

H. M. 史密斯 编

全息记录 材料

科学出版社

全息记录材料

H. M 史密斯 编

马春荣 郑桂泉 王诚华 译

科学出版社

1984

内 容 简 介

本书较全面地介绍了各种全息记录材料。内容包括基本全息理论、卤化银照相材料、重铬酸盐明胶、铁电晶体、无机光色材料、热塑材料、光致抗蚀剂等材料的特性、主要工艺及器件结构。

本书适合光学全息技术、光学信息存储、信息处理、光化学、全息记录材料等科研及工程技术人员参考,亦可供高等院校光学、光化学、应用光学等专业的师生阅读。

H. M. Smith

HOLOGRAPHIC RECORDING MATERIALS

Springer-Verlag 1977

全 息 记 录 材 料

H. M. 史密斯 编

马春荣 郑桂泉 王诚华 译

责任编辑 刘海龄

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

*

1984 年 7 月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1984 年 7 月第一次印刷 印张: 10 3/8

印数: 0001—4,400 字数: 231,000

统一书号: 15031·583

本社书号: 3605·15—4

定 价: 1.60 元

作者的话

本书根据现代电影技术的成就，阐述电影技术中有关的光学问题。由于光学设计、光学工艺和激光技术的发展以及新型电光源的不断涌现，促使“电影光学”这一应用光学学科的一个重要分支也得到了迅速的发展，因此也就有必要总结这门分支学科的理论和经验。本书内容分为摄影、取景、印片、放映、感光测定和电影新技术等几个部分，各个部分不仅总结了国内外电影光学发展的成果，也体现了作者多年从事电影光学技术研究的成果和工作心得。限于篇幅和避免重复，有关普通光学的基本原理和公式，谨请读者参阅下列图书：

1. 《光学》母国光、战元令编，人民教育出版社；
2. 《应用光学》张以谟主编，机械工业出版社。

电影光学涉及到的学科较多，在这有限的篇幅中要想全面反映、详细阐明电影光学的各个方面是不可能的，但是希望本书的出版能够对我国电影技术的现代化起一些推动作用。本书承王润文和李元康同志审阅，在此表示衷心的感谢。

由于作者理论基础和实践经验的限制，本书肯定会有不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

包学诚

1986年10月于上海交通大学

绪 言

电影是以光代笔作画的活动图象。从景物到银幕上映出影象，要经过摄影（录音）、洗印和放映等过程，这三个过程的具体内容虽然不同，但都必需依靠光的作用来完成任务。

电影的摄影过程就是把活动物体的各个动作的影象顺序地成象在胶片上。如图 1 所示，被摄物体 1 为灯光 2 所照明，从被摄物体 1 反射出来的光线射入到摄影机的摄影物镜 3 中，使被摄物体成象于胶片上，在它的感光层上形成潜影。

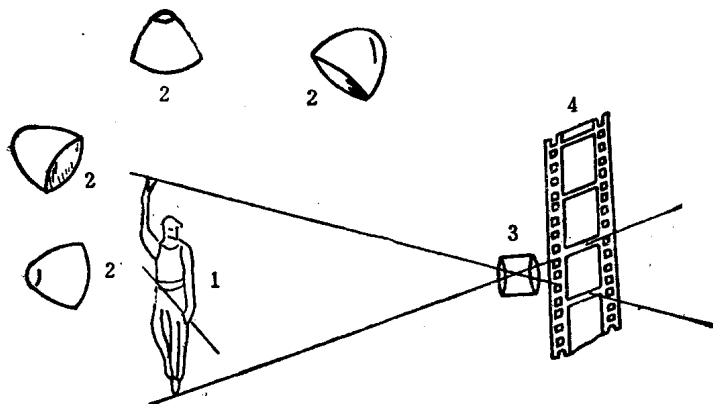


图 1

电影的洗印过程就是对胶片进行加工处理的过程，如显影、定影、使潜影显现出来，得到明暗分布与实际被摄物体相反的影象，叫作负象。然后，如图 2 所示，这个带有负象的胶片（底片）1，利用光源 3 的均匀照明，进行再一次曝光，另一条胶片 2 上

的潜影再经过加工处理，于是得到正象，这个带有正象的胶片叫做正片。也就是通常可以进行放映的电影拷贝。

电影的放映过程就是将影片安装在放映机的片窗 1 的后面，光源 2 通过聚光系统 3 照到影片上的画面，然后放映物镜 4 将当时位于片窗上的明亮画面放大并投射到银幕 5 上。如图 3 所示。

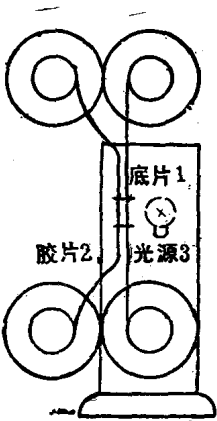


图 2

电影中声音的出现也是利用了光的作用。所谓感光录音，它的基本原理如图 4 所示，从声源发出的声波，进入传声器后，使声音的振动变为电流，通过放大再进入到调制器中，使电振动变为光振动，从调制器射出的光通量照射到电影胶片上使之感光，经过洗印以后在胶片上便得到一条波纹状的声带。还音时，利用一个激励灯泡通过聚光系统照射到声带上，由于声带上的波纹不同，透过声带的光通量时弱时强，再通过一个光电管把它变成强弱不同的电流，然后经过放大，便从扬声器中放出声音来。

大，便从扬声器中放出声音来。

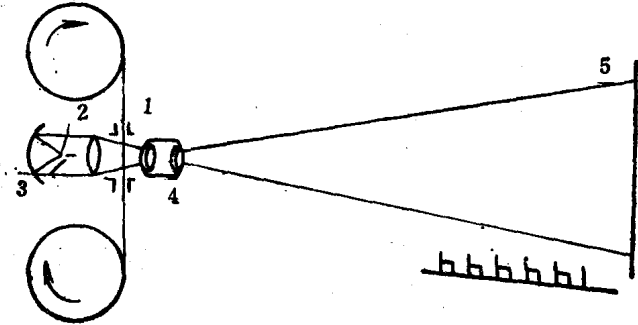


图 3

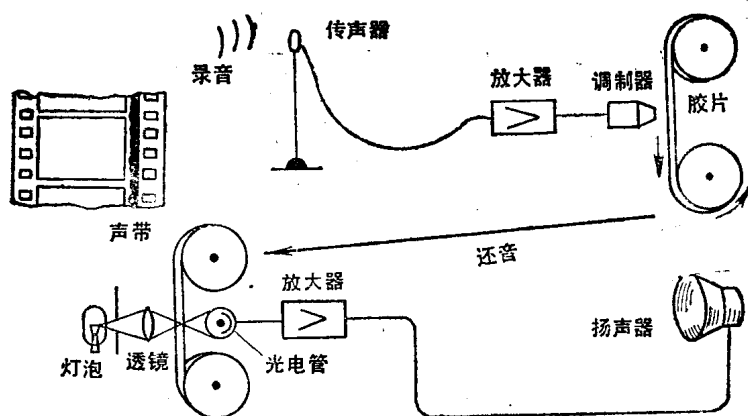


图 4

彩色在电影中的出现，除了电影胶片不同（多层彩色胶片）外，对光源、照明系统和摄影物镜都提出了更高的要求。此外，许多新型电影，如宽银幕电影、立体电影和全息电影的出现，也都是基于光的性质和光学的基本原理发展而来的。

由此可见，电影的出现和发展都是与人类对光的认识和光学的发展紧密联系在一起的。所有各种电影器材，如电影摄影机、电影印片机、电影放映机以及电影光度仪器和感光测定仪器都是根据一定的光学原理构成的，而它们的重要组成部分则是光学系统。关于光学系统的成象基本原理和物理光学基础知识，读者可以参阅有关光学书籍，这里不再作详细阐述。笔者根据电影发展的现状，就所见有关技术资料，并结合多年从事电影光学研究中的一些体会，简单扼要地论述各种电影器材和电影技术的结构原理和光学理论，帮助读者对电影光学有一个比较全面而系统的认识，更期待同行者进一步研究新的电影型式和研制新的电影器材，以解决有关电影技术中的光学问题，共同促进电影事业的发展。

本书的编著是电影光学领域里的首次尝试，主要供电影行业的工程技术人员阅读，也可以供从事应用光学研究和光学仪器设

计制造的工程技术人员以及高等院校有关专业的师生参考。由于编著者水平所限，书中缺点和错误之处在所难免，热诚希望广大读者不吝指出，以便改正。

目 录

作者的话

绪言..... (1)

第一章 电影摄影物镜..... (1)

- § 1-1 概述..... (1)
- § 1-2 摄影物镜的光束限制..... (3)
- § 1-3 摄影物镜的像面照度..... (5)
- § 1-4 摄影物镜的调焦..... (7)
- § 1-5 摄影物镜的景深..... (9)
- § 1-6 摄影物镜景深表盘的近似计算..... (13)
- § 1-7 摄影物镜的像质评价..... (15)
- § 1-8 摄影物镜的基本结构..... (21)
- § 1-9 变焦距电影摄影物镜的基本原理和结构型式..... (25)
- § 1-10 变焦距电影摄影物镜的近轴理论..... (30)
- § 1-11 变焦距电影摄影物镜的推拉摄影和特技接景..... (39)
- § 1-12 35毫米电影摄影物镜的发展和系列化..... (44)
- § 1-13 电影摄影物镜的增透和彩色还原特性..... (47)

第二章 电影摄影机的取景光学系统..... (51)

- § 2-1 概述..... (51)
- § 2-2 框式取景器..... (52)
- § 2-3 望远镜式取景器..... (55)
- § 2-4 视差及其校正..... (59)
- § 2-5 直接取景器..... (61)
- § 2-6 反光取景器..... (63)
- § 2-7 复杂的正像取景器..... (69)
- § 2-8 光学投影屏幕取景器..... (72)
- § 2-9 电视取景器..... (74)
- § 2-10 电影摄影机的内测曝光系统..... (79)
- § 2-11 电影摄影物镜的对焦..... (81)
- § 2-12 新型电影摄影机的取景测光系统..... (86)

第三章 电影放映机的光学系统..... (90)

- § 3-1 概述..... (90)
- § 3-2 照明光学系统..... (91)
- § 3-3 光源..... (99)

§ 3-4	椭球冷反光镜	(105)
§ 3-5	放映物镜	(111)
§ 3-6	放映机有效光通量的计算	(118)
§ 3-7	放映机光通量的提高及其降低原因分析	(123)
§ 3-8	放映机还音部分的照明光学系统	(130)
§ 3-9	几种典型的放映机照明光学系统	(134)
§ 3-10	银幕	(135)
§ 3-11	放映机所需的光通量	(141)
第四章	电影印片机的光学系统	(144)
§ 4-1	概述	(144)
§ 4-2	印片机光学系统的技术要求	(145)
§ 4-3	印片机光学系统的设计原理	(148)
§ 4-4	接触式印片机的照明光学系统	(150)
§ 4-5	光学印片机的光学系统	(156)
§ 4-6	声带印片机的光学系统	(163)
§ 4-7	加色法灯箱的光学系统	(166)
§ 4-8	印片机光学系统的光路计算	(170)
§ 4-9	印片机的照明技术特性	(177)
第五章	电影光度仪器和感光测定仪器的光学原理	(181)
§ 5-1	概述	(181)
§ 5-2	光度学的基本概念	(182)
§ 5-3	照度计的结构原理	(186)
§ 5-4	片窗照度计的结构原理	(189)
§ 5-5	银幕亮度计的光学原理	(193)
§ 5-6	感光仪的光学结构原理	(203)
§ 5-7	光楔	(210)
§ 5-8	密度仪的光学结构原理	(213)
第六章	电影变形光学系统	(222)
§ 6-1	概述	(222)
§ 6-2	变形光学系统的基本原理	(223)
§ 6-3	变形光学系统的类型和结构	(226)
§ 6-4	变形印片系统的光学结构	(230)
§ 6-5	变形系数可变的变形光学系统的结构原理	(232)
§ 6-6	变形光学系统的调焦	(237)
§ 6-7	变形系数的变化	(240)
§ 6-8	宽银幕电影摄影机的变形取景系统	(241)
第七章	新型电影和特种摄影的光学原理	(245)
§ 7-1	概述	(245)
§ 7-2	宽银幕电影的方法和有关光学问题	(246)
§ 7-3	全景电影的摄影和放映光学系统	(249)
§ 7-4	立体电影拍摄及放映的主要方法和原理	(254)

§ 7-5	全息电影的基本原理	(266)
§ 7-6	无间歇电影放映的光学原理	(274)
§ 7-7	水下电影摄影的几个光学问题	(278)
§ 7-8	简单的电影特技合成摄影方法	(284)
§ 7-9	电影特技活动遮片分光摄影的光学系统	(286)
结束语——电影光学技术的展望		(288)

第一章 电影摄影物镜

§1-1 概述

摄影物镜是在电影胶片上得到物体实象的光学系统。射到电影胶片上的光引起光化作用,获得潜影。胶片经过化学处理以后,即显现出影象,其暗黑的部分对应于物体上明亮的部分,而透明的部分则对应于物体上的暗黑部分,这个影象称为物体的负象。如果应用反转型感光材料,则在显影和二次曝光以后可以得到正象。

电影摄影物镜的基本光学特性和普通照相物镜一样,包括:焦距、相对孔径(入射光瞳直径与焦距之比)、视场角以及视场中的光能分布、散射光、分辨率和频率反差特性。其中前面三个指标主要表示物镜的技术特性,后面几个指标则用以评价物镜成象的质量。

摄影物镜的焦距,决定了胶片上成象的大小。在拍摄远距离的物体时,用不同焦距的物镜,可以摄得不同大小的象,焦距长的物镜,所摄得的象就大。物体的象的大小与焦距成正比(图1-1)。这可以从下列几何光学公式明显地看出:

$$y' = f' \operatorname{tg} \omega \quad (1-1)$$

式中 y' 是象的大小, ω 是视场角, f' 是焦距。

摄影物镜的焦距一般为15~100毫米,焦距再长的物镜就不常使用了。这些物镜在胶片上所成的象都是缩小的。

物镜的相对孔径决定了象的照度,摄影物镜按照相对孔径的大小可以分为:

1. 弱光物镜:它仅有很小的相对孔径,通常小于 $1/6.3$;

2. 普通物镜：它的相对孔径为 $1/6.3 \sim 1/3.5$ ；

3. 强光物镜：它具有较大的相对孔径，一般为 $1/3.5 \sim 1/1.2$ ；

4. 超强光物镜：它具有特别大的相对孔径，大于 $1/1.2$ ，甚至达到 $1/0.7$ 。

摄影物镜一般为强光物镜，也有少数是超强光物镜，因为摄影物镜是用于拍摄运动物体的。

摄影物镜相对孔径的数列采用 $\sqrt{2}$ 的等比级数，即： $1/1$ 、 $1/1.4$ 、 $1/2$ 、 $1/2.8$ 、 $1/4$ 、 $1/5.6$ 、 $1/8$ 、 $1/11$ 、 $1/16$ 、 $1/22$ 、 $1/32$ 。

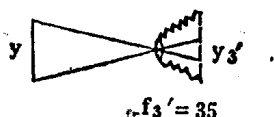
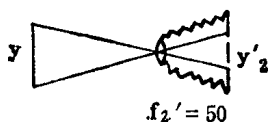
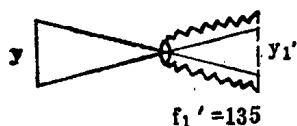


图 1-1

摄影物镜的视场角决定了底片上成象的空间大小。摄影物镜按照视场角的大小，可以分为下列几类：

1. 小视场物镜：视场角在 35° 以下；

2. 普通物镜：视场角在 $35 \sim 70^\circ$ 之间；

3. 广角物镜：视场角在 $70 \sim 100^\circ$ 之间；

4. 超广角物镜：视场角大于 100° 。

由图1-2可以看出，物镜的有效拍摄面积决定于直径为 D 的一个圆，而直径 D 则等于：

$$D = -2f'tg\omega \quad (1-2)$$

通常电影画幅是矩形的，如果矩形的两边用 a 和 b 表示，则：

$$a^2 + b^2 = D^2 \quad (1-3)$$

因为电影胶片有35毫米和16毫米以及8毫米等几种，它们相应的摄影画幅尺寸为 16×22 、 7.6×10.5 和 3.7×4.8 毫米²。

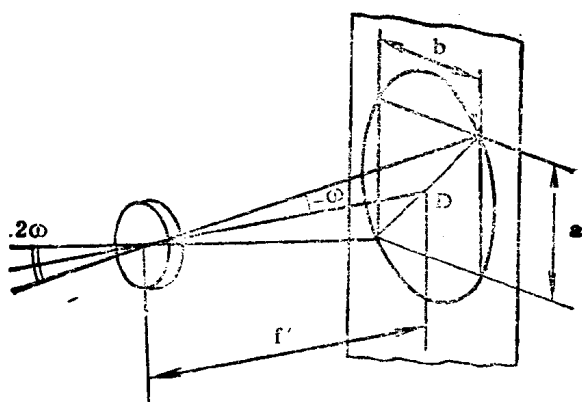


图 1-2

为了在胶片上得到高质量的影象，电影摄影物镜应具有极小的残余象差。焦距、相对孔径和视场角愈大，物镜的残余象差也愈大。经过长期的研究和实践，人们得出了一个经验公式，以表示上述三个技术特性指标之间的关系，即：

$$A \operatorname{tg} \omega \sqrt{0.01 f'} = C_m \quad (1-4)$$

式中 f' ——焦距（毫米）， A ——相对孔径， 2ω ——视场角， C_m 称为品质系数，对于现代摄影物镜，它约为 $0.24 \sim 0.5$ 。可以认为 $C_m \leq 0.24$ ，那么物镜设计容易达到较好的成象质量。这也表明了摄影物镜三个技术特性指标之间的相互制约，以及与成象质量的关系。当然，我们完全可以相信，随着新型光学玻璃的不断出现以及电子计算机应用于光学设计，今后摄影物镜的品质系数 C_m 值还会提高。

§ 1-2 摄影物镜的光束限制

在现代电影摄影物镜中都有一个孔径可以改变的光阑，称为可变光阑。这个孔径光阑起着调节象平面上光能量的作用，一般都配置在光学系统的内部。当被摄景物较亮时，可以缩小光阑孔

径；反之，当被摄景物较暗时，则可以加大光阑孔径，使象平面上的光能量不致过多或过少。

电影摄影物镜的成象范围（视场）则是由片格窗的大小所确定。超出片格窗以外的光线被遮拦，胶片就不能感光。

孔径光阑被其前面透镜在物空间所成的象称为入射光瞳，简称“入瞳”。孔径光阑被其后面透镜在象空间所成的象则称为出射光瞳，简称“出瞳”。我们在摄影物镜的正前方，隔着透镜观看物镜的可变光阑，所看到的的就是入射光瞳，而不是可变光阑本身。因此，入射光瞳的大小就是成象光束孔径的大小，入射光瞳的意义也就是它比孔径光阑更直接地决定了物方成象光束的孔径。上一节中所述及的相对孔径 A ，即为：

$$A = \frac{D_{\lambda_{\text{入}}}}{f'} = 1 : \frac{f'}{D_{\lambda_{\text{入}}}} \quad (1-5)$$

实际上，光学系统中每个光学零件的边框，如透镜的外缘，都能起着限制光束的作用。在图1-3所示的最简单的电影摄影物镜中，当透镜的直径一定时，视场角超过某一范围，成象光束就不能充满光阑孔径 PP' ，而为透镜边框所遮拦。这时透镜虽不限制轴上点成象光束的直径，但对视场边缘成象光束的直径仍有限制作用。倾斜光束的宽度要比轴上光束的宽度为小，因此在象平面上边缘部分就要比象平面中心为暗。这种现象称为“渐晕”。如果轴上光束的直径为 D ，视场角为 ω 的倾斜光束在子午平面上的光束宽度为 D_{ω} ，则

$$K = D_{\omega} / D \quad (1-6)$$

在电影摄影物镜中，常常为了拦去与理想象偏离较远的一些光线，以改善成象质量，视场边缘部分一般都有一定的渐晕。但是，视场边缘的渐晕系数通常不能小于0.5，即边缘成象光束的宽度不能小于轴上点成象光束宽度的一半。

根据上面分析，可以明显地看出，在有渐晕的情况下，倾斜光束的宽度不仅由孔径光阑决定，而且还和所有光学零件的通光孔径有关，因此“孔径光阑”更确切的定义应该是：限制轴上点或

视场中央部分成象光束直径的光阑。

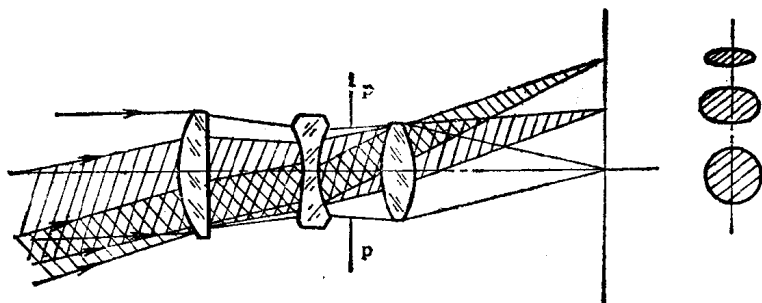


图 1-3

§ 1-3 摄影物镜的像面照度

根据几何光学理论，光束通过摄影物镜后，象面中心照度等于（公式推导从略）：

$$E = \frac{\pi B \tau}{4} \left(\frac{D_{\lambda_{\text{max}}}}{f'} \right)^2 \frac{\beta_0^2}{(\beta_0 - \beta)^2} \quad (1-7)$$

式中 E ——照度（勒克斯）；

τ ——摄影物镜的透光系数；

B ——物体亮度（尼脱）；

$D_{\lambda_{\text{max}}}/f'$ ——摄影物镜的相对孔径；

β_0 ——摄影物镜的光瞳放大率；

β ——摄影物镜的成像放大率。

如果物体位于无限远，则 $L \rightarrow -\infty$ ，物体到前焦点的距离 $x \rightarrow -\infty$ ， $\beta \rightarrow 0$ ，因而：

$$E_{L=\infty} = \frac{\pi B \tau}{4} A^2 \quad (A \text{—相对孔径}) \quad (1-8)$$

在拍摄非发光物体时，它的亮度 B 可以表示为：

$$B = \rho \frac{E_{\text{物}}}{\pi} \quad (1-9)$$

其中 $E_{\text{物}}$ ——物体照度（勒克斯）；

ρ ——物体表面的反射系数。

当物体为几个光源同时照明时（图1-4），它的照度可以按下列公式计算：

$$E_{\text{物}} = \sum_{k=1}^{k=p} \frac{I_k}{L_k^2} \cos i_k \quad (1-10)$$

式中 $E_{\text{物}}$ ——物体照度（勒克斯）；

I_k ——光源的发光强度（坎德拉）；

L_k ——光源离开物体的距离（米）；

i_k ——物体表面法线和光源光束轴方向的夹角。

由上述这些公式可以看出，电影摄影物镜的象面照度正比于它的相对孔径。

在广角电影摄影物镜中，象面边缘照度较中心为低，并且可以按照下列公式计算：

$$E_{\text{e}} = K \cos^4 \omega' E \quad (1-11)$$

式中 K ——渐晕系数；

ω' ——象方视场角的半角。

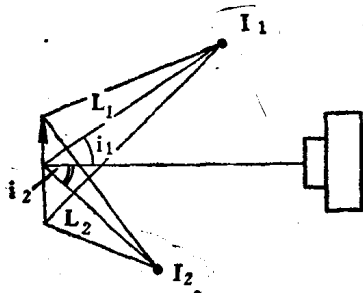


图 1-4

渐晕系数 K 与限制倾斜光束的透镜边框和孔径光阑直径有关。在广角物镜中渐晕系数还与象差有关。渐晕系数可以由光路计算或实验确定。在普通的电影摄影物镜中， K 值大约为 0.7~0.5，因而在 $\omega' = 45^\circ$ 时得到

$$E_{\text{e}} = 0.12 E$$

在广角物镜中，即使没有渐晕（ $K = 1$ ），象场边缘照度的降低可以很大，例如在 $2\omega' = 120^\circ$ 时，