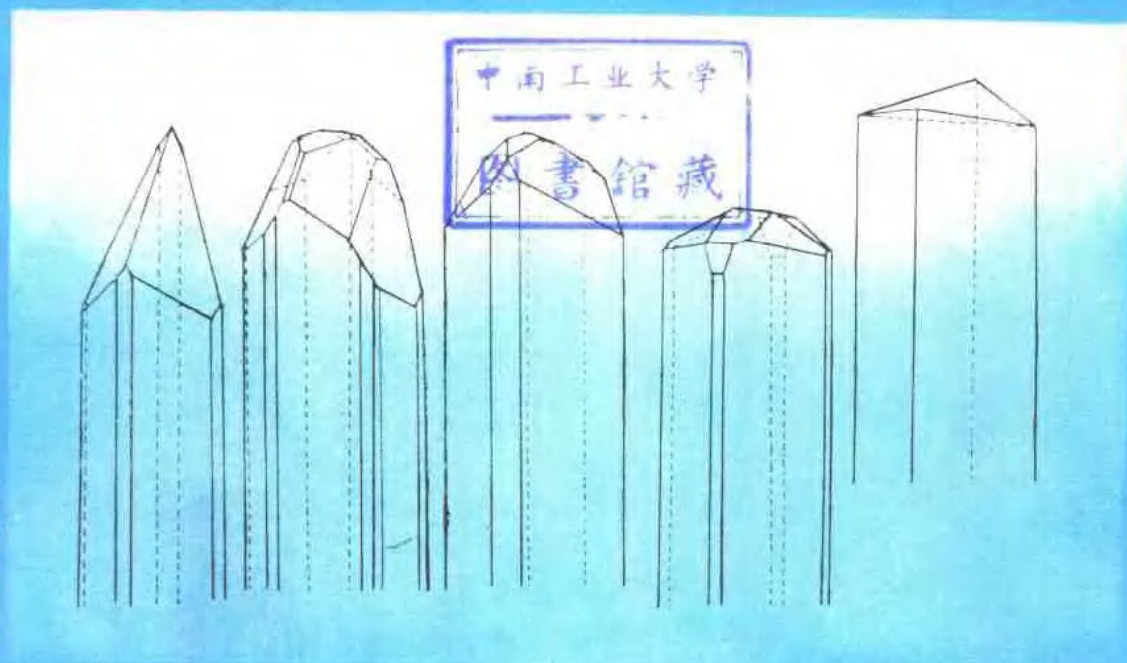




普通高等教育地质矿产类规划教材

晶体测量学简明教程

王文魁 彭志忠 编



地质出版社

普通高等教育地质矿产类规划教材

晶体测量学简明教程

中国地质大学（武汉）

王文魁 彭志忠 编

地质出版社

(京)新登字 085 号

内 容 提 要

本教材是在 1963 年版《晶体的测量》的基础上,以新式测角仪的使用和戈德施奈特晶体测量方法为主重新编写而成,是研究晶体形态和形貌的基础教材。内容包括传统的晶体测量、投影、制图、计算等,还增加了晶体测量的计算机处理。重点放在晶体的制图和晶体测量结果的计算。

普通高等教育地质矿产类规划教材

晶体测量学简明教程

地质矿产部教材编辑室编辑

王文魁 彭志忠 编

*

责任编辑:杨洪钧

地质出版社出版

(北京和平里)

中国地质大学印刷厂印刷

(北京海淀区学院路 29 号)

新华书店总店科技发行所发行

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 9.375 插页: 2 页 字数: 216000

1992 年 11 月北京第一版·1992 年 11 月北京第一次印刷

印数: 1—1000 册 定价: 2.55 元

ISBN 7-116-01082 3/P·912

前言

晶体测量是矿物学的基础工作方法之一。新中国成立后,1951年张炳熹教授在北京沙滩北大地质系开设的岩矿专题讲座中讲授过,后来北京地质学院矿物教研室在张老师的指导下从1958年起由彭志忠、张静宜等为我国地质系岩矿专业首先开设了晶体测量学课程,编写了教材,并计划全面系统地测量研究我国矿物的晶体形态。他们初战就取得了重要成果,如1959年有张光荣、张容英参与完成的香花石晶体图形不仅为我国1958年发现的第一个新矿物提供了精确的具体形态,而且亦确定它是迄今为止结晶学中五角三四面体晶类($3L^24L^3$)最好的天然矿物代表,充实了世界结晶学的内容。

晶体测量这一开创性的基础教学和研究在1965年后就中断了,直至80年代初期,近20年中,国内没有关于晶体形态测量公开发表^①的研究成果。全国在学校中没有继续培养本学科的后继人材,几十台精密光学测角仪没有发挥应用的效用。但最主要的是我国结晶矿物学中断了最基本的内容和研究方法之一。目前扫描电镜晶体测量(细微晶体)和计算机操作的实验方法已经出现,我们尚未普及。而经典晶体测量学的基本原理和工作方法需要首先在教学中恢复和发展,以接续传统、开拓前进,以促进我国矿物学的全面发展。

鉴于上述,中国地质大学从1983年起在武汉重建并更新了晶体形貌学实验室(引入现代微形貌学内容),开设了“晶体形貌学”选修课。1983年作者与彭志忠教授商洽修订其原著《晶体的测量》(1963,中国工业出版社出版),1984年底完成初修稿,并由彭志忠同志亲送地质出版社审核。后来他全力投入准晶态研究无暇顾及此书的出版,不幸于1986年逝世。作者继续在原初修稿的基础上进一步修订,并以新型STOE双圈反射测角仪为主要工具简要介绍V. Goldschmidt(戈德施米特)(1853—1933)的晶体测量方法。书中除详述此仪器及双圈接触测角仪的性能和使用外,亦加入了我们近年研究的雄黄、霓石、天青石、白铅矿等实例,作为一本简明教材普及经典晶体测量方法的实质,弥补现用结晶矿物学教材的不足。

值得指出的是第九章晶体测量的计算机处理主要是在周芬娜硕士学位论文“晶体形态计算机绘图和数据库研究”(1991)的基础上写成的。这是一个按照戈氏晶体测量方法研制的软件,不同于国内外已知画理想晶体图的同类工作。其主要功能是输入测量结果进行投影、计算并将实际晶体的顶视图转变输出为实际晶体的立体图(兼可实现缩放、旋转等),从而将晶体测量学具体实验方法提高到现代化水平,有助于实际晶体形态特征和其成因演化规律的研究。

本书的修订工作继续经历了近七年时间,原作者我国晶体形貌的创始人著名结晶学家彭志忠教授已经离开我们。今日终得出版完成他的夙愿并对他寄以无限的深切怀念。

在修订过程中我校地质系矿物教研室青年教师赵珊茸以及张良钜、魏铁军等均曾分别处理过部分章节的内容。牛新喜画了大部分十分准确而精美的晶体图。中国地质大学陈光

^① 赵凤民等《轴矿物鉴定手册》,1988年公开发表张静宜在20多年中坚持着严格测量了我国34例轴矿物晶体形态,是十分难能可贵,并值得庆幸的,为我国轴矿物形态完成了稍纵即逝的珍贵资料。

远、潘兆橿、沈今川、王根元、薛君治教授、赵爱醒、张汉凯副教授，以及北京大学地质系曹正民教授曾给予热情鼓励和支持；绘图室王润高等清绘了大部分图件；特别是地质出版社教材室杨洪钧主任重视并支持这一薄弱基础学科教材的长远建设，作者在此一并深表感谢。

由水平所限，谬误不当之处在所难免，作者热忱希望读者随时指正，以共同推进结晶矿物学的这一分支学科的建设是幸！

王文魁

1992. 4. 16 于武汉

目 次

第一章 绪论	(1)
第一节 晶体测量的理论基础和实际意义	(1)
第二节 晶体测量的历史发展概况	(5)
第二章 主要测角仪的性能和使用方法	(7)
第一节 戈氏双圈接触测角仪	(7)
第二节 双圈反射测角仪	(8)
一、仪器简介	(8)
二、光学系统	(10)
三、测角仪头	(11)
第三章 晶体的测量	(13)
一、矿物晶体标本的采集挑选与画顶视图	(13)
二、安装晶体与调节测角仪	(15)
三、晶体的测量和记录	(18)
四、测量的精确度问题	(21)
第四章 晶体的投影	(22)
第一节 心射极平投影的原理	(22)
第二节 心射极平投影的主要特性	(23)
一、球面大圆小圆的投影和投影网	(23)
二、晶面的心射极平投影	(23)
三、晶带的心射极平投影	(26)
第三节 心射极平投影的工具和方法	(26)
第四节 心射极平投影图上的基本测量功能	(27)
一、测量两个晶面之间的角度	(27)
二、角点 W、投影中心 C 和晶带中心 A 之间的角度关系	(28)
三、求晶带的极点	(28)
第五节 心射极平投影与极射赤平投影的关系与对比	(29)
第六节 巴克尔投影法与帕克尔投影法	(30)
一、巴克尔投影法	(30)
二、帕克尔赤平-极平投影网	(32)
第七节 各晶系晶体心射极平投影的特点	(34)
第五章 在投影图上确定晶面符号的方法	(38)
第一节 米氏符号和戈氏符号	(38)
一、米氏符号	(38)
二、戈氏符号	(38)

第二节	在极射赤平图上定晶面符号	(40)
第三节	在心射极平图上定晶面符号	(42)
第四节	坐标轴的转换	(44)
第六章	晶体的制图	(46)
第一节	晶轴架作图法	(47)
一、	等轴晶系晶轴架斜投影的原理和方法	(47)
二、	画图举例	(48)
第二节	根据极射赤平投影作晶体的立体图	(51)
一、	修正顶视图	(51)
二、	画晶体的斜投影图	(52)
三、	画晶体任意位置的投影图	(54)
四、	双晶的极射赤平投影	(54)
第三节	根据心射极平投影画晶体的立体图	(55)
一、	校正顶视图	(55)
二、	选择作图平面, 确定导线和角点	(56)
三、	画晶体的斜投影图	(57)
四、	作图时的几点注意事项	(59)
五、	晶体图的背面和下端的处理	(61)
六、	作图举例	(61)
第四节	主要晶体作图法的比较	(68)
一、	晶轴架法	(68)
二、	极射赤平投影法	(69)
三、	心射极平投影法	(69)
四、	赤平-极平投影法	(69)
第七章	晶体测量的计算	(70)
第一节	戈氏法计算的结晶要素	(70)
一、	线式要素 (direct, or linear ratio)	(70)
二、	投影要素 (gnomonic projection elements)	(70)
三、	极式要素 (polar elements)	(70)
第二节	三斜晶系的计算	(72)
一、	结晶要素	(72)
二、	三斜角	(75)
三、	实例	(76)
第三节	单斜晶系的计算	(81)
一、	结晶要素	(81)
二、	单斜角	(83)
三、	实例	(84)
第四节	斜方晶系的计算	(89)
一、	结晶要素	(89)
二、	斜方角	(89)
三、	实例	(90)

第五节 四方晶系的计算	(94)
一、结晶要素	(94)
二、四方角	(94)
三、实例	(94)
第六节 六方晶系与三方晶系的计算	(97)
一、结晶要素	(97)
二、六方角	(98)
三、实例	(99)
第七节 等轴晶系	(103)
第八章 晶体的测角鉴定和比较晶体形貌学研究	(108)
第一节 晶体的测角鉴定	(108)
第二节 比较晶体形貌学研究	(111)
第九章 晶体测量的计算机处理	(112)
第一节 利用晶面方程作晶体图	(112)
一、SHAPE 的基本数学方法	(112)
二、SHAPE 的一般绘图程序	(114)
三、SHAPE 绘双晶图	(114)
四、沈台川、金泽 (Kanazawa) 的晶面方程作图法	(115)
第二节 顶视图法作晶体图	(119)
一、顶视图与极平投影	(119)
二、数据结构	(120)
三、数据的输入和存贮	(122)
四、消隐处理	(123)
五、一般绘图程序	(125)
六、绘图举例	(127)
附表附图	(132)
附表 1 基圆半径为 5cm 的正切表 ($5\tan\rho$)	(132)
附表 2 基圆半径为 10cm 的正切表 ($10\tan\rho$)	(134)
附表 3 半径为 5cm 的基圆的弦长表 ($2r\sin\phi/2$)	(136)
附表 4 晶体测量记录表	(137)
附图 1 戈氏双圈反射测角仪	(138)
附图 2 KGO3.1 型 (同 ZRG3 型) 双圈反射测角仪	(138)
附图 3 简易的 CM 型双圈反射测角仪 (英国)	(139)
附图 4 Nedinsco 双圈反射测角仪 (荷兰)	(139)
附图 5 Nedinsco 双圈反射测角仪光学系统图	(140)
附图 6 Parker 赤平-极平投影网	(140)
附图 7 晶体心射极平投影工具图	(140)
附图 8 四方晶系和六方晶系轴率简易算法图解	(141)
参考文献	(142)

第一章 绪 论

晶体测量是研究晶体形态的一种传统的基本方法。

矿物晶体形态是矿物的成分、结构和其在生长过程中所处的地质环境因素，相互作用而形成的具有丰富信息的终态表面图形。因之，测量研究矿物晶体形态是了解矿物的结晶习性、生长机制以及成因条件，并进一步探索矿石、岩石成因，为找矿勘探提供重要信息。

第一节 晶体测量的理论基础和实际意义

晶体形态研究的可能性，开始于1669年丹麦结晶学家N. Steno（斯丹诺）的研究工作。他在分析了天然石英晶体的各种形态之后，发现在石英各个不同晶体上，彼此相当的晶面形状和大小发育可以不同，但相当晶面间的夹角是不变的。如图1-1所示在四个形态习性不同的石英晶体上各自柱面间的夹角为 120° （即晶面法线间的交角为 60° ）保持不变。

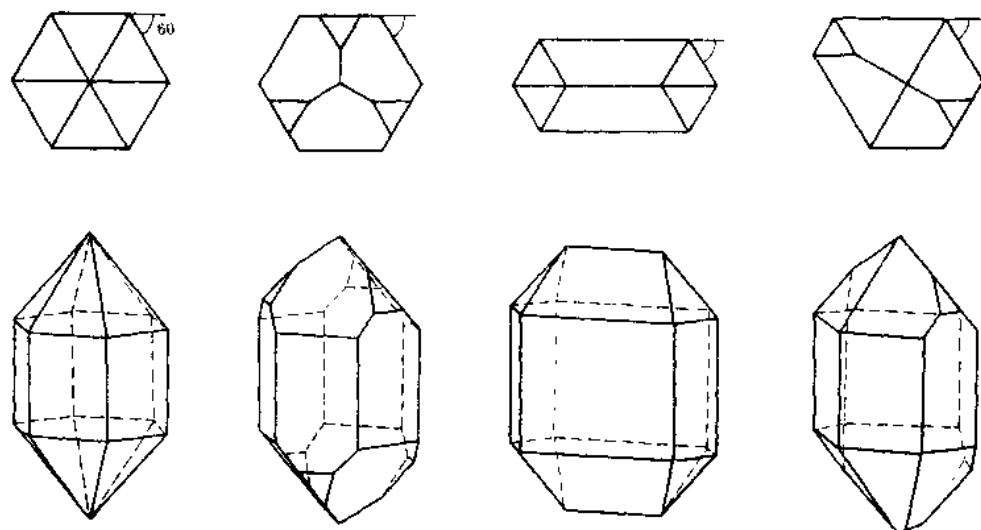


图1-1 四个形态习性不同的石英晶体的顶视图和斜投影图

同种矿物晶体面角恒等的规律即称为面角恒等定律。它的确切意义是（在相同的压力、温度和化学组成条件下，）同种矿物的不同晶体上，相应晶面间的夹角恒等。1780年Carangeot（卡兰久）首先发明了接触测角仪。1783年法国结晶学家就利用这种测角仪测量了许多种矿物晶体的形态，证实了面角恒等定律的普遍意义。这个定律奠定了晶体形态测量的理论基础。

面角恒等定律的发现和应用，为研究众多矿物绚丽多姿变化万干的晶体形态开辟了道路，并使自然界矿物晶体形态的直观现象，有可能被归纳为有规律的自然科学体系。因而可以认为，自从矿物晶体形态的定量测量研究逐渐代替了定性描述时起，矿物结晶学才走

上了精密科学的道路。晶体形态测量学的建立是矿物结晶学发展史上的第一个重要的里程碑。它与 20 世纪初发展起来的 X 射线结晶学一起,都是这一基础地质学科发展过程中的重要转折点。

矿物晶体形态测量研究的实际意义,在 20 世纪初期以前,主要是根据测量计算的晶体形态学参数鉴定矿物,即一种鉴定矿物的方法。但自从 1914 年能够快速精确鉴定矿物的 X 射线衍射方法广泛运用以来,晶体形态测量就迅速失去了它在鉴定矿物方面的重要实际意义。但这只是本学科的一个方面,另一方面它在下列几点仍具有持久发展的生命力。

1. 个别矿物精确的晶体形态是矿物学研究中不可缺少的基本内容。例如图 1—2, 3, 4 所示,五角十二面体、四角三八面体、三角三八面体等的各变形的晶体形态,非经过严格的测量不能辨别。尤其是,中国目前对各种矿物晶体形态的严格测量研究非常不足,远远落后于世界其他地区的研究程度,还需要努力开发。在绚丽多姿的结晶界中,有世界上常见的形态,亦有我国矿物所特有的晶体形态。例如我国发现的第一个新矿物香花石的形态(彭志忠等, 1964)就是国际结晶学中五角三四面体晶类($3L^24L^3$)最好的天然矿物代表。我国广西大厂锡矿中脆硫锑铅矿晶体形态(王文魁, 牛新喜, 1986)是该矿物发现 170 多年来唯一可信的严格形态。福建晶洞花岗岩中的霓石具有世界上从未发现过的由偏锥状→蝌状→柱状完善的形态系列,及凹角式和闭合式依(100)的接触双晶(王文魁、赵珊茸, 1989)等。诸如此类中国矿物个别的晶体形态都有待于中国矿物学家们的测量研究。

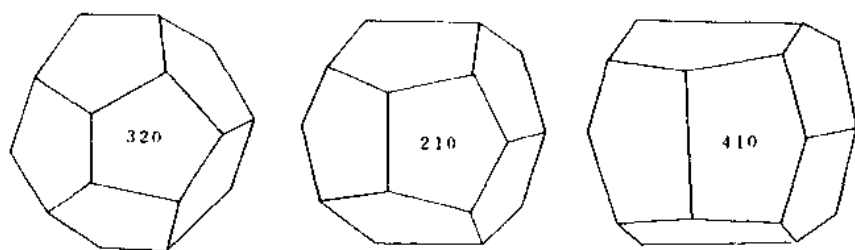


图 1—2 黄铁矿 $\{hkk\}$ 的三个变形
(hkk) 的方位角自左至右分别为 $56^\circ 19'$ 、 $61^\circ 34'$ 、 $65^\circ 48'$

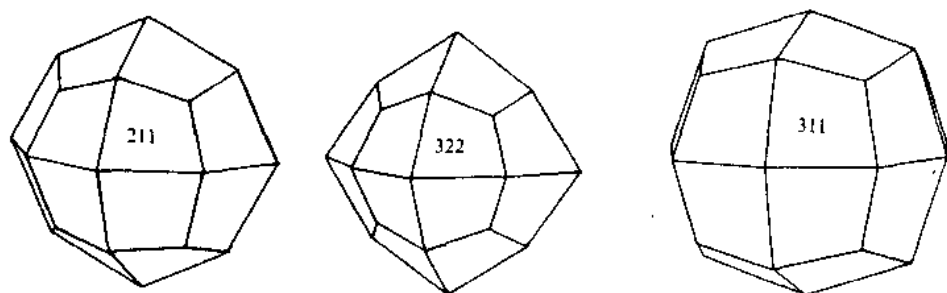


图 1—3 四角三八面体 $n\{hkk\}$ 的三个变形
(hkk) 的极距角自左至右分别为 $35^\circ 16'$ 、 $43^\circ 19'$ 、 $25^\circ 14'$ (AX 轴)

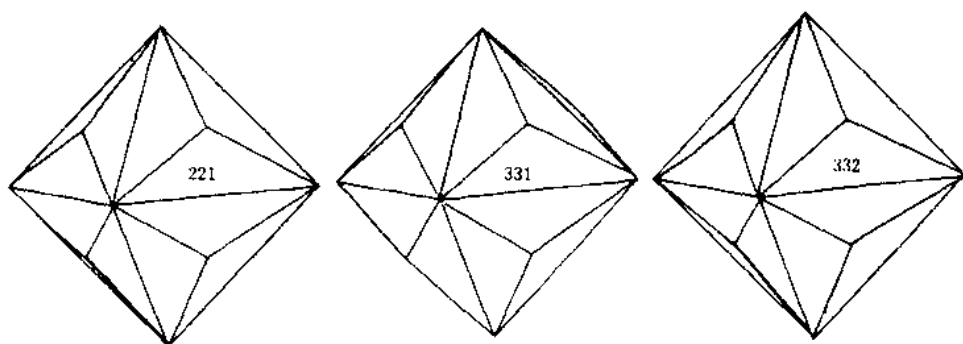


图 1-4 三角三八面体 $\{hkk\}$ 的三个变形

(122) $\phi 26^{\circ}32'$, $\rho 48^{\circ}11'$; (133) $\phi 18^{\circ}26'$, $\rho 46^{\circ}30'$; (233) $\phi 33^{\circ}41'$, $\rho 50^{\circ}14'$

2. 个别矿物晶体的宏观形态特征可以为其内部结构的对称特点提供线索, 便于 X 射线单晶分析时晶体定向操作。

3. 任何常见矿物或少见矿物系统的形态习性特征及变化规律, 都是矿物内部结构、化学组成和外部生长条件的宝贵信息。因此, 严格的系统的晶体形态测量资料, 可以反映出丰富的成因信息, 是成因矿物学和找矿矿物学的重要内容。这亦是晶体形态测量研究所赖以持续发展的重要依托。例如就目前已进行过的研究可以认为, 伟晶岩脉中的锡石晶体往往是柱面短小而锥面发育的双锥状或短柱状习性, 而热液脉中的锡石形态特征则常与此相反呈柱面发育的长柱状甚至针状习性。又如在不同的介质条件下生长的萤石晶体形态亦常有所差异, 酸性介质中八面体较发育, 碱性介质中立方体较发育, 而在中性介质中却是菱形十二面体较发育。近年来, 国内外都很注意金矿床中黄铁矿晶体形貌特征及其变化规律, 以论证矿床成因并指导找金矿等。陈光远等 (1988) 对胶东三县四个金矿床黄铁矿晶体形态进行了系统研究, 查明黄铁矿形态及其晶面微形貌的发育与硫逸度、温度、冷却速度等密切相关。А. П. Бизикова (1981) 总结了原苏联远东许多金矿床垂直分带中, 黄铁矿晶体形态的分布规律是: 矿体下部以立方体晶形占优势; 矿体中部以五角十二面体为主, 或呈五角十二面体与立方体的聚形、或呈五角十二面体与八面体的聚形; 矿体上部以八面体占优势。С. К. Смирнова (1983) 指出东乌兹别克斯坦金矿床, 从矿体下部到上部, 黄铁矿晶形依次为: $\{100\} \rightarrow \{100\} + \{hk0\} \rightarrow \{hk0\} + \{111\} \rightarrow \{111\} + \{hk0\} \rightarrow \{111\}$ 。这种形态分布规律如图 1-5 所示。

上述三点表明晶体形态测量研究的实际意义, 除个别矿物的结晶形态学研究外, 就是在具体矿床中系统地研究其形态习性特征的变化规律, 判断矿床的成因, 向找矿晶体形貌学方向发展。

总之, 矿物晶体形态 (以及其表面微形貌) 的测量研究, 不应受到忽视被淘汰, 而是应当继续发展的学科。它与矿物成分和物性等研究内容一样, 对矿物学研究和发展具有重要意义, 都是不可或缺而应当同步发展的矿物学分支^①。

① 王文魁, 一个需要在我国注意发展的矿物学基础研究领域, 地质科技情报, 1982. 12.
王文魁、赵珊茸、牛新喜, 应重视矿物晶体形貌学的研究, 中国地质报, 1989. 4. 24.

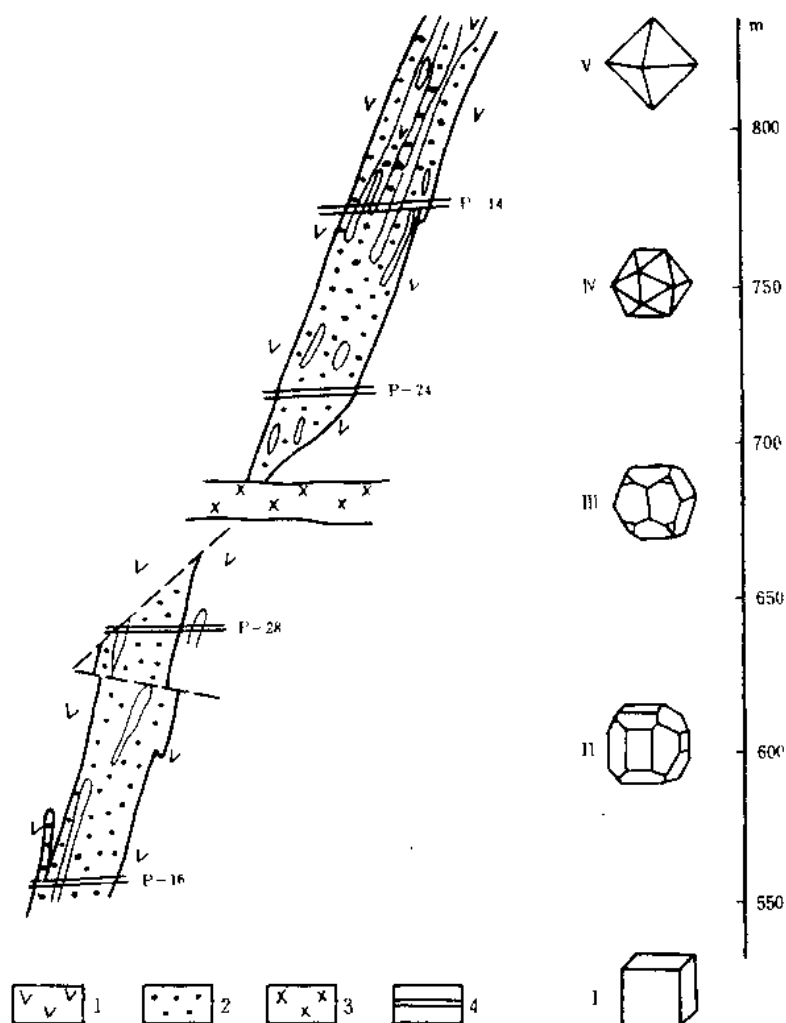


图 1-5 沿含金石英脉上山方向黄铁矿晶习变化图

(据 H. 3. 伊夫兹科娃, 1981)

1. 青磐岩化安山岩; 2. 石英; 3. 闪长玢岩; 4. 取样刻槽。

I. {100}; II. {hkl} + {100}; III. {hkl} + {111}; IV. {111} + {hkl}; V. {111}

表 1-1 晶体形态测量与 X 射线结构分析对比

	形态测量	结构分析
主要仪器	光学测角仪	含测角仪的 X 射线衍射仪
光源特性	可见光, $\lambda=300-700\text{nm}$	X 射线, $\lambda=0.01-1\text{nm}$
工作原理	晶体表面对可见光的反射	晶体结构中面网对 X 射线的“反射”
主要测量内容	1. 晶面法线极点的球面坐标	1. 面网间距 d , 衍射强度 I
	2. 面角	2. 微观结构图形
所得参数	晶体常数及形态参数	晶胞参数, 空间群
最终结果	结晶多面体的几何形态	晶体内部结构图形

此外,我们还应该进一步认识到晶体形态测量在晶体学研究中的历史性意义。矿物晶体宏观形态测量与微观结构状态的X射线分析是前后相承、互为补充,并逐步深入的实验手段。回顾近300年来矿物结晶学发展的历史,我们可以明确地看出,长时期积累起来的大量宏观形态资料(即经典几何结晶学内容)为现代X射线结晶学奠定了基础。晶体X射线衍射方法的出现,一方面充分肯定了以晶体形态学为基础的几何结晶学经典内容,另一方面亦开辟了晶体微观结构研究的道路。这就是晶体形态测量与X射线结构分析之间的因果关系。表1—1表示这两种研究方法的性质对比。

第二节 晶体测量的历史发展概况

自然界矿物晶体绚丽多姿的形态很早就引起了人们的浓厚兴趣。自从17世纪面角恒等定律的发现和各种测角仪出现以后,人们对矿物晶体形态的研究有了飞跃进展。

1669年丹麦N. Steno在描绘不同石英晶体的轮廓时发现了同种矿物晶体的面角恒等定律。

1748年俄国M. B. Ломоносов首次大量测量了硝石、金刚石、石英等晶体的面角。他所用的方法未留传下来。

1780年法国机械工程师Carangeot发明了接触测角仪。他的老师法国学者Louis Romé De l'Isle (1736--1790)利用这种测角仪进行了20多年的晶体测角工作,测量了大量矿物晶体,肯定了面角恒等定律的普遍意义。

1784年René J. Haüy(阿羽依)指出晶体是由微小的像建筑用砖块一样的微积分子(integral molecules)堆积而成的。这种微积分子的概念就是现代结晶学中晶胞(unit cells)的雏意。后来(1801)他通过大量晶体的研究建立了晶体上各种晶面的有理指数定律。

1809年英国矿物学家W. H. Wollaston (1766—1828)发明了单圈反射测角仪,提高了测量的精度。它的出现使晶体形态测量工作在19世纪初期曾盛极一时,积累了大量实际资料。晶体形态学开始成为严密的科学。

19世纪末出现了各种双圈反射测角仪。它们的问世大大促进了晶体形态测量研究的进展,至今仍是晶体测量的重要工具。1889年俄国著名结晶学家E. C. Федоров(费多罗夫)(1853--1919)根据经纬仪的原理在俄国矿物协会会议上提出了双圈反射测角仪的设计方案,但未及时试制出仪器。后来,德国蔡司公司工程师Czaposki和海得堡大学教授V. Goldschmidt (1853—1933)^①根据相同的原理分别研制出各自的双圈反射测角仪(称为卡波斯基式和戈德施米特式)。后者在1960年以前仍广泛应用。但发明此仪器的荣誉应归功于费多罗夫。

1899年H. Smith发明了三圈反射测角仪,能同时测量晶体上晶面的面角和球面坐标。后因结构复杂未能推广。

此外,为解决晶体测量中的一些特殊问题,如测量面角在不同温度的变化,在溶液中测量面角、以及测量如芒硝等易潮解的晶体的面角等均有特殊装置的设计。大约在1910年前后,戈德施米特设计制造了双圈接触测角仪。这种仪器结构简单、操作方便,能测量5cm

① 王文魁,著名结晶学家V. Goldschmidt (1853—1933),世界地质,1987.3。

左右大小的晶体，并且很适于结晶学初学者使用，便于结晶学教学。

到了 20 世纪 50 年代，曾被广泛采用的双圈反射测角仪的基本结构型式获得进一步改进。仪器上的望远镜与照明光管由位于同一水平面中改装在同一直立的平面中，并在读数投影屏上同时可读出 φ 和 ρ 的两个数值。这就大大简化了传统测角仪的调节方法。目前广泛使用的就是由荷兰、英国、德国等著名厂家生产的改进后的各种型号的测角仪，例如本书重点介绍的德国 STOE 双圈光学测角仪等。

从以上所述可以看出，天然矿物晶体形态测量从开始至今的 220 年的过程中，是随着测角仪的制造与改进而发展前进的。到 19 世纪末，欧洲结晶矿物学家们已经完成了绝大部分肉眼可见晶体的形态测量，并积累了大量的测量资料。费多罗夫在 19 世纪末汇编了当时已有的晶体形态测量与化学组成资料，出版为《结晶界》⁽¹⁾，从而创立了鉴定矿物晶体的结晶化学分析方法。后来他的学生 A. K. Болдырев⁽²⁾ 和 T. V. Barker 进一步简化了这种鉴定方法。戈德施米特于 1887—1891 年间出版了三卷著作《晶形索引》(Index der Krystalloformen)⁽³⁾，整理了当时所有公开发表的矿物晶形资料。于 1913—1923 年他又出版九卷十八册《晶形图册》(Atlas der Krystalloformen)⁽⁴⁾，汇总了全部共约 25 000 个晶体图和涉及每个图的参考资料。这一部不朽的晶体形态学著作，是 1923 年以前世界晶体形态测量研究最完善的经典资料。他与 S. G. Gordon (格尔顿) 编著的《鉴定矿物的结晶学表》⁽⁵⁾ 包括已知 1025 种矿物晶体形态的测量数据，奠定了晶体形态测量鉴定矿物的基础。后来 M. W. Porter (波尔特) 和 R. C. Spiller (斯皮勒) 将晶体形态测量数据汇编为三卷本《晶体的巴克索引》(1951—1961)⁽⁶⁾。至此，世界上晶体形态测量的方法、仪器和成果资料已十分完善，并形成了完整的矿物晶体形态数据体系，用于鉴定矿物。

自从 1914 年 X 射线结晶学兴起后，准确而迅速的 X 射线粉晶照相、粉晶衍射和单晶分析的鉴定法很快取代了矿物晶体形态测量的鉴定方法，从而使晶体测量学在其发展过程中已基本完成它以个别晶体形态数据作为矿物鉴定手段的历史任务。但是它在精确测量的基础上，从成因的观点来探讨矿物晶体形态的生长机制和演化规律，并进一步应用于岩石和矿床成因理论研究以及找矿勘探，则远远落后于矿物学的其他分枝，如化学成分、物理性质等。因此晶体形态测量的方法不能偏废，晶体形貌学（包括宏观形态和 20 世纪后期发展的晶体表面微形貌）必然要与矿物学的其他分枝在理论上和应用上同步发展前进。

第二章 主要测角仪的性能和使用方法

测量研究晶体宏观形态所使用的测角仪的种类型号很多,其中主要有双圈接触测角仪和双圈反射测角仪两种。以下介绍戈氏双圈接触测角仪和STOE双圈反射测角仪。(单圈接触测角仪略。)

第一节 戈氏双圈接触测角仪

双圈接触测角仪是戈德施米特于1896年发明的(图2—1)。它可以测量2—6cm大小晶体上晶面的球面坐标,误差 $\pm 0.5^\circ$ 。由于是直接测量晶面的空间方位,不要求晶面具有良好的反光性能,因此它特别适用于测量晶体上的无光泽面、条纹面和阶梯面等。双圈接触测角仪对于几何结晶学和晶体测量的初学者很重要。它可以直观演示双圈测量的原理,晶面法线与晶面的球面投影、极射赤平投影和心射极平投影的关系,并便于学生认识晶体的对称特点等。

仪器的结构 戈氏双圈接触测角仪主要由带刻度的直立圈V、水平圈H和晶面法线杆(P、S)等组成。它由水平圈旋转360°带动直立圈旋转的轨迹为球形,即晶体的投影球。水平圈相当于投影球的赤道平面。P板相当于晶体上的任一晶面,S杆即该晶面的法线。因此任一晶面当P板与它严格平行时,则水平圈上的刻度与指定为 0° (0° 子午线)起算度数的差即为该晶面球面坐标的方位角(φ),S杆通过直立圈的刻度为该晶面的极距角(ρ)。测量时要严格防止P板与晶面接触碰撞,使晶体变位,影响测量结果。只使P板与晶面尽量接近,同时微转动L,直至二者严格平行即可。

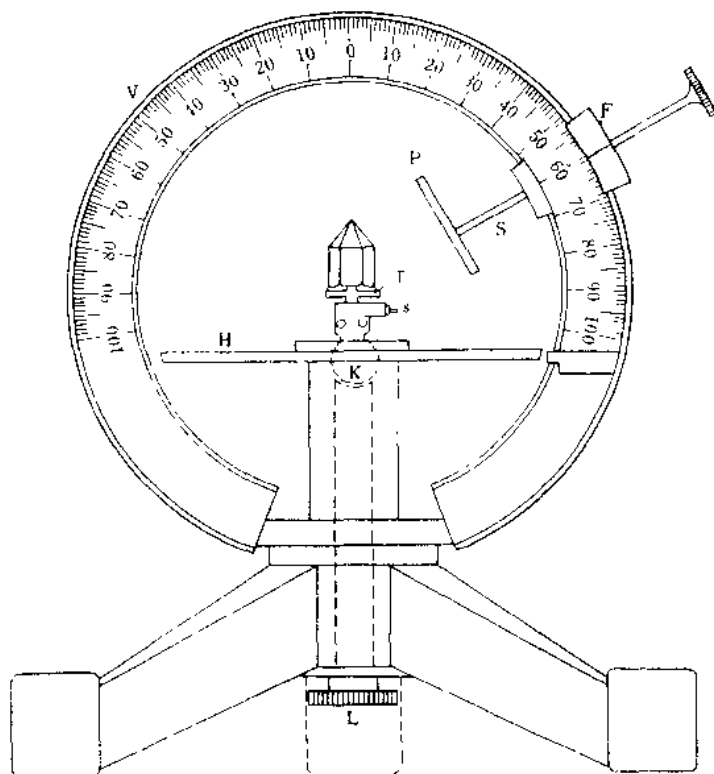


图2-1 双圈接触测角仪

V. 直立圈; H. 水平圈; T. 晶体托; S. 晶面法线杆; P. 晶面触板; K. 晶体
直向调节球; s. 晶体托紧固螺丝; L. 水平圈旋转柄; F. 读数标尺

(制造商, 德国 Darmstadt, STOE & CIE GMBH)

测量前先选好晶体，并绘制该晶体的顶观草图，对全部晶面自右侧起先柱面后端面按序编号。测量时，先柱面后端面依次测出它们的球面坐标 φ , ρ ，并记录下来。然后即可绘制晶体斜投影图和计算晶体常数。所有这些过程在以后各章还要详细介绍，这里不多叙述。A. Bascom⁽⁷⁾（巴斯卡）曾详细介绍过双圈接触测角仪在结晶学教学中的应用。

下面以图 2-2 简单说明双圈接触测角仪的基本测量操作。a 为一石英晶体的顶观图。b 为测量柱面时，测角仪和晶体的俯视位态，P 板与晶面 7 平行但不直接接触在一起，避免触动晶体以及晶面上的局部凸起、结节等不平整部位，以免影响测量的精度。以 M 的标志线为准在水平圈的刻度线上读出晶面的方位角 φ ，此时 S 杆位于直立圈上的 90° 处，即柱面的极距角 ρ 为 90° 。c 为测量锥面时晶体和仪器直立圈的直立剖面，在这种位态时可以 S 杆在直立圈刻度线上的位置直接读出该锥面的极距角 ρ 。

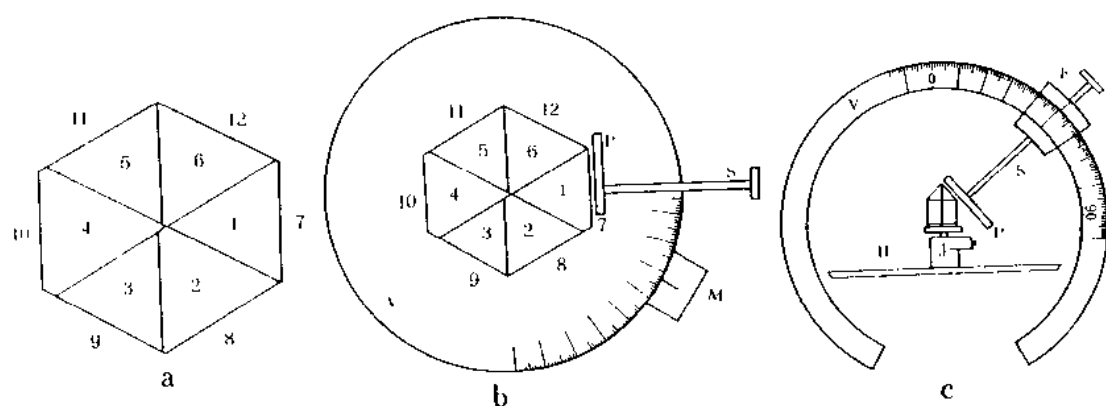


图 2-2 石英晶体的顶观图 (a)，测角仪工作时的俯视图 (b)，测角仪工作时的立面图 (c)

第二节 双圈反射测角仪

双圈反射测角仪的结构原理和性能，在一般的结晶学和矿物学教科书中都有介绍。目前我国各单位保有的和使用过的这类测角仪大约有 Goldschmidt 式及其改进型，英国 Unicam 型，原民主德国 KGO 3.1 型，捷克 ZRG3 型等（附录 2），以及中国地质大学（武汉）常年使用的原联邦德国 STOE J (2.15.2) 型（1984）。它们的结构原理，性能和使用方法基本相同。本书仅详细介绍 STOE 标准型（即 J (2.15.2) 型）双圈反射测角仪的结构，性能和使用方法。

一、仪器简介

STOE 双圈反射测角仪为德国 Darmstadt 的 STOE 公司将 Goldschmidt 式双圈反射测角仪改进后生产的。它有标准型 [J (2.15.2)] (图 2-3) 和万能型 [JU (2.15.3)] (图 2-4) 两种型号。

STOE 双圈反射测角仪的结构原理如图 2-5 所示。A₁ 为直接位于底座上的水平圈的直立轴，A₂ 为直立圈的水平轴，垂直于 A₁。光管轴线与视物管轴线与 A₁, A₂ 轴交于一点 A。A₁, K, F 位于一平面内，此平面垂直于水平圈。在测量晶体时依次调节晶体上的每一个晶面，使 A₁ 轴包含其中，且晶面法线与 A₂ 平行。这样就使晶面严格处于能将入射光 K 反射于 F 方向。

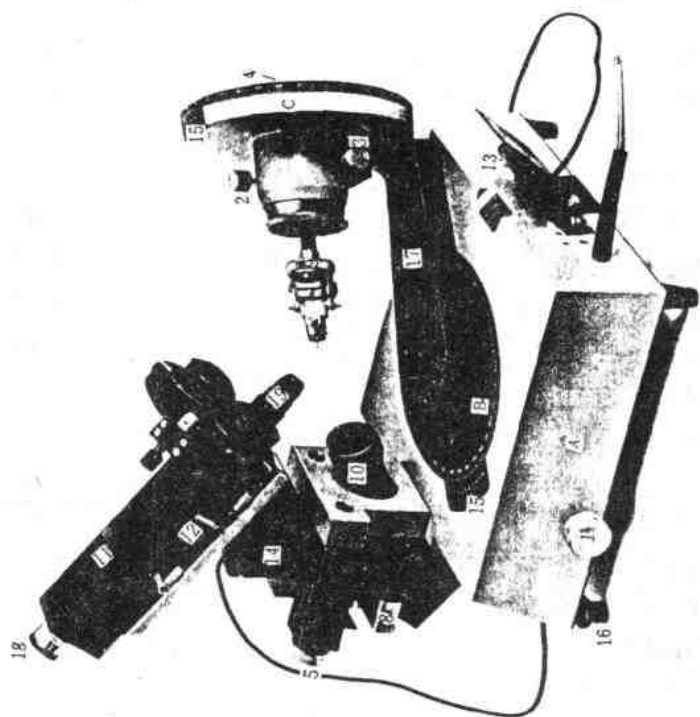


图 2—4 STOE 万能型双圈反射测角仪

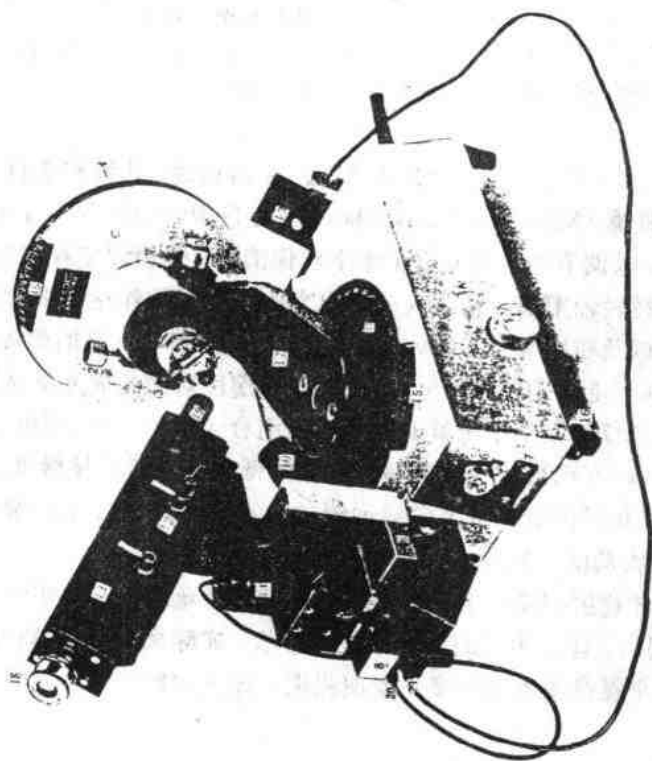


图 2—3 STOE 标准型双圈反射测角仪

- A. 底座, B. 水平圈, C. 直立圈, 1. 水平圈调按钮, 2. 直立圈调按钮, 3. 直立圈细调按钮, 4. 水平轴 (A_1) 调节钮 (直立圈 C 的背后), 5. 光缝钮, 6. 照明灯电压调按钮, 7. 电源开关, 8. 信号光缝板, 9. 测角仪头, 10. 投光管, 11. 视物管, 12. 透视镜, 13. 望远镜柄, 14. 辅助照明灯, 15. 游标尺, 16. 底座脚及水平调按钮, 17. 直立圈与水平圈联接臂, 18. 目镜, 19. 物镜, 20、21. 照明灯插头