

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

# 湖南万古金矿床地幔流体成矿的氦同位素证据

毛景文 李延河 李红艳 王登红 宋鹤彬

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

**内容提要** 从湖南万古金矿区采集4件石英样品进行了氦同位素测定, 获得了 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值 $231 \times 10^{-6}$ — $1460 \times 10^{-6}$ 的数据。该数据反映了在万古金矿床形成时富 $^3\text{He}$ 流体参与了成矿作用。而这种富 $^3\text{He}$ 流体可能是受构造活动影响, 由地幔岩石减压部分脱气造成动力学分馏而形成。

**关键词** 金矿床 地幔流体 氦同位素 湖南万古

万古金矿床位于湖南省东北部平江县县城西南16 km, 是江南古陆上近几年新发现的一个金矿床。金矿化围岩为中元古界冷家溪群变粉砂岩, 变杂砂岩和板岩。金矿化沿一组近东西向断裂破碎带发育。已控制了19条矿脉带, 平均品位 $6.5 \times 10^{-6}$ , 储量达大型。该矿床矿体有含金石英脉、破碎板岩和构造角砾岩型3种, 以前两种为主。无论那种矿石, 金与硫化物都显示出密切的正相关关系。成矿元素以Au—Sb(W)组合为特征, 在空间上具一定的分带性, 即矿化中心以金(砷)为主, 向外侧为金和锑。地质地球化学和氢、氧、硫同位素研究表明万古金矿床的形成与深部流体与受热循环的浅部流体混合成矿<sup>①</sup>。但由于缺少确切的资料证实地幔流体的存在, 也鉴于流体包裹体Rb—Sr等时线测年数据70 Ma及10 km以外有燕山期花岗岩体的分布, 又只好把成矿作用与隐伏花岗岩体分异出的流体联系在一起<sup>②</sup>。

氦同位素是示踪地幔流体活动的一种有效方法, 也可以用于判别成岩成矿的物质来源。本文将报道利用氦同位素探讨万古金矿床成矿流体来源的研究结果。

## 1 取样位置和样品

本次工作用于测试的样品共4件, 其中I1-2和I1-3样品取自I号矿脉, V1-6和V1-7样品取自V号矿脉。I号矿脉是全区最大的一个矿脉, 金矿储量占全区的一半以上, 主要矿石类型为含金石英脉, 次为破碎板岩型。所测试的两件石英样品全部取自石英脉。在石英脉中, 除石英外, 还有极少量黄铁矿和毒砂。V号矿脉主要为破碎板岩型矿石, 也有少量石英脉型矿石。破碎板岩型矿石是冷家溪群板岩在张剪破碎带中强烈破碎后由许多含细晶黄铁矿细网脉状石英脉充填。另外两件样品为这种细网脉中的石英。

## 2 实验方法

样品的分析流程示于图1。首先于双目镜下挑选出纯净的石英单矿物样品, 用稀盐酸除去

①毛景文, 李红艳, 徐珏, 罗福廷, 李玉书, 易祖水, 顾江年. 湖南万古地区金矿成矿规律和成矿预测. 地质矿产部矿床地质研究所和湖南省地质矿产局四零二地质队, 1996.

②毛景文, 李红艳. 江南古陆金矿床成因讨论. 地球化学, 1997 (在出版中).

本文1996年12月收到, 1997年3月改回, 章雨旭编辑。

碳酸盐等杂质,于 105℃ 烘干。把样品推入熔样炉 B<sub>1</sub>,于 200℃ 加热去气 30 min。关 VH<sub>17</sub>, 1500℃ 加热熔样 40 min,使样品完全熔融分解。释放出的气体由熔样炉 B<sub>1</sub> 经 VH<sub>4</sub> 进入一级纯化系统,经海绵钛泵 Ti<sub>1</sub>(800℃—室温),活性炭液氮冷阱 C<sub>1</sub> 纯化,20 min 后经 VH<sub>5</sub> 进入二级纯化系统再次纯化。N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, 有机质等活性气体二次纯化后均被吸附,冷冻。纯净的 He, Ne 经 VH<sub>8</sub>, VH<sub>25</sub> 进入分析管道 A。进入分析管道的微量 H<sub>2</sub>, Ar 等杂质气体被加液氮的钛升华泵纯化掉。<sup>3</sup>He, <sup>4</sup>He 用乌克兰生产的 MI-1202IG 惰性气体质谱仪测量。<sup>4</sup>He 用法拉第杯接收,<sup>3</sup>He 用电子倍增器接收。倍增器的分辨调至 760(最高可达 1300),使<sup>3</sup>He, <sup>4</sup>He 的分辨率和灵敏度均达到最佳。<sup>3</sup>He 与 HD 峰可以完全分开,无需 HD 校正。<sup>3</sup>He, <sup>4</sup>He 的空白值分别为 8×10<sup>-15</sup> cm<sup>3</sup> STP, 8×10<sup>-10</sup> cm<sup>3</sup> STP。工作标准为大气,结果以<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 及 R/Ra = (<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He)<sub>样品</sub> / (<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He)<sub>空气</sub> 表示。

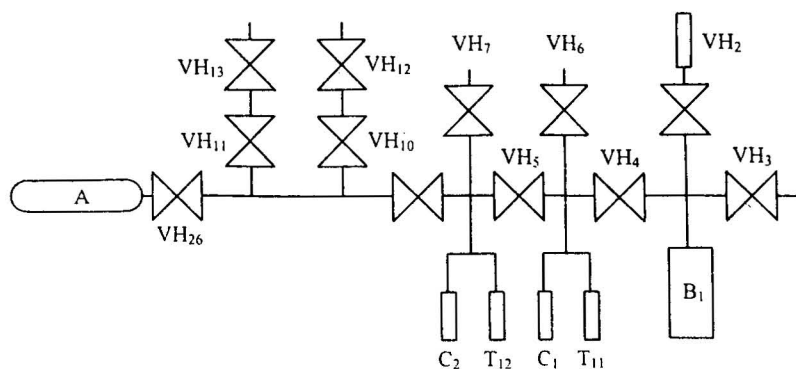


图 1 氦同位素分析流程图

Fig. 1 The flow chart measuring helium isotope

### 3 结果和讨论

氦同位素的测试结果列于表 1 中。从表中可以看出 4 件样品的<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 值异常高,值域为 231×10<sup>-6</sup>—1460×10<sup>-6</sup>。其中石英脉中的<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 值平均 741.5×10<sup>-6</sup>, 破碎板岩中的平均 845.5×10<sup>-6</sup>。在破碎板岩中,<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 值变化大。由于 V 1-7 样品中<sup>4</sup>He 值高达 25.92×10<sup>-9</sup>, 是其他几件样品的 3—4 倍,因而<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 值降低。

现有研究资料表明,陨石、月岩和太阳风的<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 值最高,可达 370×10<sup>-6</sup>—426×10<sup>-6</sup> [1,2] (Geiss, 1976), 其次为大洋玄武岩, 14.4×10<sup>-6</sup>—17.2×10<sup>-6</sup> [3]。洋中脊的热水中的值也相当高,在 Loihi 海山热柱区为 15.8×10<sup>-6</sup> [4], 红海热卤水为 12×10<sup>-6</sup> [5], 上地幔的<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 值约 12×10<sup>-6</sup>—42×10<sup>-6</sup> [6]。一般认为大气的<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 值为 1.4×10<sup>-6</sup>, 地壳的值  $n \times 10^{-8}$ , 花岗质岩石的比值约为大气的 1% [7]。通过对比可见,万古金矿床中<sup>3</sup>He 明显富集,<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 值大大高于地壳、大气,甚至高于地幔气和陨石。因为在该矿区一带没有发现宇宙成因的其他地质现象,

表 1 氦同位素分析结果

Table 1 Analysis results of helium isotopes

样品编号	样品名称	<sup>3</sup> He/ <sup>4</sup> He	误差(%)	<sup>4</sup> He(10 <sup>-9</sup> )
I 1-2	石英	513×10 <sup>-6</sup>	7.245	5.585
I 1-3	石英	970×10 <sup>-6</sup>	2.933	7.748
V 1-6	石英	1460×10 <sup>-6</sup>	5.010	5.934
V 1-7	石英	231×10 <sup>-6</sup>	3.023	25.920

宇宙成因的可能性不大。那是什么原因使万古金矿床中石英 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 如此高?在分段加热测定哈萨克斯坦变质岩中金刚石的氦同位素时发现<sup>[8,9]</sup>,在200—500℃低温阶段提取的氦 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值高达 $10^{-2}$ — $10^{-1}$ ,而在1500℃以上的高温阶段提取的氦 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值低达 $10^{-8}$ 。即在金刚石分段加热部分提取He的过程中存在明显的动力学分馏。这一分馏机制在地质过程中也可能存在,尤其是在岩石受热温度低,未完全脱气的情况下。湖南万古金矿明显受断裂控制,未见岩浆活动,基本符合上述动力学分馏的条件。即湖南万古金矿的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值如此高可能受构造活动影响,与地幔岩石减压部分脱气造成动力学分馏有关。

研究表明<sup>①</sup>万古金矿床成矿流体的 $\delta\text{D}$ 值为 $-56\%$ — $-64\%$ , $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 $7.4\%$ — $10.9\%$ ,同样证明成矿流体来自岩浆或深部。湘东北地区冷家溪群的黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值平均 $-13.1\%$ ,而万古金矿床中的黄铁矿和毒砂的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化在 $-5.9\%$ — $-8.5\%$ 之间。这表明富 $^{34}\text{S}$ 的深部流体在成矿时与地壳浅部循环流体发生混合作用,导致 $\delta^{34}\text{S}$ 值由低向高演化。

燕山期太平洋板块向西俯冲时,在中国东部形成了一系列NNE向大断裂。这些大断裂切割深度大,为幔源物质包括热气流,能量和地幔岩浆上升提供了通道。区域性NNE向广济—黎塘大断裂在湘东北地区通过,区内称之为连云山大断裂或思村—塔洞大断裂。该大断裂延长1400 km以上,向北与郟城—庐江大断裂相连接,延深几十千米。广济—黎塘大断裂在中生代为左旋剪切性挤压断裂,因而在其侧发育了一组与之配套的ENE向劈理化破碎带。这些破碎带是良好的控矿构造。从深部来源的地幔射气和流体在此聚集成矿。近些年来,沿郟庐大断裂的一些油气盆地中,例如,松辽、辽河、苏北及三水等盆地发现了一批有工业价值的氦气聚集。徐永昌等<sup>[10]</sup>认为是地幔脱气时形成的气体运移至近地表聚集的结果。

## 参 考 文 献

- 1 Mazor E, Heymann D, Anders E. Noble gases in carbonaceous chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1970, 34:781—824.
- 2 Eberhardt P, Geiss J, Grogler N. Trapped solar wind noble gases, exposure age and K/Ar age in Apollo 11 lunar fine material. *Science*, 1970, 167:558—560.
- 3 Lupton J E, Graig H. Excess  $^3\text{He}$  in oceanic basalts: evidence for terrestrial primordial helium. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1975, 26:133—139.
- 4 Lupton J E, Weiss R F, Graig H. Mantle helium in the Red Sea brines. *Nature*, 1977, 266:2440—2446.
- 5 Kodera M, Igarashi G, Ozima M. Noble gases in hydrothermal plumes of Loihi Seamount. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1988, 87:266—272.
- 6 O'Nions R K, Tolstikin I N. Behavior and residence times of lithophile and rare gas tracers in the upper mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1994, 124(1/4):131—138.
- 7 王登红,毛景文. 氦同位素地质研究进展. *地质科技情报*, 1996, 15:51—56.
- 8 Shukolyukov Yu A, Pleshakov A M, Lavrova L D. The unprecedentedly high  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratio in diamonds from a metamorphic rock of the Kokchetav Massif, Kazakhstan. *Petrology*, 1993, 1(1):110—119.
- 9 Pleshakov A M, Shukolyukov Yu A. Isotopic variations of helium in the diamonds of the Kokchetav Massif's metamorphic rock, Kazakhstan. In: Matsuda J. ed. *Noble Gas Geochemistry and Cosmochemistry*, Terra Scientific Publishing Company (TERRPUB), Tokyo, 1994. 229—243.
- 10 徐永昌,沈平,陶明信,孙明良. 幔源氦的工业聚集和郟庐大断裂带. *科学通报*, 1990, 35(12):932—935.

① 毛景文,李红艳. 江南古陆金矿床成因讨论. *地球化学*, 1997 (在出版中).

## HELIUM ISOTOPIC EVIDENCE ON METALGENESIS OF MANTLE FLUIDS IN THE WANGU GOLD DEPOSIT, HUNAN PROVINCE

Mao Jingwen, Li Yanhe, Li Hongyan, Wang Denghong and Song Hebin

(*Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing*)

### Abstract

The Wangu gold deposit, a new discovery in the past six years, is one of representative gold deposits in the gold deposit belt of the Jiangnan massif in the Yangtze Platform. There are 19 nearly E-W-trending ore veins hosted in the Middle Proterozoic slate in the deposit. Gold mineralization is controlled by a group of E-W-trending fractures, which are subsidiary ones of the Sicun — Tadong regional fault of ENE strike. The ores in the deposit can be divided into quartz vein, fractured slate and breccia types. Four samples of quartz separately taken from No. 1 and No. 5 ore veins were analyzed by the noble gas spectrometer in the Stable Isotope Laboratory of the Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, which was imported from Ukraine. The  $^3\text{He}/^4\text{He}$  data taken range from  $231 \times 10^{-6}$  to  $1460 \times 10^{-6}$ .

According to related researches, meteorite, moon rock and solar wind have higher  $^3\text{He}/^4\text{He}$  values ranging from  $370 \times 10^{-6}$  to  $426 \times 10^{-6}$ . The  $^3\text{He}/^4\text{He}$  values of marine basalt, hydrothermal solution in the Liohi Sea Mount and in the Red Sea are around  $12 \times 10^{-6}$ — $17.2 \times 10^{-6}$ . O'Nions et al (1994) pointed out that the  $^3\text{He}/^4\text{He}$  value of upper mantle is  $12 \times 10^{-6}$ — $42 \times 10^{-6}$ . In general, the  $^3\text{He}/^4\text{He}$  value of the air is  $1.4 \times 10^{-6}$ , that of the Crust is  $n \times 10^{-6}$ , and that of granite is 1% of that of the air. Compared to the  $^3\text{He}/^4\text{He}$  distribution in various kinds of rocks and fluids, the helium in the Wangu gold deposit might be derived from the mantle. This result is in accordance with the writers' previous study on stable isotope determination of sulphur, oxygen, and hydrogen.

A series of NE-trending regional faults formed in eastern China due to subduction of the Pacific plate to Eurasia continent during the Mesozoic. These large faults led the hydrothermal fluids, heat energy, and some substances move upwards along them. The Sicun — Tadong fault beside the Wangu gold deposit is a part of the large NNE-trending Guangji — Litang fault which is possible to be connected with the Tancheng—Lujiang huge strike-slip fault in its north. Furthermore, a great amount of accumulation of helium gas has been discovered in several basins such as the Songliao, Liaohe, North Jiangsu and Sanshui basins, distributed along the Tancheng—Lujiang fault.

**Key words:** gold deposit, mantle fluid, helium isotope, Wangu, Hunan

### 作者简介

毛景文,男,1956年生,1978年毕业于河北地质学院,1982年和1988年于中国地质科学院获硕士和博士学位。主要从事金属矿床学研究。现任中国科学院矿床地质研究所研究员。通讯地址:北京阜外百万庄26号矿床地质研究所,邮政编码:100037。