

桂北沙子江铀矿床碳、氧、硫同位素特征及其对成矿过程的指示

石少华^{1, 2}, 胡瑞忠¹, 温汉捷¹, 孙如良³, 王加昇^{1, 2}, 陈恒^{1, 2}

(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 100049, 3. 广西 310核地质大队, 广西 桂林 541213)

沙子江矿床位于广西桂林市资源县境内, 是苗儿山铀矿田内重要的花岗岩型铀矿床之一, 在上世纪 60~70年代桂北普查会战时由原中南地勘局发现并提交储量, 经近年来补充勘探已经落实为大型铀矿床。苗儿山铀矿田是中南地区五大铀矿田之一, 其内分布有著名的我国最大规模的碳硅泥岩型铀矿床——铲子坪矿床, 及双滑江、孟公界、白毛冲等诸多花岗岩型铀矿床。尽管前人对该铀成矿区进行了大量的找矿勘探和专题研究, 但同位素研究明显薄弱。本文拟通过对不同成矿阶段所形成的方解石及成矿过程中贯通性脉石矿物黄铁矿进行稳定同位素特征研究, 并结合矿床地质特征, 探索沙子江矿床铀的迁移过程及沉淀富集机制, 并为进一步研究和探讨苗儿山地区铀成矿规律提供一定的依据。

1 地质概况

沙子江矿床大地构造位置处于华南扬子板块江南被动陆缘隆起带南缘, 苗儿山越城岭花岗岩穹窿构造西翼的苗儿山岩体中段, 南东侧为华夏岛弧系。苗儿山—越城岭花岗岩穹窿构造区是我国南岭铀—多金属成矿带中的重要成矿区, 除去苗儿山矿田, 东翼越城岭隆起边缘晚古生代拗陷区分布有我国著名的碳硅泥岩型铀矿田——全州矿田。中部的新资断陷红盆内分布有众多铀矿点、矿化点, 并发现了不少异常点、带, 为很有远景的铀成矿区。在苗儿山岩体中段及越城岭岩体东侧中上泥盆统见基性岩浆侵入, 时代不详。矿床产在苗儿山岩体中段印支期的豆乍山岩体与香草

坪岩体接触带附近。矿区构造发育, 并伴有较多次级构造裂隙, 呈束状构造群排列。构造变异部位及两岩体的接触带常控制了铀矿化的分布。矿体多呈透镜状、脉状及楔状侧幕式排列, 具尖灭再现、膨胀收缩、分支复合等特点。矿石矿物主要为沥青铀矿, 呈浸染状、脉状、肾状及球粒状等产出。另有铀黑、钙铀云母、铜铀云母、钙铀铀矿等次生铀矿物。与成矿关系紧密的脉石矿物主要有微晶石英、紫黑色萤石、酱红色方解石及胶状、尘封状黄铁矿等。白毛冲矿床及孟公界矿床为邻区两个中小型花岗岩型铀矿床, 地质特征与沙子江矿床类似。

2 碳、氧同位素

2.1 样品采集及分析测试

用以 C、O同位素研究的方解石样品均采自沙子江矿床坑道及其外围钻探岩心, 根据方解石的产状、颜色等可分为成矿早期、主成矿期及成矿晚期三种。样品测试在中国地质科学院矿产资源研究所完成, 采用 100%磷酸法, 分析精度为 $\pm 0.2\%$ 。从成矿早期到成矿晚期, $\delta^{13}C_{\text{PDB}}$ 值 (-2.8% ~ -11.0%) 总体呈降低趋势, 而 $\delta^{18}O_{\text{SMOW}}$ 值 (6.9% ~ 15.9%) 总体则呈增高趋势, 两者具明显负相关关系。

2.2 成矿过程中 CO₂ 的动态

华南花岗岩型铀矿床多数为典型的中低温热液铀矿床, 成矿热液中铀大部分以碳酸铀酰络离子形式迁移, CO₂ 作为矿化剂将富铀围岩中铀活化为可迁移的碳酸铀酰络离子。碳同位素是示踪成矿流体中 CO₂ 来源的有效方法, 由于沙子江矿床中矿物共生组合简单, 方解石的 $\delta^{13}C$ 值可近似

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (2007CB411400); 国家自然科学基金资助项目 (40634020)

作者简介: 石少华, 男, 1979年生, 博士研究生, 地球化学专业, 从事矿床地球化学研究

代表成矿流体中碳的同位素组成。沙子江矿床各阶段成矿流体碳同位素组成多数集中在 -5% ~ -9% 之间, 显示成矿流体中碳以岩浆地幔碳为主导, 混合了少量有机及沉积碳酸盐来源, 且占主导地位。碳来源于地幔而非岩浆。苗儿山矿田 3 期主成矿作用年代 104 Ma ~ 74 Ma 及 53 Ma (待发表数据) 与胡瑞忠等 (2004, 2007) 统计的基性脉岩年代学数据反映的晚中生代以来华南地区岩石圈伸展的期次 ($145 \sim 135 \text{ Ma}$ $125 \sim 115 \text{ Ma}$ $110 \sim 100 \text{ Ma}$ $95 \sim 85 \text{ Ma}$ $75 \sim 70 \text{ Ma}$ $55 \sim 45 \text{ Ma}$) 对应, 暗示了地幔来源 CO_2 加入成矿流体是通过岩石圈伸展导致地幔去气作用实现的。沙子江矿床方解石 $\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{18}\text{O}$ 呈明显负相关关系, 暗示了成矿流体去气 (CO_2) 作用是方解石沉淀的最主要控制因素。成矿流体发生减压沸腾是去气作用实现的重要途径。去气作用在导致方解石沉淀的同时, 导致了富铀热液中稳定迁移的碳酸铀酰络离子解体, 有利于铀的沉淀。

3 硫同位素

3.1 样品采集及分析测试

用以 S 同位素研究的黄铁矿样品采自沙子江矿床坑道及矿床外围钻探岩心, 作为对比, 同时采集了邻区白毛冲矿床及孟公界矿床内与矿体紧密共生的几个黄铁矿。与成矿关系密切的黄铁矿常形成相对粗大的单矿物脉或复矿物脉, 呈胶状、偏胶状及尘封状, 偶然呈半自形他形晶体。样品测试在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完成, 采用连续流同位素质谱仪测定硫同位素组成, 分析精度 $\pm 0.2\%$ 。沙子江矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 值分布在 -18.36% ~ -8.92% , 均值 -11.62% 。邻区孟公界及白毛冲两矿床具非常稳定且相似的硫同位素组成, $\delta^{34}\text{S}$ 值分布在 -30.51% ~ -27.64% , 均值 -29.49% , 显示出了与沙子江矿床差异显著的硫同位素组成。

3.2 成矿过程中硫的动态

众所周知, 铀的沉淀经历了从易迁移的 U^{6+} 形式到在大多数地质环境中稳定存在的 U^{4+} 形式的还原过程。能够营造还原场的因素是多方面的: 围岩蚀变、有机质及还原性硫 (硫化物) 等。赵凤民等 (1986) 实验证实, 黄铁矿是铀沉淀的重

要还原剂, 且真正起还原作用的为 S^2- , 与铀矿体共生的黄铁矿既有可能是热液中没有溶解完全的原生黄铁矿, 也有可能是强还原场下还原早阶段沉淀的赤铁矿而新生的黄铁矿。结合前部分方解石碳、氧同位素分析, 推测沙子江矿床铀的沉淀是多因素耦合作用的结果, 且目前阶段以下两种因素似乎可以得到证实: 流体去气 (CO_2) 作用及还原作用。 S^2- 作为作为铀沉淀重要还原剂之一, 查明其来源对探讨铀成矿机理至关重要。矿床内矿物共生组合简单, 黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 可以近似代表成矿流体中总硫同位素组成。沙子江矿床成矿流体中总硫同位素组成为 -18.36% ~ -8.92% , 均值 -11.6% , 显著区别于海洋硫酸盐及幔源硫同位素组成, 与岩石酸度增大导致的硫同位素变化的特征一致, 表明硫源稳定, 主要来源于赋矿的花岗围岩, 且发生了明显分馏作用。而邻区的孟公界及白毛冲矿床成矿流体中硫同位素组成为 -30.51% ~ -27.64% , 均值 -29.49% , 与沉积来源硫同位素组成相似, 强烈富轻硫, 具明显生物成因硫的特征。谢晓华等 (2008) 研究表明区内赋矿的豆乍山岩体源岩为上地壳富粘土质的泥岩。据此, 笔者推测孟公界及白毛冲矿床成矿流体中硫可能较多的继承了赋矿花岗岩源岩中沉积硫的特征。

4 结 论

(1) 沙子江矿床成矿流体中 CO_2 主要来源于地幔脱气作用, 混和了少量有机及沉积碳酸盐来源。 CO_2 在成矿过程中的重要性体现在两方面: 作为矿化剂活化迁移了富铀的花岗围岩中的铀; 由减压沸腾引起的流体去气 (CO_2) 作用, 导致方解石的沉淀和碳酸铀酰络离子解体, 并有利于铀的沉淀。

(2) 铀的沉淀可能是多因素耦合作用的结果, 除去流体去气作用外, 还原作用在沙子江矿床中表现显著, S^2- 作为重要的还原剂, 对铀沉淀也起了很大的作用。沙子江矿床成矿流体中硫主要来源于赋矿的花岗围岩, 且发生了明显的分馏作用。而邻区的孟公界及白毛冲矿床则更多继承了赋矿花岗岩源岩中沉积硫的特征。

致谢: 野外工作得到了广西 310 核地质大队、金源铀业公司桂林分公司及核工业 230 研究所的大力帮助, 作者在此一并表示衷心的感谢。