

## 中国若干固体矿床氦、氩同位素研究\*

胡瑞忠 毕献武

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳)

G Turner P Burnard

(Department of Earth Sciences, University of  
Manchester, Manchester M13 9PL, UK)

**提 要:** 本文以成矿阶段矿物中的流体包裹体为测定对象, 研究了哀牢山金矿带内3个金矿床、马厂箐斑岩铜矿床、金顶铅-锌矿床和白云鄂博稀土-铌-铁矿床的氦、氩同位素组成。结果表明, 氩同位素对揭示成矿古流体的成因, 具有灵敏的示踪作用。

**关键词:** 固体矿床 氦、氩同位素 中国

### 1 引 言

地壳流体中的稀有气体有3个明显不同的源区<sup>[7]</sup>, 即饱和空气雨水的稀有气体、地幔中的稀有气体和在地壳中由核过程形成的放射成因稀有气体。地壳流体中的稀有气体, 通常被认为是这3个端员按不同比例混合而形成的混合物。与其它稀有气体相比, He和Ar在这3个端员中具有极不相同的同位素组成<sup>[8]</sup>。这种特征表明, 氦和氩在研究地壳流体中比其它稀有气体具有更大的优势。尤其是氦, 由于地壳氦( $^3\text{He}/^4\text{He}=0.01\sim 0.05\text{ Ra}$ , Ra为空气的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值)和上地幔氦( $^3\text{He}/^4\text{He}=6\sim 9\text{ Ra}$ )的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值存在高达近1000倍的差异, 因此, 即使地壳流体中有少量幔源氦的加入, 用氦同位素也易于判别出来<sup>[8]</sup>。用稀有气体同位素示踪地壳现代流体的来源及其水-岩相互作用历史, 是稀有气体地球化学最早的研究域之一, 而且仍是该科学目前非常重要的研究方向。但是, 在用稀有气体同位素示踪地壳古流体(如成矿流体)方面, 则因长期以来难以评估流体形成以后一些后生过程对流体初始同位素组成的影响, 而一直未发挥出应有的作用。只是80年代末至90年代初以来, 随着对这些问题认识程度的加深, 一些学者才先后以矿床中的矿物流体包裹体为测定对象, 研究了部分成矿古流体的氦、氩同位素组成<sup>[4-10]</sup>, 从而开拓了稀有气体在成矿古流体研究中的应用。不过, 至今为止, 国际上被研究过的矿床和矿种都极其有限。作为目前国际上进行过氦、氩同位素研究的少数固体矿床之一, 本文报道了我国若干固体矿床成矿阶段中流体包裹体的氦、氩同位素研究结果。

### 2 分析方法

本项研究用的样品分别采自哀牢山金矿床(镇沅金矿、墨江金矿和大坪金矿)、马厂箐铜矿床、金顶铅-锌矿床和白云鄂博稀土-铌-铁矿床。测定样品主要为成矿阶段形成的黄铁矿, 其次有黄铜矿、方铅矿、辉锑矿和石英。样品中流体包裹体的氦、氩同位素组成, 在英国 Manchester 大学用分辨率 $>700$ 、能将 $^3\text{He}^+$ 和 $\text{HD}^+$ 完全分开的全金属稀有气体质谱计(MAP215)测定。分析方法已由 Stuart 等(1995)作过详细论述<sup>[8]</sup>, 具体步骤是: ①取约50~500 mg已在超声波丙酮溶液中洗净并烘干过的样品(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( $<150^\circ\text{C}$ )24小时以除去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(约 $10^{-6}\text{ Pa}$ )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将纯化后的氦送入质谱作同位素分析; ⑤将纯化后的氩送入质谱作同位素分析。

### 3 结果与结论

本项研究共分析样品48件。He、Ar同位素的分析误差小于 $\pm 10\%$ 。分析结果表明, 哀牢山金矿床的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 和 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 分别为0.05~1.42 Ra和328.8~9114.4, 马厂箐铜矿床分别为0.46~2.08 Ra和321.5~495.4, 金顶铅-锌矿床分别为0.03~0.06 Ra和301.7~385.7, 白云鄂博稀土-铌-铁矿床分别为

\* 国家攀登计划 A30-24 专题资助

胡瑞忠, 男, 1958年生, 研究员, 从事矿床地球化学和同位素地球化学研究。邮政编码: 550002

0.01~0.06 Ra 和 429.9~1941.5。除金顶铅-锌矿床外,其余矿床成矿流体的氦、氩同位素组成均具明显的正相关关系。通过对这些矿床氦、氩同位素以及其中部分矿床硫、碳、铅同位素地球化学的研究,作者得出如下主要结论。

(1)不同的矿物具有不同的氦扩散系数。寄主矿物氦扩散系数不同,直接影响着其中流体包裹体内氦的保存程度。但是,流体包裹体中氦的扩散丢失,在丢失相与残留氦的不存在明显的氦同位素分馏。当流体包裹体初始氦的扩散丢失高达99%时,其中残留氦的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值(而不是基于氦的丰度)讨论问题时,可以不考虑扩散丢失的影响。

本项研究第一次用实验数据证实了氦扩散丢失过程基本不产生氦同位素分馏的情况。这一结论对氦同位素用于作为流体包裹体保存的成矿古流体的研究,提出了重要判据。

(2)哀牢山金矿带的成矿流体,是深源高温流体与低温大气成因流体两端员混合的产物。其中,前者是富S和 $\text{CO}_2$ 等挥发性组分的流体,而后者则是贫这些组分流体。与大坪金矿和镇沅金矿相比,墨江金矿成矿流体的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值相对较低,这可能主要与该矿区铀、钍的背景值较高,因而大气成因流体端员中具有较高的放射成因 $^4\text{He}$ 有关<sup>[1]</sup>。

(3)马厂箐铜矿床的成矿流体,是由壳幔混合成因的马厂箐富碱斑岩岩浆分异出的岩浆流体与低温大气成因流体二元混合的产物,但成矿流体中的S和 $\text{CO}_2$ 等挥发性组分,则几乎全是由岩浆流体端员提供的<sup>[2,3]</sup>。

(4)金顶铅-锌矿床的成矿流体,为含有一定量过剩 $^{40}\text{Ar}$ 的中温大气成因流体,这种流体中的氦和硫均为地壳成因,但铅同位素组成则显示着地幔的信息。根据对铅同位素分馏机制和矿化剂与成矿元素进入流体之先后关系等方面的认识,以及矿床的铅同位素组成与盆地中幔源火成岩相似,且这些火成岩在盆地各类岩石中具有最高的Pb、Zn丰度等客观事实,提出了该矿床成矿流体的形成演化过程为:饱和空气的大气成因流体沿断裂下渗增温→从盆地地层中获取硫和氯等矿化剂组分以及放射成因的氦和氩→浸取盆地底部幔源火成岩中的Pb和Zn→含矿流体回返上升成矿。由于这一过程的结果,而使成矿流体印上了放射成因地壳氦、(叠加有部分放射成因 $^{40}\text{Ar}$ 的)大气氦、地壳成因硫和幔源铅的同位素组成烙印<sup>[11]</sup>。

以上结果阐明了幔源铅与地壳成因硫和地壳放射成因稀有气体共存于一体的“矛盾现象”,为澄清金顶铅-锌矿床成因过程中研究有无幔源流体参与这一长期有争论的问题,提供了可靠的依据。

(5)白云鄂博矿床是一古老的超大型矿床,其中钍含量极高,目前测出的流体包裹体氦中包括有大量后生放射成因的 $^4\text{He}$ 。尽管由于这些后生 $^4\text{He}$ 的叠加,而使流体包裹体的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 测定值降低到了几乎与地壳放射成因氦一致的程度,但流体包裹体的氦、氩同位素组合特征仍可显示出,白云鄂博矿床的成矿流体具有壳、幔二端员流体混合的性质,地幔流体参与了该矿的成矿作用。

#### 参 考 文 献

- 1 胡瑞忠,毕献武,何明友.哀牢山金矿带矿化剂对金成矿的制约.中国科学(D辑),1998,24~30.
- 2 胡瑞忠,毕献武和邵树勋等.云南马厂箐铜矿床氦同位素组成研究.科学通报,1997,(14):1542~1545.
- 3 胡瑞忠,毕献武,G.Turner等.马厂箐铜矿床黄铁矿流体包裹体He-Ar同位素体系.中国科学(D辑);1997,(6):503~508.
- 4 Turner G and Stuart F. Helium/heat ratios and deposition temperatures of sulfides from the ocean floor, Nature, 1992, 357: ~583.
- 5 Baptiste P J and Fouquet Y. Abundance and isotopic composition of helium in hydrothermal sulfides from the East Pacific Rise at 13N, Geochim. Cosmochim. Acta, 1996, 60: 87~93.
- 6 Stuart F M, Turner G, Duckworth R C et al. Helium isotopes as tracers of trapped hydrothermal fluids in ocean-floor sulfides, Geology, 1994, 22: 823~826.
- 7 Turner G, Burnard P, Ford J L. Tracing fluid sources and interaction, Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, 1993, 344: 127~140.
- 8 Stuart F M, Burnard P, Taylor R P et al. Resolving mantle and crustal contributions to ancient hydrothermal fluids: He-Ar isotopes in fluid inclusions from the Dae Hwa W-Mo mineralisation, South Korea, Geochim. Cosmochim. Acta, 1995, 59: 4663~4673.
- 9 Simmons S F, Sawkins F J and Schlutter F J. Mantle-derived helium in two Peruvian hydrothermal ore deposits, Nature, 1987, 329: 429~432.
- 10 Turner G, Burgess R and Bannan M. Volatile-rich mantle fluids inferred from inclusions in diamond and mantle xenoliths, Nature, 1990, 344: 635~655.
- 11 Hu Ruizhong G. Turner and P G Burnard et al. Helium and argon isotopic geochemistry of Jinding superlarge Pb-Zn deposit, Science in China (Series D), 1998, (4): 42~448.