

# 萨瓦亚尔顿穆龙套型金矿床 流体包裹体研究\*

龙训荣 郑明华 张寿庭 刘家军

(成都理工学院, 成都)

**提 要:** 萨瓦亚尔顿金矿床为国内首例穆龙套型金矿床。本文对其进行了系统的流体包裹体研究, 结果表明, 该矿床矿物中普遍存在流体包裹体, 且包裹体类型较简单。包裹体成分显示成矿溶液当属  $H_2O-NaCl-CO_2$  体系。Au 在溶液中主要呈  $Au(HS)_2^-$  络离子形式迁移。金的成矿作用主要发生在中-低温 ( $170\sim 220^\circ C$ )、中浅成 ( $7.0\sim 35.0 MPa$ )、中-低盐度 ( $4.22\% \sim 21.78\% NaCl$ )、弱碱性至碱性 ( $pH=7.53\sim 8.51$ ) 和弱还原 ( $Eh=-0.272\sim -0.349 V$ ) 条件下。

**关键词:** 金矿床 流体包裹体 成矿物理化学条件 萨瓦亚尔顿

## 1 地质概况

萨瓦亚尔顿金矿床位于新疆维吾尔自治区乌恰县, 是南天山海西褶皱带金-多金属成矿带中的一个大型金矿床。因与乌兹别克斯坦的穆龙套 (Мурунтау) 金矿床一脉相承, 特征相似, 因此, 称之为穆龙套型金矿床。此乃国内尚属首例。

矿区内分布的地层, 主体为中-上石炭统, 一套具复理石建造特征的碎屑岩系; 次为下石炭统厚层灰岩。矿体呈透镜状、似层状, 主要产于中-上石炭统中段粉砂岩与黑色页岩互层中, 受地层层位、岩性和断裂破碎带控制明显。

矿石的矿物成分有黄铁矿、毒砂、自然金、银金矿、磁黄铁矿、脆硫锑铅矿、辉锑矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、银黝铜矿、方钴矿、锡石、石英、菱铁矿和方解石等 20 余种。自然金和银金矿等多呈他形粒状或脉状分布于毒砂、黄铁矿、石英等矿物颗粒间隙或裂隙中。根据矿脉穿插关系、矿物共生组合、矿石结构构造及流体包裹体研究资料, 将矿化划分为五个阶段: 无矿石英阶段 (早阶段); 毒砂-黄铁矿-石英阶段 (主阶段 I); 多硫化物-石英-菱铁矿阶段 (主阶段 II); 锑-石英阶段; 少硫化物-石英-菱铁矿阶段 (晚阶段)。成矿主阶段也是金的主要析出阶段。

围岩蚀变有硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化等。其中以硅化和黄铁矿化与金矿化的关系最为密切。

## 2 流体包裹体特征

根据显微镜下观察结果 (表 1), 本矿床流体包裹体的主要特征为:

\* 地质矿产部地质行业基金项目 (编号: 地直发 1993-010) 资助

龙训荣, 男, 30 岁, 讲师, 主要从事矿床学教学与金矿地质研究。邮政编码: 610059

表1 萨瓦亚尔顿金矿床流体包裹体特征

矿物	成矿阶段	包裹体特征						
		数量	大小/ $\mu\text{m}$	形态	类型	$V_{\text{气}}/V_{\text{包}}$	$V_{\text{CO}_2}/V_{\text{包}}$	分布
石英	主阶段 I	多	4~12	椭圆形 浑圆形	A型、B型	5%~10%	10%~40%	沿晶面平行排列，或 杂乱分布
	主阶段 II	很多	4~20	椭圆形 负晶形	A型、B型	3%~10%	10%~75%	
	铋-石英阶段	较少	4~10	椭圆形 长条形	A型	3%~10%		
	晚阶段	很少	4~8	不规则状	A型	3%~5%		
方解石	晚阶段	少	5~11	菱形、 长方形	A型、B型	2%~5%	5%~30%	沿晶面发育

(1) 本矿床矿物中普遍存在流体包裹体，但不同矿物中的包裹体特征存在一定差异。其中石英中包裹体较多，方解石中包裹体较少；透明的细脉状石英中的包裹体较多；而透明度差的块状石英中包裹体较少。就石英而言，主阶段形成的石英中包裹体多且相对较大；晚阶段石英中的包裹体少而小。

(2) 包裹体微小，一般为4~8  $\mu\text{m}$ ，个别10~20  $\mu\text{m}$ 。

(3) 石英中包裹体形态以不规则状、椭圆形和浑圆状为主；方解石中包裹体较规则，为菱形、长方形等。

(4) 包裹体类型简单，按其在室温下的相态和成分划分为A型和B型两种：

A型：气液水包裹体，含有液相水 ( $\text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) 和水蒸汽 ( $\text{V}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) 二相， $V_{\text{气}}/V_{\text{包}}$  为3%~10%。加热时气相消失，均一成液相。

B型：气液液  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  包裹体，含液相  $\text{CO}_2$ 、气相  $\text{CO}_2$  和液相水三相。 $\text{CO}_2$  相占包裹体体积的百分比变化较大，即  $V_{\text{CO}_2}/V_{\text{包}}$  为5%~75%。加热时，一般  $\text{CO}_2$  相消失，均一成水溶液相，有的未达到均一即爆裂。

(5) 一般来说，金含量高的样品中包裹体（特别是B型包裹体）多，而无矿石英脉中包裹体很少，甚至没有。

### 3 成矿流体的成分及性质

矿物流体包裹体成分（表2）表明，成矿流体阳离子以  $\text{Na}^+$  为主，其次为  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$ ；阴离子主要为  $\text{Cl}^-$ ， $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  含量较低。气相成分主要为  $\text{CO}_2$ ，并含一定量的  $\text{CH}_4$  和  $\text{H}_2$ 。按地下水成分类型应属  $\text{Cl}-\text{Na}$  型水，此种水乃较深层水的特点，表明本区大气降水下渗深度较大。溶液中  $\text{Na}/\text{K}$  比为6.46~77.63， $\text{F}/\text{Cl}$  比为0~0.249，无疑表明溶液中  $\text{Na}$  的含量远大于  $\text{K}$  的含量， $\text{Cl}$  的含量远高于  $\text{F}$  的含量。一般认为，沉积成矿和地下（卤）水成矿的流体中  $\text{Na}/\text{K}$  比大于5， $\text{F}/\text{Cl}$  比远小于1。萨瓦亚尔顿金矿区的这些特征与普遍规律相一致。

表 2 萨瓦亚尔顿金矿床矿物包裹体成分分析结果

样号	矿物	成矿阶段	液相成分/ $10^{-6}$								气相成分/ $10^{-6}$			
			K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O
S-010	石英	主阶段 I	0.66	3.64	0.43	0.46	0.00	8.00	0.00	0.00	0.33	104.60	6.67	666.70
S-016	石英	主阶段 II	1.24	56.60	20.01	7.62	0.10	80.50	30.00	143.00	0.50	209.30	11.90	1333.30
S-026	石英	主阶段 II	0.50	15.62	5.11	2.09	0.00	21.00	10.00	0.00	0.40	100.00	6.67	1200.00
S-046	菱铁矿	晚阶段	0.45	1.71	0.00	0.22	0.30	2.25	0.00	0.00	0.10	60.00	0.00	300.00

注：由地矿部宜昌地质矿产研究所分析，1995

据对矿石中主要脉石矿物石英和菱铁矿中包裹体 H<sub>2</sub>O 的氢氧同位素组成<sup>①</sup>， $\delta D$  为  $-73\text{‰} \sim -62\text{‰}$ ， $\delta^{18}\text{O}$  为  $+5.4\text{‰} \sim -11.6\text{‰}$ ，投点于  $\delta D$ - $\delta^{18}\text{O}$  关系图中，均落入地下水区，显示成矿流体主要来源为大气降水。结合上述流体成分特征，表明该矿床成矿溶液乃大气降水补给的地下卤水。

#### 4 成矿物理化学条件

由表 3 可知，① 本矿床成矿流体为中—低盐度和中等密度的地下卤水。② 矿物包裹体均—温度变化范围在  $100 \sim 290\text{℃}$  之间，其中绝大多数集中在  $120 \sim 210\text{℃}$ 。从直方图(图 1)的

表 3 萨瓦亚尔顿金矿床成矿物理化学参数表

成矿阶段	主阶段 I	主阶段 II	晚阶段	备注
盐度/% NaCl	8.79~4.22	21.78~7.57	7.69~3.35	冷冻法
密度/(g/cm <sup>3</sup> )	0.95~0.90	1.12~1.00	1.01~0.99	据 S N Ahmad S-T 图
成矿温度/℃	220~200	200~170	<140	均—测温、统计分析
成矿压力/MPa	35	28	>7	CO <sub>2</sub> 密度法
lgf <sub>O<sub>2</sub></sub>	-49.61	-54.67~-53.56	-55.52	据 2O <sub>2</sub> (g) + CH <sub>4</sub> (g) = CO <sub>2</sub> (g) + 2H <sub>2</sub> O(l)
lgf <sub>S<sub>2</sub></sub>	-16.58~-18.79	-19.35~-21.86	-19.73~-22.24	据矿物共生组合反应式计算
Eh/V	-0.334	-0.272~-0.349	-0.305	据 CO <sub>2</sub> (g) + 8H <sup>+</sup> (aq) + 8e = CH <sub>4</sub> (g) + 2H <sub>2</sub> O(l)
pH	8.05	7.53~8.51	8.14	方解石法
lga <sub>ΣS</sub>	-1.670	-2.115~-3.522	-2.655	据包裹体成分计算
lga <sub>HS<sup>-</sup></sub>	-1.694	-2.121~-3.569	-2.667	
lga <sub>Au(HS)<sub>2</sub><sup>-</sup></sub>	-5.715	-7.170~-7.900	-8.840	

① 样品由地矿部宜昌地质矿产研究所同位素室分析，1995

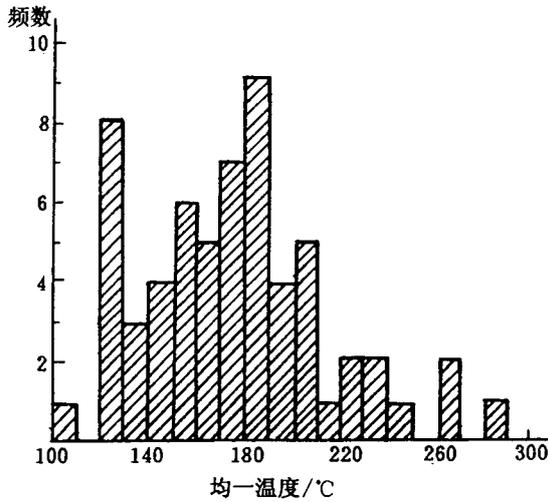


图1 均-温度频数分布直方图

峰态分布情况来看,大体上可以分出5个区间,即 $>220^{\circ}\text{C}$ ,  $220\sim 200^{\circ}\text{C}$ ,  $200\sim 170^{\circ}\text{C}$ ,  $170\sim 140^{\circ}\text{C}$ 和 $<140^{\circ}\text{C}$ 。这与前述的五个成矿阶段热液活动特征大体一致,其中主成矿阶段的温度在 $200^{\circ}\text{C}$ 左右。③成矿压力为 $7\sim 35\text{ MPa}$ ,换算为成矿时的深度在 $1\text{ km}$ 内或稍深。这与矿化破碎带内的矿化特征相一致。④本区成矿时的氧逸度极小,硫逸度相对较高,且 $E_h$ 值变化为 $-0.272\sim -0.349\text{ V}$ ,显然成矿时是处于相对还原的环境中。⑤成矿溶液 $\text{pH}$ 值变化为 $7.53\sim 8.51$ ,相应成矿温度下当属弱碱性至碱性溶液。⑥成矿溶液中含硫离子团以 $\text{HS}^-$ 形式为主,占总硫活度的 $89.79\%\sim 98.66\%$ 。

## 5 金的迁移与沉淀

金可在不同性质的溶液中以不同的形式的易溶稳定络合物进行迁移。据上述物理化学条件下溶液中各种金离子和金络离子的活度理论计算显示,萨瓦亚尔顿金矿床在成矿的不同阶段中,金均以 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 形式为主体进行迁移的(表3),极少量为 $\text{Au}_2\text{S}(\text{HS})_2^{2-}$ 和 $\text{AuS}^-$ 形式。

溶液中金的沉淀机理可简单地用典型化学反应式: $\text{Au}(\text{HS})_2^-(\text{aq}) + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{Au}\downarrow + 2\text{HS}^-(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq}) + \frac{1}{4}\text{O}_2(\text{g})$ 来表示。因此,当成矿溶液中压力、温度的降低, $\text{pH}$ 值增大,氧化性减弱等均会导致溶液中的 $\text{Au}$ 的沉淀。当成矿流体沿压力降低方向进入扩容减压带——构造破碎带后,其各项物理化学参数随时发生改变,从而导致流体发生卸载。在此过程中最明显的变化莫过于压力的降低。因此,寻找扩容减压带(空间)是该区找矿重要方向。

综上所述,萨瓦亚尔顿金矿床金的成矿作用显然是通过大气降水补给的地下水,下渗至深部经加热循环并溶滤地层中的矿质,经活化、迁移和富集而成矿的。这与穆龙套金矿是以非岩浆热液活动成矿而著称的论断基本一致。

## 参 考 文 献

- 1 郑明华等. 层控金矿床概论. 成都: 成都科技大学出版社, 1989, 1~260.
- 2 龙训荣, 徐新煌. 赤普铅锌矿床成矿物理化学条件研究. 四川地质学报, 1997, 17(1): 29~35.
- 3 涂光炽等. 中国层控矿床地球化学(第三卷). 北京: 科学出版社, 1988, 312~364.