

§ 7-3 显微镜及照明系统



一、概述

二、显微镜的光束限制

三、显微镜的景深

四、显微镜的分辨率与有效放大率

五、显微镜的物镜

六、显微镜的目镜

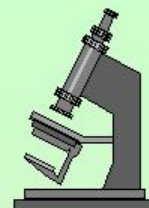
七、显微镜的照明系统

回忆：两光组组合总焦距

回忆：放大镜的放大倍率



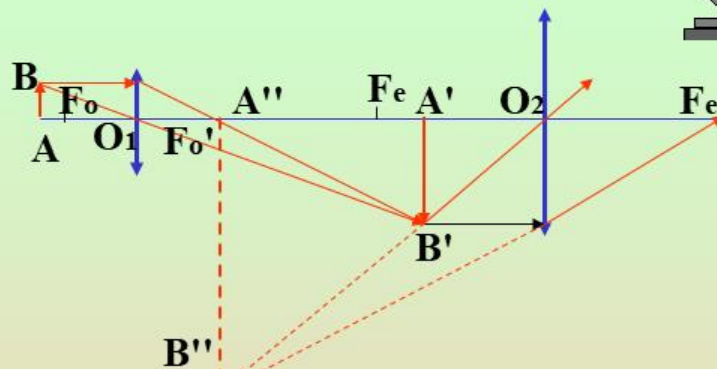
§ 7-3 显微镜及照明系统



一、概述

1. 成像原理 物镜 + 目镜

物的位置，一次像的位置，
二次像的位置，正倒，虚实



$$\left. \begin{aligned} M_o &= -\frac{x_o'}{f_o'} = -\frac{\Delta}{f_o'} \\ M_e &= \frac{250}{f_e'} \end{aligned} \right\} M = M_o M_e = -\frac{250\Delta}{f_o' f_e'} \Rightarrow \begin{aligned} M &\propto \Delta, M \propto \frac{1}{f_o' f_e'} \\ M &= \frac{250}{f'} \end{aligned}$$

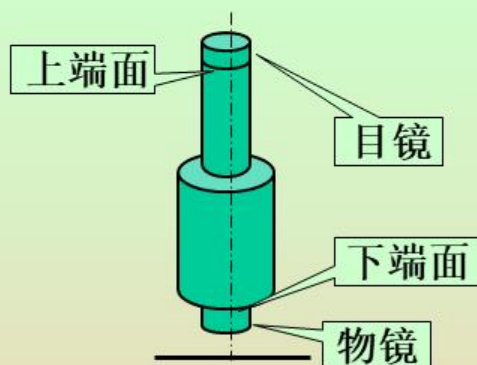
显微镜是复杂的放大镜

3. 显微镜的机构

什么是齐焦条件

物镜——转换器，旋转式

目镜——插入式



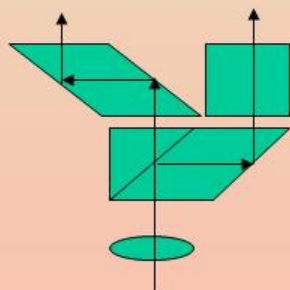
满足齐焦要求：调换物镜后，不需再调焦就能看到像

a. 物镜调换后，像面不动，物面不动——物镜共轭距不变（195mm）

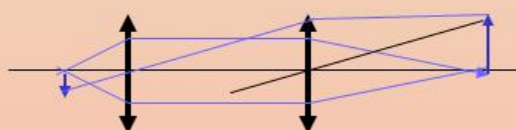
b. 物镜像面即目镜前焦面不动——在上端面以下10mm处

c. 机械筒长——上下端面之间的距离（160mm），有的可调

双目镜筒——加反射棱镜，为什么加平行平板



金相显微镜——物镜 = 前置物镜 + 镜筒透镜



$$M_o = -\frac{f'_t}{f'_o}$$



4. 显微镜与放大镜的比较

- ① 具有更大的放大率，二次放大
- ② 人眼离物面较远，使用方便
- ③ 物镜和目镜可调换，从而得到多种放大率
- ④ 具有中间实像面，可放置分划板，用于测量（构成测微目镜）
- ⑤ 当中间实像 A' 位于 F_e 之前时， A'' 为实像，可投影到屏上



大约1590年, Zacharias Janssen发明, 10岁? 他父亲的作用? 和另一位眼镜商Hans Lippershey同时发明?

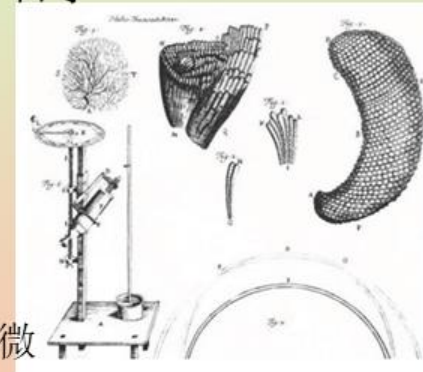


第一个复式显微镜(大约 1595 年)

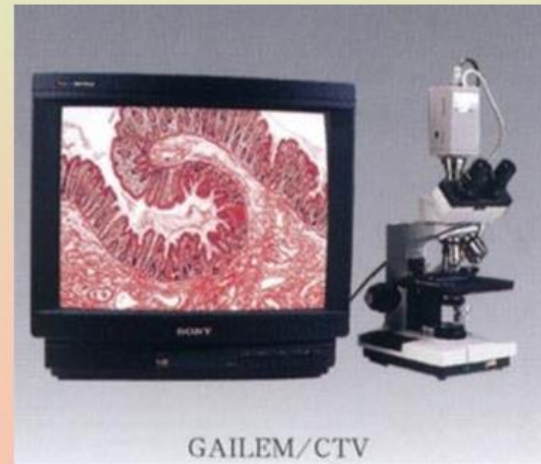
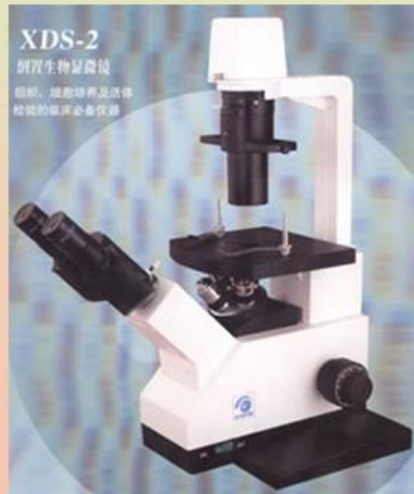
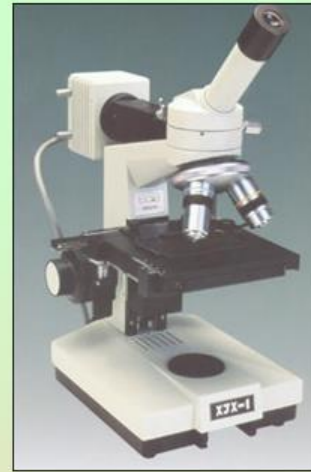
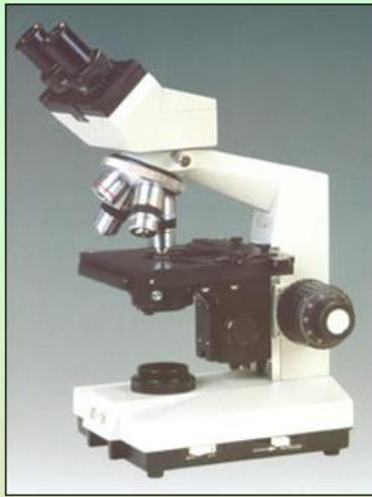
荷兰某博物馆收藏的约10倍显微镜, 上面刻着Janssen的名字

列文虎克

Antonie van Leeuwenhoek
1632.10.24—1723.08.26
(荷兰代尔夫特)



1673年, 投稿给英国皇家学会: 《列文虎克用自制的显微镜, 观察皮肤、肉类以及蜜蜂和其他虫类的若干记录》
2004年, 当选最伟大的100个荷兰人第4名: 光学显微镜之父, 微生物学之父





二、显微镜的光束限制

1. 孔径光阑 低倍物镜——为单组物镜框本身
高倍物镜——多组物镜的最后一组镜框，或在 F_o' 处专设孔阑

相对于目镜或 F_e 位置差不多，可认为 $x = -\Delta$

2. 出瞳位置

$$x' = \frac{f_e f_e'}{x} = \frac{f_e'^2}{\Delta} \quad x_F' = -\frac{f_2 f_2'}{\Delta} \quad \text{在 } F_e' \text{ 稍后处}$$

出瞳在 $F_{总}'$ 上，人眼瞳有可能与之重合，接收所有成像光

3. 出瞳的大小 出瞳与整个系统的像方焦面重合，设像方孔径角 U' ，则

$$a' = x' \tan U' \approx x' \sin U'$$

满足正弦条件: $n y \sin U = n' y' \sin U'$

$$n \sin U = n' \beta \sin U' = n' \cdot \frac{x'}{f'} \sin U' = \frac{n' a'}{f'}$$

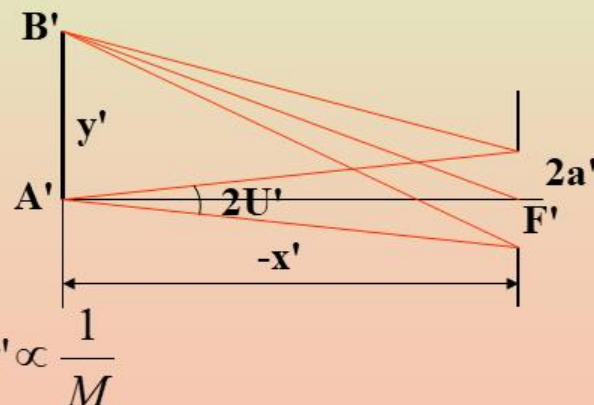
$$n'=1, a' = f' A = \frac{250}{M} A$$

数值孔径

其中

$$A = n \sin U$$

$$\therefore a' \propto A, a' \propto \frac{1}{M}$$





4. 视场光阑——在中间实像面上专设视场光阑

无渐晕，视场有清晰边界

视阑直径（假设物面上线视场为 $2y$ ）：

$$D_F = 2y \cdot \beta_o$$

理论上， D_F 越大，则 $2y$ 越大，实际上 $2y$ 很小。因为仅当

$$2y < \frac{1}{10} f_o'$$

时，才能给出满意的像质。

放大镜的物方线视场如何计算？显微镜呢？



三、显微镜的景深——包括显微镜本身的景深和眼睛的调节

1. 显微镜本身的景深（不能用前面导出的景深公式）为什么？

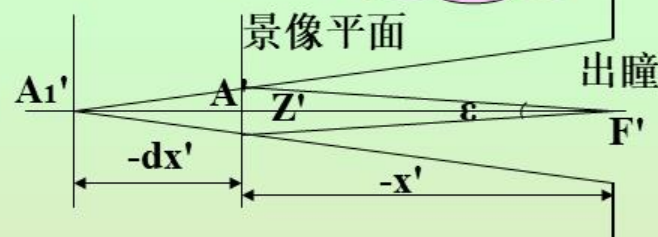
要求 $\frac{Z'}{x'} \leq \varepsilon$ 眼睛极限分辨角

$\frac{Z'}{2a'} = \frac{dx'}{dx' + x'}$

dx' 很小, 得 $2dx' \leq \frac{x'^2 \varepsilon}{a'}$

利用 $\alpha = \frac{dx'}{dx} = \frac{n'}{n} \beta^2 = \frac{x'^2}{nf'^2}$ 并结合公式 $f' = \frac{250}{M}$, $a' = \frac{250}{M} A$ 得

$2dx = \frac{2dx'}{\alpha} = \frac{nf'^2 \varepsilon}{a'} = \frac{250n\varepsilon}{MA}$ 所以 $2dx \propto \frac{1}{MA}$. . . 意味着什么



2. 人眼的调节从 r' 到 p'

由于出瞳与 F' 重合 $r = \frac{ff'}{r'} = -\frac{nf'^2}{r'}$, $p = -\frac{nf'^2}{p'}$ 人眼调节范围——屈光度

眼睛可调节的深度范围

$r - p = -nf'^2 \left(\frac{1}{r'} - \frac{1}{p'} \right) = -0.00 \ln A \left(\frac{250}{M} \right)^2$ $\therefore r - p \propto \frac{1}{M^2}$

3. 总景深: $2dx + (r - p)$ 很小

四、显微镜的分辨率与有效放大率

M是否想多大就可多大?

用显微镜能看清多么细小的细节?



1. 分辨率

根据夫琅和费圆孔衍射理论, 考虑物镜出瞳到像面的衍射, 有

像面上相距最近的能分辨的两点对出瞳的张角

$$\varphi = \frac{1.22\lambda}{D}$$

出瞳直径

$$\varphi = \sigma' / P'A'$$

$$\therefore \sigma' = \varphi \cdot P'A' = \frac{\varphi \cdot P'P_1'}{\tan U'} = \frac{0.61\lambda}{\tan U'} = \frac{0.61\lambda}{\sin U'}$$

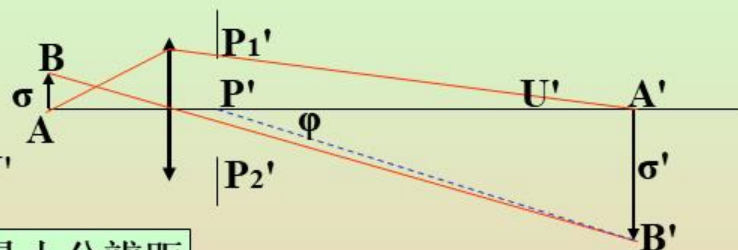
考虑正弦条件 $n\sigma \sin U = n'\sigma' \sin U'$

得

$$\sigma = \frac{0.61\lambda}{n \sin U} = \frac{0.61\lambda}{A}$$

最小分辨距

根据非相干光导出
物面本身发光



讨论: ① $\sigma \propto \lambda$ 分辨本领随波长的减小而提高

② $\sigma \propto \frac{1}{A}$ 分辨本领随数值孔径的增大而提高, 要求U大, n大

U<90度, 怎样提高A?

浸油



2. 有效放大率——能被显微镜分辨的也能被眼睛分辨

不能被显微镜分辨导致眼睛不能分辨——无效放大
显微镜能分辨而眼睛不能分辨——放大不足

当物面被照明时，最小分辨距为 $\sigma = \frac{0.5\lambda}{A}$

人眼最小分辨角取2分到4分，则眼睛最小分辨距应为

$$(2' \sim 4') \times 250 = M\sigma$$

$$250 \times 2 \times 0.00029 < M \frac{0.5\lambda}{A} < 250 \times 4 \times 0.00029$$

按主色光波长0.00055mm计算，得

$$500A < M < 1000A$$

有效放大率

A与M要匹配

$$A_{\max} = 1.5$$

$$M_{\max} = 1500\times$$





五、显微镜的物镜

光学系统的主要参数: $f', D/f', 2W$ 与 β 、 A 、 $2y$ 有关

$$u' - u = \frac{1}{2} \frac{D}{f'} \Rightarrow u(1 - \frac{1}{\beta}) = -\frac{1}{2} \frac{D}{f'} \quad \text{而} \quad A = n \sin U$$

分辨率, A , M 要相适应, 物镜的放大率也要相应匹配, 并在规定机械筒长下使用 (例如, 160mm)

有载玻片、盖玻片

设计时要考虑盖玻片

物镜外壳上标明参数, 见书

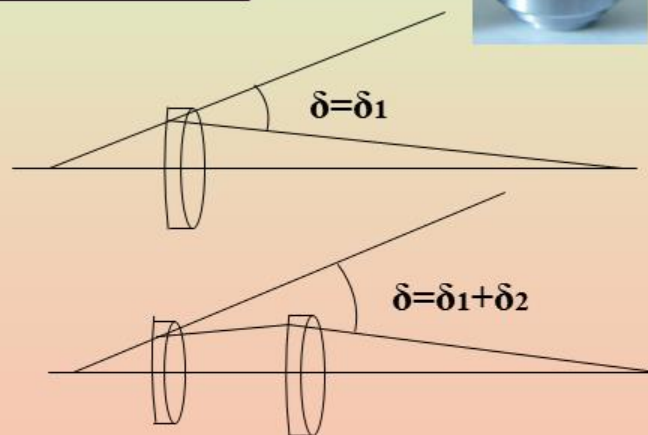
低倍物镜: 双胶合

中倍物镜: 双双胶合

高倍物镜: 中倍+前片

阿贝物镜: 浸油

M 大
 A 大





六、显微镜的目镜

——相当于放大镜，入瞳是物镜的出瞳，出瞳在 F_e' 稍后处，与 F' 重合

一般至少有二片：向场镜+接目镜

重要参数：镜目距——接目镜最后一面到眼瞳（出瞳）的距离

$$l_p' \geq 6 \sim 8mm$$

工作距离——向场镜第一面到目镜前焦面（物镜像面）的距离

该面要安放分划板（视阑）

近视眼观察时不能因调焦而使目镜碰到分划板

$$f', \frac{D}{f'}, 2W$$

由 $M_e = \frac{250}{f_e'}$ f_e' 较小，由于 M_o 大， D/f' 小， $2W$ 大

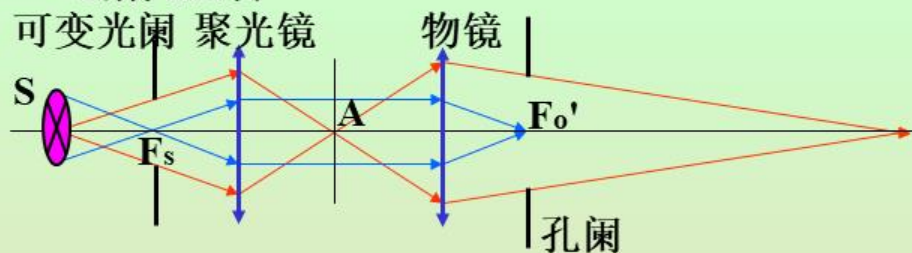
为短焦距小孔径大视场系统



七、显微镜的照明系统

1. 物面不发光，透明——透射光照明

1) 临界照明



光源 S  聚光镜  物面上A

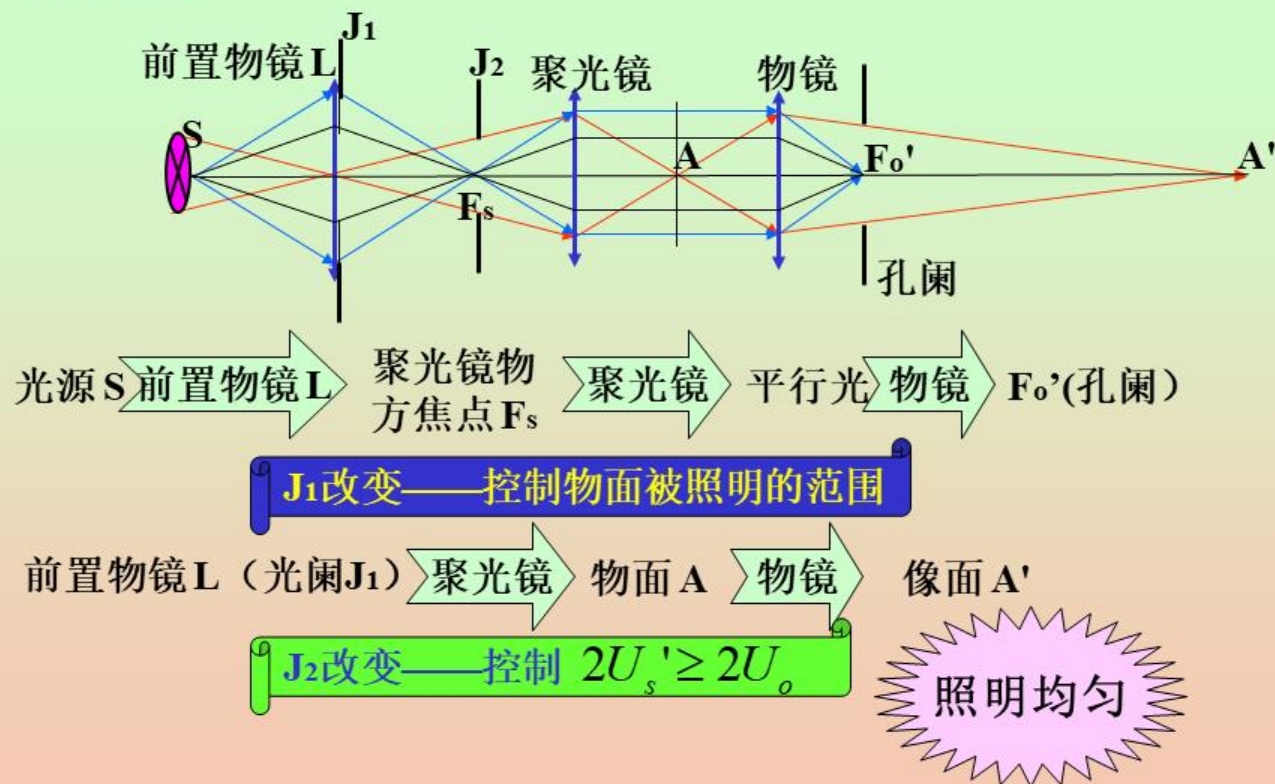
聚光镜 F_s 与显微镜物镜 F_o' 共轭

要求: $2U_s' \geq 2U_o$ 取等号最好

缺点:
照明不均匀



2. 柯拉照明



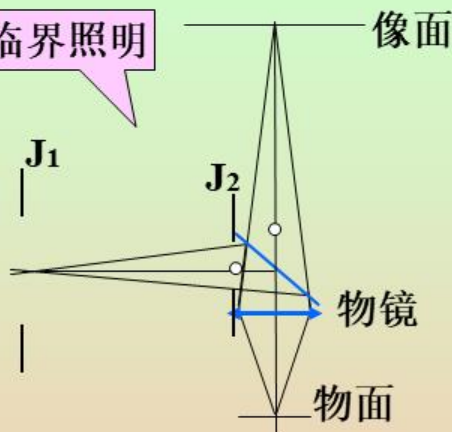


2. 物面不发光，不透明——反射、散射光照明

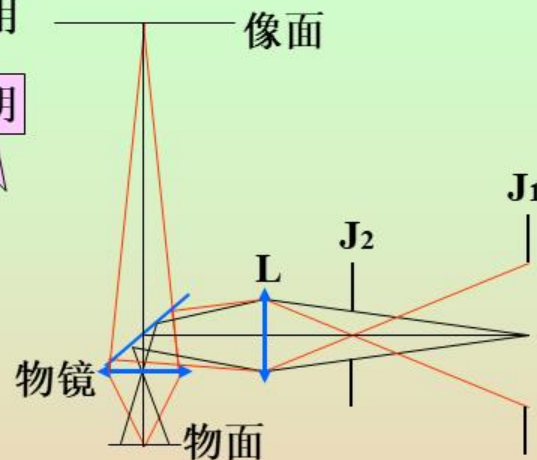
①斜照明——散射光照明，规则反射光不能进入物镜

②垂直照明——物镜同时起聚光镜作用

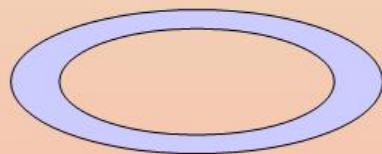
临界照明



柯拉照明



3. 暗视场照明——观察小于分辨极限的微小质点



环形光阑

油

