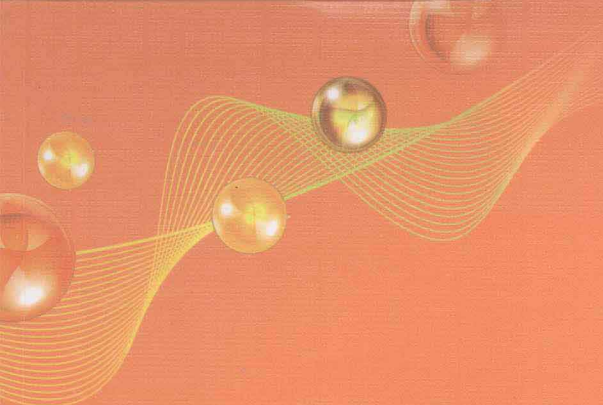




普通高等院校系列规划教材
——材料类

材料科学与工程

及金属材料工程专业实验教程

王 卓 / 主编 杜 伟 张尚洲 宋远明 / 副主编

CAILIAO KEXUE YU GONGCHENG JI JINSHU CAILIAO GONGCHENG ZHUANYE SHIYAN JIAOCHENG



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

普通高等院校系列规划教材——材料类

材料科学与工程及 金属材料工程专业实验教程

主 编 王 卓

副主编 杜 伟 张尚洲 宋远明



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

材料科学与工程及金属材料工程专业实验教程 / 王卓主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2013.8
普通高等院校系列规划教材. 材料类
ISBN 978-7-5643-2445-2

I. ①材… II. ①王… III. ①材料科学—实验—高等学校—教材②金属材料—实验—高等学校—教材 IV. ①TB3-33②TG14-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 152927 号

普通高等院校系列规划教材——材料类
材料科学与工程及金属材料工程专业实验教程
主编 王 卓

责任编辑	牛 君
助理编辑	李 伟
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	15
字 数	373 千字
版 次	2013 年 8 月第 1 版
印 次	2013 年 8 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-2445-2
定 价	29.50 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

随着高新技术的发展,人们把新材料与信息技术、生物技术并列为新科技革命的重要组成部分。材料科学是研究材料组成、结构、工艺、性质、环境影响和使用性能之间相互关系的学科。材料学是交叉学科,同时又是一门与工程技术密不可分的实验学科、工程学科。

在现代材料学领域注重培养学生创新能力、动手能力和实验及实践能力的今天,材料学基础实验及专业实验则显得尤为重要。通过材料学实验,能够提高学生的动手能力,使其掌握基本的实验技能,并在实验过程中培养学生严谨的科学作风,为其今后走向工作岗位或从事科学研究打下坚实的基础。正是在此大前提下,我们集近十年材料学实验教学的经验完成了这本《材料科学与工程及金属材料工程专业实验教程》。

本书由烟台大学王卓教授组织编写。其中,第1章由烟台大学刘丽、李海红、贺笑春、赵相金、杜伟、徐仁根、秦连杰、王卓编写;第2章由烟台大学张尚洲、徐仁根、李杨编写;第3章由烟台大学宋曰海编写;第4章由烟台大学赵相金编写;第5章由烟台大学宋远明编写;第6章由烟台大学王波编写;第7章由烟台大学王美娥、刘子全、王波编写;第8章由烟台大学蒋润乾、孙学勤、赵相金编写。

由于编者经验不足和水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请同行、专家和广大读者批评指正。

编 者

2013年5月于烟台大学

目 录

1 材料科学与工程基础实验	1
1.1 金相显微镜的构造与调节	1
1.2 偏光显微镜的构造与调节	5
1.3 典型晶体结构的钢球堆垛模型分析	10
1.4 晶粒度的测定及评级方法	12
1.5 固态金属中的扩散	15
1.6 金属塑性变形与再结晶组织观察	19
1.7 盐类结晶过程观察与纯金属铸锭组织分析	21
1.8 铁碳合金平衡组织观察	26
1.9 位错蚀坑的观察与分析	28
1.10 二组分合金系统相图的绘制	31
1.11 粉体粒度分布的测定(激光法)	35
1.12 多孔陶瓷的制备	38
1.13 沉淀法制备($\text{Er}_{0.02} : \text{Gd}_{1.82}\text{Y}_{0.16}$) O_3 透明激光陶瓷粉体	42
1.14 强磁性 Fe_3O_4 纳米粉体材料的制备、分离与干燥处理	44
1.15 碳钢的常规热处理工艺	46
1.16 铝合金熔炼与铸造	49
1.17 环形件开式模锻	52
1.18 溶液沉积法结合旋涂法制备二氧化钛薄膜	56
1.19 塑料的注塑成型工艺	58
1.20 粉末冶金法制备铝基复合材料	61
2 金属材料加工成型方向实验	65
2.1 碳钢金相样品的制备与显微组织的显露	65
2.2 热处理工艺对碳钢显微组织和硬度的影响	67
2.3 45号钢金相组织中晶粒度的测量及定量金相	72
2.4 镦粗工艺	75
2.5 冷轧薄板工艺	79
2.6 铝的冷拉冷冲工艺	82
2.7 碳钢和铸铁的手工电弧焊工艺	88
2.8 碳钢的氩弧焊、二氧化碳气体保护焊和自动埋弧焊演示	89
2.9 碳钢和铸铁的焊口显微组织观察	96
2.10 铝合金固溶时效、高碳钢正常淬火与低碳钢双相热处理工艺设计	98

3	金属材料表面工程方向实验	102
3.1	盐雾腐蚀	102
3.2	化学沉积镍磷合金的镀层及厚度测量	104
3.3	质量法测定金属的腐蚀速度	106
3.4	用线性极化法测量金属的腐蚀速度	108
3.5	铝的阳极氧化与着色	110
3.6	金属材料复合电沉积	111
3.7	阳极钝化曲线测量及分析	113
4	无损检测方向实验	116
4.1	着色渗透检测	116
4.2	焊缝磁粉检测	118
4.3	涡流法测金属裂纹	121
4.4	锻件纵波检测	124
4.5	焊缝的横波斜探头探伤	127
4.6	材料拉伸断裂过程中的声发射检测	131
5	高分子材料实验	134
5.1	BPO 和 AIBN 提纯	134
5.2	醋酸乙烯酯的溶液聚合	136
5.3	甲基丙烯酸甲酯的本体聚合	138
5.4	乙酸乙烯酯的乳液聚合	140
5.5	黏度法测定聚合物的分子量	142
5.6	高聚物蠕变曲线和本体黏度的测定	146
5.7	PVC 动态热稳定性的检验	149
5.8	用膨胀计法测定聚苯乙烯的玻璃化温度	152
5.9	聚合物拉伸强度和断裂伸长率的测定	153
6	新型建材专业实验	156
6.1	建筑材料标准收集与阅读	156
6.2	氧指数测定	157
6.3	混凝土常规性能检验	159
6.4	保温材料制备工艺	163
6.5	建筑材料着装与涂装	164
6.6	墙体材料制备	166
6.7	建筑涂料制备	167
7	水泥制备及测试实验	170
7.1	水泥熟料的制备	170
7.2	水泥细度测定	175

7.3	水泥比表面积测定方法	178
7.4	粉体粒度分布的测定	182
7.5	粉体真密度的测定	185
7.6	水泥标准稠度用水量	188
7.7	水泥凝结时间测定	190
7.8	水泥安定性	193
7.9	水泥胶砂强度检测	195
8	陶瓷及玻璃实验	200
8.1	坯料可塑性的测定	200
8.2	泥浆相对黏度及厚化度的测定	203
8.3	干燥与烧成收缩率的测定	207
8.4	陶瓷材料的成型及烧结	210
8.5	陶瓷材料的光泽度、吸水率和热稳定性的测定	213
8.6	玻璃制备工艺	218
附 录		228
参考文献		231

1 材料科学与工程基础实验

1.1 金相显微镜的构造与调节

金相显微镜用于鉴别和分析各种材料内部的组织。原材料的检验、铸造、压力加工、热处理等一系列生产过程的质量检测与控制需要使用金相显微镜。新材料、新技术的开发以及跟踪世界高科技前沿的研究工作也需要使用金相显微镜。因此，金相显微镜是材料科学领域生产与研究金相组织的重要工具。

1.1.1 实验目的

- (1) 熟悉金相显微镜的原理、构造、附件、用途及使用须知；
- (2) 学会金相显微镜的调节与校正；
- (3) 学会金相显微镜的维护保养。

1.1.2 实验原理

放大镜是最简单的一种光学仪器，它实际上是一块会聚透镜（凸透镜），利用它可以将物体放大。其成像光学原理如图 1.1.1 所示。

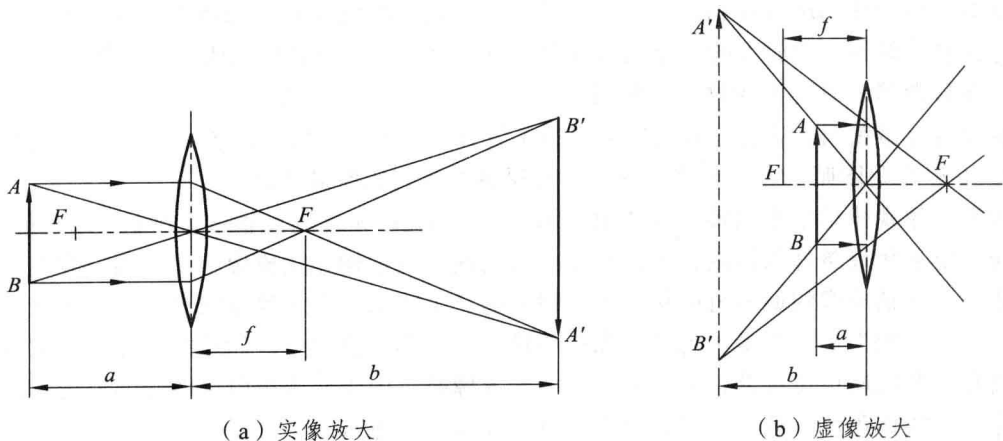


图 1.1.1 放大镜光学原理图

当物体 AB 置于透镜焦距 f 以外时, 得到倒立的放大实像 $A'B'$, 如图 1.1.1 (a) 所示, 它的位置在 2 倍焦距以外。若将物体 AB 放在透镜焦距内, 就可看到一个正立的放大虚像 $A'B'$, 如图 1.1.1 (b) 所示。像的长度与物体的长度之比 ($A'B'/AB$) 就是放大镜的放大倍数 (放大率)。若放大镜到物体之间的距离 a 近似等于透镜的焦距 ($a \approx f$), 而放大镜到像间的距离 b 近似相当于人眼明视距离 (250 mm), 则放大镜的放大倍数为 $N = b/a = 250/f$ 。

因此, 透镜的焦距越短, 放大镜的放大倍数越大。一般采用的放大镜焦距为 10 ~ 100 mm, 因而放大倍数为 2.5 ~ 25 倍。进一步提高放大倍数, 将会由于透镜焦距缩短和表面曲率过分增大而使形成的像模糊不清。为了得到更高的放大倍数, 就要采用显微镜, 显微镜可以使放大倍数达到 1 500 ~ 2 000 倍。

显微镜不像放大镜那样由单个透镜组成, 而是由两级特定透镜所组成。靠近被观察物体的透镜叫作物镜, 而靠近眼睛的透镜叫作目镜。借助物镜与目镜的两次放大, 就能将物体放大到很高的倍数 (~ 2 000 倍)。图 1.1.2 是在显微镜中得到的放大物像的光学原理图。

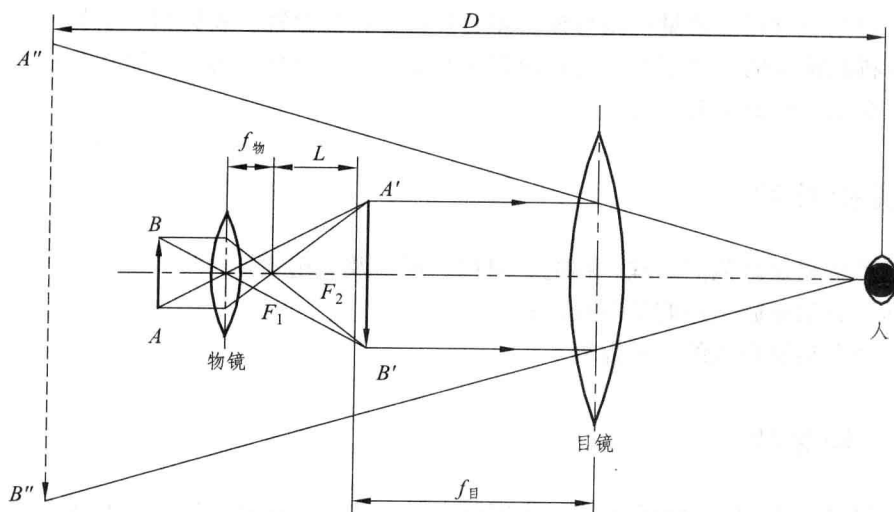


图 1.1.2 显微镜光学原理图

被观察的物体 AB 放在物镜之前, 距其焦距略远一些的位置, 由物体反射的光线穿过物镜, 经折射后得到一个放大的倒立实像 $A'B'$, 目镜再将实像 $A'B'$ 放大成倒立虚像 $A''B''$, 这就是我们在显微镜下研究实物时所观察到的经过二次放大后的物像。

在设计显微镜时, 让物镜放大后形成的实像 $A'B'$ 位于目镜的焦距 $f_{目}$ 之内, 并使最终的倒立虚像 $A''B''$ 在距眼睛 250 mm 处成像, 这时观察者看到的像最清晰。

透镜成像规律是依据近轴光线得出的结论。近轴光线是指与光轴接近平行 (即夹角很小) 的光线。由于物理条件的限制, 实际光学系统的成像与近轴光线成像不同, 两者存在偏离, 这种相对于近轴成像的偏离就叫作像差。像差的产生降低了光学仪器的精确性。按像差产生的原因可分为两类: 一类是单色光成像时的像差, 叫作单色像差, 如球差、慧差、像散、像场弯曲和畸变均属单色像差; 另一类是多色光成像时, 由于介质折射率随光的波长不同而引起的像差, 叫作色差。色差又可分为位置色差和放大率色差。

透镜成像的主要缺陷就是球面差和色差 (波长差)。球面差是指由于球面透镜的中心部分

和边缘部分的厚度不同,造成不同的折射现象,致使来自于试样表面同一点上的光线经折射后不能聚集于一点,如图 1.1.3 所示,因此,使像模糊不清。

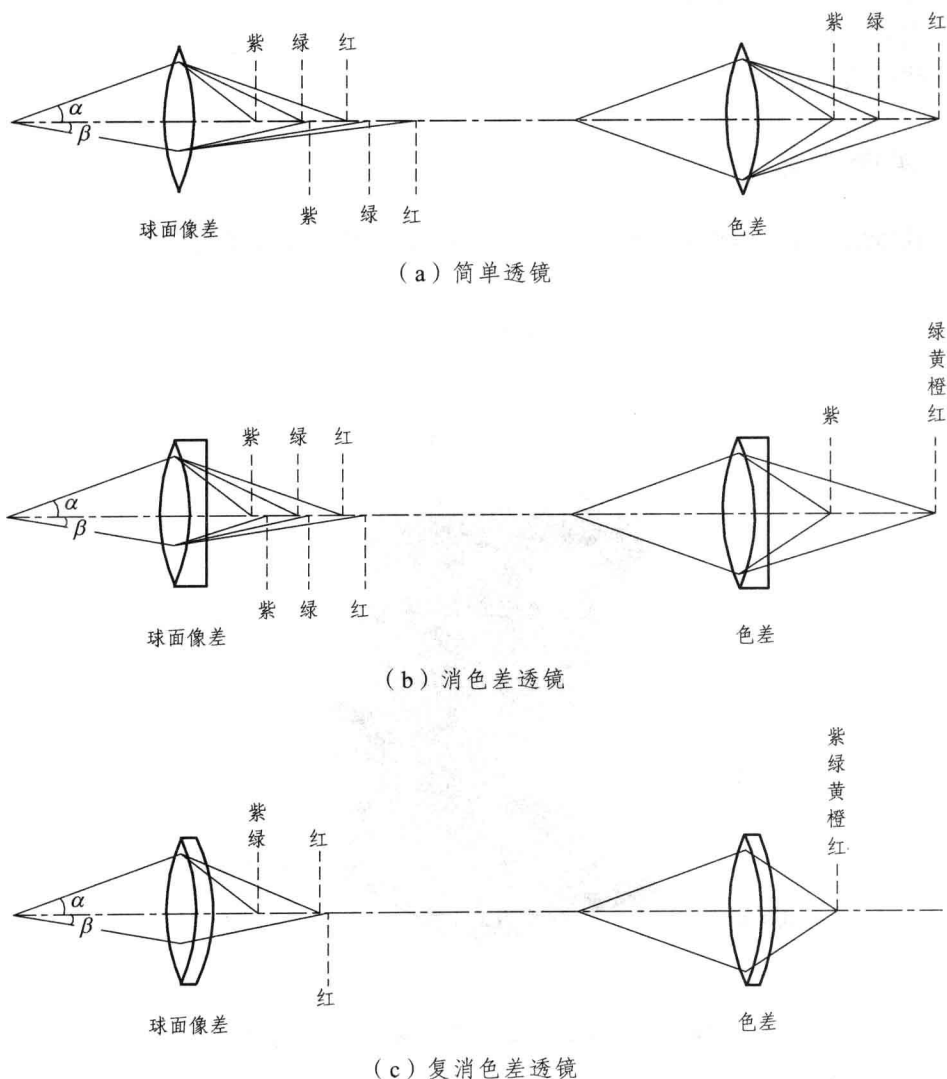


图 1.1.3 透镜产生像差的示意图

球面像差的程度与光通过透镜的面积有关。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。但光圈太小,也会影响成像的清晰度。色差的产生是由于白光中各种不同波长的光线在穿过透镜时折射率不同,其中紫色光线的波长最短,折射率最大,在距透镜最近处成像;红色光线的波长最长,折射率最小,在距透镜最远处成像;其余的黄、绿、蓝等光线则在它们之间成像。这些光线所成的像不能集中于一点,而呈现带有彩色边缘的光环。色差的存在也会降低透镜成像的清晰度,也应予以校正。通常采用单色光源(或加滤光片),也可使用复合透镜消除色差。

1.1.3 实验仪器、设备及材料

- (1) XJP-100 型金相显微镜;
- (2) 实验样品;
- (3) 擦镜纸、洗耳球。

1.1.4 实验内容

(1) 教师结合 XJP-100 型金相显微镜 (见图 1.1.4) 讲解显微镜的结构、成像原理、使用及维护;

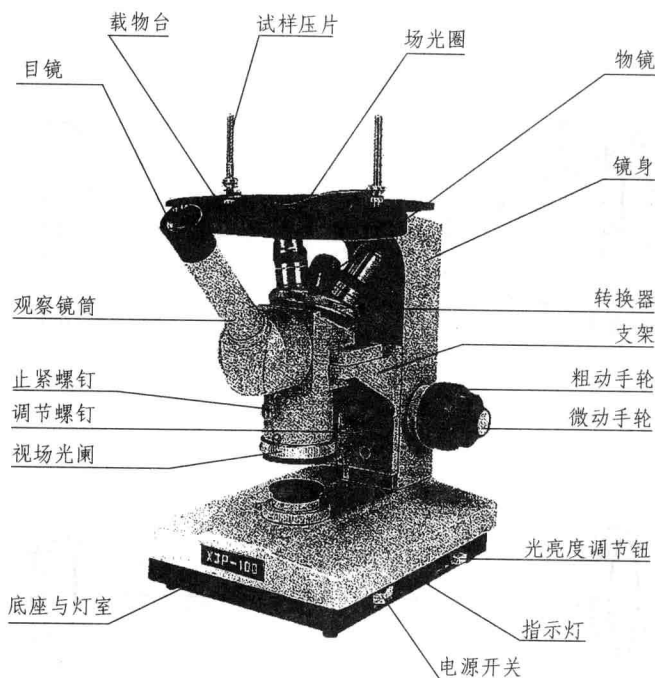


图 1.1.4 XJP-100 型单目倒置金相显微镜

- (2) 在教师讲解的基础上, 对照实物详细了解 XJP-100 型金相显微镜的各部件名称及用途;
- (3) 通过观察整个金相样品的实际操作过程, 学会正确的操作方法, 包括物镜和目镜的选择与匹配、调焦、孔径光阑和视场光阑的调节、放大倍数的计算、暗场的使用、垂直照明器的选用、滤色片的选用等。

1.1.5 实验步骤及方法

- (1) 每人领取 1 个实验样品, 分别在指定的显微镜上观察, 确认显微镜光亮度调节钮在最低位, 方可打开显微镜电源开关;
- (2) 调节亮度: 可以用光亮度调节钮 (沿箭头方向亮度加强, 反方向亮度降低) 调节亮

度；当视域中光的亮度不符合要求时，则需转动孔径光阑环进行调节，改变入射光的直径大小，使视域中亮度适中；

(3) 试样放在载物台上，抛光面对着物镜（样品不要用弹簧夹固定）；

(4) 选用 $10\times$ 目镜、 $10\times$ 物镜进行粗对焦，眼看物镜头，调节粗调旋钮，使物镜缓慢上升与试样渐渐靠近至有一缝之隔时（注意切勿使镜头与试样碰撞），再看目镜，转动粗调旋钮缓慢下降物镜，直到视域中看到显微组织为止，再调节细调旋钮升、降物镜至看到清晰显微组织为止；

(5) 选用 $10\times$ 、 $40\times$ 物镜，不同大小的孔径光阑和视场光阑，对样品进行观察，移动载物台，对试样各部分组织进行观察，从中学会调焦、选用合适的孔径光阑和视场光阑、确定放大倍数及移动载物台的方法；

(6) 观察结束后，先将光亮度调节钮推至最低位，然后切断电源，将金相显微镜复原。

1.1.6 实验报告

(1) 画出所观察试样的显微组织图，并且标明材料名称、放大倍数。

(2) 通过自己的实验操作及校正，写出金相显微镜的调节、校正方法。

1.1.7 讨论题

(1) 金相显微镜各部件的名称及用途是什么？

(2) 金相显微镜与偏光显微镜在构造上有什么异同？

1.2 偏光显微镜的构造与调节

偏光显微镜是用于研究所谓透明与不透明各向异性材料的一种显微镜。凡具有双折射的物质，在偏光显微镜下就能分辨清楚，当然这些物质也可用染色法来进行观察，但有些则不能，而必须利用偏光显微镜。偏光显微镜是利用光的偏振特性对具有双折射性物质进行研究鉴定的必备仪器，可作单偏光观察，正交偏光观察，锥光观察。

1.2.1 实验目的

(1) 掌握偏光显微镜的基本构造、装置及各部件的名称、用途；

(2) 学会偏光显微镜的调节、校正及操作方法。

1.2.2 实验原理

1. 单折射性与双折射性

光线通过某一物质时，如光的性质和进路不因照射方向而改变，这种物质在光学上就具

有“各向同性”，又称单折射体，如普通气体、液体以及非结晶性固体。若光线通过另一物质时，光的速度、折射率、吸收性和光波的振动性、振幅等因照射方向而有不同，这种物质在光学上则具有“各向异性”，又称双折射体，如晶体、纤维等。

2. 光的偏振现象

光波根据振动的特点，可分为自然光与偏光。自然光的振动特点是在垂直光波传导轴上具有许多振动面，各平面上振动的振幅相同，其频率也相同。自然光经过反射、折射、双折射及吸收等作用，可以成为只在一个方向上振动的光波，这种光波则称为“偏光”或“偏振光”，如图 1.2.1 所示。

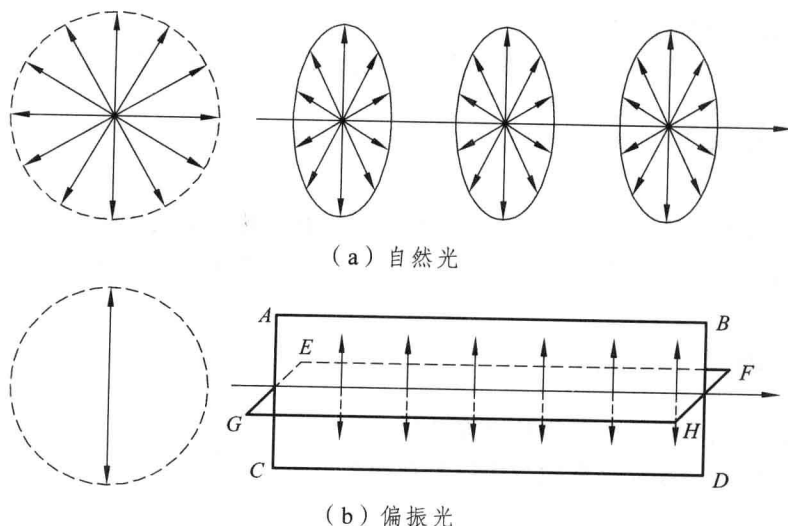


图 1.2.1 自然光与偏振光

3. 偏光的产生及其作用

偏光显微镜最重要的部件是偏光装置——起偏器和检偏器。过去两者均为尼科尔（Nicola）棱镜组成，它是由天然的方解石制作而成，但由于受到晶体体积的限制，难以取得较大面积的偏振，近年来偏光显微镜则采用人造偏振镜来代替尼科尔棱镜。人造偏振镜是以硫酸喹啉（又名 Herapathite）晶体制作而成，呈绿橄榄色。当普通光通过它后，就能获得只在一直线上振动的直线偏振光。

偏光显微镜有两个偏振镜，一个装置在光源与被检物体之间的叫“起偏镜”；另一个装置在物镜与目镜之间的叫“检偏镜”，有手柄伸手镜筒或中间附件在外方便操作，其上有旋转角的刻度。

从光源射出的光线通过两个偏振镜时，如果起偏镜与检偏镜的振动方向互相平行，即处于“平行检偏位”的情况下，则视场最为明亮。反之，若两者互相垂直，即处于“正交检偏位”的情况下，则视场完全黑暗。如果两者倾斜，则视场表明出中等程度的亮度。由此可知，起偏镜所形成的直线偏振光，如其振动方向与检偏镜的振动方向平行，则能完全通过；如果偏斜，则只可以通过一部分；如果垂直，则完全不能通过。

因此，在采用偏光显微镜时，原则上要使起偏镜与检偏镜处于正交检偏位的状态下进行。

4. 正交检偏位下的双折射体

在正交的情况下，视场是黑暗的，如果被检物体在光学上表现为各向同性（单折射体），无论怎样旋转载物台，视场仍为黑暗，这是因为起偏镜所形成的直线偏振光的振动方向不发生变化，仍然与检偏镜的振动方向互相垂直的缘故。若被检物体中含有双折射性物质，则这部分就会发光，这是因为从起偏镜射出的直线偏振光进入双折射体后，产生振动方向互相垂直的两种直线偏振光，当这两种光通过检偏镜时，由于互相垂直，或多或少可透过检偏镜，就能看到明亮的像。光线通过双折射体时，所形成两种偏振光的振动方向，依物体的种类而有不同。

双折射体在正交情况下，旋转载物台时，双折射体的像在 360° 的旋转中有 4 次明暗变化，每隔 90° 变暗一次。变暗的位置是双折射体的两个振动方向与两个偏振镜的振动方向相一致的位置，称为“消光位置”。从消光位置旋转 45° ，被检物体变为最亮，这就是“对角位置”，这是因为偏离 45° ，偏振光到达该物体时，分解出部分光线可以通过检偏镜，故而明亮。根据上述基本原理，利用偏光显微镜就可能判断各向同性（单折射体）和各向异性（双折射体）物质。

5. 干涉色

在正交检偏位情况下，用各种不同波长的混合光线为光源观察双折射体，在旋转载物台时，视场中不仅出现最亮的对角位置，而且还会看到颜色。出现颜色的原因，主要是由干涉色而造成的（当然也可能是被检物体本身并非无色透明）。干涉色的分布特点决定于双折射体的种类和它的厚度，是由于相应推迟对不同颜色光的波长的依赖关系，如果被检物体的某个区域的推迟和另一区域的推迟不同，则透过检偏镜光的颜色也就不同。

1.2.3 实验仪器、设备及材料

（1）XPT-7 型偏光显微镜（见图 1.2.2）；

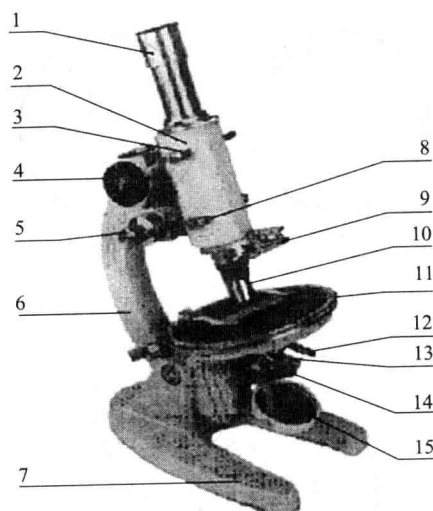


图 1.2.2 XPT-7 型偏光显微镜

1—目镜；2—镜筒；3—勃氏镜；4—粗动螺丝；5—微调螺丝；6—镜臂；7—镜座；8—上偏光镜；9—试板孔；10—物镜；11—载物台；12—聚光镜；13—锁光圈；14—下偏光镜；15—反光镜

- (2) 黑云母薄片;
- (3) 擦镜纸、洗耳球。

1.2.4 实验内容

- (1) 教师结合实物讲解 XPT-7 型偏光显微镜的基本构造及使用方法。
- (2) 用偏光显微镜观察、分析黑云母花岗岩薄片的显微结构。

1.2.5 实验步骤及方法

1. 调节照明 (对光)

装上 $5\times$ 目镜 (十字丝位于东西南北方向)、 $10\times$ 物镜, 打开锁光圈, 推出上偏光镜、勃氏镜和聚光镜 (拉索透镜), 转动反光镜对准光源, 直至视域最亮为止。

2. 调节焦距

将黑云母花岗岩薄片置于旋转工作台中心, 其盖玻璃朝上并用薄片夹夹紧。

从侧面看着物镜镜头, 转动粗动螺丝, 使镜筒缓缓下降至物镜镜头快接近薄片为止, 切勿使镜头与薄片相碰。从目镜中观察, 并转动粗动螺丝, 使镜筒缓缓上升, 直到视域内出现物像并较清楚后, 再转动微动螺丝至物像清晰为止。

3. 偏光显微镜的校正

(1) 校正物镜中心。

- ① 观察旋转工作台上的薄片, 在薄片找一小黑点, 使之位于十字丝中心。
- ② 转动工作台, 若物镜中心与工作台中心不一致, 小黑点就离开十字线中心 a 绕偏心圆转动, 偏心圆中心 o 即为工作台中心, 必须进行中心校正, 如图 1.2.3 所示。

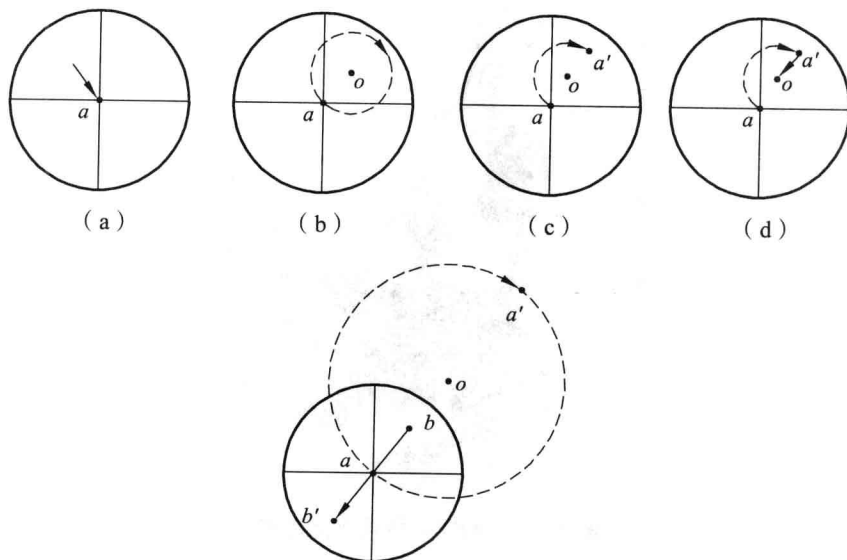


图 1.2.3 校正物镜中心

③ 转动工作台 180° (小黑点位于 a' 处, 此时小黑点距十字丝中心最远) 借助物镜座上两个调节螺丝调节, 使小黑点自 a' 移 aa' 距离的一半, 如此循环进行上述操作, 即可使物镜中心与旋转工作台中心重合。

(2) 偏光镜的校正。

① 确定下偏光镜的振动方向。

用黑云母来检验下偏光镜的振动方向, 首先在视域中找一块完全解理的黑云母切面, 移至视域中心, 使解理缝方向平行十字丝东西方向, 推出上偏光镜、勃氏镜和聚光镜 (拉索透镜), 转动下偏光镜至黑云母颗粒切面颜色最深呈黑褐色为止。此时黑云母的解理缝方向 (也即十字丝东西方向) 就是下偏光镜的振动方向 PP , 转动载物台 90° , 黑云母的解理缝方向平行十字丝南北方向 (即垂直下偏光镜振动方向) 时, 黑云母颗粒切面颜色最浅呈淡黄色, 如图 1.2.4 所示。

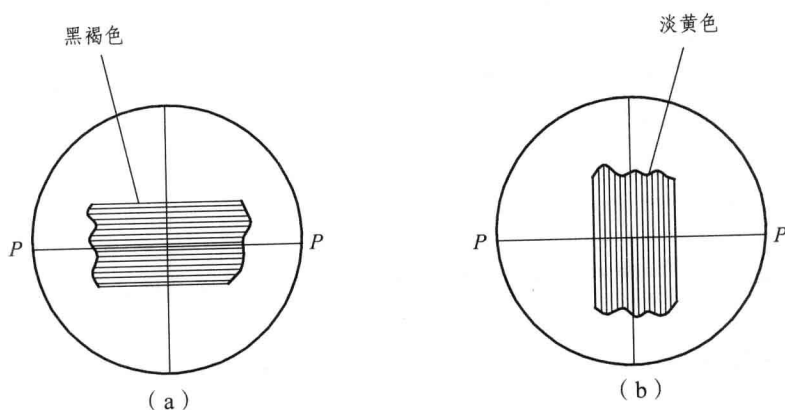


图 1.2.4 下偏光镜振动方向的确定

② 校正上、下偏光镜振动方向是否正交。

由于 XPT-7 型偏光显微镜中上偏光镜的振动方向 AA 是固定在平行十字丝南北方向上的, 故当下偏光镜振动方向确定在平行十字丝东西方向后, 推入上偏光镜, 上、下偏光镜振动方向即应互相垂直, 此时除去薄片, 视域应全黑。若视域不够黑, 则可缓缓旋转下偏光镜, 直到视域最黑为止。

③ 校正上、下偏光镜振动方向是否与十字丝平行。

1.2.6 实验报告

(1) 用黑云母检查上、下偏光镜的振动方向, 将检查结果填入表 1.2.1 中, 绘出用黑云母确定下偏光镜振动方向的示意图。

表 1.2.1 偏光镜的校正记录表

观察结果	偏光条件	上偏光镜	下偏光镜
振动方向			
表示方法			

(2) 通过自己的实验操作, 写出偏光显微镜的调节及校正方法。

1.2.7 讨论题

(1) 偏光显微镜主要有哪些部件组成?

(2) 在校正中心时, 扭动校正螺丝, 为什么只能使质点 a' 移至偏心圆的中心, 而不是移至十字丝交点?

(3) 怎样确定偏光显微镜的振动方向?

1.3 典型晶体结构的钢球堆垛模型分析

原子、分子或它们的集团, 按一定规则呈周期性重复排列, 即构成晶体。材料的各种性能主要取决于它的晶体结构。自然界中有 80 多种金属元素, 其中大多数属于面心立方、体心立方和密排六方 3 种典型晶阵结构。

1.3.1 实验目的

(1) 熟悉面心立方、体心立方和密排六方晶体结构中常用晶面、晶向的几何位置、原子排列和致密度;

(2) 熟悉 3 种晶体结构中的四面体间隙和八面体间隙的位置和分布。

1.3.2 实验原理

1. 3 种典型晶体结构

体心立方结构、面心立方结构和密排六方结构是 3 种最典型、最常见的晶体结构, 其中前两种属于立方晶系, 后一种属于六方晶系。

体心立方结构的晶胞的 3 个棱边长度相等, 3 个轴间夹角均为 90° , 构成立方体。除了在晶胞的 8 个角上各有 1 个原子外, 在立方体的中心还有 1 个原子。具有体心立方结构的金属有 α -Fe、Cr、V、Nb、Mo、W 等 30 多种。

面心立方结构的晶胞的 8 个角上各有 1 个原子, 构成立方体, 在立方体 6 个面的中心各有 1 个原子。具有面心立方结构的金属有 γ -Fe、Cu、Ni、Al、Ag 等 20 多种。

密排六方结构在晶胞的 12 个角上各有 1 个原子, 构成六方柱体, 上底面和下底面的中心各有 1 个原子, 晶胞内还有 3 个原子。具有密排六方结构的金属有 Zn、Mg、Be、 α -Ti、 α -Co、Cd 等。

2. 配位数和致密度

晶胞中原子排列的紧密程度也是反映晶体结构特征的一个重要因素, 通常用两个参数来表征: 一是配位数, 另一是致密度。