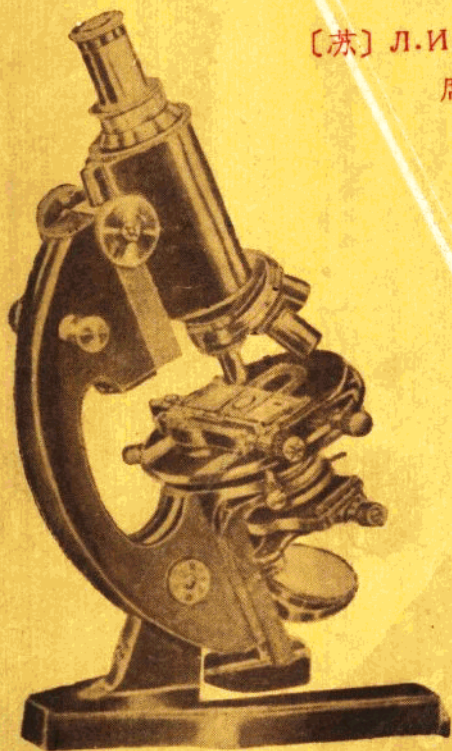


# 显微照象 实用手册

〔苏〕Л.И. 楚克尔曼 著  
席聚奎 译



# 显微照像实用手册

〔苏〕Л. И. 楚克尔曼 著

席聚奎 译

中国工业出版社

本书包括有简要的理论部分和较丰富的实用部分。在第一部分中叙述了显微镜的构造和工作原理,并概述了现有的各种显微镜。第二部分叙述了各种显微照像机及其附件,并详细地介绍了各种实物显微照像的实际方法。在专门一章中讲述各种照像材料和它们的处理方法。

本书可做为地质、选矿、金相、岩相以及古生物学方面的工作人员的工作手册;也可供高等学校和中等专业学校的学生参考之用。

Л. И. Цукерман  
ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО  
ПО МИКРОФОТОГРАФИИ  
Металлургиздат (Москва 1950)

\* \* \*

### 显微照像实用手册

席聚奎 译

(根据冶金工业出版社版重印)

\*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊编辑室编辑

(北京市灯市口71号)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可出字第149号)

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*

开本  $850 \times 1168^{1/32}$  · 印张  $8 \frac{5}{8}$  · 字数 210,000

1960年3月北京第一版

1964年2月北京新版·1964年2月北京第一次印刷

印数 001—605 · 定价 1.10 元

\*

统一书号: 15165·3085 (冶金-508)

## 目 录

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 序 .....                       | 5   |
| <b>第一章 显微镜</b> .....          | 11  |
| 1. 显微镜的構造 .....               | 11  |
| 光学部分 .....                    | 11  |
| 机械部分 .....                    | 34  |
| 2. 显微镜的功能 .....               | 39  |
| 显微镜中的光程 .....                 | 39  |
| 显微镜的分辨能力 .....                | 41  |
| 3. 显微镜的类型 .....               | 45  |
| 矿物显微镜 .....                   | 45  |
| 矿相或矿石显微镜 .....                | 53  |
| 金相显微镜 .....                   | 63  |
| <b>第二章 显微照像机</b> .....        | 72  |
| 1. 照像机的構造 .....               | 72  |
| 2. 光源 .....                   | 74  |
| 3. 照像机箱 .....                 | 78  |
| 4. 显微照像机的类型 .....             | 80  |
| 5. 光的校正中心 .....               | 91  |
| 6. 濾光片 .....                  | 98  |
| <b>第三章 摄影</b> .....           | 112 |
| 1. 显微照像实验室的佈局和设备及摄影前的准备 ..... | 112 |
| 2. 透明磨片的摄影 .....              | 116 |
| 3. 表面粗度的測定 .....              | 130 |
| 4. 实验标本的制备和摄影 .....           | 131 |
| 5. 金粒的摄影 .....                | 146 |
| 6. 矿相摄影 .....                 | 149 |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 7. 在傾斜光下攝影 .....          | 171        |
| 8. 在不可見光下攝影 .....         | 189        |
| 9. 宏觀組織的攝影 .....          | 207        |
| 10. 古生物的攝影 .....          | 218        |
| <b>第四章 照像材料及其處理 .....</b> | <b>222</b> |
| 1. 光對照像底板的作用 .....        | 222        |
| 2. 感光學的基本概念 .....         | 225        |
| 3. 照像底板 .....             | 230        |
| 4. 顯影 .....               | 236        |
| 5. 印像 .....               | 263        |
| 6. 放大 .....               | 272        |
| <b>參考文獻 .....</b>         | <b>275</b> |

## 序

显微鏡檢驗是很重要的研究方法之一，它曾給人类开辟出一个新的、廣闊的、全然是人所不知的領域。

它曾在自然唯物觀的發展方面起过不可估价的作用，它乃是三大發現之一的“有机体的細胞構造”的發現前提，因此，按照恩格斯所說：人类对于在自然界中所体现的各种过程的相互間关系的認識是在一日千里地向前飞躍着的。

現代，科学能够研究極微小的組織。电子显微鏡能使我們看到几乎是与大型分子的大小相近的各种微粒。

在显微鏡檢驗的發展方面，俄国的科学家們、發明家們和技師們过去在創造显微鏡的構造上，都曾有過宝贵的貢獻。

在不久以前所發表的“俄罗斯在第十八世紀的显微鏡和显微分析的历史”一書中，索保利(С. Л. Соболев)教授曾指出，根据几乎是普遍所流行的概念是，俄国的显微鏡檢驗只不过是在上世紀的60年代中随着我們科学界中的各偉大的显微鏡家梅奇尼科夫(И. Мечников)、科伐列夫斯基(А. Ковалевский)和欽科夫斯基(Л. Ценковский)的出現而产生的，或者，至早是由于布爱尔(К. М. Бэр)的归国，在30年代中产生的，这些概念都完全是錯誤的。索保利教授写道：“我的印象是，在俄国的显微鏡檢驗的历史發展中，深入的有系統的研究，应溯源于罗蒙諾索夫(М. В. Ломоносов)。而且，这一印象，当我在战后得到了繼續我自己的工作机会并对保存在莫斯科和列宁格勒档案庫中的档案資料以及俄罗斯第十八世紀的报刊做了系統考察的时候，便已变成<sup>①</sup>了一个坚定的信念”。在索保利教授的历史研究中指出了，俄国显微鏡檢驗的真正开拓者乃是罗蒙諾索夫。但是，最大的意义是所遗留下来的以前所完全不知道的俄国的科学显微鏡檢驗的前史，即罗蒙諾索夫以前的时期。这一时期之所以有意义，“不仅仅是因为，

在該時期內，从米哈依洛維奇（А. Михайлович）开始，而特别是，从彼得一世开始，在俄罗斯便曾有过第一批关于显微镜和显微发现的报导的流传，以及在彼得陈列馆中有过第一批的显微镜基金的积累，不仅仅是因为，早在第十八世纪的30~40年代中，在俄罗斯便已开始有了基于显微发现和显微理论的唯一观与唯物观之间的斗争，而且，首先是因为，正是到了这一罗蒙诺索夫以前的时期，在彼得堡便已出现了第一批的俄国自己的天才光学技师，他们在对以后的俄国显微镜检验的发展方面，都曾起过显著的作用。

已经指出过，罗蒙诺索夫奠定了俄国的科学显微镜检验的基础。不但如此，而且在将显微镜使用到化学上的无可疑的优先荣誉也是属于他的。在罗蒙诺索夫的创造性的思想基础上，俄国的显微镜检验，在第十八世纪的70~90年代中，得到了光辉灿烂的发展。显微镜不仅仅成为很多研究工作者们的手头的工具，而且也被广泛地应用到了大学和其他学校中的许多课程的教学。俄国的科学造就出了许多著名的显微镜家：切列霍夫斯基（М. Тереховский），与斯帕兰参（Спалланцань）同时而彼此独立地，从实验上论证了鞭毛虫的自发胚胎的不可能性；舒姆梁斯基（А. Шумлянский）——俄国最早的组织学家，他首先确定出了完全正确而且是几乎详尽无遗的人的肾脏的显微构造图；保洛托夫（А. Болотов）和洛维茨（Т. Ловиц）奠定了显微化学分析的基础。同时，从罗蒙诺索夫开始，俄国的科学家们和光学设计师们并又在理论探讨和各种新型显微镜的创造方面，取得了主要的地位”。

各种复杂的显微镜所强烈遭受到的像的缺陷，主要都是由于球面像差和色差所引起。所以，某些非消色差的显微镜的结构所产生的达到 $\times 1000$ 的高倍放大，在过去实际上则都是错觉的，“空虚的”，对实物并不能揭露出任何新的细节。

爱依列尔（Л. Эйлер）院士和他的学生福斯（Н. И. Фусс）在50~70年代间，曾首次作过重重的尝试，企图从科学上解决创制

消色差显微鏡的問題，他們曾进行过計算，作出了結構的描述和給出了“对透鏡的制造和全部光学器械部分的設計所必須的詳尽計算”。在1773~1775年間，俄国的天才技师庫力賓(Кулибин)和別里亞也夫(Беляев)曾研究过这种显微鏡的制造。不过，这一創制消色差显微鏡的历史上的首次嘗試，大概是由于消色差物鏡的制造極端困难的緣故，而沒有能够得到成功，該物鏡系包括有三个直徑約3.5毫米的透鏡，而曲率半徑所計算的精确度則达千分之几英寸。假如說这一首次的嘗試並沒有决定性的成就的話，那末爱依列尔的思想則是未消逝的。在他逝世后七个月以后，在1784年4月8日，爱皮努斯(Эпинус)院士便对科学院的代表大会提出了他所設計的一种具有消色差物鏡的新型显微鏡的报告。根据所有的光学与显微鏡历史学家們的公認，这一爱皮努斯显微鏡便就是最早所实现的一架消色差显微鏡，它的消色差物鏡是完全有工作能力的。

索保利教授結尾說：“因而，在彼得堡科学院，在第十八世紀的70~80年代中，曾開創了一个显微鏡史上的新紀元，即消色差显微鏡的紀元，它在十九世紀中进一步的改良和發展使它在所有的显微鏡檢驗方面都获得了最輝煌的成就”。

我們国家的光学仪器工業已經在苏維埃的政权下建立起来了。

苏联的光学仪器工業的發展在社会主义工業化时期已經具有广大的規模。曾建立起了国立光学研究所(ГОИ)，在該研究所中，由于各位苏联專家們的努力，在短短的期間內，已經設計出了許多光学仪器，其中包括有各式各样的显微鏡，各种显微鏡檢驗、照像及天文学用的物鏡等。在其他研究所中，同时也都拟定出有各种光学仪器的結構。例如，全苏矿物原料研究所(ВИМС)結晶光学研究室的科学工作者們曾进行过了关于装配矿物显微鏡以結晶光学和岩相学研究用的輔助设备的裝置工作。

全苏矿物原料研究所的沃倫斯基(И. С. Волынский)曾設計

出了一种很成功的便携式的矿相显微镜；格拉果列夫(А. А. Глаголь)曾设计出了数种矿物定量计算仪器(普氏-求积仪等)。同时还应该提到的是保果斯洛夫斯基(М. Е. Богословский)的荧光显微镜，阿尔申诺夫(В. В. Аршинов)的半圆球和视场偏振光设备。

在最近十年内，我国已建立起了数个大型的光学仪器工厂，生产出了各式各样的光学仪器，其中也包括有偏振光显微镜，现今都正供应着各研究所、试验室及地质企业应用。

在1950年7月(这时本书业已排版)，“进步”工厂(Завод «Прогресс»)生产出了三种新型的偏振光显微镜：мин-4，мин-5和мин-6，在它们本身的质量上，均都超过了过去所有的各种构造。мин-4和мин-5为矿物显微镜，мин-6——矿石显微镜。它们的构造都规定有使用透射光及反射光的可能。由于物镜和目镜的设计优良，所以都能够得到图样清晰和明显伪像。мин-5型显微镜的人造偏振片可与光学方解石稜镜一样地产生出同样正确的干涉颜色的图样。

除了这种新型的仪器以外，在许多研究所和工厂试验室中，尚有各种外国公司的显微镜和显微照像机，以及在不同时期中从国外进口的各种零星部品和零件，它们也都能够无需特殊费力地适用到显微摄影上。

在近几年中，显微照像分析已被公认为是各种有效的研究方法之一。这一方法可贯彻到各个工业部门中，帮助研究工作者较深入地去认识所研究的物质。显微照片可记录出晶体的成长和发育的变化，揭示出在视力观察时有时忽漏掉的细节。有了显微照片，便有可能判断出各种矿物、生物以及其他实物的组织特征。显微镜的分辨能力，当采用在不可见光及倾斜光下摄影时，并可增加。

显微照像分析早已被大有成效地应用到了冶金工业中，以及采矿业中。譬如，在从矿石及其加工制品中选金时，最小的(达

0.5 微米) 金的微粒都可容易地而且迅速地被發現出来。

显微照像并可对按照格拉果列夫法进行矿物的定量分析有所帮助。可無困难地制出适当比例的格拉果列夫網，把它套在切片或实验标本的照像圖片上，进行粒度的計算。

有了显微照像，便有可能控制各种工艺过程，記錄出它們的各个时期。

进行同一实物(矿物，工艺品，生物)在不同光譜区中的摄影，利用它們对这些光譜区間的各光綫的吸收差别，便可以較全面地查明它的性能。

由于显微照像分析的可能是这样地丰富，所以，我們很希望每一位使用显微鏡的科学工作者們都能够精通显微攝影的方法，并都有一架显微照像机在他的桌子上的显微鏡旁边。这完全是现实的，因为現今有使用小幅面机箱的可能，应用这种小幅面的机箱便有可能以电影軟片进行攝影并随后放大到  $9 \times 12$  厘米的标准尺寸。

最好是，我們的光学仪器工業能开始大批地生产出各种显微照像所需的像具有抛物鏡、球面鏡、反光鏡和双光闌等这些附件的设备。这些仪器，在視力观察时，对所研究的实物都可給出一立体性的感觉，并可在某些情况下代替双目鏡。在使用任何的显微鏡——岩相、金相、生物显微鏡时，都可能使用到它們。

本手冊是供从事于显微照像方面的科学和实际工作者們应用的。它是作者在1936年所發表过的一本相类似的書的再版。第一版的全部材料都已經过了重新的修訂并以最新的資料作了很大的补充。

在本書中，在簡要地闡明过显微鏡的工作原理以后，便即叙述到了在我們的試驗室中所現有的無論是最新国产的亦無論是外国的各种显微鏡。

本手冊的主要部分是在于講述显微攝影的方法和技术。

叙述濾光片的理論和应用的一节是与斐傑涅也娃(H. E. Be-

денеева)共同写出来的。

鉴于显微照像分析的效果在很大程度上都与照像材料的适当选择及其处理方法有关,所以曾用专门一章来叙述这一问题。

在最近十年内,我国的照像化学工业已开始生产出了各种优良的具有各种光谱灵敏度和高度分辨能力的显微照像用的照像底板,所以便促进了显微照像分析的广大发展。

最后,我应该向苏联科学院结晶学研究所(Институт Кристаллографии АН СССР)在我写本手册时对我的帮助表示感谢。谨向斐傑涅也娃給予本書中所牽涉到的各種問題的寶貴意見致以深刻的謝意。并感謝保列申斯卡婭(С. С. Боришанская) 供給了她所尚未發表過的各種礦物的反射能力表。

在本稿的編校和本書出版的过程中,阿依遜施塔特(И. И. Айзенштат)曾給予了我很大的幫助,謹此向他致以謝意。

作 者

---

# 第一章 顯 微 鏡

## 1. 顯微鏡的構造

### 光 学 部 分

顯微鏡是一種光學儀器，利用它可以在高倍放大的情況下觀察為普通人眼所不可見的物體。顯微鏡產生放大像的主要部分是物鏡。所有顯微鏡的其餘部分則都是用作為使由物鏡所得到的像能變成為清晰和鮮明，並產生出不同的放大倍數（從 10 到 1000 倍以上）。物鏡普通是由數個透鏡所組成。

**透鏡** 由兩球形表面所限定的透明物體便叫做透鏡，或放大鏡。依其外形的不同，透鏡可分成為會聚（正）透鏡和發散（負）透鏡。正透鏡常是雙凸形、平凸形和凹凸形的透鏡；負透鏡——雙凹形、平凹形和凸凹形的透鏡（圖 1）。

所有正透鏡的基本性能是都具有集聚所有從光點落到它表面上的光綫並使它們在透鏡的另一方面會聚於一定點的能力。該點叫做透鏡的焦點。從一極遠的光源落到透鏡上的光綫，因而可以認為是平行的光綫，它們的交叉點叫做主焦點（圖 2）。從透鏡



圖 1 透鏡的外形

- 1—雙凸形；2—平凸形；3—凹凸形\*；  
4—雙凹形；5—平凹形；6—凸凹形

\* 原書圖 1 註 3 與 6 倒置，現已改正——譯者註。

圖 2 在會聚透鏡中的光程

○—透鏡的中心；Φ—主焦點

的中心到主焦点的距离叫做主焦距或簡称为焦距。假如把一光点放在正透鏡的主焦点处，則从透鏡放出的光綫便一定是平行的光綫。

負透鏡可把落到它上面的平行光束变成成为散射光。所有散射光的延長綫可交在透鏡前面的一点，即所謂虛主焦点（圖3）。

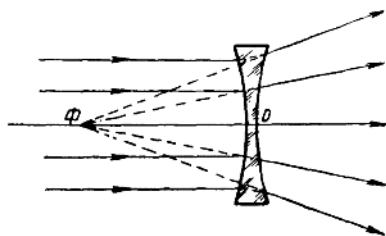


圖3 在發散透鏡中的光程

○—透鏡的中心；F—虛焦點

通过透鏡的球面中心的直綫叫做它的光軸。假如有数个透鏡按照如下的方式，使这些透鏡的中心都位于一条直綫上，組合成一光学系統的話，則这种系統便叫做会聚系統。物体由第一透鏡所成的像便

供作为第二透鏡的实物等。

一透鏡的前后焦距彼此是相等的。它們的大小是随着表面的曲率、透鏡的厚度和制造透鏡的材料而不同。焦距随着玻璃的折射指数的增加而减小。

由一透鏡或一光学系統（透鏡組）所形成的像應該滿足几何相似的要求，也就是說，一个点的像應該是一点，直綫的像是一直綫和平面的像是一平面。

为了得到所需質量的像，可把由不同种类的光学玻璃所制成的不同曲率和外形的各种透鏡相配合起来。

各种透鏡所成的像可能具有下列各种缺陷：

1. **軸向光束的球面像差** 从一光点發出并落到透鏡邊緣上的光綫，比起通过透鏡中心的光綫要折射得較為強烈些。它們在折射以后，便要比折射較小的較接近于透鏡中心的各光綫的会聚点相交于透鏡主軸上的較接近于透鏡的一点上。由于各会聚点的这种不相合，所以几何的相似便就發生了破坏，而一点的像便具

有所謂漫散的小圓班形。這一現象，即邊緣與中心光綫的焦點不相合的現象，叫做球面像差（圖4）。

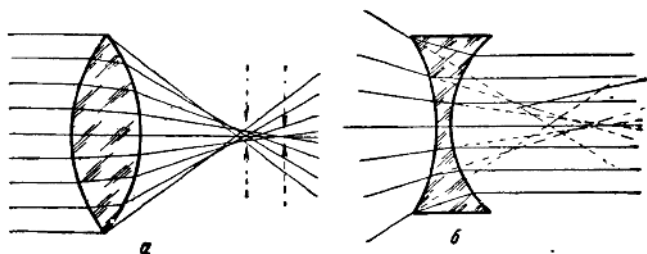


圖4 球面像差

a—在會聚透鏡中；b—在發散透鏡中

將會聚透鏡與發散透鏡相配合，便可以改正球面像差。由正透鏡與負透鏡所組成的改正過球面像差的玻璃系統叫做消球面像差系統（圖5）。

2. 彗形像差 假如光的行進與透鏡的光軸不平行，而與其有偏角的話，則一光點的像便會得到一種逗點狀。這種偏向光綫的像差叫做彗形像差（圖6）。

3. 像散 假如一個光點是位於光軸的一邊，則它的像便不是一個點狀，而是一對相互垂直的、且彼此位於某種距離

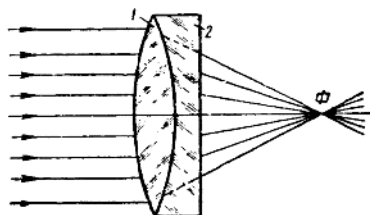


圖5 消球面像差系統

1—正透鏡；2—負透鏡

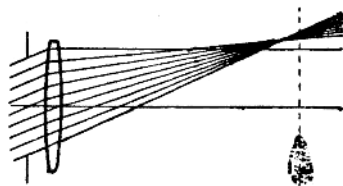


圖6 偏向光綫的像差（彗形像差）

的綫条。在照像机的毛玻璃上，这种像是呈一不显明的十字形（圖7）。



圖7 像散

4. **畸变** 假如任一几何圖形的像，譬如一正方形的像，是从一簡單（單一）透鏡所得到的話，則各直綫便都会向內或往外弯曲。这种直綫的弯曲叫做畸变（圖8）。

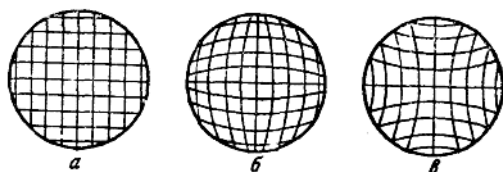


圖8 畸变

a—正常的正方形像；b—各直綫的向外弯曲；  
g—各直綫的向内弯曲

5. **像場弯曲** 一个平面物体的像有时会变成为圓形的或凸形的。在此等情况下，在照像机的毛玻璃上，便有时是看到像的中心清晰而邊緣模糊，或者是相反（圖9）。

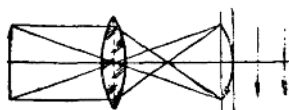


圖9 像場弯曲

6. **色差** 一切透鏡都可以看作是数个稜鏡的組合体。在每一个这种透鏡中，不同顏色的光綫会发生不同的偏轉，并且是藍色光綫的会聚点要比紅色光綫的会聚点靠近于透鏡些（圖10）。所以，在照像机的毛

玻璃上，一个点的像便呈现为一个光谱色彩的小圆斑，从而物体的几何相似以及颜色的正确表达便都发生了破坏。现将所说的来比较详细地说明如下。

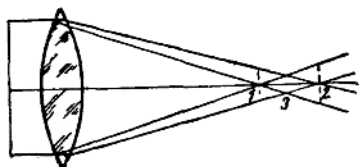


圖 10 色差

1—藍色光線的焦點；2—紅色光線的焦點；  
3—無色的圓圈

假定一束平行的光線照到一个透鏡上。通过透鏡，各光線便發生折射，并且藍色光線比紅色光線偏轉得較為強烈。藍色光線的焦點落在點 1，紅色——在點 2。而其余各色光線的焦點則在點 1 与點 2 之間。得到一个光點的很多個各圈有彩色鑲邊的單獨小圓斑形的像。例如，在點 1 处，是一藍色的小圓斑圍繞着紅色的鑲邊，在點 2 处，为一紅色的小圓斑有一藍色的鑲邊。假如在透鏡的出射边，藍色光束的截面比紅色較寬的話（如簡單會聚透鏡），則可把透鏡叫做不足改正色差的透鏡。具有相反关系的透鏡則可被認為是過改度正色差的透鏡（譬如簡單發散透鏡）。紅色与藍色光焦點的不相合可以借助于選擇兩個具有不同折射和色散（光散）指数的透鏡（凸透鏡与凹透鏡）相配合的方法来消除它。

光学冕牌玻璃和火石玻璃具有不同光谱部分中的强烈的光散现象。在由这些玻璃所组成的光学系统中，色差虽不能被完全消除，但可使两种颜色的光线的会聚点被会合在一起。尚仍存在有所謂二次光谱，二次光谱乃是由于其余的光谱分解光线的会聚点的不相合所引起的。二次光谱可造成彩色的散光圆，因而也引起（固然是比前較小的）像的不清晰。

后来，由于应用了各种新品种的玻璃，以及一种透明的螢石矿物，曾得到了一种可把三种光线的会聚点会合在一起的光学系统。因此，便强烈地减低了各焦点和剩余颜色的色差。

可消除掉三种颜色色差的物鏡叫做复消色差物鏡。在一切类

型的物鏡、以及甚至很多目鏡的組成中，都包含有所謂消色差的透鏡<sup>●</sup>，所謂消色差透鏡乃是由兩個透鏡——一個冕牌玻璃的會聚透鏡和一個火石玻璃的發散透鏡所組成的。

**7. 球面像差的色差** 在簡單透鏡中，球面像差對於不同波長的光線具有不同的意義。以选配冕牌玻璃與火石玻璃透鏡的方法有可能消除一種光線的球面像差（指靠光譜的黃綠色部分）。對於紅色光線，這些透鏡在球面像差上則是改正不足，而對於藍色及紫色，則是改正過度。這種類型的物鏡叫做消色差物鏡。它們在對於光學系統（物鏡）的中心與邊緣帶的改正方面，是有顯著差別的。

中心帶的紅色與藍色光線亦並不會聚於一點。假如紅色光線交透鏡的軸比藍色較近的話，那末，在直射照明的情況下，物鏡會產生一清晰的像，而在傾斜照明的情況下，像則不清晰。而假如紅色光線交透鏡的軸比藍色較遠，則便得到相反的景象，亦即，在直射照明的情況下，物鏡是產生一不清晰的像，而在傾斜照明的情況下，像則清晰。這種缺陷，在用作得到高倍放大的高倍物鏡來說，特別顯著。要避免這種缺陷，可使中心帶消色差化，而遺留下邊緣帶不改正。在所謂復消色差的物鏡來說，球面像差是對於兩種光譜區域可完全消除掉，而對於全部的波長，實際上則並不顯著。復消色差物鏡在直射與傾斜光中，均可產生同樣明晰的像。

**8. 放大色差** 放大色差的發生是由于藍色光線比紅色光線產生有較大的放大所致。這種缺陷要借合理地选配目鏡來消除。此用在復消色差物鏡上，能做到特別良好。

**光圖** 從每一發光體所放出的光線都是向四周各方向傳播出的。一透鏡或一光學系統僅只是利用了一部分光線，而造成了像。可投入到一顯微鏡物鏡中的光線只不過是可以通過它的框圈

---

● 在色差方面經過改正的透鏡系統（普通是兩個透鏡）叫做消色差透鏡。