

电气石的化学特征与相关矿床的关系

王进军¹, 赵 枫²

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 新疆师范大学, 新疆 乌鲁木齐 830054)

摘 要: 电气石是一种含挥发分的硅酸盐矿物, 作为副矿物的电气石与其他矿物共生, 且含量较少, 但在电气石岩中可达 60% 以上, 以前很少被人们重视。近 10 年来, 随着对一些大型锡、钨等矿床的勘探和研究, 发现电气石与这些矿床有着密切的关系。分析对比电气石成分中 $w(\text{FeO})/w(\text{FeO} + \text{MgO})$ 的比值, 把国内几个有关矿床与国外一些典型矿床作比较; 再借鉴前人对典型矿床中的电气石进行硼同位素的研究结果, 找出不同特征电气石与不同矿床之间的关系。

关键词: 电气石; 锡钨矿床; 比值; 硼同位素

中图分类号: P578.953; P574.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2002)03-0161-03

1 电气石的特征

电气石常见于热液矿床, 晶体呈复三方单锥, 柱状, 柱面上纵纹发育, 横断面呈球面三角形, 集合体呈放射状、束状。其化学成分复杂, 通用化学式 $\text{XY}_3\text{Z}_6\text{B}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{OH}, \text{F})_4$, 其结构中存在着两类八面体位置, 分别为 Z 和稍大一点但有些扭曲的 Y 八面体位置; X 位可由 Ca 或 Na 占据; Y 位由 Mg 和 Fe^{2+} , ($\text{Al} + \text{Li}$) 或 Fe^{3+} (还包括 Mn, Cr, V 和 Ti) 占据; Al^{3+} , Fe^{3+} 或 Cr^{3+} 则可占据 Z 位, B 为三次配位, 没有明显替代; Si 位于四面体位置, 可有部分 Al^{3+} 替代 Si。这种结构复杂的离子替代导致在不同环境下形成不同种类的电气石, 使其成分复杂。而 Mg-Li-Fe 电气石固溶体系列的 3 个端元是黑电气石(富 Fe)、锂电气石(富 $\text{Al} + \text{Li}$) 和镁电气石(富 Mg); 自然界常见黑电气石-镁电气石和黑电气石-锂电气石两个固溶体, 而缺乏锂电气石-镁电气石和锂电气石-钙电气石两个系列; 黑电气石和锂电气石通常与花岗岩和伟晶岩有关, 而镁电气石则通常与沉积岩或变质岩有关。

2 电气石对相关矿床的示踪性

2.1 与电气石相关的典型矿床及地质环境

电气石既可作宝石(颗粒较大者), 又可作为一些金属矿床找矿的指示矿物。就目前已有的资料, 可将自然界中电气石的成因归纳为如下几种: ①花岗岩成因(包括伟晶岩中的电气石); ②与花岗岩有关的热液交代成因; ③变质成因; ④热水沉积成因; ⑤蒸发沉积成因; ⑥碎屑沉积成因。从电气石矿物的成分可以反映矿床形成的环境, 矿床中电气石的出现通常与交代作用有关, 其中的硼或者来自外部来源(花岗岩浆), 或者来自原地物质(如泥质岩、蒸发沉积岩)的淋滤。电气石最重要、最常见的伴生矿床是与花岗岩有关的 Sn-W 矿床, 层控 W 矿床和以沉积岩为容矿岩石的块状硫化物矿床, 与层控和以沉积岩为容矿岩石的矿化有关的电气石据认为是裂谷环境下喷气活动的结果。例如, 南非 Sn-W 矿床、新西兰南岛的 Sn-W-Au 矿床、北美哥伦比亚亚沙利文 Pb-Zn 矿床等; 我国辽东地区的硼矿床和硫铁矿床、山西中条山铜矿床、广西大厂锡多金属矿床等。世界上许多大型、超大型贱金属、金、钨等矿床的电气石往往富镁或属于镁-铁连续固溶体系列, 并与石英一起构成电英岩或电气石岩。Slack 等^[2]认为, 世界一些矿床中电气石岩和石榴石石英岩的共生是硼喷气成因的证据, 这种共生的电气石岩和石榴石石英岩是以含较高的 Fe, Mn, Zn 和 P 为特征的, 这种化学特征可作为一种找矿指示, 形成的电气石岩也可作为时间-

收稿日期: 2002-04-25;

作者简介: 王进军(1970-), 男, 山西永清人, 硕士研究生, 毕业于成都理工学院地质学系, 现为中国地质大学(北京)珠宝学院研究生, 研究方向为矿床矿物岩石。

地层标志,可在勘查层状 Pb-Zn-Ag 矿床时使用,如澳大利亚布洛肯希尔的多金属矿床就属此类。与贱金属有关的富电气石岩或电气石岩,在成因上是由海底喷气作用形成,或与其他的热事件有关,一般形成于裂谷环境或大陆裂陷槽内,电气石岩不但可作为寻找该类矿床的重要标志,而且对其生成构造环境也有较好的指示意义。毛景文^[5]教授认为与锡-钨多金属矿床和锂、铍、铌、钽矿床有关的花岗岩、伟晶岩、细晶岩及云英岩分别含有黑电气石和锂电气石-黑电气石固溶体系列。块状硫化物矿床和蒸发-萨布哈盐类矿床中的电气石为镁电气石-黑电气石固溶体系列,一般富镁。与花岗岩活动有关的矿床及夕卡岩中的电气石为黑电气石-镁电气石固溶体系列,通常相对富铁,偶尔有黑电气石和镁电气石。

2.2 利用电气石中 $w(\text{FeO})/w(\text{FeO} + \text{MgO})$ 比值评价其对矿床勘探的作用

我们主要利用矿床或围岩中电气石成分的 $\text{Fe}^\#$ (即 $w(\text{FeO})/w(\text{FeO} + \text{MgO})$) 研究其与相关矿床的关系, $\text{Fe}^\#$ 能灵敏反映电气石寄主岩类及其成因联系。由于与花岗岩有关的热液 Sn-W 矿化的性质和范围对于垂向矿物分带是敏感的,所以用 $\text{Fe}^\#$ 判断距离对于 Sn-W 矿床勘查和评价有相当重要意义;比较世界各地不同岩石中电气石的 $\text{Fe}^\#$ 值(表 1),可以看出其中以花岗岩为寄主岩石中电气石的 $\text{Fe}^\#$ 比沉积岩为寄主岩石中电气石的 $\text{Fe}^\#$ 高。与花岗岩类有关的电气石通常属于黑电气石—锂电气石成分范围,而与以沉积岩为容矿岩石的矿化有关的电气石则趋向于镁电气石端元。 $\text{Fe}^\#$ 能够从矿床与花岗岩源的距离(由近到远)清楚区分 Sn-W 矿床,具体地说,高的 $w(\text{FeO})/w(\text{FeO} + \text{MgO})$ 和 $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})$ 比值(分别为 0.83 ~ 0.93 和 0.82 ~ 0.97)表示的是与花岗岩系统或近源(距接触带几百米内)脉系有关的电气石; $w(\text{FeO})/w(\text{FeO} + \text{MgO})$ 和 $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})$ 比值介于中间(分别为 0.41 ~ 0.67 和 0.52 ~ 0.91)的表示的是与近源到中源脉系有关的电气石;而较低的 $w(\text{FeO})/w(\text{FeO} + \text{MgO})$ 和 $w(\text{Na}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})$ 比值(分别为 0.06 ~ 0.40 和 0.31 ~ 0.91)则表明电气石及其有关的矿床可能是由流体源运移了很长距离的流体生成的,在距离溶液源 > 1 km 的生成环境。电气石中 $\text{Fe}^\#$ 是电气石离海底喷气孔远近的一灵敏指示参数,离喷口越近越富镁,即为镁电气石。但镁电气石并非只见于喷气岩或喷气矿床,除宝石石常见于伟晶岩、云英岩外,也出现于花岗岩中,我国滇东与花岗岩有关

的高温岩浆热液交代型脉状或层状锡矿中镁电气石也是常见的;新疆花岗伟晶岩大量存在镁电气石。

表 1 各类岩石中电气石成分的 $w(\text{FeO})/w(\text{FeO} + \text{MgO})^{[8]}$
Table 1 The $w(\text{FeO})/w(\text{FeO} + \text{MgO})$ ratio of tourmaline in various rocks

序号	寄主岩类型和产地	$\text{Fe}^\#$
1	英国西南部贫 Li 花岗岩	0.91
2	葡萄牙北部贫 Li 花岗岩	0.86
3	哥伦比亚古代石英岩和泥质岩	0.45 ~ 0.67
4	乌克兰沉积变质片岩和片麻岩	0.42 ~ 0.50
5	美国缅因地区变泥质岩	0.41 ~ 0.55
6	块状硫化物矿床	0.21
7	铜矿峪花岗闪长岩	0.79
8	柿沟条纹状电气石岩	0.73
9	北峪花岗闪长岩和花岗斑岩	0.55
10	地层中电气石石英岩脉	0.42
11	篦子沟赋矿黑云片岩和大理岩	0.45
12	胡加峪赋矿金云母石英白云石大理岩	0.20

表中 $\text{Fe}^\# = w(\text{FeO})/w(\text{FeO} + \text{MgO})$

据 Franco Pirajno^[1] (1992) 认为与花岗岩有关的 Sn-W 成矿系统,热液成因的电气石的成分可远离成矿流体源的远近联系起来。在形成矿物时,对占据晶格同一位置的 Fe, Mg 两元素说, Fe 强烈亲硫而形成硫化物, Mg 亲硫性差而只能赋于造岩矿物或蚀变矿物中,所以花岗岩体内矿床电气石的 $\text{Fe}^\#$ 接近 1, 而逐渐远离花岗岩源的矿床的电气石的 $\text{Fe}^\#$ 则逐渐减少(图 1)。这还要受围岩的影响,正如以 Doctor Hill 花岗岩为容矿岩石中电气石的 $\text{Fe}^\#$ 比以沉积岩为容矿岩石的 Kirwans Hill 中电气石的 $\text{Fe}^\#$ 高。

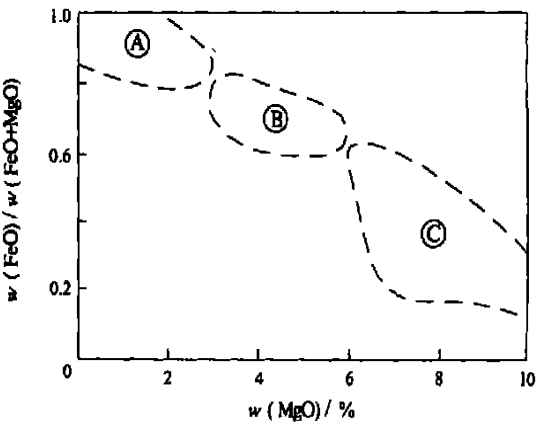


图 1 $\text{Fe}^\#$ -MgO 图解

Fig. 1 $\text{Fe}^\#$ -MgO illustration plot
表示理想的与花岗岩有关 Sn-W 热液系统中近源(A)、近源到中源(B)和远源范围(C)

我国内也有不少矿床如中条山铜矿床^[8,6]、辽东裂谷硫铁矿床^[10]、广西大厂锡多金属矿床^[4]及新疆阿尔泰伟晶岩矿床中电气石可作为找矿依据。中条山矿区中与花岗岩类有关的电气石的 $Fe^{\#}$ 值高, 与变泥(砂)质岩有关电气石的 $Fe^{\#}$ 中等, 块状硫化物矿床中电气石的 $Fe^{\#}$ 最低; 辽东裂谷中硫铁矿成矿带内的电气石岩是一种与硫化物矿层密切伴生的热水沉积岩, 其不同类型电气石之间演化为找矿提供标志, 表现为由近矿围岩到硫化物矿层电气石由富镁向富铁-镁过渡, 而层状矿体到热液改造型矿体电气石则由富铁-镁向富钙镁过渡; 广西大厂锡多金属矿床赋存于泥盆系, 电气石是热液蚀变矿物, 与不同的金属矿物共生, 远离花岗岩体电气石富镁贫铁; 阿尔泰电气石是花岗伟晶岩的产物, 颗粒大, 一般达宝石级。由于国内外一些大型贱金属、金、钨等矿床均有电气石产出, 且分布有一定规律, 往往作为找矿的标志。我们把各矿床中电气石化学成分的 $Fe^{\#}$ 值和 $Na^{\#}$ (即 $w(Na_2O)/w(Na_2O+CaO)$) 值进行投图(图 2), 图中, 所圈定的范围(据黄作良等)分别为山西中条山铜矿区和辽东硼矿区, 与我们所投的点对比可以观察到, 基本位置一致; 山西中条山铜矿、广西

大厂锡矿中电气石的 $Fe^{\#}$ 均大于辽东硼矿床的 $Fe^{\#}$ 值。均说明各矿床成矿带中电气石分布有一定规律, 且与国外一些矿床研究基本相同, 但也有少数矿床不符合该规律, 较为明显的是大厂锡矿中电气石与沙利文以沉积岩为容矿岩石 Pb-Zn 矿床中电气石较相似, 可二者成分在空间上演化完全不同。

除此外, M. R. Palmer 和 J. F. Slack^[2](1989) 通过分析 60 个电气石样品硼同位素组成, 取样是全球性。总的说来, 电气石 $\delta(^{11}B)$ 值变化范围很广, 从 $-22.8 \times 10^{-3} \sim +18.3 \times 10^{-3}$, 虽说电气石 $\delta(^{11}B)$ 值和块状硫化物矿床、电气石岩的年龄、大小、矿物组成和变质程度间无任何相关联系, 然而 $\delta(^{11}B)$ 值数据和岩石背景间确实显示一般的联系, 特别是那些据推测是海相和一些非海相蒸发岩岩系的样品。

3 结论

通过对国内外一些典型矿床研究, 参考前人的研究成果, 我们在一定程度上可以利用不同的生长环境内电气石具有不同光性特征来寻找贱金属、锡、钨、铜、金等矿床。我们主要是通过各个矿区中不同容矿岩石电气石的 $Fe^{\#}$ 值不同, 找出岩石分布规律, 随着离溶液源越远, 其 $Fe^{\#}$ 值逐渐变小, 该值还可以大致推测某种岩石距离花岗岩体的远近。但有些矿床所测结果与这种规律相悖, 所以我们在利用这一规律时, 必须结合同一矿区的其他标志联合判断。

参考文献:

[1] Franco Pirajno. The $FeO/(FeO+MgO)$ ratio of tourmaline: a useful indicator of spatial variations in graniterelated hydrothermal mineral deposits [J]. Journal of Geochemical Exploration, 1992, 42: 371-381.

[2] Palmer M R, Slack J F(沈建中译). 块状硫化物矿床和电气石岩中电气石的硼同位素组成[J]. 国外矿床地质, 1991, 3: 83-101.

[3] 格里芬 W L(程席法译). 块状硫化物矿床和电气石岩中电气石的微量元素——地球化学控制因素及勘查应用[J]. 国外地质科技, 1997, 5: 18-27.

(下转第 174 页)

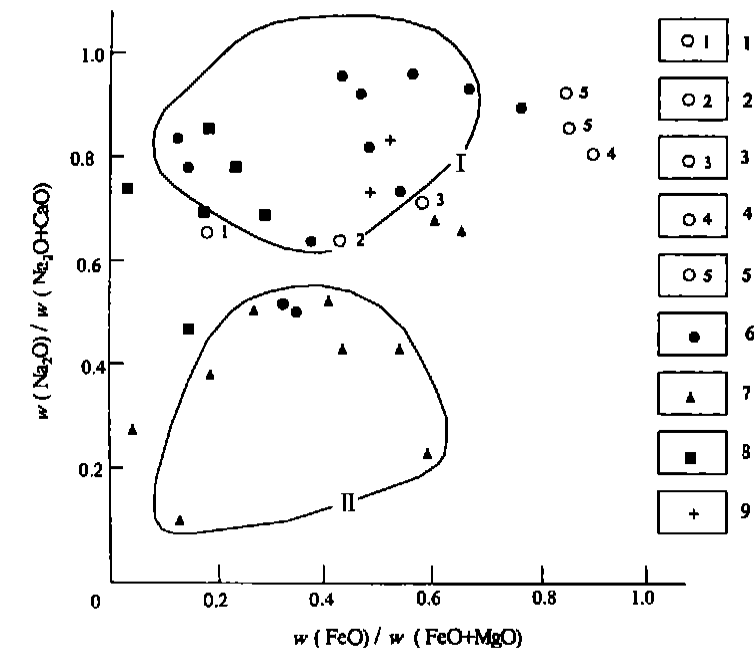


图 2 电气石的 $Fe^{\#}$ - $Na^{\#}$ 图解

Fig. 2 Illustration plot of the $Fe^{\#}$ - $Na^{\#}$ in tourmaline

- 1. 阿巴拉契亚块状硫化物矿床 2. 澳大利亚沉积岩中块状硫化物矿床
- 3. 沙尔布拉克多金属矿床 4. 英国花岗岩 5. 新疆阿尔泰花岗伟晶岩
- 6. 山西中条山铜矿床 7. 辽东裂谷硼矿床
- 8. 广西大厂锡多金属矿床 9. 东秦岭成矿区

ORE FLUID EVOLUTION AND ORE PREDICTION OF
MAGMATIC HYDROTHERMAL GOLD DEPOSITS IN JIAODONG AREA

WANG Tie-jun¹, YAN Fang²

(1. *Tianjin Geological Academy, Tianjin 300061, China*; 2. *Qixia Jinke Gold Mining Ltd., Qixia 365002, China*)

Abstract: Ore formation of magmatic hydrothermal gold deposit was not once completed. It was formed in multiple stages which are not only manifested by ore structures and textures but also by fluid inclusion observations. On the same section or even in the same quartz grain occur different primary fluid inclusions. This indicates that the ascending CO₂-bearing hydrothermal fluid was frequently mixed with the water trapped in fractural zones, i. e. ore fluid was multiply pulsed into the ore-forming system and mineralization is overprinted in the vertical direction. The early mineralization took place in shallow part then as the time passed temperature dropped and ore-forming field shifted to depth i. e. mineralization took place to more depth. Therefore, multiple ore concentrations occur in profile interpaced with barren or poor parts.

Key words: gold deposit; magmatic hydrothermal fluid; ore-forming field; stress field; fluid inclusion; Jiaodong area

(上接第 163 页)

[4] 王登红. 广西大厂电气石的成分与成因初探[J]. 岩石矿物学杂志, 1996, 15(3): 280-288.

[5] 毛景文. 电气石对成岩成矿环境的示踪性及应用条件[J]. 地质论评, 1993, 39(6): 497-507.

[6] 叶松. 山西中条山铜矿田电气石与电气石岩的研究[J]. 岩石矿物学杂志, 1997, 16(2): 160-169.

[7] 冯有利. 电气石在矿床地球化学探矿中的应用[J]. 河南地质情报, 1993, 1: 20-28.

[8] 孙海田. 中条山铜矿区电气石特征及其对成矿作用的示踪意义[J]. 岩石矿物学杂志, 1989, 8(3): 232-242.

[9] 李上森. 前寒武纪富电气石岩石的成因和意义[J]. 国外前寒武纪地质, 1994, (2): 60-73.

[10] 夏学惠. 辽东裂谷带硫化物矿床内电气石系列矿物学与找矿关系[J]. 矿物岩石, 1995, 15(4): 62-71.

[11] 黄作良. 辽东硼矿床中电气石的矿物学特征及成因意义[J]. 岩石矿物学杂志, 1996, 15(4): 365-378.

[12] 薛春纪. 东秦岭泥盆纪山阳—柞水成矿区电气石矿物化学和硼同位素组成[J]. 地球化学, 1997, 26(1): 36-44.

RELATION BETWEEN TOURMALINE CHEMICAL FEATURE
AND RELATED DEPOSIT

WANG Jin-jun¹, ZHAO Feng²

(1. *China university of Geology (Beijing), Beijing 100083, China*;
2. *Xinjiang normal university, 830054, China*)

Abstract: Tourmaline is a silicate mineral containing volatile component occurring together with other minerals as accessory mineral in minor content, but its content is over 60% in the tourmaline rock and is rarely studied before. Studies and exploration of large size Sn and W ore deposits in recent 10 years show close relation of tourmaline with them. Comparison of FeO/(FeO+ MgO) of tourmaline in some of the deposits in China and those abroad, together with boron isotope results for some typical deposits reveal that certain tourmaline characteres correspond to certain ore deposits.

Key words: tourmaline; tin or wolfram ore deposit; ratio; boron isotope