

吉南二道沟金矿成矿流体物理化学 条件及其地质意义*

孙晓明 姚德贤

任启江

(中山大学地质学系, 广州 510275) (南京大学地球科学系)

摘要 吉南二道沟金矿是太古代 TTG 质片麻岩直接赋矿的典型金矿矿例, 但长期以来被视为绿岩带型金矿. 流体包裹体及同位素研究表明其成矿流体温度和压力分别为 310-410°C 和 $(455 \sim 950) \times 10^6$ Pa, 成矿流体液相富含 Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} 等, 盐度为 7.21-25.1 wt% NaCl (平均为 12.34 wt% NaCl), 而气相富含 CO_2 和 CH_4 ; 流体的 f_{O_2} 和 f_{H_2} 分别为 $10^{-25.2}$ Pa 和 $10^{3.4}$ Pa; $W^{\text{H}}_{\text{O}_2}$ 和 W^{D} 分别为 +5.90‰~+6.86‰ 和 -85.98‰~97.07‰, 而 W^{C}_{C} 和 W^{S}_{S} 分别是 -2.59‰~+0.74‰ 和 +1.5‰~+9.0‰ (平均为 +5.5‰), 成矿流体富含放射性成因铅. 研究显示二道沟金矿成矿流体主要由岩浆热液组成, 其成因与本区中新世代岩浆活动有关, 其一系列物理化学性质与典型太古代绿岩带型金矿存在明显区别.

关键词 二道沟金矿, 成矿流体, 物理化学条件, 太古代绿岩带金矿, 太古代高级变质地体

太古代变质地体是金矿床的最主要赋存体之一, 它主要由花岗-绿岩地体和高级变质地体组成. 对前者中的金矿床, 多年来人们已进行了详尽的研究, 而后者则长期被视为找金禁区, 但近年来国外在主要由 TTG 质 (奥长花岗质-英云闪长质-花岗闪长质) 岩石组成的太古代高变地体中也发现了一系列金矿床, 著名者如加拿大 Renabie^[1]、津巴布韦伦科^[2,3]等, 这是矿床学最新进展之一^[1]. 我国华北地台上一些太古代高变地体经过多期强烈韧性变形和岩浆活动以后, 也形成了一系列金矿床, 著名者如夹皮沟金矿带、金厂峪金矿区等^[4], 对这些新型金矿成矿机制的研究无疑具有重要的理论和实际意义. 本文以吉南太古代高变地体中的二道沟金矿为例, 探讨了其成矿流体物理化学条件和矿质来源, 并将其与典型绿岩带型金矿进行了对比.

1 矿床地质概况

二道沟金矿位于著名的夹皮沟金矿带东南部, 是夹皮沟地区开采最深和采金量最大

收稿日期: 1995-07-03

* 国家自然科学基金资助项目

1) 涂光炽. 矿床学新进展. 广东省矿物岩石地球化学学会通讯, 1992, 2

的金矿床之一, 其地质特征在夹皮沟一系列大中型金矿床中具代表性. 该金矿赋矿地层为太古代夹皮沟片麻岩, 岩性主要为 TTG 质斜长片麻岩夹拉斑玄武岩质斜长角闪岩, 但矿体则主要分布在海西期花岗闪长岩脉两侧 (图 1), 局部可切割花岗闪长岩脉, 表明其主要成矿期在海西期以后. 金矿体中钾长石的 $K-Ar$ 年龄为 161Ma, 亦说明了其成矿可能延及燕山期. 金矿体一般为近 SN 走向, 倾角为 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$. 金矿石类型主要为含金硫化物石英脉, 其中矿石矿物主要有黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、毒砂、磁铁矿及银金矿, 矿体两侧围岩蚀变为绿泥石化、绢云母化、铁白云石化及黄铁绢英岩化等, 有时在矿脉中夹有条带状的均已蚀变为绿泥石的围岩.

大部分研究者坚持认为夹皮沟一系列金矿床, 包括二道沟金矿属典型的绿岩带型金矿^[5,6], 虽然亦有部分学者提出了不同意见^[7,8].

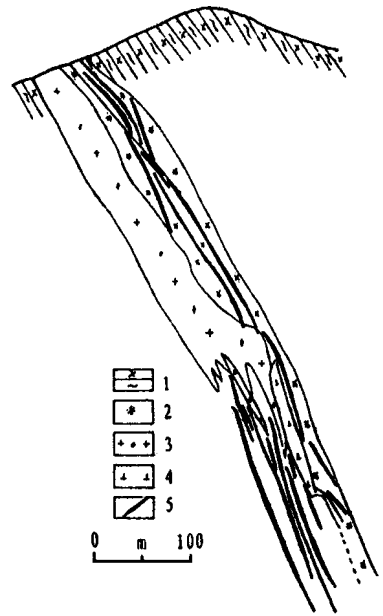


图 1 二道沟金矿 0 线地质剖面图
Fig. 1 Profile of explorational line
0 of Erdaogou gold deposit
1 TTG 质斜长片麻岩; 2 碎裂岩; 3 海西期花岗闪长岩脉; 4 苏长岩; 5 含金硫化物石英脉 (据吉治 604 队改编)

2 成矿流体组成及物理化学条件

2.1 成矿流体包裹体特征

二道沟金矿含金石英等透明矿物的原生包裹体多为不规则状, 大小从 $5\mu m \times 5\mu m$ 到 $40\mu m \times 40\mu m$, 见大量 CO_2 包裹体, 在硫化物周围包裹体数量增加, 且直径增大. 包裹体无色透明, 均未见任何子矿物, 说明其成矿流体盐度不会很高.

2.2 成矿流体温度和压力

对含金硫化物石英脉中的气液包裹体进行了均一法温度测定 (图 2), 其均一温度大部分落在 $220 \sim 350^{\circ}C$, 峰值约为 $280^{\circ}C$.

采用 CO_2 比容法 (李兆麟, 1988) 和盐度法 (Roedder, 1989)^[9] 对流体压力进行了估算, 压力为 $(455 \sim 950) \times 10^5 Pa$, 平均为 $660 \times 10^5 Pa$. 两种方法所得结果相近, 但亦有个别差异较大.

据估算的成矿压力值对石英包裹体均一温度进行了校正, 校正值约为 $60^{\circ}C$, 故成矿流体实际成矿温度约为 $310 \sim 410^{\circ}C$, 峰值为 $340^{\circ}C$, 此与胡安国等 (1985) 用黄铁矿-方铅矿共生矿物对 W^1S 所求得的硫同位素平衡温

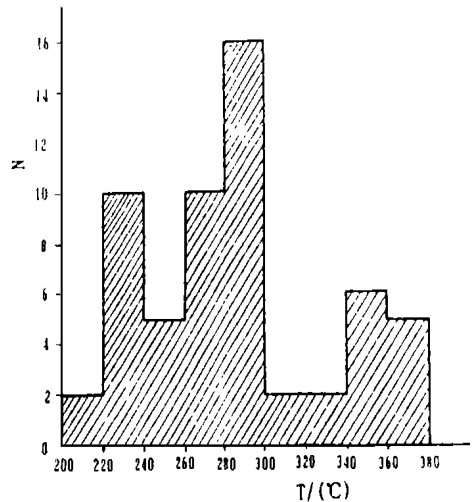


图 2 二道沟金矿成矿流体均一温度直方图
Fig. 2 Homogenization temperature histogram of ore-forming fluids of Erdaogou gold deposit

度 ($T=321^{\circ}\text{C}$, $n=5$) 十分相似¹⁾。

2.3 成矿流体液相和气相组成

对含金石英脉的气液包裹体进行了液相成分测定, 结果见表 1. 可见成矿流体中 Ca^{2+} , Cl^- , Na^+ 较富, 且绝大多数样品 $\text{Cl}^- > \text{F}^-$, $\text{Na}^+ > \text{K}^+$. 由于技术条件所限, 只能测定 SO_4^{2-} , 而实际上流体中 HS^- 等的浓度可能亦很高.

成矿流体气液包裹体气相色谱分析结果见表 1, 可见除 CO 和 H_2O 外, CO_2 和 CH_4 亦较多, CO_2 和 CH_4 平均含量为 9.66×10^{-2} 和 $2.37 \times 10^{-2} \text{ml/g}$.

表 1 二道沟金矿成矿流体液相和气相成分

Tab. 1 Liquid-phase and gaseous-phase compositions of ore-forming fluid of Erdaogou gold deposit

样号	矿物组合*	pH	Eh/mV	电导率 $\mu\text{V}\cdot\text{cm}$	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	CO	CH_4	CO_2	H_2O
P27	Q	6.88	47.97	125	0.44	1.29	3.01	0.73	2.14	0.50	1.80	1.69	228.66	3.94	9.11	172.22
P28	Q ⁺ Sul	6.04	97.67	115	1.13	1.91	0.94	2.00	1.46	0.32	0.67	4.15	68.18	0.84	10.56	125.75
P29	Q ⁺ Cc	6.89	47.39	94	1.55	1.33	6.10	2.92	4.43	0.27	1.93	5.51	110.35	2.38	7.56	104.55
P35	Q ⁺ Sul	6.85	49.75	145	0.47	0.81	7.84	2.14	3.96	0.38	0.74	6.41	197.80	2.55	11.21	110.61
P36	Q ⁺ Sul	6.80	52.71	98	0.82	0.87	3.51	2.59	3.28	0.42	0.37	3.37	32.39	2.16	9.86	83.84

* 矿物代号: Q, 石英; Sul, 硫化物; Cc, 方解石

2.4 成矿流体盐度

对含金石英脉中气液包裹体采用冷台测定其冰点, 并换算成相应的盐度 (表 2), 可见其值变化较大, 在 7.2~25.1 w% NaCl 之间变化, 平均为 12.34 w% NaCl, 为中等盐度. 有必要指出的是, 在一些文献中²⁾, 二道沟金矿成矿流体盐度可高达 37 w% NaCl. 这些数据看来是值得考虑的, 因为大量气液包裹体镜下观察均未发现任何子矿物. 作者认为太古代地体中金矿成矿流体常含较多 CO_2 和 CH_4 等, 它们的存在可使成矿流体盐度测定偏高, 其原因在于冷却时有 CO_2 水化合物 $\text{CO}_2 \cdot \frac{5}{2} \text{H}_2\text{O}$ 形成. 作者对本矿中 CO_2 包体在冷却过程中先确定 CO_2 水合物熔点, 后据 Collins (1979) 图解查出实际盐度, 其结果与非 CO_2 包体测定的盐度相似 (表 2).

表 2 二道沟金矿成矿流体盐度

Tab. 2 Salinity of ore-forming fluid of Erdaogou gold deposit

样品	包裹体类型	冰点 $^{\circ}\text{C}$	盐度 w% NaCl	样品	包裹体类型	冰点 $^{\circ}\text{C}$	盐度 w% NaCl
R06	气液包体	-14.7	18.20	P36-1	气液包体	-7.9	11.50
P35-1	气液包体	-9.9	13.90	P36-2	CO_2 包体	+3.1	11.90
P35-2	气液包体	-4.8	7.70	P36-3	CO_2 包体	+4.2	10.20
P35-3	气液包体	-4.4	7.20	P10-1	气液包体	-8.5	12.00
P35-4	气液包体	-5.0	7.89	P10-2	气液包体	-11.9	15.80
P35-5	气液包体	-4.9	7.72	P10-3	气液包体	-25.2	25.10
P35-6	CO_2 包体	+5.1	8.80	P10-4	气液包体	-23.9	24.80
P21-1	气液包体	-5.9	9.07	P28	气液包体	-6.0	9.21
P21-2	CO_2 包体	+5.1	8.80				

1) 胡安国. 吉林冶金地质勘探公司科研报告. 1985

2.4 成矿流体 f_{O_2} 和 f_{H_2S}

利用绿泥石端员组份化学成分法估算了二道沟金矿成矿流体 f_{O_2} 和 f_{H_2S} 值^[10].

假设绿泥石—磁铁矿—磁黄铁矿—黄铁矿共生并达到相应平衡时,即存在下列反应:

- ① $Chl(2) + 5/3 Fe_3O_4 + 10/3 SiO_2 + 10/3 H_2O = Chl(3) + 5/6 Chl(1) + 5/6 O_2$
- ② $Chl(2) + 10 FeS + 5/2 O_2 + 10/3 SiO_2 + 10/3 H_2O = Chl(3) + 5/6 Chl(1) + 5 FeS_2$
- ③ $Chl(2) + 5 FeS + 10/3 SiO_2 + 25/3 H_2O = Chl(3) + 5/6 Chl(1) + 5 H_2S$
- ④ $Chl(2) + 5/2 Fe_3O_4 + 10/3 SiO_2 + 5 H_2S = Chl(3) + 5/6 Chl(1) + 5/2 FeS_2 + 5/3 H_2O$

式中: Chl(1), Chl(2)和 Chl(3)分别代表绿泥石端员组份 $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$, $Mg_5AlSi_3AlO_{10}(OH)_8$, $Fe_5AlSi_3AlO_{10}(OH)_8$.

矿区蚀变围岩和含金石英脉常见上述四种矿物共生组合,因而可利用上述反应式计算成矿流体 f_{O_2} 和 f_{H_2S} .

表 3 列出了含金石英脉两侧蚀变岩及脉岩中绿泥石的电子探针波谱分析结果,其中 P36 为条带状含金石英脉中围岩条带绿泥石的成分. Chl(1), Chl(2)和 Chl(3)的活度 T_1 , T_2 和 T_3 计算方法见文献 [10]. 磁黄铁矿中 FeS 活度 T_{FeS} 经电子探针分析为 0.852, 成矿温度峰值为 $340^\circ C$, 但为方便选择平衡常数, 计算时上述反应平衡温度采用 $350^\circ C$. 在 $350^\circ C$ 和 1kb 条件下水的逸度 f_{H_2O} 为 1.26, 据上述条件计算得二道沟金矿成矿流体 f_{O_2} 和 f_{H_2S} 变化范围见图 3, 其平均值分别是 $f_{O_2} = 10^{-25.2} Pa$; $f_{H_2S} = 10^{3.4} Pa$.

表 3 二道沟金矿蚀变围岩中绿泥石电子探针分析值 (%)^①

Tab. 3 Microprobe analyses of chlorites in altered host rocks of Erdaogou gold deposit

样号	P63	P50	P56	P58	P36	样号 ^④	P63	P50	P56	P58	P36
岩性	花岗闪长岩	黄铁绢英岩	绢英岩	斜长片麻岩	含金石英脉	岩性	花岗闪长岩	黄铁绢英岩	绢英岩	斜长片麻岩	含金石英脉
SiO ₂	25.71	28.67	25.60	35.15	28.37	Si	4.840	5.409	4.810	6.356	5.190
TiO ₂	0.08	0.28	0.03	0.70	0.00	Al ^{IV}	3.160	2.501	3.190	1.644	2.810
Al ₂ O ₃	19.50	18.55	19.79	16.35	23.68	Al ^{IV}	1.166	1.533	1.191	1.840	2.295
FeO	21.19	25.84	18.74	18.24	15.40	Ti	0.011	0.079	0.004	0.095	0.000
MnO	0.17	0.17	0.21	0.12	0.00	Fe ³⁺	3.337	4.078	2.945	2.759	2.357
MgO	20.17	13.98	22.01	17.35	17.96	Mn	0.027	0.027	0.033	0.018	0.000
CaO	0.06	0.21	0.13	0.43	0.13	Mg	5.662	3.932	6.165	4.677	4.899
K ₂ O	1.01	1.36	0.02	0.91	2.86	Ca	0.012	0.042	0.026	0.083	0.026
小计 ^②	87.88	89.07	86.53	89.25	88.39	K	0.243	0.327	0.005	0.210	0.668
H ₂ O ^③	11.52	11.49	11.56	12.20	12.00	绿泥石分类	脆绿泥石	蠕绿泥石	脆绿泥石	铁斜绿泥石	蠕绿泥石
合计	99.40	100.56	98.09	101.45	100.39						

① 所有数据为作者于澳大利亚墨尔本大学用 SX-50 型电子探针测得; ② 为电子探针实测总量;

③ 采用电价平衡法计算得到的 H₂O 含量; ④ 以 20 个 O 原子及 16 个 OH 为基础计算得到的结构式

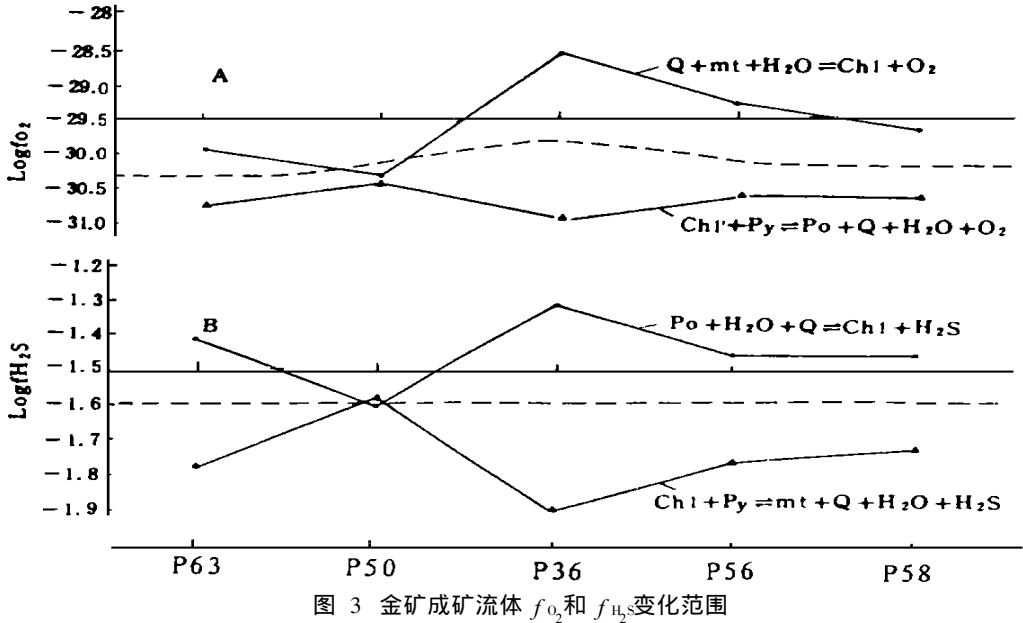


图 3 金矿成矿流体 f_{O_2} 和 f_{H_2S} 变化范围

Fig. 3 Range of f_{O_2} and f_{H_2S} of ore-forming fluids in Erdaogou gold deposit

3 成矿流体同位素组成及矿质来源

3.1 氢氧同位素 (W_D , W^8O) 组成

含金石英脉中石英的 W^8O 为 + 11.49‰ ~ + 12.45‰, 平均为 11.97‰ (表 4). 据 Clayton (1972) 石英与水的氧同位素平衡方程, 取均一温度 340°C, 得到成矿流体氧同位素组成 $W^8O_{H_2O}$ 为 + 5.902‰ ~ + 6.864‰, 平均为 + 6.383‰, 属于典型岩浆热液. 此外, 对含金石英脉中石英气液包体水的 δD 测定结果为 - 85.98‰ ~ - 97.07‰, 平均为 - 91.82‰, 将成矿流体 $W^8O_{H_2O}$ 和 W_D 投到图 4, 可见 P35 落在岩浆水范围内, P36 稍偏移一些.

表 4 二道沟金矿流体 W^8O 和 W_D 组成

Tab. 4 W^8O and W_D of ore-forming fluids

样号	W^8O_Q (‰)	$W^8O_{H_2O}$ (‰)	W_D
P35	12.459	+ 6.864	- 85.98
P36	11.495	+ 5.902	- 97.07
P-125	/	/	- 92.40 ¹⁾

1) 来自胡安国, 1985

3.2 碳、氧同位素 (W^3C , W^8O) 组成

含金石英脉两侧碳酸盐蚀变矿物铁白云石的 W^3C 和 W^8O 分别为 - 2.5‰ ~

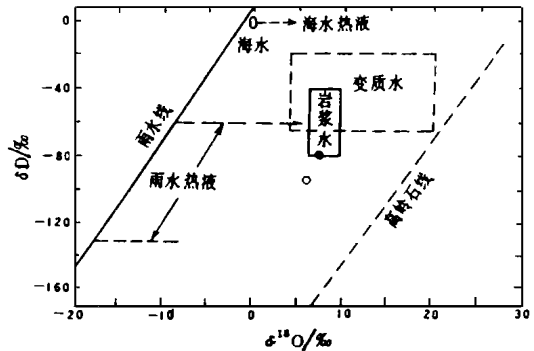


图 4 二道沟金矿成矿流体 W_D - W^8O 投影图

Fig. 4 Projection of ore-forming fluids of Erdaogou gold deposit on W_D - W^8O diagram

+ 0.74‰和+ 9.16‰~+ 12.56‰, 采用 Rye (1966)的方解石—水 $W^{18}O$ 平衡公式近似求得与碳酸盐矿物达到平衡的成矿流体 $W^{18}O$ 为+ 2.168‰~+ 5.572‰, 略低于由石英求得的 $W^{18}O$ 值。

Ohmoto (1979) 认为在较氧化 (不存在石黑) 中性或略酸 (绢云母可稳定存在) 及 300~ 500°C条件下, 热液中溶解的总碳 $W^{13}C$ 值与其形成的铁白云石 $W^{13}C$ 相似或略重一些。这些条件均为二道沟金矿成矿流体所满足, 故流体溶解的总碳 $W^{13}C$ 约为 - 2.59‰~+ 0.74‰, 此值高于典型的岩浆或幔源碳 ($W^{13}C$ 为 0), 可以认为其中碳除岩浆来源外, 部分可能来自于充填在斜长角闪岩的原岩——拉斑玄武岩气孔中的海相碳酸盐矿物。

3.3 硫同位素 ($W^{34}S$) 组成

表 5可知各种主要硫化物的 $W^{34}S$ 均为不大的正值, 一般为+ 1‰~+ 5‰。中等氧化 (不存在石墨或重晶石) 条件下, 热液中结晶的黄铁矿 $W^{34}S$ 与流体中溶解的总硫 $W^{34}S_s$ 相似 (Ohmoto, 1972), 因此二道沟金矿成矿流体 $W^{34}S_s$ 变化范围为+ 1.5‰~+ 9.0‰, 平均为+ 5.5‰, 说明硫主要来自本区属于同熔型花岗岩系列的海西期花岗岩闪长岩。

表 5 主要硫化物 $W^{34}S$ 组成

Tab. 5 $W^{34}S$ composition of major sulfides ‰

矿物	样品数	$W^{34}S$ 变化范围	$W^{34}S$ 平均值
黄铁矿	36	+ 1.5~+ 9.0	+ 5.5
黄铜矿	1	/	+ 3.09
闪锌矿	4	+ 3.5~+ 5.0	+ 4.2
方铅矿	5	+ 1.6~+ 3.6	+ 3.21

3.4 铅同位素组成

二道沟金矿中方铅矿和黄铁矿的铅同位素组成见表 6, 其 $^{206}Pb/^{204}Pb$, $^{207}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 显示了较大的离散程度, 而据 H^o-H 法计算的单阶段模式年龄在 1000~1500Ma之间, 远大于金矿实际成矿年龄, 说明矿石铅为多阶段异常铅, 其来源除显生宙花岗岩侵入所带来的高放射性成因铅外, 还加入了部分太古代老地层的铅。

综上所述, 二道沟金矿床成矿流体主要来自岩浆热液, 局部混杂了地壳物质, 因而它是一种较典型的岩浆热液金矿床。

4 讨论和结论

作者将二道沟金矿作为太古宙高变体中 TTG直接赋矿的典型矿例与国外太古代绿岩带型金矿进行了对比 (表 7), 可以发现其各自成矿流体物理化学特征虽在一些方面相似, 但也在许多方面存在明显区别, 如成矿压力、成矿流体盐度、成矿流体 $W^{18}O$ 和 $W^{34}S$ 同位素组成 (特别是 $W^{34}S$) 及铅同位素组成, 这些区别反映了两者在成矿机制上的本质不同。太古代绿岩带型金矿多受到韧性剪切带的严格控制, 其成矿流体以变质热液为主, 其围岩多为基性、超基性岩及其变质岩, 成矿流体中 Cl^- 和 Na^+ 含量均较低, 因而成矿流体盐度普遍 < 2 wt% NaCl, 同时由于其成矿时代较早, 与绿岩带形成同时或稍晚, 故成矿流体中可能有大量海水加入, 故 $W^{18}O$ 常较高, 有时甚至出现正值, 而放射性成因铅含量很低。相反, 二道沟金矿成矿流体以岩浆水为主。由于在岩浆热液体系中, Cl^- 具有较高的流体/熔体分配系数, 加上与其发生水岩反应的围岩多为高 Na的 TTG质灰色片麻岩, 故成矿流体显示了较高的 Cl^- , Na^+ 和盐度, 而成矿流体中大气降水的加入使 $W^{18}O$ 有所降低, 此

外, 由于其成矿时代较晚, 故铅同位素组成上显示了较高的放射性成因铅。

表 6 二道沟金矿矿石矿物铅同位素组成

Tab. 6 Lead isotope composition of ore minerals of Erdaogou gold deposit

样号	测定矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	资料来源	H ^e H年龄 /Ma
P36	黄铁矿	16.561	15.685	37.624	本文	1300
R06	黄铁矿	17.522	16.539	39.901	本文	1550
p45- 8	黄铁矿	16.658	15.760	38.216	本文	1450
R06	方铅矿	16.352	15.485	37.191	本文	1500
R07	方铅矿	16.691	15.840	38.051	本文	1550
Pb- 34	方铅矿	16.550	15.220	36.040	王义文, 1982	1100
10- 2	方铅矿	16.324	15.510	37.257	林尔为, 1985	1500
10- 3	方铅矿	16.350	15.481	37.181	林尔为, 1985	1500
10- 4	方铅矿	16.307	15.497	37.363	林尔为, 1985	1500
10- 5	方铅矿	16.506	15.520	37.574	林尔为, 1985	1400
10- 6	方铅矿	16.446	15.451	37.260	林尔为, 1985	1400
10- 7	方铅矿	16.790	15.730	37.900	王义文, 1982	1400
10- 8	方铅矿	16.040	15.150	37.700	王义文, 1982	1350
10- 9	方铅矿	16.339	15.483	37.157	王义文, 1982	1450
17- 3	燕山期花岗岩	18.570	15.730	38.020	王义文, 1982	200
17- 4	海西期花岗岩	18.920	16.070	39.020	王义文, 1982	400
17- 5	海西期花岗岩	17.310	15.090	36.530	王义文, 1982	400
三	三道沟组变质岩	16.190	14.870	35.060	涂光焯, 1988	1000

表 7 二道沟金矿成矿流体物理化学特征与绿岩带型金矿对比

Tab. 7 Comparisons of major physico-chemical characteristics of ore-forming fluids of Erdaogou gold deposit with those of greestone belt type gold deposits

金 矿	二道沟金矿	太古代绿岩带金矿 [*]
温度 / $^{\circ}\text{C}$	310~ 410	200 ~ 400
压力 /Pa	0.455~ 0.950, 平均 0.66	1~ 3, 一般 < 2
盐度 (w% NaCl)	7.2~ 25.1, 平均 12.34	< 6, 一般 < 2
成分	$\text{Cl}^- > \text{F}^- , \text{Na}^+ > \text{K}^+$, 富 CO_2, CH_4	$\text{CO}_2: 10\sim 25\text{mol}\%$
$\lg f_{\text{O}_2}$ /Pa	- 25.2	- 28~ - 24.7
$\lg f_{\text{H}_2\text{S}}$ /Pa	3.4	4.67~ 4.4
$W^{\text{8}}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}/\%$	+ 5.902~ + 6.864	+ 4.0~ + 10.0
$W^{\text{D}}/\%$	- 85.98~ - 97.07	- 50~ + 6
$W^{\text{3}}\text{G}_c/\%$	- 2.59~ + 0.74	- 8.7~ + 1.5, 平均 - 3.94($n= 488$)
$W^{\text{4}}\text{S}_s/\%$	+ 1.5~ + 9.0, 平均+ 5.5	+ 1~ + 6
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	16.040~ 17.522, 平均 16.531($n= 14$)	13.619~ 14.634, 平均 13.870($n= 27$)
$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	15.150~ 16.539, 平均 15.596($n= 14$)	14.714~ 15.080, 平均 14.818($n= 27$)
$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	36.040~ 39.901, 平均 37.601($n= 14$)	33.410~ 34.136, 平均 33.599($n= 27$)
时 代	海西期燕山期	2500~ 2900Ma

* 据 D. I. Groves (1988), A. C. Colvine等 (1984), S. D. Golding等 (1988) 等资料整理

因而,在太古代变质地体中除了典型的绿岩带金矿外,还存在赋存在TTG质片麻岩中、与中生代花岗岩有明显成因联系的岩浆热液型金矿床,它们之间存在一系列明显差别,这对长期处于不稳定环境的华北地台尤为重要。二道沟金矿即为其中一个典型矿例。随着研究的进一步深化,我们对此类新型金矿的成矿机制一定会有更多新认识。

致谢 工作过程中得到墨尔本大学地质系电镜室、La Trobe大学地质系矿物包裹体实验室、西澳地质调查所、二道沟金矿地测科、南京大学地科系分析中心及王德滋、刘英俊、赵梅芳、顾国华、P. J. M^cGoldrick、Kevin Johnson、Pate Kelly等的大力支持,在此表示衷心谢忱!

参 考 文 献

- 1 Callan, N J, Spooner, E T. The Geology of Gold Deposits: The perspective in 1988. *Econ. Geol. Mono.* 6. 1989, 9~ 18
- 2 Bohm ue, F C. 地质科技动态. 1990(2): 26~ 29
- 3 李上森. 国外前寒武纪地质, 1992(3): 72~ 75
- 4 Sun X M, Xu K Q, Ren Q J et al. *JNanjing Uni.*, (Natural Sci. Ed.). 1993, 29(1): 104~ 114
- 5 沈保丰. 国外前寒武纪地质. 1987(2)
- 6 林宝钦. 金矿地质论文集. 北京: 地质出版社, 1986
- 7 于清义. 长春地质学院学报, 1987, 17(1)
- 8 孙晓明. 徐克勤. 任启江等. 科学通报, 1992, 37(14)
- 9 李兆麟. 实验地球化学. 北京: 地质出版社, 1988
- 10 Neall, F B. *Econ. Geol.* 1987, 82

Ore-forming Physicochemical Conditions of Erdaogou Gold Deposit of and Its Geological Significances

Sun Xiaoming Yao Dexian Ren Qiang*

Abstract Erdaogou gold deposit, located in the south of Jinlin province, China, is a typical example of gold deposits hosted in the Archaean TTG grey gneiss, but it has been referred to greenstone belt type gold deposit for a long time. Detailed fluid inclusions and isotopic studies show that the temperature and pressure of the ore-forming fluids are 310~ 410°C and $(455\sim 950) \times 10^5$ Pa respectively, whose fluid phase, with a salinity varying from 7.21 to 25.1 wt% NaCl, riches in Cl⁻, Na⁺ and Ca²⁺, while the gaseous phase contains relative large amount of CO₂ and CH₄; the f_{O_2} and f_{H_2S} of the

* Department of Geology, Zhongshan University, Guangzhou, 510275

fluid are $10^{-30.2}$ bar and $10^{-1.6}$ bar separately; its respective values of $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ and δD are $5.902\text{‰} \sim 6.864\text{‰}$ and $-85.98\text{‰} \sim -97.07\text{‰}$, while $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{34}\text{S}$ are $-2.59\text{‰} \sim +0.74\text{‰}$ and $1.5\text{‰} \sim 9.0\text{‰}$ (average 5.5‰), besides, the ore-forming fluid contains high contents of radiogenic Pb. It's believed that the metallogenetic fluid should be referred to typical magmatic solution and its genesis is related to the Mesozoic to Cenozoic magmatism in this area. Comparative studies show that the ore-forming fluid is quite different from that of typical Archaean greenstone belt type gold deposits.

Keywords Erdaogou gold deposit, ore-forming fluid, physicochemical conditions, Archaean greenstone belt type gold deposit, Archaean high grade metamorphic terrains