

doi:10.3969/j.issn.1007-3701.2015.02.006

雪峰山铲子坪金矿床稳定同位素特征及成矿地质意义

曹 亮^{1,2}, 段其发^{1,2}, 彭三国¹, 周 云^{1,2}

CAO Liang^{1,2}, DUAN Qi-Fa^{1,2}, PENG San-Guo¹, ZHOU Yun^{1,2}

(1. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 2. 中国地质调查局花岗岩成岩成矿地质研究中心, 武汉 430205)

(1. Wuhan Center of China Geological Survey,

2. Research Center of Granitic Giagenesis and Mineralization, China Geological Survey, Wuhan 430205, Hubei, China)

摘要: 铲子坪金矿位于雪峰山构造岩浆岩带的白马山复式花岗岩体外接触带附近。本文通过对铲子坪金矿床岩石地球化学以及稳定同位素的研究, 探讨其矿床成矿物质来源及矿床成因。研究表明: 矿石中金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 介于 $-7.58\text{‰} \sim +0.32\text{‰}$, 平均为 -2.44‰ , 富轻硫, 表明硫化物中的硫主要来自花岗岩浆, 有部分地层硫酸盐中的硫混入; 铅同位素组成相对稳定, 变化范围很小。根据铅构造模式图解和 $\Delta\gamma - \Delta\beta$ 图解, 铅同位素主要来源于地幔, 有部分地壳铅的加入; 氢、氧同位素表明成矿流体具有变质热液和岩浆热液的双重性, 成矿晚期热液有大气水成分加入; 碳同位素表明成矿流体与砂质板岩关系密切, 与地幔或深部流体有一定的关系, 矿床成矿流体中的 CO_2 很可能为壳幔混合; 锶同位素研究表明, 铲子坪金矿床的 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 组成特征与华南陆壳重熔性花岗岩初始岩浆水的 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 组成特征基本一致, 表明其成矿作用可能与岩浆热液有关。铲子坪金矿成因类型为岩浆热液型。

关键词: 铲子坪金矿; 稳定同位素; 地质意义; 雪峰山

中图分类号 P618.51

文献标识码: A

文章编号: 1007-3701(2015)02-167-09

Cao L, Duan Q F, Peng S G and Zhou Y. Characteristics and geological significance of stable isotopes in the Chanziping gold deposit of Xuefeng Mountains. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2015, 31(2):167-175.

Abstract: Chanziping gold deposit is located in Xuefeng Mountain tectonic magmatic belt near the contact of the Baimashan composite granitic intrusions. Rock geochemical, sulfur, lead, carbon, hydrogen, oxygen and strontium isotopic composition of Chanziping gold deposit were analyzed to discuss the metallogenic material source and genesis. The results show that: the sulfide of the metal sulfide ore $\delta^{34}\text{S}$ ranges from $-7.58\text{‰} \sim +0.32\text{‰}$, average -2.44‰ , rich light sulfur, which indicates that the sulfur mainly comes from granitic magma sulfide, a portion of the formation sulfate mixed with sulfur. Lead isotopic composition is relatively stable and range narrowly. According to lead model diagram and $\Delta\gamma - \Delta\beta$ diagram, lead isotope mainly derived from the mantle, part of the earth's crust lead to join. Hydrogen and oxygen isotope show the ore-forming fluid has the dual nature of the metamorphic hydrothermal and magmatic hydrothermal and mixed with some of the meteoric water in the late ore-forming hydrothermal. Carbon isotope indicate that ore-forming fluid is in close contact with sandy slate, and the relationship with the mantle or deep fluid. CO_2 in the metallogenic fluid is likely to crust-mantle mixing. Strontium isotope research shows that composition features of the Chanziping gold deposit and south China conti-

收稿日期: 2014-07-15; 修回日期: 2015-01-25.

基金项目: 中国地质调查局大调查项目(No. 1212010632005); 地质矿产调查评价专项(No. 1212011120790).

第一作者: 曹亮(1982—), 男, 工程师, 主要从事矿床地质研究, E-mail: okeyokok@163.com.

mental crust remelting granite initial magmatic water of ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i composition has obvious characteristic similarity, suggests that the ore-forming processes may be related to magmatic hydrothermal. Genetic type of the Chanziping gold deposit is magmatic hydrothermal.

Key words: Chanziping gold deposit; stable isotope; geological significance; Xuefeng Mountain

铲子坪金矿位于湖南湘西雪峰山地区,该矿床于 1985 年发现,历时 8 年普查(部分地段达到详查程度)初步查明矿床规模达中型以上^[1]。前人对该矿床的地质特征、找矿标志、矿物标性、地球化学异常模式、金的赋存状态、成矿年代等方面已做过一定程度的研究^[1-9],为本区的地质找矿工作积累了丰富的经验。本文通过对铲子坪金矿床岩石地球化学以及稳定同位素的研究,对成矿物质来源及矿床成因进行探讨。

1 矿床地质特征

矿床处于扬子微板块与华南褶皱系之间的过渡地带。矿区出露地层主要为震旦系与南华系。金矿体及矿脉主要赋存在南华系江口组含砾砂(泥)质板岩中。围岩由砂质板岩、粉砂质板岩以及砂砾

岩组成^[5,9]。矿床的西侧压扭性质的 F2 断层具有明显的导矿作用^[7]。矿区内岩浆活动比较发育,中华山复式花岗岩体和白马山岩体在矿区西南部和东北部出露,铲子坪金矿床就位于白马山岩体的外接触带附近(图 1)^[8]。

矿区有三条较大规模的北西向含金构造蚀变带(I、II、III)(图 2),矿带以及矿化蚀变带与围岩之间界线不清晰,呈渐变的过渡关系,具有明显的热液蚀变特征^[9]。矿石类型主要为硫化物石英脉型和含硫化物蚀变岩型。矿石的金属矿物主要有黄铁矿、方铅矿、自然金、黄铜矿、毒砂等;非金属矿物有方解石、绿泥石、石英等;其中石英和黄铁矿是最常见的矿物。

铲子坪金矿床成矿过程简单,仅有一个成矿期。根据矿物组合,将热液成矿期划分为早期和晚期。早期矿物的共生组合较简单,硫化物含量也很少。晚期可分为石英-硫化物-自然金和石英碳酸盐两个阶段^[6,9]。金矿化与晚期第一阶段关系密切。

2 岩石地球化学特征

2.1 主量元素特征

对铲子坪金矿床主要赋矿围岩及有关矿化蚀变岩化学全岩分析结果列入表 1 中。可见从围岩到晚期形成的金矿石中,均有大量的 SiO_2 存在,容矿岩石是以硅质、砂质成分为主的板岩。由于岩性和蚀变程度上的差异,所以其主量元素含量差别较大,主要表现在 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 和 K_2O 的含量上。

从图 2 中可以看出,矿石与围岩化学全岩分析曲线存在较大差异。含矿围岩在控矿层间断层影响下,金矿石中均发生了硅化、碳酸盐化、绢云母化,矿石的矿物质有一部分可能来自围岩,可能主要是含矿热液对围岩的活化与萃取,然后在有利的构造薄弱带聚集成矿。

2.2 稀土元素特征

通过对矿床含矿岩石及矿石的稀土分析研究(表 2),表明岩石和矿石的 REE 含量变化比较大,

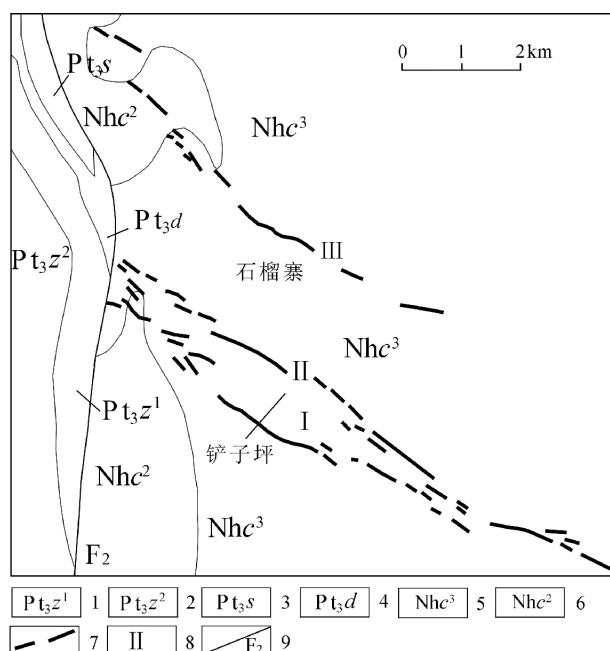


图1 铲子坪金矿地质简图^[8]

Fig. 1 Geological map of the Chanziping gold deposit

新元古界芙蓉溪群: 1-砖墙湾组第一段;2-砖墙湾组第二段;3-沈家溪组;4-东冲组。南华系江口群:5-长滩组第三段;6-长滩组第二段。7-金矿脉;8-矿脉编号;9-断层及编号。

表1 铲子坪金矿容矿岩石、矿化蚀变岩化学全岩分析结果(%)

Table 1 Bulk chemical analyses of ore-bearing rocks and mineralization altered rock in Chanziping gold deposit

样品名称	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
灰色硅化砂质板岩	63.360	14.060	3.700	0.728	4.620	0.470	4.320	0.203	0.569	0.142	0.064
灰色硅化砂质板岩	69.700	6.650	1.790	0.817	9.360	0.343	1.950	0.099	0.147	0.149	0.133
灰色硅化砂质板岩	72.920	6.740	6.840	0.475	2.500	0.317	2.070	0.102	0.202	0.037	0.060
深灰色砂质板岩	69.320	14.080	1.470	0.757	3.670	0.510	3.950	0.178	0.591	0.116	0.056
深灰色砂质板岩	64.820	17.140	0.812	5.420	0.318	2.100	3.940	0.358	0.635	0.130	0.064
灰色硅质岩	65.560	16.130	1.000	5.200	0.811	1.990	3.530	0.496	0.674	0.122	0.080
绢云化砂质板岩	66.780	12.360	1.970	1.980	4.580	0.884	3.420	0.171	0.419	0.205	0.216
含砾砂质板岩	70.520	13.330	1.020	3.300	1.110	1.430	2.930	1.700	0.544	0.101	0.072
含砾砂质板岩	70.320	14.150	1.280	2.880	0.978	1.380	3.090	1.620	0.598	0.115	0.077
含砾砂质板岩	63.980	16.930	2.590	3.760	0.710	1.220	1.420	3.320	0.730	0.120	0.110
条纹条带状砂质板岩	73.420	14.600	0.940	1.200	0.340	0.610	2.660	3.420	0.430	0.040	0.000
砂 岩	70.900	13.970	0.770	4.370	0.540	1.090	1.200	3.350	0.600	0.050	0.103

测试者: 国土资源部武汉地质矿产研究所实验室.

稀土总量 Σ REE 变化范围为 $(108.53 \sim 224.88) \times 10^{-6}$, 其配分形式均为明显右倾曲线 (图 3), LREE/HREE 为 2.83 ~ 4.80, $(La/Yb)_N$ 为 4.60 ~ 9.19, 属轻稀土富集型。轻、重稀土分馏, 轻稀土相对富集而重稀土相对亏损。除 CZP-B2 与 CZP-B10 样品无明显 Eu 异常外 ($\delta Eu=1.00$), 其他样品 δEu 值为 0.83 ~ 0.67, 显示明显的负 Eu 异常, 推测矿石形成受到岩浆热液的影响。 Σ LREE 范围为 $5.11 \times 10^{-6} \sim 197.16 \times 10^{-6}$, Σ HREE 范围为 $3.19 \times 10^{-6} \sim 54.85 \times 10^{-6}$, 具有较高的稀土总量。各类岩石

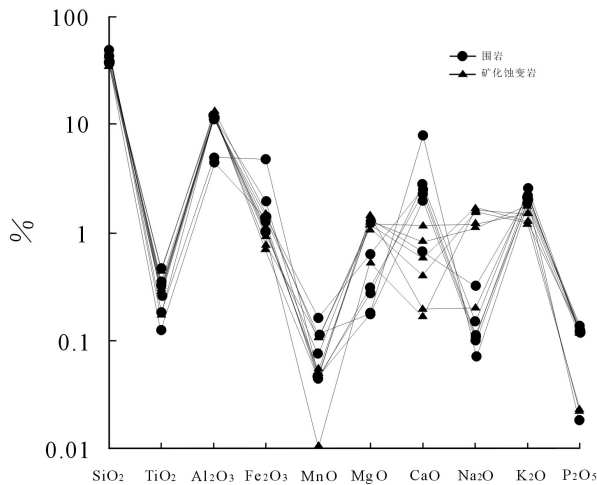


图2 铲子坪金矿容矿岩石、矿石化学分析结果曲线图
Fig. 2 Curves Diagram of ore-bearing rocks and ore minerals in Chanziping gold deposit

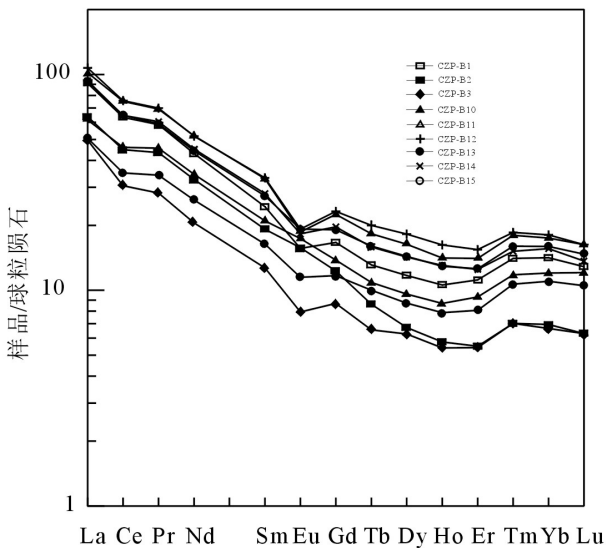


图3 铲子坪金矿容矿岩石及矿石矿物稀土配分形式图(球粒陨石标准化值据Boynnton,1984^[2])
Fig. 3 Chondrite normalized REE patterns of ore-bearing rocks and ore minerals in Chanziping gold deposit

的稀土配分曲线相似,说明具有相同的源岩,具有相似的成矿物质来源和演化过程。

2.3 微量元素特征

本文对该金矿矿石及围岩进行了分析,分析结果列于表 2。从表中可以看出, 矿石及围岩含金 $0.013 \times 10^{-6} \sim 13 \times 10^{-6}$, 平均 2.511×10^{-6} ; 含银 $0.02 \times 10^{-6} \sim 0.37 \times 10^{-6}$, 平均 0.121×10^{-6} 。Au/Ag 介

表2 铲子坪金矿床含矿岩石及围岩微量元素组成(WB/10⁻⁶)

Table 2 Trace element composition of ore-bearing rocks and ores of The Chanziping gold deposit (WB/10⁻⁶)

样品编号	CZP-B1	CZP-B2	CZP-B3	CZP-B10	CZP-B11	CZP-B12	CZP-B13	CZP-B14	CZP-B15
样品名称	灰色硅 化砂质 板岩	灰色硅 化砂质 板岩	灰色硅 化砂质 板岩	深灰色 砂质板 岩	深灰色 砂质板 岩	灰色硅 质岩	绢云化 砂质板 岩	含砾砂 质板岩	含砾砂 质板岩
Ba	3026	1040	974	4530	2680	2450	2720	3170	4340
Rb	201	198	221	202	180	199	187	189	188
Th	20.65	21.22	20.33	19.98	20.21	21.21	20.38	21.45	21.34
U	4.37	1.28	1.65	1.72	1.67	3.24	8.28	11.22	11.34
Sr	143	165	127	221	189	187	166	198	178
Ta	1.21	1.02	1.11	1.24	1.05	1.07	1.14	1.13	1.26
Nb	11.21	10.86	11.12	9.87	10.32	10.21	12.02	11.35	11.36
Zr	189	115	125	127	196	113	124	109	121
Hf	4.15	3.15	2.14	3.80	3.96	2.20	4.14	4.93	3.78
Ti	0.67	0.87	1.21	1.10	0.74	0.69	1.20	1.12	0.75
Cu	4.86	1.28	2.60	1.45	5.62	22.20	45.50	13.40	21.20
Zn	14.60	10.00	13.70	27.60	89.20	86.20	35.20	61.70	56.70
Ga	47.20	22.90	21.90	60.80	44.20	39.00	39.10	44.30	57.20
Pb	17.40	12.40	11.00	8.93	5.89	18.60	199.00	8.45	5.64
Au	3.11	1.19	13	2.35	0.078	0.057	4.89	0.013	0.026
Ag	0.12	0.08	0.37	0.04	0.05	0.03	0.32	0.02	0.06
As	0.76	1.00	0.74	1.00	0.67	0.68	0.82	0.77	0.83
Ni	18.30	7.15	7.14	6.80	6.96	10.20	7.14	6.93	6.78
Co	21.50	10.60	19.80	10.10	21.40	18.60	12.20	12.20	13.4
Au/Ag	25.916	14.166	35.135	4.895	1.400	1.541	15.28	0.906	0.366
Co/Ni	1.174	1.482	2.773	1.485	3.074	1.823	1.708	1.760	1.976

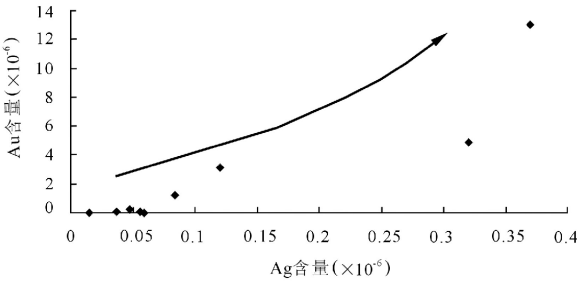


图4 铲子坪金矿、银含量相关图
Fig. 4 Correlation of content for Au-Ag in ore minerals of Chanziping gold deposit

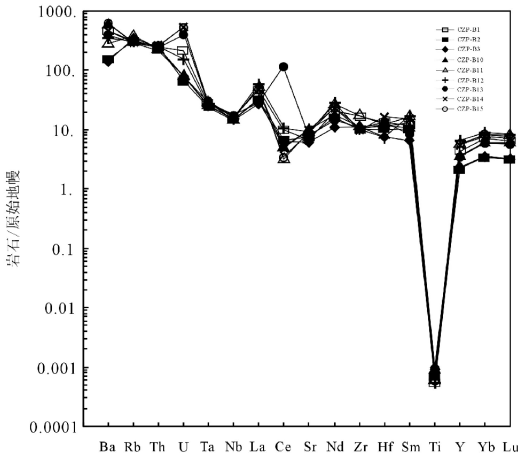


图5 铲子坪金矿岩石及矿石矿物微量元素蛛网图(原始地幔标准化值据Sun and McDonough, 1989^[11])
Fig. 5 Chondrite normalized trace element patterns of ore-bearing rocks and ore minerals in Chanziping gold deposit

于 0.366 ~ 35.135 之间,平均 11.062。金和银呈正相关性,金含量随着银含量的增加而增加(图 4)。

矿石及围岩中 Co 含量为 10.10×10^{-6} ~ 21.5×10^{-6} , 平均 15.53×10^{-6} ; Ni 含量为 6.78×10^{-6} ~ 18.3×10^{-6} , 平均 8.6×10^{-6} 。Co/Ni 介于 1.174 ~ 3.074, 平均为 1.917。在微量元素蛛网图(图 5)中, 总体富集 Ba、Rb 以及 La, 相对亏损 Nb、Ti 以及 Ta、Nb 亏损, 指示可能有地壳物质的混染。Ti 亏损, 说明岩石成因与残余熔体有关。Nb、Ti、Ta 元素的亏损, 说明铲子坪金矿床岩矿石的形成与地幔深源物质有一定关系^[10]。

3 稳定同位素特征

成矿物质来源的研究能够有效的判断矿床成因及矿床类型。大量的研究表明, 成矿流体的来源可通过碳、氢、氧同位素的特征来判明, 成矿体系中的金属元素的来源可通过硫、铅同位素来有效示踪。通过稳定同位素地球化学的研究, 对该矿床成矿物质来源以及矿床成因的探讨具有十分重要的意义。

3.1 硫同位素特征

硫同位素组成的研究可以推断成矿物质来源^[13-15]。铲子坪金矿的金与矿体中黄铁矿、毒砂、方铅矿等金属硫化物关系密切, 通过研究硫化物硫同位素的组成特征, 可以判断金的来源。

骆学全测定了铲子坪金矿矿石中黄铁矿、方铅矿的硫同位素组成。矿石和围岩的 $\delta^{34}\text{S}$ 差异大, 20 个矿石样品 $\delta^{34}\text{S}$ 的变化范围为 -7.58‰ ~ $+0.32\text{‰}$, 极

差为 7.9‰ , 平均为 -2.44‰ , 略富轻硫; 4 个矿脉围岩的变化范围为 $+6.77\text{‰}$ ~ $+7.9\text{‰}$ ^[16], 极差为 1.19‰ , 平均为 -2.44‰ 。地球不同体系的硫同位素组成十分复杂。花岗岩类一般为 -10‰ ~ $+10\text{‰}$ ^[17]。从铲子坪金矿硫同位素对比图来看(图 6), 矿石硫同位素值与自然界中花岗岩、玄武岩相似, 反映出与花岗岩有一定的亲缘关系。从图 7 可以看出, 其 $\delta^{34}\text{S}$ 值主要集中在 $0 \sim -4\text{‰}$ 之间的范围内, 变化范围为 -7.58‰ ~ $+7.96\text{‰}$ 。这表明, 硫化物中的硫主要来自花岗岩浆, 有部分地层硫酸盐中的硫混入。

3.2 铅同位素特征

魏道芳对金矿含金石英脉中硫化物进行了铅同位素测试。从测试结果看, 铅同位素组成比较一致, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的范围为 $37.726 \sim 38.133$ ^[12], 均值为 37.953, 极差为 0.4; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的范围为 $15.467 \sim 15.535$ ^[12], 均值为 15.486, 极差为 0.05; $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的范围为 $17.388 \sim 17.810$, 均值为 17.646, 极差为 0.39。不同矿物的铅同位素组成也有一定的差别, 黄铁矿和方铅矿铅同位素组成相对稳定, 变化范围很小。上述铅同位素组成中, 极差均小于 1, 说明铅来源比较稳定^[19]。

在 Doe 和 Zartman 铅构造模式投影图上(图 8), 铲子坪金矿床金属硫化物中铅同位素数据点大多位于地幔与造山带之间且靠近地幔演化曲线附近, 反映了铅源于造山带作用有关的深源。由于造山作用本身有地壳物质的混染, 因此, 可以认为铅主要源于地幔, 有部分地壳铅的加入。

在铅同位素的 $\Delta\gamma - \Delta\beta$ 成因分类图解(图 9)中, 样品大部分落在与岩浆作用有关的上地壳与地

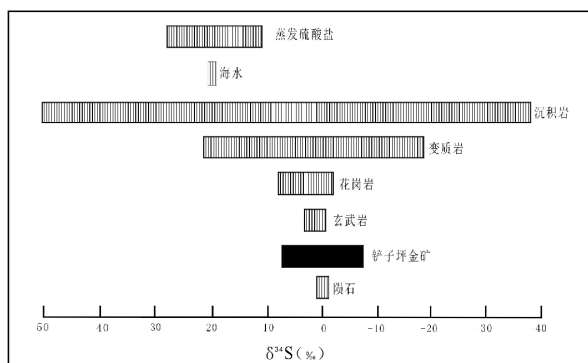


图6 铲子坪金矿硫同位素对比图^[18]

Fig.6 Sulfur isotope composition of ores in Chanziping gold deposit

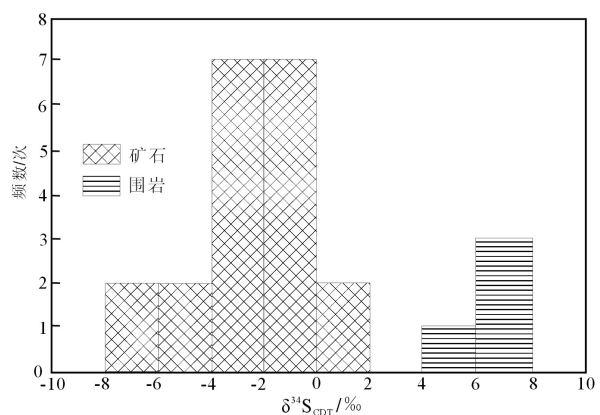


图7 铲子坪金矿硫同位素组成直方图

Fig.7 Histogram of sulfur isotope in Chanziping gold deposit

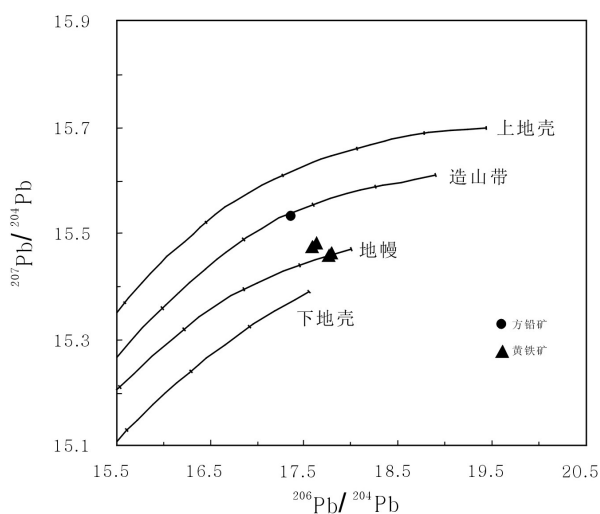
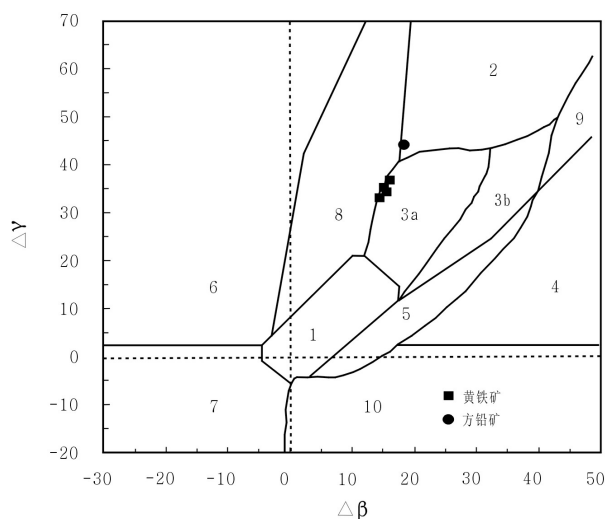
图8 铲子坪金矿床铅构造模式投影^[20]

Fig. 8 Lead isotope radio plot showing geotectonic environment of the source of the Chanziping gold deposit

幔混合的俯冲带铅中,一个样品落在上地壳源铅中,进一步说明了样品中的铅是以壳幔源岩浆作用为主的混合铅。

综合本区铅同位素特点,根据铅构造模式图解和 $\Delta\gamma-\Delta\beta$ 图解,本区铅同位素主要来源于地幔,有部分地壳铅的加入。

图9 铲子坪金矿铅同位素的 $\Delta\gamma-\Delta\beta$ 成因分类图解^[21]Fig. 9 $\Delta\gamma-\Delta\beta$ diagram of genetic classification of stibnite from the Chanziping gold deposit

1.地幔源铅;2.上地壳铅;3.上地壳与地幔混合的俯冲带铅(3a.岩浆作用;3b.沉积作用);4.化学沉积型铅;5.海底热水作用铅;6.中深变质作用铅;7.深变质下地壳铅;8.造山带铅;9.古老页岩上地壳铅;10.退变质铅。

3.3 碳-氧同位素

本次研究分析碳、氧同位素样品6件,测试结果见表3。表3显示砂质板岩的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 变化于 $-14.0\text{‰} \sim -14.1\text{‰}$,均值为 -14.05‰ ; $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 介于 $14.4\text{‰} \sim 16.3\text{‰}$ 之间,均值为 15.3‰ 。石英的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 为 $-11.0\text{‰} \sim -11.7\text{‰}$,均值为 -11.3‰ , $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 介于 $14.4\text{‰} \sim 15.7\text{‰}$ 之间,均值为 15.05‰ ,与砂质板岩的C、O同位素组成没有很明显的差异,表明其来源与容矿的砂质板岩有关。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 图解显示,石英和砂质板岩的碳、氧同位素变化范围较窄,石英的投影点较为集中(图10),主要分布在原生碳酸盐附近,反映了成矿流体与砂质板岩的密切联系,以及与地幔或深部流体的亲缘关系。

图10中沉积碳酸盐、沉积有机碳以及地幔岩浆都可以通过不同的机制向流体提供 CO_2 ^[23-25]。铲子坪金矿,由于所测得的石英包裹体的均一温度范围在 $157 \sim 402\text{℃}$,平均为 259℃ 。包裹体均一温度集中在两个峰值区间,一个为 $160 \sim 220\text{℃}$,另一个为 $280 \sim 360\text{℃}$,最佳成矿温度为 $200 \sim 230\text{℃}$ 之间^[26-27],结合C、O同位素的变化趋势,说明高温分异作用对石英C、O同位素的影响不大。说明在成矿过程中,来自地幔的流体与周围的碳酸盐发生了同位素的交换作用,向 $\delta^{13}\text{C}$ 增高的方向迁移。因此,铲子坪金矿床成矿流体中得 CO_2 很可能为壳幔混合。

3.4 氢-氧同位素

铲子坪金矿床的氢、氧同位素测试结果列于表4。21件样品流体的 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 $-102.3\text{‰} \sim$

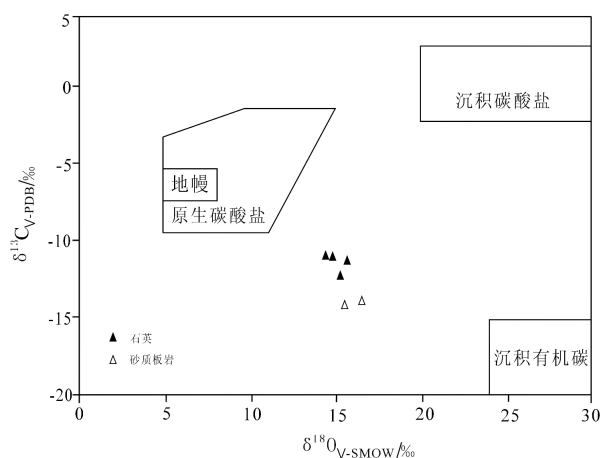
图10 雪峰山铲子坪金矿床 $\delta^{13}\text{C}-\delta^{18}\text{O}$ 图解^[22]Fig. 10 Plot of $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ versus $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ values of the Chanziping gold deposit

表3 铲子坪金矿含金石英脉和围岩碳、氧同位素组成
Table 3 Oxygen and Carbon isotopic composition of gold-bearing quartz vein and wall rock in the Chanziping gold deposit

样 号	成 分	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}/\text{‰}$	数据来源
CZP-B4	石英	-11.1	-15.7	14.7	本文
CZP-B5	石英	-11.0	-16.0	14.4	
CZP-B6	石英	-11.4	-14.7	15.7	
CZP-B7	砂质板岩	-14.0	-14.1	16.3	
CZP-B8	砂质板岩	-14.1	-15.0	15.5	
CZP-B9	石英	-11.7	-15.0	15.4	

测试者:核工业北京地质研究所分析测试中心.

表4 铲子坪金矿氢、氧同位素组成表

Table 4 Oxygen and hydrogen isotopic composition of the Chanziping gold deposit

矿物	$\delta^{18}\text{O}_\text{O}(10^3)$	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}(10^3)$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}(10^3)$	成矿温度 (°C)	资料来源
石英	+16.25	-70.1	+6.81	240	[5]
石英	+16.35	-64.3	+6.91	240	
石英	+16.58	-54.7	+7.14	240	
灰白色石英	+15.80	-91.2	+5.35	219	
灰白色石英	+15.07	-58.0	+4.62	219	
灰白色石英	+11.58	-77.0	+1.13	219	
灰白色石英	+14.45	-56.0	+4.00	219	
乳白色石英	+16.34	-56.0	+5.89	219	
乳白色石英	+11.24	-79.0	+0.79	219	
乳白色石英	+14.28	-59.0	+3.83	219	
方解石	+1.06	-45.6	-11.08	150	[2]
交代石英岩	+16.25	-70.1	+ 6.8	240	
水平石英脉	+16.35	-64.3	+8.62	278	
交代石英岩	+16.58	-54.7	+7.14	240	
方解石		-45.6	+1.06 (实测)		[27]
灰白色石英	+14.7	-102.3	+4.3	220	
灰白色石英	+14.4	-100.6	+5.9	259	
灰白色石英	+15.7	-80.6	+7.2	259	
灰白色石英	+16.3	-72.6	+7.8	259	
灰白色石英	+15.5	-50.6	+7.0	259	
灰白色石英	+15.4	-66.6	+6.9	259	

-45.6‰, 计算获得的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 -11.08‰ ~ +8.62‰。在 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 图解中(图 11),大部分点落入原生岩浆水和区域变质水。

由图 11 可以看出晚期第一阶段的石英岩成矿流体是变质热液与岩浆热液的混合,有向雨水区偏移的趋势。铲子坪金矿附近的白马山岩基段的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 +8.1~+9.9‰^[2],与矿体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 的值基本相近,说明白马山岩体与铲子坪金矿的形成具有一定的联系^[18]。根据泰勒的资料,变质水的 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 -20‰~-65‰,岩浆水的 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 -50‰~-85‰^[28],说明铲子坪金矿成矿热液来源比较复杂,可能有变质热液和岩浆热液的混合作用。

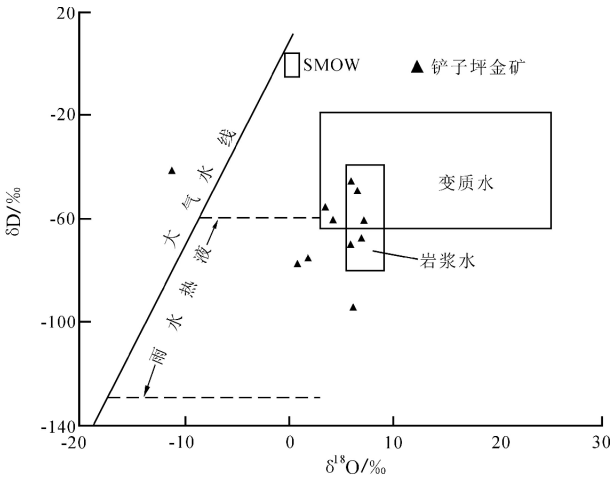


图11 铲子坪金矿成矿流体 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 图

Fig. 11 Plot of $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ versus $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ values of the ore-forming fluids in Chanziping gold deposit

3.5 锶同位素特征

李华芹对铲子坪金矿同一矿化体的 5 个含金石英脉 Rb、Sr 同位素含量进行了测试,包裹体 Rb 含量为 $0.4056 \times 10^{-6} \sim 2.703 \times 10^{-6}$,Sr 含量为 $1.54 \times 10^{-6} \sim 4.342 \times 10^{-6}$ ^[8], $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 值变化较大,在 0.76 ~ 2.106 之间 ^[8], $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 0.72117 ~ 0.72511。通过计算得到的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.71898 \pm 0.00016$ 。

白马山岩体由印支晚期黑云母花岗闪长岩-黑云母二长花岗岩和燕山早期二云母二长花岗岩构成,测得它们的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 分别为 0.718306 ~ 0.727348 和 0.735856^[29]。大部分数值大于铲子坪矿床的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 。可见,本区成矿物质可能来源于区域古老结晶基底岩石或成矿流体曾流经富放射性成因 Sr 基底岩石。铲子坪矿床的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 组成特征与华南陆壳重熔型花岗岩初始岩浆水的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 组成特征具有明显的相似性,表明其成矿作用可能与岩浆热液有关。

4 成矿物质来源及矿床成因

前述硫、铅、锶、碳、氢、氧同位素证据表明,硫主要来自岩浆,铅主要来源于地幔,有部分地壳铅的加入,锶同位素组成特征表明其成矿作用可能与岩浆热液有关。成矿热液可能是变质热液和岩浆热液的混合作用。成矿物质应来自地球深部,甚至主要来自幔源。

铲子坪金矿附近的白马山花岗岩岩体、黄茅园花岗岩岩体携带着成矿物质随着地幔热柱向上运移。由于受到地壳构造应力场和岩浆活动的影响,成矿流体到了岩石圈浅部,来自白马山花岗岩的含矿热液沿近南北向的区域断裂 F2 从北往南向迁移。矿区内扭性破碎带和劈理化带向北与白马山岩体侵入空间连同,是岩浆热液运移的良好通道。北西向构造破碎带为含矿热液集中、沉淀并最终富集成金矿化脉和金矿体提供了良好的容矿构造场所^[27]。雪峰山地区的金矿床的金成矿作用主要发生于加里东、印支和燕山期^[8]。印支期大规模的区域性逆冲-推覆作用及相伴酸性岩浆侵位与铲子坪金矿的成矿作用关系密切^[8]。白马山二长花岗岩体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $9.74\text{‰} \sim 11.2\text{‰}$, 含金石英脉流体包裹体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 主要为 $3.83\text{‰} \sim 8.62\text{‰}$, 与白马山花岗岩相近。说明成矿元素 S、Se、Te、Co、Ni 等及水都主要来自白马山花岗岩岩浆热液^[9]。通过前人的研究资料以及对该矿床岩石地球化学特征、稳定同位素特征的研究,可以将铲子坪金矿的成因类型定为中高温岩浆热液型。

5 结论

(1) 从围岩到晚期形成的金矿石中, 均有大量的 SiO_2 存在, 容矿岩石是以硅质、砂质成分为主的板岩。由于岩性和蚀变程度上的差异, 所以其主量元素含量差别较大, 主要表现在 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 和 K_2O 的含量上。稀土元素分析研究说明, 矿区不同岩石、矿石的稀土总量配分形式均为明显右倾曲线, 属轻稀土富集型。轻、重稀土分馏, 轻稀土相对富集而重稀土相对亏损。各类岩石的稀土配分曲线相似, 这表明它们可能来自于同一源岩, 其成矿物质来源和演化过程大体相同或相似。微量元素分析结果表明, 在微量元素蛛网图中, 各类岩石样品的分布曲线大部分比较相似, 并有明显的 Nb、Ta、Ti 负异常。金含量随着银含量的增加而呈现上升的趋势, 反映出金和银的正相关性。

(2) 铲子坪金矿床金属硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值以负值为主, $\delta^{34}\text{S}$ 值主要集中在 $0 \sim -4\text{‰}$ 之间, 变化范围为 $-7.58\text{‰} \sim +7.96\text{‰}$ 。这表明, 硫化物中的硫主要来自花岗岩浆, 有部分地层硫酸盐中的硫混入。

(3) 碳、氧同位素组成说明成矿流体与砂质板岩联系密切, 与地幔有一定的亲缘关系。在成矿过

程中, 来自地幔的流体与周围的碳酸盐发生了同位素的交换作用, 向 $\delta^{13}\text{C}$ 增高的方向迁移。因此, 铲子坪金矿床成矿流体中得 CO_2 很可能为壳幔混合。

(4) 氢、氧同位素特征研究表明, 铲子坪金矿成矿流体具有变质热液和岩浆热液的双重性。锶同位素研究表明其成矿作用可能与岩浆热液有关。

(5) 铲子坪金矿成矿作用与印支期大规模的区域性逆冲-推覆作用及相伴生酸性岩浆侵位密切相关, 矿床成因类型为中高温岩浆热液型。

参考文献:

- [1] 湖南省地质矿产局407队. 湖南黔阳县雪峰镇铲子坪金矿普查报告[R]. 1994:1-50.
- [2] 魏道芳. 铲子坪金矿成矿物质来源及成矿机理的地球化学研究[J]. 湖南地质, 1993, 12(1):29-34.
- [3] 魏道芳. 黔阳县铲子坪金矿地球化学异常模式探讨[J]. 湖南地质, 1995, 14(4):252-256.
- [4] 骆学全. 铲子坪金矿的构造成矿作用 [J]. 湖南地质, 1993, 12(3):171-176.
- [5] 骆学全. 湖南铲子坪金矿的成矿规律及找矿标志[J]. 湖南地质, 1996, 15(1):33-38.
- [6] 骆学全. 湖南铲子坪金矿的矿物标型及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 1996, 15(2):170-179.
- [7] 赵建光. 铲子坪金矿金的赋存状态及分布规律[J]. 湖南地质, 2000, 19(3):167-168.
- [8] 李华芹, 王登红, 陈富文, 梅玉萍, 蔡红. 湖南雪峰山地区铲子坪和大坪金矿成矿作用年代学研究 [J]. 地质学报, 2008, 82(7):900-905.
- [9] 符海华, 唐卫国, 汤亚平. 铲子坪金矿控矿因素再认识与深边部找矿远景分析 [J]. 矿产与地质, 2011, 25(2):91-97.
- [10] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1995.
- [11] Sun S S, McDonough W F. Chemical and Isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [J]. Chemical Society of London, Special Publication, 1989, 42: 331-345.
- [12] Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies [A].// In: Henderson P (ed.). Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam:Elsevier, 1984: 64-114.
- [13] Ohmoto H.. Stable isotope geochemistry of ore deposits. Rev. Mineral, 1986, 16:491-559.
- [14] 李华芹, 陈富文, 蔡红. 新疆西准噶尔地区不同类型金矿床Rb-Sr同位素年代研究 [J]. 地质学报, 2000, 74(2):

- 181-191.
- [15] 曹国雄,高太忠,吴有民. 堡子湾金矿同位素及稀土元素地球化学研究[J].地质地球化学,2000,28(1):10-14.
- [16] 刘继顺. 关于雪峰山一带金矿区的成矿时代 [J]. 黄金, 1993,14(7):7-12.
- [17] Rollinson H R. Using geochemical date: Evaluation, presentation, interpretation [M]. New York: Longman Science and Technical, Published in the United States with John Wiley and Sons, Inc.1992, 1-343.
- [18] 韩吟文,马振东,张宏飞,等. 2003.地球化学[M]. 北京:地质出版社,1-369.
- [19] 薛传东,韩润生,杨海林,杨志明,田世洪,刘勇强,郝百武. 滇西北保山核桃坪铅锌矿床成矿流体来源的同位素地球化学证据[J].矿床地质,2008,27(2):742-745.
- [20] Zartman,R.E and Doe B.R.1981.Plumbotectonics—the model [J].Tectonophysics,1981,75:135-162.
- [21] 朱炳泉. 地球科学中同位素体系理论与应用—兼论中国大陆壳幔演化[M].北京:科学出版社,1998.
- [22] 刘建明, 刘家军. 滇黔桂金三角区微细侵染型金矿床的盆地流体成因模式[J].矿物学报,1997,17(4):448-456.
- [23] Rollinson H R. Using geochemical date: Evaluation, presentation, interpretation [M]. New York: Longman Science and Technical, Published in the United States with John Wiley and Sons, Inc.1992, 1-343.
- [24] 刘建明,张宏福,孙景贵,叶杰. 山东幔源岩浆岩的碳-氧和锶-钕同位素地球化学研究 [J]. 中国科学 (D辑), 2003,33(10):921-930.
- [25] 郑明华,刘家军,张寿庭,龙训荣. 萨瓦亚尔顿金矿床的同位素组成特征及其成因意义[J].成都理工学院学报, 2002,29(3):237-245.
- [26] 薛传东,韩润生,杨海林,杨志明,田世洪,刘勇强,郝百武.滇西北保山核桃坪铅锌矿床成矿流体来源的同位素地球化学证据[J].矿床地质,2008,27(2):742-745.
- [27] 曹亮,段其发,彭三国,周云.雪峰山铲子坪金矿床流体包裹体特征及地质意义 [J]. 地质与勘探,215,51(2):212-224.
- [28] Taylor H P. The application of oxygen and hydrogen isotopic studies of problem of hydrothermal alteration and ore deposition [J]. Economic Geology,1974,69: 843-898.
- [29] 陈卫锋,陈培荣,黄宏业,丁兴,孙涛. 湖南白马山岩体花岗岩及其包体的年代学和地球化学研究[J].中国科学 (D辑),2007,37(7):873-893.