

四川会东小街金矿床成矿机理分析

王小春^{1,2}, 郑明华³, 张哲儒¹

(1. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002; 2. 西南冶金矿产勘查开发院, 四川 成都 610051; 3. 成都理工学院, 四川 成都 610059)

摘要: 四川会东小街金矿床为川西产于元古宙绿片岩地层中的菱铁矿型金矿床的典型代表。金矿体呈脉状产于中元古界会理群青龙山组碳质板岩、纹流质凝灰岩、变相面岩和花岗斑岩的内外接触带中, 受 EW 向基底断裂的次级断裂和层间破碎带的严格控制。矿石矿物组合为黄铁矿、毒砂、黄铜矿、黝铜矿族、Au-Ag 系列矿物、石英和菱铁矿。其成矿元素组合为 Au-Cu-Ag-Pb-Sb-As-Fe。围岩蚀变以硅化、粘土化和碳酸盐化(菱铁矿化、方解石化)为主。由稀土元素、同位素和流体包裹体特征可以推定, 矿石中矿质主要来自青龙山组板岩、千枚岩等, 流体可能主要属岩浆热液。含金硫化物石英脉体可能主要形成于澄江期。矿床是在浅成条件下由低密度、中等盐度的弱碱性-碱性流体在还原环境中生成的火山喷流沉积-区域变质预富集-岩浆热液改造型矿床。

关键词: 金矿床; 成矿机理; 川西

中图分类号: P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-558X (2000) 02-0009-08

四川会东小街金矿床为川西地区产于元古宙绿片岩地层中的菱铁矿型金矿床的典型代表^[1-3]。川西地区元古宇地层分布广泛, 但其中的金矿分布仍然是“只见星星, 不见月亮”, 金矿的勘查一直未获重大突破。对小街金矿床的深入解剖, 有助于拓宽该区及相似地区金矿的找矿思路

1 矿区地质概况

小街金矿床位于康滇地轴中段东缘元古宙地槽中^[4], 地处 SN 向小江断裂带西侧。区域构造为老油房复式向斜的北翼单斜构造, 控矿构造为近 EW 向的基底断裂。区域出露中元古界会理群 (Pt₂hl) 细碎屑岩、细碧-角

斑岩建造, 上震旦统-古生界海相细碎屑岩、碳酸盐岩建造和玄武岩建造。

矿区出露地层有中元古界会理群黑山组、青龙山组、淌塘组, 上震旦统观音崖组和灯影组 (图 1)。含矿地层青龙山组可分为两段, 下段 (Pt₂q¹) 为灰-深灰色层纹状千枚岩、板岩夹浅变质石英砂岩; 上段 (Pt₂q²) 为白云质灰岩、灰色板岩, 绿色、紫色片岩和钾长流纹质凝灰岩组成, 为主要含金层位。

矿区内发育近 EW、NNW、NE、NW 向 4 组断裂, 其中以近 EW 向的金锁桥 (F₁)、干沟断裂 (F₂) 规模最大, 长度大于 10 km, 明显控制着 Au、Ag、Cu 等矿化的分布。矿区内各矿段的富集部位均受两者的次级断裂控

收稿日期: 2000-01-17 李杰美编辑

基金项目: 国家攀登预选项目 (95 预-25) 资助

作者简介: 王小春 (1965-), 男, 重庆南川人, 西南冶金矿产开发院高级工程师, 博士, 主要从事矿床地质地球化学研究和勘查。

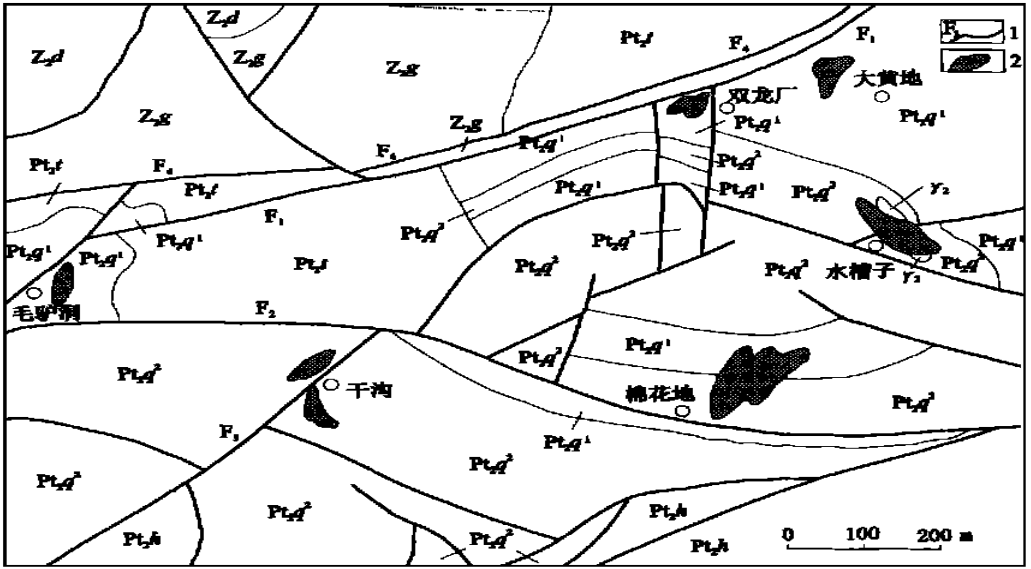


图 1 小街金矿地质图

Z_{2d}-灯影组; Z_{2g}-观音崖组; Pt_{2f}-淌塘组; Pt_{2g}¹、Pt_{2g}²-青龙山组上、下段; Pt_{2h}-黑山组; V₂-晋宁期花岗岩; 1-断层及编号: F₁-金锁桥, F₂-干沟, F₃-铜厂沟, F₄-中梁子; 2-金矿体

制。如干沟矿段位于干沟断裂的次级断裂——铜厂沟断裂带中;毛驴洞矿段则位于金锁桥断裂的次级断裂——焙烧沟断裂带中。NNW向断裂为一组近于平行的阶梯式正断层;NE向断裂发育最次。褶皱枢纽线呈近EW向,轴面近于直立。

矿区及其附近出露的侵入岩有辉绿岩、花岗斑岩。辉绿岩穿插于淌塘组碳质千枚岩、凝灰质千枚岩中。花岗斑岩主要为钾长花岗斑岩和二长花岗斑岩,其Ba、Cr、V含量较高。两者均可能属澄江期的产物。

2 矿床地质特征

金矿体呈脉状产于会理群青龙山组碳质板岩、流纹质凝灰岩、变粗面岩和花岗斑岩的内外接触带中,受EW向控矿断裂的次级断裂和层间构造破碎带的严格控制。已知矿体长63~143m,厚1.38~4.14m,含Au $2.42 \times 10^{-6} \sim 8.96 \times 10^{-6}$ 。

矿石呈脉状,对称条带状、角砾状和浸

染状,具晶粒交代、压力、固溶体分离、嵌晶和胶状等结构。围岩蚀变发育,有硅化、碳酸盐化(菱铁矿化、方解石化)、绢云母化、绿泥石化和粘土化,其中以硅化、粘土化和碳酸盐化为主。含粗晶米黄色-棕红色菱铁矿的含金多金属石英(白云石)脉交切围岩及细晶灰色层纹状菱铁矿,是本矿床金矿脉产出的突出特征。

矿石中金属矿物以黄铁矿、毒砂、黄铜矿、黝铜矿族和Au-Ag系列矿物为主,闪锌矿、磁黄铁矿、针硫铋铅矿、针铁矿、孔雀石和黄铜矿次之,偶见方铅矿、辉铜矿、纤铁矿、辰砂和雄黄。非金属矿物主要为石英、菱铁矿和方解石。黄铁矿主成分S/Fe值介于1.130~1.219之间,平均1.176,高于黄铁矿理论值(1.148),相对富S贫Fe。毒砂的主成分则贫As富S,显示低温型毒砂的特点。黝铜矿族矿物以砷黝铜矿为主,次为铋黝铜矿变种,其含Fe度 $Fe / (Fe + Cu) \times 100\%$ 介于55.7%~100%(平均88.0%),

含 Ag 度 $Ag / (Ag + Cu) \times 100\%$ 为 0~18.68% (平均 7.68%), 含 Sb 度 $Sb / (Sb + As) \times 100\%$ 为 0~99.62% (平均 42.7%)。Au-Ag 系列矿物主要与黄铁矿、毒砂、黝铜矿族、黄铁矿和针硫铋铅矿密切共生, 按产出部位分为: 1) 呈粒状包裹于毒砂、黄铁矿、黄铜矿和黝铜矿族中的包体金, 粒径 5~10 μ ; 2) 产于早成硫化物矿物 (如毒砂和黄铁矿) 和菱铁矿的裂隙中, 与晚成硫化物矿物 (如黄铜矿和黝铜矿) 共生的、呈脉状和枝叉状的裂隙金, 粒径 25~40 μ ; 3) 产于黄铁矿和毒砂或黄铁矿和黄铜矿, 或黄铁矿与黝铜矿族矿物晶粒之间的晶隙金, 粒径 10~20 μ 。此外, 在矿石中尚有相当量的金呈次显微金存在。电子探针分析结果显示^{①②}, Au-Ag 系列矿物的成色介于 427~933 之间, 以自然金和银金矿为主, 次为金银矿。由成矿早期至晚期, 金矿物成色降低, 显示由自然金至银金矿、金银矿的变化趋势。原生矿石按矿物组合可分为 3 种自然类型。1) 硫化物-石英矿石: 自然金、毒砂、黄铁矿和石英为主, 呈条带状; 2) 硫化物-菱铁矿-石英矿石: 由金-银系列矿物、多金属硫化物和菱铁矿、石英组成, 具脉状、网脉状构造; 3) 块状硫化物矿石: 以黄铜矿为主, 含多金属硫化物、砷黝铜矿、针硫铋铅矿等, 呈致密块状充填于菱铁矿裂隙中。

由矿物组合和矿石组构可知, 小街金矿床经历了火山喷流沉积-区域变质期, 热液期和表生期 3 个成矿期。火山喷流沉积-区域变质期生成具层纹状构造的细粒黄铁矿和灰色细晶菱铁矿。表生期以针铁矿、纤铁矿、孔雀石、赤铜矿的生成作为特色。热液期可分为早、中、晚 3 个阶段, 早阶段 (I) 生成黄铁矿-毒砂-菱铁矿-石英组合, 且以少许自形中细晶毒砂浸染状分布于团块状的石英和粗晶菱铁矿中为特征。中阶段 (II) 为多金属硫化物-石英阶段, 生成细脉状、网脉状的多金属硫化物 (毒砂、黄铁矿、黄铜矿、黝铜

矿族、磁黄铁矿、针硫铋铅矿)、金-银系列矿物。晚阶段 (III) 为硫化物-方解石阶段, 主要生成团块状、脉状的黄铜矿、闪锌矿、方铅矿和方解石等。

3 矿床地球化学特征

3.1 微量元素

通过对 52 件矿石、矿化岩石样品 28 个元素的中子活化分析结果进行 R 型相关分析可知^①, 在 5% 信度下, Au 与 As 具弱相关性 (相关系数 r 为 0.412); Cu 与 Pb ($r = 0.554$), Ag ($r = 0.647$), Fe ($r = 0.404$) 的关系比较密切; Ag 与 Cu、Sb ($r = 0.543$), Pb ($r = 0.534$), Fe ($r = 0.508$), Zn ($r = 0.446$) 具正相关关系, As 与 Au、Cr ($r = 0.464$) 显示较好的相关关系。结合矿物共生组合和元素浓度特征^②, 可以确定其成矿元素组合为 Au-Cu-Ag-Pb-Sb-As-Fe。

3.2 稀土元素

小街金矿区矿石和围岩的稀土元素组成 (表 1) 说明, 金矿石 (No. 1) 的轻稀土元素之间的分馏程度高于重稀土元素, 元素之间的分馏程度显示明显的 Ce 正异常。成岩黄铁矿 (No. 4) 和热液黄铁矿 (No. 5) 的稀土元素配分曲线 $\sum REE (La/Yb)_N (La/Sm)_N (Gd/Yb)_N W_{Ce} W_{Eu}$ 等特征相似, 说明两者在稀土元素特征方面具有继承性。青龙山组板岩、千枚岩 (No. 2) 的 $(La/Yb)_N$ 为 7.82, 轻稀土元素富集明显; 轻稀土元素之间的分馏程度较高; 显示弱的 Eu 负异常。青龙山组凝灰岩 (No. 3) 轻稀土元素之间的分馏程度相对较高; 显示弱的 Ce 负异常和极强的 Eu 负异常。花岗斑岩 (No. 6) 轻、重

① 李俊臣, 郑明华, 等. 四川会东小街金矿床地质特征及成矿预测研究 (科研报告), 1997.

② 卢盛明, 王小春, 等. 康滇地轴石棉-会理段金矿成矿规律及靶区预测 (科研报告), 1993.

表 1 小街金矿床矿石、矿物和围岩稀土元素含量

w (B) /10⁶

序号	样品名称	样数	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
1	金矿石	9	11.56	24.5	1.29	11.18	2.24	0.72	1.98	0.56	3.8	0.75	2.06
2	青龙山组板岩、千枚岩	4	31	49.35	4.36	27.41	4.8	1.26	3.97	0.78	3.49	0.62	1.91
3	青龙山组凝灰岩	10	118.79	193.17		78.56	18.76	1.2		4.64			
4	成岩黄铁矿	1	0.88	0.74	0.28	1.47	0.19	0.04	0.23	0.05	0.25	0.07	0.16
5	热液黄铁矿	1	0.39	0.35	0.17	1.49	0.09	0.03	0.11	0.05	0.12	0.04	0.09
6	花岗斑岩	1	17.57	33.07	3.72	12.07	2.22	0.57	1.51	0.24	1.11	0.2	0.59

序号	样品名称	样数	Tm	Yb	Lu	Y	∑ REE	W _{Ce}	W _{Eu}	(La/Yb) _N	(La/Sm) _N	(Gd/Yb) _N
1	金矿石	9	0.27	3.91	0.58	23.13	88.53	1.41	1.03	1.91	2.96	4.43
2	青龙山组板岩、千枚岩	4	0.24	2.56	0.39	21.15	153.29	0.95	0.87	7.82	3.7	1.31
3	青龙山组凝灰岩	10		35.96	2.4		453.48	0.88	0.22	2.14	3.63	0.35
4	成岩黄铁矿	1	0.02	0.12	0.02	1.58	6.1	0.33	0.57	4.71	2.67	1.49
5	热液黄铁矿	1	0.02	0.08	0.02	0.51	3.56	0.3	0.91	3.19	2.5	1.17
6	花岗斑岩	1	0.09	0.61	0.1	5.93	79.6	0.91	0.94	18.66	4.54	2.1

稀土元素之间的分馏程度很大，轻稀土元素之间的分馏程度较高，显示极弱的负 Ce-Eu 异常。

由 $\sum (La-Nd) - \sum (Sm-Ho) - \sum (Er-Lu+Y)$ 图解 (图 2) 可知，金矿石和成岩黄铁矿的投点相近，热液黄铁矿和青龙山组板岩、千枚岩的投点相近，青龙山组凝灰岩和花岗斑岩的投点相近。而在 $(Sm/Eu)_N - Sm$ 图 (图 3) 上，金矿石与热液黄铁

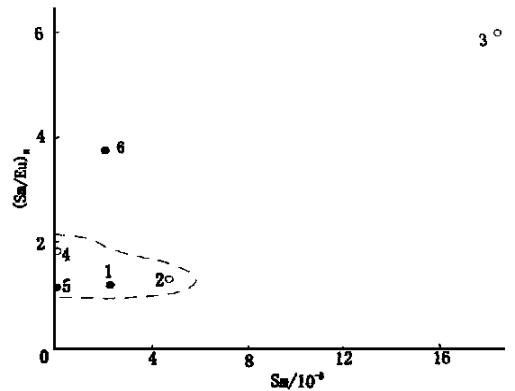


图 3 (Sm/Eu)_N-Sm 图 (图中序号同表 1)

矿、成岩黄铁矿和青龙山组板岩、千枚岩的投点相近，而与凝灰岩和花岗斑岩的投点相离甚远。结合上述稀土元素组成特征，可以推定矿石中 REE 及 Au、Cu、Ag 等成矿物质主要来自青龙山组板岩、千枚岩。

3.3 同位素

3.3.1 硫 矿石中两件黄铁矿和 3 件黄铜矿的 W³⁴S 值介于 11.2‰~12.0‰ 之间，平均 11.68‰，其组成落于沉积岩、变质岩范围内，而与岩浆岩相差甚大，说明矿石中硫源于沉积变质岩，来自围岩地层。

3.3.2 碳 矿区两件菱铁矿的 W³C_{DB} 值介于 -5.701‰~ -5.313‰ 之间，平均

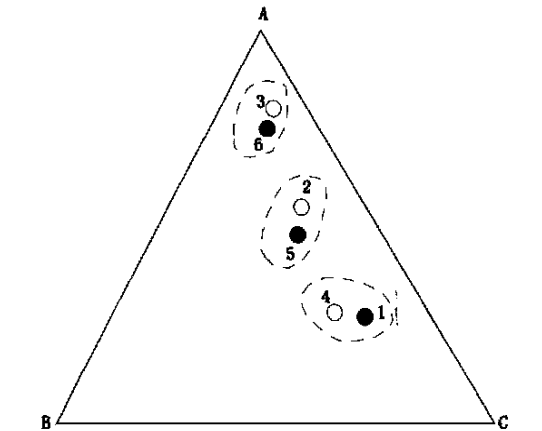


图 2 $\sum (La-Nd) - \sum (Sm-Ho) - \sum (Er-Lu+Y)$ 三角图解 (图中序号同表 1)
 A- $\sum (La-Nd)$ 100%; B- $\sum (La-Nd)$ 60%, $\sum (Sm-Ho)$ 40%; C- $\sum (La-Nd)$ 60%, $\sum (Er-Lu+Y)$ 40%

- 5.50‰^①, 其组成介于海相碳酸盐与沉积有机质之间, 且更接近海相碳酸盐, 说明矿石中碳主要源于围岩地层中的海相碳酸盐岩, 同时有部分沉积有机碳的加入。

3.3.3 氢、氧 矿石中石英、菱铁矿的氧同位素及其包裹体中的氢同位素组成列于表 2 中。经换算可知^[5], 成矿流体的 WD_{SMOW} 值介于 -79.40‰~ -50.02‰, 平均 -56.16‰, $W^{18}O_{SMOW}$ 值为 4.80‰~ 9.5‰, 平均 7.74‰, 在 $WD-W^{18}O$ 图解上的投点位于岩浆水与变质水的重叠区及其附近。结合地质特征分析, 流体可能主要属岩浆热液。

3.3.4 铅 矿区 3 件黄铁矿的铅同位素组成 (表 3), 在 Cannon 三角图解中的投点位于正常铅范围内。在 Doe 和 Zartman (1979) 的铅构造模式图^[10]上, 有两件样品结果位于上地壳铅线以上, 另一件位于上地壳铅和造山

表 2 小街金矿床的氢氧同位素组成 $W/10^{-3}$

样号	矿物	温度 / °C	WD_{H_2O}	$W^{18}O_{矿物}$	$W^{18}O_{H_2O}$
GQ-1 ^①	石英	250	43.30		7.64
GQ-2 ^②		190	-79.40		4.80
XJ-1	菱铁矿	250	-51.901	17.632	9.03
XJ-2		250	-52.021	18.111	9.51

① 测试单位: 原地矿部宜昌地质矿产研究所; XJ-1 XJ-2 据栾世伟, 等, 1990; 据 $W^{18}O_{石英} - W^{18}O_{H_2O} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.40$ (R. N. Clayton, 1972) 换算 $W^{18}O_{H_2O}$

带铅演化线之间。在 $^{208}Pb/^{204}Pb - ^{206}Pb/^{204}Pb$ 坐标图^[11]上的投点均位于克拉通化地壳铅范围内, 这些说明矿石中铅主要来自成熟的上地壳, 这与矿区所在的发育基底的扬子克拉通背景相吻合。与区域岩石的铅同位素组成对比 (表 3) 可知, 矿质主要与含矿地层——会理群青龙山组有关, 同时, 盖层尤其

表 3 小街金矿石和区域岩石铅同位素组成

样号	层位	岩性	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$	参考文献
Xj-11 (1)		黄铁矿	18.238	15.827	38.932	[6]
Xj-17 (1)		黄铁矿	18.094	15.83	38.274	[6]
Xj-5 (1)		黄铁矿	18.615	15.817	38.687	[6]
(9)	Pt_{zhk}	石英钠长石 黑云母片岩	21.754	15.950	40.417	[6-7]
(7)	Pt_{zhl}	千枚岩	18.131	15.695	38.325	[7]
(6)	Z_2d	白云岩	18.319	15.783	38.833	[7-9]
(3)	P	玄武岩	18.264	15.659	38.308	[3, 7]
(1)	V_2	花岗岩	18.330	15.715	38.726	[7]

括号内为样品数

是上震旦统灯影组白云岩为成矿也提供了部分物质。

4 成矿的物理化学条件

由矿床中共生矿物之间的平衡反应关

系, 结合对流体包裹体温度、压力、盐度、密度和成分的测定 (表 4), 利用热力学的原理和方法^[12-15], 计算获得成矿各阶段物理化学参数如表 5 所示。结果显示小街金矿床是在浅成条件下, 由低密度、中等盐度的弱碱性—碱性流体在还原环境中生成的。成矿流体具

① 栾世伟, 胡正纲, 等, 康定—攀枝花地区金矿化规律及预测 (科研报告), 1990.

表 4 小街金矿床石英中流体包裹体成分

d (B) /10⁻⁷

样号	成矿阶段	H ₂ O	CO ₂	O ₂	CO	CH ₄	N ₂	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
GQ-2	II	45 170	31.0	7.0		6.0	2.0	137.73	700	1 119	1 186	98	1 987	7 997	1 939
GQ-3	III	47 050	153	115	5.0	7.0	5.0	25.53	223	44	4.0	61	488	66	41

表 5 小街金矿床成矿的物理化学参数

成矿阶段	II	III
温度 /℃	206~ 285, 平均 250	173~ 206, 平均 190
还原参数	0.871	1.976
水质类型	HCO ₃ ⁻ -Cl-SO ₄ ⁻ -Mg-Ca-Na	Cl-F-Na-Ca
密度 /g·cm ⁻³	0.82	0.92
盐度 /‰	9.41	6.43
压力 /10 ⁶ Pa	350	300
深度 /m	1 225	1 050
pH	7.25	6.13
f _{O₂} /10 ⁵ Pa	10 ^{-39.32}	10 ^{-43.18}
f _{S₂} /10 ⁶ Pa	10 ^{-11.96} ~ 10 ^{-6.99} , 平均 10 ^{-9.48}	10 ^{-13.94} ~ 10 ^{-8.63} , 平均 10 ^{-11.29}
a _C /mol ^o ·L ⁻¹	1.41	3.91
a _S /mol ^o ·L ⁻¹	1.5× 10 ⁻⁴	4.1× 10 ⁻⁷
a _{Cl} /mol ^o ·L ⁻¹	2.88× 10 ⁻³	6.27× 10 ⁻⁶
a _F /mol ^o ·L ⁻¹	2.65× 10 ⁻⁴	1.47× 10 ⁻⁶

有氟和总碳活度较高的特征。

5 成矿过程分析

会东地区在中元古代为介于大陆岛弧与大洋岛弧之间的深水局限盆地环境。其中沉积的巨厚碳酸盐岩和碎屑岩建造夹火山喷发沉积岩(凝灰岩等),岩相变化较大,物源主要来自下部地层(康定群及河口群)的风化剥蚀以及深部火山物质。康定群和河口群为川西地区最原始的含金地质建造,具有较高的成矿元素丰度^[16]。这些物质的参与,加上晋宁-澄江期的区域变质作用,使中元古界会理群成为富 Au、As 的矿质预富集层。

由邻区(会理凤山营菱铁矿区马鞍山矿段),Rb-Sr 同位素测年^[17]知,灰色细晶菱铁矿

年龄为 815 Ma,因菱铁矿矿体呈层纹状、条带状,产状与围岩相同,空间产出不受构造控制,说明为区域变质作用产物。而米黄色黄铁矿的年龄为 534 Ma,说明与粗晶菱铁矿充填交代的含金硫化物石英脉体的形成时间当属澄江期。澄江期时,在构造-岩浆活动的共同作用下,生成一种中低温的由大气降水补给的岩浆水流体系统,该流体具有中低温度,还原性强和中等盐度的特点。经热力学计算^[18-21],Au 在其中以 Au(HS)形式进行迁移。此种含矿流体进入构造破碎带后,因温度、压力和 lg(f_{S₂}/f_{O₂})的急剧降低,以及围岩中碳质的作用,而使含硫配合物解体导致金的析出成矿。自三叠纪起本区抬升,矿体部分暴露地表,原生金属硫化物矿物经强烈氧化和分解生成针铁矿、纤铁矿、孔雀石、蓝铜

矿和赤铜矿等次生矿物,在此过程中,金发生活化迁移,形成粒度较大的明金。

6 结 语

1) 小街金矿床为产于元古宙裂陷槽环境下绿片岩中的菱铁矿建造型金矿床,经历了(火山)沉积-区域变质作用预富集-岩浆热液改造的多个时期,主成矿的岩浆热液改造期又经历了 3 个热液成矿阶段

2) 金矿床具有一套组分特殊的矿物共生组合。以毒砂、黄铁矿、菱铁矿、黄铜矿、黝铜矿和金银系列矿物为主,形成 3 类自然矿石类型,即硫化物-石英矿石、硫化物-菱铁矿-石英矿石和块状硫化物矿石。

3) 同位素、稀土元素和流体包裹体研究证实,矿质主要与含矿地层——会理群青龙山组有关。矿床是在浅成条件下,由低密度、中等盐度的弱碱性-碱性流体在还原环境中生成的。含金硫化物石英脉体形成于澄江期。

参考文献:

- [1] 王小春. 康滇地轴石棉-会理段金矿的控矿地质条件和优选矿床类型 [J]. 河北地质学院学报, 1994, 17 (增): 14~ 17.
- [2] Wang Xiaochun. Metallogenic model of gold deposits in the Shimian-Huilu section of the Kangdian axis [A]. Hu Ruizhong ed., *Geochemistry of ore Deposits*, Seismological Press [C], 1994. 158~ 161.
- [3] 王小春. 康滇地轴石棉-会理段金矿化同位素地质研究 [J]. 矿物岩石, 1994, 14 (1): 47~ 82.
- [4] 刘肇昌, 等. 扬子地台西缘构造演化与成矿 [M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1996. 1~ 267.
- [5] 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985. 1~ 267.
- [6] 陈好寿, 冉崇英, 等. 康滇地轴铜矿床同位素地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 1992. 1~ 100.
- [7] 杨应选, 等. 康滇地轴东缘铅锌矿床成因及成矿规律

- [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994. 1~ 175.
- [8] Zheng Minghua and Wang Xiaochun. Genesis of the Daliangzi Pb-Zn deposit in Sichuan, China [J]. *Economic Geology*, 1991, 86. 831~ 846.
- [9] 王小春. 天宝山铅锌矿床成因分析 [J]. 成都地质学院学报, 1992, 19 (3): 10~ 20.
- [10] Doe B R and Zartman R E. *Plumbotecnics The Phanerozoic* [A]. Barnes H L. ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits* [C]. New York: Wiley Intersci., 1979. 22~ 70.
- [11] 陈毓蔚, 毛存孝, 朱炳泉. 我国显生代金属矿床铅同位素组成特征及其成因探讨 [J]. 地球化学, 1980, (3): 215~ 229.
- [12] 刘斌, 段光贤. NaCl-H₂O 包裹体的密度式和等容式及其应用 [J]. 矿物学报, 1987, 4. 345~ 351.
- [13] 林传仙, 等. 矿物及有关化合物热力学数据手册 [M]. 北京: 科学出版社, 1985. 1~ 215.
- [14] 傅献彩, 陈瑞华. 物理化学 (上册) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1979. 1~ 518.
- [15] Helgeson H C. Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures [J]. *Am. J. Sci.*, 1969, 267. 729~ 804.
- [16] 王小春. 攀西地区康定群的地质地球化学特征及其对金成矿的意义 [A]. 李朝阳, 张忠. 中国科学院矿床地球化学开放研究实验室年报 [C]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1996. 55~ 58.
- [17] 沈芬, 金明霞, 陆元法. 西昌-滇中地区主要矿产成矿规律及找矿方向 [M]. 重庆: 重庆出版社, 1988. 1~ 251.
- [18] Barnes H L. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits (2nd ed.)* [M]. Wiley, New York, 1979. 1~ 789.
- [19] Romberger S B. Mechanisms of deposition of gold in low-temperature hydrothermal systems [J]. *Geochem. Explor.*, 1986, 25. 227~ 238.
- [20] Seward T M. The complexes of gold in hydrothermal ore solution [J]. *Geochem. et Cosmochimica Acta*, 1973, 37. 379~ 399.
- [21] Huston D L and Large R R. A chemical model for the concentration of gold in volcanogenic massive deposits [J]. *Ore Geology Reviews.*, 1989, 4. 171~ 200.

Ore-forming mechanism analysis on Xiaojie gold deposit in Huidong, Sichuan

WANG Xiao-chun^{1,2}, ZHENG Ming-hua³, ZHANG Zhe-ru¹

(1. *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550002*; 2. *Southwest Institute of Metallurgical Mineral Resources Exploration and Development, Chengdu, Sichuan 610051*; 3. *Chengdu College of Technology, Chengdu, Sichuan 610059*)

Abstract Xiaojie gold deposit in Huidong, Sichuan is a typical Proterozoic greenschist-hosted Au-siderite one. Gold ore bodies occur as vein in inner and outer contact zones among granite porphyrite and carbonaceous slate, rhyolitic tuff, and meta-trychite in Qinglongshan Formation of Middle Proterozoic Huili Group, which are strictly controlled by subsidiary faults and interstratified fractured belts of EW-trending regional basement fault. Gold ores have a mineral association of pyrite, arsenopyrite, chalcopyrite, tetrahedrite, Au-Ag series minerals, quartz and siderite, and element association of Au, Cu, Ag, Pb, Sb, As and Fe. Wallrock alterations are mainly silicification, argillization, and carbonatization (sideritization, calcitization). It can be inferred from the REE, isotope, and fluid inclusion studies that ore-forming materials are mainly derived from the slate and phyllite in Qinglongshan Formation, the mineralized fluid may be chiefly magmatic water. The gold-bearing quartz veins were probably formed during Chengjiang period. The deposit was formed by the low-density, intermediate-salinity, alkalescent or less alkalescent fluid in reductive epithermal environment. It belongs to magmatic hydrothermal reworked gold deposit, which experienced volcanic exhalation sedimentary and regional matamorphic preenrichment.

Key words gold deposit; ore-forming mechanism; west of Sichuan