

环状硅酸盐的结构光性矿物学研究

叶大年

(中国科学院地质研究所)

自从伍斯特的著名论文^[1]发表以来,层状结构的矿物是以负光性为特征,链状结构的矿物是以正光性为特征,这是众所周知的^[2-4]。但是环状结构的硅酸盐矿物,究竟以正光性还是以负光性为特征,并不是几句话可以说清楚的问题。环状硅酸盐矿物的光性与结构之间的关系是十分有趣的,并且有些问题至今仍未解决。

一、环状硅酸盐的晶体化学

环状硅酸盐按硅氧四面体的组合形态大体可以分为三元环、四元环、六元环、八元环、九元环、十二元环、双层四元环和双层六元环八种。图1是环状硅酸盐的硅氧四面体的组合形态。

环状硅酸盐中除硅氧四面体组合形态外,另一个重要的晶体化学要素是阳离子配位多面体。这些阳离子配位多面体对矿物光学性质的影响取决于它们与环状结构单位之间的空间关系^[5],其情况有以下几种:

(1) 直接连系上、下两个环,并位于环中孔隙之间。这种阳离子一般半径较大。以钾板锆石Wadeite $K_2ZrSi_3O_9$ 中的K和钠锆石Catapleite $Na_2ZrSi_3O_9 \cdot 2H_2O$ 中的Na为例(见图2A)。此种大阳离子位置与云母中的K相似,因此,简称为云母型位置。

(2) 在上、下几个环之间的四面体位置,如:绿柱石 $Be_3Al_2Si_6O_{18}$ 中的Be; 堇青

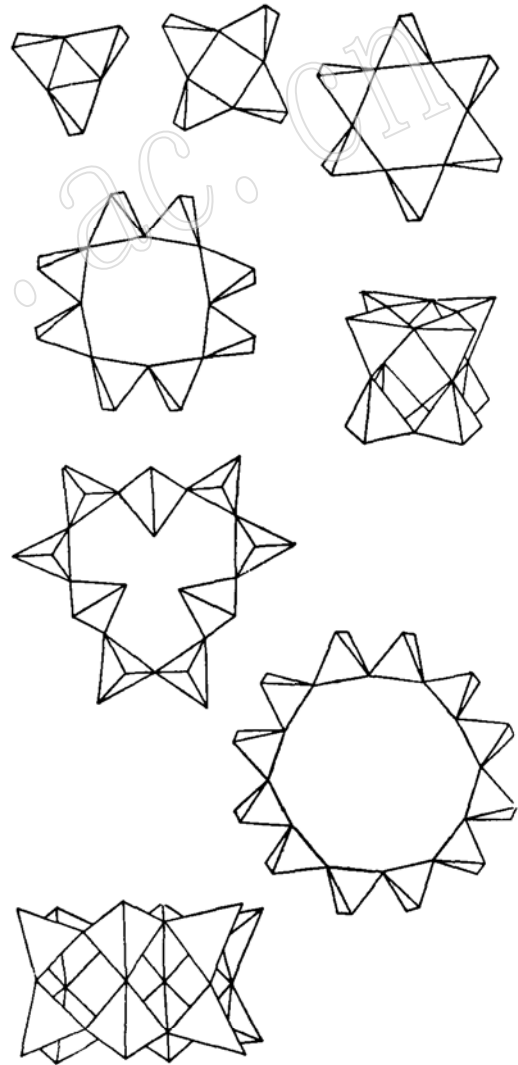


图1 环状硅酸盐中硅氧四面体的组合形态

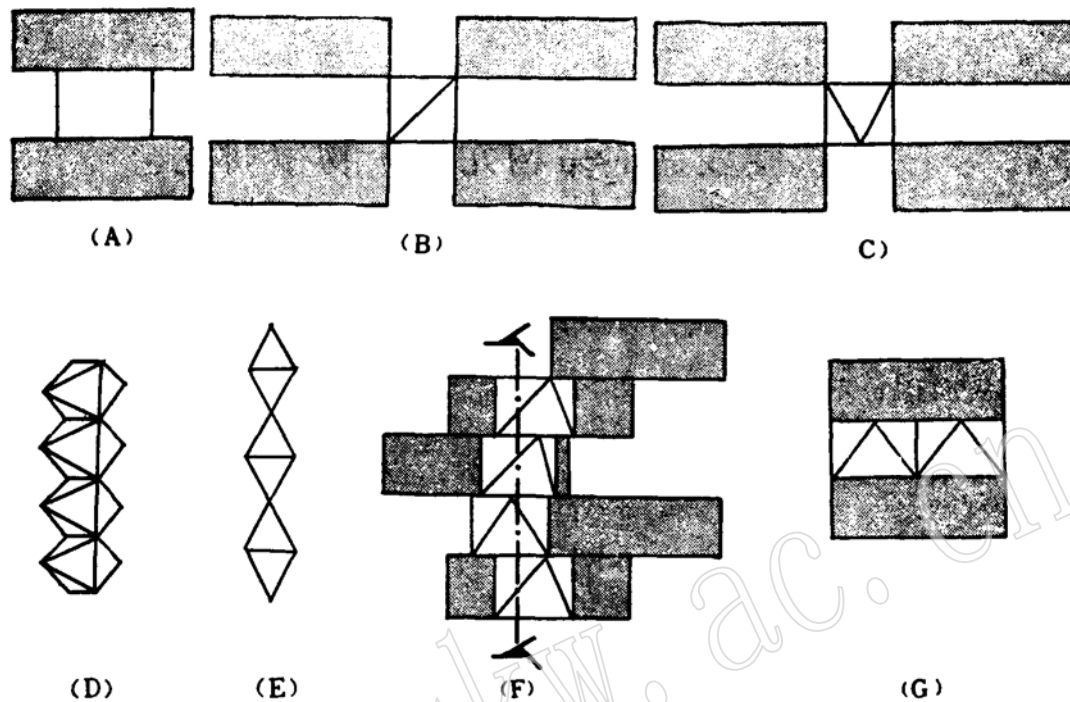


图2 环间阳离子的晶体化学位置

A. 云母型大阳离子配位多面体；B. 绿柱石型环间四面体；C. 蓝锥矿型环间八面体；D. 金红石型环间八面体链；E. 透视石型环间八面体螺旋链；F. 楣石型环间八面体链；G. 环间三明治型八面体层；（有阴影的长方形表示硅氧四面体环）

石 $Mg_2Al_3Si_4AlO_{18}$ 中的Al。这种四面体简称绿柱石型环间四面体（见图2、B）。

（3）在上、下几个环之间的八面体，如：蓝锥矿 Benitoite $BaTiSi_3O_9$ 中的Ti、Ba；绿柱石中的Al；堇青石中的Mg；钠锆石中的Zr等，这种八面体简称蓝锥矿型八面体（见图2、C）。

（4）四面体环之间的八面体链，这种链又分为金红石型链（如：包头矿 $Ba_4(Ti, Nb)_6O_{16}Si_4O_{12}Cl$ ）；透视石（Dioptas $Cu_6Si_6O_{18} \cdot 6H_2O$ ）中的螺旋链；硅钛铈钠矿（Nenadkevichite） $(Na, K, Ca)_{2-x}(Nb, Ti)_2(O, OH)_2Si_4O_{12} \cdot 4H_2O$ ）中的“楣石型”链（见图2、D、E、F）。

（5）四面体环与环之间的八面体层，即三明治型八面体层，如：电气石中的八面体层（见图2、G）。

（6）其他位置的阳离子配位多面体。

二、具三元环 Si_3O_9 的硅酸盐

这一类硅酸盐按结构—光性特征分为三个亚类：

（1）钠锆石—钾板锆石系列

属于这个系列的矿物列于表1。其结构上的特征是：三元环彼此平行，阳离子的类型是云母型环中位置和蓝锥矿型环间八面体位置。这一系列的矿物都以正光性为特征，并且重折射率较大，光性异向指数 $N_g - OAI = 1.05 - 1.07^*$ 。

* 光性异向指数OAI是作者提出的新概念⁽⁶⁻⁸⁾， $N_g - OAI = (N_g - 1) \times 2 / [(N_m - 1) + (N_p - 1)]$ ， $N_m - OAI$ 、 $N_p - OAI$ 以此类推。

钠锆石—钾板锆石系列

矿物的光性

表 1

矿 物	光符	折 射 率	$N_g - OAl$
钾板锆石 Wadeite $K_2 Zr Si_3 O_9$	+	$N_o = 1.625$ $N_e = 1.655$	1.048
假硅灰石 Cyclowollastonite $Ca_3 Si_3 O_9$	+	$N_o = 1.610$ $N_e = 1.651$	1.067
钠锆石 Catapleite $Na_2 Zr Si_3 O_9 \cdot 2H_2O$	+	$N_o = 1.592$ $N_e = 1.627$	1.060
钙板锆石 Calciumcatapleite $Ca Zr Si_3 O_9 \cdot 2H_2O$	+	$N_o = 1.603$ $N_e = 1.639$	1.059

这系列矿物之所以有较大的正重折射率，是因为云母型大阳离子与四面体环组成复合链（图3），这种链对光性起控制作用。

因为假硅灰石的晶体太小，故其晶体

结构没有真正测定。别洛夫^[9]根据 $CaGeO_3$ 的资料，对假硅灰石的晶体结构进行推测：它有层状的结构，一种是 CaO_6 八面体层，另一种是 Si_3O_9 环的层，两种层平行交替排列， Si_3O_9 正对着 CaO_6 八面体层的四面体孔隙。很显然，别洛夫的推测结构是与晶体有较大的正的重折射率相矛盾的。根据光性特征，本文作者推测：大阳离子

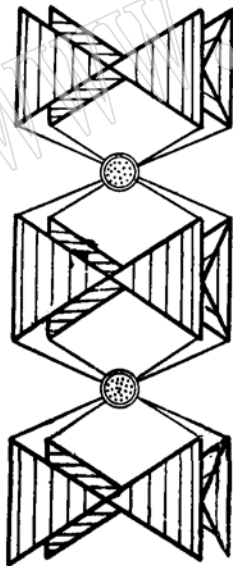


图 3 云母型大阳离子与 Si_3O_9 环组成的复合链

钙一部分是云母型的，这样才会有正的重折

射率。

(2) 瓦硅钙钡石—针钙铅石系列

瓦硅钙钡石Walstromite $BaCa_2Si_3O_9$ 和针钙铅石Margarosanite $Pb(Ca, Mn)_2Si_3O_9$ 有相似的晶格常数，有相似的结晶构造。其中 Si_3O_9 平行于 $(\bar{1}01)$ 方向^[10,11]，大阳离子成层也平行于 $(\bar{1}01)$ 方向。因为它们是层状结构，所以是负光性（表2）。

瓦硅钙钡石，针钙铅石光性特征 表 2

矿 物	光符	折 射 率	$N_p - OAl$
瓦硅钙钡石 Walstromite $BaCa_2 Si_3 O_9$	-	$N_g = 1.685$ $N_m = 1.685$ $N_p = 1.668$	0.975
针钙铅石 Margarosanite $Pb(Ca, Mn)_2 Si_3 O_9$	-	$N_g = 1.789$ $N_m = 1.771$ $N_p = 1.727$	0.932

(3) 蓝锥矿族

该族矿物属六方晶系，包括蓝锥矿Benitoite $BaTiSi_3O_9$ ，硅钡锆石Bazirite $BaZrSi_3O_9$ 和锡钡钛石 Pabstite $Ba(Sn, Ti)Si_3O_9$ 三个矿物。其结构同属于蓝锥矿型结构（见图4）。金属阳离子皆属于蓝锥矿型的环间八面体。蓝锥矿型结构在硅氧四面体环与环间阳离子的关系上与绿柱石结构很相似^[12]，不同在于前者没有环间四面体。它们的光性资料列于表 3。按照结构特点（与绿柱石结构比较），它们应以负光性为特征。但是，蓝

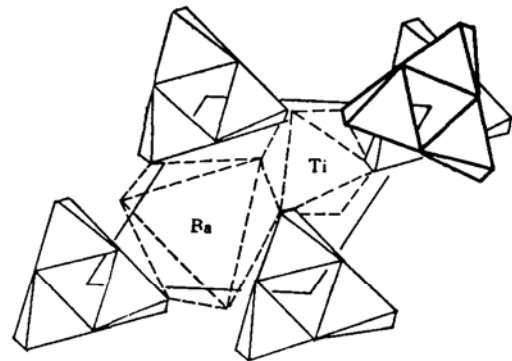


图 4 蓝锥矿的晶体结构

锥矿和硅钡锆石却是正光性。目前,作者尚未有很好的解释。

蓝锥矿族矿物的光性数据 表3

矿物	光符	折射率	C-OAI
蓝锥矿 Benitoite $BaTiSi_3O_9$	+	$N_c = 1.800$ $N_o = 1.756$	1.058
硅钡锆石 Bazirite $BaZrSi_3O_9$	+	$N_c = 1.685$ $N_o = 1.675$	1.015
锡钡钛石 Pabstite $Ba(Sn,Ti)Si_3O_9$	-	$N_c = 1.674$ $N_o = 1.685$	0.984

三、具有四元环的硅酸盐

具有四元环的硅酸盐矿物按结构—光性特征,可分为两个亚类:

(1) 包头矿型亚类

该亚类矿物四元环彼此平行排列,四元环间有金属阳离子的八面体链相连。这种链有金红石型的(见图2,D),也有楣石型的(见图2,E)。包头矿就是金红石型的链^[13,14],硅钽铌钠矿就是楣石型链^[15]。它们的光性主要受链状构造控制,皆为正光性,Ng平行链的方向。光性异向指数($Ng-OAI = 1.075-1.230$)的大小取决于链的类型和数目(表4)。

如果将包头矿和硅钽铌钠矿(或碱硅钡石)分别与金红石和楣石对比,就会发现一个有趣的事实:前面两个矿物的光性异向指数Ng-OAI比后面两个矿物(金红石1.180,楣石1.130)高,差值分别是0.05和0.04。在包头矿亚类的矿物中大阳离子Ba、K、Na、Ca都属于云母型的环间位置(见图3),它们与四元环组成复合链,这种复合链是起

包头矿亚类矿物的光性数据

表4

矿物	光符	折射率	Ng-OAI	链类型
包头矿 Baotite $Ba_4(Ti,Nb)_8[Cl O_{16} Si_4O_{12}]$	+	$N_c = 2.16$ $N_o = 1.96$	1.230	金红石型
纤硅钡铁矿 Taramellite $Ba_2(Fe^{+3},Ti,Fe^{+2})_2(OH)_2Si_4O_{12}$	+	$Ng = 1.83$ $N_m = 1.774$ $N_p = 1.770$	1.075	⁽¹⁵⁾ 金红石型
硅钽铌钠矿 Nenadkevichite $(Na,K,Ca)_{2-2}(Nb,Ti)_2(O,OH)_2Si_4O_{12} \cdot 4H_2O$	+	$Ng = 1.785$ $M_m = 1.686$ $N_p = 1.659$	1.167	⁽¹⁵⁾ 楣石型
碱硅钡钛石 Labuntsovite $(K,Na,Ba)_8(Ti,Nb)_8(O,OH)_{10}[Si_4O_{12}]_4 \cdot 7H_2O$	+	$Ng = 1.809$ $N_m = 1.699$ $N_p = 1.694$	1.162	⁽¹⁶⁾ 楣石型

正光性因素的。因此,就不难解释为什么它们的Ng-OAI值与金红石和楣石的Ng-OAI值相比有0.05—0.04的增量。

(2) 羟铜钙石—钙钇铈矿亚类

该亚类矿物硅氧四面体的四元环 Si_4O_{12} 成层状分布,金属阳离子的配位多面体连成

层状或架状。

例如,羟铜钙石Papagoite $Ca_2Cu_2Al_2(OH)_6Si_4O_{12}$ 的结构中,Ca、Al和Cu的配位多面体组成一个平行 Si_4O_{12} 的层 $[\parallel (001)]^{[17]}$ 。因此,这个矿物是负光性的,重折射率很大,Np方向的光性异向指数 $Np-OAI =$

0.925。钙钇铈矿 Kainosite $Ca_2Y_2CO_3Si_4O_{12} \cdot H_2O$ 的结构中 Si_4O_{12} 平行 (001), CO_3 也平行 (001)^[19], 这就决定晶体应为负光性。但是, 阳离子 Ca, Y 的配位多面体是三维架状的, 这就决定它的重折射率很低, N_p 方向的光性异向指数接近于 1 ($N_p - OAI = 0.961$)。

四、具有六元环的硅酸盐

(1) 绿柱石—堇青石亚类

绿柱石 $Be_3Al_2Si_6O_{18}$ 和堇青石 $Mg_2Al_3Si_5AlO_{18}$ 结构中存在着彼此平行的硅 (铝) 氧四面体的六元环, 环间存在绿柱石型四面体 (在绿柱石中是 $[BeO_4]$, 堇青石中是 $[AlO_4]$), 此外, 还存在蓝锥矿型环间八面体 (见图 5)。

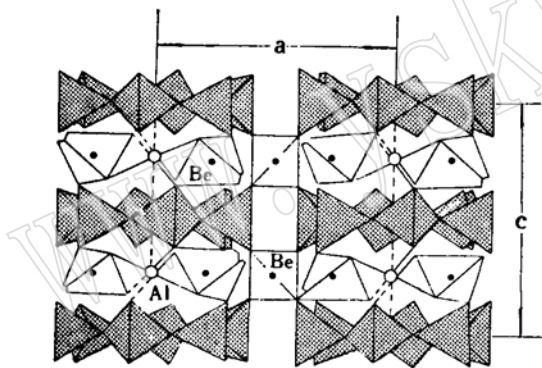


图 5 绿柱石的晶体结构

由于绿柱石型的四面体存在, 使晶体结构呈三维架状, 每个氧离子分为两个四面体共有。因此, 绿柱石和堇青石可以看成是广义的架状硅酸盐, 其折射率符合架状硅酸盐的折射定律^[19]。该亚类矿物也和架状硅酸盐一样, 有重折射率低的特点。

绿柱石和堇青石的结构中存在着管状的通道, 这些通道能保存水分子 (或气体)。本文作者曾指出, 这种水的性质属于沸石水的性质^[20]。因而, 随含水量增加, 折射率也就增加。

绿柱石和堇青石在手标本上, 甚至在薄片中都颇像石英, 这是由于三维架状的结构特征决定的。同样, 它们因为四面体的六元环是彼此平行的, 就显示出负光性的特点。表 5 是该亚类矿物的光学性质, 其中所有矿物的光性异向指数是恒定的, $N_p - OAI = 0.98 \pm 0.01$ 。

堇青石的光学性质曾被 Armbruster 和 Bloss 详细研究过。他们指出, 当堇青石结构中吸附了 CO_2 时, 直线状的 CO_2 分子并不平行管状通道, 而是垂直管道方向, 并平行 a 轴^[21]。

(2) 电气石亚类

电气石的晶体结构曾被许多著名的结晶构造学家测定过, 现在公认的是 Donnay 和 Buerger^[22] 分析结果 (见图 6)。在电气石结

绿柱石—堇青石亚类矿物的光性

表 5

矿 物	光符	折 射 率	$N_p - OAI$
堇 青 石 $Mg_2Al_3Si_5AlO_{18}$	-	N_g 1.538, N_m 1.532, N_p 1.527	0.985
印 度 石 $Mg_2Al_3Si_5AlO_{18}$	-	N_o 1.528, N_e 1.524	0.992
铁堇青石 $Fe_2Al_3Si_5AlO_{18}$	-	N_g 1.574, N_m 1.564, N_p 1.551	0.972
锰堇青石 $Mn_2Al_3Si_5AlO_{18}$	-	N_g 1.558, N_m 1.558, N_p 1.537	0.962
硅钪铍矿 $Sc_2Be_3Si_6O_{18}$	-	N_o 1.628, N_e 1.605	0.966
绿 柱 石 $Al_2Be_3Si_6O_{18}$	-	N_o 1.592, N_e 1.582	0.984

构中, 六元环是云母型的六元环, 它们垂直三次对称轴排列。可以这样来描述它的结构: 电气石结构是“剪裁”成小块的蛇纹石结构

(由一个六元环和三个八面体构成), “蛇纹石块”上、下之间靠云母型大阳离子 Na, K, Ca, Mn 相连, “蛇纹石块”前、后、左、

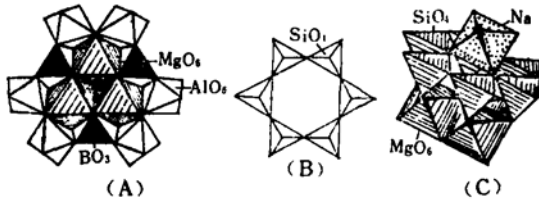


图 6 电气石的晶体结构

右，靠蓝锥矿型环间八面体相连。其中的硼是以 BO_3 形式出现的，与八面体层平行并共顶点。这个结构模型可以完美地解释其光学性质。

因为它具有“剪裁”的蛇纹石结构，并有八面体层，这层中可以充填过渡族元素离子，所以，电气石可具有类似黑云母的多色性和吸收性（但延性符号不同）。蛇纹石结构，尤其是“剪裁”的蛇纹石结构以及层间的云母型大阳离子决定电气石应是重折射率很低的负光性晶体或正光性晶体。但由于有垂直光轴的 BO_3 存在，它们对光符和重折射

率起着决定性的作用。苏联结晶构造学家别洛夫父女测定电气石结构是双六元环^[23]，也就是说，B是四次配位。从下面讲到的情况看，双六元环的晶体应是重折射率很低的，即 $C-OAI \approx 1.00$ 。实际上并非如此， $C-OAI \approx 0.96$ 。由此可见，别洛夫的结构模式不能解释电气石的光学性质。

(3) 透视石

透视石 $Cu_6Si_6O_{18} \cdot 6H_2O$, Si_6O_{18} 六元环垂直六次轴，环间有环绕3轴的Cu八面体螺旋链，正是这种链决定透视石有很高的正重折射率。

(4) 基性异性石族

基性异性石 Lovozerite $Na_2Zr(Si_6O_{12}(OH)_6]$ 结构中的六元环与上述的各种六元环不同，不具六次(或三次)对称，并且环是不平的^[24]。该族矿物具有立方的假对称，所以，它们的重折射率都很低(见表6)。

基性异性石族矿物的光学性质

表 6

矿 物	晶 系	光 符	折 射 率	$N_g - N_p$
基性异性石 Lovozerite $Na_2Zr(Si_6O_{12}(OH)_6]$	单 斜	(-)	$N_g 1.570, N_m 1.570, N_p 1.560$	0.010
锆 硅 钠 石 Zirsinalite $Na_6CaZr(Si_6O_{18})$	三 方	(-)	$N_e 1.605$ $N_o 1.610$	0.005
钠 锰 钛 硅 石 Kazakovite $Na_6MnTi(Si_6O_{18})$	三 方	(-)	$N_e 1.625$ $N_o 1.648$	0.023
钠 钙 钛 硅 石 Koashvite $Na_6CaTi(Si_6O_{18})$	斜 方	(-)	$N_g 1.648, N_m 1.643, N_p 1.637$	0.011
硅 钙 钠 石 Combeite $Na_4Ca_3(Si_6O_{18}(OH,F)_2)$	三 方	(+)	$N_o \approx N_e = 1.598$	≈ 0

五、具有双层四面体环的硅酸盐

(1) 硅钙铀钍矿族

硅钙铀钍矿 Ekanite $Th(Ca, Na)_2KSi_8$

O_{20} 为四方晶系，结构中具有双层四元环(见图1)^[25]，其结构与下面说的大隅石一整柱石族的结构很相似。阳离子分属两种类型：云母型环间大阳离子，蓝锥矿型环间八面体。由于双层四元环本身就具有立方的假对称，所以，重折射率很低。伊拉克石 Iraqite

KCa₂La[Si₈O₂₀]与硅钙铀钍矿等结构^[26]光学性质相似(见表7)。

硅 钙 铀 钍 矿 族

表7

矿 物	晶系晶格常数	光符	折 射 率	N _p -OAI
硅钙铀钍矿 Ekanite Th(Ca, Na) ₂ K [Si ₈ O ₂₀]	四方 a 7.58 Å c 14.77 Å	-	Ne 1.603, No 1.608	0.992
伊拉克石 Iraqite KCa ₂ La [Si ₈ O ₂₀]	四方 a 7.61 Å c 14.72 Å	-	Ne 1.585, No 1.590	0.992

(2) 大隅石—整柱石族

该族矿物很多, 它们都具有双层六元环 Si₁₂O₃₀。图 7 是大隅石的晶体结构^[27]。其中阳离子有几种位置: 1. 夹在上、下两个双层环间的是云母型大阳离子, 确切说, 是六方钡长石型; 2. 绿柱石型环间四面体; 3. 蓝锥矿型环间八面体。该结构与绿柱石—蓝锥矿十分相似, 不同仅在于是双层环, 并有云母型大阳离子。恰恰这两个特点都增加了正光性的因素。大隅石结构可以看成是“剪裁”的六方钡长石结构, 而后者是正光性的。表 8 是这个族十个矿物的光性数据。从中可以看

出, 它们的重折射率很低, 光性异向指数 Ne-OAI ≈ 1.00。这个特点与具双层四元环的硅钙铀钍矿族相同。

六、具八元环、九元环和十二元环的硅酸盐

(1) 羟硅钡石 Muirite Ba₁₀(Ca, Mn, Ti)₄[Si₈O₂₄](OH, Cl, O)₁₂·4H₂O, 四方晶系, 具有垂直四次轴的八元环, 上、下环间有类似云母型的12次配位的 Ba, 前、后、左、右环间由双三方柱的(Ca, Mn, Ti)相连接^[29]。由于云母型大阳离子钡的作用, 在光性上表现为低的正重折射率 (Ne=1.704, No=1.697, Ne-No=0.007, Ne-OAI=1.010)。

(2) 异性石 Eudialyte Na₁₂Ca₆Fe₃Zr₃Si₃O₉[Si₉O₂₄(OH)₃]₂, 三方晶系, 有垂直三次轴的九元环和三元环, 结构十分复杂。就阳离子的晶体化学位置而言, 是三明治型的Na, Zr八面体层。由于它们的存在, 可以将异性石看成是由三个云母型的“夹心饼”层构成, 因此, 它的C轴是云母的3倍 (30 Å)^[30]。“夹心饼”层之间靠云母型的大阳离子Ca连接。由于中云母型的Ca存在, 异性石的光学性质呈现出很低的重折射率, 光性可正可负。

(3) 托钡硅石 Traskite Ba₂₄(Ca, Sr)(Fe, Ti, Mn, Mg, Al)₁₆(Si₁₂O₃₆)(Si₂O₇)₆(O, OH)₃₀ Cl₆·14H₂O, 六方晶系。是目前

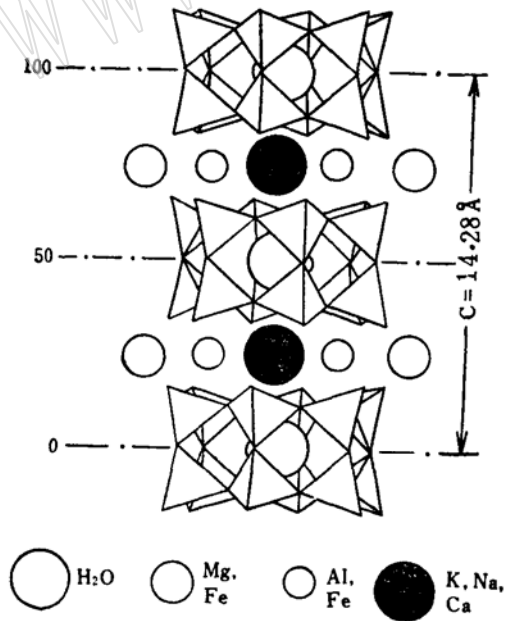


图 7 大隅石的晶体结构

大隅石—整柱石族矿物的光性数据 表8

矿物	晶系	光符	折 射 率	C-OAI
碱硅镁石 Roedderite (Na,K) ₂ (Mg,Fe) ₅ Si ₁₂ O ₃₀	六方	+	No = 1.536 Ne = 1.542	1.009
陨铁硅石 Merrihueite (K,Na) ₂ (Fe, Mg) ₅ Si ₁₂ O ₃₀	六方	(+) ?	Np' = 1.592 Ng' = 1.599	≈1.00
整柱石 Milavite KCa ₂ AlBe ₂ Si ₁₂ O ₃₀ · 0.5H ₂ O	六方	-	No = 1.532 Ne = 1.529	0.994
大隅石 Osumilite (K,Na)(Fe,Mg) ₂ (Al,Fe) ₃ (Si,Al) ₁₂ O ₃₀	六方	+	No = 1.546 Ne = 1.550	1.007
陨碱硅镁石 Yagiite (Na,K) _{1.5} Mg ₂ (Al, Mg,Fe,Ti) ₃ (Si,Al) ₁₂ O ₃₀	六方	+	No = 1.536 Ne = 1.544	1.013
硅铂钙石 Armenite BaCa ₂ Al ₃ (Al ₃ Si ₉ O ₃₀) ·2H ₂ O	六方	-	Np = 1.551 Nm = 1.559 Ng = 1.562	0.983
Brannockite KLi ₂ Sn ₂ Si ₁₂ O ₃₀	六方	-	No = 1.567 Ne = 1.566	0.998
碱锂钛锆石 Sogdianite (K,Na) ₂ Li ₂ Fe ₂ Zr Si ₁₂ O ₃₀	六方	-	No = 1.608 Ne = 1.606	0.997
Darapioisite KNa ₂ Li(Mn,Zn) ₂ Zr Si ₁₂ O ₃₀	六方	-	No = 1.580 Ne = 1.575	0.991
Sugilite (K,Na) ₂ (H ₂ O,Na) ₂ (Fe ³⁺ ,Na,Ti,Fe ²⁺) ₂ (Li,Ac,Fe ³⁺) ₃ Si ₁₂ O ₃₀	六方	-	No = 1.610 Ne = 1.607	0.995

知道的唯一的具有十二元环 Si₁₂O₃₆ 的硅酸盐^[31]。阳离子位置分属云母型环间大阳离子位置、蓝锥矿型环间八面体位置、三明治型八面体层和金红石型链。由于起正光性和

起负光性因素的作用势均力敌，该矿物呈现很弱的负重折射率(Ne=1.702, No=1.714, Ne-OAI=0.983)。

由于篇幅所限，还有个别的环状硅酸盐没有涉及，如斧石（它具有带两分支的六元环^[32]）等。

七、小 结

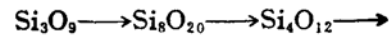
环状的硅氧四面体群本身是二维性的结构单位，但对光性的作用远不如层状硅氧四面体强。对光学异向性的影响主要取决于阳离子的配位多面体的类型，其有以下几种情况：

(1) 阳离子八面体链和环间云母型大阳离子都是一维性的因素，即正光性的因素。

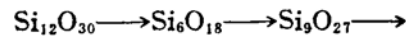
(2) 三明治型的环间阳离子层是二维性因素，即负光性的因素。

(3) 绿柱石型四面体和蓝锥矿型八面体稍有不同的作用。绿柱石型四面体的存在，使结构趋于三维均一性，使光性异向指数趋于1；而蓝锥矿型八面体，则稍稍增强结构的二维性。

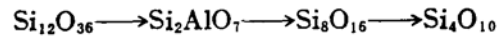
(4) 从环状硅酸盐结构光性矿物学的“比较解剖学”研究可以确定，环状硅氧四面体结构单元在光性上的二维性按下列顺序增加：



三元环 双层四元环 四元环



双层六元环 六元环 九元环



十二元环 黄长石型五 六方钡长 云母型层元环层 石双层六元环层

(5) 环状硅酸盐的光性是由结构中各种因素的综合作用决定的，当一维性因素占优势时，晶体为正光符；而当二维性占优势

时,为负光符。

(6) 各种结构类型的环状硅酸盐矿物的光性异向指数(OAI值)都有近于固定的数值。

参 考 文 献

- [1] Wooster, W. A., 1931, The relation between double refraction and crystal structure. *Zeit. Kristal.* 80, 495.
- [2] 温克勒 1960, 晶体构造和晶体的性质 科学出版社
- [3] Brum, C. V., 1961, *Chemical Crystallography, An Introduction to Optical and X-ray Methods.* Oxford.
- [4] Wells, A. F., 1962, *Structure Inorganic Chemistry.* Oxford.
- [5] 叶大年, 1979, 结构光性矿物学进展 地质科学 第2期 第177页
- [6] 曾荣树, 叶大年, 1980, 结构光性矿物学研究—论无水碳酸盐的折射度 地质科学 第1期 第43页
- [7] 叶大年, 苏树春, 1982, 结构光性矿物学研究—再论碳酸盐矿物的光学异向性 中国科学院地质研究所地质科研成果选集(第一集) 第215页 文物出版社
- [8] 叶大年, 1982, 论矿物的光性异向指数 地球科学(武汉地质学院学报) No3, 第75页
- [9] Белов, Н. В., 1962, XIII. Очерки по структурной минералогии. Мин. Сб. Ллвов. Геол. Об-ва. Вып. 16, 14.
- [10] Glasser, L. S. D., Glasser, F. P., 1968, The crystal structure of walstromite. *Amer. Min.*, 53, 9.
- [11] Freed, R., Peacor, D., 1969, Determination and refinement of the crystal structure of margarosanite, $PbCa_2Si_3O_9$. *Zeit. Kristal.*, 128, 213.
- [12] Bragg, L., Claringbull, G. F., 1965, *Crystal Structure of Minerals.* Bell and Sons LTD, London.
- [13] Пэн Чжи-жун, Чжан Гуан-жун, 1963, Кристаллическая структура баотита. *Scientia Sinica*, 12, 101.
- [14] Симонов, В. И., 1960, Баотит-минерал с метасиликатными кольцом Si_4O_{12} . *Кристаллография*, Вып. 5, 544.
- [15] Perrault, G., Boucher, Ch., Vicat, F., Canillo, E., Rossi, G., 1973, Structure cristalline du nenadkevichite $(Na, K)_{2-x}(Nb, Ti)(O, OH)Si_2O_6 \cdot 2H_2O$. *Acta. Crystal.* 29B, 1432.
- [16] Головастиков, И. Н., 1973 Кристаллическая структура щелочного титано-силиката лабу ицовита. *Кристаллография* Вып. 8, 950.
- [17] Guillebert, C., Le Biban, M-Th., 1965, Contribution à l'étude structurale des silicates de cuivre, Structure atomique de la paragoite. *Bull. Soc. Fr. Min. Crist.*, 88, 119.
- [18] Володина, Г. Ф., Руманова, И. М., Белов, Н. В., 1963, Кристаллическая структура кайнозита $Ca_2(Y, TR)_2Si_4O_{12}CO_3 \cdot H_2O$. *ДАН СССР* 149, 173.
- [19] 叶大年, 1982, 结构光性矿物学研究—离子的电子壳层结构对矿物折射性质的影响 中国科学 B 辑 第3期 第263页
- [20] 叶大年, 1982, 矿物中水的折射度和分子体积, 地质科学 第3期 第290页
- [21] Armbruster, Th., Bloss, F. D., 1980, Channel CO_2 in cordierite. *Nature*, N. 286, 140.
- [22] Donnay, G., Buerger, M. J., 1950, The determination of the crystal structure of tourmaline. *Acta Crystal.* 3, 379.
- [23] Белов, Н. В., Белова, Е. Н., 1949, Кристаллическая структура турмалина. *ДАН СССР* 69, 185.
- [24] Илюхин, В. В., Белов, Н. В., Кристаллическая структура овозерита. *Кристаллография* вып. 5-200
- [25] Richard, P., Perrault, G., 1972, Structure cristalline de l'ekinite de St-Hilaire, P. Q.. *Acta. Crystal.* 28, 1994.
- [26] Livingstone, A., Atken, D., Hutchison, D., Al-Hermerzi, H. M., 1976, Iraqite a new rare-earth mineral of the ekanite group. *Min. Mag.* 40, 441.
- [27] Miyashiro, A., 1956, Osumilite, a new silicate mineral and its crystal structure. *Am. Min.* 41, 104.
- [28] Чухров, Ф. В. Гав. Ред. 1981, Минералы. Том III, Вып. 2, ИИ.
- [29] Khan, A. A., Baur, W. H., 1971, Eight membered cyclosilicates rings in muirite. *Science* 173, 916.
- [30] Голышев, В. М., Симонов, В. И., Белов, Н. В., 1971 О кристаллической структуре эвидиалита. *Кристаллография*, Вып. 16, 93
- [31] Liebau, F., 1980, In Ribb, P. H. (ed), "Oxothosilicates" p. 13, M. S.

A STUDY ON STRUCTURAL-OPTICAL MINERALOGY OF CYCLOSILICATES

Ye Danian

Abstract

The optical sign and birefringence of a cyclosilicate mineral are not only depended on the kinds of the ring of Si-O tetrahedrons and their orientations, but also on the crystallochemical sites of cations. These cations in cyclosilicates may be classified into several types such as the large cations of "Mica-type", the octahedron cations of "Benitoite-type", the tetrahedron cations of "Beryl-type", the chain-type octahedron cations, the layer octahedron cations of "Sandwich-type" and so on.

The one-dimensionality factor always co-exists with the two-dimensionality factor in a crystal structure. On condition that the one-dimensionality factor overpowers the two-dimensionality factor, the crystal has a positive birefringence, conversely, on condition that the two-dimensionality factor overpowers the one-dimensionality, the crystal has a negative birefringence.

In the cyclosilicates the structure elements of Si-O tetrahedron ring are a two-dimensionality factor. The cations of "Mica-type" and "Chain-type" are always a factor of one-dimensionality resulting in a positive birefringence, on the contrary, the cations of "Benitoite type" and "Sandwich type" are always a factor of two-dimensionality resulting in a negative birefringence. The cyclosilicates with tetrahedrons of "Beryl-type" have a structure of three-dimensional framework, and have very low birefringence.