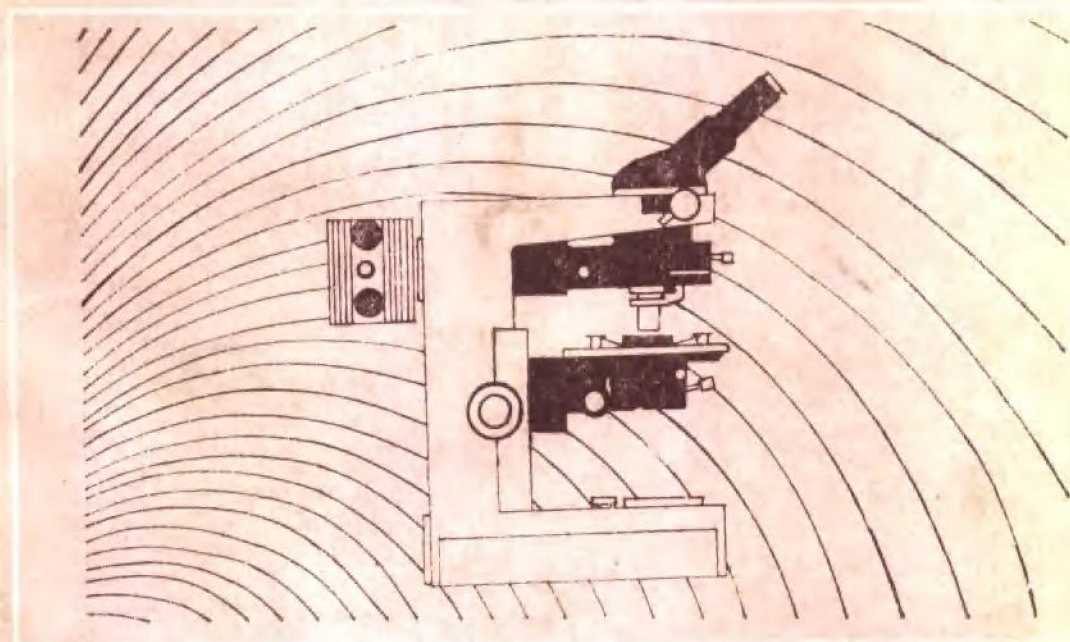


高等学校教材

矿相学

尚浚 主编



地质出版社

高等学校教材

矿相学

长春地质学院 尚浚 主编

地质出版社

内 容 简 介

本书是按“矿相学教学大纲”的要求，对矿相学的基本概念和基础理论作了较系统而简要的论述，并着重介绍了金属矿物显微镜鉴定方法、矿石的构造结构和矿物晶粒内部结构的特征及其分类、矿化阶段的划分和矿物生成顺序的确定准则，以及矿石工艺性质等内容。书中对较成熟的新理论、新方法已予纳入。

为培养学生独立鉴定能力，将矿物的综合性系统鉴定和简易鉴定单列一章，并附117种金属矿物的鉴定表；书中共有插图及照片近二百幅，每章附有实验作业，书后附有矿相学课程作业指导书和矿物索引。

本教材主要为地质类专业学生所编，也可供其它专业师生，金属矿床地质、找矿勘探和岩矿工作人员参考之用。

* * *

本书由邱柱国、魏绮英主审，经地质矿产部矿床学教材编审委员会于1985年11月召开的矿相学评审小组审稿，同意作为高等学校教材出版。

* * *

高等学校教材

矿 相 学

长春地质学院 尚 浚 主编

责任编辑：陈 磊

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：787×1092¹/₁₆ 印张：14³/₈ 字数：339,000

1987年5月北京第一版·1987年5月北京第一次印刷

印数：1—5,500册 定价：2.30元

统一书号：13038·教272

前 言

矿相学是地质类专业的一门专业基础课，它是金属矿床地质和找矿勘探工作人员必须具备的基本技能之一。矿相学是在学生学完结晶学、矿物学和岩石学等课程的基础上，与矿床学相配合学习的一门课程。

本书是按地质矿产部教育司审定的地质类“矿相学”教学大纲的要求，以长春地质学院一九八一年所编《矿相学》试用教材为基础，经多次修改重新编写而成。在编写过程中，参阅了中国地质科学院地质矿产所编著的《金属矿物显微镜鉴定》、邱柱国编《矿相学》、北京地质学院编《矿相学》及其它兄弟院校的“矿相学”教材等国内外有关书刊文献，吸收了近代的矿相学理论和测试方法等内容，并认真考虑和采纳了“矿相学评审组”以及各有关院校、科研生产单位提供的部分资料和许多宝贵意见。从而使本教材适宜于现代教学的要求。

书中对矿相学有关的基本理论在各章节中作了简要论述，并着重介绍金属矿物显微镜鉴定方法、矿石组分的分类、矿化阶段的划分和矿物生成顺序确定准则，以及矿石工艺性质研究等方面的内容。在文字方面，力求通俗易懂，便于学生及有关专业人员自学。

本书由长春地质学院矿床教研室尚浚主编，参加编写人员的分工如下：尚浚 绪论、第一至第十章；潘云泽 第十一章（附金属矿物鉴定表）及矿相学课程作业指导书；林金泉 第十二、十三章；杨连生 第十四章；全书由尚浚统一修改定稿。书中插图由苏雅稚绘制。胡平英、张渊、刘鸣及林正华等参加了整理、摄影和缮写工作。由于编者水平所限，缺点和错误在所难免，诚望读者不吝指教。

在编写、试用和修改过程中，得到地质矿产部教材编辑室、矿床学教材编审委员会的关心和指导。长春地质学院教材科及许多院校有关同志给予热情的支持和帮助。矿床学教材编审委员会先后两次评审了书稿，并提出了许多有益的意见。对此编者又作了进一步修改。上述单位和同志们对本书的出版付出了辛勤的劳动，谨致衷心的感谢。

编 者

一九八六年三月

目 录

绪论	1
第一章 矿相显微镜和光片的制备	6
第一节 矿相显微镜	6
第二节 光片的制备	15
第二章 吸收性晶体光学基本原理	17
第一节 光的基本概念	17
第二节 吸收性与吸收性晶体复数光学指示体	20
第三章 矿物的反射率	24
第一节 概述	24
第二节 反射率的测定方法	27
第三节 影响矿物反射率测定值的因素	31
第四章 矿物的反射色	33
第一节 概述	33
第二节 反射色的颜色指数	35
第五章 矿物的双反射和反射多色性	41
第一节 概述	41
第二节 双反射和反射多色性的观察方法与视测分级	42
第三节 影响双反射和反射多色性观察的因素	44
第六章 矿物的均质性与非均质性	45
第一节 概述	45
第二节 均质性与非均质性、偏光色、非均质视旋转角和旋向的观测方法	48
第三节 矿物均质性与非均质性视测分级和影响观察的因素	49
第七章 矿物的偏光图	51
第一节 偏光图的形成原理	51
第二节 观测方法及步骤	57
第八章 矿物的内反射	60
第一节 内反射的基本概念	60
第二节 内反射的观察方法和注意事项	61
第九章 矿物的硬度	64
第一节 概述	64
第二节 刻划硬度的测定	64
第三节 抗磨硬度的测定	65
第四节 压入硬度的测定	66
第十章 矿物的浸蚀鉴定	74

第一节	概述	74
第二节	试剂和工具	75
第三节	操作方法和注意事项	76
第十一章	矿物的综合性系统鉴定和简易鉴定	78
第一节	矿物的综合性系统鉴定	78
第二节	常见矿物简易鉴定	79
第三节	金属矿物鉴定表的编制原则和使用方法	79
第十二章	矿石的构造、结构和矿物晶粒内部结构	152
第一节	概述	152
第二节	矿石的构造	153
第三节	矿石的结构	161
第四节	矿物结晶颗粒的内部结构	169
第十三章	矿化期、矿化阶段和矿物的生成顺序	196
第一节	矿化期	196
第二节	矿化阶段	197
第三节	矿物的生成顺序和世代	198
第四节	矿物生成顺序图表的编制	200
第十四章	矿相学在矿石工艺性质研究方面的应用	204
第一节	概述	204
第二节	矿石的组成矿物及其含量测定	204
第三节	矿石中元素赋存状态的考查	207
第四节	矿石中矿物的解离性研究和嵌布粒度测量	208
附录一	矿相学课程作业指导书	217
附录二	矿物索引表	220
	主要参考文献	223

绪 论

一、矿相学的概念及研究内容

矿相学主要是用矿相显微镜研究金属矿石的一门地质学科。其研究领域包括金属矿物学 (ore mineralogy) 和矿石学 (ore petrology)。矿相学的主要任务是:

1. 鉴定金属矿物 以矿相显微镜为主要手段研究金属 (不透明) 矿物的光学、物理、化学性质和形态特征等, 借以鉴定矿物。
2. 研究矿石的组构特征 研究矿石的构造、结构特征和矿物组合及其所提供的成因信息, 以分析、判断矿床的矿化条件、矿化作用和矿化过程。从而为研究矿床成因和进行找矿勘探提供依据。
3. 研究矿石的工艺性质 查明矿石中有益和有害元素的赋存状态、有用矿物和组分的含量, 矿物的嵌布特性与镶嵌关系, 以及矿物的“物性差”等矿石工艺性质, 以便为矿石的选、冶设计提供依据。

由上可知, 矿相学是一门主要为矿床学、找矿勘探方法和矿石工艺学服务的学科。同时它也必须运用上述学科的知识及研究成果, 来加强和丰富自身的研究内容。此外, 矿相学还与其它自然科学学科和技术科学有着极为密切的关系, 它必须运用数学、物理学 (特别是光学和固体物理学)、化学等自然学科的基本理论、概念和方法; 同时还必须利用结晶学、矿物学、成因矿物学、岩石学、地球化学、物理化学和胶体化学等学科的知识、实验技术和测试手段, 来促进和扩大矿相学的研究深度。

二、矿相学的研究意义

1. 在研究矿床成因方面的意义 矿石的研究是矿相学的主要任务。因为矿石是组成矿床的基本物质, 是成矿作用的最终结果。它能反映矿床形成时物理化学条件和成矿作用的过程, 所以通过对矿石的矿物成分、化学成分、矿物组合及矿石组构的研究, 可为查明矿床的成因提供重要依据。基于上述研究, 可以具体地帮助分析含矿溶液的性质、成矿方式、成矿的温度和深度、矿化在时间和空间上的演化、矿化强度的变化以及成矿物质来源等问题。例如, 在许多气水-热液型金属矿床的矿石中, 常见有硫化物溶蚀交代脉石英的现象, 这表明在矿化作用的中晚期, 溶液变为碱性, 因为石英在碱性溶液中不稳定而被溶蚀。根据岩浆矿床中铬铁矿矿石的豆状构造和铜镍硫化物矿石的滴状构造, 即可推断在岩浆成矿过程中经历了岩浆熔离作用。具梳状矿石构造的矿脉, 说明其成矿方式主要是充填作用。关于成矿温度和成矿物质来源的推测, 以北京某变质铁矿床为例, 该矿床产于以角闪斜长片麻岩-麻粒岩为主的太古代地层中, 矿体多呈透镜状和似层状, 矿石具条带状、片麻状、皱纹状及块状构造, 矿石矿物以磁铁矿为主, 矿石类型为磁铁石英岩型, 其成因有火山-沉积受变质和沉积变质之争。经矿相学研究发现, 铁矿石中有磁铁矿-钛铁矿及钛铁矿-钛赤铁矿固溶体分离结构, 上述结构为岩浆型钒钛磁铁矿矿床中所常见, 其在区域变质铁矿中出现, 说明该矿床的成矿物质来源于火山, 而非正常陆源沉积。因为正常沉积铁矿床中 TiO_2 含量极低, 但火山作用形成的磁铁矿中含量则可高达百分之十几。当火山

物质喷溢到地表时，由于温度骤然下降，钛铁矿不能从固溶体中分离出来，而只能呈均匀的类型同象混入物状态暂时被保存下来。在区域变质作用条件下，可使火山沉积物中钛磁铁矿、或重新组合的钛、铁固溶体矿物，由于温度缓慢下降，固溶体得以分离，从而形成了格状和叶片状固溶体分离结构。通过上述各例，不难理解矿相学是研究矿床的基本手段之一，它对矿床成因的研究有着极其重要的意义。

2. 在指导找矿勘探工作方面的意义 欲对矿床作出正确的评价和指出正确的找矿勘探方向，必须认真地进行矿相学研究。如闽西南马坑式铁矿，主矿体赋存于一定的层位，矿体呈层状及似层状，规模大、层位稳定，应属“层控”矿床。但由于后期岩浆活动对其不同程度地改造及矿化叠加，而使其大部分矿体具有矽卡岩和热液矿床的特点和外貌。因此有人认为该矿床属接触交代成因。当时曾按接触交代型铁矿床的形成规律去找矿和勘探，但效果不佳。后来结合成矿的地质条件，进行了矿相学的研究工作，从而对矿石的物质成分及构造结构，做了进一步的分析与观测，结果查明不仅矿石矿物种类较单一（以磁铁矿为主），而且还发现了不少残余的、原始沉积的条带状、层纹状与变胶状或变余鲕状构造矿石。这些磁铁矿矿石的构造，无疑属典型的沉积-变质构造。此外，从磁铁矿中的微量元素来看，Ti、V、Co、Ni、Cr的含量很低，Cl、F、Ge、Ga的含量较高，也说明是沉积成因的。从而以沉积-受（热）变质“层控”矿床的认识来考虑该类型铁矿的找矿与勘探，是合理而有效的。又如银头山银铅锌矿床，最初认为仅是一个以铅锌为主的矿床，所以只注意对富铅的勘探。以后由于加强了矿相学的研究，从而发现其中有多种银矿物（深红银矿、银黝铜矿、黑硫银锡矿及辉银矿等），而且品位较高，其经济价值远高于铅锌。因此，在进一步的勘探后，查明该矿床不仅仅是一个铅锌矿床，而且还是一个大型银矿床。

3. 在指导矿石工艺方面的意义 对矿石进行矿石工艺性质研究，也是矿相学研究的主要内容。因为矿石除极少数可以直接利用外，大多数须经矿石工艺处理，即通过碎矿、磨矿和选矿把有用矿物富集起来，并除去有害杂质，然后进行冶炼；因此，就需要选择既有效又经济可行的选冶方法和流程。这项任务要通过矿石的工艺性质研究来提供依据。只有加强矿石工艺性质的研究才能避免矿石工艺工作中的盲目性，从而有效合理地利用国家矿产资源。例如某钒钛磁铁矿矿石，在高炉冶炼中出现因炉渣高度粘稠，铁、渣不能分离而堵塞出铁口的情况。经矿相学研究后，查明磁铁矿中除了有大量的由固溶体分离作用形成的粒状和片状钛铁矿外，还发现普遍含有微细片状、粒状的钛铁晶石。这些钛矿物在高炉中形成高熔点的碳化钛和氮化钛微粒，因其大量存在于炉渣中而使炉渣极为粘稠，并使渣、铁难于分离。钛铁晶石粒度只有几微米，若欲利用选矿手段使钛、铁矿物分离，而获得钛含量低的铁精矿，则需采用超细磨法。然而超细磨不但会使矿石泥化、难于用机械方法分选，而且将大大增高了工艺费用。因此，对磁铁矿中的这些细微钛矿物不能用选矿手段去解决，只可设法在冶炼过程中回收，而达其综合利用目的（邱柱国，1981）。

矿相学的研究不仅要在矿石工艺加工开始之前提出合理方案，而且还须在其全部工艺流程中不断进行其产品考查，帮助不断改进选冶方法和流程，提高经济效益和保证产品质量。

由于过去在不少地质勘探报告中缺乏对矿石工艺性质的研究，致使设计部门难于进行设计，往往必须重新采样，重作矿石工艺性质的研究工作，因而延缓了国家建设的计划进

度。这方面的教训必须汲取。

三、矿相学研究的一般工作步骤

矿相学的主要内容包括研究矿石的矿物成分、矿物组合及组构特征等。它是密切结合矿床学研究的综合性工作。因此它包括野外工作、室内研究、综合整理和检查审核四个阶段。

1. 野外研究工作阶段

在野外工作阶段，首先应占有尽量多的原始资料。在了解研究区域及矿床地质概况的基础上，选择一些矿化露头、探槽、掌子面、坑道壁和岩心进行观察与地质编录工作。这项工作包括在野外用肉眼及其它简易方法鉴定矿石及近矿围岩的矿物成分，用肉眼和放大镜研究矿石的组构，初步按成分及组构划分矿石类型、确定矿化阶段及各阶段产物在空间上的分布关系。在进行上述工作的同时，需采集一些供进一步研究用的矿石及围岩标本。采集原则是：

(1) 矿床中不同矿体、不同地段、不同部位有代表性的系统标本，如果把这套标本按照原来的空间位置摆好，就相当于该矿床的缩影。

(2) 具有特征意义的标本，即采集各种矿物（矿石矿物和脉石矿物、原生矿物和次生矿物，不同矿化阶段和不同世代的矿物），典型结构构造、典型矿物组合、各种不同矿石类型和能反映各矿化阶段关系的标本。

上述第一套标本的采集要按照一定间距（按矿床规模和矿床地质复杂程度灵活掌握）进行，一般沿矿体走向较稀，沿倾向较密，沿厚度应最密；第二套标本的采集可不受采样间距的限制。两套标本都必须把采集位置标在图上，并尽量绘制采样点的素描图或拍摄照片。

2. 室内研究工作阶段

室内研究阶段的任务是进行显微镜下的鉴定和研究，并从事一些其它专门性的研究（如单矿物化学分析、电子探针分析、X射线分析、红外线吸收光谱分析、同位素分析及放射性测量等），以资对矿石的矿物成分和化学成分、矿物组合、矿石类型、矿石的工艺特性等有深入的了解。

根据工作任务、研究目的和方法的不同，可将所采集的标本制成下列试样：

磨光块：可将矿石有意义的一面加以磨光，制成长10cm、宽7cm或更大一些的磨光块，可直接进行肉眼观察研究，也可用放大镜或放在矿相显微镜下观察。从磨光块上不仅能看到较清楚的矿石组构，而且是研究和划分矿化阶段的主要标本。

磨光片：简称光片，一般为长3cm、宽2cm的长方形矿石光片，是矿相显微镜下研究的主要标本。

透明磨光片：当矿石中有透明或半透的金属矿物时，或为了准确地鉴定那些与金属矿物有连生关系的脉石矿物，则需要磨制透明磨光片。它既可在反光下研究，也可在透光中观察。其外形与岩石薄片相同。制做方法是把切得相当薄的光片磨光后将光面粘在玻璃片上，然后磨背面至0.03mm厚；再将此面（背面）粘在另一载物玻璃片上，最后用微火烤化移去玻璃片露出原光面即可。

岩石薄片：是为了精确地鉴定矿石中的透明金属矿物和脉石矿物、围岩及围岩蚀变矿物时用的。

砂光片：重砂中的单矿物，碎矿的各级产品，选矿的各种精矿、中矿和尾砂，则需用电木或其它胶结物胶固起来，然后磨制成光片即为砂光片。

各种选用的标本制成切片后即可进行镜下研究工作。镜下研究必须与手标本及野外资料（如各种素描图、照片等）的研究配合。镜下研究的程序是：

- （1）精确地鉴定出矿石中的全部矿物（金属和非金属矿物）；
- （2）查明矿石的构造、结构、确定矿化阶段和矿物生成顺序；
- （3）进行结构浸蚀及用偏光法观察矿物的内部结构；
- （4）测定矿物颗粒大小及含量；
- （5）在偏光显微镜研究薄片的配合下，查明矿石矿物与脉石矿物间的关系。

3. 综合整理研究阶段

将显微镜下研究的结果和综合研究（野外和室内其它方面的分析研究结果）的材料，编写出矿相学综合研究报告书。报告书中须阐述如下几方面的问题：

- （1）区域地质概况；
- （2）矿床地质特征，矿体的形状、产状、规模大小及赋存规律；
- （3）矿石类型、矿物成分及化学成分；
- （4）矿石的组构特征，矿石的矿化期、矿化阶段和矿物的生成顺序，并编制矿化阶段及矿物生成顺序图表；
- （5）矿石在矿床中的空间和时间方面的演化特点及其规律，提出确定矿床成因的依据；
- （6）矿石中有益、有害组分（或矿物）的赋存状态及含量，确定矿石类型，提出工业利用的可能性；
- （7）根据矿石的矿物组合、颗粒大小和嵌布、嵌镶情况，提出矿石工艺加工的方案。

4. 检查审核阶段

检查审核工作是由上级机关负责进行的，任务是对所提交的“矿相学综合研究报告书”审查和讨论。先是对各种原始资料进行复核审查，检查记录与切片是否一致，光薄片的鉴定是否准确，各种编录的完整程度等。其后审查所采用的研究方法，野外地质现象与室内工作的联系程度、结论的依据及正确性等。如上述项目有问题、错误和遗漏之处，必须令其补充、修改直至重作。这个阶段的工作已往常被忽视，因而给国家的经济建设造成了一定损失，故不能忽视和草率从事。

四、矿相学的现状及发展方向

矿相学的发展历史与其它地质学科相比，是一门发展较晚，较年轻的学科。然而近二十年来，无论是在理论方面（特别是对光学性质原理解释），还是在测试方法和手段上都有很大的进展。由于配合矿相学中光学性质及其它物理性质的定量测定和矿石组构分析而研制的仪器，如光电倍增管光度仪、自动显微硬度计、自动定量图象分析仪和新型矿相显微镜等被广泛应用，从而可对金属矿物显微镜下的光学特性、及其它物理性质和矿石各组分的量比关系得出精确数值。这些参数中的反射率、反射光谱曲线、矿物反射色颜色指数、各种旋转性质和显微硬度的精确定量值以及矿物几何特性等，都为矿物鉴定、矿石组构分析和矿石工艺性质研究提供了确切的依据。因此为矿相学深入研究及应用创造了有利

条件，从而使其在我国的矿床学研究、找矿勘探和选矿冶炼中发挥了应有的作用，而且愈来愈受到地质和矿冶部门的重视。然而，由于矿相学是一门较年轻的学科，还存在不少未被认识和发现的领域，还存在着一些有待解决的问题。但随着现代科学技术的发展，数学、物理学、化学的继续渗透，矿相学领域中的若干理论问题必将进一步被充实和深化。对金属矿物鉴定及研究方面，在研制测试仪器上将继续向着微粒、微区和定量化、精密化、自动化和电子计算机化的方向迅速发展，以致达到快速自动地鉴定金属矿物。在矿石组构的研究中，要与近代成矿理论及成岩成矿实验相结合，从而使其研究工作走向实验化定量化。对矿石工艺性质研究方面，也须和先进的选冶技术相协调配合，不断完善，以求获得最大的效益。综上所述，矿相学必将为祖国的社会主义四化建设作出更大的贡献。

第一章 矿相显微镜和光片的制备

第一节 矿相显微镜

一、概述

矿相显微镜亦称反射偏光显微镜或矿石显微镜，它是矿相学研究工作的基本工具。近几十年，在矿相显微镜的研制上做了多方面的改进，其光学性能已有了很大的提高。从而使矿相学工作者能确切地观测到更多的光学性质。同时为了定量测试不透明矿物的物理、光学性质而设计的几种光学仪器 and 显微镜附件亦已被广泛应用，因此为矿相学的研究创造了有利条件。

矿相显微镜实际上是由一台偏光显微镜加一套“垂直照明系统”组成（图1—1）。旧式矿相显微镜的“垂直照明器”多半固定在显微镜筒的下端，而新型的则能任意装卸。装上垂直照明器后可作反射光观察用，卸下“垂直照明器”，装上物镜更换器和透光观测用物镜，则可作透射光下观察之用。

二、矿相显微镜的结构及附件

矿相显微镜的镜体与一般偏光显微镜（岩石显微镜）基本相同；若所用光源和垂直照明器不连在一起时，则物台须能升降以便调整焦距（参看图1—10）。下面将矿相显微镜的主要部件作一简要介绍。

（一）垂直照明器

垂直照明器附以光源即构成完备的垂直照明系统。在垂直照明器中应具备下列基本部件（图1—1）。

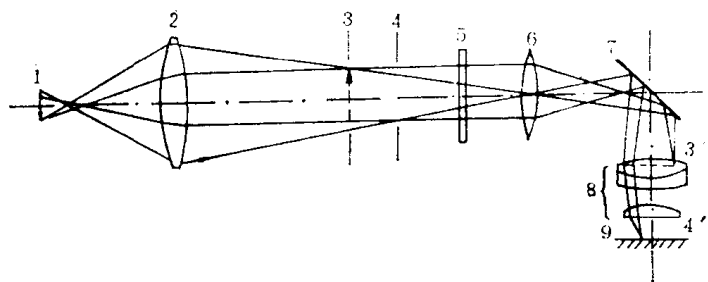


图 1—1 矿相显微镜垂直照明系统光路示意图

1—光源；2—聚光透镜；3—孔径光栏；4—视野光栏；5—起偏镜；6—视野透镜（校正透镜）；7—反射器；
8—物镜的透镜系统；9—光片；3'—孔径光栏的象；4'—视野光栏的象；1—7构成垂直照明系统

1. 孔径光栏

也称孔径光圈，是位于光源透镜之后可任意开缩的虹膜式光圈，它用于控制入射光束直径大小、影像反差强弱及物镜的有效孔径。当将其缩小时，入射光束直径相应变小，故

视域亮度也随之减弱；但可形成较为垂直的入射光，且由此使有害的杂乱光线减少，从而增高影像反差使之清晰；然而物镜有效孔径减小，使分辨率会因此而降低。所以孔径光栏应调节适宜，其调节法见后。

2. 起偏镜

也称前偏光镜，现多用偏振片制成，其作用是使入射光成直线（平面）偏光；应能自由旋转至少 90° 为宜，并能锁紧更佳。观测矿石光片时，应使其振动方向为东西向（水平振动），因为这样经反射器向下反射的光强比其成南北向（直立振动）位置时为大。

3. 视野光栏

也称视域（野、场）光圈，它一般也是由活动叶片构成的虹膜式光圈，其功能是用以控制视野（域）大小，挡去有害杂乱反射光射入视野，而便于提高所观测矿物影像的清晰程度，以利对其精细研究。一般观察时，可将此光圈调至与视野边缘重合即可，不宜再大，以免更多的杂乱光线投进视域中。

位于视野光栏后方，通常装置一个由二、三片透镜组合而成的视野透镜（又称校正透镜或消色差透镜），它可前后移动，但也有固定不变的，其作用是将视野光栏之象准确校正正在矿物光片上，从而使视野中的影象清晰。

4. 反射器

是垂直照明器中最主要的部件，其作用是将水平入射光垂直向下反射。反射器最常用的有玻璃片和棱镜两类，另有一种是新型的史密斯反射器。下面将三种反射器加以介绍：

(1) 玻璃片反射器 该反射器是在垂直照明器内装置一个以 45° 倾斜的玻璃片而成（图1—2）。玻璃片的反射面通常镀有一层高折射率物质（如硫化锌或氧化铋等）透明薄膜，以便增高其反射能力。同时为了增强光线透过它而向上的透射能力，又在玻璃片的上表面镀有低折射率物质（如氟化镁）的增透膜。由图1—1，1—2a可看出，入射光线射至反射玻璃片上，一部分光线透过玻璃片而损失，另一部分光线被反射向下通过物镜至矿物光面上；当由矿物光面向上反射再次遇到玻璃片时，部分光线被反射转向光源而损失，另

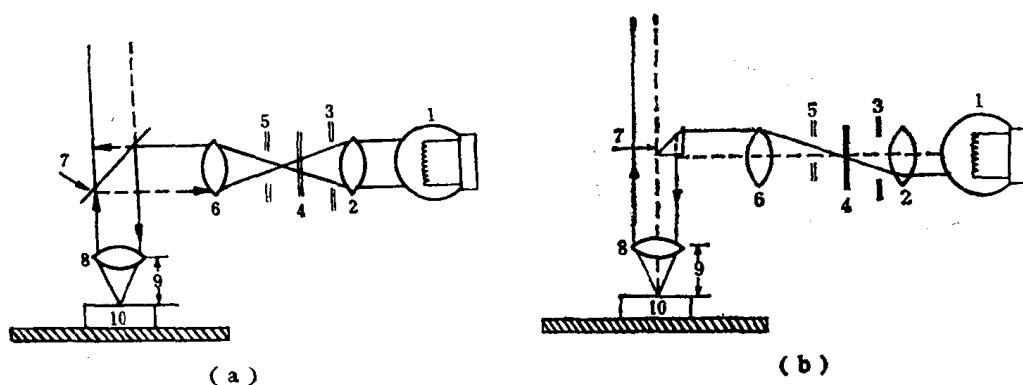


图 1—2 玻璃片反射器 (a) 和棱镜反射器 (b) 及其反光原理示意图

1—灯泡；2—聚光透镜；3—孔径光栏；4—起偏镜；5—视野光栏；6—视野透镜；7—反射器；8—物镜；9—自由工作距离；10—光片

一部分透过玻璃片至目镜。照明光线由光源入射后经玻璃片两次反射，到达目镜的理论最大光强为入射光强的21—22%（设光片的反射率为100%）。由此可知玻璃片反射器主要的缺点是反射能力弱，即入射光损耗大、视野中亮度低。但玻璃片反射器的优点是：光线可

以通过物镜的全孔径，故分辨能力较高，视野中亮度均匀，所以观测偏光图时必须用它，而且由于它能获得较为垂直的光线，故反射率测定时也要用这种反射器；此外，显微摄影用它可拍出亮度均匀的照片。

(2) 棱镜反射器 全反射棱镜反射器是以直角三棱镜代替玻璃片(图1-2b)。入射光线被棱镜全部反射向下；但由于棱镜的大小不超过镜筒内径的一半，因必须留出一半空间作为反射光线向上的通路，所以射向目镜的光强最大不超过50%，故视野亮度比用玻璃片反射器时高得多。棱镜反射器有两种，旧型的显微镜多用普通直角三棱镜，其主要缺点是当入射光为直线偏光时，因光束不完全平行(斜射光)，则被棱镜反射后会 使部分反射光成椭圆偏光，从而影响对光学性质的精确观测。

新型的矿相显微镜都采用三次全反射补偿棱镜(图1-3)。三次全反射棱镜玻璃的折射率必须是 $N = \sqrt{3} = 1.73$ ，这样全反射一次所造成的周相差为 60° ，经三次全反射后总的周相差当为 180° ，仍是直线偏光。

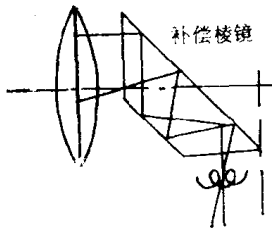


图 1-3 三次全反射补偿棱镜

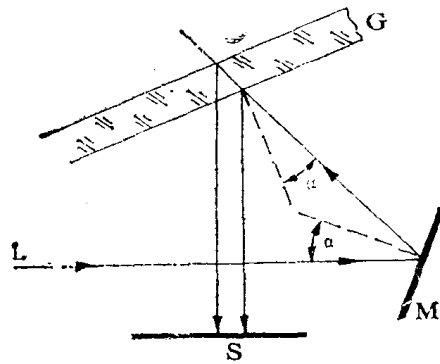


图 1-4 史密斯反射器

总之，棱镜反射器光线损耗比玻璃片少，因而视野较明亮。同时，有害的杂乱反射光也少。由于入射光是略倾斜地照射在矿物光片上，所以视野中反差比较鲜明，影像显得清晰。但由于它射向目镜的光线不够均匀，故视野中略有半明半暗的现象(若用中、低倍物镜时，此缺陷则不明显)。又因棱镜挡住物镜一半孔径，仅能看到半个偏光图，故不适合观测偏光图用。

(3) 史密斯反射器 史密斯(Smith)反射器为二次反射结构，即由反光镜和反射玻璃片两部分组成。其构造如图1-4，入射光经反射镜M反射到镀膜的玻璃片G上，被G再反射垂直向下射入物镜至光片S上。由光源射至反射镜M的光线的入射角 α 为 22.5° ，而反射镜至玻璃片上的入射角也是 22.5° 。反射镜由玻璃片镀铝制成，反射玻璃片的折射率为1.52，在其下表面镀 $N = 2.45$ 的氧化铋(Bi_2O_3)膜，以增强反射率，其上表面则镀 $N = 1.38$ 的氟化镁(MgF_2)膜以减少内反射而增强透射。

该反射器除具有玻璃片反射器的优点外，它由于垂直入射面和平行入射面的偏光的透射和反射光强差别小，所以可大大减少玻璃片的反射和透射旋转。

(二) 照明设备

1. 光源

矿相显微镜一般常用钨丝白炽灯和卤钨灯做为光源。部分研究用显微镜还配有汞灯、钠灯、钡灯或氙灯。

(1) 白炽灯 钨丝白炽灯是矿相显微镜较常用的光源。其优点是光源较强而稳定，并易于调节。灯泡最好用密集灯丝的灯泡，因其光源较集中，亮度较大。灯的安装有两种方式，一种是将灯固定在垂直照明器上，调焦时随之升降；另外一种是不与垂直照明器连接，按在专用的灯座上，使用时垂直照明器与灯调至同一高度，以升降物台使之准焦（图1—10）。白炽灯泡直径一般不大于4cm，所用电压6—12V，功率3—30W，亦有达100W者。由于它们是低压灯，所以需附变压器，变压器的输出功率视灯泡的功率而定；变压器须与照明灯配套使用，有的组装在镜座内。

白炽灯的主要缺点是发光效率低，因百分之九十以上的电能都变为热能而损失。同时低压白炽灯泡寿命较短（一般20h左右）。

(2) 卤钨灯 为了提高发光效率同时又延长灯泡寿命，五十年代末期研制出了卤钨灯。它是在装有钨丝的石英玻璃壳内充入一定量的卤族元素（溴或碘）或其化合物而成。

灯丝在点燃时，蒸发的钨沉积在石英玻璃壳上；只要温度高于200℃，溴（碘）蒸气就和玻璃壳上的钨化合，而形成溴（碘）化钨蒸气在灯内扩散。当扩散到灯丝周围1400℃以上高温区时，又分解为卤与钨蒸气，钨又重新粘在钨丝上。如此形成卤钨化学循环。由于这种循环使钨灯丝不至于因迅速蒸发而损坏，故可大大提高钨丝温度以增加发光率，同时也大大延长了灯泡的寿命。

近代矿相显微镜大多采用点光源卤钨灯（图1—5）。灯泡用石英玻璃作外壳，比普通白炽灯泡小，灯丝发光部分近似点状。目前常用的是12V，50W和100W的溴钨灯泡。

上述两种光源发出的光都带有黄色，所以必须在灯泡前加一深浅适宜的蓝色滤光片（器），使入射光近于白色。

2. 滤光器

用上述光源除必备蓝色玻璃滤光器外，为了一些特殊的用途（如测定矿物的反射率和非均质视旋转角 A_r 等），则需要单色光源。单色光源主要有单色仪和干涉滤光器两种。除单色仪外，大多采用简易方便的干涉滤光器。由于一般玻璃滤光片的单色性很差，光谱组成复杂，现在已基本被淘汰；而干涉滤光器的透射光波段范围较窄（半宽度较窄）、单色性高，故被广泛采用。

干涉滤光器是两片平行、二内表面镀有半透明银膜或铝膜的光学玻璃片，中间夹一层厚度约为规定的透射波长之半的透明的电介质而成。入射光线在二内表面之间多次反射、经干涉后形成单色光透出玻璃。其性能决定于三个常数：i. 透射光峰值位置；ii. 峰值的透射率及透射带的透射率；iii. 透射带半宽度 HW ，即峰值高度一半处的透射宽度，半宽度可控制在10nm左右，它可经过计算、设计各种波长和不同半宽度的滤光器。干涉滤光器的单色性良好、孔径大、进光充足。

由于国际矿物协会所属的矿相学委员会（COM）规定，每一矿物至少需测定470、546、589、650nm等四种波长的反射率。所以这四个波长的滤光器是必备的。

(三) 接物镜

接物镜通称物镜，它是由多片形状不一的透镜组成的一个光学放大系统。每个物镜都具有两种最基本的特征，即放大能力和分辨能力。物镜按放大倍数可分为低倍（放大数

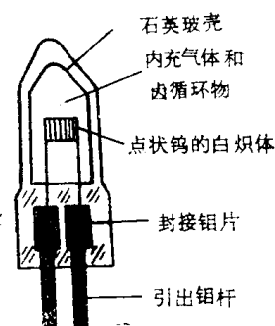


图 1—5 点光源溴钨灯泡

倍) 镜、中倍镜 (放大十至二十倍左右)、高倍镜 (放大二十倍以上)。

1. 物镜的分辨率

分辨能力是指分辨细微结构的能力, 也就是使观察对象细微结构特点表现出来的能力。它常以分辨率 l 来表示, 分辨率是指物镜能分开两个点 (或两条平行线) 之间的最短距离。例如用某物镜观察时, 能够把距离为 $0.4\mu\text{m}$ 的两个点分开, 而不能将 $0.3\mu\text{m}$ 间距的两点分开。故 $0.4\mu\text{m}$ 就是此物镜的分辨率 (分辨限度)。

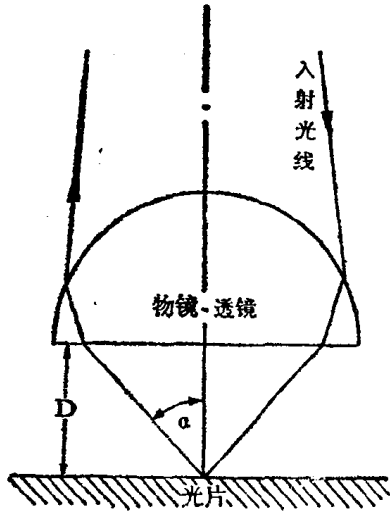


图 1-6 接物的孔角 (孔径角)

物镜的分辨率除与物镜的各种象差有关外, 更主要的是决定于物镜的“数值孔径 $N \cdot A$ ”。而 $N \cdot A = N \cdot \sin \alpha$, α 为物镜前透镜与光片上焦点间之光锥角即孔角的一半 (图 1-6)。

$$l = 0.61 \frac{\lambda}{N \cdot \sin \alpha}$$

N ——为物镜和光片间观察介质的折射率。

λ ——为观察时所用光波的波长。

从上面公式可知, 物镜的数值孔径 $N \cdot A$ 越大分辨率越小, 即分辨细微结构能力越强; 入射光波的波长越短, 分辨率 l 也越小。因此欲增强物镜分辨能力 (即欲 l 变小时) 主要须使数值孔径 $N \cdot A$ 增大。实际上高倍物镜的最大孔角为 144° 、即 $\angle \alpha$ 为 72° , 因此在空气介质条件下, 最大数值孔径 $N \cdot A = 1 \times \sin 72^\circ = 0.95$ 。在以油浸 (香柏油 $N = 1.515$) 为介质时, $N \cdot A = 1.515 \times \sin 67^\circ = 1.40$ 。所以数值孔径最大不超过 1.40。在物镜上一般都刻有数值孔径的数值 (0.05—1.4)。欲观察极细微的现象时, 可选择高数值孔径的油浸物镜。必须提出的是, 反光用物镜还存在透镜界面的耀光, 这种耀光也影响分辨率, 故物镜的分辨率不能只以数值孔径为唯一标准。

还应当指出的是必须把分辨能力与放大倍数分开, 二者并不完全成比例关系, 也就是说, 并非物体放得越大细微结构就愈清晰。因为如果不增大分辨能力, 只增大放大倍数, 其结果会使影像模糊不清, 所以是无用的“空放大”。由此可知, 显微镜的性能主要决定于分辨能力或分辨率, 而不是以单纯的放大能力为准。

物镜上一般都刻有放大倍数和数值孔径。放大倍数有的用符号“ \times ”表示, 如 $10 \times$ 即 10 倍。通常都省去“ \times ”号仅刻上数字; 也有不刻放大倍数而刻焦距 F 或 mm , 如 $F5.2$ 表示焦距为 5.2mm 。数值孔径通常用“ $N \cdot A$ ”表示, 而在物镜外壳上一般直接刻写数字, 如“ $10/0.20$ ”表示放大 10 倍, 数值孔径 0.20。

2. 透镜的像差及其校正

单透镜放大成的像, 一般是畸形的或带色边的。这种现象是由于透镜有各种像差引起的。任何一个或一组透镜在造像时, 由于透镜本身光学条件的缺陷而使物像发生种种异常, 这些引起异常的作用统称之为像差。

像差包括有球面像差、纵向色差、横向色差、慧星像差、像散、像场弯曲和畸变等。而以前两种像差表现较为突出。

(1) 球面像差 球面像差简称球差。由图 1-7 可看出自无限远处射来的平行光束通

过凸透镜后，不是聚焦于一点（即透镜的焦点）；而是聚焦在多个点上。图中所示，三对光线聚成三个焦点，愈近光轴的光线折射愈小，因此焦点就离透镜远一些；而愈近透镜边缘的光线折射愈强烈，所以焦点距透镜就愈近。由于产生这种现象的原因在于透镜表面是球面，故称球面像差。因这种像差的影响，当升降镜筒使中心部分成像清楚时，则边缘部分不清晰；若使边缘清晰时，则中心部分就模糊。其校正方法是用折射率不同的光学玻璃经过计算后，制成正（凸）、负（凹）透镜组合在一起，使两种透镜所形成的球差相反而抵消，以此来改正透镜的球差；但一般改正并不彻底，都还残存一些球差。

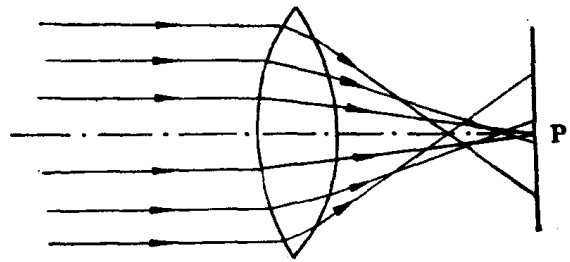


图 1—7 球面像差
P—屏幕

(2) 色像差 色像差也称色差，由于玻璃对不同波长色光有不同的折射率，因此白光通过透镜后不能聚焦于一点，即产生了色差。色差有纵向与横向两种，前者影响较大，纵向色差的产生如图1—8所示。由点状物体射来的白光穿过透镜后，蓝光折射最强，聚焦于a，绿光聚焦于b，红光聚焦于c，因此物体影像必然不清晰。

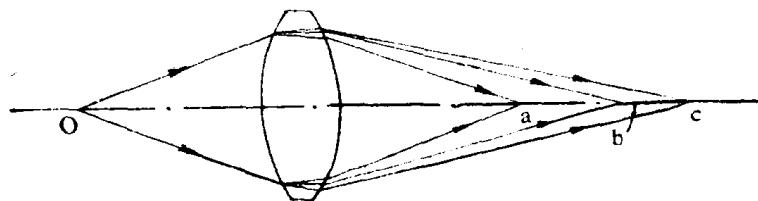


图 1—8 纵向色差
a—蓝光焦点；b—绿光焦点；c—红光焦点

纵向色差会使物体影像产生虹状的彩色边缘，因此必须改正。一般与球差同时改正，即用折射率和平均色散系数不同的玻璃经过计算后，制成正、负透镜组成，就可以同时改正大部分球差和纵向色差。这种组合制成的物镜叫消色差物镜和复消色差物镜。

3. 物镜的种类和识别

物镜除按数值孔径和放大倍数分类外，由于用途不同其类型繁多。现仅将矿相显微镜的物镜就其性能与用途简介绍如下：

(1) 按所用的观察介质不同分为干燥（空气、干）物镜与浸没（油、水浸）物镜。干燥物镜观察介质为空气；浸没物镜最常用的是油浸物镜，介质为不易腐蚀镜头的香柏油（ $N=1.515$ ），其标志是在物镜金属框前端有一色圈（常为黑色）并刻有“Oil”、“Oel”、“imm”或“ПММ”等字样。油浸物镜因数值孔径 $N \cdot A$ 较干燥物镜大，故分辨能力强，且易于观测矿物的双反射、非均质性和内反射等光学性质。

(2) 根据象差校正程度，可将物镜分为消色差物镜、复消色差物镜、半复消色差物镜和平像物镜。消色差物镜是使可见光中的红光与蓝光聚焦于一点，而黄绿光则焦于另一点（靠近红蓝光的焦点）。所以基本上校正了上述色光的色差与球差，但对其红蓝光以外的各种色光间色差未予校正，消色差物镜一般不刻有符号。