

# 粤北大宝山多金属矿床 成矿流体的 H<sub>e</sub>-Ar-Pb-S 同位素示踪

宋世明, 胡 凯, 蒋少涌, 李 颢

(南京大学 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 南京大学 地球科学系, 南京 210093)

**摘 要:** 大宝山多金属矿床是粤北地区典型的巨厚型及细脉带型矿化的多金属硫化物矿床。层状和脉状黄铁矿的氦氩同位素表明:  $^3\text{He}/^4\text{He}$  的 R/Ra 值为 0.60~4.13,  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}=327\sim 411$ , 反映该成矿流体是大气饱和水(海水)与地幔流体混合作用的结果。铅和硫同位素都揭示了层状(块状)和脉状矿体可能来自不同时期的成矿流体。其中层状矿体为泥盆纪海底火山喷发沉积作用所致, 脉状矿体可能来自燕山期岩浆热液充填叠加形成, 古大陆碎屑物质和部分有机质的还原对后期成矿流体具有较大的影响作用。

**关键词:** He 和 Ar 同位素; 铅同位素; 硫同位素; 层状矿体; 脉状矿体; 粤北

**中图分类号:** P597; P618.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2007)02-0087-06

## 0 引言

He 和 Ar 两种气体具有化学惰性, 在其参与的各种地质过程中, 它们所在的流体包裹体的化学组成和同位素组成几乎不受复杂的化学反应过程的影响。90 年代以来, He 和 Ar 等惰性气体同位素在地壳流体研究方面取得了长足进展。从地壳现代流体的研究(如火山熔岩、地热流体、断裂带)扩展到了流体包裹体等成矿古流体的研究, 并且取得了许多重要的进展。由于地壳氦和地幔氦的  $^3\text{He}/^4\text{He}$  值存在近 1 000 倍的差异, 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。同时由于惰性气体同位素在水/岩反应中基本保持不变, 可以反映出成矿流体来源的原始信息, 所以惰性气体同位素组成对古成矿流体来源和成因具有良好的示踪作用<sup>[1-3]</sup>。保存在硫化物中的铅同位素对于不同来源的成矿物质(如地幔和地壳流体)亦有较好的区分作用, 可有效地为成矿流体的来源提供佐证; 而硫同位素则对硫化物矿床的形成环境具有重要的指示意义。

大宝山多金属矿床是我国岭南地区典型的多金

属硫化物矿床, 对其矿床成因、成矿机制的认识很不一致, 多数学者认为其与区内泥盆纪和早白垩世的海底热事件有关, 但对于金属分带、成矿流体来源及矿床的形成则有不同的认识。过去一直认为属于与燕山期岩浆活动有关的高温热液充填交代矿床, 后来提出了“海相火山热液喷气沉积成因”(徐克勤, 1976; 葛朝华, 1986; 杨振强, 1997)和“火山岩控、次火山活动多期复成”(裴太昌, 1992)等观点。岩浆热液成因和海底喷流(气)是矿床形成机制的争论焦点。解决大宝山矿床成因争论的最好方法就是确定成矿流体的时代和成矿流体的来源。我们发现, 矿区内矿体产出形态有脉状和层状-似层状之分, 而且赋存围岩也有所不同。区别于前人研究的方法, 我们首次分别对层状和脉状硫化物进行研究, 对流体的包裹体的 He 和 Ar 同位素进行古成矿流体示踪, 结合不同形态矿体的铅、硫同位素, 试图进一步讨论成矿流体的来源并为矿床的成因提供新的依据。

## 1 矿区地质概况

大宝山多金属矿区位于粤北古生代拗陷带的韶

收稿日期: 2006-04-17; 改回日期: 2007-04-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(NO. 40172035)和创新群体项目(NO. 40221301)资助

作者简介: 宋世明(1982), 男, 山西原平人, 硕士研究生, 地球化学专业。

通讯作者: 胡凯。

关—吴川深大断裂带内,区内基底深断裂发育,主要矿床均沿 NE 向和 EW 向两组深断裂带分布。大宝山矿床位于该区多金属—硫铁矿成矿区的中部,恰处断陷盆地中,该区在地质历史上经历过多次复杂的地壳运动。基底加里东构造层寒武系产生强烈的紧闭褶皱,形成大宝山不对称向斜构造。盖层受印支、燕山等多期构造运动影响,其褶皱、断裂均较发育,断层构造属于 NE 向官坪大断裂的次级构造<sup>[4]</sup>。矿区主要出露的地层多为上古生界(图 1),其分布面积约占矿区的 70%,下古生界仅在矿区北部零星分布。矿体主要赋存在中、上泥盆统火山—沉积层序内。

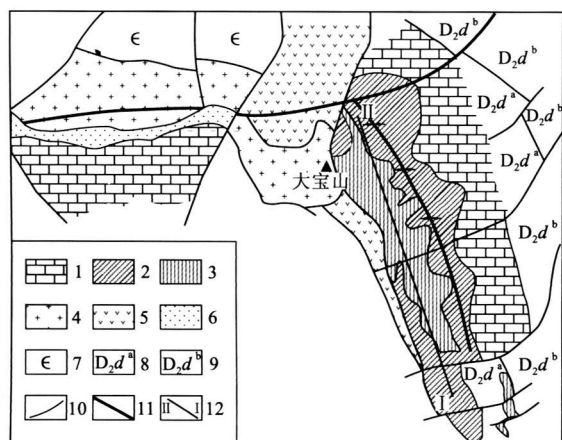


图 1 大宝山矿区区域地质示意图

Fig. 1 Regional geological sketch of Dabao Hill deposit

1. 灰岩分布带 2. 硫化物矿体分布范围 3. 褐铁矿铁帽
4. 硅化英安岩、蚀变英安岩 5. 英安岩 6. 夕卡岩型钨、钼矿带
7. 寒武系砂板岩 8. 中下泥盆统石英砂岩、页岩
9. 中泥盆统变凝灰岩、页岩和大理岩 10. 断层
11. 大宝山向斜轴 12. 勘探线

矿区内含矿地层是一套海底火山岩—沉积岩层序<sup>[4,5]</sup>。下部主要为浅海相碳酸盐岩沉积,由硅化砂岩、海底蚀变英安岩、层状黄铁矿—含铜块状硫化物矿层、凝灰岩、层状夕卡岩等组成;上部主要以中酸性火山碎屑沉积为主,由火山凝灰岩、熔岩、层状菱铁矿和褐铁矿组成。矿区围岩蚀变强烈,蚀变种类繁多。层状矿体的围岩普遍绢云母化和硅化,有较多含黄铁矿、辉钼矿网状石英脉穿插在岩体中,钾长石常被后期绢云母、石英、绿泥石等交代和穿插;脉状矿体的围岩蚀变主要有夕卡岩化、云英岩化和高岭土化。不同蚀变的产生除受构造、火成岩等因素控制外,更主要是与岩性有关。如硅化见于各类岩石中,它常与钨、钼、黄铁矿、铅锌矿紧密共生,硅化

主要有二期,早期硅化石英呈隐晶质和显微状颗粒,晚期硅化的石英颗粒稍大。

## 2 样品和分析方法

本次 He 和 Ar 研究所用样品采自大宝山不同地段、不同类型的硫化物共 6 个样品,分别是 DBS<sub>66</sub>, DBS<sub>内8</sub>, DBS<sub>内7</sub>, DBS<sub>51</sub>, DBS<sub>53</sub>, DBS<sub>212</sub>。将矿石样品粉碎至 0.1~0.2 mm 粒径,用磁选—重液分选,然后通过立体显微镜精选分出黄铁矿单矿物。样品用丙酮在超声波中清洗 20 分钟烘干。真空中 120℃去气 24 小时,以清除次生包裹体和附着在矿物表面的气体。然后压碎样品,释放出气体,释放出的气体经海绵钛泵、锆铝泵、活性炭液氮冷阱 4 级纯化,活性气体均被去除,氦、氩被冷冻,纯净的 He 和 Ne 进入分析系统。进入分析系统的 He 和 Ne 经加液氮的钛升华泵再次纯化去掉微量 H<sub>2</sub> 和 Ar。最后在 -78℃释放 Ar,进行 Ar 同位素分析,根据压碎后通过 160 目(0.100 mm)的样品重量,计算样品的氦氩含量。仪器型号:乌克兰 MI 1201IG 惰性气体同位素质谱仪;分辨率:电子倍增器 1200;法拉第杯 760, <sup>3</sup>He 电子倍增器接收, <sup>4</sup>He 法拉第杯接收。使用标准:大气, <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He = 1.4 × 10<sup>-6</sup>。

铅同位素测定使用南京大学内生金属成矿机制研究国家重点实验室的 Finnigan MAT Triton TI 表面热电离质谱仪,分析精度为 <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 为 0.2%, <sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 为 0.2%, <sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 为 0.5%。测试结果通过 NBS981 标样来校正分馏,标样的标准值据 Todt 等(1996)。

硫同位素由国土资源部中南矿产资源监督检测中心测定,测定仪器为气体质谱计。分析精度为 0.2%。

## 3 分析结果与讨论

### 3.1 氦—氩同位素

Burnard 等<sup>[9]</sup>的研究表明,流体包裹体中的惰性气体同位素组成可以用来区别 3 种不同来源的成矿流体:①大气饱和水(A SW),主要包括大气降水和海水,其标准是 <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He = 1Ra (1Ra = 1.39 × 10<sup>-6</sup>), <sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar = 295.5;②地壳流体,其标准是 <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He = 0.01~0.05 Ra, <sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar > 295.5;③深源地幔流体,其标准是 <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He = 6~9 Ra,其

中由于陆下地幔保存着一定量的<sup>3</sup>He, 所以陆下地幔的<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He= 6~ 7 Ra, 地幔的<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 值一般 > 20 000。可见不同源区成矿流体的惰性气体同位素的差异十分明显。由于黄铁矿不存在明显的解理, 其流体包裹体中的 He 和 Ar 等惰性气体在被矿

物俘获后, 基本没有扩散丢失现象<sup>[3]</sup>, 同时葛朝华<sup>[4]</sup>对碳酸盐的氧同位素测定得出当时主要矿体成矿温度约为 150℃, 属于中低温成矿流体, 这对 He 和 Ar 也具有较好的保存作用, 说明采样中的 He 和 Ar 可基本反映当时成矿的原始状况。

表 1 大宝山黄铁矿的 He 和 Ar 同位素组成

Table 1 Helium and argon isotopic composition of pyrite from Dabao Hill

| 样品号                 | 采样地点    | 矿体类型 | <sup>3</sup> He/ <sup>4</sup> He(10 <sup>-6</sup> ) | <sup>4</sup> He(10 <sup>-7</sup> ) | <sup>40</sup> Ar/ <sup>36</sup> Ar | <sup>40</sup> Ar/ <sup>38</sup> Ar | <sup>40</sup> Ar/ <sup>38</sup> Ar | <sup>40</sup> Ar(10 <sup>-7</sup> ) | R/Ra |
|---------------------|---------|------|-----------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------|
| DBS <sub>66</sub>   | 673 坑口西 | 层状   | 1.42                                                | 4.46                               | 330                                | 1792                               | 1792                               | 4.65                                | 1.01 |
| DBS <sub>内-8</sub>  | 690m 井内 | 脉状   | 0.84                                                | 8.07                               | 327                                | 1764                               | 1764                               | 10.84                               | 0.60 |
| DBS <sub>风-7</sub>  | 风井      | 层状   | 2.14                                                | 5.90                               | 340                                | 1853                               | 1853                               | 4.77                                | 1.53 |
| DBS <sub>5-1</sub>  | 673 坑口南 | 层状   | 2.91                                                | 14.85                              | 411                                | 2226                               | 2226                               | 7.67                                | 2.07 |
| DBS <sub>5-3</sub>  | 同上      | 层状   | 5.78                                                | 8.07                               | 346                                | 1889                               | 1889                               | 5.12                                | 4.13 |
| DBS <sub>2-12</sub> | 2 坑口    | 层状   | 5.09                                                | 3.74                               | 397                                | 2156                               | 2156                               | 4.25                                | 3.64 |

注: ①He 和 Ar 的单位是 10<sup>-7</sup>cm<sup>3</sup>STP/g; ②673 坑口是指该出矿口的标高 673 m; ③采样位置的标高自下而上大体依次为 DBS<sub>2-12</sub>< DBS<sub>5-3</sub>< DBS<sub>风-7</sub>< S<sub>内-8</sub>< DBS<sub>66</sub>(x 代表标号) 以下同位素位置与此相同。

大宝山黄铁矿中流体包裹体 He-Ar 同位素测定结果见表 1, 由表可见, 流体包裹体的<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 值变化范围不大, 为 0.84×10<sup>-6</sup>~ 5.78×10<sup>-6</sup>, R/Ra 值在 0.60~ 4.13 之间, 其平均值为 2.16 Ra, 低于典型地幔物质值(6~ 7 Ra), 远高于地壳物质值(0.01~ 0.05 Ra)。这表明成矿流体中不仅存在地壳 He, 同时存在大量地幔 He, 氦气应以地幔来源为主, 并在上升过程中有脱气现象或者放射性<sup>4</sup>He(壳源物质)的加入。将大宝山黄铁矿流体包裹体的 He 和 Ar 同位素与上述 3 种流体组成投入图 2, 可以看出 He-Ar 同位素组成具有明显的正相关关系。且主要点集中在大气饱和水和地幔之间, 说明成矿流体很可能是一个地幔流体和大气饱和水相混合的结果。

从表 1 可看出, <sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar= 327~ 411, 介于大气饱和水(ASW, 295.5)和地幔柱(296~ 2780)之间, 远远低于 MORB 的<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 比值(13 000~ 25 250), <sup>40</sup>Ar/<sup>38</sup>Ar= 1764~ 2226, 也明显低于地幔的<sup>40</sup>Ar/<sup>38</sup>Ar> 20 000, 但其中的<sup>40</sup>Ar= 4.25×10<sup>-7</sup>~ 10.84×10<sup>-7</sup>cm<sup>3</sup>STP/g, 却高于 Hart<sup>[10]</sup>所得地幔<sup>40</sup>Ar 的上限 3.2×10<sup>-7</sup>cm<sup>3</sup>STP/g<sup>[13]</sup>, 具有大气高<sup>40</sup>Ar 的特征, 同时<sup>4</sup>He/<sup>40</sup>Ar= 0.74~ 1.94, 平均为 1.22, 介于陆下地幔(<sup>4</sup>He/<sup>40</sup>Ar= 0.33~ 0.56)和现代地幔(Schwartzman<sup>[11]</sup>估计现今地幔<sup>4</sup>He/<sup>40</sup>Ar= 1.36~ 2.23<sup>[9]</sup>, 典型地壳的<sup>4</sup>He/<sup>40</sup>Ar 约为 6.4), 这些数据说明成矿流体中肯定有来自地球深部(可能来自上地幔)气体组分的加入。脉状矿体明显低于层

状矿体, 且具有较高的<sup>40</sup>Ar, 说明脉状矿体中有来自地壳的放射性物质加入<sup>[8]</sup>。

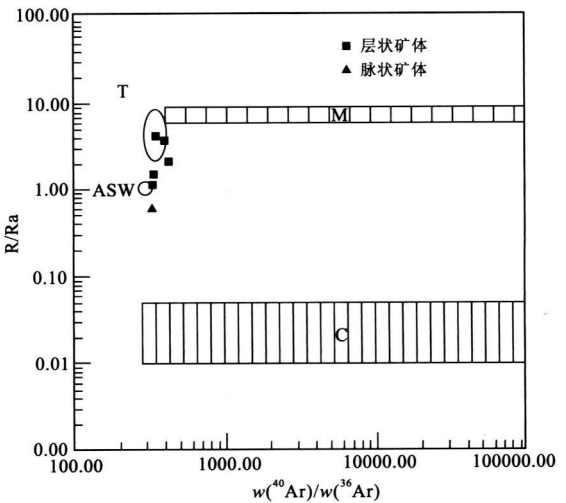


图 2 大宝山黄铁矿流体包裹<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar-R/Ra

Fig. 2 <sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar-R/Ra diagram of fluid inclusions in pyrites from Dabao Hill

ASW. 大气饱和水 T. 大西洋中脊 TAG. 地区海底热水范围 (Zeng et al, 2001) M. 地幔流体范围 C. 地壳流体范围

从<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 以及<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 分析结果来看, 成矿流体具有地幔和大气相混合的特征, 结合当时的海相沉积条件, 大气饱和水即是海水。与现代大西洋中脊热水物质对比(图 2), 可以看出当时的成矿物质与现在具有较大的相同组分和特征<sup>[13, 14]</sup>。

从采样位置来看,越靠近上部沉积带,其  $R/R_a$  的值有降低的趋势,说明上部沉积带中地幔流体参与成矿的成分变少,海水作用加强。脉状硫化物显示较低的  $R/R_a$  和较高的<sup>40</sup>Ar 都说明脉状成矿流体可能有地壳物质的加入。

3.2 铅同位素

大宝山矿床硫化物的铅同位素测定结果如表 2,除 DBS<sub>5-1</sub>因实验误差外,其他样品间的同位素组成变化较小,<sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb,<sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb,<sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 值

分别为: 18. 648~ 19. 756, 15. 685~ 15. 754 和 38. 843~ 39. 096; 离差较小, 分别为0. 108, 0. 069和 0. 253, 说明来自稳定的铅源。把分析结果投影到 Zartman 提出的<sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb-<sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 演化曲线上(图 3) 可以看出,样品都基本落在上地壳和造山演化带上。矿床中的铅同位素显示了壳源铅与岩浆作用有关的铅相混合的特点,说明成矿物质来源具有多源性<sup>[18]</sup>。矿石铅同位素组成反映出在成矿过程中可能受到岩浆活动的影响。

表 2 大宝山矿床的铅同位素组成  
Table 2 Pb isotopic composition of sulfides from Dabao Hill

| 样品号                 | 矿物   | 矿体类型 | <sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb | <sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb | <sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb |
|---------------------|------|------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| DBS <sub>1-2</sub>  | 黄铁矿  | 脉状   | 18. 6481                             | 15. 6852                             | 38. 8901                             |
| DBS <sub>3-8</sub>  | 黄铁矿  | 脉状   | 19. 4116                             | 15. 7411                             | 39. 0183                             |
| DBS <sub>3-4</sub>  | 黄铁矿  | 层状   | 18. 6897                             | 15. 7459                             | 39. 0355                             |
| DBS <sub>6-6</sub>  | 黄铁矿  | 层状   | 18. 6631                             | 15. 7283                             | 39. 0053                             |
| DBS <sub>风-7</sub>  | 黄铁矿  | 脉状   | 18. 6989                             | 15. 7292                             | 39. 0028                             |
| DBS <sub>5-1</sub>  | 黄铁矿  | 层状   | 149. 6123                            | 22. 1417                             | 40. 5600                             |
| DBS <sub>5-3</sub>  | 黄铁矿  | 层状   | 19. 7561                             | 15. 7544                             | 38. 9706                             |
| DBS <sub>3-1</sub>  | 磁黄铁矿 | 层状   | 18. 6631                             | 15. 7443                             | 38. 8437                             |
| DBS <sub>2-12</sub> | 黄铁矿  | 层状   | 18. 7273                             | 15. 7400                             | 39. 0964                             |
| DBS <sub>±2</sub>   | 黄铁矿  | 层状   | 18. 6989                             | 15. 7368                             | 39. 0110                             |
| DBS <sub>±5</sub>   | 黄铁矿  | 脉状   | 18. 7237                             | 15. 7452                             | 39. 0265                             |

本实验在南京大学地球科学系成矿作用国家重点实验室同位素地球化学实验室测定,分析者濮巍。分析仪器: Finnigan 公司 TRITON TI 型热电质谱仪。

脉状矿石的同位素比值比块状矿石略高(与同层位样品作比较,如 DBS<sub>±5</sub>和 DBS<sub>±2</sub>),说明两种不同形态的矿石可能来自不同的成矿流体。脉状矿体可能是后期热液穿插叠加改造所致,这与野外观察到矿区存在非常强烈的脉状切穿早期形成的矿物引起的硅化、夕卡岩化等地质现象一致,说明矿区成矿物质可能具有多期性<sup>[7]</sup>。陈好寿<sup>[18]</sup>曾对该矿区的层状矿体中方铅矿和次英安斑岩中石英脉的闪锌矿作过铅的模式定年,认为前者的成矿年龄为 3~ 4 亿年,而后者为 1~ 2 亿年。造成脉状矿石铅同位素值较高的原因可能是成矿流体混入了陆壳放射性铅,该区经加里东运动之后,由于江南古陆、华夏古陆的长期分化剥蚀,造成大量的成矿物质和地壳放射性铅搬运至滨海洼地和古陆凹陷边缘<sup>[8]</sup>。燕山期,这些物质同岩浆热液混合喷发侵位形成脉状矿床。这同 He-Ar 显示的特征相一致,即后期成矿热液中含

有大量的地壳物质。

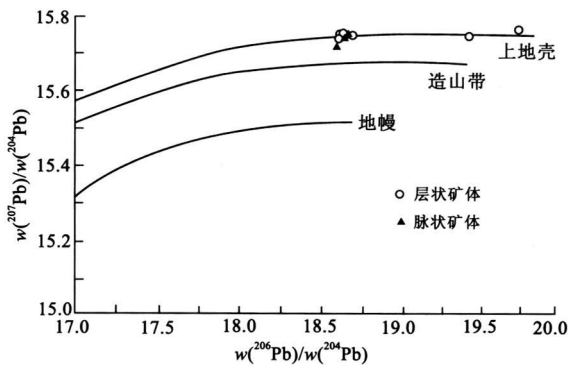


图 3 大宝山多金属矿床铅同位素组成 Zartman 图解  
Fig. 3 Zartman diagram of Pb isotopic composition of Dabao Hill polymetallic deposit

3.3 硫同位素

表 3 给出了大宝山不同类型矿石硫同位素的组成特征,  $\delta(^{34}\text{S}) = -2.06 \times 10^{-3} \sim 2.48 \times 10^{-3}$ , 偏差为  $4.54 \times 10^{-3}$ , 变化范围小, 显示富重硫的特点。从  $\delta(^{34}\text{S})$  出现区间窄(图 4)和平均值十分接近陨硫的特征判断, 成矿物质应来源于海底火山作用或者地壳深部<sup>[3]</sup>。20 个样品的  $\delta(^{34}\text{S})$  平均为  $0.55 \times 10^{-3}$ , 与全岩  $\delta(^{34}\text{S})$  平均值相近, 说明该矿床具有同生沉积的特点。

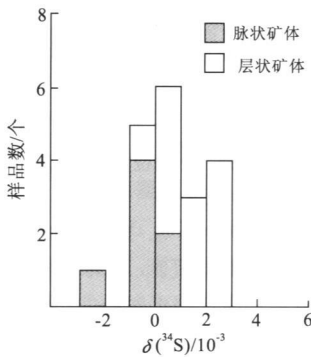


图 4 大宝山多金属矿床硫同位素组成

Fig. 4 Sulfur isotope composition of the Dabao Hill polymetallic deposit

大宝山矿床存在大量的胶结状磁黄铁矿, 其  $\delta(^{34}\text{S})$  值通常被认为相当于成矿热液的  $\delta(^{34}\text{S})$ <sup>[20]</sup>, 即热液的总硫同位素  $\delta(^{34}\text{S})$  大致为  $2 \times 10^{-3}$ , 结合矿区成矿历史<sup>[1, 2, 3, 18]</sup>我们可以断定, 层状矿体应为泥盆纪海底火山喷发形成。块状硫化物的  $\delta(^{34}\text{S})$  明显不同于脉状硫化物, 后者大多数偏负值, 说明两种形态的硫化物可能分别是不同时期的热液形成。该矿床石英脉型矿体的成矿地质特征和矿石矿物组合都提示了燕山期岩浆热液曾参与叠加成矿作用<sup>[6]</sup>。脉状矿体的硫同位素为负值, 很可能来源于海底硫酸盐的部分还原<sup>[19]</sup>和部分有机质参与成矿作用。燕山期, 该区经历了强烈的火山岩浆活动, 不断上涌的来自地球深部的热卤水沿 NE 向和 EW 向两组深断裂上涌形成断层通道, 与下渗的海水硫酸盐发生部分还原反应。同时, 刘孝善曾报道该区存在大量的腕足类动物化石<sup>[22]</sup>, 现场我们也发现在后期形成的闪锌矿、辉钼矿中, 伴生有相当丰富的黑色碳质, 这些黑色碳质的有机分解还原可以降低海水硫酸盐的  $^{34}\text{S}$ , 从而导致后期形成的脉状硫化物的  $^{34}\text{S}$  低于层状硫化物。所以有机质参与成矿也是导致脉状硫化物的  $\delta(^{34}\text{S})$  值偏低的一个重要原因。

| 表 3 大宝山矿床的硫同位素组成                                                       |       |                                 |         |
|------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------|---------|
| Table 3 sulfur isotopic composition of Dabao Hill polymetallic deposit |       |                                 |         |
| 原送样号(位置)                                                               | 测试对象  | $\delta(^{34}\text{S})/10^{-3}$ | 备注      |
| DBS大-8                                                                 | 全岩    | 0.53                            | 次英安斑岩   |
| DBS大-3                                                                 | 全岩    | 1.01                            | 火山凝灰岩   |
| DBS <sub>1</sub> -2                                                    | 脉状黄铁矿 | - 0.09                          |         |
| DBS <sub>1</sub> -1                                                    | 脉状黄铁矿 | - 0.14                          |         |
| DBS <sub>内</sub> -4                                                    | 块状黄铁矿 | 0.51                            | (绿泥化)   |
| DBS <sub>6</sub> -1                                                    | 块状黄铁矿 | 0.20                            |         |
| DBS <sub>6</sub> -2                                                    | 块状黄铜矿 | 1.57                            | (绿泥化)   |
| DBS <sub>风</sub> -7                                                    | 块状黄铁矿 | 2.48                            |         |
| DBS <sub>风</sub> -3                                                    | 脉状黄铁矿 | - 0.10                          |         |
| DBS <sub>5</sub> -3                                                    | 块状黄铁矿 | 2.15                            |         |
| DBS <sub>5</sub> -8                                                    | 块状黄铁矿 | 1.05                            |         |
| DBS <sub>5</sub> -11                                                   | 块状黄铁矿 | 2.40                            |         |
| DBS <sub>3</sub> -2                                                    | 脉状闪锌矿 | - 2.06                          | 伴生黄铜矿   |
| DBS <sub>3</sub> -3                                                    | 块状闪锌矿 | - 0.04                          | 伴生钼     |
| DBS <sub>负</sub> -3                                                    | 块状黄铁矿 | 0.44                            |         |
| DBS <sub>2</sub> -2                                                    | 脉状黄铁矿 | 0.49                            |         |
| DBS <sub>2</sub> -12                                                   | 块状黄铁矿 | 2.48                            |         |
| DBS <sub>主</sub> -2                                                    | 块状黄铁矿 | 0.52                            |         |
| DBS <sub>主</sub> -5                                                    | 脉状黄铁矿 | 0.14                            |         |
| DBS <sub>主</sub> -10                                                   | 脉状黄铁矿 | - 0.04                          |         |
| ZK 2032- 16                                                            | 方铅矿   | 0.2                             | 据刘孝善    |
| ZK 2032- 15                                                            | 闪锌矿   | 1.0                             | 据刘孝善    |
| ZK 2002- 5                                                             | 磁黄铁矿  | 2.4                             | 937 队资料 |
| 铜 3                                                                    | 磁黄铁矿  | 2.1                             | 937 队资料 |

测试单位: 国土资源部中南矿产资源监督检测中心宜昌同位素实验室。分析者: 藏明乙。分析仪器: 气体质谱计。

4 结论

- (1) He, Ar, Pb 和 S 同位素都反映同一个地质特征: 层状矿体和脉状矿体具有明显不同的同位素组成。它们可能是由不同地质时期的两种成矿流体所形成。
- (2) 层状矿体是在泥盆纪时由来自地球深部的岩浆与海水混合成矿; 脉状矿体是燕山期岩浆热液侵蚀充填叠加而成。
- (3) 矿区沉积带自下而上 R/Ra 有降低的趋势, 说明越靠近上部沉积带, 地幔流体参与的成分变少, 而海水的作用增强。

(4) 古大陆碎屑物质和部分有机质的还原作用对后期成矿流体具有较大的影响。

大宝山矿区是靠近古陆边缘的一个断陷盆地, 在泥盆纪发生大规模的海底火山喷发, 来自深部的热液携带大量的成矿物质被迁移到海底形成含矿液流, 汇集在断陷洼盆, 形成具有同生沉积特征的多金属矿床。随后, 大量来自古陆的成矿碎屑物被带入到该盆地。燕山期, 该区的活动仍很剧烈, 区内岩石圈断裂(如 NE 向和 EW 向深断裂等)及其次级断裂带活动为幔源物质(包括热气流、能量和地幔岩浆)上升提供了通道。这些破碎带是良好的控矿构造<sup>[22]</sup>, 深部的地幔射气、流体与下渗的海水、部分有机物发生作用, 在此聚集成矿, 对矿床进行侵蚀、改造和叠加, 从而形成了大宝山多金属硫化物矿床。

致谢: 野外研究工作得到大宝山地矿测量科王要武科长和杨坚松工程师等的大力支持和帮助, 在此谨致谢意。

#### 参考文献:

- [1] 胡瑞忠, 毕献武. 哀牢山金矿带金成矿流体 He 和 Ar 同位素地球化学[J]. 中国科学(D 辑), 1999, 29(4): 321-330.
- [2] 王宝德, 牛树银, 孙爱群, 等. 冀北地区金矿 He, Ar, Pb 同位素组成及其成矿物质来源[J]. 地球化学, 2003, 32(2): 181-187.
- [3] Turner G, Burnard P B, Ford J L, *et al.* Tracing fluid sources and interaction[J]. Phil Trans R Soc Lond A., 1993, 344: 127-140.
- [4] 葛朝华, 韩发. 大宝山铁-多金属矿床的海相火山热液沉积成因特征[J]. 矿床地质, 1986, 5(1): 1-12.
- [5] 杨振强. 大宝山块状硫化物矿床成因: 泥盆纪海底热事件[J]. 华南地质与矿产, 1997, (1): 7-17.
- [6] 刘孝善, 周顺之. 广东大宝山中泥盆世火山岩与层状菱铁矿、多金属矿床成矿机制分析[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1985, 21(2): 348-360.
- [7] 裴太昌, 钟树荣, 刘胜, 等. 粤北大宝山-雪山嶂地区成矿系列及成矿模式[J]. 地质找矿论丛, 1993, 9(3): 48-58.
- [8] 邱世强. 关于大宝山层状多金属矿床成因的初步探讨[J]. 地

质论评, 1981, 27(4): 334-340.

- [9] Burnard P G, Stuart F, Turner G. G He Ar variations within a dunite nodule as a function of fluid inclusion morphology[J]. Earth Planet Sci Lett, 1994, 128: 243-258.
- [10] Hart R, Dymond J, Hogan L. Preferential formation of the atmosphere sialic crust system from the earth [J]. Nature, 1997, 278: 156-159.
- [11] Schwartzman D W. Argon degassing models of the earth[J]. Nature Phys Sci., 1973, 245: 20-21.
- [12] Simmons S F, Sawkins F J, Schlutter D J. Mantle derived helium in two Peruvian hydrothermal ore deposits[J]. Nature, 1987, 329: 429-432.
- [13] 孙晓明, 王敏, 薛婷, 等. 华南下寒武统黑色岩系铅多金属矿中黄铁矿流体包裹体的 He Ar 同位素体系[J]. 高校地质学报, 2003, 9(4): 661-666.
- [14] 曾志刚, 秦蕴珊, 翟世奎. 大西洋中脊 TAG 热液区硫化物中流体包裹体的 He Ne Ar 同位素组成[J]. 中国科学(D 辑), 2000, 30(6): 628-633.
- [15] 吴茂炳, 王先彬, 叶先仁, 等. 辽宁宽甸新生代火山岩和地幔包体 He Ar 同位素组成[J]. 地球化学, 2003, 32(5): 402-405.
- [16] 徐士进, 方中, 松本拓也, 等. 女山和英峰岭地幔巨晶矿物中 He 和 Ar 同位素特征及其地质意义[J]. 科学通报, 2003, 48(10): 1087-1091.
- [17] 曾键年, 范永香, 林卫兵. 江西金山金矿床成矿物质来源的铅、硫同位素示踪[J]. 现代地质, 2002, 16(2): 170-176.
- [18] 陈好寿. 粤北大宝山层状多金属矿床的铅、硫、氧同位素地球化学研究[J]. 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊, 1985, 第 10 号: 111-124.
- [19] 代立东, 李和平, 王思源, 等. 黑龙江老柞山金多金属矿床地质地球化学初探[J]. 现代地球化学, 2002, 30(2): 19-24.
- [20] 吴南平, 蒋少涌, 廖启林, 等. 云南兰坪-思茅盆地脉状铜矿床铅、硫同位素地球化学与成矿物质来源研究[J]. 岩石学报, 2003, 19(4): 800-807.
- [21] 郑永飞, 陈江峰. 稳定同位素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [22] 刘孝善, 周顺之. 广东大宝山层状多金属矿床中首次发现硫化物化石及其地质意义[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1984, (1): 139-143.
- [23] 顾连兴, 胡文喧, 倪培, 等. 再论大陆地壳断裂拗陷带中的华南型块状硫化物矿床[J]. 高校地质学报, 2003, 9(4): 592-603.

## THE He-Ar-Pb-S ISOTOPE TRACING ON ORE FORMING FLUID IN DABAO HILL POLYMETALLIC DEPOSIT, NORTH GUANGDONG

SONG Shi-ming, HU Kai, JIANG Shao-yong, LI Kuang

(State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

(下转第 99 页)

- (4) NW 向和 SN 向构造控制着石英脉和网脉状石英分布, 是主要的导矿构造和容矿构造。
- (5) 沸腾和酸性流体的混合是控制西必塔矿区金质堆积的两个主要机制。
- (6) 西必塔金矿床属于浅成低温热液型。

[ 1] Antonio L R. Verification of copper mineralization of 12 claims located in Pilacan Bato, Lipawan, Dumingag, Zamboanga del Sur, Mindanao [ R ]. Unpublished report of the Bureau of Mines, Manila, 1969. 5.

[ 2] Antonio L R. Preliminary report on the geology of east central Zamboanga Peninsula, Mindanao [ R ]. Unpublished report of the Philippine Bureau of Mines, 1972. 58.

参考文献:

METALLOGENESIS OF VEIN-TYPE EPITHERMAL LALAB GOLD DEPOSIT AT SIBUTAD, PHILIPPINES

WANG Shao huai<sup>1,2</sup>

( 1. Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China;  
2. No. 2 Geological and Exploration Institute of CEEB, Putian 351111, China)

**Abstract:** The Sibutad vein-type epithermal gold deposit is the most promising economic ones found in recent years in Zamboanga del Norte Province in Zamboanga Peninsula, Mindanao island. Gold deposits at Sibutad occur in Pliocene to Pleistocene volcanic rocks that are distributed as sporadic islands in the east of the tectonically active Sindangan-Cotabato-Dagupan linear structure. The host rocks are the Malindang volcanics, composed of lower and upper members, which are both intruded by andesitic porphyrite. The lower member is made up of andesitic lava, dacite and tuffite and gold deposits, such as Larayan and Lalab. Whereas, volcanic breccia and tuff breccia characterize the upper member. In Lalab gold deposit andesite is hydrothermally altered and mineralized. The mineralization belongs to adularia-sericite type. Gold was precipitated from reduced, neutral pH solutions within a shallow to near-surface environment. The following events lead to the Lalab orebody: ①pre-breccia wallrock alteration, ②hydrothermal brecciation, ③post-breccia wallrock alteration, and ④formation of gold ore. Gold precipitated with fluid boiling and fluid mixing. And prolific gold zones occur at elevation of 30 m and 200 m.

**Key Words:** Sibutad gold ore area; Lalab gold deposit; metallogenesis; epithermal gold deposit; Philippines

( 上接第 92 页)

**Abstract:** Dabaoshan Hill polymetallic deposit is a typical polymetallic sulfide deposit with tremendous thick layered and stringer mineralization. The R/Ra ratio of <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He of the layered and vein-like pyrites are from 0.60-4.13 and <sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 327-411. The isotope compositions are the results of mixture of the saturated meteoric water(seawater) with mantle fluid. The lead and sulfur isotope analysis suggests that the tremendous thick and stringer ore bodies may be formed by fluid of different geologic periods. The tremendous thick ore body was formed by sea floor volcanic eruptive sedimentation during the Devonian Period; the stringer ore body by Yanshanian magmatic hydrothermal fluid filling and overprinting. The reduction of old terrigenous detritus and some organic materials has important effect on the late ore fluids.

**Key Words:** helium and argon isotope; lead isotope; sulfur isotope; layered ore body; stringer ore body; north Guangdong province