

# 相山铀矿田成矿流体地球化学特征及来源探讨

吴玉<sup>1)</sup>, 潘家永<sup>2)</sup>, 陈正乐<sup>1,2)</sup>, 夏菲<sup>2)</sup>, 王永<sup>1)</sup>, 刘颖<sup>2)</sup>, 阮坤<sup>3)</sup>

1) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081;

2) 东华理工大学, 南昌, 344000; 3) 核工业 290 研究所, 广东韶关, 512026

相山铀矿田是我国最大的火山岩型铀矿田, 长期以来, 一直是国内外众多地质学家的关注和研究的热点。目前针对相山铀矿田成矿流体的来源仍存在较大分歧: 一部分学者认为成矿流体来源于岩浆水和大气降水的混合而形成的“双混合模式”(Chen et al., 1981; 范洪海等, 2003), 另一部分学者则认为成矿流体单纯来源于大气降水, 但与围岩之间发生了一定程度的水-岩相互作用(孙占学等, 2001)。近年来, 越来越多的资料显示部分成矿流体可能来源于富集地幔, 即深源(幔源)流体(杜乐天, 1996; 邱林飞等, 2012)。因此, 有关成矿流体的来源仍是该矿床研究亟待解决的问题之一。本文拟从流体包裹体及矿化蚀变岩的地球化学特征等方面入手, 进一步探讨该矿田的成矿流体地球化学特征及来源。

## 1 矿田地质概况

相山铀矿田位于NE向赣杭火山岩成矿带西南端, 被一大型塌陷式火山盆地所控制, 矿田在平面上呈椭圆形。盆地基底主要为前寒武纪浅变质岩及晚三叠世-早侏罗世沉积岩, 盖层由下白垩统如意亭组( $K_1r$ )和鹅湖岭组( $K_1e$ )火山岩系组成。铀矿化主要赋存于中酸性火山岩和次火山岩的主断裂或次级断裂的破碎带内, 矿体呈脉状、群脉状或似层状产出。沥青铀矿的U-Pb定年显示相山铀矿具有两期铀矿化, 成矿时代分别为113~115Ma和98~99Ma(范洪海等, 2003)。研究表明, 早期铀成矿阶段形成低品位的铀矿体和赤铁矿化、碱交代等蚀变类型; 晚期铀成矿阶段为主要的成矿阶段, 形成沥青铀矿、钛铀矿、铀石等铀矿物, 并伴有明显的萤石化、绢云母化、绿泥石化、黄铁矿化、碳酸

盐化及硅化, 形成紫色萤石、细粒粉红色或灰白色方解石及微晶石英等脉石矿物。

## 2 流体包裹体特征

流体包裹体的样品主要为主要成矿阶段的萤石、方解石和石英, 显微测温结果表明石英流体包裹体中均一温度显示三个峰值, 分别为 140~170°C、200~230°C以及 290~320°C。方解石中流体包裹体的温度基本在 200~290°C之间, 与沙洲铀矿床的成矿流体温度基本符合(黄锡强等, 2008); 紫色萤石的流体包裹体温度可以分为两个峰值, 分别为 140~170°C和 200~290°C, 与邹家山矿床的萤石包裹体测试结果相似(张树明等, 2012)。不同矿物流体包裹体均一温度套合性表明, 200~290°C可能是相山铀矿田的主要成矿温度, 而 140~170°C则可能代表了相山铀矿田存在一个低温成矿温度。流体包裹体盐度变化范围为 2.4%~21.3%, 平均 11.65%, 密度范围在 0.53~1.08g/cm<sup>3</sup>之间, 主要介于 0.8~0.99 g/cm<sup>3</sup>之间, 显示相山铀矿田成矿流体为中-低盐度、低密度流体。

在均一温度-盐度图解中(图 1), 所有数据均分布在石盐饱和曲线和临界曲线之间, 并且与趋势 1 比较吻合, 与趋势 3 呈明显差异, 该现象代表了一种低温-低盐度的流体与另一种中温-中等盐度流体相混合作用(卢焕章等, 2004)。结合前人的研究, 笔者认为在相山地区这两种流体中低温-低盐度的可能是大气降水, 而另一种中温-中等盐度流体则是深部幔汁流体, 这与前人对南岭地区热液型铀矿床(如 302 铀矿床)的认识具有一致性(倪师军等, 1992;

注: 本文为全国危机矿山接替资源找矿项目(编号 20089950), 中国地质调查项目(编号 1212011220936; 12120114032401)和公益性行业科研专项(编号 201011077)资助成果。

收稿日期: 2015-02-26; 改回日期: 2015-03-03; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 吴玉, 男, 1987 年生。博士研究生, 构造地质学, 主要从事矿田构造与矿床地球化学研究。Email: 21wu.yu@163.com。

沈渭洲等,2010)。

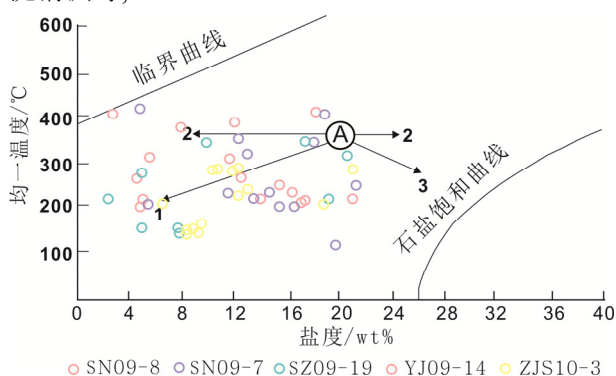


图 1 均一温度-盐度双变量图(底图据 Shepherd, 1985)

### 3 矿化蚀变岩的地球化学特征

前人研究表明  $\text{REE}^{3+}$  与 U 具有相似的离子类型、离子半径和键性以及相似的活化、迁移、富集过程,因而它们之间普遍发生了类质同像的置换并一起沉淀 (McLennan et al.,1979),此外, HREE 具有更强的络合能力,在富集  $\text{CO}_2$  的成矿流体中, HREE 比 LREE 更容易活化、迁移 (Wendlandt et al.,1979; Michard, 1989)。相山铀矿田不同矿床内围岩、蚀变岩及铀矿石的微量和稀土元素分析结果表明,铀矿石相比围岩具有更高的稀土尤其是重稀土元素,暗示在成矿过程中 HREE 与铀矿化关系密切,可能与它们之间的相似性有关。

本次研究还发现,蚀变岩石的稀土含量与围岩的非常相近,且蚀变岩对围岩的标准化曲线呈现出相对平坦的趋势,各稀土元素的标准化值均在 1 左右,暗示稀土元素的迁入与迁出均较弱,说明水-岩相互作用对成矿流体中稀土元素的贡献不大。此外,大气降水和岩浆热液的稀土元素浓度都非常低 (Aubert et al.,2002),加之明显的矿岩时差也暗示铀矿石中的稀土元素来自岩浆热液的可能性较小。因此,笔者推测相山铀矿田中富含稀土尤其是重稀土的流体可能有另外的来源,且与大气水相比,这种流体与蚀变矿化具有更加重要的关系。

围岩-蚀变岩-铀矿石的各微量元素组分之间的相关系数计算结果显示,大部分微量元素与铀的含量呈正相关关系,与围岩相比,铀矿石更加富集碱元素(如 Li、Cs 等)、过渡元素(如 Sc、Ti、Y、Mo 等)、LILE(如 Rb、Sr 等)和 HFSE(如 Nb、Zr、Hf、Th 等),这些特征与地幔流体具有较好的相似性 (Rosenbaum et al.,1996),暗示相山铀矿田成矿流体的另外一种重要的流体可能为地幔流体。

### 4 结论

流体包裹体和矿化蚀变岩的地球化学特征研究表明,相山铀矿田成矿流体主要为中温、中-低盐度、低密度、富含碱金属元素(Li、Cs 等)、过渡元素(Sc、Ti、Y、Mo 等)、HFSE(Rb、Sr 等)、LILE(Nb、Zr、Hf、Th)和 REE 的流体,具有幔源流体来源特征。

### 参考文献 / References

- 杜乐天. 1996. 地壳流体与地幔流体间的关系. 地学前缘, 3(3-4): 172~180.
- 范洪海, 凌洪飞, 王德滋, 刘昌实, 沈渭洲, 姜耀辉. 2003. 相山铀矿田成矿机理研究. 铀矿地质, 19(4): 208~213.
- 黄锡强, 陈正乐, 王平安, 杨农, 鄧剑. 2008. 江西相山铀矿田沙洲矿床流体包裹体研究. 地质力学学报, 14(2): 176~185.
- 卢焕章, 范宏瑞, 倪培, 欧光习, 沈昆, 张文淮. 2004. 流体包裹体. 北京: 科学出版社, 1~487.
- 倪师军, 金景福. 1992. 302 铀矿床热液的混合和沸腾及其地质意义. 成都地质学院学报, 19(4): 9~15.
- 邱林飞, 欧光习, 张敏, 张建锋. 2012. 相山居隆庵矿床铀成矿流体特征及其来源探讨. 矿床地质, 31(2): 271~281.
- 沈渭洲, 凌洪飞, 邓平, 朱捌, 黄国龙, 谭正中. 2010. 粤北 302 铀矿床同位素地球化学研究. 铀矿地质, 26(2): 80~87.
- 孙占学, 李学礼, 史维浚, 周文斌, 刘金辉. 2001. 华东南相山铀矿田的氢氧同位素地球化学研究. 地质与勘探, 37(3): 20~24.
- 张树明, 王蕾, 蒋振频, 郭国林, 安伟涛, 刘金枝, 邵上. 2009. 邹家山铀矿床流体包裹体研究. 铀矿地质, 25(5): 263~269.
- Aubert D, Stille P, Probst A, Gauthier F, Pourcelot L, Del M. 2002. Characterization and migration of atmospheric REE in soils and surface waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66(19): 3339~3350.
- Chen Zhaobo. 1981. "Double mixing" genetic model of uranium deposits in volcanic rocks and relationship between China's Mesozoic vein-type uranium deposits and Pacific tectonics. *Metallogensis of Uranium. Proceedings of the 26th IGC, Geoinstitute, Beograd* 65~97.
- McLennan S M, Taylor S R. 1979. Rare earth element mobility associated with uranium mineralisation. *Nature*, 282: 247~250.
- Michard A. 1989. Rare earth element systematics in hydrothermal fluids. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53(3): 745~750.
- Rosenbaum J M, Zindler A. 1996. Mantle fluids: evidence from fluid inclusions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60(17): 3229~3252.
- Wendlandt R F, Harrison W J. 1979. Rare earth partitioning between immiscible carbonate and silicate liquids and  $\text{CO}_2$  vapor: results and implications for the formation of light rare earth-enriched rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69(4): 409~419.