



〔苏〕 A. C. 杜鲍维克 著

高速流逝过程 摄影记录

科学出版社

高速流逝过程摄影记录

[苏] A. C. 杜鲍维克 著

黎 雄 西 光 四 译

科 学 出 版 社

1976

内 容 简 介

本书介绍了高速流逝过程摄影记录的方法和高速摄影设备。这些方法目前在许多新的物理和技术领域（等离子区过程、爆炸过程、火箭飞行等等）的研究中获得了广泛的应用。本专著包括了高速流逝过程摄影记录的所有基本问题：摄影机的理论和计算方法，解决具体任务时摄影机的选择，研究高速过程物理参量的特殊方法等等。

本书可供物理实验工作者和光学精密机械工程技术人員阅读；也可供高等学校有关专业的高年级学生阅读。

A. C. Дубовик
ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ РЕГИСТРАЦИЯ
БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

Издательство «Наука» 1964

高速流逝过程摄影记录

〔苏〕 A. C. 杜鲍维克 著
黎 雄 西 光 四 译

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1976年5月第一版 开本：787×1092 1/32

1976年5月第一次印刷 印张：13 1/4 插页：1

印数：0001—8,950 字数：299,000

统一书号：15031·92

本社书号：443·15—4

定 价：1.40 元

译者的话

高速摄影记录作为研究高速流逝过程最有效的方法之一，目前已在科学和技术许多领域中得到广泛的应用。许多国家对于高速摄影的研究开展了大量的工作。从1952年起每二年召开一次国际高速摄影学术会议，发表有会议文集。此外，关于高速摄影的大量论文还散见于各国有关的杂志之中，但成书的不多。

遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，为批判地吸收外国有益的东西，我们翻译了这本《高速流逝过程摄影记录》。作者在书中总结了“转镜扫描”原理和其他多种高速摄影仪器的研制工作，可供从事这方面工作的人员和有关专业的大专院校师生参考。

原书印刷错误较多，我们在翻译中已作了改正。但由于我们水平所限，译文中可能还会有不少缺点和错误，希读者批评指正并提出宝贵意见。

前 言

高速摄影记录是研究高速流逝过程最有效的方法之一，在解决许多现代科学和实际问题时得到了广泛的应用。

高速燃烧和爆炸过程、冲击波在空气和水中的传播、聚合作用的现象、爆炸对土壤和建筑物的作用等等许多重要课题，都曾借助于高速摄影的方法而获得解决，这就促使炸药在各种不同技术领域中获得了最为合理的工业应用。

高速摄影广泛应用于研究火花放电、脉冲光源和高温等离子区的机理，以及研究闪电、电弧焊等。

在气体动力学和空气动力学的过程研究中，高速摄影得到日益广泛的应用，在这里，一些新的摄影方法在促使创制高速重型飞机和火箭技术方面收到了决定性的成效。

燃料在发动机和炉内燃烧问题，气体引爆问题，在汽车制造和汽轮机制造技术中，冶金技术中，化学工业以及矿石开采时的安全技术中均有重要的意义，这些问题也借助高速摄影进行研究。在研究高速运动和变形时，例如在工业和农业中高效能的机构和机器的工作和切削过程等等方面，也越来越多地应用高速摄影。

因此，高速摄影和电影摄影问题具有重大的国民经济意义。

现代的高速摄影仪器按其作用原理和结构来说是极为多种多样，并且由于它的生产已由专门的实验室而转到工厂，有越来越多的专业工作者参加了这一技术领域，因此，把有关高速摄影方法以及专用摄影仪器设计用的资料加以系统化是很

目 录

前言.....	1
概论 高速摄影方法和仪器的分类	3

第 I 部分 利用狭缝扫描 进行高速流逝过程的摄影记录

第 1 章 狭缝扫描摄影记录法	8
§ 1 摄影材料运动时的摄影记录	8
§ 2 摄影材料固定时的摄影记录	13
§ 3 过程扩展速度测定的精度	13
第 2 章 胶片运动的摄影记录仪	18
§ 4 摄影记录仪光学系统的主要参数	18
§ 5 胶片运动的摄影记录仪的类型	21
1. 鼓轮式摄影记录仪	21
2. 连续输送胶片的摄影记录仪	23
第 3 章 反射镜扫描理论	25
§ 6 反射镜扫描时象的几何轨迹	25
§ 7 摄影记录仪中胶片表面的形状	30
1. 用平面代替象的真实位置	30
2. 用正圆柱表面代替象的真实位置	31
§ 8 在反射镜扫描的一般情形中象的运动速度	34
§ 9 具有倾斜反射镜的反射镜扫描	36
§ 10 具有倾斜光束的反射镜扫描	41
§ 11 摄影记录仪中的反射镜扫描系统	44
§ 12 反射镜式摄影记录仪的鉴别率	48
§ 13 反射镜的强度和旋转时反射表面的变形	51

第 4 章 固定胶片(反射镜扫描)的摄影记录仪	57
§ 14 现代高速摄影记录仪	58
1. 苏联科学院化学物理研究所的 CΦP 型高速摄影记录仪	58
2. 苏联科学院化学物理研究所的 ЖΦP-1, ЖΦP-2 和 ЖΦP-3 等待型高速摄影记录仪	64
3. Barr & Straud 公司的高速摄影记录仪	67
4. 相对孔径 1:10 的 Brixner 狭缝摄影记录仪	68
5. 加利福尼亚大学的高速摄影记录仪	68
6. 苏联科学院地球物理研究所的 ΦP-30 等待型 高速摄影记录仪	69
§ 15 强光大高速摄影记录仪	71
1. 光力为 1:1 的摄影记录仪	71
2. NIC 等待型强光大高速摄影记录仪	72

第 II 部分 应用高速摄影机的高速流 逝过程的摄影记录

第 5 章 高速摄影机的基本参数	75
§ 16 拍摄频率、焦距、视场和全记录时间	76
§ 17 高速摄影机的光力	83
第 6 章 采用分割象相机的高速摄影	89
§ 18 分割象相机的作用原理和结构	89
第 7 章 用网格相机的高速摄影	93
§ 19 网格	95
§ 20 网格高速摄影机的基本构成原理	98
§ 21 摄影物镜出射光瞳可移动的网格高速摄影机	100
§ 22 感光层或网格作旋转运动的网格高速摄影机	104
§ 23 感光层或网格作平移运动的网格高速摄影机	106
§ 24 网格摄影机的光力	107
1. 带狭缝网格的网格摄影机的光力	107
2. 带透镜点网格的网格摄影机的光力	108
§ 25 反射镜扫描的网格高速摄影机	109

1. 网格象的反射镜扫描理论	109
a) 网格象在平面中的反射镜扫描	110
6) 网格象在柱面中的反射镜扫描	117
b) 反射镜扫描网格摄影机中的鉴别率	117
2. 反射镜扫描的网格高速摄影机	119
a) 具有线型网格的反射镜网格高速摄影机	119
6) PKC-1 型网格高速摄影机	121
b) CФP-P 型网格高速显微摄影机	123
第 8 章 使用狭缝快门摄影机的高速摄影	128
§ 26 狭缝快门高速摄影机的作用原理和基本组元	128
§ 27 狭缝快门高速摄影机	133
第 9 章 用光学象转移相机的高速摄影	139
§ 28 光学象转移高速摄影机的理论	139
1. 象转移式相机的一般结构原理	139
2. 光学系统的主要组元和外形尺寸	140
3. 象转移相机中的象移	151
4. 象转移系统中焦面形状和拍摄频率	160
5. 拍摄频率的不均匀性	165
§ 29 象转移高速摄影机的计算	170
§ 30 象转移摄影机中的等待反射镜扫描系统	174
1. 单平面反射镜(一个反射棱面)	176
2. 双平面反射镜(两个反射棱面)	177
3. 三棱反射镜	179
4. 四棱反射镜	184
§ 31 现代的光学象转移高速摄影机	189
1. 过程起点与记录起点同步的摄影机	190
CФP 高速摄影记录装置	190
2. 等待反射镜扫描相机	195
ЖЛВ-1 等待型高速摄影机	200
第 10 章 用多次反射相机的高速摄影	206

§ 32 多次反射的基本理论	207
1. 在楔形间隙中多次反射的反射镜扫描一般原理	207
2. 多次反射时光轴在空间的位置	209
3. 扫描中心的位置	212
4. 焦面的形状	214
5. 多次反射时象在空间的位置	217
6. 扫描机构的外形尺寸计算	218
§ 33 JIB-1 高速摄影机	220
§ 34 带光学加速器的 $\Phi\Pi-38$ 相机	222
第 11 章 用光学补偿相机的高速摄影	225
§ 35 用透镜补偿器补偿胶片移动的高速摄影机	226
1. 鼓轮式透镜补偿器	226
2. 带鼓轮式透镜补偿器的高速摄影机	227
3. 圆盘式透镜补偿器	229
§ 36 用棱镜补偿器补偿胶片运动的高速摄影机	230
1. 胶片运动的棱镜补偿器	230
补偿器的计算	235
2. 用棱镜补偿器补偿胶片运动的高速摄影机	236
§ 37 用反射镜补偿器补偿胶片运动的高速摄影机	240
1. 有中间象的反射镜补偿器	240
a) 作用原理	240
б) 补偿器的计算	242
в) 补偿器的工作精度	245
г) 帕斯卡尔蜗线曲率对象质的影响	247
2. 反射镜鼓轮放在外面的(在相机物镜之前)补偿器	250
a) 在多面体外表面上安置有反射镜的补偿器	251
б) 在多面体内表面上安置有反射镜的补偿器	255
3. 反射镜鼓轮放在里面的补偿器	261
a) Scophony 补偿器	261
б) 棱锥形补偿器	263
4. 屋脊形反射镜补偿器	267

第 12 章 高速摄影机中的象质	271
§ 38 确定高速摄影机中象质的计算方法	273

第Ⅲ部分 高速流逝过程 摄影记录的特殊方法

第 13 章 高速阴影摄影和干涉摄影	280
§ 39 阴影法	281
§ 40 纹理法(脉理法)	284
§ 41 干涉法	290
§ 42 阴影装置和干涉装置与高速相机的结合应用	293
1. 利用CKC-1 单物镜快速相机拍摄阴影图	293
2. 阴影装置和复杂的 CΦP 型相机结合的工作	295
3. 干涉图形的高速摄影	302
第 14 章 高速立体摄影	303
§ 43 立体视觉和立体摄影	303
§ 44 高速立体摄影	310
1. 用两台具有同一频率同步工作的快速摄影机 完成的立体摄影	310
2. 用分割视场的单台相机完成的立体摄影	311
3. 用 CΦP 型光学象转移相机完成的高速立体摄影	311
§ 45 高速立体摄影结果的处理	315
§ 46 高速流逝过程照片的投影和立体电影放映	316
第 15 章 高速光谱摄影	320
§ 47 高速摄谱仪的构成原理	320
§ 48 光谱仪器的基本特性	323
1. 棱镜	323
2. 衍射光栅	325
§ 49 用于高速光谱摄影的仪器	327
1. 胶片卷绕的光谱计时仪	327
2. 鼓轮扫描的光谱计时仪	328
3. 反射镜扫描的光谱计时仪	330

4. 电影摄谱仪	333
第 16 章 高速显微摄影	336
§ 50 显微摄影装置的构成方法及其基本组元	336
1. 高速显微摄影装置的基本组元	339
2. 高速显微摄影装置的构成方法	341
§ 51 高速显微摄影装置	343
第 17 章 高速彩色摄影	348
§ 52 彩色摄影的特点	348
§ 53 记录高速流逝过程时彩色摄影的应用	349
1. 高速彩色摄影时,仪器和胶片基本参数的选择	350
2. 提高彩色胶片感光度的方法	353
3. 高速摄影时处理彩色胶片的最合理规范	355

第四部分 高速摄影中使用的 辅助装置和材料

第 18 章 高速光闸(快门)	358
§ 54 保护快门	358
§ 55 用以快速遮盖(切断)光束的高速快门	360
1. 机电快速快门	361
2. 电动快速快门	362
3. 爆炸快门	363
4. 利用全内反射现象构成的快门	366
5. 气动高速快门	367
6. 快速遮断光束的克尔快门	368
§ 56 周期作用的高速摄影快门	370
1. 基本概念和定义	371
2. 带克尔盒的高速摄影快门	374
3. 光电转换器(象管)的高速摄影快门	375
第 19 章 旋转反射镜的高速驱动装置	380

§ 57	低频电机驱动装置	380
§ 58	高频电机驱动装置	383
§ 59	高速涡轮驱动装置	385
1.	旋转反射镜	387
2.	高速滑动轴承	389
3.	涡轮发动机的流通部分	390
4.	涡轮发动机供气 and 供油的自动系统	391
第 20 章	高速摄影中应用的摄影材料	393
§ 60	感光测定和摄影材料性质的必要知识	393
§ 61	为适合高速摄影要求改进摄影材料性能的方法	398
1.	提高胶片的感光度	398
2.	减小胶片的收缩	399
§ 62	高速摄影中所应用的摄影材料	400
参考文献		402

前 言

高速摄影记录是研究高速流逝过程最有效的方法之一，在解决许多现代科学和实际问题时得到了广泛的应用。

高速燃烧和爆炸过程、冲击波在空气和水中的传播、聚合作用的现象、爆炸对土壤和建筑物的作用等等许多重要课题，都曾借助于高速摄影的方法而获得解决，这就促使炸药在各种不同技术领域中获得了最为合理的工业应用。

高速摄影广泛应用于研究火花放电、脉冲光源和高温等离子区的机理，以及研究闪电、电弧焊等。

在气体动力学和空气动力学的过程研究中，高速摄影得到日益广泛的应用，在这里，一些新的摄影方法在促使创制高速重型飞机和火箭技术方面收到了决定性的成效。

燃料在发动机和炉内燃烧问题，气体引爆问题，在汽车制造和汽轮机制造技术中，冶金技术中，化学工业以及矿石开采时的安全技术中均有重要的意义，这些问题也借助高速摄影进行研究。在研究高速运动和变形时，例如在工业和农业中高效能的机构和机器的工作和切削过程等方面，也越来越多地应用高速摄影。

因此，高速摄影和电影摄影问题具有重大的国民经济意义。

现代的高速摄影仪器按其作用原理和结构来说是极为多种多样，并且由于它的生产已由专门的实验室而转到工厂，有越来越多的专业工作者参加了这一技术领域，因此，把有关高速摄影方法以及专用摄影仪器设计用的资料加以系统化是很

必要的。

作者根据自己和同事们十五年多以来在高速流逝过程摄影记录的光学-机械系统领域中从事工作的经验,编成这一专著,书中论述了高速摄影的方法,摄影机中所采用的光学机械结构的理论,并作为建议提出了有关高速摄影仪器设计与计算的一些实际经验。

概 论

高速摄影方法和仪器的分类

随着电影摄影的发展,出现了研究快速运动和快速过程的可能性。当观察经过某一时间间隔在感光层上记录下来的一些单张照片时,可以判断动物和人的运动特性。然而,具有24幅/秒拍摄频率的普通电影摄影不能使过程的发展在时间上拉长,而这一点在研究更快的现象时是必需的。

随着加强电影摄影机机构的性能,现已成功地将拍摄频率提高到每秒80—120幅。当在银幕上以16—24幅/秒的频率来放映这些影片时,就可在时间上延缓4—5倍,这样就可以极为详细地研究某些以比较不大的速度扩展的过程(动物的运动,体育摄影等)。

在胶片断续运动的电影摄影机中要更进一步提高拍摄频率是困难的,由于出现很大的机械过载,导致相机机构磨损和破坏。胶片断续运动的专用电影摄影机中最大拍摄频率可达250—300幅/秒。

随着各种高速流逝过程在技术中的应用,出现了提高拍摄频率的必要性,拍摄频率的提高是沿着创制与普通电影摄影不同的新方法的途径进行的。其中,除了拍摄一些单张的照片(分幅摄影)外,用狭缝切割目标象的连续摄影记录——摄影计时法得到更为广泛的应用。这种摄影记录可用以记录过程在任一个平面内的发展,这在很多情况下对于研究过程的特性和速度是足够的。

高速摄影方法的多种多样引起了将它们加以分类的必要性。很多作者^[1-4]曾经尝试将高速摄影方法和仪器进行分类。W. D. Chesterman^[1]按照拍摄频率将高速摄影用的相机分为五类：A——到 24 幅/秒——普通相机；B——到 240 幅/秒——胶片断续运动的相机；C——到 2400 幅/秒——胶片连续运动的相机；D——到 24000 幅/秒——鼓轮相机和 E——到 240000 幅/秒——火花装置。Jones^[2]将现有的相机分为胶片断续运动和连续运动的相机以及分幅摄影和不分幅摄影（狭缝扫描）的相机。Sultanoff^[3]提出将相机分成三个基本类型：靠光学机械的方法得到短时间曝光的相机，在简单光路中利用电或光电快门的相机以及带光电转换器的相机。

所有这些分类法都不能反映出在这一领域中的仪器制造的最新发展。

高速摄影方法和仪器最完善的分类，是由 A. A. Caxa-пов 提出^[4]，于 1957 年在第 I 届全苏高速摄影会议上得到赞同。这个分类法将在下面介绍，它反映了现代高速摄影方法的基本原理。它所根据的是所有高速摄影方法所共有的，并且直接和摄影过程本身有关的那些特征。在这个分类法中包括有五种摄影记录原理：

相对于感光材料是不动的象的断续（分幅）记录——在断续运动的胶片上，频率到 250—300 幅/秒的电影摄影；

象和感光材料作相对移动的象的连续记录——摄影计时法和网格摄影；

象和感光材料作相对移动的象的断续（分幅）记录——狭缝摄影和脉冲照明摄影；

由许多相同物镜构成的象的顺序（分幅）记录；

与感光材料作同步运动的象的周期（分幅）记录——补偿胶片运动的摄影。

在该分类法中还包括了单幅照片(画幅)高速(短时间)曝光的六种方法:

机械法: 利用机械快门和遮光器;

电学法: 用脉冲照明被摄目标;

光机法: 利用光束作反射镜扫描时的光学快门;

光学法: 顺序画幅曝光之间的间隔靠光线光程的长度而构成;

电(或磁)光法: 采用克尔盒或法拉第快门;

光电法: 利用光电转换器(变象管)。

还规定了被狭缝所限制的象(或网格象)的三种扫描方法:

机械法: 胶片相对于固定狭缝(网格)作机械位移;

光机法: 被狭缝所限制的象(或网格象)相对于固定胶片作反射镜扫描;

光电法: 被狭缝所限制的象(或网格象)在变象管屏上扫描。

在表1中将所有的高速摄影方法按(我们认为最合理的)次序分类列出,本书中即按这一分类组织材料。

在本书中将不讨论某些高速摄影方法,或者因为它们在其他著作中已作了很好的阐述(例如在断续运动胶片上的摄影),或者因为从光学机械系统的观点来看并不感兴趣(脉冲照明摄影)。

高速摄影的特殊形式——阴影摄影和干涉摄影、高速光谱摄影、高速立体摄影、高速显微摄影等——在本书的第三部分叙述。

高速摄影中所应用的辅助部件和材料,在本书第IV部分介绍。