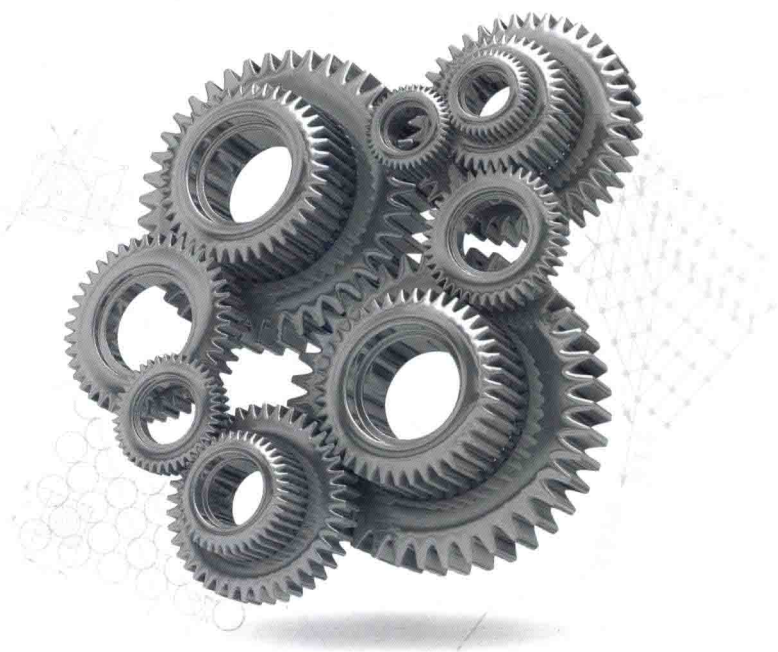


高等学校“十二五”规划教材
GAODENG XUEXIAO SHIERWU GUIHUA JIAOCAI

工程材料实验教程

GONGCHENG CAILIAO SHIYAN JIAOCHENG

张建军 张黎骅 强华 马永昌◎主编



西南师范大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

高等学校“十二五”规划教材
GAODENG XUOXIAO SHIERWU GUIHUA JIAOCAI

工程材料实验教程

GONGCHENG CAILIAO SHIYAN JIAOCHENG

张建军 张黎骅 强华 马永昌◎主编



西南师范大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

图书在版编目(CIP)数据

工程材料实验教程/张建军等主编. -- 重庆:西南师范大学出版社, 2015.12

ISBN 978-7-5621-7673-2

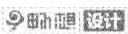
I. ①工… II. ①张… III. ①工程材料—材料试验—高等学校—教材 IV. ①TB302

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 260054 号

工程材料实验教程

主 编:张建军 张黎骅 强 华 马永昌

责任编辑:杜珍辉

封面设计:  设计

照 排:重庆大雅数码印刷有限公司·吴秀琴

出版、发行:西南师范大学出版社

(重庆·北碚 邮编:400715)

网址:www.xscbs.com)

印 刷:重庆荟文印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:6.25

字 数:150 千字

版 次:2015 年 12 月第 1 版

印 次:2015 年 12 月第 1 次

书 号:ISBN 978-7-5621-7673-2

定 价:15.00 元

前 言

实验教学是高等教育教学体系的重要组成部分,是培养优秀的工科人才的重要途径。实验教材是保证和提高实验教学质量的重要基础。本书根据教育部机械基础课程教学指导分委员会工程材料及机械制造基础课程组制定的《普通高等学校工程材料及机械制造基础系列课程教学基本要求》进行编写,并吸收了近年来工程材料实验教学改革成果。

全书以培养学生的实验基本技能,增强学生的创新思维和创新能力的目标,构建基础技能训练、基础素质训练和综合素质训练的实验教学平台。编写中注重实验内容的系统性、实用性、综合性,设置综合设计性实验,体现新技术、新设备在工程材料实验中的应用,适应不同层次、不同类别、不同教学要求的实验教学,满足课内实验和独立实验课的教学需要。

本书主要内容包括:金相显微镜、电子显微镜、硬度计的构造及使用,定量金相及测量方法等基础知识;金相试样制备与显微分析基础实验、铁碳合金平衡组织显微分析实验、硬度测定实验、钢的普通热处理实验、铸铁及有色金属的显微分析实验、碳钢在不同热处理后的显微组织观察实验、钢的淬透性测定实验、计算机辅助定量金相显微分析实验、零件失效分析和选材综合实验、典型零件选材和热处理综合实验等实验的目的、内容、原理、步骤和方法及实验报告要求等。

本书为机械工程材料实验教材,可与张建军等主编的《机械工程材料》配套,供高等学校机械类、近机械类本科各专业的实验使用,也可供高职高专、广播电视大学和网络教育等其他类型学校相关专业学生选用及有关专业技术人员参考。

本书由西南大学张建军、四川农业大学张黎骅、重庆人文科技学院强华、西南大学马永昌任主编,洛阳理工学院李妙玲和王海霞、重庆邮电大学张毅、西南大学马秀腾、重庆文理学院胡旭、长江师范学院李世春等参加编写,全书由张建军统稿。

本书在编写过程中,参考了有关教材、标准、资料,并得到有关同志的支持和帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2014年8月

目 录

第1章 绪论	001
1.1 概述	001
1.2 工程材料实验教学的目的	001
1.3 工程材料实验教学的基本要求	002
第2章 基础知识	003
2.1 金相显微镜的构造及使用	003
2.2 电子显微镜简介	014
2.3 硬度计及使用	016
2.4 定量金相基本知识	023
第3章 工程材料实验	027
3.1 金相试样制备与显微分析基础实验	027
3.2 铁碳合金平衡组织显微分析实验	031
3.3 硬度测定实验	036
3.4 钢的普通热处理实验	043
3.5 铸铁及有色金属的显微分析实验	049
3.6 碳钢在不同热处理后的显微组织观察	054
3.7 钢的淬透性测定实验	057
3.8 计算机辅助定量金相显微分析实验	061
3.9 零件失效分析与选材综合实验	081
3.10 典型零件选材和热处理综合实验	084
附 录	087
参考文献	092

第 1 章 绪论

1.1 概述

材料是社会生产和人类生活的物质基础,也是人类技术进步的重要标志。它能直接反映出人类社会的文明程度。纵观人类利用材料的历史,可以清楚地看到,每一类新材料的发现和利用都会引起生产技术的革命,并大大加速社会文明的发展进程。在人类发展的历史长河中,远古的石器时代、青铜器时代和铁器时代等以材料命名的时代,都表明材料的发展和使用,能促进人类社会不断发展。20 世纪以来,新材料研制日新月异,高分子材料、半导体材料、先进陶瓷材料、复合材料、纳米材料、高温超导材料、激光材料、磁性材料、电子材料、形状记忆材料和生物材料等一系列新材料相继出现、发展和应用,促进了当代制造业的飞跃。材料、能源和信息已成为现代社会发展的三大支柱。工程材料是指在交通、船舶、化工、电气、航空航天及机械装备等领域大量使用的材料。工程材料学则是研究工程材料的组织结构、性能特点、强化工艺措施以及常用机械零件的失效和材料选用原则的综合性课程。

实验教学是高等教育教学体系中不可缺少的重要组成部分,是强化学生工程素质、启迪创新思维和创造能力的重要环节。工程材料实验与课堂教学、工程训练及生产实践密切配合,以增强学生对工程材料的组织结构、性能特点、强化工艺的感性认识,培养分析和解决常用机械零件的失效和材料选用等实际问题的能力。实验教学中,合理安排基础验证性、综合性和创新性实验,既可加强学生对理论和实验知识系统的掌握,也能更好地培养学生的工程实践能力和创新思维能力。

创新人才培养模式,改革实验教学,培养创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量人才是建设创新型国家的迫切需要。目前,工程材料实验在课程设置上,由课内实验向独立的“工程材料实验”课程方向发展;在实验内容、方法和手段上已逐步增加了新材料、计算机辅助分析和图像处理等新技术和新设备,从验证型、基础型开放实验向综合设计型实验发展,为高素质创新人才培养提供了更加宽广的平台。

1.2 工程材料实验教学的目

实验能使學生进一步掌握和巩固所学的基本理论知识。学生通过自己动手实验,观察实验现象,获得丰富的感性认识,通过实验结果分析、验证理论,使感性认识进一步深化,上升为理性认识,从而达到深刻理解、熟练掌握的目的。因此,工程材料实验教学的目的在于以下几个方面:

(1)使学生加深对课堂理论教学内容的理解。在实验中通过还原理论知识中涉及的术

语、概念和应用对象,加深学生对课堂理论教学内容的理解。

(2)深化理论知识的学习,加深学生对理论知识体系的系统性认识。

(3)使学生掌握相关仪器、设备的工作原理、作用和使用方法。

(4)使学生掌握一定的实践操作技能,培养学生独立工作和分析问题的能力。

(5)培养学生严谨、科学、求是的作风,既独立思考、积极主动,又富有团队合作精神。提高学生的综合设计和创新能力。

(6)使学生了解工程材料实验研究新技术、新方法和新设备。

1.3 工程材料实验教学的基本要求

(1)了解工程材料的金相试样制备和金相观察分析方法。

(2)掌握金相显微镜和硬度计的正确使用。

(3)掌握常用材料的金相显微分析和硬度测定方法。

(4)掌握铁碳合金中的相、组织组成物的形态与分布特征及鉴别方法。

(5)掌握钢的几种基本热处理(退火、正火、淬火、回火)操作。

(6)掌握铸铁、铜合金、铝合金的显微组织分析方法。

(7)了解钢的淬透性及其测定方法。

(8)掌握材料的强化途径和主要方法。

(9)熟悉材料的应用范围,能合理选材,并合理地制订常用典型零件主要材料的热处理工艺,进行热处理操作。

(10)了解计算机辅助分析和图像处理等新技术和新设备的应用。

(11)了解电子显微镜及金相分析应用。

(12)培养严谨地进行科学实验,实事求是地记录实验数据的科学态度和正确地归纳、推理、分析、判断的能力。

第 2 章 基础知识

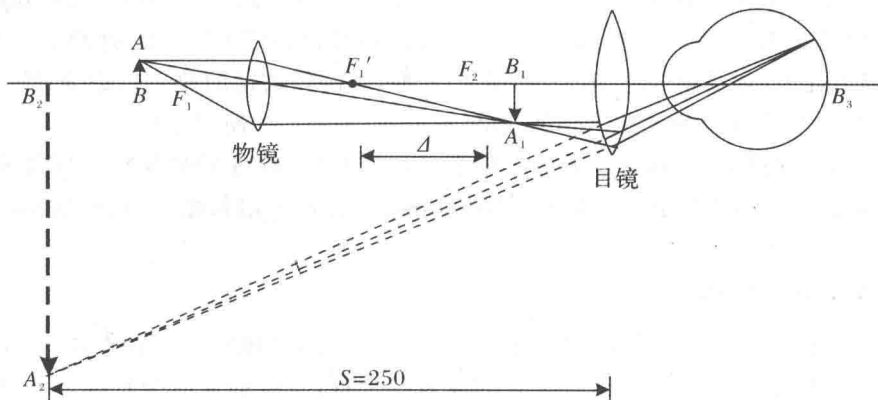
2.1 金相显微镜的构造及使用

金相显微镜主要用于鉴定和分析金属内部的组织结构,也是装备制造业中用于检定产品质量的关键检测设备之一。利用金相显微镜观察金相试样的组织或缺陷的方法称为金相显微分析。它是研究金属材料内部组织微观结构的主要手段之一,在金属材料研究领域占有十分重要的地位。现代金相显微分析中,使用的显微镜有光学金相显微镜和电子显微镜。

2.1.1 金相显微镜的成像原理

光学显微镜是 1590 年由荷兰眼镜商詹森父子首创的。专门用来观察、研究金属内部组织的光学显微镜,称为金相显微镜。金相显微镜与生物显微镜有所不同,一般生物显微镜是利用透射光线观察透明物体,而金相显微镜是利用灯光作为照明光源,借助透镜、棱镜等作用,使光线投射在试样表面上,靠试样表面微区不同的反射能力,使光线不同程度地反射入物镜,经放大后呈现出能反映金属组织形貌的金相组织图像,并通过目镜进行观察。金相显微镜是对金属材料进行金相检验的必不可少的工具,借助它可以对金属材料中肉眼不能直接看到的金相组织进行观察,以检查和评定金属材料的质量。

显微镜的成像放大部分主要由两组透镜组成。靠近观察物体的透镜叫物镜,而靠近眼睛的透镜叫目镜。通过物镜和目镜的两次放大,就能将物体放大到较高的倍数,图 2-1 所示为金相显微镜的放大成像原理。



AB—物体 A_1B_1 —物镜放大图像 A_2B_2 —目镜放大图像 F_1 —物镜的焦距
 F_2 —目镜的焦距 Δ —光学镜筒长度(即物镜后焦点与目镜前焦点之间的距离)
 S —明视距离(人眼的正常明视距离为 250mm)

图 2-1 金相显微镜成像原理示意图

物体 AB 置于物镜的一倍焦距(F_1)以外,两倍焦距之内的位置上,通过物镜后可形成一个倒立、放大的实像 A_1B_1 ,当实像 A_1B_1 位于目镜的一倍焦距(F_2)以内时,则目镜又使 A_1B_1 放大,在目镜的物方两倍焦距以外,得到 A_1B_1 的正立放大的虚像 A_2B_2 。最后映像 A_2B_2 是经过物镜、目镜两次放大后得到的。 A_2B_2 又通过眼睛这一光学系统成像于视网膜上(A_3B_3),因而可观察到相对于物体是倒立的放大图像。

显微镜设计时,目镜的焦点位置与物镜放大所成的实像位置接近,并使最终的倒立虚像在人的明视距离处(约 250mm)成像,这样就可以使人们的观察效果最为清晰。

2.1.2 金相显微镜的参数

1. 显微镜的放大倍数

根据显微镜的成像原理,显微镜的放大倍数为物镜放大倍数与目镜放大倍数的乘积。物体 AB 经物镜放大后的放大倍数为:

$$\text{物镜的放大倍数: } M_{\text{物}} = \frac{A_1B_1}{AB} \approx \frac{\Delta}{F_1} \quad (2-1)$$

$$\text{目镜的放大倍数: } M_{\text{目}} = \frac{A_2B_2}{A_1B_1} \approx \frac{S}{F_2} \quad (2-2)$$

$$\text{显微镜总放大倍数: } M_{\text{总}} = M_{\text{物}} \times M_{\text{目}} = \frac{A_2B_2}{AB} \approx \frac{\Delta}{F_1} \times \frac{S}{F_2} = \frac{\Delta}{F_1} \times \frac{250}{F_2} \quad (2-3)$$

式中: Δ ——光学镜筒长度(即物镜后焦点到目镜前焦点的距离);

F_1 ——物镜的焦距;

F_2 ——目镜的焦距;

S ——明视距离(人眼的正常明视距离为 250mm)。

由上式可知: F_1 、 F_2 越短或镜筒长度 Δ 越长,则放大倍数越大。

放大倍数一般主要通过物镜来保证,物镜的最高放大倍数可达 100 倍,目镜的最高放大倍数可达 25 倍。金相显微镜设计的最高放大倍数可达 1600 到 2000 倍,但受物镜分辨能力的限制,一般可放大 1000~1500 倍。镜头的放大倍数用符号“ $\times$ ”表示,分别标注在物镜和目镜的镜筒外壳上(如目镜 8 $\times$ 、10 $\times$,物镜 40 $\times$ 等)。例如物镜的放大倍数为 25 $\times$,目镜的放大倍数为 10 $\times$,则显微镜的放大倍数为 25 $\times$ 10=250 $\times$ 。在使用金相显微镜观察组织时,应根据组织的粗细情况,选择适当的放大倍数,以组织细部能被观察清楚为准,不要只追求过高的放大倍数,因为放大倍数与透镜的焦距有关,放大倍数越大,焦距越小,会带来许多缺陷。

2. 透镜的几何缺陷

显微镜实际上是由很多组透镜构成的,在实际工作中,透镜本身是存在像差的。透镜所成的像应满足几何相似的要求,即一个点的像为一个点,直线的像应为直线,平面的像应为平面。可是透镜所形成的像除了像的位置、大小、比例、虚实有变化之外还有成像质量的问题,也就是说物体通过透镜后所成的像与理论像在形状、颜色上存在差异,即像差。在实际的光学系统中,完全满足理想成像的条件很难做到,往往存在着影响成像性能的像差。

透镜像差就是透镜在成像过程中,由于本身几何光学条件的限制,图像会产生变形及模糊不清的现象。虽然在显微镜的物镜、目镜及光路系统等设计制造过程中,已将像差减少到

很小的范围,但其依然存在。

透镜像差有单色像差(如球面像差、彗星像差、像散、像域弯曲、畸变)和多色像差(称为色差)等多种,其中对图像影响最大的是球面像差、像域弯曲和色差三种。

(1)球面像差

单色光通过透镜后,由于透镜表面呈球形,光线不能交于一点,则使放大后的像模糊不清,此现象称为球面像差。

1)产生原因 球面像差是由于透镜的表面呈球曲形,来自一点的单色光线,通过透镜折射以后,中心和边缘的光线不能交于一点,靠近中心部分的光线折射角度小,在离透镜较远的位置聚焦,而靠近边缘处的光线偏折角度大,在离透镜较近的位置聚焦。所以形成了沿光轴分布的一系列的像,使图像模糊不清。

2)校正方法 球面像差的大小程度与光通过透镜的面积大小有关,可通过制造物镜时采用不同透镜组合,即将凸、凹透镜组合形成复合透镜,产生性质相反的球面像差来减少球面像差进行校正。采用调整孔径光阑,缩小透镜的成像范围,适当控制入射光束等办法可降低球面像差。光圈放得越大,光线通过透镜的面积越大,球面像差就越严重;反之,缩小光阑圈,限制边缘光线射入,使用通过透镜中心部分的光线,可减小球面像差。但光阑太小,显微镜的分辨能力降低,也会使图像模糊。因此,应将孔径光阑调节到合适的大小。

(2)像域弯曲

垂直于光轴的平面,通过透镜所形成的像,不是平面而是凹形的弯曲像面,称为像域弯曲。

1)产生原因 像域弯曲是各种像差综合作用的结果。一般物镜都或多或少地存在着像域弯曲,只有校正极佳的物镜才能达到趋近平坦的像域。

2)校正 高的像差校正水平是光学显微镜不断追求的目标,像差校正的完善程度也决定了图像的质量,影响图像的清晰度、分辨率、真实性等信息。因此在选择产品的过程中,不应只关注数值孔径、分辨率、放大倍数等信息,更应关注像差校正水平。

(3)色差

多色光通过透镜后,由于介质折射率随光的波长不同而异,使多色光线不能交于一点从而会造成模糊图像,此现象称为色差。

1)产生原因 色差的产生是由于白光是由多种不同波长的单色光组成的,当白光通过透镜时,波长愈短的光,其折射率愈大,其焦点愈近。而波长越长,其折射率越小,焦点越远,这样一来,不同波长的光线形成的像不能在同一点聚焦,使图像模糊引起像差,即色差。

2)校正 光学显微镜中,色差是影响成像质量的关键参数之一,其不仅影响到图像的清晰程度,而且如果色差校正不好也会使图像的颜色与实际物体的颜色发生偏差而影响分析的真实性,因此各厂家对于色差的校正要求都非常严格。进行最完善的色差校正也是光学显微镜技术不断追求的目标。可采用单色光源(很少采用)或白光加滤光片,也可使用复合透镜(凹、凸透镜两者所产生的色差型彼此相反)的办法(常采用)降低色差。

在显微镜中,物镜是进行色差校正的主要部件,因此根据色差校正程度的不同,物镜分为消色差物镜、复消色差物镜、半复消色差物镜。

3. 物镜的数值孔径

物镜的数值孔径用 NA 表示(即 Numerical Aperture),表示物镜的聚光能力。数值孔

径大的物镜,聚光能力强,能吸收更多的光线,使图像更加明显。物镜的数值孔径 NA 可用公式表示为:

$$NA = n \cdot \sin\varphi \quad (2-4)$$

式中: n ——物镜与样品间介质的折射率;

φ ——通过物镜边缘的光线与物镜轴线所成角度,即孔径半角。

可见,数值孔径的大小,和物镜与样品间介质 n 的大小有关,以及与孔径角的大小有关。如图 2-2 所示,当物镜与物体之间的介质为空气时,光线在空气中的折射率 $n=1$,若物镜的孔径半角为 30° ,则数值孔径为: $NA = n \cdot \sin\varphi = 1 \times \sin 30^\circ = 0.5$ 。若物镜与物体之间的介质为松柏油时,介质的折射率 $n=1.52$,则其数值孔径为: $NA = n \cdot \sin\varphi = 1.52 \times \sin 30^\circ = 0.76$ 。

物镜的数值孔径 NA 的大小,标志着物镜分辨率的高低,即决定了显微镜分辨率的高低。物镜在设计和使用中,指定以空气为介质的称为干系物镜或干物镜,以油为介质的称为油浸系物镜或油物镜。干物镜的 $n=1$, $\sin\varphi$ 值总小于 1,故数值孔径 NA 小于 1,油物镜因 n 在 1.5 以上,故数值孔径 NA 大于 1。物镜的数值孔径 NA 越大,聚光能力越强,分辨率越高。

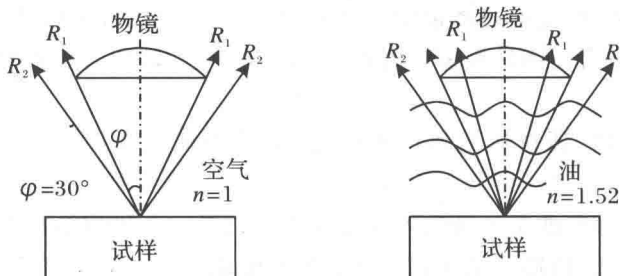


图 2-2 不同介质对物镜聚光能力的影响

4. 显微镜的分辨率

显微镜的分辨率是指显微镜视场中能够清晰分辨试样上相邻两点之间最小距离而获得图像的能力,它主要决定于显微镜物镜的分辨率,是显微镜的一个重要特性。分辨率通常用两个物点之间能清晰分辨的最小距离 d 的倒数来表示, d 越小,分辨率越高,如图 2-3 所示。

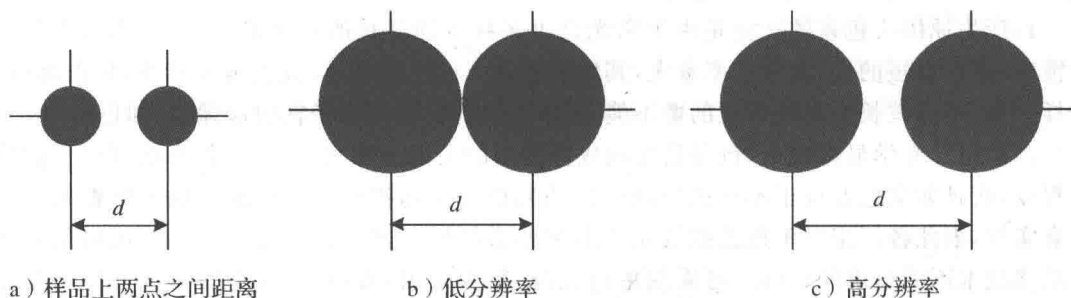


图 2-3 显微镜分辨率高低示意图

显微镜的分辨率主要取决于入射光的波长和数值孔径,可用下式表示:

$$d = \frac{\lambda}{2NA} \quad (2-5)$$

式中: λ ——入射光的波长;

NA ——表示物镜的数值孔径。

可见分辨率与入射光的波长成正比, λ 越短, 分辨率越高。例如: 蓝光的波长 ($\lambda=0.44\mu\text{m}$) 比黄绿光 ($\lambda=0.55\mu\text{m}$) 短, 所以分辨率蓝光比黄绿光高 25%。当光源的波长一定时, 可通过改变物镜的数值孔径来调节显微镜的分辨率。分辨率与数值孔径成反比, 数值孔径 NA 越大, d 值越小, 表明显微镜的分辨率越高。

5. 有效放大倍数

用显微镜能否看清楚组织细节, 不但与物镜的分辨率有关, 且与人眼的实际分辨率有关。若物镜分辨率很高, 形成清晰的实像, 而配用的目镜倍数过低, 也使观察者难以看清, 此现象称为放大不足。但若选用的目镜倍数过高, 即总放大倍数越大, 也不能看得很清晰。实践表明, 超出一定的范围, 放得越大越模糊, 此现象称为虚伪放大。

显微镜的有效放大倍数取决于物镜的数值孔径。有效放大倍数是指物镜分辨清晰的距离 d , 同样也是被人眼分辨清晰所必需的放大倍数, 用 $M_{\text{有效}}$ 表示。

$$M_{\text{有效}} = (0.3 \sim 0.6) \frac{NA}{\lambda} \quad (2-6)$$

通常显微镜采用黄绿光, 则 $\lambda=5.5 \times 10^{-4} \text{mm}$, 有效放大倍数近似为

$$M_{\text{有效}} = (500 \sim 1000) NA \quad (2-7)$$

在明视距离 250mm 处人眼的分辨率为 $0.15 \sim 0.30 \text{mm}$, 若取绿光 $\lambda=5500 \times 10^{-7} \text{mm}$, 则 $M_{\text{有效}(\min)} = 2 \times 0.15 \times NA / 5500 \times 10^{-7} \approx 550 NA$; $M_{\text{有效}(\max)} = 2 \times 0.30 \times NA / 5500 \times 10^{-7} \approx 1000 NA$ 。说明在 $550 NA \sim 1000 NA$ 范围内的放大倍数均称有效放大倍数。如果显微镜的放大倍数低于 $500 NA$, 则没有充分发挥物镜的分辨能力, 由于目镜放大倍数不足, 物镜可分辨的细节不能为人眼所分辨。若放大倍数超过 $1000 NA$, 为虚伪放大, 这时仍然看不清楚。但随着光学零件的设计愈加完善及照明方式的不断改进, 以上范围并非严格限制。有效放大倍数的范围, 对物镜和目镜的正确选择十分重要。例如物镜的放大倍数是 25, 数值孔径为 $NA=0.4$, 即有效放大倍数应在 200~400 倍范围内, 应选用 8 或 16 倍的目镜才合适。

6. 景深

景深反映显微镜对于高低不同的物体能清晰成像的能力, 又称为垂直分辨率, 用如下公式表示。

$$h = \frac{n}{(NA)M} \times (0.15 \sim 0.3) \quad (2-8)$$

由公式可知, 选用数值孔径小的物镜可得到较大的景深, 但要降低显微镜的分辨率, 因此, 在使用中要根据情况进行选择。景深太小, 显微组织高低的细微差别就难以呈现清晰的图像。

2.1.3 金相显微镜的结构

金相显微镜的种类和型式很多, 常见的有台式、立式和卧式三大类。金相显微镜通常由机械系统、光学系统和照明系统三大部分组成, 有的显微镜还附带有多种功能装置(如摄影、显微硬度等)。目前, 已把显微镜与计算机及相关的分析系统相连, 能更方便、更快捷地进行

金相分析研究工作。图 2-4 为两种常用金相显微镜结构示意图。

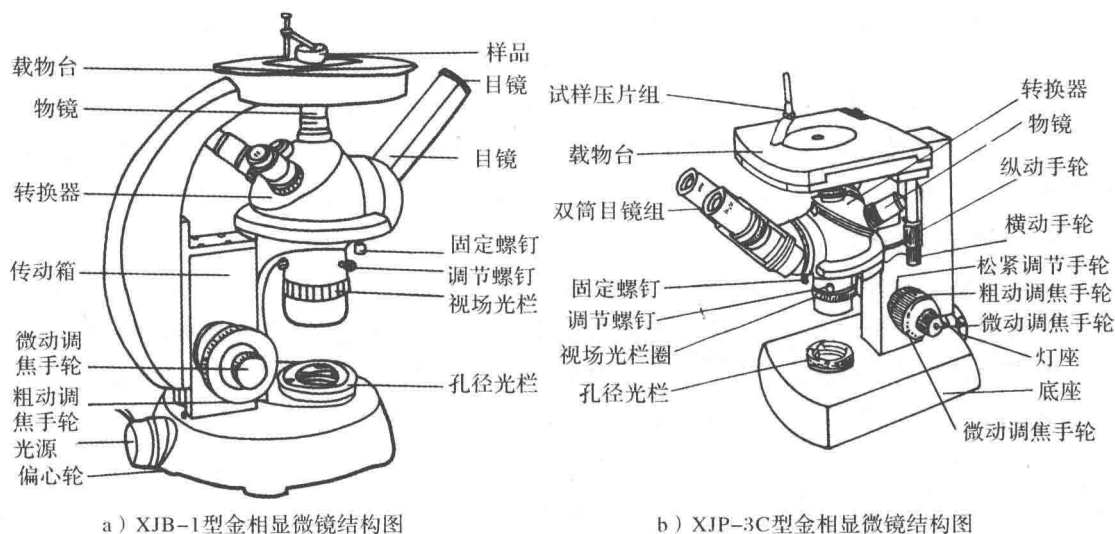


图 2-4 金相显微镜结构示意图

1. 机械系统

显微镜的机械系统由支承装置、镜体部分和调焦装置组成,主要起支承、调节作用。支承装置包括底座、镜架和载物台;镜体部件包括目镜筒、平台托架和物镜转换器;调焦装置包括传动箱、粗动调焦手轮、微动调焦手轮。

2. 光学系统

显微镜的光学系统的关键构件是物镜和目镜,主要起放大作用并获得清晰的图像。图 2-5 所示为金相显微镜光学系统示意图。

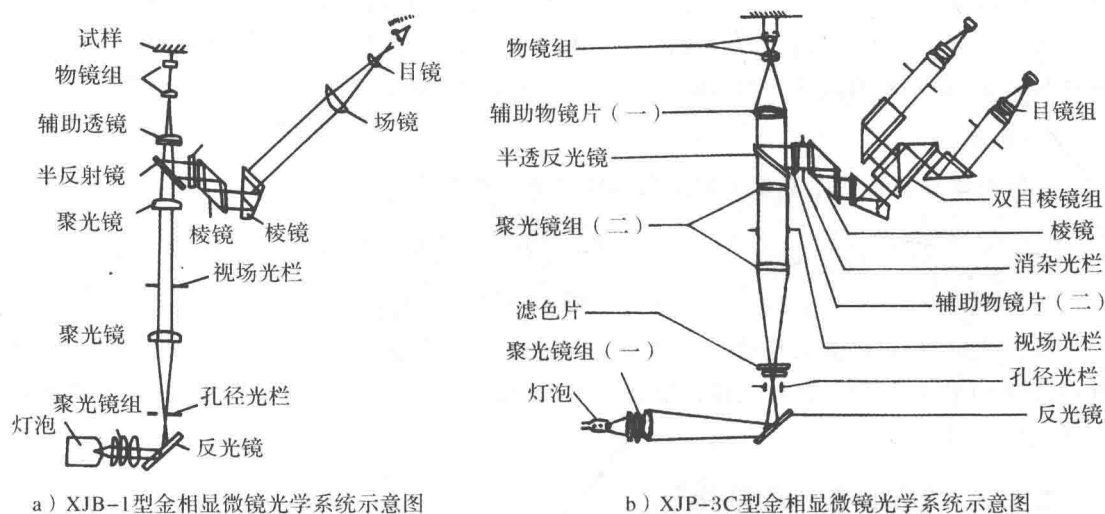


图 2-5 金相显微镜光学系统示意图

光线由光源灯泡经透镜聚光镜组及反光镜被会聚在孔径光栏上,随后经过聚光镜组,再度将光线聚集在物镜的后焦面,最后光线通过物镜,用平行光照明金样试样检验面,使其表

面得到充分均匀的照明。从试样检验面反射回来的光线复经物镜、辅助透镜、半透反光镜、辅助透镜以及棱镜,形成一个检验面图像的倒立放大实像,该像被目镜再次放大。

(1) 物镜的种类

物镜是成像的重要部件,而物镜的优劣取决于其本身像差的校正程度,所以物镜通常按照像差的校正程度来分类,一般分为消色差及平面消色差物镜、复消色差及平面复消色差物镜、半复消色差物镜、消像散物镜等。常用物镜参数如表 2-1 所示。除此之外,还有按物体与物镜间介质来分类的,分为介质为空气的干系物镜和介质为油的油系物镜。按放大倍数分类可分为低、中、高倍物镜和特殊用途的专用显微镜上的物镜,如高温反射物镜、紫外线物镜等。按像差分类的常用物镜如下。

1) 消色差及平面消色差物镜 消色差物镜对像差的校正为黄、绿两个波区,使用时宜以黄、绿光作为照明光源,或在入射光路中插入黄、绿色滤光片,以使像差大为减少,图像更为清晰。而平面消色差物镜还对像域弯曲进行了校正,使图像平直,边缘与中心能同时清晰成像。适用于金相显微摄影。

2) 复消色差及平面复消色差物镜 复消色差物镜色差的校正包括可见光的全部范围,但部分放大率色差仍然存在。而平面复消色差物镜还进一步做了像域弯曲的校正。

3) 半复消色差物镜 像差校正介于消色差和复消色差物镜之间,其他光学性质与复消色差物镜接近。但其价格低廉,常用来代替复消色差物镜。

(2) 物镜的标志

1) 物镜类别 国产物镜用物镜类别的汉语拼音字头标注,如平面消色差物镜标以“PC”。西欧各国生产的物镜多标有物镜类别的英文名称或字头,如消色差物镜标以“Achromatic”,平面消色差物镜标以“Pla NA chromatic”或“Pl”,复消色差物镜标以“Apochromatic”。物镜的性能标志如图 2-6 所示。



PC—平场; 10×—放大倍数; 0.30—数值孔径; Achromatic—消色差; 40×—放大倍数;
∞—机械镜筒长度; 0—无盖玻片 0.65—数值孔径; 170—机械镜筒长度

图 2-6 物镜的性能标志

2) 物镜的放大倍数和数值孔径 标在镜筒中央位置,并以斜线分开,如 $10\times/0.30$, $45\times/0.65$,斜线前如 $10\times$, $45\times$ 为放大倍数,其后为物镜的数值孔径,如 0.30, 0.65。

3) 机械镜筒长度 如 170, 190, $\infty/0$, 表示机械镜筒长度(即物镜座面到目镜筒顶面的距离)为 170mm, 190mm, 无限长。0 表示无盖玻片。

4) 油浸物镜 标有特别标注,刻以“HL”或“OIL”;国产物镜标有“油”或“Y”。

表 2-1 物镜的最小数值孔径系列、参数、色圈及标志

物镜分类,色圈		放大倍数												
		1.6	2.5	4	6.3	10	16	25	40	50	63	80	100	代号
消色差物镜	数值孔径	—	—	0.10	—	0.25	—	0.40	0.65	—	0.85	—	1.25	—
平面消色差物镜		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
平面半复消色差物镜		—	—	—	0.20	0.30	0.40	0.60	0.75	—	0.90	—	1.30	PB
平面复消色差物镜		—	—	0.16	0.20	0.30	0.40	0.65	0.80	—	0.95	—	1.32	PF
色圈		黑	黑	蓝	蓝	紫	绿	绿	黄	黄	红	红	白	—

(3)目镜的种类

目镜的作用是将物镜放大的像再次放大,在观察时于明视距离处形成一个放大的虚像,而在显微摄影时,通过投影目镜在承影屏上形成一个放大的实像。

目镜按像差校正及适用范围分类如下。

1)负型目镜(如福根目镜) 由两片单一的平凸透镜在中间夹一光栏组成,接近眼睛的透镜称为目透镜,起放大作用,另一个称为场透镜,使图像亮度均匀,未对像差加以校正,只适用于与低中倍消色差物镜配合使用。

2)正型目镜(如雷斯登目镜) 与上述不同的是光栏在场透镜外面,它有良好的像域弯曲校正作用,球面像差也较小,但色差比较严重,同倍数下比负型目镜观察视场小。

3)补偿型目镜 是一种特制目镜,结构较复杂,用以补偿校正残余色差,宜与复消色差物镜配合使用,以获得清晰的图像。

4)摄影目镜 专用于金相摄影,不能用于观察,对球面像差及像域弯曲均有良好的校正。

5)测微目镜 用于组织的测量,内装有目镜测微器,与不同放大倍数的物镜配合使用时,测微器的格值不同。

(4)目镜的标志

通常一般目镜上只标有放大倍数,如 $7\times$, $10\times$, $12.5\times$ 等,补偿型目镜上还有一个K字,广视域目镜上还标有视场大小,如图 2-7 所示。常用目镜参数如表 2-2 所示。

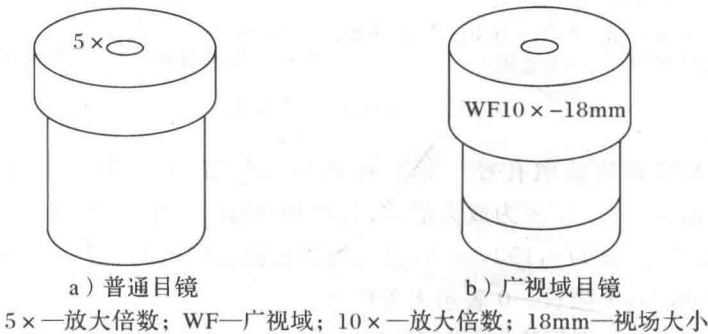


图 2-7 目镜的标志

表 2-2 显微镜目镜系列

分类	普通目镜							平场补偿目镜				
放大倍数	6.3	8	10	12.5	10	20	25	10	12.5	16	20	25
最小视场直径(mm)	18	16	14	12.5	10	8	6.3	16	12.5	10	8	6.3
代号	—	—	—	—	—	—	—	PB	—	—	—	—

3. 照明系统

显微镜的照明系统由照明光源、孔径光阑和视场光阑等组成。

(1) 照明光源种类

显微镜光源有白炽灯(钨丝灯)、卤钨灯、碳弧灯、氙灯和水银灯等,常用的是白炽灯和氙灯,一般白炽灯适作中、小型显微镜上的光源,使用时配有变压器,将 200V 电压降为 6~12V,功率 15~30W,而氙灯通过瞬间脉冲高压点燃,一般正常工作电压为 18V,功率为 150W,适用于特殊功能的观察和摄影之用。一般大型金相显微镜常同时配有两种照明光源,以适应普通观察和特殊情况的观察与摄影之用。

(2) 光源的照明方式

显微镜的照明方式有临界照明、库勒照明、散光照明和平行光照明。散光照明和平行光照明适应于特殊情况使用。

1) 临界照明 光源的像聚焦在样品表面上,虽然可得到很高的亮度,但对光源本身亮度的均匀性要求很高,目前很少使用。

2) 库勒照明 特点是光源的一次像聚焦在孔径光阑上,视场光阑和光源一次像同时聚焦在样品表面上,提供了一个很均匀的照明场,目前广泛使用。

3) 散光照明 特点是照明效率低,只适应投射型钨丝灯照明。

4) 平行光照明 照明的效果较差,主要用于暗场照明,适应于各类光源。

(3) 光路形式

按显微镜的结构设计形式,显微镜光路有直立式和倒立式两种,如图 2-8 所示。凡试样磨面向上,物镜向下的为直立式;而试样磨面向下,物镜向上的为倒立式。

(4) 孔径光阑和视场光阑

孔径光阑位于光源附近,用于调节入射光束的粗细,控制光通量,调节视场的亮度,以改变图像的质量。缩小孔径光阑可减少球面像差和轴外像差,加大衬度,使图像清晰,但会使物镜的分辨率降低。

视场光阑位于另一支架上,调节视场光阑的大小可改变视域的大小。视场光阑愈小,图像衬度愈佳,观察时调至与目镜视域同样大小。合理调整孔径光阑和视场光阑可减少有害漫射光,以提高图像的衬度而不影响物镜的鉴别能力。

(5) 滤色片

用于吸收白光中不需要的部分,只让一定波长的光线通过,以提高分辨率,获得优良的图像。一般有黄色、绿色和蓝色三种。其作用是:黄色滤色片改善像质,人眼对其较灵敏;蓝色滤色片因蓝光的波长较短,可以提高分辨率;绿色滤色片改善像质,使观察舒适。使用中滤色片,减弱光强,得到合适的亮度。

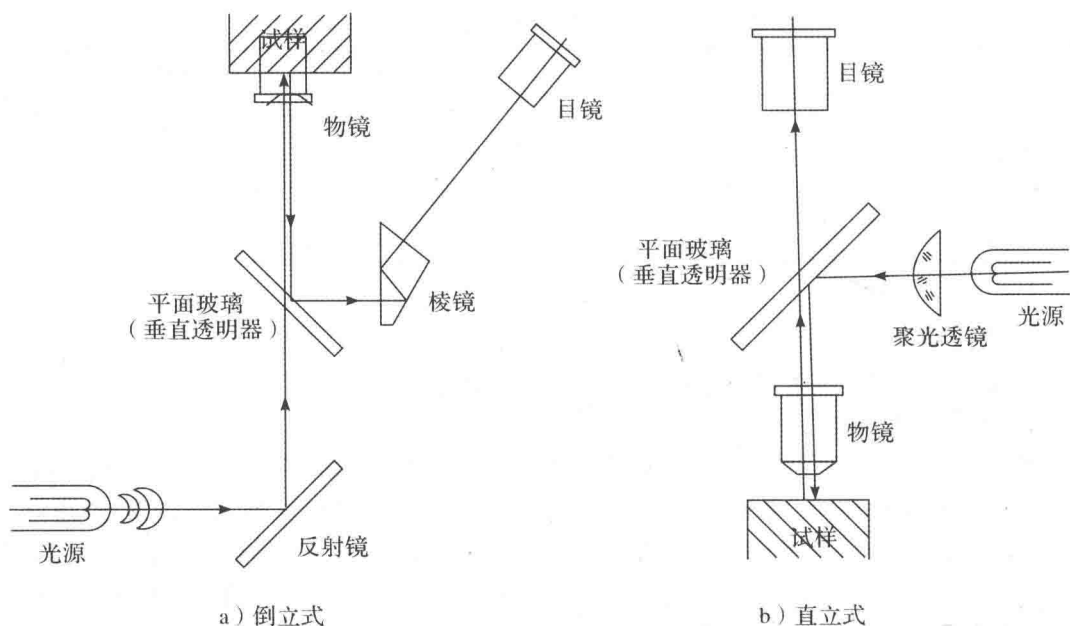


图 2-8 金相显微镜光路示意图

2.1.4 金相显微镜的操作使用

1. 使用方法

(1)接通电源并开亮灯泡,调节光源。调节灯泡位置(灯座前后、上下、左右移动),使孔径光栏获得最明亮而均匀的照明后,再转动偏心圈,将灯座固定在灯座孔中。根据所观察试样的要求,调节孔径光栏的大小(可按照光栏上刻度数定位,调节孔径光栏直径至 10mm)。一般使用情况下,可使孔径光栏在物镜出射瞳孔上的像约占物镜出射瞳孔直径的 $2/3$ 。要进行这一调节工作,可把目镜移出镜管,并从镜管中观察物镜后面的情况。

(2)根据所需的放大倍数选择目镜与物镜,分别装在目镜筒与物镜座内。双目金相显微镜需调整两目镜的中心距,使之与观察者两眼瞳孔距相适应,同时应转动目镜调节圈,使其示值与瞳孔距示值一致。

观察时一般先用低倍镜(如 $10\times$ 物镜与 $10\times$ 目镜),以便看到较大的试样面积。当需要对局部组织进行观察时,再改用高倍镜。

(3)调节载物台位置。选择适宜孔径的载物片,转动粗动调焦手轮,让载物台下降,使物镜略低于载物片上表面(保证物镜不与试样相触),将试样放在载物台中心(必要时用弹簧片将试样压紧)。缓慢转动粗动调焦手轮,通过目镜观察,当观察到视场中亮度增加,出现图像时,再利用细动调焦手轮,调节图像到清晰为止。

(4)调整光栏图像范围。旋转视场光栏调节圈,使光栏缩小,直至视场与目镜视场光栏吻合。有时为了得到良好的衬度的像或者消除视场边缘模糊部分,有必要把视场光栏像适当收小。

(5)调整光栏图像位置。利用调节螺钉,使视场中的可变光栏图像的中心与目镜视场光栏中心大致重合。