

光学系统设计技巧 (续)

郑保康

(云南北方光电仪器有限公司 昆明 650114)

(续 2008 年 No. 1)

§ 5.3.5 光学显微镜分类及其工作方法

一般来说,任何物质的光学性能不外乎是光的吸收、折射和反射三者,在这三者之间也没有严格的分界线,因为对一非完全不透明的物体,它必然具有折射率,以及根据材料的吸收率和折射率而定的表面反射率。即使由非连续的或小粒质而发生的散光或衍射也是以这三个性能作为依据的,因此显微术所用的绝大多数方法均可按照这三个主题即标本对照明光的吸收、折射或反射来分类。

1. 吸收法:用本法的显微术称为普通照明或明视场显微术,也是通常所称的显微镜的最普通的方式。它基本上是用透射光照明,造成一相当大的立体光锥来充满或几乎充满物镜的孔径。在这种情况下,标本上吸收光的部分与明亮背景相比就显现出强度上的下降。天然色素要能在显微镜下能看得非常清楚还是比较不容易的,而生物学上的绝大多数的组织薄切片在光谱的可见光波段基本上是折射的而不是吸收的,因此它们在可见光的常规照明下看起来是非常差的。为此就经常需要染色,特别是生物切片,借以提高这种标本的衬度。然而这样做将大大地损害物质的本质,而且无法观察活体。吸收法显微术

的最大优点,除了显现视象之外,还可利用光吸收定律来作定量测量之用。

利用吸收法的显微镜又可分为三种:

①可见光照明:(i)天然色素标本;(ii)染色标本;(iii)组织化学;(iv)变色法和分光变色法。

②不可见光照明:(i)紫外光照明;(ii)红外光照明。

③发光明(萤光和磷光);

2. 折射法:这类显微镜包括很多种用以研究不染色透明标本,例如活细胞、晶体和纤维等的重要方法。因此这些方法对生物学和应用技术都是同样重要的。由于完全透明体是不吸收光的,因此在视象上的光强度是与其背景同样地明亮,因此其衬度为零,不可能看到理想的视象,不论其照明光线的强度和色彩如何,均是这样的结果。为了得到衬度,就必须设法分布在视象上的光强度而使它被显现出来。实际上,透明体的象是很少完全看不见的,如果所用的物镜是没有象差的且口径是无穷大的,则由物体的衍射所生的光就会全部被收集起来,而且也会到达至象上的正相当的相位关系。但是,总有些光线是被衍射到物镜的有限光孔之外,而且即使在最优良的物镜上还是有象差的,这样就产生了波面的不规则性和扰乱了理想的

相位关系，以致改变了发生在象上的光强度。这一问题正说明可以用一小的数值孔径来校正不良的物镜在视观不染色标本时所得的衬度反较一优良物镜为佳的原因。为了解决上述问题，在观察活细胞和其他透明标本时最常用的方法——相衬显微术出现之前，一直用缩小聚光镜的光孔来限制透射光束来观察上述所举的各种透明标本，同时应使物镜略过焦点以便在光轴之外形成一光程差而显出衬度，这个方法的缺点主要是在不能使象的表现与物体的物理性质联系起来。因此唯有采用相衬法才能消除这个缺点。折射法显微术在今天已成为使古老的光学显微镜改变最少而又能产生最大效果的一种显微工具。折射法的显微镜也可分为三种：

①一般的显微镜如（i）暗视场法；（ii）不染色透明标本。

②相衬和干涉：（i）不染色透明标本；（ii）不可见光照明。

③偏光：（i）双折射的检视和测定；（ii）不可见光照明。

3. 反射法：事实上在很多情况下衬度的来源是复杂的而且难于认识，但是我们还可以分清镜面反射和漫反射的关系。漫反射对入射波和反射波的结合关系起着很大的破坏，因此不可能用相衬法和干涉法。因此之故，要用显微术来观察活体有机体的表面是多么的困难。在这些情况的反射不仅发生于组织的表面，也发生在表面下较深的层次上，虽然标本的本质确是不规则的，但更正确说与其说是真反射，不如说是后向散射。如果可以把它们抛光的话，则就可用干涉法或相衬法来发现其光程差，在一反射标本上，这种光程差主

要是由标本的各部分之间的高度差产生的，这是因为硬度的局部变化就使抛光结果也有所不同。这些方法对表面面形的揭示和表面高度差别的定量测定有着特殊的作用。但有必要在这里强调一下平面偏振光在显微术中的作用。当然平面偏振光是“偏光显微镜”工作的主因。但只用单独一个起偏镜配合着其他方法却也可用发现标本上有些部分的分子和微细胞定向的痕迹，和在特殊情况下可以大大地提高衬度。起偏镜可装在光学系统中的任何地方。只要在这个系统中不装有双折射零件或反射面即可。因它们将引起偏振化或椭圆率，一般常是装在载物台聚光镜之下或目镜之上。在双目显微镜上，必须要注意到其中所装的棱镜会引起一些偏振化。如果两个目镜内的象稍有差异时，就会怀疑标本内可能存在一些各向异性体。对于吸收光线的标本，吸收群或载色体的定向或不等向性会表明其本身的变色性——即当起偏振对着标本旋转时就会使色彩或光强度有所改变。相似地，各向异性的反射标本也会出现反射变色性。即当起偏镜旋转时，反射光的色彩或强度会有所改变。当用透射光观察折射标本时，各向异性表明其本身是双折射的。反射法的显微镜可分为以下几种：

①可见光照明：（i）镜面反射；（ii）漫反射；

②不可见光照明；

③暗视场照明；

④采用可见光的相衬及干涉；

⑤采用可见光的偏振化；

ξ 5.3.6 原则性设计方案和生物显微镜的设计要求

光学显微镜从光学的角度讲,由三个最基本的大系统组成,即从光源到聚光镜的照明系统;由标本到物镜象面的物镜系统;由物镜象面到眼睛的目镜系统。当然根据用途还可以有照相或摄像系统,但是一般的显微镜都有以上的三个最基本的系统。

由于显微镜的发展已经历了三百余年的历史,已积累了相当丰富的结构和工艺上的资料,由于某些部分的国际标准化,每一类型的显微镜除了形体外观稍有不同外,其主要部分的设计和结构基本上有很多相同的地方。故此显微镜设计的意义,在某一方面讲来,是带有根据现有资料进行造型和改型的性质。当然,新的显微术的发明和要求,又往往会使现有的资料局部地或全部地不适用,此时就需从事全新的设计。例如紫外光照明就要求设计出性质完全不同于折射物镜的反射物镜。

显微镜的标准化程度是比较高的,例如非无穷远型的物镜,它的物象共轭距国际已日趋统一为195mm;显微镜的机械筒长为160mm;目镜的前焦面应在镜筒上端面之下10mm处;物镜的齐焦距离(指物镜筒端面至物面)为45mm等。

在设计工作开始之前,应首先彻底弄清在拟设计的显微镜上所要进行观察的标本的性质,以及它对仪器的要求,在此过程中可逐项作出初步的解决方法或设计意图。

1. 标本上两点之间可能有的最短距离,或粒质或分子的最小可能直径——本项是初步考虑显微镜的鉴别率和最高放大率的原始根据。用波长为 5600\AA 的可见光的光学显微镜可能达到的分辨力为

1800\AA (即 0.18μ);用波长为 2700\AA 的紫外光时可提高到 800\AA 左右,而电子显微镜可达 5\AA (有人在 -19℃ 温度下得到 $2\sim 3\text{\AA}$ 的分辨力),一般常为 $20\sim 30\text{\AA}$ 。

2. 是否需要观察活体标本——活体标本一般是不能染色的,因此需根据分辨力来考虑采用紫外光或可见光的相衬装置。如果标本可以染色,则应尽可能采用普通显微镜。

3. 标本的光学特性——如果标本是不透明的则必须要采用反射光照,同时考虑表面粗糙度所生漫反射对成象质量的影响。如果标本是无色透明体而又不可能染色或染不上色的,则除相衬法外,还可考虑紫外光,甚至吸收性比紫外光更高的红外光。如果需检视标本的双折射或各向异性则采用偏光显微镜。

4. 标本被观察面积(视场)的大小——这对选择显微镜的总放大倍率是有着直接关系。

5. 标准厚度及观察深度——在光学显微镜设计中,标本厚度与照明及吸收均有一定的关系,此时应根据光吸收定律计算出光吸收损失而后确定照明强度。光学显微镜具有可对透明和不透明标本的不同层次作出清晰调焦成象的特性,但总放大倍率过分大时,因工作距离太短,无法调焦到标本的下层。否则便应改用工作距离较大的反射物镜,物镜倍率与焦深还有一定的关系。

6. 标本要否照相——如标本需要照明,则应为显微镜准备照相专用的平场物镜。

7. 标本要否作立体观察——过去应用体视原理的体视显微镜因倍率太低很难

作高级研究之用。近期有两种新技术，一种是使镜筒或标本作每秒 60 次上下振动的根据眼睛的视觉暂留原理的视象溶合法，其放大率可达 1000 倍。另一种是设计的特殊的聚光镜法，估计可能利用双折射材料制作聚光透镜所形成的光学效应。

在设计生物显微镜时，另外有下列几点要注意：

1. 应有的总放大率宜视工作性质而定：教学及一般工作为 40 ~ 400[×]；科学及医务工作为 24 ~ 1000[×]；高级科学及医学工作为 100 ~ 1500[×]。

2. 光学筒长系指物镜后焦面到目镜前焦面之间的距离，它是“齐焦”的原始根据。物镜转换器下肩面到目镜筒上肩面之间的距离称为机械筒长，我们规定为 160 毫米。

3. 如在生物显微镜上附加反射式照明器，则立即可把它改装成观察金相和不透明体的两用显微镜，但是要注意只能使用低倍物镜，其中高倍物镜由于没有盖玻片，成象质量会变差。

4. 一台显微镜不可能包罗万象地附带技术上和理论上可能应用的附加设备来适应一切方面的需要，故为适应各种专门的用途应作专门用途的显微镜设计。

§ 5.3.7 物镜选型和设计

物镜为显微镜中对鉴别率、放大率和成象质量起决定作用的显微光组中的最重要部分，物镜的特性可概括成为如下的几个方面：

①光学行为——折射式（最常用的）、反射式、折反射式。

②放大率——低倍（10 倍及其以下，如 4 倍，10 倍），中倍（如 25 倍，40

倍），高倍（如 60 倍，100 倍，160 倍，但是最常用为 100 倍最高）。

③消色能力——单消色（只消除一级光谱），半复消色（部分地消除二级光谱），复消色（基本上消除二级光谱）。

④与标本接触关系——空气式、油浸式。

⑤使用波段——可见光（折射式），紫外及红外（反射及折反射式）。

⑥象场情况——曲象场（目视用），平象场（照相用）。

每台显微镜都备有放大率不同的物镜 3~4 个，甚至有多到 5~6 个的，以便与目镜组成不同的放大率。为便于更换起见全部物镜可装在物镜转换器上，为此就要求各个物镜的焦点位置按特定要求而设计使调焦定妥后更换物镜时就不必再调焦，这一技术要求称为“齐焦”。所谓齐焦，是指在一次调焦之后，以后不论改变物镜或目镜的倍率时即可不必再进行调焦（有时因制造公差太大而需作极微小的调整），这对观察工作是非常方便的。在进行齐焦设计时，应以下列三条件作为设计基础：（i）机械筒长为 160mm，（ii）目镜前焦面应在目镜筒上端面之下 10mm 处，（iii）物镜后焦面与目镜前焦面之间的光学筒长是随物镜焦距而变，不是固定的。要求物面至物镜转换器台肩面相接触的物镜端面距离为 45mm。

物镜的前透镜前面与物体上表面之间的距离称为工作距离。物镜的放大率愈大，则工作距离和物方视场直径也愈小。在设计物镜时要考虑的光学问题如下：①焦距，②放大率，③数值孔径，④场深和焦深，⑤工作距离，⑥视场直径，⑦视场

角。

1. 物镜的光学要求及发展史

物镜在光学上有两大要求，即亮度相等的象面和单色性的象面。前者取决于轴向球差的校正和正弦条件的满足；后者则是取决于轴向色差的校正。此外彗差、畸变、场曲、象散等都是要重视的，这些问题在照相时更显得重要。

在 18 世纪以前，折射物镜由于未能很好地消除色差，因此总是把光孔做得尽可能地小，以免发生过分严重的色差。因此无法得到高的放大率。直到 1733 ~ 1758 年间发明了单消色透镜后才使显微镜真实地发挥其功能。1808 ~ 1811 年发明了以平面向着标本的平面双片胶合式透镜后，又使仪器的作用向前迈进一步，它的形式见图 5 - 34a，也是目前低倍物镜通用的光组。如果要把象差校正得更好些，则可用图 5 - 34b 的三片胶合式，因它的剩余色差更小了，而且镜面曲率半径也较大，故在高级象差开始出现之前仍有用上它的最大口径的可能。它们的放大率都在 $10\times$ 和 $10\times$ 以下，由此可见早期显微镜的总放大率是如何之低了。

到了十九世纪初，英国的李斯特 (Lister) 和意大利的阿米西 (Amici) 等著名光学家都致力于物镜的改进工作。1830 年李斯特利用适当的玻璃制造的双组双胶合透镜 (如图 5 - 34c) 而发现无球差的共轭点，首先完成了大光孔中倍率物镜的设计工作。它的特点是没有球差，前后两组的彗差数值是相等但符号是相反的，故相互抵消，具有消球差消色差双重性能。

放大率在 40 倍以上的物镜统称为高

倍物镜，因李斯特原理至此已失去作用。由于在设计时要考虑和解决的问题随放大率的提高而更加复杂，因此它们的光学结构也相应地趋向复杂化。图 5 - 34d 是阿米西在李斯特原理基础上利用他自己所发现的超半球前片的特殊作用而在 1850 年设计成的第一个有实用价值的高倍物镜。其特点为这个超半球片的后面是近似于几何光学的消球差折射原理的，故此可得极高的倍率，但由它产生的色差却是相当大的，这就需要由后面的光组来消除它。由于它的前平面会产生大的高级象差，以致它的 NA 只能到达 0.8 左右。但超半球前片的特点却为以后更高倍的物镜设计所采用至今仍是如此。

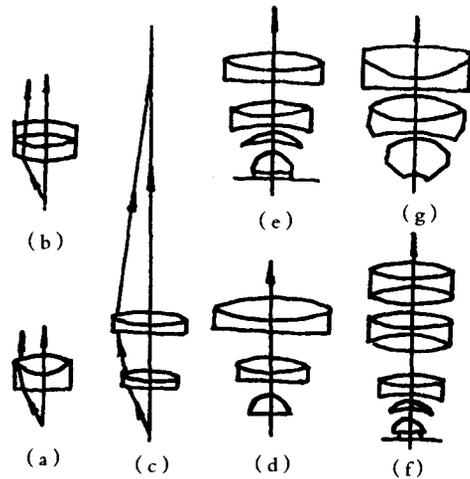


图 5 - 34

色差是否可以完全消除，至今仍是光学理论上的一个还在争论中的大问题，但是根据三百多年来的实践证明，色差是可以缩小的，它既决定于设计理论，也决定于材料的折射率色散以及光的波段。目前所称的消色差物镜，仅表示其消

色差的程度，而并不是毫无色差存在的。

“消色差”或“单消色”物镜是指它的光组只消除了一级光谱，但带有二级光谱，倍率愈高这一情况愈更严重。图 5 - 34a 至 d 均属于此列。

“半复消色差”物镜见图 5 - 34e，除消去一级光谱外，还是部分地消去二级光谱，它的特点为在 100 倍时基本上可满足单色性的光学要求，价廉物美故为大多数光学工厂所采用。

“复消色差”物镜是指物镜中的二级光谱要比单消色物镜小 10 倍的一种光组设计。这是阿贝在 1886 年利用那时他和肖特 (Schott) 两人刻苦钻研成功的新型光学玻璃 (重钡冕牌和轻火石) 和萤石而设计成功的，故称为阿贝物镜，图 5 - 34f 为它的光组，焦距 2 毫米，NA 为 1.35，液浸式。它能把一切波长的光线基本上全部会聚在一点上，而又能校正红蓝两者的球差，但却因这些特点而引起场曲，这对目视系统还可以，但用作显微照相时，中心与边缘的清晰度有所差异，为此就要有特殊方法来补救它。一方面为设计一套照相用的特殊目镜——补偿目镜来校正场曲，另一方法为设计一照相专用的平场物镜 (见图 5 - 34g，NA 为 0.85，放大率为 30 倍，苕司生产)。前一方法比较简单而且仍有相当高的总放大率，但成本较高，后一方法设计困难而且放大率受到限制。物镜象差由于实际上的困难是无法完全消除的，因此大多数采用平衡补偿法，使目镜象差与物镜象差相抵消。由于物镜与目镜要求互换配合，因此在同一产品上所用的物镜和目镜的各项象差能保持在一公差范围之内。但各国各厂之间的

产品的光学公差则尚未有统一的标准，故还不能完全适应通用要求。虽然机械筒长彼此相符的产品，物象共轭距和齐焦距离相同的产品的物镜和目镜均可完全通用，但由于彼此所存在的象差、公差并不一致，故在互用后对成象质量是会带来不良的影响。

长工作距离物镜：该物镜对观察放置在熔炉或真空室内标本特别适宜，因它可使物镜前片与标本保持相当的距离。其光学结构可见图 5 - 35 所示，在分类上它属于折反射物镜，但实际上它的反射部分并不起放大作用，只是 1:1 的传象作用而已，它的工作距离在用 $20\times/NA0.5$ 和 $40\times/NA0.57$ 物镜时可达 128 毫米，而同样放大率的普通物镜则只有 1 毫米。这种物镜的另一优点为可以从目镜中看到一个正象而非一般显微镜所必备的倒象。

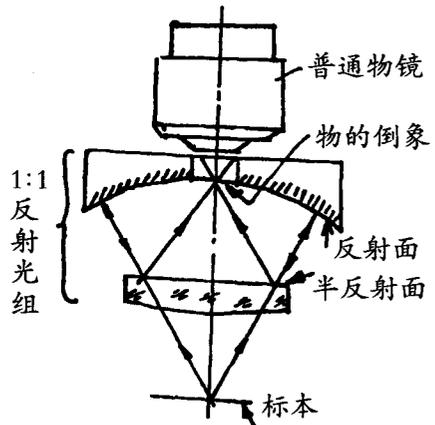


图 5 - 35 长工作距离物镜

红外光物镜：低倍物镜对有机质的吸收分光光度法是非常有用的，玻璃或石英对波长为 1.5 微米的辐射是可以透过的，因此可以用普通折射式物镜来接受，但最主要的吸收现象是发生在 1.5 到 2.0

微米的波段上，因此必须要用反射式物镜。

1938年，蔡司制造了一套物镜，不仅成功地校正好象散，而且也校正了象面弯曲，称它为平场物镜。它就是用很厚的弯月形透镜来达到目的。图5-36所示即为这套物镜的光学系统。(a)是倍率为9，数值孔径为0.2的消色差物镜，在最后面用了一个弯月厚透镜；(b)是倍率为40，数值孔径为0.65的物镜；(c)是倍率为75，数值孔径为0.9的浸液物镜，其中也都采用了弯月形的厚透镜。

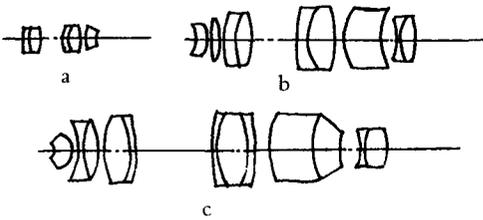


图5-36 平场物镜

直到1931年，反射镜才重新开始发展，主要是由于(1)研究工作和实践工作的深入和进一步发展要求扩大观察波段，加大物镜的工作距离，提高物镜分辨本领等。这许多问题看来用折射系统是不容易解决的。(2)斯密特的成就推动了很多光学工作者去考虑有没有更好的方法来更简捷地得到高质量系统。因此反射面组成的反射式显微镜物镜和折反射式显微镜物镜得到了重大的发展。

用单个椭圆面作反射式显微物镜，其主要的缺点和抛物面的天文望远镜一样，具有很大的彗差。随后有建议用斯密特校正板来校正反射镜的球差，如图5-37所示。一方面由于用非球面；另一方面则由于物点处在光路内，这个结果似乎没有实

用价值。因此以后有采用各种球面校正板来校正反射镜的球差的，在这一点上原苏联Я·Я·马克苏托夫得出的结果是比较好的，他用一消色差的弯月厚透镜校正球面反射镜的球差，并使此透镜处在一定的位置而校正彗差。因此容易地得到数值孔径为0.6左右的结果。1939年原苏联设计出双球面的数值孔径为0.5的结果，可作为紫外光生物显微镜物镜，如图5-38。为同时校正球差和彗差，双球面镜系统必须是同心的。以后对这类系统作了不少改进，如用同心球面透镜支承小反射镜，如图5-39，将二反射镜磨在同一玻璃体上，如图5-40等。

折反射物镜与反射式比较，可以增大数值孔径，并可以减小中心遮拦比，为增大数值孔径，只须加一半球即可达到目的。

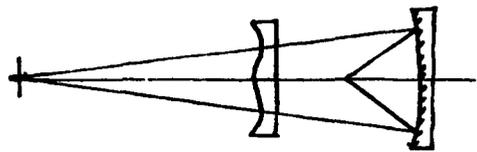


图5-37

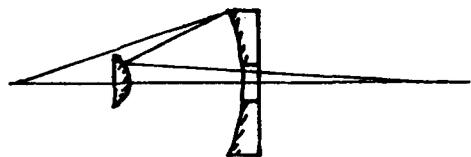


图5-38

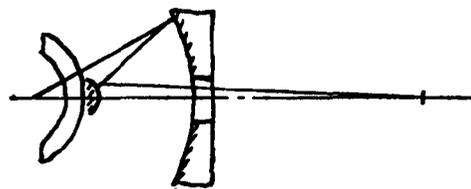


图5-39

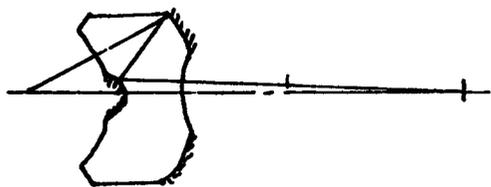


图 5 - 40

如图 5 - 41 所示为 65 × 0.8 的折反射物镜，用甘油浸液，适用于可见光和紫外的很宽范围。因此应该属于复消色差系统，这一特性使物镜用于紫外照相变得非常简单。图 5 - 42 是另一种形式的折反射物镜，也可以用于可见光和紫外，波长范围从 2110 ~ 8000Å，倍率为 40 数值孔径为 0.5。

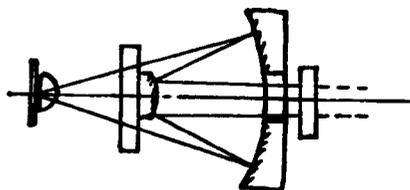


图 5 - 41

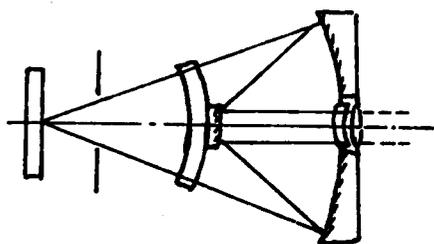


图 5 - 42

在显微镜中使用短波长可以提高分辨本领，例如，若以波长为 2450Å 的紫外光代替 5500Å 的光线，那么按公式 (5 - 48) 其最小分辨距离可减少一倍。作为紫外光显微镜的折反射物镜，其折射的透镜必须要用对紫外光是透明的材料，即要用石英玻璃或者萤石、人造晶体等。

不管是反射式物镜还是折反射物镜，

它们不同于纯折射物镜，不可避免地有中央遮光，即对于轴上点由同轴的二圆锥面间的光束成象。对由此光束所构成象点的绕射斑点上照度分布的计算表明：第一暗圈的半径比用整个锥体光束成象时的暗圈小几倍，因此反射式或折反射式物镜的分辨本领要比有同样孔径角的折射式物镜高几倍。但与此同时，伴随着绕射斑点的第一和依次各圈的照度有所增加，因此不可避免的中心遮光导致了照度分布与系统具有球差时一样的效应，因而加强了象的背景亮度，降低了象的衬度，致使象的质量变坏，实际分辨本领反而有所降低。看来这是这种物镜所存在的主要缺点。

2. 物镜与标本间的透光关系——光线由标本进入物镜的过程，基本上可分为空气的和浸液的两种方法。但标本上是否加有盖玻片又对物镜的象差有所不同的影响。

干燥式物镜的最大 NA 可达到 0.95 左右，在这种情况下，物方的极限边光应与光轴级成 $\sin^{-1} 0.95 = 72^\circ$ 的角度。物镜的象差，除了它本身的需要校正外，还需注意到因标本盖玻片所引起的象差。若物镜前片和盖玻片的折射率是相同的话，则在物镜设计中就应把盖玻片的厚度视作为前片的一部分厚度。因几乎所有物镜的前片前面都是平面的，但这样一来，光组对盖玻片的厚度变化就非常敏感。绝大多数物镜是以用厚薄为 0.17 毫米折射率为 1.52 的玻璃片作为设计依据的。因此如果不用或用了厚度 ± 0.01 的盖玻片，都会破坏高倍物镜原来核正的象差（但上述变化对焦距大于 8 毫米的物镜无甚影响）。但是盖玻片是一种非精密性的光学零件，不可能没有相当大的厚度公差而且

在检验不透明体时并不需要用盖玻片，为此近代显微镜都在镜筒内特地加一抽筒，使物镜和目镜的光学和机械筒长能有所改变，以兹补偿这些变化重新校正象差。

物镜的 NA 是得自 $NA = n \sin u$ ，这个公差由于空气的 $n = 1$ ，因此利用空气作为盖玻片和物镜之间的通光介质是无法使 NA 大于 1 的，而且因折射关系，由盖玻片射出的光束并不能全部进入物镜，如要有很多的光线进入物镜，则就需增加物镜的口径。倘若在物镜和盖玻片之间的空气间隔里填充以与盖玻片折射率相同或相近的液剂，使物镜前片与盖玻片连成为一整体，由盖玻片射出的光线能完全进入物镜内，既可增加象的亮度，而又可在不改变象差的情况下提高 NA。其所以能有此性能，完全是由于原来用空气时的折射角和临界角为液剂的折射率所改变之故。

§ 5.3.8 目镜的选型和设计

目镜在显微镜上的作用是把来自物镜所成的放大象再一次给予放大。现代显微镜上，常备用 3~4 个目镜，一般备有以下几种倍率： $6.3\times$ 、 $10\times$ 、 $16\times$ 。

1. 正常光组：现代目镜都是用复镜组合的，这样就有校正其本身和补偿来自物镜的各类象差的可能。光组中接近物镜的称为场镜，接近眼睛的称为接目镜。为了校正象差它们可以各用单片以至 2~3 片的透镜组成一个光组。场镜的作用是在聚集成象的一切光线，使镜筒内所有成象光线均能达到眼睛。若无别的光栏存在；则视场的大小是决定于这个透镜的通光口径。接目镜的作用则是在于放大。

目镜的光组类型是相当多的，但基本上均是由惠更斯型和冉斯登型改变而成，

又可依目镜的焦平面在其光组中所处的位置而分为负型及正型的。惠更斯是属于负型的，因它的焦面是在前后光组的中间，冉斯登是属于正型的，因它的焦面是在场镜的前方。

在目镜光组设计上最要注意的一点，就是放大率色差的校正，其原因是绝大多数目镜的两片透镜是用同一牌号玻璃做的，而两者的距离又恰等于它们的焦距和的一半。在如此情况下必须妥善处理才能消色，但事实上是无法消除这两种目镜都留有一些残余象差，因此在象场边缘留有蓝光的必是惠更斯型，留有红光的必是冉斯登型。

惠更斯型是最古老也是结构最简单的一种。由于结构简单故一直为人们所采用，但其放大极限只能到 10 倍为止。故此很多工厂采用作为 10 倍以下的光组。它的前后两片均是用冕牌玻璃做的，两者的焦距比一般定 1.5 至 3.0。它的缺点有两点：一为眼距很短，二为难以安装分划板。惠更斯型没有放大率色差和近轴彗差，但不能象冉斯登型那样地作出高度的球差校正。

冉斯登型的前后两片也是用同样的玻璃做的，两者焦距是相等的，但各以其球面相对。为了要校正放大率色差，它的间距恰等于焦距。本光组的前焦面是与场镜的焦点重合的，故可把分划板装在这里。有时为了避免把装在这个位置上的分划板面的尘埃也被放大，因此常把场镜稍向后移，但不得不因此损失了一些放大率色差校正。就象差情况而言，冉斯登的放大率色差是重于惠更斯，但它的位置色差则只有后者一半之大，球差只有五分之一，畸

变约为一半，而且没有彗差。此外它的眼距较大，由于它有这么多优点，因此放大率在 10 倍以上而且要装分划板的目镜多用本式光组。

凯涅尔目镜：由于冉斯登目镜具有上述众多优点，如能设法消去它的位置色差方面的缺陷，则其效用将更完美，1849 年就出现了凯涅尔目镜，或称消色差冉斯登目镜，凯涅尔最早是把场镜改成双凸形，后来蔡司厂把它改为平凸形，保持冉斯登原来的形式。它是以一组合透镜替代原来的单片透镜。

为了便于对各类目镜的认识，在图 5-43 中分别列出。

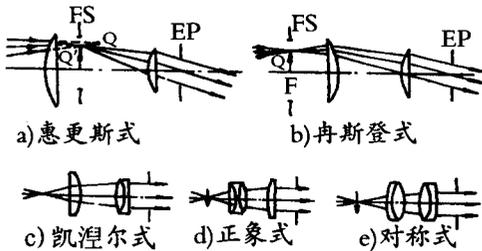


图 5-43

图 5-43d 是没有畸变，大视场，高倍率的目镜，而图 5-43e 是在同样焦距下可产生较凯涅尔型为大的出瞳直径的对称型目镜。它的特点为大视场，大出瞳距离。这两种目镜因有这些特点，也用于显微镜中。

2. 特种光组：如同物镜一样，目镜也是要校正象差的，其主要校正的形式有：a 消色差，b 补偿，和 c 平视场等三种。上述的凯涅尔型是属于消色差类的，但因已被广泛应用，故列在正常光组中。

一般地说，消色差目镜只是与消色差物镜配合应用的，而补偿目镜则是与复消色差物镜配合应用的。平场目镜是一种介于消色和补偿两者之间的折中设计。它专用于高倍显微照相。

3. 分象光组：为便利观察者能用双目同时观察，以减轻疲劳，近年来高级显微镜大多做成双目式。它与体视显微镜不同，并不由双目镜产生体视效应。

(未完待续)

消息

日开发出波长极短的半导体激光

日本科研人员不久前开发出了波长极短的紫外线半导体激光，这项成果有望催生容量大于蓝光光碟的下一代光碟。

据日本《朝日新闻》7月28日报道，滨松光子学公司中央研究所的研究人员以化合物氮化镓铝为发光层，在室温环境下生成了波长342.3nm的紫外线半导体激光。此前，科研人员运用其他先进工艺曾开发出波长约350nm的半

导体激光。

用于读写光碟的可见光、紫外线等，波长越短，光碟可容纳的信息量也就越大。目前用于读写蓝光光碟的蓝紫色激光的波长为405nm，由于其波长小于读写DVD的红色激光，所以蓝光光碟的存储容量超过DVD。而如果采用紫外线激光作为读写光碟的光源，存储容量可望进一步提高。

摘自《科技日报》