

文章编号:1009-0193(2002)01-0018-06

# 琼西戈枕剪切带金矿同位素地球化学

夏 勇

(中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002)

**摘 要:**琼西戈枕剪切带控制的金矿床,产于前寒武系变质岩系中,区域上沿构造带呈北东向展布,从北东向南西有土外山—抱板金矿区、二甲金矿区和不磨金矿区等,构成了海南岛目前最有工业价值的金矿成矿带。对该成矿带典型矿床同位素地球化学的研究,表明其成矿物质主要来自抱板群混合岩系,但有部分深源物质的叠加;成矿流体主要是混合岩化热液和大气降水热液的混合,局部有岩浆热液参与,其深部物质和岩浆热液的叠加受剪切带变形环境和后期岩浆活动的控制;同位素组成在该区域有明显变化规律,并与构造变形、变质作用及其演化特点有关,这对剪切带与金矿成矿、成矿规律和成矿预测有重要意义。

**关键词:**同位素地球化学;金矿床;剪切带;海南省

**中图分类号:**P615.5101;P597;P612 **文献标识码:**A

## 1 戈枕剪切带金矿床地质概况

琼西受戈枕剪切带控制的金矿床产于抱板群变质岩系中眼球—条纹状混合岩与混合岩化云母石英片岩、千枚岩等的接触部位及其内侧(图1),根据岩性特征和同位素年龄值(锆石铀铅同位素表面年龄: $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ :  $1.24 \times 10^6 \text{a}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ :  $1.34 \times 10^9 \text{a}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{236}\text{Pb}$ :  $1.49 \cdot 10^9 \text{a}$ )<sup>①</sup>,将其划入中元古界,其原岩为一套碎屑沉积以及中基性火山岩、凝灰岩等。根据地层金含量高、方差值大、从高变质岩相到低变质岩相金含量增高等特点,推测抱板群至少提供了部分金和成矿物质。

北东向主干构造——戈枕剪切带贯穿全区,控制了土外山、抱板、二甲、不磨等金矿床的成矿作用。该剪切带具有多次活动特点,早期表现为韧性或脆—韧性,晚期韧—脆性或脆性;空间上,上部韧—脆性或脆性特征明显,向深部韧性特征增强,另外,该剪切带北东段出露部位为脆—韧性、南西段为韧—脆性变形环境,从而使金矿成矿作用也有所差异。

区内金矿床类型主要有蚀变糜棱岩型和石英脉型,前者分布于糜棱岩带中心部位,规模较大,矿体由蚀变糜棱岩或硅化石英核组成,矿体与围岩无明显界线;后者充填于与剪切作用相伴的裂隙系统中。矿体的形态却较简单,多呈单一脉体或透镜体或矿脉组组成。矿石成分简单,据矿物共生组合和矿石结构构造特征,可将金的热液成矿期划分为三个阶段:(1)石英—黄铁矿—毒砂阶段,形成粗粒半自形—自形的毒砂和黄铁矿等,含金欠佳;(2)石英—多金属硫化物—自然金阶段,是主要成矿阶段,形成细粒状或细脉状的毒砂、黄铁矿和微粒石英及少量方铅矿、闪锌矿和黄铜矿等,并伴随大量自然金沉淀,局部见有银金矿,脉石矿物除石英外,还有绢云母和绿泥石等;(3)方解石—石英阶段,一般不含金,可见少量硫化矿物。与成矿有关的围岩蚀变有硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化等。

## 2 硫同位素地球化学特征

琼西剪切带金矿床中与成矿密切相关的硫化物矿物主要是黄铁矿和毒砂,图2给出了典型矿区中矿石和围岩混合岩、变质岩中黄铁矿的硫同位素测试结果和组成变化特征,而少量毒砂测试结果显示出与黄铁

收稿日期:2001-10-31

基金项目:国家自然科学基金资助项目(49902026) 在中国科学院矿床地球化学开放实验室中完成。

①中科院地球化学研究所海南金矿科研队 海南二甲金矿几个地质问题的初探(研究简报) 1990

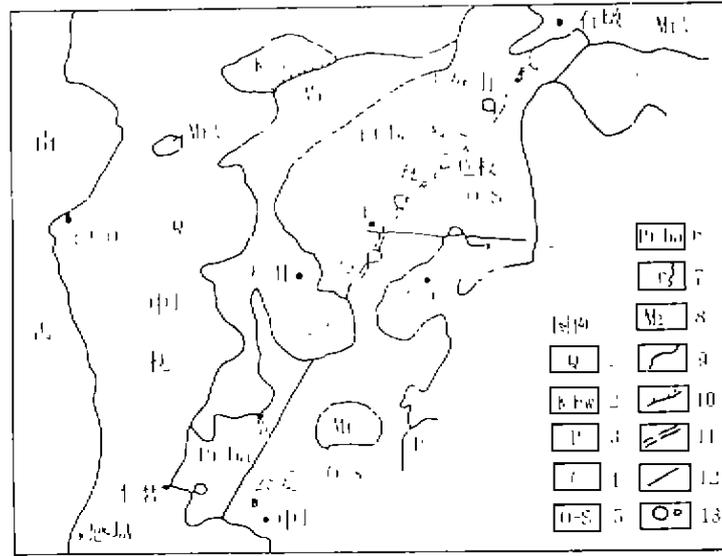
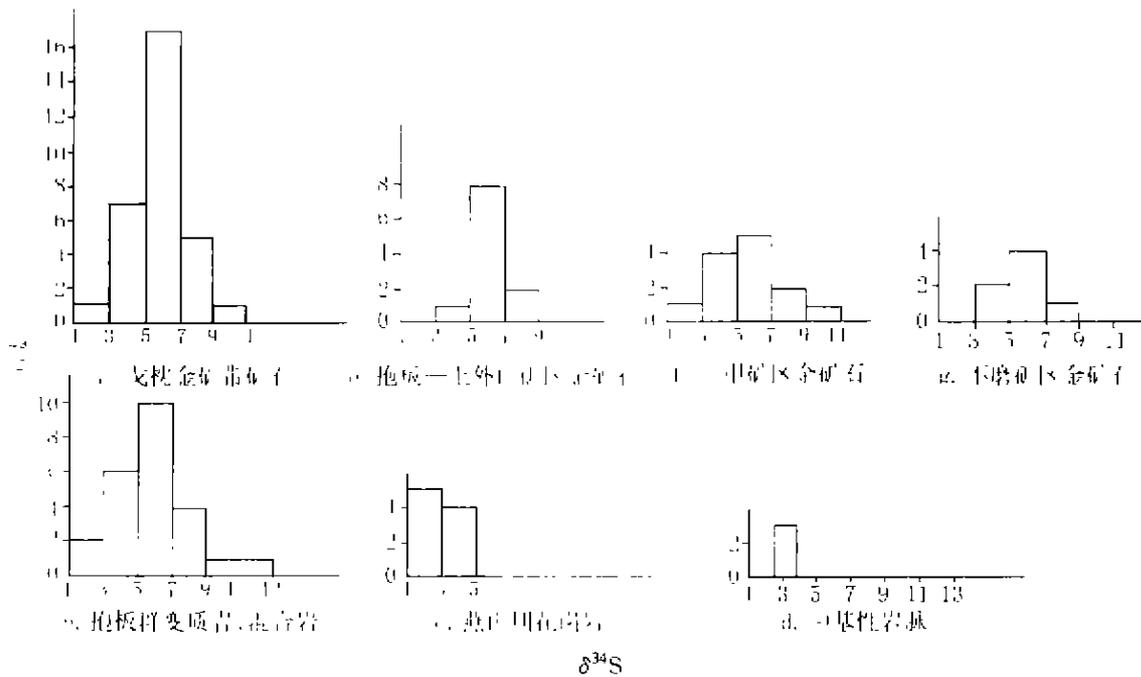


图 1 戈枕金矿带区域地质略图

1. 第四系粘土砂、砂砾; 2. 上白垩统抱万群页岩、砂砾岩; 3. 二迭系结晶灰岩、变质砂岩; 4. 石炭系变质砂砾岩、结晶灰岩; 5. 奥陶-志留系变质粉砂岩、千枚岩、片岩; 6. 中元古界抱板群混合岩; 7. 印支期花岗岩; 8. 印支期混合花岗岩; 9. 地质界线; 10. 不整合界线; 11. 糜棱岩带; 12. 断层; 13. 金矿床(点)

矿类似特征,其  $\delta^{34}\text{S}$  值在 3.78‰ ~ 6.80‰ 之间。由此可得出以下规律:



c. 引自张理刚, 1985<sup>[1]</sup>; d. 引自冯连顺, 1988<sup>[2]</sup>

图 2 戈枕金矿带矿石、岩石中黄铁矿硫同位素分布直方图

1. 矿石黄铁矿硫同位素组成特征与抱板群混合岩、变质岩围岩黄铁矿的特征相一致,而与燕山期花岗岩和一些中基性岩脉相差较大。矿石和抱板群变质岩系硫同位素均呈正态分布,且峰值非常接近,  $\delta^{34}\text{S}$  值矿石为 6‰ ~ 7‰, 变质岩系为 5‰ ~ 6‰, 反映出矿石硫受围岩硫同位素背景值的控制, 矿石硫源主要来自抱板群变质岩系, 而燕山期花岗岩和中基性岩脉不可能是矿石硫源的主要提供者。

2. 矿石中硫同位素变化范围较小, 以富集  $^{34}\text{S}$  为特征, 整个矿带  $\delta^{34}\text{S}$  值为 1.85‰ ~ 9.76‰, 极差 7.91‰, 峰值 6‰ ~ 7‰, 各矿床也都有类似特征, 且  $\delta^{34}\text{S}$  值平均数非常接近, 抱板-土外山矿区,  $\delta^{34}\text{S}$  值平

均数:6.24‰、二甲矿区:5.86‰,不磨矿区:5.83‰.反映出整个矿带硫来源比较单一,硫均一化程度比较高

3 矿石中常见黄铁矿-毒砂共生组合,它们在矿石中占绝大多数,尤以黄铁矿为最常见,未见重晶石等硫酸盐类,大致反映了成矿体系中  $f_{O_2}$  低,以还原硫占优势或含硫原子团是溶解  $H_2S$ ,因此,黄铁矿的  $\delta^{34}S$  平均值大致能代表成矿体系的硫同位素组成(尼尔逊,1974;栾世伟,1987<sup>[3]</sup>).矿石和围岩的  $\delta^{34}S$  值非常接近,表明成矿体系中硫未经较大分馏作用而直接反映了硫源特征.也说明成矿环境中  $f_{O_2}$  和 pH 值不高(Ohmoto, H., 1972, 1979)<sup>[4][5]</sup>.

4. 图3表明,从成矿早期向晚期,黄铁矿  $\delta^{34}S$  值有明显降低,在抱板-上外山矿区从 8.22‰→6.27‰→4.01‰,在二甲矿区从 7.66‰→5.53‰→3.40‰,在不磨矿区未获得成矿第一阶段数据.但从第二阶段到第三个阶段仍显示类似变化特征:从 6.44‰→4.30‰.根据 Ohmoto, 1972, Ohmoto 等, 1979 的研究,这种现象表明硫同位素分馏作用的主要控制因素是  $f_{O_2}$  和 pH

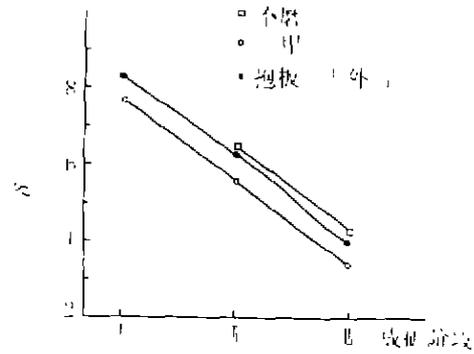
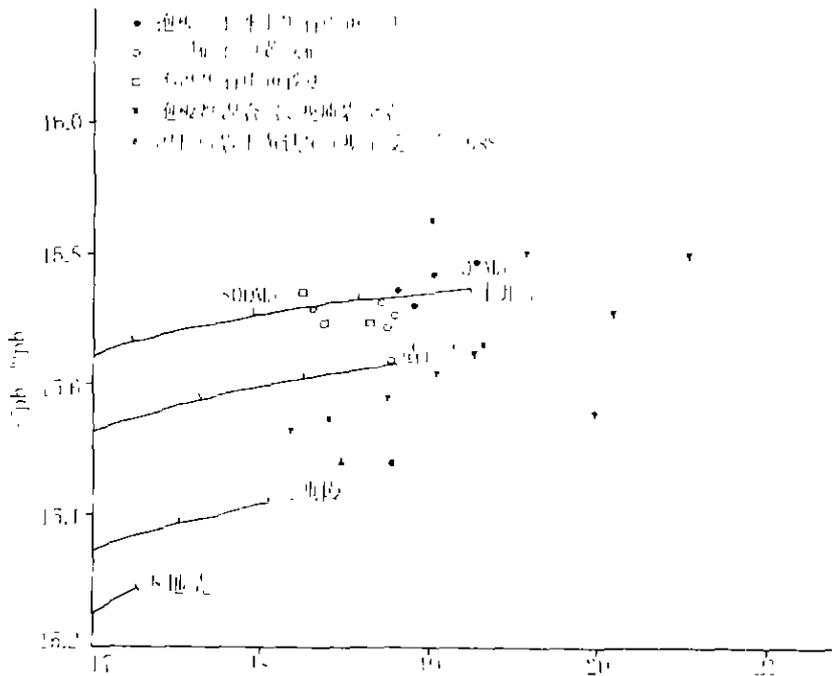


图3 不同成矿阶段黄铁矿硫同位素变化

高的趋势,这种成矿条件的变化与剪切带由韧性向脆性转化相一致,揭示了构造对成矿的影响。

### 3 铅同位素地球化学特性

铅同位素常被称为成矿作用的示踪元素,它能提供许多成矿物质来源及成矿演化历史等方面有用的信息。通过对矿石和岩石中黄铁矿以及岩石全岩样品的铅同位素测试,其结果(图4)表明:



(图中铅演化曲线采用 Tse 和 Zartman 模式)

图4 矿石、岩石铅同位素组成坐标图

岩石中铅同位素在  $^{206}Pb/^{204}Pb - ^{207}Pb/^{204}Pb$  图上的投影明显呈线性分布(图4),数据落在同一直线附近,采用最小二乘法对该直线拟合,得到可信的理想线性方程为:

$$^{207}Pb/^{204}Pb = 0.0927 \times ^{206}Pb/^{204}Pb + 13.8586 \quad (\text{见图5})$$

该直线与斯塔西正常铅两阶段演化曲线(Stacey, Karamers, 1975)<sup>[8]</sup>相交于 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}: 15.761$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}: 15.320$ . 该交点年龄值为  $1.70 \cdot 10^9\text{a}$ , 与抱板群锆石铀铅法年龄值  $1.49 \times 10^9\text{a}$  接近. 因此, 它们代表了抱板群初始铅特征和形成年龄, 其直线反映了抱板群形成后放射成因铅的积累和演化特征.

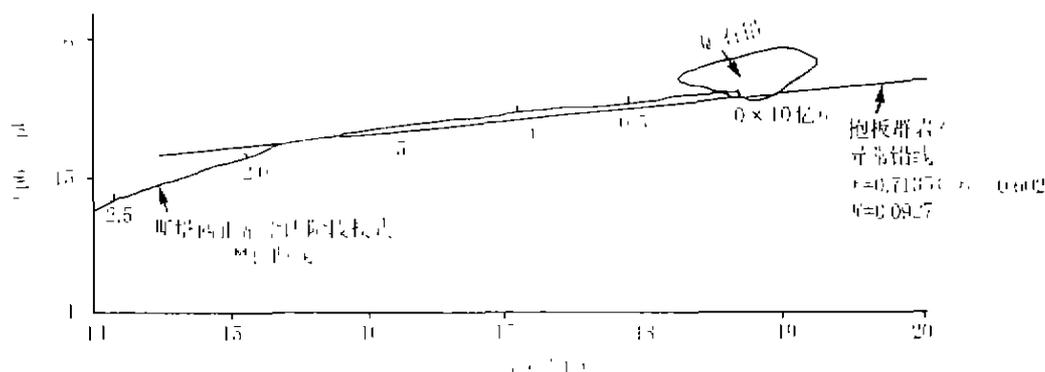


图5 抱板群岩石异常铅线与正常铅增长曲线相交特征

矿石铅同位素组成总的特征是放射成因铅较高,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  值变化较大,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  值变化范围相对较小(图4), 其在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  对 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  坐标图上的投影与Doe和Zartman的铅构造模式演化曲线对比<sup>[5][6]</sup>, 主要数据落入上地壳演化线附近及其以上, 部分靠近造山带演化曲线, 个别点落在地幔演化曲线附近, 因此, 本矿带矿石铅的源区复杂, 主要为线源-造山带来源, 局部可能有少量深部物质叠加, 且各矿床相差不大.

与抱板群岩石铅同位素对比, 其矿石铅投影区位于岩石异常铅线上方附近(图5), 看来是岩石铅演化到成矿时期与富放射成因铅的混合和积累所致, 充分说明了矿石铅与岩石铅的密切关系.

图4中还反映出闪长玢岩中黄铁矿铅同位素组成点位于造山带演化曲线下方, 接近地幔演化曲线, 反映深源铅特点.

从能够对应的黄铁矿的铅和硫同位素组成之间的关系(图6), 发现 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  与 $\delta^{34}\text{S}$  值有较好的正相关关系, 这一资料表明, 黄铁矿中铅与硫必定是在同一溶液中搬运和沉淀下来的, 从铅和总硫同位素组成均变化不大, 可间接说明它们(即金属物质与硫)具有相同来源和演化环境, 从而支持了成矿物质主要源自抱板群的认识.

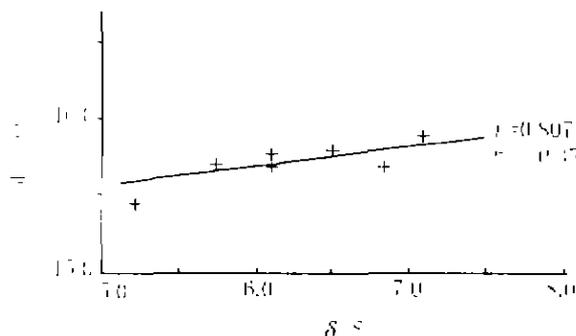


图6 矿石中黄铁矿硫-铅同位素组成关系

综上所述, 根据铅同位素示踪和其年龄资料, 结合本区的地质发展背景, 可以认为本区金矿的成矿经历了多期的演化过程. 金主要来源于抱板群, 该地层在中、晚元古界形成时就赋存了一定量的金, 在以后多次的变质、混合岩化和岩浆活动过程中, 一方面使地层中的金活化迁移到构造有利部位富集成矿, 另外, 通过各种热液的活动和叠加, 使深部和其它来源的金加入地层中活化转移出来的金, 使之进一步富集成矿.

#### 4 氢、氧同位素地球化学特征

根据脉石矿物石英氧同位素及其所含流体包裹体氢同位素分析结果, 利用石英-水氧同位素平衡方程(Matsuhisa, 1979, 转引自张理刚, 1985)<sup>[11]</sup>, 获得成矿溶液的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta\text{D}$ 值, 其结果在 $\delta^{18}\text{O}-\delta\text{D}$ 组成图上(图7)落入大气降水线-变质水-岩浆水之间的混合区域, 揭示了成矿流体可能是多种来源的混合或叠加. 并与我国胶东地区金矿相似.

根据矿带不同地质体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 和 $\delta\text{D}$ 值特点, 我们可以看出, 该金矿带金矿成矿在时间上从早期到晚期, 即从混合岩→矿石→戈枕剪切带中后期充填在张性脉中的石英; 从热液成矿期的早阶段→晚阶段, 其石

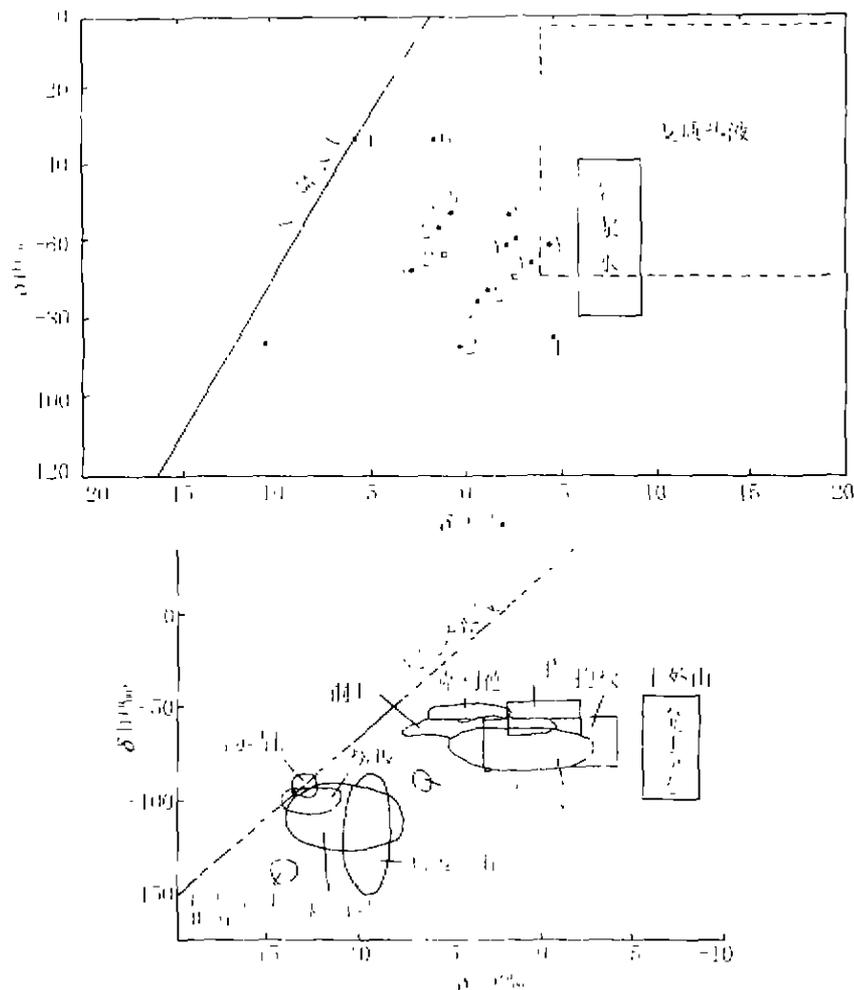


图7 金矿成矿热液氢氧同位素组成,并与某些大气降水热液金矿床(据张理刚,1985)对比

①样品取自抱板—土外山矿区,□样品取自二甲矿区,H为混合岩样,G为戈枕断裂带岩样,D为海口现代大气降水样(引自张理刚,1985),r为引自冯连顺,1988,俞受菱,1988资料,1,2,3代表成矿阶段。

英包裹体中  $\delta D$  值明显上升,  $\delta^{18}O$  值下降,并向海口现代大气降水值靠近。这一特征说明,本矿带成矿溶液可能是由较低  $\delta D$  值和较高  $\delta^{18}O$  值的混合岩中封存水热液与较高  $\delta D$  值和较低  $\delta^{18}O$  值的大气降水热液混合所致,并随着成矿在时间上从早到晚,在空间上由深层次向浅层次,大气降水量增加。另外,岩浆热液的活动对成矿可能有一定影响,致使部分数据偏离上述规律,在有较高的  $\delta D$  值的同时,  $\delta^{18}O$  值也较高,投影点更接近岩浆热液,而这种现象在抱板—土外山较明显。

## 5 金矿成矿作用讨论

1. 成矿物质来源:矿带内各地质体硫铅同位素组成反映出成矿物质主要来自抱板群混合岩和混合岩化岩石。

2. 成矿热液来源:据有关地质体流体的氢和氧同位素组成,可以认为成矿热液主要是混合岩化热液与大气降水热液的混合。

3. 燕山期岩浆作用对成矿作用有一定影响和叠加,这种现象在抱板—土外山较明显,向南总体上减弱,这与由北向南构造变形环境的变浅和岩浆活动特征有关。

4. 金矿成矿作用和成矿预测:矿带内金矿成矿与戈枕剪切带活动密切相关,该剪切带多期次活动造成了成矿的多期多阶段,并且由于各期次活动性质的不同,造成了矿质的大量沉淀。在同位素组成上总体反映出从早到晚,构造由韧性→韧脆性和脆性演化,  $\delta^{34}S$  值由高→低,  $\delta^{18}O$  和  $\delta D$  值由近混合岩化热液→近大气降水热液,即成矿条件由封闭→半开放,物理化学条件发生变化,这是矿质沉淀的重要因素<sup>[9]</sup>。空间上由

北向南,变形环境变浅,成矿环境变浅,揭示构造对成矿环境的控制作用,是成矿的驱动力。因此,在成矿预测中应密切注意构造特征。<sup>[10]</sup>根据该剪切带控矿特征,其找矿方向是,在北边戈枕剪切带上盘岩层中注意寻找成矿环境较浅的不磨类型金矿床,而在南边应注意剪切带深部变化特征,寻找成矿环境较深层次的抱板-土外或二甲蚀变糜棱岩型金矿床。成矿预测应在抱板群矿源层基础上,注意剪切带形成过程中所反映出来的扩容部位。

致谢:工作中得到海南地质矿产勘查开发局及其所属地质队和海南地质勘查局及 934 地质队的大力支持、帮助和通力合作,也得到所领导和分析人员的关心和支持。部分数据引自作者参加的“七·五”海南黄金科研项目的有关工作,在此一并表示深深的谢意!

#### 参考文献:

- [1]张理刚.稳定同位素在地质科学中的应用—金属活化热液成矿作用及找矿[M].西安:陕西科学技术出版社,1985.
- [2]冯连顺.海南岛抱板金矿床同位素地质特征初步研究[J].贵金属地质,1988,(3-4):233-239.
- [3]栾世伟.金矿床地质及找矿方法[M].成都:四川科学技术出版社,1987
- [4]Ohmoto H Sytematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits[J]. Econ Geol,1972,67(5):551-578
- [5]Barnes H L, ed. Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 2nd edition[M]. New York: John Wiley, 1979.
- [6]Zarman R E, Doe B R. Plumbotectonics—the model[J]. Tectonophysics, 1981, 75(1-2):136-162.
- [7]俞受莹,许垂武.海南抱板金矿地质地球化学特征及成因探讨[A].第三届矿物岩石地球化学学术交流会论文摘要汇编[C].重庆:重庆科技文献出版社,1988. 180-181.
- [8]Stacey G S, Kramers G D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model[J]. Earth and Planetary Sci Letters, 1975, 26(2):207-221.
- [9]Xia Yong. The study of tectonic deformation and mineralisation through fluid inclusions[A]. ECROFI XI, Firenze, Italy 1991: 255.
- [10]Bursnall J T, ed. Mineralization and shear zone (short course)[M]. Pulshed by Geological Association of Canada. 1989.

## Isotope Geochemistry of Gold Mineralization in Gezhen Shear Zone, Hainan, China

XIA Yong

(Institute of Geochemistry Academia Sinica, Guiyang 550002, China)

**Abstract:** The gold deposits of Tuwaishan, Baoban, Erjia, Burno, etc. in western Hainan are formed in metamorphic clastic rocks of Precambrian age and are controlled by Gezhen shear zone. The research results show that the metallogenic matter was mainly from the magmatic rocks of Baoban Group and partly from the depths. The metallogenic fluid was mainly a mixture of magmatic hydrothermal water and meteoric hydrothermal waters, and was partly telescoped by magmatic water. The telescoping of the deep resource matter and magmatic waters was controlled by deformation environments of the shear zone and magmatic activity. The changes of isotope composition are clear and closely related to tectonic deformation, metamorphism and magmatism and their evolution. This is conducive to deep studies of the shear zone, gold mineralization and prospecting of gold deposits in this region.

**Key words:** isotope geochemistry; gold deposits; shear zone; Hainan Province