

# 西藏马攸木金矿床流体 物理化学条件初步研究

霍艳, 温春齐, 李保华, 孙燕

(成都理工大学 地球科学学院, 成都 610059)

**摘要:** 据研究, 西藏马攸木金矿床的成矿作用主要发生在中-低温(140~311℃)、低盐度(<11.4%)、浅成(压力<35.46 MPa)、弱酸性(pH=4.566~4.750)和还原环境下( $E_h = -0.782 \sim -0.232$ )。通过对该矿床物理化学条件的研究, 表明马攸木金矿床在成因上属浅成中-低温热液矿床。

**关键词:** 物理化学条件; 马攸木金矿床; 西藏

**中图分类号:** P58; P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2005)03-0156-05

## 1 矿床地质概况

西藏马攸木金矿床分布于拉昂错—柴曲背斜核部。该背斜核部为震旦—寒武系齐吾贡巴群绿泥石英片岩、绢云石英片岩、绢云母绿泥石方解石片岩等, 是矿体主要赋存层位(围岩), 两翼为晚古生代地层和中生代地层。在震旦—寒武系齐吾贡巴群地层中发育构造蚀变破碎带及成群出现的含硫化物石英脉, 断裂带控制着本区岩金矿化。1999年由西藏地热地质大队发现砂金异常, 后经预查、普查、详查, 确定为大型砂金矿床。2000年通过砂金矿体溯源追溯, 找到了就近的岩金矿体。2001年通过岩金预查工作, 在马攸木一带圈出岩金矿化带4条, 断续相连长约4 km; 单条矿化体长600~1 200 m, 宽30~50 m, 矿化体总体走向75°~80°, 总体S倾, 倾角40°~60°; 矿体平均厚度1.16 m, 矿体平均品位 $12.39 \times 10^{-6}$ , 具有成为大型岩金矿床的地质条件。2002年外围预查发现矿化带长达16 km, 圈定矿体11个, 矿体长120~460 m, 厚度0.64~8.00 m, 平均厚度2.31 m; 金品位 $w(\text{Au}) = 1.65 \times 10^{-6} \sim 99.6 \times 10^{-6}$ , 平均品位 $29.24 \times 10^{-6}$ , 具有成为超大型岩金矿床的地质背景<sup>[1,2]</sup>。

据野外及室内研究, 初步认为该矿床的形成可分为3个时期: 热液期、风化期、沉积岩期。其中热液期又可分为5个阶段: 氧化物阶段、金-黄铁矿阶段、银金-硫盐阶段、贫金硫化物阶段和碳酸盐阶段。

## 2 流体的物理化学条件

### 2.1 包裹体基本特征

马攸木金矿床中包裹体呈星散状、线状、带状和群状分布; 其形态多样, 有浑圆形、椭圆形、近方形、长条形、树枝形和不规则形; 大小为 $<1 \sim 70 \mu\text{m}$ , 主要在 $4 \sim 20 \mu\text{m}$ 之间; 包裹体类型主要为 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 二相(L-V)和气液 $\text{H}_2\text{O}$ 二相(L-V), 单相 $\text{H}_2\text{O}$ (L)少见。 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 包裹体中,  $V_{\text{CO}_2}/V_{\text{包}}$ 为10%~98%, 多数为30%~60%, 气液 $\text{H}_2\text{O}$ 包裹体中, 气液比为1%~50%, 大多为5%~25%。通过对矿物包裹体的镜下观测表明, 不同阶段的不同矿物中包裹体的分布、形态、大小和类型均有一定差异。

### 2.2 包裹体温度与压力

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。所测包裹体的完全均一温度变化范围为140~311℃, 平均温度171.50~256.20℃, 均不高。

采用 CO<sub>2</sub>等值线法测定了包裹体压力。测试结果表明, 该矿床的成矿压力都不高, 小于 35.46 MPa, 大多集中在 23.30~31.41 MPa 之间。根据地压梯度(27.5 MPa/km) 计算出该矿床主要成矿于 0.85~1.14 km, 属浅成矿床。

### 2.3 包裹体盐度与密度

对金-黄铁矿阶段、银金-硫盐阶段和贫金硫化物阶段的 7 个样品 24 个包裹体进行测试, 得出该矿床包裹体盐度较低(< 11.4%), 在 0.362%~11.4% 之间变化, 多数集中在 4.32%~5.59% 范围内, 属低盐度流体。碳酸盐阶段由于包裹体较小而无法测定。

由于观测条件所限, 只从 5 个包裹体样品中测到了气液 H<sub>2</sub>O 二相包裹体的温度和盐度, 因此从 Ahmad 等(1980) 绘制的 NaCl+H<sub>2</sub>O 体系的温度-盐度-密度关系图<sup>[3]</sup> 上投点(图 1), 也可看出该矿床流体密度变化不大, 在 0.85~0.93 g/cm<sup>3</sup> 之间变化。

### 2.4 包裹体气、液相成分

(1) 包裹体气相成分。马攸木金矿床石英矿物包裹体成分由中国地质科学院矿产资源研究所测试。马攸木金矿床流体包裹体气相成分以 H<sub>2</sub>O 为主,

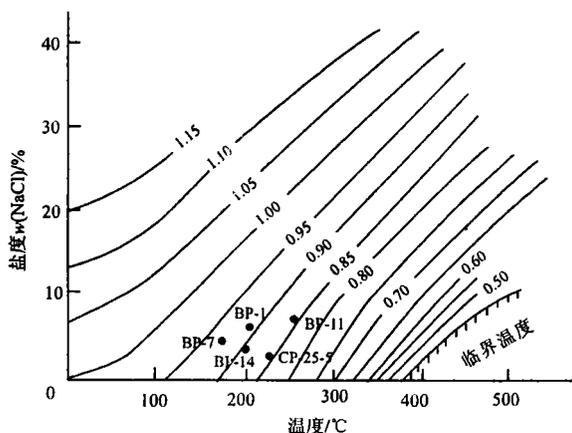


图 1 NaCl-H<sub>2</sub>O 体系的温度-盐度-密度关系图

Fig. 1 Correlation between homogenization temperature, salinity and density of NaCl+H<sub>2</sub>O

$x(\text{H}_2\text{O}) = 80.83\% \sim 91.20\%$ , 平均值为  $84.437\% \pm 3.998\%$ , 且变化不大; 其次是 CO<sub>2</sub>,  $x(\text{CO}_2) = 6.249\% \sim 14.873\%$ , 富含 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> 等还原性气体(表 1)。

表 1 马攸木金矿床流体包裹体气相成分分析

Table 1 Analysis of gas composition of fluid inclusions in Mayoumu gold deposit

序号	编号	名称	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	H <sub>2</sub> S	N <sub>2</sub>	Ar	备注
1	MBP-2	石英	83.626	11.820	0.890	1.959	0.02	1.515	0.166	
2	MBP-5	石英	91.198	6.249	0.450	1.076	0.02	0.903	0.106	氧化物阶段
	平均值	石英	87.412	9.035	0.670	1.518	0.021	1.209	0.136	
3	MBP-1	石英	83.110	9.544	1.401	3.468	0.03	2.152	0.295	
4	MBP-3	石英	80.827	14.873	0.870	2.015	0.02	1.229	0.170	金-黄铁矿阶段
5	MBP-10	石英	83.726	11.991	0.822	1.763	0.02	1.516	0.164	
	平均值	石英	82.554	12.136	1.031	2.415	0.022	1.632	0.210	
6	MBP-7	石英	84.864	6.777	1.894	4.079	0.03	1.946	0.409	贫金硫化物阶段
	平均值	石英	84.864	6.777	1.894	4.079	0.03	1.946	0.409	

测试单位: 中国地质科学院矿产资源研究所(2003)。

由表 1 可知, 从氧化物阶段 含金早阶段 贫金晚阶段, 气相成分 H<sub>2</sub>O 和 H<sub>2</sub>S 的摩尔分数变化不大: 氧化物阶段 H<sub>2</sub>O 的摩尔分数较高, 为 87.412%, 含金早阶段 H<sub>2</sub>O 最低, 为 82.554%, 贫金晚阶段为 84.86%; 氧化物阶段 H<sub>2</sub>S 为 0.021%, 含金早阶段 H<sub>2</sub>S 为 0.022%, 贫金晚阶段为 0.03%。从氧化物阶段 含金早阶段 贫金晚阶段, 气相成分 CO<sub>2</sub> 具有

先增高后降低的趋势, 早阶段为 9.035%, 金阶段最高为 12.136%, 晚阶段最低为 6.777%。从氧化物阶段 含金早阶段 贫金晚阶段, 气相成分 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> 等还原性气体具有增高的趋势。

(2) 包裹体液相成分。马攸木金矿床石英矿物包裹体成分亦由中国地质科学院矿产资源研究所测试。流体包裹体液相成分测试结果见表 2。

表2 马攸木金矿床流体包裹体液相成分分析

Table 2 Analysis of liquid composition of fluid inclusions in Mayoumu gold deposit

 $w_B/10^{-6}$ 

序号	编号	名称	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Br <sub>3</sub> <sup>-</sup>	备注
1	MBP-2	石英	1.272	0.623	痕量	0.136	0.510	2.983	1.44	0	0	0	氧化物阶段
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	
4	MBP-3	石英	1.129	0.729	痕量	0.065	0.073	3.291	0.72	0	0	0	金-黄铁矿阶段
5	MBP-10	石英	2.887	0.813	痕量	0.149	0.180	7.200	1.18	0	0	0	贫金硫化物阶段
6	MBP-7	石英	1.753	1.354	痕量	0.226	0.064	2.970	0.63	0	0	0	

测试单位: 中国地质科学院矿产资源研究所(2003)。

由表2测试值可见,包裹体成分中Ca<sup>2+</sup>质量分数很低,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>,PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>,Br<sub>3</sub><sup>-</sup>在检测线以下;从早期到晚期,Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>,Mg<sup>2+</sup>质量分数在升高,F<sup>-</sup>有降低的趋势,而Cl<sup>-</sup>,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>成矿时则增大,显示成矿环境可能为酸性的特征。

### 2.5 包裹体H<sub>2</sub>O中δ(<sup>18</sup>O),δ(D)特征

根据国土资源部矿床资源研究所对该矿床6件样品的分析报告,可以得出:根据6件石英矿物氧同位素组成计算石英包裹体水的氧同位素组成 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}) = 4.34 \times 10^{-3} \sim 11.65 \times 10^{-3}$ ,平均值为 $6.425 \times 10^{-3} \pm 2.864 \times 10^{-3}$ ;而氢同位素组成 $\delta(\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}) = -89 \times 10^{-3} \sim -79 \times 10^{-3}$ ,平均值为

$-84.667 \times 10^{-3} \pm 3.615 \times 10^{-3}$ 。热液期的氧化物阶段,成矿流体氢、氧同位素组成分别为 $-87.00 \times 10^{-3} \pm 2.83 \times 10^{-3}$ 和 $6.31 \times 10^{-3} \pm 2.13 \times 10^{-3}$ ;金-黄铁矿阶段,其成矿流体氢、氧同位素组成分别为 $-85.00 \times 10^{-3} \pm 2.65 \times 10^{-3}$ 和 $7.20 \times 10^{-3} \pm 3.89 \times 10^{-3}$ ;贫金阶段,其氢、氧同位素组成分别为 $-79 \times 10^{-3}$ 和 $4.34 \times 10^{-3}$ 。将6件样品之氢氧同位素组成投点于 $\delta(\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}) - \delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}})$ 图解上,6个样品点均落于岩浆水区域之外,远离变质水,显示其流体是以大气降水为主的地下水热液,在演化过程中也可能有岩浆水的加入。

表3 马攸木金矿与其他低温热液金矿物理化学条件对比

Table 3 Contrast of the physicochemical conditions between Mayoumu gold deposit and other epithermal Au deposits

矿床名称	包裹体类型	均一温度(°C)	压力(MPa)	盐度w(NaCl)/%	密度(g/cm <sup>3</sup> )	氢同位素 $\delta(\text{D})/\times 10^{-3}$	氧同位素 $\delta(^{18}\text{O})/\times 10^{-3}$	流体来源
马攸木金矿床(西藏)	气液相、液相	140~311	23.3~31.41	<11.4	0.85~0.93	-89~-79	4.34~11.65	大气降水与火山成因岩浆水混合
马庄山金矿 <sup>[4]</sup> (甘肃)	液相	120~340	48.3~68.6	中低,<20%	0.83~1.07	-126~-69	4.32~17.93	岩浆热液与地下水混合
湘西南金矿床 <sup>[5]</sup>	气液相、纯液相	130~230	17~83	1.9~4.5	0.85~0.97	-86~-37	-2.0~8.9	以大气降水为主的地热流体
阿希金矿 <sup>[6]</sup> (新疆)	气液相、纯液相	81.2~260	41.7~51.1	0.3~9.6		-113.6~-59	5~13	以大气降水为主

从表3可以看出,马攸木金矿床从均一温度、压力、盐度、密度和氢氧同位素等方面与其他低温热液矿床相似,因此可以确定马攸木金矿床为浅成中低温热液矿床。

沙德铭(1998)、贾斌等(1999)对西天山阿希金矿的流体包裹体的成分<sup>[7]</sup>和同位素<sup>[8]</sup>测试也与上述

结果一致,其成矿流体属于K<sup>+</sup>(Na<sup>+</sup>)-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(Cl<sup>-</sup>)型,其中阳离子富K<sup>+</sup>,阴离子富SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,气相成分以H<sub>2</sub>O,CO<sub>2</sub>为主,富含H<sub>2</sub>,CO,CH<sub>4</sub>等还原性气体。 $\delta(^{18}\text{O})$ 值变化范围为 $5 \times 10^{-3} \sim 13 \times 10^{-3}$ , $\delta(\text{D}) = -59 \times 10^{-3} \sim -113.6 \times 10^{-3}$ ,显示了大气水为主要热液来源的特征。马攸木金矿床与上述矿床都表现

出了浅成低温热液矿床的特征。

## 2.6 成矿流体其他参数

对马攸木金矿床实测的石英流体包裹体成分(表 1, 表 2), 用相关程序计算出了成矿流体的酸碱度(pH 值)、氧化还原电位(Eh)和逸度( $f_{O_2}$ ,  $f_{CO_2}$ ,  $f_{CO}$ )。由于有的成分如  $HCO_3^-$ ,  $CO$ ,  $H_2$  矿床研究所不能分析, 计算时仅采用 0.01% 值计算; 因为  $Ca^{2+}$  测试值为“痕量”, 故按  $0.01 \times 10^{-6}$  计算。

(1) 成矿流体的 pH 值。马攸木金矿床 6 件石英包裹体成分计算的成矿流体 pH = 5.149~6.347, 平均值为 5.250。热液期各阶段 pH 值为:

氧化物阶段成矿流体的 pH 值为 5.282~5.295, 平均值为 5.289, 呈弱酸性。

金-黄铁矿阶段成矿流体的 pH 值为 5.163~5.347, 平均值为 5.258, 呈弱酸性。

贫金阶段成矿流体的 pH 值为 5.149, 呈酸性。

分析及计算结果显示, 从早期到晚期, 成矿流体的酸碱度具有降低的趋势, 即向酸性方向演化: 5.289 5.258 5.149。

(2) 成矿流体 Eh 值。马攸木金矿床 6 件石英包裹体成分计算的成矿流体氧化还原电位(Eh)值为 -0.113~0.039 V, 平均值为 -0.081 V。热液期各阶段 Eh 值为:

氧化物阶段成矿流体的 Eh 值为 -0.113~-0.095 V, 平均值为 -0.104 V。

金-黄铁矿阶段成矿流体的 Eh 值为 -0.120~-0.067 V, 平均值为 -0.093 V。

贫金阶段成矿流体的 Eh 值为 0.039 V。

分析及计算结果显示, 从早期到晚期, 成矿流体的氧化还原电位具有增高的趋势, 即 -0.104 V -0.093 V 0.039 V。

(3) 成矿流体逸度。马攸木金矿床 6 件石英包裹体成分计算的成矿流体逸度值: 氧逸度  $\lg f_{O_2} = -49.612 \sim -40.756$ , 平均值为 -43.830; 二氧化碳  $\lg f_{CO_2} = -2.207 \sim -0.674$ , 平均值为 -1.243; 硫逸度  $f_{S_2} = -12.329 \sim -8.595$ , 平均值为 -9.870。

由马攸木金矿床热液期不同阶段成矿流体的逸度(表 4)可见, 成矿流体的逸度  $f_{O_2}$ ,  $f_{CO_2}$ ,  $f_{S_2}$  从热液期成矿作用早阶段到晚阶段都具有降低的趋势。

$\lg f_{O_2} = 41.163 \quad -43.764 \quad -49.069$ ;  $\lg f_{CO_2} = 0.059 \quad -0.725 \quad -1.041$ ;  $\lg f_{S_2} = 1.758 \quad -1.994 \quad -2.843$ 。

表 4 马攸木金矿床成矿流体逸度变化

Table 4 Fugacity change of ore-forming fluid in Mayoumu gold deposit

逸度	阶段	样数	变化范围	平均值
$\lg f_{O_2}$	氧化物阶段	2	-40.348~ -41.977	-41.163
	金-黄铁矿阶段	3	-42.503~ -45.024	-43.764
	贫金硫化物阶段	1		-49.069
$\lg f_{CO_2}$	氧化物阶段	2	0.344~ -0.462	-0.059
	金-黄铁矿阶段	3	-0.430~ -1.020	-0.725
	贫金硫化物阶段	1		-1.041
$\lg f_{S_2}$	氧化物阶段	2	-1.474~ -2.041	-1.758
	金-黄铁矿阶段	3	-1.797~ -2.191	-1.994
	贫金硫化物阶段	1		-2.843

## 3 认识与结论

综上所述, 通过对马攸木金矿床流体物理化学条件的研究, 可以得出以下认识:

(1) 马攸木金矿床中包裹体呈星散状、线状、带状和群状分布, 其形态多样, 大小主要在 4~15  $\mu m$  之间; 包裹体类型主要为  $CO_2-H_2O$  二相(L-V)和气液  $H_2O$  二相(L-V), 单相  $H_2O(L)$  少见。  $CO_2-H_2O$  包裹体中,  $V_{CO_2}/V_{包}$  多在 30%~60% 之间, 气液  $H_2O$  包裹体中, 气液比多为 5%~25%。

(2) 所测包裹体温度在 140~311  $^{\circ}C$  之间, 多数集中在 225~235  $^{\circ}C$ ; 成矿压力小于 35.46 MPa, 大多集中在 23.30~31.41 MPa 之间。因此, 马攸木金矿床属浅成中低温热液矿床。

(3) 所测包裹体的盐度也较低, 小于 11.4%, 多数在 4.32%~5.59% 范围内; 密度也较低, 在 0.85~0.93  $g/cm^3$  之间变化。可见成矿流体为低盐度、低密度类型。

(4) 包裹体成分分析结果显示气相成分以  $H_2O$ ,  $CO_2$  为主, 富含  $C_2H_6$ ,  $N_2$  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  $Cl^- > SO_4^{2-} > F^-$ , 该矿床流体属  $Na^+-K^+-Cl^-$  型。从包裹体中氢氧同位素的测试结果可看出, 成矿热液为大气降水与火山成因岩浆水混合形成的。

(5) 利用所测得的石英包裹体中的气、液相成分, 求得成矿流体 pH = 5.149~5.347, 平均值

5. 250; 成矿流体氧化还原电位 (Eh) = - 0. 104~ 0. 039 V, 平均值 - 0. 081 V。成矿流体逸度值: 氧逸度  $\lg f_{O_2} = - 49. 612 \sim - 40. 756$ , 平均值 - 43. 830; 二氧化碳逸度  $\lg f_{CO_2} = - 2. 207 \sim - 0. 674$ , 平均值 - 1. 243。硫逸度  $\lg f_{S_2}$  为 - 12. 329~ - 8. 595, 平均值为 - 9. 870。计算结果显示, 从成矿作用的早期到晚期, 成矿流体的酸碱度和逸度具有降低的趋势, 而氧化还原电位具有增高的趋势。

#### 参考文献:

[1] 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.

[2] 多吉. 西藏自治区普兰县马攸木矿区岩金外围预查地质报告[R]. 拉萨: 西藏自治区地质矿产开发局, 2002.

[3] Ahmad S N. Fluid inclusion in porphyry and skarn ore at Souté Rita, New Mexico[J]. Econ. Geol., 1980, 75(2): 229-250.

[4] 陈永彬, 赵长发, 史文泉. 甘肃省肃北县马庄山金矿成因分析[J]. 甘肃地质学报, 2003, 12(1): 58-62.

[5] 彭建堂, 戴塔根. 湘西南金矿床成矿流体地球化学研究[J]. 矿床地质, 1999, 18(1): 73-82.

[6] 贾斌, 毋瑞身, 田昌烈, 等. 新疆阿希金矿浅成低温流体特征[J]. 黄金地质, 2001, 7(1): 39-46.

[7] 沙德铭. 西天山阿希金矿流体包裹体研究[J]. 贵金属地质, 1998, 7(3): 180-188.

[8] 贾斌, 毋瑞身, 田昌烈, 等. 新疆阿希晚古生代冰长石-绢云母型金矿特征[J]. 贵金属地质, 1999, 8(4): 199-208.

## PRELIMINARY STUDY ON THE FLUID PHYSICO-CHEMICAL CONDITIONS OF MAYUM GOLD DEPOSIT IN TIBET

HUO Yan, WEN Chun-qi, LI Bao-hua, SUN Yan

(Geosciences College of Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** The ore-forming fluid of Mayum gold deposit has properties of medium-low temperature (140~311 °C), low salinity (< 11.4%) and pressure (< 35.46 MPa), weak acid and reduction environment (pH = 4.566~ 4.750, Eh = - 0.782~ 0.232). Mayum gold deposit is an epithermal deposit.

**Key words:** physicochemical conditions; Mayum gold deposit; Tibet

(上接第 155 页)

## GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WALL-ROCK ALTERATION OF MICRO-DISSEMINATED GOLD DEPOSITS IN CHINA

WU Lie-shan<sup>1,2</sup>, PENG Sheng-lin<sup>1</sup>

(1. School of geoscience and environmental engineering of central south university, Changsha 410083, China;

2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

**Abstract:** Micro-disseminated Au deposits are generally associated with weak wall rock alterations. Silicification, carbonation, argillization and sericitization are the main alteration types. The alteration type is closely related to the type and lithologic assemblage of the host rocks. Chemical composition of the alterations are varied with the property of the wallrock. Au mineralization intensity is proportional to the wall-rock alteration intensity and the complexity of the alteration assemblage. Au ore body occurs at center and inner zone of the alterations.

**Key words:** wall-rock alteration; micro-disseminated; gold deposits; China