

高等学校教材

矿物岩石薄片 研究基础



赵敬松 唐洪明 雷卞军 编著

石油工业出版社

校 教 材

矿物岩石薄片研究基础

赵敬松 唐洪明 雷卞军 编著



石油工业出版社

内 容 提 要

本教材较详细地讨论了矿物薄片在单偏光、在正交偏光和锥光系统下所产生的光学现象及这些现象产生的原因、观测的方法与技巧;讨论了透明矿物系统鉴定的程序和注意事项,简要介绍了透明矿物“油浸鉴定”的基本方法;较详细地讨论了岩浆岩、变质岩和沉积岩薄片常见矿物的鉴定特征、相似矿物的区别、矿物含量和粒度的测定方法,还着重讨论了各岩石类型常见结构和构造的基本特征、分类命名原则及石油行业标准的分类方案。

本书是高等院校资源勘查专业及相关专业的教学用书,亦可供这些专业的科研、生产技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿物岩石薄片研究基础/赵敬松等编著.

北京:石油工业出版社,2003.8

ISBN 978-7-5021-4279-7

I. 矿…

II. 赵…

III. 矿物-光谱分析

IV. P575.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 041156 号

石油工业出版社出版发行

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 15.5 印张 380 千字

2003 年 8 月北京第 1 版 2011 年 7 月北京第 3 次印刷

定价: 23.00 元

前言

自 19 世纪中叶偏光显微镜应用于矿物和岩石的研究以来,晶体光学、光性矿物学和岩类等地质学的分支学科都经历了产生、完善至成熟的发展过程。其中,晶体光学以矿物晶体的吸收性、折射率、双折射率、光性方位、光的干涉及其与晶体内部结构、切面方向的关系等光学现象为主要研究内容;光性矿物学以透明矿物的形态特征(含晶体习性、解理及双晶等)、光学性质(含颜色、多色性、突起、干涉色、消光角、延性符号、光性及 $2V$ 角等)、光学性质与矿物内部结构和化学成分的关系、透明矿物的鉴别及相似矿物的区别等为主要研究内容;岩类学以岩石的矿物组成、结构和构造特征、后生变化、分类命名及相似岩石的区别等为主要研究内容。这几门学科的研究内容和关系十分密切并且还有明显的共同特点:都是以偏光显微镜及其附件为主要研究工具;都是以矿物和岩石的“薄片”为直接研究对象。其基本原理、基本规律和基本方法,在矿产的勘探开采和油气储层评价中获得广泛的应用,在冶金、煤炭、陶瓷、建材、化工等诸多领域也获得广泛的应用。即使在电子显微镜、X 射线衍射分析等新的岩矿分析试验方法快速发展的今天,应用光学原理,将矿物和岩石切割磨制成“薄片”用偏光显微镜进行研究观测的技术和方法,仍然是科研和生产中最基本、最简便、最迅速、最廉价的方法之一,尤其是在形态和组构研究方面,是其他方法所无法取代的,因此也是资源勘查工程技术人员和研究工作者必须具备的基本知识和基本技能之一。

本教材《矿物岩石薄片研究基础》是根据资源勘查工程专业岩矿实验课教学大纲,并结合西南石油学院多年的教学实践,依据与薄片研究有关的晶体光学、光性矿物学和岩类学等学科的主要内容整合编写而成,力图满足本专业学生拓宽知识、夯实基础、培养能力、提高素质的需求。

全书分为八章:第一章在简要介绍结晶学和光学基础知识的前提下,着重讨论了矿物晶体的主要光学性质、光率体和光性方位的特征;第二至第四章在介绍偏光显微镜构造与使用的基础之上,较详细地讨论了矿物薄片在单偏光、正交偏光和锥光系统下所产生的光学现象,同时还较详细地讨论了这些现象产生的原因、与晶体切面方向的关系、观测的方法与技巧;第五章讨论了透明矿物光学性质系统鉴定的内容、程序和注意问题,同时还简要介绍了透明矿物“油浸鉴定”的基本方法、步骤与资料的应用;第六至第八章分别讨论了岩浆岩、变质岩和沉积岩薄片常见透明矿物的主要光学性质、相似矿物的区别、矿物含量和粒度的测定方法,还着重讨论了各岩石类型常见结构和构造的基本特征、分类命名原则及石油行业标准的分类方案。全书共描述百余种透明矿物的光学性质及光性方位图,以岩石类型为主线编排,突出其在薄片中的鉴定特征和相似矿物的区别,更方便于初学者、本科学生的掌握与应用,也是本书的特色和有益的探索。

本教材第一至第五章由唐洪明副教授编写,第六和第七章由赵敬松副教授编写,第八章及附表由雷卡军副教授编写,全书的修改及统编工作由主编赵敬松完成。邓明雅和陶艳忠老师承担了部分插图的清绘和书稿的校对工作。在编写过程中得到了西南石油学院、资源环境学

院以及教研室各级领导和老师的关心与支持;在编写过程中参考了北京大学、南京大学、石油大学、成都理工大学、地质大学等院校的相关教材,引用了部分图件,特此致谢!

书稿完成后经西南石油学院方少仙教授主审、西南油气分公司勘探开发研究院文应初高工审阅,并提出宝贵意见,按照这些意见编者进行了全面认真的修改。

由于编者水平所限,书中漏误和不妥之处在所难免,祈望广大读者指正。

编者

2003年3月

目 录

第一章 矿物的结晶质属性及其光学性质	(1)
第一节 结晶质及其基本性质	(1)
一、结晶质与空间格子	(1)
二、晶体的基本性质	(2)
三、晶体的对称及分类	(4)
四、晶体的定向及晶面符号	(5)
五、晶体的理想形态及实际形态	(7)
六、双晶	(8)
第二节 矿物的晶体化学属性	(9)
一、决定晶体结构的基本因素	(9)
二、类质同象	(13)
三、同质多象	(14)
四、有序与无序结构	(15)
第三节 光学基础知识	(15)
一、光的本质及偏振光	(15)
二、光的折射、反射与吸收	(18)
三、全反射临界角与全反射	(21)
第四节 矿物的光学属性	(22)
一、矿物的颜色	(22)
二、矿物的透明度、光泽与发光性	(24)
三、矿物晶体中光的传播与折射	(26)
第五节 光率体及光性方位	(30)
一、光率体的概念及均质体的光率体	(30)
二、一轴晶的光率体	(30)
三、二轴晶的光率体	(33)
四、光性方位	(37)
第二章 偏光显微镜及单偏光镜下矿物薄片研究	(39)
第一节 偏光显微镜	(39)
一、偏光显微镜的基本功能及组成	(39)
二、偏光显微镜的调整与校正	(43)
三、偏光显微镜的保养与使用守则	(47)
四、岩石薄片的制作	(47)
第二节 单偏光镜下矿物形态和解理的研究	(48)

一、矿物单体形态与集合体形态	(48)
二、薄片中心物解理的研究	(50)
第三节 单偏光镜下矿物颜色的研究	(54)
一、薄片中心物的颜色和多色性	(54)
二、矿物颜色和多色性的成因	(55)
三、多色性与吸收性的观测	(56)
第四节 单偏光镜下矿物折射率的研究	(58)
一、薄片中心物的边缘与贝克线	(58)
二、薄片中心物的糙面	(60)
三、薄片中心物的突起	(61)
四、薄片中心物的闪突起(假吸收)	(63)
第三章 正交偏光镜下矿物光学性质的研究	(64)
第一节 矿物晶体的消光及偏光的干涉	(64)
一、矿物晶体的消光现象	(64)
二、正交偏光镜下平面偏光的分解与叠加	(65)
三、干涉色与干涉色的级序和色序	(67)
四、干涉色色谱表	(70)
五、异常干涉色和光性异常	(71)
第二节 程差叠加原理及光率体椭圆切面轴名的测定	(73)
一、光程差叠加原理	(73)
二、消色器	(74)
三、光率体椭圆切面半径名称的测定	(75)
第三节 正交偏光下矿物干涉色与双折射率的研究	(76)
一、干涉色级序的测定	(76)
二、矿物双折射率的测定	(78)
第四节 正交偏光下矿物消光类型与吸收性的研究	(78)
一、消光类型	(78)
二、消光角的测定	(80)
三、多色性与吸收性公式的测定	(81)
第五节 正交偏光下矿物延性与双晶的研究	(82)
一、晶体的延性及延性符号	(82)
二、延性符号的测定	(82)
三、双晶的观察	(83)
第四章 锥光镜下矿物光学性质的研究	(85)
第一节 一轴晶矿物的常见干涉图	(86)
一、一轴晶垂直光轴切面的干涉图	(86)
二、一轴晶斜交光轴切面的干涉图	(90)
三、一轴晶平行光轴切面的干涉图	(92)

第二节 二轴晶矿物的常见干涉图	(94)
一、垂直锐角平分线($\perp Bxa$)切面的干涉图	(94)
二、垂直一条光轴($\perp OA$)切面的干涉图	(98)
三、二轴晶斜交锐角平分线和斜交光轴切面的干涉图	(100)
四、二轴晶垂直钝角平分线($\perp Bxo$)切面的干涉图	(102)
五、二轴晶平行光轴面(垂直光学法线)切面的干涉图	(103)
第三节 二轴晶干涉图上的色散现象	(104)
一、斜方晶系干涉图上的色散	(104)
二、单斜晶系干涉图上的色散	(107)
三、三斜晶系干涉图上的色散	(107)
第五章 透明矿物的偏光显微镜鉴定	(109)
第一节 透明矿物薄片系统鉴定	(109)
一、透明矿物薄片的系统观察研究内容	(109)
二、鉴定透明矿物的一般程序	(110)
三、提高透明矿物鉴定准确率和效率的途径	(111)
第二节 透明矿物的油浸鉴定简介	(114)
一、浸油的配制及浸油薄片的制备	(114)
二、比较矿屑与浸油折射率大小的方法	(116)
三、油浸法测定折射率的具体步骤	(116)
四、油浸法数据的应用	(120)
第六章 岩浆岩的偏光显微镜研究	(122)
第一节 岩浆岩矿物成分的研究	(122)
一、岩浆岩中常见暗色矿物	(122)
二、岩浆岩中常见浅色矿物	(127)
三、岩浆岩中常见副矿物	(136)
第二节 岩浆岩矿物含量的测定和结构构造的研究	(137)
一、岩石薄片矿物含量的测定	(137)
二、岩浆岩薄片结构特征的研究	(139)
三、岩浆岩构造特征的研究	(143)
第三节 岩浆岩的分类命名及薄片研究与描述	(145)
一、岩浆岩的分类和命名	(145)
二、岩浆岩手标本观察与描述	(148)
三、岩浆岩薄片的观察与描述	(149)
四、岩浆岩薄片观察描述实例	(151)
第七章 变质岩的偏光显微镜研究	(154)
第一节 变质岩矿物成分的研究	(154)
一、主要产于变质岩的富铝硅酸盐和铝硅酸盐矿物	(154)
二、主要产于变质岩的钙质及钙铝质硅酸盐和铝硅酸盐矿物	(157)

三、主要产于变质岩中的镁铁质硅酸盐和铝硅酸盐矿物	(161)
第二节 变质岩结构构造的观察研究	(164)
一、变质岩结构的分类	(164)
二、常见变余结构的观察研究	(165)
三、常见交代结构的观察研究	(166)
四、常见变晶结构的观察研究	(168)
五、与应力作用有关结构的观察研究	(171)
六、变质岩构造的观察研究	(174)
第三节 变质岩的分类命名及薄片研究与描述	(176)
一、变质岩的分类和命名	(176)
二、变质岩薄片观察研究内容及注意问题	(179)
三、变质岩薄片观察描述实例	(180)
第八章 沉积岩的偏光显微镜研究	(183)
第一节 沉积岩的分类及其构造研究	(183)
一、沉积岩和沉积构造的分类	(183)
二、常见典型层理构造	(183)
三、常见层面构造	(185)
四、常见变形构造	(186)
五、生物成因的构造	(186)
六、化学成因的构造	(187)
第二节 陆源碎屑岩薄片研究	(189)
一、碎屑岩结构组分的研究	(189)
二、碎屑岩结构特征的研究	(192)
三、碎屑岩成岩作用的研究	(194)
四、碎屑岩的分类与命名	(196)
五、碎屑岩薄片研究内容及实例	(199)
第三节 火山碎屑岩薄片研究	(200)
一、火山碎屑岩主要结构组分的研究	(201)
二、火山碎屑岩结构和构造的研究	(201)
三、火山碎屑岩的分类与命名	(203)
四、主要火山碎屑岩的鉴别及实例	(204)
第四节 碳酸盐岩薄片研究	(205)
一、碳酸盐岩矿物成分的研究	(205)
二、碳酸盐岩结构组分及结构特征的研究	(206)
三、碳酸盐岩构造的研究	(214)
四、成岩后生变化的研究	(214)
五、碳酸盐岩的分类命名	(216)
六、碳酸盐岩薄片研究内容及实例	(219)
附表	(221)
附图	(238)
参考文献	(239)

第一章 矿物的结晶质属性及其光学性质

第一节 结晶质及其基本性质

一、结晶质与空间格子

按内部质点的排列方式,固态物质可分为结晶质和非晶质。内部质点(原子、离子、络阴离子或分子等)在三维空间作周期性重复排列的固态物质称为“结晶质”,或称“晶质”(图 1-1)。由结晶质构成的物体则称晶体。内部质点在三维空间随机堆集而不具周期性重复性的固态物质称为“非晶质”,或称“玻璃质”。由非晶质构成的物体则称非晶体或玻璃体。大量的研究证明,自然界二千多种固态矿物,除少数为非晶质外,绝大多数均是结晶质。

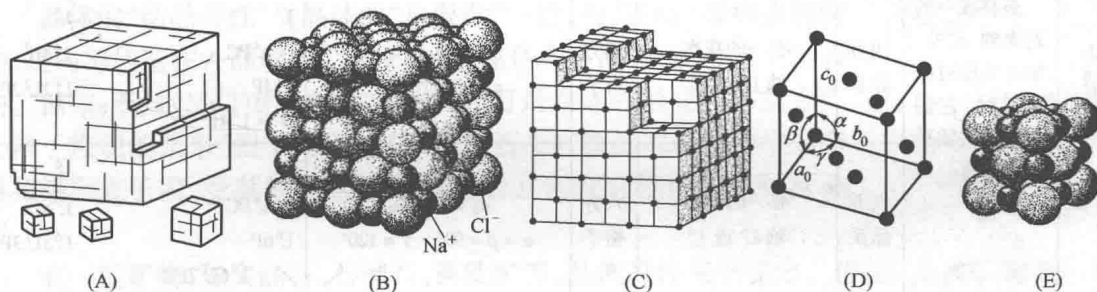


图 1-1 石盐的晶体构造

(A)石盐晶体及解理;(B)石盐的晶体结构;(C)立方面心空间格子;
(D)单位立方面心空间格子及格子参数;(E)石盐的晶胞

结晶质内部的性质、环境和方位上完全相同的“几何点”称为“相当点或结点”。相当点所组成的几何图形称为“空间格子”[图 1-1(C)]。凡结晶质内部皆具有“空间格子”,或者说凡内部具有“格子构造”的固态物质均是结晶质。非晶质内部均不具有格子构造。

空间格子中,共线的结点称“行列”,共面的结点称“面网”,而由相互正交或近于正交的行列所围成的、体积最小的、能反映空间格子对称性的平行六面体称为“单位空间格子”。表征单位空间格子形状及大小的三个棱长(即棱方向上的结点间距) a_0 、 b_0 、 c_0 和三者间的交角 α 、 β 、 γ 称为“单位空间格子参数”[图 1-1(D)]。

实际晶体中由具体质点(离子、原子、络阴离子及分子等)所构成的、其形状和大小与相应单位空间格子一致的最小晶体称为“晶胞(cell)”[图 1-1(E)]。晶体可认为是由晶胞在三维空间无间断地平移叠置而成。表征单位空间格子形状及大小的三个棱长 a_0 、 b_0 、 c_0 和三者间的交角 α 、 β 、 γ 又称为“晶胞参数”。不同类型的矿物晶体,晶胞参数各不相同。物质组成有差异的同类晶体,晶胞参数亦各不相同。因此,晶胞参数是鉴别矿物的重要依据之一。

依据单位空间格子(或晶胞)参数间的关系,空间格子可分为七类,相应的矿物晶体分属七个晶系(表 1-1)。依据单位空间格子中结点的分布可分为原始格子、底心格子、面心格子和

体心格子四种基本类型,结合格子参数的差异共有十四种空间格子类型。不同晶系、不同空间格子和不同格子参数的矿物晶体,光的折射和反射特性各不相同,“光性方位”亦各不相同。因此,空间格子类型和晶系的不同是偏光显微镜下鉴定矿物的基本依据之一。

表 1-1 矿物晶体分类表

晶族		晶系		空间格子	晶胞及晶体参数	对称型	
名称	特征	名称	特征				
低级晶族	无高次轴,所有对称要素必互相平行或垂直	三斜晶系	仅一个 C 或 L^1	三斜格子	$a_0 \neq b_0 \neq c_0$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	* * C L^1	
		单斜晶系	L^2 和 P 不多于一个	单斜格子	$a_0 \neq b_0 \neq c_0$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \quad \beta \neq 90^\circ$	P * * L^2 PC	L^2
		斜方晶系	L^2 和 P 总数不少于三个	斜方格子	$a_0 \neq b_0 \neq c_0$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$3L^2$ * * $3L^2$ 3PC	L^2 2P
中级晶族	必有唯一的高次轴,此外,如有其他对称要素时,它们必与高次轴平行或垂直	三方晶系	唯一的高次轴 L^3	三方格子	$a_0 = b_0 \neq c_0$ $\alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma = 120^\circ$ 注	L^3 * L^3 3 L^2 * * L^3 3 L^2 3PC	* L^3 C L^3 3P
		四方晶系	唯一的高次轴 L^4 或 L_4^4	四方格子	$a_0 = b_0 \neq c_0$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	L^4 * L^4 PC L^4 4P * * L^4 4 L^2 5PC	L_4^4 L^4 4 L^2 L_4^4 2 L^2 2P
		六方晶系	唯一的高次轴 L^6 或 L_6^6	六方格子	$a_0 = b_0 \neq c_0$ $\alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma = 120^\circ$	L^6 * L^6 PC L^6 6P * * L^6 6 L^2 7PC	L_6^6 L^6 6 L^2 L_6^6 3 L^2 3P
高级晶族	有多个高次轴	等轴晶系	必有四个 L^3 ; 必有三个互相垂直的 L^2 或 L_4^4 , 且与 L^3 均以等角相交	立方格子	$a_0 = b_0 = c_0$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$3L^2$ 4 L^3 * $3L^2$ 4 L^3 3PC $3L^4$ 4 L^3 6 L^2 * $3L_4^4$ 4 L^3 6P * * $3L^4$ 4 L^3 6 L^2 9PC	

注:三方格子还可按三方取向,其相应晶胞参数为 $a_0 = b_0 = c_0, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ 。

* * 矿物中常见对称型; * 矿物中较常见对称型。

二、晶体的基本性质

晶体的本质是具有格子构造,由格子构造所决定的性质即晶体的基本性质。这些性质为晶体所共有,是晶体与非晶体相互区别的基本标志,亦是不同晶体相互区别的标志。

1. 自限性与结晶习性

自限性是指晶体在生长过程中,当环境适宜且有足够的自由空间时,均能自发地形成封闭的几何多面体外形的特性。晶体的多面体形态是其格子构造在外形上的反映,是受其格子构造控制的。实际晶体在其生长时常受生长空间等环境条件的限制,往往不具有或不完全具有几何多面体的外形,但如让这些不具规则外形的晶粒在有足够自由空间的环境中继续自由生长,它们仍可以自发形成几何多面体外形。

自发形成的封闭几何多面体外形的晶体,称为矿物的“自形晶体”,部分几何多面体外形和

无几何多面体外形的晶体,分别称为“半自形晶体”和“他形晶体”。因此,自限性就是结晶质能自发形成自形晶体或由他形晶体继续发育为自形晶体的特性。

大量的研究表明:相同条件下形成的同种矿物晶体(不论其自形程度如何),总是趋向于形成某种特定的形态及形态特征;不同矿物晶体,或是在不同环境条件下形成的同种矿物晶体,其晶体的形态及形态特征常有差异。矿物晶体在一定环境条件下总是趋向于形成某种特定的晶形和形态特征,或者说在一定条件下形成的同种矿物的晶体,不论其自形程度如何,均趋于某种常见的晶形和形态特征,这种现象称为晶体的“结晶习性”,简称“晶习”。根据晶体在三度空间的发育程度,结晶习性可分为三种基本类型:

晶体沿一个方向延伸,如柱状、棒状、针状、纤维状等晶形,称“一向延伸型晶习”,或称“柱状、纤维状晶习”,角闪石、电气石、蛇纹石、石棉等矿物常见此种晶习;

晶体沿两个方向发育,如板状、板片状、片状等晶形,称“二向延展型晶习”,或称“板状、片状晶习”,重晶石、绿泥石、云母等常见此晶习;

晶体在三度空间上发育均等,如等轴状、粒状等晶形,称“三向等长型晶习”,或称“粒状晶习”,石榴石、黄铁矿等具此晶习。

晶体的“结晶习性”与晶体的“自限性”一样,受晶体内部构造的制约,是内部构造在外部形态上的反映,表现是多方面的,而且是很显著的。例如:石盐(NaCl)的立方体等轴状晶习是晶体外形受内部立方格子控制的结果(图 1-1);角闪石、辉石类矿物的内部结构中具有链状络阴离子团,受其控制常形成沿链的方向发育的柱状或针状晶习。

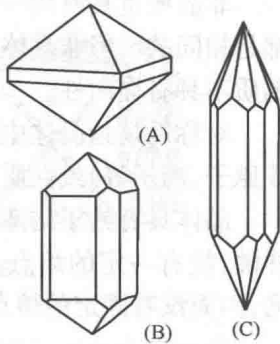


图 1-2 锆石之结晶习性
(A)在碱性岩浆岩中;
(B)在酸性岩浆岩中;
(C)在中、基性岩浆岩中

有一些矿物,如尖晶石、石榴石、黄铁矿等,晶体习性相当稳定。但是,多数矿物在不同的环境条件下,常具有不同的结晶习性。例如,四方晶系的锆石,形成在富钾、钠而相对贫硅的碱性岩浆岩中,常呈具有双锥的粒状晶习;在硅和钠、钾均较高的酸性岩浆岩中,呈带双锥的柱状晶习;在硅和钠、钾均较低的中、基性岩浆岩中,呈带有尖锐双锥的长柱状晶习(图 1-2)。又如,方解石在较高温度生成时,呈二向延展的扁平板状晶习,而在较低温度形成的方解石具有柱状及沿 C 轴伸长的菱面体晶习(图 1-3)。空间条件对晶习的影响也很明显,在花岗岩中的石英均为不规则粒状,而在具有自由空间的晶洞里,则发育成具柱状晶习的完好晶体。因此,矿物的自形晶体形态及晶体习性均是鉴定矿物的重要标志,也是分析矿物和岩石形成条件的重要依据。

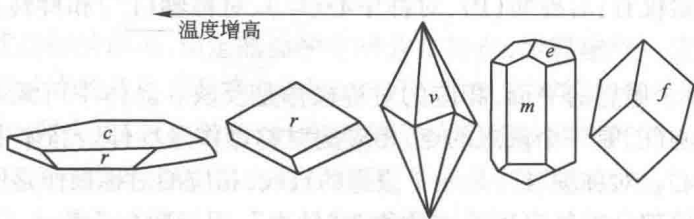


图 1-3 方解石的晶习与形成温度的关系

非晶质内部质点的分布是不规则的,不具有格子构造。因此,它不会自发地形成规则的几何多面体外形。

2. 其他基本性质

均一性指晶体的任何部分都具有相同性质的特性。例如,把一个晶体分为许多小碎块,每一细小的碎块都具有相同的物理及化学性质。即在三度空间上晶体是均一的。

晶体的异向性是指晶体的性质因观察方向的不同而表现出差异的特性。即在一维或二维空间上晶体的物理及化学性质是各不相同的。云母、方解石、长石等矿物在受力后都仅在一定方向上产生“解理”,而在其他方向形成断口。光在矿物晶体的不同方向上传播时,吸收、反射、折射和偏振现象常不相同。这些均是晶体异向性的表现。在偏光显微镜下研究矿物和岩石,正是以光线在晶体内的异向性为理论基础的。

非晶质也具有均一性,例如玻璃、琥珀及各种胶体矿物,它们的不同部分的导热性、折光率都是相同的。但非晶体的均一性属宏观统计的均一性,与晶体的结晶均一性有质的差别。非晶质不具有异向性。

对称性是指晶体中的相同部分(如外形上的相同晶面、晶棱,内部结构上的相同面网、行列或原子、离子等)或性质,能在不同的方向或位置上重复出现的特性。

晶体具有格子构造,同一个晶体的各个部分质点排列相同,破坏其不同部分所需能量是一样的,故有一定的熔点。非晶体中各部分质点排列疏密不一,熔化各个部分所需要的能量不同,因而没有固定的熔点。

最小内能是指在相同的热力学条件下,与同种化学成分的气体、液体及非晶体相比,以晶体的内能最小。稳定性是指在相同的热力学条件下,相同化学成分的晶体和非晶体相比较,以晶体最稳定。非晶体则是不稳定的(或是准稳定的),因此,非晶体会自发地转变为晶体。例如,火山玻璃属于非晶体,经历一定的时间火山玻璃会逐渐转变为晶体。正是由于这种原因,火山玻璃等非晶质物体仅存在于早第三纪之后的较新地层中。

三、晶体的对称及分类

矿物晶体,如石盐、锆石、方解石等,外形上有很好的对称性,而且,其内部结构也是对称的。因此,晶体的对称性,既表现在外形上,又表现在内部结构及物理化学性质上,即使一些外形上不对称的他形晶体,其内部结构和物理化学性质依然是对称的。

通过观察容易发现,晶体及其他对称物体都有“同形等大的部分”。这些同形等大的部分借助某种“几何要素(点、线、面)”进行“变换(旋转、反映和反伸)”后,彼此间能重合。在研究晶体对称时,使晶体上相同部分做有规律重复进行的旋转、反映和反伸等变换,称为“对称操作”。在进行对称操作时,所借助的假想几何要素(点、线、面),称为“对称要素”。研究表明,宏观晶体中独立的对称要素仅有:对称面(P)、对称中心(C)、对称轴(L^n)和旋转反伸轴(L_n^n)等四种(图1-4)。

对称面(P)是一个假想的平面,相应的对称操作是反映。晶体中可无对称面,最多仅有9个对称面。对称中心(C)是一个假想的点,相应的对称操作是反伸。晶体中可无对称中心,最多仅有一个对称中心。对称轴(L^n)是一个假想的直线,相应的对称操作是围绕该直线的旋转。旋转一周晶体中相等部分重复出现的次数称为“轴次”,用指数“ n ”表示。相应的对称轴称为“ n 次对称轴”,记为“ L^n ”。晶体外形上可能存在的对称轴仅只有 L^1 、 L^2 、 L^3 、 L^4 、 L^6 五种。晶体中可无对称轴,同次的对称轴和不同次的对称轴也可同时并存,但是, L^2 最多同时出现6条, L^3 最多同时出现4条, L^4 最多同时出现3条。旋转反伸轴(L_n^n)是一个假想的直线,对应的操作是旋转并反伸。晶体或图形围绕该直线旋转一定角度后,再对该直线上的一点进行反伸,可使晶

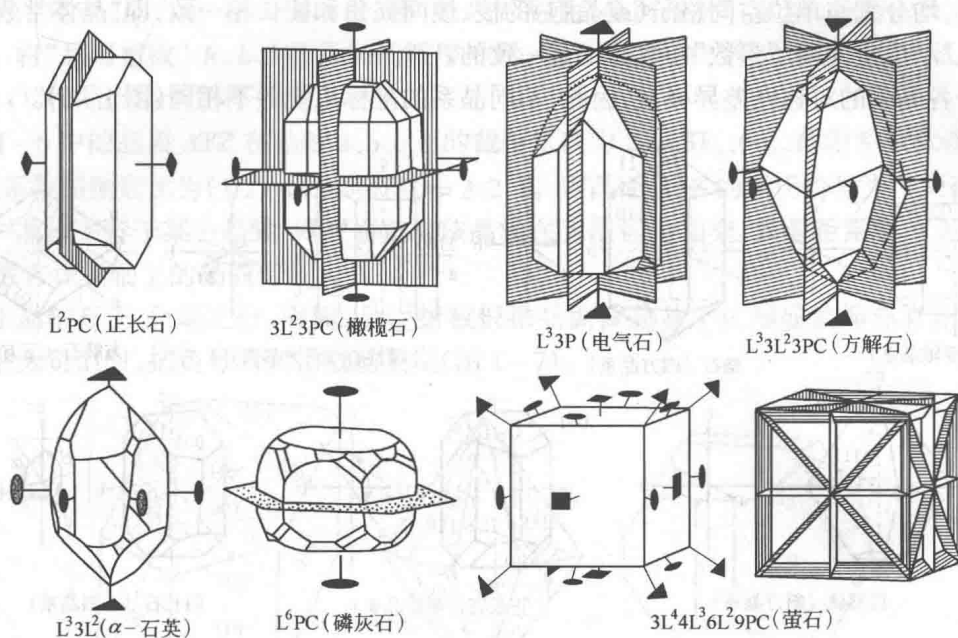


图 1-4 某些矿物晶体的对称要素及对称型

体或图形上相同的部分重复。在晶体的对称中,独立的不能用其他对称要素组合替代的旋转反伸轴只有 L_4^4 ,而 L_4^6 在对称分类上有重要意义,因此,实际应用的旋转反伸轴仅有 L_4^4 和 L_4^6 两种。在晶体中,旋转反伸轴可以不存在,亦可同时出现多条旋转反伸轴,但最多同时出现 3 条。

晶体对称的要素类型是有限的,同一对称要素在同一晶体中出现的数目也是有限的,这即是矿物晶体在宏观对称上的有限性。

晶体中全部对称要素的总合,称为晶体的“对称型”(又称晶类)。例如,萤石的立方体形态晶体有 3 个 L^4 、4 个 L^3 、6 个 L^2 、9 个 P 和 1 个 C,所以,萤石的立方体形态的晶体,其对称型为“ $3L^44L^36L^29PC$ ”(图 1-4)。大量研究表明,晶体的对称是有限的,致使对称型的数目亦是有限的。自然界中众多的矿物晶体仅只有 32 种对称型。依据对称特点,矿物晶体可分为三个晶族、七个晶系、32 个对称型(晶类)(表 1-1)。

四、晶体的定向及晶面符号

1. 晶体的定向

为了准确地描述晶体的形态,确定晶面的空间分布特点,需要建立一定的坐标系统,建立科学合理的晶体坐标系统的工作即称为“晶体定向”。晶体定向的任务是建立晶体的坐标轴(或称晶轴) a 、 b 、 c 及轴间夹角(或称轴角) α 、 β 、 γ ,同时确定各晶轴的单位 a_0 、 b_0 、 c_0 (或称轴单位)。轴单位可通过 X 射线衍射分析准确测定,也可用其“比值”表示,此“比值”又称“轴率”。矿物晶轴的夹角 α 、 β 、 γ 和轴单位 a_0 、 b_0 、 c_0 又称为晶体常数。

选择结晶轴的原则是:优先以对称轴为晶轴,对称轴不够或没有时则选对称面的法线作晶轴,当对称轴及对称面都不够或没有时,可选晶棱的方向作晶轴;晶轴应尽可能相互垂直或近于垂直,即轴角优先为直角或近于直角;轴单位应尽可能相等或近于相等。

晶体形态是其格子构造在外部的反映,因此,按上述原则根据晶体形态确定的晶轴、轴角

和轴单位,均分别与单位空间格子(或晶胞)的棱、棱间夹角和棱长相一致,即“晶体常数”与“晶胞参数”、“单位空间格子参数”在数值上是一致的。

由于各晶系的对称性差异极大,因此,不同晶系的坐标系统各不相同(图 1-5)。

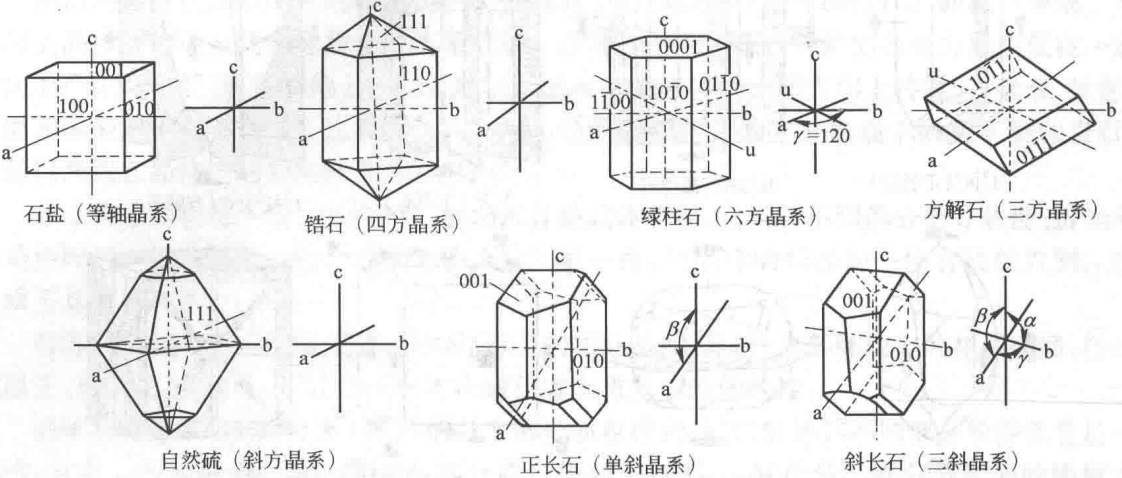


图 1-5 各晶系晶体的定向

其中,等轴、四方、斜方晶系中选三个正交的对称轴为晶轴(a、b、c);c轴永远置于直立的方向,上正、下负;a轴对着观察者,前正、后负;b轴置于左右方向,右正、左负;各晶轴正端之间的轴角为 $b \wedge c = \alpha, c \wedge a = \beta, a \wedge b = \gamma$,且均为 90° 。

三方晶系和六方晶系的晶体常选定四个晶轴(a、b、u、c),其中c轴直立,上正、下负;a、b、u均位于同一水平面上,其正端之间的夹角均为 120° ,它们都与c轴保持垂直关系。

单斜晶系选二次对称轴(或对称面的法线)为b轴,与之垂直的两个晶棱分别为c轴和a轴;c轴置于直立的方向,上正、下负;a轴对着观察者,前正、后负;b轴置于左右方向,右正、左负;各晶轴正端之间的夹角为 α, β 和 γ ,且 α 和 γ 为 $90^\circ, \beta > 90^\circ$ 。

三斜晶系没有对称轴及对称面,选三个近于正交的晶棱为a、b和c轴,c轴置于直立的方向,上正、下负;a轴对着观察者,前正、后负;b轴置于近于左右方向,右正、左负;各晶轴正端之间的夹角(轴角)为 α, β 和 γ ,且 α, β 和 γ 均 $> 90^\circ$ 。

2. 晶面符号

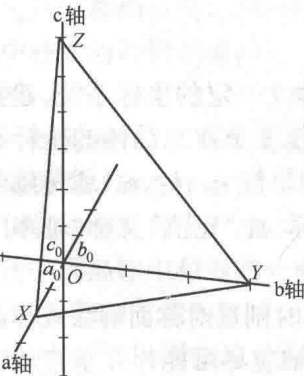


图 1-6 晶面符号图解

在选定的坐标系统中,按一定的原则和标准用来表示晶面位置及关系的“代码符号”即“晶面符号”,简称“面号”。由于选定的坐标系统(定向)不同,采用的原则和标准不同,“晶面符号”的形式和数值相应也各不相同。在结晶学中通常采用英国人米勒尔(W. H. Miller)于1839年所创的符号,称为“米氏符号”。

在晶体晶轴之中,任一晶面XYZ均与晶轴相交(图 1-6),晶面与三个晶轴交点的坐标X、Y、Z即称为晶面在晶轴上的“截距”。以轴单位量度之各晶轴上的截距分别为:

$$X = pa_0 \quad Y = qb^0 \quad Z = rc_0$$

其中p、q、r称为晶面的“截距系数”。从晶体格子构造的原理可知,截距系数p、q、r是简单整数,截距系数比为简单整数比。

米勒尔规定 $1/p:1/q:1/r = h:k:l$, 则“ $h、k、l$ ”称为“晶面指数”, 显然, 晶面指数亦为简单的整数。将“晶面指数” $h、k、l$ 按晶轴的顺序排列, 置于圆括号中, 作为该晶面的米氏符号, 即用“($h k l$)”作晶面的米氏符号。

图 1-6 中的晶面 XYZ 在晶轴 $a、b、c$ 上的截距依次为 $2a_0、3b_0、6c_0$, 截距系数依次为 2、3、6。截距系数的倒数比为 $(1/2):(1/3):(1/6) = 3:2:1$ 。则晶面 XYZ 的米氏符号为“(321)”。

若一晶面平行于某一晶轴, 则可看成与该晶轴在无限远处相交, 其截距系数为无穷大, 倒数为 0, 故在该晶轴上的晶面指数为 0。

由于晶轴有正、负端之分, 因而, 晶面指数根据晶面截晶轴于正端或负端亦有正负之分。晶面指数为负值时, 把负号写在指数的上端(图 1-7)。

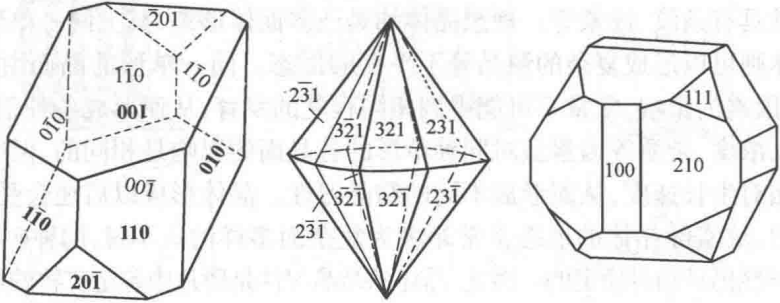


图 1-7 晶面符号、单形和聚形

三方与六方晶系的晶体, 有四个晶轴(坐标轴), 相应地它的晶面符号中有四个晶面指数。其一般形式为($h k i l$)。其中, $h、k、i、l$ 分别代表 $a、b、u、c$ 轴上的指数。且 $a、b、u$ 三晶轴上的晶面指数的代数和为 0, 即: $h + k + i = 0$ 。

五、晶体的理想形态及实际形态

1. 晶体的理想形态

晶体的理想形态可分为单形与聚形。单形是由对称要素联系起来的一组晶面的总合, 同一单形的各晶面符合晶体的对称特性, 在理想情况下同一单形各晶面同形等大, 即用一个晶面, 经由对称要素的操作, 可推导出单形的全部晶面。

大量的研究表明, 自然界中 32 种对称型仅可推导出 146 种单形, 扣除重复者外独立的仅 47 种, 其中, 低级晶族 7 种, 中级晶族 25 种, 高级晶族 15 种。同一对称型中各单形晶面形状、大小与数目均不相同。不同对称型的同种单形的晶面形态大小也往往不相同。

在选定的晶轴中, 表示单形空间位置的代码(符号)称为“单形符号”, 简称“形号”。由于对称的原因, 同一单形中各晶面的晶面指数的绝对值均相等, 只是排列顺序和正负符号各不相同。一般规定选取正指数最多的晶面作为单形的“代表面”(若有两个晶面有相同多的正指数时, 则依照先前、次右、后上的次序选取), 确定其晶面指数 $h、k、l$ (或 $h、k、i、l$), 将“代表面”的晶面指数置于大括号“{ }”中作为单形符号。如复四方双锥有十六个同形等大的晶面, 以 (321) 晶面为代表晶面, 则型号为 {321} (图 1-7 中)。

应该注意, 同一单形符号, 在不同的晶系和对称型中, 往往代表不同的单形。比如, 形号 {110}, 在等轴晶系中是菱形十二面体, 在四方晶系中为四方柱, 在斜方晶系中为斜方柱, 在单斜晶系中为斜方柱(图 1-7 左), 在三斜晶系中为平行双面或双面。

由两个或两个以上的单形所组成的晶形称为聚形。聚形一定含两种或多种单形,在理想情况下有两种或多种大小不同的晶面。同一聚形中的各单形均符合同一的对称规律。因此,一般地说,只有同一晶系的单形才能相聚。如正长石的理想晶体形态多是由斜方柱 $\{110\}$ 与三个平行双面 $\{010\}$ 、 $\{001\}$ 和 $\{20\bar{1}\}$ 相聚而成(图1-7左)。又如黄铁矿的理想晶形多是由五角十二面体 $\{210\}$ 、八面体 $\{111\}$ 和立方体 $\{100\}$ 三种单形相聚而成(图1-7右)。自然界产出的矿物晶体形态绝大部分都是聚形晶体,所以研究聚形具有更大的实际意义。

2. 晶体的实际形态

晶体在生长过程中及在形成以后,总是不可避免的要受到外界环境的影响。因此,实际晶体的形态与理想形态之间常存在一定的差异。理想晶体的晶面应该是一些光滑的平面,而实际晶体的晶面常具有条纹、蚀象等。理想晶体均是凸多面体形态,其上同一单形的晶面发育相等。而实际晶体则可以形成复杂的骸晶等不平衡的形态。同一单形的晶面由于涡流、空间位置、定向压力等因素的影响,常常不可能得到相同程度的发育,从而形成各种歪曲的形态(可称为歪晶)。温度、浓度、杂质等因素虽对同种单形的各晶面的影响是相同的,但它们可改变不同单形的晶面的相对生长速度,从而形成不同的结晶习性。晶体形成以后还会受到溶解、剪应力等进一步的作用,故实际晶体的形态常常是极为复杂而多样的。不过,同种矿物晶体在一定环境条件下,结晶习性仍是相对稳定的。因此,晶体的结晶习性是薄片鉴定矿物的重要标志之一。

六、双晶

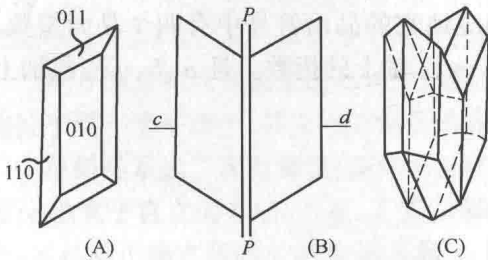


图1-8 石膏的单晶(A)
双晶要素(B)及双晶(C)

两个(或多个)同种晶体紧密地结合(连生)在一起,若其中一个晶体是另一个晶体的镜像或一个晶体旋转 180° 后可与另一晶体重合或平行,则这两个(或多个)紧密结合在一起的晶体称为“双晶(twin, twinned crystal)”。双晶是同种晶体的具有“类似对称特性”的规律连生体(图1-8)。

分析双晶各个单体间的结合规律,需凭借一些辅助的几何图形(线、面),这些借助的“假想的几何图形”即称为“双晶要素(twin element)”。或者说,用来表征双晶中单体间“对称取向关系”的“假想几何图形”称为“双晶要素”。常用的双晶要素有“双晶面”和“双晶轴”。

双晶面(twinning-plane)为一个假想平面,若双晶中的一个单体经过它的反映能与另一个单体重合或平行,此假想平面即为“双晶面”。双晶面相当于晶体构造中密度较大的面网,所以,双晶面总是平行于晶体上实际的或可能的有简单指数的晶面。双晶面不可能是单体的对称面或平行于某一单体对称面的晶面。双晶面常用晶面符号来表示,如石膏双晶的双晶面就是平行于 (100) 的面[图1-8(B)中的PP面],记作双晶面 $//(100)$ 。

双晶轴(twinning-axis)是一个假想的直线,若双晶中的一个单体围绕此直线旋转 180° 后,可与另一个单体重合或者平行,则此直线称为“双晶轴”。双晶轴常常与结晶轴(偶次对称轴除外)方向一致,或与晶体上具简单指数的实际晶面或可能晶面垂直。常用与它垂直的晶面符号来表示,或者用与它平行的结晶轴的方向来表示。如石膏的双晶轴[图1-8(B)中的cd线]垂直于 (100) 面,记作双晶轴 $\perp(100)$ 。

双晶中可仅有双晶轴(一至多条双晶轴),也可仅有双晶面(一至多个双晶面),还可同时具