·矿产资源·

西藏西部马攸木金矿床成矿流体的特征

温春齐[1],多　吉[2],范小平[2],胡先才[2],李保华[1],
孙　燕[1],刘文周[1],霍　艳[1],温　泉[1],任文静[1]
WEN Chun-qi[1],DUO Ji[2], FAN Xiao-ping[2], HU Xian-cai[2], LI Bao-hua[1],
SUN Yan[1], LIU Wen-zhou[1], HUO Yan[1], WEN Quan[1], REN Wen-jing[1]

1.成都理工大学地球科学学院,四川 成都 610059;
2.西藏地质矿产勘查开发局,西藏 拉萨 850000
1. *School of Geosciences*, *Chengdu University of Technology*, *Chengdu* 610059, *Sichuan*, *China*;
2. *Tibet Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development*, *Lhasa* 850000, *Tibet*, *China*

摘要：马攸木金矿床是西藏最近发现的独立岩金矿床。对马攸木金矿床热液成矿期各矿化阶段石英中的流体包裹体温度与压力、盐度与密度、包裹体成分和H、O同位素诸方面的初步研究表明,成矿流体属中低温(198~259℃)、低盐度(3.10~7.08%NaCl)、低密度(0.85~0.93 g/cm^3)的流体,属(SO_4^{2-})Cl^--(K^+)Na^+水化学类型,成矿环境为低压(22.7~26.7 MPa)浅成(0.825~0.971 km)环境。成矿流体可能主要来源于与大气降水有成因联系的地下热水。马攸木金矿床可能是与热泉相关的浅成中低温热液矿床。

关键词:流体包裹体;成矿流体;金矿床;西藏马攸木
中图分类号:P618.51　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-2552(2006)01~02-0261-06

Wen C Q, Duo J, Fan X P, Hu X C, Li B H, Sun Y, Liu W Z, Huo Y, Wen Q, Ren W J. Characteristics of ore fluids of the Mayum gold deposit, western Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(1-2):261-266

Abstract: The Mayum gold deposit is a rock gold deposit found recently in Tibet. Study of the temperatures, pressures, salinities, densities, compositions and oxygen and hydrogen isotopes of fluid inclusions in quartz in various mineralization stages of the hydrothermal ore-forming processes of the Mayum gold deposit indicates that the ore fluids belong to low- and medium-temperature (198-259℃), low-salinity (3.10-7.08 wt%NaCl equivalent), low-density (0.85-0.93 g/cm^3) ones and the (SO_4^{2-}) Cl^--(K^+) Na^+ hydrochemical type and formed in a low-pressure (22.7-26.7 MPa) and shallow (0.825-0.971 km) environment. The ore fluids may have been derived from subsurface hydrothermal water genetically associated with meteoric water. The Mayum gold deposit may be a meso- and epithermal gold deposit related to hot springs.
Key words:fluid inclusion; ore-forming fluid; gold deposit; Mayum, Tibet

1999年西藏地热地质大队在阿里与日喀则交界的马攸木地区发现了砂金异常,随后经预查、普查、详查,确定为大型砂金矿床[1],成为目前西藏砂金矿床规模之首。2001年通过砂金矿体索源追溯,找到了就近的岩金矿床[2],成为西藏首例独立岩金矿床。但由于矿区海拔高、条件差,目前工作程度不高,研究程度较低[3-6]。本文仅就马攸木金矿床的成矿流体特征进行初步研究。

1　矿床地质概况

马攸木金矿区位于雅鲁藏布江成矿带西段拉昂错-柴曲背斜中段核部。该背斜核部为震旦系—寒武系齐贡巴群绿泥石英片岩、绢云石英片岩、绢云绿泥方解石片岩等,是矿体主要赋存层位(围岩),两翼为晚古生代和中生代地层。在震旦系—寒武系齐吾贡巴群中发育构造蚀变破碎带及成群出现的

收稿日期:2005-03-30;**修订日期**:2005-11-11
基金项目:西藏自治区重点科技项目(2004-66)和国家自然科学基金项目(40472058)资助。
作者简介:温春齐(1945-),男,博士,教授,从事矿床学、地球化学的教学与研究。E-mail:wcq@cdut.edu.cn

含硫化物石英脉,断裂带控制本区岩金矿化。

2002年通过岩金预查工作,在马攸木一带圈出岩金矿化带5条,断续相连长约4 km;单条矿化体长600~1200 m,宽30~50 m,矿化体总体走向75~80°,总体南倾,倾角40~60°。目前已发现矿体16个,其中规模较大的有8个,分布于岩金普查区北侧及砂金M_1一带。矿体形态主要呈透镜状、脉状和似层状;矿体产状变化较大,明显受断裂构造控制。据已调查的16个金矿体统计,矿体长度一般较大,从50~712 m,均值为284.19 m,变化系数为67.39%。矿体厚度为0.86~8.00 m,主要为1.40~3.50 m,平均厚度为2.43 m,变化系数为72.86%。16个矿体金品位变化范围从2.23×10^{-6}~69.56×10^{-6},平均31.84×10^{-6},变化系数为61.23%。拣块样最高金品位达186×10^{-6},工程单样最高金品位达375×10^{-6}[3]。

据野外及室内研究,初步认为该矿床的形成可分为3期,即热液期、风化期和沉积期。马攸木岩金矿床形成于热液期,热液期至少可分为3个阶段:氧化物阶段(即早阶段)、主成矿阶段(金-黄铁矿和银金-硫盐阶段,即金矿化阶段)和贫金石英-碳酸盐阶段(即晚阶段)。①早阶段形成的矿石中矿石矿物如磁铁矿与脉石矿物如石英共生,包裹体呈线状、星散状分布。②金矿化阶段:有2种,其一是矿石中矿石矿物如自然金、黄铁矿与脉石矿物如石英共生,地表黄铁矿多被褐铁矿化;其二是矿石中矿石矿物为含银自然金和硫盐矿物如硫锑铅矿、黝铜矿等与脉石矿物石英共生。③晚阶段可见硫化物如黄铁矿,但贫金,脉石矿物主要为方解石和石英。该矿床热液期可简化为早阶段、金矿化阶段(金-黄铁矿和银金-硫盐阶段)和晚阶段。

2 流体包裹体的特征

2.1 流体的温度与压力

在室温下利用热台测试了13件样品100个流体包裹体的均一温度,其中10个为CO_2+H_2O二相包裹体中气液相CO_2的部分均一温度。所测90个包裹体的完全均一温度变化范围为140~311℃,与印度南部Wynad石英脉金矿床的均一温度(130~330℃)相似[7]。样品平均温度为171~256℃,且从成矿早阶段到无矿晚阶段,其均一温度具有降低的趋势,即早阶段均一温度平均值为(239±11)℃,金矿化早阶段(金-黄铁矿阶段)平均均一温度为(233±23)℃,金矿化晚阶段(银金-硫盐阶段)均一温度为226℃,晚阶段平均均一温度(180±9)℃(表1)。

对于气液CO_2包裹体,首先测定其均一温度和均一相态,实验使用CO_2等值线法来测定包裹体压力,并根据公式[8]计算求出CO_2的密度,然后利用CO_2状态方程[9]求得压力。计算的捕获压力为16.0~31.5 MPa,样品平均压力为22.7~26.7 MPa(表1)。按地压梯度(27.5 MPa/km)[10]计算,单包裹体成矿深度相当于0.582~1.145 km,金矿化阶段成矿深度相当于0.825~0.971 km。

根据流体的盐度、均一温度和压力,选用盐度为5%的温度校正图解[11](图1),得出早阶段和金矿化阶段的校正温度ΔT=20℃,晚阶段$\Delta T_{晚}$=17℃,从而得出各阶段的成矿温度(表1)。压力校正后的成矿温度变化范围为167~331℃,样品平均值为198~259℃。

2.2 流体的盐度与密度

对前3个阶段的7个样品24个包裹体借助冷台测定其气液包裹体的冰点后,由公式[12,13]得出包裹体的盐度。流体包裹体盐度较低(0.35~11.4 wt%NaCl之间,平均值为3.10~7.08 wt%NaCl),属低盐度流体(表1),与Wynad石英脉金矿床的流体包裹体盐度(2~14 wt%NaCl[7])相似。

根据包裹体的均一温度和盐度,在NaCl-H_2O体系的温度-盐度-密度关系图[14,15]上投点,得出该矿床流体密度变化在0.85~0.93 g/cm³之间。根据Wynad石英脉金矿床流体包裹体的均一温度和盐度估算的流体密度为0.8~1.0 g/cm³[7],这一数值与马攸木金矿床流体的密度相似。

热液成矿期早阶段—金矿化阶段(金-黄铁矿—银金-硫盐)到晚阶段,流体温度、盐度、压力均有逐渐降低的趋势。

3 流体化学成分特征

3.1 流体包裹体气相成分

马攸木金矿床石英中流体包裹体的气相成分分析由中国地质科学院矿产资源研究所陈伟十测试,部分由中国科学院地质与地球物理研究所朱和平完成。利用群体包裹体热爆释放气体,收集气体后在日本RG202四级质谱仪上测试,仪器精度小于5%。包裹体气相成分测试结果见表2。由表2可知,马攸木金矿床流体包裹体气相成分以H_2O为主(80.83~91.20 mol%,均值(84.437±3.998)mol%),且变化不大;其次是CO_2(6.249~14.873 mol%),并含C_2H_6、CH_4、N_2等还原性气体。

表1 马攸木金矿床包裹体温度、盐度和压力值

Table 1 Temperature, pressure and salinity of the fluid inclusions in the Mayum gold deposit

矿化阶段	主矿物	均一温度/℃ 样数	包体数	变化范围	平均温度	含盐度/%NaCl 包体数	变化范围	平均值	压力/MPa 包体数	变化范围	平均值	成矿温度/℃
早阶段	石英	2	20	164~271	239							259
金矿化 早期	石英	7	56	156~311	233	19	3.53~11.4	7.08	10	16.0~31.5	26.7	253
金矿化 晚期	石英	1	4	216~250	226	3	0.35~4.94	3.10	3	16.0~29.0	22.7	246
晚阶段	石英	3	10	140~235	171	2	4.63~5.24	4.94				198

注:均一温度、盐度和压力据参考文献[3]、[6]综合

据测试结果统计了热液期3个阶段的气相成分(表3)。由表3可见,从早阶段—金矿化阶段—晚阶段:①气相成分H_2O含量变化不大,略具先降低后增高的趋势,即从87.412 mol%→82.554 mol%→84.86 mol%; ②气相成分CO_2有先增高后降低的趋势,即从9.035 mol%→12.136 mol%→6.777 mol%;③气相成分C_2H_6、CH_4、H_2S、N_2等还原性气体有增高的趋势。

3.2 流体包裹体液相成分

马攸木金矿床石英中流体包裹体液相成分分析由中国地质科学院矿产资源研究所陶恭益、陈伟十测试,测试仪器为国产苏晖9442型原子吸收光谱仪、美国DIONEX公司2120i型离子色谱仪。样品洗净后,研磨或热爆水浸取。浸取液利用AAS、HPIC法测定阴离子和阳离子。流体包裹体液相成分测试结果见表4。由表4测试值和表5统计值可见,包裹体成分中Ca^{2+}含量很低,NO_3^-、PO_4^{3-}、Br^-在检测线以下;从热液期早阶段到晚阶段,Na^+、K^+、Mg^{2+}含量具有增高的趋势,F^-含量具有降低的趋势,而Cl^-、SO_4^{2-}含量则增大后又降低,显示可能成矿环境由酸性向碱性转变的特征。

3.3 成矿流体类型

根据流体包裹体成分实测值,计算出流体中阳、阴离子数和阳、阴离子百分数(表6)。由表6可见,热液期早阶段流体水化学类型简单, 只是Cl^--Na^+型, 金矿化阶段成分相对复杂,与早阶段相比相对富SO_4^{2-}和K^+,贫金晚阶段相对贫SO_4^{2-}。

4 流体来源

4.1 流体包裹体成分比值

据马攸木金矿床流体包裹体液相成分及部分气相成分计算的有关成分比值如表7所示。

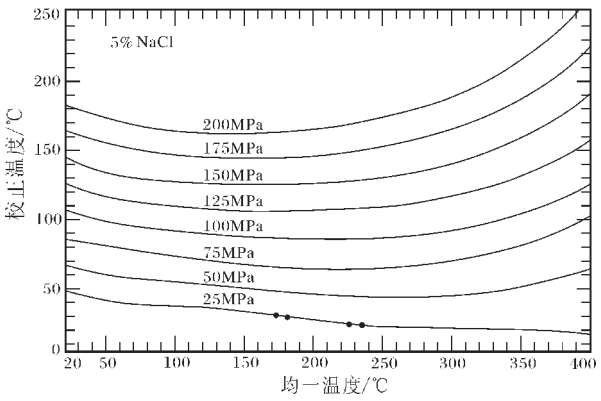


图1　马攸木金矿区5%NaCl[11]溶液的均一温度与压力的关系

Fig.1　Relation between the homogenization temperatures and pressures in a 5% NaCl solution in the Mayum gold deposit

研究认为,Na^+/K^+比值可以作为判断热液类型的一个标志[16,17],即岩浆热液的Na^+/K^+一般小于1,而与沉积或地下热卤水有关的矿床其Na^+/K^+较高。马攸木金矿床流体包裹体的Na^+/K^+均大于2.2,显示其流体为非岩浆热液来源。

当F^-/Cl^-比值很小时,即成矿热液中以Cl^-为主要阴离子,F^-及其他离子的作用可忽略时, 反映原生沉积或地下热卤水成因, 如中国南方许多层控矿床具有这类特点[18]。

表2　马攸木金矿床流体包裹体气相成分分析

Table 2　Chemical compositions of gas phases of the fluid inclusions in the Mayum gold deposit

序号	编号	名称	H_2O	CO_2	CH_4	C_2H_6	H_2S	N_2	Ar	备注
1	MBP-2	石英	83.626	11.820	0.890	1.959	0.02	1.515	0.166	早阶段
2	MBP-5	石英	91.198	6.249	0.450	1.076	0.02	0.903	0.106	
3	MBP-1	石英	83.110	9.544	1.401	3.468	0.03	2.152	0.295	金矿化阶段
4	MBP-3	石英	80.827	14.873	0.870	2.015	0.02	1.229	0.170	
5	MBP-10	石英	83.726	11.991	0.822	1.763	0.02	1.516	0.164	
6	MBP-7	石英	84.864	6.777	1.894	4.079	0.03	1.946	0.409	晚阶段

注:测试单位为中国地质科学院矿产资源研究所(2003);液相成分含量单位mol%

表3　马攸木金矿床3个阶段成矿流体气相成分对比

Table 3　Chemical compositions of gas phases in the fluid inclusions of three mineralization stages of the Mayum gold deposit

矿化阶段	样数	H_2O	CO_2	CH_4	C_2H_6	H_2S	N_2	Ar
早阶段	2	87.412±5.354	9.035±3.939	0.670±0.311	1.518±0.624	0.021±0.005	1.209±0.433	0.136±0.042
金矿化阶段	3	82.554±1.527	12.136±2.667	1.031±0.321	2.415±0.920	0.022±0.007	1.632±0.472	0.210±0.074
晚阶段	1	84.864	6.777	1.894	4.079	0.03	1.946	0.409

注:据表2计算;"±"之后为标准差;气相成分含量mol%

表4 马攸木金矿床流体包裹体液相成分分析

Table 4 Chemical compositions of liquid phases in the fluid inclusions in the Mayum gold deposit

序号	编号	名称	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	PO_4^{3-}	Br^{3-}	备注
1	MBP-2	石英	1.272	0.623	痕量	0.136	0.510	2.983	1.44	0	0	0	早阶段
2	MBP-5	石英	0.911	0.397	痕量	0.113	0.128	2.340	0.63	0	0	0	
3	MBP-1	石英	0.677	1.345	痕量	0.282	0.163	2.189	4.02	0	0	0	金矿化阶段
4	MBP-3	石英	1.129	0.729	痕量	0.065	0.073	3.291	0.72	0	0	0	
5	MBP-10	石英	2.887	0.813	痕量	0.149	0.180	7.200	1.18	0	0	0	
6	MBP-7	石英	1.753	1.354	痕量	0.226	0.064	2.970	0.63	0	0	0	晚阶段

注:测试单位为中国地质科学院矿产资源研究所(2003);液相成分含量μg/g

表5 马攸木金矿床3个段成矿流体液相成分对比

Table 5 Chemical compositions of liquid phases in the fluid inclusions of three mineralization stages of the Mayum gold deposit

阶 段	样数	Na^1	K^-	Ca^{21}	Mg^{21}	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}
早阶段	2	1.092±0.255	0.510±0.160	痕量	0.125±0.016	0.319±0.270	2.662±0.455	1.032±0.571
金矿化阶段	3	1.564±1.168	0.962±0.334	痕量	0.165±0.109	0.139±0.058	4.227±2.633	1.973±1.788
晚阶段	1	1.753	1.354	痕量	0.226	0.064	2.970	0.63

注:液相成分含量μg/g

表6 马攸木金矿床流体中阳、阴离子百分数和流体类型

Table 6 Percentage of cations and anions in fluid inclusions and hydrochemical types of fluids in the Mayum gold deposit

编号	阳离子/%					阴离子/%					成矿阶段
	Na	K	Ca	Mg	小计	F	Cl	SO_4	小计	水化学类型	
MBP-2	71.88	20.69	0.16	7.27	100.00	20.12	63.07	16.81	100.00	Cl^--Na^-	早阶段
MBP-5	72.64	18.61	0.23	8.52	100.00	8.16	79.96	11.88	100.00	Cl^--Na^-	
MBP-1	38.97	45.51	0.17	15.35	100.00	6.45	46.39	47.16	100.00	SO_4^2-Cl^--Na^1-K^1	金矿化阶段
MBP-3	69.61	26.42	0.18	3.79	100.00	3.56	86.05	10.39	100.00	Cl^--K^+-Na^+	
MBP-10	82.28	13.62	0.08	4.02	100.00	4.10	87.91	7.99	100.00	Cl^--Na^-	
MBP-7	63.39	28.78	0.10	7.73	100.00	3.47	86.41	10.11	100.00	Cl^--K^+-Na^+	晚阶段

注:Ca^{2+}为痕量;表中离子数以"1"计

斑岩铜矿的"F含量一般为$n\times10^2$μg/g,仅含钼较高的八区矿床达1×10^3~2×10^3μg/g","某些石英脉型钨矿、锡(钨)矿和花岗岩型铌钽矿则属富F型"[19]。马攸木金矿床流体包裹体阴离子F^-含量很低(0.064~0.510 μg/g,金矿化阶段$F^-\leqslant0.18$ μg/g),$F^-/Cl^-<0.22$,亦显示其流体为非典型的岩浆热液。

马攸木金矿床从早阶段到金矿化阶段再到晚阶段,包裹体成分中Na^+/K^+(3.69→3.18→2.20)、F^-/Cl^-(0.21→0.08→0.04)和还原参数(5.15→4.91→2.39)具有逐渐降低的趋势,而CO_2/H_2O却具有增高的趋势(0.105→0.147→0.279),显示晚阶段碳酸盐组分增多的特点。

4.2 流体H和O同位素

样品经清洗、去吸附水和次生包裹体后,再采用加热爆破法从样品提取原生流体包裹体中的H_2O,H_2O与Zn在400℃条件下反应30 min制取H_2,测定H_2O中的δD值;O同位素测试方法采用BrF_5法。测定仪器为MAT251EM质谱计;$\delta^{18}O$值和δD值采用国际标准为SMOW;测定方法总精密度:$\delta^{18}O$值为0.3‰左右,δD值为3‰。其测定结果如表8所示。根据石英矿物O同位素测试值,利用石英-水的实验方程[20]计算包裹体水的O同位素($\delta^{18}O_{H2O}$)值。石英-水的O同位素平衡方程为:

$$1000\ln\alpha_{Q-H2O}=3.38\times10^6T^{-2}-3.40$$

由表8可知:①根据6件石英矿物O同位素组成计算石英

表7　马攸木金矿床流体包裹体成分比值

Table 7　Ratio of components in fluid inclusions in the Mayum gold deposit

序号	编号	名称	Na^+/K^+	$Na^+/(Mg^{2+}+Ca^{2+})$	F^-/Cl^-	CO_2/H_2O	还原参数
1	MBP-2	石英	3.474	9.676	0.319	0.141	4.903
2	MBP-5	石英	3.904	8.304	0.102	0.069	5.398
3	MBP-1	石英	0.856	2.512	0.139	0.115	5.011
4	MBP-3	石英	2.635	17.551	0.041	0.184	4.729
5	MBP-10	石英	6.042	20.084	0.047	0.143	4.989
6	MBP-7	石英	2.203	8.095	0.040	0.080	4.181
矿化阶段	早阶段	平均值(2)	3.689	8.99	0.211	0.105	5.151
	金矿化阶段	平均值(3)	3.178	13.38	0.076	0.147	4.910
	晚阶段	平均值(1)	2.203	8.095	0.040	0.279	2.385

注:CO_2/H_2O比值及还原参数$[(CH_6+N_2+CH_4)/CO_2]$为本文计算值;平均值后括号内的数字为样品数

包裹体水的O同位素组成$\delta^{18}O_{H2O}$为4.34‰~11.65‰,平均值为(6.425±2.864)‰;而H同位素组成δD_{H2O}为−89‰~−79‰,平均值为(−84.667±3.615)‰。②热液期的氧化物阶段,成矿流体H、O同位素组成分别为−87.00‰±2.83‰和6.31‰±2.13‰;金矿化阶段,成矿流体H、O同位素组成分别为−85.00‰±2.64‰和7.20‰±3.89‰;贫金晚阶段,其H、O同位素组成分别为−79‰和4.34‰。

通过石英矿物的O同位素计算流体水的O同位素,结合实测石英包裹体水的H同位素组成投于$\delta D-\delta^{18}O$图解(图2)上,可以清楚地看到,6件样品落于靠近岩浆水域近旁外侧而远离变质水域。也就是说,马攸木金矿床成矿流体明显不是源于变质水,可能与岩浆水有关,可能为大气降水与岩浆水按不同比例混合。但流体包裹体液相成分较高的Na^+/K^+比值、低F^-含量和F^-/Cl^-比值显示,似乎又不是源于典型的岩浆水。该矿床的成矿流体可能是大气降水与围岩的H、O同位素交换的产物,即大气降水通过地下循环,由于岩浆上侵提供大量热能或地热梯度影响而形成热水溶液。地下水循环过程中发生水−岩反应,并萃取围岩中成矿元素形成含矿热液。这种含矿地下热水通过深循环沿构造上升,由于温度、压力降低而形成矿化富集体,喷(溢)出地表则形成喷(热)泉。考虑本区古泉华发育,古地热活动强烈,故认为成矿流体的形成可能与热泉在空间上和成因上有密切联系。

5　结　语

综上所述,马攸木金矿床属最近发现的新矿床,数量有限的样品未必能满足对该矿床成矿流体总体特征的研究需要。笔者已系统取样分析,希望通过不同测试方法,能对成矿流体的来源做出合理的解释。尽管本文仅对马攸木金矿床流体包裹体进行了初步研究,但仍可得出以下肤浅的认识。

(1)马攸木金矿床流体包裹体完全均一温度变化范围为140~311℃,样品平均温度171~239℃。压力校正后的成矿温度变化范围为167~331℃,平均值为198~259℃。计算的捕获压力为16.0~31.5 MPa,平均值为22.7~26.7 MPa。单包裹体相当成矿深度为0.58~1.15 km,样品或阶段相当成矿深度为0.83~0.97 km。流体盐度为0.35~11.4 wt%NaCl,平均值3.10~7.08 wt%NaCl,密度为0.85~0.93 g/cm^3,属低盐度、低密度流

表8　马攸木金矿床石英H、O同位素组成

Table 8　Hydrogen and oxygen isotopic compositions in the Mayum gold deposit

序号	样号	样品名称	$\delta^{18}O_{矿物}$/‰	$\delta^{18}O_{H2O}$/‰	δD_{H2O}/‰	均一温度/℃	备注
1	MBP-2	石英	16.9	7.81	-85	247	早阶段
2	MBP-5	石英	14.7	4.80	-89	231	
3	MBP-1	石英	15.8	4.42	-87	205	金矿化阶段
4	MBP-3	石英	15.7	5.53	-82	226	
5	MBP-10	石英	20.6	11.65	-86	250	
6	MBP-7	石英	18.0	4.34	-79	172	晚阶段

注:表中矿物O同位素和包裹体水H同位素由中国地质科学院矿产资源研究所万德芳测试(2003);均一温度由成都理工大学资源工程教研室李保华、霍艳(2003)测定

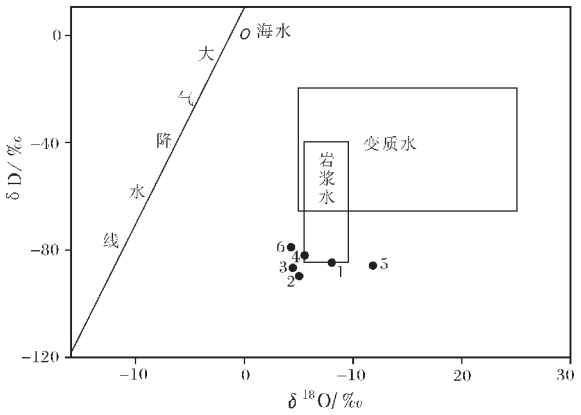


图2 马攸木金矿床成矿流体δD−$\delta^{18}O$图解

Fig.2 Diagram of δD vs. $\delta^{18}O$ in the Mayum gold deposit

大气降水线据参考文献[21];海水、变质水、岩浆水域据参考文献[22];图中数据点同表8序号

体。故马攸木金矿床属浅成中低温低盐度热液矿床。

(2)流体包裹体成分分析结果显示,气相成分以H_2O、CO_2为主,含C_2H_6、N_2和CH_4等还原性气体。液相组分中阳离子的相对含量关系为$Na^+>K^+>Mg^{2+}>Ca^{2+}$,阴离子的相对含量关系为$Cl^->SO_4^{2-}>F^-$,成矿流体类型属$(SO_4^{2-})Cl^--(K^+)Na^+$水化学类型。

(3)流体包裹体水的H、O同位素组成$\delta^{18}O$=4.34‰~11.65‰,δD=−89‰~−79‰,在δD−$\delta^{18}O$图解上,6件样品靠近岩浆水域而远离变质水域。显示成矿流体可能与岩浆水有关,即成矿流体可能为大气降水与岩浆水的混合。但流体包裹体液相成分较高的Na^+/K^+比值和低F^-含量、F^-/Cl^-比值又显示不是源于典型的岩浆水。该矿床的成矿流体可能主要是大气降水与围岩的H、O同位素交换的产物。考虑本区古泉华发育,地热活动强烈,且泉华普遍含Au,最高含Au达18.72×10^{-6},故初步认为马攸木金矿床可能是与热泉在空间上和成因上有密切联系的浅成中低温热液矿床。

参考文献:

[1]多吉,温春齐,刘建林,等.西藏普兰县马攸木砂金矿床的发现及其意义[J].地质通报,2003,22(11−12):696−899.

[2]温春齐.西藏马攸木金矿床的发现及其意义[J].成都理工大学学报(自然科学版),2003,30(3):253.

[3]多吉,温春齐,陈惠强,等.西藏雅鲁藏布江缝合带西段热泉型金矿找矿靶区研究[R].拉萨:西藏自治区地质矿产勘查开发局,2003.

[4]温春齐,多吉,孙燕,等.西藏普兰县马攸木金矿床石英的$^{40}Ar/^{39}Ar$年龄及其地质意义[J].地质通报,2004,23(7):686−688.

[5]温春齐,多吉,温泉,等.西藏马攸木金矿区黑云母的$^{40}Ar/^{39}Ar$法定年[J].矿物岩石,2004,24(2):29−32.

[6]霍艳,温春齐,李保华,等.西藏马攸木金矿床流体包裹体特征初步研究[J].地质找矿论丛,2004,19(2):100−104,113.

[7]Binu−Lal S S,Sawaki T,Wada H,et al. Ore fluids associated with the Wynad gold mineralization, southern India: evidence from fluid inclusion microthermometry and gas analysis[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2003,22(2):171−187.

[8]Parry W T. Estimation of X_{CO2},P,and fluid inclusion volume from fluid inclusion temperature measurements in the system Na-Cl−CO_2−H_2O[J]. Econ. Geol.,1986,81(4):1009−1013.

[9]Touret J, Bottinga Y. Equations d`etat pour le CO_2: application aux inclusions carboniques[J]. Bull. Mineral.,1979, 102(5−6): 577−583.

[10]陶世龙,万天丰,程捷.地球科学概论[M].北京:地质出版社,1999.84−85.

[11]Potter R WⅡ, Menlo Park Calif. Pressure corrections for fluid−inclusion homogenization temperatures based the volumetric properties of the system NaCl−H_2O[J]. Journal Research of the US Geologic Survey, 1977,5(5):603−607.

[12]Potter R WⅡ, Clynne M A,Brown D L. Freezing point depression of aqueous sodium chlorite solutions [J]. Econ. Geol., 1978,73(2):284−285.

[13]Eva C,Merlanti F, Bozzo E. Geophysical evidence suggesting rotation and eastwards displacement of the Ivrea Body in western Liguria, Italy[J]. Memorie della Societa Geologica Italiana, 1974, 13(sup 2):113−119.

[14]Ahmad S N, et al. Fluid inclusion in porphyry and skarn ore at Soute Rita, New Mexico[J]. Econ. Geol.,1980,75(2):229−250.

[15]Gleeson S A, Yardley B W D, Boyce A J, et al. From basin to basement the movement of surface fluids into the crust[J]. J. Geochem. Explor.,2000, 69/70:527−531.

[16]Roedder E. Fluid inclusions as tool in mineral exploration [J]. Econ. Geol.,1977,72(3):503−525.

[17]Roedder E. Fluid inclusions[J]. Reviews in Mineralogy,1984,12: 413−473.

[18]卢焕章,李秉伦,沈昆,等.包裹体地球化学[M].北京:地质出版社,1990.151−181.

[19]冶金工业部地质研究所.中国斑岩铜矿[M].北京:科学出版社,1984.121.

[20]Clayton R N,Rex R W,Syers J K,et al. Oxygen isotope abundance in quartz from Pacific pelagic sediments [J]. Journal of Geophysical Research, 1972,77(21):3907−3915.

[21]Craig H. Isotopic variations in meteoric waters [J]. Science, 1961,133:1702−1703.

[22]Taylor H P Jr. Oxygen and hydrogen isotope relationships in hydrothermal mineral deposits[A]. In: Barnes H L ed. Geochemistry of hydrothermal ore deposits(2nd ed)[C]. New York: John Wiley & Sons, 1979. 236−277.