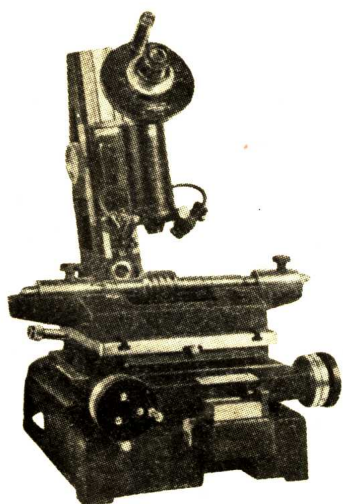


工程與軍用光學儀器

第二卷 工程光學儀器篇

中冊

董太猷編著



大東書局出版

工程與軍用光學儀器

(中 冊)

第二卷 工程光學儀器篇

董太 穌 編 著

大 東 書 局 出 版

本書係一綜合性的關於機械工程的與軍事應用的光學儀器在原理、設計和應用技術方面的專論。分爲上、中、下三冊：上冊係光學原理及設計理論部分，計三章，由成像條件，反射、折射定律和繞射與干擾等光學原理上的問題，以及照明和光學材料介紹等等作爲先導；從而列出各類透鏡與稜鏡之組織原理，其中亦包括有各型攝影機透鏡在組織上之不同點。再就像差發生的原因作分類的敘述和其修正方法，最後則是各類透鏡之設計和計算部分。俾讀者可自行設計光學儀器上之光學組織。中冊係專門敘述和介紹機械製造工程上所用的測量及檢查幾何形體的各種光學儀器在設計上的原理和特點，以及使用上的技術。這些光學儀器是提高產品質量所不可或缺的作精密測量和檢驗的工具。下冊係專門敘述和介紹軍用光學儀器在設計原理、操作方法和維護上的要點。由於事實上的困難，故本冊內容是偏重於原理方面的說明，俾讀者遇到具體問題時，能根據原理而能自求解答。

本書宜作爲大專、技術學校有關科系的課本或主要參考書；光學儀器機械設計者和製造者必備的工具書；機械製造工廠設計和檢驗部門的日常手冊；軍事學校和部隊研讀光學儀器之必要用書。

董太蘇編著

*

1954年11月發排(務本排)·1955年3月上海第一版

1955年3月上海第一版第一次印刷(0001—3000冊)

書號：5178·30"×42"· $\frac{1}{25}$ ·236千字· $12^{22}/_{25}$ 印張·定價貳元

*

大東書局(上海山東中路201號)出版

上海市書刊出版業營業許可證出○四三號

上海圖書發行公司(上海山東中路128號)總經理

導文印刷所印刷

目 錄

(中 冊)

第二卷 工程光學儀器篇

(序言及參考書目見上冊)

第四章 顯微鏡1

- | | |
|------------------|-------------------------------|
| 1. 前言..... 1 | 10. 內壁式顯微鏡..... 36 |
| 2. 原理..... 1 | 11. 體視式顯微鏡..... 38 |
| 3. 基本光學組織..... 4 | 12. 雙筒式顯微鏡..... 41 |
| 4. 表面照明.....12 | 13. 硬度試驗用顯微鏡..... 43 |
| 5. 表面檢驗.....15 | 14. 工具搪床及磨床顯微鏡..... 45 |
| 6. 比較式顯微鏡.....23 | 15. 工程顯微鏡上之標尺及刻線
機..... 49 |
| 7. 投影式顯微鏡.....26 | 16. 光學分度機、量角器及角尺.....62 |
| 8. 截面顯微鏡.....32 | 17. 讀度式顯微鏡之構造..... 77 |
| 9. 工場式顯微鏡.....35 | |

第五章 輪廓顯微鏡 80

- | | |
|------------------|----------------------------------|
| 1. 前言.....80 | 10. 縮影輪廓顯微鏡.....105 |
| 2. 照明系統.....81 | 11. 反射條紋.....108 |
| 3. 輪廓物鏡.....82 | 12. 輪廓顯微鏡在測量工作上的
精確性110 |
| 4. 目鏡.....87 | 13. 分厘尺讀度之精確性及螺距
誤差.....111 |
| 5. 標線片.....87 | 14. 定位精確性.....112 |
| 6. 工場用顯微鏡.....90 | 15. 標線片誤差.....114 |
| 7. 投影附具.....94 | 16. 光學方面的畸變.....115 |
| 8. 工具室顯微鏡.....97 | |
| 9. 表面照明..... 104 | |

17. 放大率方面的誤差·····	115	19. 誤差綜述·····	116
18. 不定性的誤差·····	116		
第六章 投影儀·····	119		
1. 總說·····	119	10. 投影反射鏡·····	151
2. 光學條件·····	120	11. 投影儀總成之校檢·····	153
3. 透明體投影之照明·····	123	12. 螺旋紋形之投影·····	156
4. 投影透鏡(透明體用)·····	129	13. 輪廓投影儀·····	163
5. 幕板(透明體投影用)·····	130	14. 幕板上之圖片比較及測量·····	175
6. 固體工作物所用的投影 設備——總說·····	130	15. 複透鏡投影儀·····	179
7. 輪廓之照明·····	131	16. 輪廓投影之限制·····	182
8. 輪廓投影透鏡·····	137	17. 光之反射·····	183
9. 投影幕板·····	141	18. 表面投影·····	189
		19. 截面投影儀·····	191
第七章 望遠鏡·····	195		
一 基本組織·····	195		
1. 天文式望遠鏡·····	195	4. 望遠鏡之目鏡·····	201
2. 分辨本領·····	199	5. 伽利略式望遠鏡·····	202
3. 望遠鏡的物鏡及目鏡·····	200		
二 正像組織·····	204		
6. 正像目鏡·····	204	8. 稜鏡式正像組織·····	207
7. 正像透鏡·····	206		
三 調焦·····	209		
9. 望遠鏡之調焦·····	209	11. 物體之調焦·····	212
10. 標線片之調焦·····	210		
四 光線之準直·····	215		
12. 望遠鏡之準直性校驗·····	215	13. 準直光管(器)·····	216
五 工程用望遠鏡之構造原理·····	218		
14. 表面檢驗工作·····	218	16. 光學測微器·····	224
15. 標尺讀度工作·····	220	17. 光學準點準線儀器·····	227

18. 經緯儀及水準儀	234	21. 測角儀	237
19. 準直望遠鏡	234	22. 分立標尺的準直望遠鏡之組織	241
20. 普通天文望遠鏡改裝為準直望遠鏡之簡法	237	23. 合致標尺式的準直望遠鏡之組織	243
六 準直望遠鏡之應用	248	27. 平直性之測定	252
24. 應用範圍	248	28. 正方形之測定	257
25. 機件角度之測定	249		
26. 平行性之測定	250		
第八章 比較儀	261		
1. 作用及概說	261	6. 蔡司式光學比較儀	270
2. 光學的及機械的兩種比較儀之對比	263	7. 柯克直立式及平臥式光學比較儀	273
3. 原理	263	8. 蔡司式超精光學比較儀	277
4. 柯克式光學比較儀	266	9. 愛登式機械—光學比較儀	280
5. 光學驗規比較儀	268		
第九章 光波干涉作用	283		
1. 光波干涉原理	283	4. 光波干涉儀	297
2. 觀察之方向	287	5. 表面光潔度檢驗	300
3. 用平晶作表面平直度檢驗	288	6. 光波測微器(分厘卡)	305
		7. 塊規測量干涉儀	306
附 錄 公厘—吋、吋—公厘對照表			

第四章 顯微鏡

1. 前言

在本書或本章內所講述的顯微鏡，主要是對機械工程上所用來檢驗工作物的表面的，關於材料試驗及金相分析所用的顯微鏡則不列在本書範圍之內。

顯微鏡原係物理、醫藥、化學上的主要儀器，但近二三十年來，由於機械工程上之高度精密要求，已廣泛地應用顯微鏡作為測量和檢驗產品質量的工具，因原先常用的放大鏡的視力倍數已不敷今日之要求遠甚。放大鏡非但倍數低，最高僅放大四五倍，而且由於像差的作用，以致放大像是有所畸變，僅在其接近光軸的極小部分，才能有清晰不混的像形；除此而外，像的周圍還因像差和色差而發生了色暈。

如欲獲得高倍數的放大率，沒有畸變和色暈的像形，在事實上已非普通放大鏡所能擔負此一任務，必須用兩個以上的透鏡合組於一相關的位置上，而後才能得到良好的放大作用，由於它的能力是可將極微小的物體以供人目作明晰觀察，故稱之為顯微鏡，蓋其能力遠在放大鏡之上。

2. 原理

圖 4·2·1 是顯微鏡基本的光學組織的簡圖，亦是最簡單的通稱為筆型的顯微鏡結構圖。單透鏡 O 將實物 W 在 I_1 處造成一物像， I_1 所

在之處，正是目鏡的焦平面所在之處，再由一簡單的放大鏡觀察此一物像，好像物像是在 I_2 處者一樣的大。面對物體的透鏡 O 是稱為物鏡，由它映於 I_1 的物像是一實像，即是，此像是可以直接的在置於 I_1 的幕板上顯現出來。透鏡 M 名為目鏡，在作用上它是與一放大鏡相同，由它所造的像則是一虛像。 O 及 M 均是雙凸面的單透鏡。來自 I_1 的光線是回射的，因之在視場上它好像是來自 I_2 的一樣，但在事實上，此光線仍是向離開 I_2 而至觀察者眼睛方向進行的，故縱在 I_2 上置一幕板亦是無像可見的。

由物鏡所造成的 I_1 像是一倒像，亦即是其上下左右是與原物顛倒而相反的。目鏡 M 的作用前已說過，是與一簡單放大鏡有相同的功效，是用來放大 I_1 像的，故所得的物像並不是顛倒的，仍維持 I_1 的原方位；因此，最後所得的 I_2 是與原物顛倒相反的，即在方向上是有 180 度的變位。普通顯微鏡均是倒像式的，關於正像方式當於以後討論。 I_2 雖然只可由人目觀察而無法在置於 I_2 處的幕板上顯出來，但若在出射瞳孔上裝一攝影機，則這個虛像是可由底片感受的，如用透明幕板替代底片，則亦可顯示出物像。

物像 I_1 與原物體 W 之間的大小上的比率，是隨物鏡的放大率而定的，稱為初級放大率，目鏡的放大率亦與上述者相同，稱為次級放大率，它是 I_1 及 I_2 之間的比率。1 吋焦距的目鏡是普通常用的尺寸，可得 10 倍的放大率。顯微鏡的有效放大率是初級放大率乘次級放大率的積數；若透鏡 O 放大 5 倍，透鏡 M 放大 10 倍，則該顯微鏡的有效放大率即是 $5 \times 10 = 50$ 倍。

物鏡主焦點 F_o 與目鏡主焦點 F_M 間的距離 g ，術語上稱為“光學管長度”，此一長度在實驗室式顯微鏡中常是 16 公分 (cm)。由圖 4·2·1 的幾何形式可見 $g = mf$ ，其中 m 是初級放大率，亦即是比率 I_1/W 和 f

是物鏡的焦距。簡單顯微鏡的物鏡焦距常以公厘 (mm) 作表示，計有 25、16、8、4 (或 $\frac{1}{6}$ 吋) 及 2 (或 $\frac{1}{12}$ 吋) 等尺寸，此種標記均刻於套管外面。在一 16 公分的光學管長度的顯微鏡中，由這些物鏡可得 6.4、10、20、40 及 80 倍的初級放大率。每一顯微鏡大多備有這樣的一套物鏡，以適應不同的放大要求。

全部來自原物 W 的造像光線必須通過透鏡 O ；因此，該透鏡的直徑控制了進入顯微鏡的光量，它的洞孔則構成了入射瞳孔。 O 的縮像是由 M 映出至 E ，故可說是現於顯微鏡內的全部光線必須全部聚集於 E 點，故 E 是出射瞳孔。為使觀測者能完全接受好像來自 I_2 的映像光線，他的眼睛必須在於 E 處，亦即是目瞳所在之處。因此之故，人目必須與目鏡有所距離的， M 與 E 之間即稱為“目間隙”，最少不宜低於半吋。如在 O 的工作物邊置一有明亮照明的紙片，則即可在 E 處看到光束所形成的小圓斑。觀測者的眼瞳必須與出射瞳孔合致，方能觀得全像而且不需移動眼睛，但亦應注意，目間隙不應太大，如果出射瞳孔與目鏡相距過

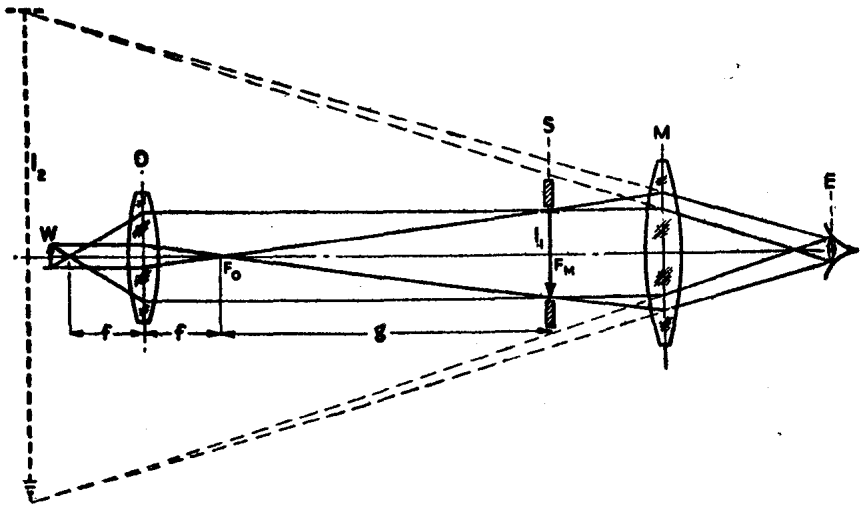


圖 4·2·1 顯微鏡原理

遠，則極難使眼瞳有一精確的觀測作用。目鏡常裝在一金屬的套管上，它的外端有一橡皮製或膠木製的眼罩，使眼睛靠止於此。眼罩的設計必須適應目間隙的要求。

在一次定位上所能觀察的原物 W 的大小，稱為物場，它的大小範圍是隨物鏡的設計而定，但與目鏡亦略有關係。在顯微鏡內它是受置於 I_1 像平面上的場闌 S 的限制，由 O 至 M 是一不透光的暗管， S 則是嵌鑲在適當位置上的中央圓孔板，其孔徑是隨物像的放大像而定的。如物場直徑為 0.15 吋，由 O 透鏡放大五倍，則場闌的孔徑應為 0.75 吋。

3. 基本光學組織

顯微鏡的早期發展是完全為了生物化學上的需要，用以檢驗薄切片的透明物或有微小斑點的透明介質。為了檢查出這些物體中的微粒或其不同點，故需要有高度的分辨本領，和大的放大率（大至二三千倍），但對物場的大小，則無嚴格的規定，一般是很小的。這些情況是和機械工程上所用的顯微鏡是略有不同的，在此所需者則是放大率只要兩三百倍，很少是超過五百倍的，而物場則要比較大些。

一切顯微鏡除能力有所不同外，其基本光學組織還是彼此相似的。為方便計，在此以一實驗室式顯微鏡作為講解對象。圖 4-3-1 是上述顯微鏡的光學組織的簡圖，它的透鏡組織是與圖 4-2-1 的簡單式者在構造上是頗有不同，雖然二者的動作原理是相同的；其所以需要如此複雜構造以求得可靠的觀察的原因已詳於第二章，即主要目的是在解決像差與色差等問題。

如放大率在 50 倍以上，則物鏡常用圖 4-3-1 總成內所示的形式，初級放大 5 倍，次級放大 10 倍，共 50 倍；但此種物鏡僅在小光圈時

(10 $N.A.$ 以下)方有可靠的效用。圖 4·3·1(a) 所示之雷斯脫式^①物鏡則可適用於不同號數的光圈，可大至 0.28 $N.A.$ 。一般是適用焦距為 16 公厘的透鏡，可以給出 10 倍的初級放大率(如與 10 倍的次級放大率相乘，可得 100 倍總的放大率)。在機械工程應用上，雷斯脫式物鏡是足夠可靠的。如欲得更細緻的觀察，則需要更大的光線，其設計自亦來得複

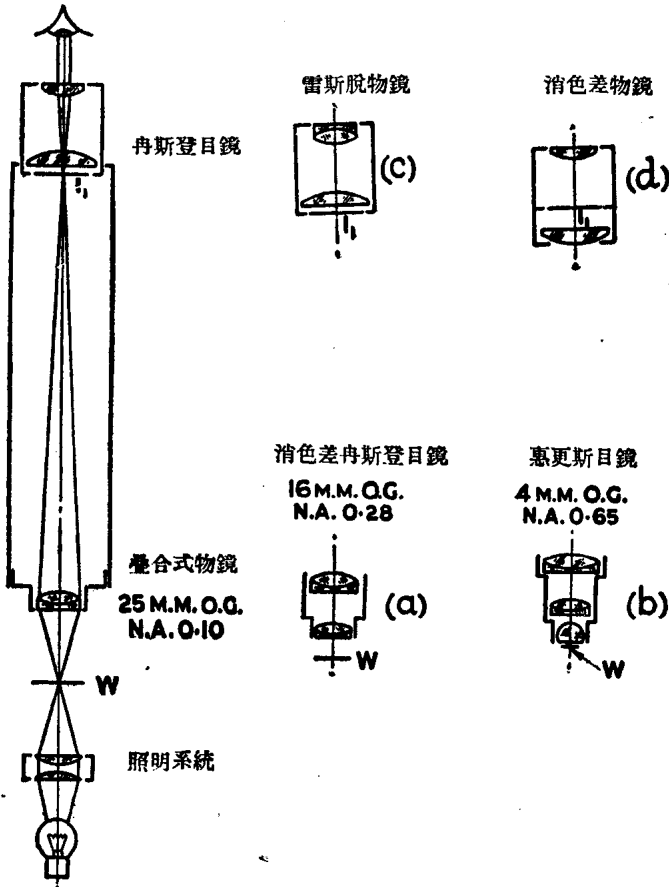


圖 4·3·1 顯微鏡之光學組織

① Lister.

雜些，圖 4·3·1 之(b)是其典型的設計。

在初期的發展過程中，不論望遠鏡或顯微鏡上的物鏡和目鏡都是非常簡單的，用幾塊透鏡疊合起來是很少的，因此，所造成的像差和色差都很大，惟一的辦法是將相對光圈和視場縮至最小以作補救。為初步解決像的失真問題，一般光學儀器的物鏡是把圖 4·2·1 之單塊改為圖 4·3·1 總成內之雙塊疊合式；但最理想的物鏡應具備下列四個條件：(1)具有確定的焦距；(2)消除球面像差；(3)消除色差；和(4)滿足正弦條件。要滿足這四個條件，至少需要四個面即三個分立的透鏡才行。圖(a)中膠合起來的透鏡，由於其膠合面的半徑相同，故只能當作一個面看待，但由於兩個玻璃體的曲度性質和折射率是經過適當選擇的，故可省去一個面。

高本領顯微鏡之物鏡必須能有：既在相當寬大孔徑的光束下造成物像，但又需該像毫無任何像差與色差。為達成此一要求，高級顯微鏡之物鏡常用許多塊曲度不同和折射率不同的玻璃體互相疊合而成，圖 4·3·2 是一高度的複消色差^①組合的物鏡。

一光學儀器所造成物像的亮度，是繫於進入的光線，此種由物點發出的光線通過光學組織中的光闌和透鏡等後，最後到達觀察者之眼瞳。不論望遠鏡或顯微鏡中之物鏡的光圈及光闌的作用，足以限制造成物像光線的射入。現因所有光線進入組織時與光軸組成甚小的斜角，故像之亮度必

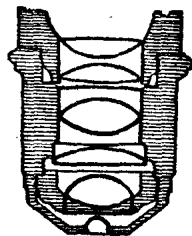


圖 4·3·2 高度的複消
色差組合的物鏡

須繫於物鏡之直徑，但製造過分大直徑的物鏡，非但成本高昂，而且還有許多技術上的困難，所以顯微鏡中的物鏡是不能無限制的增大。其原因乃為高本領顯微鏡的焦距必是甚短，而焦距愈短，則透鏡之直徑愈

① Apochromatic.

大，很難滿足如此要求。在生物和化學用的顯微鏡，須將其本領提高到放大兩三千倍，因之造像的光量亦愈更要多一些。生物切片上都有一塊蓋玻璃，按照全反射的定律，只有一小部分小於臨界角（見圖 2·18·4）的光線才能射入物鏡中，如圖 4·3·3 所示者。前透鏡與蓋玻璃之間有一層極薄的空氣，在此情形之下，如所用的蓋玻璃的折射率為 1.52 時，則超過 42 度的光線，均因全反射而不能達到物鏡裏面。如果在蓋玻璃與物鏡之間的空隙，用折射率較高的介質填起來，來替代折射率很低的空氣，則即可增加它的臨界角度。介質中的水、香柏油、一溴萘或其他類似的液體都具有此種作用；這樣的裝置和做法，稱為濕浸系，或稱為油浸鏡頭和油浸透鏡。反之，物鏡與蓋玻璃之間不加液體，僅用空氣間隙者，則稱為乾燥系。上述三種常用液體的折射率如下：

$$\text{水} = 1.333 \quad \text{香柏油} = 1.513 \quad \text{一溴萘} = 1.66$$

三者中之香柏油之折率數與蓋玻璃相等，如此自物鏡的前透鏡以至蓋玻璃之間，作成一層均勻一致的折射層，光線經過其中並不發生全反射，所以又稱為同質系，這是一種比較常用的增加鏡內亮度的方式方法；雖然這是現代式生物化學顯微鏡常用的設備，但機械工程光學中則尚少應用。在濕浸系中應用的三種液體所可得到的數值孔徑如下：

$$\text{水浸} 1.25 \quad \text{香柏油浸} 1.40 \quad \text{一溴萘浸} 1.60$$

油浸鏡頭的臨界角度幾在 180 度左右，如此增加光線進入顯微鏡的數量是非常可觀的。

在顯微鏡上，除了利用油浸透鏡來增加光線的亮度外，同時我們亦得要對進入鏡管內的光線作必要的限制，排除一切不是有效地用來造像的光線。限制光線的設施，是在前面已經講過的光闌。圖 4·3·3 是一般顯微鏡中的光闌設計，在像平面上的光闌 OO' 的作用是在於把視場邊緣不清楚的地方遮去，稱為目鏡光闌。可是由於目鏡的場透鏡和物鏡

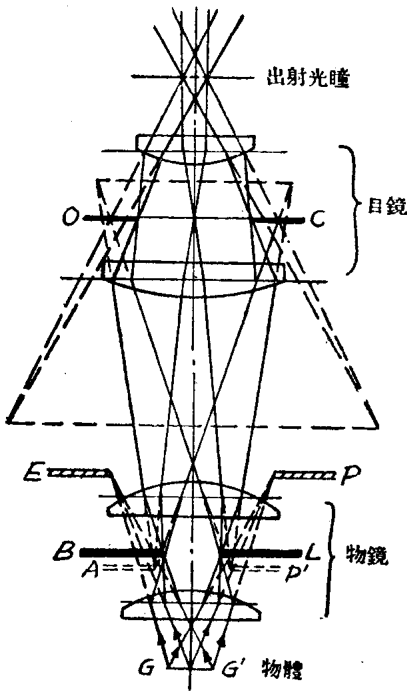


圖 4-3-3 顯微鏡光闌之作用

共同把 OC 造成一縮小的像放物體 GG' 所在的地方，故此目鏡光闌的作用是同時限制了進入鏡管的光線，所以亦可把它稱為視場光闌。此外為限制進入鏡管的最大亮度，在物鏡中間亦加一物鏡光闌 BL ，凡由物體發出的任何一點光線都受到 BL 的限制。如將被 BL 所遮去的光線加以延長，則它們將分別交叉在物鏡後面的 EP 平面上，成為由物鏡所造成的 BL 的虛線，這樣就使通過 BL 的光線好像是來自 EP 虛像者一樣， EP 亦就成了整個顯微鏡的入射光瞳。現在再將通過物鏡的光線向反方向作延長，交叉在 AP' 平面上，它即是由物鏡的後透鏡所造成的 EP 的虛像。所以，光線能否通過物鏡，首先應視能否通過虛像 AP' 而定，因此可以稱 AP' 為物鏡的虛的出射光瞳。

前面已經講過，物鏡是顯微鏡中的最重要的一個部分，除按其性質可分為濕浸和乾燥二系外，還可依其消色差的程度分為：(1)消色差；(2)高度的複消色差(見圖 4-3-2)及(3)半高度的複消色差等三種不同的能力。消色差的物鏡應用得最早，但只能消除一次光譜，所以在對光到極度清晰的時候，其物像的邊緣部分仍帶有色暈和色彩，這種情形在高倍數顯微鏡中尤為顯著。高度複消色差物鏡有將兩次光譜消除的能力，這種物鏡是由德國阿貝氏在 1886 年首先應用含有螢石的新型玻

璃所造成，不僅把兩種顏色的光線聚在一點，而且幾乎把全部顏色都聚合在一起，更把 C 線（紅色）及 F 線（藍色）兩種顏色的球面像差也加以改正，只不過經過這樣改正後，像面彎曲的現象是較前一種者更來得顯著些，但對物像的影響並不太大，只是在顯微照相時，中心與邊緣不能有相同程度的清晰而已。高度複消色差物鏡，數值孔徑，在乾燥系中可至 0.9，在濕浸系中可至 1.4。半複消色差物鏡也是用含熒石的玻璃製成，不過仍帶有少許未能完全除去的兩次光譜，但它是較消色差物鏡好多了，而且價格亦較低；本式物鏡在多種場合下是可以替代複消色差物鏡的。

圖 4·3·4 至 4·3·7 是各種物鏡之實體剖面圖，大字數目是放大倍數，小字數目是數值孔徑，加有 HI 字樣者代表濕浸系。一般物鏡外面

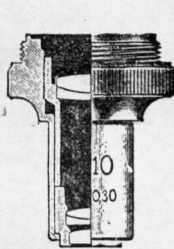


圖 4·3·4 消色差物鏡之實體剖面



圖 4·3·5 平面用消色差物鏡之實體剖面

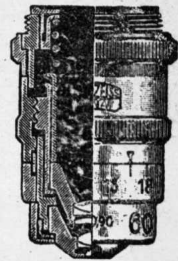


圖 4·3·6 半複消色差物鏡之體實剖面

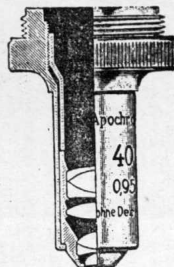
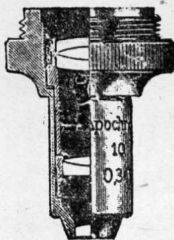


圖 4·3·7 複消色差物鏡之實體剖面

均刻有以上標記以利擇用。

現在要來講一講顯微鏡中的目鏡。現代式目鏡，不論是用於望遠鏡或是顯微鏡，均是用複鏡組合的。所以如此設計之目的，是在將球面像差、像散、畸變以及色差等等缺點加以改正，雖不能完全消除，但亦可減至最小。目鏡中的兩個透鏡：近物者稱為場透鏡；近日者稱為目透鏡。前者的工作是在聚集成影之一切光束，使所有光線能到達觀測者之眼瞳，若無其他光闌存在，則視場之大小是確定自場透鏡的裝座和位置；後者的作用則是在於放大。

顯微鏡中常用的目鏡計有兩種：一為惠更斯型；另一為冉斯登型。

惠更斯目鏡分見圖 4.3.1 之(d)、圖 4.3.8 及 4.3.9 等。它是用兩塊分置的平凸透鏡組成的，兩者之凸面均向物體，兩透鏡之間的距離等於兩透鏡焦距之和的半數。圖 4.3.8 中的場透鏡 K 所在之位置能使由物鏡射來之光線在未造成實像 BB' 以前到即遇到場透鏡，於是該場透鏡將該像轉移至 bb' ；因此，在事實上是取消 BB' 實像而經 K 鏡轉移

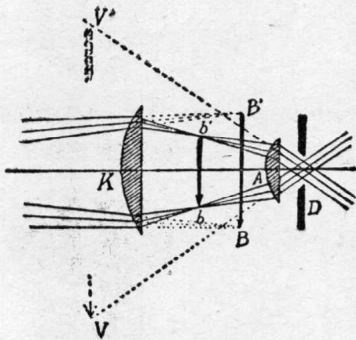


圖 4.3.8 惠更斯目鏡之動作

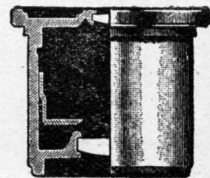


圖 4.3.9 惠更斯目鏡之實體剖面圖

成為實像 bb' ；這是惠更斯目鏡的一大特點。像平面是在場透鏡與目透鏡之間。光線既經成像之後，又繼續射至目透鏡 A ，在 A 的平面出射時

全部是變成交叉式平行光線，故由 D 視向內部，物像 VV' 好像是在無限距離之處。標線或十字交叉線應位置在像平面上，這在某些方面是有些困難的。如以 f_1' 表場透鏡的焦距，和 f_2' 表目透鏡的焦距， d 表兩透鏡間之距離，和 f_2 表整個目鏡的焦距，則符合下列條件時可將色差減至最小的限度：

$$f_1' : f_2' : d : f_2 = 2 : 6 : 4 : 3$$

冉斯登目鏡的構造見圖 4.3.10，至於圖 4.3.1 之(c)及圖 4.3.11 則是它的目透鏡已加上消色設計後的組織。圖 4.3.10 的目鏡是由兩塊平凸透鏡組成的，它們的曲面互相相對，兩者之間的距離等於它們的焦距。用本型目鏡的顯微鏡的像平面 BB' 是在場透鏡之前，由物鏡射來的光線原是發散的，如果場透鏡離像平面愈遠，則其直徑亦需愈大，為方便計，它的場透鏡距像平面一般是很近的。標線或十字交叉線可放在此處像平面上，這是較惠更斯型者來得方便些。光線進入場透鏡 K 後，又由目透鏡 A 的平面出射，此時光線已變為交叉式的平行，故由 D 視

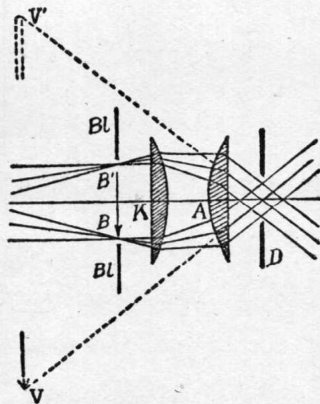


圖 4.3.10 冉斯登目鏡之動作



圖 4.3.11 冉斯登鏡目之實體剖面

之， VV' 像好像是在無限距離之處。若本型目鏡符合下列條件，則可把