

內部參考資料

金屬顯微鏡之原理與應用

金相檢驗參考資料之二

中央第一機械工業部

上海綜合工業試驗所編

1954年11月

金屬顯微鏡之原理與應用

金相檢驗參考資料之二

江苏工业学院图书馆
藏书章

中央第一機械工業部

上海綜合工業試驗所編

目 錄

(一)光學原理

- 1.顯微鏡之造像作用.....(1)
- 2.透鏡之各種光學畸差及其校正.....(2)
- 3.物鏡之分類.....(5)
- 4.物鏡之各種性質.....(7)
- 5.目鏡之種類與性質.....(12)

(二)金屬顯微鏡之構造

- 1.檯式金屬顯微鏡與臥式金屬顯微鏡.....(15)
- 2.臥式金屬顯微鏡之構造.....(16)

(三)顯微照像術

- 1.顯微照像.....(21)
- 2.底片之顯影與定影.....(23)
- 3.印相.....(25)

(一) 光學原理

1. 顯微鏡之造像作用

金屬顯微鏡為金相工作中最重要的工具。金屬內部的顯微組織，必須藉顯微鏡放大後始能清楚地看出，因此，正確瞭解金屬顯微鏡構造之主要原理以及其使用方法，實為從事金相工作者必不可少之事。

金屬顯微鏡亦為一種複式顯微鏡，即其供造像用之透鏡組亦分成物鏡與目鏡兩個部份。所觀察之目的物先經物鏡初步放大，造成一倒立之實像後，再經目鏡放大，成為一可見的豎立虛像（但在顯微照像時，目鏡所造之像係可供投影之實像）。此種顯微鏡主要的構造與通常生物顯微鏡並無多大差別，僅因所觀察物體係不透明之金屬，必須利用反射光線始能加以觀察，因此常附有一供照明用之光源。此外，由於金屬試樣之大小與形狀常不甚一致，故金屬顯微鏡載物檯能升降之範圍通常亦較大。有時，為適應特殊形狀之試樣起見，載物檯有能予以轉動、傾斜或更換者。

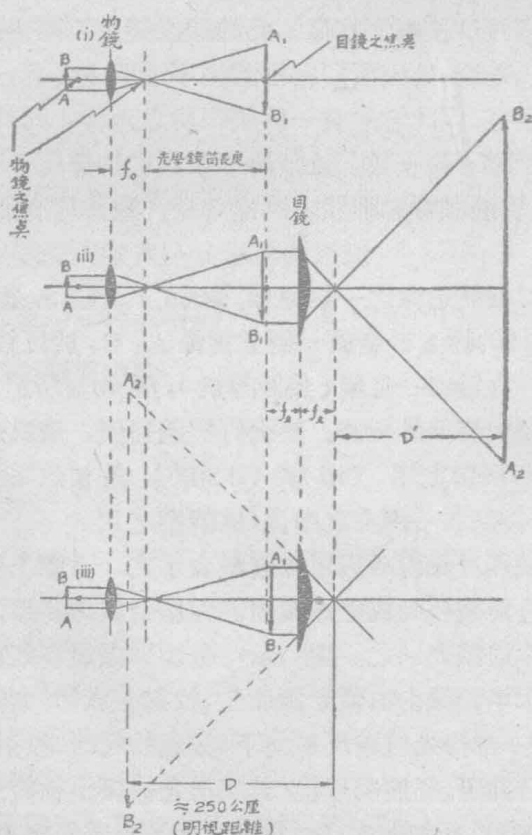
圖一說明顯微鏡造像之一般原理。圖中(i)僅示一物鏡（焦距等於 f_o ），該物鏡將目的物 AB 造成一倒立實像 A_1B_1 於目鏡之前焦面上。(ii)則同時示一物鏡與一目鏡（焦距等於 f_e ）。物鏡所造之初像 A_1B_1 ，其位置適在目鏡前焦面外少許，然後再經過目鏡，造成一豎立之實像 A_2B_2 ，供投影或照像之用。(iii)與(ii)相似，惟初像係造於目鏡前焦面內少許，故最後造成一倒立之虛像，供觀察之用。

圖一中物鏡與目鏡皆各以單片透鏡表示之。實際上應用之鏡頭，則常為由數個透鏡結合而成之透鏡組。但結合後之主要造像作用，仍可用相當之單片透鏡表示之。圖二示一金屬顯微鏡在觀察試樣時造像之詳細情形。水平光線由右側光源產生，投射在成 45° 角傾斜之平玻璃反射體上，其中一部份光線遂反射向下，經過物鏡後，投射於目的物上。目的物上之 AB 部份，經照明以後，其反射光線經由物鏡焦聚，造成一倒立之實像 A_1B_1 。此初像 A_1B_1 復經目鏡（此處舉例者為漢琴目鏡）造像，成為一可見的倒立虛像 A_2B_2 。人眼若置於目鏡外適當位置處，

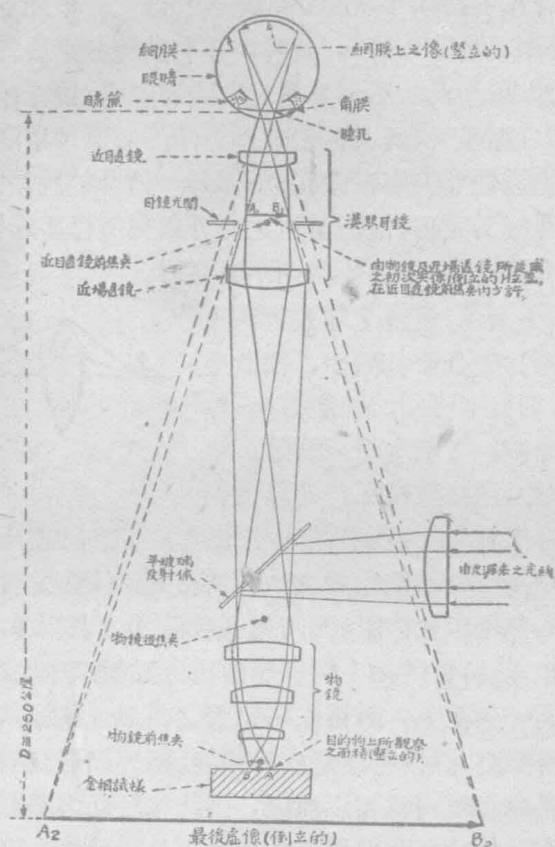
則此像即可看到。通常，人眼觀察物件最感清晰時之距離，即明視距離，約為250公厘左右，故使用顯微鏡時，常調節目的物與鏡頭間之相對位置，務使最後生成之虛像 A_2B_2 ，離眼之距離適為明視距離。

2. 透鏡之各種光學畸差及其校正

如上節所述，顯微鏡中所用之物鏡或目鏡，通常皆非單片透鏡，而係由數個透鏡組成之透鏡組。其所以須由數個透鏡構成，實因單個透鏡造像時均有種種光學畸差發生，以致影響像之品質。欲消除或減少此等畸差之作用，必須利用多個透鏡之組合，方可達到。



圖一 顯微鏡造像之簡單原理



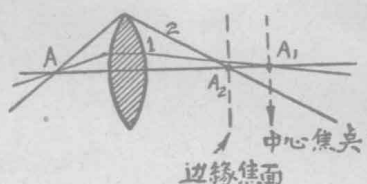
圖二 金屬顯微鏡之造像原理以及造像時光線經過之途徑。

光學畸差之種類甚多，其中以球差與色差兩種最爲主要，茲特略述於下：

(1) 球差——單片透鏡，若其表面爲球狀的，則雖使用單色光(即具有一定波長之光線)，亦不能產生一全然清晰而無扭曲之像。例如，一具有球面之凸透鏡，設由其主軸上焦點外一點A處(見圖三)發出單色光，則靠近主軸之光線1受透鏡折射較少，故其生成之像A₁離透鏡略遠；但經過透鏡邊緣之光線2則受彎折較劇，故其生成之像A₂離透鏡略近。此種光學畸差稱爲球差。透鏡之球差若不予校正，則其造成之像必不甚清晰。

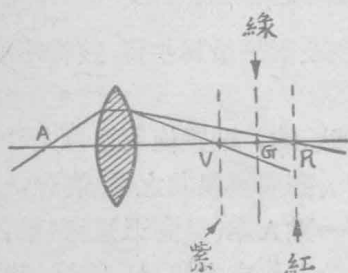
顯然，球差可藉縮小透鏡之口徑以減低之。惟此法足以損及透鏡之鑑別力(參閱本章第4節)。此外，亦有將透鏡之表面磨成非完全球狀以校正球差者，然此法不易準確，故亦少用。近代光學儀器中之重要透鏡，特別是口徑較大者，其校正球差方法係將數種不同光學玻璃或礦石磨成若干個透鏡(具有不同曲度之表面)結合後使用之。應用此法，球差之校正可較為完善，惟透鏡組之設計與製造皆甚為複雜。此種工作係屬於幾何光學中之一門，此處則不擬詳述。

雖然，如上所述，透鏡之球差可利用多個透鏡之適當組合使其減少，惟欲全部消除球差，則實不可能。一般情形，在主軸附近之球差，可基本予以消除，而離主軸較遠地區則甚難校正，尤以倍數較高及數字口徑較大之鏡頭為然。例如



圖三 透鏡之球面差作用。

顯微鏡中使用高倍物鏡觀察試樣時，欲得完全清晰之像極不容易。通常像域之中心部份可使清晰，而四週則較模糊。尤有進者，雖或有校正極佳之透鏡組，能將目的物上同一平面內各點皆造成清晰之像，但各像點則必不在同一平面上，而構成一彎形之曲面。觀察時雖可先焦聚像域之中心部份觀察，然後再逐漸向外焦聚，觀察四週；但在顯微照像時，則由於像域各處必須同時加以焦聚，因此無法使之全部清晰(此時，像域彎曲的性質可用放大型目鏡稍加補救之)。



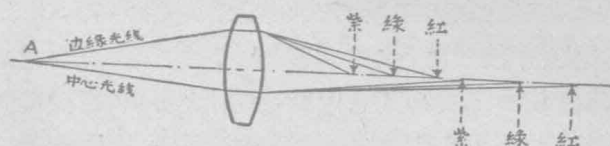
圖四 透鏡之色差作用。

(2) 色差——若由單片透鏡之一側發出白色光綫，透過此透鏡造像時，則因色散作用，造成之像將非為一點而為一系列之點羣(見圖四)。在一般介質例如光學玻璃中，波長較短之光綫其折射係數大，波長較長者則折射係數小。故若用凸透鏡時，紫光所造之像(V)常較近，黃綠光者(G)稍遠，紅光者(R)更遠。

此種現象稱為色差。色差存在時，妨害透鏡造像之清晰程度，因此必須予以校正，使各種顏色之像點儘可能重合於一點。由於不同介質具有

不同之色散性質，故色差之消除或減少通常亦利用多個由不同質料製成之透鏡，結合成透鏡組以達到之。

色差與球差欲同時加以校正，其設計在幾何光學中係一甚為複雜之工作。因為，白色光線穿過透鏡造像時，此兩種畸差(此外尚有其他光學畸差)常同時存在(如圖五所示)，故校正時亦應同時予以考慮。



圖五 透鏡之球色與色差作用。

3. 物鏡之分類

上節已略述透鏡中最主要之兩種光學畸差，即球差與色差作用。此兩種畸差之校正，在製造顯微鏡之物鏡時，頗為重要；否則，物鏡即使具有極高之放大力與數字口徑亦並無多大意義。光學畸差之校正程度，無法用一簡單之數字加以表示，僅能按校正程度之高低，大別為數類。顯微鏡之物鏡，常按球差與色差之校正情況，分成下列三大類：

(1) 消色差物鏡——消色差物鏡對球差之校正僅限於較狹範圍，通常為黃綠光區域內；色差之校正則為紅光與綠光兩區域內(見圖六)。由於其球差校正未至紫光與紅光區，色差之校正未至紫光區，故應用此種物鏡所造之像，不能得到各種顏色彼此間之真實關係，且殘餘色差現象亦仍有存在。因此，在觀察並辨別試樣上之微弱顏色時，或在顯微照像中應用可見光綫對光，而底片係對紫外光特別靈敏時，此種消色差物鏡並不十分適合。

由於消色差物鏡在黃綠光區之校正較佳，故使用此種物鏡時，常在入射光綫中插入黃綠色濾光片，使僅有黃綠光通過。至於紅色、藍色或紫色濾光片，則對於此種物鏡均不相宜。

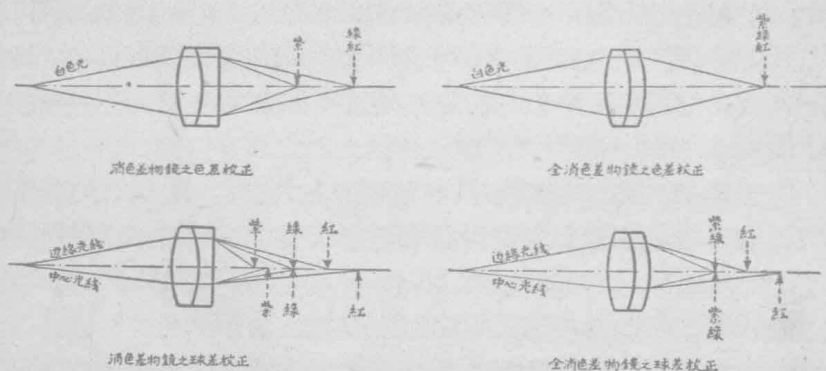
消色差物鏡由於光學畸差已大致予以校正，且售價較廉，故為顯微鏡中最常用之物鏡。

金屬顯微鏡上常用之消色差物鏡，放大力約自 $4\times$ 起至 $97\times$ 止不

等。其中具較低或中等放大力者，可與漢琴或經普通校正之目鏡組合使用，效果尙佳。放大力較高者，必須與補償型目鏡組合，以消除殘餘色差。

(2) 全消色差物鏡——此種物鏡對各種光學畸差之校正遠較消色差物鏡爲完善。色差之校正達三個主要光波區域，即紅、綠及紫光三區；球差之校正達二個區域，即綠光與紫光區（見圖六）。由於所用透鏡之數目較多，磨製亦較費時，故售價頗昂。用此種物鏡所造之像，其平坦度反較用消色差物鏡者爲差。因此，使用時必須妥爲調節對光。此外，其對球差之校正雖然特佳，惟橫向色差依舊存在，即物鏡對不同波長之光綫具有不同之放大力。故若此種物鏡與漢琴目鏡或其他簡單形式之目鏡組合使用時，其所造像之外緣常帶有各種顏色之綫條。特殊形式目鏡稱爲補償型目鏡者，雖亦具用橫向色差作用，惟顏色之次序適與物鏡上者相反，故與之組合以後，能消除橫向色差。因此，在使用全消色差物鏡時，爲求造像清晰起見，最好與補償型目鏡組合使用之。

由於全消色差物鏡對各種光學畸差之校正均較完善，故常用於高倍觀察與高倍之顯微照像。照明光顏色，可爲黃綠色或藍色，一般甚至使用白色者亦可。



圖六 消色差及全消色差物鏡對於色差及球差校正之大概情形。

(3) 半全消色差物鏡——此種物鏡性質大致係介於前述兩種物鏡之間者，一般常用氟石作爲構成質料之一，故有時或稱爲氟石物鏡。就畸差之校正而言，半全消色差物鏡係介於前述兩種物鏡之間，惟就其他

光學品質及一般作用而言，則較近於全消色差物鏡。使用時最好亦能與補償型目鏡相組合。

4. 物鏡之各種性質

顯微鏡之物鏡，具有頗多特殊性質。其中若干性質是需要的，係應用多個透鏡適當配合與校正後所求得者；另有若干是不需要的，但因其他各種因素所限，在製造鏡頭時未能予以去除。

茲將物鏡主要之性質分述於下：

(1) 放大力——任一物鏡本身皆具有初步放大力，即不用目鏡時，物鏡亦有將實際目的物初步放大之能力。此初步放大力之值，常刻於物鏡之金屬桿上（目鏡本身亦具固有之放大力，其值亦常刻於目鏡筒上）。

任一物鏡與任一目鏡組合後，其總放大倍數不僅與兩者之原有放大力有關，且因兩者之間距離不同而變。試參閱圖一，因物鏡所造初像，大致在目鏡之前焦點附近，故物鏡之放大力應為

$$M_1 = \frac{A_1 B_1}{AB} \doteq \frac{L}{f_o} = \frac{\text{光學鏡筒長度}}{\text{物鏡之焦距}} \quad (1)$$

式中 L 係初像 $A_1 B_1$ 離開物鏡後焦點距離，稱為光學鏡筒長度。但通常因物鏡及目鏡之焦距皆甚小，故光學鏡筒長度與機械鏡筒長度（即自目鏡之近目透鏡至物鏡上端間距離）兩值相差不遠，因之(1)式中 L 值亦不妨以機械鏡筒長度代替之。

任一物鏡設計時皆對於一定機械鏡筒長度設計，此長度一般在160—250公厘之間。物鏡使用時，最好應用設計之鏡筒長度值，則造像之效果最佳。鏡筒長度如稍予變更雖尚無大礙，惟若改變過多，則不僅放大倍數亦隨之改變，且所造之像將呈歪曲，品質不佳。

顯微觀察時，試樣經物鏡所造之實像，通常適在目鏡前焦點內少許，而經目鏡所造之虛像則在明視距離250公厘處（見圖一）。因此目鏡之放大力為

$$M_2 = \frac{A_2 B_2}{A_1 B_1} \doteq \frac{D}{f_e} = \frac{\text{明視距離 (250公厘)}}{\text{目鏡之焦距}} \quad (2)$$

若顯微鏡實際使用時之鏡筒長度與物鏡設計時之鏡筒長度相同，則由第(1)及第(2)兩式，可得物鏡與目鏡組合後之總放大倍數：

$$M = \frac{A_2 B_2}{AB} = \frac{A_2 B_2}{A_1 B_1} \times \frac{A_1 B_1}{AB} = M_1 \quad M_2 = \frac{DL}{f_o f_e} \quad (3)$$

式中 D ， L ， f_o 及 f_e 皆以公厘為單位。此外應注意者，“總放大倍數為物鏡及目鏡兩者原有放大力之乘積”僅當使用某一固定之鏡筒長度時方然，亦即顯微鏡應用中之實際鏡筒長度與計算物鏡本身放大力時之鏡筒長度相同時方為正確。例如54倍物鏡與5倍目鏡在適當鏡筒長度下組合後之總放大倍數為 $54 \times 5 = 270$ 倍。但若鏡筒長度變更，則計算放大倍數時應另以因數乘之。

顯微照像時，物鏡所造實像係稍在目鏡前焦點外少許，然後此像再經目鏡放大，造一實像投影於對光屏或照像用底片上（見圖一(ii)）。此時，總放大倍數不僅與物鏡及目鏡之各別放大力有關，且與投影之距離，即目鏡與對光屏或底片間距離有關。令 D' 為投影距離，以公厘為單位，則放大倍數應為

$$M' = \frac{D'}{f_e} \times \frac{L}{f_o} = \frac{D'}{D} \times \frac{DL}{f_e f_o} = \frac{D'}{D} M_1 M_2 \quad (4)$$

此處 $D = \text{明視距離} = 250$ 公厘， M_1 及 M_2 分別為物鏡及目鏡之原有放大力。

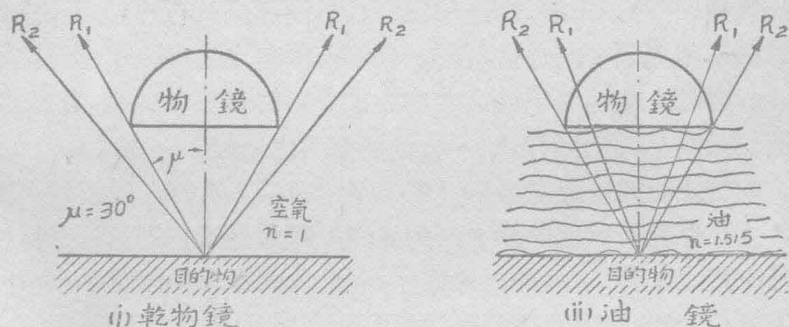
第(4)式僅能供近似計算之用，因實際上由顯微鏡製造廠商所告知之 M_1 與 M_2 數值，其有效數字之位數常甚少。此外， D' 之測定亦頗不易。因此，欲作較為準確之倍數測定時，應在顯微鏡之載物台上置一抬用測微計（即在平玻璃或金屬片上，刻有頗多距離極為準確之細綫，彼等距離係已知者，例如等於0.01公厘或0.1公厘等），將其投影於對光屏上，量出放大後各細綫間之距離，即可用以準確地計算總放大倍數。

(2) 數字口徑——由光學理論及實驗證明，使用顯微鏡觀察目的物時，其對於目的物上纖微之鑑別能力，主要係由於進入物鏡之光綫錐所張角度，即角口徑大小決定之。角口徑越大，則鑑別力亦越大。透鏡直徑之增大雖可提高角口徑之值，惟此法實際上甚不方便，且透鏡直徑增大時，光學畸差之校正，亦益感困難。實際上，欲增大角口徑，較為方

便之法係減小物鏡之焦距。

若在物鏡與欲加觀察之目的物間，充以折光係數較大之介質，例如香柏油，則進入物鏡之光量更將增加。圖七即示其原理之一般。(i) 爲以空氣(折光係數 $n \doteq 1$)作介質時，由目的物上射出之光綫 R_1 (與表面垂直線成 30° 角)，適經過透鏡之邊緣；但與垂直線所成之角大於 30° 者，例如光綫 R_2 ，則未能進入物鏡。

但如介質非爲空氣而係香柏油($n = 1.515$)時，則由目的物上發出之光綫將較靠近垂直線方面而折入油內，如圖七(ii)所示。光綫 R_1 趨近透鏡之主軸，而 R_2 則適通過透鏡之邊緣。故油浸式物鏡(簡稱油鏡)較之具同樣角口徑之乾物鏡能收入更多量光綫，亦即聚光能力較後者爲強(油鏡用後，應立即將油揩去。可用鏡頭紙蘸二甲苯少許，小心揩擦之。注意不可使用酒精或其他有機溶媒)。



圖七 乾物鏡與油浸式物鏡數字口徑差異之原因。

由此可見，物鏡之聚光能力與角口徑大小以及介質折光係數均有關係。根據理論計算，聚光能力應以數字口徑 A 表示之。 A 之定義如下：

$$A = n \sin \mu. \quad (5)$$

式中 n 爲物鏡及目的物間介質之折光係數， μ 爲通過透鏡邊緣之光綫與主軸所成之角，亦即角口徑之半。例如一物鏡之角口徑若爲 60° ，以空氣爲介質使用，則 $\mu = 30^\circ$ ， $n = 1$ ，故數字口徑爲

$$A = n \sin \mu = 1 \times \sin 30^\circ = 0.5$$

但若該物鏡爲油鏡，介質爲香柏油($n = 1.515$)，則

$$A = n \sin \mu = 1.515 \times \sin 30^\circ \approx 0.76$$

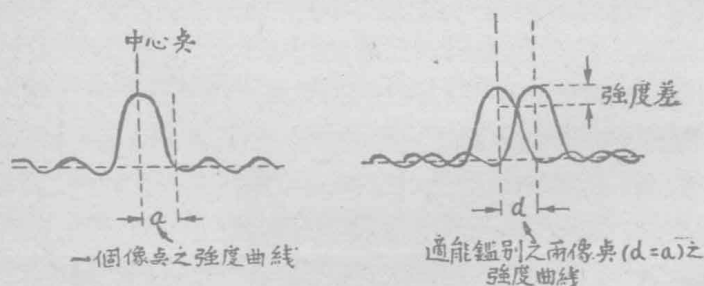
除香柏油外，尚有以水、甘油等作為介質之物鏡，惟較不多見。各種油鏡之數字口徑所能達到最大極限值大致如下：

介 質	折光係數 n	能達到之最大數字口徑值
水	1.33	1.25
甘油	1.46	1.25
香柏油	1.515	1.40
α -壹代溴萘	1.658	1.60

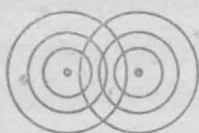
上表內最大數字口徑值恆小於折光係數，此因物鏡之角口徑實際上不可能磨至 180° ，亦即 α 恆小於 90° ，因之 $A = n \sin \alpha < n$ 。

(3) 鑑別力——物鏡之鑑別力即為其將目的物上極為接近之纖微造成清晰可分之像的能力。根據近代光學理論證明，目的物上一點經物鏡造像後，在像域上將並非一真正之點，而係一具有相當大小之白色圓斑，四週圍以頗多同心衍射環。此等衍射環之強度隨環之直徑增大而減小。圖八之左端即示像之強度曲線。 a 為白色圓斑中心最亮處（即強度曲線最高峯）與衍射環第一級最弱處間之距離。

目的物上極為接近之兩點，經物鏡造像後是否能成為清晰可辨之兩線，主要應視兩強度曲線上最高峯間距離 d （見圖右側）與上述 a 值兩者關係決定之。若 $d > a$ ，則兩像能截然分開，如圖九左端所示；若 $d < a$ ，則兩像無法分開，如圖九右端所示。因此， a 值係像域上所能鑑別之最小距離。設此距離與目的物上之距離 a_0 相對應，則可知目的物上兩點間距離若大於 a_0 者，此物鏡能予鑑別；小於此值者，則不能鑑別。



圖八 像點之強度曲線。



兩點之像經物鏡鑑別者； $d > a$



兩點之像未經物鏡鑑別者； $d < a$

圖九 兩點之像經物鏡鑑別者與物鏡未能鑑別者。

鑑別極限 a_0 與物鏡之數字口徑 A 及造像光線波長 λ 有關。若物鏡之口徑完全充滿入射光線時，則可由理論求得

$$\text{鑑別極限 } a_0 = \frac{\lambda}{2A} \quad (6)$$

由此式可知，若波長 λ 越短，或數字口徑 A 越大，則鑑別極限 a_0 亦將越小，即物鏡將具有更大之鑑別力。

茲舉一例如下：設有一物鏡， $A = 1$ ，其初步放大為 $100\times$ 。應用綠色光線($\lambda = 0.00053$ 公厘)照明造像，則

$$\text{鑑別極限 } a_0 = \frac{\lambda}{2A} = \frac{0.00053}{2 \times 1} = 0.000265 \text{ 公厘}$$

亦即，在使用綠色光時，此物鏡能鑑別目的物上相隔 0.000265 公厘之兩點。既然此物鏡之初步放大力為 100 倍，故此兩點經其放大成初像後相隔將為 $0.000265 \times 100 = 0.0265$ 公厘。由於人眼能鑑別之最小距離通常約為 0.11 公厘(在明視距離 250 公厘時)，故欲將此兩點在觀察時能截然分開，必須再利用目鏡放大，其所用目鏡之放大力最低應為

$$\frac{0.11}{0.0265} \doteq 4 \times$$

即組合後之總放大倍數至少應為 $4 \times 100 = 400 \times$ 左右。

設物鏡之數字口徑不等於 1 時，亦同樣可以證明：欲使該物鏡之最小鑑別距離在放大後能為人眼所分辨，則物鏡與目鏡組合後，總放大倍數至少應為物鏡數字口徑 400 倍左右。

設放大倍數為數字口徑 400 倍時，理論上雖可分辨最小鑑別距離，但實際觀察時人眼甚覺費力。在一般顯微鏡工作中，可將倍數提高至數字口徑之 500 — 1000 倍。惟應加說明者，即此時所見到目的物上之纖微，並不比用數字口徑之 400 倍放大時為多，僅觀察時眼睛較為舒適而

已。嚴格言之，此時造成之像已具有「虛空放大」成份。數字口徑之 1000 倍以上的放大，能使造像模糊，故通常甚少應用。但在應用油浸之全消色差物鏡，樣品磨製極為小心，而工作條件又極為理想時，則放大倍數可用至數字口徑之 1500—2000 倍。

由上所述，可知物鏡之數字口徑，其重要性實遠甚於放大力，因前者係真正決定物鏡品質之優劣。若數字口徑不足，則放大力雖竭力提高，亦無多大意義。此外，所用光線之波長，對物鏡之鑑別力亦有影響，例如使用藍光時，鑑別力即較使用紅光時為優。故在可能時（當然應考慮到物鏡所校正之光波範圍以及底片之顏色靈敏性等），應選用波長較短之光波。

（4）垂直鑑別力或對光深度——若觀察之目的物表面並不真正平坦，而稍有凹凸者，例如樣品表面侵蝕過甚致有浮雕現象，或樣品邊緣部份磨製後略呈彎曲時，則造成之像即不能十分清晰。然實際上，由於物鏡有相當之垂直鑑別力，故凹凸之深度在某一限度內時，尚可對光觀察。通常，放大力越高，數字口徑越大之物鏡，垂直鑑別力則越低。故使用此種物鏡時，樣品宜特別磨平，而對光亦更應小心。

（5）像域之彎曲度——在目的物上同一平面內各點，造像後之像點常不在同一平面上，即整個像域具有相當之彎曲度。因此，觀察時，若像域之中心部份清晰，則四週即較不清晰。此種情形在數字口徑較大之物鏡尤為顯著。選用適當之日鏡與之組合稍能補救此缺點。

（6）工作距離——物鏡使用時，其前部透鏡與所觀察目的物之間距離稱為工作距離。低倍而數字口徑較小之物鏡，工作距離常較大，故使用時調節較易。但高倍而數字口徑較大之物鏡，則工作距離常甚小，有時目的物幾與物鏡之前部透鏡接觸，因之使用時調節較為不易；偶一不慎，即有將物鏡與目的物相碰而使物鏡受損之危險。

上述各點係物鏡之各種主要性質。此外，尚有較次要者，例如照明力、透光力等，此處不擬詳述。

5. 目鏡之種類與性質

目鏡亦為顯微鏡中重要零件，不論顯微觀察或顯微照像時皆須使

用之。目鏡之主要作用係將業經物鏡初步放大之實像再予以放大。在顯微觀察時，此最後放大之像爲虛像，離觀察者眼之距離通常約在250公厘左右；在顯微照像時，最後生成者爲一實像，供投影於對光屏或底片上之用。補償型目鏡，除一般放大作用外，尚有將物鏡所造初像之殘餘色差加以校正的性質。

在目鏡之前焦面上，常置有一光闌，俾限制視域之大小。若目鏡上附有顯微標度或十字細線者，則彼等亦常裝於該處。

目鏡之角口徑與一般物鏡相比，其值均甚小，惟鑑別物鏡所造之初像已足敷應用。由於其角口徑較小，故各種光學畸差對於目鏡之影響遠不及對物鏡之影響爲大，因之校正之要求亦可較低。

目鏡之放大力已於上節敘述物鏡放大力時附帶提及，即可用第(2)式決定之。通常應用之目鏡有 $5\times$ ， $7.5\times$ ， $10\times$ ， $15\times$ ，以及 $20\times$ 等數種。倍數再高之目鏡由於焦距過短，故不易校正。同時，目的物之鑑別主要係依賴物鏡行之，目鏡之主要作用則僅係將物鏡所造之像再度放大，故毋須求其有過高之放大力。

一般目鏡常可分成三種類型，即：(1)正型，(2)負型，(3)照像或放大型。茲略分述於後：

(1)正型目鏡——此種目鏡僅應用一個透鏡組，此組透鏡由兩個或兩個以上之透鏡合成，靠近視場者稱爲近場透鏡，靠近人眼者稱爲近目透鏡。此整個光學系統可視作單一凸透鏡，其前焦點在近場透鏡之外。故在適當情形下，此種目鏡可單獨作爲放大鏡使用。此爲正型目鏡與下述負型目鏡不同之點。

正型目鏡中最簡單者爲拉姆斯登目鏡(見圖十左側)，係由兩片平凸透鏡組成。爲限制像域之大小，在近場透鏡前置有一目鏡光闌，其位置適在整個目鏡光學系統之前焦點上。不論用於觀察或投影時，初像皆由物鏡單獨造成，不受此種目鏡影響。目鏡之作用，僅似單片凸透鏡，將初像再予放大而已。

(2)負型目鏡——以漢琴目鏡爲代表(圖十中部)，其中最簡單者係由兩片平凸透鏡構成。在兩透鏡間置有一目鏡光闌，其位置適在近目透鏡之前焦點處。若有顯微標度或十字細絲者，亦可裝於此處。

此種目鏡由於其兩透鏡組合後之焦點常位於兩透鏡之間，故不能單獨作為放大鏡使用。物鏡所造之像位於近場透鏡之後側，因此，近場透鏡實際上亦協助物鏡共同形成初像，此初像再由近目透鏡單獨放大，成為可見之虛像，或照像用之實像。

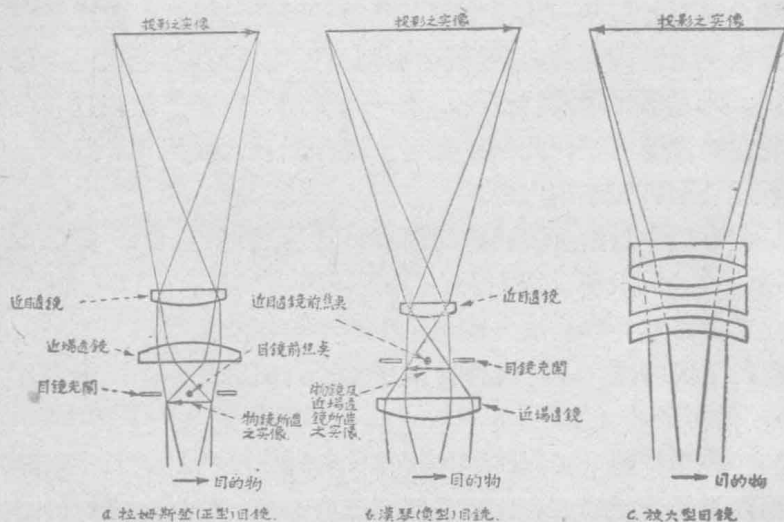
漢琴目鏡在顯微觀察或照像時皆可使用。其色差校正常較拉姆斯登目鏡為優，惟球差校正則稍遜。又在同樣放大力下，漢琴目鏡之視場較拉姆斯登者為大。

負型目鏡之放大力甚少超過 $12\times$ 者，因更高倍數時，正型目鏡之校正，往往較負型者為佳。

(3) 放大型目鏡——此種目鏡亦由多個透鏡結合，結合後之作用似一凹透鏡，僅在投影或照像時使用，不能應用於顯微觀察工作中。

如圖十右側所示，就所起之作用而言，放大型目鏡似為物鏡一部份，協助物鏡共同造成一實像。顯然，透過物鏡之造像光線，在初像尚未形成時即已進入目鏡之中。

放大型目鏡之色差均予以過份校正，故應與全消色差或半全消色差物鏡組合使用，俾色差作用能相互抵消。如此則造成之像較為平坦，品質亦佳。



圖十 顯微照像時，正型、負型與放大型三種目鏡之作用。