文章编号:1671-4814(2012)02-096-05

浙江大桥坞铀矿床铅、氢、氧同位素研究

陈健,王正其

(东华理工大学地球科学学院,江西抚州,344000)

摘要:浙江大桥坞矿床是赣杭火山岩铀成矿带重要的铀矿床之一。本文通过对大桥坞铀矿床铅、氢和氧同位素 及前人资料的综合研究,探讨了矿床成矿流体和成矿物质来源。结果表明花岗斑岩、凝灰岩、辉绿岩、矿石中黄铁 矿、蚀变围岩中黄铁矿的 Pb 同位素组成变化较小,可能指示它们具有相似的源区。在铅同位素构造环境判别图解 中,铅同位素投影点分布范围较广,但多数集中于地幔和造山带演化线之间,偏向造山带,反映了铅的来源与岩浆 活动有关。氢、氧同位素组成显示,成矿流体主要来自大气降水。成矿物质来源于壳幔混合源。

大桥坞矿床是典型的火山岩型铀矿床。前人对 其成矿物质来源认识,主要是通过碳、氧、硫同位素 等研究手段获得与认知,然在成矿流体来源示踪方 面相对欠缺。笔者利用铅、氧同位素地球化学特征解 决成矿物质来源,以加深认识铀成矿作用,从而为该 区域提供必要的基础地球化学数据。

1 矿床地质概况

大桥坞铀矿床位于赣杭构造火山岩铀成矿带江 山-绍兴段北侧,新路火山断陷盆地南缘,受北东向 萍乡-绍兴区域性深大断裂带控制。矿床位于古生代 白沙-神功复背斜核部与姜孟-双桥断裂的交汇部 位。该地区处于扬子板块与华夏板块的缝合带,经历 了长期复杂的地质发展历史。矿区构造以断裂和火 山构造为主。断裂非常发育,NNE向双桥断裂、NE 向东湾断裂为区内主干断裂。其中NW向断裂展布 方位与铀矿体走向一致,往往直接赋存有铀矿体,对 大桥坞矿床铀矿体的产出和空间分布起着重要的控 制作用。该两条断裂贯穿全区,规模大,活动历史长, 属切层深断裂,是区内控制次火山及热流体活动的 重要断裂。 矿区出露地层较为简单,均为上侏罗统黄尖组。 岩性主要为灰紫色流纹质含砾晶屑凝灰岩、晶屑熔 结凝灰岩、角砾熔结凝灰岩及灰紫色、紫红色含砾凝 灰质砂岩、粉砂岩、沉凝灰岩等。其中主要赋矿层位 为黄尖组第2段第1层。需要说明的是,花岗斑岩及 矿床围岩蚀变发育的黄尖组晶屑凝灰岩中的斑晶或 石英矿物多发育网状裂隙或碎裂状,岩石也往往具 碎裂构造,表明其遭受了较强的隐爆作用。此外,矿 区范围内发育若千基性辉绿岩脉,沿北西向断裂侵 入或充填,走向约310°~330°。矿体形态主要以脉状 为主,其次为透镜状、团块状等,矿体产状40°~55° ~60~70°。主矿体走向延伸100 m~200 m,倾向延 深50 m~100 m,矿体视厚1.3 m~5.0 m,最大厚度 24.5 m。矿体赋存标高集中在100 m~200 m。

矿石矿物有沥青铀矿、赤铁矿、黄铁矿等。脉石 矿物有萤石、方解石、绿泥石和水云母等。矿石为胶 状结构,浸染状构造。近矿围岩蚀变主要有绢云母 化、红化(赤铁矿化)、萤石化及少量黄铁矿化、碳酸 盐化等。其中绢云母化较为广泛。大桥坞铀矿床中 铀的成矿作用有多期多阶段叠加的特点,其成矿主 要分为早、晚两个成矿期,成矿年代为120~130 Ma、90~100 Ma^[1-4]。

^{*} 收稿日期:2011-07-04

基金项目:核工业地质勘查基金资助。

第一作者简介:陈健(1984~),男,硕士研究生,地球化学专业,研究方向:矿床地球化学。



图1 浙江大桥坞铀矿床地质简略图

Fig. 1 Sketch geological map of Daqiaowu uranium deposit, Zhejiang Province

2 样品采集和分析方法

采集的样品主要为红化花岗斑岩、红化凝灰岩、 紫色含矿萤石脉、辉绿岩、矿石、蚀变围岩等。采集方 法为拣块法。Pb 同位素测试分析在核工业北京地质 研究院同位素室进行。全岩样品用HNO3 和HF 溶解 后过阴离子交换树脂提取Pb,蒸干。磷酸提取样品, 单铼带硅胶做发射剂质谱测试。Pb 同位素比值测定 采用 Finnigan Triton 固体同位素质谱计,测定误差 小于0.05%,对样品的Pb 同位素结果已根据相同条 件下测量的 N1ST 标准 Pb-981 用 Todt 等(1996)推 荐标准值进行质量分馏校正。H、O 同位素研究以萤 石矿物流体包裹体为测定对象研究其成矿流体同位 素组成,在中国地质科学研究院分析测试中心完成。

3 同位素组成特征

3.1 铅同位素

表 1 为 Pb 同位素测试结果。花岗斑岩的 ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb分别为39.303~ 38.950,15.542~15.575,18.125~18.950。黄尖组 凝灰岩的²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb分别为 38.537 ~ 39.845, 15.564 ~ 15.579, 18.243 ~ 18.536。辉绿岩的²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁶Pb /²⁰⁴Pb分别为38.330~38.740,15.543~15.594,

Table 1 Lead isotopic compositions of Dagiaowu uranium deposit						
序号		岩性	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	备注
1	DQW-04	花岗斑岩	38.303	15.542	18.125	
2	DQW-17a	花岗斑岩	38.950	15.575	18.950	
3	DQW-09	凝灰岩	38.537	15.579	18.243	
4	DQW-45	凝灰岩	38.845	15.564	18.536	
5	DQW-42	辉绿岩	38.740	15.594	18.555	
6	DQW-43	辉绿岩	38.330	15.543	18.377	
7	D QW- 14	黄铁矿	38.242	16.048	28.633	晚期矿石
8	DQW- 51	黄铁矿	38.067	15.529	18.739	
9	DQW-38	黄铁矿	38.125	15.524	18.065	蚀变围岩
10	DQW-17	黄铁矿	38.391	15.582	18.147	

表 1 大桥坞矿床 Pb 同位素组成

注:样品由核工业测试分析中心同位素室测定

18.377~18.555。晚期矿石黄铁矿的²⁰⁸ Pb/²⁰⁴ Pb、 ²⁰⁷ Pb/²⁰⁴ Pb、²⁰⁶ Pb/²⁰⁴ Pb 分别为 38.067~38.424, 15.527~16.048,18.739~28.377。蚀变围岩黄铁矿 的²⁰⁸ Pb/²⁰⁴ Pb、²⁰⁷ Pb/²⁰⁴ Pb、²⁰⁶ Pb/²⁰⁴ Pb 分别为38.125 ~38.393,15.524~15.582,18.065~18.147。

大桥坞矿区发育的花岗斑岩的²⁰⁸ Pb/²⁰⁴ Pb、²⁰⁷ Pb/²⁰⁴ Pb、²⁰⁷ Pb/²⁰⁴ Pb、²⁰⁶ Pb/²⁰⁴ Pb 平均值分别为 38.627、 15.559、18.538;与之相对应,黄尖组凝灰岩 Pb 同位 素组成平均值分别为 38.691、15.572、18.390;辉绿 岩的²⁰⁸ Pb/²⁰⁴ Pb、²⁰⁷ Pb/²⁰⁴ Pb、²⁰⁶ Pb/²⁰⁴ Pb 平均值分别 为38.535、15.569、18.466。显然,铀矿石和蚀变围岩 的黄铁矿 Pb 同位素组成(除DQW-14 外),与上述三 个岩石单元的Pb 同位素组成基本一致,不同样品Pb 同位素组成数值柱状图重合性较好(图2)。显示成矿 物质来源可能与黄尖组凝灰岩、或花岗斑岩、或辉绿 岩有相似的源区特征。





3.2 H、O同位素

萤石单矿物流体包裹体δ¹⁸O、δD 同位素测定结 果列于表2。

表2 大桥坞矿床成矿流体氢、氧同位素测定结果

Table 2 H and O isotope analysis results of Daqiaowu uranium deposit

样号	δ ¹⁸ O(‰)	δD(‰)	测定对象
DQW-14	-10.7	-83	
DQW-51	-10.2	-86	萤石

萤石的同位素组成可以很好的反映成矿流体的 H、O 同位素组成特征。结果显示,来自矿石的2 个萤 石样品流体包裹体的 δ^{18} O、 δ D 组成非常接近, δ^{18} O、 δ D 平均值分别为一10.5%、一85%。地幔的 δ D 值 稳定在一80%左右,其变化是由于岩浆期后或岩浆 后期发生在陆壳或洋壳内的各种动力过程引起的, 非均一性的来源可能与地幔去气和地壳物质的再循 环有关^[5]。在 δ D- δ^{18} O 图解中(图3),数据投影点远 离岩浆水和变质水,而落在大气降水线右侧。产生上 述现象的原因可能有两个,其一是大桥坞矿床晚期 铀成矿流体中的H₂O 主要来自大气降水或地表水; 其二也可能是成矿流体结晶过程使得晚期流体相中 重氧亏损的结果^[6]。



图 3 大桥坞矿床晚期成矿流体 6D-6¹⁸O 图解

Fig. 3 $\delta D - \delta^{18}O$ diagram of for the late – stage ore – forming fluid of Daqiaowu uranium deposit

4 讨论

在铅同位素构造环境判别图解上(图4)[7],花岗 斑岩岩石铅同位素投点位于地幔和造山带演化线之 间,这与通过岩石化学特征研究得出的花岗斑岩形 成的构造环境为强烈褶皱带,酸性岩系变质基底上 层深熔产物的结果一致。凝灰岩、辉绿岩和蚀变围岩 黄铁矿岩这三种脉岩的铅同位素组成非常接近。这 三种脉岩的铅同位素投点均位于地幔和造山带演化 线之间,显示这三种脉岩可能由同一原始岩浆演化 而成,并与花岗斑岩形成于相似的构造背景。在 ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 图中(图4a),显示各铅同位 素值投点均集中在造山带铅演化曲线附近,有向下 地壳过渡的趋势。上述现象可能说明,铅源属地壳源 铅。在206Pb/204Pb-208Pb/204Pb 图中(图4b),各铅同 位素值投点构成较好的线性关系,这可能有以下几 个方面的原因:① 铅同位素分析数据少,个别数据 可能造成这种线性关系的假象。② 成矿过程中U 体 系发生了较大变化,而Th 体系变化相对较小。③ 个 别点紧靠花岗斑岩,可能说明部分铅直接来自岩体, 而大部分铅可能是火山岩铅与岩体铅混合结果。

为进一步示踪成矿物质来源,笔者根据矿床 中²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 和²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 比值相对于地幔同类比 值的相对偏差 Δ_i^2 和 Δ_i^2 进行示踪,如式(1)和式(2)所 示:

 $\Delta_4^7 = 1000 \times (\beta - \beta_{\rm m}) / \beta_{\rm m} \tag{1}$

$$\Delta_4^8 = 1000 \times (\gamma - \gamma_{\rm m}) / \gamma_{\rm m} \tag{2}$$





1-花岗斑岩;2-凝灰岩;3-辉绿岩;4-成矿期矿石黄铁矿;5-蚀变围岩黄铁矿

式(1)和式(2)中 β 为所测样品的²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb的分析 值。 γ 为样品的²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb的分析值。 β_m 为地幔的 ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb值(15.33)。 γ_m 为地幔的²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb值 (37.47)。通过计算后投点于 $\Delta_4^7 - \Delta_4^8 \gtrsim$ 系图中(图5) 显示出,所测样品的数值主要落于上地壳与上地幔 的混合铅区域,少部分位于上地幔铅区、上地壳与中 下地壳混合铅区。这表明矿床的铅源较复杂,大部为 壳源,少数为幔源铅。





Fig. 5 $\Delta_4^7 - \Delta_4^8$ genetic classification discrimination diagram of lead isotopes of ores and wall rocks from Daqiaowu uranium deposit

I-上地幔铅; I-深下地壳或与上地幔混合铅; I-中下地壳或与深下地壳混合铅; N-上地壳与上地幔混合铅; V-上地壳与中下地壳混合铅 1-花岗斑岩; 2-凝灰岩; 3-辉绿岩; 4-成矿期矿石黄铁矿; 5-蚀变围岩黄铁矿

目前已知,地幔来源岩石的δ¹³C值为-5± 2‰^[9]。沉积碳酸盐碳的δ¹³C值为0%±。有机碳的 δ¹³C值为-25%±(Faure,1986)。大桥坞铀矿床邻 区 670 矿床成矿期脉石矿物方解石,其碳同位素 万方数据 $(\delta^{13}C = -0.66\% \sim -4.08\%)$ 与同深部岩浆来源碳 $(\delta^{13}C = -7\%)$ 类似,反映大桥坞矿床成矿物质的深 源特征^[10-11]。此外,该矿床早成矿期的($\delta^{13}C = -$ 0.66‰ $\sim -1.04\%$)偏高,碳同位素组成和沉积来源 碳($\delta^{13}C = 0$)相近,表明该矿床可能有部分碳来源于 周围的变质地层。这进一步佐证了早成矿期、黄尖组 与地壳关系密切。晚成矿期成矿流体为深部岩浆来 源,可能受幔源物质影响的推测。丘志力等^[12]测定 了大桥坞铀矿床主成矿期的方解石 $\delta^{13}C = -$ 4.075‰和黄铁矿平均 $\delta^{34}S = +1.94\%$,其碳、硫同 位素特征与典型幔源流体的 $\delta^{13}C = -2\% \sim -8\%$) 及 $\delta^{34}S = 0 \sim 3\%$ 相一致,进一步证实了大桥坞铀矿 床成矿期成矿流体具有幔源特征。

据杨建明^[13]大桥坞铀矿床邻区 670 矿床氧同位 素 $\delta^{18}O_{H_2O} = -6.38\% \sim +6.99\%$,变化范围宽。早成 矿期 $\delta^{18}O_{H_2O} = -1.98\%$,流体来源可能为岩浆水和 大气降水混合($\delta^{18}O_{H_2O} = -20\% \sim 0\%$)。晚成矿期 $\delta^{18}O_{H_2O} = 6.99\%$,氧同位素组成类似岩浆水($\delta^{18}O_{H_2O} = 6.99\%$,氧同位素组成类似岩浆水($\delta^{18}O_{H_2O} = -6.38\%$,与郑淑 惠^[14] $\delta^{18}O_{H_2O} = -6.00\%$ 的结果类似,表明成矿后期 溶液主要由大气降水组成。早期成矿流体拥有的如此 大量的 H₂O 组分,不可能直接来自岩浆期后热液,也 不可能源自地壳深部的酸性系列岩浆源区,更不可能 来自地幔,最大的可能是深循环的地表水所致。

5 结论

综上讨论,大桥坞矿床早期成矿流体可能为岩 浆水和大气降水混合形成,以H₂O为主要溶剂。H₂O 来源于深循环的地表水,成矿后期溶液主要由大气 降水组成。矿床不同成矿阶段成矿热液的来源都有 差异,只不过是矿床成矿流体的混合比例不同。地幔 流体参与该矿床的成矿作用过程是必然的。铀矿石、 花岗斑岩及黄尖组凝灰岩是壳幔物质相互作用不同 阶段形成的系列产物。

参考文献

- [1] 林祥铿.赣杭构造带若干铀矿床的同位素年龄研究及 其铀源初探[J].铀矿地质,1990,6(3):257-266.
- [2] 周家志.670 铀矿床地质特征及其成因[J].华东地质 学院学报,1992,15(1):31-44.
- [3] 毛孟才.浙江火山岩型铀成矿特征及找矿前景[J].地 质找矿论丛,2003,19(1):8-11.
- [4] 毛孟才. 浙江衢州铀资源基地勘查工作重点、找矿方向 和目标任务[J]. 铀矿地质,2006,22(6). 351-355.
- [5] 夏群科,陈道公,EtienneDeloule,等. 幔源云母巨晶氢 同位素组成的微尺度不均一性:离子探针研究[J].中 国科学(D辑:地球科学),1999 (01).
- [6] 刘丛强,黄智龙,许成,等.地幔流体及其成矿作用---

以四川冕宁稀土矿床为例[M].北京:地质出版社, 2004:65-80.

- [7] ZARTMAN R E, DOE B R. Plumbotectonics-The model[J]. Tectonophysics, 1981, 75: 135-162.
- [8] 郑明华,刘家军,张寿庭,等.萨瓦亚尔顿金矿床的同 位素组成特征及其成因意义[J].成都理工学院学报, 2002,29(3):237-245.
- [9] Hoefs J. Stable isotope geochemistry (Second ed.)[M]. New York: Springer-Verlag, 1980.
- [10] 杨建明,王前裕. 浙赣若干火山岩铀矿床成矿物理化学 条件及与浸出采铀的关系[J]. 铀矿地质,1999,18(3).
- [11] 杨建明,熊韶峰.浙赣若千火山岩型铀矿床成矿模式及 找矿勘探方向[J].铀矿地质,2003,19(5):283-289.
- [12] 丘志力,章邦桐.670 矿床多期成矿作用特征及控矿因 素研究[J].中山大学学报(自然版),1991,30(2):140-149.
- [13] 杨建明. 浙赣火山岩铀矿床同位素地球化学特征[J]. 湖南地质,2000,19(4):241-245.
- [14] 郑淑蕙, 侯发高, 倪葆龄. 我国大气降水的氢氧同位 素研究[J]. 科学通报,1983,13:801-806.

Studies on lead, hydrogen and oxygen isotopes of Daqiaowu uranium ore-deposit, Zhejiang province

CHEN Jian, WANG Zheng-qi

(Faculty of Earth Sciences, East China Institute of Technology, Fuzhou, 344000, China)

Abstract

Daqiaowu deposit is one of the important uranium deposits located in the Ganzhou-Hangzhou metallogenetic belt of volcanogenic uranium deposits. Based on studying of the lead, hydrogen and oxygen isotopes and predecessors data of the deposits, this paper discussed the origin of the ore-forming fluid and source of ore-forming materials of the deposits. The Pb isotopic compositions of pyrites from granite porphyry, tuff, diabase, ore and altered wall rocks show a slight variation, implying that the Pb isotopes may have analogous origins. In the Pb isotopes tectonic setting discrimination diagram, the plots of lead isotopes show a widespread distribution range, but mostly concentrate between mantle evolution curve and orogenic belt evolution curve, indicating that the source of lead isotopes is related with magmatism. The hydrogen and oxygen isotope compositions show that the ore-forming fluid is originated from the meteoric water. The ore-forming materials are mainly derived from the crust-mantle mixed source.

Key words: isotope; ore-forming material; Daqiaowu deposit; uranium deposit