

目 录

第一章	动画运动规律基础理论	1
第一节	动画运动初探	2
	一、“动”的初探	2
	二、“视觉暂留”现象	3
第二节	动画的创作流程与绘制工具	6
	一、动画片的创作流程	6
	1. 动画前期	6
	2. 动画中期	7
	3. 动画后期	7
	二、原画与中间画	7
	1. 原画	7
	2. 中间画	9
	三、动画的绘制工具	10
	1. 动画纸	10
	2. 定位尺	10
	3. 笔、橡皮	10
	4. 透光台	11
	5. 规格框	12
	6. 摄影表	12
	7. 镜头袋	13
	8. 动检仪	14
第三节	动画的时间、空间、速度与节奏	15
	一、动画的时间	15
	1. 帧	15
	2. 镜头	15
	3. 拍制	15
	二、动画的空间	15
	三、动画的速度	16
	1. 匀速运动	16
	2. 加速运动	17

3. 减速运动	18
四、动画的节奏控制	19
第四节 动画的力学原理	20
一、作用力与反作用力	20
1. 作用力	20
2. 反作用力	20
二、力的传送	20
1. 力通过活动关节传送	20
2. 力通过有关节的肢体传送	21
三、惯性运动	23
1. 惯性的基本原理	23
2. 惯性与质量的关系	23
3. 惯性运动在动画片中的应用	24
四、弹性运动	25
1. 弹性运动的基本原理	25
2. 湿面团理论	26
五、曲线运动	27
1. 曲线运动的基本原理	27
2. 曲线运动的类型	27
六、动作的预备、停顿与循环	29
1. 动作的预备	29
2. 动作的停顿	31
3. 动作的循环	32
七、跟随运动	34
1. 跟随运动的含义	34
2. 跟随运动在动画中的运用	34

第二章 动画运动规律项目训练

第一节 人或拟人化角色的行走运动规律

一、课程概况	38
1. 课程内容	38
2. 训练目的	38
3. 重点和难点	38

4. 作业要求	38
二、设计案例	38
1. 理查德·威廉姆斯的人行走运动规律	38
2. 学生创意作品案例	41
三、知识点	42
1. 人体结构及动态线	42
2. 人行走的基本规律	43
3. 行走节奏的设定	45
4. 个性化的行走	46
四、实践程序	50
1. 理解课题	50
2. 分析角色	50
3. 设定行走节奏	50
4. 设计动作	50
5. 绘制草图	51
6. 修正草图	51
7. 绘制正稿	51
五、拓展链接	53
1. 相关图书资料	53
2. 相关网站资料	53
3. 相关动画艺术家	53

第二节 人或拟人化角色的奔跑与跳跃运动规律 54

一、课程概况	54
1. 课程内容	54
2. 训练目的	54
3. 重点和难点	54
4. 作业要求	54
二、设计案例	54
1. 大师设计案例	54
2. 学生创意作品案例	56
三、知识点	58
1. 人奔跑的基本规律	58
2. 人跳跃的基本规律	59
四、实践程序	60

	1. 理解课题	60
	2. 查找资料与动作节奏分析	60
	3. 设定动作节奏	62
	4. 绘制草图	62
	5. 绘制原画	63
	6. 加中间画	63
	五、拓展链接	65
	1. 相关图书资料	65
	2. 相关动画艺术家	65
第三节	人或拟人化角色的表情与口型运动规律	66
	一、课程概况	66
	1. 课程内容	66
	2. 训练目的	66
	3. 重点和难点	66
	4. 作业要求	66
	二、设计案例	66
	1. 大师作品案例	66
	2. 学生创意作品案例	71
	三、知识点	73
	1. 人类的面部肌肉解剖结构	73
	2. 人的表情及口型运动规律	74
	四、实践程序	76
	1. 理解课题	76
	2. 查找资料及动作设计	76
	3. 绘制草图	76
	4. 绘制原画和中间画	77
	五、拓展链接	78
	1. 相关图书资料	78
	2. 相关动画艺术家	78
第四节	动物的运动规律	79
	一、课程概况	79
	1. 课程内容	79
	2. 训练目的	79

3. 重点和难点	79
4. 作业要求	79
二、设计案例	79
1. 普雷斯頓·布莱尔的动物动画运动规律 分析	79
2. 学生创意作品案例	81
三、知识点	83
1. 四足爪类动物的运动规律	83
2. 四足蹄类动物的运动规律	87
3. 禽类的运动规律	90
4. 鱼类的运动规律	93
5. 两栖类的运动规律	93
6. 爬行类的运动规律	94
7. 昆虫类的运动规律	95
四、实践程序	96
1. 理解课题	96
2. 设定行走节奏	96
3. 绘制骨骼运动草图	96
4. 检查修改草稿动作	96
5. 绘制原画	96
6. 绘制中间画	97
五、拓展链接	98
1. 相关图书资料	98
2. 相关网站资料	98

第五节 自然现象的运动规律

一、课程概况	99
1. 课程内容	99
2. 训练目的	99
3. 重点和难点	99
4. 作业要求	99
二、设计案例	99
1. 大师作品案例	99
2. 学生创意作品案例	101
三、知识点	102

1. 风的运动规律	102
2. 水的运动规律	103
3. 火的运动规律	109
4. 雨的运动规律	111
5. 雪的运动规律	113
6. 闪电的运动规律	114
7. 烟的运动规律	116
8. 云的运动规律	119
9. 爆炸的运动规律	120
四、实践程序	124
1. 理解课题	124
2. 分层	124
3. 设计节奏及律表	124
4. 绘制原画和中间画	125
五、拓展链接	125
1. 相关图书资料	125
2. 相关网站资料	125
第三章 动画运动规律作品赏析	127
第一节 经典动画运动规律作品赏析	128
一、人物动画运动规律赏析	128
二、动物动画运动规律赏析	131
三、大自然动画运动规律赏析	138
第二节 学生动画运动规律作品赏析	141
一、人物动画运动规律赏析	141
二、动物运动规律赏析	149
参考文献	151
后 记	152

1



第一章 动画运动规律基础理论

本章主要讲解了动画运动规律的基础理论知识，包括动画运动初探，动画的创作流程与绘制工具，动画的时间、空间、速度与节奏，动画的力学原理等知识点。这些知识点是学习动画运动规律必须熟练掌握的基础理论知识。本章所要实现的学习目的是：使学生熟练掌握原画以及动画的画法，动画的时间、空间、张数、速度之间的关系，力学原理在运动规律中的应用，等等，以便为未来的动画创作打好扎实的理论基础。

第一节 动画运动初探

从制作技术的角度来说，动画是以人眼的视觉暂留现象为原理，运用绘画或其他造型艺术手段，对创作出来的画面进行逐帧拍摄，使其形成连续影像，并通过多种媒介来传播和表达创作者的思想情感的一种动态艺术表现形式。动画需运用到美术、电影、编剧、导演、音乐、舞蹈、建筑等领域的知识，是一门综合性很强的艺术。

动画的历史非常悠久。回首人类文明的发展历史，透过各种形式的图像我们可以看出，早在原始社会时期，人类就已经开始尝试用画面来表现动物的运动过程。

一、“动”的初探

如果仅从画面给人运动的感觉这一点出发的话，动画的起源可以追溯到几千年甚至数万年前。法国考古学家普度欧马（Prudhommeau）在1962年的研究报告中指出，早在两万五千年前，石器时代的洞窟壁画中就已经出现将不同时间发生的动作画在一起的图像，这说明那时候的原始人已经开始关注运动，并有意识地描绘出在日常生活中观察到的动物的运动（图1-1-1、图1-1-2）。同样，古希腊和古罗马的神庙或竞技场的墙壁上也刻画着具有连续动作的人物，当人们走过或骑马飞驰而过时，便会产生一种图画动起来的感觉。



图 1-1-1 早期的动态图像 1

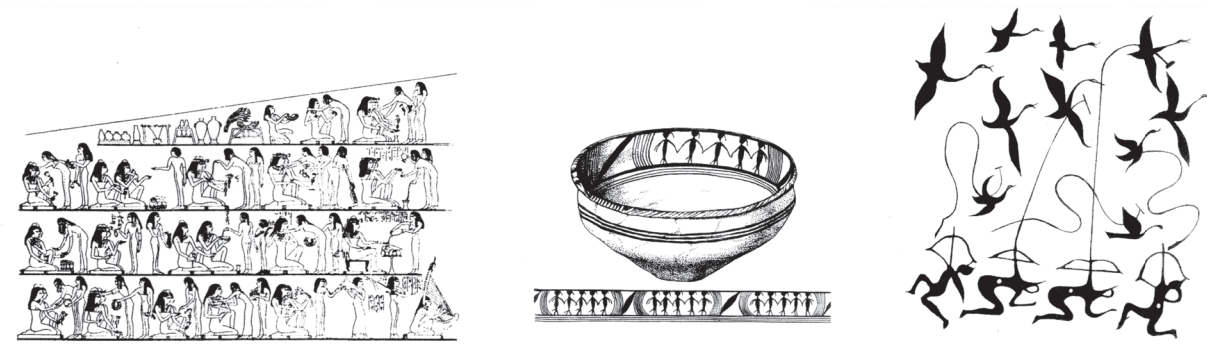


图 1-1-2 早期的动态图像 2

二、“视觉暂留”现象

动画、电影等视觉媒体形成和传播的依据是视觉暂留现象 (Persistence of vision)，也叫“余晖效应”。

人眼在观察景物时，光照射到人眼上对视网膜产生刺激，从而产生视觉影像。这个影像在光停止作用后，仍然会保留一段时间，这就是所谓的“视觉暂留”现象。这种现象是由视神经的反应速度造成的。人的视觉实际上是靠眼睛的晶状体成像、感光细胞感光，并将光信号转换为神经电流传回大脑产生的。这一系列的过程说起来虽然复杂，却是在一瞬间完成的，时间为 $1/24$ 秒，这段时间差就产生了“视觉暂留”现象。比如，我们用力挥舞一根燃烧着的火炬，火炬上的火苗就会形成一条火带。这一原理就是动画、电影等视觉媒体形成和传播的依据。

我们来做一个小实验：请注视图 1-1-3 中心的四个黑点 15~30 秒，然后朝自己身边的白色墙壁看去，看的同时快速眨几下眼睛，说说你看到了什么？



图 1-1-3 视觉暂留现象实验

人在观看动画片时，银幕上映出的是一张一张快速播放的画面，每秒钟要更换 24 张。由于视觉暂留的作用，一个画面的印象还没有消失，下一张稍微有一点差别的画面就出现了，所以动画片的动作看上去是连续的。研究发现，人眼在观看连续播放的画面时，每张画面播放的时间不超过 0.3 秒的话，

视觉不会感到不流畅。也就是说，在绘制动画的时候要保证一秒钟至少画 8 张，这样视觉上的动作才是流畅的。当然这也不是绝对的。为了保证动作的细腻与流畅，迪士尼早期的二维手绘动画通常会在一秒内画 24 张画面；而日本的一些商业动画片为了压缩时间和成本，会把一秒钟的画面张数缩减到 6 张甚至更少。

在电影和动画没有发明之前，为了研究动态影像，早期的人类发明了一系列动态装置。据文献记载，中国的走马灯是历史上对这一原理的最早运用 (图 1-1-4)。其他国家也相继出现过以视觉暂留现象为依据的装置。

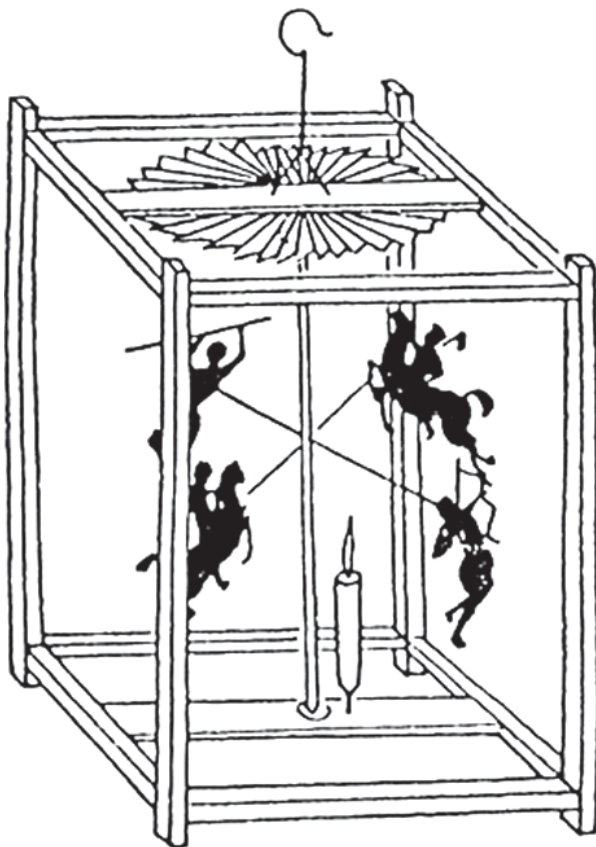


图 1-1-4 走马灯

1825 年，英国人约翰·帕里斯 (John Parris) 发明了“幻盘”。它是一个两面画着互相关联图画硬纸盘，两端打孔系绳，当硬纸盘很快地转动起来时，我们就看到硬纸盘两面的图像仿佛结合在一起了 (图 1-1-5)。



图 1-1-5 幻盘

1830年，英国一位著名的物理学家迈克尔·法拉第（Michael Faraday）根据彼得·马克·罗杰特（Peter Mark Roget）的研究，制作出了物理教科书上所说的“法拉第轮”。同年约翰·赫歇尔（John Herschel）在设计一种新的有趣的物理实验时，也做成了第一个利用画片制成的视觉玩具。

1832年，年轻的比利时物理学家约瑟夫·普拉托（Joseph Plateau）发明了一种玩具——“诡盘”（图 1-1-6）。它是电影的最原始形态，也是早期电影的

雏形。这种玩具由固定在一根轴上的两块圆形硬纸盘构成，在前面的纸盘的圆周中间刻上一定数目的空格，后面的纸盘绘上连续运动的画面。用手旋转后面的纸盘，透过空格观看，就使静止的分解图像产生了动感。另一种变体有两个盘片，一张有狭缝，另一张上面有连续运动的画面，当“诡盘”旋转起来时，观者透过前面一张圆盘上的狭缝观看。这样，不需要镜子的反射就可以看到动画了。

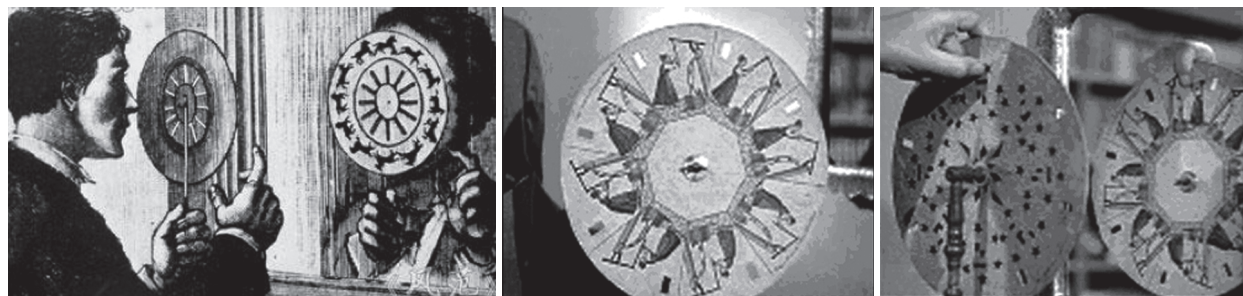


图 1-1-6 诡盘

1834年，英国人霍尔纳（Horner）发明了“走马盘”（Zootrope）。它用圆鼓代替格子盘，圆鼓里附着画有一连串图像的软纸图像带，将一个动作分解

为几个画面。迅速转动圆鼓时，就可以看到分解的画面变成一个完整的运动图像（图 1-1-7）。



图 1-1-7 走马盘

1888 年，雷诺（Ennile Reynaud）发明了“光学影戏机”。1892 年，他使用凿孔的画片带开始放映世界上最早的动画片（图 1-1-8）。至此，动画的雏形终于出现，雷诺被称为动画片的创始人。

伴随着这些以视觉暂留现象为依据的探索，近

代动画片产生了。此后，有赖于照相技术的发明，逐渐产生了真正的活动影片。至此，现代动画及电影产生的理论依据和技术问题都得到了解决，人类经过漫长的发展，对动态图形的初步探索已经完成。

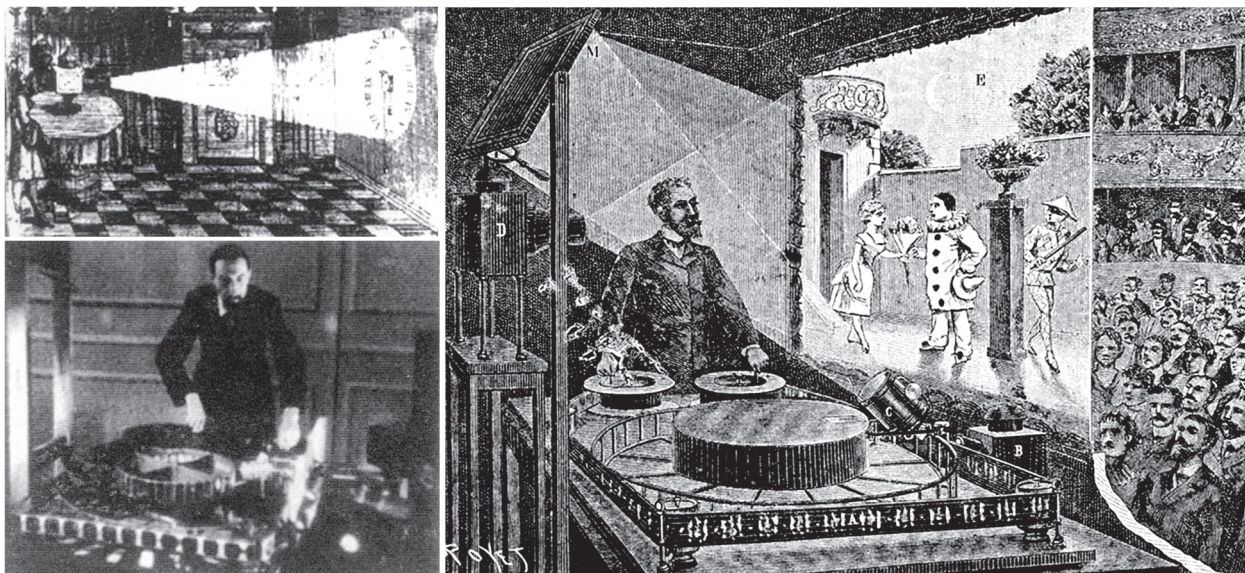


图 1-1-8 光学影戏机

第二节 动画的创作流程与绘制工具

动画是一门综合性很强的艺术。动画创作的过程中需要编剧、导演、绘画、设计、建筑，运动规律等知识；后期合成需要剪辑知识、音乐知识和后期软件知识等。因此，动画的特点决定了动画创作工序的复杂性、流程化，需要不同类型的人才加入，需要团队协作、各尽所能。当然，也有一些独立动画人，其整部动画的工作流程都是由作者一人完成的。但是，这种动画大多篇幅较短，主要以实验动画或独立动画为主，旨在探索全新的动画艺术语言，与商业动画的流程不尽相同。

一、动画片的创作流程

动画片的制作相当复杂，需要部门的团队协作才能完成。其制作流程可以分为三个阶段——动画前期、动画中期和动画后期，每个阶段中又有若干个环节（图 1-2-1）。下面针对每个阶段展开详细的介绍。

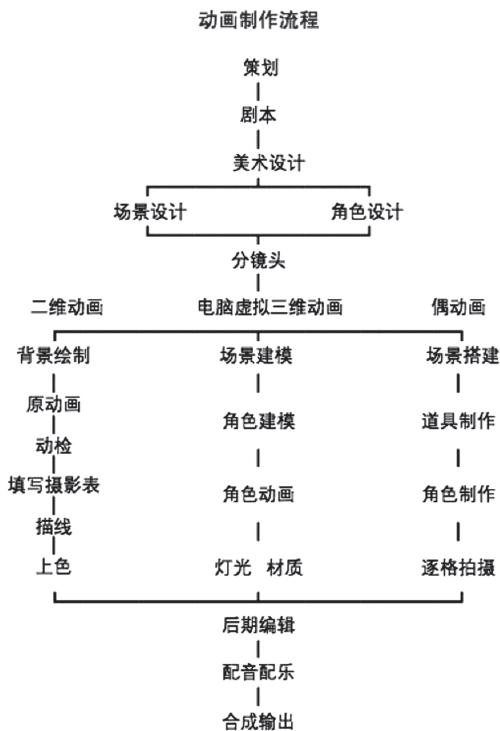


图 1-2-1 动画制作流程

1. 动画前期

动画前期包括剧本、美术设计、分镜头脚本三个环节。

(1) 剧本

创作一部动画片首先要有一个故事，这个故事就是动画片的剧本，也叫文学剧本。文学剧本很像小说，具有很强的文学性，通常需要导演在此基础上创作出文字脚本。文字脚本是导演在文学剧本的基础上进行的再创作，加入了其对故事主题的理解与重构，加入了镜头语言，将文学剧本中很多感性的形容词视觉化，变成了描述性的文字。这个文字脚本就是整部动画片创作的蓝图。

(2) 美术设计

在电影的拍摄过程中，有了要讲述的故事，下一步就要挑选演员，选择拍摄场地。而动画片中的演员和场景都是画出来的，所以接下来的工作就是要设计角色和场景，即美术设计。美术设计包括角色设计、场景设计、道具设计三部分，一般依据故事情节和导演的要求来创作。美术设计要求设计师有很强的造型能力、审美能力，丰富的想象力，良好的沟通理解能力、创造能力和观察能力。美术设计是一部影片成败的关键。

(3) 分镜头脚本

分镜头脚本是根据导演的文字脚本而来的，它按照文字的描述画出图像，将文字脚本的内容按照故事发展的顺序一个画面一个画面地绘制出来。分镜头有时由导演来绘制，有时由导演指导分镜头设计师来完成。此时的分镜头画面是以草图的形式呈现的，还要经过导演的反复修改，才能形成最终版本，成为未来动画中期制作的依据。有的时候，静态分镜头也会被加入角色表演、镜头语言配音配乐，形成动态分镜头。动态分镜头既可以更直观地看到未来影片的样貌，又便于动画中期的制作。

2.动画中期

从制作手法的角度划分，动画可以分为三种：二维动画、三维动画、材料动画。虽然每种动画的制作手法都有其自身的特点，但前期的创作是相同的，都要经过剧本、美术设计、分镜头脚本这几个环节。但是，从动画中期开始，不同的动画制作方式将按照各自的工作流程来进行。二维动画需要在纸上或者电脑中进行背景绘制、原动画、动检、填写摄影表、描线、上色等工作；三维动画需要在计算机软件中进行场景搭建、角色建模、角色动画设计、灯光与材质设计等工作；材料动画需要选择材料进行场景搭建、道具制作、角色制作、逐格拍摄等工作。这里我们详细讲解一下二维手绘动画的中期制作。

(1) 设计稿

设计稿也叫放大稿，是对分镜头设计稿的详细设计和放大。在设计稿中应详细设计出该镜头中角色的动作起始位置、场景道具的运动及镜头的运动。绘制设计稿前，绘制人员应拿到详尽的角色设计和场景设计，具体包括角色各种着装造型、转面图、表情图、结构图、角色之间的比例图、角色与景物比例图、角色与道具比例图、服饰道具分解图、动作性格特征设计图、主场景色彩气氛图、平面坐标图、立体鸟瞰图和景物结构分解图等。

(2) 原动画

原动画是对原画和动画这两个工序的简称。设计师需要根据导演的要求、故事情节的要求、分镜头设计稿的设定来绘制原画和动画。原画和动画的创作者需要熟练掌握运动规律知识以及角色运动的基本规律，并在此基础上根据角色的性格特点、剧情要求对角色的运动方式进行个性化设计。

(3) 描线、上色

描线与上色是传统二维手绘动画中的工序。原动画师在画的过程中难免会有修改，所以画面上常有修改擦除的痕迹。动画的成稿要求画面干净、线条整洁，所以需要画稿重新描摹使画面达到干净工整，这个描摹的过程就是描线。传统二维手绘动画一般是用透明的赛璐珞片来描线，但电脑的普及改变了二维手绘动画描线的方式，现在可以用动画纸进行描线，然后通过扫描仪将图像数字化，并扫描到电

脑中。

上色的传统做法是用透明的赛璐珞片来进行，现在我们则可以直接在电脑中进行。

3.动画后期

在动画中期中我们谈到，按照创作方式动画可以分为二维动画、三维动画和材料动画，这些动画的制作前期是基本相同的，中期制作则根据每种动画的特性会有很大的区别。不同种类动画的后期创作也是大致相同的，都包括编辑、配音配乐、字幕、合成输出几个步骤。这样，一部动画片就创作完成了。

动画运动规律是进行动画创作必须要掌握的基础技能，属于动画的中期部分。二维手绘动画需要运用运动规律的知识将角色的动作绘制出来；三维动画中的角色模型调动和材料动画中的逐格摆拍，同样需要运动规律的相关知识。

二、原画与中间画

原画通常既可以指原画设计这个流程，也可以指画原画的人。原画设计是动画创作中的重要环节，决定了动画角色的动作形态、幅度与节奏，而原画师是设计原画与绘制原画的人。原画师就像一部电影中的演员，动画片中的角色表演都是靠他一张张画出来的。所以，一名合格的原画师需要具备良好的造型能力、一定的表演能力以及丰富的想象力。

与原画一样，中间画既可以指给原画加中间画这一动画流程，也可以指画中间画的人。中间画是相邻两张原画之间的过渡画面，它的质量对动画角色运动的流畅程度和动作的细微变化起到决定性的作用。

1.原画

原画是指一套动作的关键帧，是描绘运动物体关键动作的画稿，代表着动作的开始与结束、动作的运动方向、运动幅度等一系列运动要素。例如，当一个摆动起来的钟摆摆到两端最高点的时候，这两张画面就是原画。再如，用力挥舞手中的锤子时，锤子被举起和落下这两个动作是角色动作的最大幅度，也是动作的开始和结束，图 1-2-2 中的①、③这两张画稿就是原画。



图 1-2-2 原画稿

原画师需按照导演的要求，按照故事情节の設定来创作原画画稿。原画师就相当于电影中的演员，按照导演的意图和故事情节进行表演，只不过动画片不是原画师直接表演，而是通过画笔将表演注入

动画角色身上。所以，在绘制原画稿之前，原画师只有对导演的意图及影片的情节发展有着深刻的理解，才能开始此镜头的动作设计；只有具备良好的理解能力与表演能力，才能设计出生动鲜活的角色表演。除此之外，原画师还要具备良好的绘画能力，熟练掌握运动规律的基础知识。

(1) 原画的元素

原画稿的画面通常包括以下几个元素。

第一，画面。

第二，图层。在一些比较复杂的镜头中，我们会分层来绘制动画。不仅仅是运动的物体与场景要分层，为了节省人力，一个角色也会分若干个图层来绘制。这个时候，原画稿上就要标明图层。图层一般用字母 A、B、C、D 来划分，依次排列。图层 A 最靠近背景也就是最靠后。

第三，画稿序号。原画的序号通常用阿拉伯数字加圆圈表示，如①、②、③、④、⑤（图 1-2-3）。

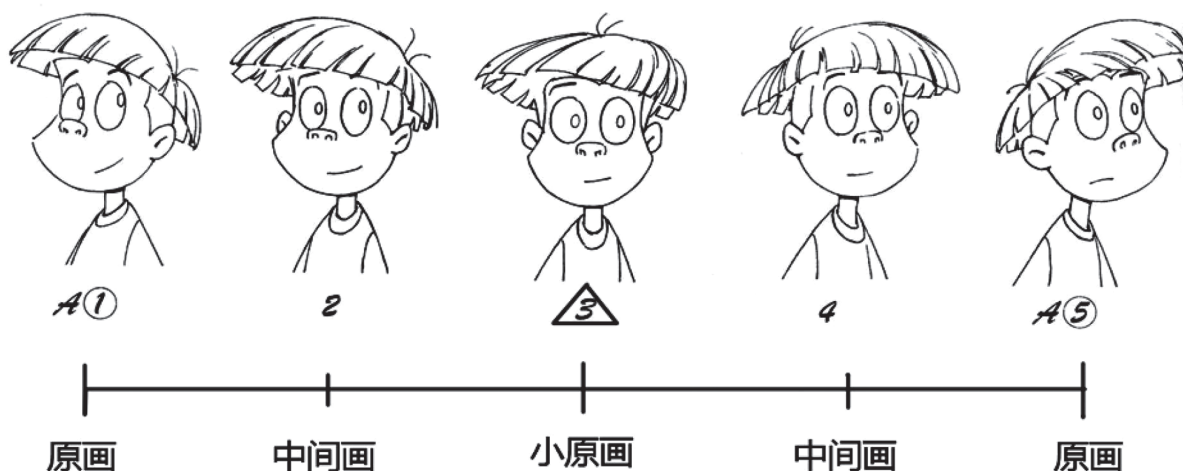


图 1-2-3 原画稿序号示意图

第四，标尺。标尺是记录相邻两张动画间的空间距离的工具。从标尺中我们大概可以了解此物体运动的速度。它是原画师与动画师交流的工具。原画师画好原画之后，需要将此镜头交给中间画师，进行下一道工序。中间画师是通过两张原画以及标尺来判断中间画的位置的。

第五，如果原画师对中间画师加中间画的

过程有特殊要求的话，会在原画稿中写明或者附上简单的图画说明，如对动作的要求、造型的要求等。原画师不可能把所有细微的动作变化都画出来，因此其对动作的意图就只能传达给中间画师了。

②原画的画法

原画师根据剧本和分镜头的设计要求，将这个

镜头的动作在草稿纸上勾勒出来。原画需要画的是动作的关键帧。简单的动作，原画就是该动作的开始张和结束张；复杂的动作，原画师需要将其分段。分段的原则是在动作的开始、结束、转折、关键部位做分割，这样每一段动作都会有一个开始张和结束张。这种做法虽然会使原画稿的张数增加，但却可以将复杂的动作简单化，更方便中间画师的工作。

2. 中间画

(1) 中间画的含义

中间画又叫动画，是指相邻两张原画之间的过渡张两张，即两张原画之间的变化过程。中间画师需要按照角色设计师设定好的角色标准绘制，需要按照原画师设定好的动作范围、张数及其运动规律，一张一张地画出过渡张。中间画的工作既繁重又乏味，重复性比较强。但是，动画片对中间画师的要求是非常严格的，只有对角色的造型与线条进行过

反复练习的画者才可以胜任。

(2) 中间画的制作流程

原画工作完成后，原画师会将装有镜头画稿的镜头袋交到中间画师手里。这个镜头袋里面放的是原画画稿、场景画稿、规格框、镜头放大稿和摄影表。中间画师应仔细研究原画师对整个动作设计的意图，然后严格按照运动标尺、摄影表、原画稿上文字或画面提示的要求来完成中间画的绘制。

(3) 中间画的画法

将相邻的两张原画稿重叠放到定位尺上面，打开透光台，就可以清晰地看到两张原画的线条。然后拿一张同样尺寸的动画纸放到最上面，按照原画的要求加中间画。绘制中间画时，应该严格按照标尺、原画稿的文字提示以及摄影表的要求来进行（图 1-2-4）。

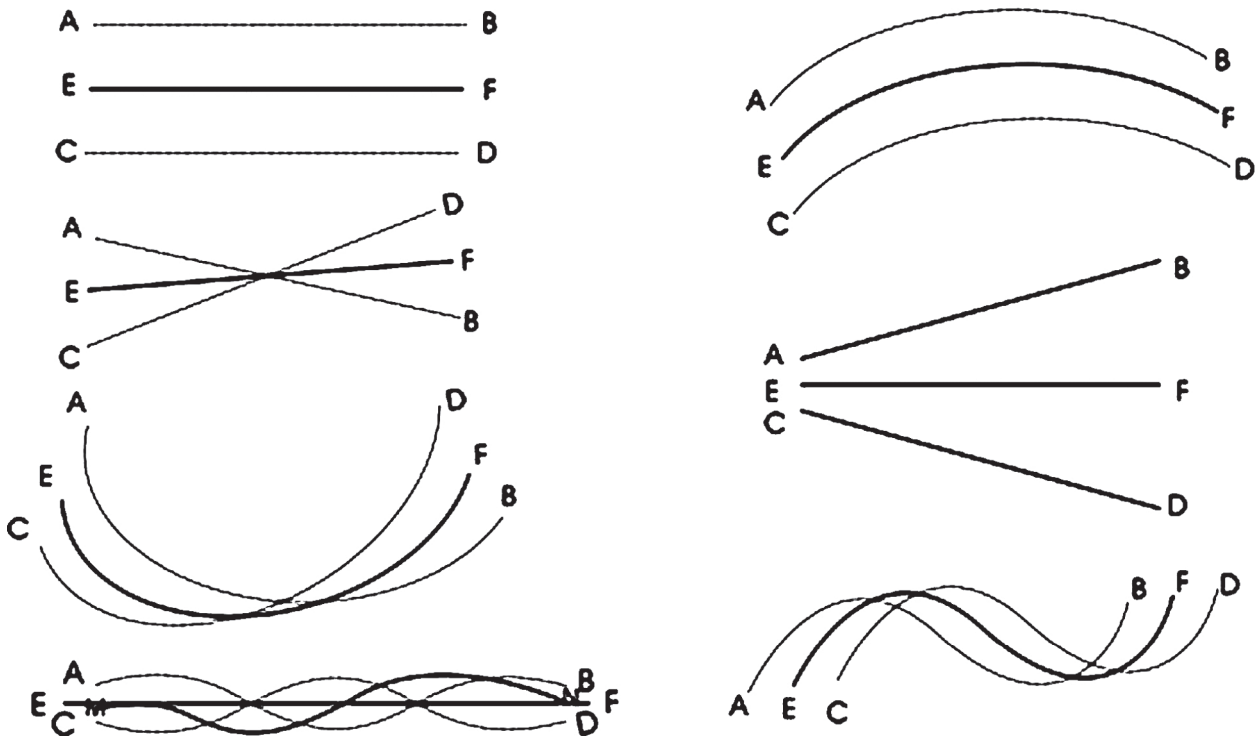


图 1-2-4 加中间画案例

三、动画的绘制工具

“工欲善其事，必先利其器。”动画是一种知识密集与劳动密集型的工作，制作动画片的工作量是相当大、相当繁重的，掌握制作工具的用法和工作方法是至关重要的。下面我们将对动画的专业工具进行介绍。

1. 动画纸

动画纸也叫定位纸，是传统二维手绘动画必须应用的纸张。一般选用 60 克或 70 克的透光度高、性能好的白色纸张，常用规格为 27cm × 32cm。如

果制作影院级的动画，就要选用大规格的动画纸，即 41cm × 34cm 的动画纸。

与其他绘画纸张不同的地方是，动画纸必须具备良好的透光性，且在每张纸的固定位置上有三或五个孔（图 1-2-5）。这两个特点是由动画的制作工艺特性所决定的——动画纸需要与透光台、定位尺来配合使用（透光台与定位尺下文详细介绍）。绘制动画的时候，我们需要在透光台上将若干张动画纸叠加起来绘制一个动作，所以要求动画纸具有良好的透光性；而动画纸上的孔则是与定位尺配合使用来固定纸张、防止错位的。

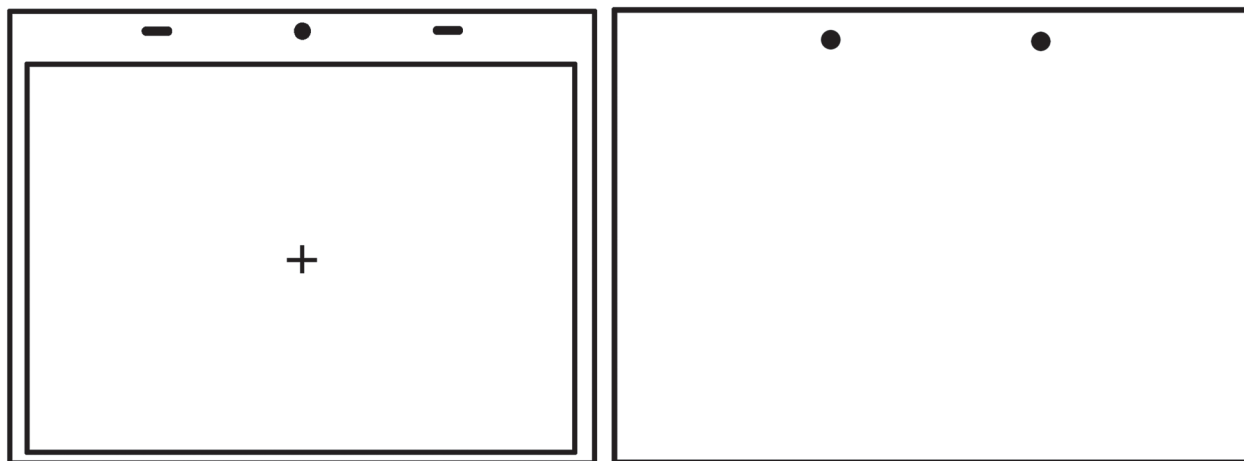


图 1-2-5 动画纸

2. 定位尺

定位尺（图 1-2-6），顾名思义，它的作用就是定位。说它是尺，是因为它的形状像尺，但没有刻度。定位尺也是传统二维手绘动画必备的工具之一，其作用是固定动画纸，防止动画纸在绘制过程中错位。

目前，市场上出售的定位尺有金属和塑料两种材质，有三孔与五孔两种类型。孔的多少是根据我们所绘制的镜头大小来选取的。一般的镜头，用三孔的定位尺就足够了。但是，要绘制长背景或者移动镜头时，就需要用到五孔的定位尺，这样固定的效果更佳。

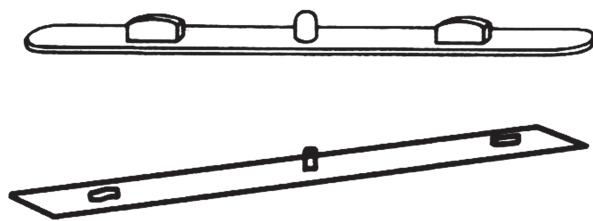


图 1-2-6 定位尺

3. 笔、橡皮

铅笔是动画片绘制的必备工具，绘制出来的线条有粗细变化，自然流畅，画面的绘画性更强。通常，我们会选用 2B 铅笔来绘制，因为 2B 铅笔软硬程度适中。太硬的铅笔会伤纸，而且不易修改；太软的铅笔，画出来的线条浮且黑，画面容易脏。

自动铅笔也是必备的工具。它的好处是可以保持线条的粗细一致。一般情况下，我们会选用粗细为 0.5mm 的 2B 自动铅笔。但是，在绘制特殊镜头的时候会有不同：在绘制特写镜头时，我们会选用 0.7mm 或 0.9mm 的自动铅笔，因为在特写镜头里角色会被放大，所以线条要相对粗一些；在绘制全景镜头时，我们会选用 0.3mm 的自动铅笔，因为在全景别的镜头里角色会被缩小，线条要细一些。

除了铅笔之外，我们在绘制角色阴影的时候，还会使用正红色、正蓝色、正黄色等彩色铅笔来绘制阴影的边界线。因为在后期软件上色的过程中，红色、蓝色、黄色只会识别区域。上色完毕输出图像的时候，红色、蓝色、黄色阴影的分界线可以删除。

签字笔也是动画片制作时常常用到的工具。一般情况下，初学者在绘制一套运动规律动作的时候难免会有很多修改擦除的痕迹，所以在传统二维手绘动画流程中，运动规律绘制完成之后会有一个描线的工序，通常选用 0.5mm 的黑色签字笔进行勾线。与自动铅笔一样，在绘制特写镜头的时候选用 0.7mm 或 0.9mm 的签字笔；在绘制全景镜头的时候选用 0.3mm 的签字笔。

橡皮主要用于修改铅笔稿错误的地方。需要注意的是，在绘制运动规律初稿的时候下笔要轻一些，否则橡皮很难完全擦除错误的笔迹（图 1-2-7）。

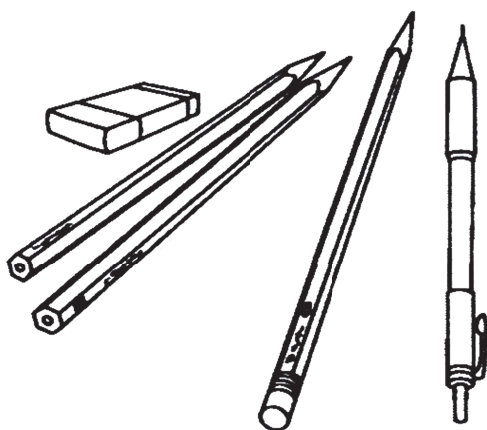


图 1-2-7 铅笔、自动铅笔与橡皮

4.透光台

透光台（light table）又叫透台、透写台、拷贝台，同样是制作传统二维手绘动画必须要用到的工具（图 1-2-8）。它由一个灯箱以及覆盖在上面的一层毛玻璃或亚克力板组成。其原理是通过光照，使放到毛玻璃或亚克力板上的若干张动画纸上的图像变得清晰可见。动画师可以直观地看到所画动画的运动，从而完成加中间画的工作。早期的透光台比较笨重，大多是木质结构，体积较大，光源亮度不可调节，使用时间长时灯泡会发热；而现在的透光台大多是由轻质合金和亚克力板制成的，轻薄便于携带，厚度通常只有 2cm 左右，光源的亮度可以调节。

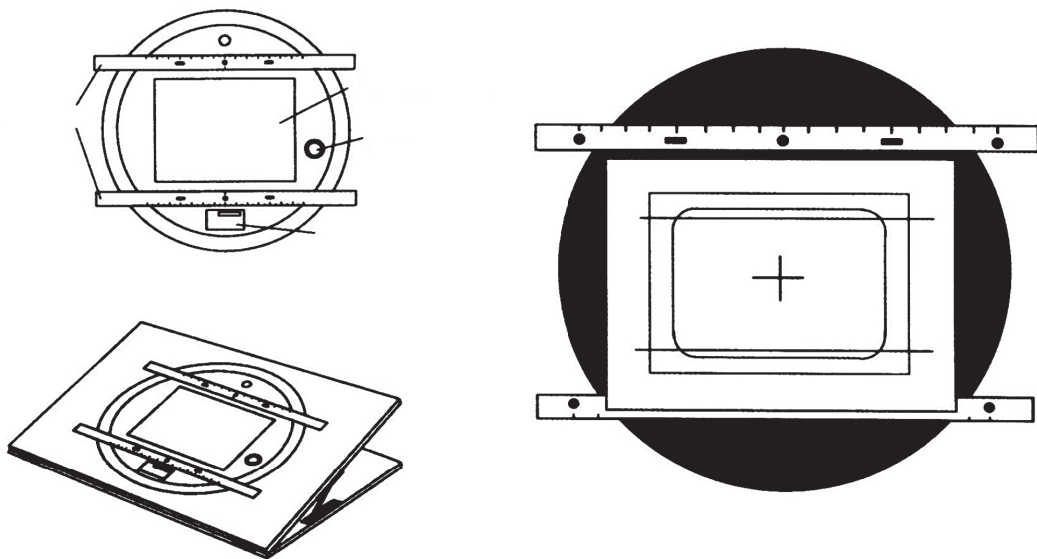


图 1-2-8 透光台

5.规格框

规格框也叫“安全框”，是一个起到约束限制作用的边框。框内的图像在影片播放时是可以看到的，而框外的就看不到了。规格框的基本比例有 4：3 和 16：9 两种，但是随着数字化的发展，其模式也在不断地变化。

规格框除了对画面起到约束作用以外，还可以

节省动画的工作量。我们在画一个动作的特写时，要选择小型的规格框。小型的规格框，画面尺寸相对较小，同样的形象在其中比在大规格框中的比例要小，线条也短；每张动画中节省几段线条的长度，整个镜头就会节省很多的人力、物力和时间。除此之外，画面小了以后线条变短，比较好控制。大规格框是用来画全景、大全景镜头的（图 1-2-9）。

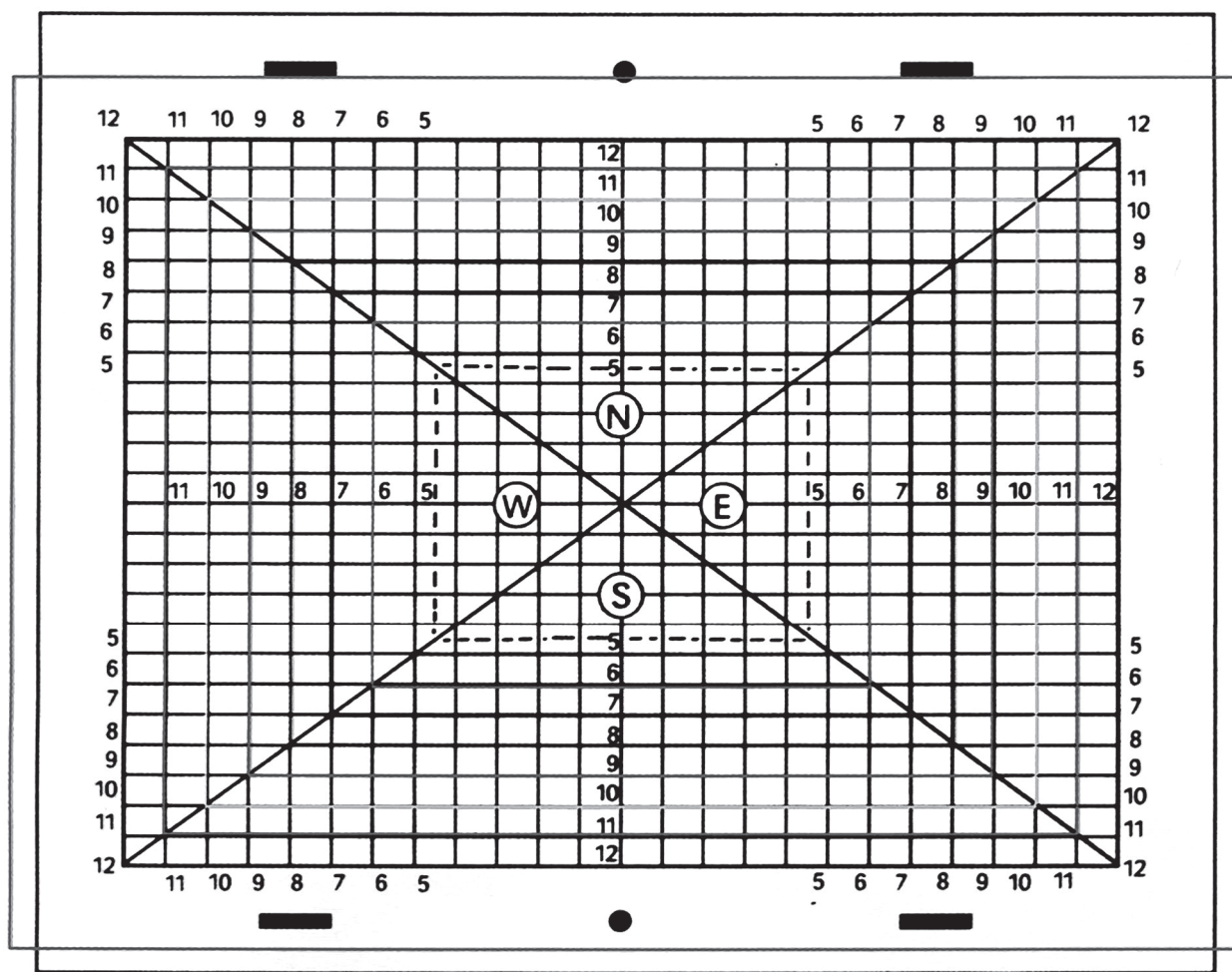


图 1-2-9 规格框

6. 摄影表

摄影表又称“律表”，是动画片中用来记录每个镜头中的角色、动作、对白、时间、节奏、音效、镜头运动以及镜头间蒙太奇手法运用的一个图表（图 1-2-10）。导演在摄影表左边的动作提示栏内规定了动作的主要节奏，动画设计者以此为依据，在相应的栏目内标出完成每一动作需要的画面张数。

摄影表上还要标出赛璐珞片的层次排列和拍摄要求等，这些规定对动画师、校对人员、摄影技师以及动画制作单位的所有成员都有用处。

动画摄影表的格式在不同国家和地区都有差别,一般情况下,在表头或者表格侧边位置会有片名栏、集号栏、镜头号栏、镜头长度栏、动画张数栏等。表格主体部分是它的动作要求列、对白口型列、动画要

求列（由于动画角色、道具等一般会涉及分层，这列通常用字母 A、B、C、D、E、F、G、H……再分出很多列）、背景列、摄影要求列等。在每一列的纵向行中，就是原画所要传达给其后工序的“意图”，中间画

和后来的拍摄（扫描）工作都是按照每行的设定进行的。摄影表的这些“行”，就是我们常说的“格”，根据播放制式的不同有 24 格/秒、25 格/秒、30 格/秒等。一般一张律表会有 2.3 秒左右，通常只画一个镜头。

集数		片名		#	镜号	长度	原画师	页次	以秒为单位计算					
						+ K			以格为单位计算					
		动态 ACTION	DIAL		A	B	C	D	E	F	G	H	I	拍摄要求 CAMERA NOTES
				1										
				2										
				3										
				4										
				5										
				6										
				7										
				8										
				9										
				10										
				11										
				12										
				13										
				14										
				15										
				16										
				17										
				18										
				19										
				20										
				21										
				22										
				23										
				24										
				25										
				26										
				27										
				28										
				29										
				30										
				31										
				32										
				33										
				34										
				35										
				36										
				37										
				38										
				39										
				40										
				41										
				42										
				43										
				44										
				45										
				46										
				47										
				48										
				49										
				50										

图 1-2-10 摄影表

7.镜头袋

镜头袋又称“镜头夹”“卡套”，是用来装每个镜头的画稿的袋子。袋子封面上有许多信息，包括片名、镜头号、原动画、中间画以及修型人员的姓名

等。镜头袋中会装载这个镜头的设计稿、原画画稿、动画画稿、规格框、摄影表等（图 1-2-11）。因此，我们说镜头袋是一个很好的收纳整理动画画稿的工具。

镜号
SCENE

片名
FILM NAME

#

规格 FIELD	长度 LENGTH	兼用 LINK UP	设计稿 LAYOUT DESIGNER	修型 ASSISTANT ANIMATOR		
F	+	K	S/A	STK		
原 画 ANIMATION	动 画 INBETWEEN	复 印 XEROX	描 线 TRACE	上 色 PAINTING	校 对 FINAL CHECK	背 景 BACK GROUND
A	A	A	A	A	A	OL
B	B	B	B	B	B	UL
C	C	C	C	C	C	OL/UL
D	D	D	D	D	D	BG
E	E	E	E	E	E	
类别 GRADE	实际张 ACTUAL SHEETS	张数 SHEETS	张数 SHEETS	张数 SHEETS	流线 SPEED LINE	兼 用 LINK UP
						OL
						UL
						OL/UL
						BG
	计算张 CALCULATED SHEETS	工时 MAN HOUR	工时 MAN HOUR	工时 MAN HOUR	刷效 DRY	
	检查 CHECK-UP	检查 CHECK-UP	检查 CHECK-UP	检查 CHECK-UP	喷效 AIR BRUSH	检查 CHECK-UP

导演审核
DIRECTOR APPROVED

设计稿
LAYOUT

背景
BACKGROUND

原画
ANIMATION

修型
ASSISTANT ANIMATOR

注意事项
NOTE

摄 影
CAMERA

F.I

F.O

FRS.FROM: TO:

T.U T.B

特技
SPECIAL EFFECT

摄影师
CAMERAMAN

完成日期
FINISH DATE

预告片
TRAILER

剧照
STILL

年 月 日

镜号
SCENE

图 1-2-11 镜头袋

8.动检仪

动检仪是绘制传统二维手绘动画必须用到的仪器。它是用来检查画好的一组运动规律是否能够达到镜头要求的一种仪器。动检仪是一套由主机、显示器、专业摄影器材（带拍摄架、云台）以及线拍软件组成的设备（图 1-2-12），其工作原理是通过线拍软件将画好的运动规律画稿一张一张地进行拍摄（为了防止画稿错位，要先将定位尺固定好，然后将画稿套在定位尺上拍摄），并用软件中自带的摄影表将拍摄好的一张张画面设置节奏，然后对该镜头进行播放，以观察镜头的动态效果是否符合导演的要求。

在传统二维手绘动画流程中，动画检查是很重要的一个环节，通常被简称为“动检”。动检师必须确认动画的正确性并控制动画质量，责任重大。动检师需要具备良好的绘画能力和丰富的动画绘制经验。有些影片因为成本受限，所以在制作流程中不

设置动检师的职位，通常由导演和动画师承担动画检查的工作。

动检主要是检查动画中的人物动作、线条是否连贯，画面是否缺页或多页，以及动画是否有污点等。



图 1-2-12 动检仪

▶ 第三节 动画的时间、空间、速度与节奏

我们都知道，动画是一门时间的艺术。欧美动画大师格里穆·乃特维克曾经说过：“动画的一切皆在于时间点和空间幅度。”这句话说的就是动画中的时间、空间的重要性。动画运动规律的基础，就是掌握如何合理地应用动画的时间、空间、速度与节奏。

一、动画的时间

动画片中的时间概念，与我们日常生活中的时间概念是不同的。动画的时间长度是以秒、帧为测算单位的。通常，一秒钟是 24 帧画面，也叫 24 格，每一帧或一格就是一张动画。所以，一秒钟的运动画面是由 24 张动画组成的。动画片在成本、定位、制作周期等方面的要求不同，也会影响其帧数的多少。帧数（格数）的多少与画面的流畅度成正比。在具体实践中，完成同样的动作，动画片所占胶片的长度比故事片、纪录片要略短一些。因此，在确定动画片中某一动作所需的时间时，通常要将用秒表根据真人表演测得的时间或纪录片所摄长度缩短一些。只有这样，才能得到理想的效果。

下面这三个专业名词是学习动画必须要掌握和完全理解的概念。

1. 帧

在动画中，1 秒钟是由 24 帧组成的。一帧即一个画面，是动画片中的最小单位，相当于电影胶片的一格画面。一帧就是一个静止的画面，动画片是由多张静态画面快速播放而形成的运动影像。

2. 镜头

镜头是摄影机一次开机到关机过程中所拍摄到的连续画面。镜头的时间长短不一，一般按照导演的

要求和情节的需要来设定，如果画面切换，则是换了一个镜头。在胶片时代，当一个画面结束，转移到下一个画面的时候，需要剪切胶片来实现镜头之间的衔接，因此镜头被称为“CUT”。

3. 拍制

拍制是指一帧画面在播放的过程中停几格。“一拍一”是指一秒钟需要画 24 张，每张画面停一格，以早期迪士尼手绘动画为代表，因为动画张数多，所以动作细腻丰富、逼真流畅；“一拍二”是指一秒钟需要画 12 张，每张画面停两格；“一拍三”是指一秒钟需要画 8 张，每张画面停三格。由于视觉暂留现象的存在，人眼在每秒钟观看 8 张以上画面的这种快速播放的情况是感觉不到停顿的，所以大部分优质动画片的拍制都在“一拍三”以内。通常情况下，动画片在成本、定位、制作周期等方面的不同要求，也会影响动画片的拍制。

二、动画的空间

动画的空间有两层含义：广义上的空间，是指动画片中角色或运动的物体在画面上的活动范围和位置的改变；狭义上的空间，是指一个动作的幅度，即一个动作从开始到结束之间的夸张变形。基于动画的艺术特性，动画师在设计角色的动作时往往会进行夸张，以增大动画空间的幅度，最大限度地拓展观众的视觉空间和心理空间（图 1-3-1）。此外，动画片中的活动形象做纵深运动时，可以与背景画面上通过透视表现出来的纵深距离不一致。例如，在表现一辆车由大到小向画面纵深处快速行驶和消失时，如果按照画面透视、背景与车的比例来计算，应该行驶几十秒；但是，为了夸大速度感，在动画片中只要跑几秒钟就完成这一动作了。

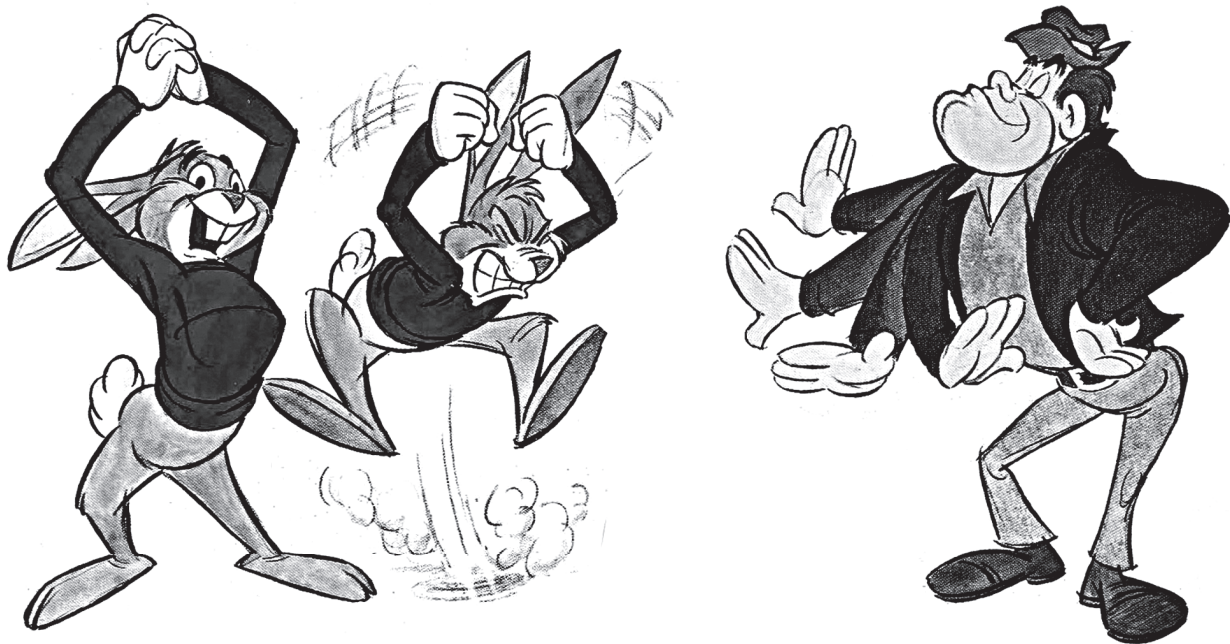


图 1-3-1 动画空间

三、动画的速度

速度是指物体在单位时间内通过的路程的多少，代表的是物体运动的快慢。物体之所以会运动，是由于受到了力的作用。一个较强的力施加到物体上的时候，物体运动的速度就快；一个较弱的力施加到物体上的时候，物体运动的速度就慢。在距离相等的条件下，物体移动的速度越快所用的时间越短，在动画中占用的帧数就越少；反之，物体移动的速度越慢所用的时间越长，在动画中所占用的帧数就越多。

动画片中，动画的时间影响着运动速度。角色或运动物体在动画片中的表演是以它们的位置和形态变化来呈现的，动作的节奏感、速度感在动画角色真实可信地传达故事情节方面起到了非常关键的作用。如何将动画时间进行的合理分配，是学习动画运动规律必须要掌握的知识。如果有意地观察现实生活中不同物体的运动，我们会发现，所有物体的运动都不是匀速的，存在着快与慢、加速与减速、延时与静止的变化。动画片中的角色运动也一样要

有速度的变化，只有这样，其动作才是合乎情理、真实可信的。

动画片中的速度变化可以分为三种类型：匀速运动、加速运动和减速运动。一个运动，两张关键动态原画之间的距离完全相等，拍摄格数也相同，就是“匀速运动”；一个动作的两张关键动态原画之间，如果中间距离并不完全相等，而是由小到大地变化着，即速度由慢到快，就是加速运动；与此相反，两张关键动态原画之间，中间画距离由大变小，即速度由快到慢，则是减速运动。

1. 匀速运动

匀速运动是指在两个原画之间，每两张中间画之间的距离完全相等，呈现的是均匀移动的视觉效果（图 1-3-2）。在画匀速运动的物体时，我们要先确定好物体运动的两张关键原画，即图 1-3-2 中的①和⑤两张原画的位置，然后根据标尺在①和⑤的中间位置画 3，在①和 3 的中间位置画 2，在 3 和⑤中间位置画 4。

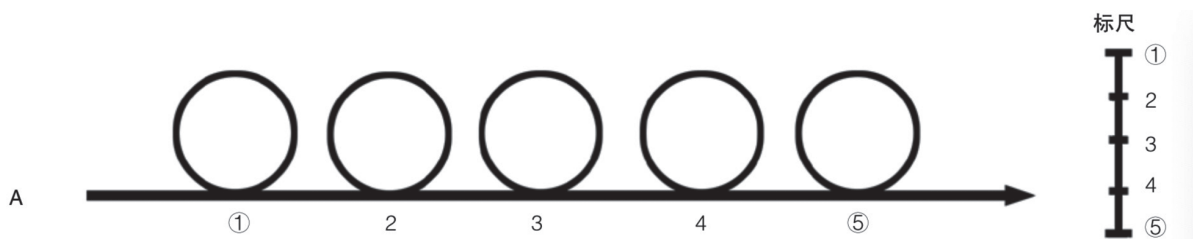


图 1-3-2 匀速运动

2.加速运动

加速运动是指在两个原画之间，每两张中间画上物体的运动距离由小到大，呈现出来的是由慢到快的视觉效果，通常用来表现速度感、力量感（图 1-3-3、图 1-3-4）。如图 1-3-5 所示，在绘制加速运动时，首先确定①和⑤两张原画的位置，然后在①和⑤的中间位置画 4，在①和 4 的中间位置画 3，

在①和 3 的中间位置画 2。

对于加速运动等快动作而言，预示性准备动作非常重要。它有利于观众对快速动作形成心理预判和视觉理解，避免动作快得让观众的眼睛跟不上。一个自由落体的物体下落到地面时，由于物体自身重量及地心引力的作用，就会产生加速运动。

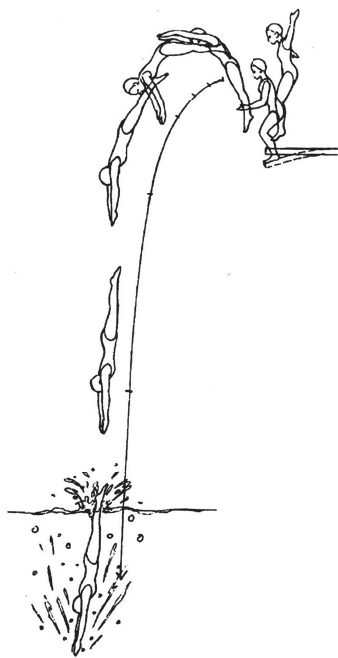


图 1-3-3 运动员跳水（加速运动）

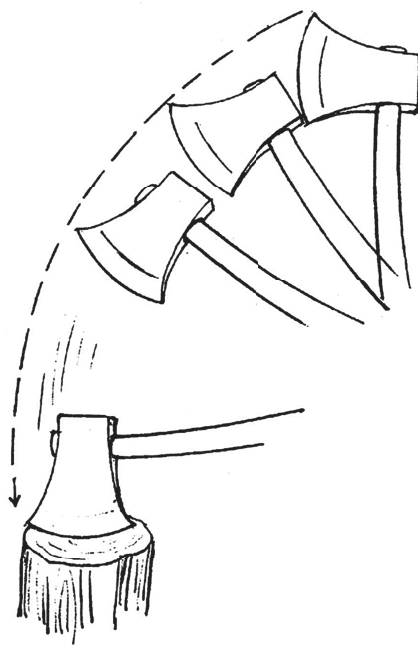


图 1-3-4 斧头砍下（加速运动）

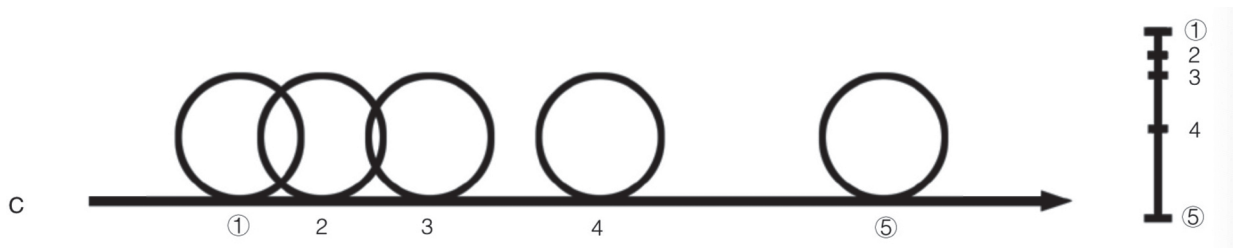


图 1-3-5 加速运动

3. 减速运动

减速运动是在两个原画之间，每张中间画的距离由大到小，呈现出来的则是由快到慢的视觉效果，通常用来表现舒展、抒情的戏剧场面。一般来说，非常慢的动作在动画设计中应尽量避免。因为，中

间画距离太近时，如果画得不精准或间隔距离计算得不准确，角色动作会出现抖动的跳帧现象。如图 1-3-6 所示，在画减速运动的时候，要先确定①和⑤两张原画的位置，然后在①和⑤的中间位置画 2，在 2 和⑤的中间位置画 3，在 3 和⑤的中间位置画 4。

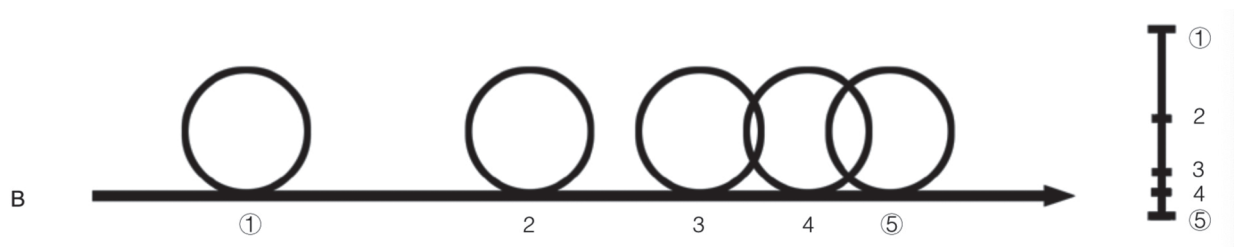


图 1-3-6 减速运动

动作快慢的决定因素主要有三个：时间、空间、两张原画之间的中间画的数量。即使动作的时间长短相同、距离大小相同，由于中间画的张数不一样，也会造成速度不同的细微差别。中间画的张数越多，速度越慢；中间画的张数越少，速度越快。

动画速度确定后要设定动画时间，然后根据设定的时间长度决定插入的张数。

由于动画片是一张一张地画出来，然后一格一格地拍摄出来的，所以我们必须观察、分析、研究动作过程中每一格画面（1/24 秒）之间的距离（即速度）变化，掌握它的规律，根据剧情规定、影片

风格以及角色的年龄、性格、情绪等灵活应用。

以上三种速度变化不是单一存在的，在动画创作过程中，设计师要根据剧情要求和运动的基本规律，灵活运用匀速运动、加速运动和减速运动。例如，在图 1-3-7 中，由于重力的作用，青蛙由高处落下的过程是加速运动；落地之后的弹起过程，由于地球引力及其自身的重力作用，是减速运动；青蛙落地时，我们还要加入少许停顿，为下次弹跳做好准备。所以，看似简单的一个青蛙跳跃的动作，其实是几种速度变化的集合。

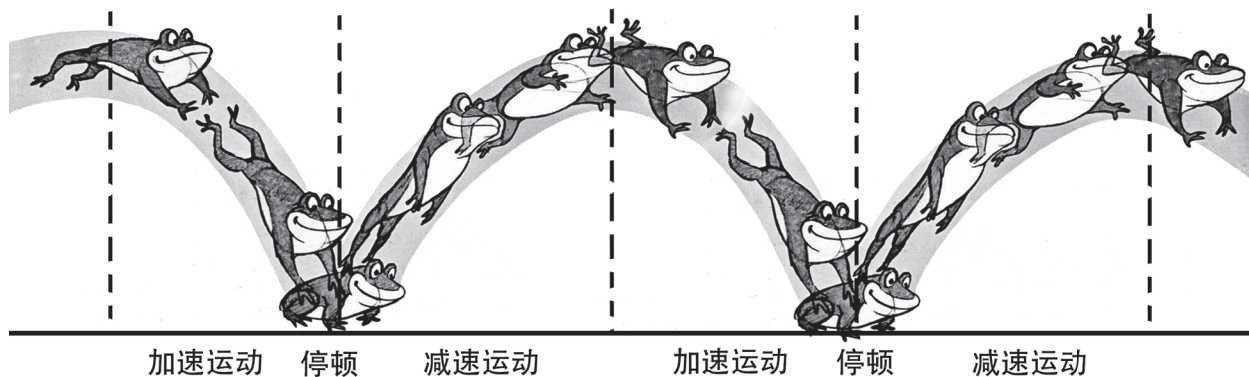


图 1-3-7 青蛙跳跃运动

四、动画的节奏控制

节奏是动画的生命。动画片的节奏是靠动画的时间、距离与速度这三个因素的合理运用来控制的。生活中，一切物体的运动（包括人的动作）都是充满节奏感的。动作的节奏如果处理不当，就像讲话时该快的地方没有快，该慢的地方反而快了；该停顿的地方没有停，不该停的地方反而停了一样。因此，处理好动作的节奏对于增强动画片的表现力是很重要的。

速度的变化是形成节奏感的主要原因，不同速度的交替使用产生不同的节奏感和韵律感，如匀速、快速、慢速以及停格等。

动画的时间、动作幅度和中间画的张数是决定动作速度的三大因素，其中以动作幅度的影响最为关键。关键动作的动态和幅度往往构成了动作节奏的基础。在关键动作动态和幅度处理合理的情况下，时间和张数安排不当，动作节奏不到位，也会背离物体的运动规律，在视觉上产生别扭的不舒服感。

一般说来，动画片的节奏比其他类型影片的节奏

要快一些，比生活中的动作节奏要夸张一些。整个影片的节奏是由剧情发展的快慢、各种蒙太奇手法的运用以及动作的不同处理方式等多种因素造成的。我们这里说的不是整个影片的节奏，而是动作的节奏，即“快速”“慢速”以及“停顿”的交替使用。不同的速度变化会产生不同的节奏感：

（1）快速—慢速—停止，或停止—慢速—快速，这种渐慢或渐快的速度变化造成的动作节奏感比较柔和。

（2）快速—突然停止，或快速—突然停止—再快速，这种突然性的速度变化造成的动作节奏感比较强烈。

（3）慢速—快速—突然停止，这种由慢渐快而又突然停止的速度变化可以造成一种“突然性”的节奏感。

动作的节奏对于体现剧情和塑造主角形象至关重要。因此，在处理动作节奏时，不能脱离每个镜头的剧情和人物特定情景下的特定动作要求，也不能脱离具体角色的身份和性格，同时还要考虑到电影的风格。

▶ 第四节 动画的力学原理

世间的一切物体都受到力的影响和制约。在动画运动规律中，力学原理十分重要，只有掌握力学原理，才能准确把握所绘制物体的运动方式。在动画创作中，力学原理是我们必须掌握和遵循的，在此基础上再结合动画自身的艺术特点进行夸张化表现，将会使动画的动态设计既真实合理又趣味横生。

一、作用力与反作用力

动画根据力学原理，把作用力与反作用力、加速度与减速度等物理现象具体运用到动作设计中去，并加以充分发挥，使画出来的动作产生特殊的效果，展现动画动作的特性。作用力与反作用力是动画创作中经常使用的一对力学原理。

1. 作用力

力是物体对物体的作用，所以力都是成对出现的。有力就有施力物体和受力物体。两个物体之间通过不同的形式发生相互作用，如吸引、相对运动、形变等而产生的力，叫作用力。

2. 反作用力

反作用力是与“作用力”相对应的。在力学中，力总是成对出现的，其中一个力（作用力）对应的大小相等、方向相反的力叫作反作用力（reaction）。

在打羽毛球的时候，用力将球击打出去的力就是作用力，球会在空中朝前运动。但球在空中因为受到空气阻力的影响，向前的动力就会减弱，速度就会减慢，空气的阻力就是反作用力。同时，球体还受到了地心引力（反作用力）的制约，这使得它呈抛物线运动落向地面。

打台球时，球被用力推出，便会直线向前滚动，这时球受到了作用力的影响。球在桌面滚动，受到桌面摩擦力的影响，向前做减速运动，因此桌面的摩擦力是反作用力。当球碰到桌子边框时，便会终

止前进产生反弹，这也是反作用力。此时，台球改变方向，向另一方向弹出，然后继续做减速运动（图 1-4-1）。经过对台球的运动过程的分析，我们得出结论：看似简单的物体运动，其实包含了复杂的力学原理。在设计一套运动画面之前，应该将这些问题考虑进去。

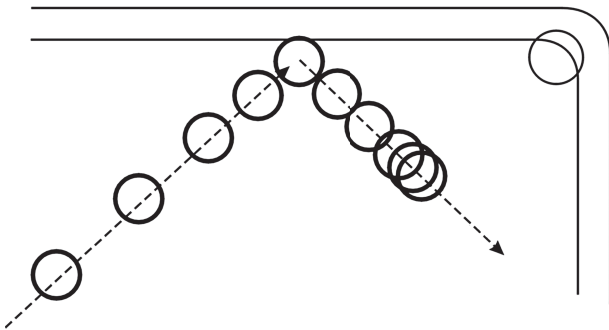


图 1-4-1 台球在桌面上的运动过程

二、力的传送

静止的物体，受到力的作用会从静止状态转变为运动状态；运动中的物体，受到阻力、引力、摩擦力等的影响，其运动方式和运动速度也会发生改变，这就是力的传送。

1. 力通过活动关节传送

静止的物体是受到力的作用才运动起来的，那么力是如何传递到物体身上，从而改变物体的运动状态的呢？如图 1-4-2 所示，一根绳子系住木棒的左端，从右边与木棒大致呈直角的方向拉动绳子时，我们可以看到，首先是绳子被拉紧了。当绳子松的时候，木棒是不会移动的，在它的重心未与绳子形成一条直线之前，整根木棒不会朝着绳子的方向移动，只是在原地转动。直到它与绳子成为一条直线后，木棒才朝着绳子的方向运动。

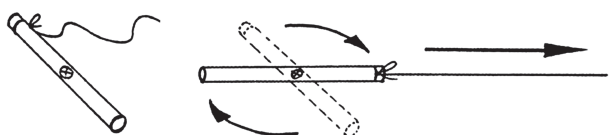


图 1-4-2 活动关节力的传递 1

图 1-4-3 是一组带有活动关节的木棒在受到不同的力的作用时产生的变化：当黑色木棒开始向右移动时，白色木棒以两根木棒的衔接处为轴心，顺时针（依照图片上箭头指示的方向）旋转，并同时跟随黑色木棒朝水平方向移动，直到两根木棒处于一条直线上后，白色木棒才跟随黑色木棒朝同一方向运动。

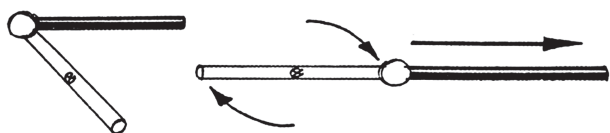


图 1-4-3 活动关节力的传递 2

如图 1-4-4 所示，快速拉扯两根木棒之间的衔接点，由于惯性，起初两根木棒保持着原来的状态，末端不动；当力量持续下拉，拉力大于惯性时，两根木棒的末端则脱离惯性，随着拉力的方向向下运动。

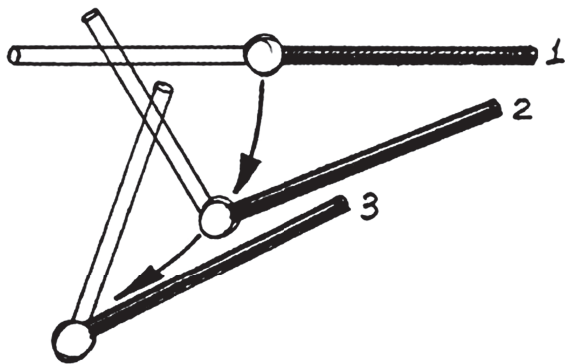


图 1-4-4 活动关节力的传递 3

图 1-4-5 是一组更为复杂的带活动关节的木棒运动示意图，关节点有两个：黑色木棒末端是受力点，它受到力的作用跟随箭头指示方向做曲线运动，并带动第二段也就是灰色木棒运动。由于惯性的作用，灰色木棒连同上面的白色木棒仍然保持原来的状态（这与静止车辆突然向前运行时车内的人会向后仰是同一个道理）。同理，当力由黑色木棒传递到

灰色木棒时，由于惯性的作用，白色木棒仍要保持其原来的状态。

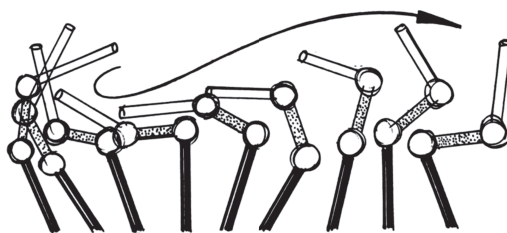


图 1-4-5 活动关节力的传递 4

2. 力通过有关节的肢体传送

人物和动物的运动，同样也是通过活动关节来传送力量的。我们通常把人体或者动物看作是由许多部件连接在一起的一个灵活的整体。腿是由大腿骨通过球窝关节与髋部相连的，大腿与小腿之间由膝关节连接，脚则由十分灵活的踝关节连接着，手臂也同样连接着肩部。

当然，对于有生命的角色来说，动作较慢时肌肉有充分的时间收缩，能够阻止手臂完全被拉直。尽管如此，上述这种倾向性还是存在着。我们在设计角色动作时，就是要对这些有倾向性的动作加以夸张，动作越快，夸张幅度就越大。

如图 1-4-6 所示，当手臂做由弯曲到伸直的动作时，力由肩关节传出，大臂以肩关节为轴，向前运动。大臂运动的同时带动整个手臂向前运动，随着力逐渐传递到肘关节，肘关节再带动小臂、腕关节和手掌向前运动，直至整条手臂完全伸直。



图 1-4-6 手臂的屈伸运动 1

图 1-4-7 展示的也是一个手臂屈伸的运动过程，与图 1-4-6 大致相同，但是动作更富有个性、更加细腻，注意到了运动末端腕关节及手掌的运动。图中①和③是原画，②是小原画，当手臂向前运动的时候，手腕和手掌不是机械地向前运动，而是有一个反方向的动作。这样的设计能够使运动更加生动。

一个松松地握在手指中的物体，如指挥家手里的指挥棒，在手移动时，其与指挥棒的衔接处也可以理解为一个活动关节（图 1-4-8），在手上下挥

舞的时候也可以遵循活动关节运动的方式。另外狗的奔跑、停顿动作（图 1-4-9），人物的转体动作，松鼠的跳跃、停顿动作也是如此。

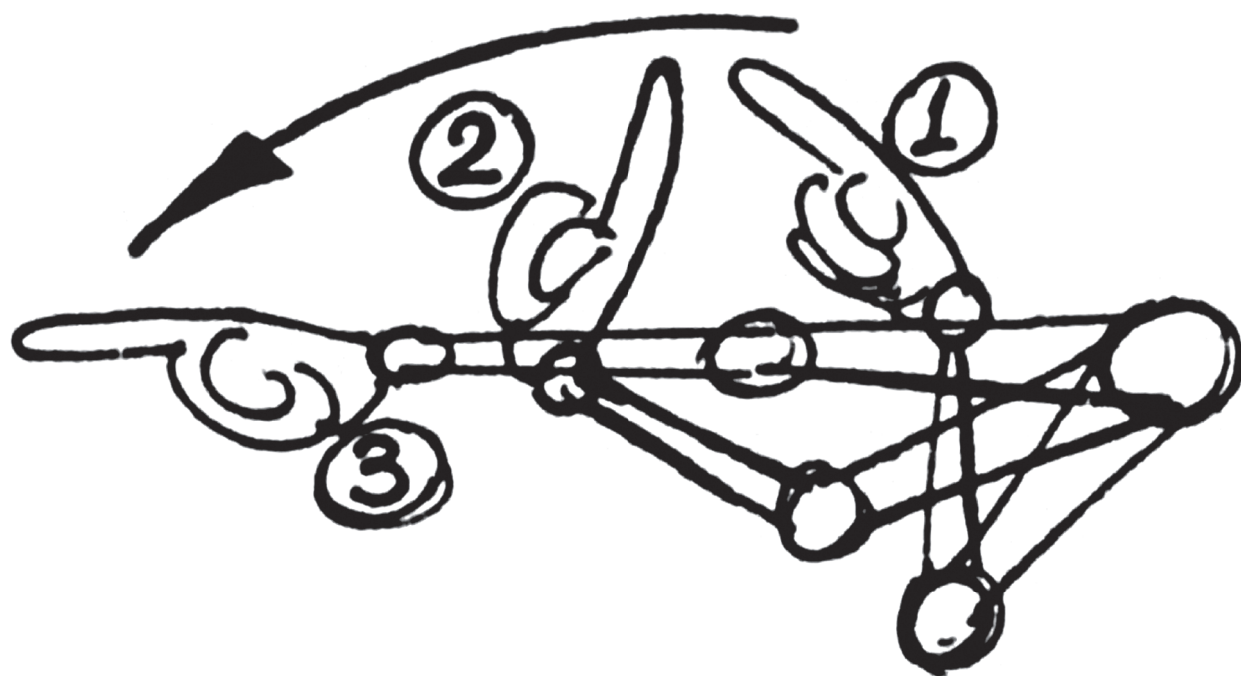


图 1-4-7 手臂的屈伸运动 2



图 1-4-8 指挥棒的运动

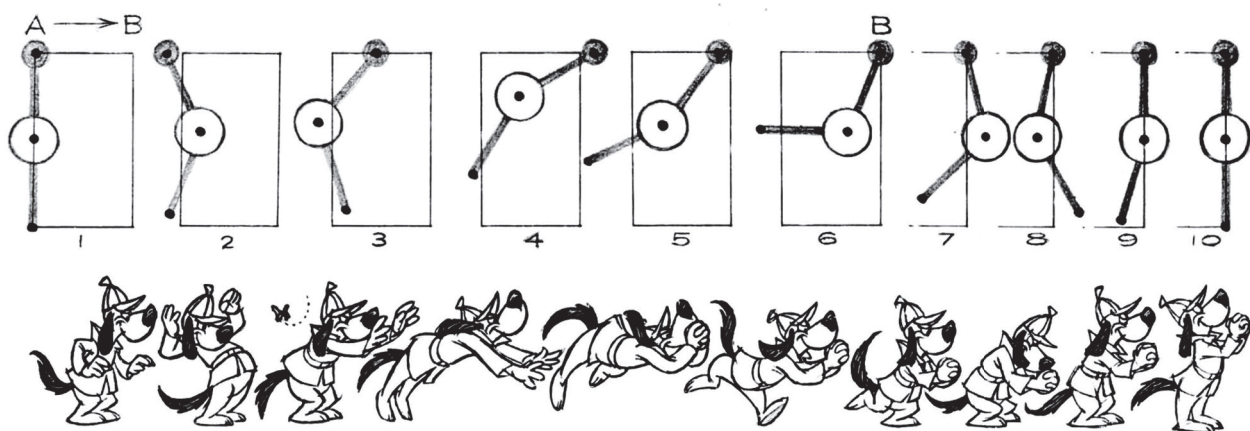


图 1-4-9 狗的奔跑、停顿动作

三、惯性运动

生活中我们会遇见大量的惯性运动，比如坐在行驶的汽车上急刹车的时候，人快速奔跑突然急停的时候。这时，坐在车上的人和奔跑的人都会觉得有一个力迫使他们保持原来的运动，继续向前，这个力就是惯性。

1. 惯性的基本原理

在物理课本中我们学过，如果一个物体不受任何力的作用，它将保持静止或匀速直线运动，这就是通常所说的惯性定律。这一定律表明：任何物体都具有一种保持它原来的静止状态或匀速直线运动状态的性质，这种性质就是惯性。惯性是一切物体的固有属性，无论是固体、液体还是气体，无论它们是运动还是静止，都具有惯性。一切物体都具有惯性。

惯性运动是我们在生活中经常遇到的现象。例如，一个大方体带着一个小方块匀速向前运动，当大方体由于前面的障碍物而突然停止运动时，由于惯性，上面的小方块会继续向前做匀速运动（图 1-4-10）；当行驶中的汽车遇到紧急情况突然停车的时候，车内人的身体仍然会保持向前运动的状态，这种持续向前的运动就是惯性在生活中的体现。在创作动画中的角色运动时，惯性是经常用到的知识点。

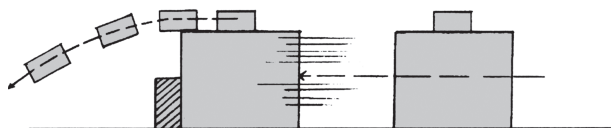


图 1-4-10 物体的惯性运动

2. 惯性与质量的关系

从物理学中我们知道，惯性的大小与物体的质量有关，质量大的物体运动状态相对难改变。也就是说，质量大的物体惯性大，质量小的物体惯性小。例如，一辆 40 吨的大型平板车的质量比一辆小汽车的质量要大得多，它的惯性也比小汽车的惯性大得多，因此大型平板车起步很慢，小汽车起步很快；大型平板车的运动状态很不容易改变，小汽车的运动状态则容易改变得多（图 1-4-11）。

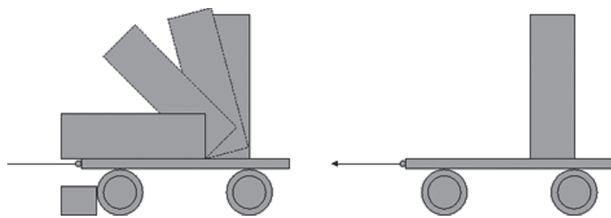


图 1-4-11 平板车的惯性运动

轻的物体阻力很小，当它受到外力的作用时，情况会大不一样。例如，推动一只玩具气球只需很小的力，手指轻轻一弹已足够使它加速移动。但是，当它移动时，因为动能很小，空气的摩擦力会使它很快减速，所以不会移动得太远（图 1-4-12）。

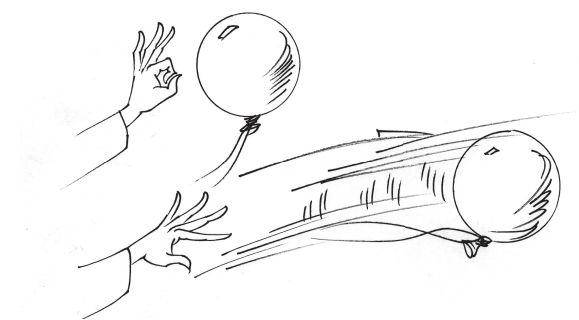


图 1-4-12 气球的惯性运动

3. 惯性运动在动画片中的应用

动画片中物体的重量感，完全是动画师凭借自己的经验在纸上一张一张画出来的，取决于动画的间隔与距离。如果不能在运动中展示出所画物体的重量感，就算每张动画稿上的物体画得再漂亮、再逼真也没有用。

物体的惯性还表现在当它受到力的作用时，不容易改变原来的运动状态。有的物体运动状态容易改变，有的则不容易改变。运动状态容易改变的物体，保持原来运动状态的能力小，我们说它的惯性小；运动状态不容易改变的物体，保持原来运动状态的能力大，我们说它的惯性大。一个静止的铁球需要很大的力去推动，才会改变原本静止的状态向前运动。也就是说，处于静止状态的铁球由于惯性的作用，需要足够大的推力才能让它摆脱惯性的作用运动起来。同样的道理，一旦铁球滚动起来，它将保持匀速运动，需要另一个力去阻止才会停止。当它遇到障碍物时，要么被阻止，要么撞碎障碍物继续前进。如果它在粗糙的表面上滚动，它会很快停止；如果它在光滑的桌面上滚动，因为摩擦力较小，要滚动相当长的时间才会停止（图 1-4-13）。

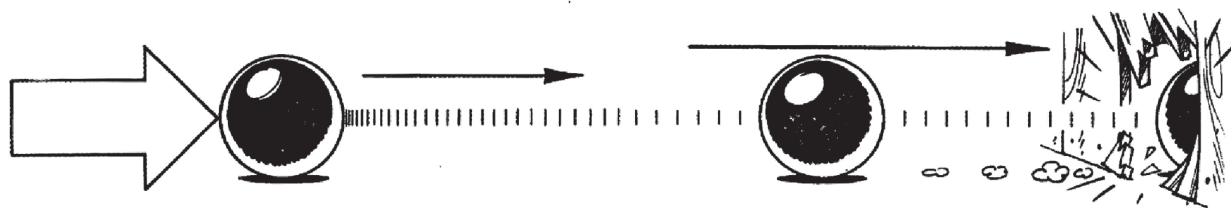


图 1-4-13 铁球的惯性运动

人们骑自行车时如果带有较重的物品，启动、转弯和停车都较骑空车时困难，这也是由于惯性的缘故。摩托车驾驶员拐弯的时候身体向内倾斜，是为了减小改变运动状态时惯性带来的困难。

当然，设计师在动画片中表现物体的惯性运动时，不能只按照肉眼观察到的一些现象进行简单的模拟，而应该根据这些规律，充分发挥自己的想象力，运用动画片的夸张变形手法，以取得更为强烈的

效果。例如，当汽车在快速行驶中突然刹车时，由于轮胎与地面的摩擦力以及车身继续向前的惯性运动而造成的挤压力，车胎会变为椭圆形，而且变形比较明显；车身由于惯性，虽然也略微向前倾斜，但变形并不明显。为了造成急刹车的强烈效果，我们在设计动画时，不仅要夸张表现轮胎变形的幅度，还要夸张表现车身变形的幅度，并且要让汽车向前滑行一小段距离才完全停下来，恢复到正常状态（图 1-4-14）。

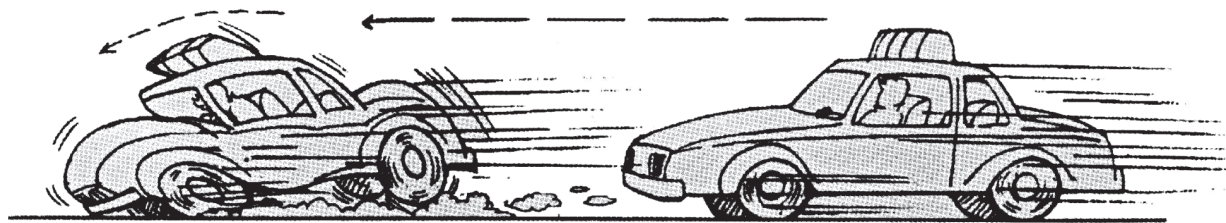


图 1-4-14 汽车急刹车时的惯性运动

同样的原理也可以应用到动物身上。动物在奔跑中突然停步，身体也会由于惯性向前倾斜，有时要顺势翻一个筋斗，有时要滑行一小段距离，才能完全停下来（图 1-4-15）。我们在运用夸张变形的手

法表现物体的惯性运动时，必须掌握好动作的速度与节奏。速度越快，惯性越大，夸张变形的幅度也越大。另外，由于变形只是出现在一刹那，所以只要拍几个片格，就应迅速恢复到正常状态。

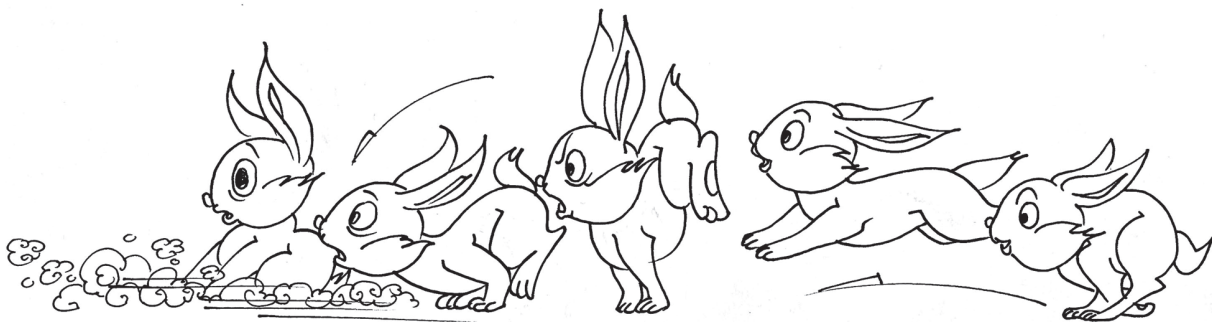


图 1-4-15 兔子停止奔跑时的惯性运动

惯性运动是日常生活中常见的力学原理，也是动画片运动规律创作中经常用到的知识点。我们应该仔细观察、研究、分析惯性在物体运动中的作用，掌握它的规律，并将其作为动作设计的依据。

分析物体所受到的力的影响。当一个皮球由于自身的重力下落时，球体会被拉长；当皮球接触到地面时，受到地面的阻力（反作用力），球体会发生形变，从而产生弹力（图 1-4-16）。

四、弹性运动

弹性运动也是日常生活中非常常见的力学现象，几乎无处不在。小孩子拍的皮球、大街上走路的行人、奔跑的小狗、球拍间飞舞的乒乓球等，只要我们注意观察，许多运动都包含着弹性运动。

1. 弹性运动的基本原理

物体在受到力的作用时，其形态和体积会发生变化，这种改变在物理学中称为“形变”。物体在发生形变时会产生弹力，形变消失时，弹力也随之消失。

生活中当看到一个皮球落到地面上时，我们可能不会想到在这一过程中皮球的形态会发生变化。因为皮球落地的速度较快，人眼不能识别到皮球的形变。另一个原因是，皮球下落过程中的形变微乎其微，肉眼几乎看不出来。但是，在动画的世界里，再快的一个动作，动画师也要把它分解成若干张动画纸，所以在画一个看似简单的动作之前，我们要

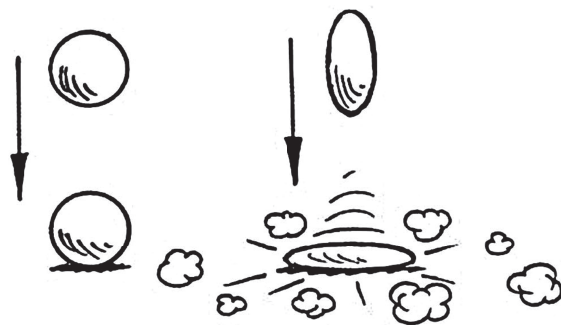


图 1-4-16 球落地的弹性运动

下面我们用球在下落的过程中的形变来展示弹力的存在：球与地面接触的瞬间会发生形变，从而产生弹力，弹力使皮球从地面上弹了起来；皮球运动到一定高度，由于地心引力又落回地面，并再次发生形变，又弹了起来。皮球受力后会发生形变产生弹力，那么其他物体受力后，是否也会发生形变产生弹力呢？答案是肯定的。物理学的研究已经表明，任何物体在受到任意小的力的作用时都会发生形变，不发生形变的物体是不存在的（图 1-4-17）。

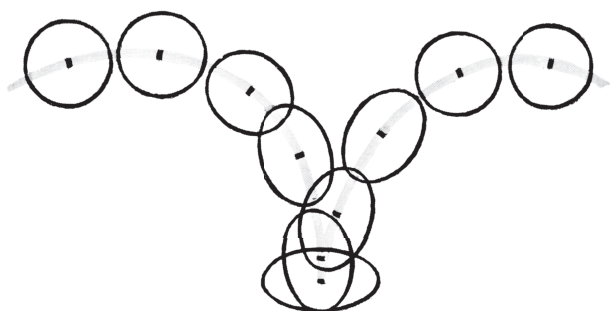


图 1-4-17 小球落地的弹性运动

当然，由于物体的质地不同、受到的作用力和所发生的形变大小不一，所产生的弹力大小也不一样。有的物体形变比较明显，产生的弹力较大；有的物体形变不明显，产生的弹力较小，不容易为肉眼所察觉。

皮球是用橡胶做的，质地较软，里面又充满了气体，因此在受力后发生的形变明显、产生的弹力大，所以弹得很高，并且可以连续弹跳多次。如果

是实心的木棒，它受力后所发生的形变和产生的弹力都很小。如果是铅球，它的形变和弹力就更小，几乎难以感觉到。

2.湿面团理论

在动画片中，对于形变不明显的物体，我们也可以根据剧情或影片风格的需要，运用夸张变形的手法来表现其弹性运动，增加趣味性。我们经常会看到动画片中将弹性运动进行强烈夸张的案例，即把原本弹性运动不明显的物体呈现得像柔软的面团一样，将弹性变化夸张，这种手法叫作湿面团法。例如，一只胖嘟嘟的小猪摔倒的过程：当小猪踩到肥皂腾空而起的时候，它身上的赘肉也夸张地拉长了；小猪落地的一瞬间整个身体被挤扁，然后恢复原始状态（图 1-4-18）。这样一种拉长、压扁、还原的过程，就是运用湿面团法来表现弹性的基本方法。



图 1-4-18 小猪的下落过程（湿面团理论）

湿面团法也可以运用到人的身上。当人从高空落下时，动画师将人物的弹性夸张到极致——下落时身体被拉长，落地时身体被挤扁，并像皮球一样再次被弹起。这套动画的节奏我们可以按照弹跳小球的节奏来画，然后在此基础上将小球的造型改成人物（图 1-4-19）。

如同表现惯性运动一样，我们在表现弹性运动时也必须掌握好速度与节奏，否则就不能达到预期的效果。由于每部动画片的内容、风格和样式不同，无论是表现惯性运动还是弹性运动，其夸张变形的幅度都是不一样的，我们应该根据剧情和动作风格来合理把握弹性变化的幅度大小，要灵活运用湿面

团理论，不能生搬硬套。

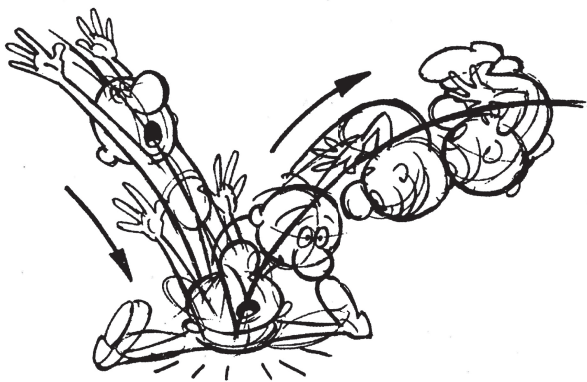


图 1-4-19 人的下落过程（湿面团理论）

五、曲线运动

生活中存在着大量的曲线运动。例如，风中飞舞的国旗、松鼠尾巴的运动、抛出的皮球形成的抛物线运动、艺术体操运动员挥舞的丝带的曲线运动等，都是最简单的曲线运动。

1. 曲线运动的基本原理

物体的运动轨迹是曲线而不是直线的运动，叫作“曲线运动”。曲线运动是由于物体在运动中受到与它的速度、方向呈一定角度的力的作用而形成的。动画片运动规律中曲线运动的概念与物理学中所描述的曲线运动虽不完全相同，但物理学中阐述的这一原理同样可以帮助我们理解动画片动作中曲线运动的某些规律。

2. 曲线运动的类型

动画片动作中的曲线运动，大致可以归纳为三种类型：弧形曲线运动、波形曲线运动和“S”形曲线运动。其中，弧形曲线运动比较简单，所以有时不能把它列入曲线运动的范畴。波形曲线运动和“S”形曲线运动比较复杂，是动画片动作曲线运动的主要研究内容。

曲线运动是动画片绘制工作中经常运用的一种运动规律，它能使人物的动作以及自然形态的运动产生柔和、圆润、优美的韵律感，并能帮助我们表现各种细长、轻薄、柔软及富有韧性和弹性的物体的质感。

下面我们分别讲述这三种类型曲线运动的基本规律。

(1) 弧形曲线运动

凡是物体的运动路线呈弧线形的，都称为弧形曲线运动。例如，用力抛出的球、手榴弹以及大炮射出的炮弹等，由于受到重力及空气阻力的作用，被迫不断改变其运动方向。它们不是沿一条直线，而是沿一条弧线（即抛物线）向前运动的（图 1-4-20）。

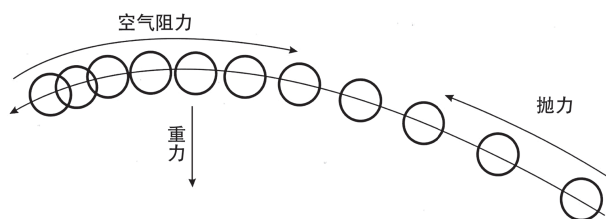


图 1-4-20 弧形曲线运动轨迹

弧形曲线运动在生活中很常见，如短尾巴动物的尾巴运动。动物的尾巴与臀部相连，以臀部与尾巴的交点为支点，短尾动物的尾巴做弧形运动。图 1-4-21 是一套循环动作：①和②是尾巴向右摆动，运动到②时停止向右摆动，而尾巴末端由于受到惯性的作用仍然向右运动到③，所以③改变了曲度，与②相反；当尾巴运动到③的位置时，达到了向右运动的极限，开始向左运动。尾巴运动到④的位置时，停止向左摆动，而尾巴的末端由于受到惯性的作用继续向左运动，所以①改变了曲度，与④相反；当尾巴运动到①的位置时，达到了向左运动的极限，开始向右运动。由此完成一次循环。

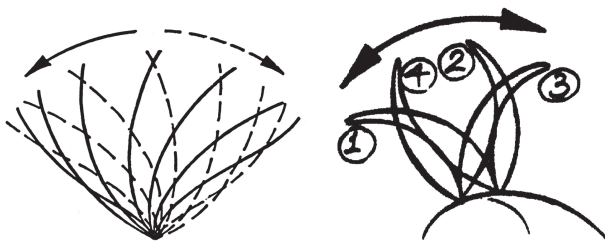


图 1-4-21 动物尾巴弧形曲线运动

另一种弧形曲线运动是指某些物体的一端固定在一个位置上，当它受到力的作用时，其运动路线也是弧形的曲线。例如，人四肢的一端是固定的，因此四肢摆动时，手和脚的运动路线呈弧形曲线而不是直线。人的手臂上下运动时，手掌与手臂之间由腕关节相连，手掌对于手臂属于跟随运动。如图 1-4-22 (a) 所示，在手臂下落的过程中，前半段时，手掌由于惯性仍然保持原来的状态，向后倾斜；后半段时，由于惯性消失，手掌的动作追赶上了手臂的运动。图 1-4-22 (b) 为手臂上扬的运动。同样的道理，手掌对于手臂来说是跟随运动，前半段上扬的动作滞后于手臂；后半段手掌完全摆脱惯性，手

指出出现上扬的动作。同学们可以在课后尝试练习不同速度、不同节奏的手臂运动。

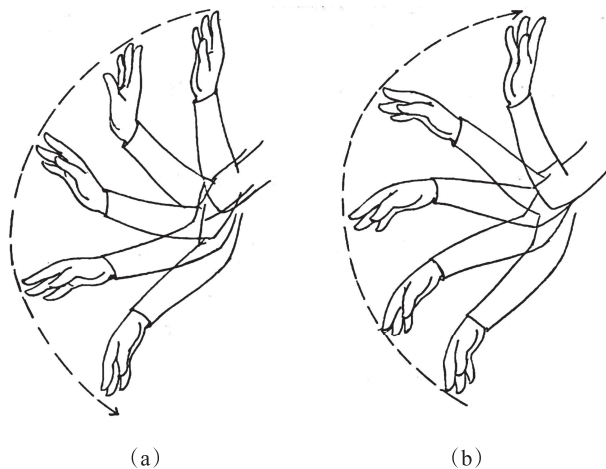


图 1-4-22 人手臂上下摆动的轨迹

再如，韧性较好的草或细长的树枝被风吹拂时，既会呈现弧形曲线运动，也有可能同时呈现波形和“S”形曲线运动（图 1-4-23）。

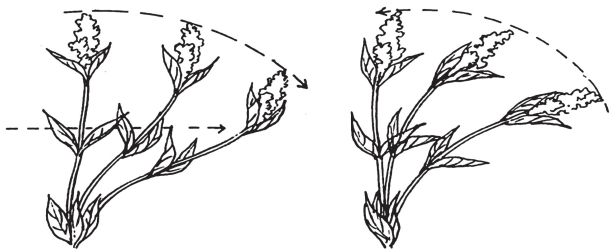


图 1-4-23 随风摆动的草的曲线运动

（2）波形曲线运动

比较柔软的物体在受到力的作用时，其运动路线呈波形，称为波形曲线运动（图 1-4-24）。



图 1-4-24 波形曲线运动

物理学把振动的传播过程称为波。例如，把一根具有一定弹性的绳索的一端固定，拿着另一端向下抖动一下，就会看到一个凸起的波形沿着绳索传播过去，这就是最简单的波。当用力不断地将绳索一端上下抖动时，就会看到一个接一个凸起凹下的波形沿绳索传播过去，这就是一般的波动过程。

如果我们将轻薄而柔软的物体的一端固定在一个位置上，当它受到风力的作用时，其运动规律就是顺着力方向，从固定的一端渐渐推移到另一端，形成一浪接一浪的波形曲线运动。例如，束在身上的绸带或旗杆上的彩旗等，在受到风力的作用时，就会呈现波形曲线运动（图 1-4-25）：旗帜中小球的滚动代表着风的吹拂，小球滚动到哪里，哪里就是波峰，下凹的部分就是波谷。小球继续向前运动，直到滚动出旗帜以外，由此旗帜一条边的动画就完成了。旗帜另一条边的动画参照上条边缘，波峰对波峰、波谷对波谷，就可以了。

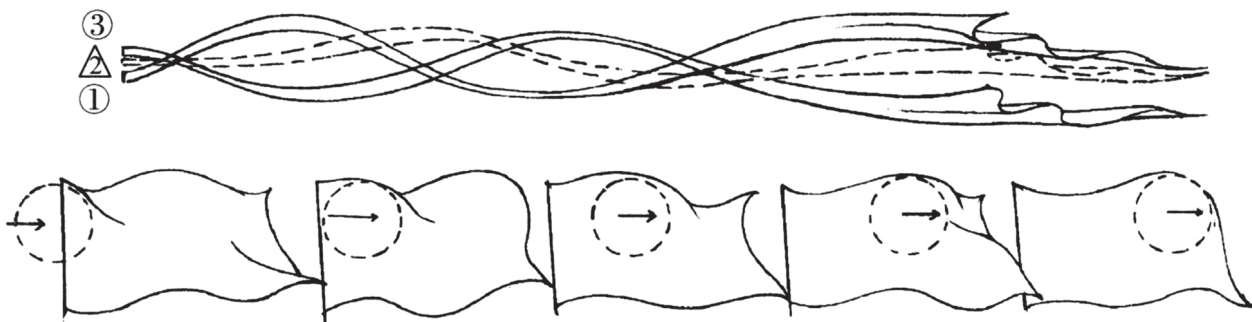


图 1-4-25 绸带和彩旗的波形曲线运动

在表现波形曲线运动时，必须注意顺着力方向，一波接一波地按顺序推进，不可中途改变。同时，还应注意速度的变化，使动作顺畅圆滑，形成

有节奏的韵律感；波形的大小也应有所变化，才不会显得呆板。

(3) “S”形曲线运动

“S”形曲线运动的特点，一是物体本身在运动中呈“S”形，二是其尾端质点的运动路线也呈“S”形。

最典型的“S”形曲线运动是动物的长尾巴，如松鼠、狮子等动物的尾巴在甩动时所呈现的运动(图 1-4-26 至图 1-4-28)：尾巴甩过去是一个“S”形，甩过来，又是一个相反的“S”形；当尾巴来回摆动时，正反两个“S”形就连接成一个“8”字形运动路线。

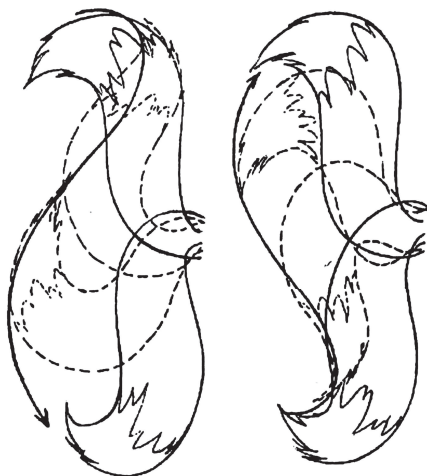


图 1-4-26 松鼠尾巴的“S”形曲线运动



图 1-4-27 狮子尾巴的“S”形曲线运动



图 1-4-28 松鼠尾巴的“S”形曲线运动

以上所讲的，只是曲线运动中的一些基本规律。在实际工作中，我们常常会遇到一些运动路线比较复杂的物体，既有波形曲线运动，又有“S”形或螺旋形曲线运动。例如，旗帜或绸带迎风飘扬就不仅仅是波形曲线运动，还常常穿插着“S”形曲线运动(图 1-4-29)；龙在空中飞舞，金鱼的尾巴在水中摆动，也都是比较复杂的曲线运动。因此，我们在理解了这些基本运动规律以后，还必须在实际工作中加以组合、变化并灵活运用，才能取得生动逼真的动画效果。



图 1-4-29 布料飘舞的曲线运动

六、动作的预备、停顿与循环

在动态设计中，虽然具体的动作要求和情绪表达各不相同，但是通常情况下，动作之间还是存在着共性的，如动作的预备与预感、停顿、循环、强调、透视、夸张与变形，跟随动作，复合动作，等等。

1. 动作的预备

预备动作指动画角色在向某一方向运动前所呈

现的一个反方向动作，是主动作前的准备动作，目的是积聚力量以便更好地完成主动作。在一个动作开始之前，一般都会有一个适当的停顿，以便让观众清楚地看到一个动作是如何开始的。动画角色从停止状态进入动作时，通常都伴随有一些预备性动作，有些很明显，有些不明显。如果动作很柔和缓

慢，预备动作就不是很明显。如果角色的动作是比较强烈的，如开始走路或奔跑，那么在这个动作之前就要有预示性的准备动作——身体在向前倾之前要略向后倾。例如，图 1-4-30 首先强调并夸张了预备动作，以表现出角色击打动作的力度。

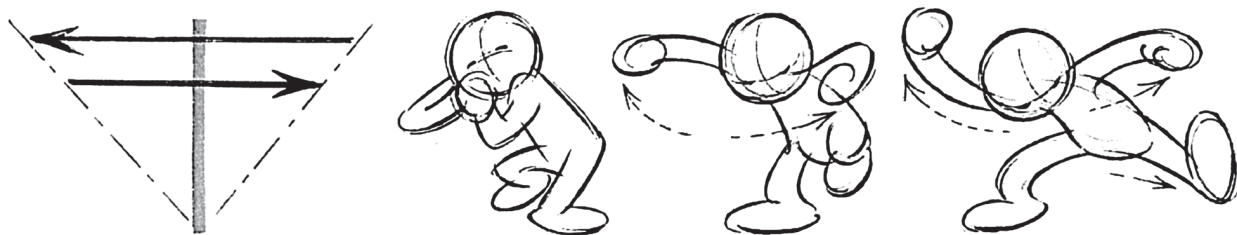


图 1-4-30 击拳的预备动作

如果是跑步，预示性的预备动作应当更显著。当前脚抬起时，身体先向后扭转，然后向前，用后脚的推力推动身体向前奔跑。

预备动作的速度、力度、幅度决定了主动作的

程度，而且与主动作成正比。预备动作的力感一般是根据该角色的表现来决定的，一定要与主动作相符合（图 1-4-31、图 1-4-32），而且无论做什么动作，角色重心一定要稳定。

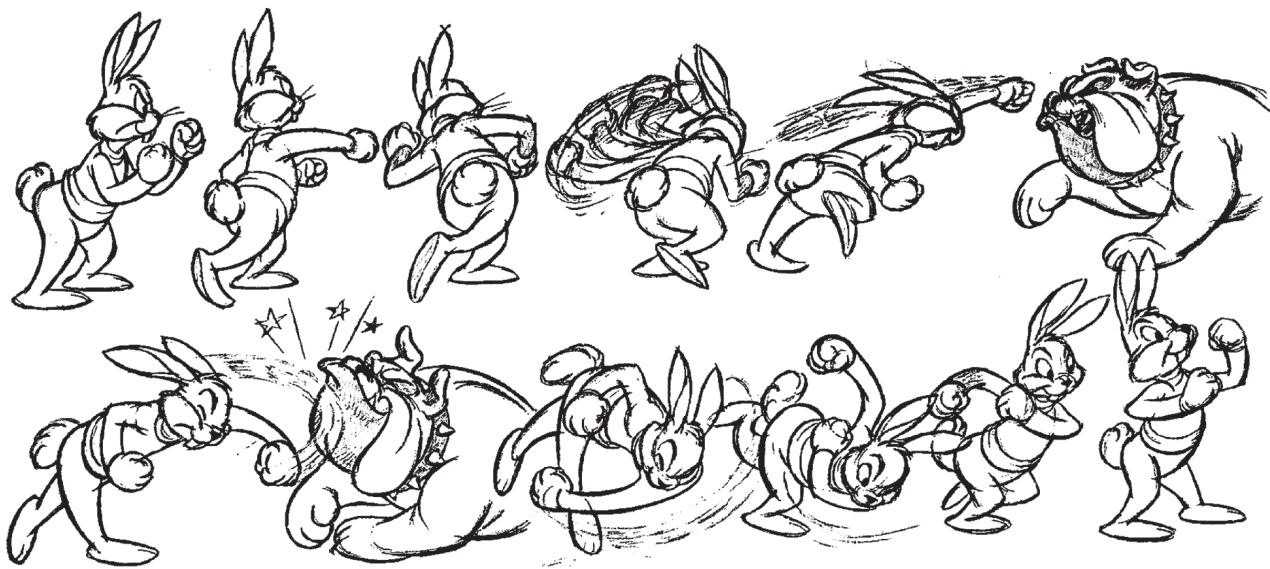


图 1-4-31 挥拳头的预备动作



图 1-4-32 举重运动员的预备动作

预备动作的长短会影响到随之而来的主要动作的速度。如果观众已经在期待将要发生的事情，那么，当这个动作发生时，即使它非常快，其线索也不会被忽视。如果没有前面的准备，后面发生的快动作会使观众毫无准备，不清楚发生了什么。在这种情况下，这个动作就要放慢些。如果预备动作很充分，主要动作只需暗示一下，观众就会接受它。如果一个角色冲出荧幕，把向后的预备动作做好了，那么只要用一两张向前的动画，再加上少许速度线或一股灰尘就能暗示角色已经冲出去了。随后，这些线或灰尘只需慢慢散开即可。

2. 动作的停顿

无论音乐、语言还是文章，都需要停顿，这样才有节奏感和美感。动画运动规律的创作过程，同样需要有一定的节奏和停顿。

停顿的时间长短跟角色和物体自身的质量有关。质量越大，角色或物体从动态到静止的时间就越长，反之则越短。一个肥胖笨重的人从奔跑至止步通常需要几秒钟；而一个瘦的人从奔跑至停止，只需要简单的几步而已。

停顿的时间长短还跟角色的心理活动和情感表达有关。一个角色因惊奇做出一个动作，或因疼痛闪避危险而退缩，表现为肌肉突然痉挛收缩，那就必须使他的动作很快停止下来。在这种情况下，如果动作停止较慢，惊奇的效果将会丧失。在表现这

种很快的动作停止时，必须十分注意画好手臂或头发的交搭动作，这样才可以使突然停止的动作柔和流畅。

处理动作的停格，一般情况下有一个基本规律：在一个镜头中，起主导作用的关键动态原画可以多停格；当动作目的改变时，可以适当停格；在同一目的动作进程中所产生的动态更换、力量改变、重心转移等动作转折处，可以少停或者不停格；在一个动作中间不应该停格。

一般来讲：停 1~3 格不属于停格，画面仍是连续性效果；停 4~6 格，其效果只是动作略微有间歇，即前一个动作刚刚完成，后一个动作紧接着开始，动作与动作之间仅仅是短暂的时间间隔，使人有动作的顿挫感；停 8~12 格，其效果是动作上的适当停顿，常用于让人看清关键动作的姿态和表情；停 12 格以上，是较长时间的停顿，常常用于一个时间较长的动作，或一组连续性动作结束后的休止状态。

原画画面的停格，就像是写文章时所用的标点符号。一篇文章中有顿号、逗号、句号等，是为了让读者看起来通顺、流畅，为了便于读者念出文章句子的节奏和韵律。原画师在填摄影表处理动作停格时，就像讲话和做文章一样，也有连续、间歇、停顿、休止等。当然，实际绘制时还须依据动作的具体情况而定（图 1-4-33）。



图 1-4-33 动作结束后的停顿和影片字母的停格

需要注意的是，无论运动的画面还是静止的画面，其设计感、构成、色彩都是十分重要的，尤其在画面停顿或静止时。

3. 动作的循环

生活中我们经常看到一些动作是重复进行的，如转动的电扇、摆动的钟摆、匀速行驶的汽车轮子、匀速奔跑的人或动物等，这就是循环动作。对于这种情况，我们只要绘出一套运动规律就可以循环使用了。这种方法可以节省动画片制作的资金成本和时间成本，是动画行业经常使用的一种方法。

(1) 有生命物体的循环运动

有生命物体的循环动作包括人和动物的行走、奔跑，鸟类的飞翔，鱼类的游动，等等。这些运动的循环动作需要满足两个条件：第一，该动作沿直

线进行；第二，该运动为周而复始的一套动作。如果运动的轨迹是弧线或曲线，就不能使用循环动作；如果动作过程中角色出现透视变化，也不可以使用循环动作；如果角色在行走的过程中出现转头、转身等突发动作，也不可以使用循环动作。

下面我们以拟人化兔子的行走循环动作为例，来讲解有生命物体的循环运动。我们知道，人或拟人化动物的行走是由左右脚交替跨步来完成的。在图 1-4-34 中，兔子行走的循环动作为 8 张，我们来确定一下兔子行走的运动是如何循环起来的：兔子先迈出左脚，当下次左脚再迈出时就进入了下一个动作循环，因此循环动作的第八张画稿（左脚抬起）和第一张画稿（左脚放下的前一张）要可以衔接上，这样动作的衔接处才会流畅。

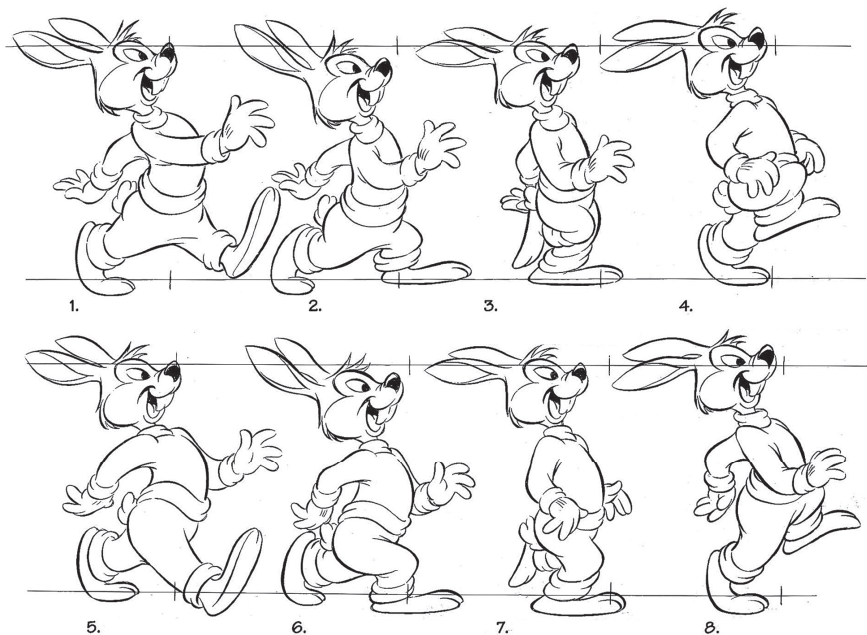


图 1-4-34 角色行走的循环动作

另外，为了制作出角色前进的视觉感受，我们可以画一张长背景，让角色在原地行走或飞行，靠背景向后移动来制造出角色向前运动的效果（图 1-4-35）。

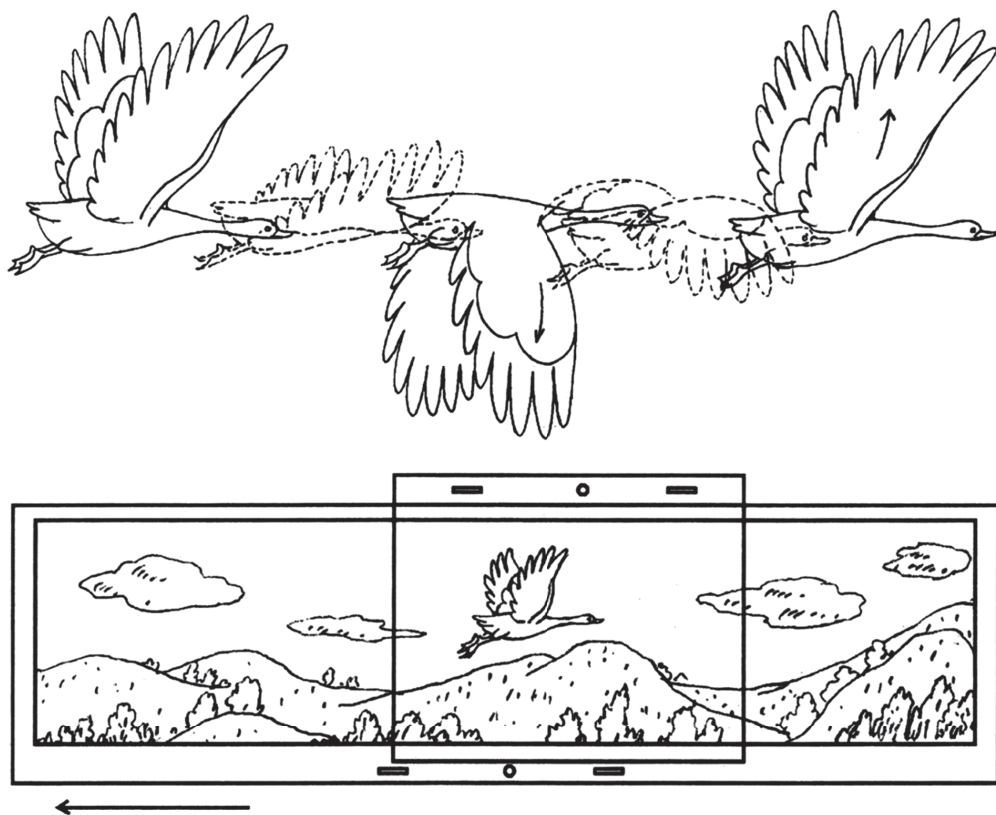


图 1-4-35 鸟飞行的循环动作

（2）无生命物体的循环运动

动画片中无生命物体的循环运动大致可以分为两类：一类是自然现象的循环运动；一类是物体的循环运动。

①自然现象的循环运动

大自然的运动千变万化，但是你如果细心观察会发现，自然现象的运动中也存在着重复运动，如雨、雪、火焰、烟雾等。当然，这些自然现象的运动由于受到不同因素的影响，会产生千变万化的运动效果。但是，为了节约时间和资金成本，动画片的创作中会将这些运动总结归纳成循环动作。比如，我们画下雪的镜头时，会绘制出一套雪花飘落的动作，然后进行循环播放。下雪一般需要画出若干层，通常我们将其分为前层、中层和后层来画，每层的循环长度也不同。前层的雨雪浓密一些，速度快一

些；中、后层的雨雪稀疏一些，速度慢一些。具体的自然现象运动规律将会在第二章中进行详细讲解，此处不再详述。

图 1-4-36 是一个人拉动锯子伐木的动作，单画动作的前后两端，再做中间画，效果是不够理想的。要将力的感觉放到动作中，就必须分析人物的身体重心、手臂肌肉和锯子之间的力的相互作用关系。如果推动锯子穿过木头需要很大力气，就不能单靠手臂肌肉和弯曲、伸直的手臂动作，还需要肩部的前后移动。在伸直手臂前的一刹那，整个身体重量会向前推移。这样，当手臂伸直时，再加上身体重量的冲力，就会猛然把锯子向前推去；同时，肩部的转动也增加了推动力。把锯拉回来的动作不需要太大力，就不用那么复杂，只画中间加线就行了。使用一些中间加线的交搭动作，可以使动作更流畅。

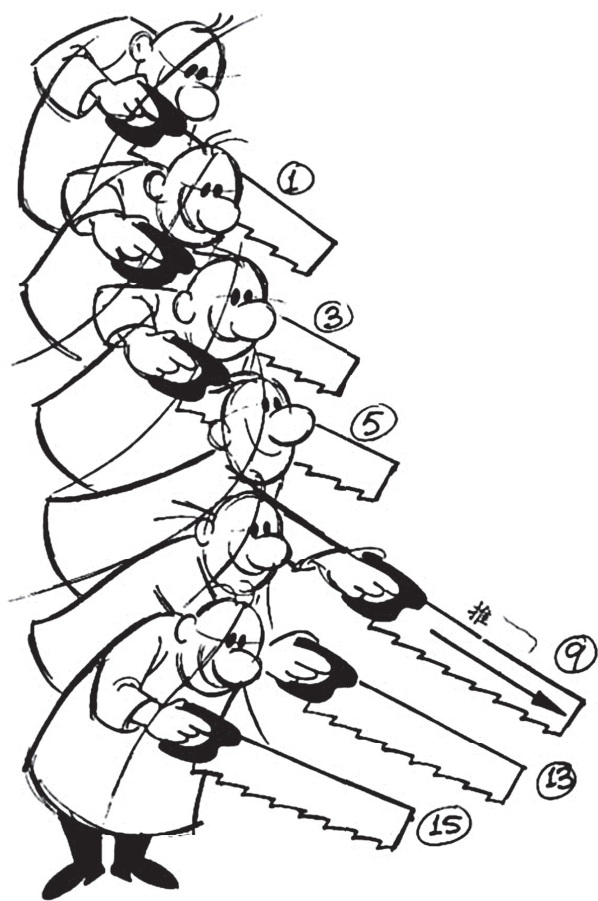


图 1-4-36 锯子的循环动作

②物体的循环运动

无韧性的物体沿直线或弧线来回重复运动时，如钟摆（图 1-4-37）、活塞等，可以利用原来的动画，将拍摄顺序倒过来循环使用；带韧性或被拖拽物体的动作，来回两个方向都需要单独设计。在风中飘动的旗帜是循环动作的典型例子（图 1-4-38），在画它的循环运动时，建议大家使用匀速或微小的变速运动。这样，旗帜飘起来时的动作重复才会让人觉得自然、舒服。如果旗帜在飘动的某几帧中运动速度太快，循环播放以后就会产生有节奏的强烈变速运动，视觉效果不佳。

循环动作是动画制作中经常运用的技法，如果能够合理利用，将给动画创作者带来很大益处在保证作品质量的情况下减少工作时间成本和制片成本。

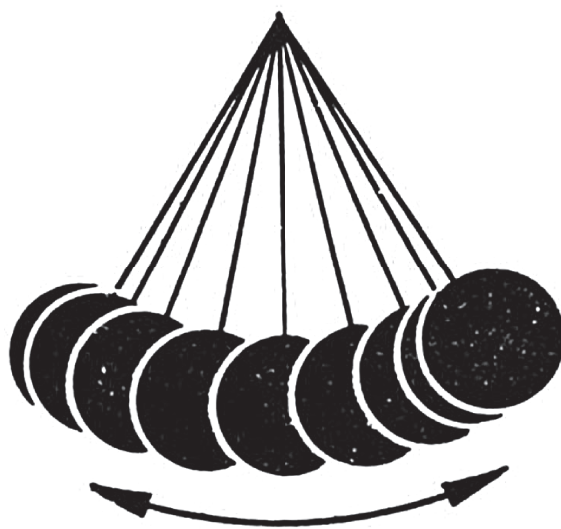


图 1-4-37 钟摆的循环动作

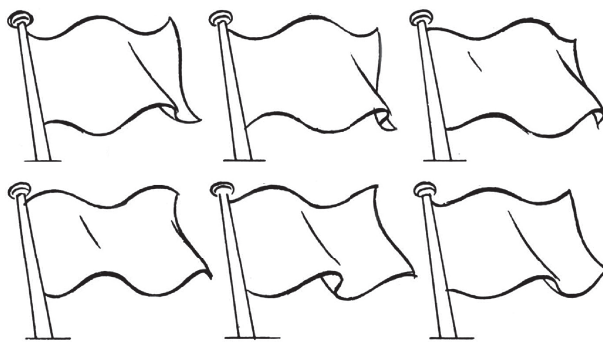


图 1-4-38 旗帜的循环动作

七、跟随运动

1. 跟随运动的含义

通常情况下，动画角色身上会有一些附属物，如动物的尾巴、耳朵，人物的头发，帽子上的羽毛等。这些物体在跟随角色身体运动的同时，由于惯性会在角色停止运动后继续运动，所以它们的动作多少有些独立性，这就是所谓的跟随运动。

2. 跟随运动在动画中的运用

图 1-4-39 是一个松鼠从奔跑、跳跃到停止的动作分解图：松鼠的身体是主体，尾巴是跟随物体，身体的动作比尾巴的运动快一些。当身体停止运动后，尾巴由于惯性仍然保持着原来的运动。一般情况下，跟随物体的动作要比主体动作略慢一些。



图 1-4-39 松鼠尾巴的跟随动作

如图 1-4-40 所示，当狗静止不动时，它大大的耳朵垂直地悬挂着。当狗加速离去时，由于惯性，它的耳朵虽倾向于停留在原来的位置上，但也会随着狗的身体向前运动。只要狗的速度不慢下来，它

的耳朵就会一直拖在后面。如果狗的速度逐渐慢下来直到停止，它的耳朵则会先向前运动，然后再向后摆，最后停止运动。当狗要停下来时，狗耳朵的动作反而是最快的。

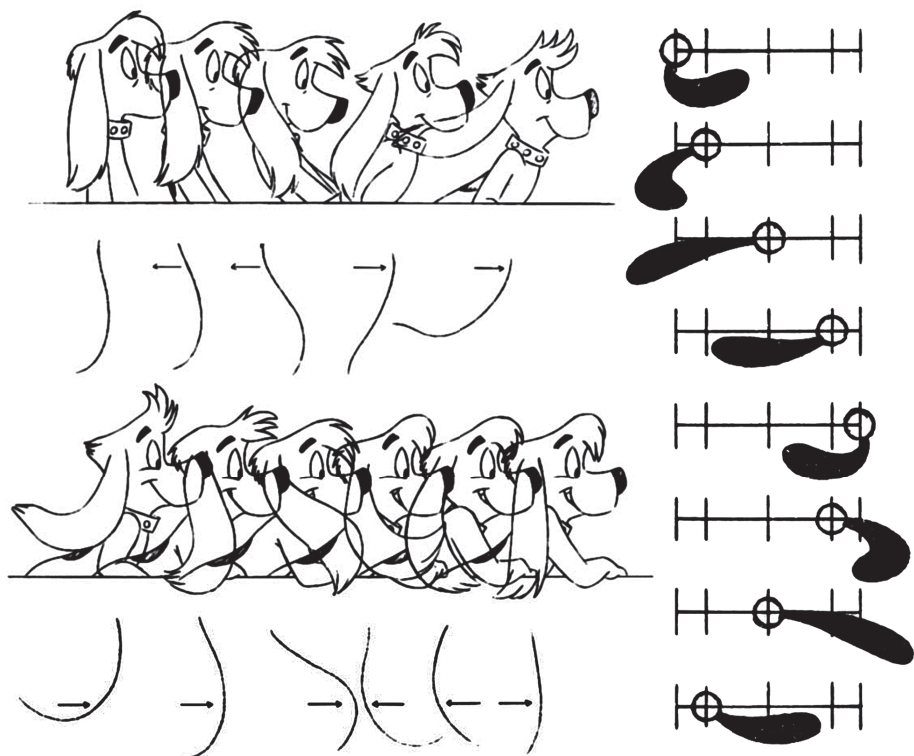


图 1-4-40 狗耳朵的跟随动作