

花园沟硼矿床中硼铝镁石的发现 及其地质意义

黄作良

(长春地质学院地球科学系, 长春 130061)

莫珉

(化工部化学矿产地质研究院, 涿州 072754)

关键词 硼矿床 硼铝镁石 辽宁宽甸

摘要 在对辽宁省宽甸县花园沟硼矿床的研究中, 发现了硼铝镁石, 它与遂安石、袁复礼石、硬石膏等共生, 产于硼矿体中。硼铝镁石是一种比较稀少的硼酸盐矿物, 为此, 对其进行了矿物特征的研究。硼铝镁石为黄色, 粒状; 晶体形态呈短柱状和板状, 类似于橄榄石的晶体形态; 弱多色性、 N_g -淡黄、 N_p -近于无色; 折射率 $N_g=1.7076$, $N_p=1.6708$, $N_m=1.6962$; $-2V=54^\circ$; $H=6-7$, $VHN_{100}=1215 \text{ kg/mm}^2$; $D_{25}=3.50$ 。化学成分除 Al 和 Mg 外, 其次是 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} , 且 $\text{Fe}^{2+} > \text{Fe}^{3+}$ 晶体化学式为: $(\text{Mg}_{0.999}\text{Fe}_{0.001}^{2+})_{1.039}(\text{Al}_{0.999}\text{Fe}_{0.001}^{3+})_{1.01}\text{B}_{0.992}\text{O}_4$ 。晶体结构属斜方晶系, 空间群 $Pnma$, $a=9.893(6) \text{ \AA}$, $b=5.676(4) \text{ \AA}$, $c=4.335(3) \text{ \AA}$, $Z=4$ 。成因分析表明, 硼铝镁石富 Al、Mg、B, 经角闪岩相区域变质作用形成。

辽东硼矿床是我国重要的硼资源基地, 在对辽宁省宽甸县花园沟硼矿床的研究中, 笔者发现了硼铝镁石。该矿物在花园沟硼矿床中的产出尚属首次发现, 关于硼铝镁石在辽东、吉林南部硼矿床中的产出前人曾提及过, 但具体产地(或产状)和矿物组合情况不清, 也未对其进行过矿物学的研究及成因上的讨论。

硼铝镁石是一种比较罕见的硼酸盐矿物。最早发现的硼铝镁石曾被误认为橄榄石, 后经研究确定其为富镁和铝的硼酸盐新矿物, 并定名为硼铝镁石(sinhalite), 它产于斯里兰卡石灰岩与花岗岩的接触带内。后来, 在美国纽约州瓦伦郡也发现有硼铝镁石的产出^[3], 它产于石灰岩与花岗岩侵入体的接触带中, 是由热液接触变质作用形成的。而笔者所发现的硼铝镁石却产于遂安石组成的硼矿体中, 因此, 对花园沟硼矿床中硼铝镁石进行了较系统的矿物学研究, 并探讨了其可能的成因。

1 地质产状和矿物共生组合特征

花园沟硼矿床赋存于早元古代宽甸群砖庙组地层中, 矿床的围岩是一套含电气石的变粒岩、浅粒岩, 其中夹有镁质大理岩, 硼矿体就赋存其中。硼铝镁石产生于硼矿体的中心部分, 矿体的边部未发现其存在。

与硼铝镁石共生的矿物有遂安石、金云母、袁复礼石^[4]、硬石膏、钙镁电气石、镁橄榄石和方解石等, 并常见硼铝镁石包裹细小的袁复礼石、电气石晶体。由上述矿物构成如下几个共生组合:(1)硼铝镁石+遂安石;(2)硼铝镁石+硬石膏+袁复礼石+钙镁电气石+遂

安石;(3) 硼铝镁石+金云母+钙镁电气石;(4) 硼铝镁石+镁橄榄石+袁复礼石+方解石。这些共生组合反映了硼铝镁石形成的特殊性。

2 晶体形态与物理性质

硼铝镁石呈黄色,大部分晶体透明,少数由于含有袁复礼石、电气石的细小晶体而显褐黄色,透明度差。晶体大小不一,与金云母、透安石共生的硼铝镁石晶粒较小,在0.1—0.5 mm之间,个别可达0.9 mm;与硬石膏共生的硼铝镁石晶体一般都较大,在 $6\times 9\times 4\text{ mm}^3$ — $4\times 6\times 2\text{ mm}^3$ 之间,最大可达 $15\times 12\times 7\text{ mm}^3$ 。晶体形态多为他形粒状,自形晶也常见,为厚板状、长柱状和短柱状。与橄榄石相比较,二者在颜色、形态上极相似,易混淆。

单偏光下为淡黄色,弱多色性, N_g —淡黄, N_p —近于无色;折射率 $N_g=1.7076$, $N_m=1.6962$, $N_p=1.6708$, $-2V=54^\circ$;硬度(H)为6—7;在莱兹显微硬度计上测得的显微硬度 $VHN_{100}=1168-1355\text{ kg/mm}^2$,平均值为 1215 kg/mm^2 。在20℃水中,利用十万分之一电子天平测得的比重为3.50。表1列出了本区硼铝镁石与斯里兰卡硼铝镁石的物理性质,以资对比。

表1 不同产地的硼铝镁石的物理性质

Table I Physical properties of sinhalite from different localities

物理性质	花园沟	斯里兰卡 ⁽²⁾
颜色	黄色	黄色—深褐
多色性	弱,淡黄色—无色	强,浅褐—深褐
N_g	1.7076	1.700
N_m	1.6962	1.698
N_p	1.6708	1.668
H	6—7	6—7
D	3.50	3.48

3 化学成分特征

对花园沟的硼铝镁石进行了单矿物化学分析,分析结果见表2。由该表可以看出,花园沟硼矿床中的硼铝镁石与斯里兰卡硼铝镁石的化学成分基本一致,但前者的 Fe_2O_3 、 MgO 和 Al_2O_3 含量略低于后者,而 FeO 、 B_2O_3 的含量却高于后者。除 Mg 、 Fe^{2+} 、 Al^{3+} 和 Fe^{3+} 外,还有少量的 Mn 、 Ti 、 K 和 Na ,而 P_2O_5 和 SiO_2 则视为杂质组份。去掉杂质组份,据氧原子数为4计算的晶体化学式为:

花园沟: $(\text{Mg}_{0.998}\text{Fe}_{0.041}^{2+})_{1.039}(\text{Al}_{0.993}\text{Fe}_{0.017}^{3+})_{1.01}\text{B}_{0.962}\text{O}_4$

斯里兰卡: $\text{Mg}_{1.025}(\text{Al}_{1.022}\text{Fe}_{0.042}^{3+})_{1.044}\text{B}_{0.885}\text{O}_4$

晶体化学式表明,硼铝镁石中B原子不足,且前者较后者相对富B和 Fe^{2+} ,且 $\text{Fe}^{2+} > \text{Fe}^{3+}$ 。

表2 硼铝镁石的化学分析结果

Table 2 Chemical analyses of sinhalite (wt%)

组 份	花园沟*	斯里兰卡 ⁽²⁾
B ₂ O ₃	25.52	24.20
SiO ₂	1.00	
Al ₂ O ₃	38.60	41.22
Fe ₂ O ₃	1.06	2.00
FeO	2.28	
MgO	30.67	32.30
CaO	0.00	
Na ₂ O	0.085	
K ₂ O	0.050	
H ₂ O ⁺	0.039	0.30
TiO ₂	0.020	
P ₂ O ₅	0.0071	
MnO	0.044	
合 计	99.375	100.02

* 分析者: 中国地质大学(北京)化学分析室 龙 梅

4 X射线衍射特征

在X射线衍射仪上对硼铝镁石进行了粉晶X射线衍射分析, 结果见表3。

硼铝镁石属斜方晶系, 空间群 $Pnma$, $Z=4$ ^[2]。利用 CD/9214 程序对其衍射数据进行了指标化和晶胞参数的计算(见表3)。结果显示, 花园沟硼矿床中硼铝镁石的晶胞参数及面网间距值均大于斯里兰卡硼铝镁石的晶胞参数和面网间距值, 造成这一现象的主要原因是二者 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 的含量不同。 Fe^{2+} 的离子半径为 0.74Å , Fe^{3+} 的离子半径为 0.64Å ; 当 Fe^{2+} 替代 Mg (离子半径 0.66Å) 时会使面网间距值增大; 而 Fe^{3+} 的离子半径较小, 替代 Al^{3+} (离子半径 0.51Å) 会使面网间距值变小。由于花园沟硼矿床中的硼铝镁石含有较多的 Fe^{2+} , 故其面网间距值和晶胞参数值大于斯里兰卡硼铝镁石(含 Fe^{3+} , 不含 Fe^{2+}) 的面网间距值和晶胞参数值。

5 红外光谱特征

对花园沟硼矿床中的硼铝镁石进行了红外光谱分析(见图1)。硼铝镁石的红外光谱振动频率为 1101 、 930 、 802 、 781 、 704 、 590 、 552 、 500 、 453 、 427 、 330 、 286 、 261 和 224 cm^{-1} 。据谱图特征可明显看出, 该矿物的阴离子基团是四面体的, 即 $[BO_4]$, 这与硼铝镁石的晶体结构分析^[2]是一致的。硼铝镁石的振动频率归属为: 1101 、 930 cm^{-1} 为 $[BO_4]$ 的非对称伸缩振动 (ν_3); 802 和 781 cm^{-1} 为 $[BO_4]$ 的对称伸缩振动 (ν_1); 704 cm^{-1} 为 $[BO_4]$ 的面外弯曲振动 (ν_2); 550 、 500 和 450 cm^{-1} 为 $[BO_4]$ 的面内弯曲振动 (ν_4); 590 cm^{-1} 为 $[AlO_6]$ 八面体振动引起的, 其余的振动频率则归属于氧与金属离子的振动。

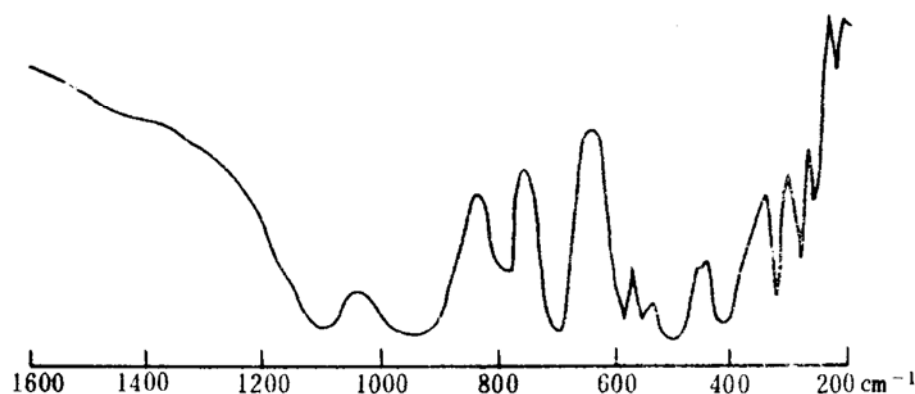


图1 硼铝镁石的红外光谱

Fig. 1 Infrared spectrum of sinhalite

(使用仪器：PE-783 红外光谱仪。实验条件：狭缝3；噪音1；扫描时间6分钟；KBr 压片。)

(分析者：黄作良)

表3 硼铝镁石的X射线衍射分析数据

Table 3 X-ray diffraction analyses of sinhalite

hkl	花园沟硼矿床*			斯里兰卡 ^[2]		
	<i>l</i>	<i>d</i> 实测	<i>d</i> 计算	<i>l</i>	<i>d</i> 实测	<i>d</i> 计算
200	68	4.968	4.947	ms	4.93	4.94
101	17	3.980	3.970	mw	3.97	3.96
210	14	3.742	3.729	vw	3.73	3.73
011	10	3.456	3.445	vvw	3.43	3.44
201	45	3.264	3.260	ss	3.24	3.26
211	4	2.829	2.827	vvw	2.82	2.82
301	86	2.630	2.624	ss	2.62	2.62
400	13	2.470	2.473	vw	2.46	2.47
311	63	2.387	2.382	ms	2.38	2.38
121	49	2.314	2.309	ms	2.30	2.31
410	10	2.272	2.267			
401	100	2.147	2.148	vs	2.14	2.11
102	5	2.121	2.117			
321	8	1.930	1.927	vw	1.930	1.925
212	6	1.876	1.873			
420	4	1.868	1.865	vw	1.868	1.863
501	6	1.801	1.800	vvw	1.801	1.808
230	5	1.769	1.767	vvw	1.764	1.766
421	9	1.713	1.713			
131	5	1.707	1.708	w	1.705	1.711
402	88	1.628	1.630	vs	1.627	1.628
222	15	1.625	1.627			
610	18	1.584	1.583	wwwb	1.576	1.581
412	8	1.568	1.567	vvw	1.565	1.564
331	6	1.533	1.535	w	1.534	1.534
521	5	1.517	1.520	w	1.514	1.518
103	33	1.427	1.429		1.429	1.427
620	20	1.422	1.426		1.424	1.424
040	7	1.418	1.419	ms	1.420	1.424
320	7	1.386	1.384	ww	1.384	1.384
223				vvw	1.360	1.364
321				w	1.340	1.336
330				vvw	1.320	1.321

使用仪器：D/MAX-RC 型X射线衍射仪。测试条件：CuK α ，管电压50 kV，管电流80 mA，扫描速度8°/分钟。

测试者：中国地质大学X光实验室 张建洪

6 硼铝镁石的成因及其地质意义

近年来,对辽宁宽甸硼矿床地质特征的研究表明,硼矿床的成因与岩浆侵入无关,与混合岩化作用也无成因上的联系,这说明产于硼矿床中的硼铝镁石的形成与岩浆侵入也无关,其成因不同于斯里兰卡石灰岩与花岗岩接触带的硼铝镁石。与硼铝镁石共生的矿物及共生组合特征表明,硼铝镁石及其共生矿物产于镁质大理岩(白云石或菱镁矿大理岩)中。研究证明,镁质大理岩为海相沉积碳酸盐岩经区域变质而形成的^[6],与菱镁矿、白云石等共生的镁橄榄石不是交代成因的,而是含硅质的镁质碳酸盐岩变质的产物。Helmut G. F. Winker (1976) 在研究含硅白云质灰岩变质作用后指出,由石英、白云石或菱镁矿组成的岩石……在低级变质作用中某些矿物即开始反应。在较高级的变质作用中,如在角闪岩相变质作用的温度和压力条件下,可形成透闪石、透辉石、镁橄榄石和方解石等一系列新的矿物相。由此不难看出,与镁橄榄石、方解石共生的硼铝镁石不是角闪岩相区域变质作用的产物。

研究与硼铝镁石共生的矿物证明^[7],遂安石是沉积变质形成的。对遂安石包裹体作均一法测温,测得温度为 $430(\pm 20)^{\circ}\text{C}$,所以推测与遂安石共生的硼铝镁石的形成温度也应为 $430(\pm 20)^{\circ}\text{C}$,结合区域变质作用(角闪岩相),硼铝镁石形成的温度为 $430-650^{\circ}\text{C}$,压力 $5(\times 10^8\text{Pa})$ 左右。

值得一提的是硬石膏与硼铝镁石共生这一现象,它反映了硼铝镁石形成的特殊性,硬石膏的矿物学特征以及稀土元素、硫同位素的研究^①证明其原始物质是蒸发环境下的产物,在区域变质作用下形成。因此,硼铝镁石的特征具蒸发沉积成因的特征。

化学分析表明,硼铝镁石富Al和Mg,反映其形成环境富Mg和富Al,与其共生的矿物特征也说明了这一点。

由上述不难看出,花园沟硼铝镁石的成因不同于斯里兰卡的硼铝镁石,它是在富硼、铝和镁的环境下蒸发沉积,经区域变质作用形成的。

7 结论

根据上述研究,花园沟硼矿床的硼铝镁石的成因不同于斯里兰卡的硼铝镁石,它的矿物学特征和地质意义如下:

(1) 花园沟硼矿床中的硼铝镁石赋存于区域变质形成的镁质大理岩中的硼矿体内,构成一特殊的矿物共生组合,黄色,多色性不明显;化学成分相对富 Fe^{2+} 和B,贫 Fe^{3+} 。而斯里兰卡的硼铝镁石则产于石灰岩与岩浆岩侵入的接触带内;黄色—褐色,多色性明显;化学成分相对富 Fe^{3+} ,贫B。这些都表明它们成因上的差异。花园沟硼矿床中的硼铝镁石是沉积变质成因,更可能是变质蒸发沉积成因。

(2) 由于硼铝镁石在个别地段的含量可达 $6\%-7\%$,再加上其较高的硬度和折射率、鲜

① 黄作良,辽东硼矿床硬石膏的矿物学特征及成因。待刊。

艳的黄色以及部分较大的晶体,使得它可以作为宝石开发和利用,增加矿床的经济价值。

本研究是在王濮教授指导下完成的,中国地质大学张建供教授及龙梅在X光分析和化学成分分析上给予大力帮助,在此特致谢意!

参 考 文 献

- 1 中国科学院地球化学研究所,地质研究所. 东北内生硼矿床的矿物成因研究. 北京:科学出版社,1974. 10—11.
- 2 Claringbull G F et al. Sinhalite (MgAlBO_4), a new mineral. *Mineral. Mag.*, 1952, 29 (27): 841—849.
- 3 Schaller W T and Hidebrand F A. A second occurrence of the mineral sinhalite ($2\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{B}_2\text{O}_3$). *Am. Min.*, 1955, 40 (5—6): 453—457.
- 4 黄作良等. 一种硼酸盐新矿物——袁复礼石. *岩石矿物学杂志*, 1994, 13 (4): 328—334.
- 5 张秋生等. 中国早前寒武纪地质及成矿作用. 长春:吉林人民出版社, 1984, 217—219.
- 6 张秋生等. 辽东半岛早期地壳与地质. 北京:地质出版社, 1987, 344—345.
- 7 刘玉山等. 逢安石的人工合成及地质意义. *岩矿测试*, 1982, 1 (4): 30—36.

Mineralogy of Sinhalite from the Huayuangou Boron Deposit and Its Geological Implication

Huang Zuoliang

(Department of Geological Sciences, Changchun College of Geology, Changchun 130061)

Mo Min

(Geological Institute for Chemical Minerals, Ministry of Chemical Industry, Zhuozhou 072754)

Key Words: boron deposit; sinhalite; Kuandian of Liaoning

Abstract

Sinhalite, a rare borate mineral, was found in the Huayuangou boron deposit, Kuandian County, Liaoning Province. It is associated with suanite, yuanfuliite, anhydrite and some other minerals in the boron orebody. Mineralogical studies show that it is yellow in color, granular in shape and long or short columnar in crystal form, similar to that of olivine. Weak pleochroism: Ng—pale yellow, Np—nearly colorless; $-2V = 54^\circ$, $H = 6-7$, $D = 3.48$. Chemically, it is relatively enriched in Al and Fe^{2+} but deficient in Mg. Unit cell parameters: $a = 9.893(6)$, $b = 5.676(4)$, and $c = 4.335(3)$ Å, larger than unit cell parameters of sinhalite from Sri Lanka. Sinhalite in the Huayuangou boron deposit was formed under the condition of regional metamorphism amphibolite facies.