云南姚安金矿床硫同位素地球化学*

Sulfur Isotope Geochemistry of Yao'an Gold Deposit

张 准[1] 黄智龙[2] 许 成[2]

（1 云南省楚雄勘查院，云南 楚雄 675000；2 中国科学院地球化学研究所，贵州 贵阳 550002）

Zhang Zhun[1], Huang Zhilong[2] and Xu Cheng[2]

(1 Chuxiong Exploration Institute, Chuxiong 675000，Yunnan, China; 2 Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China)

摘 要 云南姚安金矿床两个主成矿阶段具有明显不同的硫同位素组成，早期成矿阶段总体具有幔源硫特征，晚期成矿阶段的硫同位素组成明显高于幔源硫。结合矿床 C、O 同位素组成资料，认为该矿床成矿与喜山期幔源富碱侵入岩在时空上密切相关，富碱侵入岩成岩过程中分异出来的岩浆流体及岩浆去气作用形成的流体参与了整个成矿过程，晚期成矿流体中的硫可能来源于地层和（或）富 $\delta^{34}S$ 的大气成因地下水。

关键词 硫同位素组成 成矿流体 姚安金矿床

富碱侵入岩与 Au-Cu 矿床时间上、空间上密切共生在国内外许多大型－超大型矿床均有例证（Muller D et al.，1995）。我国呈 NW 方向延伸的哀牢山-金沙江深大断裂带也是一条巨型富碱侵入岩带，带内分布大量喜山期地幔部分熔融形成的富碱侵入岩体（涂光炽等，1984；张玉泉等，1995）。近年来，在该富碱侵入岩带中已相继发现若干与之时空密切共生的 Au-Cu 矿床（点），如玉龙铜矿床、老王寨金矿床、北衙金矿床、马厂箐金-铜-钼多金属矿床、金厂金矿床等。

姚安金矿床是 1987 年在哀牢山—金沙江富碱侵入岩带中发现的中型矿床，由于该矿床出现一种特殊矿化类型——镜铁矿脉型金矿，加之伴生有用组分多（Cu、Ag、Pb、Zn 等）、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。毕献武等(2000,2001)和钱祥贵等(2000)的研究均表明，姚安金矿床的成矿与幔源富碱侵入岩岩浆活动密切相关。本文测试和收集了姚安金矿床硫同位素组成资料，结合已有矿床地质、地球化学研究成果，重点探讨该矿床成矿流体来源与演化过程。

1 矿床地质概况

姚安金矿床位于哀牢山-金沙江深大断裂带东缘。矿区出露地层主要是侏罗系妥甸组（J_3t）泥岩、粉砂岩和泥灰岩，为矿区赋矿地层；其次是白垩纪高峰寺组（K_1g）长英质石英砂岩和白垩纪普昌河组（K_1p）泥岩夹粉砂岩。主要构造为两条相距约 1000 m 的 NW 向深大断裂和 NW 向的白马苴-大山背斜。区内喜山期岩浆活动频繁，主要为侵入侏罗系妥甸组地层中的姚安富碱斑岩体，岩石类型主要为正长斑岩和粗面斑岩，张玉泉等(1995) 获该岩体黑云母 K-Ar 年龄为(33.5±1.0) Ma；其次为呈脉状产出的煌斑岩和细晶岩，

* 国家重点基础研究发展规划项目（G1999043203）和中国科学院知识创新工程项目（KZCXZ-101）
第一作者简介 张 准，男，1972 年生，工程师，从事矿床地质工作。

其中煌斑岩与金矿化关系密切，矿区 7 号矿体产于煌斑岩中。

矿床主要产于姚安富碱斑岩体与侏罗系妥甸组地层的接触带中，矿体呈脉状、豆夹状主要分布于区内两条 NW 向深大断裂旁侧的次级构造破碎带中，分枝复合现象明显。毕献武等（2001）。根据矿脉的相互穿切关系、矿石的结构构造和矿物组合，将姚安金矿床划分为两个主成矿阶段，即早期硫化物阶段（阶段Ⅰ）和晚期氧化物-硫化物阶段（阶段Ⅱ）。从表 1 可见，两个主成矿阶段形成的矿石类型、矿物组合及形成的温度均有较明显的差异，最大特征是阶段Ⅰ的矿石矿物组合为黄铁矿-黄铜矿方铅矿-闪锌矿，阶段Ⅱ为黄铁-镜铁矿。与金矿化关系密切的围岩蚀变为硅化、钾长石化、碳酸岩化、绢云母化和绿泥石化。

表 1　姚安金矿床两个主成矿期对比及矿物生成顺序

成矿阶段		早期成矿阶段（阶段Ⅰ）	早期成矿阶段（阶段Ⅱ）
主要矿石类型		细脉浸染型	脉状和角砾型
矿物组合	主要矿石矿物	黄铁矿，黄铜矿，闪锌矿，方铅矿	黄铁矿，镜铁矿
	主要脉石矿物	钾长石，绢云母，石英，方解石	石英，方解石，绿泥石
成矿温度		254℃～330℃	127℃～165℃
矿物生成顺序	黄铁矿	———	———
	闪锌矿	———	
	方铅矿	———	
	黄铜矿	———	
	镜铁矿		———
	石　英	———	———
	钾长石	———	
	绿泥石	———	———
	绢云母	———	
	方解石	———	———

2　硫同位素组成

姚安金矿床硫同位素组成见表 2。从表 1 可见，矿石中的含硫矿物为硫化物。无硫酸盐矿物，这种矿物组合中硫化物的 $\delta^{34}S$ 值可代表成矿热液的总硫同位素组成，即 $\delta^{34}S_S \approx \delta^{34}S_{硫化物}$（Ohmoto H.,1972）。图１为硫同位素组成直方图，从表 2 和图 1 可见：

（1）姚安金矿床两个主成矿阶段的硫同位素组成明显不同。阶段Ⅰ的 $\delta^{34}S$ 为-3.4‰～4.9‰、极差 8.3‰、平均 1.7‰，总体在幔源硫（ $\delta^{34}S$ 为（0±3）‰）(张玉泉等，1995)；阶段Ⅱ的 $\delta^{34}S$ 为 6.6‰～16.5‰、极差 9.9‰、平均 10.9‰，与幔源硫有较大差别。

（2）样号 YA-10-1、YA-10-2、YA-10-3 和 YA-8-1、YA-8-2、YA-8-3 分别为阶段Ⅰ两块手标本上的黄铁矿、闪锌矿和方铅矿，其硫同位素组成均有 $\delta^{34}S_{黄铁矿} > \delta^{34}S_{闪锌矿} > \delta^{34}S_{方铅矿}$，表明该区阶段Ⅰ成矿过程中硫已达到平衡。

3 讨 论

表 2 姚安金矿床硫同位素组成（‰）

样号	成矿阶段	产 状	$\delta^{34}S$/‰	资料	样号	成矿阶段	产 状	$\delta^{34}S$/‰	资料
YA-10-1		岩体内矿脉	4.9	本文	Py-6		地层中矿脉	3.8	②
YA-10-2		岩体内矿脉	3.2	本文	Gn-1	阶段Ⅰ	地层中矿脉	2.9	②
YA-10-3		岩体内矿脉	2.1	本文	Gn-2		岩体内矿脉	3.2	②
YA-8-1		地层中矿脉	1.8	本文	LJ-3		矿化角岩	16.5	①
YA-8-2		地层中矿脉	1.5	本文	LJ-39		含矿石英脉	16.2	①
YA-8-3		地层中矿脉	-0.4	本文	LJ-4		角砾状矿石	10.7	①
LJ-12		角砾状矿石	0.8	①	LJ-1		富镜铁矿矿脉	12.8	①
ST-2		矿 脉	-2.2	①	LJ-15		矿 石	12.7	①
ST-10-1		岩体内矿脉	-2.4	①	LJ-49(3)		条带状矿石	15.1	①
ST-10-5		岩体内矿脉	-0.4	①	LJ-49(1)		条带状矿石	11.6	①
ST-10-3	阶段Ⅰ	岩体内矿脉	1.2	①	LJ-19		条带状矿石	7.8	①
LJ-14		岩体内矿脉	2.4	①	LJ-26		条带状矿石	10.9	①
LJ-34		矿 石	3.2	①	LJ-36	阶段Ⅱ	条带状矿石	11.3	①
Cp-1		地层中矿脉	4.2	②	LJ-5		条带状矿石	10.6	①
Cp-2		地层中矿脉	2.2	②	LJ-35		条带状矿石	8.2	①
Py-1		地层中矿脉	-3.4	②	Py-2		镜铁矿矿脉	6.6	②
Py-8		岩体内矿脉	3.4	②	Py-5		镜铁矿矿脉	9.1	②
Py-9		岩体内矿脉	2.6	②	Py-7		镜铁矿矿脉	6.9	②
Py-10		岩体内矿脉	2.5	②	YA-26		镜铁矿矿脉	10.7	本文
Py-11		地层中矿脉	-2.7	②	YA-27		镜铁矿矿脉	10.2	本文
Py-3		地层中矿脉	4.8	②	YA-35		含镜铁矿矿脉	8.6	本文
Py-4		地层中矿脉	4.4	②	YA-36		镜铁矿矿脉	9.8	本文

注： 资料①和②据毕献武等，2000，2002；钱祥贵等，2000；涂光炽，1984；张玉泉等，1995 等摘编；样号带 Cp、Py 和 Gn 为笔者根据文献的资料自行编号；样号 YA-10-1、YA-10-2 和 YA-10-3 分别为同一手标本上的黄铁矿、闪锌矿和方铅矿，样号 YA-8-1、YA-8-2 和 YA-8-3 分别为同一手标本上的黄铁矿、闪锌矿和方铅矿，样号带 Cp 的分析对象为黄铜矿，样号带 Gn 的分析对象为方铅矿，其余样品的分析对象均为黄铁矿；本文数据由中国科学院地球化学研究所分析，分析精度为±0.2‰。

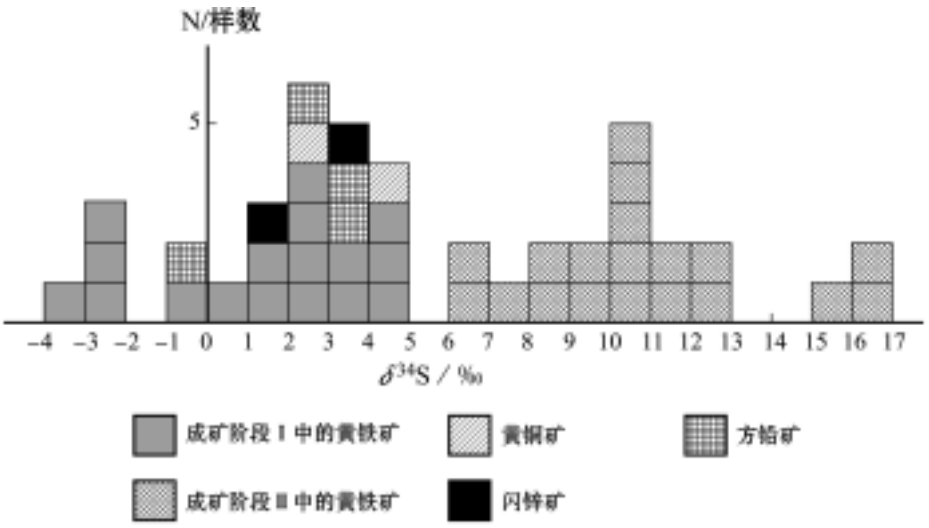


图 1 姚安金矿床硫同位素直方图

姚安金矿床明显受矿区 NW 向深大断裂控制，与喜山期幔源富碱侵入岩（正长斑岩、粗面斑岩、煌斑岩脉）时间上、空间上密切共生。矿床两个主成矿阶段具有明显不同的硫同位素组成，阶段Ⅰ总体具有幔源硫特征，且成矿过程中硫已达到平衡（$\delta^{34}S_{黄铁矿} > \delta^{34}S_{闪锌矿} > \delta^{34}S_{方铅矿}$）。笔者获得该成矿阶段 4 件脉石矿物方解石的碳、氧同位素组成（$\delta^{13}C$ 和 $\delta^{18}O$ 分别为-4.5‰～-6.5‰和 8.8‰～10.3‰）也基本上原生碳酸岩的 C、O 同位素组成范围（$\delta^{13}C$ 和 $\delta^{18}O$ 分别为-4‰～ -8 ‰和 6‰～10‰）（Taylor et al., 1967）之内，

表明矿床早期成矿流体主要来源于深部地幔，毕献武等(2000，2001) 的研究结果进一步证实，矿区富碱侵入岩成岩过程中分异出来的岩浆流体提供了矿床早期成矿阶段（阶段Ⅰ）的成矿流体。

阶段Ⅱ的硫同位素组成明显高于幔源硫，但毕献武等（2001）报道该成矿阶段 4 件脉石矿物方解石的 $\delta^{13}C$ 为-6‰～-8‰，在原生碳酸岩的碳同位素组成范围之内，据此认为矿床晚期成矿流体中混入了大量贫 CO_2、富 $\delta^{34}S$ 的大气成因地下水。钱祥贵等（2000）根据氢、氧同位素组成，认为矿床晚期成矿流体中硫、氢、氧部分来源于矿区沉积地层。笔者获得该成矿阶段 2 件脉石矿物方解石 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{18}O$ 分别为-7.9‰～-8.5‰和 11.7‰～12.5‰，两者均与原生碳酸岩的碳、氧同位素组成范围有一定的偏差，且 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{18}O$ 值分别低于和高于阶段Ⅰ脉石矿物方解石，Demeny et al.（1995）认为这种特征是岩浆演化过程发生以 CO_2 和 H_2O 为主的去气作用的结果。因此，本文认为矿区富碱侵入岩成岩过程中去气作用形成的流体参与了矿床晚期成矿流体，但其中的硫可能来源于地层和（或）富 $\delta^{34}S$ 的大气成因地下水。

致谢：野外工作得到姚安金矿地质组徐斌工程师的大力支持，在此表示感谢！

参　考　文　献

毕献武，胡瑞忠, Cornell D H. 2000. 蚀变流体的来源: 矿化蚀变带中原生与次生长石的稀土元素证据[J]. 北京：科学通报, 45: 1429～1432.

毕献武，胡瑞忠，Cornell D H. 2001. 富碱侵入岩与金成矿关系: 云南省姚安金矿床成矿流体形成演化的微量元素和同位素证据[J]. 地球化学，30: 264～272.

钱祥贵，李志伟. 2000. 滇中姚安金矿床地质地球化学特征[J]. 大地构造与成矿学， 24 (增刊): 31～36.

涂光炽，张玉泉，赵振华. 1984. 华南两个富碱侵入岩带的初步研究[A]. 见: 涂光炽. 花岗岩地质与成矿关系[M]. 南京: 江苏科学出版社. 21～37.

张玉泉，谢应雯. 1995. 横断山区花岗岩类地球化学[M]. 北京: 科学出版社.

Demeny A, Harangi S. 1995.Stable isotope studies and processes of carbonate formation in Hungarian alkali basalts and lamprophyres: evolution of magmatic fluids and magma-sediment interactions[J]. Lithos, 37: 335～349.

Muller D, Groves D I. 1995. Potassic Igneous Rocks and Associated Gold-Copper Mineralization. Berlin: Springer.

Ohmoto H. 1972. Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits[J]. Econ Geol, 67: 551～579.

Taylor H P, Frechen J, Degens E T. 1967. Oxygen and carbon isotope studies of carbonatites from the Laacher See district, West Germany, and the Alno district, Sweden[J]. Geochim Cosmochim Acta, 31: 497～430.