

系统矿物学

中册

地质出版社

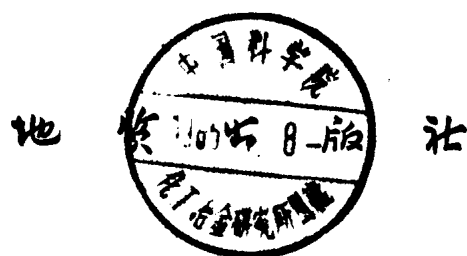
56.8
125
2:2

系 统 矿 物 学

中 册

王 濮
潘 兆 檀 等 编 著
翁 玲 宝

36510/26



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余种。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

(中册)

王 濮 潘兆樵 翁玲宝 等编著

地质矿产部书刊编辑室编辑

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: 33¹/₄ 字数: 783,000

1984年8月北京第一版·1984年8月北京第一次印刷

印数: 1—4,850册·定价: 7.85元

统一书号: 16038·新990

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。本册为中册，内容全部为硅酸盐矿物各论。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、潘兆鲁、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质部、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 Поваренных, А. С. (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
第三类 硅酸盐	2
第一亚类 架状基型	23
I 单一硅酸盐	23
II 硼硅酸盐	24
III 铝硅酸盐	26
I) 无水、无附加阴离子	26
II) 具附加阴离子	86
III) 含水 (沸石矿物)	95
IV 铍 (锌) 硅酸盐	122
I) 无水、无附加阴离子	122
II) 具附加阴离子	125
III) 含水	131
V 钛硅酸盐及锆硅酸盐	132
I) 无水、无附加阴离子	132
II) 具附加阴离子和络阴离子	135
III) 含水	139
第二亚类 环状基型	144
I 具 $[\text{Si}_3\text{O}_9]$ 环	144
II 具 $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]$ 环	149
III 具 $[\text{Si}_8\text{O}_{20}]$ 环	154
IV 具 $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ 环	155
I) 无水、无附加阴离子	155
II) 具附加阴离子、络阴离子或水	159
V 具 $[\text{Si}_{12}\text{O}_{30}]$ 环	166
第三亚类 岛状基型	169
I 具 $[\text{SiO}_4]$	169
I) 无水、无附加阴离子	169
II) 具附加阴离子	198
III) 具附加络阴离子	222
IV) 含水	226
II 具 $[\text{Si}_2\text{O}_7]$	227
I) 无水、无附加阴离子	227
II) 具附加阴离子或络阴离子	229
III) 含水	242
III 具 $[\text{SiO}_4]$ 和 $[\text{Si}_2\text{O}_7]$	246
IV 具 $[\text{SiO}_4]$ 和 $[\text{Si}_3\text{O}_{10}]$ 或只具 $[\text{Si}_3\text{O}_{10}]$	264
V 具 $[\text{SiO}_4]$ 和 $[\text{AlSi}_4\text{O}_{16}]$	265

第四亚类 链状基型	266
I 单一硅酸盐.....	266
I) 无水、无附加阴离子	266
II) 具附加阴离子或络阴离子	326
III) 含水	364
II 硼硅酸盐.....	368
III 铝硅酸盐.....	370
IV 铍硅酸盐.....	372
V 钛硅酸盐.....	373
第五亚类 层状基型	374
I 单一硅酸盐.....	375
I) 无水、无附加阴离子	375
II) 具附加阴离子	377
III) 含水	404
II 硼硅酸盐.....	422
III 铝硅酸盐、铁硅酸盐、镁硅酸盐、锌硅酸盐.....	424
I) 具附加阴离子	424
II) 含水	457
IV 铍硅酸盐.....	468
V 钛硅酸盐、锆硅酸盐.....	473
VI 铀硅酸盐.....	485
未分族及存疑矿物.....	491
照片图版	495

第三大類
氧的化合物(續)

第三类 硅 酸 盐

表 III—3.0.1

	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIB	VIII	IB	IIIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIA	0	
1	H	形成硅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	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe		Ni	Cu	Zn			As		
5		Sr	Y	Zr	Nb									Sn	Sb		
6	Cs	Ba	TR	Hf										Pb	Bi		
7				Th	U												
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						
		77	37	4	36	48	83	23	61	117	45	7	11				

目前已知的硅酸盐矿物种共有548种，其中包括未分族矿物种7种，存疑矿物11种。硅酸盐矿物占已知矿物种的24%左右，广泛分布在各种类型岩石之中，除了形成主要造岩矿物或脉石矿物外，亦可成为矿石矿物，例如锂、铍、锆等元素就是从硅酸盐矿物中提取的。有些硅酸盐矿物还因其特殊的物理性质而被直接利用，如云母、滑石、石棉、沸石等，故很多硅酸盐矿物具有重要的实用价值。

硅在自然界是一种分布极广的元素，它在地壳中的作用有如碳在有机物中的作用。硅在自然界中有三种同位素： Si^{28} 、 Si^{29} 、 Si^{30} 。构成硅酸盐矿物的主要是 Si^{28} 。 Si^{30} 只在低温条件下产出。 Si^{28} 在自然界以四价阳离子形式存在（离子半径为0.39 Å），除了极少量的硅在铁陨石中与碳形成碳化物 SiC 以及大量的硅与氧形成分布极广的 SiO_2 以外，硅主要是与氧结合构成各种形式的络阴离子，同其他阳离子结合形成硅酸盐矿物。

一、硅酸盐矿物的化学组成特点 组成硅酸盐矿物的造种元素有41种（见表III—3.0.1）。其中除了构成阴离子的元素以外，主要是造岩元素和过渡元素，常见的有：

配位数为4的 B^{3+} 、 Be^{2+} 、 Al^{3+} 、 Ti^{4+} 、 Fe^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mg^{2+} ；

配位数为5的 Al^{3+} ；

配位数为6的 Al^{3+} 、 Ti^{4+} 、 Mg^{2+} 、 Li^{1+} 、 Zr^{4+} 、 Mn^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Sc^{3+} ；

配位数为7的 Ca^{2+} ；

配位数为8的 Zr^{4+} 、 Na^{1+} 、 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} ；

配位数为12的 K^{1+} 、 Ba^{2+} 。

上述配位数相同或相近的离子间,存在着广泛的类质同象代替,所以使硅酸盐矿物成分变得非常复杂。

常见的附加阴离子有 OH^{1-} 、 O^{2-} 、 F^{1-} 、 Cl^{1-} 、 S^{2-} 、 $[\text{PO}_4]^{3-}$ 、 $[\text{SO}_4]^{2-}$ 、 $[\text{CO}_3]^{2-}$ 。其中前三种离子间的类质同象代替最普遍。

硅酸盐中除了 OH^{1-} 外,还常有 H_2O 分子参加到格架空隙中成为吸附水,如沸石的架状空洞中存在的水分子。此外还可以 $(\text{H}_3\text{O})^{1+}$ 形式作为阳离子参加到格架中去,如角闪石中的 $(\text{H}_3\text{O})^{1+}$ 离子。

作为络阴离子中的 Si^{4+} 亦常被 Ge^{4+} 、 Al^{3+} 所代替。 Ge^{4+} 的离子半径为 $0.44 \text{ \AA}$,与 Si^{4+} 极为相近,这是代替的一个先决条件。随着岩浆作用的演化,在岩浆晚期 Ge^{4+} 的含量大大增加,又提供了 Ge^{4+} 代替 Si^{4+} 的机会。 Al^{3+} 代替 Si^{4+} 的现象更为普遍,且在硅酸盐矿物中具有重要意义。 Al^{3+} 离子半径为 $0.46 \text{ \AA}$,配位数介于 4 与 6 之间,所以 Al^{3+} 可以二种配位数参加到硅酸盐矿物中去,当 Al^{3+} 配位数为 4 时,则代替 Si^{4+} 形成铝氧四面体参与硅酸盐骨干,这对硅酸盐矿物晶体结构起着重要作用。当 Al^{3+} 配位数为 6 时,则作为一般阳离子,用以连结硅氧骨干。

二、硅酸盐的晶体结构特点 硅酸盐矿物的晶体结构研究得比较早,也比较系统。硅酸盐矿物的晶体结构是以硅氧四面体作为基本结构单位。 Si 在四个氧的中心,形成硅氧四面体, $\text{Si}-\text{O}$ 平均距离为 $1.62 \text{ \AA}$, $\text{O}-\text{O}$ 平均距离为 $2.64 \text{ \AA}$, $\text{O}-\text{Si}-\text{O}$ 键角的理论值为 109.5° ,随着岛状硅酸盐到架状硅酸盐, $\text{Si}-\text{O}$ 距离约由 $1.630 \text{ \AA}$ 减少到 $1.603 \text{ \AA}$ 。当 Si 被 B^{3+} 、 Be^{2+} 代替时,则 $\text{T}-\text{O}$ ① 距离缩小,当被 Al^{3+} 、 Ge^{4+} 、 Fe^{2+} 、 Ti^{4+} 代替时则 $\text{T}-\text{O}$ 距离增加,当 $\text{Si}-\text{O} = 1.603 \text{ \AA}$ 时, $\text{Al}-\text{O} = 1.716 \text{ \AA}$ 。此外 $\text{T}-\text{O}$ 键长的变化与 $\text{O}-\text{T}-\text{O}$ 键角成反比。随着 Si 被其他离子代替后,四面体的形状亦将发生变化,对结构产生一定的影响。

在硅酸盐矿物的晶体结构中,硅氧四面体除了以单四面体形式存在外,大多数情况下是以共角顶方式连接成双四面体、环、链、层和架等各种骨干。这些骨干再同他种阳离子结合,而构成各种结构基型的硅酸盐,如双四面体岛状基型、环状基型、链状基型、层状基型和架状基型的硅酸盐。纯由一种硅氧四面体组成的硅酸盐,称为单一硅酸盐。实际上,在硅酸盐矿物中更多见到的是硅氧四面体(或硅氧四面体骨干)与铝氧四面体、硼氧四面体、铍氧四面体、镁氧四面体、锌氧四面体、铁氧四面体、钛氧四面体(或 $[\text{TiO}_5]$ 单锥)或锆氧八面体等以共角顶方式连接成各种骨干(其中以共价键为主,部分为离子键),它们再同他种阳离子结合(连结点主要为离子键)构成各种基型的硅酸盐,这种硅酸盐与单一硅酸盐不同,分别称之为铝硅酸盐、硼硅酸盐、铍硅酸盐、镁硅酸盐、锌硅酸盐、铁硅酸盐、钛硅酸盐或锆硅酸盐。它们与通常所谓的铝的硅酸盐、镁的硅酸盐、铁的硅酸盐等等在概念上有所不同。现以铝的硅酸盐和铝硅酸盐为例说明于下:象叶蜡石 $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ 和白云母 $\text{K}[\text{Al}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2]$,前者是铝的硅酸盐,其层状骨干完全是由单一的硅氧四面体组成,再同骨干以外的阳离子 Al 相结合,这种 Al 阳离子并未参与骨干而是以六次配位形式构成铝氧配位八面体,并且与层状骨干是以共棱方式连接的。而白云母的层状骨干是由硅氧四面体和铝氧四面体联合组成,这种铝硅层状骨干再同铝氧八面体六次配位的 Al 离子和十二次配位的 K 离子所构成的铝氧配位八面体和钾氧配位多面体以共棱方式相结合。白云母实际上是一种 K 和 Al 的铝硅酸盐。又例如蓝晶石 $\text{Al}_2[\text{SiO}_4]\text{O}$ 和矽线石 $\text{Al}[\text{AlSiO}_5]$ 。前者的晶体结构是由硅氧四面体同 $[\text{AlO}_6]$ 八面体共棱结合而成的,为铝的硅酸盐。后者是由硅氧四面体和铝氧四面体共角顶连接而成的链,再同 $[\text{AlO}_6]$ 八面体共棱结合而成的,为铝的铝硅酸盐。

在硅酸盐矿物的晶体结构中,硅氧四面体的连接方式同与之结合的他种阳离子(即骨干以外的阳离子)的种类之间存在着一定的内在联系。从晶体化学角度看,硅氧四面体的连接方式必然要同与之结合的他种阳离子相适应,致使硅氧骨干的形式在很大程度上取决于阳离子的大小及其配位多面体的形式。硅氧骨干以外的阳离子可分成中等大小的阳离子和大阳离子二类。中等阳离子主要是六次配位的 Al^{3+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mn 、 Ti 等离子半径中等的阳离子,这些阳离子配位多面体的棱长为 $2.6-2.8 \text{ \AA}$,与 $[\text{SiO}_4]$ 四面体棱长大致吻合,故与这些阳离子配位多面体相适应结合的硅氧骨干以孤立的 $[\text{SiO}_4]$ 四面体为主。大阳离子主要是 Ca^{2+} 、 K^{1+} 、 Na^{1+} 、 Ba^{2+} 等大半径阳离子,其配位多面体棱长远超过 $[\text{SiO}_4]$ 四面体的棱长,所以与这类阳离子配合形成的硅氧骨干就不完全是孤立的 $[\text{SiO}_4]$ 四面体,而是与 $[\text{SiO}_4]$ 连接

① T 为四面体中心阳离子的代号。

成的双四面体、环、链等相适应。大阳离子或者是存在于硅氧层状骨干之间，或充填在架状骨干的大空隙之中起着连接层或平衡电价的作用。

鉴于硅酸盐各种结构基型所包含的矿物种数多、结构类型复杂，并且在形态、物理性质上的反映亦有差异，所以，有必要对各种结构基型作进一步地综合阐述。现根据硅酸盐晶体结构中最强键空间分布的均一程度，按架状、环状、岛状、链状和层状基型的顺序分述于后。

1. 架状基型 架状基型的硅酸盐矿物（曾称架状硅酸盐矿物）已知有 114 个矿物种，占硅酸盐矿物种总数的 20.72%。其中简单架状基型有 77 个矿物种，复杂架状基型 37 个矿物种。架状基型的硅氧骨干是由硅（包括 B、Be 等）氧四面体彼此共四个角顶连接成三度空间的骨架，或是由硅氧四面体环或链同钛（或锆等）氧配位多面体（主要是八面体）共角顶连接而成。架状基型的硅氧骨干与环状、链状和层状基型的骨干比较起来要复杂得多，主要原因是架状骨干呈三度空间发育，所以要较比深入地认识它，就必须根据构成骨架的次一级结构单元（如环、链、网层）来剖析。

在架状硅酸盐矿物中，以硅氧四面体四环（或六环）连接而成的等轴状骨架，以方钠石结构和方沸石结构为代表。前者结构中存在着四环和六环，而后者结构中除了四环和六环以外，还存在十二环。两者共拥有 15 个矿物种，约占架状硅酸盐矿物种总数八分之一。属于方钠石型结构的有方钠石族、日光榴石族和铍方钠石族的矿物。属于方沸石型结构的有方沸石族、白榴石族矿物和香花石。

以硅氧四面体六环或双层六环为结构单元，彼此相连成架的矿物种大约有 13 个（其中六个尚未经结构研究所证实，约占架状硅酸盐矿物种总数的十分之一。由于六环或双层六环的环面在晶体结构中皆呈水平分布，致使它们往往具有六方或三方对称的特点。属于此种类型的矿物族种有霞石族、钙霞石族、菱沸石族以及毛沸石和菱钾沸石。

在架状硅酸盐矿物中，值得注意的是，具有四环链彼此相连成架的结构类型最多，拥有近三十个矿物种，约占架状硅酸盐矿物总数的四分之一。四环链可分为长石四环链、方柱石四环链、钠沸石四环链和硅锆钠石四环链。1) 长石四环链是由环面近于平行 {010} 的硅（和铝）氧四面体四环，彼此共两个相对的角顶构成沿 c 轴伸长的链（参见图 III—3.1.9），这种链再在 a 轴和 b 轴方向通过链内四面体共角顶连接而成长石骨架，它为长石族矿物（除副长石和钙长石以外）所具有。2) 方柱石四环链为方柱石族矿物、短柱石、赛黄晶、副长石和钙长石所具有，其中以方柱石为代表。方柱石链是由硅（和铝）氧四面体四环（环面水平，两个相对的四面体的角顶指向上方，两个指向下方）与硅氧四面体四环沿 c 轴方向共角顶连接而成的。方柱石族矿物的骨架为，平行于 c 轴分布的方柱石四环链以硅氧四面体四环共角顶连接而成（参见图 III—3.1.66c）。短柱石骨架与方柱石骨架稍有不同，连接方柱石四环链的不是硅氧四面体四环而是 $[\text{TiO}_6]$ 八面体。赛黄晶、副长石和钙长石有所不同，前者组成四环的硅氧四面体有两个为硼氧四面体，而后二矿物的四环全部为硅氧四面体。3) 钠沸石四环链与方柱石四环链有些类似，不同之处在于四环与四环之间不是直接共角顶，而是通过另一硅氧四面体共角顶连接而成（参见图 III—3.1.98），此种钠沸石内环链彼此通过环中四面体共角顶连接成骨架，为钠沸石族矿物所具有。4) 硅锆钠石四环链与长石四环链基本相似，但在链的延长方向略有压缩，使四环与四环之间共角顶连接的四面体呈超复状，同时四环链与四环链之间是靠 $[\text{ZrO}_6]$ 八面体共角顶连接成架的，此种骨架为硅锆钠石所特有。

此外在架状硅酸盐中尚有以硅氧四面体三环和 $[\text{TiO}_6]$ 八面体或 $[\text{ZrO}_6]$ 八面体相连成架的，如蓝锥矿族和钠锆石族的矿物，共有 6 个矿物种，约占架状硅酸盐矿物种总数的二十分之一。

总的看来，除了由上述各种“构造单元”组成的架状基型的矿物种以及晶体结构尚未研究的矿物种（约有 26 个）以外，其他绝大多数的矿物种都是各自具有独特的结构型。

架状硅酸盐矿物同其他结构基型的矿物比较起来，由于硅氧骨干呈三度空间发育的骨架，晶体结构空旷、异向性小，致使架状硅酸盐矿物一般具有比重小、折射率低、重折率小以及具有多方向解理等共同特点，但是在架状基型中又由于组成“结构单元”的不同，从而使矿物在形态上和某些物理性质上表现出一定的差异。对于四环（或六环）组成的等轴状架状基型的矿物来说，主要呈等轴状的外形，并具有等轴对称。而四环链组成的架状基型矿物一般呈板柱状，除个别为四方对称以外，虽然多数呈现低级对称——斜方、单斜或三斜，但时常反映出假四方的对称特征。对于六环或三环组成的架状基型矿物主

要呈六方或三方板状、柱状或锥状的外形，并具有六方对称或三方对称。在架状硅酸盐矿物中由于与骨架结合的阳离子，主要是碱金属或碱土金属元素之惰性气体型离子，故多数矿物呈现无色或浅色，多色性吸收性都不明显。只有少数具有过渡元素离子的架状矿物，特别是架状的钛锆硅酸盐矿物，往往具有特殊的颜色和稍明显的多色性和吸收性，其折射率和重折率、比重都稍有增高和增大。

2. 环状基型 环状基型的硅酸盐矿物已知有40个矿物种，占硅酸盐矿物种总数的7.27%。其中简单环状基型有4个矿物种，复杂环状基型有36个矿物种。环状基型的硅氧骨干系由硅氧四面体共角顶相连，并封闭成环。在环状（基型）硅酸盐矿物中，已知有七种不同类型的环，并有单层环和双层环之分。单层环有三环 $[\text{Si}_3\text{O}_9]$ 、四环 $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]$ 、六环 $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ 、九环 $[\text{Si}_9\text{O}_{27}]$ 和斧石环（图Ⅲ—3.0.1, 3）。双层环有双四环 $[\text{Si}_8\text{O}_{20}]$ 和双六环 $[\text{Si}_{12}\text{O}_{30}]$ （图Ⅲ—3.0.2）。其中拥有矿物种最多的是六环（有9个矿物种）和双六环（约有8个矿物种），它们合占环状（基型）硅酸盐矿物总数的五分之二以上。其次是三环和四环，再次为双四环、斧石环和九环。在环状硅酸盐矿物中连接环的主要阳离子有Ca、Na、K、Al、Fe、Mn、Mg、Li、Zr等。一般在环的大空隙处，常为水分子、OH或较大阳离子所占据。

六环是由六个硅氧四面体各共两个角顶连接而成的。属于六环基型的有绿柱石族、堇青石族、电气石族和透视石族的矿物。但是六环在各族矿物中存在着差异。绿柱石族和堇青石族矿物的六环基本相似。绿柱石六环中硅氧四面体的活性氧连线（即棱）与环平面垂直，平行于 c 轴。环本身具有 L^6 对称。而堇青石六环中有一硅氧四面体为铝氧四面体所代替，使晶体结构对称降低为斜方。电气石族矿物的六环是环内硅氧四面体的两个活性氧的指向与绿柱石、堇青石不同，其中一个指向在环平面内，另一个指向与环平面大致垂直，六环中的硅氧四面体两两相同，使环本身具有 L^3 对称。透视石的六环虽与绿柱石相似，但环内每个硅氧四面体的活性氧棱不是与环平面垂直而且与环平面斜交，并且环内六个硅氧四面体是相间重复的，环本身具有 L^3 对称。

双六环为大隅石族和整柱石族所特有。双六环系由两个六环共六个角顶对接而成的，是一种双层六

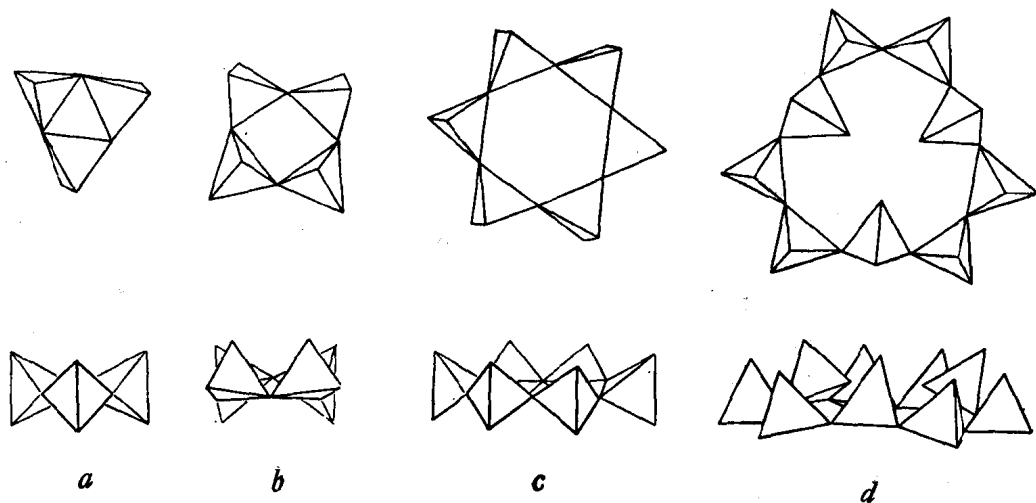


图 Ⅲ—3.0.1 不同类型的单层环

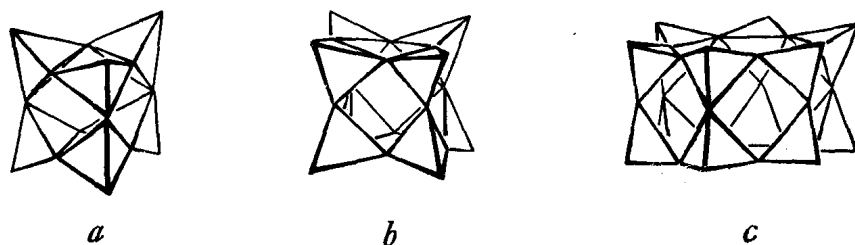
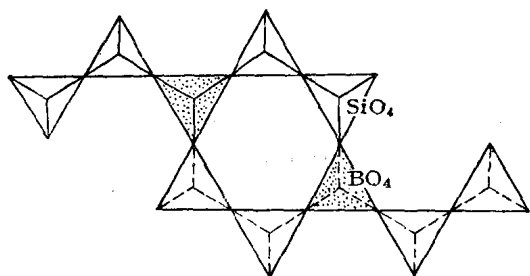


图 Ⅲ—3.0.2 三种类型的双层环

环(简称双六环)(图Ⅲ—3.0.2)。双六环内的Si可部分地为Al所代替。

三环系由三个硅氧四面体,各共两个角顶而组成的,为环硅灰石族矿物所具有。四环系由四个硅氧四面体,各共两个角顶而组成的,为钙钒铈族矿物以及羟铝铜钙石和纤硅钽铁矿所具有。双四环系由两个四环共四个角顶所组成的双层四环,为硅钙铀钍族矿物所特有。

最后值得指出的是异性石族矿物,其晶体结构中有三环和九环(图Ⅲ—3.0.1d)两种环共存。另外斧石族矿物1952年曾确定为具有四环 $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ 和硼三角 $[\text{BO}_3]$ 的环状硅酸盐,1969年进一步确定为带耳的六环,现称之为斧石环,它是由两个硅氧四面体同两个硼氧四面体相间连接成六环,其中两个硼氧四面体又各与另一硅氧四面体相连如耳状(图Ⅲ—3.0.3),以 $[\text{B}_2\text{O}_3(\text{Si}_2\text{O}_7)_2]$ 或 $[\text{Si}_2\text{B}_2\text{O}_{10}]$ 表示之。



图Ⅲ—3.0.3 斧石环

环状(基型)硅酸盐矿物在晶体结构中,由于具有二向展平的单层环和短柱状双层环的存在,以及环在结构中的方位经常呈平行分布,所以使矿物在形态上常呈三方、六方和四方的板状、板柱状、柱状的外形。这显然是与环本身的对称有关。另一方面环本身虽然具有三方、六方以及四方的对称,但由于它们与阳离子连接方式的不同,常常降低了对称,而呈斜方、单斜或三斜。虽然如此,但它们多少总摆脱不了环本身

对称的影响,而常常具有假三方、假六方以及假四方的特征。环状硅酸盐矿物从原子堆积密度上看,比岛状基型稍小,反映在比重硬度和折射率一般也要比岛状硅酸盐稍低。值得注意的是环状硅酸盐矿物中由于环本身的非等轴性的存在,导致环状硅酸盐矿物无论在形态和物理性质上都表现出异向性,其程度比岛状硅酸盐稍大,比链状和层状硅酸盐要小得多。因而,与环在结构中的方位和相应的阳离子分布有关的一些光学性质表现较为明显,一般与环平面一致的方向折射率较高,与之垂直的方向折射率较低,重折率稍大,通常呈一轴晶或二轴晶负光性。多色性和吸收性与环方位相应的过渡元素离子的分布密切相关,异向性表现明显,电气石是最为突出的例子。

3. 岛状基型 岛状基型的硅酸盐矿物已知有131个矿物种,占硅酸盐矿物种总数的24%。其中简单岛状基型有48个矿物种,复杂岛状基型有83个矿物种。岛状基型根据岛的类型不同可分为四面体岛状基型、双四面体岛状基型和两种岛型共存的岛状基型。

在四面体岛状基型中,硅氧四面体 $([\text{SiO}_4]^{4-})$ 在晶体结构中孤立地呈岛状存在。硅氧四面体的四个角顶完全为活性氧,通过这些活性氧与他种阳离子(主要有Ca、Al、Mg、Fe、Mn、Zn、Ce、Y等阳离子)相结合。属于四面体岛状基型的矿物种最多,达75个矿物种(其中晶体结构已经测定的占三分之二)。大多数矿物种各自具有独特的结构型。值得提出的是:具有橄榄石型结构和近似于橄榄石型结构的有三个族(橄榄石族、钙镁橄榄石族和粒硅锰石—粒硅镁石族)16个矿物种,占四面体岛状基型矿物种总数的四分之一多。其次是石榴子石族矿物共有9个矿物种,占四面体岛状基型矿物总数近八分之一。

双四面体岛状基型中的岛型为双四面体 $([\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-})$,它在晶体结构中孤立地呈岛状存在。双四面体是由两个四面体共一个角顶组成的,具有六个活性氧,分别同他种阳离子(主要是Ca、Na、Fe、Mn、Ti、Zr、Pb等)结合,属于这类岛状基型的矿物种已知有40个(其中晶体结构已经测定的占3/8)。几乎每个族种都具有各自独特的结构型。

在两种岛型共存的岛状基型中有硅氧四面体和双四面体共存、硅氧四面体和 $[\text{Si}_3\text{O}_{10}]$ 共存以及硅氧四面体和 $[\text{AlSi}_4\text{O}_{16}]$ 共存。与之结合的阳离子主要有Ca、Al、Mg、Fe、Mn等。属于这类岛状基型的矿物种共有17个,其中以绿帘石族矿物种数最多,有9个矿物种,它是属于硅氧四面体和双四面体共存的岛状基型。锰硅铝矿是硅氧四面体和 $[\text{Si}_3\text{O}_{10}]$ 共存的唯一例子,其结构中的 $[\text{Si}_3\text{O}_{10}]$ 为三重四面体(图Ⅲ—3.0.4c)。但这种三重四面体亦可独自呈岛地存在于锰柱钙石族的矿物之中。氯黄晶是属于上述第三种共存的岛状基型,其中 $[\text{AlSi}_4\text{O}_{16}]$ 系由一铝氧四面体,以其四个角顶各同一个硅氧四面体相连而成的(见图Ⅲ—3.0.5)。

岛状基型硅酸盐矿物在形态和物理性质上因岛型的不同而存在着差异。在四面体岛状基型中,由于

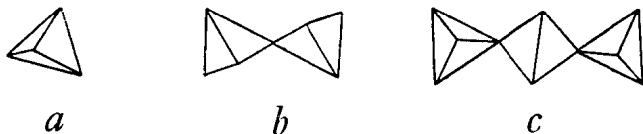


图 III—3.0.4 不同类型的岛型

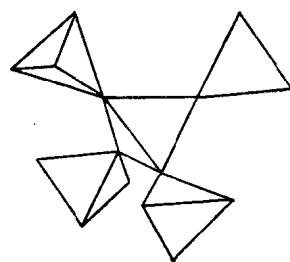


图 III—3.0.5 氯黄晶中的 $[\text{AlSi}_4\text{O}_{16}]$ 岛型 (中心四面体为 $[\text{AlO}_4]$, 其他为 $[\text{SiO}_4]$)

硅氧四面体本身的等轴性, 从而使矿物晶体具有近似等轴状的外形, 重折率小。多色性和吸收性较弱, 并且常常具有中等至不完全的多方向解理。又由于四面体岛状基型矿物的原子堆积密度较大, 因而, 一般具有硬度大、比重大和折射率高的特点。但是对于双四面体岛状基型矿物来说则不完全相同。在晶体外形上往往具有等轴状到一向延长的特征、矿物的硬度, 折射率不但稍有偏低, 而且表现出稍大的异向性, 重折率、多色性和吸收性都有所加大和增强。这显然是与晶体结构中所存在的非等轴性的双四面体有关。此外, 对于少数含水或具有附加阴离子 (OH 、 F) 的岛状基型矿物来说, 其硬度、比重、折射率皆有所降低。

4. 链状基型 链状基型的硅酸盐矿物已知有 83 个矿物种, 占硅酸盐矿物种总数的 15.09%, 其中简单链状基型有 23 个矿物种, 复杂链状基型有 60 个矿物种。链状基型的硅氧骨干系由硅氧四面体共两个 (或三个) 角顶连接成一向无限延伸的链, 链可以分为单链、双链和似管状链。目前已知链的类型有二十多种 (图 III—3.0.6—9), 其中除了归入层状 (图 III—3.0.6e 和 III—3.0.7b, c) 和架状基型 (图 III—3.0.7a 和图 III—3.0.9b) 的链和属于高温相或人工合成矿物的链 (图 III—3.0.6b, i, III—3.0.8b) 以外, 在链状硅酸盐矿物中约有 15 种类型不同的链。其中以辉石链 (单链)、闪石链 (双链) 最为主要, 硬硅钙石链、硅灰石链、蔷薇辉石链次之。其他类型的链为个别矿物族种所特有。在链状硅酸盐中, 连接链的主要阳离子有 Ca 、 Na 、 Fe 、 Mg 、 Al 、 Mn 、 Ti 、 K 、 Ba 、 Li 等。下面对一些主要类型的链作扼要地说明。

辉石链是由硅 (包括部分的铝) 氧四面体共两个角顶构成的直线形单链 (图 III—3.0.6a), 以 $[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 表示。链的重复单位长 $5.2 \text{ \AA}$ 。每一重复单位中有四个活性氧, 活性氧有两种指向, 大致相互成直角。链与链间通过活性氧与阳离子相连接。具有辉石链的矿物已知 16 个矿物种, 约占链状硅酸盐矿物总数的 $1/5$ 。其中包括辉石族矿物、纤锰柱石-纤铁柱石族矿物和斜硅铜矿、钛硅钠石等。

闪石链是由两个辉石链共角顶连接而成的直线形双链, 以 $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]$ 表示 (图 III—3.0.8b)。闪石链的重复单位长 $5.2 \text{ \AA}$ 。每一重复单位具有六个活性氧, 活性氧有两种指向, 大致互成直角, 与辉石链不同的是还具有附加阴离子 (OH)。链与链间通过活性氧与阳离子相连接。具有闪石链的矿物有 23 个矿物种, 约占链状硅酸盐矿物总数的 $3/10$ 。闪石链主要为闪石族矿物所具有, 目前只发现极个别矿物种象纤硅铜矿和铅铍闪石结构中亦具有闪石链。

硅灰石链是由一双四面体与一个单四面体以角顶相连而成的直线形单链, 以 $[\text{Si}_3\text{O}_9]$ 表示 (图 III—3.0.6c)。链的重复单位长 $7.3 \text{ \AA}$, 每一重复单位有 6 个活性氧。具有硅灰石链的矿物已知有 4 个矿物种, 除了硅灰石族矿物以外, 还有针钠钙石-针钠锰石。

蔷薇辉石链与硅灰石链相似, 它是由两个双四面体和一个四面体连接而成的直线形链, 以 $[\text{Si}_5\text{O}_{13}]$ 表示 (图 III—3.0.6f)。蔷薇辉石链的重复单位长 $12.5 \text{ \AA}$ 。每个重复单位中具有 10 个活性氧。此种链为蔷薇辉石族 3 个矿物种所特有。

硬硅钙石链是由活性氧指向相反的两个硅灰石链共角顶连接而成的一种双链, 以 $[\text{Si}_6\text{O}_{17}]$ 表示 (图 III—3.0.8d)。链的重复单位长 $7.34 \text{ \AA}$, 每重复单位中具有 20 个活性氧。具有硬硅钙石链的有硬硅钙石族矿物和硅铁钙钡石, 共有五个矿物种。

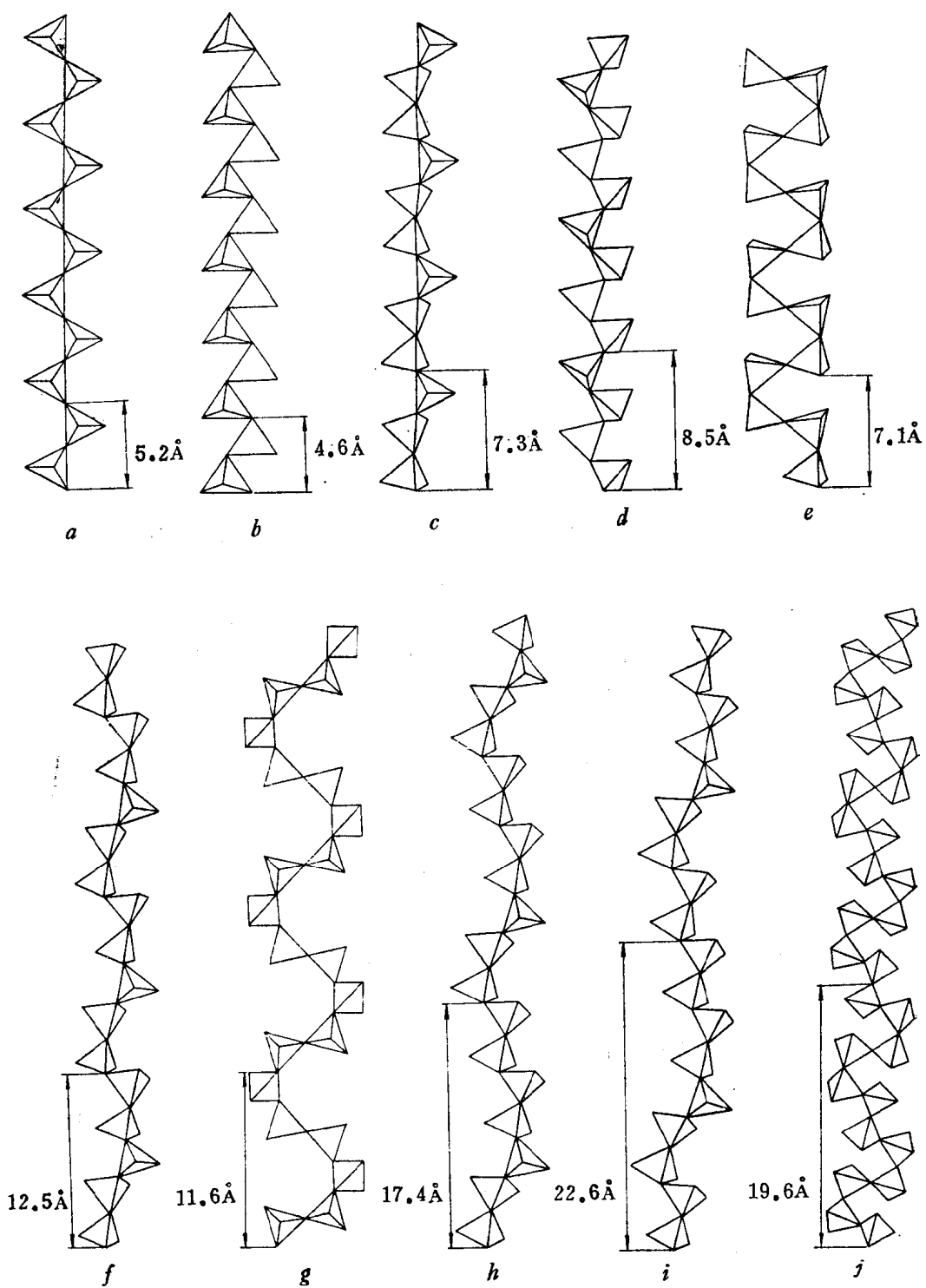


图 III—3.0.6 单链的类型 (一)

a. 辉石链[Si_2O_6], b. 高温 $\text{Ba}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 链 (合成), c. 硅灰石链[Si_3O_9], d. 水硅钡石链[$\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$],
e. 硅钒钾石链[Si_4O_{12}] (归入层状基型), f. 蔷薇辉石链[Si_5O_{15}], g. 硅钙锡矿链[Si_6O_{18}], h. 三斜锰辉
石链[Si_7O_{21}], i. 铁辉石链[Si_9O_{27}] (合成), j. 铅辉石链[$\text{Si}_{12}\text{O}_{36}$]

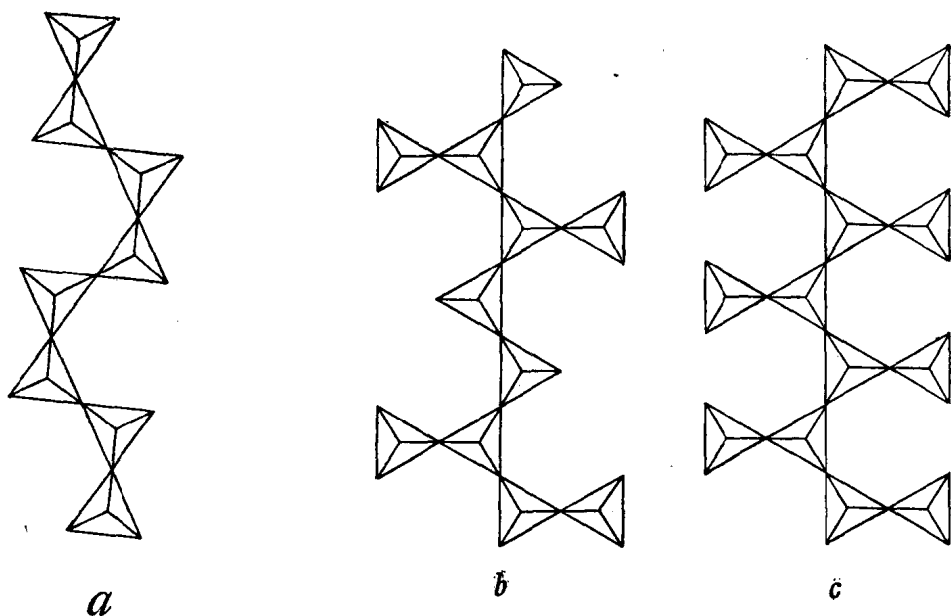


图 Ⅲ—3.0.7 单链的类型 (二)

a. 铝钛硅石链。*b.* 钛硅铁钠石链。*c.* 星叶石链 (*a* 归入架状基型, *b* 和 *c* 归入层状基型)

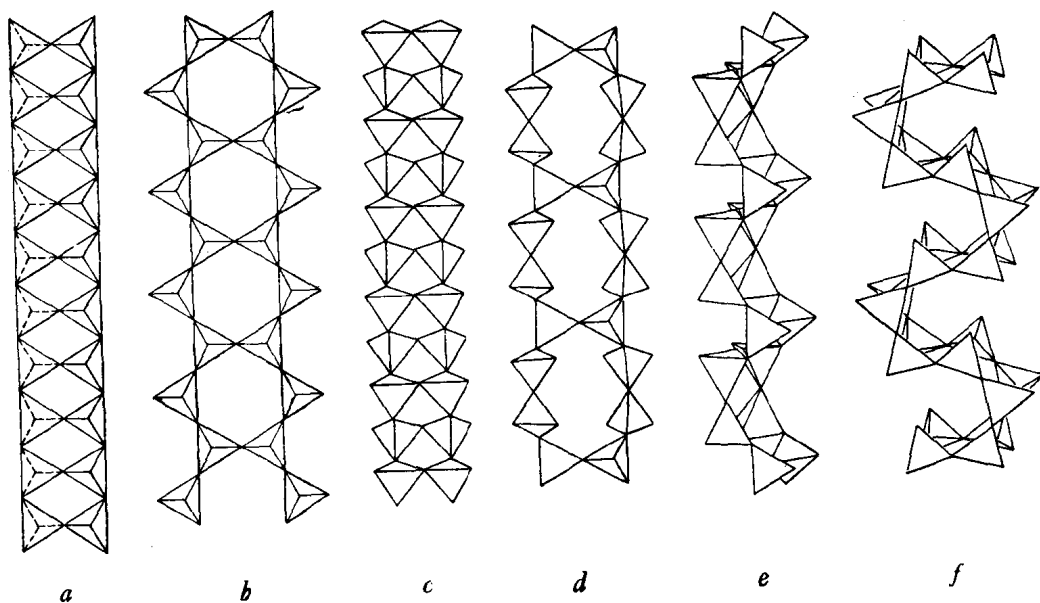


图 Ⅲ—3.0.8 双链的类型

a. 矽线石链, *b.* 闪石链 [Si_4O_{11}], *c.* $\text{Li}_4[\text{SiGe}_3\text{O}_{10}]$ 链 (合成), *d.* 硬硅钙石链 [Si_6O_{17}], *e.* 板晶石链 [Si_8O_{15}], *f.* 紫钠铝硅石链 [$\text{Si}_{12}\text{O}_{30}$]

最后应该提出的是: 具有近似管状链的矿物很少, 目前已知的有硅铁钠钾石的 [Si_8O_{20}] 管状链 (图 Ⅲ—3.0.9*a*) 和硅钙钠钾石的 [$\text{Si}_{12}\text{O}_{30}$] 管状链, 以及归属于架状基型的短柱石链 (图 Ⅲ—3.0.9*b*)。

在链状硅酸盐矿物中, 阳离子的配位多面体同链的类型之间相互制约的关系最为明显, 尤其是大阳离子的配位多面体, 对硅氧骨干往往起着支配作用。例如顽火辉石 $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 中 Mg^{2+} 半径为 $0.72 \text{ \AA}$, [MgO_6] 八面体共棱所组成的折线形链的重复周期长度, 与辉石链的重复周期 ($5.2 \text{ \AA}$) 相适应 (图 Ⅲ—3.0.10*a*)。在硅灰石 $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$ 中, $\text{Ca}^{2+} = 1.08 \text{ \AA}$ (离子半径), [CaO_6] 八面体的共棱所组成的直线形

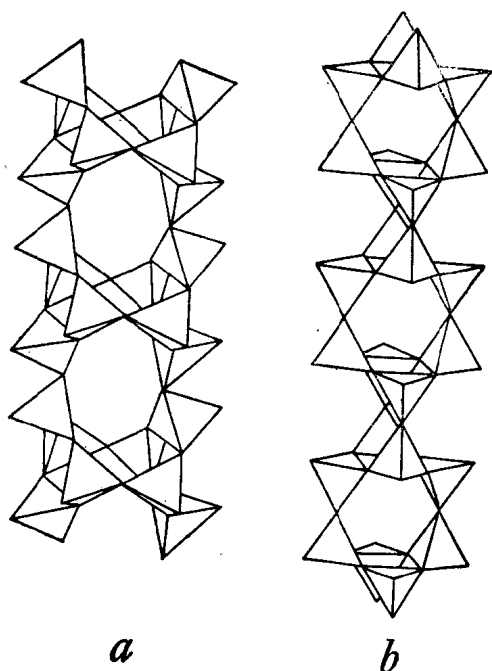


图 III—3.0.9 似管状链
a. 硅铁钠钾石链 $[\text{Si}_8\text{O}_{20}]$ 。b. 短柱石链 $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$
(归入架状基型)

主要是由硅(包括铝、硼、铍)氧四面体共三个角顶连接成二向展平的网层, 另外也有由不同类型的硅氧四面体链与 TiO_6 八面体、 $[\text{TiO}_5]$ 单锥或 ZrO_6 八面体相连而成的网层(如层状钛硅酸盐、层状锆硅酸

链的2个重复周期长度, 则与硅灰石链的重复周期(7.3 Å)相当(图III—3.0.10 b)。又如在高温相的 $\text{Ba}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 中, Ba^{2+} 的离子半径为1.368 Å, $[\text{BaO}_6]$ 八面体共棱所组成的直线形链的重复周期, 却与高温 $\text{Ba}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 链的重复周期(4.7 Å)相适应。

在链状硅酸盐矿物的晶体结构中, 绝大多数情况下都是相互平行分布的, 同时连接链的阳离子或其配位多面体的分布也是与链的延伸方向一致。这种结构上的异向性, 比起岛状、环状基型要明显得多。因此, 使矿物在形态上表现为一向伸长, 经常呈现柱状、针状和纤维状的外形。同时在物理性质上表现的异向性也十分明显。矿物的解理平行于链的方向较为发育。平行或近于平行链的方向折射率较高, 垂直于链的方向较低。矿物的重折率较岛状、环状基型为大。对于组成中具有过渡元素矿物来说, 它们的多色性和吸收性是非常明显的, 如辉石族和闪石族的一些矿物种很为常见。

5. 层状基型 层状基型的硅酸盐矿物已知有162个矿物种, 占硅酸盐矿物种总数的29.45%。其中简单层状基型有117个矿物种, 复杂层状基型有45个矿物种。层状基型的硅(包括铝、硼、铍)氧骨干,

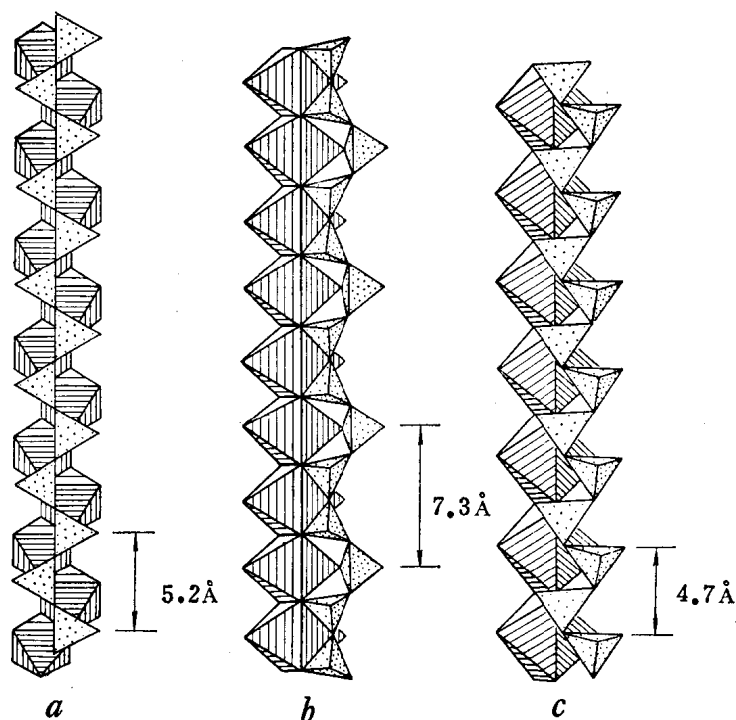


图 III—3.0.10 阳离子配位多面体与链的类型之间的制约关系