

# 新疆望峰金矿成矿流体的 He、Ar 同位素示踪

杨 猛, 王居里\*, 王建其, 党飞鹏

大陆动力学国家重点实验室, 陕西西安 710069;  
西北大学地质学系, 陕西西安 710069

**摘要:** 本文采用稀有气体同位素质谱方法, 通过分析望峰金矿石中载金黄铁矿流体包裹体He、Ar同位素组成, 对成矿流体进行示踪研究。结果显示, 黄铁矿流体包裹体 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值为0.00473~0.01079 Ra,  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值为301~413, 具地壳放射性成因氦同位素组成和大气降水成因氩同位素组成, 总体显示由大气降水改造而成的地壳流体特征。望峰金矿成矿流体中He同位素组成异常, 是成矿前大气降水与高U、Th含量古老容矿围岩作用遭受放射性成因 $^4\text{He}$ 稀释、成矿时发生流体减压沸腾综合作用的结果, Ar同位素组成异常是成矿前大气降水下渗获取容矿围岩放射性成因 $^{40}\text{Ar}$ 的结果, 成矿流体是大气降水深循环的产物。

**关键词:** He、Ar 同位素; 地壳流体; 大气降水深循环; 望峰金矿

中图分类号: P618.51; P597.2 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2012.05.10

## Helium and Argon Isotopic Tracing of Ore-forming Fluid from the Wangfeng Gold Deposit in Xinjiang

YANG Meng, WANG Ju-li, WANG Jian-qi, DANG Fei-peng

State Key Laboratory of Continental Dynamics, Xi'an, Shaanxi 710069;  
Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069

**Abstract:** The Wangfeng gold deposit is located in the Bingdaban ductile shear zone along the northern margin of Mid-Tianshan. Helium and Argon isotopic compositions of fluid inclusions in pyrite were analyzed to trace the source of ore-forming fluid by using an inert gas isotopic mass spectrometer after analyzing variables that may affect He-Ar original isotopic compositions of the ore-forming fluid. The analytical results indicate that  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratio and  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  ratio vary respectively from 0.00473 Ra to 0.01079 Ra and from 301 to 413, helium and argon isotopic compositions synthetically exhibit the crust-derivation of the ore-forming fluid, which was the product of the deep circulation of atmospheric water. Meanwhile, in contrast to typical crust-derived fluid, Wangfeng ore-forming fluid has higher  $^4\text{He}$  and  $^{40}\text{Ar}$ , resulting in lower  $^3\text{He}/^4\text{He}$  and higher  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  than typical He-Ar isotopic compositions of crust-derived fluid. An analysis of main country rocks and ore-forming fluid inclusions reveals that ore-hosting country rocks with high U, Th concentrations produced much more radiogenic  $^4\text{He}$  which reduced  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratio in comparison with normal radiogenic He isotopic composition, that atmospheric water with atmosphere-derived He-Ar isotopic compositions subsided through brittle crannies and captured radiogenic He existing in country rocks, and that some radiogenic  $^{40}\text{Ar}$  was obtained synchronously, which reduced  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratio preliminarily and raised  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  ratio at the pre-mineralization stage. Then, ore-forming fluid boiled due to hydrothermal decompression at the ore-forming stage, which brought  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratio down. In summary, the ore-forming fluid of the Wangfeng gold deposit was crust-derived and reformed during the process of fluid evolution.

**Key words:** He-Ar isotopes; crust-derived fluid; deep circulation of atmospheric water; Wangfeng gold deposit in Xinjiang

本文由“十一五”国家科技支撑计划项目(编号: 2006BAB07B04-05)和西北大学研究生创新基金项目(编号: 10YZZ23)联合资助。

收稿日期: 2012-02-16; 改回日期: 2012-03-23。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 杨猛, 男, 1985 年生。硕士研究生。主要从事矿床学研究。E-mail: ym120585@163.com。

\*通讯作者: 王居里, 男, 1958 年生。博士, 教授。主要从事矿床学研究。通讯地址: 710069, 陕西省西安市太白北路 229 号。

E-mail: jlwang@nwu.edu.cn。

新疆望峰金矿位于中天山北缘天格尔金矿带东段, 成因上属造山型或含金剪切带型金矿(陈衍景等, 1998; 陈华勇等, 2000; 王居里等, 2009; 张莉等, 2009), 成矿年龄为 290~270 Ma(李华芹等, 1998), 形成于海西晚期由挤压向伸展转换的后碰撞环境(王居里等, 2009)。就成矿流体来源示踪研究而言, 前人主要采用石英、方解石等脉石矿物进行 C、H、O 等稳定同位素示踪, 研究结果认为成矿流体为变质热液与大气降水的混合成因流体(陈衍景等, 1998; 陈华勇等, 2000; 张莉等, 2009), 而对与金密切共生的金属矿物中流体包裹体尚未进行过详细研究, 这将在一定程度上影响到对矿床成因的认识及对成矿过程的探讨。

稀有气体尤其是氦、氩, 由于其化学性质不活泼及不同源区同位素组成差异明显等特点, 被广泛用于成矿古流体示踪研究, 应用稀有气体同位素示踪方法研究不同地质时期、不同动力学背景下金属成矿作用已成为矿床学研究热点(毛景文等, 1997, 2000; 胡瑞忠, 1997; 胡瑞忠等, 1997a, b; 侯增谦等, 1999; Hu et al., 2004; 申萍等, 2004; 蔡明海等, 2008; 朱赖民等, 2009)。已有研究表明, 不同来源地质流体的 He、Ar 同位素组成具有明显的区别(Stuart et al., 1995; Burnard et al., 1999): (1)饱和空气水, 主要包括与大气平衡的大气降水和海水,  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}=1.4\times10^{-6}$ (Ra)、 ${}^{40}\text{Ar}/{}^{36}\text{Ar}=295.5$ ; (2)地幔流体,  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}=6\sim9$  Ra、 ${}^{40}\text{Ar}/{}^{36}\text{Ar}>40000$ ; (3)地壳流体, 指与陆壳岩石发生过相互作用的饱和空气水, 即改造的饱和空气水, 氦为地壳放射成因,  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}=0.01\sim0.05$  Ra、 ${}^{40}\text{Ar}/{}^{36}\text{Ar}>295.5$ 。本文采用稀有气体同位素质谱方法, 以矿石矿物载金黄铁矿中流体包裹体为研究对象, 在分析后期地质作用对成矿流体初始氦、氩同位素组成影响的基础上, 对成矿流体进行示踪, 并结合矿区地质实际, 探讨成矿流体演化过程。

## 1 区域地质与矿床地质概况

研究区位于中天山与北天山两大构造单元的结合部位, 天格尔金矿带东段, 西邻冰(胜利)达坂(图 1)。区内出露地层主要为中新元古界变质岩系, 呈残片状构成区内活动型变质基底(车自成等, 1996), 其北与上泥盆统天格尔组断层接触。侵入岩主要为新元古代晚期与加里东晚期花岗岩类, 构成冰达坂复式岩基主体, 北侧发育二叠纪红色碱长花岗岩及角闪辉长岩, 矿体附近常见变辉绿岩脉。断裂构造自南向北依次为冰达坂断裂、红五月桥断裂, 与冰达

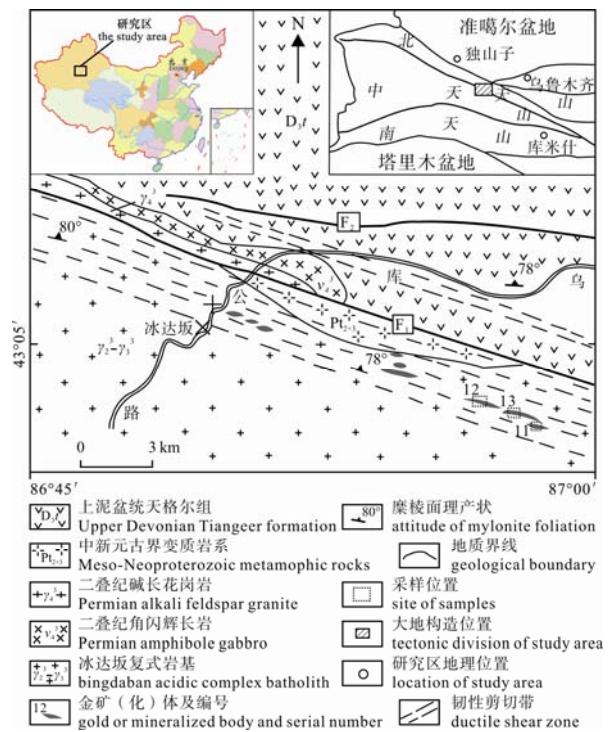


图 1 望峰金矿区地质简图(据炎金才等, 1996 和  
王居里等, 2009 修改)

Fig. 1 Geological map of the Wangfeng gold orefield  
(modified after YAN Jin-cai, 1996 and WANG Ju-li, 2009)

F<sub>1</sub>-冰达坂断裂, F<sub>2</sub>-红五月桥断裂

F<sub>1</sub>-Bingdaban fault; F<sub>2</sub>-Hongwuyueqiao fault

坂韧性剪切带共同构成中天山北缘复合断裂带, 现今以冰达坂韧性剪切带为主体, 该剪切带为一条大型右行走滑剪切构造带, 宽 2~5 km, 总体呈 NWW—SEE 向展布, 由一系列近平行排列的次级剪切带组成, 区内岩石、地层几乎均遭受剪切变形、变质作用, 宏观表现为片理化带和糜棱岩带(王居里等, 2009)。

望峰金矿体呈脉状产出, 产状与糜棱面理一致或以小角度与糜棱面理斜交, 矿体围岩为糜棱岩化花岗岩, 二者渐变过渡。容矿构造以 D 型剪切裂隙为主, 部分为 P 型剪切裂隙。矿化类型以致密状石英脉型为主, 少量为蚀变糜棱岩型; 蚀变类型有黄铁矿化、硅化、绢云母化、碳酸盐化等, 蚀变分带不明显; 矿石矿物组合主要为自然金-磁黄铁矿-黄铁矿-白铁矿-胶状黄铁矿等, 金以不规则状自然金形式产于黄铁矿、黄铁矿裂隙及脉石矿物中。

## 2 样品特征与分析方法

样品采自矿区开采坑道内, 均为新鲜致密状石英脉型矿石。样品呈灰白色、青灰色, 质地坚硬, 半自形-自形黄铁矿浸染状沿糜棱面理分布。矿石粉碎

分离出黄铁矿单矿物后在显微镜下挑纯, 纯度>99%。黄铁矿流体包裹体He、Ar同位素测试在中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心地球化学测试部完成, 测试仪器为英国Micromass公司生产的MM5400型质谱计, 以LDB03-01-94稀有气体同位素质谱峰高比检测方法为检测依据。测试过程中, 将破碎、过筛后样品用蒸馏水冲洗3~5遍后用4 mol/L HCl浸泡6 h以上, 以消除碳酸盐及变质壳层, 再依次用蒸馏水和丙酮冲洗3~5遍, 烘干、自然冷却至室温。取500 mg样品用铝箔包裹置入样品台, 于约130°抽真空24 h以上, 以脱除表面吸附气, 气体抽提线和净化管线也在约150°焙烤24 h以上, 以脱除管壁内表面吸附气的记忆效应。将加热炉于1700°高温去气, 然后将样品台中样品推入保持在1600°的加热炉中释放气体, 分取适量的气体样品用800°的钛炉和室温下的ZrAl泵净化, 稀有气体用活性炭先后于液态氮和冰水混合物的恒温条件下分别吸附分离, 然后分别送入质谱计进行含量和同位素测试,  $^4\text{He}$ 、Ar用法拉第杯检测,  $^3\text{He}$ 用电子倍增器检测。实验条件: 9.0 kV高压, 发射电流为800  $\mu\text{A}$ (测试He)、200  $\mu\text{A}$ (测试Ar), 分析时检测仪器的热本底为:  $^4\text{He}=2.46\times10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ STP}$ 、 $^{40}\text{Ar}=1.39\times10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ STP}$ , 检测使用的标准样为兰州市皋兰山顶的空气, 分析结果均进行了标准校准和本底校正。更详细的测试流程及说明参见叶先仁等(2001)。

### 3 分析结果

望峰金矿黄铁矿流体包裹体He、Ar同位素组成及相关参数如表1。

#### 3.1 分析结果影响因素

影响流体包裹体初始氦、氩同位素组成的后期作用因素主要有(胡瑞忠, 1997): (1)成矿期后热液作用改造; (2)寄主矿物晶格及流体包裹体内初始氦、氩扩散; (3)流体包裹体内放射成因新生氦、氩;

#### (4)样品分析过程中同位素分馏及大气污染。

研究区宏观未见后期热液脉体穿插、叠加蚀变等改造或破坏矿体现象, 矿相学观察显示矿石中载金金属矿物主要为半自形-自形热液成因黄铁矿, 不含富Li矿物, 与金密切共生的黄铁矿的形态、晶形、分布特征等显示为同世代, 薄片中与载金脉石矿物石英共生, 总体保留成矿期原始组成和组构, 黄铁矿中流体包裹体可代表成矿期原生包裹体。黄铁矿晶格中及流体包裹体内氦、氩的扩散系数均很低(Burnard et al., 1999), 以黄铁矿为寄主矿物的流体包裹体中氦、氩的扩散丢失对氦氩同位素组成影响很小或忽略不计(胡瑞忠, 1997)。黄铁矿并非U、Th、K的主要赋存矿物, 流体包裹体内U、Th、K衰变可产生很少量的 $^4\text{He}$ 和 $^{40}\text{Ar}$ , 但对于海西期成矿而言, 其对黄铁矿流体包裹体的初始氦、氩同位素比值影响甚微(申萍等, 2004)。研究用样品均采自矿区开采坑道内, 可排除宇宙成因 $^3\text{He}$ 的污染。大气He对样品的污染可采用F<sup>4</sup>He参数(Kendrick et al., 2001)(定义为( $^4\text{He}/^{36}\text{Ar}$ )<sub>样品</sub>与( $^4\text{He}/^{36}\text{Ar}$ )<sub>大气</sub>=0.1655的比值)判断, 经计算样品F<sup>4</sup>He值>8000(表1), 样品中 $^4\text{He}$ 量是大气的8000倍以上, 大的F<sup>4</sup>He值表明大气污染对测试结果影响很小, 样品中氦应主要来源于地幔与地壳。

综上分析, 测试结果可代表成矿流体初始He、Ar同位素组成。

#### 3.2 氦同位素组成

望峰金矿黄铁矿流体包裹体中 $^4\text{He}$ 含量高( $54.6\times10^{-7} \sim 280\times10^{-7} \text{ cm}^3 \text{ STP/g}$ )、 $^3\text{He}$ 含量低( $0.68\times10^{-13} \sim 2.33\times10^{-13} \text{ cm}^3 \text{ STP/g}$ )、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值为0.00473~0.01079 Ra(表1), 与地壳放射性成因特征值(0.01~0.05 Ra, Ballentine et al., 2002)相近而明显低于大气(1 Ra)与地幔特征值(6~9 Ra, Stuart et al., 1995), 在 $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ 同位素组成图中(图2a), 投点落入地壳氦端员内部及其下部附近区域。表明望峰金矿成矿流体中氦为地壳放射性成因, 但与地壳放射

表1 望峰金矿黄铁矿流体包裹体He、Ar同位素组成及相关参数  
Table 1 He-Ar isotopic compositions of fluid inclusions in pyrite from the Wangfeng gold deposit

样号	样品名称	$^4\text{He}/10^{-7}$	$^3\text{He}/10^{-13}$	$^{40}\text{Ar}/10^{-7}$	$^{36}\text{Ar}/10^{-7}$	R/Ra	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	F <sup>4</sup> He	$^{40}\text{Ar}^*/^{4}\text{He}$
W0-2	黄铁矿	169±11	2.33	2.36±0.17	0.00635	0.00983±0.00027	371.5±3.5	159779	0.00286
13-4	黄铁矿	280±19	1.85	1.86±0.13	0.00451	0.00473±0.00027	412.8±36.1	373225	0.00189
W4-2	黄铁矿	157±11	1.70	3.59±0.26	0.01173	0.007733±0.00007	306.0±2.3	80373	0.00078
W4-6	黄铁矿	54.6±3.6	0.83	1.27±0.096	0.00398	0.010793±0.00005	319.2±8.0	82421	0.00173
115-2	黄铁矿	85.9±5.8	0.68	1.34±0.093	0.00445	0.00563±0.00011	301.1±8.8	115927	0.00029

注: R为样品 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值; Ra为大气 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值, 1 Ra=1.4×10<sup>-6</sup>; 同位素含量单位为 $\text{cm}^3 \text{ STP/g}$ 。

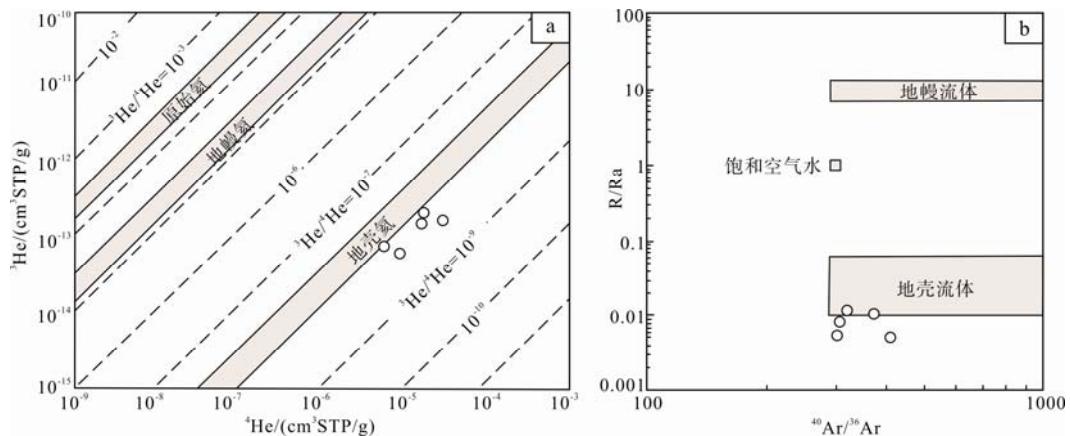


图 2 望峰金矿成矿流体<sup>3</sup>He-<sup>4</sup>He(a, 据 Mamyrin et al., 1984)及R/Ra-<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar(b, 据丰成友等, 2006)图

Fig. 2 <sup>3</sup>He-<sup>4</sup>He diagram (a, after Mamyrin et al., 1984) and R/Ra-<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar diagram (b, after FENG Cheng-you et al., 2006) of Wangfeng gold ore-forming fluid

性成因特征值相比偏低。

### 3.3 氩同位素组成

望峰金矿样品氩浓度变化范围窄, <sup>40</sup>Ar含量为  $1.27 \times 10^{-7} \sim 3.59 \times 10^{-7}$  cm<sup>3</sup>STP/g, <sup>36</sup>Ar含量为  $0.00398 \times 10^{-7} \sim 0.01173 \times 10^{-7}$  cm<sup>3</sup>STP/g, <sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar比值为 301 ~ 413, 接近于大气氩同位素组成(<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar=295.5, Stuart et al., 1995)但相对偏高, 表明存在地壳放射性成因<sup>40</sup>Ar加入。样品中放射性成因<sup>40</sup>Ar相对含量可由下式计算(Kendrick et al., 2001):

$$^{40}\text{Ar}^*/\% = [1 - 295.5 / (^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_{\text{样品}}] \times 100$$

计算结果显示, 望峰金矿成矿流体中放射性成因<sup>40</sup>Ar相对含量为 1.85% ~ 28.27%, 大气<sup>40</sup>Ar贡献达 71.73% ~ 98.15%, 表明成矿流体中Ar主要为大气来源, 与大气平衡的饱和空气水参与成矿。

由上述可见, 望峰金矿黄铁矿流体包裹体中He、Ar同位素组成与地壳流体(<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He=0.01 ~ 0.05 Ra, <sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar > 295.5)近一致, 氦来源于容矿围岩放射性成因氦, 氩主要来源于与大气平衡的饱和空气水, 部分来源于容矿围岩放射性成因氩, 成矿流体中无幔源气体组分参与。在R/Ra-<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar图中(图 2b), 投点落入地壳流体区内部及其下部附近区域, 但较地壳流体特征值具有一定偏离。

## 4 讨论

### 4.1 氦、氩同位素组成异常

望峰金矿黄铁矿中流体包裹体被捕获后未受后生过程影响, 其<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He比值代表成矿流体初始<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He比值, 因此流体包裹体中<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He比值低于正常地壳放射成因比值主要反映成矿流体被捕获前的演化过程。据前人研究(胡瑞忠等, 1997b; 李延河,

2000), 引起地壳流体He同位素组成较正常地壳值偏低的原因主要有:(1)高U、Th含量古老容矿围岩放射性成因<sup>4</sup>He稀释;(2)成矿期间成矿流体发生沸腾,<sup>3</sup>He优先进入气相散失。望峰金矿容矿围岩为早志留世花岗岩(朱永峰等, 2006), 新近研究表明, 该花岗岩具有较高的U、Th含量, 分别为区域背景值的2.80 ~ 5.49倍和1.63 ~ 2.08倍(另文发表), U、Th放射性衰变生成的<sup>4</sup>He将导致与之平衡的地壳流体He同位素组成偏低;张莉等(2009)研究表明望峰金矿成矿期间曾发生流体减压沸腾作用。可见望峰金矿成矿流体<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He值相对于地壳流体特征值偏低, 是成矿前容矿围岩放射性成因<sup>4</sup>He稀释与成矿期流体沸腾导致<sup>3</sup>He逸散综合作用的结果。

望峰金矿成矿流体中放射性成因<sup>40</sup>Ar相对含量为 1.85% ~ 28.27%, 由于流体沸腾作用并不导致Ar同位素比值变化(Kendrick et al., 2001), 因此望峰金矿成矿流体中<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar相对大气降水值略微偏高, 原因在于成矿前水-岩作用过程, 表明具有大气成因Ar同位素组成(<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar=295.5)的大气降水下渗过程中获取容矿围岩中放射性成因<sup>40</sup>Ar, 导致<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar比值升高, 形成改造后的饱和空气水即地壳流体。

望峰金矿成矿流体<sup>40</sup>Ar/<sup>4</sup>He比值为 0.00029 ~ 0.00286, 显著低于地壳(均值 0.156, 胡瑞忠等, 1999)比值。胡瑞忠(1997)研究表明, 同一矿物中氦比氩更容易丢失, 样品流体包裹体中<sup>40</sup>Ar/<sup>4</sup>He值的降低不可能是氦丢失引起, 而是<sup>4</sup>He含量增加所致。Torgersen等(1989)研究认为, 现代地下水<sup>40</sup>Ar/<sup>4</sup>He值的降低是地下水从流经岩石中相对<sup>40</sup>Ar优先获取<sup>4</sup>He的结果, 地下水从地壳岩石中获取放射性成因<sup>40</sup>Ar和<sup>4</sup>He, 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<sup>40</sup>Ar的封闭温度往往高于 200℃。望峰金矿开采段位矿石中黄铁矿爆裂温度及石英流体包裹体均一法测温结果显示(王居里等, 1995; 张莉等, 2009), 主成矿阶段成矿流体温度介于 200℃ ~ 350℃之间, 下渗的大气降水对放射性成因<sup>40</sup>Ar和<sup>4</sup>He均可同步获取, 不同的是量的差异, 但望峰金矿成矿流体异常强烈的<sup>40</sup>Ar\*/<sup>4</sup>He低值, 应是流体流经围岩本身具有高放射性成因<sup>4</sup>He所致。

#### 4.2 成矿流体演化

望峰金矿成矿流体演化过程可反演如下: 海西晚期韧性剪切变形过程中, 大气降水沿剪切带浅部脆性构造下渗, 与具高U、Th含量的早志留世容矿花岗岩发生水-岩作用, 继承地壳放射性成因He同位素组成, 并获取部分放射性成因<sup>40</sup>Ar, 改造成为地壳流体, 循环上升至成矿期发生流体减压沸腾作用, 导致<sup>3</sup>He逸散, 从而使被捕获的流体包裹体显示具相对地壳放射成因特征值明显偏低的He同位素组成与相对大气降水略微偏高的Ar同位素组成特征, 望峰金矿成矿流体是大气降水深循环作用的结果。

### 5 结论

1) 望峰金矿成矿流体具有地壳放射性成因 He同位素组成与大气降水成因 Ar 同位素组成, 成矿流体为由大气降水改造而成的地壳流体。

2) 望峰金矿成矿流体He、Ar同位素组成与地壳流体特征值间存在差异, 是韧性剪切变形-成矿过程中, 大气降水下参与高U、Th含量的古老容矿围岩作用, 继承其放射成因He同位素组成, 同时获取一定量放射性成因<sup>40</sup>Ar, 并在成矿期发生流体减压沸腾综合作用的结果, 成矿流体为大气降水深循环作用的产物。

致谢: 感谢匿名审稿人对完善本文提出的宝贵意见和建议。

### 参考文献:

- 蔡明海, 韩凤彬, 何龙清, 刘国庆, 陈开旭, 付建明. 2008. 湘南新田岭白钨矿床 He、Ar 同位素特征及 Rb-Sr 测年[J]. 地球学报, 29(2): 167-173.
- 车自成, 刘良, 刘洪福, 罗金海. 1996. 中天山基底岩系的韧性-脆韧性改造作用[J]. 地质科学, 31(4): 391-396.
- 陈华勇, 鲍景新, 张增杰, 刘玉琳, 倪培, 凌洪飞. 2000. 新疆望峰金矿成矿物质和流体来源同位素示踪——碰撞造山成矿作用研究示例[J]. 中国科学(D辑), 30(S1): 45-52.

- 陈衍景, 李欣, 靖军, 高秀丽, 陈华勇, 吴锡丹, 吴德华. 1998. 新疆望峰金矿成矿流体研究及其成因意义[J]. 地球学报, 19(2): 195-203.
- 丰成友, 余宏全, 张德全, 李大新, 李进文, 崔艳合. 2006. 青海沱路沟钴(金)矿床成矿物质来源的黄铁矿氦氩硫铅同位素示踪[J]. 地质学报, 80(9): 1465-1473.
- 侯增谦, 李延河, 艾永德, 唐绍华, 张绮玲. 1999. 冲绳海槽活动热水成矿系统的氦同位素组成: 幕源氦证据[J]. 中国科学(D辑), 29(2): 155-162.
- 胡瑞忠. 1997. 成矿流体氦、氩同位素地球化学[J]. 矿物岩石地球化学通报, 16(2): 120-124.
- 胡瑞忠, 毕献武. 1997a. 中国若干固体矿床 He、Ar 同位素研究[J]. 地球学报, 18(增刊): 170-172.
- 胡瑞忠, 毕献武, 邵树勋, TURNER G, BURNARD P G. 1997b. 云南马厂箐铜矿床氦同位素组成研究[J]. 科学通报, 42(14): 1542-1545.
- 李华芹, 谢才富, 常海亮, 蔡红. 1998. 新疆北部有色金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京: 地质出版社.
- 李延河. 2000. 氦同位素分析方法及地质应用研究[D]. 北京: 中国地质科学院: 1-41.
- 毛景文, 李延河, 李红艳, 王登红, 宋鹤彬. 1997. 湖南万古金矿床地幔流体成矿的氦同位素证据[J]. 地质论评, 43(6): 646-649.
- 毛景文, 魏家秀. 2000. 大水沟碲矿床流体包裹体的 He、Ar 同位素组成及其示踪成矿流体的来源[J]. 地球学报, 21(1): 58-61.
- 申萍, 沈远超, 曾庆栋, 刘铁兵, 李光明. 2004. 新疆萨吾尔金矿带成矿流体氦氩同位素示踪[J]. 科学通报, 49(12): 1199-1204.
- 王居里, 刘养杰, 王润三. 1995. 新疆胜利达坂金矿区金的成矿作用[J]. 西北大学学报(自然科学版), 25(5): 141-146.
- 王居里, 王守敬, 柳小明. 2009. 新疆天格尔地区碱长花岗岩的地球化学、年代学及其地质意义[J]. 岩石学报, 25(4): 925-933.
- 炎金才, 王居里, 刘养杰, 王润三. 1996. 新疆天格尔金矿带成矿物质来源探讨[J]. 西北地质, 17(2): 18-22.
- 叶先仁, 吴茂炳, 孙明良. 2001. 岩矿样品中稀有气体同位素组成的质谱分析[J]. 岩矿测试, 20(3): 174-178.
- 张莉, 刘春发, 武广. 2009. 新疆望峰金矿床流体包裹体地球化学及矿床成因类型[J]. 岩石学报, 25(6): 1464-1473.
- 朱赖民, 张国伟, 郭波, 李犇. 2009. 华北地块南缘钼矿床黄铁矿流体包裹体氦、氩同位素体系及其对成矿动力学背景的示踪[J]. 科学通报, 54(12): 1725-1735.
- 朱永峰, 宋彪. 2006. 新疆天格尔麻棱岩化花岗岩的岩石学及其

SHRIMP 年代学研究:兼论花岗岩中热液锆石边的定年[J].  
岩石学报, 22(1): 135-144.

## References:

- BALLENTINE C J, BURGESS R, MARRY B. 2002. Tracing fluid origin, transport and interaction in the crust[J]//Noble Gases in Geochemistry and Cosmochemistry. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 47(1): 539-614.
- BURNARD P G, HU R Z, TURNER G, BI Xian-wu. 1999. Mantle, crustal and atmospheric noble gases in Ailaoshan Gold deposits, Yunnan Province, China[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 63(10): 1595-1604.
- CAI Ming-hai, HAN Feng-bin, HE Long-qing, LIU Guo-qing, CHEN Kai-xu, FU Jian-ming. 2008. He, Ar Isotope Characteristics and Rb-Sr Dating of the Xintianling Skarn Scheelite Deposit in Southern Hunan, China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 29(2): 167-173(in Chinese with English abstract).
- CHE Zi-cheng, LIU Liang, LIU Hong-fu, LUO Jin-hai. 1996. The ductile and ductile-brittle modification developed in basement complex of Middle Tianshan, western China[J]. Chinese Journal of Geology, 31(4): 391-396(in Chinese with English abstract).
- CHEN Hua-yong, BAO Jing-xin, ZHANG Zeng-jie, LIU Yu-lin, NI Pei, LING Hong-fei. 2000. Isotope indication to source of ore materials and fluids of the Wangfeng gold deposit in Tianshan: A case study of metallogenesis during collisional orogenesis[J]. Science in China (Series D), 43(S1): 156-166(in Chinese).
- CHEN Yan-jing, LI Xin, JING Jun, GAO Xiu-li, CHEN Hua-yong, WU Xi-dan, WU De-hua. 1998. Study of ore-forming fluid for the Wangfeng gold deposit of Xinjiang and its genetic implication[J]. Acta Geoscientica Sinica, 19(2): 195-203(in Chinese with English abstract).
- FENG Cheng-you, SHE Hong-quan, ZHANG De-quan, LI Da-xin, LI Jin-wen, CUI Yan-he. 2006. Helium, Argon, Sulfur and Lead isotope tracing for sources of ore-forming material in the Tuolugou cobalt(gold) deposit, Golmud City, Qinghai Province, China[J]. Acta Geologica Sinica, 80(9): 1465-1473(in Chinese with English abstract).
- HOU Zeng-qian, LI Yan-he, AI Yong-de, TANG Shao-hua, ZHANG Qi-ling. 1999. Helium isotopic compositions of hydrothermal ore-forming system in Okinawa trough: Evidence from mantle-derived helium[J]. Science in China(Series D): 29(2): 155-162(in Chinese).
- HU R Z, BURNARD P G, BI X W, ZHOU Mei-fu, PEN Jian-tang, SU Wen-chao, WU Kai-xing. 2004. Helium and argon isotope geochemistry of alkaline intrusion-associated gold and copper deposits along the Red River-Jinshajiang fault belt, SW China[J]. Chemical Geology, 203(3-4): 305-317.
- HU Rui-zhong, BI Xian-wu, SHAO Shu-xun, TURNER G, BURNARD P G. 1997b. Study on helium isotopic compositions of Machangjing copper deposit in Yunnan Province[J]. Chinese Science Bulletin, 42(14): 1542-1545(in Chinese).
- HU Rui-zhong, BI Xian-wu. 1997a. Researches on He and Ar isotope systematics of several solid ore deposits in China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 18(Suppl.): 170-172(in Chinese with English abstract).
- HU Rui-zhong. 1997. Helium and Argon geochemistry of ore-forming fluid[J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 16(2): 120-124(in Chinese).
- KENDRICK M A, BURGESS R, PATTRICK R A D, TURNER G. 2001. Fluid inclusion noble gas and halogen evidence on the origin of Cu porphyry mineralizing fluids[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 65(16): 2651-2668.
- LI Hua-qin, XIE Cai-fu, CHANG Hai-liang, CAI Hong. 1998. Isotopic geochronology of regional mineralization in Xinjiang, China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- LI Yan-he. 2000. A study on analytic method of helium isotopes and its geological application[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences: 1-41(in Chinese with English abstract).
- MAMYRIN B A, TOLSTIKBIN L N. 1984. Helium Isotope in Nature[M]. New York, Tokyo: Elsevier.
- MAO Jing-wen, LI Yan-he, LI Hong-yan, WANG Deng-hong, SONG He-bin. 1997. Helium isotopic evidence on metallogenesis of mantle fluids in the Wangu gold deposit, Hunan Province[J]. Geological Review, 43(6): 646-649(in Chinese with English abstract).
- MAO Jing-wen, WEI Jia-xiu. 2000. Helium and Argon Isotopic Components of Fluid Inclusions and Tracing to the Source of Metallogenic Fluids in the Dashuigou Tellurium Deposit of Sichuan Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 21(1): 58-61(in Chinese with English abstract).
- SHEN Ping, SHEN Yuan-chao, ZENG Qing-dong, LIU Tie-bing, LI Guang-ming. 2004. Helium and argon isotopic tracing of ore-forming fluid in Sawur gold belt, Xinjiang[J]. Chinese Science Bulletin, 49(12): 1199-1204(in Chinese).
- STUART F M, BUNARD P G, TAYLOR R P, TURNER G. 1995.

- Resolving mantle and crustal contributions to ancient hydrothermal fluids: He-Ar isotopes in fluid inclusions from Dae Hwa W-Mo mineralisation, South Korea[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(22): 4663-4673.
- TORGERSEN T, KENNEDY B M, HIYAGON H, CHIOU K Y, RENOLDS J H, CLARKE W B. 1989. Argon accumulation and the crustal degassing flux of  $^{40}\text{Ar}$  in the Great Artesian Basin, Australia[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 92(1): 43-56.
- WANG Ju-li, LIU Yang-jie, WANG Run-san. 1995. Auriferous mineralization of the Shenglidaban gold field, Xinjiang[J]. *Journal of Northwest University(Natural Science Edition)*, 25(2): 141-146(in Chinese with English abstract).
- WANG Ju-li, WANG Shou-jing, LIU Xiao-ming. 2009. Geochemistry, geochronology and geological significance of alkali-feldspar granite from Tianger area, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(4): 925-933(in Chinese with English abstract).
- YAN Jin-cai, WANG Ju-li, LIU Yang-jie, WANG Run-san. 1996. Discussions about the ore-forming material source of Tiangeer gold belt in Xinjiang[J]. *Northwestern Geology*, 17(2): 18-22(in Chinese).
- YE Xian-ren, WU Mao-bing, SUN Ming-liang. 2001. Determination of the noble gas isotopic composition in rocks and minerals by Mass Spectrometry[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 20(3): 174-178(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Li, LIU Chun-fa, WU Guang. 2009. The fluid inclusion geochemistry and mineragenetic type of the Wangfeng gold deposit, Xinjiang, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1464-1473(in Chinese with English abstract).
- ZHU Lai-min, ZHANG Guo-wei, GUO Bo, LI Ben. 2009. He-Ar isotopic system of fluid inclusions in pyrite from the molybdenum deposits in south margin of North China Block and its trace to metallogenetic and geodynamic background[J]. *Chinese Science Bulletin*, 54(12): 1725-1735(in Chinese with English abstract).
- ZHU Yong-feng, SONG Biao. 2006. Petrology and SHRIMP chronology of mylonitized Tianger granite, Xinjiang: Also about the dating on hydrothermal zircon rim in granite[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 135-144(in Chinese with English abstract).

## 国际地质科学联合会(IUGS)常设秘书处将迁址北京

2012年8月6日, 国际地质科学联合会(IUGS)和中国国土资源部签署协议, 明确国际地质科学联合会常设秘书处不日将迁址北京。

国际地质科学联合会, 是非政府、非政治、非营利性的国际学术组织, 1961年成立于法国巴黎联合国教科文组织总部, 在全球地质科学家中有巨大的号召力和影响力。近年来, 该组织积极开展国际间跨学科的地学基础研究和应用研究, 与联合国教科文组织联合支持国际地球科学计划, 并就共同关心的问题与其有关附属组织和国际科学理事会开展合作。每四年一次的国际地质大会是该组织的重要科学论坛。

国际地质科学联合会秘书处是该组织执行局常设办事机构, 负责执行局与理事会各成员及相关组织机构的沟通、协调等。根据规定, 秘书处负责安排执委会、理事会和执行局的会议, 负责制定和及时发送会议信息并做详细总结; 负责处理该组织的各类事务, 包括管理往来信函, 负责档案保存; 向入会组织发布有关信息; 编写有关活动报告, 完成理事会、执委会或执行局分配的其他一些任务。

国际地质科学联合会秘书处建立之初, 办公地点设在加拿大地质调查局。后来先后迁至挪威地质调查局和美国地质调查局。

一直以来, 中国积极参与国际地质科学联合会的活动, 得到广泛认可和赞誉。张炳熙、刘敦一曾先后当选国际地质科学联合会执行委员会副主席, 张宏仁曾当选主席。1997—2008年, 中国承办了国际地质科学联合会机关学术刊物(*Episodes*)。