

高等学校试用教材

# 矿相学

(岩矿专业)

成都地质学院 邱柱国 主编

地质出版社

高等学校试用教材

# 矿 相 学

(岩矿专业)

成都地质学院

邱柱国主编

地质出版社

## 内 容 提 要

全书共十三章及三个附录，插图和照片共二百八十余幅，五十余万字。本书较全面地介绍了金属矿物的光学、物理、化学性质，矿石的构造、结构和矿物晶粒的内部结构特征，以及矿石的工艺特性。书中注意了基本理论、基本知识、基本方法的阐述，和国内、外新理论、新方法的介绍；同时，还编排有实验作业供学生实验之用。书中附有偏光图、偏光色、内反射色、反射多色性等彩色照片和金属矿物简易鉴定图表。本书的金属矿物鉴定表中编入有一百五十余种金属矿物，金属矿物简易鉴定图表中编入有四十余种常见金属矿物，供金属矿物显微镜鉴定之用。

本书主要供岩矿专业学生作教材之用，也可供地质类其它专业，地质院、校、师生，岩矿鉴定、地质科研、地质勘探、选矿、冶金等方面的科技人员作参考书之用。

## 矿 相 学

成都地质学院

邱柱国 主编

地质矿产部教育司教材室编辑

责任编辑 熊曾熙 魏绮英

地质出版社出版

（北京西四）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>，印张：26<sup>1</sup>/<sub>8</sub>，插页：3，字数：612,000

1982年6月北京第一版·1982年6月北京第一次印刷

印数1—11,290册·定价3.20元

统一书号：15038·教134

## 前 言

本书主要供高等学校岩矿鉴定专业作教材使用；也可供地质类专业和地质、选矿、冶金技术人员作参考书用。

本书较全面地介绍了金属矿物的光学、物理、化学性质，矿石的形态特征以及矿石的工艺性质。注意了基本理论、基本知识和基本方法的介绍；同时，还编排有实验作业供学生实验之用。

本书由成都地质学院矿床教研室邱柱国担任主编。第一、二、六、七、九、十二、十三章及附录一、二由邱柱国执笔（第九章第一节中的激光显微光谱分析部分由高德荣执笔），第三章由包相臣执笔、第四、五、八章由叶韵琴执笔，第十、十一章由廖光素执笔，金属矿物简易鉴定图表、附录三（金属矿物鉴定表）和矿物索引一、二由帅德权执笔；全书由邱柱国统一修改定稿。

在本书收集资料和编写过程中，得到中国地质科学院矿床所、峨眉矿产综合利用研究所、地质出版社、武汉地质学院矿床教研室、长春地质学院、云南地质局中心实验室、云南冶金地质研究所、云南东川矿务局中心实验室、四川冶金研究所、四川地质局中心实验室、四川石油勘探开发研究院、北京钢铁学院地质教研组、湖南冶金地质研究所、峨眉电影制片厂、地质部教材室以及本院绘图室、磨片室、勘探教研室等有关单位和同志的大力支持帮助，提供了大量资料。在此，我们表示衷心的感谢。

本书编写之初，曾于1978年9月在成都召开了教材编写大纲讨论会，与会同志对编写大纲提出了不少宝贵意见。本书初稿完成后，曾于1979年11月在成都召开了审稿会议，对本书初稿提出了许多宝贵的修改意见。修改稿经武汉地质学院徐国风、丰淑庄同志进行了详细审查；陈正先生对本书的第五、八章进行了详细审阅；王曙同志对第一、二章进行了详细审阅；马秀先、葛书华、蔡绍周、冯良林、张大玉等同志对第十三章进行了详细审阅；最后，由责任编辑熊曾熙、魏绮英同志对全书进行了详细审查和编辑加工。他们都对本书提出了许多宝贵、有益的意见，对提高本书的质量起了很大作用。对此，我们谨致衷心的感谢。

在使用本书作教材时，授课教师可根据具体情况作适当的取、舍、增、减、侧重和调整。

编著者

1981年10月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 矿相学的概念、任务和主要研究对象 .....	1
第二节 矿相学研究的目、课程性质及与其他学科的关系 .....	1
第三节 矿相学研究的一般工作阶段 .....	3
第四节 矿相学的现状和今后的主要发展方向 .....	4
<b>第二章 吸收性晶体光学基本原理</b> .....	6
第一节 光的偏振 .....	6
一、自然光 .....	6
二、直线偏光(平面偏光) .....	6
三、椭圆偏光与圆偏光 .....	7
四、偏振状态的检验 .....	17
第二节 光的反射和折射 .....	17
一、透明均质矿物对光的反射和折射 .....	17
二、不透明均质矿物对直线偏光反射时的相差变化和反射分量的(能量)反射率变化 .....	20
第三节 吸收性晶体的复数光学指示体 .....	21
一、吸收性晶体的基本概念 .....	21
二、光在吸收性晶体中的折射 .....	22
三、吸收性晶体的复数光学指示体及对光的反射 .....	22
课外作业 .....	26
<b>第三章 矿相显微镜</b> .....	27
第一节 概述 .....	27
一、镜筒光路 .....	27
二、镜筒结构 .....	29
第二节 物镜 .....	29
一、象差 .....	30
二、光组 .....	31
三、物镜的放大率和分辨率 .....	32
四、物镜的焦距和工作距 .....	33
五、物镜的种类和标记 .....	33
第三节 目镜 .....	35
一、惠更斯目镜 .....	35
二、补偿目镜 .....	36
三、兰姆斯登目镜 .....	36
四、无畸变目镜 .....	36
第四节 垂直照明器 .....	37
一、孔径光栏 .....	37

二、准直透镜 .....	37
三、视场光栏 .....	37
四、校正透镜 .....	37
五、反射器 .....	38
第五节 几种常见矿相显微镜简介 .....	40
一、国产XPA-1型矿相显微镜 .....	40
二、东德Row厂Poladum II、III、IV型矿相显微镜 .....	40
三、苏联“进步”厂MNH-8型矿相显微镜 .....	41
四、其他型矿相显微镜 .....	41
第六节 矿相显微镜附件 .....	42
一、光源 .....	42
二、滤光器 .....	42
三、压平器 .....	42
四、穿孔目镜 .....	42
五、双石英试板(中村试板或纳卡摩拉试板) .....	42
六、石膏试板 .....	42
第七节 矿相显微镜的调节、使用与维护 .....	42
一、校正孔径光栏和视场光栏中心 .....	43
二、对反射器的检查 .....	43
三、偏光镜零位的准确校正 .....	43
四、偏光镜方向的检验 .....	44
五、显微镜的保管与维护 .....	44
实验作业、课外作业 .....	45
第四章 矿物的反射率和双反射率 .....	46
第一节 概述 .....	46
一、反射率的概念和研究意义 .....	46
三、决定反射率高低的因素 .....	46
第二节 反射率的测定方法 .....	50
一、光强直接测定法 .....	50
二、光电光度法 .....	50
三、视测光度法 .....	54
四、简易比较法 .....	56
五、均质和非均质矿物反射率的测定 .....	56
第三节 反射率测定的“标准”、误差及其校正 .....	58
一、反射率测定的“标准” .....	58
二、反射率测定对光源的要求 .....	59
三、光面与镜筒光轴的垂直性对反射率测定的影响 .....	59
四、耀光引起的误差及其校正 .....	59
五、准焦程度引起的误差 .....	60
六、物镜孔径及反射器对测定矿物反射率的影响 .....	60
第四节 非均质矿物反射光性符号的确定 .....	62
一、卡梅伦法 .....	62

二、维亚利索夫法 .....	63
第五节 非均质矿物的双反射率 .....	65
实验作业、课外作业 .....	66
<b>第五章 矿物的反射色、反射多色性和内反射 .....</b>	<b>68</b>
第一节 矿物的反射色与反射多色性 .....	68
一、概述 .....	68
二、反射色的测量法 .....	70
三、反射色与反射多色性的目视观察 .....	75
四、反射色和反射多色法的描述及视觉色变效应 .....	77
第二节 矿物的内反射 .....	79
一、内反射中直线偏光振动方向的旋转和椭圆偏化 .....	79
二、内反射的观察方法 .....	81
三、内反射的视测分级 .....	82
第三节 矿物的反射色、内反射和反射率之间的相互关系 .....	83
实验作业、课外作业 .....	83
<b>第六章 矿物的旋转角、偏光图和旋转色散 .....</b>	<b>84</b>
第一节 光学性质观测的矿相显微镜条件 .....	84
第二节 非均质旋转角与非均质视旋转角 .....	85
一、透明非均质矿物的非均质旋转角 .....	85
二、不透明非均质矿物的非均质视旋转角 .....	87
三、非均质旋转角与非均质视旋转角的测量 .....	88
四、非均质旋转角与非均质视旋转角的观测值校正为真实值的方法 .....	91
第三节 矿物的反射旋转角与反射视旋转角及均质矿物偏光图的形成 .....	92
一、透明均质矿物的反射旋转角及其偏光图的形成 .....	92
二、不透明均质矿物的反射视旋转角及其偏光图的形成 .....	99
三、反射旋转与反射视旋转角的测量 .....	102
第四节 反射旋转效应与非均质旋转效应的叠加及非均质矿物偏光图的形成 .....	103
一、透明非均质矿物偏光图的形成 .....	103
二、不透明非均质矿物偏光图的形成 .....	104
三、非均质矿物偏光图的变化 .....	105
四、非均质矿物偏光图双曲线黑(暗)带的最大分离度和最大分离角 .....	105
第五节 矿物的旋转色散 .....	106
一、矿物的反射旋转色散和反射视旋转色散 .....	106
二、非均质矿物的综合旋转色散和综合视旋转色散 .....	109
三、非均质矿物的非均质旋转色散和非均质视旋转色散 .....	109
四、偏光图中双曲线暗带顶端所表现的椭圆度和椭圆色散 .....	114
实验作业、课外作业 .....	115
<b>第七章 矿物的均非性、偏光色、旋向和相符 .....</b>	<b>117</b>
第一节 非均质矿物的消光位与暗光位 .....	117
一、消光位和暗光位 .....	117

二、消光类型与消光角 .....	117
三、消光位色散与暗光位色散 .....	117
第二节 非均质矿物的偏光色 .....	118
一、透明非均质矿物因非均质旋转色散而形成偏光色 .....	118
二、不透明非均质矿物因非均质椭圆色散而形成偏光色 .....	118
第三节 矿物的均非性 .....	119
一、矿物的均质性 .....	119
二、矿物的非均质性 .....	120
第四节 非均质矿物的旋向 .....	122
一、旋转分析镜消光法 .....	123
二、单偏光下的双反射法 .....	123
三、偏离角明暗位置法 .....	124
四、偏光图双曲线暗带所处象限法 .....	124
第五节 相差符号 .....	126
第六节 根据反射光学性质确定晶体所属的晶系 .....	126
实验作业、课外作业 .....	127
第八章 矿物的显微硬度 .....	128
第一节 概述 .....	128
第二节 显微抗压(压入)硬度 .....	128
一、原理 .....	128
二、仪器类型、结构及操作方法 .....	130
三、抗压硬度测量中的几个问题 .....	132
四、矿物的脆性与塑性 .....	136
第三节 显微抗划(刻划)硬度 .....	136
第四节 显微抗磨(研磨)硬度 .....	137
实验作业 .....	140
第九章 矿物的化学性质研究 .....	141
第一节 矿物化学成分的显微物理分析法 .....	141
一、电子探针显微分析 .....	141
二、扫描电子显微分析 .....	145
三、离子探针显微分析 .....	146
四、激光显微光谱分析 .....	147
第二节 矿物化学成分的显微化学分析法 .....	150
一、概述 .....	150
二、仪器、工具和试剂 .....	150
三、方法与步骤 .....	151
四、常见重要元素的微化分析 .....	152
第三节 矿物化学成分的标型意义 .....	155
第四节 浸蚀反应 .....	155
一、浸蚀鉴定 .....	155
二、结构浸蚀 .....	158



实验作业 .....	160
<b>第十章 矿石的构造、结构和矿物晶粒的内部结构</b> .....	161
<b>第一节 概述</b> .....	161
一、矿石的构造、结构和矿物晶粒内部结构的概念 .....	161
二、研究矿石和矿物形态特征的基本内容和意义 .....	161
<b>第二节 矿石构造</b> .....	162
一、矿石构造的成因分类 .....	162
二、矿石构造的各成因组 .....	163
三、主要矿石构造的形成作用、形态特征及鉴定标志 .....	166
<b>第三节 矿石结构</b> .....	172
一、矿石结构的成因分类 .....	172
二、各成因组矿石结构的形成作用和鉴定特征 .....	173
<b>第四节 矿物结晶颗粒切面的外形、习性和内部结构</b> .....	180
一、研究的意义和方法 .....	180
二、矿物结晶颗粒的切面外形与结晶习性 .....	181
三、矿物结晶颗粒的内部结构 .....	182
实验作业、课外作业 .....	185
<b>第十一章 矿化期、矿化阶段和矿物的生成顺序</b> .....	211
<b>第一节 矿化期</b> .....	211
一、矿化期的概念 .....	211
二、确定矿化期的标志 .....	211
<b>第二节 矿化阶段</b> .....	212
一、矿化阶段的概念 .....	212
二、确定矿化阶段的标志 .....	212
三、各成因类型矿床中矿化阶段的划分和矿化阶段的命名 .....	215
<b>第三节 矿物的生成顺序和世代</b> .....	217
一、矿物生成顺序的概念及确定生成顺序的标志 .....	217
二、矿物世代的概念及确定矿物世代的标志 .....	219
<b>第四节 矿物生成顺序图表的编制</b> .....	220
实验作业、课外作业 .....	223
<b>第十二章 金属矿物的综合性系统鉴定和简易鉴定</b> .....	224
<b>第一节 金属矿物的综合性系统鉴定</b> .....	224
<b>第二节 金属矿物的简易鉴定及金属矿物简易鉴定图表</b> .....	226
实验作业、课外作业 .....	227
<b>第十三章 矿石的工艺性质研究</b> .....	228
<b>第一节 概述</b> .....	228
<b>第二节 矿物和组分含量的测算</b> .....	228
一、矿物相对含量的测定 .....	229
二、金属百分含量的计算 .....	232
<b>第三节 元素的赋存状态及其配分计算</b> .....	233
一、元素在矿石中的赋存状态 .....	233

二、考查元素赋存状态的基本方法 .....	234
三、元素的配分计算 .....	235
第四节 矿物的工艺粒度 .....	237
一、矿物工艺粒度的概念 .....	237
二、矿物工艺粒径的测量 .....	237
三、显微镜下粒径长度的测量 .....	238
四、粒级的划分 .....	239
五、工艺粒度的测量 .....	240
六、粒度特性曲线的绘制 .....	244
第五节 矿物的解离性 .....	245
一、概述 .....	235
二、矿物的嵌布特性 .....	245
三、连生矿物的嵌镶关系与嵌镶类型 .....	246
四、有用矿物单体解离度与解离率的测算 .....	247
第六节 矿物的物性差与矿物的分选性 .....	249
一、比重差 .....	250
二、磁性差 .....	251
三、润湿性差 .....	251
第七节 矿石工艺过程中产品的考查与分析 .....	252
一、磨矿产品的考查 .....	252
二、选矿产品的考查 .....	252
三、烧结矿石和冶炼产品的考查 .....	253
第八节 矿石的综合评价 .....	253
一、地质勘探工作中进行矿石工艺性质研究的内容 .....	253
二、矿石的综合利用 .....	253
三、矿石的综合评价 .....	254
实验作业 .....	255
附录一 矿相学课程作业 .....	257
附录二 主要光学性质代(符)号 .....	262
附录三 金属矿物鉴定表 .....	264
矿物索引一 中、英、俄 .....	398
矿物索引二 英、俄、中 .....	404

# 第一章 绪 论

## 第一节 矿相学的概念、任务和主要研究对象

矿相学主要是在矿相显微镜(反射偏光显微镜)下研究金属矿石的一门科学。由于组成金属矿石的不透明矿物在一般厚度(0.03毫米左右)的薄片下不透明,因而不能磨成薄片在岩石显微镜下用透射光进行研究,而只能磨成光面在矿相显微镜下用反射偏光进行研究。矿相学的主要任务是:

(一) 鉴定不透明矿物。在矿相显微镜下研究不透明矿物的光学、物理、化学性质和形态特征,并据以鉴定矿物。

(二) 研究矿石的构造、结构,矿物晶粒的切面形状和内部结构等形态特征,结合其矿物成分、化学成分和矿床地质特征,以分析矿床的矿化期、矿化阶段、矿物的生成顺序和成因。

(三) 研究矿石中 useful 和有害元素的赋存状态,矿石中 useful 矿物和组份的含量,矿物的粒度,矿物的嵌布特性与嵌镶关系,矿物的“物性差”等矿石的工艺性质。结合选矿、冶炼试验,了解矿石的可选性和可冶性,为选、冶设计提供依据。

矿石光片乃是矿相学研究的主要对象,要求所磨制的矿石光片:(1)平滑如镜,镜下检查不应有麻点及粗大的擦纹存在。(2)光片中硬、软矿物的相对突起不应过于明显。为适应对某些矿石结构、矿物晶粒内部结构、矿石工艺性质的研究和显微照像的需要,有时需磨制无突起光片,以便将矿物的确切形态和不同矿物颗粒之间及与细小包裹体之间的确切界线和接触关系等明确地显示出来。

## 第二节 矿相学研究的目的是、课程性质 及与其他学科的关系

矿相学研究的主要目的在于帮助研究矿床成因、指导找矿勘探和矿石技术加工工作。

(一) 在研究矿床成因方面的作用 由于矿石是组成矿床的基本物质,是成矿作用的结果,所以矿石的特点能够反映成矿作用的某些特征。因而,用矿相学的方法,查明了矿石的物质成分、构造、结构等特征,可为研究矿床成因提供重要的依据。例如,根据岩浆铜镍硫化物矿床中矿石的豆状或滴状构造,便可判断岩浆成矿过程中熔离作用的存在。根据砂岩型铜矿石中浑圆形的石英碎屑被辉铜矿所交代的现象,就可以判定成矿溶液是碱性的(石英在碱性溶液中不稳定)。根据产于变质岩中金属矿石的片状、片麻岩、皱纹状、条带状等构造,以及定向变晶、拉长变晶、鳞片变晶、揉皱变晶、定向压碎、塑性流动和压力影等结构的存在,可说明这种金属矿床曾遭受过区域变质作用。根据广泛发育的晶洞状、角砾状、胶状等矿石构造,且矿石矿物和脉石矿物组成的集合体与围岩的界线清楚、

平整,就可以判定成矿方式主要是充填作用。总之,矿相学研究是矿床学研究的基本手段之一,矿相学研究的成果对矿床成因理论的研究是极为重要的。

(二) 在指导找矿勘探工作方面的作用 找矿、勘探工作的目的是对矿床作出正确的评价。这就要求查明矿石的物质成分、有益有害组份含量,矿石类型、形态(组构)特征及其在空间上的分布以及矿石工艺特征。再结合矿石、矿床的成因及矿化规律进行找矿勘探方向的研究。而这些都与矿相学的研究密切相关。例如,曾由于未很好地对某超基性岩体内部的细微金属矿物进行研究,而一直不能肯定其工业价值。后来,由于加强了矿相学的研究,鉴定出其中(主要在岩体的边缘部分)存在有大量可选的铂族矿物。据此,才开展了大规模的勘探工作,从而探明了一个大型铂矿床。又如某砂砾岩型铜矿床,一直只注铜勘探铜。后来,由于加强了矿相学研究,发现了其中含有许多可选的银、硒的独立矿物(如硒铜银矿、硒铅矿、硒汞矿、硒铜汞矿、蓝硒铜矿、硒铜矿、硫硒铜银矿、红硒矿、硫铜银矿等)。因此,才进一步补作勘探工作,查明它不仅是一个大型的铜矿床,而且是一个特大型的银矿床和大型硒矿床。又如某铁矿床,原认为其赤铁矿是原生的,后来作了大量的矿相学工作,发现这些赤铁矿是由磁铁矿经次生氧化作用形成的假像赤铁矿。据此加深钻孔,终于在深部发现了具有更大工业意义的磁铁矿富矿体。

上述实例可以说明:矿相学工作作得精细,才能对矿石和矿床作出正确的成因分析和评值,从而为找矿勘探工作指明方向,决定工作部署,避免浪费和返工,为国家多快好省地提供矿产资源。

(三) 在指导矿石技术加工方面的作用 矿相学研究的另一个主要方面就是对矿石工艺性质的研究。在选、冶设计中,选、冶方法的选择和流程的确定都须根据对矿石工艺性质研究的矿相学资料,不然很难作出正确的、符合客观实际的选矿和冶炼设计。在选、冶过程中,也须对矿石工艺的各级产品进行矿相学的研究,以查明产品中组成矿物的种类、含量和工艺粒度,单体的解离情况,从而提出改进选、冶方法和流程,提高精矿回收率 and 产品质量的措施。例如,某钒钛磁铁矿矿石,在高炉冶炼过程中,发现炉渣极为粘稠,渣、铁分不开,出铁口被堵塞。经矿相学研究,才发现是由于磁铁矿中含有许多钛矿物(钛铁矿和钛铁晶石)包裹体,在高炉冶炼时也被还原,并形成高熔点的碳化钛(熔点 $100^{\circ}\text{C}$ )和氮化钛(熔点 $2900^{\circ}\text{C}$ )微粒存在于炉渣中所致(高炉炉温一般只 $1900^{\circ}\text{C}$ 左右)。从而考虑采取两项措施:(1)在高炉冶炼过程中于渣面上采用低硅喷吹法,喷吹高压热风,使TiC和TiN氧化成低熔点的渣,以降低炉渣的粘滞性并使渣、铁分离。(2)采取选矿措施:尽可能地使磁铁矿和含钛矿物分离,以降低铁精矿中的钛含量,使 $\text{TiO}_2$ 在铁精矿中的含量降低。从选矿的要求出发,通过矿相显微镜的研究,查明磁铁矿中包裹有大量的由固溶体分离作用形成的格片状和乳浊状的钛铁矿和钛铁晶石,其粒度大小不等,从0.1毫米至0.1微米均有。对于几微米~0.1微米的细微含钛矿物包体,不能考虑采用超细磨工艺,因为超细磨后,虽能使含钛矿物更多地与磁铁矿解离,但也容易使矿石产生泥化,将难于用机械方法进行分选;且会大大增高选矿成本。因此,对于这些细微钛矿物包体,不能用选矿方法解决,只能设法在冶炼过程中回收。又据矿相显微镜研究,还查明矿石中含有少量的、可供综合利用的硫钴矿、硫镍钴矿等硫化物。从而决定将矿石粗磨后,便进行弱磁选,选出强磁性的磁铁矿精矿(其中含有钛矿物包体)。再将选出磁铁矿后的尾矿细磨,先用弱磁选选出磁铁矿,次用浮选法选出含钴、镍等的硫化物,再用先重选后电选

的方法选出钛精矿。进入铁精矿中的钛，在冶炼时形成高钛炉渣，用湿法（氯化法）回收。又据矿相学的研究，并未发现钒的独立矿物，经查明钒系以类质同象混入物的状态存在于磁铁矿中，形成含钒磁铁矿。从而明确了钒不能在选矿过程中回收（因无独立矿物），只能在冶炼含钒磁铁矿的过程中用雾化法使钒形成钒渣与铁分离，以进行钒的回收。根据矿相学的研究资料，才决定采取了上述的比较经济合理的工艺流程，基本解决了这一复杂矿石中主要金属元素的回收问题。无数事例都说明：矿相学的研究，对选、冶设计以及方法与流程的改进都有着极为重要的作用。

以往，由于在矿相学的研究中，对矿石工艺性质的研究重视不够，地质勘探报告中反映很少，或甚至完全不合要求，以致不能用作选、冶设计的基础资料。设计部门往往不得不重新采样，重作矿石工艺性质研究的工作，从而延缓了国家建设的进度。这些教训是应该很好汲取的。所以，无论在对矿石进行选、冶之先，还是在选、冶过程中，都须加强矿相学的研究，才能使矿石技术加工工作有效而合理地进行，才能搞好综合利用。目前矿相学在矿石工艺方面的广泛而有效的应用，使矿石工艺矿相学得到了迅速的发展，并越来越受到人们的重视。

由于矿相学服务于矿床学、找矿勘探方法、矿石工艺学和矿物学的研究，因此它是一门专业基础课程。

同时，矿相学也须利用这些学科的有关知识和研究成果，并且根据这些学科的丰富资料和对矿相学提出的课题来加强矿相学的研究。矿相学除服务于上述学科并与之密切相关外，还与其他学科有着密切的联系：矿相学必须充分利用数学、物理学（特别是光学）、化学等学科的基本理论、知识和方法；还必须利用结晶学、矿物学、透明晶体光学、岩石学、地球化学、金属学等课程的理论、知识、实验技术和研究成果。并不断引进各种新的技术方法和测试仪器，以促进矿相学的迅速达展。

### 第三节 矿相学研究的一般工作阶段

根据矿相学的研究特点，大致可以分为四个阶段：即野外（或现场）研究阶段，实验室研究阶段，综合整理、编写报告阶段和检查审核阶段。

#### （一）野外（或现场）研究阶段

1. 在野外搜集资料时，应结合矿床学的研究，进行矿化露头、探槽、坑道壁、掌子面以及钻探岩芯（矿心）的全面、系统的观察、研究，并进行标本采集和编录工作。应按矿石的矿物成分和构造特点划分矿石类型；应根据矿石构造、矿物共生组合、矿体构造以及矿化的分布特点等来划分矿化期和矿化阶段。采取标本时除采集矿床中不同矿体、不同地段、不同部位的有代表性的系统标本外，还应采集有特征意义的标本：即采集各种矿物、矿物的不同世代、各种矿物组合，各种矿石类型、不同矿化阶段和能反映各矿化阶段关系的标本，以及各种矿石构造和结构的标本。标本采集地点必须编号并标明在图上，某些采样点还须绘制素描图或拍摄照片。都须编好号，不能紊乱。

2. 在选厂和冶炼厂搜集资料时，应全面了解选矿方法和流程，所用的机、电设备，选矿用的药剂；冶炼的方法、设备和所用的矿石、熔剂以及配料等。须分别采取矿石工艺流程中的各级产品。搜集的样品必须编好号码，并加以详细的文字说明。

## (二) 实验室研究阶段

这个阶段主要是在实验室中用矿相显微镜进行鉴定研究, 以及一些专门性的或辅助性的研究工作(如单矿物全分析, 激光显微光谱分析, 扫描电子显微镜的观察和分析, 电子探针分析, 红外光谱分析, X-射线结构分析, 差热分析, 同位素分析, 放射性测量等等)。以便对矿石的物质成分(矿物成分和化学成分)、矿物的共生组合、矿石的构造与结构、矿物晶粒的内部结构、矿化阶段和矿物的生成顺序、矿石的自然与工业类型和技术品级、

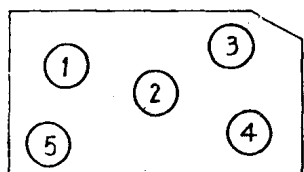


图 1-1 光片中作过研究位置的素描图

- ①作过电子探针分析的方铅矿;
- ②作过扫描电子显微镜能谱分析和拍摄过扫描电子显微照片的胶黄铁矿;
- ③作过结构浸蚀的黄铜矿;
- ④作过残余结构(黄铜矿交代闪锌矿)镜下素描图的位置;
- ⑤显微照象处(闪锌矿中的定向乳状黄铜矿)

矿石的工艺技术特性等进行研究。根据研究目的和方法的不同, 须将从野外采回的标本分别磨制成光片、光块(大光面)、无突起光片、光薄片和薄片等; 有时还须挑选出单矿物样品进行各种单矿物的测定分析。从选冶厂采回的样品一般是碎粒, 须用电木、火漆或其他胶结物质胶固后再磨制光片、光薄片或薄片。镜下或专门研究都应作出详细记录; 有意义的地方须拍摄照片或绘制素描图。切片都应有编号(最好使用快干油漆进行编号), 拍摄过照片或作过素描图或浸蚀过的位置或作过显微测试分析的位置都应标明(一般须用刻号器刻一圆圈)并绘在记录上(见图1-1)。这些原始资料(切片、报告单、记录簿等)和各种综合资料, 连同最后的“矿相学研究报告”等都要作为正式的地质工作文件资料提交领导机关检查、审核, 并作为技术档案妥善保存, 不可

紊乱和丢失。

## (三) 综合整理、编写报告阶段

这个阶段主要是综合一切野外(或现场)的和实验室的资料, 进行理论分析, 从而对所研究的内容作出确切的结论。最后编写出“矿相学研究报告”(报告书的内容和格式可参考附录一“矿相学课程作业”部分), 或将这些研究结果编写在矿床勘探报告书的有关部分中。

## (四) 检查审核阶段

由上级机关对所提交的“矿相学研究报告”进行审查。首先应对各种原始资料进行检查, 检查记录与切片是否一致, 鉴定是否准确无误, 各种编录和资料有无混乱现象。然后, 须审查所采用的研究方法是否正确有效; 实验室工作是否与野外地质现象和现场实际紧密联系; 所得结论是否有充分的野外(或现场)和实验室研究的根据; 结论与资料之间有无矛盾; 所得结论是否正确等等。最后对研究报告作出评价, 提出评审意见。如发现重大错误、遗漏和不符合要求之处, 应责成原负责此项工作的人员进行补充, 修改, 直至审查合格为止。

## 第四节 矿相学的现状和今后的主要发展方向

自五十年代, 特别是六十年代以来, 矿相学鉴定方法逐渐地从定性研究走向定量研究。矿相学理论, 特别是光学性质原理的解释有很大的发展。矿相学研究的辅助手段, 如测定矿物化学成分的显微物理分析法(如激光光谱、电子探针、离子探针法等), 已得到广

泛的应用。矿相显微镜的精度已大大提高，新型矿相显微镜的上偏光镜（分析镜）大都能作 $360^\circ$ 的转动，旋转角度已准确至 $0.1^\circ$ ，可用于各种旋转性质的精确测定；反射率测定仪器大都采用光电倍增管装置，使反射率的测量精度大大提高；所附的显微硬度测定装置也都更加自动化和精密化；所附的其他附件也大大增多；往往还附有显示影象的投影屏或彩色电视；个别型号的镜子甚至开始附上小型电子计算机。显然，数学、物理学、化学将继续向矿相学渗透；在研究测试仪器上将继续向着定量化、精密化、自动化、电子计算机化的方向迅速发展。

矿相学是一门发展较晚、较年轻的学科，由于吸收性晶体光学的现象、理论十分复杂，测试仪器的精度又要求很高，因此，还存在不少未被人们认识和发现的领域，还存在着不少有待解决的问题。因此，它具有广阔的发展前景。随着科学技术的迅速发展，数、理、化等基础学科的进一步渗透，相关学科理论及实验技术的发展和引用，以及新式测试研究仪器的日益精密，矿相学必将更加迅速地向前发展，更好地为我国的四化建设服务。

### 主要参考文献

1. 北京地质学院：矿相学，高等学校教材试用本，中国工业出版社，1961。
2. 中国地质科学院地质矿产所：金属矿物显微镜鉴定，地质出版社，1978。

## 第二章 吸收性晶体光学基本原理

### 第一节 光的偏振

#### 一、自然光

可见光波是由原子、离子或分子的外层电子发出的。外层电子获得能量（如热量、光波照射等）后跃迁至较高的能态，随即又跃迁回低态或基态，从而释放出能量而发光。

光是一种横波，其振动方向与传播方向垂直。普通的自然光（如日光、灯光等）是由大量外层电子发出的光波所组成。每个光波都有它自己的振动面。自然光（见图2-1）含有在所有平面内振动的光波，且在各平面内的振动几率相等。

#### 二、直线偏光（平面偏光）

凡严格地局限在一个平面（该平面叫振动面，由传播方向和振动方向所决定）内振动的偏光，称为平面偏光。平面偏光在垂直其传播方向平面上的投影是一直线，故又称为直线偏光（见图2-2）。

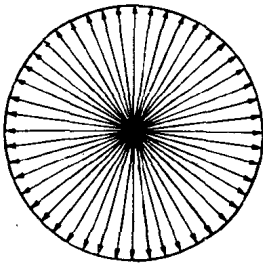


图 2-1 对着光线传播方向所看到的自然光的电矢量的振动情况（图中光的传播方向垂直纸面）

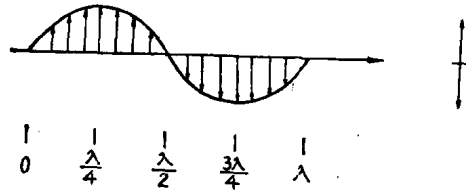


图 2-2 直线偏光的振动形式

直线偏光的电矢量局限在一个平面内振动，电矢量端点的轨迹是一正弦波。光的传播方向由左至右；图右的双箭头直线表示振动方向，双箭头之半为振幅

要完善地描写一个单色光波时，需要知道它的波长 $\lambda$ （图 2-3 的 $1'-1''$ ），振幅 $E$ （图 2-3 的 $3'$ 、 $7'$ 处的矢量），强度 $I$ ，周期 $T$ ，频率 $\nu$ 。位相或周相是指一个波长范围内各振幅端点的相应位置。位相以角度表示，如图 2-3 中 $1'$ 、 $3'$ 、 $5'$ 、 $7'$ 、 $1''$ 各端点的位相角分别为 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ 、 $360^\circ$ 或 $0$ 、 $\frac{1}{2}\pi$ 、 $\pi$ 、 $\frac{3}{2}\pi$ 、 $2\pi$  弧度。位相差或周期相差 $\delta$ 是两光波位相或周期之差，也用角度或弧度表示。光程差指速度大小不同的两光波之间相差的距离，通常用波长 $\lambda$ 来表示。周相差与光程差是可以互相换算的，即

$$\frac{\text{周相差}}{\text{光程差}} = \frac{2\pi}{\lambda}$$



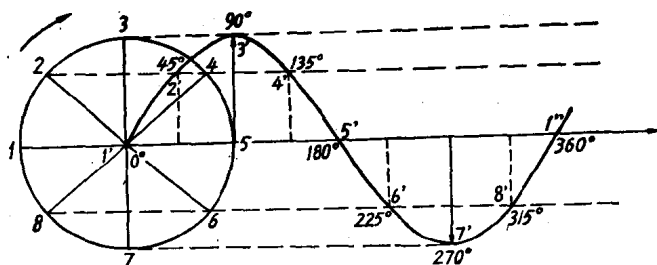


图 2-3 用电矢量变化表示单色光波的振幅和位相角  
电矢量端点的轨迹是一正弦波，光波的传播方向由左至右

### 三、椭圆偏光与圆偏光

椭圆偏光和圆偏光在垂直其传播方向的平面上，其电矢量端点轨迹的投影呈一椭圆和圆，故称椭圆偏光和圆偏光。椭圆偏光和圆偏光是由两个互相垂直的、同光路、同频率、具有一定相差（除 $0$ 、 $\pi$ 、 $2\pi$ ……以外）的直线偏光所合成的。

#### （一）椭圆偏光、圆偏光和直线偏光的数学表达式

两个向同一方向传播、频率相同、振动方向互相垂直，但初相 $\delta_1$ 和 $\delta_2$ 不同，即具有周相差的直线振动，可用下两式表示：

$$x = E_1 \sin(\omega t + \delta_1) \quad (2-1)$$

$$y = E_2 \sin(\omega t + \delta_2) \quad (2-2)$$

式中 $E_1$ 和 $E_2$ 分别为两直线振动的振幅； $\delta_1$ 和 $\delta_2$ 分别为两振动的初相； $\omega$ （弧度/秒）为角速度； $t$ 为时间。欲求合振动的轨迹，可按叠加原理把它们相加，并从两式中消去时间 $t$ （具体步骤为：1.用 $\sin\delta_2$ 、 $\sin\delta_1$ 分别乘 I、II 式后相减得 III 式；2.用 $\cos\delta_1$ 、 $\cos\delta_2$ 分别乘 II、I 式相减得 IV 式；3. III、IV 式分别平方后相加）得：

$$\frac{x^2}{E_1^2} + \frac{y^2}{E_2^2} - \frac{2xy}{E_1 E_2} \cos(\delta_2 - \delta_1) = \sin^2(\delta_2 - \delta_1) \quad (2-3)$$

这是椭圆方程式，椭圆的形状和相对位置，决定于坐标轴 $x$ 、 $y$ （即切面的两相互垂直的振动方向）的方位， $E_1$ 和 $E_2$ 的相对大小，和相差 $\delta = \delta_2 - \delta_1$ 的大小。

图 2-4 为不同相差时，同光路、同频率的两个互相垂直的直线振动的合振动的轨迹（合成电矢量端点的轨迹）。最普遍的振动形式是椭圆振动（椭圆偏光），而直线振动（平面偏光）和圆振动（圆偏光）乃是其特殊形式。

现在我们来研究几种特殊情况：

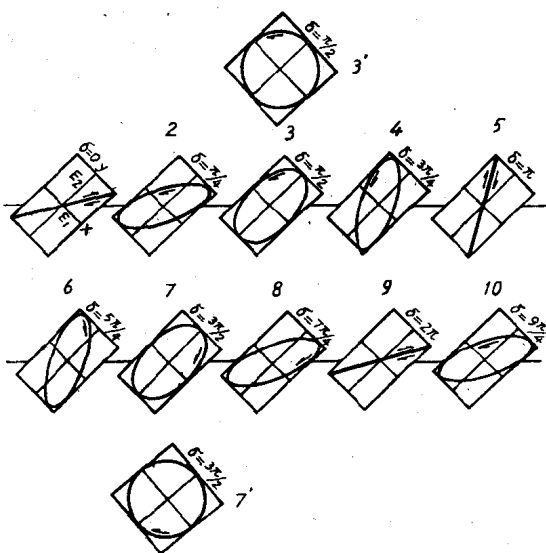


图 2-4 两个不同相差的、向同一方向传播的、频率相同的、互相垂直的直线振动的合成

图中 1、5、9 为直线偏光；2、3、4、10 为左旋椭圆偏光；3' 为左旋圆偏光；6、7、8 为右旋椭圆偏光；7' 为右旋圆偏光