

金属矿物在显微镜下的鑑定

第一冊

И.С. 沃寄斯基 著

256

地质出版社

122

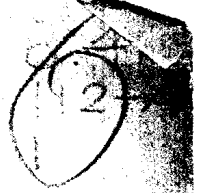
4-1

2

125

3

2



金属矿物在显微镜下的鑑定

第一冊

И. С. 沃 喬 斯 基 著

韓 倬 元 譯

地質出版社

1957 • 北 京

И. С. ВОЛЫНСКИЙ
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ
ПОД
МИКРОСКОПОМ
ТОМ 1
ГОСГЕОЛИЗДАТ 1947

全書共分三冊。本書是第一冊，主要敘述顯微鏡的構造、光片的制法和金屬礦物可供鑑定的特性及研究這些特性的方法。

本書可供地質人員、采礦冶金人員鑑定金屬礦物時應用，亦可供地質院校師生參考。

金屬礦物在顯微鏡下的鑑定

第一冊

著者 И. С. 沃 崙 斯 基
譯者 韓 倬 元
出版者 地 質 出 版 社

北京宣武門外永光寺西街3號

北京市書刊出版業營業許可證出字第050號

發行者 新 華 書 店
印刷者 地 質 印 刷 廠

北京廣安門內教子胡同甲32號

編輯：孫際先 技術編輯：李璧如 校對：曹次民

印數(京)1—2,300冊 1957年9月北京第1版

開本31"×43¹¹/₂₅ 1957年9月第1次印刷

字數240,000字 印張10¹⁸/₂₅

定價(10)1.40元

目 錄

原序	7
緒論	8

第一篇 礦相顯微鏡

I. 礦相(礦石)顯微鏡光学系統的敘述	11
1. 概論 顯微鏡放大倍數的確定	11
2. 球面象差和色象差	13
3. 分辨力、口徑	14
4. 顯微鏡的總放大	16
5. 物鏡和目鏡	16
6. 利用反光照明器照明不透明的對象	18
7. 偏光設備	22
8. 濾光器	23
II. 礦相(礦石)顯微鏡的構造各種類型顯微鏡的描述	26
1. 顯微鏡的主要機械部分	26
2. 列伊特茨儀器 (Аппаратура. Лейтца)	29
3. 列伊赫爾特儀器 (Аппаратура. Рейхерта)	35
4. 蘇聯儀器及其改進	41
III. 一般的觀察方法, 最主要的輔助附件	49
1. 對象的裝置	49
2. 光片的拭淨設備	51
3. 照明的調節	52
4. 顯微鏡的中心校正	53
5. 對象在載物台上的移動和固定	54
6. 油浸觀察	56
7. 顯微鏡的刻度礦物顆粒的測定	57
8. 顯微鏡的養護	61

第二篇 光片的制备

I. 研磨和磨光的概論	64
II. 材料和設備	66
1. 磨料	66
2. 机床和輔助用具	71
III. 研磨和磨光的方法	74
1. 制备光片的一般方法	73
2. 特別的情况	79
3. 光片的缺点及其改正	86

第三篇 金屬礦物的鑑定性質及其研究方法

I. 概論	88
1. 金屬礦物在顯微鏡下鑑定的方法發展的概述	88
2. 金屬礦物的現有鑑定方法的概述	90
3. 根据光片中礦物的物理性質各种礦物的鑑定	91
II. 反射光的結晶光学概論	98
1. 反射力、入射偏光面的旋轉、反射率的光率体	98
2. 双反射	106
3. 反射力的色散, 反射光中礦物的顏色	109
4. 浸油对光片中礦物的光学性質的影响	111
5. 在正交偏光鏡下的光学現象	114
6. 測定反射力的实验室工作法	120
III. 物理鑑定性質的觀察及定性判断	135
一、光学性質	135
1. 用比較法反射力的判断	135
2. 在正交尼科尔鏡下非均質性效应的觀察和判断	144
3. 双反射的觀察和判断	150
4. 在反射光中礦物顏色的鑑定	155
5. 內反射的研究	158
二、其他的物理鑑定性質	162
1. 硬度	162

2. 光片中礦物顆粒的截面形狀·····	177
3. 雙晶構造·····	179
4. 解理·····	181
5. 磁性·····	184
6. 導電性·····	185
7. 光蝕·····	192
三、光片中的透明礦物的觀察·····	193
IV. 浸蝕鑑定化學成分的定性分析·····	205
1. 浸蝕鑑定·····	205
2. 微量化學和點滴定性分析的方法·····	209
一些元素進行試驗的操作結果：·····	221
鈮 (221頁)；鈹 (221頁)；鎢 (222頁)；	
鎳 (222頁)；鐵 (222頁)；金 (223頁)；	
鎳 (223頁)；鈷 (224頁)；錳 (225頁)；	
銅 (225頁)；鉬 (225頁)；砷 (226頁)；	
鎳 (226頁)；錫 (226頁)；鈮 (228頁)；	
鉑 (228頁)；汞 (228頁)；鉛 (228頁)；	
硒 (229頁)；硫 (229頁)；銀 (230頁)；	
銻 (230頁)；碲 (230頁)；鈦 (231頁)；	
鈾 (231頁)；鋅 (232頁)；	
3. 印痕法·····	232
4. 放射照相·····	248
V. 礦相觀察的概述·····	250
1. 研究的任務·····	250
2. 研究的方法·····	254
參考文獻·····	262

原 序

金屬礦物的鑑定乃是研究礦石及其機械加工產物的最初的并且是最重要的階段，这就促使作者寫了這一本僅僅涉及鑑定問題的書。這里所提出的金屬礦物在光片中的鑑定方法，使現在通用的以浸蝕鑑定為基礎的、繁瑣的、不完整的方法有了重大改變。

這里所敘述的方法是以下列原理為根據：具首要鑑定意義的是光片中礦物的物理性質；鑑定礦物的過程中不必將觀察鑑定特征的順序作劃一的規定；在鑑定礦物的過程中，對於沒有代表性的或表現不明顯的特征應當不加以注意。借助於方格表而制定的鑑定表（第二冊）來實現後兩個條件是有可能的。建議把礦物反射力的判斷作為主導的鑑定方法。為了這個目的，將所有廣泛分布的和許多稀有的金屬礦物，以及礦石中最常見的次生礦物和脈石礦物按反射力數值遞減順序來進行分類。其他物理性質同樣也有着重大的意義，在這些性質方面進行了相應的礦物分類，並提出了合理的觀察方法。

為了充實我國礦床的礦石成分方面的知識，為了設計礦石加工的過程，鑑定組成礦石的所有礦物是必要的。礦石的全面研究有助於完成擺在我們面前的綜合利用礦物原料的迫切任務，這一任務是恢復和發展我國國民經濟新的斯大林五年計劃所規定的。使礦石研究工作更容易進行、加速、並使其更精確，這就是本書準備達到的目的。

在編著此書時，曾廣泛地利用了文獻資料，以及作者自己在改進礦石顯微鏡構造與使用法方面的經驗。驗證此處所發表的金屬礦物鑑定特征用的礦物材料，是列寧格勒礦山博物館給予的。

本鑑定表曾由作者做報告在全蘇礦物學討論會（莫斯科，1937年）上得到贊同。

作者對擔任此書編輯工作的阿·格·別捷赫琴教授以及在方法上和教學工作中經常給予協助的В. В. 阿爾申諾夫（В. В. Аршинов）教授和В. М. 格列伊特爾（В. М. Крейтер）教授表示深深謝意。

全蘇礦物原料研究所

緒 論

礦相學是一個還沒有完全形成的、年青的科學研究部門。但是礦相學在地質-礦物學科範圍中所居的地位，它的主要任務及完成這些任務的途徑，現在已十分明確。

阿·格·別捷赫琴在其最近發表的論文中總結了他較早發表過的論述，把岩石體和金屬礦床的研究任務和方法作了有根據的比較。別捷赫琴將金屬礦床科學的內容劃分為以下三個部分：（1）造礦礦物的研究方法，（2）敘述礦相學，（3）金屬礦床學。岩石科學中與這些部分相應的為：（1）造岩礦物的光學研究方法，（2）敘述岩相學，（3）岩石學。

這裡所比較的兩門地質科學主要部分之所以相類似，乃由於礦物生成規律的共同性。成礦和成岩化學元素的各种性質及由此發生的造礦礦物和造岩礦物性質的差別，它們形成的物理化學條件的特點，共生的特點，礦物共生體的構造和結構的特點——這就是決定着這兩門科學中各自的研究任務和方法的特點的主要不同特性的綜合。此外，實用特性的考慮，在決定礦石和金屬礦床的研究工作時也會發生重大的影響。

礦石的顯微鏡研究，目的在於全面了解主要由重金屬不透明礦物構成的礦物集合體的礦物結構特徵。因此，礦相學研究的主要內容，與岩石的顯微鏡研究相同，即：測定集合體的礦物成分；了解礦石的結構（構造和結構）特點及各种類型礦石在礦體中的空間分布特點；闡明成礦順序。這些研究結果與野外觀察相結合，可用來解釋礦石形成的過程，也可作為地質評價的依據和全面地評述礦床工業價值。

礦相學除了解決或有助於解決上述的研究任務以外，對礦相學還提出了許多具有重大實際意義的狹隘實用性質的要求。選礦過程根據

預先進行的原料顯微鏡分析來設計，又用同樣的分析方法來檢查。冶金過程設計和檢查也要考慮原料及其熱處理後的產物的礦物成分。在後一情況下，礦相學與金相學的（顯微鏡的）分析方法有着緊密的聯繫，即與之有許多共同的研究方法。

在應用礦相學的各部門中，礦物成分的測定都是礦相學研究的主要任務之一。一方面，是由于這種原故，另一方面，也由于金屬礦物在顯微鏡下鑑定的困難，這說明了為什麼研究工作者們不斷地力求改進鑑定方法和積累關於金屬礦物在光片中的鑑定性質的材料。

礦石研究方法產生後，其改進是緩慢而沒有計劃的。最初嘗試肉眼研究個別不透明礦物是在上世紀初期，但在以後整個一世紀中並沒有繼續進行最初的礦石研究。這方面的重大嘗試，是在本世紀初，地質學家Е. Д. 斯特拉塔諾維奇（Е. Д. Стратанович）根據俄國著名學者Е. С. 費多羅夫（Е. С. Федоров）的倡議，在土拉銅礦（北烏拉爾）首先大規模進行的。Е. Д. 斯特拉塔諾維奇用肉眼研究了磨光的和蓋以透明光油的礦石塊狀標本，這幫助了他詳細研究礦石中原生的成礦作用和複雜的次生變化。

過渡到顯微鏡觀察促進了廣泛應用礦相學，在觀察方法上所選擇的方向，麥爾多克（Мердок）、德維（Дези）和法爾哈姆（Фарнхэм）妨礙了方法的改進。那時金屬礦物在顯微鏡下的鑑定主要是用浸蝕鑑定法。這種方法的原理和技術要借助於金相學的研究方法，並且，象長期實踐指出的那樣，沒能保證這種方法有發展的可能性。

較後，在反射光的光學理論方面的研究，確定了應用金屬礦物的光學特性，進一步改進方法的可能性。在這一方法發展的過程中，曾提出了許多方法上的建議。這些建議中有一些是有實際用處的，另一些則沒有多大效用，甚至有原則錯誤。這些建議中最主要的一些在本書第三篇的概論和正文中有說明。同時，為了全面了解過去的情況，甚至對一些犯有原則性錯誤的但至今還未受到應有的科學批判的建議（用史奈德洪〔Шнейдерхен〕和塔爾默伊德日〔Галмейдж〕法在反射光中判斷顏色，用貝瑞克〔Берек〕法測定反射力，用弗里克〔Фрик〕法鑑定反射力的色散等）在這裡也加以研究，這對工作會有好處。

苏联地質科学認為礦相学对發展金屬礦床学和实际認識礦石有重大意义。在应用顯微鏡的初期，К.И. 維斯康特 (К. И. Висконт) 就向苏联地質学家建議广泛利用礦相学以研究礦石。从1922年起，列宁格勒礦業学院就开始認識了礦相学的研究方法，后來其他高等專門学校也把这种方法列入了課程大綱之內。在我國首先發表礦相学研究的是最先提出礦石構造的成因分类的 И. Ф. 格里戈里耶夫 (И. Ф. Григорьев) 院士。И. Ф. 阿布拉莫夫 (И. Ф. Абрамов) 給我們編寫了第一部礦相学方法指南。后來，А. Г. 別捷赫琴、Л. В. 拉杜金娜 (Л. В. Радугина) 和С. А. 尤什科 (С. А. Юшко) 的教科書，以及別捷赫琴所寫的关于礦石構造和結構的分类和关于确定礦相学內容的重要而有名的著作，做为一門科学，促進了苏联在研究、教学和生產的實驗室在實踐中广泛运用顯微鏡研究礦石的方法。

現在許多苏联研究人員在礦相学方法和儀器的改善方面、金屬礦物鑑定特性的确定以及对我國礦床的礦石均進行着系統的研究。我國專家在礦相学各方面的創造性的劳动表現在其所采取的研究方向是新穎的，有嚴正科学根据的并且又是前進的。

第一篇 礦相顯微鏡

I. 礦相（礦石）顯微鏡光學系統的敘述

1. 概論 顯微鏡放大倍數的確定

在學習礦相學或岩相學課程時，通常很少注意到顯微鏡的敘述。但是，無論對顯微鏡的光學部分或機械部分都必須全面了解，因為關於研究用的主要工具的知識了解得不夠，會使研究工作發生困難而且減低其質量。

在研究礦石時必須應用顯微鏡，其作用首先在於發現礦石中許多細小的（肉眼不能看到的）礦物微粒。此外，分析和鑑定礦物微粒連生體的結構也包括在研究任務之內，而礦石的結構細節通常是極其細微的。為研究礦石而利用偏光顯微鏡能夠觀察礦物的結晶光性，這會大大地使礦物的鑑定簡單化。

礦相顯微鏡是按照研究不透明的對象——從上面（即從顯微鏡物鏡側面）照明的礦石光片而設計的。在這個情況下，物鏡的象是從光片磨光面反射出的光線所產生的，因此，這種顯微鏡研究就叫做反射光中的研究，以區別於岩石和透明礦物的顯微鏡研究，後一種是用薄片在透過光中進行的。

在所引用的畫有對象（礦石光片）和顯微鏡最主要的光學部分（物鏡和目鏡）的礦石顯微鏡的示意圖（圖1）中，為了使圖簡單化，用從左上方落到不透明光片上的箭頭來表示照明的方式。用細實線表示光線的進程。這種光線從光片反射出來並在目鏡的光圈平面上造

成对象某部分 (AB) 的实际的 (倒轉并放小的) 象 ($A'B'$)。这个象借助于目鏡上部的 (接目的) 透鏡可以投影到眼的網膜上, 因而感觉有一种虛 (倒轉并放大的) 象, 它好象处在距观察者的眼睛 250 公厘——所謂明視距离。这样距离是大于顯微鏡鏡筒長度的, 因此象彷彿位于对象之下。在圖 (圖 1) 中, 这种位置沒有表示出來, 因为

把圖的尺寸縮小了。

顯微鏡的放大取决于物鏡和目鏡的各个放大倍数。在進行观察时, 顯微鏡的放大倍数是由物鏡和目鏡的各个放大倍数 (通常标记在鏡框上) 而組成的, 并决定于这些放大倍数的乘積。

例如, 二十倍的物鏡 (鏡框上的标记— $20\times$) 与七倍的目鏡 (鏡框上的标记— $7\times$) 的結合就造成顯微鏡的总放大倍数——一百四十倍 ($20\times 7=140$)。

在投影时的放大不僅决定于物鏡和目鏡的各个放大, 而且决定于无光澤玻璃或其他遮光板与顯微鏡目鏡之間的距离。只有在这个距离等于 250 公厘的情况下, 投影时的放大才会等于主观观察时的放大。在所有其他的情况下, 投影时的放大 K' 是

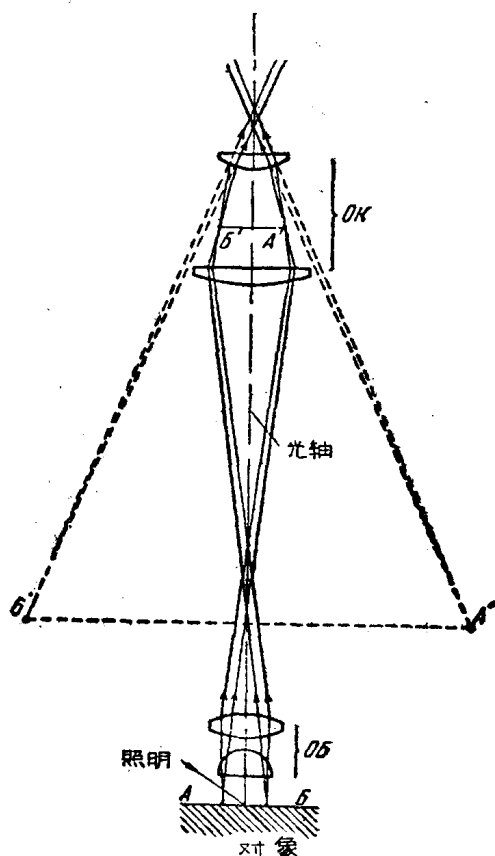


圖1. 顯微鏡光学部分的配置和光綫的進程圖

OB—物鏡; OK—目鏡

按照下面公式來确定的。

$$K' = K \frac{l}{250},$$

式中： K —标志主觀观察时的顯微鏡放大； l —无光澤玻璃与顯微鏡目鏡之間的距离（公厘）。

按照以上所引的公式計算投影时的顯微鏡放大，通常不是絕對正确的，因而当求近似的計算时，才可以利用这个公式。比較正确的确定，例如礦石的顯微鏡照象的放大的确定，是要用直接測定的方法來实行的。为了这个目的，就得利用对象測微尺——帶有刻着一公厘（或兩公厘）标尺的金屬薄板，这种标尺划分为一公厘的百分之一的分度。測微尺被决定部分的、投影在光度計的无光澤玻璃上的象，是用帶有公厘分度的通常規尺測定的。象被測定的長度与这个部分实际長度的比例决定象的比例尺的大小，即在該投影条件下顯微鏡的放大倍数。

2. 球面象差和色象差

如果为得到对象放大的象而利用簡單透鏡的話，那末由于許多原因这种象將是畸形的。象变为畸形的主要原因乃是球面和色象差所引起。为了說明这些現象只要充分注意到对象任何一点的象的獲得就可以，然后把得出的結論推广到对象的象的整个平面。

对象点 O 的象（圖2）是由既通过透鏡中央部分，又通过邊緣部分的光綫組合而成的。同时，由透鏡中央部分的光綫所造成的象 O_1 到透鏡的距离比由邊緣光綫所造成的象 O_2 到透鏡的距离大。这种現象叫做球面象差。此外，对象点 O 的象在白光（圖3）中应当認是由白光的各種分量，即不同波長的光綫所造成的象的結合。但是，不同顏色的光綫在通过簡單透鏡时会發生不同的折射。因此，由不同顏色的光綫所造成的象 O_1 和 O_2 距透鏡的距离就不一致。这种現象叫做色象差。

由于兩種象差的組合，結果借簡單透鏡之助而得到的象模糊不清，并在其周圍顯出有色的虹边。象差的有害影响随着放大倍数的增高而加剧，但是用几个由各种玻璃作成的透鏡的結合方法可能把这种影响减少，在制造顯微鏡的物鏡时就是这样做的。

根据校正象差的程度把物鏡分为两种：复消色差物鏡，它实际上可以校正所有光谱颜色的球面象差及色象差；消色差物鏡只可以校正光谱中央部分的光线的两种象差。带有黄绿色滤光器的消色差物鏡可以产生在清晰度上等于用复消色差物鏡而得到的象。在进行对象的瑕疵特别敏感的顯微鏡照相时，就是利用消色差物鏡的这种性質。

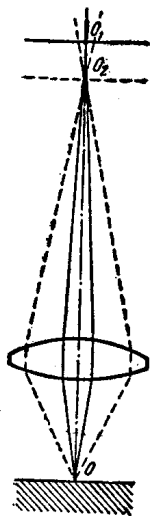


圖 2. 球面形象差

O —对象上的点； O_1 —由中央光线所造成的点 O 的象； O_2 —由边缘光线所造成的点 O 的象

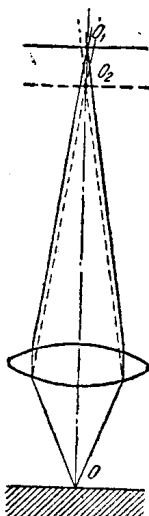


圖 3. 色象差

O —对象上的点； O_1 —由紅色光线所造成的点 O 的象； O_2 —由藍色光线所造成的点 O 的象

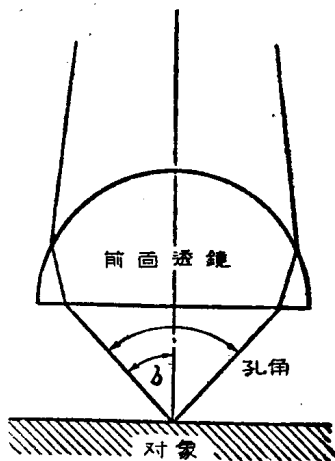


圖 4. 物鏡的口徑

$$A = n \cdot \sin \delta$$

3. 分解力 (разрешающая способность)、口徑

在顯微鏡中所得的象的質量决定于对象細節 (деталь объекта) 表現的清晰度，即所謂分解力。这种分解力取决于物鏡在球面象差和色象差方面的校正度，并且主要取决于口徑数值，通常簡称为口徑。物鏡的口徑 A 决定于一半孔角 δ 的正弦乘位于对象与物鏡的下面 (即前部) 透鏡之間的介質的折射率 n (圖 4)：

$$A = n \cdot \sin \delta$$

从对象的一点向物鏡的前部透鏡平面入射到光錐上端的角，叫做物鏡的孔角。对于为在空气介質 ($n=1$) 中工作而設計的物鏡來說，口徑的数值理論上最大数值为一，因为孔角在理論上可能等于 180° ，而它的一半—— $\delta=90^\circ$ 。但是，实际上可以达到的最大的孔角約为 144° ，相当于 $\delta=72^\circ$ ，或口徑的最大数值（对空气介質來說） $A=\sin 72^\circ=0.95$ 。

在物鏡与对象之間的空間充滿着折射率大于一的介質的情況下，口徑的数值是可能大于 0.95 的。通常利用折射率为 $n=1.515$ 的柏油作为这种介質，这使口徑大約增加到一倍半。在用柏油研究时所使用的特別物鏡，叫做均匀的油物鏡，或油浸物鏡。与此相反，在不用油研究时所使用的物鏡，叫做干物鏡。当然，这种或那种系統中的每一种物鏡只有在为其所設計的条件，才可能利用。

物鏡分解力对口徑以及对所使用光的波長的依賴关系决定于以下的法則：物鏡的口徑越大，入射到对象的光的波長越小，物鏡的分解力越大。象愈能把对象的較小的細節（微粒的大小或在微粒間的間隔）表現出來（分解），这个光学系統的分解力就越大。这在数量上可以用下面的公式表示：

$$d = \frac{\lambda}{A},$$

式中：

d ——細節的大小；

λ ——入射光的波長；

A ——口徑。

把 λ 和 A 的实际值代入这个公式时，就容易計算出在顯微鏡下可能加以区别的構造細節的最小尺寸。

例如，在用列伊赫尔特的活动油浸物鏡在白光（在計算时采用黄色光的波長 $\lambda=0.55\mu$ ）下观察时，可能把这样的微粒区别开来，它們的大小 $d = \frac{\lambda}{A}$ ，即約为 0.5μ 。对于非常小的微粒（ $0.2-0.3\mu$ ），只

有在紫外光中進行顯微鏡照象并利用口徑很大 ($A \approx 1.5$) 的按照強折射的油浸液而設計的油浸物鏡時，才可能顯現出來。

4. 顯微鏡的總放大

在本章第一節中指出，顯微鏡的總放大取決于物鏡和目鏡的各個放大。物鏡造成第一個象（中間的），其構造細節表現的明顯度取決于物鏡的口徑。用目鏡可以把這個象再一次放大，但是，第二次放大當然不可能把已由物鏡所顯現出的構造細節以外的新的構造細節顯現出來。

用極高倍的目鏡和長距離的投影，可以得出很大尺寸的象，但是這種象却是“空白的”；按照象的規模所希望的細小構造的細節是不會出現的。使用極低倍的目鏡可以導致另外一種極端：在中間的象中已由物鏡分解出的構造細節，不會出現于由目鏡造成的象中。這兩種原理是由阿伯氏（A66e）法則來考慮的，這種法則是：顯微鏡的總放大決定于物鏡的分解力，即決定于它的口徑，並且應當處在從 500 至 1000 A 的限度之內。作為這個法則的例外的，乃是在實行主觀觀察和顯微鏡照象時所利用顯微鏡的很低倍放大。

5. 物鏡和目鏡

礦相顯微鏡配備有一套特別的物鏡，與在透射光顯微鏡中所應用的普通物鏡多少有差別。

礦相顯微鏡的結構規定必須縮短物鏡鏡框，因此這種物鏡就取名為短頭物鏡，或短框物鏡。此外，在實行短頭物鏡的光學計算時應考慮到礦石光片是不用蓋玻璃來遮住的，這就象對透明標本進行操作一樣。物鏡估計的特點是：對蓋玻璃實行過校正的物鏡（透射光中觀察用）和未對蓋玻璃校正過的物鏡（反射光中觀察用），其計算上之特點，在低倍放大（約在 $15\times$ 以下）時顯不出，並且這種和那種物鏡是可以相互代替的。在高倍放大時，只有用相當于其設計所根據的那些條件的物鏡才能實行觀察，就是說在礦相學中只能使用短頭物鏡。

礦相顯微鏡用的一套物鏡，應該保證能夠在廣泛放大範圍內實行