

实用照相光学

谢勤著

科学出版社

实 用 照 相 光 学

谢 勤 著

科 学 出 版 社

1 9 6 5

内 容 简 介

本书主要内容是有关照相、放大、制版、放映等物镜的光学原理和光学结构等常识,及有关光学的实用技术和计算。

本书是以比较通俗的方式,为非光学专业的工作人员提供一些有关照相的光学常识和技术知识。

本书的对象是需要使用照相机、放映器从事较精密的工作的人员。

实 用 照 相 光 学

谢 勤 著

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 117 号

北京市书刊出版业营业许可证出字第 061 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

*

1958 年 11 月 第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1965 年 12 月 第三次印刷 印张: 6 7/16

印数: 6,565—9,664 字数: 168,000

统一书号: 13031·903

本社书号: 1500·13—3

定价: [科七] 1.10 元

前 言

照相物镜在近百年来得到了很大的改进。它由简单的透镜发展成为复杂的和高度精密的结构,成为科学、技术、宣传教育、印刷和传播文化的重要工具。

照相技术得到改进之后,放大、制版和放映的技术也随之兴起。显然,这些工作与照相并无本质上的区别,因此在本书中将这些物镜放在一起讲述。但是,这些物镜的结构也不是完全相同的,它们的工作条件和要求有些差别,这些差别将在后面讲述。

关于照相的理论和技术的书籍已经出版了很多,阅读这些书籍不难得到满意的工作成绩。但是,这些书籍对照相的光学问题讲述较少。近代光学工业的发展,加之形形色色的物镜、探视器、测距器及滤光器等等的出现,要求我们多明了一些光学问题,才能对工具有较全面的认识,才能真正地改进工作。现今有关光学的书籍都比较不通俗,对照相光学的讲述较少,不能满足一般照相工作者的需要。

正因为这样,本书专门收集了一些有关照相、放大、制版及放映等等的光学知识,简单地介绍了物镜的光学、光学结构及一些实用的技术和计算。书中尽力避免数学演算,以求达到通俗而实用的目的。所以,本书虽然比普通的光学书籍易于阅读,但也有重大的缺点——各种计算公式和理论未予充分证明。读者如欲进一步了解公式和理论,仍需阅读其他的光学书籍。

本书的内容以实用的技术为主,这些技术都是光学方面的,至于有关照相的化学及艺术问题都不在本书范围之内。技术问题大多分别编写在有关的各章之内,未能编入各章的材料则都收集在第八章中。

为了使实际工作与理论能够结合起来，在这里完全使用了中国科学院编译出版委员会名词室编订的物理学名词，民间流行的术语则完全未采用。

謝 勤

1958年6月

目 錄

前言.....	v
第一章 光和物鏡.....	1
1 光.....	1
電磁波 衍射 光譜、譜綫和顏色 光綫	
2 像和物鏡.....	4
像 透鏡及焦點 主焦點和焦距 像差 物鏡 理想物鏡 像的位置和調焦	
3 物鏡的孔徑.....	9
相對孔徑 相對孔徑的標度, f 數 近距離的 f 數 相對孔徑的測定法	
4 物鏡的主焦點、節點和焦距.....	12
主焦點 節點 焦距 主焦點的測定 測節點器的裝配 節點測定法 焦距的測定法 迴轉照相機的工作原理	
5 視點位置和焦距對像的影響.....	23
物鏡的視點 視點位置和焦距對像的影響	
6 物距、像距及調焦.....	26
普通計算用的公式和計算法 調焦移動量 改變調焦範圍的方法 補充透鏡及其對調焦範圍的影響 放大和放映位置的計算 最大的放大率放映物鏡焦距的選擇	
第二章 物鏡的缺陷.....	38
7 實際物鏡中的情況.....	38
像差的改正程度 光的折射色散 透鏡的實際效能 像場 視角 第一級像差及高級像差	
8 球面像差.....	44
環帶球面像差	
9 軸綫外的像差.....	48
彗形像差 像散現象及像場彎曲 高級像散 彗形像差加像散的影響 像場各處的情形 畸變	
10 色差.....	55
軸向色差 第二級光譜 橫向色差	
11 衍射.....	59

12	光闌及像差.....	60
13	反射.....	62
	反射的損失 反射的妨害 減少反射的方法	
14	遮隱現象.....	65
第三章 清晰度及景深.....		67
15	焦深和景深.....	67
16	清晰度的標準——光斑直徑的限度.....	68
17	焦深及景深的計算.....	69
	焦深 景深 超焦距 景深的近界限和遠界限 景深表 景深標尺 景深標尺的繪製	
18	清晰度的其它標準.....	75
19	焦距對景深的影響.....	77
20	像差對景深的影響.....	78
21	景深的測定法.....	82
22	增加景深的方法.....	85
	移動物鏡和加裝透鏡 變換照明範圍 偏轉後部	
第四章 物鏡的基本類型.....		89
23	物鏡的分類.....	89
24	物鏡的光學特性.....	90
25	原始物鏡.....	93
26	珀茲伐型物鏡.....	94
27	對稱物鏡.....	96
28	三合物鏡.....	99
29	寬角物鏡.....	102
30	照相、放大及製版用的物鏡.....	105
31	放映物鏡.....	108
32	軟性焦點的物鏡.....	110
33	換裝物鏡.....	111
34	補充透鏡.....	113
35	遠距物鏡.....	116
	遠距物鏡結構的特點 透視畫的畸變 景深	
36	倒遠距物鏡.....	121

37 變焦距物鏡	122
38 反射物鏡	124
第五章 物鏡內的附屬物	127
39 物鏡框	127
40 光闌和光闌	128
41 消反光的膜	129
第六章 物鏡的檢驗	133
42 透鏡位置及物鏡位置的檢驗	133
透鏡位置 星光檢驗 透鏡位置的檢驗 物鏡位置及調焦標度的檢驗	
43 像場中心的檢驗	138
球面像差及軸向色差 光闌收縮時焦距的變化	
44 色差的檢驗	139
橫向色差 放大物鏡的橫向色差 軸向色差 第二級光譜	
45 全像場清晰度的檢驗	144
檢驗用的圖案 分辨本領 放大物鏡	
46 畸變	150
47 遮隱現象及反射	151
反射的影響	
48 物鏡的玻璃及框	152
色痕 氣泡及其他	
第七章 物鏡外的附屬物	154
49 濾光器	154
50 偏振濾光器	155
51 避光罩	160
52 聚焦屏	161
聚焦屏的構造和調焦方法 調焦標度的校對	
53 探視器	163
直接探視器 透鏡探視器 特種探視器 視差	
54 近距離照相用的框架	168
55 測距器	169
簡單的測距器 轉動或移動劈形片的測距器	
56 照明系統	172

放大器的照明系統 放映器 放映的亮度 放映用的燈及聚光器 照明系統的檢驗	
57 觀片器.....	180
熒光正像顯示器	
第八章 其他的光學技術.....	184
58 像的柔和性.....	184
59 襯度.....	187
像及相片的襯度 可變襯度的感光紙 放大器改變襯度	
60 紅外線照相.....	188
紅外線照相用的物鏡 紅外線照相用的標度	
61 體視照相.....	191
攝影 觀看相片 深度的感覺 裝置相片	
62 物鏡的保養及注意事項.....	195
長度單位換算表.....	198
參考文獻.....	198
中外名詞對照.....	198

第一章

光和物鏡

§ 1. 光

電磁波 光到底是什麼呢？自古以來對這個問題有很多答案：有人認為它是微粒，有人認為它是波。現在我們所瞭解的事實是：它同時具有微粒和波動的兩重特性。它與無線電波是相同的——同是電磁波，但是波的長度不同。由於這種差別，電磁波有的能刺激眼睛，成為我們熟知的光；有的看不見，而需用一定的器械才能發現它。

各種電磁波波長的差別很是懸殊（見圖1）。波長較長的有幾千米以上，這種波可利用無線電器械產生，需要用無線電接收器才可察覺；波長較短的有幾百米長，也有幾米長的，這種無線電波叫做短波；更短的只有幾厘米或甚至幾毫米長，這種波叫做微波。

電磁波的波長再減小到只有幾微米時，它的性質就有了很大的變化，這樣的電磁波在習慣上已不再叫它為無線電波，而叫它為紅外線。紅外線的性質很像光，可是眼睛不能感覺到它的存在；它能使我們的皮膚發熱，可用溫差電偶或測輻射熱器來察覺它，波長較短的紅外線（3—2 微米以下）可以用光電法察覺，波長在1.2 微米以下的則可使感光片發生變化。紅外線在照相術中有些特別的用途，後面我們還要講到。

波長再短的電磁波就是光。如果紅外線也可叫做光，那麼，比紅外線波長更短的應該叫做可見光，因為只有這樣的光才能被眼睛看見。在整個電磁波的系統中，可見光的波長範圍很狹小，大致的範圍約為7600至3800 埃。

比可見光更短的電磁波是紫外線，它也是眼睛看不見的光；更

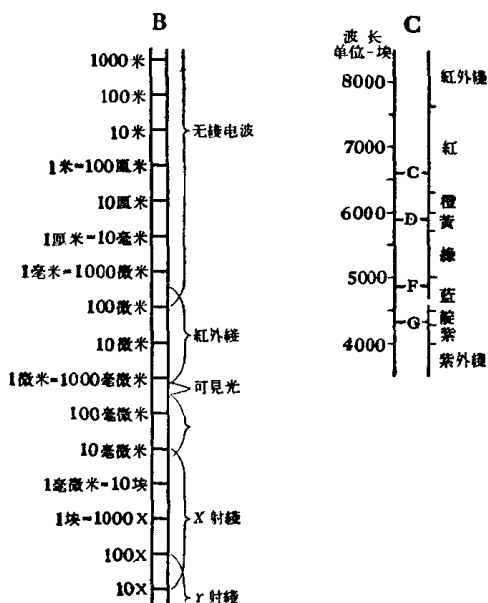
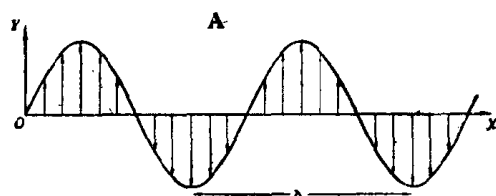


圖 1. 電磁波和光

A——光波可以用一曲線表示，其中 OX 表示它的傳播路綫，曲線表示在某瞬時內沿路各點之電場強度，電場強度向量垂直於傳播路綫。沿綫各點還有一磁場強度向量（圖中未繪出）垂直於傳播綫，並且垂直於電場強度向量。 λ 的長度就是波長。

B——電磁波的譜表。它的波長不同則性質不同，光在電磁波譜表中所佔的範圍很小，而且波長很短。

C——光的波長不同，則它在人眼中所呈現的顏色不同。

短的是 X 射綫和 γ 射綫，它的波長小至億分之一毫米。

衍射 光繞過障礙物邊緣的現象叫做光的衍射。光既然是一種電磁波，所以它與一切波動現象一樣，能繞過傳播路上的障礙物。由於光的波長極短，在日常生活中不易看到這種現象，但在一定的條件下這種現象還是可以看到的。例如一個錢幣或圓盤的影子的中心可能出現一個亮點，這就是光繞過圓盤的邊緣而造成的。這

個現象是先從理論推演而得知的，當時，人們認為這是不可能的，幾乎要把這個理論推翻，但後來用精密的實驗證明了它的存在。當光通過一個孔隙時，將孔隙縮小，衍射的現象就顯著起來。例如，當光通過小孔後，能在幕上產生物體的像。小孔愈小，則像愈清晰；但是，如果小孔過於細小，則衍射現象甚明顯，而像反而模糊。小光源在物體後面所造成的影子邊緣上有明暗交替的條紋，這是光衍射而產生的現象。

雖然光有這樣的性質，但在很多情況中，特別是在照相光學中，認為光沿直線傳播是足夠準確的。

光譜、譜綫和顏色 我們普通所看見的光是各種長度的電磁波混合而成的，波長不同的光在我們的眼睛中造成不同顏色的感覺。通常我們說顏色有五種或七種是不正確的。嚴格地說，光的波長稍有不同，它的顏色也就隨着變化。我們說紅色、黃色等等只是大致的說法：所謂紅色，實際上有很多種紅色，是很不單純的；因此，在光學問題中只說紅色或黃色是不够準確的，這只是由於我們眼睛的判別力及頭腦的記憶力有限，不能造出太多的字來代表各種顏色。為了較準確地說明顏色，需要採用別的办法。

光進入光性較密的物質中後，例如自空氣進入玻璃中後，它的傳播速度就要慢一點，傳播的方向也多有改變。方向改變的程度與它的波長有關，也就是與它的顏色有關。因此，光經過稜鏡之後，就被分離成各種顏色的光。白光經過稜鏡後如投射在白牆上，則牆上顯出各種彩色，每種顏色（也就是各種波長）的光皆有一定的位置，這個彩色圖畫就叫做光譜。

無論哪一種原子，當它被電弧、放電管或火燄等等激發後，也能發出光來。這種光常常不是白色，而是由若干種比較單純的顏色混成的。當它通過稜鏡後，它內部混合的各種顏色也能被分離開。由於這些顏色比較單純，它的光譜並不連成一片，而分為若干條細綫。前面已經說過，在光學儀器中只說紅色或黃色是不够準確的，如果說“某譜綫”則足夠精確。因為譜綫是很狹窄的，造成這個譜綫的光波波長相差很微，它的顏色很單純。圖 1C 示四條

譜綫 C、D、F、G 在光譜中的位置、顏色和波長，它們是某元素被激發而生的顯著的譜綫，在光學儀器的生產中很有用（見第 39 頁）。

光綫 在均勻物質中，光傳播所走的路是直綫的。如果光通過一小孔，孔後空氣中有灰塵，則它沿直綫傳播的事實立即可以看到。正是由於這個原因，才產生了“光綫”這個名詞。但是，按照幾何光學的說法，光綫的寬度應該是無限小，這種光綫實際上並不存在，我們無法分隔出一條真正的光綫。如將一小孔放在光的道路上，只能分隔出一束光綫（叫做光束）。如果小孔太小，光的波動性質將顯明地表現出來，它將在小孔邊緣改變方向，發生衍射的現象。孔愈小，則衍射現象愈顯著，光愈不成綫。

光的物理性質在這裏不再多說了。它在我們的生活中是很熟悉的東西，也是很難徹底說明的東西。爲了徹底明瞭宇宙和原子的秘密，光學是值得我們努力研究的科學。但爲了說明照相機和放映器，普通的幾何光學知識已經够用了。下面所講的都是幾何光學的問題和技術，與光學儀器有關的其他物理性質（如偏振及干涉）將在以後提及。

§ 2. 像 和 物 鏡

像 眼睛能够看見周圍事物的原因是它完全像一個照相機。光綫在眼睛的網膜上造成了各種物體的像，這種像被視神經感受後傳達到腦中，從而使人們能够認識周圍的事物。

除了眼睛之外，小孔也能造像。

假設有一平面（例如白紙），在它前面有一不透明的屏，屏上以細針刺一小孔，如圖 2 所示。將該兩物安排好，使之對着一個物體，物體上有光亮的和黑暗的部分，即能產生如下的情況。物體上每一亮點皆發出光綫（自發光或反射光），這些光綫有些通過針孔而在白紙上造成一個小的光斑。物體上之全部亮點皆能如此。物體某部如完全是黑暗的，則不發出光綫。這樣造成的結果如圖 2 所示。物體上每個亮點在白紙上都有一個對應的小光斑。這樣，在白紙上產生一個較模糊的物體的寫真圖畫。該圖畫是爲物體的“像”。

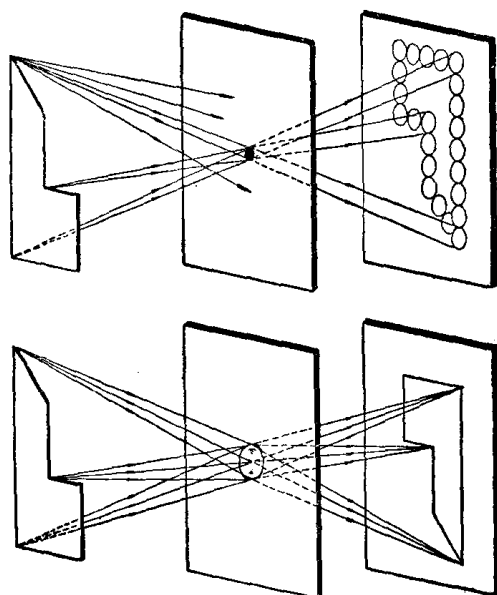


圖 2. 像與透鏡

上圖——物體上每點所發送出的光綫通過一小孔後，能在屏上造成一個光斑，各個光斑集合而成一個模糊的像。

下圖——在孔上放一個透鏡，能使發散的光束收攏，使屏上的光斑變成小點，因而可得到較清晰的像。

透鏡及焦點 任何發光點(自發光或反射光)所發出的光綫都是發散性的，通過針孔後的光綫仍然是發散性的，因此每個發光點皆在白紙上造成一光斑，如圖 2 所示。如果在孔上放置一個特別的玻璃，使通過屏孔的光綫在其中發生彎曲，使它不再發散成光斑而會聚在一點上，則可以得到較好的結果。這時物體上每一亮點都在白紙上產生一個對應的亮點，因而所成的像比較清晰鮮明。能使光綫這樣彎折的玻璃就是透鏡。

原來是發散的光綫通過透鏡後所會聚之點，名為焦點或像點。

圖 3A 所示為兩型簡單的透鏡。它們是玻璃製的，具有磨光的表面，每個表面都是球形的，各個球面的心皆應在一直綫上。圖中有一透鏡是用加拿大樹膠粘結成的複透鏡，在這透鏡中明白地畫出了一條直綫，這條直綫是透鏡的對稱軸，稱為透鏡軸綫。如果透鏡是物鏡(見第 7 頁)，則稱為物鏡軸綫。

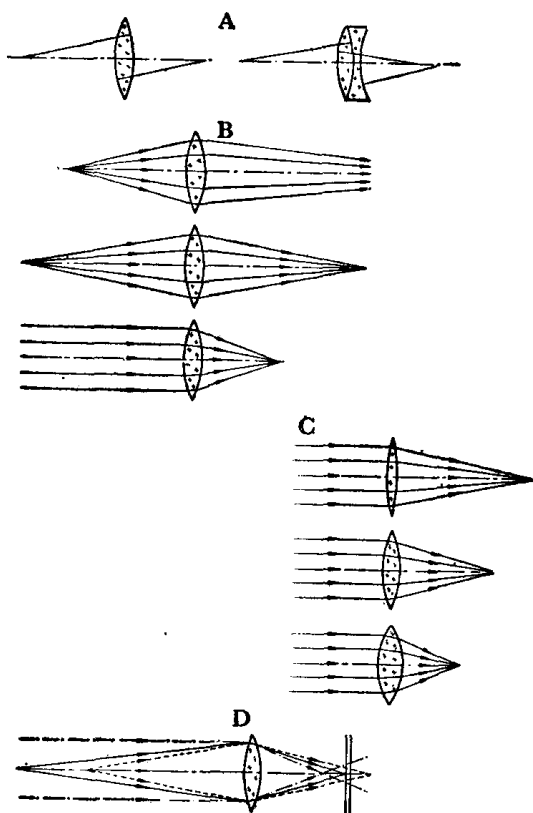


圖3. 透鏡的作用

A——最簡單的透鏡。

B——發光點越遠，則到透鏡之光線的發散角越小，它的像點越靠近透鏡。當發光點在無限遠，則像點叫做主焦點。

C——在無限遠之發光點的光線通過透鏡後的情形。可以看出，透鏡彎折光線的本領與它的形狀有關。它的表面的曲度愈大則本領愈強，本領愈強則焦距愈短。

D——當某發光點的光線聚焦在感光片上，其他各發光點如距離不同，則聚焦在感光片前後，它們只能在感光片上造成光斑。

任何個別的透鏡只能使通過它的光線產生一定量的彎折。光線到達透鏡時的發散角愈大，則在通過透鏡後的會聚角愈小，因此它的焦點愈遠(參看圖3B)。

透鏡彎折光線的本領愈大，如其它條件相同，則光線通過該透鏡後會聚之點愈近。

主焦點和焦距 透鏡所能彎折光綫的程度可用下列方法測量和比較。取一甚爲遙遠的發光點，例如太陽表面上的一點，這樣遠的發光點的光綫到達透鏡時實際上是互相平行的。調整透鏡使它的軸綫對準發光點，如圖 3 B, C 所示，則這些平行的光綫被透鏡彎折而會聚在一焦點上，這個特殊的焦點稱爲透鏡的主焦點。透鏡的折射本領愈大，則它的主焦點離它愈近。

主焦點與透鏡間的距離名爲透鏡的焦距。透鏡的重要性能就是它的彎折光綫的本領，該本領是以其焦距來衡量的。焦距愈短，則透鏡的彎折光綫的本領愈大（也有些透鏡能使光綫發散而不會聚，這些在後面再談）。

在這個定義中，沒有說清楚焦距應從透鏡的那一點量起。如從透鏡的最後一個與空氣接觸的表面起量度焦距，並不總是正確的。在 § 4 將表述一個較嚴密的定義，那裏對透鏡將有更多的說明。

像差 在此以前我們假設了透鏡能夠將一羣發散的光綫聚合在焦點上，成爲一個清晰的像點。這樣的透鏡具備了理想透鏡的性能。但是在製造透鏡時，不論是在工廠中或是在設計者的頭腦中，都認爲不可能得到這種結果。根據光的本性，從理論上可知這個問題是不能解決的。實際的透鏡皆不能將光綫聚合成一個清晰的點，而只能聚合而成個小光斑，這是透鏡的一個大的缺陷，這種缺陷叫做像差。

物鏡 前面所講的透鏡僅是單個的會聚透鏡。除了這種透鏡之外，還有發散透鏡（見圖 6 B）和複透鏡。發散透鏡不能單獨造成實像，在照相和放映工作中它只能幫助會聚透鏡，改正它們的像差和效能。若干個發散透鏡和會聚透鏡可組成複透鏡，它的效能與單個透鏡是一樣的，但像差可以比較小些。如果複透鏡是會聚性的，則它也能將發散的光綫會聚，如單個透鏡一樣。因此，前面講單個透鏡時所說的焦點、焦距等名詞及其意義皆適用於複透鏡中。

透鏡有各種各樣的用途。有專用來觀看的，叫做放大鏡或日鏡；有專用來造成實像的，叫做物鏡，在本書中只講述照相和放映

用的物鏡。物鏡可用一個透鏡做成，但爲了得到較好的效能，需要用複透鏡做成。在很多書上把照相物鏡也叫做透鏡是不很恰當的。即使它完全是用透鏡做成的，也應有專門的名稱，因此本書中仍用“物鏡”的名稱。讀者只需記住，除了特殊的物鏡是用反射鏡做成的外，物鏡就是透鏡，是專門造像的透鏡。

理想物鏡 理想的物鏡應能使任何發光點在感光片上(或聚焦屏上)的像成爲真正的點，應能使任何直線的像成爲不折不扣的直線。

任何實際的物鏡都不能達到這個理想。一個發光點的像不能成爲一點，只能是一個不大的和有限小的光斑。一條直線的像只能是一狹窄的帶，這條帶也常常不是直的，而是彎曲的。但是，如果光斑的直徑不超過0.05毫米，那麼，在我們的眼中看來，它與點並沒有區別。如果帶的寬度也很小，它的彎曲度也不顯著，按照普通的標準可以忽略不計，那麼，按照普通的標準，這個物鏡的效能就可認爲是完善的。雖然在真正嚴格的標準下，它與“完善”二字還差得很遠。

研究任何物鏡的最好方法是首先假設它是完善的，假設它能使一點的像成爲一點，一線的像成爲一線。並從這種觀點出發來說明物鏡效能的各方面的概況。

第二步是建立一個真正嚴格的標準，然後按照此標準判定物鏡離理想多遠。

第一步將在本章中講述，任何被研究的物鏡在這裏都被認爲完全接近於理想，對它們的效能也是按照完善的情況講述的。至於它們的詳細的優點缺點皆在下一章內討論。

在本章內從頭到尾都認爲物鏡能夠將它前面之發光點在感光片(或屏)上造成不折不扣的像點，將直線在感光片(或屏)上造成不折不扣的直線像。

像的位置和調焦 如果發光點(自發光或反射光)至物鏡的距離確定了，則到達物鏡上之光線的發散度是一定的，因之從物鏡出射的光線的會聚度也可確定，該發光點的像點位置也可確定。距