

高速摄影学

〔英〕G. A. 琼斯著



上海科学技术出版社

高速摄影学

（上册）



48.5
230

高 速 攝 影 学

[英] G.A. 瓊斯著
盛 尔 鎮 譯

31455.15

上海[科学]技术出版社

內 容 提 要

高速摄影在现代科学上的应用日益广大,不論在体育运动、工程、生物、軍事、……等方面都有极大的价值。因为我們要了解一切运动的瞬时情况,非用高速摄影来解决不可,本書介紹了高速摄影历史和它的发展,以及高速摄影实际应用在各种科学方面的方法和实例,譯者除根据英文原本逐譯外,并将俄文譯本中所增加的部分資料,亦譯出編入本書,因此本書較原文更为丰富完美。本書可供研究科学摄影者作为参考。

高 速 摄 影 学

HIGH SPEED PHOTOGRAPHY

原 著 者 [英] G. A. Jones

原出版者 Chapman & Hall Ltd. 1952 年版

譯 者 盛 尔 鎮

*

上海科学技术出版社出版

(上海南京西路2004号)

上海市书刊出版业营业许可証出 093 号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

上海新华印刷厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印張 8 14/32 字数 205,000

(原科技版印 2,000 册 1958 年 7 月第 1 版)

1959 年 3 月新 1 版 1960 年 1 月第 2 次印刷

印数 1,001—2,000

統一书号: 15119·707

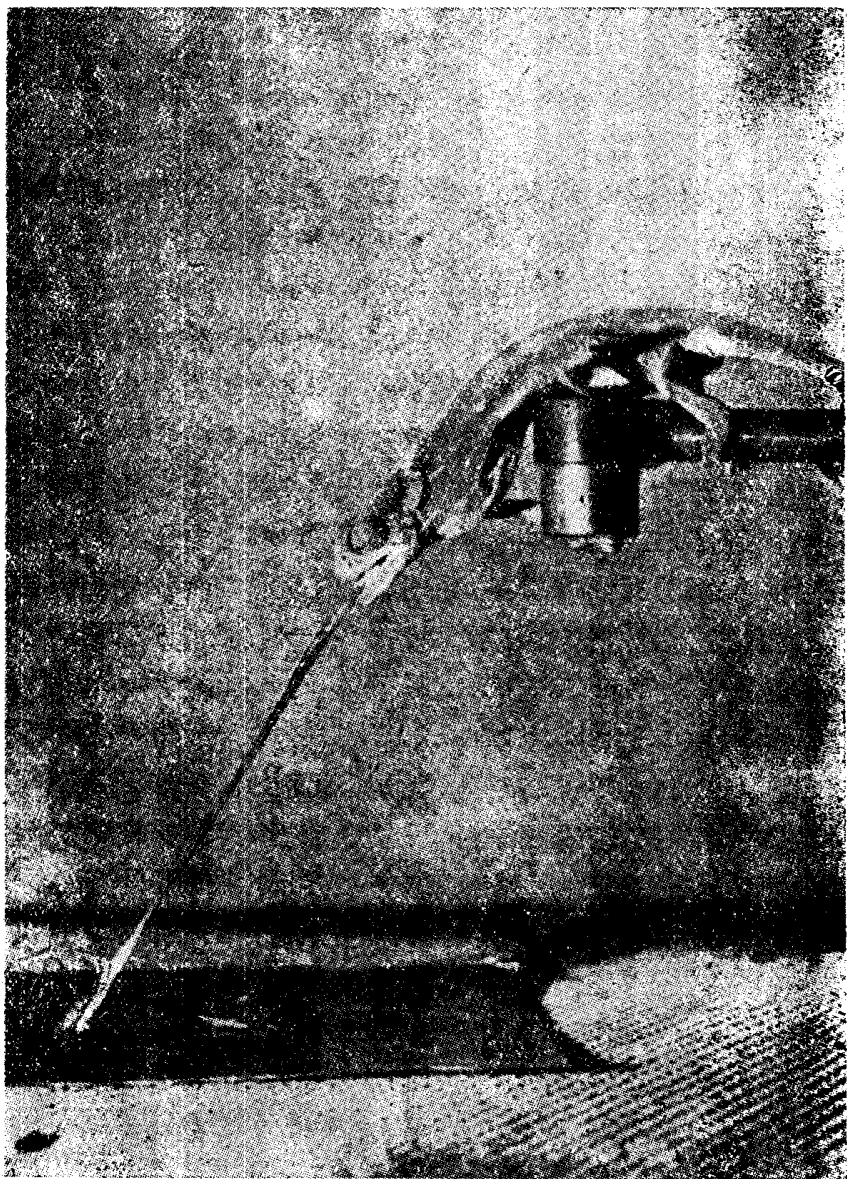
定 价: (十四) 1.40 元

前 言

摄影学是科学技术中的一个重要部門，高速摄影則是科学研究同工业生产中极重要的一种工具，因为高速摄影不但能使我们看到以极高速度变化的事物，同时还能將瞬息万变的現象記錄下来供我們进行研究。例如：应用高速摄影来研究火箭时，就可以从攝得的高速电影片同照片中看到火箭的全部发射过程，同时还能从追踪摄影的高速电影片同照片中求得火箭飞行的軌道，計算出火箭飞行的速度同加速度来。特别是近年来，随着高速机械的进展、新型閃光光源的出現，高速摄影学的发展更是一日千里。高速摄影的应用因此也就扩展到科学技术領域中的各个部門，并且成为科学研究同工业生产中不可缺少的一种工具。但是，目前有关高速摄影的文献資料却很少，而且大都是散存在各种杂志中的論文。在这些不多的資料中仅有乔治·鍾易士著的“高速摄影学的原理同应用”(George. A. Jones: High Speed Photography, It's Principles and Applications)一書比較完善，在該書中系統的叙述了高速摄影的发展历史、高速摄影的原理同技术、高速摄影机械的構造同原理以及高速摄影在科学研究、工程技术同文化教育等各方面的具体应用。此外，書中还附有一百多幅比較难得的高速摄影的照片。因此，为了配合目前国内的需要，就根据了“高速摄影学的原理同应用”編譯了本書，同时作了一些增添以便使本書更能适合广大的摄影工作者同科学技术工作者的需要。但是限于編譯者的水平，書中謬誤之处当在所难免，因此恳切的盼望讀者給予指正。

威尔鎮于北京 一九五七年十一月

03603



目 录

前言	1
第一章 概論	1
✓§1.1 高速攝影及其所討論 的範圍	1
§1.2 早期的靜片攝影	4
§1.3 麦勃里吉的工作	6
§1.4 馬列的工作	8
§1.5 火花攝影	9
§1.6 爆炸的研究	11
§1.7 电影技术的发展	11
§1.8 电光快門	13
§1.9 电影攝影机的补偿器	15
§1.10 气体放电閃光灯	17
第二章 瞬时閃光的产生	19
§2.1 簡單的火花放电	19
§2.2 改进后的火花电路	21
§2.3 电花隙	22
§2.4 气体放电管	24
§2.5 頻閃觀測器	26
✓§2.6 頻閃觀測的方法同原 理	27
§2.7 閃光灯的原理	29
§2.8 閃光管的电路	30
§2.9 电容器	33
§2.10 閃光灯的設計	35
§2.11 閃光灯的光学性能	38
§2.12 閃光灯攝影特性的測 量	41
§2.13 放射綫攝影用的閃光 管	43
第三章 高速电影攝影机的設計	45
§3.1 卷片的連續傳动	45
§3.2 閃光灯攝影机	48
§3.3 光学补偿器	49
§3.4 移动透鏡的裝置	51
§3.5 移动反射鏡的裝置	53
§3.6 移动折射鏡的裝置	55
§3.7 卷片的尺寸	57
§3.8 高速攝影机的計时方 法	58
§3.9 其他形式的攝影机	60
第四章 攝影材料	65
§4.1 感光学	65
§4.2 感光材料的速度	68

§4.3 曝光倒易律的失效.....69	§4.8 感光材料达到最高速度的方法.....76
§4.4 倒易律失效的控制.....72	§4.9 潜象的增强同影像的加强.....79
§4.5 感光乳剂的粒度.....74	§4.10 彩色摄影.....80
§4.6 摄影学中的其他效应.....75	
§4.7 摄影材料的选择.....76	
第五章 高速静片摄影.....82	
§5.1 闪光器的分类.....82	§5.6 連續閃光摄影.....96
§5.2 摄影場型的閃光灯.....82	§5.7 火花摄影的光学装置.....98
§5.3 輕便型閃光灯.....86	§5.8 克尔盒.....102
§5.4 微秒閃光灯.....88	§5.9 其他类型的电-光装置.....104
§5.5 閃光灯的激发与同步.....89	
第六章 高速电影摄影机.....107	
§6.1 高速摄影机的分类.....107	§6.7 依斯特曼 I 型同 II 型高速摄影机.....122
§6.2 文廷 HS3000 号摄影机.....109	§6.8 蔡司速攝緩映摄影机.....123
§6.3 其他形式的透鏡环摄影机.....111	§6.9 电子閃光摄影机.....125
§6.4 轉动玻璃块摄影机.....112	✓§6.10 高速摄影机的使用同维护.....127
§6.5 福斯达克斯摄影机.....113	
§6.6 柯达高速摄影机.....116	
第七章 高速电影摄影的技术.....130	
§7.1 摄影机的安置.....130	§7.7 閃光灯.....146
§7.2 画幅频率的确定.....131	§7.8 曝光的估計.....150
§7.3 摄影机与被摄制现象同步的方法.....135	§7.9 底片的显影.....152
§7.4 摄影时的照明.....136	§7.10 印片.....156
§7.5 水銀放电灯.....139	§7.11 摄影結果的放映.....156
§7.6 弧光灯.....143	§7.12 直接分析影片的方法.....160

第八章 軌迹記錄攝影机	163
§8.1 鼓輪攝影机.....	163
§8.2 記錄放電閃光的攝影机.....	165
§8.3 攝影示波器.....	167
§8.4 反射鏡攝影机.....	170
✓ §8.5 非發光物體的攝制.....	173
第九章 連續畫幅的記錄攝影机	175
§9.1 不用補償器的攝影机.....	175
§9.2 馬勒攝影机.....	179
§9.3 布林斯-雷金攝影机.....	180
§9.4 亨利攝影机.....	181
§9.5 愛克斯光電影攝影机.....	185
§9.6 影象分析器.....	185
§9.7 多孔焦面掃描器.....	187
§9.8 玻璃塊補償器.....	190
§9.9 反射鏡鼓輪.....	193
§9.10 補償的轉動反射鏡攝影机.....	198
第十章 高速攝影在科學上的應用	201
§10.1 彈道學.....	201
§10.2 彈道學的研究.....	204
§10.3 震擊試驗.....	207
§10.4 振動的分析.....	208
§10.5 火焰的研究.....	210
§10.6 爆炸同燃燒的研究.....	211
✓ §10.7 流體力學上的應用.....	213
§10.8 震擊波在固體內傳播的研究.....	217
§10.9 聲學上的應用.....	218
§10.10 物理學中的記錄攝影.....	219
§10.11 動物學上的應用.....	221
§10.12 高速顯微攝影.....	226
§10.13 植物學上的應用.....	228
§10.14 醫學上的應用.....	228
§10.15 高速攝影在教學上的應用.....	232
第十一章 高速攝影在工業技術上的應用	233
§11.1 高速攝影與機械設計.....	233
✓ §11.2 高速攝影分析的方.....	235
§11.3 機器製造上的應用.....	237
§11.4 交通運輸上的應用.....	240
§11.5 輕型機械及生產工.....	245
§11.6 其他工業上的應用.....	249
§11.7 教學訓練上的應用.....	250
§11.8 研究人的動作.....	251
§11.9 高速氣體放電閃光燈在電影工業上的應用.....	257

第一章 概論

§ 1.1 高速攝影及其所討論的範圍

高速攝影的發展歷史是與攝影學的全部歷史分不開的。從開始有攝影的時候起，或在此以前，人們就已認識到人眼在觀察以高速度在運動的事物時所受到的限制了。並且曾盡力地想找出詳細記錄高速運動事物全部變化歷程的方法，否則人們就難或者根本不可能對高速運動的事物進行分析。目前除了攝影學的本身有很大的進展外，無論是高速機械、控制系統及強力光源等都有很大的發展。因此人們有條件利用攝影技術來研究高速運動的事物了。

根據攝影學的原理，我們知道，拍攝高速運動物體的關鍵問題就是如何設法得到一個極短的曝光時間。譬如，在普通攝影工作中為了避免被攝物體的影像在底片上移動，因而使所得的影像模糊，我們便盡量地縮短曝光時間，使在極短的曝光時間內，物體影像在底片上產生的位移極小，一般在不超過成象模糊圈的直徑時，便可在底片上得到清晰的影像。在普通的攝影工作中，只要我們採用的曝光時間短到 $1/100$ 秒或 $1/250$ 秒就夠用了，如曝光時間短到 $1/1000$ 秒的攝影機，就可以進行賽馬、賽跑等新聞攝影。但是在科學研究及工程技術的領域中以極高速度在運動的事物是很多的，因此我們為了能對這些事物進行研究便需要相應地縮短曝光時間。但是在早期的研究工作中，首先的困難，是在於機構學方面不易得到一個能產生極短曝光時間的快門，其次是當時底片的感光速度很低，僅約為現代底片感光速度的百分之一。再加以

当时摄影镜头的制造技术还处在創始的阶段,例如 1840 年出品的珀茲伐 (Petzval) 人象镜头虽然成象質量較好,但是口径还是不大,至于一般摄影镜头的相对口径則大都不超过 $f/8$, 不象現代的摄影镜头不但相对口径可以增大到 $f/1.5$, 而且透鏡一般还經過加膜的处理,減低了光綫的反射損失,因此成象光綫的强度要比旧式摄影镜头的成象光綫强度增大到 30 倍以上。

但是要研究分析一个高速运动,仅仅依賴于拍攝一張滿意的、靜止的照片,还是不够的,还希望能得到一系列的連續的照片,使照片上所記錄的物体的运动过程成为時間的函数,并且可以从这些照片上將物体运动的速度及加速度推断出来。在研究这一系列的連續照片时,我們可以一幅一幅地进行研究,也可以利用电影放映机將底片放映出来,把原始的运动过程綜合在銀幕上再来进行研究。但是要拍攝一系列連續的、高速度的影片其牽涉的技术問題要比拍攝一張靜止的高速照片复杂得多。同时要將一系列高速影片以电影的形式放映出来,并且要求它把原始的高速动作以极低的速度不失真地表現出来,所需要的技术問題同样也是极其复杂的。

普通的电影片是在一卷凿有齿孔的底片上拍攝一系列靜止的照片,通常有声电影片的摄影速度为每秒鐘攝制 24 幅,无声电影片的摄影速度为每秒鐘攝制 16 幅。为了要攝制具有一系列画幅的电影片,摄影机內的底片是利用拉片爪或馬氏十字車等斷續扣鏈齿的机构来帶動的,再加以齿輪与轉动快門的配合就可使底片在曝光时靜止不动,而在一个画幅更換为另一个画幅时又正值快門关闭不使底片曝光。將这样所得的底片印成正片后,在电影放映机上以与攝影时相同的速度放映出来,則由于視觉暫留的作用便可以在銀幕上看到被攝物体的正常的連續运动。从这儿就很明显地看出,这套技术的活动性是很大的,因为我們不但可以在相当范围内变更攝影速度,同时也可以变更放映速度。但在通常的情况

下,如果放映速度太低,則視覺暫留的作用便会消失,如使放映速度增高,則又不是高速攝影所要求的範圍,因此都將放映速度固定。所以如果攝影時我們減低了攝影機的速度,放映時便可在銀幕上看見被攝制的動作在銀幕上加快地進行,相反地,如果攝影時我們用較高的攝影速度便可以在銀幕上產生物體以慢動作運動的效果。電影制片廠內為了得到一般慢動作的效果,其攝影速度僅需每秒鐘 64 幅或 128 幅。但在工程技術及科學研究工作中,所討論的運動物體大都是以極高速度運動的,因此為了能在銀幕上得到物體以慢動作運動的效果,就需要將攝影機的攝影速度加快到每秒鐘 2,000 幅或 3,000 幅。當然,在這種情況下是不能用斷續機械結構的,因為在這樣高的速度下,斷續動作中齒輪的拉力會將底片撕成粉碎。因此,一般都使底片連續運動,同時用某種方法避免曝光時由於底片移動所產生的影象的模糊。這樣我們就可以象一般靜片攝影(為了避免以後討論時混淆,我們將普通攝影及底片不動的攝影都稱為靜片攝影)一樣,用盡量縮短曝光時間的方法來避免影象的模糊,但是底片在這樣高的攝影頻率(即每秒鐘攝影的幅數)下,本身運動的速度已是很高了,如果再要用縮短曝光時間的方法來避免所得影象的模糊,就會產生光源亮度不夠,底片曝光不足的困難。

電影攝影機本身直到靜片攝影已經發展得相當完備了的時候方才出現,這主要是由於機械製造上的困難,可是值得注意的是斷續機械結構同非斷續機械結構差不多是並肩出現的,因此對高速電影攝影機來說,就無需在根本上去開展新的裝置。在很早以前就有人用光學上的補償作用,使在相當長的曝光時間內能在非斷續策動的底片上得到一幅一幅的清晰的影象。這種補償作用有的是使透鏡的運動與底片平行,這樣,透鏡,影象和底片在曝光過程中配合在一起移動,有的是利用鏡組、稜鏡組使來自透鏡的光線發生偏折,於是,在底片上所成的影象在曝光時就隨着底片一起移

动,而透鏡本身則保持不动。

根据以上所述可見高速攝影的範圍是很难严格划分的,因为人同其他动物的运动的正常攝影由于曝光時間的縮短会觉察不到地混为高速記錄攝影,而普通慢动作的电影攝影由于画幅頻率的增加会相似地混为高速电影攝影。因此为了今后討論的便利,將高速攝影所包括的範圍作一适当的規定是必要的。1938年,爱格爾頓 (Edgerton) 教授,美国麻省工学院的教授,高速攝影學方面的开拓人,曾建議將高速攝影的範圍規定为曝光時間在 $1/10,000$ 秒以下,攝影頻率在每秒 300 幅以上。但最近,美国电影工程学会則建議將高速攝影的範圍改为曝光時間在 $1/1000$ 秒以下,攝影頻率在每秒 250 幅以上(由于这規定适合于正常照相机的配备),所以已被普遍接受。

§ 1.2 早期的靜片攝影

在設計制造快門时,我們知道,如果要使快門每次所产生的曝光時間达到 $1/1000$ 秒以下,而又不严重地損失快門的效率,是相当困难的。这个問題在全部攝影史上一直是攝影学家的一个难题就在今天我們的回避方法还是和从前一样——時間非常短的一次曝光,通常完全不利用快門,而是用图1的方法,在暗室中利用一个发光時間极短的閃光灯来完成曝光的任务。不过这个难题在攝制一系列照片的工作或电影攝制工作中是不存在的,因为不只一次的曝光,我們就可以利用轉动快門了。仅管如此,但是由于方便,在攝制連續照片中仍常常采用連續閃光来代替轉动快門。最早采用这种光源的是福斯太伯特 (Fox Talbot),他在 1851 年就利用萊頓瓶的放电火花作为这种光源。虽然这个方法在取得瞬时閃光的方法中不失为一个优良的方法,但他以后并未將这一工作繼續研究下去,并且在以后的 20 年中,他在这方面的的工作也作得很少。当时广泛地流行着体視攝影,攝影工作者都希望研究出用极短的

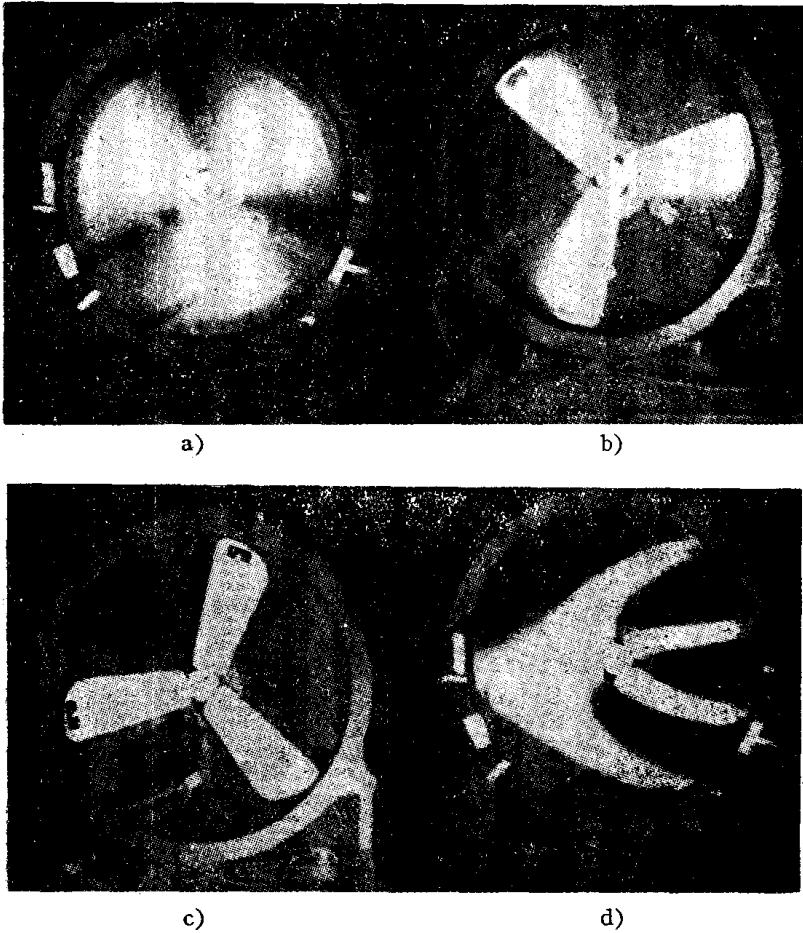


图 1. 用闪光灯拍摄的一只在高速转动着的电扇的四幅照片。图中四幅照片内,电扇的转动速度是相同的。

- a) 用发光时间约为 $1/75$ 秒的闪光泡所摄得的照片。
- b) 用发光时间约为 $1/5000$ 秒的照相馆的快速闪光泡所摄得的照片。
- c) 用发光时间为 $1/500,000$ 秒的微秒电子闪光泡所摄得的照片。
- d) 在普通灯光照明下用 $1/1000$ 秒曝光时间的焦点平面快门所摄得的照片。

曝光时间来同时拍摄二次,组成一对清晰的体视照片,但是由于当时感光材料的速度太慢,所以在这方面的进步不大。直到 1863 年阿森纳 (Woolwich Arsenal) 才开始在实验中进行利用极短的曝

光時間拍攝飛行炮彈的研究。同年荷蒙斯 (Oliver. W. Holmes) 在美州也提出了如何利用攝影的方法來取得人如何走路的報告，這對攝影工作者來說是非常重要的。1864 年哈倫 (Ducos du Hauron) 在法國提出了將攝有一系列照片軟帶由扣鏈齒、鼓輪驅動并用一組透鏡使被攝的運動重現的專利。值得指出的是在近代攝影技術的許多方面，哈倫的名字是被當作為一個先驅者的名字的。但是由於當時攝影軟片尚未發明，他所申請的專利落空了。直到 1867 年摩拉特 (Humbert de Molard) 利用一組固定的透鏡來工作才使這一裝置得以實現。

§ 1.3 麥勃里吉 (Muybridge) 的工作

麥勃里吉生於 1830 年，他研究攝影工作是从 1872 年移居美州后才開始的。他原任加里福尼亞海岸攝影測量局局長，以後從加州省長請他幫助解決賽馬勝負的裁判問題時起，他才開始進行攝影方面的工作。在此以前，法國的馬列博士 (Dr. Jules Marey) 已採用機械的裝置來解決賽馬時的勝負問題。馬列所設計的機械裝置是在每個馬蹄上附着一個橡皮球，然後用長橡皮管聯到騎師手內的記錄機構，這樣就可以測知每個馬蹄在地上停留的周期，但是這個機構不容易與馬蹄動作完全符合。馬列的實驗指出，在某些周期內，馬是只有一只足站在地上的，與藝術家所想象的一樣。不過這樣得出的結論並不為加州的省長所信服，因此他建議麥勃里吉用攝影的方法來解決這個問題。從此以後，麥勃里吉便把他的一生都致力於分析物體運動的連續攝影工作了。並且他發表了很多文章同兩本具有豐富的人同動物的運動照片的書。以後，馬列同麥勃里吉討論後，他自己也發明了一些攝影的方法。

麥勃里吉最初的工作是从 1872 年開始的，起初他安置了一系列的攝影機，並使這些攝影機一個接一個的沿着賽馬的跑道排列起來，然後在每一個攝影機的快門上接一根綫並將綫橫跨在跑道

上,当馬匹跑过跑道將綫碰断时,就使摄影机快門开放依次得到曝光。当时麦勃里吉所用的湿珂珞酞版,感光速度很慢,仅能在底片上得到馬匹的微弱外形,不过也能看清楚馬蹄的相对位置,同时还証实了馬列早期所作的工作。麦勃里吉不断地改进他的技术,最初他采用了廿四个摄影机針对着一幅白幕,以后又改用电气裝置来操縱快門。他的工作結果在 1887 年一篇以“运动着的馬”为题的論文中发表出来。此后,下一阶段的工作,就是將他所分析过的各种动物的运动重新組成起来,經過他試用各种反射鏡裝置来綜合固定在鼓輪上的長条影片上的各个画幅后,在 1879 年他发明了动画机。

动画机的構造是一个圓盤,其中可插入一系列以同心圓形排列的透明正片,然后以很快的速度把这些正片連續放映在銀幕上,很明显这就是活动影片的雛形。利用这种动画机所得的綜合影象效果很好,能給出一个动物动作的清晰影象。麦勃里吉并在 1881 年同 1882 年,在巴黎同倫敦表演动画机,同时在倫敦皇家学会利

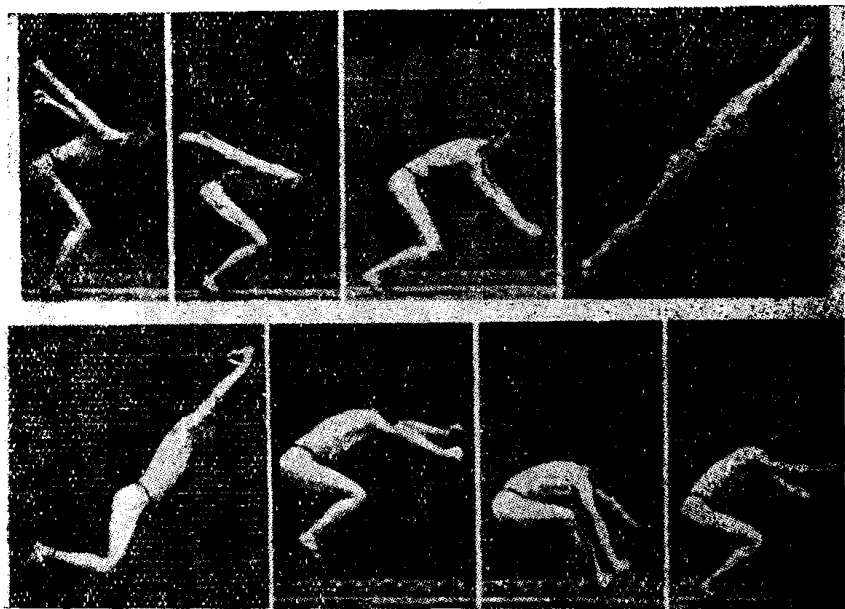


图 2. 1901 年麦勃里吉摄制的跳远动作的照片。

用电灯来放映动画机前发表了演說。

此时距麦多克斯(Maddox)发明攝影干片的时间已將近十年,但直到此时干片才被采用。当麦勃里吉发现干片的感光速度高、操縱容易等这些他所需要的优点后,他便大量地将干片用在他的攝影工作上。他平均每年要用 50,000 張干片,这些攝影結果都在 1887 年发行的“动物运动連續状态的攝影研究”一書中发表出来。全書 11 卷 781 頁,有 20,000 張运动状态的照片。图 2 所示的照片即为此書中的一幅跳远連續动作的照片。这些書由于售价太高沒有推行得很广,不过麦勃里吉的工作得到了国际上的注意。麦勃里吉于 1904 年逝世,目前还将他的原始的动画机陈列在当地的圖書館里。

§ 1.4 馬列的工作

差不多与麦勃里吉同时馬列(Dr. Jules Marey)在法国作出了拍攝飞鳥的連續照片的攝影机,这种攝影机当时称为攝影枪。攝影枪每秒钟曝光 12 次,每次的曝光时间为 $1/750$ 秒。他将所攝得的連續照片裝在頻閃观测盤上,使照片在观看时照片上的动作能被綜合起来,并在 1888 年发明了記象器,成为活动影片的另一雛形。馬列的技术与麦勃里吉不同的地方,在于馬列所获得的多次記錄是用一个攝影机同一个裝在移动板上的鏡頭来完成的,移动板是直径为 4 英尺 3 英寸的圓盤,在攝影鏡頭的前面轉动,圓盤的边緣上有一个槽,槽的寬度正好使圓盤的轉动速度为每秒十轉时每次的曝光时间大約为 $1/1000$ 秒。为了得到足够的曝光同分离的影象,他将他所要拍攝的对象,如动物等,穿上白色的衣服,并使在黑色的背景前面活动。但在某些情况下,如研究动物四肢的运动时,他又將动物的四肢复上黑色的东西,并且扣上发亮的金属箍条,或者替它們身体的适当的部分复上白色。他并不經常企图把照片分离成为一幅一幅,而讓它們保留成为一种叠上的物体运