

安徽铜陵朝山金矿床地质特征及成因研究

高 庚¹, 徐兆文¹, 杨小男¹, 聂桂平², 朱士鹏², 王云健¹, 张 军¹

(1. 南京大学 地球科学系, 成矿作用国家重点实验室, 南京 210093;

2. 江苏省地质调查研究院, 南京 210018)

摘 要: 朝山金矿床位于安徽铜陵狮子山矿田内, 与成矿相关的侵入岩体为白芒山辉石闪长岩。文章通过对朝山金矿床矿石矿物含金性和方解石-黄铁矿脉内方解石及碳酸盐岩全岩碳、氧同位素研究, 探讨朝山金矿床中金的赋存状态和矿床成因。矿石矿物电子探针测试表明, 朝山金矿床矿石矿物中毒砂、磁黄铁矿和黄铁矿含金性较好。C、O 同位素测试表明, 方解石-黄铁矿脉内方解石中的 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}}) = -2.57 \times 10^{-3} \sim -4.87 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{PDB}}) = -15.68 \times 10^{-3} \sim -17.33 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) = 13.05 \times 10^{-3} \sim 14.74 \times 10^{-3}$, 碳酸盐岩全岩中 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}}) = 0.88 \times 10^{-3} \sim 1.97 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{PDB}}) = -7.55 \times 10^{-3} \sim -9.12 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) = 21.46 \times 10^{-3} \sim 23.08 \times 10^{-3}$, 说明朝山金矿床的成矿物质主要来源于岩浆或深部地壳流体。伴随着成矿作用的进行, 朝山金矿床经历了从高温到低温热液蚀变过程, 同时混入了地壳上部沉积物。

关键词: 地质特征; 矿床成因; 矿石矿物; 碳、氧同位素; 朝山金矿; 安徽省

中图分类号: P611; P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2006)03-0162-06

0 引言

朝山金矿床原名白芒山金硫矿床, 安徽省地质矿产局 321 地质队 (1997)、傅世昶 (1999) 对朝山金矿床的矿床地质特征、胡欢等 (2001) 对自然金的赋存状态、田世洪等 (2004) 对稳定同位素曾做过研究。在上述研究基础上, 本文采用电子探针、同位素质谱方法对矿石矿物含金性和矿石内方解石及沉积碳酸岩全岩中的碳、氧同位素进行研究, 试图以此讨论朝山金矿床的成矿物质来源和矿床成因。

1 矿区地质特征

朝山金矿床位于安徽省铜陵市东部的狮子山矿田内, 处于扬子地台北缘、长江断裂带的南侧。矿区内出露地层主要为三叠系中统南陵湖组 (T_{2n}) 和分

水岭组 (T_{2f}), 岩性以石灰岩、大理岩为主, 局部夹有少量角岩细条带 (图 1)。区内构造为青山背斜北东翼和近 EW 向、近 SN 向、NNE 向、NW 向断裂及层间构造。矿区内岩浆岩活动强烈, 岩性主要为钙碱性-碱性系列的白芒山辉石闪长岩及晚期花岗斑岩脉, 白芒山辉石闪长岩呈岩墙状自北向南贯穿全区, 长约 2 km, 宽 80~200 m, 最窄处仅为 30 m, 出露面积约 0.3 km², $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 (136.6 ± 1.1) Ma (唐永成等, 1998)。

2 矿床地质特征

矿体主要赋存于三叠系下统南陵湖组与白芒山辉石闪长岩东接触带及其围岩层间裂隙中。主矿体严格受构造控制, 呈透镜状、陡薄板状, 构造叠加处矿体变厚。现已探明矿体 25 个, 编号矿体有 10 个, 按照矿体赋存部位, 分别编号为 , , , 其中 1 矿体规模最大, 走向长度 52~63 m, 平均 54 m; 斜深

收稿日期: 2005-06-13

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 49873016) 和高等学校博士点研究基金 (编号: 20020284035) 资助。

作者简介: 高庚 (1979), 男, 云南曲靖人, 南京大学 2003 级硕士研究生, 从事矿床地球化学研究。

安徽省地质矿产局 321 地质队, 安徽铜陵朝山金矿床勘探报告, 1997, 1~121。

最大 72 m, 最小 25 m; 矿石中平均品位 $w(\text{Au}) = 17.01 \times 10^{-6}$ 。

矿石矿物以自然金、磁黄铁矿、黄铁矿为主, 其次为黄铜矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿等; 脉石矿物以方解石、石英、透辉石、石榴子石、斜长石为主, 其次为角闪石、方柱石、钾长石及铋矿物; 铋矿物含量较少, 但种类较多, 有自然铋、辉铋矿、辉铅铋矿等。

矿石类型主要为含金黄铁矿矿石、含金磁黄铁矿—黄铁矿矿石、含金磁黄铁矿矿石、含金夕卡岩、含金黄铁矿化大理岩、含金辉石闪长岩, 氧化矿石主要为含金褐铁矿矿石。

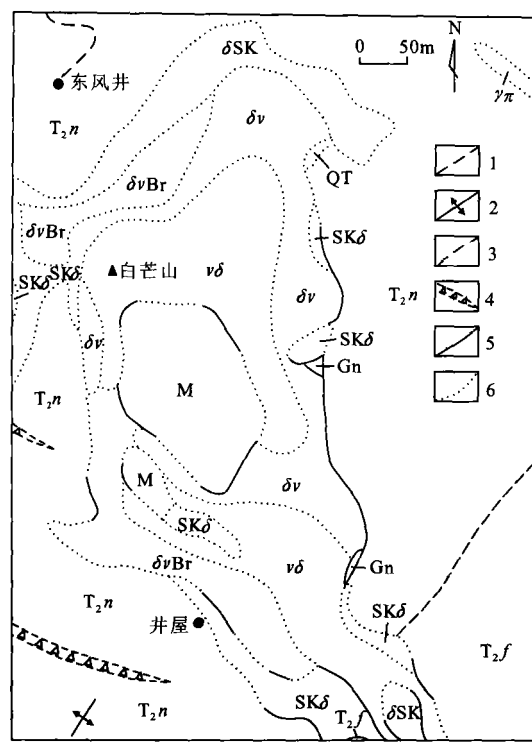


图 1 安徽铜陵朝山金矿床地质图

(据安徽地矿局 321 队修改)

Fig. 1 Geological map of the Chaoshan gold deposit in Tongling, Anhui Province

T_2n . 南陵湖组灰岩 T_2f . 分水岭组灰岩 $v\delta$. 辉石闪长岩 δv . 含辉石闪长岩 δvBr . 角砾状含辉石闪长岩 $\gamma\pi$. 花岗岩 QT . 石英化闪长岩 $SK\delta$. 夕卡岩化辉石闪长岩 x . 煌斑岩 $SK\delta$. 内夕卡岩 M . 大理岩 Gn . 铁帽

1. 地层界线 2. 背斜轴 3. 推测断层 4. 构造破碎带
5. 实测地质界线 6. 推测地质界线

矿石结构为自形—半自形晶结构、他形粒状结构、交代残余结构、包含结构、乳滴状固溶体分离结构、斑状结构、变胶状结构等。矿石构造为块状构造、斑杂状构造、稀疏浸染状构造、细脉浸染状构造。

矿体表面氧化后常呈多孔状构造、皮壳状构造、土状构造。

围岩蚀变主要有钾化(钾长石、黑云母)、硅化(交代石英岩化)、碳酸盐化(菱铁矿、方解石), 局部见有微弱的绿帘石化、阳起石化、绿泥石化、绢云母化。

3 与矿化有关岩体地球化学特征

3.1 主量元素

白芒山岩体主量元素以富碱($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 6.58\% \sim 7.38\%$)、富钙($\text{CaO} = 8.27\% \sim 8.97\%$)为特征, 在全碱—硅图中, 投影点均落于辉长岩和闪长岩交界处, 推断白芒山岩体为辉石闪长岩(黄顺生等, 2004; 徐兆文等, 2004)。除 Fe_2O_3 , FeO , Na_2O , K_2O 外, SiO_2 与其他氧化物呈明显的相关关系。特别是碱性辉石闪长岩主成分之间的相关变异中, CaO 对 MgO , TiO_2 和 P_2O_5 表现出显著的正相关关系, 而 SiO_2 对 CaO 则呈明显的负相关关系。由于 CaO 在基性组分中占优势, 说明岩浆侵入过程中曾发生过富钙岩石的同化混染或同熔混合作用。

3.2 微量元素

岩体中的微量元素以富 Au , Ag , Cu , Pb , Zn 及 Mn , Ba , V , Nb 为特征, 其中 $w(\text{Cu})$ 平均值为 4.144×10^{-6} , 高于正常值(维氏值 $= 35 \times 10^{-6}$) 2 个数量级; 铅的平均值 $w(\text{Pb}) = 82.52 \times 10^{-6}$, 高于正常值(维氏值 $= 15 \times 10^{-6}$) 近 6 倍; 锌的平均值 $w(\text{Zn}) = 518.82 \times 10^{-6}$, 高于正常值近 2 个数量级; 由于金在辉长岩、辉石闪长岩中的平均值只有 4.8×10^{-9} , 而白芒山岩体中 $w(\text{Au}) = 19 \times 10^{-9} \sim 100 \times 10^{-9}$, 超出正常值(维氏值为 2.4×10^{-9}) 1 至 2 个数量级(唐永成等, 1998); $w(\text{Ag})$ 也同样大大超过正常值(唐永成等, 1998)。岩体中不相容元素含量高, 相容元素含量低, 相对于岩浆来说, 不相容元素变化明显, 而相容元素变化缓慢, 则可以推测辉石闪长岩在成岩过程主要为部分熔融成岩模式, 并有一定的同化混染和分离结晶作用。

3.3 稀土元素

岩体稀土总量 $w(\sum \text{REE}) = 203.06 \times 10^{-6} \sim 242.66 \times 10^{-6}$, 轻、重稀土比值(LREE/HREE) 为 $8.57 \sim 11.90$, $\delta(\text{Eu}) = 0.75 \sim 0.85$, La/Yb 比值为 $15.03 \sim 23.50$, Sm/Nd 比值为 $0.20 \sim 0.22$, 球粒陨石标准化配分曲线呈右倾平滑状。上述特征表明白芒山辉石闪长岩中稀土元素发生了一定程度的分

馏,并经历了较弱的分异演化作用,推测初始岩浆为深成同熔型,即由下部地壳或上地幔物质经部分熔融形成(黄顺生等,2004;徐兆文等,2004)。

4 矿石矿物含金性研究

韦龙明等(1995)研究证实金在自然界中的赋存状态主要有:独立矿物(单体金或游离金,包括裂隙金和晶隙金);包裹金(显微包裹体);晶格金(呈类质同象或固溶体);胶体金(呈胶粒吸附态或胶体悬浮态);离子金(络阴离子等)。胡欢等(2001)已对朝山金矿内自然金的赋存状态作过较为详细的研究。从矿石矿物电子探针分析结果(表1)可以看出,朝山金矿矿石矿物中磁黄铁矿、毒砂、黄铁矿的含金性较好。而黄铜矿、方铅矿中含金较差。其中磁黄铁矿的含金性最好,其次为毒砂和黄铁矿。金在磁黄铁矿中的质量分数平均值最高,达到0.054%(最高值为0.083%,最低值为0.047%);金在毒砂质量分数平均值为0.025%(最高值为0.079%,最低值为0.018%);金在黄铁矿中质量分数平均值为0.019%(最高值为0.066%,最低值为0.004%)。总之,金在磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂中的

分布极其不均匀,且差别较大,从0.004%到0.083%不等。

电子探针分析的11个元素相关性研究(表1,表2)表明,在含金毒砂中,金与砷、碲之间的相关性较差,金与铅、银、铁、锌之间相关性较好;而金与铜之间的相关性最好,说明在含金毒砂中金在晶格中可能呈类质同象形式取代铁原子,也可能是Au⁺置换Fe²⁺而以类质同象形式存在(陈尚迪等,1991)。在含金黄铁矿中,金与硒、铁、铜之间的相关性较差,与银、镍、碲、锌呈较好的负相关,与砷、铅呈较好的正相关。在含金磁黄铁矿中,金与硫、铁之间的相关性较差,与铜、锌之间呈较好的正相关,与砷、镍之间呈最好的正相关,与铅之间呈较好的负相关,与硒、碲、银之间呈最好的负相关。由相关性分析可知,在含金磁黄铁矿、黄铁矿中,金以类质同象形式进入磁黄铁矿、黄铁矿晶格中占据砷的位置(Boyle,1979),原因在于Au与As具有相近的共价半径(分别为0.14nm和0.139nm)。以上特征表明金的进入是以铁或砷的迁出为代价的(陈康林等,2001)。

因此,朝山金矿床中金除了以自然金赋存外,还以晶格金形式赋存于磁黄铁矿、毒砂和黄铁矿中。

表1 朝山金矿床主要矿石矿物电子探针分析结果

Table 1 Electron microprobe analyses of main ore and mineral from the Chaoshan gold deposit															w _B / %	
样号	43- 1	43- 6	65- 1	65- 2			65- 3			95- 1	120- 1		120- 6			
矿物	方铅矿	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	毒砂	黄铁矿	黄铜矿	毒砂	黄铁矿	毒砂	毒砂	黄铁矿	磁黄铁矿	黄铁矿	磁黄铁矿	毒砂
点数	2	2	3	10	4	2	1	2	6	1	6	2	3	6	2	1
As	—	0.094	0.167	0.343	42.582	1.497	0.090	42.160	0.390	42.906	42.39	0.07	0.01	0.35	0.05	41.84
Se	0.028	0.036	0.021	0.032	—	—	—	—	0.015	—	—	0.027	—	0.010	0.045	—
S	13.45	52.85	53.35	53.05	20.93	51.68	34.57	21.74	53.05	22.186	21.130	53.317	39.42	53.120	38.960	21.871
Au	—	0.022	—	0.024	0.028	0.030	—	0.055	0.020	0.037	0.018	0.018	0.030	0.010	0.057	—
Pb	84.76	0.15	0.04	0.07	0.08	0.11	0.02	0.05	0.05	—	0.04	0.04	0.13	0.06	0.04	0.09
Ag	0.73	0.017	0.015	0.020	0.023	0.025	0.125	0.020	0.030	0.010	0.020	—	—	0.005	0.05	—
Fe	0.08	46.69	46.24	45.75	35.65	46.87	30.77	35.23	46.21	35.04	36.09	46.83	60.03	46.22	60.26	35.61
Ni	—	—	0.01	0.02	—	0.01	0.02	0.01	—	—	0.02	0.01	0.03	0.02	—	—
Cu	0.05	0.054	0.019	0.034	0.109	0.051	34.685	0.060	0.013	0.071	0.006	0.017	0.003	0.030	0.055	0.113
Te	0.07	0.09	0.02	0.01	—	—	—	—	0.02	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	—	0.05
Zn	—	0.078	0.033	0.063	0.028	0.051	0.064	0.050	0.038	0.103	0.035	—	—	0.060	0.090	—

分析单位: 南京大学内生金属矿床成矿作用国家重点实验室质谱室。“-”表示未检测出。

表 2 磁黄铁矿、毒砂、黄铁矿中金与各元素的相关系数

Table 2 The correlation coefficient of Au and other elements in pyrrhotite, arsenopyrite and pyrite

载金矿物	Fe	S	As	Cu	Ag	Pb	Zn	Se	Ni	Te
磁黄铁矿	- 0.09	- 0.09	1	0.96	- 1	- 0.80	0.42	- 1	1	- 1
毒砂	- 0.40	0.15	0.10	0.67	- 0.56	- 0.55	- 0.49	-	- 0.15	- 0.05
黄铁矿	0.01	- 0.25	0.19	- 0.04	- 0.53	0.24	- 0.38	- 0.10	- 0.50	- 0.39

“ - ”表示含金毒砂硒的含量低于检测限。

5 碳、氧同位素研究

依照同位素地球化学标志, 碳主要有 3 种不同来源, 即: 地幔或原生碳酸岩来源, 其中地幔来源的 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}}) = -5 \times 10^{-3} \sim -7 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) = 5 \times 10^{-3} \sim 8 \times 10^{-3}$ (Nelson 等, 1988), 原生碳酸岩的 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}}) = -1 \times 10^{-3} \sim -9 \times 10^{-3}$ 之间, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) = 5 \times 10^{-3} \sim 15 \times 10^{-3}$, 呈不规则的多边形 (Ray, 1997); 沉积碳酸盐来源, 其中 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}}) = -2 \times 10^{-3} \sim +3 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) = 20 \times 10^{-3} \sim 30 \times 10^{-3}$ (Veizeret 等, 1980); 沉积有机碳来源, 其 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}}) = -15 \times 10^{-3} \sim -20 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) = 24 \times 10^{-3} \sim 30 \times 10^{-3}$ (Ohmoto, 1972)。

表 3 为朝山金矿床方解石- 黄铁矿矿脉中的方解石和碳酸盐岩全岩碳、氧同位素分析结果。矿石中方解石的 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}}) = -2.57 \times 10^{-3} \sim -5.3 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{PDB}}) = -15.68 \times 10^{-3} \sim -17.33 \times 10^{-3}$,

$\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) = 13.05 \times 10^{-3} \sim 14.74 \times 10^{-3}$, 碳酸盐岩全岩的 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}}) = 0.877 \times 10^{-3} \sim -1.970 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{PDB}}) = -7.55 \times 10^{-3} \sim -9.12 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) = 21.46 \times 10^{-3} \sim 23.08 \times 10^{-3}$, 大理岩的 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}}) = 3.6 \times 10^{-3} \sim 3.9 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{PDB}}) = -6.40 \times 10^{-3} \sim -8.10 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) = 22.50 \times 10^{-3} \sim 24.20 \times 10^{-3}$ 。上述数据投影至 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) - \delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}})$ 图解中(图 2), 矿石中方解石的碳、氧同位素值的点均落在地幔多相体系的高温效应/沉积岩混染趋势线和原始碳酸岩的低温蚀变趋势线之间偏离高温效应/沉积岩混染趋势线的一侧, 反映高温效应到低温蚀变的特征, 从而推测朝山金矿床矿石中方解石的碳、氧来源于岩浆或深部地壳流体, 指示以岩浆高温效应为主, 同时受低温蚀变和碳酸盐岩混染影响; 碳酸盐岩全岩碳、氧同位素均落在沉积碳酸盐区, 大理岩的碳、氧同位素均未落在沉积碳酸盐区, 主要是因碳酸盐岩受变质作用而蚀变为大理岩, 导致碳、氧同位素偏高, 从而偏离沉积碳酸盐区。

表 3 朝山金矿方解石- 黄铁矿脉和碳酸盐岩全岩碳、氧同位素组成

Table 3 Carbon and oxygen isotopic composition of the calcite in the calcite pyrite veins and whole rock sample of the sedimentary carbonate rock from the Chaoshan gold deposit

编号	产状	样品名称	$\delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}})$	$\delta(^{18}\text{O}_{\text{PDB}})$	$\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}})^*$	资料来源
43-1	方解石- 黄铁矿矿脉	方解石	- 4.13	- 15.68	14.74	本文
65-3	方解石- 黄铁矿矿脉	方解石	- 2.57	- 15.78	14.64	本文
95-1	方解石- 黄铁矿矿脉	方解石	- 4.06	- 17.33	13.05	本文
120-6	方解石- 黄铁矿矿脉	方解石	- 4.87	- 16.43	13.98	本文
C120-19-3+1	晚期粗晶方解石团斑	方解石	- 5.3	- 16.50	13.90	田世洪等
C120-19-6	石英方解石黄铁矿矿石	方解石	- 4.5	- 16.30	14.00	田世洪等
C120-19-9	方解石黄铁矿矿石	方解石	- 4.6	- 16.40	13.90	田世洪等
X1	碳酸盐岩	全岩	1.970	- 7.55	23.08	本文
X2	碳酸盐岩	全岩	0.877	- 9.12	21.46	本文
C120-19-10	含黄铁矿粗晶大理岩	大理岩	3.6	- 8.10	22.50	田世洪等
C120-19-11	薄层条带状大理岩	大理岩	3.9	- 6.40	24.20	田世洪等

* $\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) = 1.03086 \times \delta(^{18}\text{O}_{\text{PDB}}) + 30.86$ (Friedman 等, 1977)。
分析单位: 南京大学内生金属矿床成矿作用国家重点实验室质谱室。

上述研究表明朝山金矿床矿石中方解石的碳、氧来源于岩浆或深部地壳流体;碳酸盐岩中全岩的碳、氧来源于沉积碳酸盐;但在成矿过程中成矿流体与围岩遭受了高温效应到低温热液蚀变的影响,同时还受到碳酸盐岩混染影响。

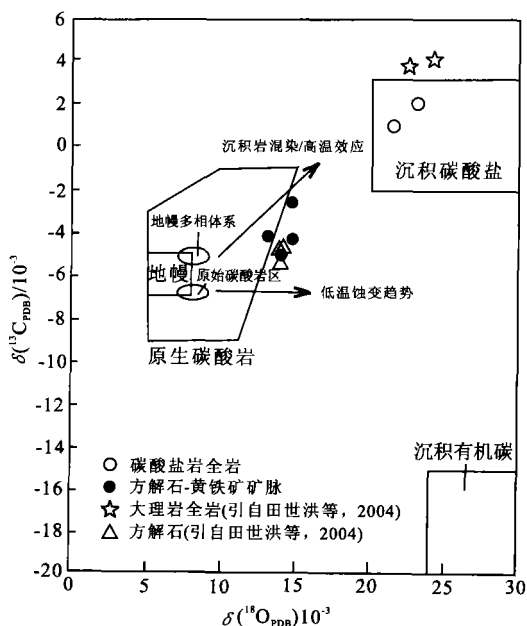


图2 朝山金矿床矿脉中方解石和沉积碳酸岩

全岩的 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) - \delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}})$ 图解

(据刘建明等, 2003; 孙贵贵等, 2001; Ray, J. S. 等, 2000; 修改)

Fig. 2 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) - \delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}})$

diagram of the Chaoshan gold deposit

6 矿床成因探讨

安徽铜陵朝山金矿的金矿体主要赋存于三叠系中、下统南陵湖组灰岩与辉石闪长岩接触带及其附近的层间裂隙中, 从而形成较窄的夕卡岩带, 对金矿化有利, 特别是当围岩呈薄—中厚层状、质不纯、夹角岩薄层时, 在岩浆侵入或主构造应力作用下, 易产生层间裂隙和层间滑脱, 是含矿热液聚集沉淀的良好场所。辉石闪长岩是成矿母岩, 构成金矿体的直接底板, 在岩体与围岩接触部位交代形成的夕卡岩为后继矿化提供先决条件, 为朝山金矿床的形成提供了重要的成矿环境和成矿物质来源。朝山金矿床中金除赋于自然金中外, 还以晶格金赋存在磁黄铁矿、毒砂、黄铁矿中, 其中磁黄铁矿的含金性最好。矿石中方解石和碳酸盐岩全岩的碳、氧同位素组成

表明成矿物质主要来源于岩浆或深部地壳流体。伴随着成矿作用的进行, 朝山金矿床经历了从高温到低温热液蚀变过程, 同时混染上地壳沉积物。通常辉长岩、辉石闪长岩中 $w(\text{Au})$ 平均值为 4.8×10^{-9} , 碳酸盐岩中 $w(\text{Au})$ 平均值为 2.0×10^{-9} (K. H. Wedepohl, 1974), 而白芒山辉石闪长岩体中 $w(\text{Au}) = 24 \times 10^{-9}$; 大理岩中 $w(\text{Au}) = 0.4 \times 10^{-6}$ 。

综上所述, 朝山金矿在燕山中晚期岩浆作用下, 经历了从高温到低温热液作用, 成矿物质主要来源于岩浆流体和地壳上部沉积物。

参考文献:

- [1] 傅世祖. 铜陵朝山金矿床成矿地质特征和成矿预测[J]. 地质找矿论丛, 1999, 14(2): 69-74.
- [2] 胡欢, 王汝成, 陆建军, 等. 安徽铜陵狮子山矿田夕卡岩型金矿床的矿物组合、化学成分及成因意义[J]. 矿床地质, 2001, 20(1): 86-98.
- [3] 田世洪, 丁梯平, 杨竹森, 等. 安徽铜陵朝山金矿床稳定同位素、稀土元素地球化学研究[J]. 矿床地质, 2004, 23(3): 365-374.
- [4] 唐永成, 吴言昌, 储国正, 等. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [5] 黄顺生, 徐兆文, 顾连兴, 等. 安徽铜陵狮子山矿田岩浆岩地球化学特征及成因机制探讨[J]. 高校地质学报, 2004, 10(2): 217-226.
- [6] 徐兆文, 方长泉, 陆现彩, 等. 与朝山金矿有关岩体地质地球化学特征[J]. 地质与勘探, 2004, 40(3): 42-46.
- [7] 韦龙明, 刘鸾玲. 中国卡林型金矿床金的赋存状态研究[J]. 地质与勘探, 1995, 31(6): 31-35.
- [8] 陈尚迪, 叶荣, 陆远. 金牙微细浸染型金矿床金的赋存状态研究[J]. 成都地质学院学报, 1991, 18(4): 3-11.
- [9] Boyle R W. The geochemistry of gold and its deposits[J]. Geological Survey of Canada Bulletin, 1979, 284: 584.
- [10] 陈康林, 周福钱, 付绍洪, 等. 川西北哲波山金矿床金赋存状态研究[J]. 黄金, 2001, 22(10): F3.
- [11] Nelson D R, Chivas A R, Chappel B W, et al. Geochemical and isotopic systematic in carbonatites and implications for the evolution of oceanic island sources[J]. Geochemica et Cosmochimica Acta, 1988, 52: F17.
- [12] Ray J S. Stable and radioisotopic constraints on the evolution of Mesozoic carbonatite alkaline complexes of India (Ph D) [D]. M. S. University of Baroda, Vadodara, India, 1997. 186.
- [13] Veizer J, Holser W T, Wilgus C K. Correlation of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ secular variation[J]. Geochemica et Cosmochimica Acta, 1980, 44: 579-588.
- [14] Ohmoto H. Systematic of sulfur and carbon isotopes in hy-

- drothermal ore deposits[J]. *Econ. Geol.*, 1972, 67: 551-578.
- [15] Friedman I, O, Neil J R. Complication of stable isotope fractionation factors of geochemical interest [A]. In: *Data of geochemistry sixth edition*[C]. Washington D. C: U. S. Gov. Printing Office, 1997. 117.
- [16] 刘建明, 张宏福, 孙景贵, 等. 山东幔源岩浆岩的碳- 氧和锶- 钼同位素地球化学研究[J]. *中国科学(D 辑)*, 2003, 33 (10): 921-930.
- [17] 孙景贵, 胡受奚, 沈昆, 等. 胶东金矿区矿田体系中基性- 中基性脉岩的碳氧同位素地球化学研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 2001, 20: 47-56.
- [18] Ray J S, Remesh R, Pande K, *et al.* Isotope and rare element chemistry of carbonatite-alkaline complexes of Deccan volcanic province: implication to magmatic and alteration processes[J]. *J. Asian Earth Sciences*, 2000, 18: 177-194.
- [19] Wedepohl K H. *Handbook of Geochemistry*[G]. 1972, (3): 79(Gold)K1-5.

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GENESIS OF CHAOSHAN GOLD DEPOSIT IN TONGLING DISTRICT, ANHUI PROVINCE

GAO Geng¹, XU Zhao-wen¹, YANG Xiao-nan¹, NIE Gui-ping²,
ZHU Shi-peng², WANG Yun-jian¹, ZHANG Jun¹

(1. *Department of Earth Sciences, State Key Laboratory of Ore Deposit Research, Nanjing, University, 210093, China;* 2. *Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing, 210018, China*)

Abstract: Chaoshan gold deposit is located at the Shizishan ore-field in Tongling, Anhui Province and the host rock is the Baimangshan augite diorite. Gold abundance of the ore minerals and carbon and oxygen isotopic composition of calcite in the calcite-pyrite veins and the whole rock sample of sedimentary carbonate rock were measured in order to interpret the occurrence of gold and genesis of Chaoshan ore deposit. The EMPA results of the ore minerals indicated that the gold was preferable in arsenopyrite, pyrrhotite and pyrite. Carbon and oxygen isotopic analysis of the calcite mentioned above is $\delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}}) = -2.57 \times 10^{-3}$ to -4.87×10^{-3} , $\delta(^{18}\text{O}_{\text{PDB}}) = -15.68 \times 10^{-3}$ to -17.33×10^{-3} , $\delta(^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}) = 13.05 \times 10^{-3}$ to 14.74×10^{-3} respectively and $\delta(^{18}\text{O}_{\text{PDB}})$ was -15.68×10^{-3} to -17.33×10^{-3} and -7.55×10^{-3} to -9.12×10^{-3} of the whole rock sample, corresponding to 13.05×10^{-3} to 14.74×10^{-3} and 21.46×10^{-3} to 23.08×10^{-3} (SMOW standard). These results indicated that the principal ore-forming elements came from magma and/or fluid derived from deeper crust and were altered by hydrothermal fluid from high temperature to low during the ore-forming process and also assimilated with some sediments from upper crust.

Key Words: geological characteristics, ore deposit genesis, ore and minerals, C, O isotope; Chaoshan gold deposit, Anhui province

(上接第 161 页)

multiple types of gold deposits, preferential gold ore-forming condition and huge potential for further gold exploration. Based on ore material sources, metallogenesis, occurrences, ore formation and wall rock alteration of gold ore deposits in the northeast Jiangxi province they are classified into four types i.e. magmatic hydrothermal gold deposit, volcano-subvolcano hydrothermal gold deposit, multi-sources hydrothermal gold deposit and heat underground water (brine) infiltrating gold deposit and 8 sub-types and the geological characteristics of the deposits are described and ore-forming control of sedimentary formation, structure and magmatic rocks on the formation of gold ore are summarized and gold ore-searching directions in the northeast Jiangxi province are pointed out.

Key Words: genetic types, geological features, gold deposits, ore-searching directions, northeastern Jiangxi province