

责任编辑：全卫
封面设计：刘文东

动画运动规律



微信公众号



扫码下载资料包

北京希望电子出版社网址：www.bhp.com.cn

电话：010-82626270

投稿：xiaohuijun@bhp.com.cn

分类建议：动画

ISBN 978-7-83002-942-5



9 787830 029425 >

定价：68.00元



动画运动规律

主编 朱宇丹

北京希望电子出版社

CX-8880

动漫设计与制作类精品教材

动画 运动规律

主编 朱宇丹



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

动漫设计与制作类精品教材

动画 运动规律

主 编 朱宇丹
副主编 童 昊 周 庆
主 审 陈 诚 张津瑜
陈 苏



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

内 容 简 介

动画运动规律是动画动作创作所依据的基本原则，它贯穿于动画设计与制作的全过程。本书共分为 5 个模块，层层递进，覆盖动画创作的核心领域，主要内容包括：动画制作基础知识、动画基本运动规律、人物的基本运动规律、动物的基本运动规律、自然现象的基本运动规律。教材采用理论与实践相结合的方式，以理论知识为基础，汲取优秀动画作品的精髓，并结合典型案例进行分析，帮助读者融会贯通，提升学习效率。

本书既可作为动漫设计、动漫制作技术及相关专业的教材，也可作为动画艺术爱好者的自学参考书。

图书在版编目（C I P）数据

动画运动规律 / 朱宇丹主编. -- 北京：北京希望
电子出版社, 2025. 9（2025.12 重印）-- ISBN 978-7-83002-942-5
I . J218.7
中国国家版本馆 CIP 数据核字第 20259GB976 号

出版：北京希望电子出版社

封面：刘文东

地址：北京市海淀区中关村大街 22 号

编辑：全 卫

中科大厦 A 座 10 层

校对：张学伟

邮编：100190

开本：787 mm×1 092 mm 1/16

网址：www.bhp.com.cn

印张：12.5

电话：010-82620818（总机）转发行部

字数：296 千字

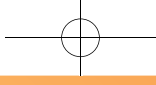
010-82626237（邮购）

印刷：三河市骏杰印刷有限公司

经销：各地新华书店

版次：2025 年 12 月 1 版 2 次印刷

定价：68.00 元



前言

Preface

动画是一门以创造动态影像为核心的艺术形式，其独特的生命力和美学特质区别于其他任何形式的艺术。动画在信息、娱乐、教育等多个新兴媒体产业中扮演关键角色，成为一种极具潜力的独立表达方式和艺术媒介。作为全球极具活力的文化创意产业之一，动画产业在全球数字经济发展中占有重要的地位。随着动漫市场的迅速扩展，中国的动画教育也迎来了快速发展的黄金时期。这种迅猛的发展不仅展示了动画作为一种文化表达方式在中国的巨大潜力，同时也反映了其作为新兴经济引擎的重要地位。随着越来越多的专业人才投身于这一领域，中国动画产业将继续保持强劲的增长势头，进一步提升在全球动画产业价值链中的地位。

动画运动规律是创作动画中各种动作的基础准则，贯穿于动画设计与制作的全过程。不论是绘制原画还是进行动画制作，动画运动规律都提供了不可或缺的指导。在动画片中，动作不仅要生动，更重要的是要动得合理，符合自然界的物理法则和逻辑。

掌握动画运动规律是动画师必备的知识技能，是其专业素养的重要构成部分，同时也是高等院校动画专业课程体系中的核心必修课。若想制作出引人入胜的动画作品，动画师需要具备出色的表现手法和设计能力，确保角色的动作与场景能在屏幕上清晰展现。此外，控制好动画里的动作节奏同样关键，这不仅仅是展示角色的外在动作，更要通过这些动作传达角色内在的思想、意志和情感等深层次的内容。因此，深入理解和熟练运用动画运动规律对于任何希望在动画领域取得成功的专业人士来说都是至关重要的。

本书共分为 5 个模块，层层递进，覆盖动画创作的核心领域。

- ◆ 模块1 动画制作基础知识：从动画的起源与历史脉络切入，解析视觉暂留、似动现象等基本原理，详解二维动画制作工具与全流程（前期设计、中期制作、后期处理），并深入探讨时间、空间、节奏等运动本质规律，为后续学习奠定坚实基础。
- ◆ 模块2 动画基本运动规律：以牛顿运动定律为科学内核，结合弹性变形、惯性运动、曲线轨迹等动画技法，剖析预备动作、缓冲动作、追随重叠等经典法则，揭示物理规律如何转化为生动的艺术语言。
- ◆ 模块3 人物的基本运动规律：从解剖学视角解析人体骨骼、肌肉与神经系统的运动逻辑，结合年龄、性别、情绪对动作的影响，详解行走、奔跑、跳

跃的力学特征，并对比日式与美式动画的风格差异。

- ◆ 模块4 动物的基本运动规律：分类解析四足动物（趾行、蹄行）、鸟类（阔翼类、雀类）、鱼类及两栖爬行类的运动模式，通过猎豹奔跑、蜂鸟悬停、鱼类游动等典型案例，提炼生物力学与动画夸张手法的融合之道。
- ◆ 模块5 自然现象的基本运动规律：深度解析风、火、水、雨、雪等自然元素的动态表现，让自然之力成为推动叙事的视觉语言。

本书写作特色如下：

1. 抽丝剥茧，通俗易懂

对动画运动规律的讲解由浅入深、细致入微，使读者能够轻松上手。

2. 理实结合，触类旁通

采用理论实践相结合的写作形式，以理论知识为基础，汲取优秀动画作品的精髓，并辅以典型案例，将所学知识融会贯通，学习效率更高。

3. 案例精美，图文并茂

书中案例选图极具艺术性，能够使读者更好地理解 and 掌握所学知识。

4. 课后练习，成果检验

每个模块的最后都安排了课后练习，帮助读者进行自我检测，巩固所学知识。

动画的本质在于赋予静态图像生命以动态幻象，而掌握运动规律正是解锁这一幻象的钥匙。希望本书能成为读者探索动画世界的指南，在科学与艺术的交汇处，找到属于自己的创作之道。

本书由上海城建职业学院朱宇丹担任主编，天津轻工职业技术学院童昊、上海工艺美术职业学院周庆、安徽商贸职业技术学院陈诚和青海建筑职业技术学院张津瑜担任副主编，波克科技集团有限公司陈苏担任主审。

本书在编写过程中力求严谨细致，但由于编者水平有限，疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者
2025 年 8 月

目 录 Contents

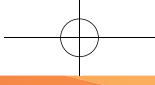
模块1 动画制作基础知识 1

1.1 动画的发展历程	2
1.2 动画的基本原理及分类	8
1.2.1 动画的基本原理	8
1.2.2 动画的种类	10
1.3 动画的制作流程	12
1.3.1 前期设计部分	12
1.3.2 中期制作部分	13
1.3.3 后期处理部分	15
1.4 二维动画制作的主要工具	16
1.4.1 动画纸	16
1.4.2 定位尺	17
1.4.3 拷贝台	18
1.4.4 动画规格框	19
1.4.5 铅笔	20
1.4.6 橡皮	20
1.4.7 尺子	21
1.4.8 摄影表	22
1.4.9 扫描仪	23
1.4.10 绘图板	24
1.4.11 Photoshop	25
1.5 动画运动的基本概念	25
1.5.1 时间、空间与速度	26

1.5.2 时间、距离、张数、速度 之间的关系	29
1.5.3 节奏	30
1.6 原画与动画	32
1.7 动画运动规律的学习方法	37
1.8 动画运动规律的评价标准	38
1.9 课后练习	40

模块2 动画基本运动规律 41

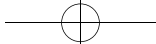
2.1 牛顿运动定律在动画中的应用	42
2.2 弹性运动	45
2.3 惯性运动	50
2.4 预备动作与缓冲动作	52
2.4.1 预备动作	52
2.4.2 缓冲动作	54
2.5 追随与重叠	56
2.6 主要动作与次要动作	61
2.7 重心	63
2.8 曲线的运动规律	64
2.8.1 波形曲线运动	65
2.8.2 弧形曲线运动	66
2.8.3 S形曲线运动	68



2.9 课后练习	69	3.8 课后练习	115
模块3 人物的基本运动规律	71	模块4 动物的基本运动规律	117
3.1 人体结构	72	4.1 动物的身体结构分析	118
3.1.1 人体骨骼	72	4.2 四足动物的基本运动规律	119
3.1.2 人体肌肉	76	4.2.1 四足动物的分类	119
3.1.3 人体比例	77	4.2.2 四足动物行走的运动规律	122
3.1.4 人体神经	79	4.2.3 四足动物跑步和跳跃的 运动规律	128
3.1.5 人体体型	80	4.3 鸟类的基本运动规律	134
3.1.6 人体的透视关系	81	4.3.1 鸟类的身体结构	134
3.2 影响人体运动的因素	83	4.3.2 飞鸟	136
3.2.1 人体关节对运动的影响	83	4.3.3 家禽	144
3.2.2 动态与平衡	83	4.4 鱼类的基本运动规律	147
3.3 人物行走的运动规律	84	4.4.1 鱼类的身体结构分析	148
3.3.1 普通行走	84	4.4.2 鱼类的体型分类及其对 运动的影响	149
3.3.2 不同视角的行走动作	90	4.4.3 各种类型鱼的运动规律	151
3.3.3 不同年龄、性别行走动作	92	4.5 爬行类和两栖类动物的 基本运动规律	153
3.3.4 不同心态或情绪行走动作	94	4.5.1 有足类爬行动物的 运动规律	154
3.3.5 体重较重的人的行走	98	4.5.2 无足类爬行动物的 运动规律	158
3.3.6 在雪地中行走	99	4.5.3 两栖类动物的运动规律	159
3.3.7 日式走法和美式走法	100	4.6 课后练习	161
3.3.8 行走时的透视变化	102		
3.4 人物奔跑的运动规律	103		
3.4.1 普通奔跑	103		
3.4.2 不同视角的奔跑动作	106		
3.4.3 其他奔跑动作	109		
3.4.4 奔跑中的透视变化	110		
3.5 人物跳跃的运动规律	110		
3.6 人物的转身	113		
3.7 人物表情戏	113		

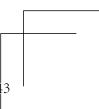
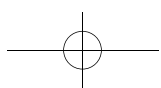
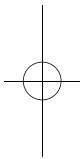
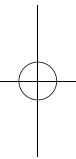
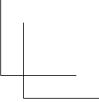
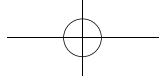
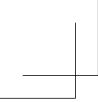
模块5 自然现象的基本运动规律

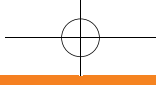
5.1 自然现象在动画中的作用	164
-----------------------	-----



目 录

5.2 风的运动规律	164	5.8 烟和汽的运动规律	185
5.3 火的运动规律	169	5.9 爆炸的运动规律	188
5.4 水的运动规律	173	5.10 课后练习	190
5.5 雨的运动规律	179	课后练习答案	191
5.6 雪的运动规律	182	参考文献	192
5.7 雷电的运动规律	183		





模块 1

动画制作基础知识

导读

本模块将引领读者踏入动画制作的奇妙世界，从简要的历史回顾出发，揭示动画诞生的基本原理及其丰富多彩的分类，并通过经典作品展示各类型的魅力。本模块将深入探讨完整的动画制作流程，涵盖从创意构思到最终成品的每一个阶段，明确各时期的关键任务。同时，本模块还会介绍一系列不可或缺的动画制作工具和技术术语，帮助读者理解动画运动规律的核心概念，如时间、速度与节奏等，并探讨这些元素如何共同作用以塑造生动的动画效果。最后，还将分享学习动画运动规律的有效方法及评价标准，为初学者提供坚实的基础和明确的学习方向。

1.1 动画的发展历程

动画的英文为animation，该单词源自拉丁语字根的anima，意思为“灵魂”。动词animate的意思是“赋予生命”，引申为“使某物活起来”。动画发展至今，无论是手绘的二维动画，计算机制作的3D动画，还是逐帧拍摄的定格动画等，都是由创作者赋予其灵魂而使得原本不具备生命特征的图片、模型、程序等活了起来，成为人们看得到的生动、有趣的动画作品。

早在17世纪末，英国的报刊上就已经出现了许多类似卡通的幽默插图，但是由于缺乏专职画家和固定的艺术风格，因此还算不上是真正的卡通画。随着报刊出版业的繁荣，到了18世纪初，出现了专职卡通画家，英国卡通的风格也逐渐定型。与同时期欧洲大陆的幽默讽刺画相比，英国的卡通画较多地取材于社会风情，以幽默含蓄见长。1841年，著名的《笨拙》（Punch）画报在伦敦创刊。这本著名的谐趣性期刊，在卡通发展史上占据着显著的地位。彼时，这个刊物的供稿人、著名画家约翰·里奇（John Leech）和编辑马克·莱蒙（Mark Lemon）就将幽默讽刺画命名为“卡通”。

与卡通和漫画相比，动画片的发展历程似乎更富有传奇色彩。动画艺术是现代影视艺术的重要组成部分。然而，在动画和电影的“史前阶段”，两者却是合而为一的。直到摄影术发明之后，电影和动画才开始分道扬镳。

1895年，法国的卢米埃尔（Lumière）兄弟最先向公众展示了他们的“电影机”，并放映了《火车进站》《海水苑》等影片，现代电影就此诞生。而第一部动画电影却是在10年后才得以问世，其中的部分原因是由于动画片高昂的制作成本。时至今日，动画片依然是需要高投入的文化产品。

1906年，美国人詹姆斯·斯图尔特·布莱克顿（James Stuart Blackton）制作出一部接近现代动画概念影片，片名为《滑稽脸的幽默相》（Humorous Phases of Funny Faces），如图1.1所示。



图1.1 选自《滑稽脸的幽默相》

此后，来自法国的埃米尔·科尔（Emile Cohl）进一步发展了动画片的拍摄技巧，并且先后制作了250余部动画短片。同时，他也是第一个利用遮幕摄影的方法将动画和真人表现结合起来的先驱者。正是因为科尔对于动画片发展的杰出贡献，他被奉为现代动画之父。1908年，埃米尔·科尔首创用负片制作动画影片。所谓“负片”，就是指影像与实际色彩恰好相反的胶

片，如同今天的普通胶卷底片。采用负片制作动画，从概念上解决了影片载体的问题，为后来动画片的发展奠定了基础。1908年，埃米尔·科尔运用了一种称为“粉笔线风格”（chalk-line style）的技术创作出动画电影《幻影集》（*Fantasmagorie*），如图1.2所示。

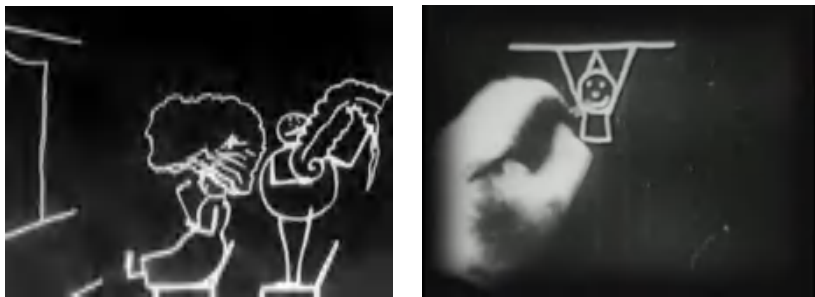


图1.2 选自《幻影集》

另一位对早期动画发展产生重要影响的是美国漫画家温瑟·麦凯（Winsor McCay）。1914年，美国人温瑟·麦凯用一万张图片表现了一段故事，这是世界上公认的第一部真正意义上的动画短片，片名为《恐龙葛蒂》（*Gertie the Dinosaur*），如图1.3所示。这部动画片的推出，改变了此前在动画作品中的纯艺术倾向，把故事、角色和真人表演等组织成为互动式的情节，取得了相当好的效果。而憨态可掬的恐龙葛蒂，更是成为了名噪一时的卡通明星。继《恐龙葛蒂》之后，麦凯又制作了《路西塔尼亚号的沉没》（*The Sinking of the Lusitania*），这是第一部以动画方式制作的纪录片。

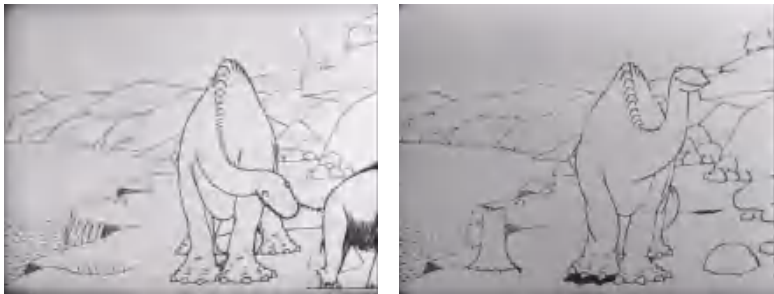


图1.3 选自《恐龙葛蒂》

温瑟·麦凯的成功是具有象征意义的。他以自己作为漫画家的修养和积累，开创了一种重视角色的塑造、故事结构和通俗趣味的新型动画创作模式。从此，动画片的创作和制作水平日趋成熟，人们已经开始有意识地制作和表现各种内容的动画片。

1915年，美国人埃尔·赫德（Eerl Hurd）创造了新的动画制作工艺，他先在塑料胶片上绘制图片，然后将绘制在塑料胶片上的一幅幅图片拍摄成动画电影。多少年来，这种动画制作工艺一直被沿用着。

1928年，世人皆知的沃尔特·迪士尼（Walt Disney）创作出了第一部有声动画《威利汽船》。1937年，他又创作出第一部彩色动画片《白雪公主和七个小矮人》，图1.4所示为这两部动画片中的典型形象。沃尔特·迪士尼逐渐将动画影片推向巅峰，并在完善了动画体系和制作工艺的同时，将动画片的制作与商业价值联系起来，被人们誉为“商业动画之父”。

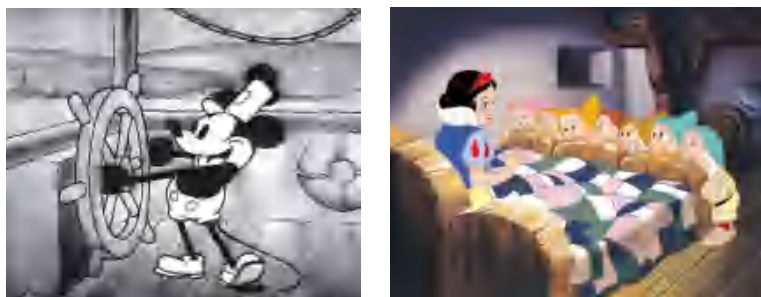


图1.4 选自《威利汽船》和《白雪公主和七个小矮人》

二战后的美国动画界，迪士尼公司的霸主地位无人能敌。在20世纪50年代，迪士尼公司先后推出了《仙履奇缘》《爱丽丝梦游仙境》《小飞侠》等童话题材作品，不但延续了迪士尼动画的口碑，还取得了良好的票房业绩。不过，迪士尼并没有因成功而陶醉，持续不断摸索创新。他们先后推出了以现实社会作为动画场景的《小姐与流浪汉》，以动物角色为主角的《101斑点狗》，还有改编自历史传奇的《石中剑》等，如图1.5～图1.7所示。



图1.5 选自《仙履奇缘》和《爱丽丝梦游仙境》

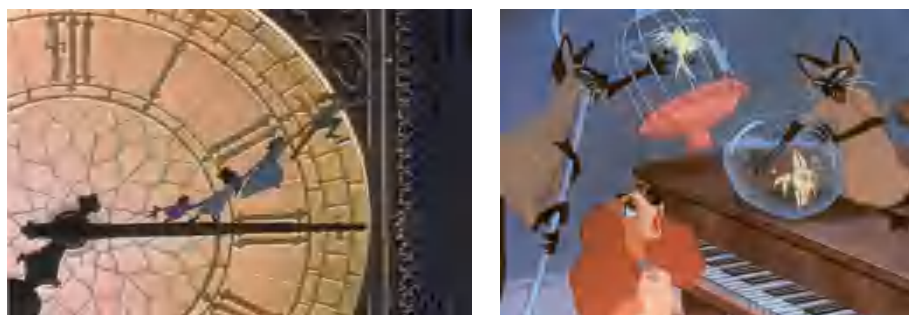


图1.6 选自《小飞侠》和《小姐与流浪汉》

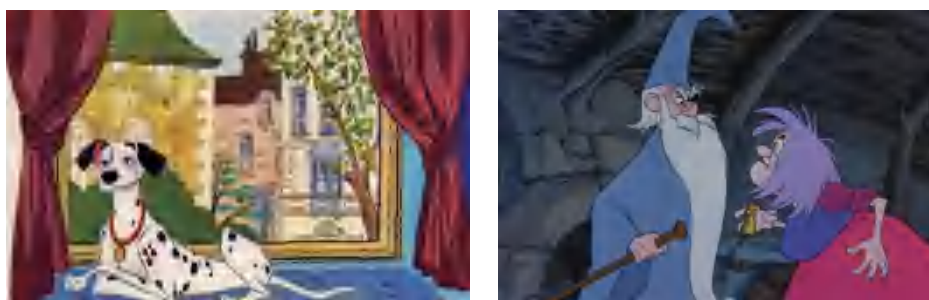


图1.7 选自《101斑点狗》和《石中剑》

就在像迪士尼这样的老牌动画企业坚持传统动画理念的同时，以UPA（United Productions of America，美国联合制作公司）为代表的动画企业则开始尝试“有限动画”的制作理念。他们不再追求类似迪士尼动画片的那种高成本、大制作的华丽场景，转而采用低成本的制作策略，并通过故事情节的精心设计和音响效果来弥补视觉上的不足。事实证明，这种前卫的理念是有价值的。特别是在电视作为崭新的大众传媒兴起之后，原本在电影院中放映的动画片，和其他类型的影片一样受到了强大的冲击。而凭借着“有限动画”的理念，动画片开始逐渐适应电视节目的播出要求，进而成为各大电视台争夺收视率的王牌节目。随着电视动画片市场的扩大，几乎所有的动画公司都把主要精力转向了电视动画的制作，电视机里的动画世界也因此而变得绚丽多彩。

从20世纪60年代开始，一批才华横溢的中国动画艺术家开始尝试将中国传统绘画技法移植到动画的制作之中，中国画中最具特点的水墨画法成了突破点，在此后的若干年内，被后来称为水墨动画的动画片破茧而出。《小蝌蚪找妈妈》《山水情》等一批水墨动画艺术短片令人耳目一新（见图1.8），《大闹天宫》《黑猫警长》等一批优秀动画片的横空出世（见图1.9），震动了国际动画界，“中国学派”的称谓由此应运而生。

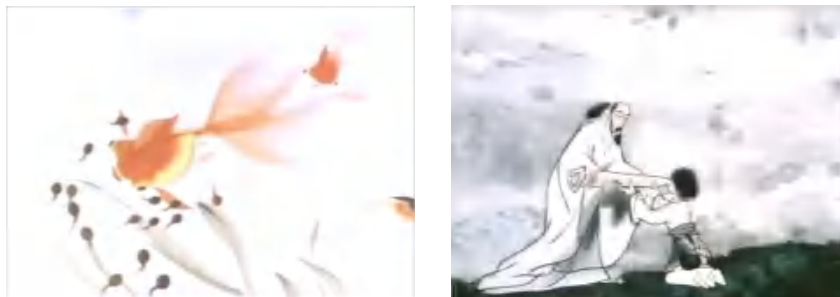


图1.8 选自《小蝌蚪找妈妈》和《山水情》

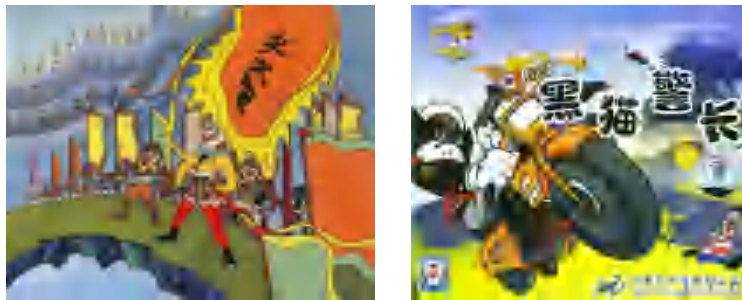


图1.9 选自《大闹天宫》和《黑猫警长》

到了20世纪末，随着计算机图形学（computer graphics, CG）和计算机多媒体技术的兴起，动画片的生产和制作迎来全新的变革。迪士尼公司再次成为了新技术的引领者，推出了一系列大制作的动画巨片，包括取材于安徒生童话的《小美人鱼》（*The Little Mermaid*）、根据阿拉伯古典名著改编的《阿拉丁》（*Aladdin*）、根据莎士比亚名著改编的《狮子王》（*The Lion King*）、反映早期北美殖民历史的《风中奇缘》（*Pocahontas*），以及改编自中国民间故事的《花木兰》（*Mulan*）等。这些动画片的推出不但体现了迪士尼驾驭新技术的能力，而且还引发了“剧场传统”的回归，人们不再守着家里的电视机而是买票到影院里去观看动画片。

这是电视取代电影成为最重要的动画媒体之后从没有过的情况。图1.10和图1.11所示为《小美人鱼》《阿拉丁》《狮子王》《风中奇缘》《花木兰》的剧照。

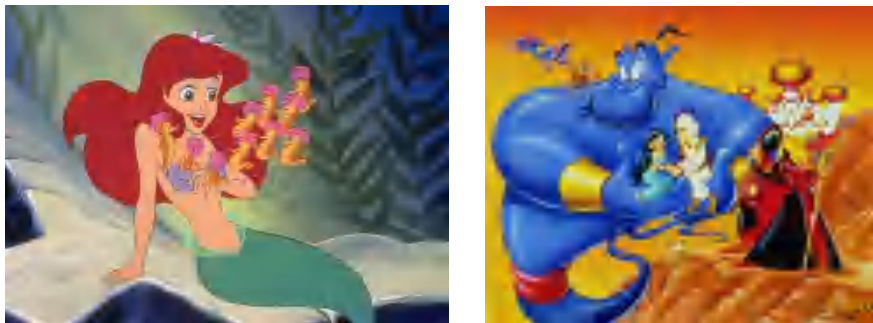


图1.10 选自《小美人鱼》和《阿拉丁》



图1.11 选自《狮子王》《风中奇缘》《花木兰》

在由迪士尼公司引领的这场变革中，皮克斯动画工作室（Pixar Animation Studios）是关键角色之一。皮克斯动画工作室由一群对计算机动画充满热情的技术人员和艺术家于1979年创立，最初是卢卡斯影业（Lucasfilm Ltd.）的一部分。1986年，苹果公司的创始人史蒂夫·乔布斯（Steve Jobs）收购了皮克斯，并将其发展成为一个独立的动画制作公司。皮克斯真正崭露头角是在1995年，当时它与迪士尼合作推出了世界上第一部全电脑制作的长篇三维动画电影《玩具总动员》（*Toy Story*），使动画展现了新的制作和表现形式，焕发出新的活力。这部电影的成功标志着动画历史的一个转折点，证明了全三维动画电影不仅在技术上可行，而且在市场上也有巨大的吸引力。图1.12所示为《玩具总动员》的剧照。

皮克斯的成功很快引起了其他制片厂的关注，包括梦工厂（Dream Works Studios）、蓝天工作室（Blue Sky Studios）等，这些公司开始加大投入，探索计算机动画的可能性。与此同时，传统动画巨头迪士尼也开始加强自身在CG动画领域的布局，但皮克斯凭借其创新的故事讲述方式和技术优势，在市场上占据了重要位置。



图1.12 选自《玩具总动员》

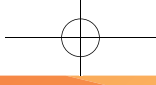
值得注意的是，迪士尼与皮克斯之间的关系从合作逐渐转变为更紧密的结合。2006年，迪士尼宣布以74亿美元的价格收购皮克斯，这次并购使得两家公司在技术和创意上的强强联合成为可能。合并后的迪士尼-皮克斯组合继续推出了一系列成功的动画作品，如《超人总动员》（*The Incredibles*）、《海底总动员》（*Finding Nemo*）、《飞屋环游记》（*Up*）等，这些作品不仅在全球范围内取得了商业成功，还赢得了多项奥斯卡奖项。图1.13所示为《超人总动员》《海底总动员》《飞屋环游记》的海报。



图1.13 选自《超人总动员》《海底总动员》《飞屋环游记》

自20世纪末以来，动画产业经历了快速的技术革新和市场变化，而皮克斯的出现及其与迪士尼的合作无疑是其中最为显著的里程碑之一。这一时期，动画产业的发展呈现出以下几个主要的趋势。

- 多元化的内容创作：随着观众口味的变化，动画内容变得更加多样化，涵盖了不同的文化背景、年龄层次和社会议题。
- 国际市场的扩张：越来越多的动画作品瞄准国际市场，尤其是亚洲市场，如日本的吉卜力工作室（スタジオジブリ，STUDIO GHIBLI），其作品在全球范围内拥有大量粉丝。
- 流媒体平台的兴起：Netflix、Amazon Prime Video等流媒体服务平台开始投资原创动画



内容，改变了传统的发行模式，让更多类型的动画得以触及更广泛的观众群体。

- 虚拟现实（VR）和增强现实（AR）的应用：随着VR/AR技术的发展，动画创作者开始探索沉浸式体验的新可能性，旨在为观众带来更加互动和身临其境的观看体验。

未来，随着科技的进步和社会文化的不断演变，动画产业将继续探索新的表达形式和技术手段，为全球观众带来更多惊喜。

1.2 动画的基本原理及分类

要真正掌握动画的制作，需要先探讨其背后的基本原理——那些使得一系列静止图像在观众眼中变成连续运动的科学与艺术法则。之后，我们将探索动画的多种类型，了解不同风格和技术如何塑造出丰富多彩的视觉体验。

1.2.1 动画的基本原理

动画与电影电视中的实拍影像有着显著的区别，因为它有着两个重要的特征：第一，动画影像是通过逐格逐帧的手工绘制、计算机生成或其他方式刻意制作出来的；第二，动画中的运动感是由快速连续放映静态图像序列所营造的一种视觉“幻象”。动画的这种运动并不是实际发生的事件被摄像机实时捕捉的结果，而是艺术家精心设计和创造的成果。

之所以能够制作并欣赏动画，完全依赖于人眼的两种视觉特性：“视觉暂留”（persistence of vision）和“似动现象”（apparent motion）。

1. 视觉暂留

视觉暂留指的是当一系列静态图像以足够快的速度依次呈现时，人眼会将这些图像视为一个平滑的运动过程，这是因为视网膜上的影像并不会立即消失，而是在短时间内保留，使得前一幅图像的印象与下一幅重叠，从而产生连贯性的错觉。

谈到“视觉暂留”，就不得不提起一个标志性的历史发明——费纳奇镜（phenakistoscope）。这是一个在1832年由比利时物理学家约瑟夫·普拉托（Joseph Plateau）和奥地利数学家西蒙·冯·施坦普费尔（Simon von Stampfer）几乎同时独立发明的装置。

费纳奇镜是一个由纸片裁剪而成的圆盘，这个圆盘被分成了10个部分，在每个部分上绘制了两个人物舞蹈动作的不同瞬间分解图，而在圆盘中心则描绘了一只猴子跳圈的分解动作。单独来看，这些图画不过是静态的画面，似乎平淡无奇。然而，当这个圆盘被安装在一个木杆上并快速旋转时，一种神奇的效果便显现出来：原本静止的画面仿佛获得了生命，绅士和淑女开始翩翩起舞，而9只小猴子也显得活灵活现，在圈中穿梭自如，如图1.14所示。

上述的这种效果是由于人类眼睛的一种特性——视觉暂留现象所造成的。当一系列图像以足够快的速度连续展示时，大脑就会将这些图像连接起来，形成流畅的动作印象，而不是看到单独的一帧帧画面。细究这一现象深层次的原因，是因为人类的眼睛对光线有短暂的记忆

功能,即当看到一个图像后,即使图像消失,视网膜上的印象还会持续一小段时间(大约0.1秒)。如果新图像迅速接替旧图像,那么这两个图像就会融合在一起,形成看似连续的动作。因此,当观看快速旋转的费纳奇镜时,每一帧图像都与前一帧重叠在一起,使得我们的眼睛和大脑认为它们是一个连续的动作序列。

费纳奇镜不仅展示了早期动画的魅力,还揭示了视觉暂留这一科学现象的重要性。它是现代电影、电视乃至所有动态影像技术的基础,因为所有的动态影像都是基于一系列静态图像以一定速度播放来实现的。通过费纳奇镜,可以更好地理解视觉暂留现象如何让我们体验到运动幻象,并为后来的动画和电影艺术发展起到奠基作用。



图1.14 费纳奇镜效果

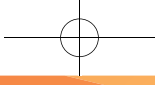
2. 似动现象

似动现象也被称为费特定律或幻觉运动,是视觉心理学中的一个重要概念,指的是当两组或更多不同位置的光点、形状或物体在短时间内相继出现时,观察者会产生它们之间存在连续移动的感觉。产生这种感觉的原因是:当人脑中负责处理来自眼睛的信息的视觉皮层接收到快速变化的视觉刺激时,这些区域试图预测下一个画面的内容,并根据之前的输入构建出一个连贯的故事。这样,即使没有实际的物体移动,我们也会“看到”运动。似动现象解释了为什么一系列静止的画面可以被我们的大脑解释为流畅的动作,是电影、电视和动画等媒介得以发展的基础原理之一。

似动现象的概念由德国心理学家马克斯·韦特海默(Max Wertheimer)于1912年提出。他通过实验发现了当两个光点以适当的时间间隔交替闪烁时,观察者会感觉到一个光点在两者之间运动。这种运动并不是真实的物理位移,而是视觉系统的一种错觉。它依赖于时间间隔和空间位置的变化,使得大脑填补了两帧之间的空白,从而产生连续运动的感觉。

应用似动现象制作动画时,应注意以下影响因素:

- 时间间隔:如果两个图像之间的时间间隔过长,观察者将无法感知到连续的运动;反之,如果间隔太短,则可能看不到任何明显的运动,只是一片模糊。
- 空间距离:两个图像之间的相对位置也很重要。合理的空间分布可以帮助强化运动的感觉,使过渡看起来更平滑。
- 亮度与对比度:图像的亮度和对比度会影响视觉系统的反应速度和敏感度。高对比度



的图像更容易引发强烈的似动效果。

人眼在观看如图1.15所示的图像时就会出现似动现象。



图1.15 似动现象

似动现象揭示了人类视觉系统如何处理时间和空间信息，为理解动态影像提供了理论基础。通过对似动现象的研究，可以制作出更具吸引力和传播效能的视觉内容。

动画创作者利用上述动画的基本原理，通过控制每一帧之间的变化以及播放速度，便可构建出丰富的故事情节和生动的角色表演。从早期的手绘赛璐珞片到现代的三维电脑动画，虽然动画技术在不断发展，但其核心依然是基于这些基本的视觉感知机制。

1.2.2 动画的种类

时至今日，越来越多的艺术表现形式和各种音像元素被加入到动画制作中，使得动画的样式越来越多样。动画可以按照 ([方式进行划分。

1. 根据制作方式划分

根据制作方式不同，动画可以分为传统动画、矢量动画、三维动画、MG (motion graphics, 动态影像) 动画、定格动画 (见图1.16)。

2. 根据播放媒体划分

根据播放媒体不同，动画可以分为TV版动画、OVA (original video animation, 原创视频动画) 版动画、剧场版动画。

3. 根据创作性质划分

根据创作性质不同，动画可以分为商业动画和艺术动画，图1.17所示的就属于艺术动画。

4. 根据技术形式划分

根据技术形式不同，动画可以分为手绘动画 (二维动画) 和以计算机制作为主的计算机动画 (三维动画)。

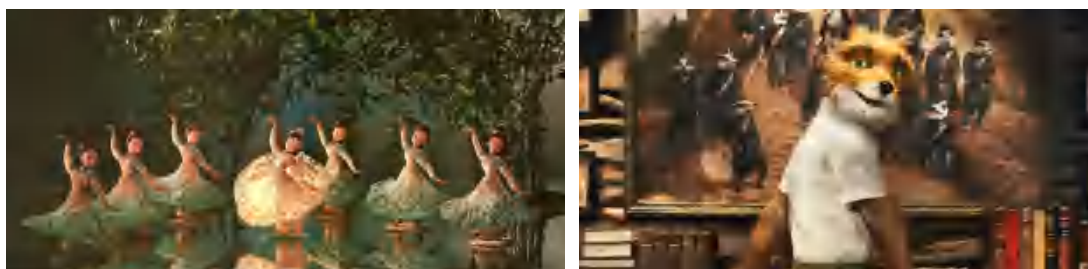


图1.16 选自定格动画《孔雀公主》和《了不起的狐狸爸爸》



图1.17 选自根据齐白石先生国画设计的水墨艺术动画《小蝌蚪找妈妈》

通常意义上，二维动画和三维动画（见图1.18）这两个概念的区分有两种解释：一是指画面风格，即是否使用具有立体感的画面进行艺术表现，早期的手绘动画多采用二维形式，而三维动画则多是展现三维世界；二是指制作手段，即在制作过程中是否能够通过旋转视角观察到动画中各元素的侧面。

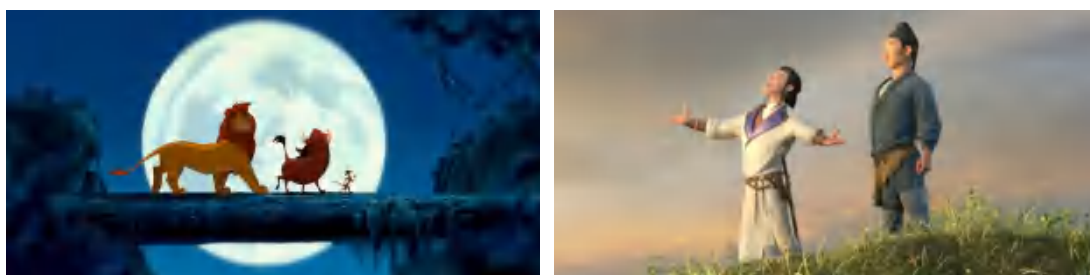


图1.18 选自二维动画《狮子王》和三维动画《长安三万里》

很多动画作品为营造令人耳目一新的视觉效果，在制作中会融合不同的制作手段。例如，动画片《蜘蛛侠：平行宇宙》是以三维立体影像形式发行的，但打斗、爆炸、飞溅、火花和闪光特效等则采用了二维形式，片中多个场景对漫画技法和质感有显而易见的模仿，几乎到处可见漫画中常见的网点效果，在构图上也会出现漫画式的分格，如图1.19所示。

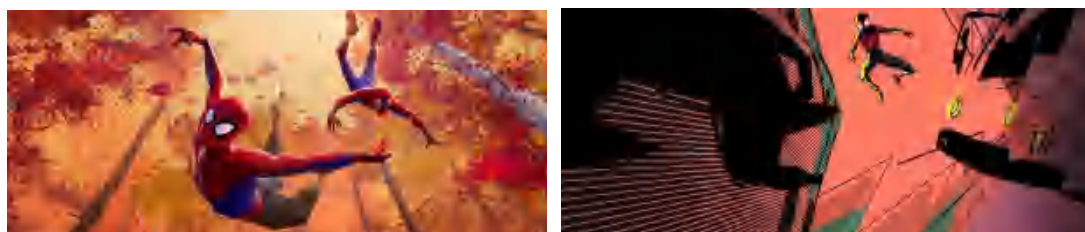


图1.19 选自《蜘蛛侠：平行宇宙》

1.3 动画的制作流程

总体上说,动画的制作可以分为三个部分,即前期设计部分、中期制作部分和后期处理部分,下面分别进行介绍。

1.3.1 前期设计部分

前期设计部分是塑造作品灵魂的环节,包括剧本创作、概念设定、分镜与故事板制作等工序。

1. 剧本创作

剧本创作是所有动画制作的开始,也是构建动画整个框架的过程。通过阅读剧本,可以在脑海中初步勾勒出整个故事的脉络,对故事中的主要场景和主要任务有一个相对明确的概念,甚至是较为具体的画面。剧本是以极其详尽并且具体的形式描绘故事的一种特殊的文学形式。剧本既可以是原创故事,也可以是对已有故事的改编。

2. 概念设定

概念设定是对故事中出现的一切元素进行图像化的过程,大到宇宙太空、山川河流,小到锅碗瓢盆、路边杂草都需要一一进行分析确认。例如,主人公的发型就需要根据其所处的时代背景、成长环境、当时的精神状态和经历等进行不同的设计,并体现到具体的图画上。概念设定不仅仅是将剧本中提及的内容画出来,更是通过细节设计引导观众真正地走进故事、帮助观众去理解故事。

- 角色设定(见图1.20)。负责设计登场角色的体型、服饰、特征、动作等,包括同一角色不同角度的面部特征,可能出现的细部结构、运动方式、生物特征等。
- 场景设定(见图1.21)。场景是决定作品真实感的重要因素,包括角色活动的主要场地,如城堡、宫殿、树屋等,也包括大量的自然景观,如天空、火山、海洋等,以及一些假想中的环境。



图1.20 角色设定



图1.21 场景设定

3. 分镜与故事板制作

分镜与故事板都是将剧本中的故事以精确到镜头的方式详尽地描绘出来，只不过部分分镜仅通过文字进行说明，而故事板则必须包含具体的画面叙述。分镜制作是一个过渡环节，从这一环节开始，需要更多地考虑实际的画面因素，包括每一个镜头的景别、内容、镜头转换等，可以说，此时已经可以看出整部动画作品的雏形了。

1.3.2 中期制作部分

中期制作部分是制作动画中各个元素的过程。下面分别介绍二维动画的中期制作过程和三维动画的中期制作过程。

1. 二维动画的中期制作过程

二维动画制作的流水线相对简单，总的来说，可以分为四个环节。

- 原画创作。原画创作是指由动画设计师绘制出动画的一些关键画面（见图1.22），这些关键画面通常是动作的开始、转折点和结束。原画创作在动画制作中是必不可少的一个环节，一部二维动画作品的质量在很大程度上取决于原画的质量。
- 中间插画制作。中间插画是指两个重要位置或框架图之间的图画，一般就是两张原画之间的一幅画。先制作一幅中间插画，再内插绘制角色动作的连接画。在各原画之间内插的连续动作的画要符合指定的动作时间，使之能表现得接近自然的动作。
- 动画完成。动画完成是指通过Animate、Photoshop等软件将概念设定及原画绘制的各个元素拆分组合，并控制其表演出剧情的过程。
- 配音配乐。配音配乐是为动画加入声音效果的过程。通常来说，配音是指配人声和特效声等辅助效果，配乐是指将创作好的符合剧情氛围的乐曲加入视频中的过程。对于整个动画制作来说，配音配乐是一个相对独立的环节，有其自身的艺术性。

2. 三维动画的中期制作过程

相较于二维动画，三维动画更多地依托于软件制作，其制作流水线更加规范化和普适化，通常可以分为模型制作、动画调整、特效模拟、渲染着色和配音配乐等环节。

- 模型制作。模型制作是将概念设定中的角色和场景等元素在三维软件中真实再现出来的过程，通常也包含贴图纹理绘制工作。模型根据用途的不同有不同的制作标准，一般以“面数”为衡量单位。游戏制作会要求尽量少的面数，电视动画则要求较多的面数，电影动画则几乎完全放开，在软件许可的情况下，尽可能地满足艺术要求。材质贴图是模型制作中非常重要的部分，不同物体的质感区别主要靠材质贴图（见图1.23）来实现。
- 动画调整。动画调整是为角色模型构建骨骼并控制其按照剧情表演的工序，其中也包含对镜头（摄像机运动）的控制。骨骼动画是三维软件最主要的动画制作形式，

它通过一节一节的骨骼来带动整个角色的表演，如图1.24所示。先进的骨骼动画系统可以极大地降低动画制作的难度。骨骼控制模型使用的是一种称为“蒙皮”的技术，即设定骨骼的各个部分是如何控制模型的表面的。角色的表演有时也会直接根据演员的表演来获得数据，现在这一技术已经非常普及，即动作捕捉技术。



图1.22 原画创作

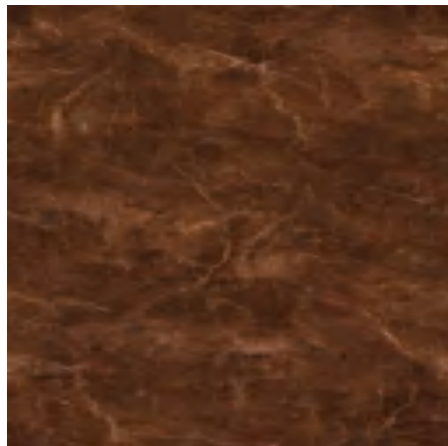


图1.23 大理石材质贴图

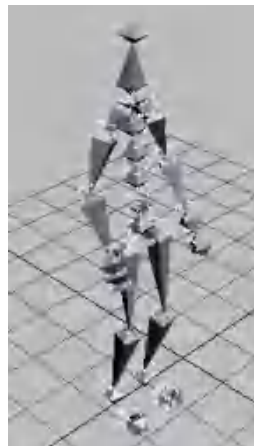


图1.24 骨骼

- **特效模拟。**特效模拟也可以称为“模拟”，即通过计算机而非手动的方式模仿真实的或者想象的效果，这一环节所制作的效果通常具有画面效果复杂、计算量大、受固定物理定律影响等特点。模拟是三维动画中很有代表性的一个技术环节，包括角色的毛发、肌肉，场景中的水、烟、火，以及碰撞、破碎、爆炸等效果均可通过软件内置的工具和公式制作完成。图1.25所示为利用三维动画软件制作的头发效果。
- **渲染着色。**渲染着色是三维软件的着色过程，着重控制光对于整个场景中各个元素的影响，从而尽可能完美地展现想要的效果。图1.26所示为在不同环境中的两张图的渲染效果。
- **配音配乐。**三维动画中的配音配乐操作和二维动画中的完全一样。



图1.25 头发效果（选自《魔发奇缘》）



图1.26 渲染效果

1.3.3 后期处理部分

后期处理部分是将制作完成的各元素整合起来的过程。这一环节与中期制作环节几乎是同时开始的，只是相对于中期制作来说，后期处理需要之前环节完成的资料才能工作，在制作开始时相对轻松，但越接近全片完成，各个环节汇集过来的资料就越多，需要处理的镜头也越多，时间则越紧张。

后期处理部分主要有两道工序，即合成和剪辑。

1. 合成

合成是将不同环节中单独创建的各个元素整合到一起，形成一个完整的镜头的过程，非常需要其他制作环节的配合，毕竟其素材来源均由之前的环节制作而成。这一过程不仅需要技术上的精确性，还需要艺术上的敏感度，以确保所有元素和谐地融合在一起，为观众提供一个连贯且视觉上令人满意的体验。

合成工序所包含的工作内容主要有以下几个方面。

- 图层管理：合成师通常会使用图层来组织不同的视觉元素，如背景、角色、特效等。每个图层可以独立调整透明度、颜色校正和其他效果，从而实现更加复杂的视觉效果。
- 特效添加：除基本的图像组合外，合成还包括添加各种视觉特效（visual special effects, VFX），例如，光影变化、烟雾、火焰、水体流动等自然现象模拟，以及魔法光效、爆炸等非现实效果，这些都增强了场景的真实感或幻想色彩。
- 动态跟踪与稳定：为了使CGI元素更好地融入实拍镜头，合成师可能会进行摄像机运动跟踪，确保虚拟物体能够正确跟随实际拍摄环境的变化；同时也会应用图像稳定技术来消除不必要的抖动，保证画面流畅。
- 色彩校正与匹配：统一整个项目中的色调非常重要，因此合成过程中会进行精细的颜色校正工作，使得所有素材之间在亮度、对比度和色温等方面保持一致，营造出和谐统一的画面风格。
- 遮罩与抠像：当需要将前景对象从其原始背景中分离出来并放置于新的环境中时，就需要用到遮罩（masking）和抠像（keying）技术。这要求高精度边缘处理，以便让插入的对象看起来自然而不突兀。
- 三维合成：对于包含3D模型的动画，合成师还需考虑如何将这些模型与2D元素完美结合。这可能涉及灯光、阴影等方面的协调，以确保3D元素不会显得格格不入。
- 音频同步：虽然主要属于后期音效范畴，但在某些情况下，合成阶段也需要考虑到声音元素的加入，比如确保口型与对话的一致性，或者配合动作添加适当的环境声效。

2. 剪辑

剪辑是动画制作的最后一道工序，也是决定最终作品质量的重要因素之一。剪辑师通过

精心挑选和排列每一个镜头，构建故事的节奏和发展脉络，确保故事情节清晰明了且情感表达恰到好处。

剪辑工序所包含的工作内容主要有以下几个方面。

- **叙事结构优化：**优秀的剪辑不仅仅是简单地连接片段，而是要根据剧本意图对内容进行重新排序，去除冗余部分，强化核心情节，使故事更紧凑有力。
- **节奏把控：**剪辑师需敏锐捕捉每个场景的情感基调，通过控制镜头长度和转换方式来调节影片的整体节奏。快速切换可以制造紧张气氛，而缓慢过渡则有助于制造悬念或营造氛围。
- **转场技巧：**平滑自然地从一个场景过渡到下一个场景是叙事连贯性的关键。常见的转场方法包括淡入淡出、溶解、擦除、翻页等，每种方式都有助于引导观众视线，避免跳跃感。
- **音乐与音效搭配：**选择合适的背景音乐和音效能极大地提升观影体验。它们不仅可以补充视觉信息，还可以增强情绪感染力，帮助观众更好地理解故事背后的意义。
- **时间线管理：**大型项目往往涉及多个版本的时间线，剪辑师必须有效地管理和维护这些版本，确保每一次修改都不会丢失重要改动，同时也便于团队成员之间的协作交流。
- **反馈循环：**在整个剪辑过程中，持续收集导演、制片人及其他相关人员的意见，并据此做出相应调整是非常必要的。这种互动式的创作过程有助于达成最佳的艺术效果。
- **视觉一致性：**尽管每个镜头都是独立制作完成的，但整体观看时应该给人一种连续的感觉。这就要求剪辑师特别注意相邻镜头间的色彩、构图等因素的一致性，确保没有明显的突兀之处。

1.4 二维动画制作的主要工具

二维动画制作的主要工具包括动画纸、定位尺、拷贝台、铅笔、橡皮、扫描仪、手绘板等，下面分别进行介绍。

1.4.1 动画纸

动画纸是动画制作过程中不可或缺的基本工具，它专为动画师设计，用于帮助他们精确地绘制每一帧画面。其标准规格的纸张边缘上设有定位孔，以确保多张画稿能够精确对齐，从而实现流畅的动作衔接。定位孔由圆孔和方孔间隔排列而成，标准的12框动画纸包含一个圆孔（称为POS点）和两个方孔，孔与孔之间的距离为6英寸（152.4 mm）。POS点作为中心参考点，决定了动画纸的长度单位，一张具有一个POS点的动画纸为一倍长，两张则为两倍长，依此类推。动画纸底部的定位孔使得前后两张动画可以叠加在拷贝台上描摹，确保了动作的连贯性和一致性。定位孔在动画纸上扮演着至关重要的角色，用于确保每个绘制角色的精确位置。