

# 八卦庙大型金矿深部物源的地球化学证据\*

吴烈善 朱桂田 韦龙明

曹远贵

(中国有色金属工业总公司矿产地质研究院, 桂林) (西北有色地勘局七一一七总队, 宝鸡)

**提 要:** 通过对八卦庙金矿床围岩和含金石英脉的稀土元素, 硫、硅、氢、氧等同位素的研究, 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:** 八卦庙金矿 稀土元素 同位素 地壳深部 陕西

八卦庙矿床位于西秦岭东段凤-太铅锌多金属矿田的北部, 距陕西省凤县东约 40 km。矿床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, 此外还发育许多次级断裂, 这些断裂分割成了许多断陷盆地。正是这些断裂及其断陷盆地, 为凤-太矿田形成的 Pb-Zn-Au 成矿序列准备了充分的条件。

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 3 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 中泥盆统星红铺组 ( $D_2x$ ), 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 ( $D_3j$ ), 为碎屑岩与碳酸岩互层。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、近 SN 向断裂。区域金属矿产主要为铅锌矿床和金矿床, 铅锌矿床产于古道岭组 ( $D_2g$ ) 与星红铺组 ( $D_2x$ ) 接触界面及其下部层位, 容矿岩石为一套喷流沉积成因的硅质岩<sup>[1]</sup>, 金矿主要赋存在星红铺组地层中。

## 1 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铺组下段, 容矿岩石为铁白云质粉砂质板岩和绢云母千枚岩。金矿体呈似层状、透镜状, 层控特征明显, 与围岩的产状基本一致。矿石的金属矿物主要以磁黄铁矿、黄铁矿为主, 其次有钛铁矿、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

\* 国家“九五”科技攻关项目 (96-914-03-04-02A)

吴烈善, 1966 年生, 工程师, 北京大学地质系岩矿及地球化学专业毕业, 现从事矿床地质工作。邮政编码:

541004

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立;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<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O等含量明显增加,而As、FeO、MgO、CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量则明显减少。

## 2 稀土元素地球化学证据

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

	$\Sigma\text{REE}/10^{-6}$	$\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$	$\delta\text{Eu}$
围岩 <sup>[2]</sup>	110.12~222.4	2.91~3.83	0.68
远脉弱蚀变围岩	198.83~225.08	3.59~4.39	0.71
近脉强蚀变围岩	27.50~78.78	0.36~2.43	0.74
含金石英脉 <sup>[2]</sup>	7.66~24.73	2.09~2.80	0.72
上地幔	17.70 <sup>[3]</sup>	2.04 <sup>[4]</sup>	0.79
下地幔	4.33 <sup>[3]</sup>	1.32 <sup>[4]</sup>	.08

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

(2) 近脉蚀变围岩:近脉蚀变围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, 其金含量一般都能达到工业品位。蚀变围岩的稀土元素特征根据其配分模式曲线可分为两类, 第一类是富轻稀土, Eu 亏损, 曲线向右倾斜与围岩相似,  $\Sigma\text{REE} = 198.83 \times 10^{-6} \sim 225.08 \times 10^{-6}$ ,  $\delta\text{Eu}$  平均值 0.71,  $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y} = 3.59 \sim 4.39$ ; 第二类是轻、重稀土分异较小, 配分曲线特征与下述含金石英脉相似,  $\Sigma\text{REE} = 27.50 \times 10^{-6} \sim 78.78 \times 10^{-6}$ ,  $\delta\text{Eu}$  平均值 0.74,  $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y} = 0.36 \sim 2.43$ 。说明蚀变围岩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。

(3) 含金石英脉:含金石英脉的稀土总量明显偏低, 轻重稀土分馏不明显, 曲线平缓,  $\delta\text{Eu}$  亏损明显,  $\Sigma\text{REE} = 7.66 \times 10^{-6} \sim 24.73 \times 10^{-6}$ , 平均值为  $20.32 \times 10^{-6}$ ,  $\delta\text{Eu} = 0.47 \sim 0.93$ , 平均值为 0.72,  $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y} = 2.09 \sim 2.80$ 。从配分曲线平均稀土元素线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比较相近, 从  $\Sigma\text{REE}$ 、 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$  的数值来看, 由低到高的顺序为:  $\Sigma\text{REE}$  下地幔 ( $4.33 \times 10^{-6}$ ) → 上地幔 ( $17.70 \times 10^{-6}$ , 梨形) → 含金石英脉 ( $7.66 \times 10^{-6} \sim 24.73 \times 10^{-6}$ );  $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$  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。

### 3 同位素地球化学证据

(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。八卦庙金矿床顺层含金石英脉的  $\delta^{30}\text{Si} = -0.0\text{‰} \sim -0.3\text{‰}$ , 平均  $-0.3\text{‰}$ ; 节理含金石英脉的  $\delta^{30}\text{Si} = -0.1\text{‰} \sim 0.0\text{‰}$ , 平均  $-0.2\text{‰}$ <sup>①</sup>, 海相碳酸盐地层中正常沉积的硅质岩  $\delta^{30}\text{Si} = 0.3\text{‰} \sim 2.5\text{‰}$ , 大部分位于  $0.6\text{‰}$  之上, 马里亚那海槽现代海底黑烟囱硅质物的  $\delta^{30}\text{Si} = -3.1\text{‰} \sim 0.4\text{‰}$ , 平均  $-1.6\text{‰}$ <sup>[5]</sup>; 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)  $\delta^{30}\text{Si} = -0.3\text{‰} \sim 0.6\text{‰}$ , 平均  $-0.4\text{‰}$ <sup>[5]</sup>。显然含金石英脉的  $\delta^{30}\text{Si}$  值与正常海相沉积的硅质岩的  $\delta^{30}\text{Si}$  值明显不同,而与海底喷流形成的硅质岩的  $\delta^{30}\text{Si}$  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,两者都是在裂谷扩张的环境中由地壳深部物质直接参与成矿。

(2) 硫同位素 围岩和含金石英脉中的黄铁矿  $\delta^{34}\text{S}$  测试结果表明,围岩中黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  值较高,达  $33\text{‰}$ ,含金石英脉的黄铁矿  $\delta^{34}\text{S} = 7.4\text{‰} \sim 15.4\text{‰}$ ,平均值为  $10.7\text{‰}$ ,显然围岩硫具有沉积硫的特点,而含金石英脉的硫则介于沉积硫与深源硫之间,这是由于深源硫在上升过程中与壳源硫混染交换所致,若将八卦庙含金石英脉黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  与双王金矿床喷流钠长岩中黄铁矿  $\delta^{34}\text{S}$  平均值 ( $9.6\text{‰}$ )<sup>[6]</sup> 和八方山喷流-改造型铅锌矿床硫化物的  $\delta^{34}\text{S}$  值 ( $8.4\text{‰}$ ) 相比,可以看出石英脉的  $\delta^{34}\text{S}$  值与喷流沉积作用形成的铅锌、金矿床的  $\delta^{34}\text{S}$  值相近,说明它们之间在物源上是相似的。据研究双王金矿床和八方山铅锌矿床在成矿阶段都有地壳深部流体的参与<sup>[6,8]</sup>,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,成矿时代也很接近,所以认为八卦庙金矿床与双王金矿床的物源更为相近。

(3) 氢氧同位素 对八卦庙矿区内石英包裹体水进行氢、氧同位素测试分析,结果为  $\delta\text{D} = -118\text{‰} \sim -54\text{‰}$ , 平均  $-81\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O} = 1.7\text{‰} \sim 13.3\text{‰}$ , 平均  $6.9\text{‰}$ <sup>②</sup>。根据德·吉斯和爱波斯坦研究<sup>①</sup>表明,泥盆纪时海相石灰岩的  $\delta^{18}\text{O}$  值为  $21.5\text{‰} \sim 24.0\text{‰}$ ,根据  $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$  图解可以看出,绝大部分样品均投影于岩浆水-变质水的区间内或其附近,偏离天水线方向,说明成矿热液系统中的水主要是岩浆水和区域浅变质岩中被萃取出来的水构成的混合水,而天水成份则很有限。将其与同一成矿带的双王金矿相比,  $\delta\text{D} = -72\text{‰} \sim -92\text{‰}$ , 平均  $-82\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O} = 13.6\text{‰} \sim 13.9\text{‰}$ , 平均  $13.8\text{‰}$ <sup>[6]</sup>, 两者非常相似,说明八卦庙矿床的成矿流体主要来自于地壳深部。

① 郭健等, 1994, 八卦庙金矿床成矿地质背景、矿床特征及找矿预测研究, 内部资料

② 韦龙明, 陕西八卦庙卡林型金矿床成矿规律及矿床成因研究, 内部资料

## 4 结 论

(1) 八卦庙金矿床的围岩和含金石英脉的稀土元素组成有较大的差别, 石英脉与上地幔的稀土元素特征比较接近, 表明成矿物质并非来自围岩; 它具有幔源物质的特征。

(2) 从构造背景和时空关系来看, 八卦庙金矿床成矿时期为秦岭褶皱系裂谷活动期, 其赋矿层位——中泥盆统星红铺组位于秦岭热水沉积铅锌矿床的上部, 和喷流沉积成因的双王金矿床的赋矿层位一致, 3者的硅、硫、氢、氧同位素特征非常相近, 而围岩的相应同位素特征与其相距甚远。因此, 八卦庙金矿床的成矿物质来源于下地壳甚至上地幔。

(3) 矿脉的稀土元素及同位素组成虽然与地幔物质相近, 但仍有一定的区别, 说明深部物质在上升过程中, 可能与壳源仍有一定的物质交换。

### 参 考 文 献

- 1 王集磊, 何伯犀, 李健中等. 中国秦岭型铅锌矿床. 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. 地球化学, 1996, 25 (2): 140~149.
- 3 黎彤. 地球化学. 北京: 地质出版社, 1976, (3).
- 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. 成都理工大学云院, 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. 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. 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. 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. 见: 刘东升主编. 中国卡林型(微细浸染型)金矿. 南京: 南京大学出版社, 1994, 286~305.