

东华理工大学放射性地质实验教学中心实践教学系列教材

结晶学及矿物学实习教程

曾爱花 编著
夏 菲 胡宝群 主审

中国原子能出版社

东华理工大学放射性地质实验教学中心实践教学系列教材

结晶学及矿物学实习教程

曾爱花 编著

夏菲 胡宝群 主审

中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

结晶学及矿物学实习教程 / 曾爱花编著. —北京:
中国原子能出版社, 2012. 8
ISBN 978-7-5022-5380-6

I. ①结… II. ①曾… III. ①晶体学—高等学校—教材
②矿物学—高等学校—教材 IV. ①O7②P57

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 246330 号

内 容 提 要

本教程是结晶学、矿物学两门课程的综合实习教程,共安排了 25 次室内实习。其中结晶学主要是以晶体的对称—晶体定向—单形与聚形为主要线索,形象直观地介绍了晶体形态及宏观对称,扼要地介绍了晶体内部结构的微观对称,最后还介绍了有关晶体生长、晶体的规则连生及晶体化学的基础知识。矿物学主要介绍了矿物的成分、形态、物理性质及鉴定方法等基础知识,同时对各大类、类、族、种等不同分类级别的矿物进行了归纳、对比、分析。

本教程的特点是既注重形象直观又兼顾理性推导,既注重基础理论又兼顾实用性,既注重体系的完整性又兼顾内容的精简性。

本书可作为高等院校地质学、地质勘查学、地球化学专业学生的基础地质学类课程配套实习教学用书,也可供相关专业人员参考。

结晶学及矿物学实习教程

出版发行 中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)
责任编辑 谭俊
责任校对 冯莲凤
责任印制 潘玉玲
印刷 保定市中国画美凯印刷有限公司
经销 全国新华书店
开本 787 mm×1092 mm 1/16
印张 5.5 字数 138 千字
版次 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷
书号 ISBN 978-7-5022-5380-6 定价 15.00 元

网址: <http://www.aep.com.cn>
发行电话: 010-68452845

E-mail: atomep123@126.com
版权所有 侵权必究

总 序

东华理工大学放射性地质实验教学中心是在东华理工大学前身太谷地质学校铀矿地质实验室的基础上发展而来。20世纪50年代中叶,为了响应党中央、国务院作出的发展原子能事业的伟大决策和“打破帝国主义核垄断”的号召,国家第二机械工业部于1956年6月创立了太谷地质学校,专门培养铀矿勘查技术人员。1959年学校迁至邻近某特大型铀矿区的江西省抚州市,校名改为抚州地质专科学校(本科),1978年改为抚州地质学院,1982年更名为华东地质学院,2002年更名为东华理工学院,2007年更名为东华理工大学。为全世界唯一的专门从事核燃料循环工程和放射性地学人才培养工作的高等学校,被联合国国际原子能机构(IAEA)指定为铀矿地质和同位素水文学高级培训中心。

放射性地质实验教学中心包括基础地质实验室、铀矿地质实验室、地质信息处理实验室、地球化学实验室、放射性地球物理勘探实验室、放射性水文地质与工程地质实验室等六个功能实验室,并建有杭州基础地质认识、江山区域地质调查、相山铀矿地质三个野外实习基地和地质博物馆,鹰潭龙虎山、抚州温泉、南昌梅岭、庐山等多个课间野外地质认识实习基地,以及鄂尔多斯、江西信江等多个产、学、研野外实习基地。2009年1月20日,该中心被教育部、财政部批准为2008年度国家级实验教学示范中心建设单位(教高函(2009)5号)。

为切实落实国家实验教学示范中心的建设目标,加强实验教学中心的内涵建设,中心做到以培养学生实践能力、创新能力和提高教学质量为宗旨,以实验教学改革为核心,以实验资源开放共享为基础,以高素质实验教学队伍和完备的实验条件为保障,创新管理机制,全面提高实验教学水平和实验室使用效益。建设过程中取得了一系列显著的实践教学效果,如在首届全国大学生地质技能大赛上,我校学子获得了包括地质技能综合应用一等奖(第1名)等多项佳绩,赢得了与会专家、兄弟院校的高度评价。


本系列实验、实习教材的出版是我校放射性地质实验教学中心进一步加强学生实践能力和创新精神培养、改进实验教学体系、内容和方法,凝练优秀教学成果,促进优质资源整合、共享的重要举措之一。系列实验、实习教材内容凝聚了我校相关专业教师多年的教学成果积累,是在原有自编特色、优势实践教学类讲义基础上重新编写或修订完成的。该系列教材适合资源勘查工程、地球化学、勘查技术与工程、地球物理学、水文与水资源工程、土木工程等本专科专业相关课程的室内实践教学实习和课间野外实践教学实习使用,同时也可供相关

专业人员参考。

本系列教材的出版得到了东华理工大学领导,地球科学学院、核工程技术学院、水资源与环境工程学院、建筑工程学院以及教务处等单位领导和老师的大力支持。

最后,衷心感谢参加这套教材编写的全体教师,正是由于他们的辛勤劳动,编写工作才得以顺利完成。同时真诚感谢中国原子能出版传媒有限公司(中国原子能出版社)的领导和有关同志,正是由于他们的最大支持和认真督促,这套教材才能够如期与读者见面。

东华理工大学副校长
放射性地质实验教学中心主任



2011.6.30

前 言

《结晶学及矿物学实习教程》是资源勘查工程、地球化学等专业的专业课程《结晶学及矿物学》配套的实验教程。本教程是在继承和发扬前人实用性强的基础上,结合东华理工大学基础地质实验室所固有的矿物手标本及本校对相关专业的实习的目的要求,加强了学生动手能力的培养,吸取了国内外最新的资料,进行了全面地编写。

在结晶学实习中,要求学生了解晶体的形成、晶体要素、晶体形态及晶体定向等各种相关的知识,能够使使学生从抽象地空间概念通过模型进行各种晶体操作。矿物学方面,按照矿物现行的分类对矿物进行对比、归纳、分析和鉴定。在学习本课程教学的同时,要求学生能够进行矿物手标本鉴定并熟记一些常见矿物手标本的鉴定特征,为学习今后课程和专业技术工作打下基础。

本指导书所阐述及所要求的都是地学专业学生需要掌握的最基本内容。本书早在2004年就在本校应用于教学,期间也进行了一些修改。在这不断完善的六年时间中,东华理工大学地球科学学院地质系全体教师参与了讨论并提出了许多宝贵意见和建议,2008级学生廉刚、周洋及2009级学生王求贵、李海东、张志勇等对教材插图进行了清绘。本书教材的出版得到东华理工大学放射性实验实习中心与资源勘查工程重点学科的大力支持。编者在此表示衷心的感谢!

本指导书内容丰富,知识全面,易于教学和自学,得到了大多数学生的好评。由于编写时间和水平有限,不当之处,敬请批评指导,以便以后修正。

曾爱花

2011年5月

目 录

实习一	晶体的形成	(1)
实习二	晶体测量和投影	(4)
实习三	晶体的对称	(8)
实习四	单形	(12)
实习五	聚形	(15)
实习六	晶体定向、结晶符号	(17)
实习七	等轴及四方晶系对称型的国际符号、晶体定向及单形与聚形分析	(20)
实习八	三方、六方晶系对称型的国际符号、晶体定向及单形与聚形分析	(23)
实习九	低级晶族对称型的国际符号、晶体定向及单形与聚形分析	(25)
实习十	晶体的规则连生	(27)
实习十一	晶体内部结构的对称要素	(29)
实习十二	等大球体的最紧密堆积和典型结构分析	(32)
实习十三	矿物的形态	(34)
实习十四	矿物的光学性质	(37)
实习十五	矿物的力学性质及其他物性	(41)
实习十六	自然元素	(45)
实习十七	硫化物及其化合物	(47)
实习十八	氧化物和氢氧化物	(51)
实习十九	岛、环状硅酸盐	(56)
实习二十	链状硅酸盐	(59)
实习二十一	层结构硅酸盐	(61)
实习二十二	架状硅酸盐	(63)
实习二十三	其他含氧盐	(66)
实习二十四	卤化物	(70)
实习二十五	矿物的共生组合	(71)
附录 1	晶体的对称分类	(74)
附录 2	各晶系晶轴的选择及晶体常数	(75)
附录 3	47 种单形	(76)
附录 4	晶体符号解图	(78)
参考文献		(79)

实习一 晶体的形成

一、准备工作

1. 复习第二章“晶体的形成”，并思考下列问题：

(1) 从溶液中结晶并形成晶体的首要条件是什么？

(2) 什么是晶体的层生长理论？

(3) 影响晶体生长的内部及外部因素有哪些？

2. 实验用具及材料。实习分小组进行。每组准备 100 ml 烧杯 6~8 个，明矾 95 g，硼砂 5 g 或染料卑士麦棕少许(作杂质用)，硫酸铜(胆矾)20 g，尼龙线 40 cm，玻璃棒 6 根，滤纸 6 张。

二、目的要求

1. 观察溶液中形成晶体的过程。

2. 了解影响晶体生长的内部及外部因素及对晶体形态的影响。

3. 通过实验加深对晶体生长的有关知识及理论的理解。

三、内容、方法

晶体的形态主要取决于晶体的化学成分及其内部结构。此外，其形成过程中的外界条件对形态亦具重要影响。如在不同过饱和度溶液中生长的明矾晶体的形态是不同的(图 1-1)。

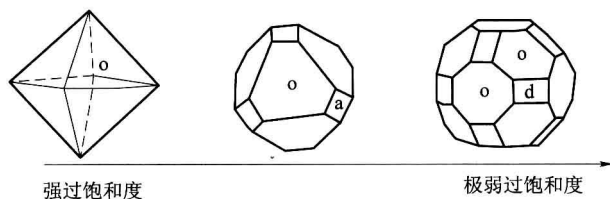


图 1-1 在不同过饱和度的溶液中生长的明矾晶体
o—八面体；a—立方体；d—菱形十二面体

本次实习是在不同浓度、温度、杂质的条件下从溶液中培养明矾和胆矾(硫酸铜)晶体；观察它们的生长过程，记录实验条件及结果，写出实验报告。

(一) 明矾($\text{KAl}_3[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)晶体的培养

1. 配制过饱和溶液

分别在四个烧杯中依次加入 30 g、30 g、20 g、15 g 明矾(应研磨细，以便于溶解)，并在烧杯上标注所加入的重量。选一加有 30 g 明矾的烧杯，再加 5 g 硼砂(杂质)，并做好标记。上述烧杯均注入 100 ml 开水，用玻璃棒不停搅拌，待明矾全部溶解并稍静置后过滤于(用滤

纸)另一烧杯中。

2. 安置籽晶

用尼龙线的一头拴一小块明矾颗粒(籽晶),另一头系于玻璃棒上,并分别悬挂在上述四个烧杯中,如图 1-2 所示。溶有 30 g 的明矾之溶液在冷却前将籽晶放入,其他待冷却至室温时再放入籽晶。安置好籽晶后,静置两天左右,籽晶会缓慢地结晶长大成规则的几何多面体形态。

(二) 胆矾($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)晶体的培养

与明矾晶体培养的实验步骤类同。即先将 20 g 胆矾放入烧杯中,然后加入 50ml 开水并搅拌,配制成胆矾的过饱和溶液。待其冷却至室温时安置好籽。静置两天后,籽晶会结晶长大,并呈规则的几何多面体形态(胆矾的理想晶形见图 1-3)。

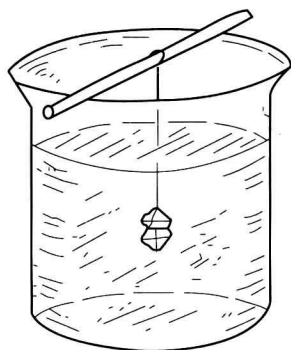


图 1-2 明矾颗粒(籽晶)
悬挂于明矾溶液中

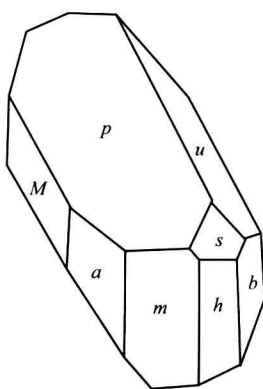


图 1-3 胆矾的理想晶形
 $p\{111\}$ $M\{\bar{1}\bar{1}0\}$ $m\{110\}$ $a\{100\}$
 $b\{010\}$ $h\{120\}$ $s\{121\}$ $u\{021\}$

(三) 观察、思考内容

在完成上述实验步骤后的 1~2 h 内应勤观察。例如溶有 30 g 明矾的强过饱和溶液;在悬挂籽晶后 10 min 左右,杯底、液面见晶体析出。籽晶慢慢长大;在 30 min 左右,籽晶的周围见涡流现象(图 1-4)。

本实习应观察、记录和思考以下内容:

1. 明矾、胆矾的晶体形态是否不同,为什么?

2. 为什么晶体生长时会出现涡流现象?

3. 在不同过饱和溶液中(不同烧杯中)生长的明矾晶体和晶面数目有何不同?

4. 在溶有 30 g 明矾的两烧杯中。含杂质(硼砂)和不含杂质条件下生长的明矾晶体其晶面数目、晶体形态是否有差异?

5. 悬挂籽晶结晶而成的晶体和在杯底结晶的晶体,其晶体形态或晶面数目是否不同?

6. 观察各晶体的晶面、晶棱是否平直,有无带状构造(环带)或生长锥,所有明矾晶体上

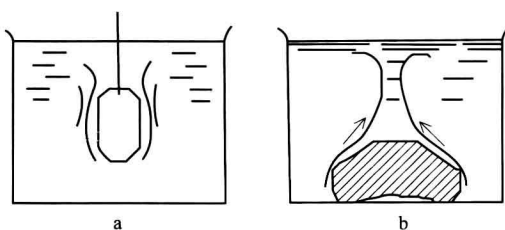


图 1-4 在不同位置生长的晶体形态

相对应的晶面间夹角是否相同？并试以晶体生长的某些理论作解释。

四、注意事项

1. 爱护公物，勿打破烧杯等。
2. 放入籽晶后，要静置。开始 1~2 h 内要勤观察，以后每隔半天观察一次。
3. 培养出的晶体应妥为保管，并交老师评审。

实习二 晶体测量和投影

一、准备工作

复习“晶体的测量与投影”一章,弄清极射赤平投影的原理,了解吴氏网的构成,并思考下列问题:

1. 何谓面角守恒定律,其意义何在?
2. 什么叫面角和晶面夹角,它们有何关系?
3. 极距角(ρ)与方位角(φ)的含义? 它们在吴氏网上如何度量?
4. 在极射赤平投影图上,晶体上水平晶面的投影点位于基圆中心,直立晶面的投影点位于基圆上,倾斜晶面的投影点位于基圆内,晶面的倾斜度愈近水平,其投影点距基圆中心愈近,反之则远,为什么?
5. 吴氏网上的基圆、直径、大圆弧和小圆弧的意义?

二、目的要求

1. 认识天然晶体的形态特征,加深对面角守恒定律的理解。
2. 学会用接触测角仪测量晶体,并使用吴氏网作晶体的极射赤平投影。
3. 熟悉表示晶面空间分布位置的球面坐标和度量方法。

三、内容、方法

(一) 观察并比较磷灰石的实际晶形与理想形态(模型)的异同

(二) 用接触测角仪测量天然晶体(磷灰石)的面角(即晶面法线间夹角)

1. 磷灰石的理想形态如图 2-1。分析实习用的不甚完好的磷灰石晶体,辨别哪些是柱面 m (可分别标记为 $m_1, m_2, m_3 \dots$)、锥面 r (相应标记为 $r_1, r_2, r_3 \dots$),有些晶体还可能有底面 c 。

2. 用接触测角仪测量磷灰石晶体的面角(测角仪应与晶面贴紧,并使测角仪平面与所测二晶面的交棱方向垂直),每种面角测量三次,每次精度读到 $1/2$ 取其平均数。

3. 将你所测数据与邻座同学所测的结果相比较,看是否符合面角守恒定律。

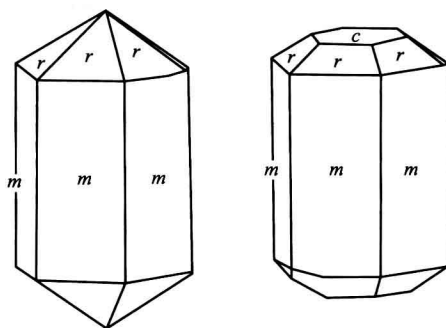


图 2-1 磷灰石晶体

记录格式：

测量次数 面角	第一次	第二次	第三次	平均值
$m \wedge m$				
$m \wedge r$				
$r \wedge r$				

(三) 用吴氏网作晶面的极射赤平投影(以磷灰石为例说明)

1. 作投影的准备工作

将一张透明纸蒙在吴氏网上,用铅笔在透明纸上描出基圆,用符号 \times 标出网的中心;并选择横直径作为零度子午面,在横直径右端与基圆相交处画一箭头,注明 $\varphi=0^\circ$,如图 2-2所示。

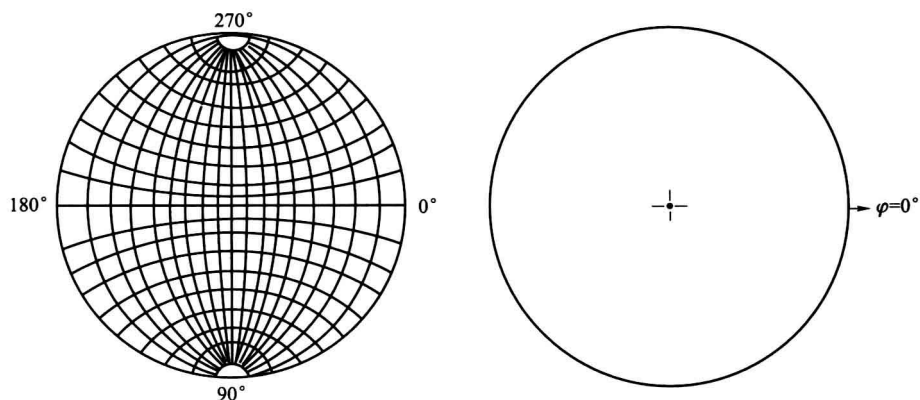


图 2-2 吴氏网(左)和在透明纸上画出的基圆(右)

2. 作 m 面的极射赤平投影

将磷灰石的 m 晶面置于垂直吴氏网面的方向(即使平行 m 面并过晶体中心的轴线与投影轴重合),则它们的投影点应落在基圆上。投影方法:首先令某一个 m 面投影于 $\varphi=0$ 处,以 \odot 符号表示,旁边标上 m_1 。由 m_1 面起,沿着基圆顺时针方向量 $m_1 \wedge m_2$ 的面角,得到 m_2 的投影点。同样,可以依次得出 m_3 、 m_4 、 m_5 、 m_6 的极射赤平投影点。

3. 作 r 面的极射赤平投影

将吴氏网中心点与 m_1 作连线,该直线即为网的横直径(零度子午面),利用横直径上的刻度自 m_1 沿横直径向里(中心)量出 $m \wedge r$ 的面角,即 $\varphi=0$,得 r_1 的极射赤平投影点,亦以符号“ \odot ”表示,并标上 r_1 。若投影 r_2 晶面时,将吴氏网中心点与 m_2 作连线。转动透明纸(其中心点与网的中心点不能位移)使联线与横直径重合,自 m_2 点向中心量出 $m \wedge r$ 的面角,便获得 r_2 投影点。同样操作。可获得 r_3 、 r_4 ...的投影点,如图 2-3 所示。

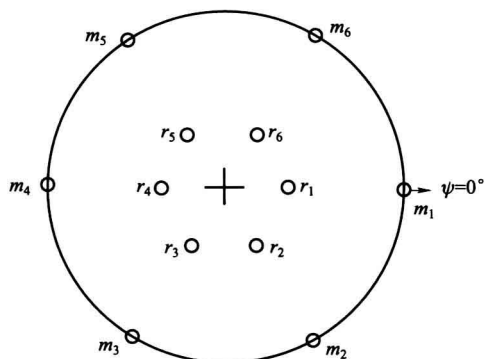


图 2-3 磷灰石晶体的极射赤平投影

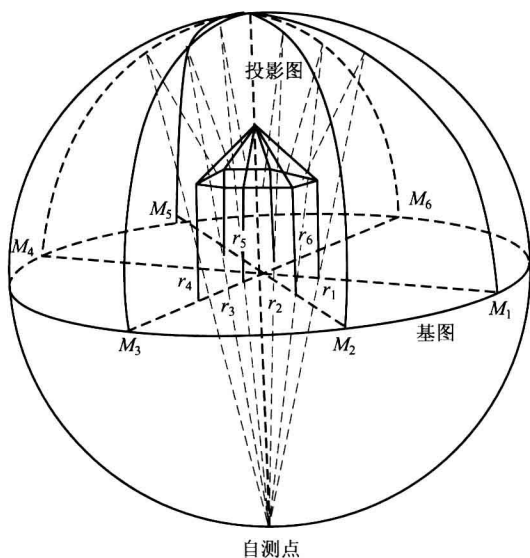


图 2-4 晶面投影和以球面坐标
(ρ, φ) 表示的晶面方位的原理

记录格式:

晶面	φ	ρ	晶面	φ	ρ
r_1			m_1		
r_2			m_2		
r_3			m_3		
r_4			m_4		
r_5			m_5		
r_6			m_6		

2. 求面角 $r_1 \wedge r_2, r_2 \wedge r_3$

方法: 转动透明纸(中心不能动), 使 r_1 和 r_2 落于吴氏网的一个大圆弧上, 在大圆弧上借助网的大圆弧刻度量得 r_1 和 r_2 点之间的度数, 即为它们的面角; 同样方法求得 r_2 与 r_3 的面角。将结果与实测数据对比, 并记录在透明纸的右下角。

四、课外作业

1. 参观单圈及双圈反射测角仪, 了解仪器基本原理及操作方法。

2. 已知锡石(SnO_2) 晶体(图 2-5) 的测角数据:

$$a(\varphi=0^\circ 00', \rho=90^\circ 00')$$

$$m(\varphi=45^\circ 00', \rho=90^\circ 00')$$

$$e(\varphi=0^\circ 00', \rho=33^\circ 55')$$

$$s(\varphi=45^\circ 00', \rho=43^\circ 33.5')$$

(四) 用球面坐标表示晶面投影点的位置, 并求出 $r_1 \wedge r_2$ 和 $r_2 \wedge r_3$ 之间的面角

1. 用球面坐标即方位角(φ)和极距角(ρ)表示晶面投影点的位置, 例如在投影图上求 r_2 晶面投影点的球面坐标, 其方法如下: 将中心点与 r_2 连线延长与基圆相交(应该是 m_2), 由 $\psi=0^\circ$ 处起顺时针方向量至交点的度数, 就是 r_2 的方位角, 仍将透明纸转动使中心点与 r_2 的连线与吴氏网横直径重合, 由中心点至 r_2 间的角度就是 r_2 的极距角 ρ 。晶面投影和用球面坐标(ρ, φ)表示的晶面方位的原理如图 2-4。

按照上述方法, 求出 r_1, r_2, \dots, r_6 及 m_1, m_2, \dots, m_6 的方位角 φ 和极距角 ρ , 填入表内。

作出上述晶面的极射赤平投影,并从投影图中求出 $a \wedge m$ 、 $a \wedge e$ 、 $e \wedge s$ 、 $s \wedge m$ 的面角。

3. 已知晶面 α 的球面坐标产状 $56^\circ 20'$ 、 $\rho = 90^\circ$,作出平行 α 晶面的晶面投影点 b 和垂直 α 晶面的晶面投影点 c ,并求出它们的球面坐标。

4. 按照极射赤平投影的原理,用目估方法作出立方体各晶面的极射赤平投影点(首先令其某一晶面放置在 $\varphi = 0^\circ$ 、 $\rho = 90^\circ$ 的位置上,然后再作其他晶面的投影点)。作图时,将上半球的晶面投影点以“ \cdot ”表示,下半球的晶面投影点以“ \circ ”表示。

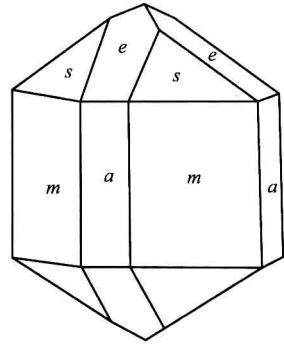


图 2-5 锡石的晶体

实习三 晶体的对称

(在晶体模型上寻找对称要素、确定对称型)

一、准备工作

复习“晶体的对称”一章。弄清对称的概念、晶体对称的特点、对称操作和对称要素、对称要素的组合、对称型的推导、晶体的(对称)分类等节。

二、目的要求

1. 练习在晶体模型上找出全部对称要素。
2. 通过对晶体模型的分析,进一步巩固和加深对晶体对称、对称操作和对称要素等知识、概念的理解。
3. 熟悉对称组合规律,并能在晶体模型上寻找对称要素时应用。
4. 熟悉 32 个对称型和晶体的对称分类体系。

三、内容、方法

(一) 观察晶体模型上面、棱、角的重复规律,找出它的对称要素

晶体上出现的对称要素有:

1. 对称面(P)

在晶体中可无或存在一个、数个对称面。对称面应在晶体上的下列部位寻找:① 垂直并平分晶面处;② 垂直晶棱并通过它的中点;③ 包含晶棱。寻找过程中,模型尽可能不要经常转动,以免遗漏或重复计数。

对称面以字母 P 表示。其数目写在 P 的前面。如仅为一个 P 时,记为 P ;若找到了 5 个对称面,则记为 $5P$ 。晶体中最多能存在 9 个对称面($9P$)。

2. 对称轴(L^n)

由于晶体固有的格子构造,晶体中可能出现的对称轴只有 L^1 、 L^2 、 L^3 、 L^4 、 L^6 等五种。晶体上对称轴可能出露的部位为:① 晶面的中心;② 晶棱的中点;③ 角顶。寻找对称轴时,使晶体围绕过晶体中心的某一直线旋转。观察在旋转一周时,有无相同的部分重复及重复次数;从而确定该直线是否为对称及它的轴次(n)。如此重复,可将晶体的所有对称轴找出。

晶体中可以无或有一个、数个对称轴,且轴次不同或相同的对称轴可同时存在。但应注意:寻找对称轴时一定要避免重复计数。对称轴的表示方法与对称面的类似。如在晶体中找到了三个 L^2 ,可记为 $3L^2$ 。此外,当存在几种对称轴时,应按轴次高低顺序排列。如立方体中可找到 $3L^4 4L^3 6L^2$ 共 13 个对称轴。

3. 对称中心(C)

具有对称中心的晶体,其晶面必然都是两两平行且同形等大。这可作为判别晶体有无对称中心的依据。

4. 旋转反伸轴(L_i^n)

晶体中的旋转反伸轴可有 L_i^1 、 L_i^2 、 L_i^3 、 L_i^4 、 L_i^6 五种。其中除 L_i^4 外,余者均可由其他对称要素或其组合代替。其间关系为 $L_i^1=C$ 、 $L_i^2=P$ 、 $L_i^3=L^3+C$ 、 $L_i^6=L^3+P$ 。

对晶体分类具有重要意义的是 L_i^4 和 L_i^6 。故对 L_i^n 的寻找主要为这二者,其他的 L_i^n 可由其他对称要素替代之。

L_i^4 初学者易误认为 L^2 ;一般当在晶体中找到 L^2 而无对称中心时,应注意再仔细检查有无 L_i^4 。方法是:将晶体围绕 L^2 旋转 90° ,察看旋转前的图形与旋转后经反伸操作的图形能否重复,如可重复,这便是 L_i^4 而非 L^2 。具有 L_i^4 的几何多面体以四方四面体等最为典型;其中的 L_i^4 对称操作的图解,请参阅教材。

如果在晶体中找到了一个 L^3 ,且垂直此 L^3 存在一个对称面。则此 L^3 占据的直线为 ($L_i^6=L^3+P_\perp$)。此时, L^3+P_\perp 的组合一定要记作 L_i^6 , L^3 和 P 不能再单独记数。

5. 确定对称型(见附 1)

(二) 应用对称要素组合规律找对称要素和确定对称型

1. 若在晶体中找到多于一个的高次轴,则该晶体属于等轴晶系,不能应用对称组合规律找对称要素。等轴晶系中必然会找到 3 个互相垂直的 L^4 、 L_i^4 或 L^2 和在其四周对称出现并与之斜交的 4 个 L^3 ;且在有 3 个 L^4 的晶体中必有 6 个 L^2 ;对称面可无,要么则为 3 个、6 个或 9 个;对称中心亦可有可无,其判别方法同前述。

2. 在中、低级晶族中可应用对称组合规律找对称要素。对称组合规律如下:

$$L^n \times L_\perp^2 \rightarrow L^n n L^2$$

$$L^n \times P_\perp \rightarrow L^n PC \quad (n \text{ 为偶数})$$

$$L^n \times P_\parallel \rightarrow L^n n P$$

$$L_i^n \times L_\perp^2 \rightarrow L_i^n n L^2 n P \text{ 或 } L_i^n \times P_\parallel \rightarrow L_i^n n L^2 n P \quad (n \text{ 为奇数})$$

$$L_i^n \times L_\perp^2 \rightarrow L_i^n (n/2) L^2 (n/2) P \text{ 或 } L_i^n \times P_\parallel \rightarrow L_i^n (n/2) L^2 (n/2) P \quad (n \text{ 为偶数})$$

由上述若干组合规律还可导出:

$$L^n \times P_\perp \times P_\parallel \rightarrow L^n \times P_\perp \times P_\parallel \times L_\perp^2 \rightarrow L^n n L^2 (n+1) P(C) \quad (C \text{ 只在有偶次轴垂直 } P \text{ 的情况下产生})$$

对中级晶族,仅有一个高次轴。找到它,将其直立,看是否有与之垂直的 L^2 (即 L_\perp^2)、 P (即 P_\perp) 或包含该高次轴的 P (即 P_\parallel)。若有,则可将上述对称组合规律中的对应者予以应用。如,四方四面体,找到了 L_i^4 ,且又找到了与之垂直的 L^2 和包含它的 P ,则: $L_i^4 \times L_\perp^2 \rightarrow L_i^4 (n/2) L^2 (n/2) P$ 或 $L_i^4 \times P_\parallel \rightarrow L_i^4 (n/2) L^2 (n/2) P$ (n 为偶数),故其对称型为 $L_i^4 2L^2 2P$ 。又如,在四方柱中找到了 L^4 及与之平行(包含)和垂直的 P ,则: $L^4 \times P_\perp \times P_\parallel \rightarrow L^4 4L^2 5PC$ (因 $n=4$,为偶数)。

对低级晶族,当有 L^2 时,可应用对称组合规律。如一晶体有 L^2 ,并找到了垂直 L^2 的 P ,则: $L^2 \times P_\perp \rightarrow L^2 PC$ 。若 L^2 也不存在时,则对称要素仅为 P 、 C 、 L^1 ,很易寻找,一般不会应用对称要素组合规律寻找。

(三) 确定对称型和晶族、晶系

一结晶多面体中全部对称要素的组合称该结晶多面体的对称型。故找出了结晶多面体中的全部对称要素就确定了它的对称型。但其表达形式,则有下列要求:对称轴写在

前面,并按轴次高低顺序排列(但等轴晶系中个别有例外,因规定其 L^3 一律排在对称轴序列中的第二位),次为对称面,再次为对称中心。如 $3L^23PC$ 、 $L_i^6F3L^23P$ 、 L^44L^25PC 、 $3L^44L^36L^29PC$ 、 $3L^24L^33PC$ 等。

对称型确定后很易确定该对称型所属晶族、晶系。关于晶族、晶系的划分原则及对称特点,请参阅教材,并应熟练掌握之。

(四) 对称要素的目估极射赤平投影

投影作图步骤为:

1. 画出基圆。
2. 分析对称要素的空间位置,对其进行投影。

(1) 对称面的投影——用粗实线表示。它与球面上大圆的投影原理相同,即:水平(垂直投影轴)的对称面即为基圆;直立(与投影轴平行)的对称面之投影为基圆的直径;倾斜(与投影轴斜交)者为以基圆直径为弦的大圆弧。

注意,当上述位置无对称面存在时,相应的基圆、直径或大圆弧可用细实线(或虚线)表示。

(2) 对称轴或旋转反伸轴的投影——按其分布位置用相应的作图符号表示。直立的对称轴落于基圆圆心,水平者落于基圆上(亦为其直径)。斜交者位于基圆内。 L^2 、 L^3 、 L^4 、 L^6 、 L_i^4 、 L_i^6 的作图符号分别为 \bullet 、 \blacktriangle 、 \blacksquare 、 \bullet 、 \square 、 \circ 。

注意:投影时,一般将高次轴与投影轴重合。

(3) 对称中心的投影——由于总是将晶体中心与投影球中心重合,故其投影点位于基圆圆心,用小圆圈“ \circ ”表示。

示例:长石晶体和石盐晶体(立方体)对称要素的极射赤平投影图如图 3-1 和图 3-2 所示。

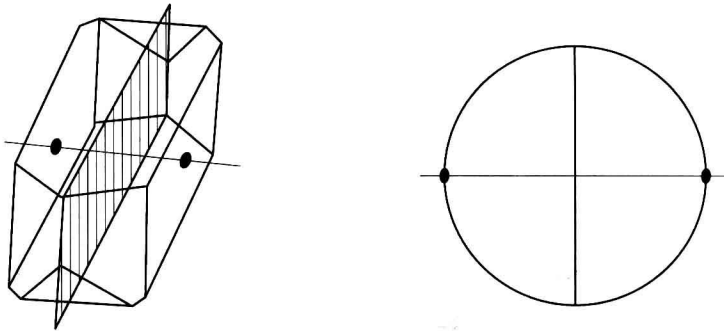


图 3-1 长石晶体对称要素($L^2 PC$)($2/m$)的分布及其极射赤平投影图

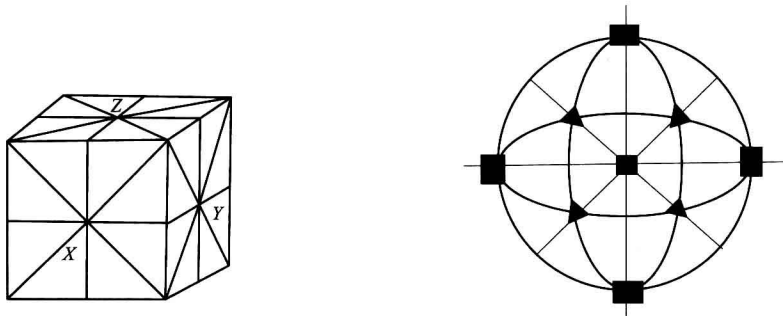


图 3-2 石盐晶体(立方体)对称要素($3L^4 4L^3 6L^2 9PC$)($m3m$)的分布及其极射赤平投影图