

21<sup>st</sup> CENTURY  
CLASSIC ANIMATION  
TUTORIAL SERIES

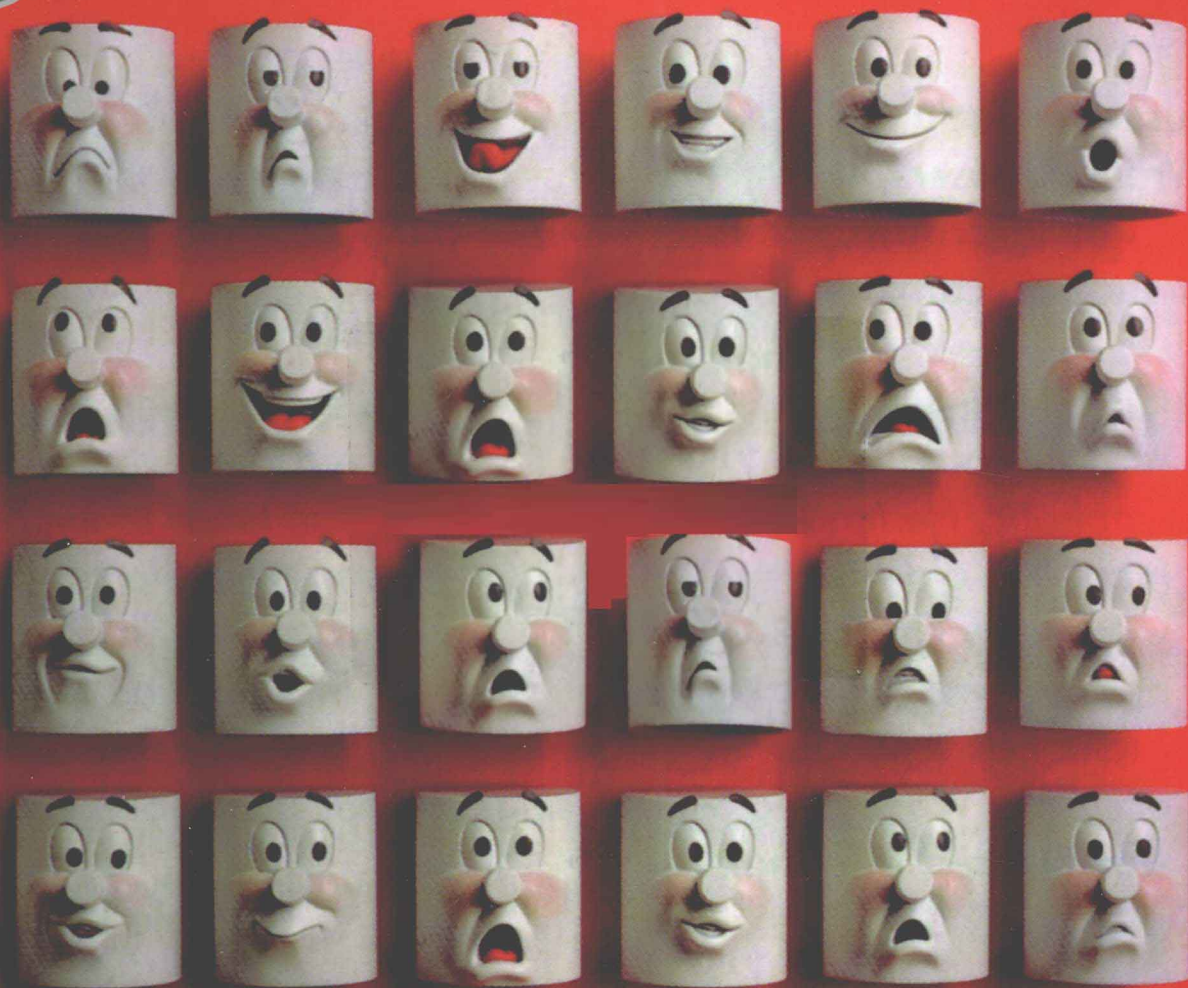
■ 丛书主编 赵前

# 逐格动画技法

(第二版)

陈迈 编著

21世纪经典动漫系列教材



 中国人民大学出版社

21 世纪经典动漫系列教材

丛书主编 赵 前

# 逐格动画技法

(第二版)

陈 迈 编著

中国人民大学出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

逐格动画技法/陈迈编著. 2版. —北京: 中国人民大学出版社, 2011.5  
(21世纪经典动漫系列教材)  
ISBN 978-7-300-13526-7

I. ①逐… II. ①陈… III. ①动画片-制作 IV. ①J945

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 049149 号

21世纪经典动漫系列教材

丛书主编 赵前

逐格动画技法

(第二版)

陈迈 编著

Zhugedonghua Jifa

---

出版发行	中国人民大学出版社		
社 址	北京中关村大街 31 号	邮政编码	100080
电 话	010-62511242 (总编室)		010-62511398 (质管部)
	010-82501766 (邮购部)		010-62514148 (门市部)
	010-62515195 (发行公司)		010-62515275 (盗版举报)
网 址	<a href="http://www.crup.com.cn">http://www.crup.com.cn</a>		
	<a href="http://www.ttrnet.com">http://www.ttrnet.com</a> (人大教研网)		
经 销	新华书店		
印 刷	北京市易丰印刷有限责任公司	版 次	2005年8月第1版
规 格	185mm×260mm 16开本		2011年9月第2版
印 张	17.75	印 次	2011年9月第1次印刷
字 数	274 000	定 价	58.00元

---

版权所有 侵权必究 印装差错 负责调换

# 总序

动画是集文学、电影、摄影、音乐、绘画为一体的一门综合艺术，也是目前发展非常迅速、令人瞩目的艺术教育学科。事实上，它自诞生之日起，便得到观众巨大的关爱。现在，动画片和相关产品的开发制作已经成为文化产业的重要方面，并且对社会生活产生着直接的、重要的影响。中国动画在20世纪中叶相当长的一段时间里，曾经有过值得自豪的历史，创造过具有鲜明民族特色且构思巧妙、趣味高雅、形象动人的优秀作品，被国际评论界誉为“中国学派”。近年来，动画的发展更受到全社会的重视，目前，国内建立起动画艺术专业的高校达170多所，学生数以万计，如何使教学计划内容保证基本理论和基本技能的掌握，如何汲取外国动画教学之长，同时发扬我国优秀的动画传统，摸索出有中国特色的人才培养方法，已是摆在众多美术院校面前的重大课题。

中国人民大学艺术学院自2000年开设动画专业以来，一直对于学科基础建设，特别是教材的编写给予特别关注。经过充分的酝酿和策划，确定了由《动画片场景设计与镜头运用》、《动画艺术概论》、《动画造型与设计艺术》、《原动画设计》、《逐格动画技法》组成的系列教材，作者均为具有丰富创作、教学经验的专家、教授。他们经过全面的回顾与总结，提出了具有我国特点的教学模式。通过对这些教学内容的学习，学生可以从艺术理念、创作方法、新技术的运用，直至动画片的具体制作与完成，对动画有全面、完整、清晰的了解，从而掌握动画专业学科必需的基础知识。

基于动画专业学科实用性强的特点和对创作的特别要求，这套图文并茂的教材还提供了大量中外著名影片、导演的范例。它不仅介绍了动画经典影片的制作过程，而且重点讲解了传统与现代动画片在各个创作、制作环节上的变化、发展以及需要注意的问题。因此，它也是我们为所有动画专业的爱好者和从业者提供的极好的参考材料。

让我们为中国动画繁花似锦时代的到来而共同努力。

全国政协委员

中国人民大学艺术学院教授

博士生导师

徐庆平

# 前 言

不知不觉五年多过去了，《逐格动画技法》拥有了相当数量的读者，五年的时间里影视行业发生了相当巨大的变化，一些传统的技术逐渐淡出人们的视野，另一些技术则经过改头换面而重新登场。应主编的要求，也为了跟上技术的脚步，我就势对本书进行了修订，替换掉已经陈旧的资讯，增添了一些新的内容。

第一版的基本构架是从摄制逐格动画片的技法的角度编写的，以介绍动画片的制作技能为主旨，对于动画片的创作过程仅仅用了一个章节来阐述。第二版加强了对逐格动画片的创作思想和理念的阐述，弥补了以前只注重技术环节的阐述而忽视艺术创作的不足。

在内容方面，第二版适当删除了一些已经过时的图片和资料，增加了近五年来新产生的逐格动画片的资讯，以扩充内容。同时介绍了一些以前尚未提及的新的摄制方法，以此更加深入地介绍逐格动画片的制作技法。

第一版中对于逐格动画摄影技术只作了基础性的介绍，没有特别提及数字摄影技术，而第二版特别着重介绍了这一技术，对特技摄影和布光技巧也有更加详尽的阐述。此外还增加了关于最流行的数字立体摄影技术的阐述，介绍了数字立体电影的摄制原理及摄制方法。

在逐格动画制作流程方面，第二版增加了对新的流程管理理念的介绍，并阐述了其中的原理以及优势，同时倡导科学化、标准化的摄制运作流程，以提高工作效率和工作质量。本书还介绍了当前国内逐格动画领域里知名厂商的产品，并且对产品的使用技法做了详尽的阐述，以达到实用、高效、方便的目的。

作 者

2011年6月

# 目 录

## 第1章 绪论/1

- 1.1 逐格动画的基本原理/2
- 1.2 逐格动画的发展演化/4
- 1.3 逐格动画的现实应用/10
- 1.4 对逐格动画未来的预测/12

## 第2章 逐格动画片基础知识/15

- 2.1 逐格动画片的摄制流程/16
- 2.2 逐格动画摄影装备常识/19
- 2.3 逐格动画片前期制作工场/33
- 2.4 逐格动画片摄影棚/36
- 2.5 逐格动画拍摄软件/38

## 第3章 逐格动画片前期创作/43

- 3.1 逐格动画片的概念创意/44
- 3.2 逐格动画片的前期创作步骤/44
- 3.3 剧本创作概论/45
- 3.4 分镜头故事板/50
- 3.5 音乐创作/51
- 3.6 对白先期录音/52
- 3.7 电子故事板制作/53
- 3.8 逐格动画片的概念设计（美术设计）/54

## 第4章 角色偶形制作/59

- 4.1 角色偶形基础知识/60
- 4.2 偶形骨架/63
- 4.3 偶形制作工艺类型/67
- 4.4 偶形的表情和口型构造/80
- 4.5 偶形的服装制作/83
- 4.6 偶形制作范例/85

## 第5章 布景和道具制作/95

- 5.1 布景设计原理/96

- 5.2 布景的设计和建造/103
- 5.3 外景模型的制作/105
- 5.4 室内布景模型的制作/118
- 5.5 道具的制作/120

## 第6章 逐格动画摄影原理/124

- 6.1 逐格动画摄影概论/125
- 6.2 数码摄影技术基础知识/126
- 6.3 逐格动画摄影棚装备/134
- 6.4 逐格动画摄影布光/137
- 6.5 逐格动画摄影技法/145
- 6.6 逐格动画拍摄软件应用案例/150

## 第7章 角色动画技巧/157

- 7.1 动画基础知识/158
- 7.2 简单的逐格动画演示案例/162
- 7.3 制作逐格动画的工具/165
- 7.4 角色的形体动画/170
- 7.5 表情和口型动画/173
- 7.6 服装飘动的动画/180

## 第8章 逐格动画的特效制作/182

- 8.1 逐格动画片的视觉效果概论/183
- 8.2 常见的视觉效果制作方法/185
- 8.3 视觉特效案例解析/193

## 第9章 逐格动画新技术应用/203

- 9.1 逐格动画新技术概要/204
- 9.2 数字化 3D 电影技术/204
- 9.3 摄影机运动控制/208
- 9.4 运动捕捉/211
- 9.5 三维扫描技术/216
- 9.6 三维打印技术/218

## 第10章 后期制作/221

- 10.1 逐格动画片后期制作流程/222
- 10.2 非线性编辑概念/222
- 10.3 逐格动画片的剪辑/223

- 10.4 口型对位修正/223
- 10.5 逐格动画片配乐/224
- 10.6 音效的采集和编辑/225
- 10.7 声音混录/226
- 10.8 数字电影调色/227
- 10.9 逐格动画影片的输出/228
- 10.10 后期制作软件简介/228

## 第11章 逐格动画类型片/233

- 11.1 逐格动画类型简介/234
- 11.2 立体逐格动画系/234
- 11.3 类平面逐格动画系/239

附录 A 对逐格动画技术有重大影响的人物简介/245

附录 B 著名逐格动画片导演简介/249

附录 C 参考资料/264

后记/269



# 第 1 章 绪 论

## 知识重点：

逐格动画的基本原理以及逐格动画摄影的发展演化历程。

## 学习目的：

对逐格动画的基本原理及逐格动画摄影发展史有概括性的了解。



## 1.1 逐格动画的基本原理

我们用一个小小的视觉游戏作为本书的开篇。用厚卡片纸剪出一个直径 15 厘米大小的圆形，在圆形卡片纸的中央画上一只小鸟，然后翻过来在圆形卡片纸的另一面画上一个鸟笼。在卡片纸左右两边的边缘各刺一个小孔并分别系上细绳，然后用双手搓动细绳使卡片快速旋转，这时就能看到一幅小鸟被关进了笼子里的画面。（见图 1—1）



图 1—1 古老的“小鸟归笼”视觉游戏，证明了古人很早就已经察觉到了人眼视觉残留的特征。图片摘自 *Animating with Stop Motion Pro*。

这个小小的视觉游戏说明了快速翻动的两幅图片会同时呈现在我们的眼睛里，换句话说，当其中一幅图片呈现在我们眼前的那一瞬间里，前一幅图片的影像并没有马上从我们眼睛里消失，这样就产生了两幅图片重叠出现的视觉现象，这种现象被称为“视觉残留”。

视觉残留是一种人类眼球的生理现象，当一个物体或影像从眼前突然消失时，人眼所看到的这个物体的影像并不会随即消失，它还会在人的视觉中停留大约十分之一秒的时间。

不知你是否观察过这样的景象，几乎每一个理发店的门口都有一种绘制了螺旋形图案的会旋转的圆筒形灯箱。每当眼睛注视一会儿旋转的灯箱后，会感觉到旋转的图案不停上升，这是为什么呢？

心理学家给出了这样的解释：多幅内容相似只有部分差别的画面在人眼前按次序排列出现时，在心理上人们会不由自主地将这些画面的内容相互联系起来，产生某种动感趋向的感觉，即“动感视错觉”。

利用人的视觉残留生理现象和动感视错觉的心理现象，将内容有关联有规律的成组图像在同一个图框里按照顺序快速切换，从而产生图像运动的视觉效果的方法称为“动画”。两种现象的存在是动画得以出现的根本条件，事实上，它们也是一切影视作品得以存在的前提条件。

既然动画是一种视觉的游戏，那么我们可以通过一些游戏方法创造出动画的视觉效果来。有一种著名的古老视觉游戏玩具被称作“旋转筒式观片器”，也叫

“西洋镜”。那就是在一个可以自由旋转的圆筒内安置一条绘制角色运动序列图画  
的纸条，然后快速旋转圆筒，从圆筒壁上部开出一系列窄缝可以观察到连续动  
作的图像，这种利用视觉原理创造幻象的古老玩具可以被看作当今一切动画艺术  
的鼻祖。（见图 1—2、图 1—3）



图 1—2 名为“西洋镜”的创造图像运动幻觉的玩具，它巧妙地结合了图画和旋转运动，创造性地发掘出一种独特的视觉表现方法。图片摘自《动画原理》。

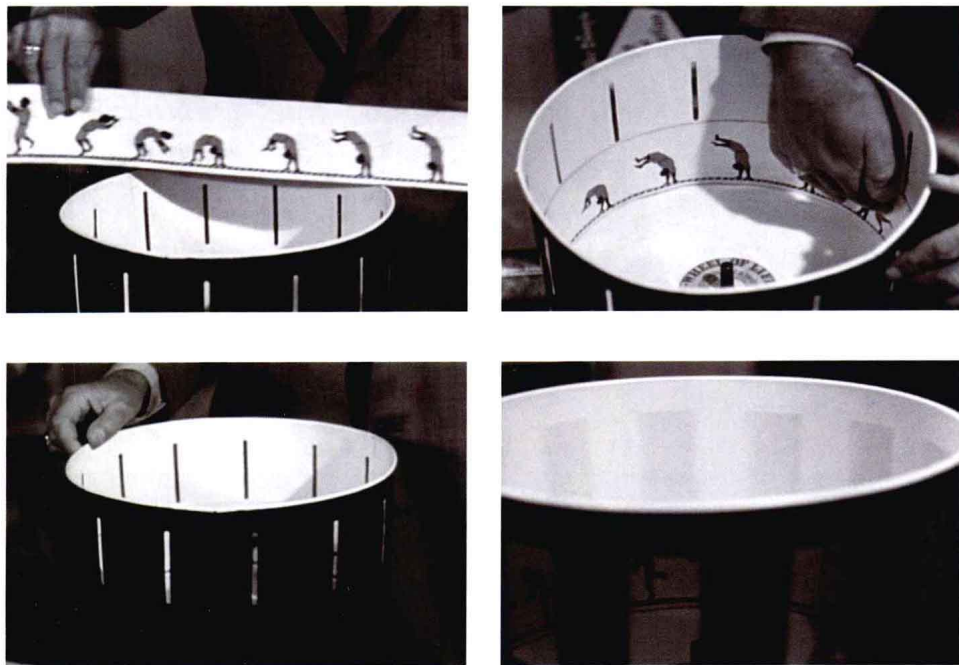


图 1—3 古老的视觉游戏玩具“旋转筒式观片器”，也叫“西洋镜”。图片摘自 *Behind the Scenes at the Walt Disney Studio DVD* 的花絮片。

电影和电视的发明是对人类的视觉残留现象的运用，它通过记录连成串的画面来表现时间和空间的对应变化，从而形成了一种时空紧密相连的艺术表现形式。运用相同原理的动画艺术也随之诞生，如果说电影是被动地记录这种时空表现艺术形式的话，那么动画艺术则是主动应用了这种表现形式的特点，于是，一种通过一格一格拍摄成序列的影像的摄影技术应运而生了。

这种特别的摄影手法在早期的电影制作中被用来创造特殊的魔术般的视觉效

果，让各种没有生命的物体不可思议地在银幕上活动了起来，这种魔术般的效果引起了观众极大的兴趣，也促使早期的电影制作者们发展完善这项技术，这门技术最终被称作“逐格动画摄影术”。

逐格动画摄影术，英文叫作“Stop Motion”，是一种古老的电影摄影术，它是由摄影机一格一格拍摄物体的空间位置变化来获得被拍摄对象连续运动假象的摄影技术。

## 1.2 逐格动画的发展演化

早在1909年，逐格动画摄影术所创造的视觉效果镜头就出现在早期默片时代杰出导演斯图亚特·布莱克顿的喜剧影片《尼古丁公主》里。影片运用逐格动画摄影术创造了一些自己会动的火柴、雪茄和烟具的效果。这种通过逐格拍摄制作动画视觉效果的方法后来被一位来自美国加利福尼亚州奥克兰的青年升华成为一种艺术，这个青年就是逐格动画艺术的开山祖师威利斯·奥布莱恩。

年轻的奥布莱恩潜心钻研逐格动画摄影术，1915年，他制作了他的第一部黏土动画短片《失落的环节》，短片描绘了史前动物和人类的生活场景。奥布莱恩的第一部正片上映于1925年，名字叫《失落的世界》（*The Lost World*），这是银幕上首次大规模应用逐格动画摄影技术制作电影视觉效果。这部影片震惊了观众，他们被银幕上出现的如此栩栩如生的史前巨兽所震撼，这部影片也创造了1925年的票房奇迹。（见图1—4）

《失落的世界》中的恐龙模型内部有一副钢制的骨架，大约由100个关节组成，由奥布莱恩亲自设计，天才的造型艺术家马歇尔·德尔加多设计了史前野兽的



图1—4 《失落的世界》是最早的有关恐龙的影片之一，也是凭借逐格动画摄影术获得票房奇迹的第一部大片，影片描述了一支探险队闯入一个神秘的地区所看到的景象。这是威利斯·奥布莱恩的第一部电影作品，他将逐格动画摄影术提升到艺术的高度，由此也奠定了他作为应用逐格动画摄影创造视觉效果艺术的开山祖师地位。图片摘选自《失落的世界》DVD的花絮片。

外形。《失落的世界》的成功奠定了逐格动画摄影术在银幕上创造特殊视觉效果领域的重要地位。

此后在 1931 年，奥布莱恩受雇负责制作一部描写巨型类人猿的影片，当时，影片的名字暂定为《第八奇迹》。奥布莱恩为这只巨型类人猿设计了 18 英寸高的钢骨架，骨架由近百个零件组成。在此基础上，马歇尔·德尔加多用弹性橡胶、棉花、乳胶和兔子毛皮制作了这只巨型类人猿的外表，由此这只巨猿也有了一个响亮的新名字“金刚”。（见图 1—5）

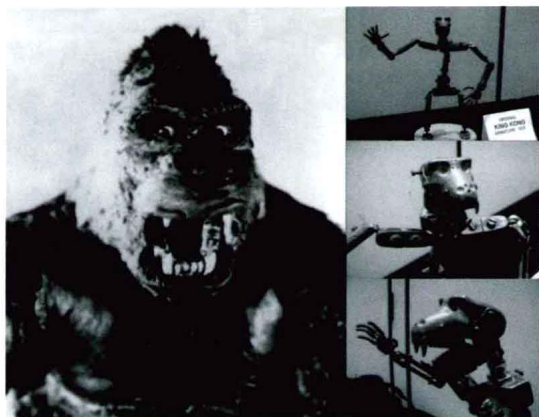


图 1—5 著名影片《金刚》(King Kong) 的主角巨型类人猿“金刚”造型和骨架结构。

然而，真正让“金刚”生动逼真地呈现在银幕上的还是威利斯·奥布莱恩精湛的逐格动画摄影术。奥布莱恩的过人之处表现在他对影片的细节的关注上，为拍摄好“金刚”的镜头，他花费了大量的精力制作布景的细节，使得影片的视觉效果看上去逼真自然。影片《金刚》的制作耗费了奥布莱恩一年的时间，该影片描述了一支探险队闯入一个神秘的海岛，遭遇到一只巨型类人猿的袭击，探险队捉住了这只巨型类人猿并将它带到纽约展出。在展出时巨型类人猿挣脱锁链，顿时，整个纽约城陷入一片恐慌。最终，巨型类人猿被射杀在帝国大厦的顶端。1933 年《金刚》上映后，创造了票房的奇迹，逐格动画摄影术所创造的魔幻般逼真的视觉效果完全征服了观众。1949 年，威利斯·奥布莱恩因其在逐格动画摄影术方面的杰出成就获得了奥斯卡终生成就奖。（见图 1—6）



图 1—6 《金刚》是最早的有关巨型猿类的影片，也是凭借逐格动画摄影术获得票房奇迹的又一部大片。图片摘自《金刚》DVD 的花絮片。

威利斯·奥布莱恩应用逐格动画摄影术在银幕上所取得的巨大成功，激励了許多人起而仿效。在众多的追随者中，年轻的瑞·哈里豪森是其中的佼佼者。1935年，瑞·哈里豪森受到威利斯·奥布莱恩邀请，参与制作另一部“金刚”影片《巨猿乔·杨》（*Mighty Joe Young*）。哈里豪森为影片中的巨型类人猿设计了16英寸高的铝制骨架，这个骨架由150个铝制部件构成。这副骨架尽管只比奥布莱恩的“金刚”矮两英寸，可是要轻便得多。尽管《巨猿乔·杨》获得的票房成绩不如《金刚》好，但是有关的专业人士普遍认为《巨猿乔·杨》与《金刚》相比在技术上有了很大的进步。

使哈里豪森真正获得业界瞩目的还是描写古希腊神话传说的影片《杰森和亚尔古的英雄们》（*Jason and The Argonauts*）。在该片里，瑞·哈里豪森创造了七个手持利剑和盾牌的骷髅士兵和真人扮演的演员进行格斗的场面，拍摄工作非常复杂，以至于他一天只能拍摄13格胶片，整个段落耗费了四个半月才完成。影片的这个段落获得了巨大的成功，成为电影史上逐格动画摄影的经典段落。（见图1—7）

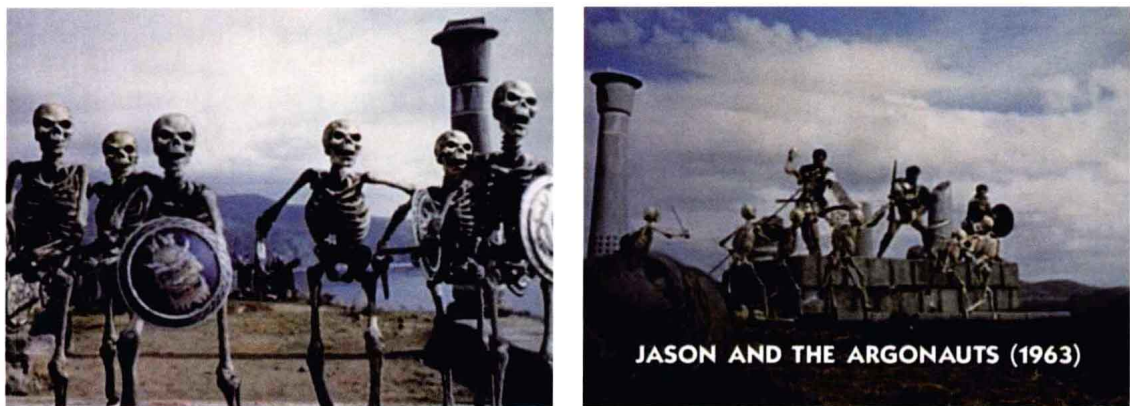


图1—7 影片《杰森和亚尔古的英雄们》，描述的是古希腊的英雄杰森和他的朋友们勇闯神秘的海岛夺取传说中的金羊毛的故事。在这个时期，逐格动画摄影术几乎就是电影视觉效果工业的代名词，这种视觉效果艺术手段影响了整整一代电影观众。图片摘选自《杰森和亚尔古的英雄们》DVD的花絮片。

在瑞·哈里豪森时代之后，领导逐格动画摄影技术进步的核心人物是菲尔·蒂皮特。菲尔·蒂皮特早年在乔治·卢卡斯的工业、光和魔术公司（ILM）工作，参与了包括《星球大战》（*Star Wars*）等影片的制作。在摄制《帝国反击战》（*The Empire Strikes Back*）中的雪地兽“堂堂”在雪原上奔跑的场景时，蒂皮特创新地应用了一种新的逐格摄影技术来模仿物体的快速运动效果，就是在每次快门开启时，让摄影机或是偶形沿一个方向做轻微的位移运动，在胶片上留下边缘模糊的影像，以此来创造逼真的雪地兽“堂堂”飞奔的镜头。这种逐格动画摄影方法称为运动模糊技巧。（见图1—8、图1—9）

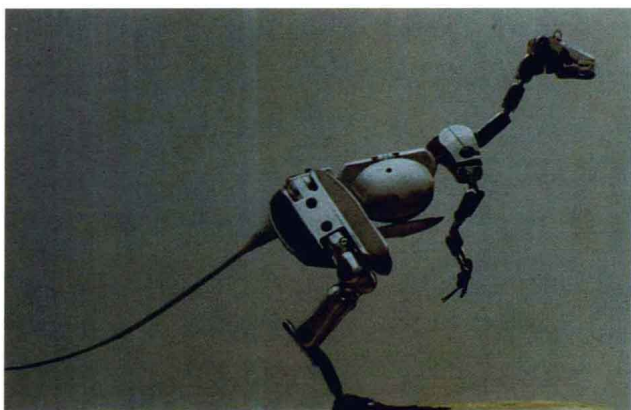
在蒂皮特的下一部影片《屠龙者》里，他把对运动模糊技巧的运用推向了一个新的高度：不只在一個方向上，而是在任意方向上添加运动模糊。为此，特效工程师斯图亚特·兹夫发明了一种复杂的动作控制装置，他称其为“活龙装置”。

这种装置主要由六根金属杆组成，四根用来控制动物的四肢，一根用来控制头，一根控制颈，所有的动作都被编制成计算机程序，由计算机控制动作，由此诞生了一种新的逐格动画拍摄方式，称为“Go-Motion”技术。



图 1—8 《帝国反击战》是乔治·卢卡斯传奇般成功的系列影片《星球大战》的第二集。霍斯星球的雪地兽“堂堂”出现在影片开始部分的第一个段落中，由逐格动画摄影术的第三代大师菲尔·蒂皮特负责制作。在这部影片中，菲尔·蒂皮特率先将 Go-Motion 概念（运动模糊效果）引进逐格动画摄影中。右图为“堂堂”的模型。图片摘自 *Industrial Light & Magic: The Art of Special Effects*。

图 1—9 “堂堂”的逐格动画模型骨架。骨架主要由金属铝材制成，经过多年的变化革新，与早期粗糙的钢质骨架相比，这个骨架已经相当精致完美了。图片摘自 *Industrial Light & Magic: The Art of Special Effects*。



从 Stop Motion 向 Go-Motion 的转变，标志着逐格动画摄影技术出现了一次质的飞跃，计算机控制技术被引进逐格动画摄影中。菲尔·蒂皮特和他的工作组运用 Go-Motion 技术将黑背景前的飞龙拍摄好，然后将其合成到预先拍好的背景中。Go-Motion 技术还将传统的逐格动画操作偶形的技术延伸到了计算机操控下的木偶技术领域里。（见图 1—10）

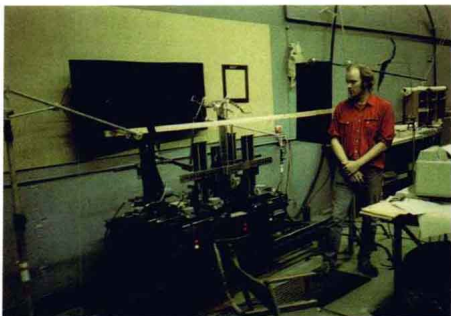
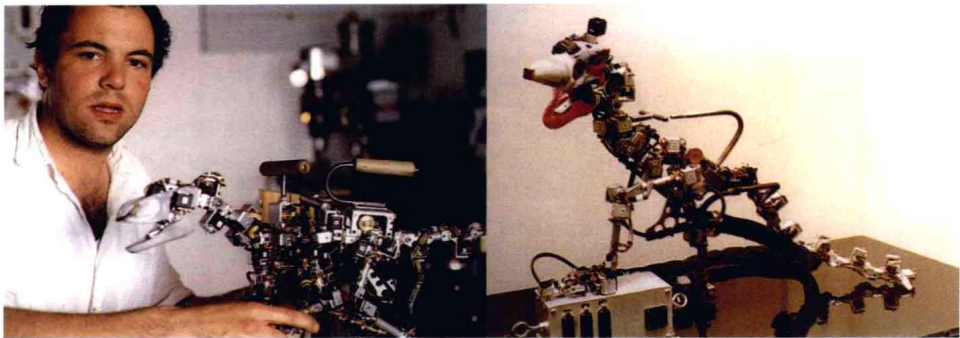


图 1—10 Go-Motion 控制系统。影片《屠龙者》是第一部运用 Go-Motion 技术制作逐格摄影动画效果的影片。图片摘自 *Industrial Light & Magic: The Art of Special Effects*。

1991 年，在制作科幻影片《侏罗纪公园》（*Jurassic Park*）的过程中，菲尔·蒂皮特又一次与他的合作者共同开发了为数字模型输入动画的新设备，即数字化动画输入设备，简称 DID。开发 DID 技术的目的是要将逐格动画师对动物动

作的模仿经验记录到计算机内，然后将它们应用到计算机制作的数字恐龙模型的动作上。事实上，DID 技术将传统的逐格动画操作偶形的技艺延伸到计算机图形技术领域里，从而实现了人对操作偶形动画的经验技巧和数字生成角色的完美结合。（见图 1—11）

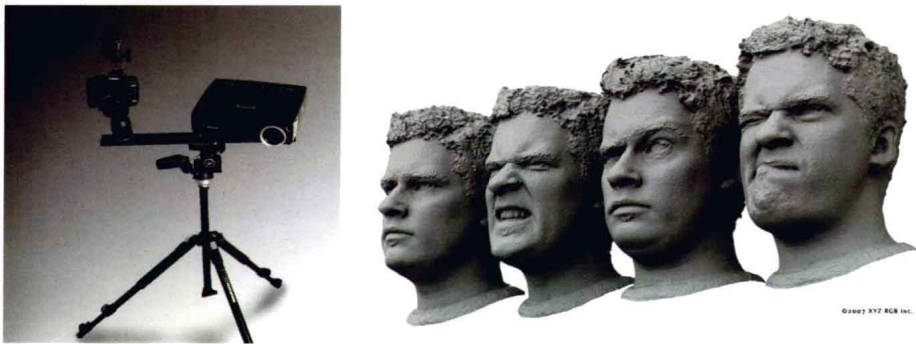
图 1—11 DID 系统实际上是一部空间动作捕捉设备，是 ILM 公司专门为制作导演史蒂芬·斯皮尔伯格的科幻大片《侏罗纪公园》而开发的。图片摘自《侏罗纪公园》DVD 的花絮片。



一直以来，逐格动画片的摄制都是一个艰巨复杂的过程，偶形的制作、逐格摄影和动画操作都需要逐格动画师付出巨大的耐心和辛劳。如今，逐格动画片的摄制引入了包含 3D 扫描、3D 造型打印、摄影控制和后期编辑制作等数字化新技术，极大地简化了逐格动画摄制过程，这些为逐格动画片摄制而开发的新技术不仅大大减轻了动画摄影师的工作强度，也拓展了逐格动画摄影的艺术表现力。

三维扫描仪系统主要由三个核心组件——校准、处理和输入输出界面组成。采用几何体系的校准系统使用的是带有棋盘格检验图案的水平校准板。它捕捉 5 到 6 个不同校准角度的点来计算系统的内在和外在的参数。强大的校准编码可以进行硬性调节获得最优化扫描分辨率，从而获得最佳的校准结果。三维扫描仪是实现三维物体造型信息数字化的一种极为有效的工具，它的引入使得逐格动画片的制作无论是角色造型还是场景道具设计都获得了巨大便利，尤其在动画创作的造型设定阶段，动画设计师可以利用这一技术在屏幕上完成整个造型的设计和调整，这样就避免了大量塑造测试模型的麻烦，由此造型师可以关注更多的细节，使角色造型获得更加丰富细腻的表现力。（见图 1—12）

图 1—12 左图是 Mephisto 三维扫描仪系统硬件设施，右图是精密的头部扫描的数据模型。这款高扫描仪的设计强调它显著的质量指标。高度灵活的、直观的光学三维扫描系统，使其能在最低限度的处理时间内快速地获得准确、高品质的扫描结果，尤其适合运动物体及静态物体的扫描。图片由北京欧雷新宇动画科技有限公司提供。



三维立体打印机是 20 世纪末出现的神奇设备，为所有需要空间实体模型的行业带来新的生机，对于逐格动画这样的领域而言更是如获至宝。有了三维立体打



印机，角色造型设计师们可以利用电脑三维软件来创造角色偶形造型，自由地创造和复制角色的各种表情，使偶形角色的动画表现力更加丰富细腻。同时布景和道具也可以用同样的方法制造和复制，这不仅大大节省了布景、道具的制作时间，而且也赋予了场景和道具设计师更多的创作自由。当然，如此出色的设备也有美中不足的一面，目前三维立体打印机的采购和使用成本非常昂贵，因此一般的小成本逐格动画片制作预算无法承受。（见图 1—13）



图 1—13 图中是 Desktop Factory 公司生产的 125CI 三维打印机。三维立体打印属于一种快速成型 (rapid prototyping) 技术，是一种由计算机辅助设计 (CAD) 数据通过成型设备以材料累加的方式制成实物模型的技术。这一成型过程不再需要传统的刀具、夹具和机床就可以打造出任意形状。它可以自动、快速、直接和精确地将计算机中的设计转化为模型，甚至直接制造零件或模具，从而有效缩短产品研发周期、提高产品质量并缩减生产成本。图片摘选自 <http://www.nytimes.com>。

传统的逐格动画片在制作移动镜头方面有着很多的限制，这很大程度上制约了逐格动画师们的创作。于是工程师们开发出了运动轨迹控制 (motion control) 系统，然而早期的 motion control 系统体积巨大，不适用于逐格动画片的摄制，经过长期研发，工程师终于开发出了适用于拍摄逐格动画片的相机/摄影机的 motion control 系统，也称作 MoCo，通过计算机程序驱动电控马达对相机/摄影机运动进行精确控制。（见图 1—14、图 1—15）



图 1—14 相机/摄影机的运动轨迹控制系统。图片由北京欧雷新宇动画科技有限公司提供。

图 1—15 相机/摄影机的运动轨迹控制系统运动轨迹控制软件界面。图片由北京欧雷新宇动画科技有限公司提供。

