

# 浅成低温热液金矿床与上覆土壤地球化学特征 一致性：微量元素及汞同位素证据

邓昌州<sup>1,2,3</sup>, 孙广义<sup>4</sup>, David P. Krabbenhoft<sup>5</sup>, James P. Hurley<sup>6</sup>, Lepak F. Ryan<sup>6</sup>,  
胡瑞忠<sup>1</sup>, 毕献武<sup>1</sup>, 李向东<sup>7</sup>, 尹润生<sup>1\*</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. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061; 3. 黑龙江省地质调查研究总院, 黑龙江 哈尔滨 150036; 4. 中国科学院 地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550081; 5. U.S. Geological Survey, Mercury Research Laboratory, Middleton, WI, 53562, USA; 6. Environmental Chemistry and Technology Program, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI, 53706, USA; 7. Department of Civil and Environmental Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong)

近年来, 随着绿色勘查理念的提升, 传统工程验证手段与环保要求矛盾日益突出, 亟待新的勘查方法来提高勘查效率, 降低矿产勘查对植被的破坏。在中国的东北地区, 地质历史时期遭受古亚洲洋, 古鄂霍茨克洋和古太平洋多重构造域的叠加作用, 形成一系列的洋-陆俯冲环境, 并伴生大规模的岩浆活动, 进而发育一批热液矿床。较为著名的有鹿鸣和岔路口斑岩型钼矿, 多宝山、铜山和金厂斑岩型铜矿, 团结沟、高松山和东安浅成低温热液型金矿, 以及翠宏山和小西林矽卡岩型铁多金属矿。热液成矿过程中, 导矿构造和容矿构造容易形成温压梯度, 导致明显的元素和蚀变分带。此外, 不同的温度条件可能会造成稳定同位素(如 Cu, Hg 等元素)不同程度的分馏, 而大气水的加入会带入具有不同分馏特征的成矿物质。因此, 非传统稳定同位素在示踪成矿物质来源和指示热液中心方面有重要的应用潜力。

先锋金矿是东北浅覆盖地区一个典型的浅成低温热液矿床, 由于勘查区内 0 号勘探线槽探查证遗址保留较好, 适合进行系统的样品采集工作。因此, 本文以该矿为例, 通过矿区岩石和土壤微量元素和 Hg 同位素的对比研究, 分析成矿物质来源和成矿环境, 进而探讨 Hg 同位素示踪的可能性。结果表明, 矿区内矿化和非矿化的岩浆岩均显示富集 Rb, Th, U, Zr 和 Hf 元素, 贫 Nb 和 Ta, 以及不同程度的负 Eu 异常的地球化学特征, 指示成矿物质可能就近来源于上述岩石。土壤中 LILE, HFSE 和稀土元素也具有和岩石较为一致的标准化配分模式, 暗示土壤物质主要来自于下覆岩石的风化。矿化岩石 (Au:  $> 0.10 \mu\text{g g}^{-1}$ ) As 几何平均值  $121.9 \mu\text{g g}^{-1}$ , Ag 值为  $4.6 \mu\text{g g}^{-1}$ , Sb 值为  $32.2 \mu\text{g g}^{-1}$ , Hg 值为  $655.9 \text{ng g}^{-1}$ , 明显高于非矿化岩石 (As:  $39.3 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Ag:  $0.8 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Sb:  $3.6 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Hg:  $20.9 \text{ng g}^{-1}$ )。矿化土壤 (Au:  $> 0.10 \mu\text{g g}^{-1}$ ) 上述元素几何平均值含量分别为  $131.2 \mu\text{g g}^{-1}$ 、 $3.4 \mu\text{g g}^{-1}$ 、 $19.6 \mu\text{g g}^{-1}$ 、 $319.2 \text{ng g}^{-1}$ , 与非矿化土壤较为接近 (As:  $72.3 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Ag:  $1.8 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Sb:  $8.8 \mu\text{g g}^{-1}$ ; Hg:  $95.5 \text{ng g}^{-1}$ )。金矿化岩石 Hg 同位素值 ( $\delta^{202}\text{Hg}$ :  $-0.21 \pm 0.70\%$ ;  $\Delta^{199}\text{Hg}$ :  $-0.02 \pm 0.12\%$ ; 2sd) 与非矿化岩石值 ( $\delta^{202}\text{Hg}$ :  $-0.46 \pm 0.48\%$ ;  $\Delta^{199}\text{Hg}$ :  $0.00 \pm 0.10\%$ ; 2sd) 未显示明显差别, 指示 Hg 主要来源于岩浆岩。矿化土壤 ( $\delta^{202}\text{Hg}$ :  $-0.44 \pm 0.60\%$ ;  $-0.03 \pm 0.14\%$ ; 2sd) 和非矿化土壤与岩石显示像似的 Hg 同位素组成特征 ( $\delta^{202}\text{Hg}$ :  $-0.54 \pm 0.68\%$ ;  $\Delta^{199}\text{Hg}$ :  $-0.05 \pm 0.14\%$ ; 2sd), 指示岩石风化过程中未导致明显的 Hg 同位素分馏。岩石风化过程导致 As, Ag, Sb 和 Hg 元素进入土壤, 对环境构成严重威胁。但从矿产勘查角度分析, As-Ag-Sb-Hg 异常组合及 Hg 同位素(特别是非质量分馏 Hg 同位素)特征可能很好的用于浅成低温热液金矿床勘查。

作者简介: 邓昌州, 男, 1985 年生, 博士生, 主要从事岩石学研究。

\* 通讯作者, E-mail: yinrunsheng@mail.gyig.ac.cn