

全国中等卫生学校试用教材

检验仪器使用及维修

(供检验士专业用)

《检验仪器使用及维修》编写组 编

人民卫生出版社

检验仪器使用及维修

《检验仪器使用及维修》编写组 编

人民卫生出版社出版

(北京市崇文区天坛西里10号)

四川新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米16开本 12¹/₂印张 282千字

1983年5月新1版 1983年5月新1版第1次印刷

印数: 00,001—13,900

统一书号: 14048·4360 定价: 1.04元

编写说明

本书由卫生部和湖南省卫生局组织有关高、中等医学院校、医学化验所和医疗器械厂共同编审的教材，供全国中等卫生学校三年制检验士专业试用。原由湖北人民出版社出版，自 1983 年秋起，改由人民卫生出版社出版。

全书内容包括生物显微镜、分析天平、光电比色计、分光光度计、火焰光度计、电泳仪、酸度计、电热恒温干燥箱、培养箱、水温箱、电动离心机、电冰箱、高压蒸汽灭菌器等十余种医学检验中最常用的仪器和设备。比较系统地介绍了它们的原理、结构、使用、维护以及常见故障的排除方法。对尚未普及的仪器（如 751 型分光光度计、浓度比色计等）也作了简介。书中有插图 170 余幅。

本书由湖南省怀化地区卫生学校和上海市医学化验所共同编写。并经湖南医学院和湖南省医疗器械厂审定。参加本书审稿会议的除编审单位外还有：北京市卫校、广西省卫校、湖北省黄石卫校、四川省重庆药剂学校、湖南省卫校、长沙市第一医院等单位。

由于《检验仪器使用及维修》是一门新开设的课程，涉及的内容非常广泛，编者水平有限，缺点错误在所难免，希望各校师生在试用过程中提出宝贵意见，以便今后修订。

《检验仪器使用及维修》编写组

目 录

第一章 生物显微镜	1
第一节 显微镜的光学原理、光学系统和光学性能	2
一、显微镜的光学原理	2
二、显微镜的光学系统	3
三、显微镜的光学性能	6
(一) 数值孔径	6
(二) 分辨率	6
(三) 放大率	7
(四) 工作距离	8
(五) 焦点深度	8
(六) 视场	9
(七) 镜象亮度	9
(八) 清晰度	9
第二节 显微镜的机械装置	9
一、镜座与镜臂	10
二、镜筒	10
三、物镜转换器	11
四、载物台与移动器	11
五、粗动调焦机构	11
六、微动调焦机构	12
第三节 显微镜的用法	15
一、使用环境与工作习惯	15
二、使用前的准备	15
三、显微镜的照明光源	16
四、反射镜、聚光器的用法和对光方法	17
五、物镜的正确调焦	18
第四节 显微镜的维护及机械装置的故障排除	19
一、显微镜的维护	19
二、机械装置的故障排除	21
第五节 暗视场显微镜	25
一、基本原理	25
二、暗视场聚光器	25
三、使用方法	26
第六节 荧光显微镜光源	28
一、荧光显微术的基本原理	28
二、72型轻便荧光显微镜光源	29
习题一	32
第二章 分析天平	33

第一节 天平的原理和结构	33
一、杠杆原理	33
二、天平的结构	34
(一) 半机械加码电光天平	34
(二) 全机械加码电光天平	39
(三) 阻尼天平	39
(四) 摇摆天平	40
第二节 天平的计量性能、精度和级别	40
一、天平的计量性能	40
(一) 分度值	40
(二) 不等臂性	42
(三) 示值变动性	42
二、天平的精度和级别	42
第三节 天平的安装、调整、使用和维护	44
一、天平的安装	44
二、天平的调整	45
三、天平的使用方法	46
四、天平的维护	47
第四节 天平的检定	47
一、检定项目	47
二、几点说明和检定程序	47
三、计算和判断	49
第五节 天平常见故障的调修	52
一、简单的调修工具	52
二、故障及调修	53
(一) 光学系统的故障及调修	53
(二) 悬挂系统的故障及调修	54
(三) 指针摆动不正常的调修	55
(四) 机械加码装置的故障及调修	56
(五) 计量性能的故障及调修	56
习题二	59
第三章 光电比色计	60
第一节 比色分析的基本理论	60
一、朗伯—比尔定律	60
二、朗伯—比尔定律的物理意义	61
三、朗伯—比尔定律在光电比色计中的应用	61
第二节 581-G型光电比色计	62
一、工作原理	62
二、结构	63
三、电路分析	68
四、使用方法	70
五、常见故障的排除	71

第三节 浓度比色计 (简介)	73
一、用途和特点	73
二、基本原理概述	73
三、结构	74
四、使用方法	76
习题三	78
第四章 分光光度计	79
第一节 72 型分光光度计的结构与使用	80
一、结构	80
二、整机线路	84
三、使用方法	86
第二节 72 型分光光度计常见故障的排除	88
一、稳压器部分	88
二、单色光器部分	88
三、微电计部分	89
四、整机部分	90
第三节 72 型分光光度计的波长校正	91
一、初步校正	91
二、精确校正	91
三、利用有色溶液校正	91
第四节 751 型分光光度计 (简介)	92
一、工作原理	93
二、结构	93
三、使用方法	96
习题四	93
第五章 火焰光度计	100
第一节 火焰光度法原理	100
第二节 630—C 型火焰光度计的原理和结构	101
一、原理	101
二、结构	101
第三节 630—C 型火焰光度计的使用与维护	104
一、仪器的主要参数和工作条件	104
二、仪器的安装、调整和操作方法	104
三、注意事项及维护	105
四、一般故障的排除	106
习题五	107
第六章 电泳仪	108
第一节 电泳原理及电泳仪的主要部件	108
一、电泳原理	108
二、电泳仪的主要部件	110
第二节 DY—I 型电泳仪	110
一、电路工作原理	110

(一) 主电路·····	111
(二) 触发电路·····	113
二、使用方法·····	116
三、DY-I 型电泳仪常见故障的排除·····	117
习题六·····	118
第七章 酸度计 ·····	120
第一节 电极和 pH 值的电位测定原理·····	120
一、电极·····	120
二、pH 值的电位测定原理·····	122
第二节 25 型酸度计·····	123
一、电路工作原理·····	123
二、使用方法·····	126
三、仪器的维护及注意事项·····	129
四、常见故障的排除·····	130
第三节 PHS-2 型酸度计 (简介)·····	132
一、工作原理示意图和电路图·····	133
二、使用方法·····	134
习题七·····	136
第八章 电热恒温干燥箱、培养箱和水温箱 ·····	137
第一节 干燥箱、培养箱和水温箱的结构·····	137
一、干燥箱的结构·····	137
二、培养箱的结构·····	138
三、水温箱的结构·····	138
第二节 温度控制器和电子管温度控制电路·····	139
一、温度控制器·····	139
(一) 差动棒式温度控制器·····	139
(二) 螺旋管式温度控制器·····	141
(三) 水银温度计式温度控制器·····	141
二、电子管温度控制电路·····	142
第三节 使用与维护·····	146
一、使用方法及注意事项·····	146
二、常见故障的排除方法·····	147
习题八·····	148
第九章 电动离心机 ·····	149
第一节 离心机的原理、结构和技术数据·····	149
一、离心机的原理·····	149
二、800 型电动离心机的结构·····	150
三、800 型电动离心机的主要技术数据·····	152
第二节 使用、维护及常见故障的排除·····	153
一、使用与维护·····	153
二、常见故障的排除·····	154
习题九·····	155

第十章 电冰箱	156
第一节 电冰箱的构造和工作原理	156
一、箱体	156
二、制冷系统	156
三、电路系统	159
(一) 电动机	159
(二) 启动继电器	159
(三) 温度控制器	160
(四) 照明灯电路	161
(五) 整机电路及其接线方法	161
第二节 电冰箱的使用、维护及常见故障的排除	162
一、使用方法	162
二、电冰箱的维护及注意事项	163
三、电冰箱常见故障的排除	164
习题十	169
第十一章 高压蒸汽灭菌器	170
第一节 高压蒸汽灭菌器的原理、结构和使用	170
一、灭菌原理	170
二、手提式高压蒸汽灭菌器	170
(一) 结构	170
(二) 使用方法	171
三、立式高压蒸汽灭菌器	171
(一) 结构	171
(二) 使用方法	172
第二节 注意事项及灭菌效果检验	173
一、注意事项	173
二、灭菌效果检验	174
第三节 高压蒸汽灭菌器的维护及常见故障的排除	175
一、维护	175
二、常见故障的排除	175
习题十一	177
第十二章 万用电表的使用	178
一、使用方法	178
(一) 测量交流电压	179
(二) 测量直流电压	179
(三) 测量直流电流	179
(四) 测量电阻	180
二、注意事项	180
习题十二	181

实验部分

实验一	万用电表的使用·····	182
实验二	生物显微镜的使用 ·····	183
实验三	天平计量性能的检定 ·····	184
实验四	581-G 型光电比色计和 72 型分光光度计的使用及维护 ·····	186
实验五	安装“烤箱和培养箱工作原理”的简易电路·····	187
附录一	标准缓冲溶液的配制和保存·····	188
附录二	参考资料 ·····	189

第一章 生物显微镜

用途：生物显微镜是一种精密的光学仪器，用于观察眼睛不能直接看见的组织细胞和微生物等。它是医学检验不可缺少的仪器之一。

分类：按显微镜的原理和结构不同，可分为光学显微镜、非光学显微镜和光电结合的新型显微镜三类：

光学显微镜：由光学透镜制成。如普通显微镜等。

非光学显微镜：采用电子技术制成。如电子显微镜等。

光电结合的新型显微镜：既有光学系统又有电子系统。如电视显微镜等。

就生物显微镜而言，根据用途不同可分为：

普通型：用于一般的观察和研究。如普通显微镜。

特种型：用作特种观察或在特定条件下使用。如：暗视场显微镜（用于观察细菌和螺旋体的运动）；相衬显微镜（用于观察无色透明的标本）；荧光显微镜（利用标本发出的荧光来观察物体）；投影显微镜（将物象投射在投影屏上，可供几个人一起进行观察和研究）；摄影显微镜（用于摄影）等。

高级型：用于研究。如万能显微镜、研究用显微镜（配件齐全，多种用途，变换配件后，可作明视场、暗视场、荧光、相衬、摄影、投影等各种项目的观察和研究）。

近年来，国外已生产彩色电视显微镜（即显微镜所成的象从彩色电视机的屏幕上显示出来）、体视显微镜（生成立体象，目前国外已有 120 种型号）和自动分析显微镜（通过电子系统分析后，以数字方式自动记录分析结果或自动打字。在医学上用来确定病例或进行癌细胞的研究）。

目前几种国产显微镜的型号和主要规格如表 1-1 所示。

本章重点介绍普通生物显微镜，对暗视场显微镜和荧光显微镜光源也作一简介。

表 1-1 几种国产显微镜的型号和主要规格

名 称	型 号	主 要 规 格			
		物 镜	目 镜	最高放大率	镜筒形式
普通生物显微镜	XSP-13	10×	5×	1250×	直 筒
		40×	10×		
		100×	12.5×		
普通生物显微镜	XSP-12	10×	5×	500×	直 筒
		40×	10×		
			12.5×		
普通生物显微镜	XSB-02	4×	5×	1500×	直 筒
		10×	10×		
		40×	15×		
		100×			
普通生物显微镜	XSP-16A	10×	5×	1600×	直 筒
		40×	10×		
		100×	16×		

名 称	型 号	主 要 规 格			
		物 镜	目 镜	最高放大率	镜筒形式
普通生物显微镜	XSP-9	10× 40× 100×	7× 10× 16×	1600×	斜 筒
普通生物显微镜	XSZ-2	4× 10× 40× 100×	6.3× 12.5× 16.0×	1600×	斜 筒
普通生物显微镜	XSB-03	10× 40× 100×	5× 10× 12.5×	1250×	斜 筒
普通生物显微镜	L-301	5× 10× 45× 100×	6× 10× 15×	1500×	抽筒式
双目生物显微镜	2XA	4× 10× 40× 100×	5× 10× 16×	1600×	双 筒
双目生物显微镜	XSP-10	10× 40× 100×	7× 10×	1500×	双 筒
暗视场生物显微镜	XSA-5D	4× 10× 40× 100×	5× 10× 16×	1600×	直 筒
暗视场生物显微镜	XSA-1	4× 10× 40× 63×	7× 10× 16×	1008×	斜 筒
投影生物显微镜	XST-1	10× 40× 100×	7× 10× 16×	1000×	—
摄影生物显微镜	XSS-1	4× 10× 40× 100×	7× 10× 16×	1024×	—
电视生物显微镜	XSD-1	10× 40× 100×	7× 10× 16×	1600×	—

第一节 显微镜的光学原理、光学系统和光学性能

一、显微镜的光学原理

为了便于说明原理，我们简单地把显微镜看作由二块凸透镜组成，靠近被观察物体的一块叫做物镜，靠近眼睛的一块叫做目镜，如图 1-1 所示。

被观察的物体 AB 放在物镜的焦距以外，靠近焦点的地方。这样在物镜的另一侧就生成一个放大、倒立的实象 A'B'。这个实象正好落在目镜的焦距以内（因为是实象，对目镜来说就相当于一个物体了），目镜再将它放大一次，最后生成一个倒立（对原物而言）的虚象 A''B''，供眼睛观察。由此可见，物体被显微镜的光学系统作了两次放大。

实际上，物镜和目镜（尤其是物镜）都是很复杂的透镜组，而不象图 1-1 所示的那

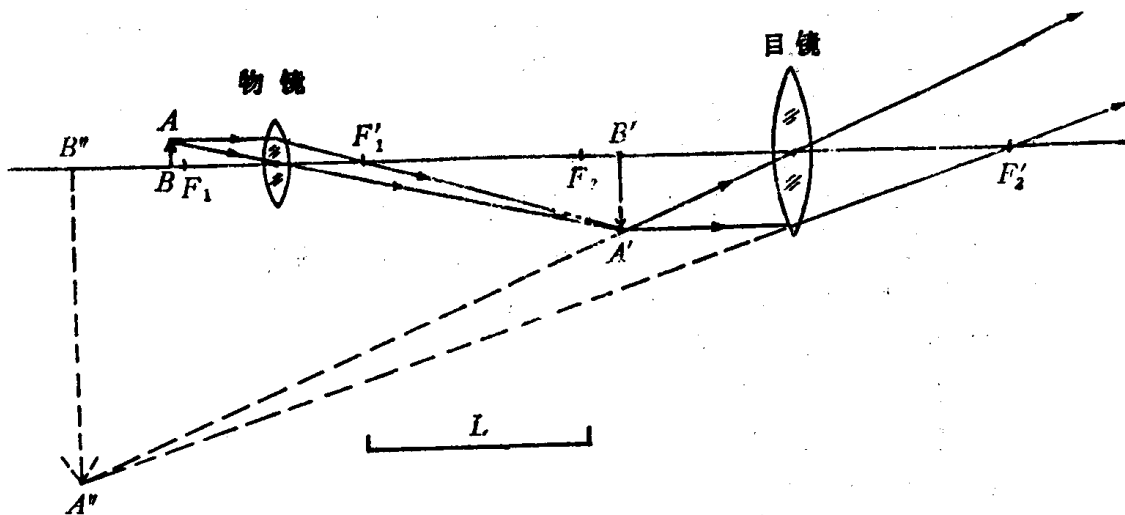


图 1-1 显微镜光学原理示意图

F_1 . 物镜的前焦点 F_1' . 物镜的后焦点 L . 光学筒长
 F_2 . 目镜的前焦点 F_2' . 目镜的后焦点

样简单。L是物镜的后焦点与目镜的前焦点之间的距离，称为光学筒长。

二、显微镜的光学系统

光学系统是显微镜最重要的部分，主要包括物镜、目镜、聚光镜和反射镜四个部件。严格的说也包括照明光源、滤光片、载玻片和盖玻片。

(一) 物镜

物镜是光学系统中的“心脏”元件，它直接决定了显微镜主要的光学性能。它的结构如图 1-2 所示。为了校正象差和色差〔注〕物镜都由多块透镜组成，而且放大倍数愈

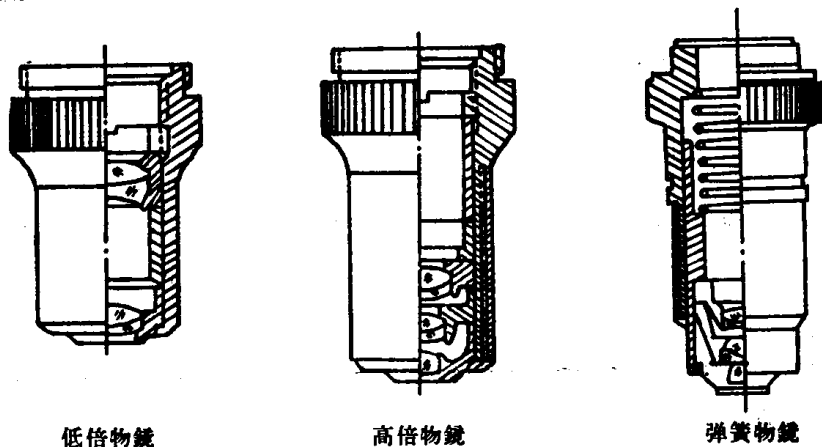


图 1-2

〔注〕 象差和色差：从物体上一点发出的光线，通过透镜以后不再相交于一点，而是会聚在一个很小的空间内，形成一个模糊的“小亮斑”。由这些小亮斑构成的物象，无论在形状上和颜色上都与原物有所差别（即失真），这些差别就分别叫做象差和色差。

色差是由于显微镜使用的光源是白光，以及透镜本身具有和三棱镜相似的性质，能对白光进行分解（色散），这两个原因凑合在一起所产生的。由于色差的存在，使得透镜所成的象总是带上彩色的边缘。象差是由于透镜本身的弱点（如透镜表面为球面，透镜各处的放大率不相等）引起的，并不是由于加工制造不良。根据产生的原因和条件不同，可分为球面象差、慧差、象散、象面弯曲、畸变、放大率色差和位置色差等七种。它们同时存在、并且在不同方面影响着成像的质量。

为了提高象的质量，必须设法消除各种象差和色差。除了设计显微镜的光学系统时，必须经过严格的计算以外，通常采取的手段之一，就是利用凸、凹透镜组成“透镜组”来消除一部分象差和色差（因为它们彼此之间的某些象差和色差的方向正好相反）。尽管如此，象差和色差也不可能完全消除，只能控制在不影响使用的程度。

高，结构愈复杂。有些新产品，在高倍镜和油镜内装有弹簧，以便在物镜前端受压时能顺利退缩以保护镜头，这种物镜称为弹簧物镜。

1. 物镜的分类。一般有三种分法：

(1) 按物镜使用空间的介质不同可分为：

① 干燥系物镜：使用时物镜与标本之间以空气为介质。

② 油浸系物镜：简称油镜。使用时物镜与标本之间以香柏油为介质。

(2) 按物镜的放大倍数不同，习惯上可分为：

① 低倍物镜：放大 10 倍以下；

② 中倍物镜：放大 10~25 倍；

③ 高倍物镜：放大 40~80 倍；

④ 油镜：放大 90~100 倍。

(3) 按物镜的象差和色差的校正程度不同，可分为：

① 消色差物镜；

② 平场消色差物镜；

③ 平场半复消色差物镜；

④ 平场复消色差物镜。

它们都在不同程度上消除了象差和色差。其中消色差物镜在普通显微镜上用得最多，平场复消色差物镜质量最好，但价格较贵。

我国目前生产的物镜的基本参数，如表 1-2 所示。

表 1-2 国产物镜的基本参数表

最大数值孔径 放大率 分类	1.6×	2.5×	4×	6.3×	10×	16×	25×	40×	50×	63×	80×	100× 油浸	代号
消色差物镜	0.04	—	0.10	—	0.25	—	0.40	0.65	—	0.85	—	1.25	—
平场消色差物镜	0.04	0.07	0.10	0.15	0.25	0.32	0.40	0.65	0.75	0.85	0.95	1.25	PC
平场半复消色差物镜	—	—	—	0.20	0.30	0.40	0.60	0.75	—	0.90	—	1.30	PB
平场复消色差物镜	—	—	0.16	0.20	0.30	0.40	0.65	0.8	—	0.95	—	1.32	PF

2. 物镜的识别

物镜上通常都标有表示物镜的光学性能和使用条件的一些数字和符号：如“40/0.65”和“160/0.17”。此处的 40 表示它的放大倍数（有的写成“40×”或“40:1”）；0.65 表示它的“数值孔径”（有的写成 N. A. 0.65 或 A. 0.65）；160 表示使用该物镜时，显微镜的“机械筒长”应为 160 毫米（所谓机械筒长是指取下物镜和目镜以后，所剩下的镜筒长度，国产显微镜的机械筒长规定为 160 毫米）；0.17 表示使用该物镜时，盖玻片的厚度应为 0.17 毫米。有些低倍物镜，如“4×”在有盖玻片的情况下，都可以使用，所以不刻 0.17 而代之以横线“—”。有些油镜上刻有“油”字。

“工作距离”也是物镜的重要参数之一。一般没有标明在物镜上，但在说明书中，均有说明。

(二) 目镜

目镜的构造如图 1-3 所示。

它由上下两块(或两组)透镜组成。下面一块大透镜叫做场镜,上面一块小透镜叫做接目镜。两块透镜之间装有一个环状光栏,用它来限制视场的大小,所以又叫做“视场光栏”。根据工作需要可以在这个光栏平面上安装指针,用来指示特定的观察目标。安装指针时,可用一小段头发,粘在这个光栏平面上,毛尖应落在光栏平面内。否则,观察时针尖不清晰。

目镜可分为惠更斯目镜、冉斯登目镜和平场补偿目镜等几种。其中惠更斯目镜(它的上下两块透镜的凸面都朝下)在普通显微镜上用得最多,平场补偿目镜与平场物镜配用。

我国目前生产的目镜的基本参数如表 1-3 所示:

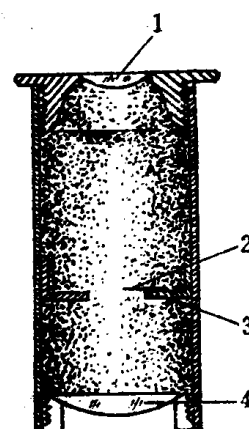


图 1-3 目镜

1. 接目镜 2. 指针
3. 视场光栏 4. 场镜

表 1-3 国产目镜的基本参数表

惠更斯目镜和冉斯登目镜			平 场 补 偿 目 镜		
放大率	视场直径 (mm)	代号	放大率	视场直径 (mm)	代号
5×	20	—	8×	18	PB
6.3×	18		10×	16	
8×	16		12.5×	12.5	
10×	14		16×	10	
12.5×	12.5		20×	8	
16×	10		25×	6.3	
20×	8				
25×	6.3				

(三) 聚光器

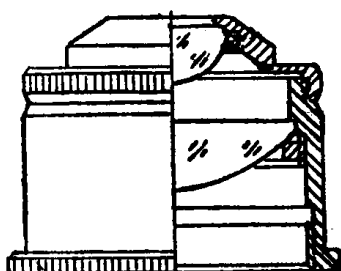


图 1-4 聚光镜

聚光器又叫做集光器。安装在镜台下面,它由聚光镜和可变光栏两个部件组成。聚光镜的作用是会聚光线,用于照亮标本,其结构如图 1-4 所示。可变光栏又叫光圈或虹彩光栏,装于聚光镜的下方,由十余块金属薄片组成,中央的通光孔呈圆形,移动可变光栏的把手,可以任意调节通光圆孔的大小。

聚光器的主要参数是数值孔径。但它的数值孔径是可变的——受可变光栏控制。当光栏孔开大时,数值孔径增大。反之,则变小。通常刻在聚光器外壳上的数字是它的数值孔径的最大值,可随光栏的关小而任意变小,以便与不同数值孔径的物镜相匹配。

(四) 反射镜

反射镜又叫反光镜。安装在聚光器下面的镜臂上,它有二个反射面:一为平面,一为凹面。可在水平和垂直两个方向上任意偏转。它的主要作用是改变光线的前进方向(凹面镜也有一定的聚光作用),使光源发出的光线射向聚光器。

三、显微镜的光学性能

显微镜的光学性能是由下列八个基本光学参数（或参量）来决定的。

（一）数值孔径

数值孔径又叫镜口率。简称为 N. A. 或 A.。它是物镜和聚光器的重要参数，与显微镜的各个光学参数都有密切关系。数值孔径的大小由下式决定：

$$N. A. = n \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad 1-1$$

式中 n 表示物镜与标本之间的介质的折射率， α 表示物镜的“镜口角”。所谓镜口角是指被观察点射入物镜的边缘光线之间的夹角，如图 1-5 所示。

从公式 1-1 可知：要提高数值孔径，可以采取两种方法：一是增大镜口角 α ；二是增大物镜与标本之间的介质的折射率 n 。

采取前一种方法时，可以让标本与物镜尽量靠近，但无论怎样靠近， α 总是小于 180° ，要想 $\alpha = 180^\circ$ ，就必须把被检物体贴在物镜的前透镜上，这样实际上是无法进行镜检的。从三角学知道：当 $\alpha < 180^\circ$ 时， $\sin \frac{\alpha}{2} < 1$ ，因空气的折射率 $n = 1$ ，因此，干燥系物镜的数值孔径总是小于 1，一般在 0.04~0.95 之间。

采取后一种方法时，可在物镜与标本之间加入折射率较大的介质（如香柏油 $n = 1.515$ ）。例如，设 $\alpha = 111^\circ 12'$ ，当物镜与标本之间以空气为介质时，按公式 1-1 可得：

$$N. A. = 1 \times \sin \frac{111^\circ 12'}{2} = 1 \times 0.8251 \approx 0.83$$

当物镜与标本之间以香柏油为介质时：

$$N. A. = 1.515 \times \sin \frac{111^\circ 12'}{2} \approx 1.25$$

可见，在 α 相同的情况下，加入香柏油以后，可使数值孔径由 0.83 提高到 1.25。这就说明了显微镜为什么要用油镜的道理。

目前，在实用范围内，油镜所能达到的最大数值孔径为 1.4。

（二）分辨率

分辨率又叫做鉴别率或分辨本领。所谓分辨率是指显微镜分辨被检物体的微细结构的能力。它与“分辨距离”成反比。所谓分辨距离是指能被分辨开的两物点间的最小距离。分辨距离愈小，显微镜的分辨率愈高。如果两物点间的距离小于分辨距离，就会把两点误看成一点，当然看不清它的结构。显微镜的分辨率是由物镜来决定的。目镜只起“放大镜”的作用，并不增加显微镜的分辨率。

在普通中心照明的情况下，物镜的分辨距离由下式决定：

$$d = \frac{\lambda}{2N. A.} \quad 1-2$$

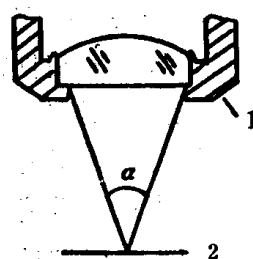


图 1-5 物镜的镜口角

1. 物镜 2. 标本
 α . 镜口角

式中 d 表示分辨距离, 单位: 微米。 λ 表示照明光线的波长, 单位: 微米。

在可见光中亮度最大而且对人眼最敏感的波长为 0.55 微米, 物镜最大的 N. A. 为 1.4, 代入公式 1-2 可得: $d = 0.55 / (2 \times 1.4) \approx 0.2$ 微米。可见使用普通显微镜, 在中心照明的情况下, 分辨距离的极限为 0.2 微米。

从公式 1-2 可知, 要提高物镜的分辨率 (即减小分辨距离), 可以采取下述两种方法:

第一种方法是提高物镜的数值孔径 N. A.。有一种介质叫一溴化萘 ($n = 1.66$), 利用它可将数值孔径提高到 1.6, 但由于这种介质对生物体有害, 除了特殊观察以外, 很少使用。

第二种方法是使用波长较短的照明光线。紫外线的波长比可见光的短, 约为 0.27 微米。因此, 利用紫外线作光源的紫外显微镜, 其分辨率高于可见光的一倍, 分辨距离可达 0.1 微米。但因为眼睛看不见紫外线, 只有拍成照片以后再观察。比紫外线的波长更短的还有 X 射线、 γ 射线等, 但目前没有发现可用的透镜材料。

随着现代科学的发展, 人们发现在 10 万伏电压作用下, 电子流的波长只有 0.0387 埃 (1 埃 = 10^{-8} 厘米), 比 X 射线的波长还短。因此, 利用“电子枪”来发射电子流, 用“电子透镜” (磁透镜) 来控制电子流, 就制成了电子显微镜。目前, 150 万伏的超高压电子显微镜, 其分辨距离已达数埃, 终于使人类进入了观察原子的时代。

(三) 放大率

显微镜的放大率等于物镜的放大率和目镜的放大率的乘积。

$$\text{即 } M = \frac{L}{f_{\text{物}}} \times \frac{250}{f_{\text{目}}} \quad 1-3$$

式中 M 表示显微镜的总放大率, $L/f_{\text{物}}$ 表示物镜的放大率, $250/f_{\text{目}}$ 表示目镜的放大率, L 表示显微镜的光学筒长, $f_{\text{物}}$ 表示物镜的焦距, $f_{\text{目}}$ 表示目镜的焦距, 250 (毫米) 表示明视距离。

从公式 1-3 可知, 物镜和目镜的焦距愈短, 光学筒长愈长, 总放大率愈大。但焦距太短或镜筒过长, 都会造成工作不方便。因此, 显微镜的放大率不能无限地增大。

更重要的是显微镜的放大率是受分辨率制约的。如果标本的细节不能被物镜分辨开来, 过度的放大, 是毫无意义的。例如, 画面上的一本书, 如果没有被照相机的镜头分辨出它是由一页页的纸叠成的。那么把这本书的图象放得再大, 也还是看不出它是由一页页的纸叠成的, 这就失去了放大的意义。因此, 标本的细节首先必须由物镜分辨开来, 然后再把它放大到适合眼睛观察的程度就可以了。实验证明: 对眼睛来说把视角放大到 $2' \sim 4'$ ($1' = 1/60$ 度) 之间最合适。所谓视角是指眼睛里水晶体的中心至被观察的物象两端点的连线之间的夹角, 如图 1-6 所示。

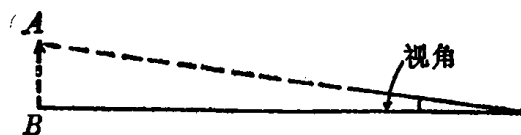


图 1-6

AB. 放大后的物象

按照这样的条件，理论上可以计算出来〔注〕，显微镜最合适的总放大率（称为有效放大率，用 $M_{\text{有效}}$ 表示）是在物镜的数值孔径的 500 倍至 1000 倍之间。即：

$$500N.A. \leq M_{\text{有效}} \leq 1000N.A. \quad 1-4$$

在有效放大率范围内，眼睛可以长时间观察而不易疲劳。如果总放大率低于 500 $N.A.$ ，观察起来很吃力。反之，如果高于 1000 $N.A.$ ，则会使象质变坏，甚至造成不真实的象。

（四）工作距离

工作距离是指显微镜调焦后，在使用标准盖玻片和标准机械筒长的情况下，物镜前透镜的下表面至盖玻片上表面之间的距离。物镜的放大倍数愈高，工作距离愈短。一般“10×”以下的低倍物镜，工作距离为 5~7.5 毫米。“40×”的高倍物镜，工作距离为 0.5 毫米左右。“100×”的油镜，工作距离只有 0.19 毫米左右。

（五）焦点深度

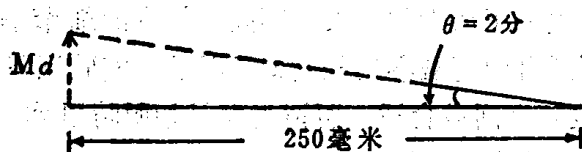
当显微镜调焦于标本中某一物平面以后，不仅这一物平面可以看清楚，而且和它相连的上下两个物平面也能同时看清楚，这上下两个物平面之间的距离叫做焦点深度（简称焦深）。

显微镜的焦深是很小的，而且数值孔径愈大，总放大率愈大，焦深愈小。例如，使用 $N.A.$ 为 1.25，100× 的油镜，配以 12.5× 的目镜观察时，焦深只有 0.27 微米，就是说调焦后一次只能看清楚 0.27 微米厚的一个薄层。而普通标本一般都有几个微米的厚度。可见，一次是看不完的，解决的办法是利用显微镜的微调机构，自下而上分层观察。因此，在使用焦深浅的高倍镜（尤其是油镜）进行观察时，往往需要调焦几次，甚

〔注〕 要看清样品的细节，必须同时满足二个条件：一是要求物镜有足够的分辨率，以保证象不互相重叠；二是要求显微镜有足够的放大率，以保证象在眼中所张的视角大于 1 分（小于 1 分时眼睛看不见）。这两个条件缺一不可，否则就看不清或看不见细节的象。

假定两细节间的距离为 d ，如果选用的物镜的 $N.A.$ 值能满足 $d = \frac{\lambda}{2N.A.}$ （公式 1-2），就能保证两细节的象不重叠，看清细节的第一个条件得到满足。如果再把两细节间的距离放大若干倍，使其虚象在眼中的视角大于 1 分，则第二个条件也同时得到满足。这时，当然可以看见细节的象了，但为了不使眼睛过于吃力，通常都把视角放大到 2 分与 4 分之间。

现将视角 θ 为 2 分（= 0.00058 弧度）时的情况计算如下，设显微镜的总放大率为 M ，则放大后两细节间的距离为 Md ，而且成象在明视距离 250 毫米处，如下图所示。



$$\text{则有: } \tan \theta \approx \theta = \frac{Md}{250} \quad (\text{因 } \theta \text{ 很小时, } \tan \theta \approx \theta)$$

$$\text{或: } 0.00058 = \frac{Md}{250}$$

将公式 1-2 中的 $d = \frac{\lambda}{2N.A.}$ 代入上式，并取 $\lambda = 0.55 \text{ 微米} = 0.55 \times 10^{-3} \text{ 毫米}$ ，整理后可得：

$$M = 527N.A. \approx 500N.A.$$

用同样的方法可以计算：当视角为 4 分时 $M \approx 1000N.A.$