

综合评述

电气石岩——一种和矿化有关的岩石类型

沈建忠 韩发

(地矿部矿床地质研究所, 北京)

Tourmalinite——a mineralization-related rock type

Shen Jianzhong and Han Fa

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing)

电气石是一种复杂的含水、氟、氯硅酸盐矿物族, 其一般分子式为 $WX_3Y_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH, F, Cl)_x$, 其中 $W = Na^+, Ca^{2+}, K^+$, $X = Al^{3+}, Fe^{3+}, Fe^{2+}, Li^+, Mg^{2+}, Mn^{2+}$, $Y = Al^{3+}, Fe^{3+}, Cr^{3+}, V^{3+}$ 。该矿物族存在许多端员矿物, 如黑电气石、镁电气石和钙镁电气石等。电气石在很大范围的温压条件下稳定, 故其可提供有关岩浆或流体的一些信息, 如 P 、 T 、 f_{O_2} 、 a_{H_2O} 、 a_{F^-} 、 $Mg/(Mg+Fe)$ 比值等 (Plimer, 1988); 同时该矿物类质同象替换十分复杂, 其常量元素组成可提供其形成的地质体系化学组成的线索, Henry 和 Guidotti (1985) 在 $Al-\Sigma Fe-Mg$ 和 $Ca-\Sigma Fe-Mg$ 三角图解上确定了不同类型岩石中电气石的特定区域。电气石出现在许多变质火山-沉积地区和酸性侵入体及其有关的热液矿床中。过去认为电气石形成于岩浆、伟晶岩和岩浆期后热液阶段, 以副矿物或热液交代产物出现; 变质期间水岩反应也可形成电气石。但近年来, 在层控矿床(如贱金属、钨、锡、钴、镍和金等)中及其附近发现许多层状电气石岩。目前已积累了不少有关电气石岩地质地球化学的资料, 电气石岩已成为海底喷气矿床找矿勘探的重要标志之一。本文回顾了电气石岩的地质地球化学特征, 探讨了该类岩石的形成环境和成因以及其勘探意义。

1 电气石岩及其地质特征

电气石岩 (tourmalinite) 是指与围岩大致整合的层控岩石单元, 其中电气石所占全岩体积大于 20%。Slack 等 (1984) 强调该术语仅适用于与围岩整合产出的富电气石岩层, 没有成因含义, 故不能与其他由特定地质作用形成的富电气石岩石如电英岩 (tourmalite) 或电气石花岗岩 (Luxullianite) 混为一谈。层状电气石岩主要产于元古代和早一中古生代沉积盆地, 其次为太古代沉积盆地(如格陵兰 Melane 地区)。伴生岩石主要为变质泥质岩和变质粉砂岩(表1), 局部存在大量的变质基性岩, 一些地方也存在长英质火山岩 (Slack 等, 1984)。与其紧密相关的岩石包括少量燧石岩、钙硅酸盐片岩或片麻岩和富铁或锰沉积岩, 尤其值得注意的是电气石岩常与细粒石英-锰铝榴石岩共生 (Slack 等, 1984), 这种石英-锰铝榴石岩一般和电气石岩直接接触, 有时在电气石岩中呈透镜体或两者交织一起。电气石岩在其产出的岩系中仅占百分之几, 但其在空间上常与海底喷气矿床中的硫化物相和其他成分极其异常的喷气岩存在相变关系或处于同一地层位。电气石岩实际上是一种富硼含铁建造 (Plimer, 1988)。在受到变形作用的地区, 电气石岩与围岩一起发生同步褶皱。电气石岩沿地层延伸或断续延伸可达几百米甚至更长。

表 1 某些典型地区电气石岩的地质地球化学特征
Table 1. Geological-geochemical characteristics of tourmalinite from some typical areas

产地	围岩岩性	时代	变质等级	矿物组成	相关金属	电气石		常见构造
						$\frac{\text{MgO}}{\text{MgO} + \text{FeO}}$	$\frac{\text{Na}_2\text{O} + (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})}{\text{MgO} + \text{FeO}}$	
大厂	硅质岩、泥质岩、	泥盆纪		电气石、石英、磷质、硫化物，有时可见方解石	Sr + Zn + Pb + Sb + Ag	0.63~0.98 平均0.72	0.31~0.91 平均0.66	纹层状
中条山铜矿	泥质片岩、板岩、石榴石-绢云母片岩	早元古代	低绿片岩相	电气石、石英、少量硫化物、石英	Cu	0.43~0.56 平均0.51	0.80~0.97 平均0.92	条带状、条带状斜层理
Golden Dyke Dome	含磷泥质岩	晚元古代	绿片岩相	石英、电气石、钠长石、绿泥石、黑云母、石墨、硫化物、金红石、白云母	Au, Pb + Zn	0.44~0.73 平均0.56	0.30~0.84 平均0.66	粒级层理 软沉积滑动变形
Rum Jungle	长石砂岩、砾岩、砂质砾屑岩	早元古代	浅变质	电气石、石英、少量粘土	尚无矿化发现	0.13~0.97 平均0.53	0.02~0.98 平均0.72	层状、条带状 撕裂结构 软沉积褶皱
Mt. Isa矿区	燧石、碧玉、泥质岩、粉砂岩、条带状铁建造	早-中元古代	绿片岩相，有时达角闪岩相	石英、电气石、磁铁矿、白云母	Pb + Zn, 少量Cu	0.21~0.56 平均0.35	0.82~0.92 平均0.88	层状、纹层状
Rosebery	绢云母-绿泥石片岩	中寒武世	低绿片岩相	电气石、石英、绿泥石，少量绢云母、黄铁矿	Zn + Pb + (Cu + Ag + Au)	0.13~0.24 平均0.20	0.92~0.96 平均0.94	一般呈块状 偶具纹层状
西格陵兰铜矿	直闪石-堇青石片岩、角闪岩、黑云母片岩、石英-堇青石岩	太古代	角闪岩相	分两类：电气石、长石，少量石英、白钨矿、黑云母；直闪石，电气石，石英	W	0.45~0.74 平均0.63	0.45~0.85 平均0.55	块状、条带状

电气石岩在野外经常呈小于1m厚的暗色层,但有时厚度可达十几米,如宝坛锡矿区(毛景文等,1990),与上下盘岩石明显不同,界线清楚。这种岩石在野外很难辨认,过去常被误认为黧石岩、磁铁石英岩、角闪岩、含碳石英岩、镁质片岩和阳起石片岩(Slack等,1984,孙海田等,1988)。另外有些电气石岩为浅色的,表面类似不纯碎屑沉积岩,如白云母粉砂岩、杂砂岩和含碳泥质岩。

电气石岩可分为块状和条带状两种,块状电气石岩一般很致密、坚硬,但节理发育;而条带状电气石岩则和硫化物、硅质岩或泥质岩互为条带。一些电气石岩保存有原始沉积构造,即使在高度变形地区仍然如此,这些组构包括粒级层理、交错层理、纹层状构造、滑塌和火焰状构造(Slump and flame structure)以及撕裂(rip-up)构造。撕裂构造存在两种情况:一种是在块状电气石岩上覆岩石中存在具撕裂外形特征的棱角状电气石岩碎屑,而基质中则不存在电气石,如Black Prince(Slack等,1984),它是块状电气石岩还没有固结的情况下由环境动荡引起的;另一种出现在条带状电气石岩中,电气石岩条带被撕裂、扭断,如Rum Jungle。在电气石岩中常见一些成岩期构造,如Bone(1988)在澳洲Rum Jungle发现成岩期黄铁矿切穿层理。笔者在宝坛锡矿区81号矿体发现石英梯状脉出现在含锡电气石岩中,梯状脉局限于电气石岩层,具不穿层特征。

2 电气石岩的矿物组成

一般情况下电气石岩矿物组成比较简单,主要由石英和电气石组成,也有由长石和电气石或直闪石和电气石组成的。电气石含量变化较大,有时可见几乎全由电气石组成的电气石岩。其他共生矿物有云母、绿泥石、金红石和硫化物(尤其是黄铁矿和磁黄铁矿),常见碳质或石墨,偶见钛铁矿、榍石、单斜沸石、蓝晶石、白钨矿和锡石等。另外某些电气石岩含有丰富的矽线石(南非开普省西北部地区、铈尖晶石和磷灰石(如澳大利亚Broken Hill矿区、桂北宝坛矿区)。

电气石颗粒一般很细,只在高级变质区由于重结晶而变得粗大些,故需使用X光衍射分析确定电气石的含量。在显微镜下一般呈针状、粒状和束状,偶见放射状和胶状。电气石经常出现光学分带,呈同心环状,Bone(1988)认为平行c轴的细多色条带可能是从 ΣFe 和或 f_{O_2} 等发生连续或阶段性变化的流体中快速沉淀生长的产物,而非变质作用形成的。

3 电气石的地球化学特征

近年来已积累了大量有关电气石的地球化学资料,揭示了许多有价值的地质规律。电气石岩的电气石化学组成一般落于黑电气石-镁电气石固溶体系列中间,且更偏向富镁电气石(表1),有时 $\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{FeO})$ 比值高达0.98,几乎为纯镁电气石(韩发和Hutchinson,1989);而与花岗质岩浆有关的电气石为黑电气石或富Li电气石。个别电气石岩中电气石的化学组成偏向黑电气石,如Rosebery,这种电气石具富F(>1%)的特征。Plimer和Lees(1988)认为电气石岩中电气石的 $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$ 比值是电气石岩离喷气孔远近的一个灵敏指示参数,离喷气孔越近越富镁,反之则越富铁。电气石 $\text{Na}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 比值较高,一般大于0.5。把电气石岩中电气石的化学组成投到 $\Sigma\text{Fe}-\text{Mg}-\text{Ca}$ 和 $\Sigma\text{Fe}-\text{Mg}-\text{Al}$ 图解可知其主要落在变泥质岩、变粉砂岩和石英-电气石岩区。微量元素研究表明电气石富Cr、Cu、Pb、Sr、V,贫Li、Mn,F/Cl比值平均为33(Taylor和Slack,1984)。

在电气石岩中,电气石经常出现环带结构,这种光性分带伴随成分的细微差别或铁离子的价态变化;有时在无光性分带的电气石中也存在成分分带(Slack和Coad,1988)。从电气石核心到边缘, $\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{FeO})$ 比值存在两种变化趋势。一是 $\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{FeO})$ 比值增高,伴随 Na_2O 增加, CaO 、 TiO_2 降低(如Mt. Isa, Rum Jungle等);另一种是 $\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{FeO})$ 比值降低,伴随 Na_2O 降低, CaO 、 TiO_2 增高(如Broken Hill)。总之, $\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{FeO})$ 和 $\text{Na}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO})$ 比值从核心到边缘增加更为普遍,然而各个矿区之间电气石化学成分分带有所不同,且每个产地往往存在两种变化趋势。Slack和Coad

(1988) 研究发现电气石多色条带间化学组成存在突变现象, 并认为电气石岩中存在两种成分分带的电气石可能反映了同一热事件中晶体的脉动生长。

Taylor 和 Slack (1984) 对块状硫化物矿床和电气石岩中电气石的氢、氧同位素研究发现电气石 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 9.5‰~15.5‰, δD 值为 -45‰~-60‰, 而花岗伟晶岩中电气石 $\delta^{18}\text{O}$ 小于 9.5‰, δD 值小于 -60‰。对电气石岩和块状硫化物矿床中电气石硼同位素的全球性研究表明, 其硼同位素组成主要由底盘岩石岩性控制, 其次为水岩比 (Palmer 和 Slack, 1989)。对 Broken Hill 矿区电气石岩和块状硫化物矿床中电气石硼同位素的系统研究发现矿床形成时有非海相蒸发岩的卷入 (Slack 等, 1990)。

4 沉积环境

迄今为止, 大多数研究者认为变质火山-沉积地区产出的大多数电气石岩是水下海相沉积环境中形成的, 很可能在裂谷环境中, 如大厂、Golden Dyke Dome 和 Sullivan 等。岩石产出的区域地质背景说明其是在海相环境中沉积的; 它们经常与铁建造、石英-锰铝榴石岩、燧石岩、钠长石岩和层状硫化物等化学沉积岩紧密相关, 说明硼由富硼热泉引入的。尽管海相热泉含硼量的资料尚不多, 但与海水 (含硼 4.25 mol/kg) 相比, 加利福尼亚湾 Guayamas 盆地中热液流体含硼达 1327~1679 mol/kg (Plimer, 1986), 经热力学计算, 该盆地热液流体相对于镁电气石是饱和的 (Slack 等, 1989); 在现代深海含 Fe-Mn 沉积物中可以看到硼的高度富集, 这些沉积物明显受海底喷气作用的影响, 故在海相环境中形成富硼沉积物完全可能。一些电气石明显与火山活动有关, 而其他则是不依赖于火山活动喷气沉积的, 如大厂 (韩发和 Hutchinson, 1939)。电气石岩常含碳质或石墨和浸染状硫化物以及电气石岩和硫化物互为条带说明该类岩石在还原条件下形成的, Slack 等 (1984) 认为其很可能在高盐度卤水池中形成的。

另外有一些电气石岩很可能在蒸发环境中形成的, 如纽约州 Adirondacks 西北部地区 (Brown 和 Ayuso, 1935)、纳米比亚 Damara 地区 (Behr 等, 1983)、魁北克阿非布期 Mistassini 群 (Chown, 1986) 和澳大利亚 Mt. Isa 造山带的一些电气石岩 (Plimer, 1988)。

5 电气石岩的成因

由于蒸发环境中产出的电气石岩实例并不多, 故对其不再予以讨论。电气石岩所具有的原始沉积结构 (如粒级层理、交错层理、软沉积滑动变形和撕裂构造等) 结合电气石岩中电气石的地球化学特征可以排除其花岗岩浆成因的可能; 电气石岩在一定地层层序中具有稳定延伸的特征, 与其他喷气岩 (如燧石岩、含铁建造、石英-锰铝榴石岩和钠长石岩等) 和海底喷气矿床具有密切的时空关系, 其产出区一般缺乏相关花岗岩或交代岩以及与地层同褶皱变形均说明电气石岩是周围地层单元的组成部分, 是与海底热泉活动紧密相关的富硼喷气岩。

泥质沉积物含硼很高, 可达 0.2% (Harder, 1959), 硼以吸附形式出现在粘土矿物中。假如泥质岩中的硼全部转变为电气石, 那么岩石中电气石所占体积也不会超过 9%, 达不到电气石岩的标准。大量研究表明电气石岩的前身是富硼化学沉积岩 (Slack 等, 1984; Plimer, 1988), 是海底热卤水淋滤底盘富硼泥质岩和 (或) 蒸发岩中的硼, 迁移到海底沉积的。因为电气石岩含硼一般为 1%~3%, 和其他元素一样, 通过海底热卤水循环并淋滤泥质岩和 (或) 蒸发岩, 硼富集 5~15 倍是完全可能的。电气石岩的产出环境充分证明了这一点, 电气石岩主要产在以沉积岩为容矿岩石的喷气矿床或附近, 而在与火山活动有关的喷气矿床中, 只有在底盘岩石中存在大量泥质岩和 (或) 蒸发岩的情况下, 才能出现电气石岩, 如 Eliza Beth 矿床, 在塞浦路斯型和黑矿型块状硫化物矿床中, 其底盘岩石含很少或没有泥质岩和 (或) 蒸发岩, 故迄今尚未发现电气石岩。

有关电气石岩前身问题, 目前尚无一致意见。Slack 等 (1984) 认为在海底沉积的富硼化学沉积物可能是富硼凝胶或全岩成分与相应电气石岩对应的某种沉积物, 而 Plimer (1986, 1988) 认为电气石岩前身

为二氧化硅和电气石,这样形成的电气石岩具有可观察到的沉积构造,当然这就必须要求电气石在沉积时结晶。然而在 Black Prince, 粒级层理中石英和电气石的分布与两者的沉降顺序相反;某些电气石岩中电气石晶体的精细条纹也指示其成岩而非变质生长 (Taylor 和 Slack), 在宝坛含锡电气石岩中具有非常典型的胶状结构的电气石,同时环带状和放射状电气石也常见。另外在尚未变质的沉积物中经常出现自生电气石。以上说明电气石岩是原始富硼沉积物在成岩早期发生改造的产物似乎更为合理。

6 电气石岩的勘探意义

电气石岩和许多层控贱金属、Au、W、Sn、Co 和 Ni 矿床之间存在紧密的时空和成因联系,说明该类岩石可以作为重要的找矿勘探标志。某些电气石岩本身就含有可观的 Au (如 Golden Dyke Dome)、W (如格陵兰 Melane 钨矿区)和 Sn(如宝坛矿区)。电气石岩在长期的变形和变质作用期间相对稳定,故在变质火山-沉积地区,尤其是变质沉积地区,电气石岩可作为局部地区的找矿勘探依据,沿电气石岩追索就有可能找到古喷气口,进而有望找到喷气矿床 (Bone, 1988)。在马里卢洛地区,地质学家们根据化探发现 Au 和 B 异常 (电气石岩)重叠,从而追索电气石岩控制矿化体,最后找到了产于电气石岩中的元古宙金矿床。该矿床金品位为 2~8 g/t,矿体长 1000 m,平均厚 10 m,向下延伸至少 300 m。

参 考 文 献

- 1 韩发, R W Hutchinson. 大厂锡多金属矿床热液喷气沉积的证据——含矿建造及热液沉积岩. 矿床地质, 1989, 8 (2): 26~40
- 2 毛景文, 陈毓川, 陈晴勋, 杨开泰. 中国桂北地区两类电英岩及其对成矿环境的指示. 岩石矿物学杂志, 1990, 9 (4): 289~298
- 3 孙海田, 葛朝华. 中条山层控铜矿床条纹状电气石岩及容矿富硼化学沉积岩系的发现及意义. 科学通报, 1988, (17): 1334~1337
- 4 Henry D J, Guidotti C V. Tourmaline as a petrogenic indicator mineral; an example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine. The American Mineralogist, 1985, 70: 1015
- 5 Palmer M R, Slack J F. Boron isotopic composition of tourmalines from massive sulfide deposits and tourmalinites. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1989, 103: 434~451
- 6 Plimer I R. Tourmalinites associated with Australian Proterozoic submarine exhalative ores. In: Friedrich G H, Herzig P M ed. Base metal sulfide deposits. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1988, 255~283
- 7 Slack J F, Coad P R. Multiple hydrothermal and metamorphic events in the Kidd Creek volcanogenic massive sulfide deposit, Timmins, Ontario; evidence from tourmalines and chlorites. Can. J. Earth Sci., 1988, 25: 694~715
- 8 Slack J F, Herriman N, Barnes R G, Plimer I R. Stratiform tourmalinites in metamorphic terranes and their geologic significance. Geology (Boulder), 1984, 12: 713~716
- 9 Slack J F, Palmer M R, Stevens B P J. Boron isotopic evidence for the involvement of non-marine evaporites in the origin of the Broken Hill ore deposits. Nature, 1990, 342: 913~915
- 10 Taylor B E, Slack J F. Tourmalines from Appalachian-Caledonian massive sulfide deposits: textural, chemical, and isotopic relationships. Econ. Geol., 1984, 79: 1703~1726