

西北大学“双一流”建设项目资助

Sponsored by First-class Universities
and Academic Programs of Northwest University

晶体光学与岩石学实验教程

主 编 刘林玉

副主编 李 红



科学出版社

西北大学“双一流”建设项目资助

Sponsored by First-class Universities and Academic Programs of Northwest University

晶体光学与岩石学实验教程

主 编 刘林玉
副主编 李 红

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者多年来在晶体光学与岩石学教学过程中积累的成果总结。本书简明系统地阐述了晶体光学与光性矿物学、岩浆岩岩石学、变质岩岩石学和沉积岩岩石学的基本实验内容和室内常用实验研究方法。

本书可供高等院校资源勘查工程、地质学、地质工程及相关专业师生使用,也可供科研院所相关专业人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

晶体光学与岩石学实验教程/刘林玉主编. —北京:科学出版社, 2019.2
ISBN 978-7-03-060022-6

I. ①晶… II. ①刘… III. ①晶体光学-实验-高等学校-教材②岩石学-实验-高等学校-教材 IV. ①O734-33②P58-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 284824 号

责任编辑:亢列梅 徐世钊 / 责任校对:郭瑞芝
责任印制:张伟 / 封面设计:陈敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 2 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2019 年 2 月第一次印刷 印张:15 1/2 插页:9

字数:312 000

定价:85.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

近年来,随着社会进步和科学技术的发展,地学的内涵和功能发生了显著变化,人才培养的目标也须随之调整。新的教育体系要为地学理论的创新发展和解决社会经济可持续发展中面临的环境、资源、能源、人口、灾害等重大问题提供理论基础和依据。

地学教育,尤其是教学发展依赖于不断的改革与建设,教学建设永远处于高等院校发展的优先地位。过去的课程体系和教学内容基本是按照学科和专业的人才培养模式制订的,已不能满足现今人才培养的需要,必须进行教学改革。然而,教学改革必须处理好继承与发扬、“老”知识与“新”知识、素质教育与业务教育、共性教育与个性培养的关系,应该与我国社会发展相适应,与科研优势和师资优势相结合。长期以来,实践教学环节的系统改革一直是地质学高等教育改革的重中之重,而改革的核心任务之一就是编写符合当代学科发展需要的全新基础教材和实验教材。

晶体光学与岩石学实验是非常重要的专业基础实验课程,也是一个庞大的实验教学体系,涵盖了晶体光学与光性矿物学实验、岩浆岩岩石学实验、变质岩岩石学实验和沉积岩岩石学实验。经过作者多年对晶体光学与岩石学的实验教学和探索,完成本书初稿,再经过多届本科生实验教学的试用和不断修改调整,最终完成本书。

在本书的编写过程中,充分考虑了以下原则。

一是基础性。以晶体光学与岩石学内容为基础,使其成为专业的基础实验教材。

二是实用性。加强晶体光学与岩石学实验内容在地质学相关专业中的应用,使其在地质学相关专业具有良好的实用性。

三是特色性。打破传统大学本科的实验教学体系,根据地学专业重实践、重应用的实际情况,将科学研究的成果实质性地融入实验教学,合理安排实验内容。

本书晶体光学和沉积岩岩石学部分的相关内容刘林玉完成,岩浆岩岩石学和变质岩岩石学部分的相关内容李红完成,最后由刘林玉统稿。

需要指出的是,本书是在西北大学地质学系全体教师多年实验教学研究基础上完成的,是几代师生共同努力的结晶,其中不乏为地质学系实验教学发展做出重要贡献的老一辈科学家。在本书编写过程中,得到西北大学地质学系的全力支持,同时得到西北大学地质学系相关专业多位教授的热忱关注和精心指导。

在此，特别感谢对本书出版做出重要贡献的西北大学地质学系老一辈科学家和教师，并对他们长期以来的无私奉献致以最崇高的敬意！

本书由西北大学“双一流”建设项目资助 (Sponsored by First-class Universities and Academic Programs of Northwest University)。

限于作者水平，书中难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 偏光显微镜与岩石薄片的制作	1
第一节 偏光显微镜的构造	1
第二节 偏光显微镜的光学系统	5
第三节 岩石薄片的制作	5
第二章 晶体光学的基本实验内容	6
第一节 单偏光系统的基本实验内容	6
一、矿物的形态	6
二、矿物解理的完全程度与解理夹角的测定	6
三、薄片中药物的颜色与多色性、吸收性公式	7
四、矿物边缘、贝克线与糙面的观察	8
五、矿物突起等级的识别	8
第二节 正交偏光系统的基本实验内容	8
一、矿物薄片的消光现象及消光位的观察	8
二、非均质体光率体椭圆半径方向和名称测定	8
三、干涉色级序的测定	9
四、双折率的测定	9
五、消光类型与消光角的测定	10
六、晶体延性符号的测定	10
七、双晶的观察	11
第三节 锥光系统的基本实验内容	11
一、一轴晶垂直光轴切片干涉图的应用	11
二、二轴晶垂直锐角等分线切片的干涉图的应用	12
三、二轴晶垂直一个光轴切片的干涉图的应用	12
第四节 透明矿物薄片的系统鉴定	13
一、透明矿物薄片系统鉴定的内容和步骤	13
二、常见造岩矿物的主要光性特征	14

第三章 岩石的物质成分	20
第一节 岩浆岩、变质岩、沉积岩的基本概念	20
第二节 岩浆岩的物质成分	20
一、硅铝矿物和铁镁矿物	20
二、主要矿物、次要矿物、副矿物	21
第三节 变质岩的物质成分	21
一、富铝(泥质)系列	22
二、硅铝质(长英质)系列	22
三、钙镁质(碳酸盐)系列	22
四、铁镁质(基性)系列	22
五、镁质(超基性)系列	23
第四节 沉积岩的物质成分	23
一、二氧化硅矿物	24
二、长石	27
三、云母	28
四、岩屑	29
五、黏土矿物	31
六、火山碎屑物	33
七、沸石	35
八、碳酸盐矿物	35
九、硫酸盐矿物	36
十、其他矿物	37
第四章 岩浆岩的常用研究方法	39
第一节 矿物的环带及其研究的意义	39
一、矿物环带结构的分类	39
二、环带结构的研究方法及其岩石学意义	40
第二节 矿物包裹体的研究及包裹体测温法简介	44
一、包裹体的分类	44
二、包裹体测温	46
第三节 副矿物的研究方法	47
一、副矿物的采集及研究内容	47
二、副矿物样品的分离及鉴定方法	49

第四节 岩石地球化学中的分析方法简介	50
一、锆石 U-Pb 年代学法	50
二、岩石化学成分研究方法	51
第五章 变质岩的常用研究方法	54
第一节 变质岩的原岩恢复	54
一、原岩恢复的一般原则	54
二、地质产状和岩石共生组合	55
三、变余结构	57
四、矿物成分及矿物组合	58
五、岩石地球化学方法	61
第二节 变质作用期次划分与多峰变质作用的识别	66
一、变质作用期次的划分	66
二、多峰变质作用的识别	68
第六章 沉积岩的常用研究方法	69
第一节 沉积岩薄片生物化石碎片鉴定	69
一、生物化石碎片的鉴定意义	69
二、生物化石碎片的鉴定原理	69
三、生物化石碎片的鉴定标志	70
四、生物化石碎片鉴定的注意事项	73
五、生物化石碎片分述	73
第二节 碎屑岩的粒度分析	79
一、粒度分析	79
二、粒度分析资料的整理	85
三、粒度分析资料的应用	91
第三节 重矿物分析	109
一、重矿物分析简述	109
二、重矿物分离方法	109
三、重矿物鉴定	111
四、重矿物分析资料的综合研究	118
五、重矿物研究中几个值得注意的问题	121
第四节 黏土矿物的染色	122
一、实验用品	123
二、操作方法	123

第五节 碳酸盐岩矿物的染色	124
第六节 残渣分析	126
第七节 热分析	128
一、脱水曲线法	129
二、差热曲线法	130
三、脱水曲线和差热曲线的判读	130
第七章 岩石标本和薄片的鉴定与描述	135
第一节 岩浆岩岩石标本和薄片的鉴定与描述	135
一、岩浆岩岩石标本和薄片鉴定与描述的内容	135
二、超基性岩类(橄榄岩-苦橄岩类)	140
三、基性岩类(辉长岩-玄武岩类)	142
四、中性岩类(闪长岩-安山岩类)	145
五、酸性岩类(花岗岩-流纹岩类)	148
第二节 变质岩岩石标本和薄片的鉴定与描述	150
一、变质岩岩石标本和薄片鉴定与描述的内容	150
二、接触-热变质岩类	153
三、气-液变质岩类(交代变质岩类)	156
四、动力变质岩类	159
五、区域(造山)变质岩类	163
第三节 沉积岩岩石标本和薄片的鉴定与描述	169
一、沉积岩岩石标本和薄片的鉴定与描述内容	169
二、粗碎屑岩(砾岩和角砾岩)类	172
三、中碎屑岩(砂岩)类	173
四、细碎屑岩(粉砂岩)类	182
五、泥质岩类	183
六、火山碎屑岩类	185
七、碳酸盐岩类	188
第八章 晶体光学与岩石学教学大纲及实验内容安排	195
一、课程简介	195
二、教学目标	195
三、课程教学目标对毕业要求的支撑	196
四、教学方法	196
五、教学进度安排	196

六、理论课程主要教学内容	198
七、实验课程教学内容及实验安排	209
八、考核方式和成绩评定	232
参考文献	235

图版

干涉色色谱表

第一章 偏光显微镜与岩石薄片的制作

第一节 偏光显微镜的构造

偏光显微镜的型号较多，本节以 XPB 型偏光显微镜（图 1-1）和 Alphaphot-2 Pol 型偏光显微镜（图 1-2）为例，介绍偏光显微镜的构造。

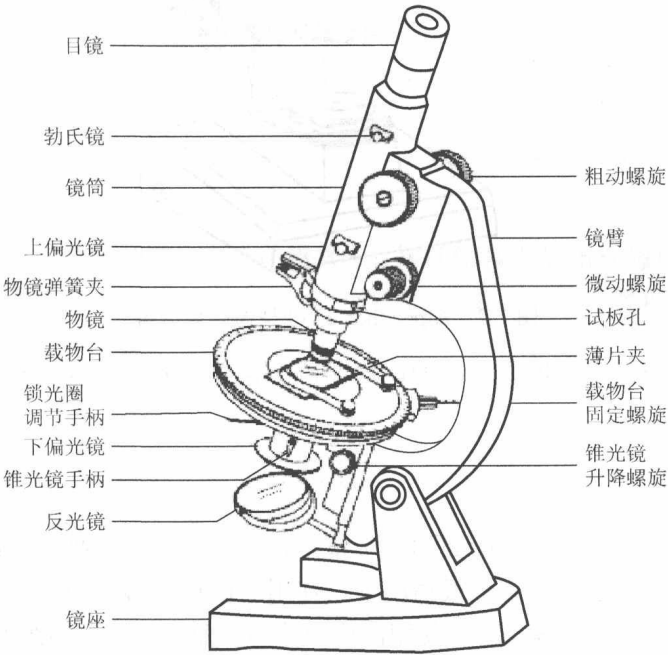


图 1-1 XPB 型偏光显微镜

1. 镜座

镜座支持偏光显微镜的全部重量，其外形为具立柱的马蹄形，通过横轴与镜臂相连（图 1-1）。在高级偏光显微镜上，通常为矩形底座，其后方装有卤素光源灯，中部圆孔上装有孔径光阑，侧面装有电源开关（图 1-2）。

2. 镜臂

镜臂下端与镜座相连，上端与镜筒相接，与镜筒连接处，装有粗动螺旋和微动螺旋，以升降镜筒。镜臂可以向后倾斜，但不宜过度（图 1-1）。在高级偏光显

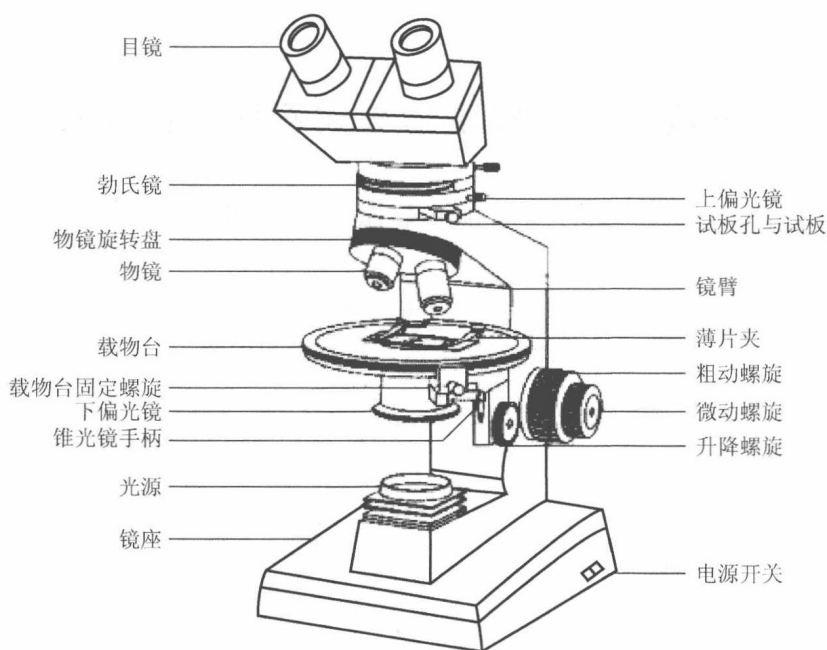


图 1-2 Alphaphot-2 Pol 型偏光显微镜

显微镜上，镜臂与镜座是连为一体的，其两侧的粗动螺旋和微动螺旋用于调节载物台的高度（图 1-2）。

3. 反光镜

反光镜为一个具平、凹两面的小圆镜，可以任意转动，把光源的光线反射到偏光显微镜的光学系统中。一般情况下，使用平面反光镜，获取平行的透射光；但在光源较弱或锥光系统下，应使用凹面反光镜（图 1-1）。在高级偏光显微镜上，其本身装有光源（图 1-2）。

4. 下偏光镜

下偏光镜由偏光片制成，位于反光镜之上。从普通光源发出的自然光，经反光镜射入下偏光镜，发生偏振化作用，自然光全部转化为振动方向固定一致的偏光。下偏光镜可以转动，通常将下偏光镜的振动方向（即通过它之后偏光的振动方向）调节为东西方向，并以符号“PP”表示。

5. 锁光圈

锁光圈位于下偏光镜之上，通过转动手柄，可以自由开合锁光圈，以控制光线的透过量。

6. 锥光镜

锥光镜位于锁光圈与载物台之间,由一组透镜组成。从下偏光镜透出的偏光,经过锥光镜聚敛成锥形偏光束。不用时可以把锥光镜推出光学系统。

7. 载物台

载物台(物台)为一个可以水平转动的圆形平台,边缘有 360° 的刻度,与固定的游标尺配合,可以直接读出载物台的旋转角度。载物台中央有一个圆孔,为光线的通道(图 1-1)。圆孔旁还有一对薄片夹,用以夹持薄片。载物台外缘有固定螺丝,用以固定载物台。在高级偏光显微镜上,载物台一般呈水平状态,但是可以通过安装在镜臂上的粗动螺旋和微动螺旋进行升降,以调节载物台与物镜之间的距离(图 1-2)。

8. 镜筒

镜筒为一个长直的圆筒,连接在镜臂上。转动镜臂上的粗动螺旋和微动螺旋,可以使镜筒上升或下降(图 1-1)。镜筒上端连接目镜,下端连接物镜,中间有试板孔、上偏光镜和勃氏镜。

9. 物镜

物镜由安装在金属圆筒中的若干组透镜构成。一般偏光显微镜配备四个不同放大倍数(以 $n\times$ 表示)的物镜,即 $4\times$ (低倍物镜)、 $10\times$ 和 $25\times$ (中倍物镜)、 $40\times$ 或 $60\times$ 或 $100\times$ (高倍物镜)。在每个物镜上,刻有放大倍数、数值孔径(numerical aperture, NA),前者与图像清晰度成反比,后者与图像清晰度成正比。物镜与薄片之间的距离称为物镜的工作距离,其与物镜的放大倍数成反比。在 XPB 型偏光显微镜上,物镜借助于弹簧夹固定在镜筒的下端(图 1-1);而在高级偏光显微镜上,镜筒的下端为物镜旋转盘,其上随意装置 4~5 个不同放大倍数的物镜,只需转动该圆盘即可更换物镜(图 1-2)。

10. 上偏光镜

上偏光镜镶嵌在一个金属框中,置于物镜与勃氏镜之间,可以推入或拉出光学系统(图 1-1、图 1-2)。上偏光镜功能与下偏光镜相同,即任何振动方向的光,经过上偏光镜后,都转化为振动方向固定一致的偏光。上偏光镜的振动方向总是固定在与下偏光镜的振动方向垂直的位置上,通常为南北方向,以符号“AA”表示。

11. 勃氏镜

勃氏镜位于目镜与上偏光镜之间，是一个小的凸透镜（图 1-1、图 1-2）。在锥光系统下，勃氏镜和高倍物镜联合使用，以观察较大范围的矿物干涉图。

12. 目镜

目镜由一组安装在金属圆筒中的透镜构成，插入到镜筒的顶端（图 1-1）。一般有 $5\times$ 和 $10\times$ 两种放大倍数的目镜。在高级偏光显微镜上，安装有两个目镜，目镜的间距及其焦距可根据观察者的使用情况进行调节（图 1-2）。目镜中通常装有十字丝和刻度尺。

上述结构部件分别组成偏光显微镜的机械系统和光学系统。

（1）机械系统：包括镜座、镜臂、镜筒、载物台、锁光圈等。

（2）光学系统：包括光源、反光镜、下偏光镜、锥光镜、物镜、上偏光镜、勃氏镜、目镜等。

除上述主要部件以外，偏光显微镜还配有石膏试板、云母试板、石英楔、物镜中心校正螺丝等附件，置于镜头盒中。

除了江南光学仪器厂生产的 XPB 型偏光显微镜和 Nikon 公司生产的 Alphaphot-2 Pol 型偏光显微镜之外，教学过程中还常用 OLYMPUS 公司生产的 BX53 型偏光显微镜等（图 1-3）。



图 1-3 OLYMPUS 公司生产的 BX53 型偏光显微镜

第二节 偏光显微镜的光学系统

偏光显微镜与一般显微镜的不同之处在于它的光学系统中配有两个偏光镜和一个锥光镜，这三件装置的不同组合构成了不同的光学系统。

1. 单偏光系统

只使用下偏光镜，即射入晶体切片中的是单一方向（一般固定为东西方向）振动的平面偏光。在该系统下，主要观察矿物的形态、解理、颜色、突起、糙面、贝克线等现象。

2. 正交偏光系统

在单偏光系统中，推入上偏光镜，上、下偏光镜的振动方向互相垂直，与目镜十字丝一致。在该系统下，主要观察矿物的消光、干涉色、延性、双晶等现象。

3. 锥光系统

在正交偏光系统中，推入锥光镜并加上高倍物镜和勃氏镜。在该系统下，主要观察矿物的干涉图，以测定矿物的轴性和光性符号。

第三节 岩石薄片的制作

在偏光显微镜下研究岩石矿物的光性特征，必须先将岩石标本磨制成岩石薄片。普通岩石薄片是由载玻璃（又称载片，通常大小为 $25\text{mm} \times 50\text{mm}$ ，厚 1mm ）、矿片（标准厚度为 0.03mm ）、盖玻璃〔又称盖片，通常大小为 $(15\text{mm} \times 15\text{mm}) \sim (20\text{mm} \times 20\text{mm})$ ，厚 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ 〕三者经树胶黏结而成。下面简要介绍普通岩石薄片的制作方法。

(1) 用 $150^\#$ 金刚砂的切片机在岩石标本上切下大小为 $20\text{mm} \times 30\text{mm} \times 2\text{mm}$ 的一块。

(2) 依次用 $180^\#$ 、 $500^\#$ 、 $1200^\#$ 金刚砂将切下的岩块磨平一面，将载玻璃在酒精灯上加热涂上固体胶后，把岩块已磨平的一面放上再加热，将岩块与载片之间的气泡挤出压平。

(3) 依次用三种金刚砂磨另一面至 0.03mm 厚为止。

(4) 把液体树胶涂在岩石表面，盖上盖片，用酒精灯加热后把盖片与岩石之间的气泡挤出，铲掉周围的废胶，用酒精洗净即可。

第二章 晶体光学的基本实验内容

晶体光学主要是研究可见光通过透明晶体所产生的一些光学现象及其规律的一门学科。不同的晶体，其光学性质不相同，因此晶体光学是研究鉴定透明矿物的重要方法。郭宗山、李德惠、陈芸菁、季寿元、王德滋、杨承运、汪相等先后对晶体光学原理及其应用做出很有价值的研究。

第一节 单偏光系统的基本实验内容

一、矿物的形态

1. 矿物结晶形态

每一种矿物都有一定的结晶习性，构成一定的外表形态。这些形态常常与形成条件、晶出顺序有密切联系，如石榴子石常呈菱形十二面体。

2. 矿物切片形态

岩石薄片中所见到的矿物形态，是晶体某一方向切面的轮廓。例如，磷灰石在岩石薄片中常具六边形和长条形切面，由此可知磷灰石为六方柱状晶体。

3. 矿物集合体形态

等向粒状：如石英	球粒状：如某些玉髓晶体呈球粒状
针状：如金红石、夕线石	放射状：如某些电气石、葡萄石晶体呈放射状排列
板条状：如长石、蓝晶石	网状：如蛇纹岩中的蛇纹石
柱状：如角闪石、辉石	文象状：如石英与钾长石呈文象交生体
板状：如重晶石、石膏	维晶状：如某些火山玻璃中出现的各种式样的维晶
纤维状：如石棉、纤维蛇纹石	
片状：如云母、绿泥石	

二、矿物解理的完全程度与解理夹角的测定

1. 解理的完全程度

根据矿物解理的完全程度，可划分为以下三级。

- (1) 极完全解理：如云母类矿物的解理。
- (2) 完全解理：如角闪石类、辉石类及长石类矿物的解理。
- (3) 不完全解理：如橄榄石的解理。

2. 解理夹角的测定

测定两组解理夹角时，必须选择同时垂直两组解理面的切面。这种切面的特征是：两组解理缝最细最清楚，当其解理缝平行目镜十字丝竖丝时，稍微升降镜筒，解理缝不向左右移动。测定方法如下。

(1) 按上述原则（即切面的特征）选择合适的切面。

(2) 转动载物台，使一组解理缝平行目镜十字丝竖丝，载物台刻度盘上读数为 a 。

(3) 旋转载物台，使另一组解理缝平行目镜十字丝竖丝，载物台刻度盘上读数为 b 。两次读数之差（ a 与 b 之差）即为所测得的夹角。

三、薄片矿物的颜色与多色性、吸收性公式

1. 矿物的颜色

当光透过矿物薄片时，矿物为无色或者呈现特定的颜色。

2. 多色性与吸收性

(1) 一轴晶。一轴晶矿物有两个主要的颜色，分别与光率体两个主轴 N_e 、 N_o 相当。以黑电气石为例，其多色性记录方式为

N_o =深蓝色， N_e =浅紫色（多色性）

吸收性记录方式为

$N_o > N_e$ （吸收性）

(2) 二轴晶。二轴晶矿物有三个主要的颜色，分别与光率体三个主轴 N_g 、 N_m 、 N_p 对应。以普遍角闪石为例，其多色性记录方式为

N_g =深绿色或深蓝绿色， N_m =绿色， N_p =浅黄绿色

吸收性记录方式为

$N_g > N_m > N_p$ （正吸收）

$N_p > N_m > N_g$ （反吸收）