

學光影攝

盛爾鎮編譯

中國科學圖書儀器公司

出版

學 光 影 攝

譯 編 鎮 爾 盛

中 國 科 學 圖 書 儀 器 公 司

出 版

內 容 提 要

本書根據幾何光學的原理，比較詳細地敘述了攝影光學的應用、攝影光組的結構、光程的計算方法、像差的一般理論，並從攝影光學的觀點討論了顯影的原理、印像的原理以及底片洗印過程中機械化和自動化所依據的原則。此外還敘述了彩色攝影及電視攝影的原理及應用。

本書除適合具有一定基礎的攝影工作人員參考外，也可作為攝影專修課程的教學參考用書。

攝 影 光 學

編 譯 者 盤 爾 鎮

出 版 者 中國科學圖書儀器公司

上海延安中路 537 號 電話 64545

上海市書刊出版業營業許可證出〇二七號

經 售 者 新 華 書 店 上 海 發 行 所

★ 有 版 權 ★

P. 3-0.10

160千字 開本：(787×1092) 1/32 印張：9.5

定價：一元四角五分 1955年9月初版第1次印刷 4-1,580

前 言

隨着時代的進展，攝影學已進入了新的階段。攝影技術除了在生活記錄、教育宣傳方面有着極廣泛的用途外，在科學研究與工程技術方面亦為不可缺少的一環。天文學、物理學、化學、生物學、醫學及其他技術科學都充分地利用了攝影技術去豐富了它們的內容，同時也促進了天文攝影、顯微攝影、愛克斯光透視攝影、高速攝影、體視攝影、彩色攝影及測量攝影的發展。目前我國已有了很多攝影機構、攝影學校同攝影工作人員，但有關攝影學方面的書籍確很少，至於專門討論攝影光學的書籍就更少了。因此，編者根據目前的需要，編譯了本書。

在本書中，首先根據幾何光學的原理，比較詳細的定性的敘述了攝影光學的原理、攝影光組的結構、光組的計算方法、像差的一般理論以及攝影光組發展的過程。在敘述中，並列舉了各種典型的攝影光組的結構及光學數據，以供讀者作光組設計及計算時的參考。同時也介紹了攝影光學方面一些較新的成就，如無矽光學玻璃的數據、透鏡表面敷膜的方法、攝影機快門速度的測定方法及彩色底片密度的測定方法等。此外，又從攝影光學的觀點，敘述了顯影的原理、印像的原理及洗印過程自動化所依據的原則；討論了攝影機各種附件的原理、性能以及與攝影學有密切關係的透視原理等。由於新型曝光表及新性能感光底片的出現，攝影學中的曝光問題日趨重要，因此在本書中也作了討論。又在近世的攝影學中，彩色攝影及體視攝影都有了很大的發展和應用，故本書中也在

原理方面作了敘述。這本書除適合具有一定基礎的攝影工作者外,也可以作為高等學校專業課程教學的參考。為了避免過多的引用高等數學的計算,除少數幾節必須引用微分概念外,一般應用的公式,都避免了複雜的數學推導。

本書雖然編譯出版,但限於編者的業務水平,書中的缺點同錯誤當在所不免,因此,誠懇地盼望讀者給予批評和指正!以便再版時能得到更正。

盛爾鎮

一九五四年十一月於北京工業學院

主要參考書目

1. A. R. Greenleaf: Photographic Optics. 1950
2. C. W. Miller: Principles of Photographic Reproduction. 1948
3. A. E. Conrady: Applied Optics and Optical Design.
4. K. Hénney and B. Dudley: Handbook of Photography 1948.
5. D. A. Spencer: Colour Photography in Practice
6. F. A. Jenkins and H. E. White; Fundamental of Physical Optics.
7. P. Drude: Theory of Optics (translated by Mann and Millikan.)

目 錄

前言

主要參考書目

第一章 基本原理..... 1

1-1 光的波動說..... 1	1-5 透明平行板在光系中的作用..... 5
1-2 光的反射..... 1	1-6 光線的踪跡計算法..... 6
1-3 光的折射..... 2	1-7 色散..... 9
1-4 光的全反射..... 3	

第二章 透鏡的基本原理..... 12

2-1 薄透鏡..... 12	2-5 薄透鏡的組合..... 16
2-2 橫向放大率..... 14	2-6 厚透鏡..... 17
2-3 軸向放大率..... 16	2-7 單片厚透鏡..... 17
2-4 角放大率..... 16	2-8 厚透鏡的組合..... 20

第三章 光闌的原理..... 24

3-1 孔徑闌..... 24	3-4 景深..... 27
3-2 入射光瞳及出射光瞳..... 25	3-5 超焦距..... 29
3-3 相對孔徑..... 25	3-6 清晰點的深度..... 30

第四章 分辨率..... 31

第五章 透鏡的像差..... 37

5-1 球面像差..... 38	5-4 像場彎曲..... 43
5-2 彗星像差..... 40	5-5 影像畸變..... 44
5-3 像散性..... 42	5-6 色差..... 45

第六章 像平面上光的強度及分佈..... 49

6-1 透鏡的透明度..... 50	6-4 其他原因引起的耀光..... 54
6-2 透鏡表面反射引起的耀光..... 52	6-5 焦平面上照度的分佈..... 55
6-3 減低反射的透鏡敷膜..... 52	

第七章 光學玻璃	57
第八章 小孔成像	60
第九章 像散光組	63
9-1 單片新月形鏡頭	63
9-2 潛望鏡頭	63
9-3 雙片透鏡消色差鏡頭	64
9-4 直線性鏡頭	65
9-5 珀茲伐鏡頭	65
9-6 消差鏡頭	65
9-7 光暈鏡頭	66
第十章 無像散光組	68
10-1 全膠合無像散鏡頭	68
10-2 簡單三片透鏡鏡頭	74
10-3 兩片透鏡及一組膠合透鏡組成的無像散鏡頭	74
10-4 兩組膠合光組及一片單透鏡組成的鏡頭	77
10-5 四片不膠合透鏡組成的鏡頭	79
10-6 闊孔徑鏡頭	81
10-7 廣角鏡頭	84
10-8 望遠鏡頭	86
10-9 空中偵察攝影鏡頭	90
10-10 鏡頭的分類	91
第十一章 鏡頭的檢驗與選擇	92
11-1 鏡頭的選擇	92
11-2 影像的大小和鏡頭的焦距	92
11-3 構造形式的選擇	95
11-4 鏡頭的檢驗	96
11-5 觀察檢驗	97
11-6 鏡頭內各透鏡中心是否在同一直線上的測定	97
11-7 用線條表測量鏡頭的分辨率	98
11-8 球面像差的測定	99
11-9 彗星差像散性及像場彎曲的測定	100
11-10 畸變像差的測定	101
11-11 色差的測定	101
11-12 攝影機鏡頭焦距的測定	102
11-13 攝影機鏡頭有效孔徑的測定	103
第十二章 調焦	104
12-1 調焦機構	104
12-2 移動整個鏡頭調焦的方法	104
12-3 移動鏡頭中前組成份調焦	109
12-4 攝影機成像清晰位置的測定	109
第十三章 快門	111
13-1 快門速度及曝光效率	112
13-2 鏡間快門	113
13-3 焦面快門	119

第十四章 攝影機的附件..... 124

- | | |
|---------------------|-------------------------|
| 14-1 附加鏡頭..... 124 | 14-7 觀景器..... 137 |
| 14-2 正附加鏡頭..... 125 | 14-8 平行視差..... 137 |
| 14-3 負附加鏡頭..... 127 | 14-9 觀景器的種類..... 139 |
| 14-4 濾光鏡..... 128 | 14-10 測距器..... 141 |
| 14-5 偏振光鏡..... 134 | 14-11 測距器的基本原理..... 141 |
| 14-6 鏡頭遮光罩..... 136 | 14-12 不同形式的測距器..... 143 |

第十五章 曝光與顯影..... 146

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| 15-1 底片的曝光..... 146 | 光..... 152 |
| 15-2 底片乳劑的感光速度..... 150 | 15-6 根據物體的照度計算曝光..... 153 |
| 15-3 曝光的計算..... 150 | 15-7 顯影的原理..... 154 |
| 15-4 曝光指示圖表及曝光計算器..... 151 | 15-8 顯影時間與溫度的關係..... 159 |
| 15-5 根據物體的發光強度計算曝 | |

第十六章 透視..... 161

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 16-1 準確的透視圖形..... 161 | 16-4 人像攝影鏡頭的透視..... 167 |
| 16-2 悅目的透視..... 164 | 16-5 傾斜平面的透視..... 167 |
| 16-3 廣角透視..... 165 | |

第十七章 印像..... 173

- | | |
|----------------------|----------------------------|
| 17-1 底片的光密度..... 173 | 17-5 放映印像機必備的條件..... 178 |
| 17-2 印像的原理..... 175 | 17-6 用漫射光照明的放映印像機..... 179 |
| 17-3 接觸印像法..... 176 | 17-7 用直射光照明的放映印像機..... 180 |
| 17-4 放映印像法..... 177 | 17-8 變形影像的矯正..... 183 |

第十八章 幻燈機..... 192

- | | |
|----------------------|---------------------|
| 18-1 設計原理..... 192 | 18-3 反射幻燈機..... 196 |
| 18-2 幻燈機的檢驗..... 195 | |

第十九章 體視攝影..... 198

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 19-1 基本原理..... 198 | 19-5 體視攝影機..... 204 |
| 19-2 無形變的體視..... 199 | 19-6 體視照片的裝置..... 205 |
| 19-3 失真的體視..... 201 | 19-7 體視鏡..... 207 |
| 19-4 體視儀器及體視照片..... 203 | 19-8 體視攝影的特殊用途..... 209 |

第二十章 彩色及彩色攝影..... 211

20-1 色光.....	211	述.....	220
20-2 三色彩度的測定.....	214	20-6 加色法彩色攝影.....	221
20-3 色彩的章度及亮度.....	217	20-7 減色法彩色攝影.....	222
20-4 色光的相加和相減.....	218	20-8 光源及色溫.....	225
20-5 攝影工作中對色光特性的描			

第一章

基本原理

1-1 光的波動說 光的波動說是在假定光是一種週期性的電磁波的基礎上來解釋光學現象的，由於光波都是橫波，所以它的振動方向是與傳播方向垂直的。在光波的波列中，任一質點與最近一個同週相質點間的距離叫波長，測量光波波長的單位是毫微米或埃，一個毫微米 = 10^{-6} 毫米；一個埃 = 10^{-7} 毫米。人眼所能看見的可見光只佔整個電磁波波長範圍的很小部份，大約從波長等於 400 毫微米的極紫光到波長等於 700 毫微米的深紅光。光波中如果祇包含一種波長的電磁波時叫做單色光；如果包含幾種波長的電磁波時叫做多色光。

以後在我們討論光的折射定律、反射定律時，我們應用惠更斯原理——這個原理說光波在傳播中波陣面上的每一點都可以作為一個新波源——及費馬的極端光程定律——這個定律說光波在傳播中從一點到另一點所經過的路程是極大或極小——來解釋而不更多的考慮到光的一些幾何性質。但在作光學儀器的設計時，又都以光在同一均勻媒質內是以直線進行的光的幾何性質為基礎的，不過在討論到儀器的分辨率或其他有衍射現象發生的情況時，還是要用光的波動性來解釋。

1-2 光的反射 當光線投射在一個不透明的光滑的物質表面時，大部份的光線是按照入射角等於反射角的方向，被反射回到

原來媒質，此時入射光線、反射光線及通過入射點的法線在同一平面內，這個現象叫做光的反射。

如果物質表面是十分粗糙的，即由無數的微小的平面組成的，並分別與入射光線形成各種不同的角度時，入射光線經過反射後便被分散在各個不同的方向上，這樣的反射叫做漫射。在實際上，一切物體的表面都介於絕對反射與絕對漫射之間；同時由於物體對入射光線的吸收，沒有任何平面能將入射光的全部反射回去的。

1-3 光的折射 當光線投射在兩種透明物質的分界面時，除掉一部份光線按照光的反射定律反射回到原來媒質外；另外一部份光線就被折射進入第二媒質，此時入射光線、反射光線及折射光線在同一平面內，如圖 1-1 所示。圖中： I 表示入射光線； X 表示

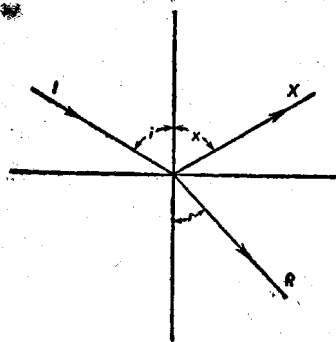


圖 1-1 反射和折射

反射光線； R 表示折射光線； i 表示入射角； x 表示反射角； r 表示折射角。

光的折射現象，是由於光在不同的媒質中、傳播速度不同所引起的結果。例如光線從第一媒質設為空氣、進入另一媒質設為玻璃時，由於光在玻璃內的速度較在空氣內低，結果光線便向通過入射點的法線彎曲。物質的折射率就是一種單色光在真空中的傳播速度與在該物質內的傳播速度的比值。

設 n 表示物質的折射率， v 及 v' 分別表示某指定波長的單色光在真空及在該物質內的傳播速度，則折射率 n 為

$$n = \frac{v}{v'} \quad (1)$$

或 $\frac{v}{v'} = \frac{\sin i}{\sin r} \quad (2)$

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} \quad (3)$$

以上三個式子是工作中常常用來計算的基本方程式，又在光線從折射率為 n 的媒質進入折射率為 n' 的媒質時，折射律需用下式來表示，即

$$\frac{n'}{n} = \frac{\sin i}{\sin r} \quad (4)$$

此即為著名的斯涅耳定律。在攝影光學中所討論到的媒質大都為空氣及玻璃，空氣的折射率接近於 1，所以我們在工作中一般地可以把它作為 1 來計算。

1-4 光的全反射 從斯涅耳定律，我們知道當光線從折射率較高的媒質進入折射率較低的媒質時，折射角可以增大到 90 度或 90 度以上。當折射角等於 90 度時，折射光線將沿着物質的分界面進行；到折射角大於 90 度時，全部入射光線均被反射回到原來媒質。使折射角等於 90 度的入射角，叫做臨界角。

將斯涅耳定律所表現的方程式變為 $\sin r = \frac{n \sin i}{n'}$ 的形式，如 n 大於 n' ，在 $r = 90^\circ$ 時，它的正弦等於 1 即 $\frac{n \sin i}{n'} = 1$ ，故 $\sin i = \frac{n'}{n}$ 。因此，臨界角的正弦等於兩媒質折射率的比值。如果光線從折射率為 n 的玻璃進入空氣時，臨界角的正弦等於 $\frac{1}{n}$ 。

光的全反射原理在光學儀器中應用最廣的是全反射稜鏡，因為全反射稜鏡折射光線時，反射表面不吸收光線，因而可以避免像金屬平面反射光線時的那種吸收損失。

菲涅耳假定自然光或非偏振光是包括兩個相等並互相垂直的兩個振動部份，推導出光在兩個透明媒質的分界面上反射時，其強度的變化有以下的關係：

設 I_0 表示入射光的強度； I 表示反射光的強度，則振動方向在入射面內的反射部份為

$$\frac{I}{I_0} = \frac{\sin^2(i - r)}{\sin^2(i + r)} \quad (5)$$

同樣在振動方向與入射面垂直的平面上的反射部份為

$$\frac{I}{I_0} = \frac{\tan^2(i - r)}{\tan^2(i + r)} \quad (6)$$

由於自然光的每一偏振部份只有實際強度的一半，故反射後的強度為

$$\frac{I}{I_0} = \frac{\sin^2(i - r)}{2\sin^2(i + r)} + \frac{\tan^2(i - r)}{2\tan^2(i + r)} \quad (7)$$

如第一媒質為空氣，折射率等於 1；第二媒質為玻璃，折射率等於 n ，當入射光線與反射面垂直時，上式可化簡為

$$\frac{I}{I_0} = \frac{(n - 1)^2}{(n + 1)^2} \quad (8)$$

式(8)在計算空氣中的玻璃面如透鏡、濾光鏡等，對光線的反射損失時有很大的實用價值。當入射光線所採取的角度使 $(i + r)$ 等於 90 度時， $\tan(i + r) = \infty$ ， $\tan^2(i - r)/2\tan^2(i + r) = 0$ 。因此，反射光僅有式(7)中的第一項，即祇有在入射平面內的偏振部份。如反射玻璃的折射率為 1.50，根據以上的討論，可以算出構

成全部偏振時入射光線的入射角度為 56 度 20 分。實際上玻璃表面不能絕對光滑；玻璃內部也不可能毫無雜質，由於這些因素對光的偏振性的破壞，因此，反射光線不是絕對平面偏振的。

1-5 透明平行板在光系中的作用 當光線傾斜投射在兩面互相平行的透明媒質時（如玻璃板等），透射光線將根據入射角度、透明物質的厚度和折射率作相當的位移，其方向與原投射光線方向平行。如入射光線是垂直投射在透明物質的表面時，入射光線將一直的通過媒質而不發生任何位移與偏向。因此在一光系中，插入一片厚度為 t ，折射率為 n 的平面玻璃板時，將有如圖 1-2 所示的結果。

從發光點 P 發出的光線經過玻璃板時，與玻璃表面垂直的光線 A 通過玻璃板後，不偏向亦不變曲。從 P 點發出的另外一條光線 B ，以一個不大的角度傾斜投射在玻璃板上，經過兩個分界

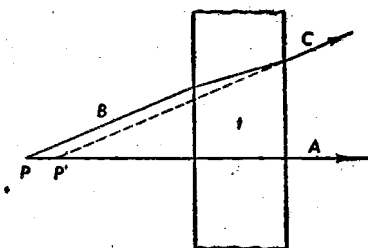


圖 1-2 平玻璃板的光學厚度

面的折射後，以 C 的方向射出，用虛線將 C 延長與 PA 交於 P' ，再根據斯涅耳定律及簡單的幾何計算後，得到下式，並可用以計算 PP' 。

$$PP' = \frac{t(n-1)}{n} \quad (9)$$

在攝影工作中，使用濾光鏡或作其他類似的工作時，以上的情況必須考慮在內。

1-6 光線的踪跡計算法 一般的光學表面，大都為平面或球面。因此，在計算光線經過球面的折射時，就成為幾何光學中的一個主要部份。光線的踪跡計算法的基本原理可以用圖 1-3 來說明。

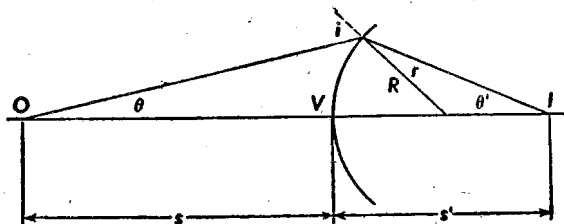


圖 1-3 球面折射的一般情況

設圓弧表示半徑為 R 的球面，左右兩方分別為折射率不同的兩種媒質， O 為空間的一物點； I 為相對的像點，兩點並分別落在通過球面中心的主軸 OI 上，主軸與球面交於 V 點，即球面的頂點。如球面左方的媒質為空氣，折射率等於 1，右方媒質的折射率等於 n ，入射角同折射角均如圖示。此時通過球面中心的半徑，即為通過入射點的法線。應用斯涅耳定律及幾何定理，我們得到下面的方程式，利用這些方程式，就可計算出像距 s' ，從而知道了影像的位置。

$$\sin i = \frac{(R + s) \sin \theta}{R} \quad (10)$$

$$\sin r = \frac{\sin i}{n} \quad (11)$$

$$\theta' = \theta + r - i \quad (12)$$

$$s' = R - \frac{R \sin r}{\sin \theta'} \quad (13)$$

圖 1-4 表示物點位於無限遠的特殊情況。此時從物點發出的光線與主軸平行，並與球面交於與主軸距離為 h 的地方，則計算 s' 的方程式應改寫成

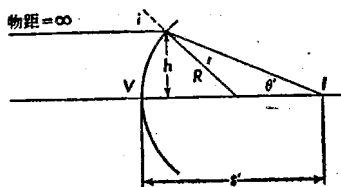


圖 1-4 物體位於無限遠時的球面折射

$$\sin i = \frac{h}{R} \quad (14)$$

$$\sin r = \frac{\sin i}{n} = \frac{h}{nR} \quad (11a)$$

$$\theta' = r - i \quad (15)$$

$$s' = R - \frac{h}{n \sin \theta'} \quad (13a)$$

在任何一個光系中，折射面的數目通常都在兩個以上，光線在每一個折射面上的折射情況，又都需要用如上的三角方程式來計算。因此，爲了計算及應用上的便利，就必須把各個角度距離及曲率半徑等的正負符號作一個合理的規定。茲將一般光學計算中常用的、也是本書所採用的符號規則列下：

- (1) 在所有光系圖中均假定光線係從左方射來。
- (2) 當折射面凸面對着入射光線時，此折射面的曲率半徑爲正。
- (3) 物體位於折射面頂點的左方時，物距爲正，反之爲負；影像位於折射面頂點右方時，像距爲正，反之亦爲負。
- (4) 垂直距離位於主軸上方時爲正；位於主軸下方時爲負。
- (5) 球面的曲率半徑或平面鏡的法線，轉動到與入射光線或折射光線重合時（轉動角度必須小於 90 度），如轉動是逆時針的，則此入射光線或折射光線所成的入射角或折射角爲正；反之，如轉