

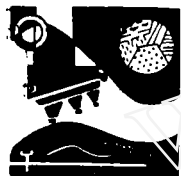
含铍条纹岩的蚀变归属及其找矿意义

李裕祖

(中国有色金属工业总公司湖南地质研究所)

含铍条纹岩是碱性富氟花岗岩浆演化到晚期,因不混溶作用产生的含矿热流体对碳酸盐岩或夕卡岩强烈淋滤而成的含铍富氟蚀变体。和夕卡岩相比,矿物组合不同,形成时间较晚,介质偏酸性,应属云英岩。

关键词: 条纹岩; 蚀变归属; 找矿意义



岩矿工作

我国的含铍条纹岩是
以其含铍和特有的条纹
构造而命名的,矿床则定
为夕卡岩铍矿^①。美国、苏
联和东南亚等地的类似岩

石,先后被R·H·Jahns (1944)、C·L·Sainsbury (1968)、A·A·Beyc (1957)、Э·Н·Говоров (1968) 和 K·F·G·Hosking (1979) 报道过。对其成因观点不一:有夕卡岩 (Beyc); 不是典型的夕卡岩 (夏宏远, 1980); 属镁夕卡岩建造的夕卡岩—云英岩体 (L·S·Shabynin, 1980); 云南个旧产出的萤石—石英—磁铁矿条纹岩是脱夕卡岩云英岩 (魏明秀, 1983)^②。笔者认为它就是云英岩。

含铍条纹岩的地质特征

我国的含铍条纹岩以湖南的香花铺、柿竹园、界牌岭矿区的最典型 (图1、2、3)。它们位于花岗岩类小侵入体边缘的碳酸盐岩和夕卡岩裂隙带内,构成密集条带状的锡铍矿体,向下递变为黄玉—石英云英岩,向上延伸大理岩。与条纹岩有关的花岗岩类小侵入体,多为主体花岗岩分异的晚期产物。归纳三个典型矿区岩石化学分析资料,其特

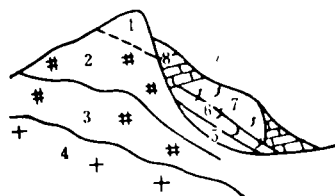


图1 香花铺矿区剖面示意图

1~3—云英岩; 4—黑鳞云母花岗岩; 5—符山石榴石夕卡岩; 6—黑色条纹岩 (470℃); 7—白色条纹岩 (320℃); 8—泥盆系余田桥组大理岩

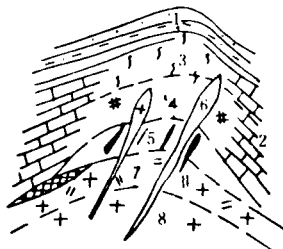


图2 界牌岭矿区剖面示意图

1—测水组砂页岩; 2—石碇子组灰岩; 3—绿色含铍条纹岩 (480~320℃); 4—含锡黄玉云英岩 (345~220); 5—长石—石英脉带; 6—花岗岩斑岩 (850℃); 7—变花岗岩 (?); 8—花岗岩

①湖南冶金地质238队,湖南南部夕卡岩铍矿地质特征,1959年。

②魏明秀,个旧夕卡岩锡矿类型与硼氟交代关系,1983年。

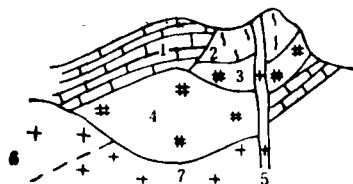


图 3 柿竹园矿区剖面示意图

1—余田桥组大理岩；2—条纹岩Be-Sn矿体，3—黄玉—石英化石英斑岩；4—云英岩—夕卡岩（W、Sn、Mo、Bi）；5—花岗岩斑岩脉；6—黑云母花岗岩；7—二云母花岗岩

点是高硅、富碱（ $K > Na$ ）、富F，贫钙镁铁的铝过饱和类型，微量元素以锂、铍、锡、钨、铌、钽为特征。

条纹岩脉细而密（多达400条/m），矿物细小（0.05~1mm），多具对称分带构造，由中心到脉壁碱性递增。这说明含矿流体充填围岩裂隙时，压力较大，冷凝速度较快，是在酸性溶液被碱性围岩逐渐中和过程中形成的。

含铍条纹岩有黑色和白绿色两类。黑色者为萤石—石英—磁铁矿（日光榴石）条纹岩，是由含矿流体交代夕卡岩而成。湖南香花铺、云南个旧、江西宝山以及美国铁山均有产出；白绿色者，是含矿热液直接交代碳酸盐岩而成，因碳酸盐岩岩性不均一性及体系强度参数的随机性，所含矿物变化很大。若围岩是含镁的泥质碳酸盐岩，多形成萤石—云母—尖晶石—金绿宝石（或塔菲石）条纹岩（如香花铺）；若围岩是富泥质碳酸盐岩，多形成萤石—云母—刚玉（或硬水铝石）金绿宝石组合（如界牌岭）；若围岩既含镁又富泥，则上述两种组合可一起出现（如柿竹园）。其产地除典型矿区外，广西栗木、云南中甸等地也有产出；美国的阿拉斯加、东南亚锡矿带亦有分布。

含铍条纹岩矿物特征

1. 矿物组合

条纹岩以萤石、浅色云母（铁锂云母、磷云母、白云母和绢云母）为主，杂以尖晶石、氟镁石、刚玉、硬水铝石、黄玉、钙霞石、长石、电气石等次要矿物和含铍、含锡矿物及金属硫化物等70余种矿物组成（表1）。萤石、云母与多种矿物共生，组成几十种条纹岩。

2. 矿物包裹体特征

条纹岩萤石中原生包裹体有气体（V）、气液（L）和非均质子矿物（G）包裹体，未见 CO_2 和盐类子矿物包裹体（表2）。

（1）流体组份 界牌岭包裹体分析结果，以 K^+ 、 Na^+ （ $K > Na$ ）、 Ca^{2+} 、 F^- 、 Cl^- （ $F > Cl$ ）离子为主（含量 $n \times 10^3 \sim n \times 10^4$ ppm）、 $pH = 5.48 \sim 5.58$ ，属 $K^+ - Ca^{2+} - F^- - H_2O$ 体系（彭振安，1988）。冷冻法测定成分发现，香花铺与柿竹园类似，氟含量都很高。

（2）均一温度及捕获条件 香花铺黑色条纹岩均一温度为504~420℃，多数包裹体向气相均一，属于超临界高温条件下捕获的，白绿色条纹岩均一温度为383~258℃，多数包裹体向液相均一，是临界点附近捕获的。界牌岭条纹岩均一温度为480~320℃，三类包裹体共存，V和L包裹体均一温度相近，是沸腾条件下捕获的。

（3）成岩压力 压力资料较少，笔者利用测温数据（379℃），投入刚玉—硬水铝石相变的P—T图上（J·J·Hemley, 1981），获得界牌岭刚玉—硬水铝石—云母—金绿宝石条纹岩的成岩压力为480 bar。

综上所述，笔者认为含铍条纹岩是在500~250℃、压力500 bar±、低盐度、酸性的K—Ca—Al—Si—F— H_2O 体系中形成的。

含铍条纹岩矿物成分表

表 1

矿床	岩石	铍和锡矿物		脉石及其他矿物		
		主要的	次要的	主要的	次要的	
中国湖南	柿竹园	绿色条纹岩	硬羟钙铍石、锡石	塔菲石、金绿宝石、日光榴石、铍榴石、硅铍石、铍珍珠云母、尼日利亚石	萤石、白云母、绢云母、铁锂云母、磷云母、方解石	长石、电气石、绿泥石、黑磷云母、刚玉、石榴石、透辉石、锆石、金红石、白钨矿、辉钼矿、辉铋矿、磁铁矿、磁黄铁矿、菱铁矿等
	香花铺	黑色条纹岩	日光榴石(？)、锡石	硅铍石(？)	萤石、磁铁矿、符山石、石榴石、石英	透辉石、角闪石、长石、粒硅铍石、黑磷云母、绢云母、白钨矿等
		白绿色条纹岩	塔菲石、金绿宝石、锡石	绿柱石、香花石、硅铍石、黝锡矿	萤石、黑磷云母、锂云母、白云母、磷云母、方解石	尖晶石、钙霞石、氟镁石、电气石、粒硅铍石、黄玉、石英、绿泥石、白钨矿、辉钼矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿
	界牌岭	绿色条纹岩	金绿宝石、锡石	硅铍石、含铍云母(？)、黝锡矿	萤石、铁锂云母、白云母、绢云母、方解石	刚玉、水铝石、尖晶石、氟镁石、黄玉、绿泥石、黄铁矿、白钨矿、黑钨矿、磁黄铁矿、闪锌矿、菱铁矿
美国	铁山	黑色条纹岩	日光榴石、铍榴石	金绿宝石、硅铍石	萤石、磁铁矿、石英、符山石等	石榴石、透辉石、黑云母、冰长石、绿帘石、白钨矿、黄铁矿
	阿拉斯加	绿色条纹岩	金绿宝石、日光榴石	蓝柱石、羟硅铍石、硅铍石、绿柱石	萤石、绢云母、方解石	硬水铝石、电气石、钠珠云母、磁铁矿等

形成机理

1. 形成机理

F和H₂O一样能降低花岗岩固相线温度和粘度(Wyllie, 1977), F常和亲石金属元素Li、Be、Sn、W、Nb、Ta、Y结合成稳定的络合物(Snawe, 1976), 某些碱性富F花岗岩浆可以显示液态不混溶性(科萨尔斯, 1976; 王联魁, 1983), 碱性富F部分进一步演化而成热液流体(Burt, 1981)。

与含铍条纹岩有关的花岗岩F含量都很高(0.3~1.35%), 条纹岩以含F气成矿物(萤石、云母)为主, 其包裹体中K、F、H₂O也很高, 说明成矿流体是由花岗岩浆分异而来的。沸腾包裹体的存在提供了不混溶的证据。矿石中金绿宝石、锡石常包含在萤石、

黄玉晶体中或围绕其生长, 说明Be的载体是Be—F络合物。

Be、Sn氟络合物在超临界高温水热条件下稳定性问题, 成矿试验作了肯定回答。王玉荣指出Be、Sn、Nb、Ta氟络合物水解的最大值在水的临界点附近, 这为矿物包裹体资料所证实。

鉴于以上理由, 笔者认为含铍条纹岩是由碱性富F花岗岩浆演化到晚期, 因不混溶作用导致多种氟络合物(KF、KAlF₄、K₂BeF₄、LiBeF₃、K₂SnF₆等)与贫F硅酸盐发生分离, 并与HF、H₂O和SiO₂一起构成含矿热流体, 当构造一成矿作用发生时, 上升充填一交代碳酸盐岩而形成各种条纹岩。

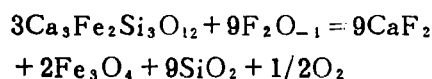
2. 黑色条纹岩

含铍条纹岩及其下相接的云英岩包裹体特征、均一温度及盐度

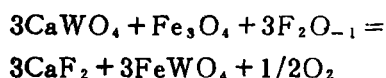
表 2

矿区	岩石名称		矿物	包裹体类型	大小 (μ)	形状	气液比 (%)	均一温度 ($^{\circ}\text{C}$)	最佳值 ($^{\circ}\text{C}$)	盐度 (wt%)	资料来源
界 牌 岭	含 铍 条 纹 岩	萤石云母尖晶石-金绿宝石 条纹岩(D12)	萤石	V 37% L 51% G 12%	10~40	圆形、椭圆	15~85	480~320	387	6.97	本 文 (1984~ 1988)
		萤石云母刚玉-水铝石金- 绿宝石条纹岩	萤石	V 17% L 71% G 12%	10~25	同上	20~80	450~320	379	6.65	
	云 英 岩	含Sn 萤石黄 玉云英岩 (B77, B92)	萤石、 黄玉、 石英	V 少量 L 为主 CO ₂ 极少	10~30	同上	10~60	350~220	280	7.20	
香 花 铺	含 铍 条 纹 岩	黑色条纹岩	萤石	V 为主 L 次之	5~70	圆形、六 边形	40~80	504~420	475		常海亮 (1979)
		白色条纹岩	萤石	V 少量 L 为主	10 $\pm$	圆形	30~40	353~258	320		
		绿色条纹石	萤石	同上	5~25	同上	8~40	315~295	300	2.10	本 文
		黄玉-云母-石英 云英岩	石英	V 较少 L 为主	1~35	圆形、多 边形	20~40	400~280			常海亮 (1979)
柿 竹 园 野 鸡 尾	含铍条纹岩中方解 石脉		方解石	L 为主	1~5	同上	10~30	245~227	条纹岩 >250		罗仕徽 (1987)
	含锡黄 玉-石 英云英 岩	855中段	石英	L 为主 V 次之 还有G 和CO ₂	4~23	圆形、四 边形、椭圆 形为主, 多 边形次之	25~90	396~265	323	32~36	韩公亮 (1987)
		710中段	石英		4~14			401~293	330		
		605中段	石英		4~10			413~323	334		

萤石-石英-磁铁矿条纹岩是富F酸性热流体交代夕卡岩形成的, 其反应式如下;



若石榴石成分中锰铝榴石被交代, 则可生成日光榴石(如柿竹园、美国铁山), 与此同时, 在夕卡岩中稳定的白钨矿分解为黑钨矿:



F₂O₋₁相当于氢氟酸失去水的酸酐, 由上述反应可见, 条纹岩比夕卡岩形成晚, 介质偏

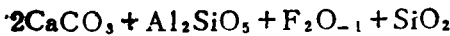
酸性, 矿物组合完全不同, 故条纹岩不再是夕卡岩。

3. 白绿色条纹岩

现就最常见的条纹岩按生成阶段叙述如下:

(1) 气化高温阶段 是条纹岩形成的主要阶段。重要的含F矿物(萤石、云母、黄玉)及含Be富Al矿物(尖晶石、金绿宝石、塔菲石等)均在此阶段生成。

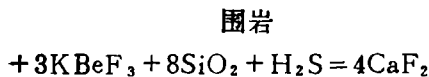
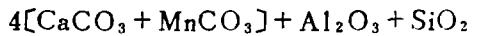
萤石-斜长石条纹岩(组合), 是热液交代大理岩及所夹角岩(泥质条带热蚀变所成, 如红柱石等)而成, 其反应式如下:



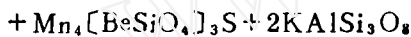
斜长石

该反应如加入 $[\text{K}_2\text{BeF}_4]$ 即可形成钾长石—绿柱石组合。

萤石—钾长石（白云母）—日光榴石（铍榴石）组合，含Mn的泥灰岩被热液交代即可形成

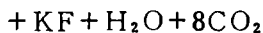


热液



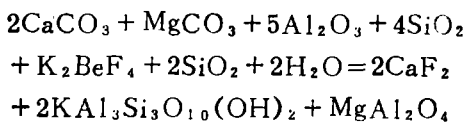
日光榴石

钾长石



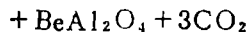
若水压增大时，就可形成白云母， Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 互相置换，可形成日光榴石—铍榴石类质同象。

萤石—云母—尖晶石—金绿宝石（或塔菲石）组合，是由白云质泥灰岩蚀变而成。



白云母

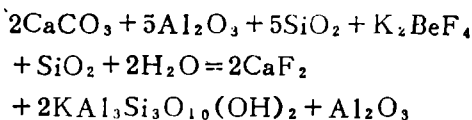
尖晶石



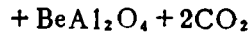
金绿宝石

若地层中Mg增高，就可生成塔菲石（Be、Mg） Al_4O_8 ；若体系中 Zn^{2+} 浓度很高往往形成锌尖晶石。

萤石—云母—刚玉—金绿宝石组合，是富泥灰岩被含矿热流体交代而成：

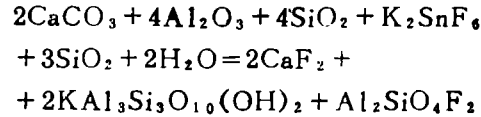


刚玉

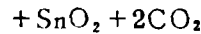


若水压增大，刚玉相变成硬水铝石。

萤石—云母—黄玉—锡石组合，随交代作用进行，Be氟化物化学位降低，Sn—氟化物相对升高，此阶段晚期常出现含锡矿物：

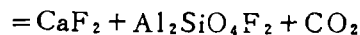
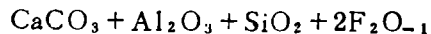
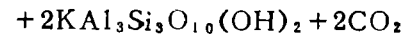
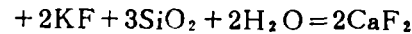
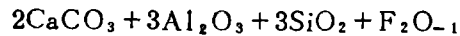
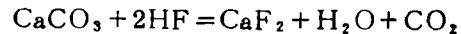


黄玉

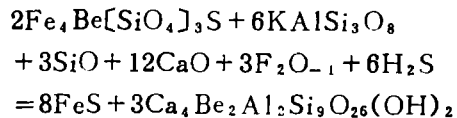


锡石

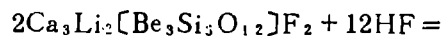
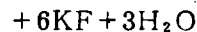
若铁白云质灰岩被交代，还可出现尼日利亚石。上述反应中浅色云母由白云母代替，没有考虑F的含量；条纹岩中萤石、云母和黄玉的含量比反应式中多得多（萤石达工业要求），说明体系中 f_{HF} 、 $f_{\text{H}_2\text{O}}$ 非常高，结果只会导致灰岩的萤石、云母和黄玉化：



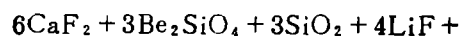
（2）高中温阶段 该阶段铍锡氟络合物基本析出，在 f_{HF} 、 $f_{\text{H}_2\text{S}}$ 较高的条件下，一些在早期稳定的矿物组合被新的矿物组合所代替，如铍榴石+钾长石组合分解成磁黄铁矿+硬羟钙铍石组合：



硬羟钙铍石



香花石

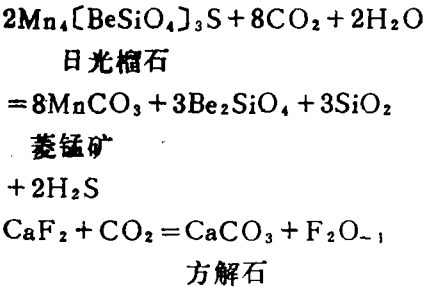


硅铍石



（3）低温碳酸盐阶段 这是温度较

低、 f_{CO_2} 较高的条件下，一些早成的矿物组合分解的产物：



蚀变归属讨论

含铍条纹岩与夕卡岩有许多相似之处，但也有很大的区别（表3），它也不像斑岩和次生石英岩，唯可与云英岩“五层楼”分带中的线—细脉带对比。

云英岩一词目前已被引伸到花岗岩以外的岩石类型，包括碳酸盐岩中的富F蚀变体。Landis和Rye(1974)认为，凡有F参加的所有蚀变过程都可用“云英岩”一词来定义。D·M·Burt提出以主要矿物修饰云英岩一词来命名，如“云母—萤石”云英岩等。

云英岩平衡的初始模式为 $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O-F_2O_{-1}$ (D·M·Burt, 1981)。条纹岩中含K、Al、F的矿物大量存在，为其归入云英岩提供了物质基础；若在该模式体系中加入Ca、Mg、Fe、Be、Sn、C、O、S等元素，则含铍条纹岩的主要矿物相就可利用该模式加以解释。

把条纹岩归入云英岩，野外地质产状提供了有力证据。界牌岭矿区石碇子组灰岩中条纹岩富Be，向下进入花岗斑岩脉则变成石英—黄玉云英岩，富Sn。水平方向也有相同的规律：中心为石英—黄玉云英岩（花岗斑岩蚀变而成），富Sn；进入两侧灰岩则变成铁锂云母—萤石条纹岩，富Be。该矿区顶部地段还见到几条含铍条纹岩穿过灰岩与测水组砂页岩的接触面。接触面两边矿物组合不同，灰岩同前，砂页岩中以石英、云母为主。该现象在香花岭等地也见到。显然我们不能把灰岩中的蚀变归入夕卡岩，而将花岗斑岩和砂页岩中的蚀变归入云英岩。因为二者都是云英岩期形成的一个完整不可分割的

含铍条纹岩与夕卡岩的主要区别 表 3

区别标志	夕卡岩	含铍条纹岩
主要矿物成分及晚期热液相特有矿物	石榴石、钙铁辉石等；硅铁灰石、绿脱石、鱼眼石、富镁蒙脱石、各种沸石	萤石、浅色云母等；方解石、菱锰矿、菱铁矿、石英、硅铍石、高岭石
围岩特征	碳酸盐岩、花岗岩等	碳酸盐岩、夕卡岩等
成岩方式	交代或渗透交代	充填交代
控岩因素	接触带及断裂构造	围岩化学成分的非均匀性
产状特征	似层状、脉状	细脉（条纹）状
结晶特征	缓慢结晶	快速结晶
介质性质	中—碱性	酸性
成岩（脱CO ₂ ·H ₂ O）温度	650~400℃	500~300℃
成岩时间早晚	较早	较晚，可交代夕卡岩而成
单矿物带特征	特别发育，规模较大	有，但属显微构造
主要矿化剂类型	O ₂ 、CO ₂ 、H ₂ O	HF、CO ₂ 、H ₂ O
矿产特征	Fe、Cu、白W、Pb、Zn等	Be、Sn、黑W、萤石

地质体。

这样归属之后，避免了人为的割裂，恢复了条纹岩与云英岩之间的本来关系，为成矿预测和找矿勘探提供了可靠的依据。

找矿意义

含铍条纹岩是很好的找矿标志，界牌岭锡铍多金属矿床就是根据条纹岩找到的。

纵观南岭大中型云英岩Li—Be—Sn—W—Mo—Bi—Nb—Ta—TR多金属矿床，当最高层位是硅铝质砂板岩时，往往形成云英岩细脉—线脉带（大吉山、西华山、瑶岗仙）；最高层位是碳酸盐岩时，常形成含铍条纹岩（香花岭、栗木、柿竹园等）。二者

梅子窝59号脉Sn、Be、F含量变化表（%） 表4

脉带及标高	Sn	BeO	F
地表线脉带	0.781	0.042	0.44
近地表细脉带	0.180	0.040	0.28
924中段细薄脉带	0.062	0.003	0.11
840 中段薄脉带	0.028	0.003	0.04
760中段大脉带	0.027	0.002	0.04

形成机理相同，仅围岩岩性不同而已，其共同的特点是愈近地表，Be、Sn、F(B)的含量越高（表4）。

含铍条纹岩作为找矿标志，必须强调复合蚀变的重要意义。复合蚀变是多矿种，大型、特大型矿床的标志。云英岩矿化叠加在夕卡岩之上，常产生接触带云英岩Be—Sn—W—Mo—Bi的富集（如柿竹园）；云英岩矿化叠加在钠长石化花岗岩之上，就形成内接触带变花岗岩Nb—Ta—TR富集（香花铺、414矿等）。这种Li—Be—Sn—W—Mo—Bi在上，Nb—Ta—TR在下的富集规律，就是成矿预测的依据。据此笔者认为，界牌岭矿区深部还有变花岗岩Nb—Ta—TR矿化，以及接触带夕卡岩白钨矿—铁—铜矿化的可能性，这有待勘探证实。

成文过程中，韩公亮、罗仕徽、倪纪文、张金久、李智等同志提供了资料，前两位同志并提出宝贵意见，邓诗锴同志和李佩兰老师审查了全文，笔者在此表示衷心的感谢。

Be-bearing Perthitic Rock: Its Alteration Attribution and Significance in Ore Exploration

Li Yuzhou

The Be-bearing perthitic rock, being a fluor rich and Be-bearing alteration product, is formed by carbonate rock or skarn which is strongly leached by ore-bearing hydrothermal fluid produced by un-mixing process at the late evolution stage of fluor rich alkali-granite. In comparison with skarn, it should belong to greisen because it is formed at a later stage, has a different mineral assemblage and exists in a more acidic medium