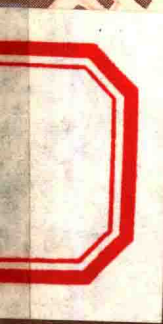


理
化
組



常用的光學儀器

薛 楨蓀



商務印書館

常用的光學儀器

薛 楨 著

商務印書館

常用的光學儀器

薛楨 著

★版權所有★

商務印書館出版

上海河南中路二一一號

中國圖書發行公司 總經理

商務印書館北京廠印刷

(59724)

1952年1月初版 1953年11月再版

印數5,001—8,000 定價¥4,200

例 言

1. 本書是爲了一般技術幹部而寫的，內容比較具體而簡單，也可以作大學參考書。

2. 光學儀器製造業發展很快，所以光學儀器的種類很多，但是基本的不外乎兩類，即是放大的及望遠的。在這本書裏將兩類的基本原理分別加以敘述；因爲望遠一類的儀器在我國可資參考的材料很少，所以這裏敘述較詳；顯微一類的儀器材料較爲豐富，這裏較爲簡略，以節省篇幅，而希望能合乎一般的需要。

3. 書中編次採小數點制，整數表示章，小數後第一位表示節，再後是表示插圖的順序。例如 1.2 表示第一章第二節，圖 3.61 表示第三章、第六節、第一圖。

4. 本書望遠鏡及軍用儀器兩章的材料和插圖，主要是取自 Von Hofe 著 Fern Optik 一書，併此聲明。

目 錄

例言.....	2
第一章 透鏡.....	1
第二章 望遠鏡.....	16
第三章 放大鏡及顯微鏡.....	29
第四章 照像機及幻燈.....	49
第五章 軍用儀器——雙眼望遠鏡、瞄準鏡、週視 望遠鏡、潛望鏡、測距儀.....	58

常用的光學儀器

第一章 透 鏡

§ 1.1 透鏡：光學儀器上最主要的部份為透鏡，乃是由兩個球面所包圍的玻璃體構成。由於球面性質的不同，透鏡可分為兩大類，就是：

1. 聚光透鏡或正透鏡，
2. 散光透鏡或負透鏡。

聚光透鏡分為雙凸、平凸及凸月三種，如圖 1.11A 所示。

它們之間有一個共同的特點，就是中心比較邊緣厚些。雙凸透鏡是由兩個向外曲的

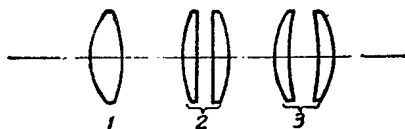


圖 1.11 A 凸透鏡

球面所造成；平凸透鏡是由一個平面及一個向外曲的球面所造成；凸月透鏡是由一個向內曲及一個向外曲的球面所造成。

散光透鏡也分為三種：即雙凹、平凹及凹月。它們之

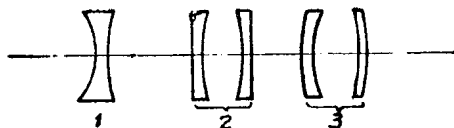


圖 1.11 B 凹透鏡

間也有一個共同的特點就是中心比較邊緣為薄，如圖 1.11 B 所示。雙凹透鏡是由兩個向內曲的球面所造成；平凹透鏡是由一個平面及一個向內曲的球面所造成；凹月透鏡是由一個向內曲及一個向外曲的球面所造成。

連結透鏡兩面曲度中心的直線，稱為透鏡的光軸。平凸或平凹透鏡的光軸，即是通過其中球面的中心所作垂直於他面的垂直線。

§ 1.2 透鏡的造像：從一點光源所發出的光線，經過透鏡後仍聚在一個點上，也就是一個點的物體，經過透鏡仍造成一個點像。其間所經過的步驟，叫作造像。在圖 1.21 裏

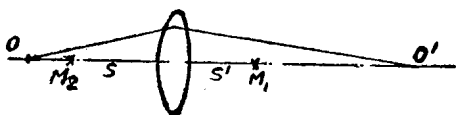


圖 1.21 聚光透鏡的造像

面，設 O 處為一個點狀的物體，距透鏡的距離為 s ，經透鏡的折射作用生像 O' ， O' 距透鏡的距離為 s' ，按折射定律得下式：

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f},$$

上式中的 f ，稱為透鏡的焦點距離，簡稱焦距。凡平行光線經過聚光透鏡，就聚在焦點上，如圖 1.22 中的 F 。焦點距透鏡的距離為焦距 f 。

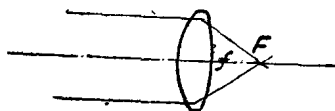


圖 1.22 聚光透鏡的焦點

圖 1.22 中， F 點之所以叫作焦點，是因為除了光線以外，同時也有熱量聚在這一點，其熱量足以使易燃的

物質發火的緣故。

在上式中， s 、 s' 及 f 三量，視其與光線進行的方向相同或相反而決定其符號。公認光線的方向自左而右。三量以透鏡的中心為原點，向物、像及焦點量去；如其方向與光線的方向相同則為正，相反則為負。所有聚光透鏡的焦點都在透鏡的背面，所以焦距都是正號。聚光透鏡所以叫正透鏡，就是因為這個緣故。散光透鏡與此相反，所以叫作負透鏡。

由上面的公式裏，我們可以看到，相當於每個不同距離上的物體，總生一個不同距離上的像。現在我們從無限遠的左方把一個物體漸漸向聚光透鏡移動，求像所在的位置。

1. 物體在無限遠時， $s = -\infty$ ， $\frac{1}{s} = 0$ ；即 $\frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$ ， $s' = f$ ；就是無限遠的物體，所生的像在透鏡右面的焦點上。

2. 物體向着透鏡的方向移近，像乃自焦點移遠，至物體位於距透鏡等於二倍於焦點距離的時候，即 $s = -2f$

$$\text{則 } \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{2f} \quad \text{故 } s' = +2f$$

此時像與物距透鏡的距離相等，而分別在透鏡的兩邊。

3. 物體再向透鏡移動，像即繼續移遠，至焦點時，則

$$s = -f, \quad \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{f} = 0 \quad \text{故 } s' = \infty$$

即像的位置在無限遠。

4. 物體更向近移，至 $s = -\frac{3}{4}f$, $\frac{1}{s'} = \frac{1}{f} - \frac{4}{3f}$,

$s' = -3f$ 至是像即生於透鏡的左邊了。

散光透鏡可用同一公式，如上法求得像距透鏡的距離，只是須將 f 加以負號而已。

下頁的表列示物體在不同位置時所生像的位置：

由下表可見，物體同像的位置，是作同一性質移動的。物體自左向右移動，像亦自左向右，直到無限遠的地方；然後反回來，自左邊的無限遠再向右移近於透鏡。

上述兩種透鏡所造的像，有一個根本的區別，就是正透鏡所生的像，可用一塊毛玻璃或白紙屏把它呈現出來。這種像稱為實像。在負透鏡上，光線通過鏡面即被向四方拆散，而不真正聚於一點；我們所看見的像乃是把散開的光線向後延長，看起來好像從那一點發出來的光線一樣。這樣

物體距透鏡的距離 s	像距透鏡的距離 s'	
	正透鏡	負透鏡
$-\infty$	$+f$	$-f$
$-2f$	$+2f$	$-\frac{2}{3}f$
$-f$	$+\infty$	$-\frac{1}{2}f$
$-\frac{3}{4}f$	$-3f$	$-\frac{3}{7}f$
$-\frac{1}{2}f$	$-f$	$-\frac{1}{3}f$
± 0	0	0
$+\frac{1}{2}f$	$+\frac{1}{3}f$	$+f$
$+\frac{3}{4}f$	$+\frac{3}{7}f$	$+3f$
$+f$	$+\frac{1}{2}f$	∞
$+2f$	$+\frac{3}{2}f$	$-2f$
$+\infty$	$+f$	$-f$

的像是不能用毛玻璃或紙屏使它呈現出來的，所以叫作虛像。按像距透鏡的距離說，如像生於透鏡的後方，即像距為正的時候，則為實像；反之為虛像。

在正透鏡中，物距 s 在 $-\infty$ 至 $-2f$ 之間，所生的像為倒立的實像，較物為小。 s 等於 $-2f$ 時，所生的像與物同大，而為倒立的實像，距透鏡的距離為 $+2f$ 。 s 在 $-2f$ 至 $-f$ 之間時，所生的像為虛像，較物體為大而倒

立。 s 爲負而小於 f 時，則像成爲放大而直立的虛像，位於透鏡的前遠方。放大鏡的原理就是這樣。

一個實在的物體，經過負透鏡所生的像，永遠是直立而縮小的虛像。

在以上所討論的造像公式裏，我們假設透鏡都是極薄，它的厚度與其餘各量，如物距、像距或焦距等相較爲數至小，可以略去不計。若此種省略不能適用時，我們須將各量自主點量起，以代替頂點，則上面所得到的定律以及由此推演出來的結果，仍爲正確可用。主點即是在光軸上的兩點。在這兩點上，像及物體大小相同，且方向相同，一般主點多在透鏡裏面，間透鏡的主點有在鏡體以外者，至於透鏡組的主點更不一定了。通過主點而垂直於光軸的平面稱爲主平面。

圖 1.23 表示厚透鏡造像的情形。自物體射來的光線

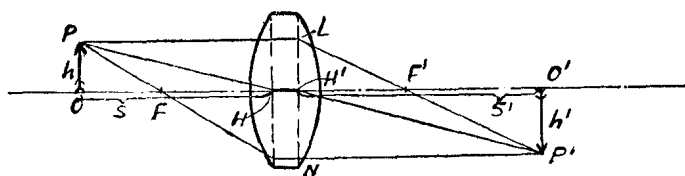


圖 1.23 厚透鏡的造像

至前面的主平面上，射出的光線自後面的主平面起始，在兩主平面之間，光線與光軸平行。

此外在光軸上，尚有兩點，在物體空間經過此一點的光線，通過透鏡後必定經過其他一點，並且同原來的光線相平行，這一對點稱為節點。

主點、節點及焦點統稱為基點。

在造像的公式裏，如 $f = \infty$ ，則物距等於像距，為平行面玻璃板或平面鏡造像的情形。在第一種情形之下，可以透視過去，如玻璃不太厚，則物體的形狀及距離均不變更。在平面鏡裏所見的像與物體距鏡面的距離相等，像與物同大且均直立，但左右的方向則互相顛倒。

光線經過兩面互相平行的玻璃板時，其在第一面上所生的偏差，經第二面射出時，又被折回與原來的方向平行，如圖 1.24 所示。

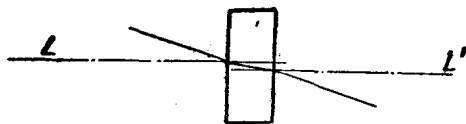


圖 1.24 光線經過平玻璃板的情形

兩面不互相平行的玻璃板，稱為稜鏡，光線經過稜鏡後，方向就生改變，如圖 1.25 所示。射入光線與射出光線所成的角度 ε ，稱為偏差角。兩斜面所成的角度 η ，稱為稜鏡角。在 η 很小的時候，偏差角 ε 可自下式

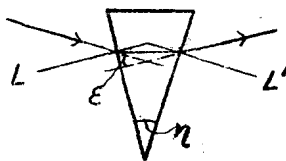


圖 1.25 稜鏡的折光

求之。

$$\epsilon = n(n-1)$$

n 爲玻璃的折光指數。

幾塊透鏡合成透鏡組時，由第一個透鏡所生的像，作爲次一個透鏡所對的物體，如是依次推下去，即可求得最後所生的像。在圖 1.26 中， $O_1 P_1$ 爲物體，其高爲 h_1 ，距第一個

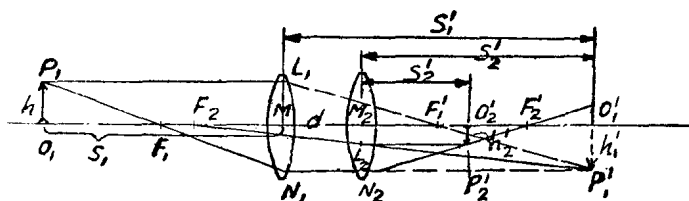


圖 1.26 透鏡組的造像

透鏡的距離爲 S_1 。 $O_1' P_1'$ 爲物體由第一個透鏡所造的像，對第二個透鏡講，爲一虛物體，其高爲 h_1' ，距第一透鏡的距離爲 S_1' 。 $O_2' P_2'$ 爲 $O_1' P_1'$ 由第二透鏡所造的像，其高爲 h_2' ，距第二透鏡爲 S_2 。 $P_1 L_1$ 光線與光軸平行，射於第一透鏡面上，如無第二個透鏡，則經 F_1' 及 P_1' 。 $P_1 F_1$ 光線與第一透鏡交於 N_1 ，而向 P_1' 進行；可是當未達到 P_1' 之前，先與第二個透鏡相遇；經第二個透鏡將其折向焦點 F_2' ，並通過 P_2' 點。向 P_1' 射的另一條光線 $F_2 L_2 P_1'$ ；經第二個透鏡的折射作用，則與光軸平行，亦通過 P_2' 點，最後的像即是 $O_2' P_2'$ 。透鏡組的光軸爲 $O_1 O_1'$ ，焦點 $F_1 F_1'$ 及 F_2' 均在其上。

§ 1.3 透鏡的球面像差：前節所述的造像定律，只有在合乎下面兩個條件時，纔能適用，即：

1. 透鏡的直徑極小，
2. 物體或所生的像很小。

一般透鏡的直徑稱為光圈，透鏡的直徑與物距或像距之比稱為相對光圈，實際上相對光圈，應以實在應用透鏡的直徑或光束的直徑與物距或像距之比纔對。如物距為無限遠，則相對光圈即為實際造像所應用透鏡的面積的直徑，與焦距之比，一般所談多指此值。造像所用透鏡的面積稱為像面。

光圈或像面，或二者同時增大時，所生的像即有差誤，其原因就是因為透鏡的面是球形的原故，所以稱為球面像差。

球面像差的現象，是當光圈加大超過一定限度時，從一點光源所發出來的光線，經透鏡後不能再聚在一個點上。如圖 1.31 所示。連結其中每兩條光線的交點，可得到一條

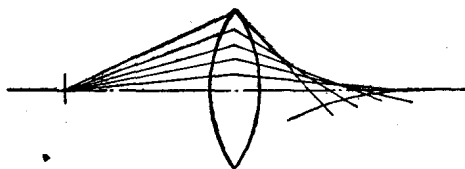


圖 1.31 正透鏡的球面像差

曲線，稱為焦散曲線，它的頂點位於光軸上。正透鏡所生的

焦散曲線指向右方，負透鏡所生的焦散曲線指向左方，如圖 1.31 及圖 1.32 所示。

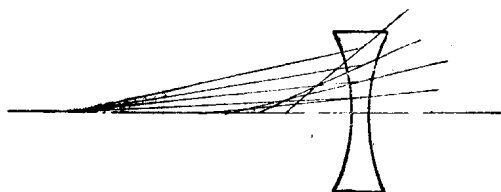


圖 1.32 負透鏡的球面像差

在這兩個圖裏面，可見正透鏡與負透鏡所生的焦散曲線，性質相反。如用一個正透鏡及一個負透鏡在適宜的焦距條件下，結合起來，則它們的焦散作用可以互相抵消。

如將像面增大，而光束的直徑仍保持甚小，則在造像的過程中，又生另一種差誤，如圖 1.33 所示。光線經光闌 B

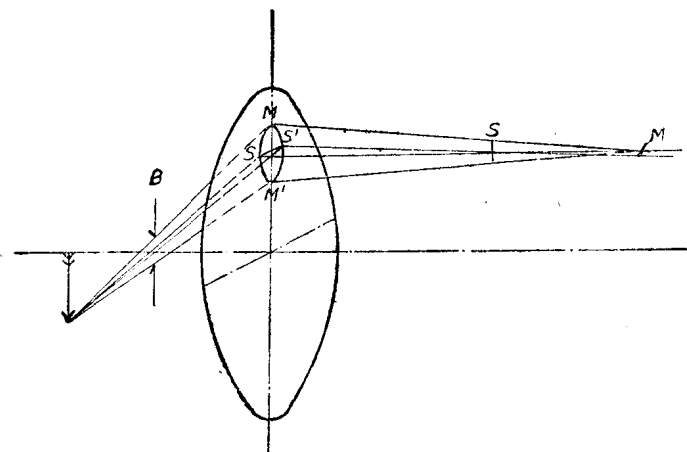


圖 1.33 像散差

的限制，斜射於透鏡面上，則光束對透鏡各部不相對稱，如通過子午面 MM' 的光線及通過赤道面 SS' 的光線，因所經透鏡部份的厚度不同，乃各交於 M 及 S 點，它們距透鏡的距離是不相等的。在 M 及 S 地方的像不是兩點，而是兩條互相垂直的直線，這種差誤稱為像散差。

一般講來，如光束的直徑增大，同時像面也增大，則球面像差及像散差同時發生。

另一種差誤，是當一個直徑較大的光束，斜射於透鏡上，而一部份光線被光闌不對稱的遮去時，則經過子午面上的光線，所受的屈折作用亦不對稱。如圖 1.34 所示。一個

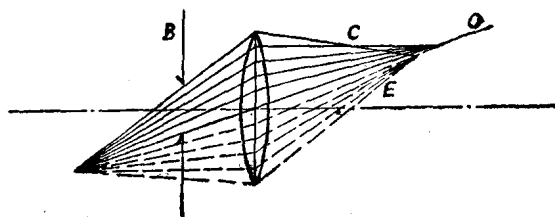


圖 1.34 彗形像差

點狀物體所造的像，除一點外；尚有許多的散像圈，因此所生的像成為蛋形，稱為彗形像差。

以上所述的像差，就使能完全改正到一個點狀的物體產生一個點狀的像的地步，造像仍不能算完美無缺，因為尚有其他兩種差誤，叫作像面彎曲及畸變的緣故。

像面彎曲的現象，是一個平面物體經過透鏡的屈折作

用後，所生的像變為一個曲面。這種差誤在瞄準鏡上最為可厭。因為在瞄準的時候，物體的像須與瞄準標記相重合，設有此種差誤，使二者完全重合是很困難的。

畸變的現象是物體上的一條直線，經透鏡後成為一條彎曲的線。如圖 1.35 中，一個方形的物體，所生的像不復

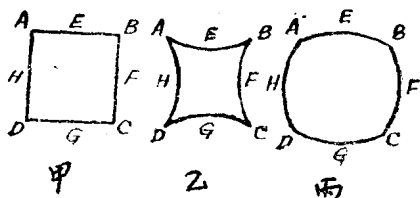


圖 1.35 畸變像差

成為方形，而如右面的兩個形狀，向內凹或向外凸。它生成的原因，是因透鏡的放大倍率，各部不完全相同之故。向內凹的稱為枕狀畸變是因為它的放大倍數自中心向外逐漸增大， AC 及 BD 二直徑較 EG 及 FH 所受到的放大作用為大，所以較長，而造成圖 1.35 中乙的形狀。向外凸的稱為桶狀畸變，因為透鏡的放大倍率自內向外漸次減小，以此 AB 及 CD 二者所受的放大作用，較 EG 及 FH 為小，故較短，而造成圖 1.35 中丙的形狀。

§ 1.4 透鏡的色差：白色的光線是由許多光波合成，波長各不相同。我們眼睛所能見的波長，大約自 400 至 800 百萬分之一厘米。光波對眼也同聲波對耳一樣的給以刺