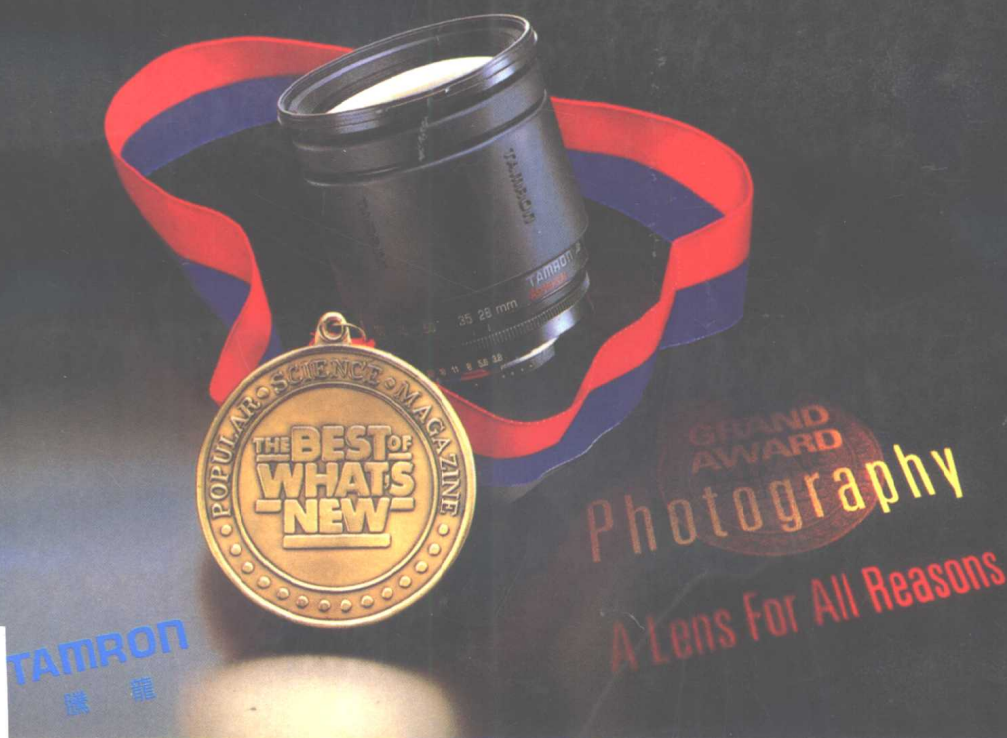


摄影镜头

的光学原理及应用技巧

包学诚 主编



上海交通大学出版社

J4
61

摄影镜头的光学原理及 应用技巧

包学诚 主编

包 政 梅 莉 编

上海交通大学出版社

摄影镜头的光学原理及应用技巧

主编 包学诚

上海交通大学出版社出版发行

上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030

电话 64281208 传真 64683798

全国新华书店经销

常熟市印刷二厂·印刷

开本: $850 \times 1168(\text{mm})$ 1/32 印张: 12.5 字数: 320 千字

版次: 1999 年 4 月 第 1 版

印次: 1999 年 4 月 第 1 次

ISBN 7-313-01969-6/TH·070

定价: 20.50 元

本书任何部分文字及图片, 如未获得本社书面同意,
不得用任何方式抄袭、节录或翻印。

(本书如有缺页、破损或装订错误, 请寄回本社更换。)

内 容 提 要

本书全面地、系统地阐述摄影镜头的光学成像理论、结构原理和应用,主要包括:摄影光学基础、摄影光学系统组成、摄影镜头基本特性、摄影镜头光度与色度基础、摄影镜头的像差与质量评定、摄影镜头的结构原理(含特殊摄影镜头、反射式摄影镜头和变焦距摄影镜头等)、各种摄影镜头的光学结构和应用、摄影镜头的性能测试和摄影镜头的特殊应用等,也简要阐述了摄影镜头的最新发展。

本书的主要特点是理论分析严谨、正确、应用阐述详尽,具体,内容丰富,涉及照相、电影、电视以及各摄影技术领域,是一本具有较高学术水准的摄影镜头著作。本书不仅可供广大艺术摄影和技术摄影专业人员和业余爱好者阅读,也是高等院校仪器仪表专业师生,以及从事摄影光学科学研究、镜头设计和制造部门科技人员的重要参考书。

前 言

摄影技术诞生迄今已有 150 多年的历史。随着科学技术的发展,摄影技术不仅是文化艺术表演形式的一种手段,而且已经成为科学实验和工业生产过程记录和再现的重要方法,目前摄影技术已经在各个不同领域里得到广泛的应用。为了适应科学技术的发展,不仅有了照相机,也出现了各种各样的摄影仪器及不同类型和光学结构的摄影物镜。当然,照相机是一切摄影仪器的基础,各种摄影物镜也都是由照相物镜演变而来的,所以照相物镜也就是摄影物镜的基础。

近百年来,我国出版的摄影图书成千上万,而阐述摄影光学、摄影物镜方面的图书则凤毛麟角,屈指可数,这些图书内容比较陈旧,有的还存在着某些概念性的错误,不能适应当今科学技术的发展。本书试图弥补这方面的不足,比较深入地、系统地论述摄影物镜的基本原理、光学结构,以及应用技术等。本书注重理论上的正确,强调应用实践,除了正确阐述光学成像理论外,还力求纠正目前某些摄影图书中的一些错误概念。本书的编著出版希望有助于读者正确掌握摄影光学理论,了解各种摄影物镜的结构原理和熟悉它们的应用技术,这对于正确发挥摄影物镜的作用,提高摄影技术水平必将是非常有益的。

本书的编写一般要求详中取简,通俗易懂。对于理解本书所述的绝大部分理论,只要求读者具备中学的数学基础,而某些高等数学公式的列出,仅为了便于阐述某个问题,它们的推导,读者可以进一步阅读参考文献所列的有关专著。

本书内容不仅无偏见地汇集和引述国内外的论著,也反映了作者这么多年来在摄影光学领域里的科研成果和工作心得。

在本书编写过程中得到董太和老师的亲切关怀和鼓励,以及吴启海、徐维铮、孙晶璋、廖荣德、黄子英、奚大榕等同志的热情帮助和支持,在此一并表示感谢!

由于作者水平有限,本书在次序安排和内容叙述方面难免出现一些错误、不妥或遗漏之处,欢迎广大读者批评指正,以便在再版时予以修正和补充。

本书如能对广大读者有所裨益,我们将感到万分欣慰。

包学诚

目 录

绪论	1
第 1 章 光的基本性质	4
§ 1-1 光是一种电磁波	4
§ 1-2 光波的波面与光线	7
§ 1-3 光的传播	8
§ 1-4 光的干涉	12
§ 1-5 光的衍射	17
§ 1-6 光的偏振	20
§ 1-7 光的粒子性	25
第 2 章 光学成像的理论基础	29
§ 2-1 物像的基本概念	29
§ 2-2 光线经过球面的折射和反射	30
§ 2-3 光线经过平面的折射和反射	36
§ 2-4 近轴区成像的放大率公式	38
§ 2-5 共轴光学系统的基点和基面	41
§ 2-6 理想光学系统成像公式	46
§ 2-7 光学系统的组合	53
§ 2-8 光学系统中的光束限制	59
第 3 章 摄影光学系统的组成	64
§ 3-1 制造光学零件用的材料	64

§ 3-2	透镜	67
§ 3-3	平行平板	71
§ 3-4	平面反射镜、球面反射镜和非球面反射镜	73
§ 3-5	反射棱镜	74
§ 3-6	折射棱镜和光楔	80
§ 3-7	菲涅耳透镜	82
§ 3-8	光学栅网	83
§ 3-9	导光管、纤维光学元件和自聚焦透镜	84
§ 3-10	摄影光学系统组成实例	87
第 4 章 光学像差和成像特性		93
§ 4-1	球差	93
§ 4-2	彗差	98
§ 4-3	像散与像面弯曲(场曲)	102
§ 4-4	畸变	106
§ 4-5	位置色差	108
§ 4-6	倍率色差	110
§ 4-7	光学系统消像差谱线的选择	111
§ 4-8	光学系统的像差特性曲线	112
§ 4-9	摄影物镜的像差容限	114
§ 4-10	摄影物镜像差校正实例	117
第 5 章 摄影的光度和色度基础		118
§ 5-1	光度学的基本概念	118
§ 5-2	光能的传递	121
§ 5-3	光能在介质分界面上及介质中的损失	123
§ 5-4	光学系统的光能损失	124
§ 5-5	摄影物镜的像面照度	126
§ 5-6	光学密度	128

§ 5-7	色度学的基本概念	129
§ 5-8	色度标准	132
§ 5-9	色度计算	138
§ 5-10	色度测量	143
第 6 章	摄影物镜的基本特性	151
§ 6-1	摄影物镜的焦距	151
§ 6-2	摄影物镜的相对孔径	155
§ 6-3	摄影物镜的视场角	158
§ 6-4	摄影物镜的透视	162
§ 6-5	摄影物镜的景深	167
§ 6-6	摄影物镜的调焦和焦深	171
§ 6-7	摄影物镜基本特性参数的制约关系	175
§ 6-8	摄影物镜的增透镀膜	177
第 7 章	摄影物镜的成像质量	181
§ 7-1	理想物镜的分辨率	181
§ 7-2	实际物镜的分辨率	185
§ 7-3	物镜的光学传递函数	188
§ 7-4	实际物镜的调制传递函数	197
§ 7-5	光学传递函数的分析计算	199
第 8 章	摄影物镜的分类、结构原理和基本型式	204
§ 8-1	摄影物镜的分类	204
§ 8-2	标准摄影物镜	206
§ 8-3	望远摄影物镜	212
§ 8-4	广角摄影物镜	217
§ 8-5	强光摄影物镜	228
§ 8-6	特殊效果的摄影物镜	232

§ 8-7 反射和折反射式摄影物镜·····	242
§ 8-8 变焦距摄影物镜·····	245
§ 8-9 摄影物镜的发展·····	256
第 9 章 摄影物镜的品种和技术性能·····	260
§ 9-1 影像载体的光学特性·····	260
§ 9-2 普通照相物镜·····	266
§ 9-3 电影摄影物镜·····	294
§ 9-4 电视摄像物镜·····	305
§ 9-5 各种技术摄影物镜·····	314
§ 9-6 航空摄影物镜和电影放映物镜·····	325
第 10 章 摄影物镜的性能测试 ·····	334
§ 10-1 摄影物镜的技术参数测量 ·····	334
§ 10-2 摄影物镜的渐晕系数和像面照度分布测量 ·····	337
§ 10-3 摄影物镜的光谱透射率测量和彩色贡献指数的确定 ·····	338
§ 10-4 摄影物镜的分辨率测试 ·····	341
§ 10-5 摄影物镜的光学传递函数测试 ·····	344
§ 10-6 摄影物镜的杂散光测试 ·····	347
§ 10-7 摄影物镜的畸变测量 ·····	348
§ 10-8 摄影物镜拍摄效果的光学诊断 ·····	350
第 11 章 摄影物镜的特殊应用 ·····	353
§ 11-1 摄影物镜的摇摄 ·····	353
§ 11-2 变焦距摄影物镜的推拉摄影和透视合成摄影 ·····	354
§ 11-3 电影特技摄影的光学系统 ·····	359

§ 11-4	水下摄影的光学系统	362
§ 11-5	立体照相和立体电影的光学原理	368
附 录		379
参考文献		384

绪 论

在光接收器的平坦(有时是弯曲)表面上形成平面或立体物体的投影影像(实像)的光学系统通常称为摄影物镜(摄影镜头,或简称镜头)。这里常用的光接收器有感光胶片、电视摄像管和电子光学变换器等。摄影物镜所成的像可以通过感光胶片和磁盘(卡)记录下来,也可以传输出去,利用一定的技术处理方法可以再现出被摄对象的轮廓和形态,以及它的各部分之间的位置关系和间距大小。目前,随着科学技术的发展,摄影技术已经在科学研究、工业生产和文化艺术等各个领域得到广泛的应用。为了适应上述各个领域的发展而出现了各种各样的摄影仪器(照相机则是摄影仪器的基础),也就有了不同类型的摄影物镜。

摄影物镜一般由光学系统和机械装置两部分组成,如图 0-1 所示。

光学系统由若干个透镜或胶合透镜(或反射镜)所组成,以构成正确的物像关系,保证获得正确、清晰的影像。光学系统是摄影物镜的核心部分。

机械装置包括固定光学元件的零件(如镜筒、透镜座、压圈、连接环等),物镜调节机构(如光圈调节环、调焦环等),曝光控制机构(如光圈叶片和自动光圈收缩机构、快门叶片和镜间快门机构),以及景深表、闪光连动机构和自拍机构等。有的摄影物镜上还有电子装置,如测光元件、自动调焦机构、自动变焦机构等。此外,与仪器连接部分,具有固定式、可拆卸式、卡口或螺纹等连接机构。总之,摄影物镜应根据摄影仪器的总体要求,具有上述部分机构或全部机构。

与某些其他光学系统不同,摄影物镜必须校正全部像差。摄

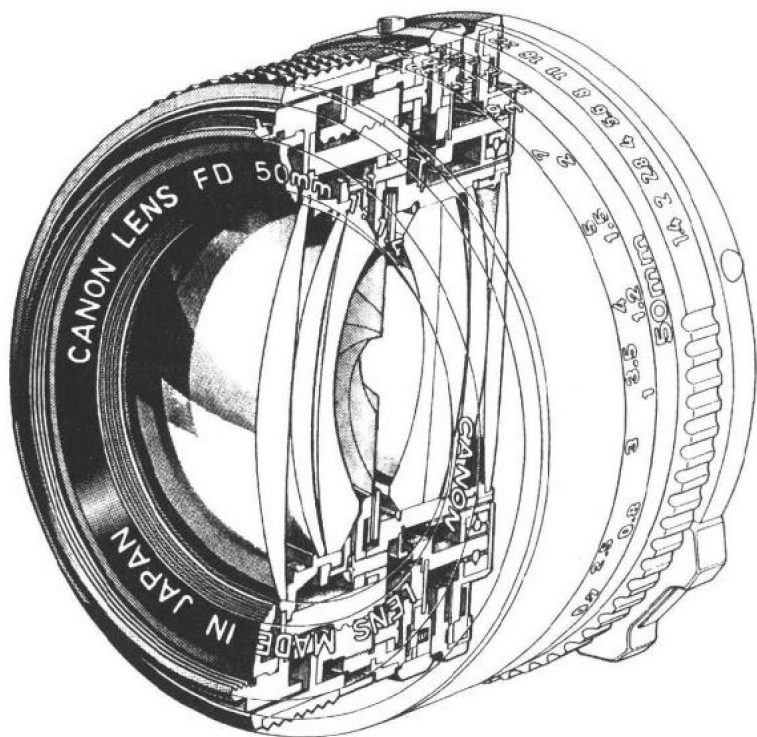


图0-1

影物镜是一切摄影仪器的最重要的部件,它的性能和品质对成像质量起着主要的作用。摄影物镜可以对无限远物体成像,也可以对有限远物体成像,而它的实像总是位于有限距离。摄影物镜的像差校正随摄影仪器的具体用途而不同。照相机、电影摄影机和电视摄像机的摄影物镜对于像差校正的要求就不完全一样。

焦距 f' 、相对孔径 D/f' 和角视场 2ω 是摄影物镜的基本特性参数。这三个特性参数可以说是摄影物镜的性能指标。摄影物镜的其他重要特性则有:分辨率、调制传递函数(MTF)、像场照度分布、光谱透光特性、积分透光系数和光散射(杂散光)等。这些特性参数可以说是摄影物镜的质量指标。

摄影物镜的焦距决定了成像比例、系统长度和它的集光能力(通常表示为相对孔径 D/f' , 这里, D 为摄影物镜的入射光瞳直径, f' 为像方焦距)。在拍摄远方物体时, 它们的像是缩小的: $y' = -f' \tan \omega$, 式中 ω 为物体 y 的角尺寸(即物体 y 对物镜入射光瞳所张的角度); 在拍摄近处物体时, 成像比例决定于线性放大率 β , 它的像 $y' = y\beta$, β 的数值可以大于、等于或小于 1; 在近似的情况下, 若物像空间介质相同, $\beta = f'/x \approx f'/l$, 这里 l 为物体离开物镜的距离, 即物距; x 为物体到物镜物方焦点 F 的距离。因此, 在物镜离开被摄体同样的距离下, 焦距愈大, 它的像也愈大。这就是为什么大比例(特写)画面要求采用长焦距物镜的原因。

按焦距划分摄影物镜, 有短焦距、中焦距(标准)和长焦距物镜。此外还有焦距连续变化的变焦距物镜, 它能在一定范围内连续改变成像比例, 可以代替几个焦距不同的物镜使用。

按用途划分摄影物镜, 除了照相物镜、电影摄影物镜和电视摄像物镜外, 还有各种技术摄影物镜, 如航空摄影物镜、精缩物镜、制版物镜、复印物镜等, 照相放大物镜和电影放映物镜也可以划归其中。它们中间, 有的是对远方物体成像, 有的则是对近处物体成像, 前者以角度表示视场大小(角视场), 后者则以长度表示视场大小(线视场)。各类摄影物镜由于影像接收器和具体使用要求不同而具有不同的性能和质量要求。

近几十年来, 由于变焦距物镜的研制成功和发展, 从而扩大了摄影物镜的使用范围, 促进了摄影艺术和摄影技术的发展。而电子计算机在光学设计中的应用, 光学零件中非球面的应用, 以及低色散高折射率光学材料的出现, 为摄影物镜的发展开辟了更广阔的前景。

第 1 章 光的基本性质

光是一种重要的自然现象。由于光与人类生活和社会实践有着密切的联系,因而光学是最早发展起来的学科之一。摄影亦是由于光学而引发诞生的。

在光学发展的历史长河中,微粒理论与波动理论争论不休。近代科学实践证明,光是个十分复杂的客体,对于它的本性问题,只能用它所表现的性质和规律来回答:光的传播行为反映了它的波动性,而光的发射和吸收都体现了它的粒子性,这就是所谓“光的波粒二象性”。任何经典的概念都不能概括光的本性。本章简要阐述光的这些基本性质。

§ 1-1 光是一种电磁波

根据麦克斯韦电磁理论,可以确信光是一种电磁现象,即波长较短的电磁波,而无线电波则是波长较长的电磁波,它们都具有反射、折射、干涉、衍射等波动性质;同理,红外线、紫外线和 X 射线等也都是电磁波,它们彼此的区别只是波长不同而已。任何波长的电磁波在真空中的速度亦都是相同的。

图 1-1 所示为电磁波谱图。在电磁波谱中,能为人眼所感受的,只是波长 $\lambda = 400 \sim 760\text{nm}$ ^① 的狭小范围,此波段内的电磁波称为可见光。与可见光波段衔接的,短波一侧是紫外线,长波一侧是红外线。习惯上,红外线又分为近红外(波长 $1 \sim 2\mu\text{m}$)、中红外($2\mu\text{m} < \lambda < 10\mu\text{m}$)和远红外($\lambda > 10\mu\text{m}$)。一般谈到“光”,常广义

① $1\text{nm} = 10^{-6}\text{mm}$

地把可见光以外波段的电磁波包括在内。

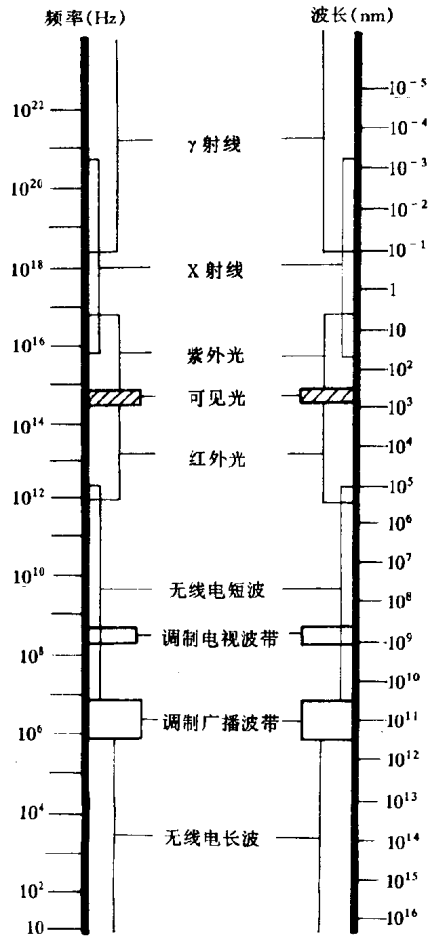


图 1-1

在可见光范围内不同波长的光引起不同的颜色感觉,波长与颜色的对应关系如下表所示:

红	橙	黄	绿	青	蓝	紫	
760	630	600	570	500	450	430	400 nm

由于颜色是随波长连续变化的,因此上述各种颜色的分界线带有人为约定的性质。

因为电磁波在真空中的速度 c 为常数:

$$c = 299792458\text{m/s} \simeq 3 \times 10^8\text{m/s},$$

因此波长 λ 和频率 ν 可以按下列公式换算出来:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}。 \quad (1-1)$$

例如,波长范围为 $400 \sim 760\text{nm}$ 的可见光,所对应的频率范围为 $7.5 \sim 3.9 \times 10^{14}\text{Hz}$ 。由此可知,光波是电磁波的一种,它是频率在特定范围内的电磁扰动在空间的传播,因此关于波动的一般概念对于光波也是成立的。

根据光的电磁理论,光的传播可以表示为与其传播方向垂直的一组正交的电场 E 和磁场 H ,如图 1-2 所示。由于在光与物质的相互作用过程中主要是光波中的电矢量起作用,所以人们常以电矢量作为光波中振动矢量的代表。电矢量与光的传播方向垂直表明光的横波性,在与传播方向垂直的二维空间里电矢量还可能有各式各样的振动状态,这就是所谓光的偏振态。

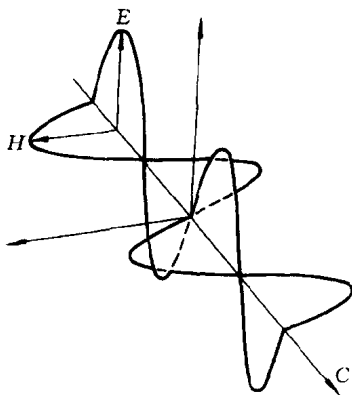


图 1-2

光的干涉是由于波叠加的结果,而光的衍射则是波的传播特