

# 湖南杏枫山矿区电气石地球化学特征及其成因指示意义

邓思琪<sup>1,2</sup>, 彭建堂<sup>1\*</sup>, 夏侯立超<sup>3</sup>, 索梦颖<sup>3</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 550081; 2. 中国科学院大学 地球与行星科学学院, 北京 100049; 3. 中南大学 地球科学与信息物理学院 湖南 长沙 410083)

湘西雪峰山成矿带中的金矿床, 人们普遍认为是造山型金矿床 (Zhu and Peng, 2015; Xu et al., 2017), 而湘中成矿带中的金矿床往往被视为与还原性花岗质侵入岩有关 (彭建堂等, 2021)。杏枫山金矿床处于上述两金矿带的交汇部位, 其矿床成因类型目前尚不明确, 有待深入研究。本文在详细的野外调查和室内岩相学研究的基础上, 对该矿电气石的主量元素、微量元素及 B 同位素进行了研究, 并探讨了其成因指示意义。

杏枫山金矿赋存于新元古界青白口系的浅变质岩中, 矿体由席状石英细脉及脉体两侧的蚀变围岩构成。我们的研究表明, 矿区电气石发育广泛, 主要呈团块状、细脉状分布于石英脉体中。野外及室内研究表明, 该区存在两类电气石: 一类为成矿期电气石, 主要产于 NW 向含矿石英脉体中, 常呈团块状; 另一类为成矿后电气石, 产于 NE 向无矿石英脉体中, 通常呈条带状和细脉状。成矿期电气石晶体细而长, 常呈针柱状, 自形程度较好, 环带发育; 成矿后电气石粗而短, 自形程度较差, 环带不明显, 常伴有裂纹。

在化学组成上, 该区电气石显示出高 Al, 低 K、Na、Ca 以及低  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  值 (平均值 < 0.30) 的特征, 且 Y 位中 Al 含量较低, 在 Henry et al. (2011) 三元分类图解中均属于碱性电气石。尽管该区电气石  $Ca/(Ca+Na)$  值均小于 0.25, 但不同期次电气石的  $Fe/(Fe+Mg)$  值差别明显, 成矿期电气石绝大部分都小于 0.5, 主要为镁电气石, 而成矿后电气石几乎都在 0.5 以上, 为铁电气石。电气石的微量元素和稀土元素含量普遍偏低, 且成矿期电气石相比成矿后电气石更富 Sc、V、Sn、Zr 和 Hf 等元素, 但更贫 Cu 和 Sr, 两者的稀土元素配分模式也存在差异。该区电气石的 B 同位素组成变化较小 (-15.88 ~ -9.37‰), 反映了其 B 的来源较单一。

已有的研究表明, 不同地质环境产出的电气石, 主量元素、稀土元素和 B 同位素等都存在差异 (Jiang et al., 1997; Zhao et al., 2021)。该区成矿后的电气石主要为铁电气石, 表明其很可能与花岗岩有关, 是岩浆热液作用的产物; 尽管成矿期电气石以镁电气石为主, 但其环带发育、Y 位 Al 的含量较低等特征与岩浆热液成因电气石相吻合 (张林奎等, 2018), 其富 Mg 贫 Fe 的特征可能与其远离花岗岩有关 (Pirajno and Smithies, 1992)。该区电气石 B 同位素组成范围与花岗岩具有极高的相似性 (Jiang and Palmer, 1998), 也表明其流体主要来源于花岗质岩浆。围岩蚀变、矿物共生组合及流体包裹体的研究也证实, 该区含电气石的石英脉体是中高温热液的产物 (肖静芸等, 2020)。

该区电气石的  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  值均较低, 表明其形成于还原环境, 这与该矿存在一套还原性的矿物组合 (磁黄铁矿—钛铁矿—毒砂) 相吻合。形成该金矿的还原性的热液很可能是邻近白马山还原性花岗岩分泌的产物。

综合来看, 杏枫山金矿的成矿流体主要来源于花岗质岩浆, 且成矿流体相对还原, 该矿应属于与还原性侵入岩有关的金矿类型 (IRGS 型)。

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (批准号: 41972090) 和国家自然科学基金项目贵州省补助资金 (编号: GZ2019SIG)

**第一作者简介:** 邓思琪, 女, 1996 年生, 博士研究生, 地球化学专业。

**\* 通讯作者:** 彭建堂, 男, 1968 年生, 博士、研究员, 主要从事矿床地球化学研究。

**参考文献:**

- Henry D J, Novak M, Hawthorne F C, et al. 2011. Nomenclature of the tourmaline-supergroup minerals. *American Mineralogist*, 96: 895-913.
- Jiang S Y, Palmer M R, Peng Q M, et al. 1997. Chemical and stable isotopic compositions of Proterozoic metamorphosed evaporites and associated tourmalines from the Houxianyu borate deposit, eastern Liaoning, China. *Chemical Geology*, 135:189-211.
- Jiang S Y and Palmer M R. 1998. Boron isotope systematics of tourmaline from granites and pegmatites: a synthesis. *European Journal of Mineralogy*, 10: 1253-1265.
- Pirajno F and Smithies R H. 1992. The FeO/(FeO+ MgO) ratio of tourmaline: a useful indicator of spatial variations in granite-related hydrothermal mineral deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, 42: 371-381.
- Xu D Y, Deng T, Chi G X, et al. 2017. Gold mineralization in the Jiangnan orogenic belt of South China: Geological, geochemical and geochronological characteristics, ore deposit-type and geodynamic setting. *Ore Geology Reviews*, 88:565-618.
- Zhao K D, Zhang L H, Palmer M R, et al. 2021. Chemical and boron isotopic compositions of tourmaline at the Dachang Sn-polymetallic ore district in South China: Constraints on the origin and evolution of hydrothermal fluids. *Mineralium Deposita*, 56:1-20.
- Zhu Y N and Peng J T. 2015. Infrared microthermometric and noble gas isotope study of fluid inclusions in ore minerals at the Woxi orogenic Au-Sb-W deposit, western Hunan, South China. *Ore Geology Reviews*, 65:56-69.
- 彭建堂, 王川, 李玉坤, 等. 2021. 湖南包金山矿区白钨矿的地球化学特征及 Sm-Nd 同位素年代学. *岩石学报*, 37(3):665-682.
- 肖静芸, 彭建堂, 胡阿香, 等. 2020. 湘中杏枫山金矿床流体包裹体特征及其对矿床成因的指示. *地质论评*, 66(5):1376-1392.
- 张林奎, 张彬, 张斌辉, 等. 2018. 云南南秧田钨矿床电气石的成分和硼同位素特征及成矿意义. *矿床地质*, 37 (03): 481-501.