



结晶学与矿物学 实验指导书

(第二版)

张恩 彭明生 编

地质出版社

结晶学与矿物学实验指导书

(第二版)

张 恩 彭明生 编

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书是与结晶学与矿物学理论教学相配套的实验指导书,分为结晶学与矿物学两大部分。结晶学部分围绕晶体对称性、晶体定向及单形聚形等重点难点,通过模型操作、注意事项、作业和思考题等,加深学生对理论的理解与掌握;矿物学部分则通过大量的矿物照片、基本资料、明显特征标注及作业与思考题等,提高学生对于矿物的认识和鉴别能力。

本书可供从事地质学、材料科学、环境科学、宝玉石学等方面的科研人员及大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

结晶学与矿物学实验指导书 / 张恩等编. — 2 版.
—北京:地质出版社, 2011.3
高等学校教材
ISBN 978-7-116-07153-7

I. ①结... II. ①张... III. ①晶体学—实验—高等学校—教学参考资料②矿物学—实验—高等学校—教学参考资料 IV. ① 07-33 ② P57-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 029741 号

责任编辑:李凯明

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 82324508(邮购部); (010) 82324509(编辑部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82324340

印 刷:北京天成印务有限责任公司

开 本:787mm × 1092mm 1/16

印 张:8.25

字 数:190 千字

印 数:1501—5000 册

版 次:2011 年 3 月第 2 版

印 次:2011 年 3 月第 2 次印刷

定 价:22.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-07153-7

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

前 言 FOREWORD

在中山大学设备与实验室管理处实验教学改革项目、中山大学校级教学改革项目和2010教材建设项目的支持下,《结晶学与矿物学实验指导书》得以再次出版。

结晶学与矿物学是地质学重要的专业基础课,同时还是材料科学、宝玉石学、岩土工程及勘察、环境科学与工程、生物科学与工程、中医学等学科的重要基础课,具有广泛的应用前景;不仅对于培养和增强学生的专业兴趣、奠定扎实的专业基础,而且对于拓展学生的研究视野和从事专业的选择等方面均具有重要的意义。这门课的教学内容看似简单,即围绕“晶体”展开,但实际要求很高,兼具对基础理论知识的理解掌握及其在实践中的熟练灵活运用。结晶学偏重于理论和方法,在抽象思维和空间想象难以理解和掌握的情况下,必须通过加强实验教学达到目的;矿物学侧重于运用结晶学知识解释、发现、分析并解决矿物学的相关问题,掌握常见矿物的晶体化学特点、外观鉴定特征、成因产状及用途等,为将来能够熟练进行矿物鉴定、矿物研究及其开发应用等奠定扎实的基础。要达到这一目标,更需要借助有效的实验教学来完成。

本教材是根据作者多年教学经验积累并参阅了大量的专业教材及部分最新研究成果等编写而成,分为结晶学和矿物学两大部分。结晶学部分配合理论教学,通过实验模型分析、操作以及问题思考、作业练习,达到理解、验证、掌握理论知识的目的。矿物学部分则配备了大量不同产地、不同成因、特征明显的矿物照片及标注,以弥补实验室矿物种类少、数量有限及特征不太明显等不足,便于初次接触矿物的学生预习、学习或复习,建立感性认识,培养学生灵活运用所学知识鉴定标本的能力,在此基础上,培养学生的专业兴趣和创新能力,提高综合素质。至于矿物的其他内容,则限于篇幅,需要结合理论教学进行学习。

本教材的编写主要由张恩副教授执笔,彭明生教授主审,中山大学地球科学系张珂教授、郑卓教授、张澄博副教授为本书的编写和出版提出了宝贵建议,并在出版经费及其申请等方面给予了大力支持和帮助。福州大学紫金矿业学院刘羽教授提供了大量修改和完善意见;广东省博物馆胡林玉副研究员提供了许多优质照片,并提出了一些建议;研究生邢铭、王永刚、马霄承担了大量的绘图、照相和图片处理工作。书中所用的矿物照片还有来自克里斯·佩兰特所著的《岩石与矿物》(2003)和Martin Holden所著的《The Encyclopedia of Gemstones and Minerals》(1991),书中不再一一标注。在此深表谢忱。

作 者

2011年于康乐园

目 录 CONTENTS

前 言	
结晶学与矿物学实验教学大纲	1
实验一 晶体的极射赤平投影	3
实验二 对称要素找寻和晶体对称型的确定	6
实验三 晶体定向及晶面符号的确定	11
实验四 47 种几何学单形的认识	15
实验五 聚形分析	18
实验六 认识常见矿物双晶	24
实验七 矿物形态	27
实验八 矿物物理性质	34
实验九 矿物简单化学实验	42
实验十 自然元素矿物与金属互化物矿物	45
实验十一 硫化物及其类似化合物	52
实验十二 氧化物与氢氧化物	61
实验十三 硫酸盐、磷酸盐和钨酸盐	75
实验十四 卤化物与碳酸盐	84
实验十五 岛状和环状结构硅酸盐	94
实验十六 链状结构硅酸盐	102
实验十七 层状结构硅酸盐	109
实验十八 架状结构硅酸盐	116
主要参考文献	124
矿物索引	125

结晶学与矿物学实验教学大纲

一、课程简介及基本要求

结晶学与矿物学实验为非独立实验课程,实验安排是根据理论知识教学的进展依次进行的。根据教学的内容、任务、要求和学习对象,实验将通过三个步骤完成:第一步,根据所学理论知识,完成实验内容和要求;第二步,在上述实验内容的基础上,灵活运用所学理论知识,对实验内容即完成过程进行综合分析,掌握其内在本质;第三步,在熟练完成以上实验操作,掌握所学内容的基础上,选择合适的方法,如显微镜观察,运用X射线粉晶衍射、电子探针等测试技术方法,进一步熟练掌握矿物的性质、用途等,使学生对矿物的认识由感性上升到理性,提高学生运用理论知识的能力,独立分析问题和解决问题的能力。具体要求如下:

1. 根据所学的基本理论和基本概念,能够熟练确定简单晶体模型的对称型、晶面符号、晶棱符号、晶带及单形符号等,进一步巩固和加深学生对有关晶体基本概念的理解;
2. 能够灵活运用结晶学知识,通过综合分析,解决复杂晶体模型上的有关问题,如聚形分析、实际晶体观察和双晶分析等;
3. 在熟练运用结晶学知识的基础上,熟练掌握常见矿物形态、物理性质及其内涵,并能正确使用有关仪器设备予以准确测试和描述;
4. 能熟练运用矿物的外观鉴定特征,选择正确、简单、有效的鉴定步骤和方法,准确鉴定矿物;
5. 选择合适的测试分析和实验手段,研究、合成、优化处理或开发应用常见矿物,为将来从事相关的工作奠定基础。

二、实验课程目的与要求

结晶学与矿物学实验是与结晶学与矿物学相配套的非独立实验课程。其目的是巩固、深化和补充理论知识,加深学生对结晶学与矿物学理论知识的理解和掌握,便于学生灵活运用理论知识,提高综合分析问题、解决问题及创新能力,同时注意培养学生实事求是、严肃认真的科学作风和良好的实验习惯,为今后相关专业的学习和工作打下良好的基础。所以要求学生不仅要掌握结晶学与矿物学的基本理论知识,而且还需要具备一定的独立工作能力,掌握基本的实验技能和科学的研究方法。

三、主要仪器设备

放大镜,摩氏硬度计,显微硬度计,双目显微镜,宝石显微镜,折射率仪,偏光仪,电子天

平,长、短波紫外灯,温度1800℃左右的马弗炉,恒温水箱,干燥箱,红外吸收光谱仪,X射线粉晶衍射仪,计算机,打印机及无釉瓷板,各种化学药品等。

四、实验方式与基本要求

1. 以验证性实验为主,与理论课的进度相配套,实验前学生必须预习理论内容和实验要求,才能较好地完成实验内容;

2. 实验分组进行,在规定的时间内,由学生独立完成作业,出现问题,可要求教师进行指导,不得敷衍了事或照抄他人作业;

3. 每次实验都要按要求完成实验报告,做到内容准确、专业术语运用恰当,字体表格清洁美观,并在下次实验前进行讲评,以达到应有的教学效果;

4. 实验中要爱护公物,轻拿轻放,实验后清点实验标本;

5. 遵守实验室守则,保持室内安静。

五、考核

本课程平时考核学生对实验内容观察、实验要求及实验报告的完成情况;期末考查学生对实验内容、方法的掌握和应用情况,并分别按10%和20%计入总成绩。

实验一 晶体的极射赤平投影

一、预备知识

1. 面角守恒定律、布拉维法则；
2. 晶体的球面投影及极射赤平投影的步骤；
3. 晶体极射赤平投影结果的含义。

二、目的和要求

1. 理解并掌握晶体极射赤平投影的原理和方法；
2. 了解吴氏网的构成及其网线的性质；
3. 熟练掌握晶体极射赤平投影的方法和吴氏网在结晶学上的应用；
4. 体会几何多面体晶体与极射赤平投影平面图之间的对应关系。

三、内容、方法和步骤

1. 晶体投影说明

(1) 晶体的极射赤平投影是体现晶体上的直线方向（如晶体的结晶轴、对称轴、双晶轴、光轴等）及平面方向（如对称面、双晶面、晶带等）相互间角距关系的一种平面投影，它只涉及这些直线和平面在空间的相对取向，而并不涉及它们的绝对大小与位置。

(2) 晶面的投影是其法线的投影，并非晶面本身的投影。

(3) 晶体的极射赤平投影，在理论上讲，首先必须经过一个球面投影的过程，然后再由球面投影转化成极射赤平投影。

进行球面投影时，先将欲投影的直线或平面方向进行平移，使之通过球心，并延长或延展之，以与投影球面相交。直线两端与球面相交于两个点（互为直径反向点。通常表示时只须画出其中一个即可），称之为极点；平面与球面相交于一半径等于球半径的圆周，称之为大圆周，若平面不通过球心时，则得到的圆半径必小于球半径，称之为小圆周。此极点或圆周即为直线方向或平面之球面投影。晶面的球面投影实质上是其法线的投影，即由球心指向晶面延长与球面相交一点，因此每个晶面的球面投影只是一个极点。

将球面投影结果转换成极射赤平投影，即以过球心的赤道圆平面为投影平面，以南、北极作为视点，将各个要素的球面投影结果分别与南北极相连线，与赤道平面的交点或交线、圆弧、圆周即为其对应的赤平投影结果。

可见，与投影面平行的晶面，其投影点位于基圆之中心；与之垂直的晶面，其投影点位于基

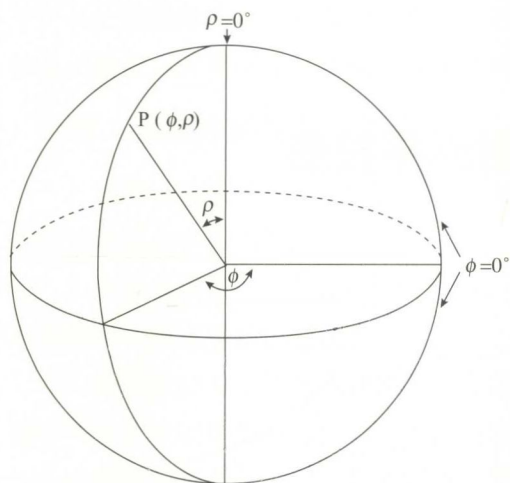


图1 球面坐标中的极距角 ρ 和方位角 ϕ

圆圆周上；而斜交的晶面，则位于基圆之内，且越近于垂直者，投影点的位置亦越靠近基圆。

(4) 任一极点在投影球上及相应的投影平面上的位置，均可由一组球面坐标值——极距角 ρ 和方位角 ϕ 来表征(图1)。其中极距角相当于地球上的纬度，而方位角则相当于经度。不过，它们在读数方法上有所不同：地球上的纬度系以赤道为 0° ，向南北两侧递增，至两极各为 90° ，经度从 0° 子午线开始，向东西两侧递增，各为 180° 。但在投影球面坐标网中，以北极为极距角 $\rho = 0^\circ$ 的基准，向南一直递增，至赤道为 90° ，至南极为 180° ；而方位角则从选定的 0° 基准线开始，其 ϕ 值由东向西（在极射赤平投影图上即

为沿顺时针方向）一直递增，绕任一纬线一周为 360° 。

(5) 将球面坐标网的网线进行投影，即可得出投影网。如将地球视作投影球，则纬线和经线即分别相当于等 ρ 值线和等 ϕ 值线。此时，若以赤道平面为投影面，两极为视点进行极射赤平投影，由此所得出的将是一种极式极射赤平投影网，称为波尔德烈夫网；如果以包含某一经线大圆的平面作为投影面，赤道上距该经线为 90° 的点作为视点，进行极射赤平投影时，则将得到赤式极射赤平投影网，即吴氏网。

在吴氏网中，所有的等 ϕ 值线都是大圆。其中包含于投影平面内的该等 ϕ 值线则表现为与基圆重合；通过视点的该等 ϕ 值线则表现为吴氏网的南北向直径；而后者与基圆的一对交点则是所有等 ϕ 值线的大圆的公共交点，两者相距为 180° 。在所有的等 ρ 值线中，除了相当于赤道的 $\rho = 90^\circ$ 的该等值线表现为吴氏网的東西向直径，是一个大圆以外，其余的都是小圆；所有这些等 ρ 值的小圆以及 $\rho = 90^\circ$ 的大圆，相互都是平行的，同时，它们与任何一个等 ϕ 值线的大圆都是正交的。因而可以借助于吴氏网来进行极射赤平投影图的一系列图解计算。

注意：从吴氏网的构成而言，它是由球面坐标网进行赤式极射赤平投影而得的结果，但是，已经得出的吴氏网，作为一种量度工具，它的网线就不再具有任何固定的含义，亦即不再确定地代表某一等 ρ 值线或等 ϕ 值线，而只是相互间具有一定关系（平行或正交）的一些大圆和小圆罢了。

2. 晶体投影步骤

利用晶体模型进行晶体投影，包括水平、直立和倾斜的各种晶面，以及上、下半球重合的晶面和同形等大不重合(如菱面体)的晶面。具体步骤如下：

(1) 用虚线（不用实线，以区别于水平平面的投影）画基圆；

(2) 正确摆放晶体模型（根据晶体定向原则；该内容将在晶体定向一章讲解，暂时按老师要求）；

(3) 分析晶体所有晶面的空间方位，明确晶面投影点与基圆的关系（平行、垂直与斜交）；

(4) 将投影结果标注于投影基圆上。晶面投影点的记号如下：

◎极点在投影球上半球的晶面，其投影记作 \odot ；

◎极点在投影球下半球的晶面，其投影记作 \times ；

◎直立（与投影面垂直）的晶面投影记作 \odot 或 \circ ；

◎上下半球晶面投影点重合记为 \otimes 。

3. 总结赤平投影的特点

总结晶体赤平投影特点；体会晶体上晶面的空间分布与赤平投影结果的对应关系，即根据晶体的极射赤平投影图想象晶体的立体图形。

四、作业与思考题

1. 将晶体模型上的晶面进行极射赤平投影，并正确表示。
2. 为什么进行晶体投影？如何进行晶体投影？
3. 晶体投影与晶体大小有关吗？晶体几何外形完全相同，但晶体大小不同，其投影图相同吗？
4. 不同空间方位晶面（水平、倾斜、直立）的投影结果如何？

实验二 对称要素找寻和晶体对称型的确定

一、预备知识

1. 晶体的对称、对称操作、对称要素、对称型等概念；
2. 晶体对称组合定律；
3. 晶体的对称分类依据，三大晶族、七大晶系的对称特点。

二、目的与要求

1. 通过对晶体模型观察所获得的感性认识，进一步理解和巩固关于晶体的对称及相关概念；
2. 学会对称操作，并能借以在晶体的理想模型上找出其全部对称要素，或根据对称组合定律，系统地找出晶体模型上的全部对称要素，确定出晶体的对称型；
3. 根据晶体的对称特点，确定晶体所属晶族和晶系；
4. 体会晶体形态与晶体对称性之间的关系；
5. 巩固对称要素极射赤平投影的特点。

三、内容、方法和步骤

1. 晶体的对称要素及其特征

观察晶体模型外形上的重复规律，从而确定它的对称要素。具体的方法和步骤如下。

(1) 对称中心 (C)

利用反伸对称操作来确定。晶体中如有对称中心存在时，必定位于晶体的几何中心。

在此点反向等距离处均有相同部分出现。所以，凡是具有对称中心的晶体，对于它的每一个晶面（角顶或晶棱）来说，必定都有另一个跟它平行的相同晶面（角顶或晶棱）存在。因此，可以将晶体模型上的每个晶面依次贴置于桌面上，逐一地检查是否各自都有与桌面平行的另一个同形等大、方向相反的晶面存在，如果晶体任意一个晶面找不到这样的对应晶面时，该晶体即不可能有对称中心（为什么？）。

在晶体中可以没有对称中心，如果有，最多只有一个。

(2) 对称面 (P)

通过反映对称操作来确定。对称面必将晶体分为两个相等部分，且互成镜像反映，两个条件缺一不可。所以在晶体中，对称面存在的可能位置是：

- ◆ 垂直并等分某些晶面的平面；
- ◆ 垂直并平分某些晶棱的平面；

◆ 包含晶棱并平分此晶棱两边晶面夹角的平面。

注意：在整个找寻过程中，最好不要翻动晶体模型，通过视线从各个不同的方向去观察，以免遗漏或重复。

在一个晶体上可以没有对称面，也可以有一个或几个，但最多不会超过9个对称面。

(3) 对称轴 (L^n)

利用旋转对称操作来确定。对称轴是一条通过晶体中心的假想直线，晶体围绕它旋转一定角度后，能使晶体相同部分（面、棱、角）以相同位置重复出现或重合。能使晶体重复的最小角度即为该对称轴的基转角 (α)；旋转 360° 时，晶体相同部分以相同位置重复出现或重合的次数，即为该对称轴的轴次 (n)。

根据晶体对称定律，在晶体中，只可能出现轴次为一次、二次、三次、四次和六次的对称轴，而不可能存在五次及高于六次的对称轴。对称轴在晶体中存在的可能位置是：

- ◆ 某两个平行晶面中心的连线；
- ◆ 某两个晶棱中点的连线，且只可能是二次对称轴；
- ◆ 某两个角顶的连线；
- ◆ 某一晶面中心、晶棱中点及角顶三者中任意两者间的连线，但当晶体具有对称中心时，这种可能位置就不再成立（为什么？）。

找寻对称轴时，可使晶体模型绕上述某一可能位置上的直线进行旋转，观察在旋转一周的过程中，模型外形是否发生图形上的复原及其复原的次数，从而确定该直线是否为对称轴，以及它的轴次是多少。亦可顺着对称轴方向俯视，观察对称轴周边可分为几个相同部分，据此确定对称轴的轴次。如此遍试所有可能位置上的直线，以找出全部对称轴。

注意：一向延长和扁平的晶体，在其延长方向或垂直于扁平的方向，往往有单一的高次轴。垂直于延长方向或平行于扁平方向，往往有几个二次轴；在各向等长的晶体上，其直立方向、水平方向、倾斜方向都可能有对称轴。不要将一个对称轴的两端分别计算成两个对称轴。

在一个晶体上可以没有对称轴，也可以有一个或数个、一种或多种对称轴。

(4) 旋转反伸轴（倒转轴）(L_i^n)

利用旋转和反伸两种对称操作的组合才能确定。

旋转反伸轴（倒转轴）也是一条通过晶体中心的假想直线。晶体围绕它旋转一定角度后再经中心点的反伸可使晶体的面、棱、角以相同的位置重复出现。当晶体上一定没有对称中心时，才可能有旋转反伸轴（这与旋转反伸轴中包含有反伸变换这一点是否相矛盾？为什么？）。

具有独立意义的倒转轴是 L_i^4 和 L_i^6 ，它们不能由简单的对称要素来替代。在 L_i^4 本身必定包含有一个 L^2 ； L_i^6 等效于一个 L^3 和一个对称面的组合，而且此 L^3 与 L_i^6 本身重合，对称面则与之垂直。因此，当晶体沿相应位置旋转 90° 或 60° 后，将晶体颠倒位置（方向不变），则晶体与转动前一致，所以此方向为 L_i^4 或 L_i^6 。即倒转轴的轴次为简单对称轴轴次的两倍。而且当 L^2 又是 L_i^4 ，或 L^3 和 P 的组合又是 L_i^6 时，则应标作 L_i^4 或 L_i^6 ，而不标作 L^2 或 L^3 和 P ，以免重复。

在以上反伸、反映及旋转三种基本的对称变换中，只有旋转变换可以借助于绕某一个轴线的旋转，得以具体实施，而反伸和反映都不可能借助于任何一种实在的动作来具体实施其变换；不要把旋转 180° 的操作当作是反伸或反映操作。

2. 系统确定晶体全部对称要素的步骤

进一步根据对称要素之间的组合定律，系统地确定晶体模型上的全部对称要素（注意每一步所找出的及推引出的对称要素，与前几步已经得出的对称要素相互间有无重复？在三向等长类型中尤其要特别注意）。具体步骤如下：

(1) 观察晶体模型是否在三个相互垂直的方向上等长，且从此三个方向上看过去晶体是否具有相同的外貌，从而将晶体模型区分为三向等长和非三向等长两类。

(2) 对于非三向等长的晶体模型，按照如下步骤进行：

1) 在模型中选出一个与所有其他方向均不一样的特殊方向，例如特别长或特别短的方向，确定此方向上存在有几次对称轴。

2) 检查有无平行（或包含）以上所找出的 L^n 或 L_i^n （以下称它们为主轴）的对称面 P 存在，假如找到有一个，且主轴为 L^n 时，利用 $L^n \times P_{(//)} \rightarrow L^n nP$ 定律，则必定有 n 个平行于此主轴的对称面同时存在，且任两个相邻对称面间的夹角 δ 等于此 L^n 的基转角之半 ($\delta = 360^\circ / 2n$)；当主轴为 L_i^4 和 L_i^6 时，利用 $L_i^n \times P_{(//)} \rightarrow L_i^n (n/2) L^2 (n/2) P$ 定理，则必定有 2 个或 3 个与主轴平行的对称面同时并存，且它们间的夹角等于该旋转反伸轴的基转角 ($\delta = 360^\circ / n$)。

3) 检查有无垂直主轴的 L^2 存在。假如找到有一个，且主轴为 L^n 时，利用 $L^n \times L^2_{(\perp)} \rightarrow L^n nL^2$ 定律，则必定有 n 个共点的 L^2 同时垂直于主轴，且任两个相邻 L^2 间的夹角等于此 L^n 的基转角之半 ($\delta = 360^\circ / 2n$)；当主轴为 L_i^4 和 L_i^6 时，利用 $L_i^n \times L^2_{(\perp)} \rightarrow L_i^n (n/2) L^2 (n/2) P$ 定律，则必定有 2 个或 3 个共点且与之垂直的 L^2 同时存在，它们间的夹角等于该旋转反伸轴的基转角 ($\delta = 360^\circ / n$)，同时，任一 L^2 均不与第 2) 步中所找出的对称面相垂直。

4) 确定模型有无对称中心 (C)。如果晶体无对称中心时，应进一步检查特殊方向的 L^2 或 L^3 是否为 L_i^4 或 L_i^6 。如果晶体有对称中心时，则晶体中垂直于每个偶次对称轴的平面必定为对称面；反之，垂直于每一个对称面的直线必定为偶次对称轴，且晶体的对称面数目等于偶次对称轴的数目之和。

(3) 对于三向等长的模型，即在相互垂直的三个方向上等长，按照如下的步骤进行：

1) 确定有无对称中心。

2) 如果晶体存在对称中心，则在相互垂直且等长的 3 个方向上，都必定有 3 个 L^4 或 3 个 L^2 存在，把它们找出来；如果晶体不存在对称中心，则 3 个相互垂直且等长方向上的 L^2 为 3 个 L_i^4 。

3) 在与上述 3 个四次轴或 3 个 L^2 均成等角度相交的方向上必定有 L^3 存在，把它们找出来（这样的 L^3 一共应有几个？）。

4) 在其他的可能方向上再检查一下，是否还有其他对称面或 L^2 存在，注意观察这些对称面或 L^2 ，及其与前述 3 个 L^4 之间的相对方位关系，看看是否有一定的组合规律。

3. 写出晶体的对称型和晶类

根据所找到的全部对称要素，写出对称型和晶类，书写规则如下：

(1) 对称型可按三部分及顺序书写：| 对称轴（旋转反伸轴） | 对称面 | 对称中心 | ；

(2) 对称轴（旋转反伸轴）有多种轴次时，一般是按照轴次由高到低的顺序书写，如 $L^3 3L^2$ ， $3L^4 4L^3 6L^2$ ，但对于等轴晶系的对称型， $4L^3$ 必须写在第二位，三个等同的 $3L^4$ 或 $3L_4^4$ ，还是 $3L^2$ 必须写在第一位，如 $3L^2 4L^3$ ， $3L^2 4L^3 3PC$ ；但如果既有 L^4 ，又有 L^2 时， L^2 则写于 L^3 之后，如 $3L^4 4L^3 6L^2$ ， $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$ ；

(3) 对称面如果多于一个，在其大写符号前加上系数；最后书写对称中心 C 。

4. 确定晶体的晶族和晶系

根据晶体对称型的特点（表1），确定晶体所属的晶族和晶系（由晶体所确定的对称型必定属于32种对称型之一）。

表1 各晶族、晶系的对称要素特点

晶族	晶系	对称要素特点		常见的对称型	晶体外形特点
高级	等轴	高次轴多于1个	$4L^3$	$3L^4 4L^3 6L^2 9PC$ $3L^2 4L^3 6P$ $3L^2 4L^3 3PC$	三向等长粒状
中级	六方	只有1个高次轴，且为直立方向	$L^6 (L_6^6)$	$L^6 6L^2 7PC$	柱状、针状 (有时为板状)
	四方		$L^4 (L_4^4)$	$L^4 4L^2 5PC$	
	三方		L^3	$L^3 3L^2 3PC$ $L^3 3L^2$ $L^3 3P$	
低级	斜方	无高次轴	L^2 或 P 多于1个	$3L^2 3PC$	晶体形状一般较复杂
	单斜		L^2 或 P 不多于1个	$L^2 PC$	
	三斜		无 L^2 和 P	C	

5. 对称要素的目估极射赤平投影

将已经确定对称型的晶体，正确放置于赤平投影圆平面（暂由老师指导放置方向），分析晶体所有对称要素的空间方位（水平、倾斜、直立）及对称要素之间的相互关系，按照下列步骤进行投影作图：

- (1) 用虚线画出基圆平面。
- (2) 按照晶体定向（由老师指导），正确放置晶体。
- (3) 分析对称要素的空间方位，对其投影：

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，即水平对称面的投影结果为基圆周（即将虚线的基圆周改为实线）；直立对称面的投影结果为基圆的直径；倾斜对称面（与投影轴斜交）的投影结果为以基圆直径为弦的大圆弧，只在等轴晶系中有 $6P$ 或 $9P$ 时才会出现倾

斜的对称面。

2) 对称轴或旋转反伸轴的投影。类似与晶面的投影结果, 投影结果为点, 即直立的对称轴投影于基圆圆心; 水平者投影于基圆周上 (1个水平对称轴在基圆上出露点为两点); 倾斜者位于基圆内 (仅在等轴晶系出现, 如 $4L^3$, $6L^2$)。并按照书中的画图符号表示于图中。

3) 对称中心的投影。因投影时是将晶体中心与投影球中心重合, 故其投影点位于基圆中心, 以 C 表示。

例如, 以下晶体对称要素的极射赤平投影图, 可按此要求进行:

长石晶体 (L^2PC), 晶体放置以 L^2 为左右, 数量多的晶面垂直投影面; 方解石晶体 (L^33L^23PC), L^3 直立, 其中 1个 L^2 放置左右; 食盐晶体 ($3L^44L^36L^29PC$), 以 3个 L^4 分别为直立、前后、左右。

四、作业及思考题

1. 根据以下记录格式, 完成各个晶体模型的对称要素的找寻、对称型的确定等内容。

模型号	对称轴				对称面	对称中心	对称型	晶族	晶系
	$L^6(L_i^6)$	$L^4(L_i^4)$	L^3	L^2	P	C			

- 晶体的几何中心就是对称中心, 这种说法对吗?
- 如果一个平面能将晶体分成为两个几何上的全等图形, 那么此平面是否必定就是对称面? 为什么?
- 至少有一端通过晶棱中点的对称轴, 只能是几次对称轴? 一对相互平行的菱形晶面之中心连线是几次对称轴? 一对相互平行的正四边形晶面之中心连线, 能否是 L^3 或 L^6 ? 一对相互平行的正六边形晶面之中心连线, 可以是哪些对称轴的可能位置? 为什么?
- 在中级晶族中, 能否有与主轴斜交的对称面或 L^2 存在? 为什么?
- 当已确定晶体中的 L^2 或 L^3 就是 L_i^4 或 L_i^6 时, 是否晶体中所有同时存在的 L^2 或 L^3 都是 L_i^4 或 L_i^6 ? 为什么?
- 没有晶体对称中心的晶体都能找到倒转轴 L_i^4 或 L_i^6 , 这种说法对吗?
- 对称轴 (L^1 除外) 能否通过某个晶面的中心或某根晶棱的中心且与此晶面或晶棱斜交? 为什么?
- 当 n 为奇数时, 下列对称要素可导致的结果是什么?
 $L^n C$; $L^n P_{(\perp)}$; $L_i^n P_{(\parallel)}$; PC
- 对称型 L^44L^25PC 中 4个 L^2 和 5个 P 分别与 L^4 为何种空间关系? 为什么?
- 当晶体对称要素中唯一的高次轴是 L^3 , 并有与之垂直的 P 时, 该晶体属于三方晶系还是六方晶系?

实验三 晶体定向及晶面符号的确定

一、预备知识

1. 熟练掌握晶体的对称分类，整数定律；
2. 熟悉各晶系的晶体几何常数特征；
3. 熟悉晶体的定向法则，并能运用几何方法正确地估计出晶面指数。

二、目的与要求

1. 掌握各晶系晶体的定向步骤，准确建立对应坐标系，并能熟练地确定晶面指数；
2. 了解斜方、单斜、三斜晶系的定向和晶体几何常数特点的共同点和不同点；
3. 正确表达晶面符号的书写方式；
4. 熟悉晶体中晶面指数的含义，要求看到这些晶面符号就能想象出它们在晶体上的空间方位；
5. 对于同一晶体的晶面符号，能够确定出它们之间的空间关系。

三、内容、方法和步骤

晶体定向的工作包括两项任务：选择结晶轴和确定轴率。晶面符号的确定应在完成晶体定向的基础上进行，首先要建立坐标系。所以对每个具体的晶体来说，要明确如何选择结晶轴（选择哪些对称要素作为结晶轴，即选择谁的问题）。怎样安置（安置的先后顺序，以及选择哪个坐标轴），结晶轴之间的空间关系。至于晶面指数，只要了解其晶体几何常数特征，就可以进行一般的相对估计。其次是如何正确表达晶面符号：一要注意与相应的坐标系对应；二要符号规范（最简单的整数比，数字间不加点，注意正、负）；三要注意总结规律。

具体步骤如下：

1. 找出全部对称要素，确定晶体（模型）的对称型和晶系，写出对应晶系的晶体几何常数特点。
2. 根据晶体定向法则选出3个或4个结晶轴，并按规定的方位进行相应的安置。
3. 逐一地定出各晶面之米氏符号。

(1) 对于三轴定向的晶体，确定其晶面符号的方法如下：

1) 设想使晶面延展，与3个结晶轴相截，然后估计其截距。截距正负的规定是： a 轴前正后负； b 轴右正左负； c 轴上正下负。若晶面与某一结晶轴平行，则相应于该轴的截距值即为 ∞ ；

2) 若晶面在 a 轴、 b 轴、 c 轴上的截距依次为 \overline{OA} 、 \overline{OB} 、 \overline{OC} ，此晶面对应于 a 、 b 、 c 轴的晶面指数为 h 、 k 、 l 。则得出：

在等轴晶系中： $h:k:l = \frac{1}{\overline{OA}} : \frac{1}{\overline{OB}} : \frac{1}{\overline{OC}}$ ，即等轴晶系的晶面指数可以直接由截距的倒数比

确定，截距相等指数亦相等，截距不等指数亦不等；

在四方晶系中： $h:k:l = \frac{a}{OA} : \frac{a}{OB} : \frac{c}{OC}$ ，若晶面与 x 、 y 轴的截距相等，而与 z 轴的截距不等，但此晶面符号也可写为 (111) ；

在低级晶族中： $h:k:l = \frac{a}{OA} : \frac{b}{OB} : \frac{c}{OC}$ 。

(以上三个公式的具体形式为什么会存在有差异?)

将晶面指数按顺序连写，并置于小括号内 (hkl) ，即成为该晶面的米氏符号。

注意：

◆ 在本实习中，上式中的 $a:b:c$ 或 $a:c$ 都是未知的。因此，不可能得出具体的晶面指数值。这种情况下可以采用 (hkl) 形式来表示；负值的指数其负号置于上方，例如 $(h\bar{k}l)$ ；

◆ 在低级晶族晶体中，只与一个轴相交的晶面符号可以为 (100) 、 (010) 、 (001) 等，但不同晶系晶体的结晶轴夹角不同，晶面的空间特点不同；如单斜晶系中 (001) 晶面倾斜才能与 x 轴平行；同样， (111) 表示相应晶面在 x 、 y 、 z 三轴上的截距系数相同，但截距长度不等；

◆ 如果晶面平行于某个结晶轴，即相应的晶面指数该值为0时，就必须写成0，不得再用字母来表示。例如晶面平行 b 轴时，就应写为 $(h0l)$ ；

◆ 在中、高级晶族中，当某个晶面的两个晶面指数值相等且对应轴单位相等时，两者应以相同的字母来代表，例如 (hhl) ；

◆ 晶面指数应是一组无公约数的整数。因此，一方面，诸如 $(h00)$ 、 $(hh0)$ 、 (hhh) 等符号应写为更简单的 (100) 、 (110) 、 (111) 等形式；而另一方面，诸如 $(h0l)$ 、 (hhl) 等符号则不能简化(为什么?)；

◆ 同一晶面符号中，决不能同时有文字与数字，如不能写成 $(h02)$ 。

(2) 对于六方和三方晶系的晶体，则进行四轴定向(图1)，确定晶面符号的方法如下：

1) 设想使晶面延展，与4个结晶轴相截，然后估计其截距。此项截距的正负对于3个水平结晶轴来说是： a 轴左前正右后负， b 轴右正左负， d 轴左后正右前负， c 轴则仍是上正下负。

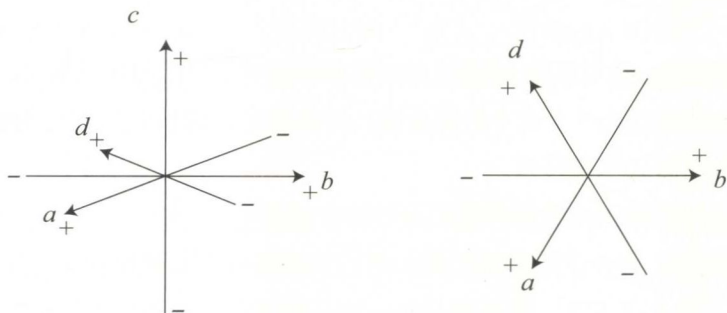


图1 四轴定向中结晶轴的相对位置及其正负端的分布

2) 若晶面在 a 轴、 b 轴、 d 轴、 c 轴上的截距依次为 \overline{OA} 、 \overline{OB} 、 \overline{OD} 及 \overline{OC} ，则此晶面的晶面指数 h 、 k 、 i 、 l 应为：