甘肃省阳山金矿床流体包裹体特征 及其地质意义

赵百胜,刘伟

(中国地质大学(武汉)资源学院,湖北武汉 430074)

摘 要: 甘肃省阳山金矿床是一个赋存于泥盆系浅变质岩中的似微细浸染型超大型金矿床。研究表明矿石中石英及方解石包裹体分为两种成因共 9 种物理状态类型,均一温度为 105~310。
 成矿流体盐度 w (NaCl) = 1.6%~10.6%,密度为 0.35~1.02 g/cm³,成矿压力为 400 10⁵~800 10⁵ Pa。成矿流体呈中性偏弱碱性、弱还原性,以大气降水为主,岩浆水也不同程度地参与了成矿作用。

关键词: 流体包裹体;特征;阳山金矿床;甘肃省 中图分类号: P611; P618.51 文献标识码: A

甘肃省阳山金矿床是武警黄金部队十二支队于 1997 年发现的。经过几年工作现已控制 Au 资源量 108 t,为一特大型金矿床。其成矿特点类似于微细 浸染型金矿,但又有自身的特点。通过对包裹体的 研究明确成矿流体性质,将为研究矿床成因及指导 找矿提供重要的资料。 文章编号:1001-1412(2004)02-0105-05

主要围岩。矿床位于玛曲 略阳深大断裂南侧,矿 区以文县弧形构造为主,它由一系列近于平行的断 裂构成。阳山金矿床即位于安昌河 观音坝断裂带 中。该断裂呈 NEE 走向,宽数百至数千米,有多次 活动,断裂带内小褶皱发育,金矿体主要赋存于其次 级断裂及层间剪切破碎带中。区内小岩株和岩脉沿 构造破碎带产出,其岩性主要为浅成花岗岩类,以斜

1 矿床地质概况^[1]

阳山金矿床位于陕甘川 交界地带,大地构造位置位 于扬子板块以北中朝板块以 青杨子板块以北中朝板块以 南、松潘 甘孜褶皱系以东 的三角区内,属于西秦岭南 四带。区内出露地层有元古 云岩、灰岩、硅质岩、千 枚岩、板岩、绿片岩等,泥盆 等,石炭系和二叠系灰岩、白 云影、和二叠系、朱罗系 地层,以碎屑岩为主。泥盆 系三河口组为阳山金矿床的



图 1 甘肃阳山金矿带地质简图(据郭俊华等,2002,修改)

 Fig. 1 Geological sketch of Yangshan gold ore belt

 K₁. 下白垩统
 $P_1^{2\cdot4}$, $P_1^{2\cdot3}$, $P_1^{2\cdot1}$. 下二叠统
 $D_2^{1}s_5$, $D_2^{1}s_4$, $D_2^{1}s_3$, $D_2^{1}s_{1-2}$. 中泥盆统三河口组第四、第

 三、第二、第一岩性段
 Pt kt_1^{1} . 元古字碧口群
 . 斜长花岗斑岩
 1. 不整合面
 2. 断层
 3. 推测断

 层
 4. 金矿体及编号

收稿日期: 2003-10-29; 修订日期: 2004-08-08 基金项目: 武警黄金部队 阳山金矿床成因及深部预测研究 项目(编号: WJ00-03)资助。 作者简介: 赵百胜(1978-), 男,硕士研究生,研究方向为矿床学。

长花岗斑岩为主(图1)。

阳山金矿分为 4 个矿段, 即阳山、高楼山、安坝 和葛条湾矿段, 共发现 49 条金矿脉。矿石分为原生 矿石和氧化矿石, 原生矿石为蚀变岩型矿石, 可细分 为蚀变斜长花岗斑岩型矿石、蚀变千枚岩型和蚀变 灰岩型矿石。原生矿石以粒状结构、浸染状构造为 主, 其中金属矿物有自然金、银金矿、毒砂、黄铁矿、 辉锑矿、褐铁矿、针铁矿、和方铅矿等。非金属矿物 有石英、绢云母、方解石、白云石、长石、高岭石、绿泥 石、绿帘石等。金矿成矿期次分为热液期和表生期。 其中热液期可分为 4 个阶段: 黄铁矿-石英阶段;

石英·毒砂·黄铁矿阶段; 石英·辉锑矿阶段; 石 英方解石阶段。其中 、 阶段为本区的主矿化阶 段。

2 流体包裹体类型划分

对 19 件样品进行了包裹体研究,选择石英中的 流体包裹体为对象,因为方解石在 3 号和 4 号含金 脉群中十分发育,故也进行了流体包裹体研究。

样品中石英和方解石中流体包裹体类型丰富多 样,根据室温状态下不同矿物中流体包裹体的相态, 加热状态下的性状及产状特征,分为两种成因类型 及9种物理状态类型:

型含 CO₂三相包裹体:属原生包裹体。在所 研究的石英样品中十分发育,室温下为三相(LH₂0+ Lco₂+ V co₂),均一状态复杂,有液相也有气相。大小 为 10~ 20 m,充填度 0.8 左右,形状多样。

型富液 CO₂两相包裹体:属原生包裹体。室 温下呈两相(L_{CO₂}+ V_{CO₂}),均一至液相,充填度0.7 左右,大小为5~20 m,安坝3号含金脉群的石英中 较发育,以椭圆形为主,呈群呈带分布。

型富液盐水包裹体:属原生包裹体。室温下 为两相,均一至液相,充填度在0.6~0.9之间,形态 以浑圆形、椭圆形为主,其次是负晶形,部分样品中 见不规则状。是本区最发育的流体包裹体类型。

型纯液包裹体:属原生包裹体。室温下为液 相,数量较少,大小在 5~10 m,成群定向分布。

型纯气包裹体:室温下呈单一的气相,冷冻至 - 145 尚未变化,其物理化学性质不明,见于3号 脉体石英中。

型富液盐水包裹体: 属次生包裹体。室温下 为两相,大小为 5~10 m,多沿含金脉体微裂隙分 布,见于3号、4号矿体的石英中。

型纯液包裹体:属次生包裹体。室温下为液相,大小为 5~14 m,沿石英中显微裂隙面分布,多为椭圆形,沿长轴方向具定向性。

型富液盐水包裹体:属次生包裹体。室温下 为两相,菱形,大小为 5~10 m,多沿方解石微裂隙 面分布。见于 3 号,4号矿体的方解石中。

型单相盐水包裹体:属次生包裹体。室温下 为液相,大小为 5~10 m,以菱形为主,少数呈不规 则状,沿方解石微裂隙面分布。

3 流体包裹体显微测温

采用英国 TH600 冷热台、英国产 HMS600 冷 热台及法国产 chaixeca 冷热台等仪器对 19 件样品 进行了测温,结果如下:



Fig. 2 Homogeneous temperature and salinity

histogram of fluid inclusions in Yangshan Au deposit A. 阳山金矿床所有流体包裹体均一温度(Th)统计直方图 B. 阳山金矿床 305 号金矿体流体包裹体均一温度(Th)统计直方图 C. 阳山金矿床所有样品流体包裹体盐度(S)统计直方图 D. 阳山金矿床 305 号金矿体流体包裹体盐度(S)统计直方图

3.1 均一温度

由均一法获得均一温度数据近 60 个, 其统计处 理结果如图 2 所示。从图 2A 可知, 本区均一温度分 布范围为 105~310,总体显示 3 个峰值范围, 从高 到低依次为 310~260,240~220,190~150。 区内 305 号主矿体也有 3 个温度集中区, 由高到低 依次为 270~220,190~180,150~140(图 2B)。流体包裹体在显微测温过程中相变方式多样。 大多可均一为液相, 少量样品液 液不混溶。

3.2 盐度

由冷冻法获得的盐度资料表明,阳山金矿床成 矿流体盐度变化范围 w (NaCl) = 1.6% ~ 10.6% 之 间(图 2C)。主要集中在 1.6% ~ 6.5% 之间。305 号金矿体流体包裹体盐度分布范围与区内的盐度统 计结果接近(图 2D)。但在观察值的频率分布上存 在差别,305 号脉的盐度集中于 w (NaCl) = 1.6% ~ 2.5%,3.5% ~ 5.5%,8.5% ~ 9.5% 区间。

3.3 密度和压力估计

在已获得的流体包裹体显微测温数据基础上, 选取不同体系的相图投影,估计本区的流体密度在 0.35~1.02 g/cm³。选用含 CO2三相包裹体,根据其 镜下特征和相变特点,参考 CO_2 ·H₂O 体系相图(张 文淮, 1993)估计出阳山金矿 305 号脉的形成压力为 400 10⁵~800 10⁵ Pa,若按 275 10⁵ Pa/km 推 算,成矿深度约为 1.5~2.9 km,属于中等深度。

4 流体包裹体成分分析

流体包裹体化学成分分析采用热爆法打开包裹 体,使用国产 SP3420 型气相色谱仪、日本产日立 180-80Aas原子吸收光谱仪及日本产日立 220A 型紫 外可见分光光度计及质谱仪,对样品石英和方解石 中流体包裹体的气相液相成分和氢氧同位素进行了 分析。

- 4.1 气相成分(表1)
- 4.2 液相成分(表 2)
- 4.3 氢氧同位素组成

对石英氧同位素和其中的流体包裹体中水的氢 同位素分别进行了测试,后据 N. clayton(1972)的计 算公式计算出水的氧同位素值(表 3)。将水的氢氧 同位素值投点(图 5)。

表1 阳山金矿床流体包裹体气相成分分析结果

Table 1 Analyses of gas phase in fluid inclusions of Yangshan gold deposits

 $w_{\rm B}/10^{-6}$

位置	样号	主矿物名称	H_2O	CO_2	H_2	CO	CH ₄	CH_4 + H_2 + CO/CO_2
高楼山矿段	GL3	石英	1100.0	322. 51	0.20	0.50	0.20	0.020
阳山矿段	ZK47-1	方解石	581.23	592.64	0.08	1.05	0.50	0.010
安坝矿段	An5-1-4	石英	1210.3	402.75	0.21	0.55	7.01	0.050
葛条湾矿段	葛1	石英	801.50	558.15	0.16	0.65	5.57	0.030
安坝矿段	ZK 035-2	石英	150.0	44.0	0.06	0.05	0.02	0.007
安坝矿段	ZK 035-8	石英	300.0	85.0	0.08	0.07	0.02	0.020
安坝矿段	ZH035-11	方解石	320.0	870.0	0.11	0.50	0.05	0.004
安坝矿段	ZK001-12	石英	780.0	400.0	0.17	0.07	0.02	0.009
安坝矿段	A B1 1	石英	980.0	500.0	0.20	0.09	0.03	0.007
葛条湾矿段	402	石英	720.0	460.0	0.14	0.06	0.02	0.007

测试者: 宜昌地质矿产研究所, 李桃叶。

表 2 阳山金矿床流体包裹体液相成分分析结果

Table 2 Analyses of liquid phase in fluid inclusions of Yangshan gold deposits

 $w_{\rm B}/10^{-6}$

			I III			0	0.0	· · · · · · · ·			b
位置	样号	主矿物名称	K+	$\mathrm{N}\mathrm{a}^{+}$	Ca ²⁺	$Mg^{2\!+}$	Li^{+}	F-	Cl-	HCO3	SO_4^{2-}
高楼山矿段	GL 3	石英	10.10	16.29	8.44	7.12	3.150	0.20	24.50	140.0	28.2
阳山矿段	ZK 47-1	方解石	1.33	4.72	110.46	3.42	0.010	0.30	7.80	15.0	211.2
安坝矿段	An5-1-4	石英	7.16	11.63	4.51	1.12	3.110	1.00	17.10	11.0	71.0
葛条湾矿段	葛1	石英	0.79	2.40	1.16	0.37	0.025	0.25	4.95	5.0	14.1
安坝矿段	ZK 035-2	石英	1.59	3.01	1.57	0.373	0.005	0.24	5.45	1.40	5.0
安坝矿段	ZK 035-8	石英	0.05	3.50	0.75	0.153	0.115	0.11	5.80	0.71	2.5
安坝矿段	ZH035-11	方解石	0.06	4.72	260.22	300.60	0.020	0.45	47.61	218.10	15.0
安坝矿段	ZK001-12	石英	0.97	5.91	0.17	0.100	0.170	0.33	8.01	0.50	0.2
安坝矿段	A B1 1	石英	0.48	7.38	1.19	0.442	0.570	0.40	11.05	1.14	0.3
葛条湾矿段	402	石英	1.68	2.15	3 22	0.728	0.030	0.27	4 80	14, 10	0.5

测试者: 宜昌地质矿产研究所, 李桃叶。

表 3 阳山金矿床流体包裹体氢氧同位素测试结果

Table 3 Analyses of H & O isotopes in fluid inclusions of Yangshan gold deposits

样	号	测定对象	均一温度	(D包裹体(SMOW))/10 ⁻³	$(^{18}O_{\Xi_{(SM OW)}}) / 10^{-3}$	(¹⁸ O _{H2} O(SMOW))/10 ⁻³
GL	3	石英	240	- 91.3	- 3.23	- 12.13
GL	3	石英	240	- 92.4	- 3.09	- 11.99
BT S	13	石英	230	- 86.9	0. 41	- 8.48
葛	1	石英	240	- 62.9	- 1.25	- 10.15

测试者: 宜昌地质矿产研究所, 李华芹。



图 3 阳山金矿床流体包裹体气相成分 摩尔比值自然对数图解





图 4 阳山金矿床流体包裹体液相成分 阴离子摩尔比值自然对数图解

Fig. 4 Natural logarithm diagram of percentage of anion composition in liquid of fluid inclusions in Yangshan gold deposits

5 讨论

从包裹体的类型来看,其类型多样,反映出成矿 流体有多种来源,并经历了多个演化阶段。

从均一温度反映出包裹体形成于中低温环境。 温度总体上呈 3 个峰值, 而包裹体盐度测试结果也 显示出 3 个峰值, 两者有相似结构特征。清楚地反 映出多阶段多期次成矿过程。主成矿阶段在 200 左右。由于本区有脉岩出露, 并部分矿化, 且其所测 年龄接近石英年龄。所以较高温度的出现可能是岩 浆活动所致, 反映了岩浆活动在一定程度上参与了 成矿过程。



図 5 阳山玉 (木 氢 単 回 位 条 组成 及 与 类似矿床对比图^[2,3,4,5,6] (阳山金矿床数据投点) Fig. 5 Illustration of H and O isotopes composition

in Yangshan gold deposits

包裹体气相成分以 H₂和 CO₂为主, H₂, CO, CH₄ 等还原性气体含量较低。还原参数在 0.009~ 0.05 之间。成矿流体呈弱还原性。同时从图 3 中可见 CH₄的含量变化较大, 按 CH₄含量可将其明显分为两 类。可见成矿流体在成矿过程中其还原性的强弱发 生了变化, 这一变化可能导致了金的沉淀成矿。

流体包裹体液相成分中阴离子以 CI^- 和 HCO_3 为主, 贫 F^- , $SO_4^{2^-}$ 含量变化大(图4); 阳离子以 Na^+ 和 Ca^{2+} 为主。其中 Na^+/K^+ 值为 1. 37~ 199, 大部分< 10, $F^-/C\Gamma$ 值为 0. 03~ 0. 14。根据 Rodder (1972)、张德会等(1998)^[7]的观点并结合较低的盐 度判断成矿热液主要是大气热液或地下热卤水。

在低温、低盐度、中到碱性 pH 值、高 H₂S 活度 和较低的氧逸度的热液中,有利于金呈 Au(HS)² 络 离子形式迁移^[8]。利用流体包裹体成分分析资料获 得 pH 值为 6.71~7.1,还原参数在 0.009~0.05 之 间,属于中性偏弱碱性和弱还原性环境。结合其矿 物组合特征推测金可能以 $[Au(HS)_2]^-$ 络离子形式 迁移。

包裹体的氢氧同位素测试结果显示 (${}^{18}OH_{2}O$) = - 12.13 10⁻³~ - 8.48 10⁻³, 据此可以认为本 区的水与大气降水有关, 至少有不少大气降水混入。 在图 5 中可见, 氢氧同位素组成在雨水线附近, 接近 于板 其和 Y 他 金矿 床。此外 本区流体 包裹体 ($DH_{2}O$) = - 92.4 10⁻³~ - 62.9 10⁻³, 与世界上 不同地区岩浆水的 (D(SMOW)) 值范围相似。该结果 反映成矿流体以大气降水为主, 岩浆水可能也不同 程度地参与了成矿作用, 这与矿区内脉岩发育的地 质特点基本一致。

6 结论

通过对阳山金矿床流体包裹体研究获得以下认 识:

(1)流体包裹体类型多样,共分为两种成因9种类型;

(2)流体包裹体形成于中低温度、中低盐度、中 低压力的环境下;

(3) 流体包裹体气相成分以H₂和 CO₂为主, 还原 性气体较少, 液相成分以 Cl⁻ 和 H CO₃ 为主, 成矿流 体呈中性偏弱碱性、弱还原性;

(4)成矿流体以大气降水为主,岩浆水也有少量加入。

致谢:野外工作得到了武警黄金部队十二支队 及一中队各级领导和同志们的大力协助,这里表示 衷心感谢。

参考文献:

- [1] 郭俊华,齐金忠,孙彬,等.甘肃阳山特大型金矿床地质特征及成因[J].黄金地质,2002,8(2):15-19.
- [2] 李泽琴,李福春,王奖臻,等.桂西金牙微细浸染型金矿床同位 素地球化学研究[J].矿物岩石,1995,15(2):66-72.
- [3] Greg B. Arehart. Characteristics and origin of sediment- hosted disseminated gold deposits: a review [J]. ore geology reviews, 1996, 11(6).
- [4] 付绍洪, 王苹. 川西北马脑壳金矿床流体包裹体研究及对成矿 条件的制约[J]. 岩石学报, 2000, 16(4): 569-574.
- [5] 郑明华,周渝峰.四川东北寨微细浸染型金矿床的同位素组成 特征及其成因意义[J].地质科学,19(2):159-173.
- [6] 袁万春,李院生. 滇黔桂地区 汞锑金 砷等低 温矿床 组合碳、氢、 氧、硫同位素地球化学[J]. 矿物学报, 1997, 17(4):422-426.
- [7] 张德会,刘伟. 流体包裹体成分与金矿床成矿流体来源以
 河南西峡石板沟金矿床为例[J]. 地质科技情报 1997, 17(增刊):67-71.
- [8] 刘英俊, 马东升. 金的地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1991.

CHARACTERS OF FLUID INCLUSIONS AND DISCUSSION ABOUT IT S GEOLOGICAL MEANING IN YANGSHAN GOLD DEPOSITS, GANSU PROVINCE ZHAO Bai-sheng, LIU Wei

(Resource Institute, China University of Geoscience, Wuhan, 430074, China)

Abstract: Yangshan gold deposit situated in Gansu province is a super-large micro-disseminated gold deposits hosted in Devonian metamorphic detrital rock. Study on fluid inclusions of quartz and calcite show that there are nine physical types of fluid inclusions. Their homogenization temperature range is $105 \sim 310$, the salinity 1. $6\% \sim 10.6\%$, the density $0.35 \sim 1.02 \text{ g/cm}^3$, and the metallogenic pressure is about 400 $10^5 \sim 800 \quad 10^5$ Pa. The metallogenic fluid is neutral to weakly alkalic and reduced, mainly derived from ancient meteoric water, in some extent magma water also participated in mineralization.

Key words: fluid inclusions; characters; Yangshan gold deposits; Gansu province