

文章编号:1000-4734(2011)03-0597-07

湖南瑶岗仙钨矿床成矿流体的氦、氩同位素组成及其意义

陈宏伟^{1,2}, 胡瑞忠^{1*}, 彭建堂¹, 毕献武¹

(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:瑶岗仙钨矿床是南岭地区最典型的石英脉型钨矿床之一。本文对该矿床黄铜矿和黑钨矿中流体包裹体的氦、氩同位素进行了较系统地测定。研究表明,黄铜矿和黑钨矿流体包裹体中³He/⁴He 分别为 0.37 ~ 0.43 Ra 和 0.05 ~ 0.49 Ra, 明显高于地壳值;黄铜矿和黑钨矿流体包裹体中的氩同位素分别为 673 ~ 886 和 325 ~ 903, 均明显高于饱和大气雨水的⁴⁰Ar/³⁶Ar 值。这些氦、氩同位素组成揭示该矿床的成矿流体具有壳、幔两端元混合的特点。结合区域地质构造演化和成矿年代学的研究成果, 本文认为瑶岗仙钨矿床的成矿流体是由瑶岗仙 S 型花岗岩浆分异出的含有地幔 He 的岩浆流体与大气成因地下水的二端元混合产物, S 型花岗岩的形成也是壳幔相互作用的结果。

关键词:成矿流体; He、Ar 同位素; 瑶岗仙钨矿床; 湘南

中图分类号: P597; P618.67 **文献标识码:** A

作者简介:陈宏伟, 女, 1982 年生, 硕士研究生, 矿床地球化学专业。E-mail: chenongwei82@yahoo.com.cn.

钨矿是中国的优势矿种。作为世界上钨矿资源量和产量最大的国家, 我国 90% 的钨矿分布在南岭地区^[1]。在南岭地区, 钨矿床成群、成带产出, 构成世界上密度最大的钨矿集中区^[2]。石英脉型钨矿是南岭地区钨矿最常见的类型, 也是最重要的经济类型^[1], 位于南岭中段的瑶岗仙钨矿床是该类矿床的典型代表。

前人对瑶岗仙钨矿床的地质特征^[3-7]、围岩蚀变^[8]、控矿因素^[9]、成矿温度与流体性质^[1, 10-12]、矿床成因^[13, 14]、矿物标型特征^[15, 16]、伴生组分^[17]以及成矿时代^[18]等进行了大量研究。但目前关于该矿成矿流体的性质和来源尚存在着很大争议, 这制约了人们对该矿床成矿机制的深入认识。本文以该矿床中的黄铜矿和黑钨矿为研究对象, 通过对黄铜矿和黑钨矿流体包裹体中氦、氩同位素体系的研究, 探讨了瑶岗仙钨矿床成矿流体的来源, 为深入认识该矿床形成的构造背景和矿床成因提供了新的信息。

1 矿床地质特征

瑶岗仙钨矿床位于湘东南后加里东隆起和湘、桂、粤北海西-印支拗陷带的交接部位^[19]。该区广泛发育不同类型的褶皱和断裂, 并伴随着相应的岩浆活动和成矿作用, 形成了现今以北东向褶皱和断裂以及北西—北北西向断裂为主的构造格架(图 1)。

矿区出露地层有寒武系浅变质砂岩、板岩, 中泥盆统砂岩、砂粒岩、页岩, 中、上泥盆统灰岩、页岩, 下、中石炭统灰岩、砂岩、页岩, 下侏罗统石英砂岩、长石砂岩、砂粒岩、页岩。各时代的地层中都有矿体产出, 但以泥盆系最为重要^[4, 10, 18]。

瑶岗仙花岗岩出露于矿区中部, 面积约 1.2 km², 呈复式岩株产出^[19]。花岗岩体的主要造岩矿物为钾长石、斜长石、石英, 其次为白云母、黑云母。较常见的副矿物有石榴石和锆石等。岩体具有高碱性元素的特征 (K₂O + Na₂O = 7.68% ~ 8.54%, K₂O > Na₂O)。Al₂O₃ 略低于世界平均花岗岩值, 属于铝过饱和花岗岩。同时, 该岩体稀土元素总量偏高, 轻重稀土比值低, 铈强烈亏损 ($\delta\text{Eu} < 0.1$), 为 S 型花岗岩^[19]。根据近年来区

收稿日期: 2010-09-01

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (ZKXC3-SW-125); 国家自然科学基金项目 (批准号: 40903023)

* 通讯作者, E-mail: huruizhong@vip.gyig.ac.cn

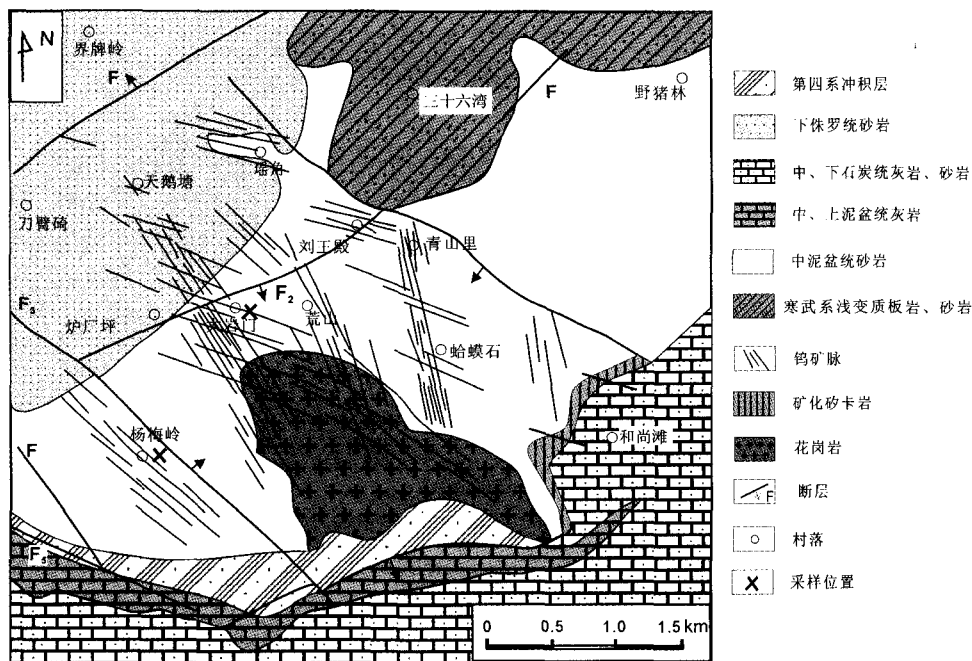


图1 湘南瑶岗仙钨矿床矿区地质图(据 Peng 等^[18]修改)

Fig. 1. Geological sketch map of the Yaogangxian tungsten deposit, southern Hunan Province.

域上类似花岗岩的精确定年结果,该岩体的形成时代应为 150 ~ 160 Ma^[20-27],属燕山早期。

瑶岗仙钨矿赋存于燕山早期花岗岩体内外接触带,以外带为主,尤以岩体隆起部位的中心地带发育最为良好^[4]。已知矿脉有 200 多条,按产状不同,主要矿脉可分为 3 组:北北西组、北西组和北西西组。各脉带矿脉的侧幕交替现象比较普遍,平面上以左行侧现为主,垂直方向以右行侧列居多。3 组脉带以北北西组脉带成矿规模最大^[2,4]。钨矿的成矿时代为 154 Ma 左右^[18]。

矿区的矿石成分比较复杂,金属矿物有黑钨矿、锡石、白钨矿、黝锡矿、毒砂、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、辉钼矿、辉铅铋矿、辉铋矿、绿柱石、斑铜矿、车轮矿、菱锰矿等,其中黑钨矿是最主要的工业矿物;非金属矿物有石英、萤石、白云母、黑云母、长石、绿泥石、方解石、黄玉等。脉钨矿床的围岩蚀变有硅化、毒砂化、黄铁矿化、云英岩化、白云母化、叶腊石化、黄玉化、碳酸盐化、绿泥石化等。

2 样品的采集与分析

本次研究所用的样品均采自瑶岗仙矿区,包括矿区第 18、19、21、22 和 23 等 5 个中段。在野外观察和室内研究的基础上,选取具有代表性的

矿石样品挑选黄铜矿或黑钨矿,并对其流体包裹体中的 He、Ar 同位素进行了测试分析。

测试工作在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完成。采用真空压碎法提取流体包裹体中的 He、Ar,然后用电子倍增器分辨率 >600,能将 ^3He 和 HD^+ 完全分开的全金属静态真空稀有气体质谱计 GV-5400 测定其同位素组成。具体步骤是:①取约 500 ~ 1000 mg 在超声波丙酮溶液中洗净并烘干的样品(粒径 0.5 ~ 1.5 mm)装入螺旋式压碎装置;②将装入压碎装置并已连接到气体提取处理系统中的样品烘烤($<150\text{ }^\circ\text{C}$)大于 24 h 以除去被样品表面吸附的大气,与此同时把气体提取和处理系统抽成所需要的高真空;③在高真空($10^{-7} \sim 10^{-6}$ Pa)条件下压碎样品,使矿物流体包裹体中的气体释放至气体提取和处理系统中,继而纯化被提取的气体;④将纯化后的 He 送入质谱作同位素分析;⑤将纯化后的 Ar 送入质谱作同位素分析。

3 结果与讨论

瑶岗仙钨矿床流体包裹体氦、氩同位素分析结果见表 1。由表 1 可以看出,黄铜矿流体包裹体中 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值为 0.37 ~ 0.43 Ra (Ra 为空气的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值, $1 \text{ Ra} = 1.40 \times 10^{-6}$),黑钨矿流体包

表 1 瑶岗仙钨矿床矿物流体包裹体中氦、氩同位素组成

Table 1. He and Ar isotopic compositions of fluid inclusions in chalcopyrite and wolframite collected from the Yaogangxian tungsten deposit

样品号	测定矿物	m(样品)/g	V_{STP}/cm^3				$\varphi(^3\text{He}/^4\text{He})$ /Ra	$\varphi(^{40}\text{Ar})$ / ^{36}Ar	$\varphi(^{40}\text{Ar}^*)$ / ^4He	$V_{STP}/(\text{cm}^3/\text{g})$	
			^3He	^4He	^{36}Ar	^{40}Ar				^4He	^{40}Ar
YGX-57	黄铜矿	0.2704	2.52×10^{-12}	4.65×10^{-6}	5.68×10^{-10}	4.58×10^{-7}	0.43 ± 0.01	798.58 ± 5.35	0.0615	1.72×10^{-5}	1.69×10^{-6}
YGX-62	黄铜矿	0.3070	3.81×10^{-12}	6.51×10^{-6}	1.32×10^{-9}	9.07×10^{-7}	0.44 ± 0.01	690.19 ± 3.45	0.0800	2.12×10^{-5}	2.95×10^{-6}
YGX-50	黄铜矿	0.3023	5.53×10^{-12}	1.10×10^{-5}	1.17×10^{-9}	1.04×10^{-6}	0.45 ± 0.03	885.67 ± 4.78	0.0625	3.65×10^{-5}	3.44×10^{-6}
YGX-53	黄铜矿	0.2750	4.33×10^{-12}	9.70×10^{-6}	1.25×10^{-9}	8.43×10^{-7}	0.37 ± 0.01	672.87 ± 2.69	0.0486	3.5×10^{-5}	3.06×10^{-6}
YGX-61	黑钨矿	0.2600	1.62×10^{-12}	2.99×10^{-5}	2.86×10^{-10}	2.56×10^{-7}	0.05 ± 0.00	903.09 ± 9.30	0.0058	1.15×10^{-4}	9.84×10^{-7}
YGX-77	黑钨矿	0.4519	1.92×10^{-12}	7.13×10^{-6}	4.86×10^{-10}	2.58×10^{-7}	0.15 ± 0.01	529.76 ± 8.32	0.0160	1.58×10^{-5}	5.71×10^{-7}
YGX-11	黑钨矿	0.4768	6.97×10^{-12}	1.90×10^{-5}	1.46×10^{-9}	1.16×10^{-6}	0.28 ± 0.01	799.58 ± 2.56	0.0387	3.98×10^{-5}	2.44×10^{-6}
YGX-36	黑钨矿	0.4472	1.94×10^{-12}	1.02×10^{-5}	1.21×10^{-9}	4.52×10^{-7}	0.14 ± 0.01	370.86 ± 0.82	0.0089	2.29×10^{-5}	1.01×10^{-6}
YGX-25	黑钨矿	0.3734	2.68×10^{-12}	4.30×10^{-7}	8.35×10^{-10}	2.68×10^{-7}	0.49 ± 0.01	324.81 ± 2.89	0.0569	1.15×10^{-6}	7.18×10^{-7}

注:①Ra 为空气的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值($1 \text{ Ra} = 1.40 \times 10^{-6}$);② $^{40}\text{Ar}^*$ 表示扣除空气 ^{40}Ar 后的过剩氩;③最后两栏 ^4He 和 ^{40}Ar 的“浓度”,是指实验条件下每克寄主矿物中被压出的包裹体内的稀有气体量,它只是流体包裹体中稀有气体真实浓度的粗略衡量标准;④浓度误差小于 10%。测试者: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,蒋国豪。

裹体中氦同位素组成相对变化较大,其 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值为 0.05 ~ 0.49 Ra;黄铜矿流体包裹体中的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 变化范围在 673 ~ 886,黑钨矿流体包裹体的氩同位素组成 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 为 325 ~ 903。

3.1 测试数据的影响因素分析

利用矿物流体包裹体示踪成矿古流体,必须满足它们自捕获以后一直保持封闭体系这一前提条件^[28]。由于成矿后地质过程仍很复杂,流体包裹体初始氦、氩同位素组成可能由于成矿后流体活动、扩散丢失、放射性成因和同位素分馏的影响而发生变化。通过镜下观察与测试矿物共生的石英包裹体片,可以发现矿物流体包裹体以原生包裹体为主,其成分可代表黑钨沉淀时成矿流体的成分,因此基本可排除成矿后流体的影响。同时,包裹体能较好地保存矿物形成时的初始氦和氩^[29,30],且 Stuart 等^[31]曾指出当流体包裹体中的氦扩散丢失 > 70% 时,对 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值才产生可观测的影响,故一般不考虑其扩散丢失的影响。对非放射性元素矿床,后生放射成因氦、氩对分析结果的影响可忽略不计^[32-34]。本次研究的样品均采自地下坑道,可排除流体包裹体内存在宇宙成因 ^3He 的可能性^[32,34-36]。大量研究证明,同位素分馏对矿物流体包裹体中惰性气体同位素的变化影响较小^[37-39]。根据上述分析,认为样品中氦、氩同位素的测定值大致可代表成矿流体的初始值。

3.2 He-Ar 同位素体系

地壳流体中稀有气体有 3 个明显不同的源

区:饱和空气雨水中的稀有气体、地幔中的稀有气体和地壳中由核过程形成的放射成因稀有气体^[40]。由于氦在大气中的含量极低,不足以对地壳流体中 He 的丰度和同位素组成产生明显影响^[31,32,34,41],因此,成矿流体中的 He 通常来自地壳和地幔 2 大源区。

由表 1 可以看出,黄铜矿流体包裹体中 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 的比值为 0.37 ~ 0.43 Ra,黑钨矿流体包裹体中 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值为 0.05 ~ 0.49 Ra,高于地壳 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值(0.01 ~ 0.05 Ra, Stuart^[36]),但低于地幔 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值(6 ~ 9 Ra, Burnard^[42])。这表明成矿流体中不仅存在有壳源 He,同时也存在幔源 He。另外,在 He 同位素演化图(图 2)及 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^3\text{He}/^4\text{He}$ 和 $^{40}\text{Ar}^*/^4\text{He}$ - $^3\text{He}/^4\text{He}$ 图解(图 3、4)中,投点均位于地壳端元与地幔端元之间,也说明成矿流体中的 He 具有壳—幔混合来源。

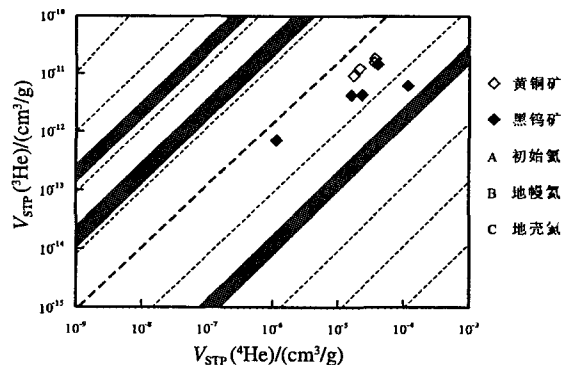


图 2 瑶岗仙钨矿床 He 同位素演化图

Fig. 2. Evolution diagram of helium isotope composition of the Yaogangxian tungsten deposit.

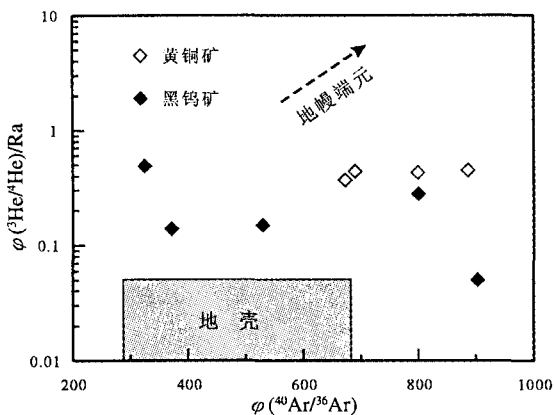


图3 瑶岗仙钨矿床成矿流体
 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^3\text{He}/^4\text{He}$ 图解

Fig. 3. $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^3\text{He}/^4\text{He}$ diagram of ore-forming fluid from the Yaogangxian tungsten deposit.

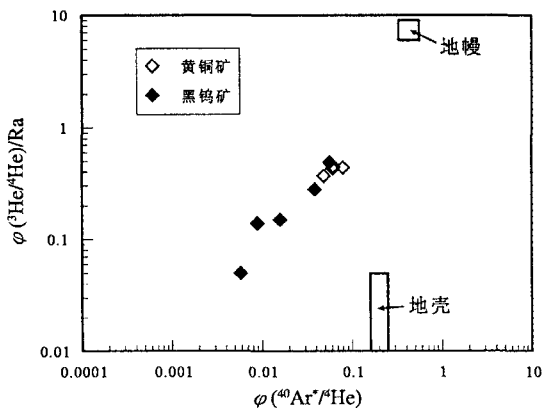


图4 瑶岗仙钨矿床成矿流体
 $^{40}\text{Ar}^*/^{\text{Ar}}$ - $^3\text{He}/^4\text{He}$ 图解

Fig. 4. $^{40}\text{Ar}^*/^{\text{Ar}}$ - $^3\text{He}/^4\text{He}$ diagram of ore-forming fluid from the Yaogangxian tungsten deposit.

源的特征,即成矿流体中不仅有一个含地壳稀有气体的流体端元存在,同时也存在一个含有幔源稀有气体的流体端元。由于该矿床成矿时代(154 Ma)与瑶岗仙花岗岩的成岩时代(150~160 Ma)一致,因此这个含有幔源稀有气体的流体端元应该是由花岗岩浆分异出的岩浆流体。

表1显示黄铜矿流体包裹体中的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值介于673~886之间,黑钨矿流体包裹体中的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值介于325~903之间,相较于大气降水的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 特征值(295.5)偏大,说明流体中存在大量放射成因 $\text{Ar}(\text{Ar}^*)$ 。

样品中放射性成因的 Ar^* 可由下式确定:

$$^{40}\text{Ar}^* = \frac{(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_{\text{样品}} - 295.5}{(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_{\text{样品}}}$$

计算显示,样品中放射性成因 Ar^* 的含量为9%~67%,平均为50%,大气 Ar 的贡献可达33%~91%,平均为50%。同时,部分样品(YGX-36和YGX-25)的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 值(分别为370.86和324.81)与饱和大气雨水的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 值接近,说明成矿流体中确实有大气降水的参与。由图4可以看出,该矿床地壳流体端元的 $^{40}\text{Ar}^*/^{\text{Ar}}$ 比值约为0.005,远低于地壳岩石典型的 $^{40}\text{Ar}^*/^{\text{Ar}}$ 比值(0.2)和典型的地幔 $^{40}\text{Ar}^*/^{\text{Ar}}$ 比值(0.5)^[36]。由图3可以看出,该矿床地壳流体端元的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 约为300,与饱和空气的雨水基本一致。对于同一矿物而言,氦比氩更易丢失^[28],样品流体包裹体中 $^{40}\text{Ar}^*/^{\text{Ar}}$ 值的降低不可能是氩丢失引起,应该是由 ^4He 含量增加引起的。已有研究表明,现代地下水 $^{40}\text{Ar}^*/^{\text{Ar}}$ 值的降低,是地下水从流经岩石优先获取 ^4He (相对于 ^{40}Ar)的结果^[43],地下水从地壳岩石中获取放射成因的 ^{40}Ar 和 ^4He ,与 Ar 和 He 的封闭温度有关。对大多数矿物而言, He 的封闭温度往往低于200℃,而 ^{40}Ar 的封闭温度往往高于200℃^[44,45]。瑶岗仙钨矿床成矿流体中地壳流体端元对地壳岩石中氩的优先富集以及基本未能获取其中氩的特性,说明它可能是一种低温(<200℃)大气成因地下水。

3.3 地质意义

长期以来,南岭石英脉型黑钨矿的形成一直被认为是与在碰撞背景之下形成的S型花岗岩浆分异出的成矿流体有关^[1,2,46-48]。近期一些研究发现即使是南岭地区的“S型花岗岩”中也存在地幔组份^[49,50,51,52]。湖南丫江桥花岗岩属于典型的“S型花岗岩”,其中绝大多数锆石的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 初始值显示壳源型过铝花岗岩的特征,但部分锆石仍显示了幔源锆石的特征,说明该花岗岩浆受到了不同程度的幔源物质的混染^[49];赣南大吉山“S型黑云母花岗岩”中黑云母的地球化学研究显示黑云母花岗岩具有壳幔混合的特点^[50];福建武夷花岗岩的 Sr-Nd-Hf 同位素显示,“S型黑云母花岗岩浆”由元古代基底变质岩部分熔融产生的熔体与幔源岩浆混合形成^[51];广东佛冈花岗岩 Sr-Nd-Hf 同位素证据($I_{\text{Sr}} = 0.7098 \sim 0.7136$, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) = -4.3 \sim -12.2$, 锆石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t) = -11.5 \sim -3.1$)也显示其母岩浆有幔源岩浆的加入^[52]。从上面的研究来看,在南岭地区广泛分布的所谓“S型花岗岩”中,确有部分地幔组分存在。因此本区的“S

型花岗岩”很可能是壳幔相互作用的结果,而非完全是“由地壳中的沉积源岩重熔”而形成的花岗岩。由本文的研究可以看出,瑶岗仙钨矿床成矿流体实际上是由瑶岗仙 S 型花岗岩浆分异出的含有地幔 He 的岩浆流体与大气成因地下水二端元混合的产物。由瑶岗仙 S 型花岗岩浆分异出的流体含有地幔 He,这说明其岩浆的形成也是壳幔相互作用的结果。

4 结 论

(1) 黄铜矿和黑钨矿流体包裹体中氦氩同位

素研究表明,由瑶岗仙 S 型花岗岩浆分异出的含有地幔 He 的岩浆流体与大气成因地下水二端元混合的产物。

(2) S 型花岗岩不完全是地壳内部地质作用的产物,壳幔相互作用在 S 型花岗岩的形成中也起了重要作用。

参 考 文 献:

- [1] 卢焕章. 华南钨矿成因[M]. 重庆: 重庆出版社, 1986: 56-66.
- [2] 康永孚, 苗树屏, 李崇佑, 古菊云, 李亿斗, 吴永乐. 中国钨矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 1-104.
- [3] 阮道源. 湖南瑶岗仙花岗岩侵入体的生成与变化过程及成矿关系的初步研究[J]. 地质评论, 1958, 18(1): 1-10.
- [4] 陈依壤. 瑶岗仙脉型钨矿床地质特征与找矿标志[J]. 地质与勘探, 1981, 2(2): 25-30.
- [5] 张德会. 湖南宜章瑶岗仙钨矿床地质特征及其形成机制[D]. 武汉: 武汉地质学院硕士学位论文, 1984.
- [6] 张德会. 石英脉型黑钨矿成矿流体性质的进一步探讨[J]. 地球科学, 1987, 12(2): 185-192.
- [7] 林新多, 章传玲, 张德会. 初论湖南瑶岗仙含钨矿脉及矿化的垂直分带[J]. 地质论评, 1987, 33(6): 539-546.
- [8] 邱璐龙. 瑶岗仙“五层楼”式脉钨矿床的围岩蚀变[J]. 矿床地质, 1984, 3(2): 68-75.
- [9] 陈依壤. 瑶岗仙矿田控矿因素及成矿条件分析[J]. 湖南地质, 1992, 11(4): 285-293.
- [10] 林新多, 张德会, 章伟玲. 湖南宜章瑶岗仙黑钨矿石英脉的成因[J]. 地球科学, 1986, 11(2): 153-160.
- [11] 倪纪文. 瑶岗仙钨矿床包裹体研究及成矿溶液特征的探讨[J]. 浙江大学学报, 1994, 28(1): 73-81.
- [12] 王巧云, 胡瑞忠, 彭建堂, 毕献武, 武丽艳, 刘华, 苏本勋. 湖南瑶岗仙钨矿床流体包裹体特征及其意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(9): 2263-2273.
- [13] 徐克勤. 湘南钨铁矿矿区中矽卡岩型钙钨矿的发现, 并论两类矿床在成因上的关系[J]. 地质学报, 1957, 37(2): 117-151.
- [14] 张德会. 试论石英脉型黑钨矿床的液态分离成因[J]. 地质与勘探, 1988, 9(7): 15-20.
- [15] 陈依壤. 瑶岗仙钨矿床的晶洞特征及其研究意义[J]. 湖南地质, 1995, 14(4): 226-234.
- [16] 刘德镒. 瑶岗仙钨矿中石英的标型特征[J]. 矿物学报, 1994, 14(1): 74-82.
- [17] 陈蓉美. 瑶岗仙脉钨矿伴生组分的研究[J]. 湖南地质, 1983, 2(2): 36-43.
- [18] Peng J T, Zhou M F, Hu R Z, Shen N P, Yuan S D, Bi X W, Du A D, Qu W J. Precise molybdenite Re-Os and mica Ar-Ar dating of the Mesozoic Yaogangxian tungsten deposit, central Nanling district, South China [J]. *Mineralium Deposita*, 2006, 41: 661-669.
- [19] 陈依壤. 瑶岗仙花岗岩地质地球化学特征与成岩成矿作用[J]. 矿产与地质, 1988, 1(2): 22-28.
- [20] 朱金初, 黄革非, 张佩华, 李福春, 饶冰. 湖南骑田岭岩体菜岭超单元花岗岩侵位年龄和物质来源研究[J]. 地质论评, 2003, 49(4): 245-252.
- [21] Li X H, Liu D Y, Sun M, Li W X, Liang X R, Liu Y. Precise Sm-Nd and U-Pb isotopic dating of the supergiant Shizhuyuan polymetallic deposit and its host granite, SE China [J]. *Geological Magazine*, 2004, 141(2): 225-231.
- [22] 付建明, 马昌前, 谢才富, 张业明, 彭松柏. 湖南九嶷山复式花岗岩体 SHRIMP 锆石定年及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(4): 370-378.
- [23] 朱金初, 张辉, 谢才富, 张佩华, 杨策. 湘南骑田岭竹视水花岗岩的锆石 SHIMP U-Pb 年代学和岩石学[J]. 高校岩石学报, 2005, 11(3): 335-342.
- [24] 姚军明, 华仁民, 林锦富. 湘东南黄沙坪花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及岩石地球化学特征[J]. 岩石学报, 2005, 21(3): 688-696.
- [25] 朱金初, 张佩华, 谢才富, 张辉, 杨策. 南岭西段花山-姑婆山 A 型花岗岩杂岩带: 岩石学、地球化学和岩石成因[J]. 地质学报, 2006, 80(4): 529-542.
- [26] 马铁球, 柏道远, 邝军, 彭学军, 王先辉. 南岭大东山岩体北部⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年及地球化学特征[J]. 地球化学, 2006, 35(4): 346-358.
- [27] 江西根, 柏道远, 陈建超, 熊延望, 马铁球, 王先辉. 湘东南宝峰仙地区燕山早期花岗岩地球化学特征及其构造环境[J]. 大地

- 构造与成矿学, 2006, 30(2): 206-219.
- [28] 胡瑞忠. 成矿流体氦、氩同位素地球化学[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1997, 16(2): 120-124.
- [29] Trull T W, Kurz M D, Jenkins W J. Diffusion of cosmogenic ^3He in olivine and quartz: Implications for surface exposure dating [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1991, 103: 241-256.
- [30] Kelley S, Turner G, Butterfield D. The source and significance of argon isotopes in fluid inclusions from areas of mineralization [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1986, 79: 303-318.
- [31] Stuart F M, Turner G, Duckworth R C, Fallick A E. Helium isotopes as tracers of trapped hydrothermal fluids in ocean-floor sulfides [J]. *Geology*, 1994, 22: 823-826.
- [32] Hu R Z, Burnard P G, Turner G, Bi X W. Helium and argon systematics in fluid inclusions of Machangqing copper deposit in west Yunnan Province, China [J]. *Chem Geol*, 1998, 146: 55-63.
- [33] 胡瑞忠, 毕献武. 哀牢山金矿带成矿流体 He 和 Ar 同位素地球化学[J]. 中国科学(D 辑), 1999, 29(4): 321-330.
- [34] Hu R Z, Burnard P G, Bi X W, Zhou M F, Peng J T, Su W C, Wu K X. Helium and argon isotope geochemistry of alkaline intrusion-associated gold and copper deposits along the Red River-Jingshajiang fault belt, SW China [J]. *Chem Geol*, 2004, 203: 305-317.
- [35] Simmons S F, Sawkins F J, Schlutter D J. Mantle-derived helium in two Peruvian hydrothermal ore deposits [J]. *Nature*, 1987, 329: 429-432.
- [36] Stuart F M, Burnard P G, Taylor R P, Turner G. Resolving mantle and crustal contribution to ancient hydrothermal fluids: He-Ar isotopes in fluid inclusions from DaeHwa W-Mo mineralisation, South Korea [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1995, 59: 4663-4673.
- [37] Podosek F A, Bernatowicz T J, Kramer F E. Absorption of xenon and krypton on shales [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1980, 45: 2401-2415.
- [38] Turner G, Stuart F M. Helium/heat ratios and deposition temperature of sulfides from the ocean floor [J]. *Nature*, 1992, 357: 581-583.
- [39] Baptise P J, Fouquet Y. Abundance and isotopic composition of helium in hydrothermal sulfides from the East Pacific Rise at 13°N [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1996, 40: 87-93.
- [40] Turner G, Burnard P B, Ford J L. Tracing fluid sources and interaction [J]. *Phil Trans R Soc Lond A*, 1993, 344: 127-140.
- [41] Marty B, Jambon A, Sano Y. Helium isotope and CO_2 in volcanic gases of Japan [J]. *Chem Geol*, 1989, 76: 25-40.
- [42] Burnard P G, Hu R Z, Turner G, Bi X W. Mantle, crustal and atmospheric noble gases in Ailaoshan gold deposit, Yunnan Province, China [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1999, 63: 1595-1604.
- [43] Torgersen T, Kennedy B M, Hiyagon H. Argon accumulation and the crustal degassing flux of ^{40}Ar in the Great Artesian Basin, Australia [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1988, 92: 43-59.
- [44] Lippolt H J, Weigel E. ^4He diffusion in Ar-retentive minerals [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1988, 52: 1449-1458.
- [45] McDougall I, Harrison T M. *Geochronology and Thermochronology By the ^{40}Ar - ^{39}Ar Method* [M]. Oxford: Oxford Univ Press, 1988.
- [46] 徐克勤, 丁毅. 江西南部钨矿地质志[M]. 重庆: 中央地质调查所专报甲种第 17 号, 1943.
- [47] 冶金部南岭钨矿专题组. 华南钨矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1986.
- [48] 毛景文, 李红艳, 裴荣富. 千里山花岗岩地质地球化学及成矿关系[J]. 矿床地质, 1995, 14(1): 12-23.
- [49] 汪相, Griffin W L, 王志成, 等. 湖南丫江桥花岗岩中锆石的 Hf 同位素地球化学[J]. 科学通报, 2003, 48(4): 379-382.
- [50] 蒋国豪, 胡瑞忠, 谢桂青, 等. 大吉山花岗岩体黑云母地球化学特征及其成岩成矿意义[J]. 矿物岩石, 2005, 25(1): 58-61.
- [51] 于津海, 周新民, 赵蕾, 等. 壳幔作用导致武平花岗岩形成——Sr-Nd-Hf-U-Pb 同位素证据[J]. 岩石学报, 2005, 21(3): 651-664.
- [52] Li X H, Li Z X, Li W X, et al. U-Pb zircon, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on age and origin of Jurassic I- and A-type granites from central Guangdong, SE China: A major igneous event in response to foundering of a subducted flat-slab? [J]. *Lithos*, 2007, 96: 186-204.

Helium and Argon Isotopic Compositions of Ore-Forming Fluid from the Yaogangxian Tungsten Deposit and Their Geological Implications

CHEN Hong-wei^{1,2}, HU Rui-zhong¹, PENG Jian-tang¹, BI Xian-wu¹

(1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The Yaogangxian tungsten deposit is a typical quart-vein tungsten deposit in the Nanling region, South China. The helium and argon isotopic compositions of fluid inclusions in chalcopyrite and wolframite collected from this deposit have been analyzed. It is shown that, $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios of fluid inclusions in chalcopyrite and wolframite fall in the range of 0.37 – 0.43 Ra and 0.05 – 0.49 Ra, respectively, obviously higher than that of the crust. $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ratios of these fluid inclusions in above minerals are 673 – 886 and 325 – 903, respectively, which are obviously higher than that of air-saturated meteoric water, indicating that the ore-forming fluid in this deposit is a mixture of mantle- and crustal-derived fluids. Combined with the regional tectonic evolution and geochronological data, the authors conclude that the ore-forming fluid in this deposit is a mixture of mantle fluid and crustal fluids; the former is of magmatic origin, differentiated from Yaogangxian S-type granite and enriched in helium, the latter is of meteoric origin, and the S-type granite intrusion in the mining district is ascribed to crust-mantle interaction.

Key words: ore-forming fluid; He; Ar; isotopes; Yaogangxian tungsten deposit; southern Hunan