

姚安金矿床成因机制研究

钱祥贵¹, 李志伟², 柏 坚³

(1. 云南省国土资源厅信息中心, 云南 昆明 650011;

2. 云南国土资源厅评审中心, 云南 昆明 650011;

3. 云南省地质调查院, 云南 昆明 650011)

摘 要: 姚安金矿床矿石品位富, 载金矿物及其共生矿物组合较为特殊、复杂。从含矿段岩石组合、围岩、含金矿石、含金矿物及火山-次火山侵入岩的稀土元素和微量元素特征, 结合矿石的同位素及包裹体分析资料对比研究认为: (1) 成矿金质来源于围岩 (侏罗系碎屑岩) 和火山-次火山岩; (2) 金成矿滞后于岩浆岩的侵入期, 与构造活动同期或稍晚。

关键词: 稀土元素; 微量元素; 同位素; 金矿成因机制; 滇中姚安

中图分类号: P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-1885 (2002) 01-08

姚安金矿是滇中地区发现的第一个原生金矿床, 由于矿化类型特殊 (镜铁矿脉型金矿), 矿石品位富, 载金矿物及其共生矿物组合复杂而引起地质工作者的重视。至今, 对其成因尚有不同认识。万远明等^① (1990) 研究后指出: 金矿化与火山-次火山岩浆作用关系密切。本文通过含矿段岩石组合、围岩、矿石、含金矿物和火山-次火山侵入岩的稀土元素和微量元素特征对比分析, 以及矿石的同位素及包裹体资料研究, 对该矿床成因提供地球化学方面的证据。

1 矿床地质概况

姚安金矿位于滇中台坳中部东侧的姚安紧密褶皱东南端。矿区主要出露上侏罗统妥甸组及白垩系内陆河、湖相红色含铜 (银、金等) 碎屑岩建造; 次为第三系上新统沙沟组含盐建造。局部有火山喷发岩产出。矿化围岩以上侏罗统妥甸组泥岩、粉砂质泥岩, 和白垩系高峰寺组、普昌河组、马头山组砂岩、泥岩、钙质泥岩为主 (图1)。其次为火山-次火山杂岩。

矿区内出露的岩体 (火山-次火山岩), 一是喜马拉雅早期正长斑岩及煌斑岩; 二是第三系上新统沙沟组中的火山碎屑岩及火山熔岩 (呈岩被状产出) (图1)。正长斑岩、煌斑岩沿断裂或构造活跃区侵入, 煌斑岩中的成矿元素与围岩基本一致或略高于围岩, 围岩及岩体中均未发现有价值的矿体。正长斑岩类矿化不明显, 在其围岩中却发现工业意义矿体; 第三系火山岩中尚未发现矿化。

收稿日期: 2001-05-28

基金项目: 云南省省院省校科技合作项目 (编号 YK98008-1)。

作者简介: 钱祥贵 (1971-), 男, 云南陆良人, 地质工程师, 从事岩石学与矿床学研究。

①万远明等, 姚安金矿地质特征及其区域找矿意义, 1990。

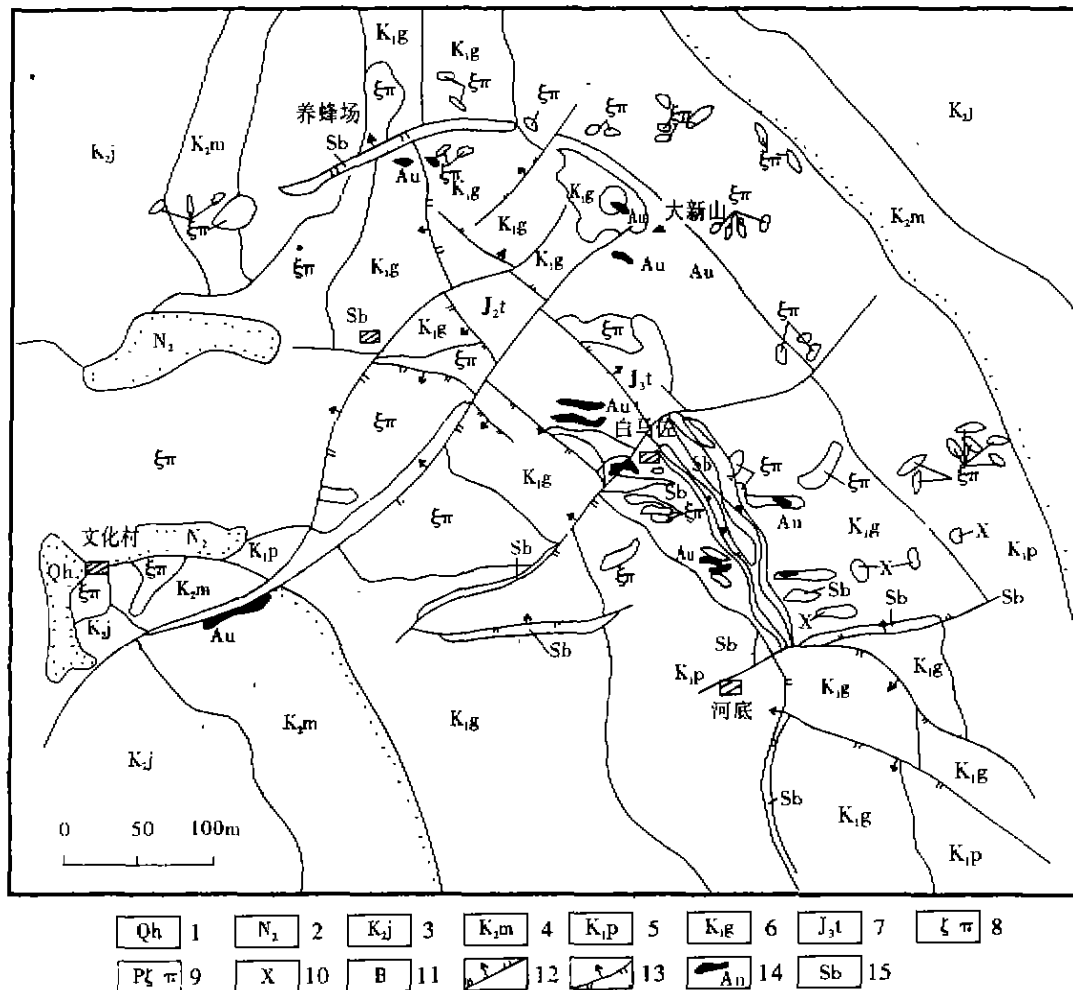


图1 姚安金矿床矿区地质图

Fig.1 Geological Map of Yaoan Au Ore Field

1. 全新世 2. 上新统 3. 上白垩统江底河组 4. 上白垩统马头山组 5. 下白垩统普昌河组 6. 下白垩统高峰寺组 7. 上侏罗统妥甸组 8. 正长斑岩 9. 黄铁矿
10. 煌斑岩 11. 爆发角砾岩 12. 实测、推测正断层 13. 实测、推测逆断层
14. 金矿体 15. 构造角砾岩

矿体产于大断裂旁侧的次级近东西向断裂构造破碎带中, 由于后期压扭性应力作用, 雁行斜列裂隙及层间挤压破碎带、层间剥离面等都是聚金部位 (图2、图3) 在主断裂及次级断裂带有大量火山-次火山岩。

矿床具有矿化范围较集中、以脉状矿体为主、矿石品位富、受构造破碎带控制等特征 大部分矿石属氧化物型, 少量为混合型。矿石呈块状、斑杂状、浸染状、角砾状、脉状、网脉状、条带状、揉皱状等构造, 有用组分为 Au (质量分数为 $0.1 \times 10^{-6} \sim 44 \times 10^{-6}$), Ag;

主要伴生 Cu, 次为 Pb、Zn、V、As、Sn、Sb、Ba 等。

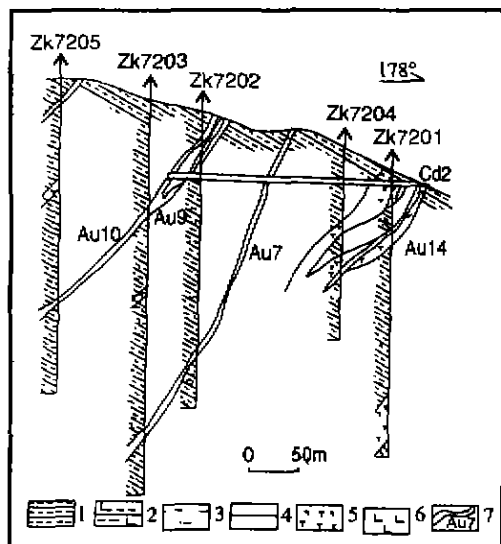


图2 姚安金矿床干沟矿段 P72 线剖面图

Fig.2 Section of Line P27 of Gangou Ore Member, Yaoan Au Deposit

1. 紫红色泥岩 2. 黄色钙质泥岩 3. 紫红色粉砂质泥岩 4. 紫红色细砂岩 5. 正长斑岩
6. 煌斑岩 7. 金矿脉及编号

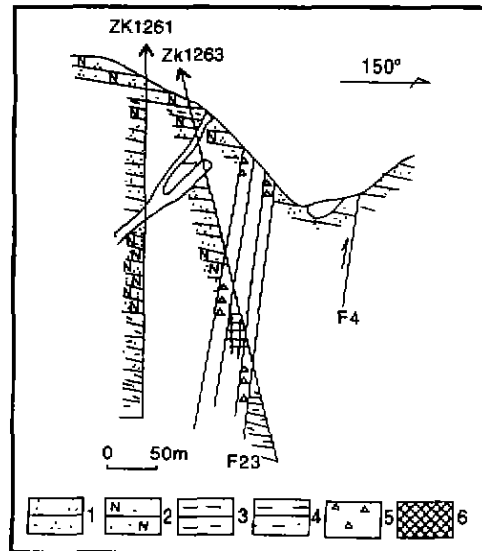


图3 姚安金矿床文化村矿段 P216 线剖面图

Fig.3 Section of Line P216 of Wenhucun Ore Member, Yaoan Au Deposit

1. 灰白色石英砂岩 2. 紫红色长石石英砂岩
3. 紫红色泥岩 4. 紫红色粉砂质泥岩
5. 构造角砾岩 6. 金矿脉

包裹体测温结果: 成矿早期石英-黄铁矿均一温度为 $242^{\circ}\text{C} \sim 173^{\circ}\text{C}$, 平均值 204°C ; 主成矿期方解石-镜铁矿均一温度为 $260^{\circ}\text{C} \sim 196^{\circ}\text{C}$; 末期重晶石均一温度为 $178^{\circ}\text{C} \sim 102^{\circ}\text{C}$, 平均值 137°C 。成矿温度范围在 $260^{\circ}\text{C} \sim 102^{\circ}\text{C}$ 区间, 属中低温类型。

2 矿床地球化学特征

2.1 稀土元素

对矿区矿石、矿物、岩浆岩及围岩的稀土元素特征进行对比研究发现 (表1):

(1) 围岩 (泥岩、砂岩) 稀土总量 $\omega(\Sigma\text{REE})$ 为 224.53×10^{-6} , $\omega(\Sigma\text{LREE})/\omega(\Sigma\text{HREE})$ 值为 4.18, 属轻稀土富集型。 δEu 为 0.39, δCe 为 1.00, 反映 Eu 亏损强烈, 而 Ce 盈亏不明显。

(2) 岩浆岩稀土总量 $\omega(\Sigma\text{REE})$ 居矿区各类岩石、矿石之首, 达 $300.27 \times 10^{-6} \sim 355.40 \times 10^{-6}$, $\omega(\Sigma\text{LREE})/\omega(\Sigma\text{HREE})$ 值为 5.95 ~ 8.88, 属轻稀土明显富集型。 δEu 为 0.81 ~ 1.04, δCe 为 0.85 ~ 1.28, 反映 Eu, Ce 弱亏损至弱富集, 具有幔源岩浆岩的特点。

(3) 矿区矿石、矿物与上述泥岩围岩、火山-次火山岩相比较, 矿石、矿物中稀土总含量 $\omega(\Sigma\text{REE})$ 变化于 $0.21 \times 10^{-6} \sim 164.2 \times 10^{-6}$ 之间, 平均值 75.73×10^{-6} , 稀土含量总的偏低几倍至几十倍。 $\omega(\Sigma\text{LREE})/\omega(\Sigma\text{HREE})$ 值为 1.27 ~ 4.36, 也为轻稀土弱富集 ~ 富集的

特点。 $(La/Yb)_N$ 值为 1.75~5.83, $(La/Sm)_N$ 值为 0.4~1669, 前者为后者的 1~3 倍。 δEu 值介于 0.23~0.63, δCe 为 0.62~1.25, Eu 明显亏损, Ce 盈亏特征相似。稀土元素配分模式图中 (图 4), 矿石与围岩泥岩接近, 而与火山-次火山岩相差甚远。而含金矿物的稀土元素配分模式与泥岩、矿石略有不同, 反映成矿过程中各元素在矿物中富集系数不一致的特点。

表 1 姚安金矿床岩石、矿石矿物稀土元素分析结果

Tab.1 REE Analysis Results of Rock, Ore, Mineral of Yaoan Au Deposit

$(\omega_H \times 10^{-6})$							
序号	名称	ΣREE	δEu	δCe	$\Sigma LREE/\Sigma HREE$	$(La/Yb)_N$	$(La/Sm)_N$
1	正长斑岩	300.27	0.81	1.28	8.88	20.4	6.93
2	粗面岩	355.40	1.04	1.03	6.78	18.57	5.42
3	白榴岩	314.50	0.98	0.85	5.95	19.47	6.38
4	泥岩	224.53	0.39	1.00	4.18	8.993	2.2
5	黄铁矿	96.13	0.23	1.18	1.85	5.83	1.04
6	方解石	164.2	0.63	1.30	1.67	3.27	1.03
7	镜铁矿	83.52	0.52	1.25	1.32	1.75	1.35
8	重晶石	41.19	0.09	0.62	4.36	26.79	0.4
9	石英	45.18	0.23	0.99	2.20	3.45	0.56
10	块状金矿石	20.21	0.44	0.88	1.27	2.04	1.69

注: 资料来源于云南地矿局, 1990 年, 球粒陨石值据 A. C. Herman, 1970.

综上所述, 矿石矿物稀土元素配分模式与围岩较为一致, 某些特征参数也接近, 反映矿石稀土和地层围岩稀土的密切相关性, 矿石稀土来自地层围岩, 并有继承性的演化和发展特征。而与火山-次火山岩相差较大, 表明两者稀土来源不同。可见, 矿石、矿物与火山-次火山岩不是同一结晶体系, 而与围岩同属于某一物理化学条件相近的环境体系。

2.2 微量元素

分析资料表明, 矿区中微量元素含量丰富, Ag, Co, Ni, Bi, Cd, Zr, V, In 等元素含量均高于克拉克值的数倍~数十倍。矿(化)体金含量是矿区地层的数十倍~数千倍; 矿区远矿段地层与近矿段地层比较, 远矿段地层 Au, Ag, Co 含量低一个数量级, 表明 Au, Ag 被活化迁移。而 Pb, Zn, V, K, Na 含量增高, 可能与岩浆岩有关。火山-次火山岩也具有类似特点, 除 Au、Ag 含量低以外, 其它元素含量普遍富集。

可见, 矿区各组段地层火山-次火山岩为金成矿的最重要的矿源层(岩)。微量元素的富集与火山-次火山岩及煌斑岩以及岩浆期后热液关系密切。元素组合表明, 矿床成矿物质来源、成矿过程十分复杂。

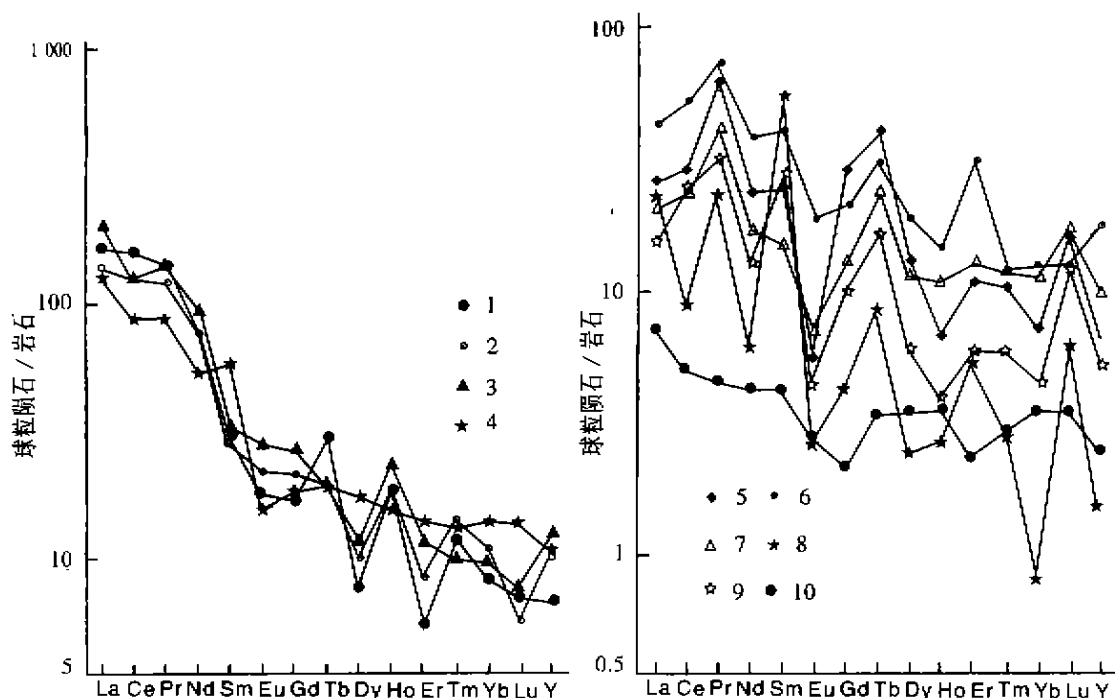


图4 姚安金矿床岩(矿)石稀土配分模式图

Fig.4 REE Distribution Model of the Rock (Ore) of Yaoan Au Deposit

1. 正长斑岩 2. 粗面岩 3. 白榴岩 4. 泥岩 5. 黄铁矿 6. 方解石
7. 镜铁矿 8. 重晶石 9. 石英 10. 块状金矿石 (球粒陨石值据赫尔曼 1970)

2.3 稳定同位素及包裹体

2.3.1 稳定同位素

(1) 硫同位素: 表2可以看出, 本区硫同位素以富重硫为特征 (个别样品富轻硫)。不同部位的矿石和不同矿石类型中同一矿物的硫同位素组成存在明显差别: 砂岩、泥岩中的含金硫化物, 镜铁矿脉中的黄铁矿、黄铜矿, $\delta^{34}\text{S}$ 值 ($\omega_{\text{B}}\%$) 多数在 $2.2 \times 10^{-3} \sim 6.9 \times 10^{-3}$ 区间, 仅两个样为 -3.4×10^{-3} 及 -2.7×10^{-3} ; 砂岩中含银硫化物为 2.9×10^{-3} ; 重晶石为 $10.41 \times 10^{-3} \sim 14.53 \times 10^{-3}$; 正长斑岩中含银硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 3.2×10^{-3} , 黄铁矿为 $2.5 \times 10^{-3} \sim 3.4 \times 10^{-3}$ 。说明矿石硫化物的硫主要来源于岩浆岩, 部分由沉积地层提供。

(2) 铅同位素: 围岩、岩浆岩和不同类型矿石的黄铁矿、镜铁矿、方解石、重晶石的铅同位素组成特征 $\omega(^{206}\text{Pb})/\omega(^{204}\text{Pb})$ 为 $18.01 \sim 18.553$, $\omega(^{207}\text{Pb})/\omega(^{204}\text{Pb})$ 为 $15.414 \sim 15.666$, $\omega(^{208}\text{Pb})/\omega(^{204}\text{Pb})$ 为 $38.421 \sim 39.165$ (围岩较低为 $37.523 \sim 37.79$); μ 值变化范围为 $9.134 \sim 9.603$ 。所有比值的绝对值落入正常铅范围, 变化较小, 说明铅的来源比较单一, 属于正常铅。(表3)

(3) 氢氧同位素: 矿石矿物 (石英、镜铁矿、方解石、重晶石) $\delta^{18}\text{O}$ 值 (SMOW 标准, $\omega_{\text{B}}\%$, 下同) 变化于 $2.71 \times 10^{-3} \sim 16.961 \times 10^{-3}$ 之间, 其中: 重晶石 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 7.15×10^{-3} ,

镜铁矿 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 2.71×10^{-3} , 方解石 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $14.842 \times 10^{-3} \sim 16.961 \times 10^{-3}$, 石英 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 14.95×10^{-3} ; 矿石中石英、重晶石、方解石的 δD 值为 $-75. \times 10^{-3} \sim -99.1 \times 10^{-3}$, 镜铁矿 δD 值为 -167.7×10^{-3} 。上述数据表明, 矿石中的方解石和石英的氢氧来源于正常沉积、火山作用和后期热事件; 镜铁矿、重晶石中的氢氧同位素与水(热液、天水)发生了广泛的相互作用。

表 2 姚安金矿床硫同位素组成表

Tab.2 S Isotope Composition of Yaoan Au Deposit

矿 段	测 定 矿 物	矿石类型	$\delta^{34}\text{S}/10^{-3}$	矿 段	测 定 矿 物	矿石类型	$\delta^{34}\text{S}/10^{-3}$
干 沟	黄 铁 矿	砂岩、泥岩中的含金硫化物、 镜铁矿矿脉	-3.4	养 蜂 厂	方铅矿	砂岩中含银硫化物、重晶石矿脉	2.90
			6.6				10.41 - 15.4
			4.8				3
			4.42	老 街	方铅矿	正长斑岩中含银矿化物细脉	3.2
			9.1	白 马 左	黄铁矿	正长斑岩中细脉浸染状黄铁矿、围岩强烈蚀变	3.4
	3.8		2.6				
	6.9		2.5				
	4.2	文 化 村	砂岩中含金黄铁矿			-2.7	
	2.2						

* 据云南地矿局, 1990。

2.3.2 包裹体

矿区矿石中包裹体数量少, 个体小(大小为 $7\mu\text{m} \sim 20\mu\text{m}$, 一般以 $10\mu\text{m}$ 为最多), 包裹体为气液包裹体, 气液比为 1:9, 盐度达 8.54% NaCl ~ 11.95% NaCl, 流体质量密度 $0.875\text{g}/\text{cm}^3 \sim 0.882\text{g}/\text{cm}^3$ 。

石英、黄铁矿、方解石、重晶石包裹体成分分析表明, 含矿流体中阳离子主要有 K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , 而以 K^+ , Na^+ , Ca^{++} 为主。其中, Na^+ 平均质量分数为 7.49×10^{-6} , K^+ 平均质量分数为 3.0275×10^{-6} , Na^+/K^+ 值平均 2.474, $\text{Na}^+ > \text{K}^+$, 贫 Mg^{++} , 富 Ca^{++} ($4 \times 10^{-6} \sim 266.65 \times 10^{-6}$); 镜铁矿成分特征与其相反, 属富 K^+ , Ca^{++} , 贫 Na^+ , 且 $\text{K}^+ > \text{Na}^+$ 。阴离子以 Cl^- , H_2O , CO_2 为主, 次为 F^- , CO , CH_4 。总体而言含矿流体成分中配阴离子成分(石英、黄铁矿)具有 $\text{H}_2\text{O} > \text{CO}_2 > \text{Cl} > \text{CO} > \text{CH}_4 > \text{F} > \text{HCO}_3^-$ 特点, 显示含矿流体具有岩浆热液和大气降水复合特征。

表 3 岩石、矿石中铅同位素组成及其模式年龄
Tab.3 Pb Isotope Composition and Model Age of Ore

矿段	测定矿物	矿石类型	铅同位素组成			模式年龄 /10 ⁸ a	μ 值
			$w(^{206}\text{Pb})$ / $w(^{204}\text{Pb})$	$w(^{207}\text{Pb})$ / $w(^{204}\text{Pb})$	$w(^{208}\text{Pb})$ / $w(^{204}\text{Pb})$		
干沟	黄铁矿	砂岩泥岩中含	18.154	15.517	38.572	2.51	9.328 ^①
		金硫化物、镜	18.131	15.51	38.421	2.55	9.316 ^①
	镜铁矿	铁矿矿脉	18.553	15.563	38.937	0.14	9.378 ^①
	泥 岩 砂 岩	矿体围岩及	18.321	15.591	37.523	2.28	9.467 ^①
		矿化砂岩	18.01	15.54	37.67	3.77	9.389 ^①
			18.11	15.54	37.79	3.12	9.379 ^①
	正长斑岩		18.23	15.55	38.45		
			18.22	15.54	38.7		
	重晶石	砂岩中含银硫	18.426	15.578	38.979	1.28	9.42 ^②
	方铅矿	化物、重晶石 矿脉	18.446	15.611	39.165	1.55	9.482 ^①
老街	方 铅 矿		18.161	15.579	38.79	3.22	9.45 ^③
			18.08	15.414	38.489	1.76	9.134 ^③
			18.3481	15.666	39.051	2.94	9.603 ^③
			18.367	15.544	38.616	1.28	9.359 ^③
			18.13	15.51	38.57	2.60	9.317 ^③

注：①云南地矿局，1990；②张宝柱，1989；③陈毓蔚，1988

3 成因机制分析

整个成矿期均见火山-次火山活动，其活动时期为燕山末期～喜马拉雅晚期，即滇中台坳褶皱束形成的晚期。

矿区地层、岩浆岩是很好的矿源层，为金成矿提供必要的物质条件。

火山-次火山岩沿主干断裂和次级断裂系侵入，岩石中成矿元素的含量与围岩基本一致或略高于围岩，其周围存在工业矿体。但稀土元素分析结果显示矿体与岩浆岩无明显关系，可见火山-次火山岩仅在成矿过程中提供部分成矿物质的作用，而与成矿的物理过程无直接联系。也就是说：岩浆岩对成矿的物理过程贡献不大，仅提供部分成矿物质和提供部分热动力的作用。

矿体产于主干断裂旁侧东西向构造破碎带之中，其层间挤压破碎带和层间剥离面（低角度逆冲转换韧脆性剪切带）是金矿主要赋存部位。矿床的形成年龄与断裂活动的时序十分吻

台,可见构造成矿作用十分明显。

铅同位素数据研究表明:除岩浆岩铅同位素属地幔铅外,其它(矿体中氧化物、硫化物)铅同位素属正常铅,可见矿体中无地幔铅同位素,岩浆对成矿物理过程贡献不大。硫同位素来源。矿石硫化物中的硫来源于岩浆(可能有部分来源于沉积物),矿体中硫盐之硫主要来源于围岩。氢氧同位素资料表明:镜铁矿、重晶石中的氢氧同位素与水发生广泛的相互作用,方解石中的氢氧同位素来源于正常沉积、火山作用和后期热液作用。其成矿环境从早期到晚期由氧化→还原环境(属半开放体系)。矿物包裹体具岩浆成因的特点。上述表明:成矿物源主要来源于地层及岩浆岩;从矿体产出形态、同位素和成矿流体特征以及矿区所处构造区位看,与国外脆性剪切带控矿系十分相似。

姚安金矿床是典型的中低温脆性剪切带型金矿。

参 考 文 献

- [1] 钱祥贵,李志伟.姚安金矿床地质地球化学特征[J].大地构造与成矿学 2000, 24(增): 31~36
- [2] 何知礼.包裹体矿物学[M].北京:地质出版社,1984
- [3] 朱上庆,黄华盛.层控矿床地质学[M].北京:冶金工业出版社,1988.
- [4] 李昌年.火山岩微量元素岩石学[M].武汉:中国地质大学出版社,1992.
- [5] 孙培基,韦永富.当代中国金矿地质[M].北京:地震出版社,1996.

A PRELIMINARY STUDY ON THE GENETIC MECHANISM OF YAOAN AU DEPOSIT

QIAN Xiang-gui¹, LI Zhi-wei², BO Jian³

- (1. Information Centre, Territory Resources Department of Yunnan, Kunming 650011;
2. Evaluation and Examination Centre, Territory Resources Department of Yunnan, 650011;
3. Yunnan Geologic Survey Academy, Kunming, 650011)

Abstract: Geologists pay great attention to the Yaoan au deposit because of its high grade of ore, special and complex Au-bearing mineral and paragenesis. According to the study on its rock assemblage of ore member, host rock, Au ore, Au mineral, REE and trace element of volcanic-subvolcanic inclusion of the ore, we believe that 1. the metallogenetic Au is originated from the host rock (Jurassic elastic rock) and the volcanic-subvolcanic rock; 2. Au metallogenesis is later than the intrusion of magmatic rock, in the same time as the structure activity or slightly later.

Key Words: REE; Trace Element; Isotope; Genetic Mechanism; Yaoan Au Deposit