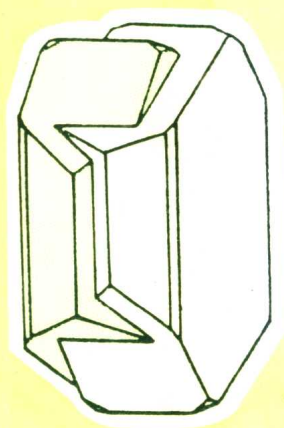


基础结晶学与矿物学

罗谷风 主编



南京大学出版社

内 容 简 介

本书是根据高等院校地质学科各专业对于结晶学与矿物学的共同要求,按照有利于“全面培养、强化基础、因材施教、增强活力”的目的,并融合了作者三十多年来在结晶学与矿物学领域内教学、科研实践的经验编著而成。

全书着重于对本学科基本理论、基本知识和基本技能的阐述和训练,同时吸取了当代有关的新理论、新知识和新方法,有机地结合于其中。对于各别矿物描述的叙述性内容,作了大幅度的精炼,同时给出了一个收列了约270种(或族)常见和重要矿物的外观特征鉴定表。关于矿物的用途,经归纳,单列了“矿物的利用”一章进行系统叙述。全书各章末均有包含了不同类型和不同深度层次的习题和思考题,以便既能有助于学生巩固课堂知识,又能促进学生发展智力和能力的运用,并起到一定的深化和拓宽基础的作用。正文后的附录1为与正文密切配合的实习指导书,附录2为部分习题与思考题的答案,附录3则为对所列各书之特点附有概要介绍的参考阅读书目。此外,在书末还列出了一般术语和矿物名称的索引,而在正文中则可检索到与它们对应的外文。

本书适用面广,除可作为高等院校地质学科各专业及其相邻专业的教材外,也可供从事有关结晶学、矿物学工作的科技人员和相关专业的师生参考。

基础结晶学与矿物学

罗谷风 主编

罗谷风 陈武 编著

薛纪越 陈图华

南京大学出版社出版

(南京大学校内)

江苏省新华书店发行 丹阳兴华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 22 字数 542 千

1993年2月第1版 1998年6月第2次印刷

印数 4001—5000

ISBN 7-305-01466-4/P·69

定价 20.00元

前 言

结晶学与矿物学是地质学科各专业必修的一门专业基础课；对其中的某些专业(如矿物、岩石、地球化学等)而言，它同时又带有专业课的性质。因此，从50年代末以来，我国高校基本上都是按各专业不同的要求，将本课程分为较多学时、中等学时和较少学时三种类型组织教学，并编审出版了相应的配套教材。从本课程已出版的各种类型教材来看，它们在体系上大多并无明显的差异，主要是在阐述的详略上有所不同。

为了对学生实行全面培养，淡化专业界线，以拓宽他们的知识面和增强毕业后对就业的适应性，南京大学自1987年起实施了“按系招生，分流培养”的教改方案。学生进校时不分专业，一、二年级按全系统一的教学计划修读课程，至三、四年级再分流按不同专业进行教学。为了适应这一新的形势和要求，经过反复研究和讨论，我们将原来多学时和少学时两种类型的结晶学与矿物学课程，改变为“基础结晶学与矿物学”以及“高等结晶学与矿物学”两门课程。前者为地球科学系全系的公共专业基础课；后者则主要供岩矿、地化、矿床等专业的三年级学生进一步修读。本教材即是为适应“基础结晶学与矿物学”课程教学的需要而组织编写和出版的。

鉴于使用本教材的学生们今后将分流进入不同的专业继续学习，因而在编写本教材时，不仅考虑到高等院校地质学科各专业对本课程的共同基本要求，同时也考虑了今后各专业学生在修读有关后续专业课程时的衔接和避免机械重复的需要。为此，对本教材的内容及其安排，我们没有采取在原多学时类型教材《结晶学导论》(罗谷风，地质出版社，1985)和《矿物学导论》(陈武、季寿元，地质出版社，1985)的基础上全方位地加以均匀浓缩的办法，而是调整体系，突出基础性内容，删去那些学科专业性较强的整个章节，对于其中少数在阐释基础问题时需要涉及的内容，则融合在有关章节中作简明扼要的叙述。

在本书的编写中，我们的总目标是：使之能有利于贯彻对学生的“全面培养、强化基础、因材施教、增强活力”的要求。具体的努力目标则是：内容上力求少而精且重点突出，同时又适当留有为进一步深化和拓宽提供选择的余地；取材上在保证作为公共专业基础课教材要求的前提下，跟踪科学技术的新发展，尽可能有机地融合有关的新理论、新知识和新方法，力求能反映学科的当代水平；叙述上力求概念准确、严谨，资料、数据确切可靠，阐释深入浅出、清楚了而又详略得当，插图亦力求准确、明了、美观，且图、表、实例与文字叙述紧密配合，以使读者易于理解，便于自学。

本书的章节安排，是基于纵向的逻辑关系与横向的有机关联相结合的考虑而作出的。能够将书中的内容“竖串横联”起来，这也是我们对学生的希望和要求。书中对各别矿物描述的叙述性内容作了大幅度的精炼，而同时给出的约270种(或族)常见和重要矿物的系统鉴定表则可作为一个补充。至于有关各种矿物的用途，为了加强应用性知识，我们将它们化零为整，单列了“矿物的利用”一章，予以联系起来进行系统阐述。此外，本书还包含了与正文内容密切配合的实习指导书，它们间是相互补充和相互完善的。

本书在各章的最后一节均列有习题与思考题。我们认为,习题与思考题的作用,不仅仅是在于帮助学生复习和巩固课堂知识,而且还应当是贯彻启发式教学和因材施教的重要手段之一;通过它们,应能促进发展智力和能力的运用,并在一定程度上起到深化和拓宽基础的作用。而命题则是这一教学环节的关键。在本书的习题与思考题中,我们尽可能地注意了不同类型以及不同深度和难度层次间的适当调配;任课教师亦可根据需要自行选择。对其中小部分属于在正文中未曾直接阐述过的延伸、拓宽型命题,作为正文的外延补充,我们在书末附录2中给出了它们的完整答案。在该附录中同时还给出了另一些题目的答案,但它们都属简单结论性的最终结果。给出这类答案的目的是,希望它们能有助于读者在答题后及时发现可能存在的问题,从而重新思考,以便能自己查明问题的症结所在。至于论证性命题,除个别给予必要的提示外,答案则均未给出,以免影响读者的独立思考。

本书的附录3为“参阅书目及其简介”。此书目主要是基于各书内容的涉及面和深度以及各自的特点,兼及文种及出版年代的考虑而选出的。其中有的书较适合于作本课程的教学参考之用;而从其余书中主要将可获得结晶学或矿物学中某方面拓宽和深化的知识。所以,该书目并不是向读者建议的必读书目,而是提供一个基础,使读者能较方便地按照各自的需要进行选择。为此,所列书目后都附有对该书概况和特点的简介,以供选择时参考。此外,为了给使用提供便利,在本书最后还列有一般术语及矿物名称的中文索引,而在正文中的相应处则可检索到与它们对应的外文术语或名称。

本书是在南京大学和地球科学系两级教学主管部门领导的直接关心和促成,以及校教材领导小组和南京大学出版社的大力支持下,得以顺利完成编写并出版的。参加编写工作的有罗谷风、陈武教授和薛纪越、陈图华副教授。他们在结晶学和矿物学领域中都已有30多年或将近30年的教学和科研实践经验。编写的具体分工是:1~7章,9.1、9.7、10.7、11.7、19.4、20.6各节,附录1的实习一至实习七及实习十八,附录2——罗谷风;11~18章,9.2~9.6节,附录1的实习八至实习十七——陈武;8章和19章,附录1的实习十九——薛纪越;10章和20章——陈图华;附录3——罗谷风、陈武。全书由罗谷风任主编,负责全部书稿的整理和修改,其中对个别章节则作了较大的增删、修改或改写。书中的插图,除了引用他人者均已注明出处,以及图10-13B和图10-14系由蒋志超素描外,其余全部插图的底图均由罗谷风设计绘制。鉴于受到教材用纸和印刷条件的制约,考虑到实际效果,在本书中我们只选用了很少的照片图版。

在本书的编写工作中,每位作者都作了很大的努力。但我们深知,因时间及水平等所限,书中缺点、错误在所难免。我们热忱期望专家、读者、特别是同行老师们予以批评指正。

主 编

1992.12.12. 于南京大学

目 录

1 结论	1
1.1 晶体与非晶质体及准晶体	1
1.1.1 晶体的概念.....	1
1.1.2 非晶质体的概念.....	2
1.1.3 非晶质体与晶体间的转化.....	3
1.1.4 准晶体的概念.....	3
1.2 矿物与准矿物	4
1.2.1 矿物的概念.....	4
1.2.2 准矿物的概念.....	5
1.3 结晶学与矿物学概况	6
1.3.1 结晶学概况.....	6
1.3.2 矿物学概况.....	7
1.4 习题与思考题	8
2 晶体内部结构的平移有序性与空间格子规律	9
2.1 晶体内部结构的平移有序性	9
2.2 空间格子及其规律	9
2.2.1 空间格子的导出.....	10
2.2.2 空间格子的基本规律.....	11
2.3 习题与思考题	12
3 晶体的自范性与面角守恒定律	13
3.1 晶体的自范性	13
3.1.1 晶体的层生长.....	13
3.1.2 布拉维法则.....	14
3.2 面角守恒定律	16
3.2.1 歪晶.....	16
3.2.2 面角守恒定律.....	17
3.3 晶体测角	18
3.4 晶体的投影	19
3.4.1 球面投影.....	19
3.4.2 极射赤平投影.....	20
3.4.3 晶体的球面坐标和投影网.....	22
3.4.4 吴氏网的运用.....	24
3.5 习题与思考题	26
4 晶体外部性质的对称性与晶体对称定律	28
4.1 对称和对称要素的概念	28

4.2	不含平移变换的对称要素与晶体对称定律	29
4.2.1	简单对称要素	29
4.2.2	晶体对称定律	30
4.2.3	复合对称要素	32
4.2.4	对称要素的标记	34
4.3	对称要素的组合	35
4.4	对称型	36
4.4.1	对称型和晶类的概念	36
4.4.2	三十二种对称型的导出	37
4.4.3	对称型的符号	39
4.5	晶体的对称分类	40
4.6	习题与思考题	44
5	结晶学坐标系和晶面符号的建立及整数定律	47
5.1	结晶学坐标系	47
5.2	整数定律	48
5.3	晶体内部结构的空问划分和坐标系	49
5.3.1	空间格子的划分	49
5.3.2	14种布拉维空间格子	51
5.3.3	晶胞	53
5.4	宏观晶体中坐标系的选择	53
5.5	晶面的米氏符号	57
5.5.1	米氏符号之构成	57
5.5.2	米氏符号的含义	58
5.6	晶体的四轴定向及其晶面符号	59
5.6.1	晶体的四轴定向	59
5.6.2	四轴定向的米氏符号之构成	59
5.7	晶棱符号	61
5.7.1	晶棱符号之构成	62
5.7.2	四轴定向时的晶棱符号	62
5.8	习题与思考题	63
6	晶面间的组合——单形和晶带及晶带定律	65
6.1	晶带及晶带符号	65
6.1.1	晶带的概念	65
6.1.2	晶带符号	65
6.2	晶带定律及其应用	66
6.2.1	晶带定律	66
6.2.2	晶带方程的应用	67
6.3	单形的概念和单形符号	69
6.3.1	单形的概念	69
6.3.2	单形符号	70
6.4	146种结晶学单形	72

6.4.1	导出单形的途径	72
6.4.2	146种结晶学上不同的单形	73
6.5	47种几何学单形	76
6.5.1	单形的命名	77
6.5.2	几何上不同的47种单形的特征	77
6.6	聚形	84
6.6.1	聚形的概念	84
6.6.2	聚形条纹	84
6.7	左右对映形	85
6.8	习题与思考题	86
7	晶体的取向连生及其规律	90
7.1	平行连晶	90
7.2	双晶和双晶要素	90
7.2.1	双晶的概念	90
7.2.2	双晶要素	91
7.2.3	双晶接合面	92
7.3	双晶律和双晶类型	92
7.3.1	双晶律的概念	92
7.3.2	双晶的接合类型	93
7.3.3	双晶的成因类型	94
7.4	双晶的意义及其判识	96
7.4.1	双晶的实际意义	96
7.4.2	判识双晶的标志	96
7.5	孪生和交生	98
7.5.1	孪生	98
7.5.2	交生	99
7.6	习题与思考题	100
8	晶体化学与晶体结构基本原理	102
8.1	键和晶格类型	102
8.2	离子类型和离子半径	103
8.2.1	离子类型	103
8.2.2	原子半径和离子半径	103
8.3	球体紧密堆积原理	105
8.3.1	等大球体的最紧密堆积	105
8.3.2	球体紧密堆积方式在实际晶体结构中的体现	109
8.4	配位数和配位多面体	109
8.4.1	配位数	109
8.4.2	配位多面体	111
8.5	晶体结构的对称性	112
8.5.1	带平移变换的对称要素	112
8.5.2	空间群的基本概念	114
8.6	典型结构	114

8.7	类质同像	115
8.7.1	类质同像的概念	115
8.7.2	类质同像与固溶体的关系	116
8.7.3	类质同像的类型	116
8.7.4	决定和影响类质同像发生的因素	117
8.8	同质多像	118
8.8.1	同质多像的概念	118
8.8.2	同质多像转变及其类型	119
8.9	多型性	121
8.10	习题与思考题	122
9	晶体和矿物的形成与变化	124
9.1	晶体的形成与变化	124
9.1.1	结晶作用	124
9.1.2	再结晶作用与重结晶作用	127
9.1.3	晶体的变化	128
9.2	形成矿物的地质作用	129
9.2.1	岩浆作用	129
9.2.2	伟晶作用	130
9.2.3	热液作用	130
9.2.4	接触变质作用	131
9.2.5	区域变质作用	132
9.2.6	风化作用	132
9.2.7	沉积作用	133
9.3	矿物的变化	133
9.4	矿物形成的时空关系	134
9.4.1	矿物的形成顺序	134
9.4.2	矿物的世代	135
9.4.3	矿物的共生和伴生	136
9.5	矿物的标型性	136
9.5.1	标型矿物	136
9.5.2	矿物的标型特征	137
9.6	矿物中的包裹体	138
9.6.1	包裹体的成因分类	138
9.6.2	包裹体的成因意义	138
9.7	习题与思考题	138
10	矿物的外观鉴定特征	140
10.1	矿物的形态	140
10.1.1	晶体习性	140
10.1.2	集合体形态	142
10.2	矿物的透明度、光泽、颜色和条痕	145
10.2.1	矿物的透明度	145
10.2.2	矿物的光泽	146

10.2.3	矿物的颜色	14
10.2.4	矿物的条痕	149
10.3	矿物的硬度和韧度	149
10.3.1	矿物的硬度	149
10.3.2	矿物的韧度	150
10.4	矿物的解理、裂理和断口	151
10.4.1	矿物的解理	151
10.4.2	矿物的裂理	152
10.4.3	矿物的断口	153
10.5	矿物的比重	153
10.6	矿物的发光性和磁性	154
10.6.1	矿物的发光性	154
10.6.2	矿物的磁性	155
10.7	习题与思考题	155
11	矿物的化学组成和分类	157
11.1	矿物的化学组成	157
11.1.1	克拉夫值与矿物化学组成的关系	157
11.1.2	矿物化学成分的相对确定性	158
11.2	胶体矿物及其化学组成上的特征	158
11.3	矿物中水的存在形式	159
11.4	矿物的化学式及其计算	160
11.4.1	矿物化学式的表示方式	160
11.4.2	矿物化学式的计算	161
11.5	矿物种及其命名	162
11.5.1	矿物种的概念	162
11.5.2	矿物种的命名	162
11.6	矿物的分类	163
11.6.1	矿物分类的级序和主要方案的特点	163
11.6.2	本教材使用的矿物分类	164
11.6.3	本教材矿物描述的格式	165
11.7	习题与思考题	165
12	自然元素矿物	167
12.1	概述	167
12.2	自然金属元素矿物	167
(自然铂族 自然铜族)		
12.3	自然非金属元素矿物	169
(自然硫族 金刚石-石墨族)		
12.4	习题与思考题	171
13	硫化物及其类似化合物矿物	172
13.1	概述	172
13.2	单硫化物及其类似化合物矿物	173

	(辉铜矿族 方铅矿族 闪锌矿族 辰砂族 磁黄铁矿族 镍黄铁矿族 黄铜矿族 斑铜矿族 辉铋矿族 雌黄族 雄黄族 辉钼矿族 铜蓝族)	
13.3	对硫化物及其类似化合物矿物.....	182
	(黄铁矿-白铁矿族 辉砷钴矿-毒砂族)	
13.4	硫酸盐矿物.....	185
	(黝铜矿族 淡红银矿族)	
13.5	习题与思考题.....	186
14	卤化物矿物.....	187
14.1	概述.....	187
14.2	氟化物矿物.....	187
	(萤石族 冰晶石族)	
14.3	氯化物矿物.....	189
	(石盐族 光卤石族)	
14.4	习题与思考题.....	190
15	氧化物和氢氧化物矿物.....	191
15.1	概述.....	191
15.2	氧化物矿物.....	192
	(刚玉族 金红石族 晶质铀矿族 石英族 钛铁矿族 尖晶石族 黑钨 矿族 铌铁矿族)	
15.3	氢氧化物矿物.....	203
	(水镁石族 三水铝石族 硬水铝石族 针铁矿族 硬锰矿族)	
15.4	习题与思考题.....	206
16	碳酸盐、硝酸盐和硼酸盐矿物.....	207
16.1	碳酸盐矿物.....	207
	(碳酸盐矿物概述 方解石-文石族 白云石族 孔雀石族 氟碳铈矿族)	
16.2	硝酸盐矿物.....	214
	(硝酸盐矿物概述 钠硝石族)	
16.3	硼酸盐矿物.....	214
	(硼酸盐矿物概述 硼镁铁矿族 硼镁石族 硼砂族)	
16.4	习题与思考题.....	216
17	硫酸盐、钨酸盐和磷酸盐矿物.....	217
17.1	硫酸盐矿物.....	217
	(硫酸盐矿物概述 重晶石族 硬石膏族 石膏族 明矾石族)	
17.2	钨酸盐矿物.....	220
	(钨酸盐矿物概述 白钨矿族)	
17.3	磷酸盐矿物.....	221
	(磷酸盐矿物概述 独居石族 磷灰石族 铜铀云母族)	
17.4	习题与思考题.....	223
18	硅酸盐矿物.....	224

18.1	概述	224
18.2	岛状结构硅酸盐矿物	228
	(锆石族 橄榄石族 蓝晶石族 石榴子石族 黄玉族 十字石族 榍石族 绿帘石族 符山石族)	
18.3	环状结构硅酸盐矿物	235
	(绿柱石族 堇青石族 电气石族)	
18.4	链状结构硅酸盐矿物	238
	(辉石族 硅灰石族 蔷薇辉石族 闪石族)	
18.5	层状结构硅酸盐矿物	245
	(结构层的特征 蛇纹石-高岭石族 埃洛石族 滑石-叶蜡石族 蒙皂石族 蛭石族 云母族 绿泥石族)	
18.6	架状结构硅酸盐矿物	253
	(长石族 霞石族 白榴石族 方柱石族 沸石族)	
18.7	习题与思考题	261
19	矿物的鉴定和研究方法	263
19.1	矿物手标本的外观鉴定法	263
19.1.1	矿物鉴定表的编制及其使用	263
19.1.2	矿物鉴定表	264
19.2	矿物的X射线粉晶衍射鉴定法	279
19.2.1	X射线的特性	279
19.2.2	晶体的X射线衍射效应	279
19.2.3	X射线粉晶照相和衍射仪技术	280
19.2.4	X射线物相鉴定法	282
19.3	鉴定和研究矿物的其他主要方法简介	284
19.3.1	成分分析方法	284
19.3.2	结构分析方法	284
19.3.3	其他测试方法	285
19.4	习题与思考题	285
20	矿物的利用	237
20.1	概述	287
20.2	用于提取有用成分的矿物原料	288
20.2.1	黑色金属矿物原料	288
20.2.2	有色金属矿物原料	288
20.2.3	贵金属矿物原料	288
20.2.4	稀有金属矿物原料	289
20.2.5	提取非金属的矿物原料	290
20.3	非用于提取所含成分的矿物原料	291
20.3.1	冶金熔剂和耐火矿物原料	291
20.3.2	陶瓷、玻璃、水泥矿物原料	291
20.3.3	其他矿物原料	292
20.4	矿物材料	292

20.4.1	功能矿物材料	292
20.4.2	光学矿物材料	292
20.4.3	传导和绝缘矿物材料	292
20.4.4	高硬矿物材料	293
20.4.5	吸附和过滤剂矿物材料	293
20.4.6	添加剂矿物材料	293
20.4.7	宝、玉石矿物材料	293
20.4.8	其他矿物材料	294
20.5	矿物的人工合成和改性	294
20.5.1	矿物的人工合成	294
20.5.2	矿物的改性	294
20.6	习题与思考题	295
附录1 实习指导书		
		296
实习一	晶体的测量和目估投影	296
实习二	对称要素的找寻和对称型的确定	297
实习三	晶体定向及晶面符号之确定	300
实习四	单形认识和聚形分析	302
实习五	实际晶体的观察和双晶分析	304
实习六	等大球体的最紧密堆积和典型结构分析	305
实习七	矿物形态和主要物理性质特征的认识	307
实习八、九	自然元素矿物和硫化物矿物的认识	308
实习十、十一	卤化物矿物和氧化物矿物的认识	309
实习十二	碳酸盐、硝酸盐和硼酸盐矿物的认识	310
实习十三	硫酸盐、钨酸盐和磷酸盐矿物的认识	310
实习十四	岛状和环状结构硅酸盐矿物的认识	311
实习十五	链状结构硅酸盐矿物的认识	312
实习十六	层状结构硅酸盐矿物的认识	312
实习十七	架状结构硅酸盐矿物的认识	313
实习十八	矿物鉴定表的使用	314
实习十九	晶体的X射线物相鉴定	314
附录2 习题与思考题答案		
		317
附录3 参阅书目及其简介		
		320
一般术语索引		
		324
矿物名称索引		
		330

附：常用表检索目录

表 4-4	对称型的符号	40
表 4-5	晶体的对称分类	43
表 5-1	各晶系晶体的定向	54
表 6-1	三斜晶系之单形	74
表 6-2	单斜晶系之单形	74
表 6-3	正交晶系之单形	74
表 6-4	四方晶系之单形	75
表 6-5	三方晶系和六方晶系之单形	75
表 6-6	等轴晶系之单形	76
表 6-7	低级晶族单形的几何特征	78
表 6-8	中级晶族单形的几何特征	79
表 6-9	高级晶族单形的几何特征	82
表 8-1	原子的共价半径	104
表 8-2	金属原子半径	104
表 8-3	离子半径	106
表 19-1	本书矿物鉴定表体系和索引	264
表 19-2	矿物鉴定表	265

绪 论

结晶学和矿物学分别是以晶体和矿物为研究对象的两门自然科学。所有的矿物都是天然产出的晶体，而人们认识晶体，首先就是从认识矿物晶体开始的。所以在学科发展史上，结晶学与矿物学之间一直存在着十分密切的联系。

1.1 晶体与非晶质体及准晶体

1.1.1 晶体的概念

在大多数人的印象中，可能认为晶体是一种相当罕见的东西，但实际上晶体却是非常常见的一类物体。自然界的冰、雪，组成大地的土壤和岩石中的所有各种矿物，以至我们吃的食盐、用的金属材料等等，莫不都是晶体。

晶体最引人注目的特点是：它们常呈一定形状的规则几何多面体产出。例如当仔细观察食盐时，可以发现它们都呈立方体形状，这在粗盐中尤为明显；又如长在岩石裂隙或空洞中的 α -石英，经常呈带有尖顶的六边形柱体(图1-1)。

人类对于晶体的认识，首先正是从石英开始的。古代人们在采矿活动中，发现无色透明石英的天然规则几何多面体，认为它们是冻结时间极长而变为石头的冰块。因此在古希腊把它们称为 $\kappa\rho\nu\sigma\tau\alpha\lambda\lambda\omicron\varsigma$ ，意为“冷凝的”，即“冰”；在拉丁文中相应地称为 *crystallum*，后转化成为 *crystal*。我国古代则称为“水晶”(最早称为“水精”)，且亦有“此乃千年老冰”之说(宋孙宗鉴《东皋杂录》)。后来人们陆续发现其他不少矿物也能表现为天然长成的规则几何多面体，于是 *crystal* (晶体)一词便被用来泛指一切具有天然的(不是人为磨削而成的)规则几何多面体形状的固体。

随着生产的发展和科学技术的进步，人们对晶体的认识也不断地深化。许多事实说明，仅仅从有无规则的几何外形来区分是否是晶体，这是不恰当的。例如，具有立方体外形的食盐(NaCl)颗粒和不具规则外形的食盐颗粒，除外形外，两者所有的性质都相同。如果我们把一个不具规则外形的食盐颗粒放在 NaCl 的过饱和溶液中让它继续成长时，结果它也能长成立方体的规则几何外形。这充分说明，规则的几何外形并不是晶体的本质，而只是一种外部现象，它肯定还有某种内在的、本质的因素存在。

NaCl 的结构是在1914年人类历史上第一个测定的具体晶体结构。之后的大量实际资料表明，一切晶体不论其化学组成如何，也不论其外形是否规则，它们内部的原子或离子总是在三维空间有规则地成周期性平移重复的方式排布，从而构成格子状构造。晶体内部质点的这种规则排布，目前已可借助于高分辨透射电子显微镜而直接观察到(图1-2)。晶体的这一

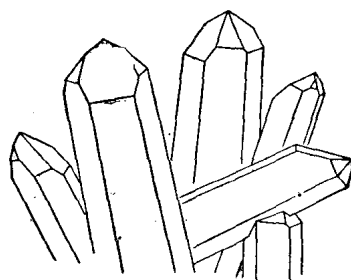


图 1-1 呈几何多面体外形的 α -石英晶体($\times 3/4$, 江西大余)

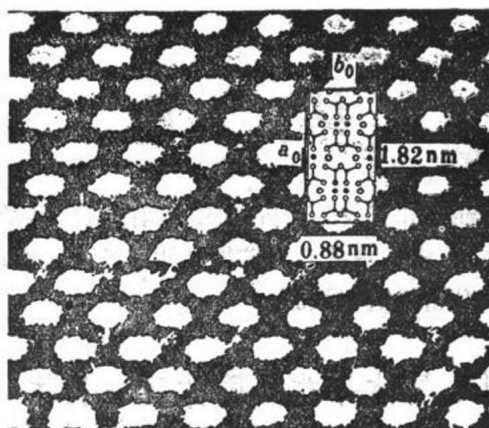


图 1-2 顽辉石(001)切面的高分辨结构像

右上方的矩形划出了单位晶胞的范围,并画出了原子在其中的排布(小的实心圆和空心圆分别代表 Si^{4+} 和 O^{2-} ,大的实心圆和空心圆均代表 Mg^{2+})。结构图和电子像间具有相同的尺寸和对应的位置。电子像中的白斑对应于晶体结构中的低电子密度分布区(据 Buseck 和 Iijma, 1974)

共性,则反映了晶体与其他物体之间的根本区别。

所以,晶体(crystal)是内部原子或离子在三维空间成周期性平移重复排列的固体;或者说,晶体是具有格子构造的固体。晶体的规则几何外形,只是晶体内部格子构造的外在表现。

根据晶体内部质点成周期性平移重复排列的规律性,若在一个晶体中的任一部位都同样地圈定足够大的一块体积时,则它们必定都具有完全相同的格子构造。这意味着,一个晶体在其任一部位上的性质都是均一的,具有结晶均一性(homogeneity)。与此同时,在同一格子构造的不同方向上,质点的重复方式一般却是各不相同的,这意味着晶体的性质又是随方向而异的,表现为各向异性(anisotropy)。因此,晶体乃是一种均一的各向异性体。

与晶体的定义相适应,原子或离子在三维空间成周期性平移重复排列的固态物质则称为结晶质(crystalline),简称晶质。晶体即是由结晶质构成的物体。

不过在矿物学、岩石学等许多学科中,习惯上往往仍将“晶体”这一名称专门用于指具有几何多面体外形的晶体,而将不具几何多面体外形的晶体称为晶粒(crystalline grain)。此外,还常根据结晶颗粒的大小,将结晶质分为显晶质和隐晶质两类。凡结晶颗粒能用一般放大镜分清者,称为显晶质(phanerocrystalline);无法分辨者则称为隐晶质(cryptocrystalline)。

1.1.2 非晶质体的概念

非晶质体(non-crystal)是指:内部原子或离子在三维空间不呈规律性重复排列的固体。

显然,非晶质体内部不具有格子构造。在非晶质体的各个部位上,没有任何两部分的内部结构是完全相同的,它们只是在统计意义上才是均一的;同时,非晶质体中的内部质点在不同方向上的排布状况,也无任何规律可循,但它们在统计上都是同一的。表现在外形上,非晶质体在任何条件下都不可能自发地长成规则的几何多面体形状。所以,与晶体的特性正好相反,非晶质体在内部性质上是统计均一的各向同性体;在外部性质上只是一种无规则形状的固

体,因而也被称为**无定形体**(amorphous body)。从这些特点来看,非晶质体的性质倒是更类似于液体。当加热非晶质体时,它并不像晶体那样表现出有确定的熔点,而是随着温度的上升而逐渐软化,最后成为流体。因此可以认为,非晶质体实际上只是一种呈凝固态的过冷却液体。

与非晶质体相对应的物质概念是**非晶质**(non-crystalline, amorphous substance),即原子或离子在三维空间不呈规律性重复排列的固态物质。非晶质体即是由非晶质构成的物体。

非晶质体的分布远不如晶体那么广泛。在矿物、岩石的领域中,只有像水铝英石及火山玻璃等,还有由于受到放射性蜕变影响而内部结构呈非晶质状态的一些放射性矿物(如褐钇铀矿、褐帘石等),属于非晶质体。在其他领域中,也只有诸如玻璃、塑料等少数种类的物质属于非晶质的范畴。与结晶质相比,它们只占极少部分。

1.1.3 非晶质体与晶体间的转化

晶体与非晶质体在一定的条件下是可以相互转化的。例如,由岩浆迅速冷凝而成的火山玻璃,在漫长的地质年代中,其内部原子进行着很缓慢的扩散、调整过程,趋向于形成规则排列,亦即由非晶态逐渐地向着结晶态转变,最终成为真正的晶体。这种由非晶质体调整其内部原子的排列方式而向晶体转变的作用,称为**晶化**(crystallizing)或**脱玻化**(devitrification)。相反的变化,也就是晶体因内部质点的规则排列遭到破坏而向非晶质体转变的作用,则称为**非晶化**(non-crystallizing)或**玻璃化**(vitrification)。

例如一些含放射性元素的矿物,可因受到放射性蜕变时所发出的 α -射线之作用,晶格遭到破坏而转变成为非晶质体(但仍可保持原来的几何多面体外形)。这种因放射性蜕变而产生的非晶质,特别称为**变生非晶质**(metamict substance)。它们在高于室温的某个适当温度下保持一段时间后,又可晶化而恢复成晶体。

应当强调指出,上述两种相反的转变作用有着本质上的不同。这是因为,晶体内原子或离子在三维空间的规则排列是彼此间的引力和斥力达到平衡的结果,在此情况下,无论是使质点间的距离增大或是减小,都将导致势能增高。非晶质体则由于它们内部原子或离子的排列是无规则的,质点间的距离一般不等于平衡距离,因而它们的势能必较晶体为大。这就意味着在相同的热力学条件下,晶体的内能较相同成分的非晶质体为小。因此,就相同成分的晶体与非晶质体而言,晶体是稳定的而非晶质体则是不稳定的。非晶质体有自发地向晶体转变的必然趋势,但晶体决不会自发地向非晶质体转变。实际上,晶体之发生非晶化,必定与能量的加入有关,上述产生变生非晶质的情况就是一个例证。

1.1.4 准晶体的概念

准晶体是1984年确定的一种新的凝聚态物体。它是由Shechtman和Cahn以及我国学者叶恒强和郭可信分别在快速冷却的 $Al_{12}Mn$ 和 $(Ti_{0.8}V_{0.1})_2Ni$ 合金中各自独立地发现的。

准晶体(quasicrystal)是一种固体,但其内部原子既不像非晶质体那样成完全无序的分布,又不具有像晶体那样的三维周期性平移有序。关于准晶体的结构已经提出了多种不同的模型。目前较多的人趋向于认为:准晶体是一种其内部结构由多级呈自相似的配位多面体(见8.4.2)在三维空间作长程定向有序分布的固体。它可具有晶体所不能有的五次或高于六

次的对称(参见 4.2.2)。图 1-3 是二维平面内由三级呈自相似的五角星成定向有序分布而构

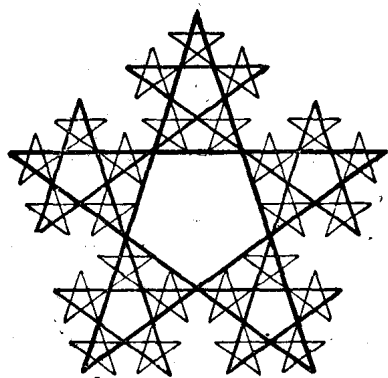


图 1-3 一种由三级呈自相似的五角星成定向有序分布的二维几何图形

成的几何图形。此图形可无限地重复扩展，每一级大五角星均具有与小一级五角星完全相同的特性和空间取向。准晶体结构的特征就与此极为类似，只是其组成单元不是二维的五角星，而是三维的配位多面体。所以，准晶体与非晶质体的区别在于其内部质点在三维空间的排布是有规则的；与晶体的区别则在于，其规律性并不表现为质点的周期性平移重复，而是配位多面体呈自相似的定向有序分布。

准晶体的粒径极小，一般只达微米级。目前尚未发现天然产出的准晶体，也还没有发现准晶体有何实际用途；但其潜在的重要性则可能是难以估量的。

1.2 矿物与准矿物

1.2.1 矿物的概念

矿物概念的形成与人类的采矿活动密切相关。“矿”字在古代写为“𠂔”，象形当时的采矿工具；而其读音为 gōng，表征采矿之声。英文 mineral (矿物) 一词来源于拉丁文 minera，其含义亦为“矿”。古代就把从矿山采掘出来而未经加工的天然物体称之为矿物。

随着人类生产活动和科学技术的发展，矿物的概念也在不断变化。现代对矿物的定义是：矿物 (mineral) 是由天然产出且具有特定的(但一般并非固定的)化学成分和内部结晶构造的均匀固体。通常由无机作用所形成。

由此定义可知，首先，矿物必须是天然产出的物体，从而与在工厂或实验室中由人工制备出来的产物相区别。不过对于那些虽由人工合成，但其各方面特性均与天然产出的矿物相同或密切相似的产物，例如人造金刚石、人造水晶等等，则被称为人工合成矿物 (synthetic mineral) 或人造矿物 (artificial mineral)。至于那些在自然界不存在相应矿物的人工合成物，例如金属钠、高锰酸钾等等，就不能称为人工合成矿物。

早先，曾将矿物局限为由地质作用所形成的天然产物。但近代对月岩以及陨石的研究表