文章编号: 1001-1412(1999)04-0062-07

八卦庙超大型金矿地球化学特征及物源

吴烈善, 韦龙明
(有色矿产地质研究院, 广西 桂林 541004)

摘 要: 文章论述了八卦庙矿床围岩和含金石英脉的稀土元素及硫、硅、氢、氧、碳的同位素地球化学特征, 结合金矿床与深大断裂的时空分布特点, 以及与秦岭热水沉积铅锌矿床和双王喷流沉积金矿床的对比研究, 论证了八卦庙金矿的主要成矿物质来源于地壳深部, 甚至上地幔。

关键词: 金矿; 稀土元素; 同位素; 下地壳; 成矿物质来源; 陕西
中图分类号: P618.51; P611 文献标识码: A

1 成矿地质背景

八卦庙矿床位于西秦岭东段凤县-太白(以下简称凤-太)铅锌多金属矿田的北部, 距陕西省凤县东约40 km。凤-太矿田在泥盆纪是秦岭裂谷活动最强烈的地带之一, 同时也是秦岭地区重要的多金属成矿区带。该矿田南北以两条近东西走向的大断裂为界, 北部为凤县-山阳深大断裂, 南部为两当-镇安深断裂, 两断裂具长期活动特点; 此外两深大断裂还派生发育许多次级断裂, 这些断裂把凤-太矿田分割成了许多同生断陷盆地, 正是这些断裂及其断陷盆地, 为深部物源提供了可能的通道和成矿空间。

我们近几年对该地区金矿进行了一系列的工作, 发现凤-太矿田金矿和秦岭喷流沉积型Pb-Zn矿一样与深大断裂构造有比较密切的关系, 金矿的赋矿层位是星红铺组(D_2x)下段, Pb-Zn矿的赋矿层位是古道岭组(D_2g)上段, 从区域上来说这两层位是整合接触关系, 说明两者在时间上很接近。从空间上来看, 金矿和Pb-Zn矿都位于深大断裂的附近, 而且在许多Pb-Zn矿外围都发现金矿(或金矿化), 其中八卦庙金矿与八方山大型Pb-Zn矿仅相距3 km, 所以通过两者的对比, 从而揭示金矿的物源问题相当有意义。

收稿日期: 1999-05-24; 修订日期: 1999-08-30
科技项目: 本文是国家"九五"科技(攻关)项目96-914-04-02A子专题部分研究成果
第一作者简介: 吴烈善(1966-), 男, 侗族, 广西龙胜人, 工程师, 理学士, 现从事矿床地质工作。
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

凤–太地区出露地层主要为泥盆系、石炭系、二叠系等。其中以泥盆系分布最广, 自下而上可分为三组: ①中泥盆统古道岭组(D_2g) , 主要为碳酸盐岩夹少量碎屑岩; ②中泥盆统星红辅组(D_2x) , 主要为泥质碎屑岩、碳质碎屑岩夹条带状灰岩; ③上泥盆统九里坪组(D_2j) , 为碎屑岩与碳酸盐岩互层。区域构造线方向总体为 NWW—SEE 向, 由一系列轴向 NWW 的紧闭线状褶皱和断裂组成, 其次为 NE 和近 SN 向断裂。

2　矿床地质概况

八卦庙金矿床位于 NWW 向苏家沟–空棺沟复式向斜西端北翼, 赋矿地层为中泥盆统星红辅组下段, 容矿岩石为铁白云质粉砂质板岩和云母千枚岩。金矿体呈似层状、透镜状, 在平面上看呈 "螃蟹 "状, 在剖面上呈扁豆状, 矿体中心部位最为厚大, 金的品位最富; 矿石的金属矿物以磁黄铁矿、黄铁矿为主, 其次有白铁矿、钛铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等。非金属矿物以绢云母、石英为主, 其次有铁白云石、绿泥石、黑云母、方解石、电气石、钠长石等。围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、铁碳酸盐化、其次为黄铁矿化、绿泥石化等, 为一套中—低温矿物共生组合和围岩蚀变。八卦庙金矿物主要以独立矿物形式存在于石英脉内及其脉旁蚀变围岩中。

矿区内含金石英脉比较发育, 按其产状可分为三类: ①顺层脉, 脉体较粗大, 走向与地层走向(NWW 向) 大体一致; ②节理脉, 脉体细小, 走向与地层走向近于直交; ③裂隙脉, 脉体较细, 走向与地层斜交。石英脉的含矿性与其发育规模成正比。石英脉旁常常伴有蚀变退色现象, 越靠近含金石英脉, 蚀变退色程度越强, 其 Au, SiO_2, Fe_2O_3, K_2O, Na_2O 等含量明显增加, 而 As, FeO, MgO, CaO, Al_2O_3 含量则明显减少。通过对矿床 200 多件样品微量元素进行分析研究发现, 矿床的主要成矿元素具有明显的分带性, 从矿体中心富而厚大部位到矿体边部尖灭部位, 成矿元素表现为: Au→Au+ Ag→Au+ Ag+ Pb+ (Bi)。

3　稀土元素地球化学

根据稀土元素的分馏特点和配分模式以及各元素的比值和异常值(表 1) , 我们可以通过对比区分来自不同物源的岩石。

表 1　八卦庙金矿床稀土元素组成特征表

Table 1　REE compositions of Baguamiao gold deposit

岩石特征	$w(\Sigma REE)/\times 10^{-6}$	$w(\Sigma Ce)/w(\Sigma Y)$	δEu	资料来源
围　岩	110. 12～222. 4	2. 91～3. 83	0. 68	[2]
远脉弱蚀变岩石	198. 83～225. 08	3. 59～4. 39	0. 71	[2]
远脉强蚀变岩石	27. 50～78. 78	0. 36～2. 43	0. 74	[2]
含金石英脉	7. 66～24. 73	2. 09～2. 80	0. 72	本文
地　壳	165. 35	2. 78	0. 60	[3]
上地幔	17. 70	2. 04	0. 79	[3][4]
下地幔	4. 33	1. 32	0. 08	[3][4]

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://ww

3.1 围岩

围岩的稀土元素配分模式图(图 1)表现为富轻稀土, Eu 亏损, 向右倾斜的曲线特点。$w(\Sigma REE)$ 为 110.12×10^{-6}～222.4×10^{-6}, 平均值为 194×10^{-6}, δEu 平均值为 0.68, δCe 平均值为 0.91, $w(\Sigma Ce)/w(\Sigma Y)$ = 2.91～3.83, 与北美页岩相似, 表明围岩性质为正常壳源沉积。

3.2 蚀变岩石

近脉蚀变岩在八卦庙金矿床表现为一套退色蚀变岩, 主要为黄铁绢英岩化; 远离含金石英脉体的弱蚀变岩石是介于近脉强蚀变岩石和围岩之间的过渡型岩石, 以磁黄铁矿、黄铁矿、绢云母为主。蚀变岩石的稀土元素特征根据其配分模式曲线(图 2)可分为两类, 第一类(弱蚀变岩)是富轻稀土, Eu 亏损, 曲线向右倾斜与围岩相似, $w(\Sigma REE)$ = 198.83×10^{-6}～225.08×10^{-6}, δEu 平均值 0.71, $w(\Sigma Ce)/w(\Sigma Y)$ = 3.59～4.39; 第二类(强蚀变岩) 轻、重稀土分异较小, 配分曲线特征与下述含金石英脉相似, $w(\Sigma REE)$ = 27.50×10^{-6}～78.78×10^{-6}, δEu 平均值 0.74, $w(\Sigma Ce)/w(\Sigma Y)$ = 0.36～2.43。说明蚀变岩石的稀土元素分馏特点介于围岩和含金石英脉之间, 当蚀变强度大时, 其稀土元素特征与含金石英脉更接近。

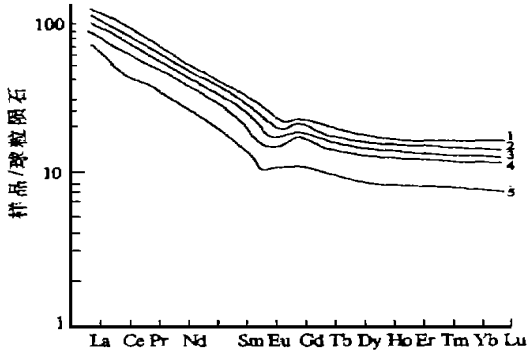


图 1 围岩的稀土元素配分模式图

Fig. 1 The REE distribution patterns of wall rock

1, 2. 绢云母千枚岩 3, 4. 斑点千枚岩

5. 条带状铁白云质粉砂岩

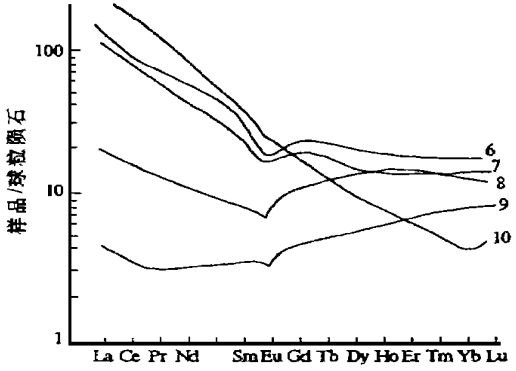


图 2 蚀变岩石的稀土元素配分模式图

Fig. 2 The REE distribution patterns of altered rock

6. 斑点千枚岩 7, 8. 绢云母千枚岩

9, 10. 条带状铁白云质粉砂岩

3.3 含金石英脉

含金石英脉稀土总量明显偏低, 轻重稀土分馏不明显, 配分曲线平缓, Eu 亏损明显, $w(\Sigma REE)$ = 7.66×10^{-6}～24.73×10^{-6}, 平均值为 20.32×10^{-6}, δEu= 0.47～0.93, 平均值为 0.72, $w(\Sigma Ce)/w(\Sigma Y)$ = 2.09～2.80。从配分曲线(图 3)及各稀土元素比值特征来看, 含金石英脉和围岩有明显的区别, 而与上、下地幔平均稀土元素特征相近, 从 $w(\Sigma REE)$, $w(\Sigma Ce)/w(\Sigma Y)$ 的数值来看, 由低到高的顺序为: $w(\Sigma REE)$ 下地幔(4.33×10^{-6}) → 上地幔(17.70×10^{-6}, 黎彤) → 含金石英脉(7.66×10^{-6}～24.73×10^{-6}); $w(\Sigma Ce)/w(\Sigma Y)$ 下地幔(1.32) → 上地幔(2.04) → 含金石英脉(2.09～2.80), 反映含金石英脉稀土元素与地幔物质基本接近, 但也有一定程度的分异, 地幔物质分异的成矿流体可能直接参与成矿作用。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

4　同位素地球化学

4.1　硅同位素

由于金的赋存状态与石英关系密切, 因此可以通过硅同位素测试来判断成矿流体的来源。表 2 列举了八卦庙金矿与秦岭 Pb-Zn 矿及世界不同地区岩(矿) 石硅同位素组成的对比值。八卦庙金矿床顺层含金石英脉的 δ^{30}Si = - 0.4‰～- 0.3‰, 平均- 0.33‰; 节理含金石英脉的 δ^{30}Si = - 0.1‰～0.1‰, 平均- 0.06‰, 海相碳酸盐岩地层中正常沉积的硅质岩 δ^{30}Si= 0.3‰～2.5‰, 大部分位于 0.6‰之上, 马里亚纳海槽现代海底黑烟囱硅质物的 δ^{30}Si= - 3.1‰～0.4‰, 平均- 1.6‰[5]; 星红铺组底部一套海底喷流成因的硅质岩(秦岭 Pb-Zn 矿的赋矿岩石) δ^{30}Si= - 0.3‰～0.6‰, 平均- 0.4‰[5]。显然含金石英脉的 δ^{30}Si 值与正常海相沉积的硅质岩的 δ^{30}Si 值明显不同, 而与海底喷流形成的硅质岩的 δ^{30}Si 值相近, 说明八卦庙金矿床与秦岭热水沉积的铅锌矿床在成矿物质来源上具有相似之处, 两者可能都是在裂谷扩张的环境中地壳深部物质沿深大断裂上升直接参与成矿。

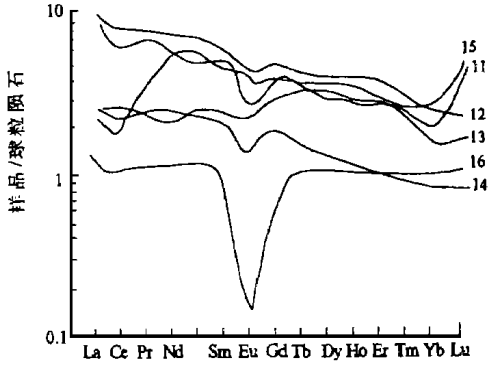


图 3　含金石英脉的稀土元素配分模式图
Fig. 3　The REE distribution patterns of auriferous quartz
11～14. 含金石英脉的稀土元素　15. 上地幔平均稀土元素[4]　16. 上地幔平均稀土元素[4]

表 2　八卦庙金矿与秦岭 U-Pb 矿及不同地区硅同位素组成对比
Table 2　The silicon isotopic compositions for Baguamiao gold deposit and other Pb-Zn deposits in Qinling area and the world

样品名称(件数)	δ^{30}Si/‰ 范围	δ^{30}Si/‰ 平均值	资料来源
顺层石英脉(3)	- 0.4～- 0.3	- 0.33	西北有色地质研究所
解理石英脉(5)	- 0.1～0.1	- 0.06	
钠长岩	- 0.5～0.2	- 0.32	
凤-太盆地热水沉积型 Pb-Zn 矿硅质岩及石英(10)	- 0.5～0.6	- 0.38	丁悌平等, 1994
柞山盆地钠长岩、方柱石岩(11)	- 0.4～0.2	- 0.1	
冲绳海沟硅质沉积物(5)	- 0.28～0	- 1.72	丁悌平等, 1994; 吴世迎, 1992
硅华(14)	- 0.6～0.4	- 0.08	
马里亚纳黑烟囱硅质沉积物(21)	- 3.1～0.4	- 1.6	[5]
海相碳酸盐岩地层正常沉积硅质岩	0.3～2.5	大部分大于 0.6	

4.2　硫同位素

围岩和含金石英脉中的黄铁矿 δ^{34}S 测试结果表明, 围岩中黄铁矿的 δ^{34}S 值较高, 达 33‰, 含金石英脉的黄铁矿 δ^{34}S= 7.4‰～15.4‰, 平均值为 10.7‰, 显然围岩硫具有沉积硫的特点, 而含金石英脉的硫与地层硫相距甚远, 说明二者性质差异较大, 与地幔硫相比略大, 若将八卦庙含金石英脉黄铁矿的 δ^{34}S 与双王金矿床喷流钠长岩中黄铁矿 δ^{34}S 平均值(9.65‰)[6] 和八

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://ww

方山喷流-改造型铅锌矿床硫化物的 $\delta^{34}S$ 值(8.4‰)相比,可以看出八卦庙矿床石英脉的 $\delta^{34}S$ 值与喷流沉积作用形成的铅锌、金矿床的 $\delta^{34}S$ 相近。造成硫同位素的这种分布特点,可能有几方面的原因,①由细菌还原所致,②与成矿环境的开放程度及硫的不一致来源有关。研究认为,现代沉积中总硫(Ts)与有机碳(Toc)有明显的线性关系[$w(Ts)/w(Toc)=0.1\sim0.15$,梅纳德 J B,1995],海相沉积物中 $w(Ts)/w(Toc)=0.4$(Zabackda,1992),而八卦庙矿床中 Ts 和 Toc 含量分析结果显示,$w(Ts)/w(Toc)=0.01\sim25.5$,数值变化大,无线性关系(图 4),基本上排除细菌还原地层硫参与成矿;据前人研究,凤-太盆地的封闭程度较低[5],是硫的不一致来源的主要原因。结合八卦庙矿床的成矿环境和背景认为,硫的来源以深源为主,有部分壳源硫参与成矿。双王金矿床和八方山铅锌矿床的研究成果表明在矿床的成矿阶段都有地壳深部流体的参与[6,8],特别是双王金矿,其成矿物质主要来源于深部地幔或下地壳。从构造环境和赋矿地层来看,双王金矿床和八卦庙金矿床都位于凤县-山阳断裂的南侧,赋矿地层都是中泥盆统的星红铺组下段,成矿时代基本相同,所以认为八卦庙金矿床与双王金矿床的物源更为相近,具有深源特征。

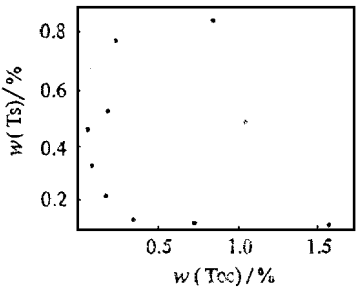


图 4 八卦庙金矿床全硫 $w(Ts)$ 与有机碳 $w(Toc)$ 相关图解

Fig. 4 The correlation diagram of total sulfur $w(Ts)$ and total organic carbon $w(Toc)$

4.3 氢、氧、碳同位素

测试结果表明,循环大气降水与围岩发生氧同位素交换使大气降水 $\delta^{18}O$ 的最大漂移幅度一般约为 5‰左右(杨科佑等,1994 年),而八卦庙金矿床的成矿流体 $\delta^{18}O$ 漂移幅度远大于此值,因此不能以单一的大气降水而论。根据 δD-$\delta^{18}O$ 图解(图 5)可以看出,绝大部分样品均投影于岩浆水-变质水的区间内或其附近,所以有理由认为,成矿流体可能是由类似岩浆水的深源流体和区域浅变质岩中被萃取出来的水以及大气降水构成的混合热流体,而这种热流体极有可能是深源流体在向地壳运移的过程中与围岩的变质水和下渗大气降水混合而成的。将其与同一成矿带的双王金矿相比,$\delta D=-71.6‰\sim-92.0‰$,平均 -81.8‰,$\delta^{18}O=13.62‰\sim13.95‰$,平均 13.78‰[6],两者非常相似。所以更加相信,八卦庙矿床的成矿流体主要来自于地壳深部。对八卦庙矿区内石英包裹体水进行氢、氧同位素测试分析,结果 $\delta D=-117.9‰\sim-53.38‰$,平均 -81.42‰,$\delta^{18}O=1.655‰\sim13.30‰$,平均 6.91‰[8]。根据德·吉斯和爱波斯坦研究表明,泥盆纪时海相石灰岩的 $\delta^{18}O$ 值为 21.5‰~24.0‰,显然八卦庙矿区的 $\delta^{18}O$ 明显低于此值,说明八卦庙的赋矿岩石与正常海相沉积岩石不同。那么单一大气降水与围岩发生氧同位素交换是否能造成矿流体氧同位素组成具有如此大的范围?八卦庙金矿床矿石和蚀变围岩的铁白云石氧、碳同位素特征见表 3,从表 3 中不难看出 $\delta^{18}O$ 比较稳定,变化范围 18.51‰~19.73‰,平均值 19.44‰,与区域泥盆纪海相碳酸盐岩的 $\delta^{18}O=22.95‰\pm2.51‰$ 相比偏低;$\delta^{13}C$ 变化范围为 -1.85‰~-3.04‰,平均值 -2.16‰,此值低于海洋碳酸盐岩(0.56±1.56‰),略高于地幔碳酸岩(-5.1±1.4‰)和深源流体 $\delta^{13}C$(4‰),与红海底层热卤水中溶解的无机碳同位素组成(-3‰~5‰)比较接近。从 $\delta^{18}O$-$\delta^{13}C$ 的岩性定性判别图中(图 6)更能直观的看出,所有的数据点都投在热水喷流岩区和喷口角砾岩区内,并且数据点比较集中,这表明

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww

铁白云石的碳、氧同位素组成比较稳定, 是一套热水喷流岩, 结合泥盆纪凤–太盆地的地质构造特点, 认为这些喷流岩最大可能是直接来自于深大断裂活动的地壳深部。

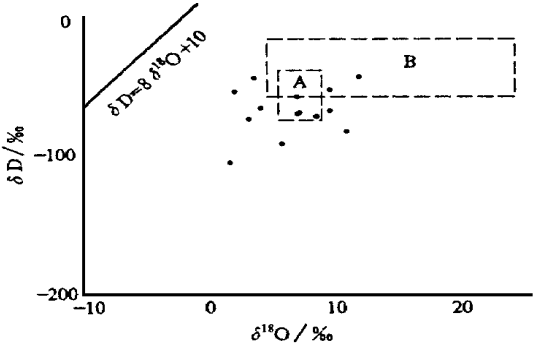


图 5　八卦庙金矿床热液 H_2O 的 δD–δ^{18}图解

Fig. 1　Diagram of δD–$\delta^{18}$of fluid inclusions

A. 正常岩浆水溶液　B. 变质水溶液

(图中公式据 H. Craig, 1961)

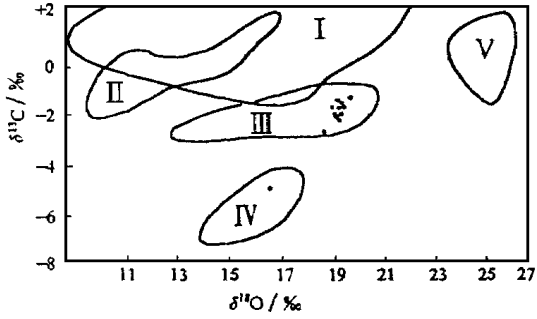


图 6　八卦庙金矿床铁白云岩 $\delta^{18}O$–$\delta^{13}C$ 图解

(据朱华平等, 1998)

Fig. 2　Diagram of $\delta^{18}O$–$\delta^{13}C$ of ferrodolomite

I. 灰岩区　II. 大理岩区　III. 热水喷流岩区

IV. 喷口角砾岩区　V. 白云岩区

表 3　八卦庙金矿床铁白云石的 O、C 同位素数值表

Table 3　Oxygen and carbon isotopic compositions of ferrodolomite of Baguamiao gold deposit

样　号	矿　物	产　状	$\delta^{18}O$/‰		$\delta^{13}C$/‰
			PDB	SMOW	
B-5	铁白云石	含矿围岩	−11.98	18.51	−3.04
B-12	铁白云石	脉状矿石	−10.88	19.64	−1.93
B-14	铁白云石	脉状矿石	−11.08	19.43	−2.41
B-16A	铁白云石	含矿围岩	−10.86	19.66	−1.91
B-16	方解石	含矿围岩	−13.79	16.64	−4.87
B27-16	铁白云石	矿石	−11.12	19.40	−2.31
B-23	铁白云石	矿石	−10.80	19.73	−1.85
B-32	铁白云石	矿石	−10.96	19.56	−2.01
B-39	铁白云石	矿石	−11.19	19.32	−2.24
B-45	铁白云石	矿石	−11.17	19.34	−2.22
SW-2	铁白云石	矿石	−11.23	19.28	−2.28
SW-3	铁白云石	矿石	−11.28	19.23	−2.33

注: 资料来源于中国科学院地球化学研究所, 1994 年

5　结论

(1) 八卦庙金矿床含金石英脉与围岩的稀土元素组成有较大的差别, 与上地幔的稀土元素特征比较接近, 表明成矿物质具有幔源物质的特征。

(2) 从构造背景和时空关系来看, 八卦庙矿床成矿时期为秦岭褶皱系裂谷强烈活动期, 其赋矿层位——中泥盆统星红铺组整合于秦岭热水沉积铅锌矿床赋矿层位之上, 和喷流沉积成

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://ww

因的双王金矿床的赋矿层位一致,三者的硅、硫、氢、氧同位素地球化学特征非常相近,而围岩的相应同位素地球化学特征与其相距甚远。因此认为,八卦庙金矿床的成矿物质主要来源于下地壳甚至上地幔。

(3)含金石英脉的稀土元素及同位素组成虽然与地幔物质相近,但仍有一定的差别,说明深源物质在沿着断裂构造上升过程的同时,与地壳发生了一定的物质交换,有一部分壳源物质参与成矿,或者是后期的区域变质作用对矿床进行了一定的改造所致。

参考文献:

[1] 王集磊,何伯犀,李健中,等. 中国秦岭型铅锌矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 165-195.
[2] 于学元,郑作平,牛贺才,等. 八卦庙大型金矿床稀土元素地球化学研究[J]. 地球化学, 1996, 25(2): 140-149.
[3] 黎彤. 化学元素的地球化学[J]. 地球化学, 1976, (3): 167-174
[4] 刘显凡,金景福,倪师军. 滇黔桂微细浸染型金矿深部物源的稀土元素证据[J]. 成都理工学院学报, 1996, 2(4): 25-30.
[5] 李延河,蒋少涌,薛春纪. 秦岭凤-太矿田与柞-山矿田成矿条件及环境研究[J]. 矿床地质, 1997, 16(2): 171-180.
[6] 陕西双王金矿床地质特征及其成因[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1989.
[7] 魏菊英,王关玉. 同位素地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1988.
[8] 韦龙明,曹远贵,王民良. 陕西八卦庙金矿床特征及其成因分析[A]. 刘东升. 中国卡林型(微细浸染型)金矿[C]. 南京: 南京大学出版社, 1994. 286-305.
[9] 郑作平,于学元. 八卦庙超大型金矿中铁白云石的特征兼论金矿成因[J]. 矿物岩石, 1995, 61(3): 32-36.
[10] 吴烈善,韦龙明,等. 八卦庙大型金矿深部物源的地球化学证据[J]. 矿床地质, 1998, (增刊): 787-790.
[11] 韦龙明,朱桂田,吴烈善,等. 八卦庙特大型金矿床热水沉积岩初探[J]. 矿床地质, 1998, (增刊): 271-274.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND GENESIS OF BAGUAMIAO SUPER-LARGE GOLD DEPOSIT

WU Lie-shan, WEI Long-ming
(*Research institute of geology for mineral resources, Guilin* 541004, *China*)

Abstract: Through the research on the features of REE, S, Si, H, O and C isotopes of Baguamiao gold deposit's wall-rocks and auriferous quartz and comparing Baguamiao gold deposit with Qinling hotwater-sediment-hosted Pb-Zn deposits and Shuangwang spout sediment-hosted gold deposit, the authors conclude that metallogentic material was derived mainly form lower crust, even from upper mantle.

Key words: gold deposit; REE; S-Si-H-O-C isotope; material source; lower crust; Shanxi Province

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://ww