

上海大学教材建设基金资助

动画

DONGHUA DONGLIXUE YU YUNDONGXUE

动力学与运动学

罗业云 编



上海大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

动画动力学与运动学/罗业云编. —上海: 上海大学出版社, 2008. 1

ISBN 978-7-81118-200-2

I. 动… II. 罗… III. ①动力学②运动学 IV. 0313 0311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 194528 号

责任编辑 焦贵平

封面设计 柯国富

技术编辑 金鑫

动画动力学与运动学

罗业云 主编

上海大学出版社出版发行

(上海市上大路 99 号 邮政编码 200444)

(<http://www.shangdapress.com> 发行热线 66135110)

出版人: 姚铁军

*

南京展望文化发展有限公司排版

上海锦康印刷厂印刷 各地新华书店经销

开本 787×960 1/16 印张 9 字数 208 千

2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 次印刷

印数: 1~3100

ISBN 978-7-81118-200-2/O·043 定价: 19.00 元

前 言

动画艺术既具有美术绘画的造型性,又具有电影电视的运动性。运动是电影电视最重要的美学特征,是最富有表现力、最能感染人的视觉元素。

动画的运动是在理解真实力学与运动学理论的基础上进行提炼、加工、变形与夸张而成,其中力学是运动的基础,运动是力的表现形式,因而动画的首要问题就是处理力学问题,动画片能否成功的关键因素之一就是动画对于力学的表达是否成功。动画动力学与运动学是讲述自然界中各种物理力学与运动规律的视觉与情感表现的课程,是动画专业,特别是计算机三维动画方向的必修课程,在整个动画专业课程体系中处于基础课程地位。

计算机三维动画是高科技的动画艺术表现手段,具有自己的特色,与传统的二维动画艺术手段的最大差别就在于它对于真实性的营造,这种真实性除了体现在三维光影中之外,运动的真实也是重要的表现方面。

本教材正是以自然界中各种物理力学与运动规律为基础,以动画的影视性与绘画性为视点,对各种力学与运动规律进行讲

述,从而使读者对于各种力学与运动学有完整系统的理解,对于各种角色的情感反应也有相应的认识基础和切实把握。

本书可作为高等院校三维动画专业基础教材,也可以作为动画培训机构的参考书,同时对于已经熟练掌握三维软件而急需提高动画制作理论水准的人员来说,也是一本适当的指导教程。

目 录

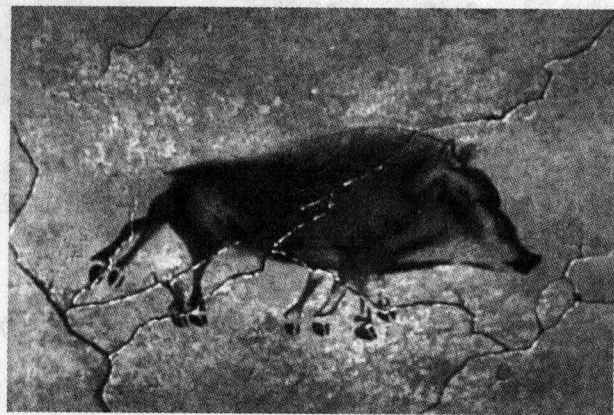
第一章 影视动画动力学与运动学概述	1
第二章 力与运动的基本元素	11
第一节 力的元素	11
第二节 牛顿力学	18
第三节 时间与力	23
第三章 人体受力与运动规律分析	29
第一节 人体结构	29
第二节 人体受力分析	42
第三节 人体运动分析	57
第四章 动物的结构与运动规律	68
第一节 四足动物的运动规律	68
第二节 鸟的飞行原理与运动规律	92
第三节 其他动物的运动规律	106
第五章 流体	117
第一节 流体力学的基本介绍	117

第二节 水的流动与飞溅的运动规律	118
第三节 火的运动规律	123
第四节 烟的运动规律	124
第五节 雨与雪的运动规律	126
第六节 爆炸	130
 后记	 134
参考文献	135

第一章 影视动画动力学与运动学概述

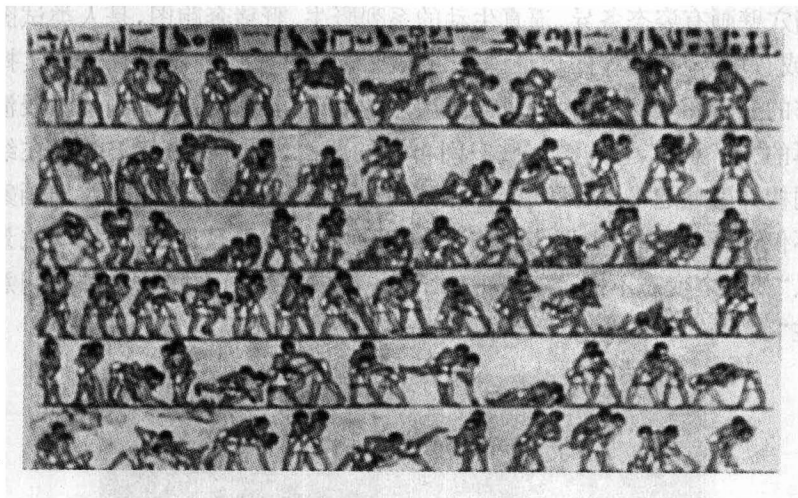
动画的运动美学

运动是电影电视最重要的美学特征,是最富有表现力、最能感染人的视觉元素。自古以来,运动既是科学家研究的重要主题,也是艺术家竭力创作和表现的对象。1879年,人类发现距今25 000年的西班牙阿尔塔米拉洞穴壁画有姿态各异、逼真生动的系列野牛、野猪奔跑图,是人类试图用笔(或石块)记录动作的佐证。在古埃及墓室的壁画上发现有运动员摔跤动作的分析图,完整地再现了当时激烈的活动场面。古典中国绘画浸渍着深厚的“动”意识,它力图突破空间再现的藩篱,将同源的审美时空在绘画内同构并融通起来,从而使人深味其间包孕的“动”感。如宋代杰出画家郭熙不仅论及空间的“山形步步移”、“山形面面看”,而且还注重“四时之景不同”、“朝暮之变态不同”的时间变幻。古典中国绘画空间的这种时间意识重在“变”与“易”的生生不已,这是“气韵生动”的本质规定。



上图为距今 25 000 年的西班牙阿尔塔米拉洞穴的壁画。洞内有史前人睡觉的地方及烧烤食物、生火取暖的石灶,灶底余烬痕迹清晰可辨。洞顶和洞壁多是简单风景草图和分散的动物画像,如野牛、野马、野猪、山羊、赤鹿等,多以写实、粗犷和重彩手法,刻画原始人熟悉的动物形象,动作有站、有跑、有卧、有叫,千姿百态,栩栩如生。

美术绘画表现运动,是用一定的物质和手段,通过塑造静态的视觉艺术形象,来传达动态的心理感受。美术绘画是造型艺术,是以可视的形象因素所构成的,形象因素的最小单元是“点”,“点”移动的轨迹为“线”,点与线的有机组合,构成书法、图形,“线”移动的轨迹又形成“面”,点、线、面的有机组合,构成绘画,“面”移动的轨迹,形成体积,于是又构成雕塑、工艺美术品以及建筑等。美术绘画擅长描绘静态的物体,在表现真正的时间和运动方面还是存在很大的局限性。美术绘画表现运动所注重的是如何通过画面所描绘的“一瞬间”以展示它的过去和未来,使欣赏者想象有关的情景,是想象中的运动。



早在 5 000 年前,埃及壁画上就出现了摔跤的系列动作。壁画记录了摔跤的动作过程,比较接近今天动画的绘制。如果将这些动作作用现代的动画手段进行处理、插放,能够呈现一段完整的摔跤动画片段。

郭熙(1020 至 1109),北宋画家,字淳夫,河南温县人。《早春图》轴纵 158.3 厘米,横 108.1 厘米,绢本,水墨。

画中的山,笼罩着薄雾,迷迷蒙蒙;山势蜿蜒曲折,连绵起伏;山脉愈翻愈高,愈翻

愈奇;山峰或揖让顾盼,或高耸独立,令人仿佛已经置身其中。但见怪石林立,古木参差,飞瀑流泉,层楼高阁,有若桃源仙境。山间一道清泉从岩缝中飞流直下,一波三叠,流水潺潺。树木已经长出嫩芽,显得生趣盎然。由此可见,严冬已经过去,春雪消融,大地转暖复苏,春光已悄悄降临人间。

左边汀岸旁系着一条小船,岸上渔夫肩挑着担子,渔妇一只手抱着一个孩子,另一只手牵着一个孩子,正有说有笑,笑逐颜开地往家走,前面跟着条活蹦乱跳的小狗,煞是可爱。在他们回家的路上,一渔夫正舍舟登岸。山径栈道上,更有樵夫旅客行走往来。

郭熙的山水画,以神奇幽奥、突兀险绝取胜,布置造妙,变化多端。“放手做长松巨木,回溪断崖,岩岫巉绝,峰峦秀起,云烟变灭晦暝这间,千态万状。”(《宣和画谱》)《早春图》是他的传世绝品,作于宋神宗熙宁五年(1072年)。此图主题明确而富有季节感,描绘了春回大地、乍暖还寒时的深山景象。

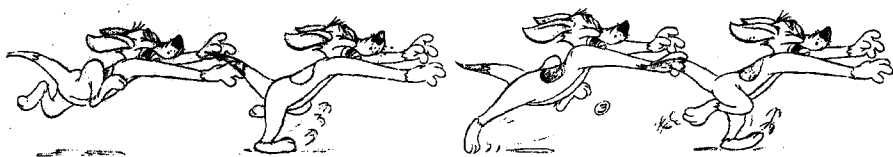


台北故宫博物院珍藏的
郭熙的《早春图》

郭熙不仅论及空间的“山形步步移”、“山形面面看”,而且注重“四时之景不同”、“朝暮之变态不同”的时间变幻。他说:“真山水如烟岚,四时不同。春山淡冶而如笑,夏山苍翠而如滴,秋山明净而如妆,冬山惨淡而如睡。”(《林泉高致》)这种意识是源于古人对昼夜穿梭、四时轮回的观审,他们以为自然周期变化在时间流逝中内在了具有了气韵,具有了宇宙的轮回节律,并在绘画里创作出一个极具情感色彩的生存空间、充满音乐情趣的时空合体。这里,绘画的空间方位往往扩散成时间的交替节奏(春夏秋冬与阴晴朝暮)甚至情感、情绪的变化节奏,从而使绘画真正成为—种“时间品味方式”。

中国绘画画之气脉蕴涵的时间性,表现为一虚一实的节奏和充溢乐感的幻化起伏,它造成“虚起实结,实起虚结”的运动变化节律。

影视动画既具有绘画性,也具有影视性。影视动画表现运动和绘画不同,它能表现现实世界各种运动存在形式,表现运动过程,运动的时空进展和变化,能表现出其他绘画艺术所不能表现的运动美,影视动画与绘画、雕塑、摄影等传统的艺术门类的主要区别就在于影视动画的运动性。影视动画能最大限度地呈现运动,是真正意义上的运动,也正是因为具有这种运动性,才使得影视动画能够更好地叙述事件、塑造人物、传达意蕴,真正成为具有独特表现力的艺术形式。影视动画中的运动,从美的形态看可表现为运动美、速度美、力度美、韵律美、变化美、情景美等。



动画片中狗的运动状态被完整地描述出来,包括身体、四肢以及表情变化等的运动造型进行了夸张的表现。

长期以来,动画片被认为是“运动的画”,而现代动画理论认为影视动画首先应该是一种类型的电影,动画是“画出来的运动”,是一种空间形式的时间艺术,“空间形式”奠定了造型性在影视艺术中的重要地位,而“时间艺术”又奠定了运动性在动画艺术中的决定作用。在真正意义的动画艺术中,通过对虚拟的时间和空间的处理,人类对运动的想象力和创造力被发挥到了极致。

对于影视艺术的运动性,金丹元教授在《影视美学导论》中有如下论述:

影视艺术的运动性,首先是画面的连续运动。没有这种画面的连续运动也就谈不上蒙太奇和剪辑。影视艺术虽与绘画、雕塑一样也讲一定的造型性,但定格只是瞬间表现,定格前后的画面都是活动的。由于运动使时间流程渗透至画格,影视画面也就更趋逼真,并随之产生了时空变幻,给观众带来各种“活”画面的节奏感。在银幕、荧屏的矩形中,运动着的物体变化轨迹和速度都使影像超越了矩形框架的束缚。一方面,由于运动而再现了潮起潮落,江海汹涌,飞鸟归巢,万马奔腾,白云飘过山岭,微风轻拂柳絮,灿烂的阳光在闪烁中显得温暖,带来一片生机,人的情感也在嬉笑怒骂中活灵活现。另一方面,物体运动的幅度、方向、速度又都可能与现实生活中不同,它们是被艺术加工了的,可以夸张、变形,也可以随时改变它运动的节律。这就使影视动画通过运动获得了超于生活真实的形上意义,浓缩进更多的编导的理念和设计。在镜头内的运动中,运动轨迹和方向也能起到特殊的审美效果,如当一个人从画框的一边走向另一边时,运动给视觉造成的是一种横向线条在平移中伸展,如从左下角向右上角急速运动,人或其他物体就仿佛飞了起来。倘若动体(如一只小猫)在画面上转圆圈,背

景是相对静态的,那么视觉感知会不由自主地集中在这个动体的圆形旋转轨迹上,有时物体是静止的,摄影机在运动,如拍街景、村落、夜间的景色、马路、小贩等,拍出后的画面会给视觉造成似乎观看的人在行走似的。

运动本身就是镜头的表现力,运动的速度快,往往给人以欢快、刺激或紧张、强有力的视觉冲击。速度慢,则视觉感知会产生舒缓、优雅、安宁的认同。所以在表现情绪时,运动速度至关重要如快速运动往往突出地表现那些急驶的车辆一前一后在追逐,正反两个角色在生死攸关地搏斗着,或子弹呼啸而来;刀光剑影掠过眼前,或树枝在狂风中摇曳,飞流直泻,瀑布倒悬等画面;慢速运动,则往往表现那些抒情的、充满柔情蜜意的爱情场面,或伤感的、难分难舍又不得不分离的情景。如缓慢的脚步、拉长的影子,风轻轻地吹着树梢,树叶一片片飘落到地上,一对情侣依依不舍地松开拥抱着的手臂,一双多情而又伤感的眼睛目送着启动的车轮,或渐渐远去的帆影等等。摄影机运动的速度更是注入了导演和摄影师的主观情感,当表现沉思、宁静、缅怀、遐想一类的画面时,镜头就慢慢摇过一片树林、一个牧场、一丛芦苇、蓝天白云或水中的倒影;抑或是一个具有象征性的街景、名胜、古迹,或一个具有纪念性的地点。当需要强调紧张、突变、大起大落的场景时,摄影机就会急速向前推去。同时,运动在不同景别中也能影响到画面的节奏。同样的运动速度,在远景中似乎显得较慢,在中景中会显得快起来。这与人的视知觉对距离的经验有关。摄影机的运动是将镜头来代替人的眼睛。所以,运动的轨迹、方向,何时停机,何时拉、摇,何时推进等,都要与剧情和人物情感的变化起伏相适应。再则,变焦距是一种镜头的内部运动,它不仅可以产生画面影像的变化,而且能放大局部或改变视角。变速运动则能造成各种变形的视觉错觉,或产生戏剧化效果。如用每秒千格以上的速度拍摄一颗导弹从海下破浪而出,射向天空,或一个人穿过玻璃窗往外跳去,又以每秒24格的正常速度放映时,则观众会看到导弹像海豚似地慢慢从水中升起,又缓缓地朝空中飘去,而穿过玻璃窗的人则像表演一种虚幻的特技似地与玻璃轻轻地触摸,玻璃则像怒放的鲜花向四处散去。又如,把一个真实的人的头安放在一个画出的卡通形象上,让这个形象如卡通人物或木偶似地动作起来,人物的动作就会显得滑稽可笑。所以,镜头和摄影机可以使运动变形,让节奏紧张,也可以虚拟或创造出幻想的运动与节奏,形成一种超现实的特殊的视觉审美,这是其他艺术所难以企及的。

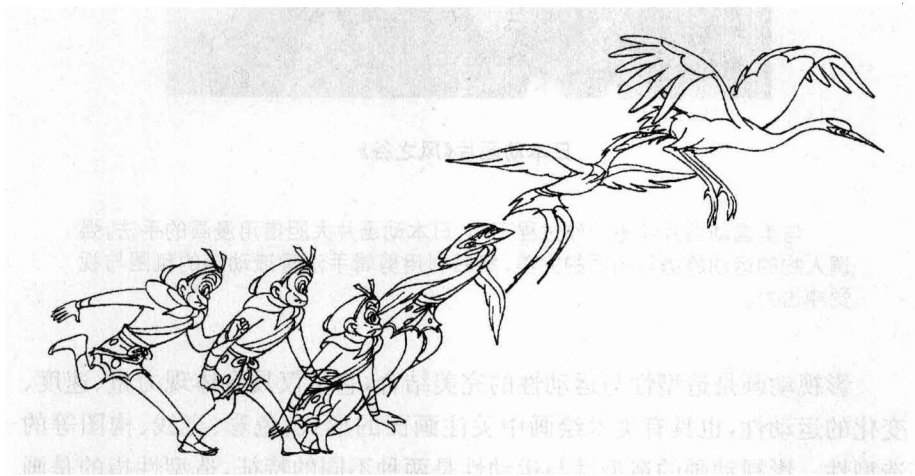
动画首先是电影,对于影视动画的运动性,首先是画面的连续运动,以及蒙太奇运动,即运用蒙太奇手法,由镜头衔接与转化产生的运动,通过镜头的组接,产生的影视外部节奏,即蒙太奇节奏。

影视动画中的运动还包括被拍摄对象的运动、摄像机的运动、主客体的复合运动。被拍摄对象的运动是指镜头画面中人或物的运动,既有模拟现实状态的物理运动,也有创作者为服务主题而构思的艺术性运动,这些运动构成了影视动画中强有力的、富于表现力和吸引力的美学特征。被拍摄对象的运动包括被拍摄对象在空间和时间中发生、发展的运动过程,主要表现运动的发展变化,还包括被拍摄对象的形态、位移、速度与节奏、光线的流动、色彩的变化等,主要表现的是运动的状态及时空关系。摄像机的运动,是指摄像机借助推、拉、摇、移、跟、升降、变焦、旋转等种种运动形式,通过机位与焦距变化所造成的运动。摄像机运动不仅可以制造运动感和动势,而且可以制造节奏和韵律;它既可以叙述、描写、议论、抒情,还可以暗示、隐喻、寓意、象征。主客体的复合运动则是指在一个镜头中,人或物与摄像机同时运动,也就是在同一影视镜头中,同时具有上述两种运动形式,它比单纯的客体运动或主体运动更加复杂,可以创造出更加丰富多彩的影视时空和画面动态。主客体复合运动的镜头常常同时具有多种多样的运动形式,在流畅的物理运动中造成了强烈的心理运动,传递出丰富复杂的信息,具有很强的感染力。

影视动画的运动与节奏还体现在声音中。除了人的说话声外,音乐、音响也有它们自己的运动韵律和节奏,而又与整部作品的运动、节奏相扣相连,浑然一体。音乐旋律的或激荡,或缓和,或昂扬,或深沉,与画面内容的吻合是至关重要的。而且,音乐节奏的快慢也会影响到情节发展的节奏逻辑,在人物对白相对较少的动画影片或段落中,音乐音响的运动往往还会起到规定剧情节奏的作用。如在《埃及王子》中,摩西知道自己身世之前,欢快、明亮的音乐与摩西的大胆、开朗的天性以及剧情高度统一;在摩西知道自己身世之后,音乐变得凝重、沉缓。《狮子王》中,音乐的运动线贯穿于全剧之中。小狮子在父母身边时,是快乐、活泼、顽皮的,明快的音乐衬托着剧情;而当小狮子离开父母来到大象墓园的时候,音乐变得缓慢、恐惧,形成强烈对比。在整部影片中,音乐都使动画的基调显得流畅、明快。影视动画中,一曲优美、浪漫的音乐旋律往往伴随着一个或多个爱情场面;快速的变奏,或飘忽不定的音乐,则预示着情节有可能发生转折或突变。

音乐主题一旦确定,在整部影视作品中反复运用,就会对作品的节奏、韵律起到推波助澜的作用。

影视动画的运动虽然和传统的电影电视相类似,但由于动画的制作手段和传统实拍的电影电视有较大差别,如传统的二维动画片采用单幅绘制的方法完成,代表新科技的三维动画则是采用计算机在虚拟的三维空间中完成,而合成技术则是将现有素材进行加工而达到期望的艺术效果。动画的这种在虚拟环境中的制作手段突破了实拍的种种条件限制,更能按创作者的意愿设计,能够对运动进行更加自由的处理。变形与夸张是影视动画中运动设计的重要手段,也是动画造型设计常用的手法,是对真实世界事物的某些特征进行强调和夸大,以求强化效果,制造出幽默与趣味的氛围。动画艺术中的变形和夸张是理性认识和感性认识的结合,理性认识要求对真实世界中运动的本质进行全面而准确的理解,感性认识则是对理性认识的艺术加工,使运动更深刻地反映人物的性格、环境的氛围,为剧情的发展服务。



孙悟空变仙鹤的动画(《动画技法》,严定宪、林文肖)

相对于真人电影,动画电影中摄像机与人物的运动不受现实条件约束,可以根据创作者的愿望进行设计;人物形象具有更加自由的夸张与变形,使影片更加生动、具有趣味性。

日本动画片在世界范围内取得成功,在很大程度上取决于对运动的把握与处理。他们充分利用了影视动画的运动性,对镜头角度、位置进行全

方位的调度,利用蒙太奇手法加快场面切换速度,对角色加强了动作示意性,对背景进行大幅度移动,强化了光影效果和音响效果,以此造成对观众视觉听觉的强烈冲击。而相对于日本动画片,美国动画片中的动作大都作大幅度的夸张与强调,更注重动画片的动作的连贯和设计优美,早已成为被世界各国广泛借鉴的卡通动作模式。



日本动画片《风之谷》

与美国动画片注重动作过程不同,日本动画片大胆借用漫画的手法,强调人物的运动趋势与画面的完美,然后利用剪辑手法营造动感的氛围与视觉冲击力。

影视动画是造型性与运动性的完美结合,它不仅具有体现力量、速度、变化的运动性,也具有美术绘画中关注画面的形式、色彩、光线、构图等的造型性。影视动画的造型性与运动性是两种不同的特征,造型性指的是画面视觉元素的构成和形式,强调空间意识;运动性指的则是视觉内容的变化及其特点,更加注重影视动画的时间意识,是一种随时间变化的运动美。强调影视动画的运动性,但绝不能忽略影视动画的造型性。影视动画的造型性塑造了虚拟的空间环境和艺术形象,运动性不能脱离造型性,因为影视的运动是在逐格画面的连接中完成的,是系列的造型形成了运动;造型性也离不开运动性,画面造型的叙事、抒情等诸多功能都必须在运动性中才能实现。在影视动画中,造型性和运动性都体现为视觉形象,服从同样

的艺术规律和美学法则。当我们感受造型美的时候,实际上已经感受到了运动;当我们感受运动美的时候,实际已经从画面中看到了造型。根据艺术表现和影片风格的需要,有时会有所侧重或有所强调,有的影视动画作品可能更多地强调造型性,讲究镜头画面的优美;有的影视动画作品可能更多地强调运动性,讲究镜头的力量和变化。但是对于影视动画中的造型与运动的统一却是贯穿作品的始终的。

运动改变的深层次原因

在自然界,任何物体都处于运动状态之中。根据牛顿运动定律,物体运动状态不会改变,除非有一个力加在物体上。即物体由静止状态改变到运动状态需要力的作用;物体由运动状态改变到静止状态也需要力的作用;物体运动速度的改变,如由快变慢或由慢变快也需要力的作用。在现实世界中物体运动都会受到阻力作用,由于要克服阻力保持物体运动状态也需要力的作用。所以在影视动画创作中,角色或物体运动本身的重要性只是第二位的,更重要的是表达出促使物体运动改变的内在原因,即体现出物体所受到的力的作用。对于无生命物体来说,这些原因可能是自然界的力,主要是他物对物体的作用力,如地心吸引而使物体呈现出来的重力。对于有生命的角色来说,除了外部力量外,角色自身肌肉收缩同样可以产生动作,即在内在的意志、情绪、思想、本能等的控制下会产生相应的动作。这时角色运动过程需要考虑的力主要有:第一,角色本身的重力;第二,身体各部分之间相互作用的内力。身体是由骨骼和肌肉组成的,它们是按照特定的方式连接起来的,虽然它们之间的力属于内力,但是会对角色本身的造型产生影响,在角色动画中依然需要体现;第三,外力对角色的作用使角色趋向平衡(静止)或运动。在动画作品中,这些运动更重要的是体现角色本身心理上的原因或者行为动机。

有生命的角色在运动过程中,既受到角色内力的作用,也受到外力的作用。所谓内力是指角色身体内部各个部分的相互作用,如肌肉张力、关节约束力等。这种身体各个部分相互作用的内力可以引起身体各个部分的相对运动,但不能引起角色身体整体运动状态的改变。

而外力则是指外界他物对角色身体的作用力,这种外力能够使角色身

体由运动状态改变为静止状态,也能使角色身体由静止状态改变为运动状态。在现实世界中角色通常所受的外力有重力、弹力、摩擦力、支撑力、向心力等等。

影视动画被摄对象动作设计的首要任务是体现运动,特别是体现运动深层次的原因,即力的作用。这种对于运动内在的力的处理与掌握,是动画设计成功的关键所在。

第二章 力与运动的基本元素

第一节 力的元素

速度、加速度与力

速度是描述物体运动快慢的,而加速度则是描述物体运动速度变化快慢程度的。加速度的产生是由于物体间的相互作用力,它的方向和运动物体所受合外力的方向一致。但它和物体运动的方向不一定相同。在变速运动中速度小时加速度不一定小;速度大时加速度不一定大。例如,当火车从车站驶出时,虽然速度不大,但速度变化较大;当火车高速行驶时,在平直轨道上保持匀速前进,行车速度很大,但是速度却无变化,加速度为零。

动画中的加速度处理

下图是一个摆手动作的关键帧。假如设定这个摆手动作的时间为 9 帧,第一帧的序号为 1,最后一帧的序号是 9。这样一个基本的动画,有三种不同的时间间隔安排:

(1) 这个动作过程从 1 开始到 5 的位置,这是一个加速运动,加速度的方向和手摆动方向一致,手摆动的速度越来越快。轨迹设计如下图: