

铲子坪金矿矿床地球化学特征及 Rb - Sr 年龄

马小双, 陈新跃, 曹有金, 南茂才, 刘邦定

(湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要:对铲子坪金矿床流体包裹体、氢氧同位素和石英包裹体 Rb - Sr 年龄进行了分析研究. 结果显示, 包裹体均一温度范围是 147 ~ 310 °C; 盐度值主要集中于 10% ~ 11%; 密度范围为 0.81 ~ 0.99 g/cm³; 成矿压力在 105.99 × 10⁵ ~ 342.10 × 10⁵ Pa 之间; 早中期阶段成矿流体以岩浆水为主, 晚期阶段成矿流体以大气降水为主; Rb - Sr 年龄等时线年龄为 244 ± 7 Ma, 表明其成矿时代为印支期.

关键词:流体包裹体; 氢氧同位素; Rb - Sr 等时线年龄; 铲子坪金矿

中图分类号: P618.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672 - 9102(2016)02 - 0057 - 08

Geochemical characteristics and Rb - Sr age of Changziping gold deposit

MA Xiaoshuang, CHEN Xinyue, CAO Youjin, NAN Maocai & LIU Bangding

(School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: This paper studies the fluid inclusion, the hydrogen and oxygen isotopes and the quartz inclusions Rb - Sr age determination of Changziping gold deposit. It shows that the homogeneous temperatures rang from 147 ~ 310 °C. The salinity values mainly focus on the 10% ~ 11%; the density ranges from 0.81 ~ 0.99 g/cm³; the metallogenic pressure is between 105.99 × 10⁵ ~ 342.10 × 10⁵ Pa. The early and middle stages of ore - forming fluid are mainly magmatic water, while in the later stage it is atmospheric precipitation. The isochron age of Rb - Sr age is 244 ± 7 Ma, showing that the metallogenic epoch is the indosinian stage.

Key words: fluid inclusions; hydrogen and oxygen isotopes; Rb - Sr age isochron age; Changziping gold deposit

铲子坪金矿区位于湖南洪江市境内, 地处扬子板块与华南板块过渡地带, 是雪峰山弧形构造带中段典型的金矿床. 由于多期次的构造演化, 为该区提供了良好的三位一体成矿地质条件^[1]. 前人对铲子坪金矿的矿床地质方面作过许多的研究, 并取得了较多的成果. 该文在前人研究成果的基础上, 对铲子坪金矿石英流体包裹体和氢氧同位素以及 Rb - Sr 年代学等方面进行了研究, 以期对铲子坪金矿成矿流体来源和成矿时代提供新的信息.

1 地质概况

铲子坪金矿矿区位于白马山酸性侵入岩形成的东西向构造和区域性北北东向挤压构造带结合部位. 矿区大体上出露板溪群及观音田组和震旦系江口群长滩组(图1). 其中长滩组第三段为矿区主要矿体围岩且与成矿关系密切, 出露面积几乎遍布整个矿区. 岩石类型有块状含砾泥质板岩、粉砂质板岩、变质砂岩及砂砾岩透镜体.

区内岩浆岩发育广泛, 主要以矿区南西角的中华山岩体和北东部的白马山复式花岗岩体为主. 矿区新

收稿日期: 2015 - 09 - 07

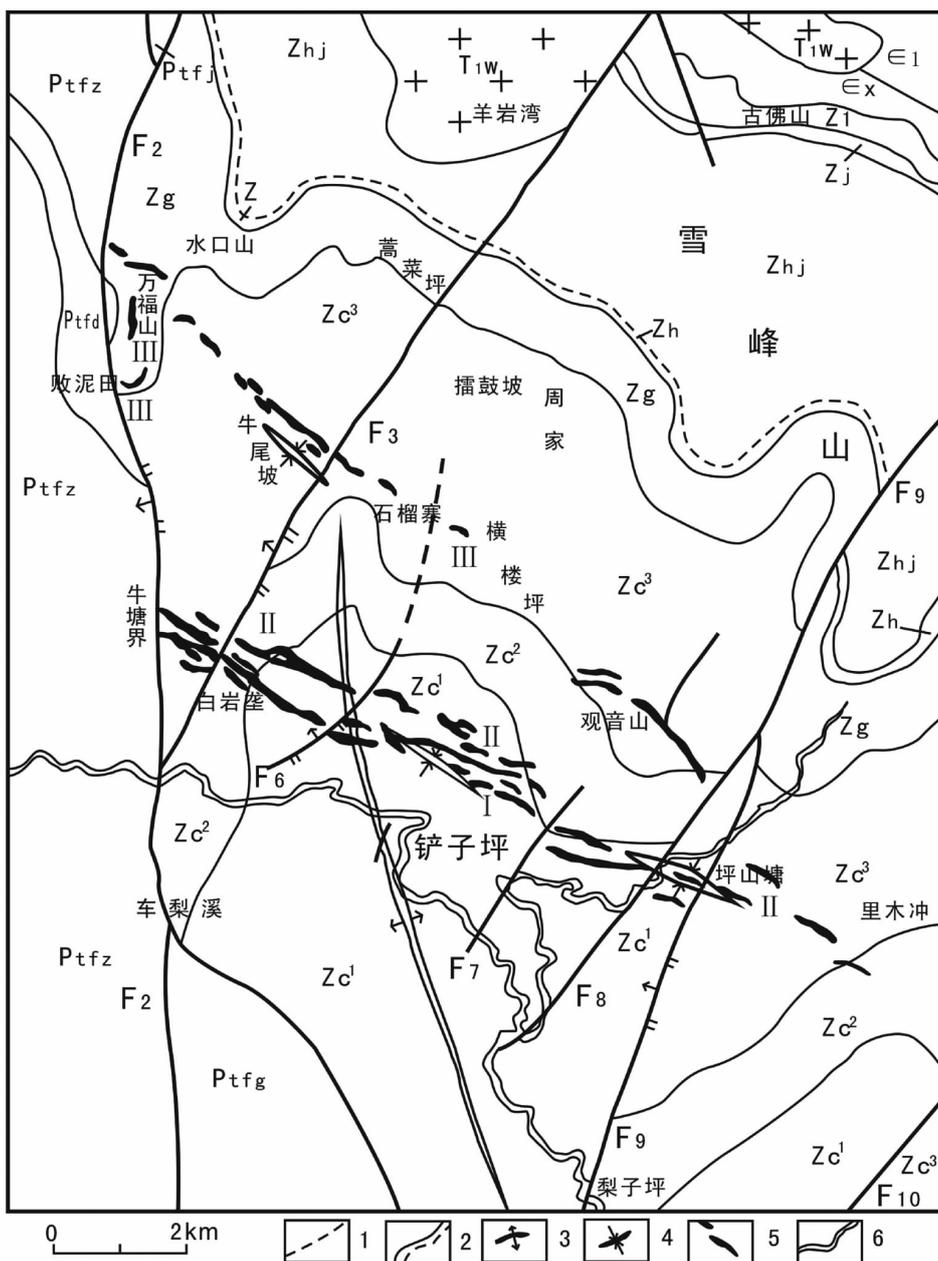
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40902062); 湖南省教育厅优秀青年项目(12B039)

通信作者: 陈新跃(1977 -), 男, 湖南双峰, 博士, 教授, 研究方向: 大地构造和地球化学. E-mail: xinyuchen@163.com

发现 3 条矿脉,矿脉呈雁行排列在具有导矿作用和压扭性质的 F2 断裂下盘,矿脉总体向南陡甚至直立. 矿区岩浆活动与成矿作用相辅相成,岩浆活动的热动力对围岩施压从而形成构造裂隙;另外金的富集成矿是因岩浆活动为它提供的热源、水源和热力梯度.

铲子坪金矿是沉积构造破碎带蚀变岩型金矿,位于扬子微板块东南边缘的雪峰山韧性剪切带,沉积岩变质轻微,构造以 NNE 向韧性剪切深大断裂为主,伴以紧密线型褶皱. 矿石构造有网脉状、角砾状、条带状、浸染状和块状构造(图 2a). 矿区金元素产出形式以自然金为主,矿石矿物有黄铁矿、毒砂、方铅矿等,脉石矿物有石英、绢云母、绿泥石、电气石等(图 2c 和图 2d). 黄铁矿、毒砂一般呈自形-半自形分散在脉石矿物中(图 2b),粒径一般在 0.07~0.40 mm,方铅矿、闪锌矿以它形晶,不规则状充填于石英晶间孔隙,粒径一般在 0.02~0.60 mm.

根据野外与镜下观察的矿物共生组合关系及矿物生成顺序,将铲子坪金矿田分为 3 个成矿阶段. 即早期成矿阶段为石英-黄铁矿-毒砂组合,是大规模热液活动阶段;中期成矿阶段为硫化物-自然金阶段,以闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、黄铜矿组合为特征;晚期成矿阶段为石英-碳酸盐阶段,以方解石和白云石组合为主;见矿物生成顺序(表 1).



1 - 推测断层;2 - 推测地质断线;3 - 加里东期背斜;4 - 印支-燕山背斜;5 - 矿化透视镜体;6 - 汞气异常
图 1 铲子坪金矿地质简图

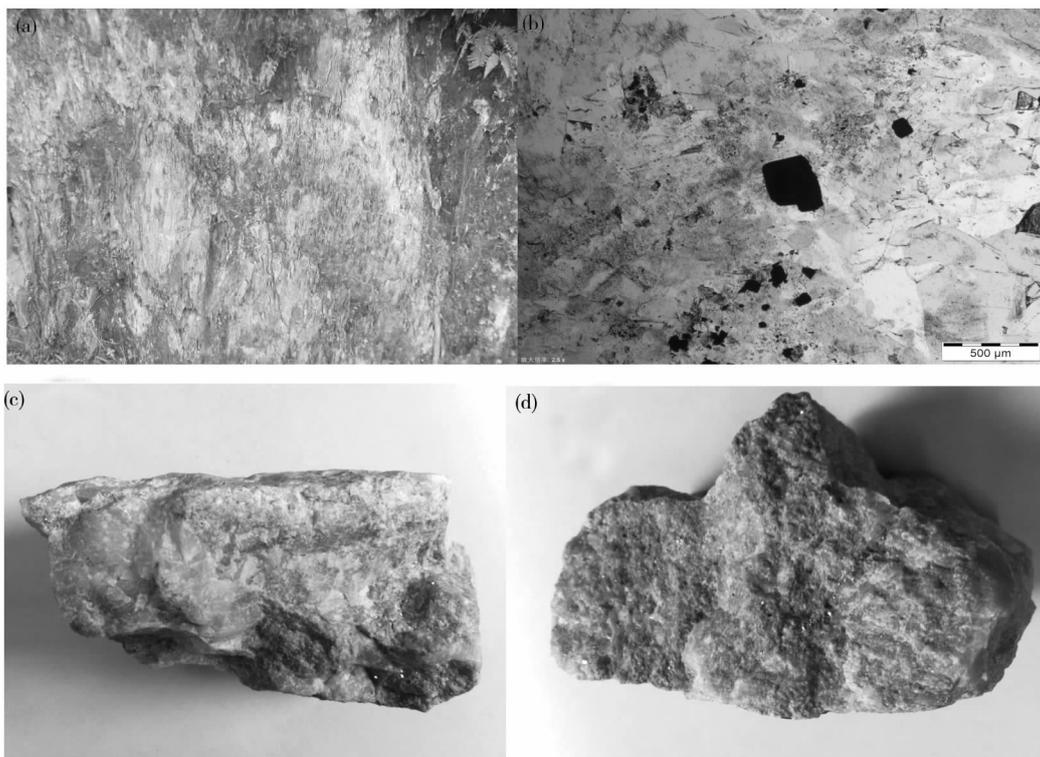


图 2 铲子坪金矿野外、手标本和矿石镜下照片

表 1 铲子坪金矿矿物生成顺序表^[1]

矿物生成顺序	热液期		
	石英-黄铁矿-毒砂阶段	硫化物-自然金阶段	石英-碳酸盐阶段
绢云母	—————		
石英	—————	—————	—————
黄铁矿	—————	—————	
毒砂	—————	—————	
自然金	—————	—————	
闪锌矿		—————	
方铅矿		—————	
黄铜矿		—————	
黝铜矿		—————	
辉锑矿		—————	
电气石		—————	
重晶石			—————
铁白云石			—————
方解石		—————	

2 样品采集及测试方法

2.1 样品的采集及描述

样品是在矿区内具有代表性的成矿岩体和围岩进行采集,总共采集了早中晚 3 个不同成矿阶段的 12 个样品,分别进行了流体包裹体测温、氢氧同位素测试和 Rb - Sr 年龄测定。

2.2 测试方法及分析流程

流体包裹体测试在湖南科技大学地质实验室完成,型号为 THMSG600 的地质冷热台,该次实验选取了 3 件石英发育较好的矿石样品制成样品薄片,将薄片用酒精浸泡 40 h,再将残留在样品的胶用刷子洗干净、再晾干,最后将样品块(3~5 mm²)放入样品盒内,进行包裹体测试^[2]

石英中氢氧同位素测试在中国地质科学院矿产资源研究所稳定同位素实验室完成,所用仪器为 MAT253EM 型质谱仪,氢氧同位素组成以 V-SMOW 为标准,分析精度为 $\pm 0.2\%$ 。采用 BrF₅ 分析方法对矿物中氧同位素含量的进行测定,首先将纯净的石英样品分别与 BrF₅ 反应 15 h 萃取氧,最后收集 CO₂ 进行氧同位素质谱分析。氢同位素采用爆裂法,首先真空条件下去气,除去矿物中吸附水和次生流体包裹体,然后热至 400 °C 使水与锌反应 30 min,制取氢气,用活性炭在液氮冷冻下收集氢气进行氢同位素质谱分析^[3]。

Rb-Sr 年龄测定是在中国地质科学院宜昌地质矿产研究所 MAT261 质谱仪上进行测试,用 NBS607 和 NBS987 标准物质对分析流程进行监控,最后将 NBS607 长石标准物质与样品多次测定的平均值进行比较,最后将所有样品与空白底进行矫正。

3 测试结果

3.1 流体包裹体

3.1.1 流体包裹体类型

但该次测试的 3 个薄片,最终挑选了其中石英包裹体发育最好的 2 个包裹体片作为样片,即 CZP-1 和 CZP-3。这 2 个样品以气液两相包裹体为主,加极少的纯的液相。包裹体多为椭圆形、棱角状、圆形的原生包裹体(图 3),个体普遍细小且密集分布,粒径一般集中在 1~20 μm 之间,无色透明,气相占 5%~15%^[4]。

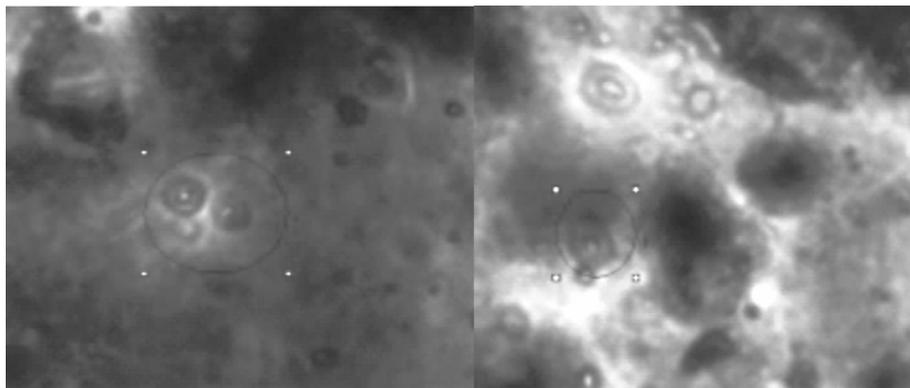


图3 铲子坪金矿体石英中流体包裹体的显微镜照片

3.1.2 包裹体冰点温度和均一温度

该区 12 个石英包裹体的统计数据结果见表 2,由表 1 中冰点温度和均一温度绘制石英包裹体的温度直方图。由流体包裹体数据表(表 2),得出石英包裹体冰点温度在 -8.4~-4.5 °C 之间,平均温度 -6.8 °C;从包裹体均一温度直方图(图 4),看出冰点温度出现频率最高的区间为 -7~-8 °C,其次为 -6~-7 °C。

由流体包裹体数据表(表 2)看出,石英包裹体均一温度变化范围大,范围是 147~310 °C,平均 223 °C,测试结果与骆学全^[1]测温结果 180~320 °C,平均 219 °C 及魏道芳^[3]测温结果 89~320 °C,平均为 223 °C 基该一致。

从包裹体均一温度直方图(图 4),得出均一温度值主要集中于:200~250 °C,其次 150~200 °C,从均一温度总体波动范围,表明铲子坪具有十分明显的低温成矿特征。另外均一温度的变化趋势比较复杂,推测该矿有多期成矿作用。

表2 流体包裹体数据表

序号	均一温度/°C	冰点/°C	盐度/%	密度/(g/cm ³)	压力/(10 ⁵ Pa)	深度/km
1	147	-6.5	9.86	0.99	150.99	0.50
2	154	-6.8	10.24	0.98	160.27	0.53
3	165	-6.0	9.21	0.97	165.56	0.55
4	189	-7.4	10.98	0.96	201.59	0.67
5	205	-7.1	10.61	0.94	216.03	0.72
6	210	-6.2	10.70	0.93	221.95	0.74
7	226	-4.5	7.17	0.88	209.91	0.70
8	236	-7.3	10.86	0.91	250.75	0.83
9	258	-7.8	11.46	0.88	279.43	0.93
10	276	-5.6	8.68	0.83	271.47	0.90
11	309	-7.7	11.34	0.81	333.41	1.11
12	310	-8.4	12.16	0.82	342.10	1.14

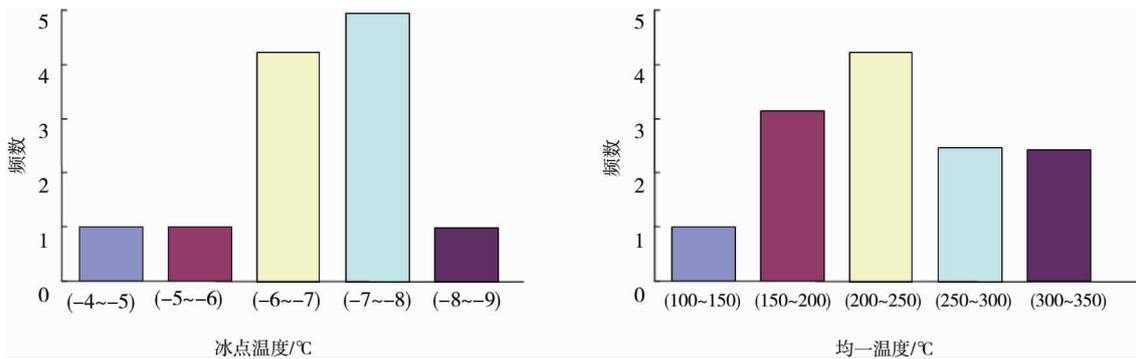


图4 石英包裹体的冰点温度和均一温度分布直方图

3.1.3 包裹体盐度、密度和压力

据低盐度 H₂O - NaCl 体系中盐度 - 冰点公式: $S = 0.00 + 1.78t - 0.044 2t^2 + 0.000 557t^3$ 计算该区的盐度值^[5]. 得出该区盐度范围为 7.17% ~ 12.16%, 平均盐度为 10.27%. 由石英包裹体盐度分布直方图(图5), 得出流体盐度值主要变化范围 9% ~ 12%, 峰值区间为 10% ~ 11%, 表明该区总体上具有出低盐度的特性.

流体密度是研究流体包裹体的重要参数. 该区流体包裹体密度估算是根据密度公式: $\rho = A + BT + CT^2$ 计算^[6], 得出该区流体密度范围是 0.81 ~ 0.99 g/cm³, 平均流体密度为 0.91 g/cm³, 显示该区总体上属于中等密度的流体特性.

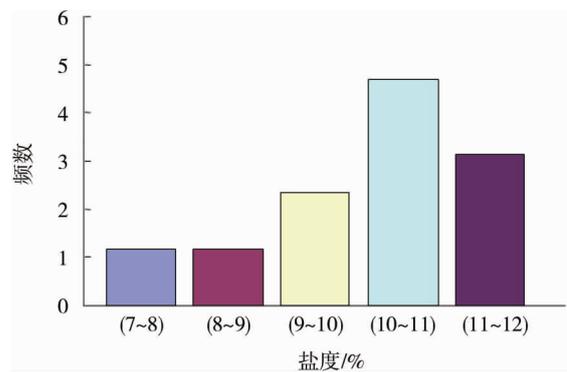


图5 石英包裹体盐度分布直方图

该区成矿压力和成矿深度的估算根据 $P_1 = P_0 \times T_1/T_0$; $H_1 = P_1/300$ 计算^[7], 得出该区成矿压力的范围是 $105.99 \times 10^5 \sim 342.10 \times 10^5$ Pa, 平均成矿压力为 233.62×10^5 Pa, 成矿深度为 0.50 ~ 1.14 km 之间, 平均成矿深度为 0.77 km, 说明该区成矿流体具有地壳浅成、低压环境就位成矿的特征.

综上所述:显示铲子坪金矿成矿流体具有中低温、低盐度、中等密度、低压、地壳浅成相的成矿环境特征.

3.2 氢氧同位素特征

表3 为该矿床氢氧同位素的测试结果.

从表3 中可以看出 $\delta^{18}O_{\text{Q}}\text{‰}$ 值在 1.06‰ ~ 16.58‰ 之间, 再根据氧同位素蒸馏方程计算出 $\delta^{18}O_{\text{H}_2\text{O}}\text{‰}$ 值

在 $-0.061\text{‰} \sim +7.14\text{‰}$ 之间. 在 $\delta^{18}\text{O} - \delta\text{D}$ 关系图上(图6), 可以看出大部分样品点集中在变质水与岩浆水之间. 但11号和12号的样品 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}\text{‰}$ 为负值, 说明有大气水的参与.

从表3中看出石英-黄铁矿-毒砂阶段的成矿温度为 $219 \sim 240\text{ }^\circ\text{C}$, 平均为 $221\text{ }^\circ\text{C}$, 成矿热液的主体与岩浆水一致, 有向雨水热液区偏移的趋势. 而石英-碳酸盐阶段热液温度为 $147 \sim 210\text{ }^\circ\text{C}$, 平均为 $174\text{ }^\circ\text{C}$, 成矿热液主要是大气水成分. 因此, 表明该矿床早期和中期阶段成矿流体以岩浆水为主, 晚期阶段以大气降水为主.

根据变质水 δD 在 $-40\text{‰} \sim -100\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 在 $+5\text{‰} \sim +25\text{‰}$; 大气降水的 δD 在 $-300\text{‰} \sim +131\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 在 $-54\text{‰} \sim +31\text{‰}$; 岩浆水 δD 在 $-50\text{‰} \sim -80\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 在 $+5\text{‰} \sim +7\text{‰}$. 可以说明铲子坪金矿床具有以岩浆水为主, 有变质水和大气水参与的混合流体特性.

表3 石英氢氧同位素组成

序号	矿物	$\delta^{18}\text{O}_q/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$	成矿温度/ $^\circ\text{C}$	来源
1	石英	16.25	-70.1	6.810	240	文献[1]
2	石英	16.35	-64.3	6.910	240	
3	石英	16.58	-54.7	7.140	240	
4	灰白色石英	15.80	-91.2	5.350	219	
5	灰白色石英	15.07	-58.0	4.620	219	
6	灰白色石英	11.58	-77.0	1.130	219	
7	灰白色石英	14.45	-56.0	4.000	219	文献[1]
8	乳白色石英	16.34	-56.0	5.890	219	
9	乳白色石英	11.24	-79.0	0.790	219	
10	乳白色石英	14.28	-59.0	3.830	219	
11	方解石	1.06	-45.6	-11.080	150	本文
12	石英	15.70	-68.0	-0.061	147	
13	石英	16.30	-72.0	1.162	154	
14	石英	16.10	-73.0	1.881	165	
15	石英	16.00	-86.0	3.564	189	
16	石英	16.20	-76.0	4.807	205	
17	石英	16.30	-61.0	5.212	210	

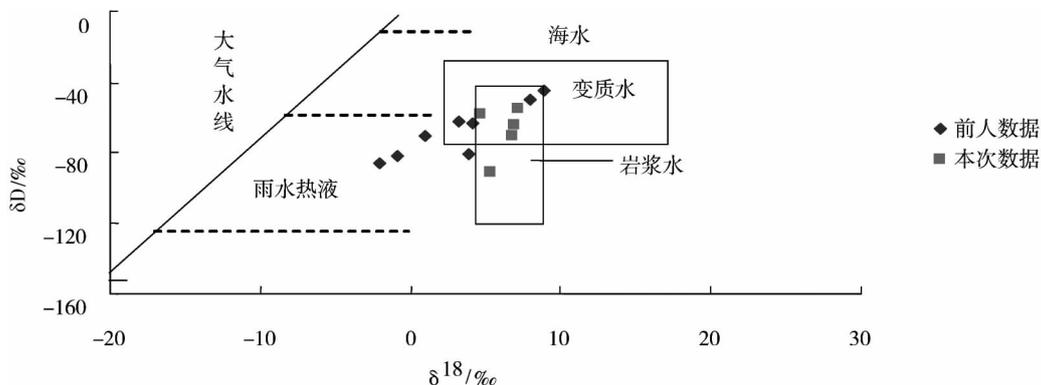


图6 铲子坪金矿区氢氧的同位素组成

3.3 Rb-Sr 年龄

表4为该金矿床石英包裹体 Rb-Sr 同位素的测定数据, 并根据表4数据绘成石英 Rb-Sr 等时线图(图7). 该文6个石英样品的 Rb 含量为 $0.03234 \sim 3.35700\text{ }\mu\text{g/g}$, Sr 为 $0.8502 \sim 22.2900\text{ }\mu\text{g/g}$, $^{87}\text{Rb} = 1.42 \times 10^{-11}\text{ a}^{-1}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.715520 \pm 0.00028(1\sigma)$. 挑选6个样品中的1个样品进行重复测定, 结果显示2次测试结果相差很小, 说明精度高. 但是总体 Rb, Sr 含量测定值相差较大, 可能是石英流体包裹体分布不均引起的.

由图7得出:在铲子坪金矿床中同一矿化体的石英样品铷锶同位素比值呈现良好的线性关系,并求得该区石英包裹体 Rb - Sr 同位素等时线年龄为 244 ± 7 Ma,表明其形成时代为印支期.

表4 铲子坪金矿床石英包裹体 Rb - Sr 年龄测定数据

送样号	Rb/($\mu\text{g/g}$)	Sr/($\mu\text{g/g}$)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$2\sigma/\mu\text{g/g}$
CZP1	3.3570	2.578	3.762 00	0.728 70	0.000 04
CZP2	1.973 0	1.664	3.426 00	0.727 83	0.000 07
CZP3	1.937 0	1.865	2.999 00	0.726 20	0.000 04
CZP4	0.618 8	22.290	0.080 11	0.715 60	0.000 06
CZP5	0.911 2	0.850	3.097 00	0.731 37	0.000 07
DP	0.032 3	1.178	0.079 21	0.719 12	0.000 03

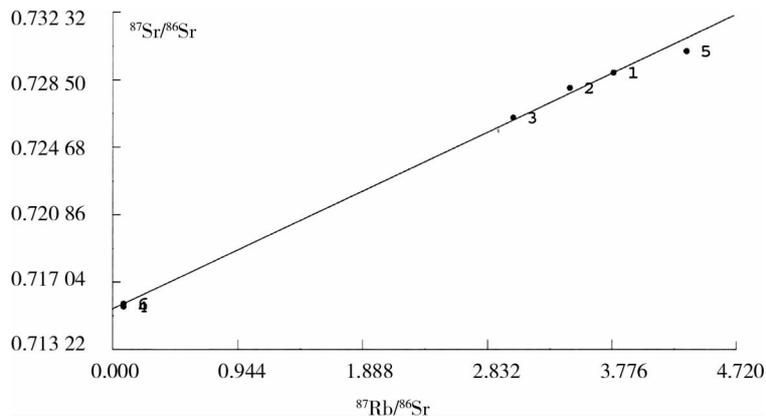


图7 铲子坪金矿床含金石英脉石英 Rb - Sr 等时线图

4 讨论

4.1 成矿流体的来源

在 $\delta^{18}\text{O} - \delta\text{D}$ 关系图上(图6),石英样品点大部分分布在变质水与岩浆水之间.说明成矿流体以岩浆水为主,随着成矿作用的不断演化,大气降水不断增多,使 $\delta^{18}\text{O}$ 值降低.成矿流体向雨水线移动,表明成矿阶段有大气降水交换作用发生;并与该矿床早期石英由岩浆热液交代形成的现象相符合.雪峰山中段的漠滨金矿成矿流体早期以岩浆水为主,中晚期以大气降水为主,沃溪矿区的成矿流体早期以岩浆水为主,还有变质作用影响,这些矿区的成矿流体与铲子坪矿区的成矿流体来源大致相同.

铲子坪金矿床是蚀变岩型金矿床, $\delta^{18}\text{O}$ 值要比石英脉型金矿床低,在表3中从成矿早期到成矿晚期,氧同位素逐渐降低,说明随着成矿作用的进行,成矿流体中有越来越多的大气降水加入^[8].大气水的加入可以使水岩比增大,更有利于围岩中金的淋滤,矿床规模变大,交代发育,这与野外看到的情况相符.

表3中显示了铲子坪金矿床各个成矿阶段的温度、成矿热液的主体与图6结果反映的成矿流体来源一致.综上所述铲子坪金矿床早中期阶段的成矿流体主要为岩浆水,晚期阶段主要为大气降水.

4.2 成矿时代

许多研究表明,金矿床的形成时代与重大的地质运动相关,只有具备了相应的成矿物质条件加上后期地质作用能量的释放以及流体的驱动等对含金建造的改造和叠加,才能在矿区内形成不同的矿床类型^[9].

前人对雪峰山地区典型矿床的年龄测定结果表明,成矿年龄均介于 70 ~ 500 Ma 之间,而且多数年龄数据误差较大^[10],即金矿床主要成矿时代发生于加里东期、印支期和燕山期.本文研究得出铲子坪金矿床成矿年龄为 244 ± 7 Ma,为印支期.而铲子坪含金石英脉流体包裹体的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 组成特征与华南陆壳重

熔性花岗岩初始岩浆水的($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i基本一致,表明其成矿作用可能与岩浆热液有关^[10],这与该矿床氢、氧同位素研究基本相同.结合矿床石英 Rb - Sr 年代学,表明印支期的岩浆热液作用与铲子坪金矿的成矿作用关系密切.

5 结论

1) 铲子坪金矿的流体包裹体很发育,以气液两相包裹体为主,该矿床流体包裹体温度值主要集中于:200 ~ 50 °C,其次 150 ~ 200 °C;盐度值主要集中于 10% ~ 11%;密度值为 0.81 ~ 0.99 g/cm³ 之间;成矿压力在 $105.99 \times 10^5 \sim 342.10 \times 10^5$ Pa 之间;所以铲子坪金矿成矿流体具有中低温、低盐度、中等密度、低压、地壳浅成的成矿环境特征.

2) 通过对石英流体包裹体氢氧同位素组成的研究,显示铲子坪金矿早中期阶段成矿流体以岩浆水为主,晚期阶段成矿流体以大气降水为主,说明成矿流体具有混合流体的特性.

3) 通过对铲子坪金矿床含金石英脉石英包裹体 Rb - Sr 年龄测定,得到其成矿年龄为 244 ± 7 Ma,表明印支期可能为其主要成矿时间.

参考文献:

- [1] 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(2): 170 - 179.
- [2] 曹有金, 陈新跃, 杨天春. 湖南铲子坪金矿地质特征及找矿方向[D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2014.
- [3] 简伟. 河南小秦岭大湖金钼矿床地质特征、成矿流体及矿床成因研究[D], 北京: 中国地质大学(北京), 2010.
- [4] 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.
- [5] 卢焕章. 流体包裹体[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [6] 张东阳, 苏慧敏, 秦松, 等. 河南窑场铁矿床地球化学特征及其地质意义[J]. 矿床地质, 2009, 28(3): 329.
- [7] 胡琴霞, 赵春荣, 宋炳剑, 等. 黑龙江省砂宝斯金矿床成矿流体地球化学[J]. 黄金科学技术, 2007, 15(3): 7.
- [8] 杨怀辉, 白德胜, 李俊生, 等. 浅析蚀变岩型金矿床的某些蚀变特征与金矿化的关系——以东湾金矿为例[J]. 四川地质学报, 2009(3): 257 - 260.
- [8] 闫明, 马东升, 刘英俊. 淘金冲金矿成矿流体地球化学和矿床成因研究[J]. 矿床地质, 1994, 13(2): 156 - 162.
- [10] 李华芹, 王登红, 陈福文, 等. 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(7): 900 - 905.