

文章编号:1000-4734(2012)01-0052-08

赣南 6722 铀矿床方解石 Sm-Nd 等时线 年龄及其地质意义

陈恒^{1,2}, 胡瑞忠¹, 毕献武¹, 朱经经^{1,2}, 石少华^{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)

摘要:6722 热液型铀矿床位于东西向南岭构造和北东向武夷隆起交汇部位的禾草坑铀矿田内。本文利用采集于该矿床花岗岩型矿石中的 8 件方解石进行 Sm-Nd 年龄测定, 确定了成矿年龄为 113.4 ± 6.9 Ma。这期发生在花岗岩中的铀矿化早于隐爆角砾岩中的矿化。我们推测前期花岗岩中的矿化为后期隐爆角砾岩中富矿体的形成提供了预富集。白垩纪时 6722 矿床所在会昌地区处于岩石圈伸展的地段, 伸展作用为铀成矿创造有利条件, 岩石圈伸展与铀成矿之间具有良好的对应关系。

关键词:禾草坑; 方解石; Sm-Nd 定年; 中生代; 地壳伸展

中图分类号:P597; P611 **文献标识码:**A

作者简介:陈恒, 男, 1984 年生, 硕士研究生, 地球化学专业。E-mail: chen19841115@163.com

华南地区是我国最重要的铀资源供给地, 自上世纪 50 年代于广东下庄发现第一个花岗岩型铀矿床以来, 地质工作者对华南热液铀矿床开展了长期的研究工作, 丰富了成矿理论^[1-5], 有利于指导找矿工作。尽管已有的研究^[6]显示华南铀矿床的成矿时代与该区白垩纪-第三纪岩石圈伸展事件的时代具有良好的对应关系, 但至今研究中获得的高精度的成矿年龄数据还较少。这制约了我们对该区白垩纪-第三纪期间铀成矿的期次及其空间迁移规律的认识, 以及进一步建立可靠的铀成矿模型。

在迄今获得的华南铀矿床成矿年龄中, 单颗粒沥青铀矿的 U-Pb 模式年龄占很大比例。由于很难正确的扣除其中的普通铅, 同一条脉上不同部位的模式年龄经常出现较大差别, 即使对于同一样品 $T_{206/238}$ 、 $T_{207/235}$ 、 $T_{207/206}$ 基本上都会出现不一致, 因此简单的模式年龄很难代表沥青铀矿的成矿年龄^[7]。对于精度较高的沥青铀矿 U-Pb 等时线法, 存在的最大困难在于挑选获得大量高纯度的沥青铀矿。近年来, 含钙热液矿物的 Sm-Nd

定年已为热液矿床的定年提供了一个新的有效途径。对于 Sm-Nd 同位素体系, 由于母体(¹⁴⁷Sm)衰变形成的子体(¹⁴³Nd)在矿物晶格中易保存下来, 因此矿物/岩石中的 Sm-Nd 同位素体系保持封闭, 具有较强的抗风化、抗蚀变能力, 是一种有效的定年工具^[8-10]。Sm-Nd 定年在含钙热液矿物中(萤石、白钨矿、方解石等)成功应用的实例^[11-15]已被相继报道。

由于 6722(草桃背)铀矿床矿石整体品位不高, 铀矿物主要呈浸染状分布, 挑选沥青铀矿单矿物进行 U-Pb 等时线定年的难度较大, 而成矿同期的方解石较易获得。因此, 本文利用了矿石中与成矿同期的方解石进行 Sm-Nd 同位素等时线定年, 并分析了该年龄的可靠性和地质意义。

1 矿床地质

禾草坑铀矿田位于华夏地块西缘、武夷山隆起带西南端。处于北北东向会昌—寻乌深断裂带(属邵武—河源深断裂带组成部分)与东西向构造带(属南岭东西向构造带组成部分)的交汇部位, 位于瑞金、会昌、武平和长汀环状热隆构造内(图 1)。现已发现 7 个矿床, 包括 1 个大型矿床(6722 铀矿床, 又称草桃背铀矿床)和 6 个小型矿床。这些矿床主要产于大富足花岗岩体西部内接

收稿日期:2011-07-05

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(批准号:2007CB411408);国家自然科学基金重大项目(批准号:40634020)

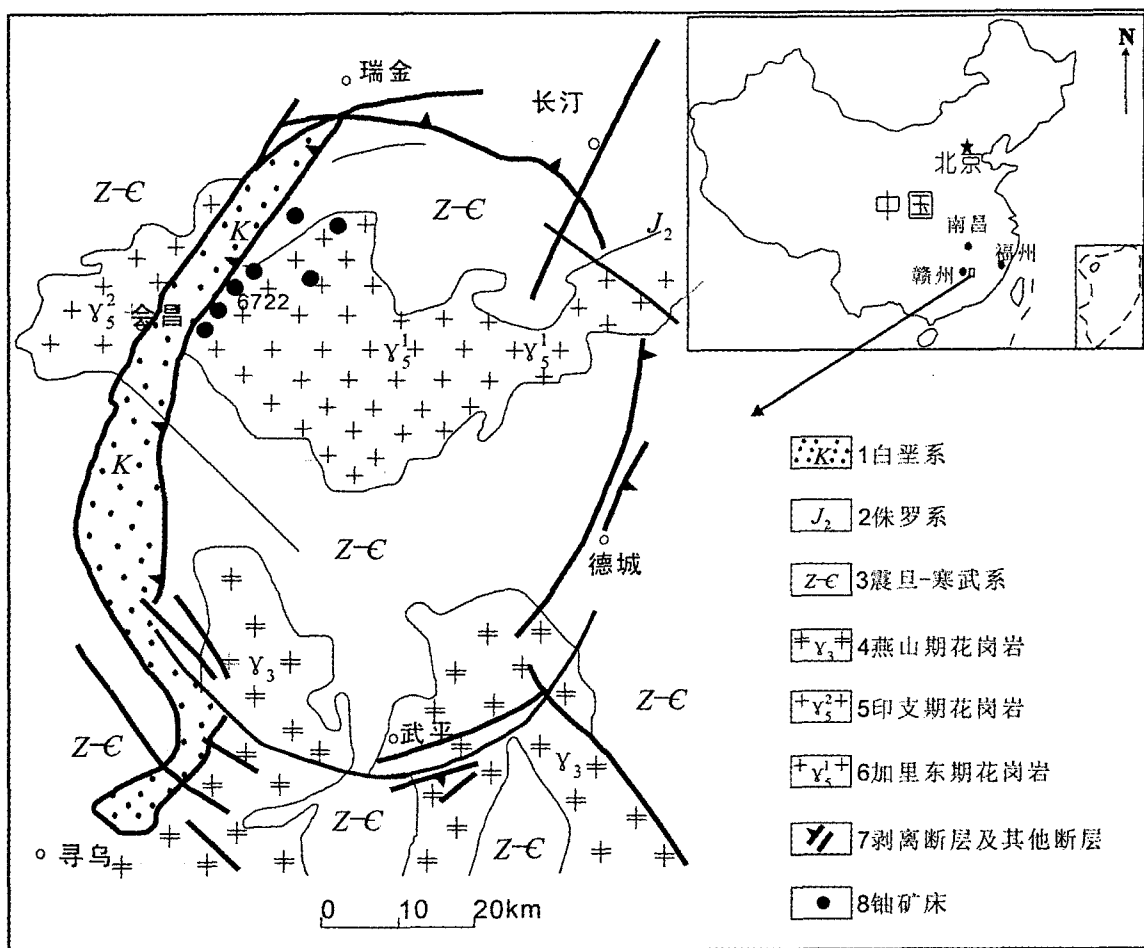


图 1 会昌浅层次热隆伸展构造区域地质简图(据文献[30]改编)

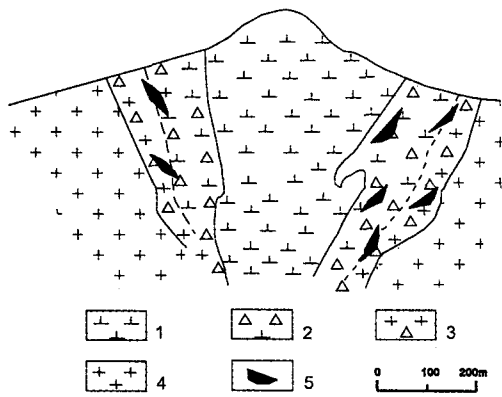
Fig. 1. Regional geological sketch map of Huichang shallow thermo-upwelling extensional structure.

触带,赋矿围岩具有多样性,既有产于花岗岩中的河草坑、上寮、坳子背、庙背矿床,又有产于火山机构中的铀草桃背、小富足矿床,还有产于花岗岩外接触带变质岩中的黄田矿床。

草桃背矿田中现今唯一规模开采的 6722 矿床位于大富足花岗岩内侧,在构造上受到白垩世草桃背火山机构的控制。草桃背火山机构在平面上呈椭圆形,东西长 450 m 左右,南北宽约 350 m,在剖面上呈漏斗状,向中心倾斜。该火山机构中心为橄榄玄粗岩组成的岩颈,长英质隐爆碎屑(角砾)岩围绕橄榄玄粗岩颈呈不规则环状分布,由中心向外依次为橄榄玄粗岩-隐爆角砾岩-碎裂花岗岩-黑云母花岗岩,分带性明显(图 2)。其中基底大富足花岗岩体为印支期黑云母花岗岩,过铝质($ACNK > 1.1$),具有高的 K_2O/N_2O 比值,并以高的 Rb、Cs 含量和 Rb/Sr 比值以及低的 Sr、Ba、Eu 含量为特征^[16]。橄榄玄粗岩呈深灰色或

灰绿色,致密块状构造,斑晶含量为 15% 左右,以角闪石和斜长石为主,含少量辉石,斑晶粒径 0.5 ~ 2 mm,具有高碱、富钾的地球化学特点^[17]。笔者^[18]利用锆石 SIMS 定年法获得其年龄为 100.39 ± 0.70 Ma。隐爆岩中的碎屑物粒径相差悬殊,粒径从数毫米以下至数十厘米,大小混杂、无分选性,形态为棱角状-次棱角状,角砾成分以花岗质岩石为主,在近火山岩橄榄玄粗岩成分增多。

6722 矿床中矿石成分较简单,主要由沥青铀矿、微晶石英、萤石、方解石、水云母、黄铁矿、赤铁矿等组成。铀矿体多呈不规则凸镜状产出在草桃背火山机构控制的隐爆碎屑岩及碎裂花岗岩内(占储量的 90% 以上),在黑云母花岗岩内的矿化相对较弱,品位相对较低。对于该矿床的成矿年龄,现今文献中普遍引用徐礼中^[19]利用单颗粒沥青铀矿 U-Pb 法测定的隐爆角砾岩型矿石年龄 103 ~ 77 Ma。



1. 橄辉玄武粗岩 2. 隐爆角砾岩 3. 碎裂花岗岩
4. 黑云母花岗岩 5. 铀矿体

图2 6722 铀矿床地质剖面略图
(据核工业 264 大队简化, 1980)

Fig. 2. Sketch profile of 6722 uranium deposit.

2 样品采集与分析测试方法

用于此次测年的 8 件成矿期方解石样品均于 6722 铀矿床井下 292 m 标高的采场和坑道中沿着同一期矿化采集, 样品点间距不到 20 m。这些方解石并非赋存于矿床的主体矿石引爆角砾岩矿体中, 而是与品位偏低的花岗型浸染状矿体相伴生, 离隐爆角砾岩矿体有一定距离。方解石样品均为浅肉红-粉色, 呈团块状或脉状产出, 无明显的后期蚀变, 自形程度高, 晶型好, 肉眼偶见少量沥青铀矿呈浸染状分布。将方解石样品碎至 40~60 目, 在双目镜下将杂质剔除并挑纯, 使方解石的纯度达到 99% 以上, 最后将纯净的方解石在玛瑙碾钵内粉碎至 200 目。样品的 Sm-Nd 同位素分析测试在中国地质调查局天津地质矿产研究所同位素室完成。方解石样品粉末用 HF + HClO₄ 在密闭的 Teflon 溶样器中高温条件下溶

解。经同位素富集流程后得到的 Nd 采用 HDEHP 技术进行纯化。Sm、Nd 含量测定和同位素比值测定均在 Triton 热电质谱进行, 用平行双灯丝构件的离子源测 Sm、Nd。Nd 分馏的内校正因子均采用 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$, J. M. C Nd 质谱标准样的结果为 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511132 \pm 5$ 。国际标准岩样 BCR-1 的结果是: Sm = 6.571 ($\mu\text{g/g}$)、Nd = 28.753 ($\mu\text{g/g}$)、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512644 \pm 5$ 。

3 分析结果

方解石样品的 Sm-Nd 同位素分析结果列于表 1, 年龄等时线利用 Isoplot (Ludwig, 2006) 软件进行绘制。其中衰变常数为 $\lambda(^{147}\text{Sm}) = 6.54 \times 10^{-12} \text{ a}^{-1}$, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 的误差为 0.05%, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 的误差详见表 1。在等时线图上, 所分析的 8 个样品构成很好的线性相关(图 3), 计算获得的等时线年龄为 $113.4 \pm 6.9 \text{ Ma}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 初始值为 0.5121272 ± 65 。虽然年龄误差稍大, 但加权平均偏差 MSWD 值较低(0.32), 说明等时线年龄可信度较高。

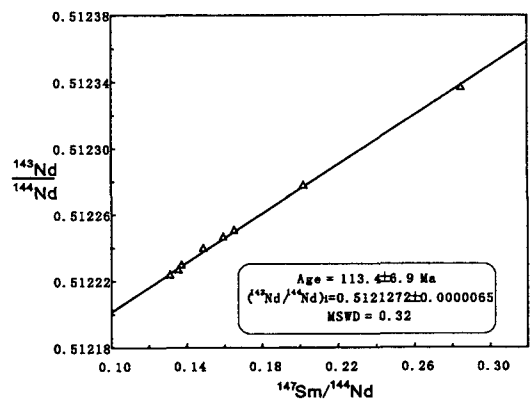


图3 方解石 Sm-Nd 等时线

Fig. 3. Sm-Nd isochron of calcite.

表1 方解石 Sm-Nd 同位素分析结果

Table 1. Sm-Nd isotopic composition of calcite

样品号	Sm ($\mu\text{g/g}$)	Nd ($\mu\text{g/g}$)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$
CTB-38	1.8119	8.0920	0.1354	0.512227 ± 16
CTB-54	3.3103	7.0302	0.2847	0.512337 ± 7
CTB-66	1.2752	4.8428	0.1592	0.512247 ± 5
CTB-67	3.4818	15.3478	0.1371	0.512230 ± 4
CTB-68	3.3093	12.1162	0.1651	0.512251 ± 9
CTB-69	18.6940	55.9509	0.2020	0.512278 ± 19
CTB-70	2.0600	8.3770	0.1487	0.512240 ± 6
CTB-71	2.6416	12.1840	0.1311	0.512224 ± 2

4 讨论

4.1 方解石年龄意义

运用同位素等时线定年的一个必要条件就是所测试样品具有同源性以达到初始同位素的均一。本次用于定年的 8 件方解石样品野外产状相近, 均为脉状和块状, 结晶较好。方解石碳同位素 $\delta^{13}C_{PDB}‰$ 变化范围较小, 分布范围集中在 -4.9 ~ -5.7 (待发表数据), 为典型的地幔来源^[20]。球粒陨石标准化稀土分配模式也相似 (图 4): 均具有富集轻稀土, Eu 明显负异常等特征。且在 Y/Ho-

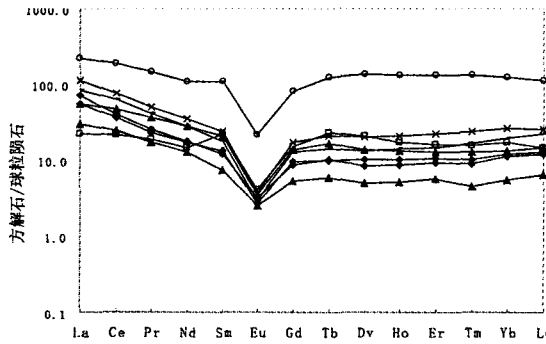


图 4 方解石稀土元素分布型式图解

Fig. 4. Chondrite-normalized REE patterns of calcite (chondrite data after Sun & McDonough, 1989).

La/Ho 图解上总体呈水平分布 (图 5), 指示形成这些方解石的流体具有同源性^[21]。

已有研究表明, 尽管其它矿化剂 (F、SiO₂ 等) 在热液铀矿成矿中的作用不可忽视, 但只有热液富含 ΣCO_2 之后, 铀才可能从铀源体中大量活化并进入热液^[22]。在成矿热液中铀主要呈 +6 价, 以 $UO_2(CO_3)_2^{2-}$ 和 $UO_2(CO_3)_3^{4-}$ 的形式迁移^[23-25]。6722 矿床流体包裹体研究^[26] 显示成矿期前与主成矿期的石英包裹体中富含 CO₂ 气体, 少数含微量的还原性气体 CH₄ 等。当成矿流体在减压沸腾 CO₂ 溢出或者流体 Eh 降低等情况下, +6 价的铀被还原成 +4 价, 于适合部位以沥青铀矿、铀

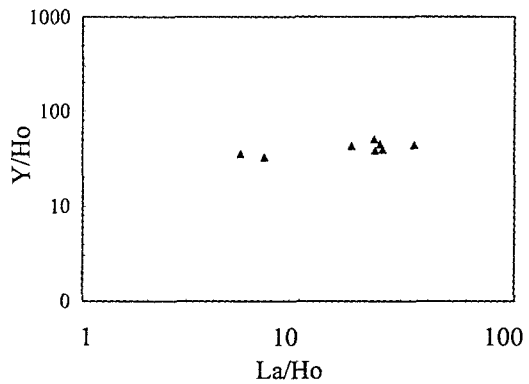


图 5 方解石 La/Ho-Y/Ho 图

Fig. 5. Diagram of Y/Ho vs. La/Ho for calcite.

表 2 6722 矿床方解石稀土元素结果 ($w_B/10^{-6}$)

Table 2. Rare earth element concentration of calcite samples from the 6722 uranium deposit

样号	CTB-38	CTB-54	CTB-66	CTB-67	CTB-68	CTB-69	CTB-70	CTB-71
La	16.8	5.16	6.99	26.4	12.8	51.3	12.9	19.6
Ce	23.6	12.9	14.9	46.3	28.4	111	21.8	37.9
Pr	2.37	1.74	1.62	4.71	3.38	13.4	2.15	3.77
Nd	8.03	6.71	5.82	15.9	12.7	50.3	7.79	12.6
Sm	1.78	3.34	1.12	3.55	3.16	16.4	1.97	2.65
Eu	0.18	0.23	0.14	0.21	0.20	1.22	0.15	0.17
Gd	1.74	3.07	1.07	3.42	2.77	16.4	1.93	2.54
Tb	0.37	0.85	0.22	0.75	0.60	4.58	0.37	0.51
Dy	2.09	5.25	1.24	5.04	3.40	34.0	2.50	3.26
Ho	0.49	0.96	0.29	1.16	0.72	7.43	0.57	0.79
Er	1.51	2.61	0.93	3.60	2.10	21.8	1.70	2.40
Tm	0.22	0.39	0.12	0.60	0.32	3.29	0.26	0.41
Yb	1.90	2.82	0.92	4.29	2.21	20.8	2.01	3.24
Lu	0.30	0.36	0.16	0.64	0.36	2.78	0.32	0.56
Y	21.3	33.9	13.1	44.6	30.9	244	28.9	31.3
LREE/HREE	6.12	1.84	6.19	4.97	4.85	2.20	4.84	5.58
La _N /Yb _N	6.36	1.31	5.43	4.41	4.14	1.77	4.59	4.33
δEu	0.31	0.22	0.39	0.18	0.20	0.23	0.24	0.20
δCe	0.80	1.05	1.05	0.94	1.04	1.02	0.92	1.01

石、钛铀矿等铀矿物沉淀析出形成;与此同时,部分碳酸根络阴离子与 Ca^{2+} 结合以 CaCO_3 的形式与铀共沉淀。在 6722 矿床中,方解石作为成矿期脉石矿物较为常见,本次所测试的样品在手标本下即可观察到少量沥青铀矿与方解石共生,所以方解石形成时代应与花岗岩型铀成矿时代一致。

华南铀成矿的一个显著特点是成矿作用并不伴随铀源体的岩浆作用而进行,矿床相对于赋矿围岩和铀源体是后生的(矿岩时差达 20 ~ 700 Ma^[1])。已有研究^[27]表明 6722 铀矿床成矿物质来自于印支期的大富足花岗岩体。矿床中的橄榄玄粗岩,铀含量常低于 5 $\mu\text{g/g}$ (平均为 2.8 $\mu\text{g/g}$),虽较普通的中基性岩铀含量偏高,但仍大大低于产铀花岗岩的铀含量(大富足岩体可达 20 $\mu\text{g/g}$),且铀在碱性火山岩中主要以类质同象的形式存在于基质中,活动性铀的浸出率低^[27],因此橄榄玄粗岩在成矿中并未起到提供成矿物质的作用。禾草坑铀矿田中的矿床均产在印支期的大富足过铝质花岗岩西部接触带,但存在多种矿床类型,赋矿围岩不具有专属性:既可以产在花岗岩、隐爆角砾岩中,也可以产在花岗岩外接触带变质岩中。因此可以推测 6722 矿床中火山活动亦并非是铀出现矿化的必须条件。

6722 矿床后期的富矿体主要产在长英质隐爆角砾岩中。对于隐爆角砾岩成因,现今普遍接受的是 Burham^[28] 提出的岩浆流体减压爆发模式。而针对 6722 矿床,章邦桐^[29] 提出了岩浆与外来水混合爆发的模式。且不论 6722 矿床中隐爆角砾岩的具体形成机制如何,可以肯定的是高温的火山岩浆导致了隐爆角砾岩的形成。所以隐爆角砾岩型矿化的时间必然不会早于橄榄玄粗岩的时代(100 Ma)。此次利用方解石 Sm-Nd 法得出的一期矿化年龄(113.4 Ma)意义在于:在早于草桃背橄榄玄粗火山岩浆活动之前,花岗岩体内已经发生了铀的富集矿化。这与在华南许多铀矿床观察到的矿化具有成矿多期多阶段,成矿作用延续时间长,在主成矿期之前往往有预富集的现象一致^[30-33]。而草桃背火山岩浆活动对于成矿的贡献应该在于其形成的长英质隐爆角砾岩带不仅为此后高温溶浸成矿流体的汇聚提供了空间,而且提供了有利于成富矿的物理化学条件(压力、温度)和地球化学条件^[34]。在富含 ΣCO_2 的成矿流体作用下,长英质隐爆角砾岩和震碎花岗岩带叠加形成了后期的富矿。

4.2 6722 铀矿床成矿动力学背景

随着近年来大量 A 型花岗岩、双峰式火山岩、碱性玄武岩的厘定,华南大陆岩石圈自晚中生代以来处于大规模拉张构造背景已成为共识^[35-37]。在这种独特的构造背景下壳幔作用十分发育,发生了大面积的构造岩浆活动,并伴随着巨大规模的成矿作用,形成了令人瞩目的 W、Sn、Nb-Ta、Cu、Pb、Zn、U 等多金属矿产^[38, 39]。与华南中生代其他内生金属矿床相比,铀的成矿峰期有所滞后,集中在白垩纪-第三纪约 40 ~ 145 Ma 的范围内,与该时期伸展作用形成断陷拉伸盆地和幔源基性脉岩密切相伴,是一种典型的非造山或岩石圈伸展环境中的矿化^[6]。

90 ~ 130 Ma 间,在古太平洋板块的俯冲或俯冲诱导的板内伸展-裂解作用下,华南东部沿海形成了长达 800 km NNE 向的火山带^[40]。其中镁铁质火山岩的 Ar-Ar 年龄多集中于 109 ~ 114 Ma^[41, 42]。Wong^[43] 基于对华南 A 型花岗岩的时空分布研究,并结合其他岩浆作用规律认为 125 ~ 100 Ma 间在太平洋板片局部反转(rollback)的影响下中国东南部处于大规模伸展。基性脉岩的年代学研究显示,江西省发育了多处 100 ~ 110 Ma 基性岩脉^[44],禾草坑铀矿田毗邻的福建省的基性脉岩年龄亦大量集中分布在 108 ~ 115 Ma 之间^[45]。从前人研究可以看出,中国东南部地区在早白垩世末期处于显著的构造拉张的应力机制下。

禾草坑矿田所处的南岭东段属于华南晚中生代花岗岩类 TDM 低值区^[46],与华南其它大部分地区的花岗岩类相比,该区花岗岩类具有较低的 Nd 亏损地幔模式年龄。通常认为这类花岗岩形成于地幔物质上涌带,与底侵作用及幔源岩浆加入地壳再循环物质有关。禾草坑铀矿田临近的会昌密坑山锡矿田的成矿时间与 6722 铀矿床早期十分接近,邱检生等^[47] 根据密坑山岩体锆石年龄(136 ± 1.7 Ma),Rb-Sr 年龄(124 ± 0.7 Ma)和锡成矿年龄(114.0 ± 1.6 Ma ~ 120.2 ± 5.3 Ma)之间存在较大时差的现象,推测在早白垩纪时期该区域存在大量深部物质上涌,从而维系了高的地热场环境,致使岩浆缓慢冷却而维持了长时间的热液循环。在地幔上涌、地壳拉张减薄的背景下,禾草坑铀矿田所在的会昌地区自白垩纪早期开始形成了以大富足岩体为中心的穹窿状上隆和水平伸

展。前期以中酸性脉岩活动和中基性火山岩大量喷发为特点。白垩纪晚期开始的后期热隆活动则转为中基性岩浆贯入为主,形成了大量的煌斑岩、辉绿岩等基性岩脉群,同时沉积了巨厚的砾岩、砂岩和粉砂岩等红色碎屑岩^[48]。伸展构造可能为铀成矿提供了以下有利条件:(1)由于地幔上隆,构造剥蚀作用导致地壳开裂,来自地幔去气作用的 ΣCO_2 沿着断裂上涌并加入流体成为至关重要的矿化剂,为铀从已固结的花岗岩中活化、迁移和富集成矿提供了可能性。近年来,在中国东部发现了大量的无机成因 CO_2 气田被识别为具有地幔来源^[49],这些气藏通常位于大的断裂带附近或与岩脉伴生,或气藏附近有深部岩浆侵入或火山活动,这支持了地幔大规模去气现象的存在;(2)伸展造成岩石的脆性破裂,增加了岩石的孔隙度,为热液的渗透、循环提供了通道,亦为最后成矿提

供了减压和容矿空间;(3)深部来源的岩浆沿剥离断层侵位,形成异常高的大地热流,为铀的活化和成矿流体的迁移提供了热动力^[48]。

5 结 论

(1) 6722 铀矿床成矿具有多期多阶段的特点,此次利用方解石 Sm-Nd 法间接测定的产于花岗岩侧浸染型矿石铀成矿年龄为 $113.4 \text{ Ma} \pm 6.9 \text{ Ma}$,代表了本矿床早期成矿的年龄。在隐爆角砾岩型矿化前,花岗岩内已经有了铀的预富集。

(2) 6722 铀矿床早期成矿与华南地区岩石圈伸展作用在时代上吻合,指示了铀成矿受制于岩石圈伸展的动力学环境。白垩纪会昌地区热隆伸展构造为铀从花岗岩中活化、迁移并富集成矿创造了有利的条件。

参 考 文 献:

- [1] 杜乐天,王玉明. 华南花岗岩型,火山岩型、碳硅泥岩型、砂岩型铀矿成矿机理的统一性[J]. 放射性地质, 1984, (3): 1-10.
- [2] 余达淦. 中国东南部新生代火山-岩浆带中铀的成矿环境及成矿模式[J]. 铀矿地质, 1992, 8(2): 75-82.
- [3] 胡瑞忠,毕献武,苏文超,等. 华南白垩-第三纪地壳拉伸与铀成矿的关系[J]. 地质前缘, 2004, 11(1): 153-160.
- [4] 刘正义,刘红旭. 花岗岩铀成矿作用的模拟实验[J]. 地质前缘, 2009, 16(1): 99-113.
- [5] 凌洪飞. 论花岗岩型铀矿床热液来源—来自氧逸度条件的制约[J]. 地质论评, 2011, 57(2): 193-204.
- [6] 胡瑞忠,毕献武,彭建堂,刘燊,钟宏,赵军红,蒋国豪,等. 华南地区中生代以来岩石圈伸展及其与铀成矿关系研究的若干问题[J]. 矿物学报, 2008, 28(4): 413-420.
- [7] 黄国龙,尹征平,凌洪飞,邓平,朱捌,沈渭洲,等. 粤北地区 302 矿床沥青铀矿的形成时代、地球化学特征及其成因研究[J]. 矿床地质, 2010, 29(2): 352-360.
- [8] McCulloch M T, Compston W. Sm-Nd age of Kambalda and Kanowna greenstones and heterogeneity in the Archean mantle [J]. *Nature*, 1981, 294: 322-327.
- [9] 彭建堂,符亚洲,袁顺达,沈能平,张东亮,等. 热液矿床中含钙矿物的 Sm-Nd 同位素定年[J]. 地质论评, 2006, 52(5).
- [10] Pollington A D, Baxter E F. High resolution Sm-Nd garnet geochronology reveals the uneven pace of tectonometamorphic processes [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2010, 293: 63-71.
- [11] Chesley J T, Halliday A N, Kyser T K, Spry P G. Direct dating of mississippi valley-type mineralization: Use of Sm-Nd in fluorite [J]. *Economic Geology*, 1994, 89(5): 1192-1199.
- [12] 彭建堂,胡瑞忠,赵军红,符亚洲,林源贤,等. 湘西沃溪 Au-Sb-W 矿床中白钨矿 Sm-Nd 和石英 Ar-Ar 定年 [J]. 科学通报, 2003, 48(18): 1976-1981.
- [13] Uysal I T, Zhao Jian-Xin, Golding S D, Lawrence M G, Glikson M, Collerson K D. Sm-Nd dating and rare-earth element tracing of calcite: Implications for fluid-flow events in the Bowen Basin, Australia [J]. *Chemical Geology*, 2007, 238: 63-71.
- [14] Oberthür R T, Melcher F, Henjes-Kunst F, Gerdes A, Stein H, Zimmerman A, Ghorfi M. Hercynian age of the cobalt-nickel-arsenide-(gold) ores, Bou Azzer, Anti-Atlas, Morocco: Re-Os, Sm-Nd, and U-Pb age determinations [J]. *Economic Geology*, 2009, 104: 1065-107.
- [15] Su W C, Hu R Z, Xia B, Xia Y, Liu Y P. Calcite Sm-Nd isochron age of the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Guizhou, China [J]. *Chemical Geology*, 2009, 258: 269-274.
- [16] 陈迪云,章邦桐,孙大中,杨东生,等. 武夷山高溪和富城花岗岩体地球化学及其与铀成矿的关系[J]. 岩石学报, 1997, 13(1): 71-84.
- [17] 章邦桐,吴俊奇,凌洪飞,陈培荣,等. 会昌早白垩世橄榄玄粗岩(shoshonite)成因的元素及 Sr-O-Nd-Pb 同位素地球化学证据[J]. 地质学报, 2008, 82(7): 986-997.
- [18] 陈恒,胡瑞忠,朱经纬,阳杰华,等. 6722 铀矿床中火山岩锆石 U-Pb 年代学[J]. 矿床地质, 2010, 29(增刊): 133-134.

- [19] 徐礼中. 江西中生代火山岩型铀矿床[J]. 华东铀矿地质, 1984, (1): 7-21.
- [20] 储雪蕾. 地幔的碳同位素[J]. 地球科学进展, 1996, 11(5): 446-452.
- [21] Bau M, Dulski P. Comparative study of yttrium and rare-earth element behaviors in fluorine-rich hydrothermal fluids [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1995, 119(2): 213-223.
- [22] 胡瑞忠, 金景福. 上升热液浸取成矿过程中铀的迁移沉淀机制探讨—以希望铀矿床为例[J]. 地质论评, 1990, 36(4): 317-325.
- [23] Leroy J. The Margnac and Fanay uranium deposits of the La Crouzille District (western Massif Central, France): geologic and fluid inclusion studies [J]. *Economic Geology*, 1978, 73(8): 1611-1634.
- [24] 刘吉芳, 徐德明. 热液中铀迁移形成的初步实验研究[J]. 矿物岩石, 1984, 1: 70-78.
- [25] Miehard A, Beaucarite C, Miehard G. Uranium and rare-earth element in CO₂-rich waters from Vals-Les-Bains (France) [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1987, 51: 901.
- [26] 顾大钊, 范洪海, 林锦荣, 何德宝, 王凤岗, 等. 赣南河草坑地区铀矿床流体包裹体特征研究[J]. 铀矿地质, 2008, 24(3): 137-142.
- [27] 章邦桐, 陈培荣, 杨东生, 孔兴功, 等. 过铝花岗岩基底对成矿物质贡献的地球化学证据—以富城过铝花岗岩体及6722铀矿床为例[J]. 中国科学(D辑), 2002, 32(9): 735-741.
- [28] Burnham C W. energy release in subvolcanic environments: Implications for breccia formation [J]. *Economic Geology*, 1985, 80: 1515-1522.
- [29] 章邦桐, 陈培荣, 陈迪云, 孔兴功, 等. 再论长英质隐爆角砾岩的气热流体溶浸成矿机制——隐爆角砾岩型铀矿床的稳定同位素地球化学证据[J]. 矿床地质, 2002, 21(3): 256-263.
- [30] 何德宝. 江西省白面石铀矿田成矿机理研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2007.
- [31] 邵飞, 陈晓明, 徐恒力, 黄辉明, 唐相生, 邹茂脚, 何晓梅, 李梅, 等. 江西省相山铀矿田成矿模式探讨[J]. 地质力学学报, 2008, 14(1): 65-73.
- [32] 张国全. 华南热液铀矿床地球化学研究—以302铀矿床为例[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2008.
- [33] 石少华, 胡瑞忠, 温汉捷, 孙如良, 王加昇, 陈恒, 等. 桂北沙子江铀矿床成矿年代学研究: 沥青铀矿 U-Pb 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2010, 84(8): 1175-1182.
- [34] 章邦桐, 饶冰, 陈培荣, 孔兴功, 等. 论长英质隐爆角砾岩的气热流体溶浸成矿机制: 以赣南6722铀矿床为例[J]. 矿床地质, 2001, 20(2): 129-136.
- [35] 陈培荣, 章邦桐, 孔兴功, 蔡笔聪, 凌洪飞, 倪琦生, 等. 赣南寨背A型花岗岩体的地球化学特征及其构造地质意义[J]. 岩石学报, 1998, 14(3): 163-173.
- [36] Zhou X M, Li W X. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in Southeastern China: Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas [J]. *Technophysic*, 2000, 326(3-4): 269-287.
- [37] Yu X Q, Wu G G, Zhao X X, Gao J F, Di Y J, Zheng J, Dai Y P, Li C L, Qiu J T. The Early Jurassic tectono-magmatic events in southern Jiangxi and northern Guangdong provinces, SE China: Constraints from the SHRIMP zircon U-Pb dating [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2010, 39: 408-422.
- [38] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 姚军明, 林锦富, 张展适, 顾晟彦, 等. 南岭与中生代花岗岩类有关的成矿作用及其大地构造背景[J]. 高校地质学报, 2005, 11(3): 291-304.
- [39] 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄, 等. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 45-55.
- [40] 徐夕生. 华南花岗岩-火山岩成因研究的几个问题[J]. 高校地质学报, 2008, 14(3): 283-294.
- [41] 秦社彩. 浙闽白垩纪镁铁质火山岩地球化学特征及其深部动力学意义(博士论文)[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2007.
- [42] 张贵山. 福建晚中生代以来基性—超基性岩的年代学、地球化学及其地球动力学意义(博士论文)[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2006.
- [43] Wong J, Sun M, Xing G F, Li X H, Zhao G C, Wong K, Yuan C, Xia X P, Li L M, Wu F Y. Geochemical and zircon U-Pb and Hf isotopic study of the Baijuehuajian metaluminous A-type granite: Extension at 125 - 100 Ma and its tectonic significance for South China [J]. *Lithos*, 2009, 112: 289-305.
- [44] 谢桂青. 中国东南部晚中生代以来的基性岩脉(体)的地质地球化学特征及其地球动力学意义初探—以江西省为例(博士论文)[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2003.
- [45] 赵军红. 福建省基性岩的年代学和地球化学: 晚中生代以来中国东南部地幔演化(博士论文)[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2004.
- [46] 李武显, 周新民. 古太平洋岩石圈消减与中国东南部晚中生代火成岩成因——岩石圈消减与玄武岩底侵相结合模式的补充证据[J]. 大地构造与成矿学, 2001, 25(1): 55-63.
- [47] 邱检生, 蒋少涌, 胡建, McInnes B I A, 凌洪飞, 等. 同位素年代学研究对江西会昌密坑山锡矿田成矿作用的启示[J]. 岩石学

报, 2006, 22(10): 2444-2450.

- [48] 蔡煜琦, 陈祖伊, 施祖海, 封全宏, 等. 会昌浅层次热隆伸展构造与铀成矿[J]. 铀矿地质, 1997, 13(5): 257-263.
[49] 戴金星, 石昕, 卫廷召, 等. 无机成因油气论和无机成因的气田(藏)概略[J]. 石油学报, 2001, 22: 5-10.

Calcite Sm-Nd Isochron Age and Its Geological Significance of the 6722 Uranium Ore Deposit, Southern Jiangxi Province, China

CHEN Heng^{1,2}, HU Rui-zhong¹, BI Xian-wu¹, ZHU Jing-jing^{1,2}, SHI Shao-hua^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The 6722 Vein-type Uranium Deposit, the largest deposit in Hecaokeng uranium ore fields, lies in the intersection of EW-trending Nanling Mountains and NE-trending Wuyi uplift. In this study, eight samples of syngenetic calcite from granite-type ore body were collected for Sm-Nd isochron age dating, and the result was 113.4 ± 6.9 Ma. Early-stage mineralization happening in 113 Ma preceded main-stage mineralization in felsic cryptoexplosive breccia. It is inferred that early-stage mineralization (113 Ma) created pre-concentration of uranium for the formation of later higher-grade ore in cryptoexplosive breccia. During Cretaceous period, the Huichang district had experienced strong crustal extension, which provided essential tectonic advantages for uranium mineralization. The period of crustal extension is well consistent with uranium metallogenesis.

Key words: Hecaokeng; calcite; Sm-Nd dating; Mesozoic; crustal extension