在每一帧产生关键点。指定式IK要求IK链中的一个或多个物体绑定到动态的追随物体上，一旦绑定，可在IK链中选择任何物体，然后单击Apply IK按钮完成指定式IK计算。

创建IK动画的大致操作步骤是：创建关节结构的模型；将各关节物体彼此连接，并且确定各自的轴心点位置；确定轴心点的连接或限制方式；对连接好的关节结构的模型设置指定式IK或互动式IK并进行计算；将造型连接或蒙皮到骨骼系统，使用IK控制器操纵骨骼系统，从而产生关节动画。


互动式IK只要将Animate动画记录按钮打开，然后在各关键帧用鼠标对IK组合物体进行动态设定，这种方式比较简单，但是不精确，而且容易出问题。指定式IK的设置过程是：首先创建一个导引物体（一般是虚拟体）；将IK链的末端物体Bind（绑定）到导引物体上；对导引物体进行关键帧设定；选择IK链中的任意一个物体，单击Apply IK（指定IK）按钮，指定式IK设置完成。

注意，使用IK系统进行动画设计时，必须单击主工具栏的正向运动/反向运动切换开关，系统默认为正向运动方式，点选后进入反向运动模式。


本节通过实例讲述指定式IK（反向运动）是如何进行设置并工作的。

11.3.1 调出文件并设置摩擦力参数

调出在本章第一节中已完成连接参数设定的机械手范例文件（在3D Studio MAX中此文件名为tut11_2a.max），然后进行以下操作：

1) 单击主工具栏中的选择并移动按钮，在视图中单击绿色的垂直长轴。

2) 单击主工具栏右侧的IK按钮，启动IK连结控制。

3) 现在增加垂直长轴的表面摩擦力控制，使它在运动时受到阻力限制以增强真实感。单击Hierarchy按钮进入层级命令面板。单击中间IK按钮，单击Sliding Joints按钮打开它。

4) 将Sliding Joints卷展栏Z选项组中的Damping值设为0.85，如图11-28所示。由于摩擦力设置的加入，机械手的运动将更真实。



图11-28 将Z选项组中的Damping值设为0.85

11.3.2 创建虚拟物体

指定式IK需要结合一个末端物体（End-Effect Object）到一个导引物体（Follow Object）上，导引物体起引导物体运动的作用，通常使用虚拟物体来充当。先设定导引物体的动态，来控制想要完成的动作，然后按下Apply IK（指定IK）按钮，系统将自动计算出正确的IK结果。

1) 首先创建一个作为导引物体的虚拟体。单击Cteate创建/Helpers(辅助物体)，进入辅助物体子命令面板，单击Dumny按钮，如图11-29所示。

2) 在前视图U形机械手右前侧创建一个比U形机械手稍微大一点的虚拟物体，作为导引物体，如图11-30所示。



图11-29 进入辅助物体命令面板并单击 Dummy按钮

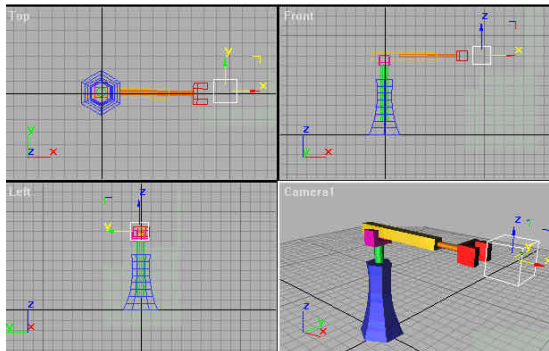



图11-30 创建一个比U形机械手稍微大一点的虚拟物体

3) 下面将虚拟体和末端物体 (U形机械手) 进行结合, 使虚拟物体成为整个机械手的导引物体。确定U形机械手为当前选择状态, 单击命令面板上的  按钮进入层级命令面板, 确认中间的IK按钮为被选择状态。

4) 在层级命令面板的Object Parameters项目中, 单击Bind按钮。在视图中点取U形机械手, 拖动鼠标到虚拟物体上, 当鼠标箭头变为小型鼠标标志时释放鼠标左键确定。这时虚拟物体变成了机械手的导引物体。

11.3.3 设置指定式IK

下面设置导引物体的动作, 看看它对机械手的导引作用。

1) 单击Animate按钮打开动画记录, 拨动时间滑块到30帧, 通过“选择并移动”工具在视图中改变虚拟体的位置, 如图11-31所示。

2) 拨动时间滑块到35帧, 通过“选择并旋转”工具在视图中旋转虚拟物体。

3) 拨动时间滑块到60帧, 通过“选择并移动”工具在视图中改变虚拟物体的位置, 如图11-32所示。

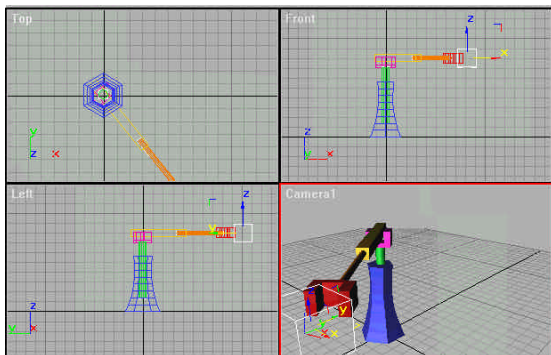


图11-31 30帧时视图中虚拟物体的位置

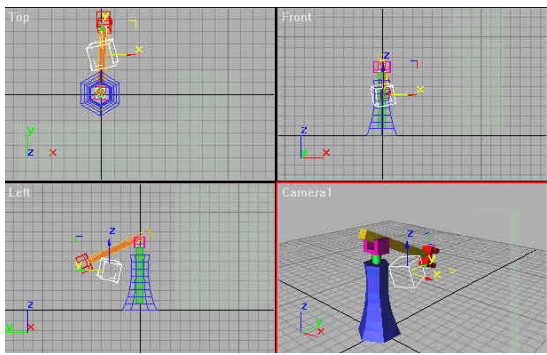


图11-32 60帧时视图虚拟体的位置

4) 拨动时间滑块到65帧, 通过“选择并旋转”工具在视图中旋转虚拟物体。

5) 拨动时间滑块到100帧, 通过“选择并移动”工具在视图中再次改变虚拟物体的位置。如图11-33所示。

6) 单击播放动画按钮, 观看机械手的动画效果。结果发现机械手的动作与虚拟物体并不

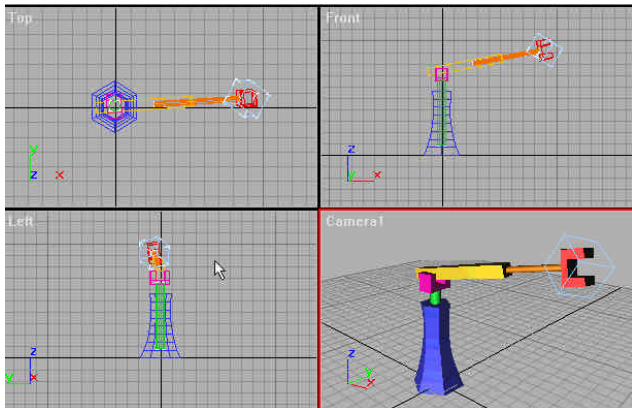


图11-33 100帧时视图中虚拟体的位置

完全相符，因为当前结果是根据设定虚拟物体的每一个关键帧之间的插补值而得到的，如果要得到精确的结果，必须进行IK结果计算。

11.3.4 计算IK结果

下面对设置好的IK动作进行计算，以便得到正确的动画结果。

1) 确定主工具栏的“选择并移动”工具为选择状态，在顶视图中框选包括虚拟物体在内的全部物体。

2) 勾选层级命令面板中的Clear Keys，在新动画生成时清除旧的动画设置。单击Apply IK（设定IK）按钮。如图11-34所示。系统进入自动计算状态。

3) 计算完成后，单击播放动画按钮，观看机械手的动画效果。当前机械手中的所有对象均依据IK连接参数的规则进行运动，如图11-35所示。显然，运用IK（反向运动）系统进行动画设置，虚拟物体导引U形机械手的同时带动了整个机械手的连锁反应。



图11-34 单击Apply IK（设定IK）按钮

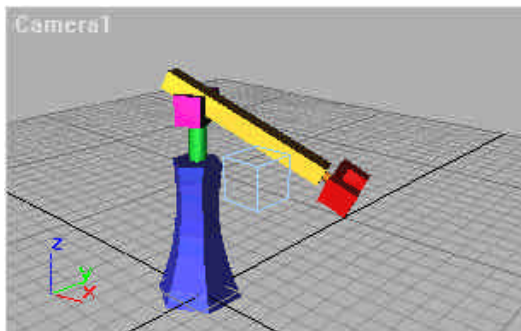


图11-35 机械手中的所有对象均依据IK连接参数进行规则运动

11.4 小结

3D Studio MAX 3中包括正向运动（Forward Kinematics）和反向运动（Inverse Kinematics）。它们都是为了有效地给物体设置和谐有序的动作。在3D Studio MAX 3中，系

统的默认值是正向运动。

正向运动是子物体跟随父物体的运动规律，即正向运动时，子物体的运动跟随父物体运动，而子物体按自己的方式运动时，父物体不受影响。父物体可以有許多子物体，而一个子物体只能有一个父物体。

反向运动与正向运动刚好相反，是父物体跟随子物体运动的系统。3D Studio MAX 3拥有一套完善的三维空间反向运动系统（Three-Dimensions Inverse Kinematics，简称IK）。和正向运动相比较，IK系统要花一定的时间用于参数的设置工作，需要用到物理学、数学方面的知识及丰富而敏锐的想象力和观察力。

利用层级树结构可较好地建立物体及其各部分之间的关联。对于正向运动与反向运动来说，层级命令面板都很重要。经过层级命令连接，父物体与子物体均以层次连接的树形结构呈现。通常树只有一个主干（父物体），而有许多支干（子物体或孙一级子物体）。

3D Studio MAX 3中复杂对象的层次树连接类似于族谱的形式，正向运动中的父物体的运动影响子物体的运动，而反向运动中子物体的运动影响父物体的运动。

反向运动有互动式反向运动（Interactive IK）与指定式反向运动（Applied IK）之分。互动式反向运动要打开 Animate 动画记录按钮，拖动时间滑块在不同的帧移动或旋转物体以设置动画关键帧。互动式反向运动较简单，但模拟运动不太准确。指定式反向运动要求把末端物体与导引物体（通常为虚拟物体）结合在一起，然后对导引物体设置动作，最后按下 Apply IK 按钮，根据引导物体的特定帧计算出物体的反向运动过程。