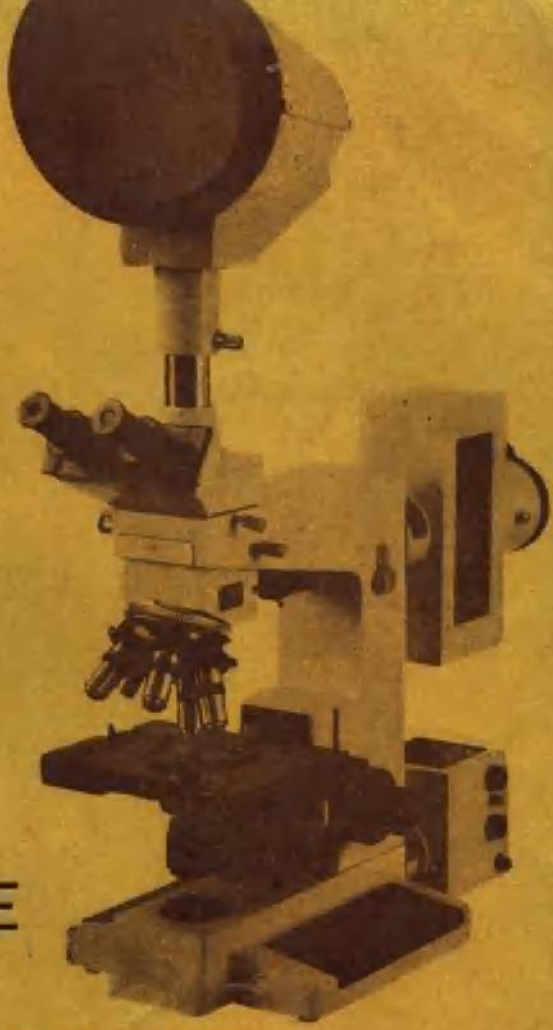




YIYONG
GUANGXUE
YIQI

医用光学仪器

天津科学技术出版社

责任编辑：王定一

医用光学仪器

虞启琰 王琳 编
赵安宁 高锡荣 张复礼

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道130号

天津武清永兴印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本850×1168毫米 1/32 印张19.375 字数492 000

1988年3月第1版

1988年3月第1次印刷

印数：1—4 000

ISBN 7-5308-0146-5/TH·9 定价：5.55元

内 容 提 要

本书讲述医用光学仪器的原理、结构及使用方法。全书分三大部分。第一部分为生物和医用显微镜，着重讲述各类光学显微镜、手术显微镜及电子显微镜的原理与构造。第二部分讲述各种硬性和纤维内窥镜。第三部分专门论述眼科仪器，从眼睛的生理功能直到检眼镜、裂隙灯显微镜、眼底照相机、屈光度不正测量仪及眼压计等各种仪器，均做了较详细的讲解。本书可作为高等院校生物医学工程与仪器专业的教材，并可供有关工程技术人员及广大医务工作者使用。

前 言

本书是根据在杭州召开的高等院校国家医药管理总局归口专业教学座谈会的要求及在天津召开的《医用光学仪器》一书编写大纲讨论会所拟定的大纲编写的。

全书分三大部分,共十四章。第一部分为生物和医用显微镜(第一章到第五章),着重讲述各类光学显微镜、手术显微镜及电子显微镜的原理和构造。第二部分为医用内窥镜(第六章和第七章),论述了硬性和纤维内窥镜的原理和构造。第三部分为眼科仪器(第八章到第十四章),这一部分对检眼镜、裂隙灯显微镜、眼底照相机、屈光度不正测量仪及眼压计的原理作了论述。为了便于各类读者更深入地了解医用光学仪器,本书也介绍了某些典型仪器的设计方法。

本书可作为高等院校生物医学工程与仪器专业和医学院学生的教材或教学参考书,也可供从事医用光学仪器设计和制造的工程技术人员,以及使用医用光学仪器的医生及维修人员参考。

本书由天津大学虞启琰主编。参加编写的有上海交通大学王琳、浙江大学赵安宁、上海医疗器械工业专科学校高锡荣、天津大学虞启琰、张复礼等同志。具体分工如下:绪论、第一、二、三、四章由虞启琰编写(其中第二章的§2.2和§2.3由张复礼编写);第五章由高锡荣编写;第六、七章由王琳编写;第八、九、十、十一、十二、十三、十四章由赵安宁编写。

本书主审为天津大学吴继宗教授。

本书在编写过程中,曾得到杭州医用光学仪器厂、江南光学仪器厂、上海医用光学仪器厂的宝贵照片和资料;新天光学仪器厂、浙江省医疗器械研究所、上海医疗器械研究所、上海光学仪器厂、天津医用光学仪器厂、温州医学院、上海红光医院、杭州

中医研究所的宝贵资料以及缪天荣、陆道平、俞道义、李子孝、杨广烈、郭仁涛、杨庆云、吕继浩、林树繁、侯凭乙、陈华昌、杜龙生、李行舟、吴振福、唐令伟、王宝林、竺皓、陈峻堂等同志的关心和帮助，编者谨向这些单位和个人表示衷心的感谢。

由于水平有限，时间仓促，加之这方面资料较难收集，因此书中难免有不妥甚至错误之处，望读者给予指正。不胜感谢。

编 者

绪 论

医用光学仪器是精密仪器的一个重要组成部分，它不仅具有光学仪器直观性强、形象逼真的特点，而且适合临床医学中诊断、检查和治疗各种疾病的要求。正因为如此，医用光学仪器的设计是与人体特性紧密相关的。

凡是应用各种光学原理对人体参数、组织和器官进行检查、诊断和治疗的光学仪器，以及为完成上述功能所必备的附件，均属医用光学仪器的研究范围。由此可见，医用光学仪器包含的内容极为丰富，其品种、规格繁多，使用遍及临床各科。习惯上，按仪器特点大致可分成下列几类：

(1) 生物和医用显微镜 主要包括各种生物显微镜(透射、落射、明场、暗场、荧光、偏光、相衬、干涉相衬显微镜)，手术显微镜和电子显微镜。

(2) 内窥镜 包括各种硬性窥镜和纤维窥镜。

(3) 眼科仪器 包括从角膜到眼底、屈光、视野和眼压等检查、诊断和治疗仪器。

(4) 射线和核子仪器 包括各类X光机、同位素核子仪器和CT等。

(5) 激光仪器 包括各类固体、液体、气体及半导体激光诊断和治疗仪器。

(6) 生化仪器 包括各类应用光学原理的生化分析仪器。

由此可见，医用光学仪器涉及范围极广，特点各异。对射线和核子仪器、激光仪器、生化仪器等三大类仪器，因它们基于不同光学原理，通常有专著予以论述，故本书只对前三大类仪器进行分析和讨论。

1665年, Robert Hooke 发明了第一台显微镜。显微镜的出现为人类打开了微观世界的大门。借助显微镜, 人们观测和研究了细胞、病菌等微小物体的结构和特性, 由此奠定了细胞学和组织学的基础, 并对生物学、遗传学、微生物学、病理学和医学的发展起到极大的促进作用。为了扩大观测领域, 人们相继研制了不同用途的显微镜, 例如明场显微镜、暗场显微镜、倒置显微镜、荧光显微镜、偏光显微镜、相衬显微镜和干涉相衬显微镜、万能显微镜等等。显微镜的最高放大倍率为1600倍左右, 分辨本领达 $0.2\mu\text{m}$ 。本世纪20年代, 人们将显微镜用于手术, 从而提高了手术的成功率。其后数十年间, 手术显微镜获得了系列性的发展, 并因此在临床医学中出现了一门新的分支——显微外科。

40多年前, Max Knoll和Ernst Ruska 发明了电子显微镜, 它帮助人类进一步揭示了微观世界的奥秘, 其放大倍率可达100万倍, 分辨率达 $1 \times 10^{-10}\text{m}$ 。

为了观察人体内部器官的情况, 人们在100多年前就制成了内窥镜, 它是内装光学系统的低倍管状显微镜, 由于镜管不能弯曲, 故称为硬性内窥镜。对胃、十二指肠等消化道器官, 采用硬性内窥镜观察不仅会给病人造成极大的痛苦, 而且使用十分不便, 甚至不能观察。为了对深部器官进行观察和治疗, 人们着手研究软性内窥镜。本世纪50年代研制成功的软性光学纤维内窥镜, 较好地解决了人体深部内腔的观察问题, 若配以不同附件, 还可进行各种手术。

眼睛是人体接收外界信息的主要器官, 其参数的病变将直接影响信息交换, 从而带来极大不便。而眼底血管的病变又是判断多种疾病的依据, 因而眼科仪器历来是医用光学仪器的一个重要部分。眼科仪器主要有角膜计、裂隙灯显微镜、检眼镜、眼底照相机、视野计、眼压计、屈光度检查仪和眼镜等等, 利用它们可测定人眼的生理参数或进行缺陷校正及治疗。

医用光学仪器的发展很快, 其发展趋势有下列几个方面:

(1) 光、机、电及计算机紧密结合 过去的医用光学仪器主要以光机为主，所谓电，仅是为了照明而用的变压器、灯泡及简单电路。七十年代以来，随微处理机技术的发展，电子探测、控制技术逐渐进入医光领域。列如日本欧林巴斯 (Olympus) 公司的电视显微镜即是把电视、微处理机和显微镜结合起来，它的自动化程度较高。美国斯尼买特 (Snymed) 公司的300型视野计，以微处理机控制，能自动显示视标、自动打印测试结果，对被检者第一次未有反应的视标能进行第二次自动显示，使被测者能再次观测视场中该些点的机会。这一切使仪器的自动化程度及可靠性增高。

(2) 系列化、积木化 为了满足临床各科的需要，医光产品正朝系列化发展。如联邦德国、民主德国、日本的手术显微镜，其系列化程度高，能满足各科显微手术的需要。积木化是使产品多样化、高质量、多功能、低成本和更新快的关键。日本欧林巴斯的显微镜即是一个很好的例子。

(3) 多功能、结构紧凑 如眼底照相机，其视场角由 30° 发展到 45° 、 60° 。某些产品甚至采用变焦镜头，但外形尺寸并未增加。内窥镜镜管直径变细，但视场、弯角及钳孔却增大。全景上消化道纤镜能观察从食道到十二指肠整个上消化道的情况，它的功能则可代替几种其他纤镜。

(4) 采用新光源 为了获得良好的观测及摄影效果，采用卤素灯、氙灯、激光器等新光源。

(5) 附件多 为了扩大仪器功能，大量设计和采用各种附件。如内窥镜采用高频电凝、电切，激光，超声等技术。医用显微镜配以各种附件使仪器使用范围更为广泛。眼科仪器则配以各种测量附件及手术器械。在各种医疗仪器上，照相、电影摄影、电视技术的采用等等。

目前，国内外生产的医用光学仪器产品极多，各有特色，但是进行分析后可以发现同类产品的原理和结构是相似的。

目 录

绪论	(I)
第一部分 生物及医用显微镜	(1)
第一章 普通型显微镜	(2)
§ 1-1 显微镜的光学系统	(2)
§ 1-2 显微镜各光学参数的正确选择	(16)
§ 1-3 显微镜的盖玻片及载玻片	(19)
§ 1-4 显微镜的机械结构	(21)
§ 1-5 倒置式显微镜	(49)
§ 1-6 显微摄影与显微电视	(57)
第二章 特种型显微镜	(64)
§ 2-1 暗场显微镜	(64)
§ 2-2 荧光显微镜	(67)
§ 2-3 偏光显微镜	(98)
§ 2-4 相衬显微镜	(115)
§ 2-5 干涉相衬显微镜	(126)
第三章 高级型显微镜	(144)
§ 3-1 XS-B1型实验室生物显微镜	(144)
§ 3-2 万能研究显微镜	(156)
§ 3-3 生物显微镜的发展与展望	(166)
第四章 手术显微镜	(168)
§ 4-1 手术显微镜的光学原理	(169)
§ 4-2 手术显微镜的支架系统及附件	(180)
§ 4-3 XSS型双人双目手术显微镜	(190)
§ 4-4 手术显微镜外形尺寸的计算	(211)

§ 4-5 阴道镜·····	(220)
第五章 电子显微镜·····	(225)
§ 5-1 电子显微镜概述·····	(225)
§ 5-2 电子显微镜的原理和结构·····	(230)
§ 5-3 电子光学的基本知识·····	(238)
§ 5-4 电子显微镜的初始设计·····	(276)
§ 5-5 电子显微镜设计举例·····	(291)
附录 ·····	(296)
 第二部分 医用内窥镜·····	 (314)
第六章 硬性内窥镜·····	(315)
§ 6-1 光学系统·····	(315)
§ 6-2 结构及功能·····	(322)
§ 6-3 纤维导光膀胱镜及专用膀胱镜·····	(328)
§ 6-4 其他硬性内窥镜·····	(334)
第七章 纤维内窥镜·····	(338)
§ 7-1 光导纤维的传光原理和特性·····	(339)
§ 7-2 光导纤维的制造·····	(357)
§ 7-3 纤维内窥镜的基本结构·····	(359)
§ 7-4 其他纤维内窥镜·····	(375)
 第三部分 眼科光学仪器·····	 (382)
第八章 人眼·····	(382)
§ 8-1 人眼的构造·····	(382)
§ 8-2 人眼的光学特性·····	(388)
§ 8-3 标准眼、模型眼、简略眼和模拟眼·····	(401)
§ 8-4 非正视眼及其矫正·····	(410)
第九章 检眼镜·····	(427)
§ 9-1 检眼镜的基本原理和结构简介·····	(427)
§ 9-2 检眼镜的放大作用·····	(435)
§ 9-3 检眼镜的视场·····	(443)

§ 9-4	检眼镜设计的要点	(448)
第十章	眼屈光不正的测定	(451)
§ 10-1	近视、远视和散光	(451)
§ 10-2	主观验光法	(454)
§ 10-3	检影法	(465)
§ 10-4	光学验光仪	(474)
§ 10-5	电子验光仪	(482)
§ 10-6	其余各种验光法简介	(510)
第十一章	眼角膜计	(517)
§ 11-1	角膜表面曲率半径测量的基本原理	(518)
§ 11-2	Javal Schiotz 角膜计	(520)
§ 11-3	其他角膜计	(524)
§ 11-4	眼角膜计的设计要点	(527)
第十二章	裂隙灯显微镜	(531)
§ 12-1	裂隙灯显微镜的光学原理	(532)
§ 12-2	裂隙灯显微镜的简要介绍	(536)
§ 12-3	裂隙灯显微镜的使用方法	(542)
第十三章	眼底照相机	(547)
§ 13-1	眼底照相机的基本构造	(548)
§ 13-2	眼底照相机的分类	(551)
§ 13-3	眼底荧光摄影	(566)
§ 13-4	眼底照相机光学系统设计示例	(573)
第十四章	眼压测量	(580)
§ 14-1	眼压测量的基本原理	(580)
§ 14-2	Schiotz 眼压计	(582)
§ 14-3	Маклаков 眼压计	(587)
§ 14-4	Goldmann 眼压计	(589)
§ 14-5	其他类型的眼压计	(594)
§ 14-6	眼压测定中的几个问题	(597)
参考文献		(604)

第一部分 生物及医用显微镜

自从第一台具有实用价值的显微镜问世以来，已经有三百多年了。显微镜的发明，突破了人眼天然的生理限制，把人类的视觉延伸到肉眼所不能看到的微观世界，从而更进一步揭示了自然界的奥秘，扩大了知识范围，对生产、医疗及各种科学研究起到重大的推动作用。

借助显微镜，人们看到了过去所看不到的许多微小生物和微结构，也看到了构成生物的基本单元——细胞。显微镜的发明，导致生物学和医学一些学科的建立和发展（如细胞学、组织胚胎学、病理学、微生物学、药物化学、临床试验等等）。

生物及医用显微镜可分为光学放大及电子放大两大类。前者按用途可分为普通型、特种型、高级型显微镜和手术显微镜。

普通型生物显微镜仅供一般用途使用，通常的农用与医用显微镜、倒置显微镜均属这一类。

特种型生物显微镜可作某些专用的观察和研究。暗场生物显微镜、荧光显微镜、偏光显微镜、相衬和干涉相衬显微镜等均属于这一类。

高级型生物显微镜系指大型多用途的生物显微镜，研究用生物显微镜和万能研究用生物显微镜等属于这一类。

手术显微镜主要供临床各科（外科、妇科、眼科、五官科等）的检查与手术使用。

光学显微镜的最高分辨率在 $0.2\mu\text{m}$ 左右，放大率可达1600倍。由于它的品种齐全，结构简单，使用、维护方便，价格较低，因此广泛应用于各个领域。

电子显微镜采用电子透镜对微观物体进行放大，它具有很高

的放大率及分辨率，目前放大倍数已达100万倍，分辨率达 $1 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ ，常用于分子结构、病毒等的研究和观察。电子显微镜结构复杂，使用维护要求高，价格昂贵，仅用于科学研究及某些特殊要求的场合。

第一章 普通型显微镜

§ 1-1 显微镜的光学系统

如图 1-1 所示，显微镜的光学系统由物镜和目镜两部分组成。物体 A_1B_1 位于物镜 O_1 物方焦点 F_1 之左（物距大于一倍焦距，小于二倍焦距），经物镜后成一放大的倒立象 $A'_1B'_1$ （它

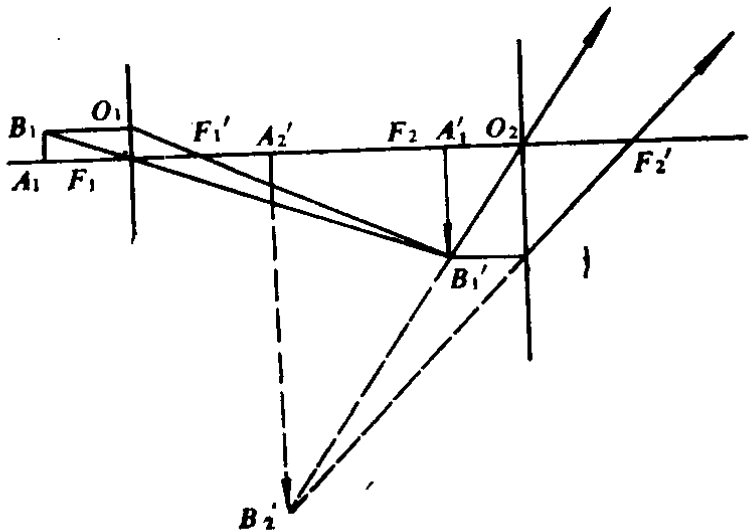


图 1-1 显微镜的光学系统

位于目镜 O_2 的物方焦点 F_2 上或其右方），然后，再经目镜成象于无限远处或人眼的明视距离处。为了观测方便，显微镜的物镜与目镜之间常加入转象棱镜。

显微镜的视角放大率 Γ 为物镜和目镜放大率的乘积，由下式决定：

$$\Gamma = \Gamma_{目} \cdot \beta = \frac{250}{f'_2} \cdot \frac{\Delta}{f'_1} = \frac{250}{f'_1} \tag{1-1}$$

式中 f'_1 ——物镜焦距；
 f'_2 ——目镜焦距；
 f' ——显微镜总焦距；
 Δ ——显微镜的光学筒长；
 $\Gamma_{目}$ ——目镜放大率；
 β ——物镜放大率。

由于物体经物镜和目镜二次放大，其总放大率较高，因此显微镜常用于生物及医疗领域，对微小物体进行观测和分析。

绝大多数的显微镜，其物镜和目镜各有数只组成一套，以便通过调换获得各种放大率。通常物镜有3~6只，其倍率大致为4、20、40、60、100；目镜有3~4只，倍率大致为5、10、12.5、16。这样，整个显微镜就有24种倍率（见表1-1）。

表 1-1 显微镜的倍率

总倍率 目镜 \ 物镜						
	4	10	20	40	60	100
5	20	50	100	200	300	500
10	40	100	200	400	600	1000
12.5	50	125	250	500	750	1250
16	64	160	320	640	960	1600

表1-2 显微镜放大倍数系列

					0.32	0.4	0.5	0.63	0.8
1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	3.2	4.0	5.0	6.3	8.0
10	12.5	16	20	25	32	40	50	63	80
100	125	160	200	250	320	400	500	630	800
1000	1250	1600							

表1-2为国际上对显微镜及其部件（物镜、目镜、摄影目镜等）定出的放大倍数系列。

实用中，各国的系列可能稍有不同。

一、显微镜物镜

按象差的校正情况、显微镜的物镜通常可分为消色差物镜、复消色差物镜及平场物镜三大类。

1. 消色差物镜

这类物镜校正了轴上点的位置色差和球差，并使近轴点消除了正弦差，但不能消除色球差，二级光谱和场曲较大，故不能用于重要的研究工作和显微摄影。消色差物镜按放大倍数又分为下列几类：

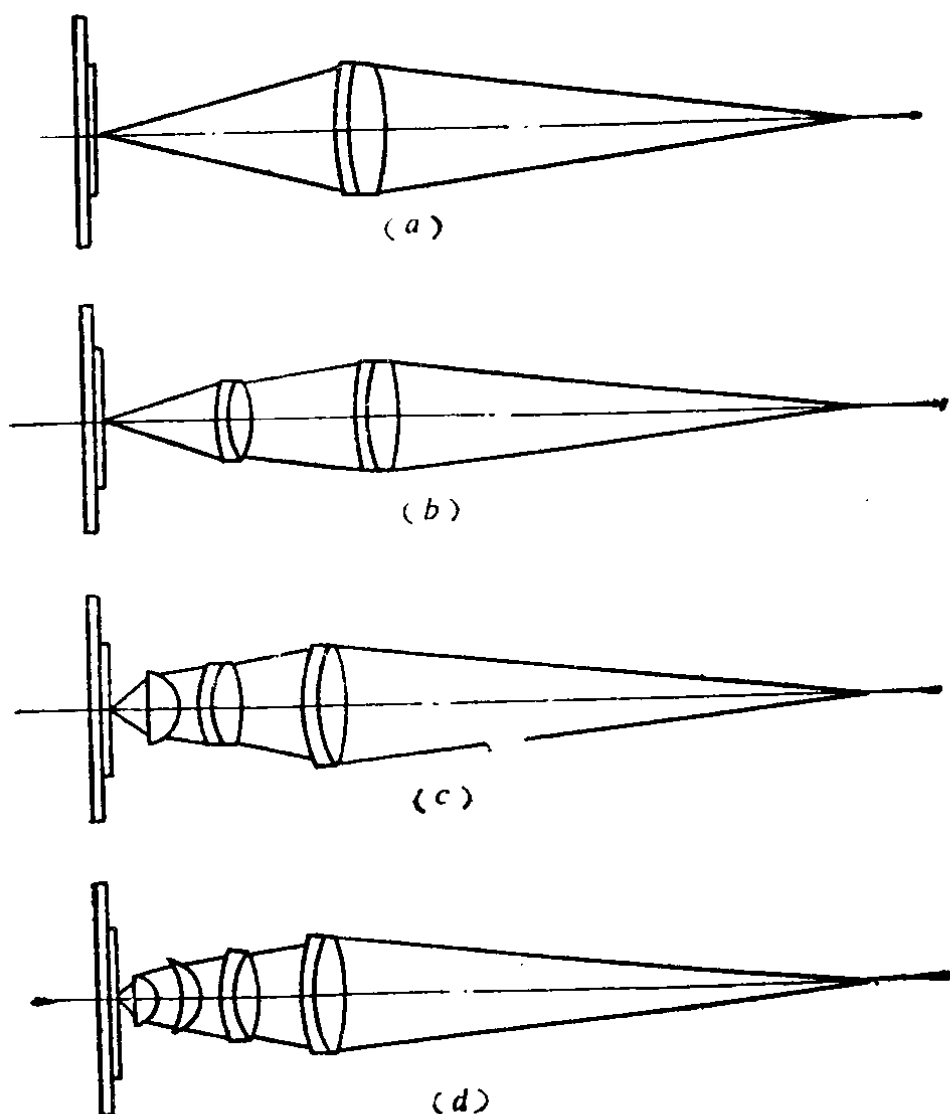


图 1 - 2 显微物镜

(1) 低倍物镜 它通常由一组双胶合透镜组成(见图1-2a), 放大率1~5X, 数值孔径0.04~0.15。

(2) 中倍物镜 由两组双胶合物镜组成(称为李斯特物镜, 见图1-2b), 放大率5~25X, 数值孔径0.15~0.40。

(3) 高倍物镜 由一前片和两组双胶物镜所组成(称为阿米西物镜, 见图1-2c), 放大率25~65X, 数值孔径0.35~0.85。

(4) 浸液(高倍)物镜 其结构更为复杂(见图1-2d), 在高倍物镜的前片和中组之间加了一个正弯月形透镜。物镜使用时前片必须浸在油或水里, 放大率90~100X, 数值孔径1.2~1.5。这类物镜亦称为阿贝浸液物镜。表1-3列出几种常用浸液的折射率。

国际上对浸液作如下规定： $n_D = 1.5180 \pm 0.0004$ ； $n_D = 1.515$ ； $v_D = 44 \pm 5$ 。在360nm至780nm之间的光谱区域内，浸液不应具有选择性的吸收。正常照明下不应有目视荧光。荧光显微术中使用的浸液，在强紫外光辐射的情况下，在暗室内，不应有微弱荧光。浸液的粘度，应能保持物镜和盖玻片、聚光镜和载玻片之间的连接。此外，浸液不应有腐蚀性，不可溶解正常涂敷于标本的染料，在观察过程中，不可导致标本出现可觉察的变化。浸液最好无毒性(若有毒，必须标明)，物理、化学性质应稳定。

必须注意，浸液物镜设计时已考虑到所用的浸液，相应浸液随仪器附给(蒸馏水除外)，不能随意选用。

2. 复消色差物镜

这类物镜的某些透镜采用

表1-3 浸液的折射率

名 称	n_D
杉 木 油	1.515
香 柏 油	1.502
溴 化 苯	1.656
二 碘 甲 烷	1.741
甘 油	1.455
蒸 馏 水	1.333

萤石作材料，二级光谱校正较好，因此物镜的象质较优，但其倍率色差并不能完全校正，在倍率色差大于1%时，要用目镜补偿，不过其场曲仍然较大。图1-3是一放大率为90X，数值孔径为1.3的复消色差物镜。

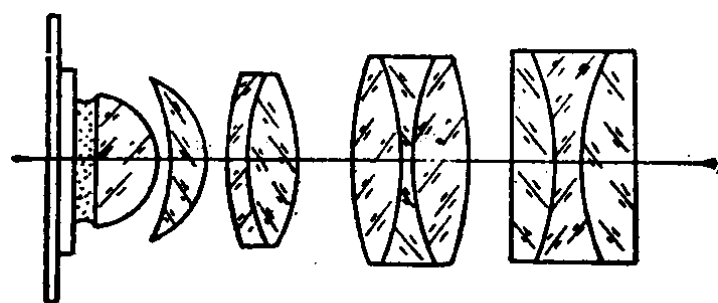


图 1 - 3 复消色差物镜

3. 平场物镜

在系统中加入厚弯月形透镜可校正象面弯曲，这类物镜称为平场物镜。与普通物镜相比，它的主要优点是视场显著增大，在物镜象平面上的线视场可达25mm。平场物镜常用于广视野观测及显微摄影。

平场物镜可分成消色差平场物镜、复消色差平场物镜和半复消色差平场物镜三类。

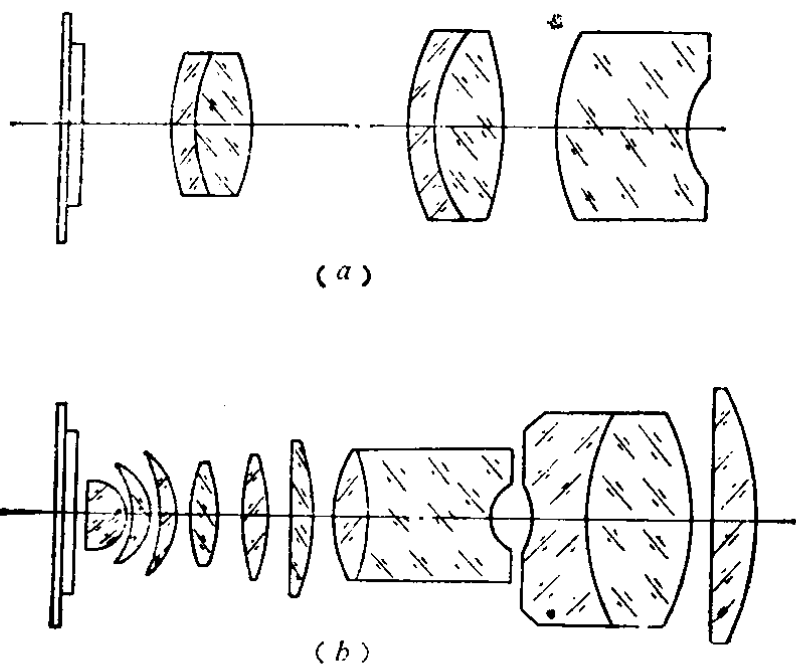


图 1 - 4 平场消色差物镜