

系統礦物學

下
冊

地
質
出
版
社

56.8

125

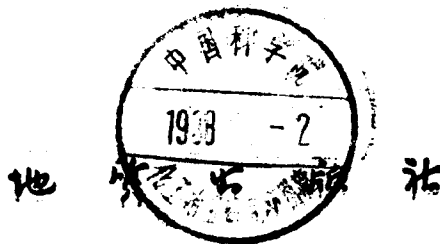
3:1

系统矿物学

下 册

王 濮
潘兆橹 等编著
翁玲宝

3k510/27



内 容 简 介

本书在确定了矿物的概念和矿物种、亚种和变种的概念的基础上,收集编入了1979年底以前国内外所发表的矿物种共计二千五百六十五种。同时根据波瓦连内赫(1972)所著“矿物种的晶体化学分类”一书的分类体系,对矿物种做了系统的晶体化学分类,并对体系中的矿物类、亚类和部分矿物族做了综合概述。在矿物种的描述中较着重于化学成分和晶体结构内容的介绍。并特别注意了反映我国的研究成果。为了方便读者,在通论中还分章阐述了矿物学的一般基础知识。

本书分上、中、下三册。上册包括绪论、通论和各论的单质及其类似物、硫化物及其类似化合物和氧的化合物中氧化物类和氢氧化物类的矿物。中册为硅酸盐矿物各论。下册则为其他各类氧的化合物和卤化物矿物各论以及附录,参考文献,矿物照片和矿物的中、英、俄名称和成分式索引等。

本书是地质、采矿、冶金、建材等部门专业工作者必备的工具书。同时是有关科研人员及大专院校有关专业师生的重要参考书。

系统矿物学

下册

王 濮 潘兆橹 翁玲宝 等 编著

责任编辑:王曙

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 46¹/₂ 字数: 1,468,000

1987年2月北京第一版·1987年2月北京第一次印刷

印数: 1—2,700册 国内定价: 12.60元

统一书号: 13038·新218

前 言

《系统矿物学》包括绪论、通论和各论三个部分,其中以各论为主。在确定了矿物的概念和矿物种、亚种和变种的概念的基础上,收集编入了1979年底以前国内外所发表的矿物种共计二千五百六十余种。将1976年底以前发表的矿物种根据波瓦连内赫(1972)^①所著“矿物种的晶体化学分类”一书的分类体系进行了系统分类,除了对原分类的部分体系和分类不当的矿物种做了补充和修改,连同1977至1979年新矿物等(下册附录一)共增加了矿物种五百多种。矿物种的描述项目包括化学成分、晶体结构、形态、物理性质、鉴定特征和成因产状等。由于各矿物种的研究程度和资料详尽程度不等,因而,对矿物种描述的简繁也不相同。一般说来,大体可分为三种类型,第一种按上列项目全面描述;第二种将上列各项适当归并,进行综合简要描述;第三种不分项,只进行概略介绍。在上列各项中,较着重考虑了晶体化学资料的选取,除每一矿物种均列有空间群和晶胞参数以外,对较重要的或具有代表性的矿物种进行了化学成分和晶体结构的描述,并附有晶体结构图和成分分析资料。此外,在编写时特别注意了反映我国的研究成果。为了方便读者,本书上册在各论之前有一个通论,分章阐述了矿物的化学成分和晶体结构、矿物的形态、矿物的物理性质、矿物的成因以及矿物种及其划分和矿物分类等矿物学的一般基础知识。

全书共分三册,上册已于1982年6月出版,内容为通论及单质、硫化物、氧化物和氢氧化物矿物各论。中册于1984年8月出版。内容全部为硅酸盐矿物各论。本册为下册,内容为其它含氧盐和卤化物矿物各论,以及附录,参考文献,矿物照片,矿物的中、英、俄名称和成分式索引。

本书是在地质部书刊编辑室的主持和协助下,由武汉地质学院王濮、潘兆橹、翁玲宝、陈代璋、赵爱醒、陈斯兴、叶振寰、董镇、薛君治、杨中漪、吕瑞英等同志编写。照片由陈代璋负责拍摄;图件清绘由唐远清负责,担任清绘工作的还有周春荣、曹玉梅、贾文娟;图件贴字工作由刘淑贞、朱宝华担任;整个编写工作是在武汉地质学院有关单位和矿物教研室全体同志的支持和协助下完成的。

本书在收集资料过程中曾得到地矿部、冶金部、中国科学院和建材部等系统所属的生产单位、科研单位以及有关兄弟院校的许多同志的热情支持,图件植字工作由地质出版社植字室承担,特此一并表示感谢。

① Povarennykh, A. S. (1972): Crystal Chemical Classification of Minerals (此书为1966年出版的“Поваренных, А. С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов”一书的英文增订版)。

各 论 (续)

目 录

各 论 (续)

第三大类 氧的化合物 (续)	1
第四类 硼酸盐	2
第一亚类 架状基型	9
第二亚类 岛状基型	14
I 具简单 $[\text{BO}_4]$ 或 $[\text{BO}_3]$	14
I) 无水、无附加阴离子	14
II) 具O或OH和附加络阴离子	17
III) 具附加络阴离子或 H_2O 分子	24
II 具 $[\text{B}_2(\text{O},\text{OH})_{5-7}]$	29
I) 无水、无附加阴离子	29
II) 具附加阴离子(OH)	30
III) 具附加络阴离子和 H_2O 分子	36
III 具复杂的 $[\text{B}_m\text{B}_n\text{O}_p(\text{OH})_s]$	37
第三亚类 链状基型	50
I 简单链	50
II 复杂链	51
第四亚类 层状基型	60
I 具 $[\text{BO}_3]$	60
II 具 $[\text{B}(\text{O},\text{OH})_2]$ 和 $[\text{B}(\text{O},\text{OH})_3]$	61
III 具 $\text{B}(\text{OH})_4$ 和其它原子的层	68
未分族及存疑矿物 (带△者为未分族矿物)	70
第五类 钒酸盐	74
第一亚类 岛状基型	76
I 具 $[\text{VO}_4]$	76
I) 无水、无附加阴离子	76
II) 具附加阴离子	76
III) 含水	80
II 具 $[\text{V}_2\text{O}_7]$	82
I) 无水、无附加阴离子	82
II) 含水、具附加阴离子	82
第二亚类 链状基型	83
I 无水、无附加阴离子	83
II 含水或具附加阴离子	84
第三亚类 层状基型	88
未分族及存疑矿物	92
第六类 砷酸酸	94
第一亚类 架状基型	97

第二亚类 岛状基型	99
I 无水、无附加阴离子.....	99
II 具附加阴离子.....	101
III 含水、无附加阴离子.....	112
IV 含水、具附加阴离子.....	114
第三亚类 链状基型	118
I 无水.....	118
II 含水.....	119
第四亚类 层状基型	122
I 无水、无附加阴离子.....	122
II 含水、无附加阴离子.....	123
III 含水、具附加阴离子.....	129
未分族及存疑矿物.....	130
第七类 磷酸盐	132
第一亚类 架状基型	135
I 无水、无附加阴离子.....	135
II 具附加阴离子.....	138
III 含水、无附加阴离子.....	140
IV 含水、具附加阴离子.....	145
第二亚类 岛状基型	150
I 无水、无附加阴离子.....	150
II 具附加阴离子.....	162
III 含水、无附加阴离子.....	189
IV 含水、具附加阴离子.....	196
第三亚类 链状基型	209
I 无水.....	209
II 含水.....	210
第四亚类 层状基型	213
I 无水、无附加阴离子.....	213
II 具附加阴离子.....	213
III 含水、无附加阴离子.....	215
IV 含水、具附加阴离子.....	225
未分族及存疑矿物.....	236
第八类 亚硒酸盐和亚碲酸盐	237
第一亚类 岛状基型	238
I 无水、无附加阴离子.....	238
II 具附加阴离子.....	239
III 含水、具附加阴离子.....	240
IV 含水.....	240
第二亚类 层状基型	243
未分族及存疑矿物.....	244
第九类 钨酸盐和钼酸盐	246
第一亚类 岛状基型	247
I 无水、无附加阴离子.....	247

II 含水.....	252
第二亚类 层状基型	253
未分族及存疑矿物.....	256
第十类 铬酸盐	257
第一亚类 岛状基型	258
I 无水、无附加阴离子.....	258
II 具附加阴离子和络阴离子.....	260
III 含水、具附加阴离子.....	261
IV 含水.....	262
未分族及存疑矿物.....	262
第十一类 硒酸盐和碲酸盐	263
第一亚类 岛状基型	264
I 无水、无附加阴离子.....	264
II 具附加阴离子.....	264
III 含水、具附加阴离子.....	265
未分族及存疑矿物.....	265
第十二类 硫酸盐	266
第一亚类 环状基型	270
第二亚类 岛状基型	271
I 无水、无附加阴离子.....	271
II 具附加阴离子.....	281
III 具附加络阴离子.....	291
IV 含水、无附加阴离子.....	293
V 含水、具附加阴离子.....	320
第三亚类 链状基型	333
第四亚类 层状基型	335
未分族及存疑的矿物.....	340
第十三类 碳酸盐	344
第一亚类 岛状基型	354
I 无水、无附加阴离子.....	354
II 具附加阴离子或络阴离子.....	386
III 含水、无附加阴离子.....	404
IV 含水、具附加阴离子或络阴离子.....	410
第二亚类 链状基型	414
第三亚类 层状基型	418
I 无水.....	418
II 含水.....	421
未分族及存疑矿物.....	425
第十四类 碘酸盐	427
第一亚类 岛状基型	428
I 无水、无附加阴离子.....	428
II 具附加阴离子或络阴离子.....	428
III 含水.....	430
第二亚类 层状基型	431

第十五类 硝酸盐	432
第一亚类 岛状基型	433
I 无水、无附加阴离子	433
II 具附加阴离子或络阴离子	435
III 含水	435
第四大类 卤化物	437
第一类 氯化物、溴化物和碘化物	438
第一亚类 配位基型	440
I 无水、无附加阴离子	440
II 含水	445
第二亚类 岛状基型	450
I 无水、无附加阴离子	450
II 含水	451
第三亚类 链状基型	453
第四亚类 层状基型	454
未分族及存疑矿物	456
第二类 氧卤化物和氢氧卤化物	457
第一亚类 配位基型	459
I 无水、无附加阴离子	459
II 含水、具附加阴离子	465
第二亚类 架状基型	466
第三亚类 链状基型	466
I 无水、无附加阴离子	466
II 含水	468
第四亚类 层状基型	469
I 无水、无附加阴离子	469
II 含水、具附加阴离子	475
未分族及存疑矿物	477
第三类 硫卤化物	479
第一亚类 配位基型	479
第四类 氟化物	480
第一亚类 配位基型	482
I 简单配位基型	482
II 复杂配位基型	484
第二亚类 架状基型	485
I 无水、无附加阴离子	485
II 含水、具附加阴离子	487
第三亚类 岛状基型	488
I 无水、无附加阴离子	488
II 具附加阴离子	490
第四亚类 链状基型	490
第五亚类 层状基型	493
未分族及存疑矿物	495
附录	497

附录一、1977年至1979年发表的新矿物及补遗矿物.....	498
附录二、陨石及月岩矿物	574
附录三、非晶质矿物及有机矿物名单.....	581
矿物索引	583
一、汉文索引	585
附：汉文索引首字笔画检索表.....	610
二、英文索引（英汉对照）	612
三、俄文索引	647
四、成分式索引	670
参考文献	703
编后语	710
图版	711

第 三 大 类

氧 的 化 合 物 (续)

第四类 硼酸盐

硼酸盐矿物目前已发现 114 个矿物种，其中包括 4 个未分族矿物种及存疑矿物 6 种。它们系由 29 种造种元素所组成，主要为表生作用的产物，在内生作用中大多与接触交代作用和火山活动作用有关。近二、三十年来，对硼酸盐矿物成分结构的研究，发展较快，对硼酸盐矿物的了解和晶体化学分类都有了进一步的认识。硼酸盐类矿物同其他类矿物比较起来，有两个突出特点：1. 硼酸盐矿物大多数属简单化合物（成分中只具有一种阳离子），在 114 种中占 78 种；2. 大多数硼酸盐矿物各具有独自的结构型，几乎很少有等结构现象存在。这两个在成分和晶体化学上的特点，不仅由硼原子的性质所决定，而且同地质作用中控制硼迁移富集的地球化学性质有关。

一、化学组成和晶体结构

硼酸盐矿物的化学组成中，造种元素约 29 种，见表 III—4.1。其中造种元素阳离子，主要为周期表 I A 和 II A 族的造岩元素和少数过渡元素，其中造种最多的有钙、镁、钠、锰等。阳离子间的类质同象代替不普遍，象钙—钠间的类质同象，由于它们在晶体结构中的配位数不同和在低温形成，使代替受到很大限制。在内生接触交代作用中形成的硼酸盐矿物类质同象代替则较为普遍，如象硼镁铁矿族矿物中镁、铁、钛、锰间的类质同象代替。在硼酸盐矿物中的阴离子，除了主要的 $[BO_3]$ 、 $[BO_4]$ 以及它们互相联接成更复杂的络阴离子根以外，还有少量的 $[SO_4]$ 、 $[NO_3]$ 、 $[PO_4]$ 、 $[AsO_4]$ 、 $[SiO_4]$ 和 $[HCO_3]$ 络阴离子以及附加阴离子 O^{2-} 、 F^{1-} 、 Cl^{1-} 和 OH^{1-} 等参加到结构中。 H_2O 常以结晶水的形式存在。在含水硼酸盐中阳离子为 H_2O 所围绕并常具有严格的配位。

表 III—4.1

	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII	IB	II B	IIIA	IVA	VA	VIA	VII A	0	
1	H	形成硼酸盐矿物的造种元素															
2	Li	Be										B	C	N	O	F	
3	Na	Mg										Al	Si	P	S	Cl	
4	K	Ca		Ti			Mn	Fe		Ni	Cu			As			
5		Sr											Sn				
6	Cs	Ba	Tr		Ta												
7																	
配 位		架 状		环 状		岛 状		链 状		层 状		未分族		存疑			
简单	复杂	简单	复杂	简单	复杂	简单	复杂	简单	复杂	简单	复杂	简单	复杂				
		9	1					39	19	11	5	15	5	4	6		

硼酸盐矿物的晶体结构特点可综合于下：

1. 在硼酸盐矿物的晶体结构中， B^{3+} 有两种配位形式：三次配位的硼三角 $[BO_3]$ 和四次配位的硼四面体 $[BO_4]$ （见图Ⅲ—4.1a,b）（可形象地以 $\triangle$ 和 $\square$ 表示）。它们在结构中可以独立出现，形成典型的岛状（结构）基型。三次配位硼三角 $[BO_3]$ 的常见例子，如硼镁石 $Mg_3[BO_3]_2$ 、硼铝石 $Al_3[BO_3]_3(OH)_3$ 和硼镁铁矿 $(MgFe)_2Fe^{3+}[BO_3]O_2$ 等。四次配位 $[BO_4]$ 四面体一般在硼酸盐（通式写作 $AmBnOp$ ）结构中，当阳离子A的电价和电负性增大，即A—O的键力增大的条件下可以存在，象硼铝镁石 $MgAl[BO_4]$ 和硼钽石 $Ta[BO_4]$ 。另外，在 $[BO_4]$ 中当O为OH所代替，即B—O键力减弱的条件下，常形成四次配位的 $[B(O,OH)_4]$ 四面体，象砷硼钙石 $Ca_2[AsO_4][B(OH)_4]$ ，水碳硼石 $MgCa_2(HCO_3)_2[B(OH)_4](OH)_2 \cdot 2H_2O$ 等。

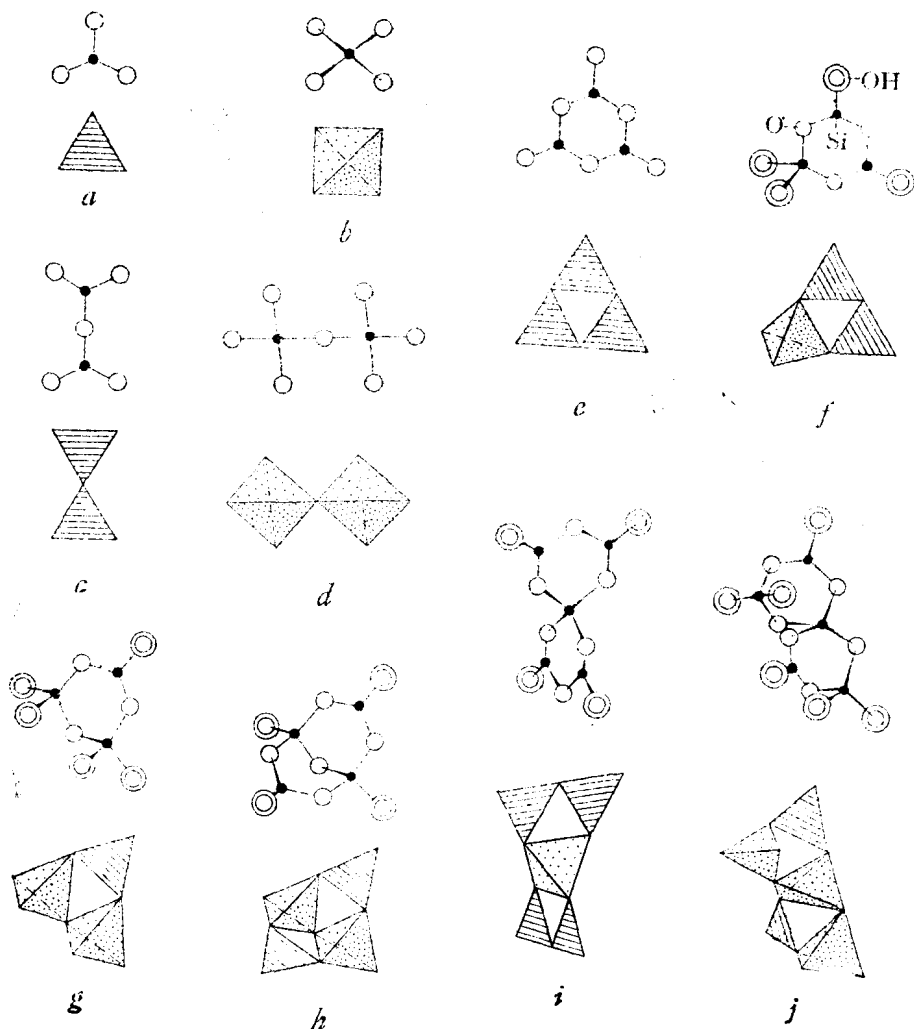


图 Ⅲ—4.1 B—(O,OH)多面体岛状根

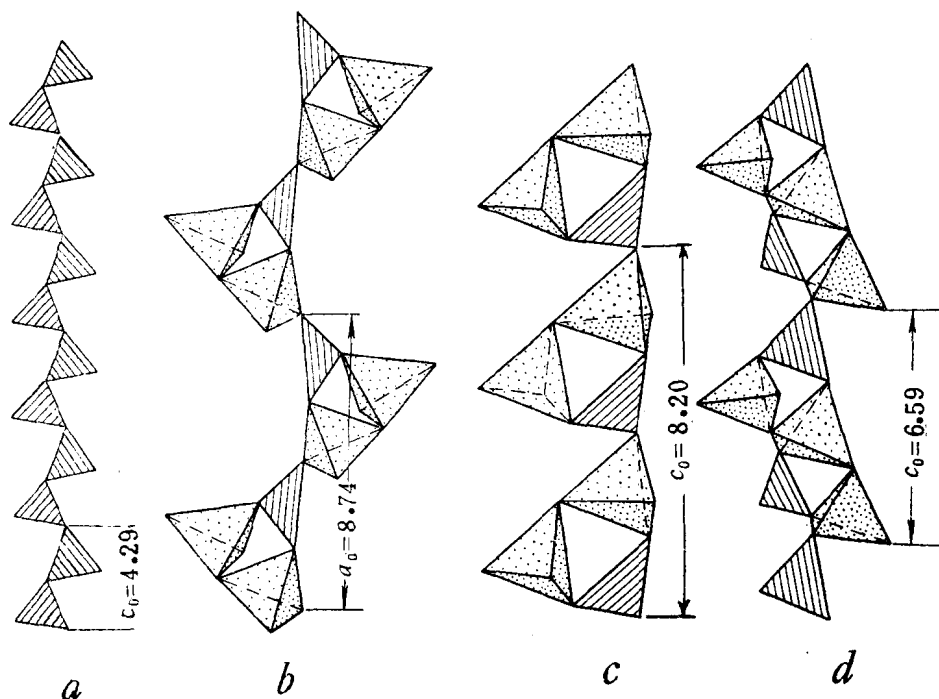
2. 由于B的价饱和系数 $\left(V = \frac{W_c}{W_a \times CN} \right)$ ^①类似于Si，因此，硼三角 $[B(O,OH)_3]$ 和硼四面体 $[B(O,OH)_4]$ 倾向于聚合，通过共角顶而联接成各种复杂的岛状根和链、层、架等，再同相适应的阳离子

① V ：价饱和系数。 W_c 和 W_a ：阳离子和阴离子电价。 CN ：硼的配位数。

结合形成稳定的晶体结构。其中最简单的是硼三角和硼四面体各以一角顶相连构成双三角和双四面体(见图Ⅲ—4.1c,d),其相共角顶为O,其他自由角顶的O可为OH所代替。双三角和双四面体在晶体结构中呈岛状。前者象透安石 $\text{Mg}_2[\text{B}_2\text{O}_5]$ 和硼镁石 $\text{Mg}_2[\text{B}_2\text{O}_4(\text{OH})](\text{OH})$ 。后者象柱硼镁石 $\text{Mg}[\text{B}_2\text{O}(\text{OH})_6]$ 。

3. 硼三角 $[\text{B}(\text{O},\text{OH})_3]$ 和硼四面体 $[\text{B}(\text{O},\text{OH})_4]$,可以2—4个角顶联接成各种复杂的岛状根(或群)如: $\text{B}_3\text{O}_6(3\Delta)$, $\text{BB}_3\text{O}_6(\text{OH})_4(1\boxtimes 2\Delta)$, $\text{B}_2\text{BO}_3(\text{OH})_5(2\boxtimes 1\Delta)$, $\text{B}_3\text{B}_2\text{O}_5(\text{OH})_4(2\boxtimes 2\Delta)$, $\text{BB}_4\text{O}_6(\text{OH})_4(1\boxtimes 4\Delta)$, $\text{B}_3\text{B}_2\text{O}_6(\text{OH})_5(3\boxtimes 2\Delta)$ 等(见图Ⅲ—4.1e,f,g,h,i,j)。在这些岛状根中,相共的原子为O,自由角顶为OH,这种O和OH的分布可使三次配位的硼三角和四次配位的硼四面体在结构中同时并存。这种特点使硼酸盐具有特征的R—O离子键和氢氧—氢键。后者往往占主要地位, O—OH或O—H₂O的间距通常在2.7—3.1 Å范围内。具有 $2\boxtimes 1\Delta$ 复杂根的矿物,象多水硼镁石 $\text{Mg}(\text{N}_2\text{O})_5[\text{B}_2\text{BO}_3(\text{OH})_5]$ 和变水方硼石 $\text{CaMg}(\text{H}_2\text{O})_6[\text{B}_2\text{BO}_3(\text{OH})_5]_2$,具有 $1\boxtimes 4\Delta$ 复杂根的象硼铵石 $\text{NH}_4[\text{BB}_4\text{O}_6(\text{OH})_4]$ 。四水硼钠石 $\text{Na}_2[\text{B}_2\text{B}_2\text{O}_6(\text{OH})_5]$ 可能具有 $2\boxtimes 3\Delta$ 复杂根。以上所述的双三角和双四面体以及硼三角和硼四面体并存形成复杂岛状根的矿物,在结构基型上都归属岛状基型。

4. 前述的岛状根可以角顶相连成链,构成链状基型。已发现的有:双三角联接而成的 $[\text{B}_2\text{O}_4]_{\infty}^2$ 链(图Ⅲ—4.2a),象钙硼石 $\text{Ca}[\text{B}_2\text{O}_4]$;由 $2\boxtimes 1\Delta$ 联接而成的 $[\text{B}_2\text{BO}_4(\text{OH})_5]_{\infty}^2$ 链(图Ⅲ—4.2b,c),象水方硼石 $\text{CaMg}(\text{H}_2\text{O})_6[\text{B}_2\text{BO}_3(\text{OH})_5]_2$ 和硬硼钙石 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{O})[\text{B}_2\text{BO}_4(\text{OH})_5]$;由 $3\boxtimes 2\Delta$ 联接而成的 $[\text{B}_3\text{B}_2\text{O}_7(\text{OH})_4]_{\infty}^2$ 链(图Ⅲ—4.2d),象斜硼钠钙石 $\text{NaCa}(\text{H}_2\text{O})_3[\text{B}_3\text{B}_2\text{O}_7(\text{OH})_4]$;同时发现在硼钾镁石中存在有复杂的螺旋状链。应该指出:在链状基型亚类,象其他亚类一样,有些矿物象维羟硼钙石、贫水硼砂、



图Ⅲ—4.2 硼酸盐中的链

多水硼钙石、意硼钠石等系根据形态、物性等特点，并从晶体化学角度考虑，归入了本亚类。

5. 层状基型中的硼酸盐矿物研究的还很不足，天然硼酸 $H_3[BO_3]$ 为典型层状，系由 $[BO_3]$ 三角共三角顶组成 $[BO_3]_2^2$ 层，层间以氢键相连。由 $3\triangle 3\triangle$ 组成复杂层的有图硼锶石 $Sr(H_2O)_3[B_3B_2O_6(OH)_2]$ 。在氯硫硼钠钙石和水硼锶石中发现具有复杂的 $[B_3B_2O_6(OH)_2]$ 层和 $[B_2B_3O_6(OH)]$ 层。另外， $[B(OH)_4]$ 四面体同其他阴离子（如 Cl ）一起组成层，象氯硼铜矿 $Cu[B(OH)_4]Cl_2$ 和氯硼钠石 $Na_2[B(OH)_4]Cl$ 。

6. 架状结构基型矿物在硼酸盐中为数不多。象偏硼石结构中 $[BO_4]$ 四面体以角顶相连成架。另外，较为典型的为方硼石族矿物，在方硼石 $Mg_2[B_3B_4O_{12}]OCl$ 结构中， $[BO_4]$ 四面体和 $[BO_3]$ 三角（以 3:4 的比例）以角顶相连成三度空间的架（见图 III—4.3）。

二、形态和物理性质

硼酸盐矿物的形态同结构基型有密切关系。架状基型矿物的形态通常呈等轴状和粒状。岛状基型由于岛状根的多样性致使矿物的形态既可呈等轴状、粒状和板状，亦可呈柱状，甚至长柱状。链状基型矿物则以长柱状、针状和纤维状为特征。层状基型矿物则以板状为特征。

硼酸盐矿物的物理性质与其成分结构的关系十分明显。多数硼酸盐矿物为周期表 I a 和 II a 族元素，即惰性气体型离子钙、镁、钠等所组成，通常呈现白色或无色，透明度佳和玻璃光泽。而少数由过渡元素锰、铁、钛、钽、铜组成的矿物，象硼镁铁族矿物则呈黑色、棕色，半透明—不透明，铜的硼酸盐，象氯硼铜矿则呈现蓝色。绝大多数硼酸盐矿物的硬度介于 2—5，比重 2—3.5， $N = 1.500—1.600$ 。这同样为硼酸盐矿物成分结构的反映。值得指出的是：架状基型的方硼石和硼锂铍石具有最高的硬度 7—8，硼钽石 $Ta[BO_4]$ 比重（7.9）最大；属层状基型（除 H 外不具其他阳离子）的天然硼酸 $H_3[BO_3]$ 的硬度（1）、比重（1.48）、折射率（1.340—1.459）为最小。

三、成因产状

硼酸盐矿物的成因以表生成因最多，内生次之，变质成因最少。从硼矿矿床成因角度分析，主要有三种类型：

1. 内生砂卡岩型硼矿：同镁砂卡岩成因有关的可分为：镁硼石—硼镁石矿床，共生矿物除镁硼石和硼镁石外，还有透硼镁石、电气石等；硼镁石或氟硼镁石—硼镁铁矿矿床，其中以硼镁铁矿为主或以氟硼镁石为主；产于前震旦纪镁质大理岩中的透硼镁石—硼镁石矿床，如我国东北的内生硼矿床。同钙砂卡岩有关的硼矿床，主要赋存于砂卡岩型铜矿床中，矿体呈透镜状分布于弱砂卡岩化的硬石膏层中，主要工业矿物为钙硼石、硼镁石和符硼镁石等。

2. 直接或间接与新生代火山活动有关的沉积硼矿：本类矿床类型较多，储量大，具有重要的工业意义。现择其主要者简述如下：1）第三纪火山—沉积型硼矿床，以美国克拉麦硼砂—贫水硼砂矿床为代表。含硼矿层位于一套火山岩系上部，由粘土页岩、硼酸盐和火山凝灰岩层组成，矿体厚度 25—68 米，长达 300—600 米。主要矿物为硼砂和贫水硼砂，次要矿物有钠硼解石、硼钠钙石、硬硼钙石、三方硼砂及少量多水硼镁石、高硼钙石、诺硼钙石、图硼钙石等。2）第四纪现代形成于含硼火山活动区（亦即主要分布于环太平洋和地中海成矿带）中的盐湖、盐沼硼矿床。此类矿床富于硼砂、钠硼解石、柱硼镁石、库水硼镁石、水方硼石等。在盐湖型矿床中并往往具有经济价值的硼、锂、钾卤水和盐层，构成综合性矿床。象美国塞尔兹湖、属盐湖型硼矿床、主要硼矿物为硼砂，其次有少量三方硼砂和硬硼钙石，伴生盐类矿物有石盐、天然碱、碳酸芒硝、钾芒硝、钙芒硝、石膏、硬石膏、天青石、无水芒硝、泡碱、单斜钠钙石、钠硝石等。盐层间的卤水富含硼、锂等元素。近年来，在我国发现的有两类新型的盐湖型硼矿床：一类为柱硼镁石—钠硼解石矿床，主要矿体赋存于湖底，似层状，主要矿物为钠硼解石和柱硼镁石，呈窝状、晶簇状分布于盐层和碳酸盐或石膏淤泥中，伴生盐类有石盐、芒硝、无水芒硝、钙芒硝、石膏、白钠镁矾、泻利盐等；在湖滨区矿体呈透镜状、窝状、赋存于石膏、碳酸盐粘土中，主要矿物有钠硼解石、水方硼石、石膏和石盐等，此外尚有多水硼镁石、库水硼镁石、水碳硼石。章氏硼镁石

等,该矿床的晶间卤水和地表卤水皆富含硼、锂、钾等元素。另一类为库水硼镁石—柱硼镁石矿床、硼矿层主要赋存于湖缘阶地上部。矿层下部为灰色砂质粘土含少量分散状库水硼镁石和多水硼镁石,中部为灰白色粘土碳酸盐层,主要为钙镁碳酸盐、含少量分散状库水硼镁石、多水硼镁石及次生柱硼镁石,上部为硼酸盐层:该层下部以库水硼镁石为主,往上为柱硼镁石、钠硼解石和板硼石所代替、偶见硼砂,此外尚含多量水菱镁矿、方解石和石盐等。在湖底盐矿中有大量含硼、锂、钾的卤水,并有薄层硼酸盐沉积。3)与地下火山活动有关的含硼蒸汽硫质喷气孔作用下形成的铵硼酸盐—硼酸矿床。如意大利托斯卡那硼矿床,其硫质水蒸气中的硼,主要以硼酸形式被携出地表,在喷气孔壁附近形成硼酸和少量硼砂、多水硼钠石、基性硼钙石和白硼钙石等;另外大部分的含硼水溶液流入附近洼地,硼酸与铵作用形成硼铵石和水硼铵石、为唯一已知的铵硼酸盐—硼酸矿床。

3. 海相盐类硼矿床:海相盐类硼矿床主要产于某些二叠纪海相盐类沉积岩中,主要硼矿物为方硼石、水方硼石、硼钾镁石等,并与硬石膏、白云石、杂卤石、光卤石、石盐和钾盐等共生。通常由于硼矿物在硬石膏、石盐和钾盐中呈分散状态,未能富集成独立硼矿床。但在表生作用下,由于天然水和二氧化碳等作用,使易溶盐类流失,较难溶解的硼酸盐则发生次生富集,而形成具有相当工业意义的似层状矿体,一般限于溶解水准面以上。次生硼酸盐矿物有:硼镁石、库水硼镁石、氟硼镁石、多水硼镁石、钠硼解石、北方硼石、变水方硼石、板硼钙石、白硼钙石、硬硼钙石、三斜硼钙石、水硼钙锶石、柱硼镁石等。典型例子如德意志民主共和国施塔斯富特晚二叠世的海相沉积硼矿床和苏联印迭尔早二叠世的海相硼矿床。在我国三叠纪海相盐类沉积中也见到硼的显示,值得注意。

四、用 途

硼的用途很广,近年来随着近代尖端科学的发展,硼的用途正在迅速扩展中,在玻璃、陶瓷、电讯、化学、医药、农业及冶金等许多工业部门都应用硼和硼的化合物。特别在国防及尖端工业方面有着不少新用途,例如加硼制造的耐高温玻璃纤维可用作火箭头的防护材料,氮化硼用于耐火材料及半导体,硼与氢、锂、铍的化合物可作为高能燃料等。此外硼还具有显著的吸收中子的特性、可用碳化硼控制原子能反应堆的反应速度;含硼2—4%的钢可做中子屏;塑料中放入硼可防辐射等,因此,硼是重要的战略资源之一。

硼酸盐类矿物的划分如下

第一亚类 架状基型

1. 方硼石 $\text{Mg}_3[\text{B}_3\text{B}_4\text{O}_{12}]\text{OCl}$ 族
2. 硼锂铍矿 $\text{Cs}\{\text{Al}_4(\text{LiBe}_3\text{B}_{12})\text{O}_{28}\}$ 族
3. 硅硼钠钡石 $\text{NaBa}_3[\text{B}_5\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_{16}(\text{OH}_2)](\text{OH})_2$ 族
4. 偏硼石 $\text{H}[\text{BO}_2]$ 族

第二亚类 岛状基型

I 具简单 $[\text{BO}_4]$ 或 $[\text{BO}_3]$

I) 无水、无附加阴离子

(I) 具 $[\text{BO}_4]$

1. 硼钽石 $\text{Ta}[\text{BO}_4]$ 族
2. 硼铝镁石 $\text{MgAl}[\text{BO}_4]$ 族

(II) 具 $[\text{BO}_3]$

1. 硼钙锡矿 $\text{CaSn}[\text{BO}_3]_2$ 族
2. 镁硼石 $\text{Mg}_2[\text{BO}_3]_2$ 族

II) 具 O 或 OH 和附加络阴离子

(I) 具 $[\text{BO}_3]$

1. 硼铝石 $\text{Al}_6[\text{BO}_3]_5(\text{OH})_3$ 族
2. 硼镁铁矿 $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Fe}[\text{BO}_3]\text{O}_2$ 族
3. 水氟硼石 $\text{Na}_2\text{Ca}_3\text{Al}_4[\text{BO}_3]_5(\text{OH}, \text{F})_5$ 族
4. 硼铍石 $\text{Be}_2[\text{BO}_3]\text{OH}$ 族
5. 氟硼镁石 $\text{Mg}_3[\text{BO}_3](\text{OH}, \text{F})_2$ 族
6. 针钙锰硼石 $\text{Ca}_4\text{Mn}_3[\text{BO}_3]_3[\text{CO}_3]\text{O}_2$ 族

III) 具附加络阴离子或 H_2O 分子

(I) 具 $[\text{B}(\text{OH})_4]$

1. 砷硼钙石 $\text{Ca}_2[\text{AsO}_4][\text{B}(\text{OH})_4]$ 族
2. 符硼钙石 $\text{Ca}[\text{B}(\text{OH})_4]_2$ 族
3. 水碳硼石 $\text{MgCa}_2[\text{HCO}_3]_2[\text{B}(\text{OH})_4](\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 族

(II) 具 $[\text{BO}_3]$ 或 $[\text{BO}_2(\text{OH})]$

1. 韦硼镁石 $\text{Mg}_3(\text{H}_2\text{O})_2[\text{BO}_3]_2(\text{OH})_{12}$ 族
2. 磷硼锰石 $\text{Mn}_3(\text{H}_2\text{O})_3[\text{BO}_3][\text{PO}_4]$ 族
3. 硼镁矾 $\text{Mg}_3(\text{H}_2\text{O})_4[\text{BO}_2\text{OH}]_2[\text{SO}_4]$ 族

II 具 $[\text{B}_2(\text{O}, \text{OH})_{5-7}]$

I) 无水、无附加阴离子

(I) 具 $[\text{B}_2\text{O}_5]$

1. 遂安石 $\text{Mg}_2[\text{B}_2\text{O}_5]$ 族

II) 具 (OH)

(I) 具 $[\text{B}_2\text{O}(\text{OH})_6]$

1. 柱硼镁石 $\text{Mg}[\text{B}_2\text{O}(\text{OH})_6]$ 族
2. 粒水硼钙石 $\text{Ca}[\text{B}_2\text{O}(\text{OH})_6]$ 族

(II) 具 $[\text{B}_2\text{O}_6]$

1. 水硼锰石 $\text{Mn}_4[\text{B}_2\text{O}_6](\text{OH})_4$ 族

(III) 具 $[\text{B}_2\text{O}_4\text{OH}](\text{BO}_3 \text{ 和 } \text{BO}_2\text{OH} \text{ 双三角})$

1. 硼镁石 $\text{Mg}_2[\text{B}_2\text{O}_4(\text{OH})](\text{OH})$ 族
2. 硼锰钙石 $\text{CaMn}[\text{B}_2\text{O}_4\text{OH}]\text{OH}$ 族

(IV) 具 $[\text{B}_2\text{O}_2(\text{OH})_4]$ 和 $[\text{B}_2\text{O}_3(\text{OH})_3]$

1. 乌硼钙石 $\text{Ca}[\text{B}_2\text{O}_2(\text{OH})_4]$ 族

III) 具附加络阴离子或 H_2O 分子

(I) 具 $[\text{B}_2\text{O}(\text{OH})_4]$

1. 硼磷镁石 $\text{Mg}_2(\text{H}_2\text{O})_4[\text{PO}_4]_2[\text{B}_2\text{O}(\text{OH})_4]$ 族

III 具复杂的 $[\text{B}_m\text{B}_n\text{O}_p(\text{OH})_q]$

(I) 具 $[\text{B}_2\text{BO}_2(\text{OH})_5]$

1. 多水硼镁石 $\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_5[\text{B}_2\text{BO}_2(\text{OH})_5]$ 族