

# 骑田岭岩体黑云母中挥发性组分的演化特征及对锡成矿的指示

李鸿莉<sup>1,2</sup>, 毕献武<sup>1</sup>, 涂光炽<sup>1</sup>, 胡瑞忠<sup>1</sup>, 彭建堂<sup>1</sup>, 双燕<sup>1,2</sup>  
李兆丽<sup>1,2</sup>, 李晓敏<sup>1,2</sup>, 袁顺达<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

挥发性组分 F、Cl 等是花岗质岩浆的重要组成部分, 它可以直接或者间接影响到岩浆的性质和岩浆作用的种种过程, 同时制约着 Sn、Cu 等成矿元素在熔体/流体间的分配、流体体系的地球化学特征以及成矿效应。本文以骑田岭花岗岩体中的黑云母为研究对象, 对骑田岭花岗岩体中挥发性组分的演化特征以及与锡成矿关系进行探讨。

(1) 岩石学、黑云母矿物学特征: 骑田岭岩体主要岩性为中粒斑状角闪石黑云母花岗岩和中细粒黑云母花岗岩。角闪石黑云母花岗岩体  $\text{SiO}_2$  含量为 68.59% ~ 69.96%,  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  值为 7.45% ~ 7.97%,  $A/\text{CNK}$  ( $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ ) 为 1.27% ~ 1.37%,  $\text{FeO}$  (total) 为 4.04% ~ 4.12%,  $\text{TiO}_2$  为 0.49% ~ 0.59%, 分异指数 DI 为 82.10 ~ 84.71, 岩体年龄为 158.6 ~ 162.9 ± 0.4 Ma (毕献武, 未发表)。黑云母花岗岩  $\text{SiO}_2$  含量为 75.07% ~ 76.49%,  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  为 7.95% ~ 8.59w%,  $A/\text{CNK}$  ( $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ ) 为 1.34 ~ 1.41,  $\text{FeO}$  (total) 为 1.64% ~ 1.87%,  $\text{TiO}_2$  为 0.09% ~ 0.12%, 分异指数 DI 为 92.80 ~ 93.93。岩体年龄为 156.7 ~ 153.5 ± 0.4 Ma (毕献武, 未发表)。角闪石黑云母花岗岩成岩早于黑云母花岗岩, 它们为同一岩浆房演化产物。从角闪石黑云母花岗岩到黑云母花岗岩, 岩体的分异演化程度增加。角闪石黑云母花岗岩是锡成矿母岩, 黑云母花岗

岩和锡成矿时间接近, 与锡成矿关系密切。

岩体中黑云母呈片状、鳞片状, 浅黄绿 - 褐红色, 解理完全。角闪石黑云母花岗岩中黑云母  $\text{Fe}/\text{Fe} + \text{Mg}$  变化范围为 0.66 ~ 0.74, 黑云母花岗岩中黑云母  $\text{Fe}/\text{Fe} + \text{Mg}$  变化范围为 0.90 ~ 0.96。黑云母都具有富铁特征, 属于铁云母 - 铁叶云母。角闪石黑云母花岗岩中黑云母  $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$  含量变化范围分别为 5.70% ~ 7.13%, 12.35% ~ 14.84%, 2.86% ~ 6.86%; 黑云母花岗岩中黑云母  $\text{MgO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$  含量变化范围分别为 0.56% ~ 1.78%, 17.41% ~ 20.59%, 1.01% ~ 2.71%。相对于黑云母花岗岩, 角闪石黑云母花岗岩中黑云母  $\text{MgO}$  含量较高, 具富铝、贫钛特征。

(2) 挥发性组分的演化特征: 从角闪石黑云母花岗岩到黑云母花岗岩, 岩体中黑云母的 Cl 含量减少, 但均 > 0.1%, 且花岗岩体中的 Cl 含量随着分异指数的增加而减少 (图 1)。实验研究表明, Cl 在流体 - 熔体相的分配系数  $D_{\text{Cl}}$  均大于 1, Cl 明显趋向于在液相分配。可见骑田岭岩体中 Cl 强烈分配进入流体相。岩体中的 F 含量变化明显, 角闪石黑云母花岗岩体中黑云母的 F 含量几乎接近 0, 而黑云母花岗岩中黑云母的 F 含量变化范围为 0.39% ~ 1.61%, 且花岗岩体中的 F 含量随着分异指数的增加而增加 (图 2)。可见, 随着岩浆分异演化程度的增加, 岩体向贫 Cl 富 F 方向演化。

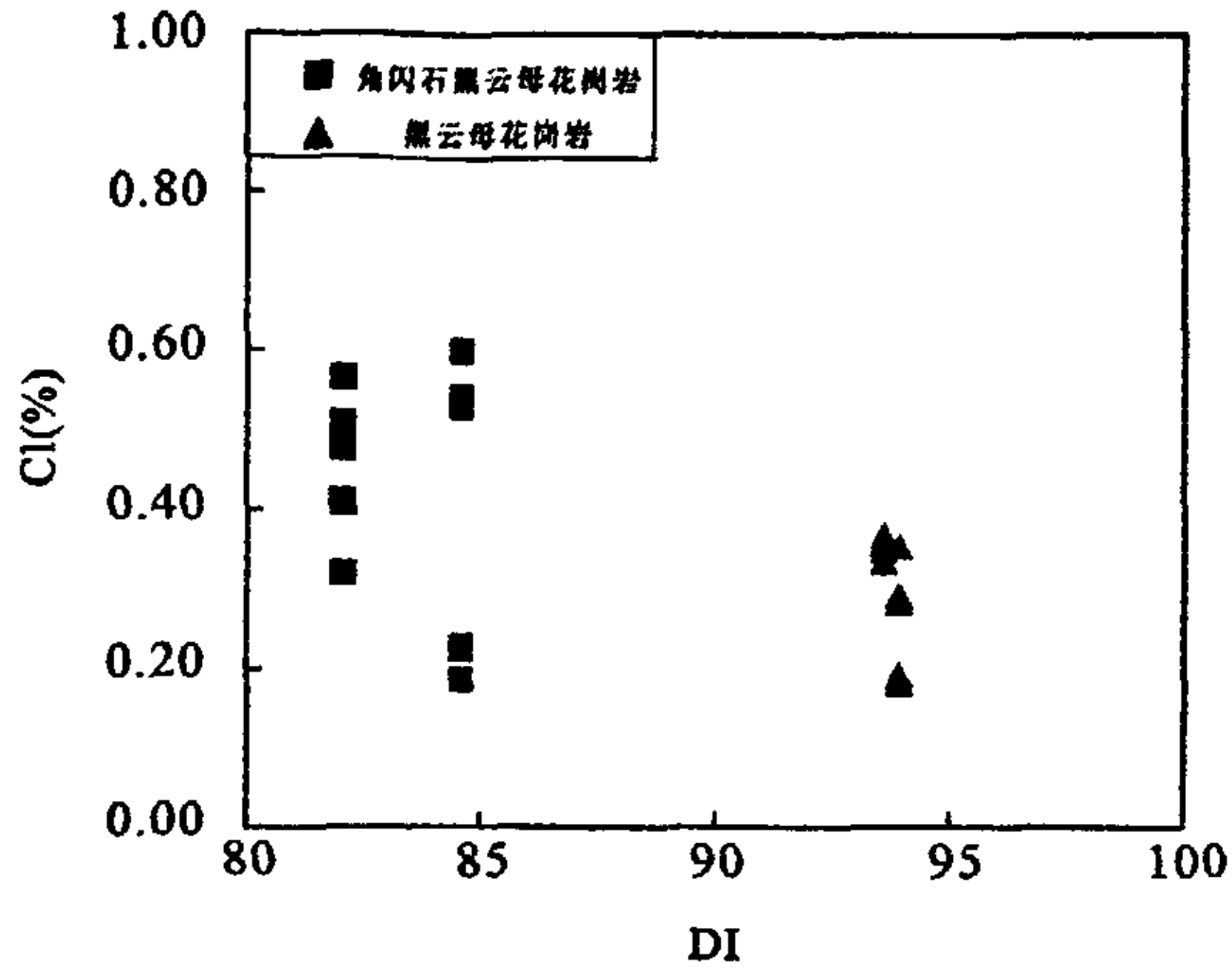


图1 骑田岭花岗岩 DI - Cl 图解  
Fig. 1 The DI-Cl diagram of the Qitianling granite

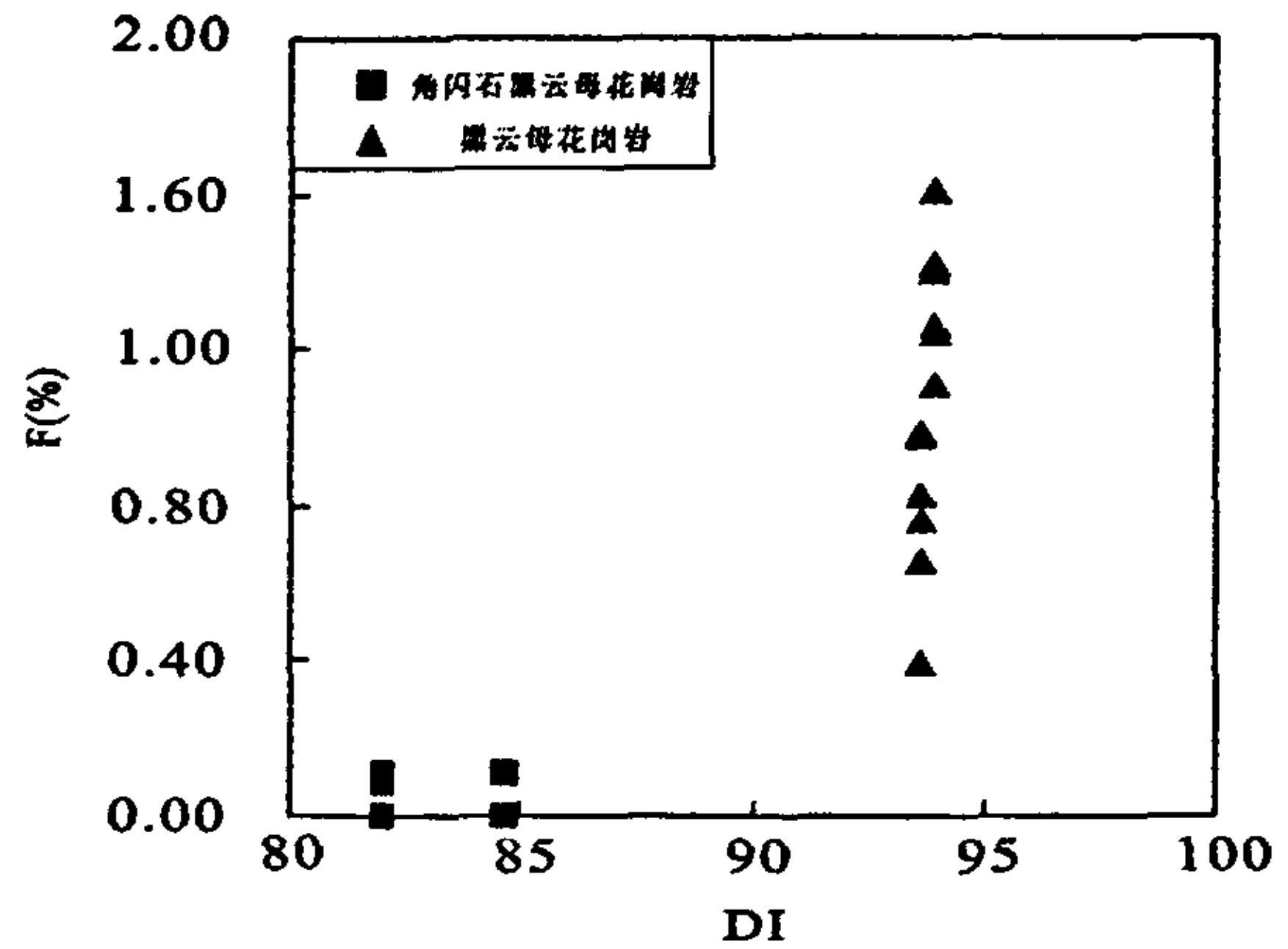


图2 骑田岭花岗岩 DI - F 图解  
Fig. 2 The DI-F diagram of Qitianling granite

(3) 花岗岩体中 Sn 成矿元素演化特征: 岩体中 Sn 含量分析结果表明, 角闪石黑云母花岗岩的 Sn 含量变化范围为  $14.90 \times 10^{-6} \sim 95.80 \times 10^{-6}$ , 黑云母花岗岩的 Sn 含量为  $5.7 \times 10^{-6} \sim 12.8 \times 10^{-6}$ , 且花岗岩体中的 Sn 含量随着分异指数的增加而减少(图 3), 这与 Cl 在岩体中的变化情况一致。Sn 可以强烈地从岩浆进入富 Cl 流体(Keppler 和 Wyllie, 1991)。因此随着岩浆分异程度的增加, Sn 趋向分配进入富 Cl 流体相, 有利于形成锡矿床。

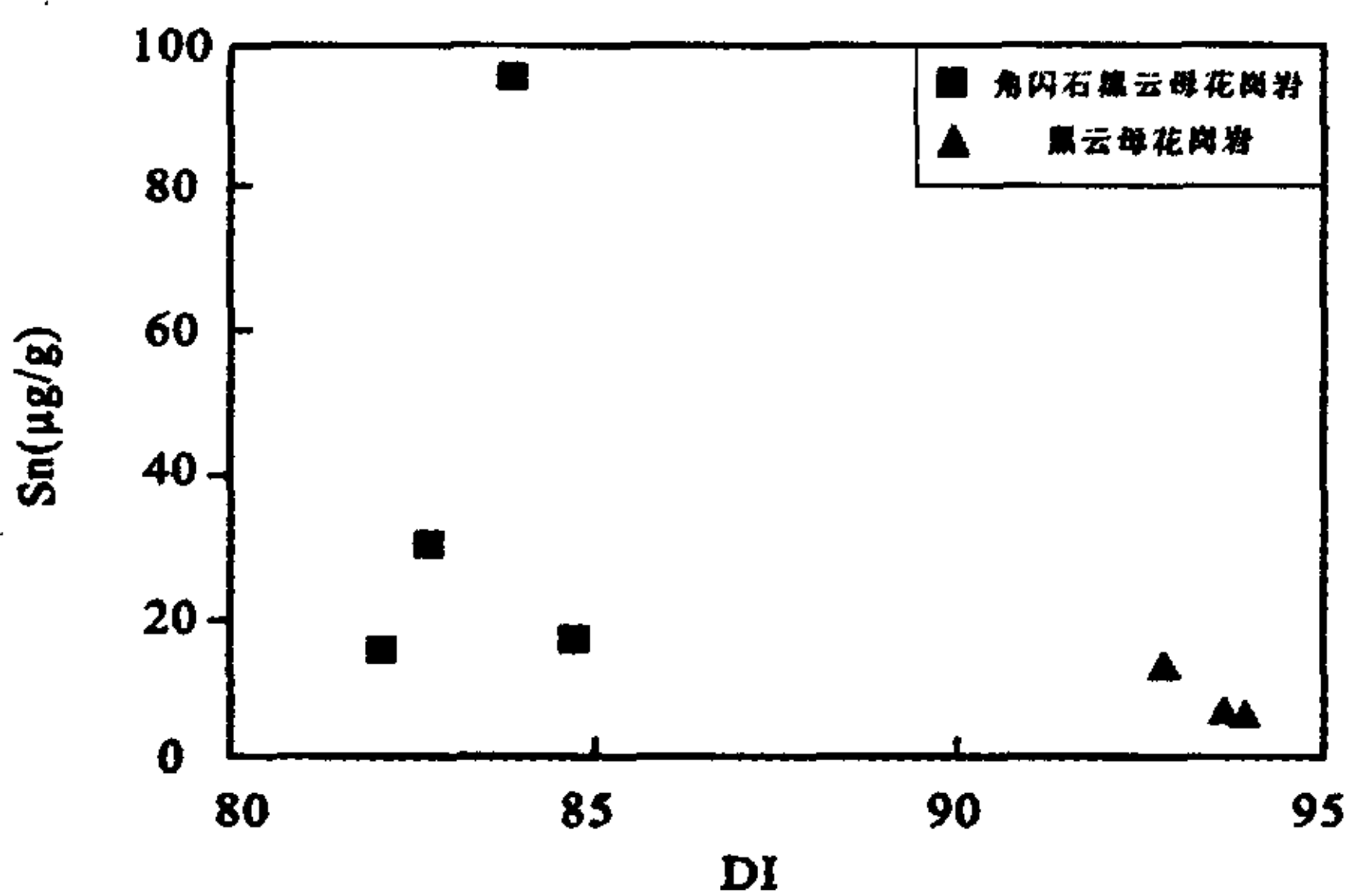


图3 骑田岭花岗岩 DI - Sn 图解  
Fig. 3 The DI-Sn diagram of Qitianling granite

(4) 岩体温度、氧逸度条件对 Sn 成矿的影响: 黑云母矿物学研究发现, 角闪石黑云母花岗岩的结晶温度为  $680 \sim 740^\circ\text{C}$ , 氧逸度  $\lg(f(\text{O}_2))$  为  $-16.00 \sim -15.31$ 。黑云母花岗岩的结晶温度为  $530 \sim 650^\circ\text{C}$ ,  $\lg(f(\text{O}_2))$  为  $-19.20 \sim -17.50$ 。F 含量的增加可明显降低岩浆的固相线和液相

线温度(Manning, 1984; 张德会等, 2004), 骑田岭花岗岩体中的 F 含量随着分异指数的增加而增加。从角闪石黑云母花岗岩到黑云母花岗岩随着结晶温度的降低, 氧逸度也随之减小, 成岩条件由相对氧化向相对还原的方向变化。在较高氧逸度条件下, Sn 以  $\text{Sn}^{4+}$  形式存在。在岩浆结晶过程中,  $\text{Sn}^{4+}$  常置换  $\text{Ti}^{4+}$  进入早期结晶的铁镁质矿物(如磁铁矿、角闪石、黑云母等)中; 而在低氧逸度条件下, Sn 以  $\text{Sn}^{2+}$  形式存在, 由于其离子半径较大, 倾向于在岩浆结晶分异晚期的熔体和流体中富集 Linnen 等(1995, 1996)。低氧逸度花岗岩有利于锡的成矿作用(陈骏, 2000)。熔体中  $\text{SnO}_2$  浓度与温度的函数关系研究认为温度升高, 熔体中  $\text{SnO}_2$  浓度也随之增高(Stemprok, 1990)。骑田岭花岗岩体角闪石黑云母花岗岩成岩  $f(\text{O}_2)$  和温度高于黑云母花岗岩, 高温、酸性、含碱氯化物 ± 氟化物的岩浆热液流体是锡迁移的重要载体(陈骏, 2000)。可见, 随着岩体成岩温度和氧逸度的增加, Sn 趋向分配进入流体相, Sn 可能以氯化物形式迁移。

(5) 与岩体共存流体特征: 黑云母矿物学研究发现, 与花岗岩有关的共存流体的性质研究发现, 与角闪石黑云母花岗岩共存的热液流体  $\lg[f(\text{H}_2\text{O})/f(\text{HF})]^{fluid}$ 、 $\lg[f(\text{H}_2\text{O})/f(\text{HCl})]^{fluid}$ 、 $\lg[f(\text{HF})/f(\text{HCl})]^{fluid}$  值分别为  $4.22 \sim 4.39$ 、 $2.78 \sim 3.24$ 、 $-1.82 \sim -1.73$ , 而与黑云母花岗岩共存的热液流体  $\lg[f(\text{H}_2\text{O})/f(\text{HF})]^{fluid}$ 、 $\lg[f(\text{H}_2\text{O})/f(\text{HCl})]^{fluid}$ 、 $\lg[f(\text{HF})/f(\text{HCl})]^{fluid}$  值分别为  $3.27 \sim 3.53$ 、 $2.85 \sim 3.22$ 、 $-0.75 \sim -$

0.22,可见与两种岩石类型共存热液流体的性质存在明显差异。

(6)成矿流体特征:芙蓉矿田矿石中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为1.74‰~8.48‰,与岩浆期后热液硫同位素组成一致,对矿石中铅同位素组成一致, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为18.608~18.718,与华南地区高中温热液矿床铅同位素相吻合(蒋中和等,2005)。芙蓉矿田似伟晶岩、夕卡岩、锡石硫化物石英脉中的流体包裹体研究发现,成矿热液中阳离子以 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 为主,阴离子以 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 为主,微量气体以 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 为主,从成矿早期到主成矿期至成矿后无石英脉,

盐度逐渐降低,从47%~67wt% NaCl 逐渐降至10%~57%,最后为4%~6%,这些特征表明成矿流体为富含碱金属和挥发组分的岩浆热液(李桃叶等,2005;蒋中和等,2005)。

综上所述,与骑田岭两种类型花岗岩共存流体性质存在明显差异,从角闪石黑云母花岗岩到黑云母花岗岩,随着岩浆的演化,岩浆结晶期后分异出的热液流体向富Cl富Sn方向演化。成矿流体应主要来源于黑云母花岗岩岩浆结晶期后分异出的岩浆热液,骑田岭黑云母花岗岩与Sn成矿具有密切的成因联系。

#### 参 考 文 献:

- 陈骏,王汝城,周建平. 锡的地球化学. 南京大学出版社,2000.
- 蒋中和,魏绍六,黄革非,许以明. 骑田岭芙蓉锡矿田地质特征及矿床成因. 华南地质与矿产,2005,(2):30-38.
- 李桃叶,刘家齐. 湘南骑田岭芙蓉锡矿田流体包裹体特征和成分. 华南地质与矿产,2005,(3):44-49.
- Kepper H, Wyllie P J. Partitioning of Cu, Sn, Mo, W, U and Th between melt and aqueous fluid in the system haplogranite- $\text{H}_2\text{O}$ -HCl and haplogranite- $\text{H}_2\text{O}$ -HCl. *Contrib Mineral Petrol*,1991,109: 139-150.
- Linnen R. L., Pichavant M., Holtz F., et al. The effect of  $f_{\text{O}_2}$  on the solubility, diffusion, and speciation of tin in haplogranitic melt at 850 °C and 2 kbar. *Geochim Cosmochim Acta*,1995,59:1579-1588.
- Linnen R L, Pichavant M, Holtz F, et al. The combined effect of  $f_{\text{O}_2}$  and melt composition on  $\text{SnO}_2$  solubility and tin diffusivity in haplogranitic melt. *Geochim Cosmochim Acta*,1996,60: 4965-4976.
- Stemprok M. Solubility of tin, tungsten and molybdenum oxides in felsic magmas. *Mineral Deposita*,1990, 25: 250-212.