

滇东南老君山矿集区三保锰银矿床碳氧同位素特征及其意义

杜胜江^{1,2}, 温汉捷^{3,4*}, 秦朝建³, 卢树藩¹, 燕永锋⁵, 杨光树⁵

1. 贵州省地质调查院, 贵州 贵阳 550004;
2. 东华理工大学, 江西 南昌 330013;
3. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550081;
4. 中国科学院大学, 北京 100049;
5. 昆明理工大学, 云南 昆明 650000

摘要:对三保锰银矿床进行了系统的碳氧同位素及电子探针研究,发现矿石中的菱锰矿和共生方解石的碳同位素值均偏负,氧同位素值为正,而围岩的碳同位素组成在零值附近。研究表明:三保锰银矿床的碳可能主要来自地幔源或深部岩浆系统,但其碳同位素组成并没有完全落在深部地幔 $\delta^{13}\text{C}$ 的范围,暗示着成矿流体中的碳除了主要来源于深部系统之外,还加入了部分大气降水循环淋滤围岩中的碳。该矿床的矿体展布形态以似层状、透镜状和囊状为主,而非规则层状。另外,微区矿物学还发现矿石中还有少量的典型岩浆型副矿物,如锆石和金红石等。上述研究表明,该矿床应属于热液成因,而非一般的海相沉积型。该研究成果不仅阐述了锰银矿床的稳定碳氧同位素特征,而且有助于深化对矿床成因的认识,丰富找矿信息,从而提高找矿效果。

关键词:热液型矿床;碳氧同位素;电子探针;矿物学;氧化型锰矿;原生型锰矿;三保锰银矿床;老君山矿集区

中图分类号:P618.51 文献标志码:A 文章编号:1005-2518(2018)03-0261-09 DOI:10.11872/j.issn.1005-2518.2018.03.261
引用格式:DU Shengjiang, WEN Hanjie, QIN Chaojian, et al. Carbon-Oxygen Isotopic Characteristics and Its Significance of Sanbao Mn-Ag Deposit in Laojunshan Ore District, Southeastern Yunnan Province[J]. Gold Science and Technology, 2018, 26(3): 261-269. 杜胜江, 温汉捷, 秦朝建, 等. 滇东南老君山矿集区三保锰银矿床碳氧同位素特征及其意义[J]. 黄金科学技术, 2018, 26(3): 261-269.

三保锰银矿床隶属于云南省麻栗坡县,该区在不同的地质历史时期经历了华南加里东褶皱隆升、华夏板块与扬子板块俯冲碰撞、古太平洋板块向华南板块斜向俯冲及喜马拉雅运动等多阶段的构造演化^[1-5],从而造就了复杂的沉积与岩浆建造,同时形成了不同阶段的多金属矿床,其中三保锰银矿床就是一类重要的矿床。矿区分布地层主要为寒武

系田蓬组,W、Sn、Pb和Ag较富集;岩浆岩主要为花岗岩;变质岩主要是围绕老君山花岗岩体展布的不同变质程度的变质岩,变质时代跨度较长,从加里东期至燕山期均可见。前人曾对三保锰银矿床及其邻区构造属性和演化特征开展过不同程度的研究工作,并取得了一些重要的认识^[6-9]。然而,目前对于三保锰银矿床的成因认识尚存在较大的争议,

收稿日期:2017-08-19;修订日期:2018-01-17

基金项目:国家重点研发计划项目“稀散矿产资源基地深部探测技术示范”(编号:2017YFC0602503)、贵州省科技计划项目“煤系非常规天然气(煤系气)富集规律研究”(编号:黔科合[2016]支撑2807)、贵州省地质矿产勘查开发局地质科研项目“贵州晚二叠世龙潭组煤系非常规天然气(煤系气)有效目标层段划分—以普安地区为例”(编号:黔地矿科合(2016)31号)和贵州省创新人才团队项目“贵州省三稀(稀有、稀土、稀散)矿产资源科技创新人才团队”(编号:2017-5657)联合资助

作者简介:杜胜江(1986-),男,贵州平塘人,高级工程师,博士研究生,从事矿床学及成矿年代学研究工作。shengjiangdu@163.com

*通信作者:温汉捷(1971-),男,浙江嘉兴人,研究员,博士生导师,从事矿床学与同位素地球化学研究工作。wenhanjie@vip.gyig.ac.cn

这给该矿床的找矿勘探造成了一定的困难。

针对以上科学问题,对三保锰银矿床的矿石进行了系统的碳氧同位素分析,并结合宏观野外地质特征和微观矿物学特征,初步探讨了三保锰银矿床的成因,认为该矿床属于热液成因,并非正常沉积成因。

1 区域地质背景

1.1 区域地质特征

老君山矿集区位于云南省东南部,属于滇东南—桂西钨锡多金属成矿带。区域大地构造位置处于环太平洋成矿域与特提斯成矿域的交叉部位,次一级构造单位为华南褶皱带、哀牢山褶皱带、越北地块与扬子地块的叠合部位^[8,10]。由于该区域处于有利的构造位置,地质活动频繁发生,成矿作用连续不断,沿着滇东南成矿带依次展布有老君山花岗岩体、薄竹山花岗岩体和个旧花岗岩体,并伴随有相应的Sn-Ag-Zn-In多金属矿床,如都龙锡锌铜矿床、白牛厂银多金属矿床和个旧锡矿床^[11]。

长期以来,该矿区经历了多期地质作用,构建了岩性复杂多样、构造发育的格局,主要断裂有文山—麻栗坡、保良街和马关—都龙断裂(图1)。该矿集区内地层发育较全,沉积岩分布广泛,除侏罗—白垩系缺失之外,前寒武纪地层至第四系均有出露。区内岩浆活动强烈,主要分布有燕山期的老君山花岗岩和加里东期的南温河花岗岩^[12-17];变质作用普遍,加里东期和印支期主要为区域动力变质作用,燕山期主要为接触变质作用(与老君山花岗岩体侵位有关)^[18]。正是这些多期次的地质成矿作用,形成了一系列大型—超大型矿床(如新寨锡矿床、南秧田钨矿床和都龙锡锌铜矿床),进而构成了老君山锡—钨—铅—锌—铜—银—稀有—稀散多金属矿集区,一直备受地质学家的关注^[13,15,19-23]。

1.2 三保锰银矿床地质特征

三保锰银矿床距离老君山花岗岩约3 km,空间位置上恰好处于老君山花岗岩体北部的前缘地带。矿区内分布的地层主要有寒武系田蓬组和龙哈组的碎屑岩夹碳酸盐建造。田蓬组遭受了轻微变质作用,岩性以片岩和大理岩为主,可进一步划分为5段(表1)。龙哈组岩性主要为大理岩、大理岩化灰岩和白云质灰岩。赋矿层位主要为田蓬组

第四段和第五段,岩性主要为石英云母片岩和大理岩化灰岩,其下伏地层为云母片岩、变粒岩夹大理岩和砂卡岩,砂卡岩多呈似层状;上覆地层为龙哈组,主要岩性为白云岩、灰岩和云母片岩,部分灰岩已发生白云质化。矿区内断裂发育,大部分断裂为良好的导矿和容矿构造,少数断裂会破坏矿体(图2)。三保锰银矿床共有6个矿化带,均达中等规模^[24]。空间上,锰银矿体形态以似层状和透镜状为主,按风化程度,从上而下将矿体划分为氧化矿、混合矿和原生矿^[25-26]。

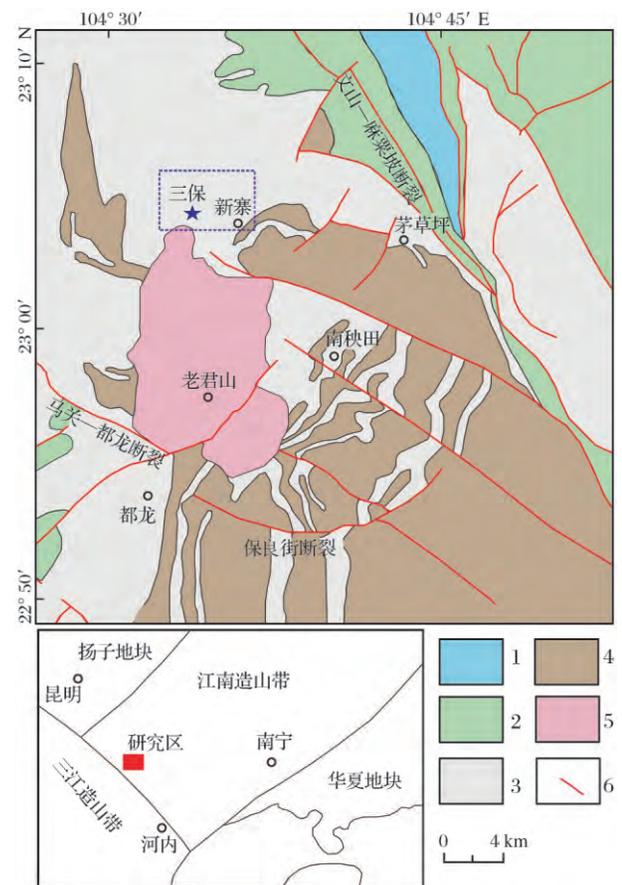


图1 老君山矿集区地质简图(据文献[13]修改)

Fig.1 Geological map of Laojunshan ore district (modified by reference [13])

1. 三叠系; 2. 泥盆系; 3. 寒武系; 4. 花岗岩片麻岩; 5. 花岗岩; 6. 断层

三保锰银矿床中的金属矿物主要有菱锰矿、软锰矿、水锰矿、黑锰矿、硬锰矿和褐铁矿等,其中硬锰矿和水锰矿是重要的载银矿物,还含有少量的方铅矿、闪锌矿(铁闪锌矿)和黄铁矿等。脉石矿物有石英、方解石、云母和黏土矿物等。值得注意的是,通过电子探针发现有颗粒细小的锡石、金

红石和锆石等副矿物,这对探讨该矿床成因(热液型)具有重要的指示意义。围岩蚀变主要有硅化、

矽卡岩化和大理岩化,还有少量的铅锌矿化和闪锌矿化等。

表 1 三保锰银矿床中寒武统田蓬组分段

Table 1 Detailed sections of Tianpeng Formation of Middle-Cambrian in Sanbao Mn-Ag deposit

地层分段(代号)	厚度/m	岩性	含矿性
第五段(ϵ_2^5)	244	杂色白云母片岩、石英片岩、二云母片岩	好
第四段(ϵ_2^4)	28~154	上部为青灰色大理岩化灰岩,中部为云母片岩、石英云母片岩,下部为白云质灰岩	好(主要赋矿层)
第三段(ϵ_2^3)	250	以石英片岩为主,含少量白云母片岩	差
第二段(ϵ_2^2)	70~298	白云质大理岩夹云母石英片岩,局部见矽卡岩小团块	差
第一段(ϵ_2^1)	235	石英片岩、二云母片岩和矽卡岩	差

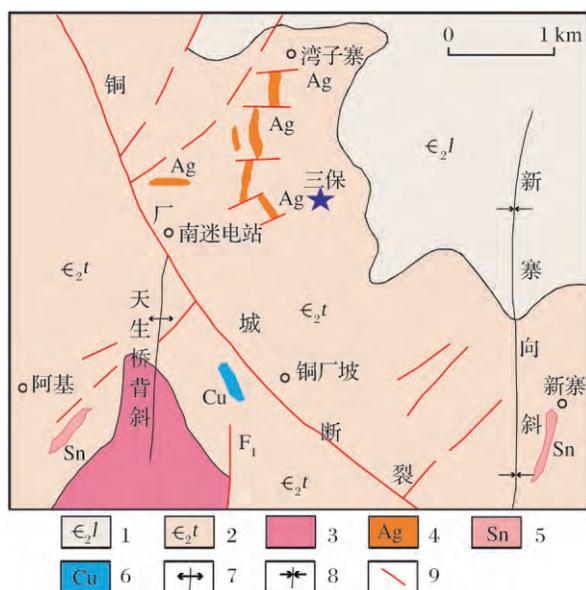


图 2 三保锰银矿床地质简图(据文献[20]修改)

Fig.2 Geological map of Sanbao Mn-Ag deposit (modified by reference [20])

1. 龙哈组; 2. 田蓬组; 3. 花岗岩; 4. 银矿体; 5. 锡矿体; 6. 铜矿体;
7. 背斜; 8. 向斜; 9. 断层

2 样品采集及分析方法

2.1 野外采样

基于系统的野外考察,在三保锰银矿床中采集了具有代表性的不同类型矿石和围岩样品。采集的矿石样品有富银氧化型矿石和贫银原生型菱锰矿石,菱锰矿中含有少量的闪锌矿和方铅矿等硫化物,有时充填有不规则状的方解石脉,故常见菱锰矿和方解石共生(图3)。

2.2 分析方法

(1)银专项测试。银专项测试工作在澳实分析

检测(广州)有限公司完成。主要选取2种类型的锰银矿石进行了银专项分析,采用四酸消解法电感耦合等离子体发射光谱测定矿石级样品元素含量。具体步骤:在试样中加入HNO₃、HClO₄、HF和HCl消解,挥发至近干;加入HCl和去离子水进行进一步的消解。消解完成并待溶液冷却后,用容量瓶定容,摇匀;采用电感耦合等离子体发射光谱仪检测样品。

(2)碳氧同位素分析。为了进一步探讨三保锰银矿床的成因,系统开展了相关碳氧同位素研究工作,该项工作在中国科学院地球化学研究所完成。样品处理和测试步骤如下:首先将所采集的方解石和菱锰矿样品逐级破碎、过筛,粒级为0.38~0.25 mm;然后在双目镜下反复挑选,使其纯度达到99%以上,为了与围岩大理岩碳氧同位素做对比,同时分析了围岩样品;气化反应条件为氦气,温度为80℃,将样品与浓H₃PO₄释放出来的CO₂在质谱仪(型号MAT 253)上进行相关碳氧同位素的测定。 $\delta^{13}C$ 以PDB为标准,计算 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 时,运用Friedman等提出的计算公式: $\delta^{18}O_{SMOW}=1.3086\delta^{18}O_{PDB}+30.86^{[27]}$ 。

3 结果与讨论

3.1 银含量

三保锰银矿床中样品的银测试结果见表2,不同类型锰银矿石的银含量测试结果表明,氧化型锰银矿中富银,而原生菱锰矿中贫银。

3.2 碳氧同位素及其指示意义

碳氧同位素的联合研究是区分不同成因碳酸盐岩的有效手段^[28],方解石、菱锰矿等碳酸盐矿物的

碳、氧同位素组成可以有效地示踪成矿流体的来源^[28-30]。自然界不同地质体中碳、氧同位素组成差异较大,因此,地质体的 $\delta^{13}\text{C}$ 变化在一定程度上能够反映碳的来源。郑永飞等^[31]指出在热液矿床研究中,碳氧同位素是示踪成矿流体来源的有效手段。而碳主

要有3种来源:(1)幔源或岩浆来源,其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{幔源}} = -5\text{‰} \sim -2\text{‰}$ 和 $\delta^{13}\text{C}_{\text{岩浆源}} = -9\text{‰} \sim -3\text{‰}$; (2)来源于碳酸盐岩的脱气作用或含盐卤水与泥岩淋滤交换作用, $\delta^{13}\text{C}$ 的变化范围为 $-2\text{‰} \sim +3\text{‰}$ ^[32]; (3)各种岩石中的有机碳, $\delta^{13}\text{C}$ 的变化范围为 $-30\text{‰} \sim -15\text{‰}$ ^[33-36]。

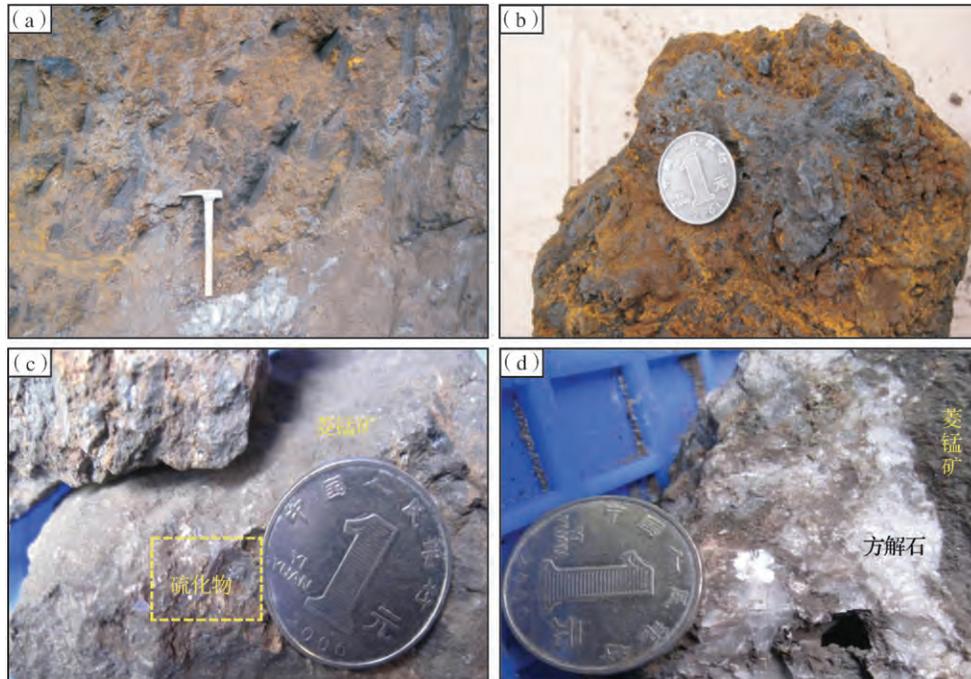


图3 三保锰银矿野外采样照片

Fig.3 Field sampling photograph of Sanbao Mn-Ag deposit

三保锰银矿床的碳氧同位素组成测试结果见表3,与菱锰矿共生的方解石的碳同位素组成约为 -2.8‰ ,氧同位素组成约为 8‰ ;菱锰矿碳同位素组成在 $-2.4\text{‰} \sim -7.0\text{‰}$ 之间,而对应的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = 18.8\text{‰} \sim 21.3\text{‰}$;围岩大理岩样品的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = 0 \sim -1.1\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = 15.4\text{‰} \sim 15.9\text{‰}$ 。该研究结果表明,方解石与菱锰矿碳同位素接近,可能来源于相同的碳源,而大理岩的碳同位素组成与其不一致,推测大理岩中的碳来源于不同的碳库。尤其是原生菱锰矿的碳同位素组成与正常海相灰岩的组成($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = 0 \pm 4\text{‰}$)差别较大^[36-37],故初步推测三保锰银矿床中的碳并非来源于海相灰岩。

总体上,三保锰银矿床中 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-7.0\text{‰} \sim 0$,变化不大,具有热液型矿床碳酸盐矿物的特征^[38],初步推断该矿床的碳源可能来自深部或是碳酸盐与有机质 CO_2 混合作用碳库^[35]。由于该矿床的碳同位素值变化范围较窄,且大于有机质的碳同位素

表2 三保锰银矿床矿石银含量测试结果
Table 2 Test results of silver content in Sanbao Mn-Ag deposit ($\times 10^{-6}$)

矿石类型	样品编号	$w(\text{Ag})$
氧化矿	SBY01	261
	SBY02	530
	SBY24	116
	SBY25	99
	SBY27	173
	SBYP15	117
原生矿	Sbyd-3	7
	2sby-1	1

组成,因此有机质碳不可能成为其主要碳源。将三保锰银矿床的碳同位素与其他碳物质的碳同位素进行对比(图4),可以看出样品碳同位素组成均集中在地幔 $\delta^{13}\text{C}$ 范围^[39],暗示着成矿流体中的碳可能主要源于地幔或者深部岩浆系统。但是,该矿床的

碳同位素值并没有完全落在深部地幔 $\delta^{13}\text{C}$ 的范围内,进一步表明成矿流体中的碳可能主要是幔源碳,同时加入了大气降水循环淋滤碳酸盐地层中的碳。另外,所有样品的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}=8.0\text{‰}\sim 21.3\text{‰}$,变化相对较大。

表3 三保锰银矿床碳氧同位素组成
Table 3 Carbon and oxygen isotopic composition of Sanbao Mn-Ag deposit (‰)

样品编号	岩性	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$
sbyd-4	大理岩(围岩)	15.3600	-0.5206
sbyd-9	大理岩(围岩)	15.5092	-1.1028
sbyd-11	大理岩(围岩)	15.8530	-0.0080
sbyd-16	方解石	7.9990	-2.8838
sbyd-18	方解石	8.3286	-2.8499
sbyd-10	菱锰矿	20.2689	-7.0427
sbyd-12	菱锰矿	20.0040	-2.3980
sbyd-14	菱锰矿	18.7850	-6.4389
sbyd-20	菱锰矿	20.7454	-4.5473
2sby-3	菱锰矿	21.2952	-5.1597

不同地质体中常发育有各种类型的方解石等碳酸盐脉,但其可能具有不同的成因。例如:沉积碳酸盐岩中发育的方解石脉通常是大气降水循环淋滤作用的产物,而矿床中与成矿相关且与矿石矿物共生的方解石脉,可能是成矿流体演化的结果。因此,该类方解石碳氧同位素组成在一定程度上能够指示成矿流体中碳、氧同位素组成信息,对探讨矿床成因具有重要作用。而本次研究所采

集的方解石脉与原生菱锰矿共生,故该方解石和菱锰矿的碳氧同位素组成可较好地指示锰银矿的成因。刘建明等^[40]和毛景文等^[41]总结出地壳流体中碳氧的3个主要来源,即有机质、海相碳酸盐岩和岩浆—地幔,同时系统剖析了这些源头是如何产生二氧化碳的(图5)。三保锰银矿床中的碳氧同位素组成主要落在岩浆—地幔碳与海相碳酸盐岩的过渡部位(图5),显示出2种流体混合的趋势,只是所占比例不同,表明该锰银矿床中碳可能主要来自地幔源或深部岩浆系统,尤其是方解石碳氧同位素完全落在花岗岩区域,这是该锰银矿床属于热液成因的良好地质证据。虽然上述推断没有完全考虑碳酸盐矿物结晶时的同位素分馏,但从图中可以清晰地看出大的变化趋势。

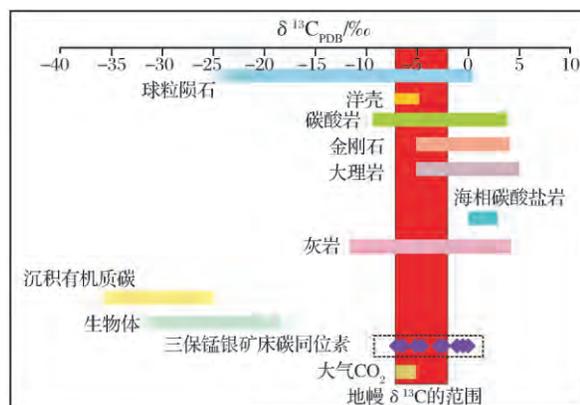


图4 三保锰银矿碳同位素与其他碳物质对比图
Fig.4 Comparison of carbon isotope composition with other carbon materials in Sanbao Mn-Ag deposit

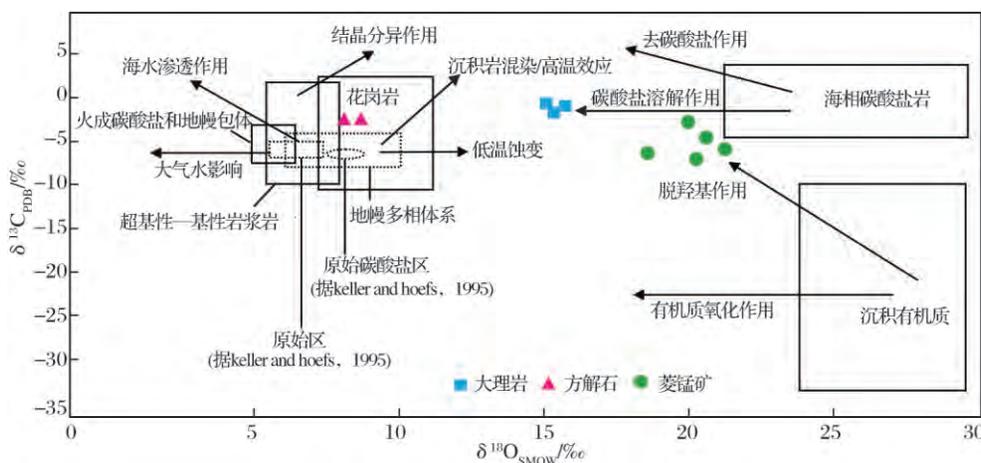


图5 三保锰银矿 $\delta^{18}\text{O}-\delta^{13}\text{C}$ 图解(据文献[15,21]修改)
Fig.5 Diagram of $\delta^{18}\text{O}-\delta^{13}\text{C}$ in Sanbao Mn-Ag deposit(modified by reference [15,20])

3.3 矿物学特征

在电子探针下,也发现了细颗粒典型岩浆副矿物,如锆石、锡石和金红石等,且可见锡石与金红石

共生的现象(图6),结合原生菱锰矿含有少量的闪锌矿、方铅矿等硫化物,这些矿物的出现可能指示三保锰银矿床的成因属于热液型,而非沉积型。

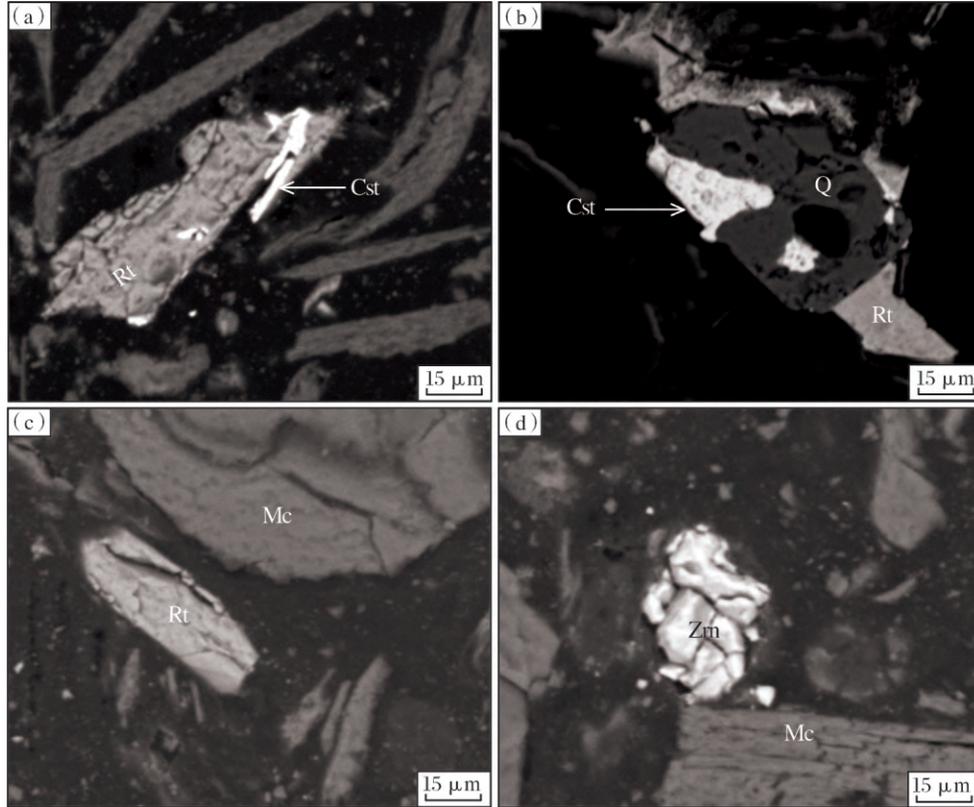


图6 三保锰银矿中副矿物的背散射图像(BSE)

Fig.6 Backscattered electron(BSE)images of accessory minerals in Sanbao Mn-Ag deposit

Rt-金红石;Mc-云母类矿物;Cst-锡石;Q-石英;Zrn-锆石

4 结论

(1)三保锰银矿床的碳氧同位素特征表明,其碳可能主要来源于地幔源或深部岩浆系统,同时加入了部分大气降水循环淋滤围岩中的碳。

(2)通过系统的野外地质工作,发现该矿床的锰银矿体展布形态并非典型的层状,而是以似层状、透镜状和囊状为主,这是非典型海相沉积的证据之一。

(3)系统微区矿物学研究发现,该矿床的锰银矿石中含有锆石、金红石和锡石等典型的岩浆型副矿物,这也是非典型海相沉积的证据之一。

(4)综上所述,初步推断滇东南老君山矿集区北部的三保锰银矿成因属于热液型,而非一般的海相沉积型。当然,这只是初步的认识,今后还需加

强其他同位素和包裹体的相关研究,以提供更多的地质证据。

参考文献(References):

- [1] 毕珉烽,张达,吴淦国,等.滇东南麻栗坡一带中生代构造变形及其对钨多金属矿床的控制作用[J].地学前缘,2015,22(4):223-238.
Bi Minfeng, Zhang Da, Wu Ganguo, et al. Mesozoic tectonic deformation and ore-controlling of tungsten polymetallic deposits in Malipo area, southeast Yunnan [J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(4): 223-238.
- [2] 徐克勤,孙鼐,王德滋,等.华南多旋回花岗岩类的侵入时代、岩性特征、分布规律及其成矿专属性的探讨[J].地质学报,1963,43(2):141-155.
Xu Keqin, Sun Nai, Wang Dezi, et al. Investigation on the polycyclic granite intrusions of Southern China, with

- special notice on their ages of intrusions, distribution, characteristics, and their genetic relations to mineral deposits[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1963, 43(2): 141-155.
- [3] 舒良树. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东期造山带[J]. *高校地质学报*, 2006, 12(4): 418-431. Shu Liangshu. Predevonian tectonic evolution of South China: from Cathaysian block to Caledonian period folded orogenic belt[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2006, 12(4): 418-431.
- [4] Wang Y J, Fan W M, Zhao G C, et al. Zircon U-Pb geochronology of gneissic rocks in the Yunkai massif and its implications on the Caledonian event in the South China Block[J]. *Gondwana Research*, 2007, 12(4): 404-416.
- [5] 华仁民, 张文兰, 陈培荣, 等. 初论华南加里东花岗岩与大规模成矿作用的关系[J]. *高校地质学报*, 2013, 19(1): 1-11. Hua Renmin, Zhang Wenlan, Chen Peirong, et al. Relationship between Caledonian granitoids and large-scale mineralization in South China[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2013, 19(1): 1-11.
- [6] 周青云, 张沛全, 李鉴林, 等. 文山—麻栗坡断裂北段晚第四纪活动特征研究[J]. *地震研究*, 2016, 39(3): 386-396. Zhou Qingyun, Zhang Peiquan, Li Jianlin, et al. Research on characteristics of Late Quaternary activity of the North Wenshan-Malipo fault[J]. *Journal of Seismological Research*, 2016, 39(3): 386-396.
- [7] 陈泽超, 林伟, Faure M, 等. 越南东北部早中生代构造事件的年代学约束[J]. *岩石学报*, 2013, 29(5): 1825-1840. Chen Zechao, Lin Wei, Faure M, et al. Geochronological constraint of early Mesozoic tectonic event at Northeast Vietnam [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(5): 1825-1840.
- [8] 张世涛, 冯明刚, 吕伟. 滇东南南温河变质核杂岩解析[J]. *中国区域地质*, 1998, 17(4): 390-397. Zhang Shitao, Feng Minggang, Lü Wei. Analysis of the Nanwenhe metamorphic core complex in Southeastern Yunnan [J]. *Regional Geology of China*, 1998, 17(4): 390-397.
- [9] 李东旭, 许顺山. 变质核杂岩的旋扭成因: 滇东南老君山变质核杂岩的构造解析[J]. *地质评论*, 2000, 46(2): 113-119. Li Dongxu, Xu Shunshan. Rotation-shearing genesis of metamorphic core complex—structural analysis of metamorphic core complex in Laojunshan, Southeastern Yunnan Province [J]. *Geological Review*, 2000, 46(2): 113-119.
- [10] 梅燕雄, 裴荣富, 杨德凤. 全球成矿域和成矿区带[J]. *矿床地质*, 2009, 28(4): 383-389. Mei Yanxiong, Pei Rongfu, Yang Defeng. Global metallogenic domains and districts [J]. *Mineral Deposits*, 2009, 28(4): 383-389.
- [11] 涂光炽. 我国西南地区两个别具一格的成矿带(域)[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2002, 21(1): 1-2. Tu Guangzhi. Two unique mineralization areas in Southwest China [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2002, 21(1): 1-2.
- [12] 安保华. 老君山岩体特征、成因及其找矿意义探讨[J]. *西南矿产地质*, 1990, 4(1): 30-35. An Baohua. The characteristics, genesis and the prospecting significance of the Laojunshan granite [J]. *Southwest Mineral Geology*, 1990, 4(1): 30-35.
- [13] 冯佳睿. 云南麻栗坡南秧田钨矿床成矿流体特征与成矿作用[D]. 北京: 中国地质科学院, 2011. Feng Jiarui. The Ore-forming Fluid and Metallogensis of Nanyangtian Tungsten Deposit in Malipo, Yunnan Province, China [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2011.
- [14] 官容生. 滇东南构造岩浆带花岗岩体的含矿性探讨[J]. *矿物岩石*, 1991, 11(1): 92-101. Guan Rongsheng. An approach of mineralization of granite mass in the structure tectonic magmatic belt in the Southeast of Yunnan [J]. *Mineralogy and Petrology*, 1991, 11(1): 92-101.
- [15] 刘玉平, 李正祥, 李惠民, 等. 都龙锡锌矿床锡石和锆石 U-Pb 年代学滇东南白垩纪大规模花岗岩成岩—成矿事件[J]. *岩石学报*, 2007, 23(5): 967-976. Liu Yuping, Li Zhengxiang, Li Huimin, et al. U-Pb geochronology of cassiterite and zircon from the Dulong Sn-Zn deposit: Evidence for Cretaceous large-scale granitic magmatism and mineralization events in southeastern Yunnan Province, China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(5): 967-976.
- [16] 谭洪旗, 刘玉平, 徐伟, 等. 中—浅正变质岩锆石 SHRIMP 法与 TIMS 法测年结果不一致处理——以滇东南南温河花岗岩为例[J]. *矿物学报*, 2011, 31(1): 62-69. Tan Hongqi, Liu Yuping, Xu Wei, et al. A study on SHRIMP and TIMS zircons dating on low-to medium-grade ortho-metamorphic rocks example on the Nanwenhe granites, southeastern Yunnan Province, China

- [J].Acta Mineralogica Sinica, 2011, 31(1):62-69.
- [17] 张斌辉, 丁俊, 任光明, 等. 云南马关老君山花岗岩的年代学、地球化学特征及地质意义[J]. 地质学报, 2012, 86(4):587-601.
Zhang Binhui, Ding Jun, Ren Guangming, et al. Geochronology and geochemical characteristics of the Laojunshan granites in Maguan County, Yunnan Province, and its geological implications[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(4):587-601.
- [18] 冯佳睿, 毛景文, 裴荣富, 等. 滇东南老君山地区印支期成矿事件初探——以新寨锡矿床和南秧田钨矿床为例[J]. 矿床地质, 2011, 30(1):57-73.
Feng Jiarui, Mao Jingwen, Pei Rongfu, et al. A tentative discussion on Indosinian ore-forming events in Laojunshan area of southeastern Yunnan: A case study of Xinzhai tin deposit and Nanyangtian tungsten deposit [J]. Mineral Deposits, 2011, 30(1):57-73.
- [19] 王学焜. 麻栗坡新寨锡矿床地质地球化学特征[J]. 云南地质, 1994, 13(1):1-16.
Wang Xuekun. Geological-geochemical characteristics of Xinzhai tin deposit in Malipo [J]. Yunnan Geology, 1994, 13(1):1-16.
- [20] 贾福聚. 云南老君山成矿区成矿系列及成矿规律研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2010.
Jia Fujun. Research on Metallogenic Series and Gularities in Laojunshan Metallogenic Belt, Yunnan Province [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2010.
- [21] 刘玉平, 叶霖, 李朝阳, 等. 滇东南发现新元古代岩浆岩: SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学证据[J]. 岩石学报, 2006, 22(4):916-926.
Liu Yuping, Ye Lin, Li Chaoyang, et al. Discovery of the Neoproterozoic magmatics in southeastern Yunnan: Evidence from SHRIMP zircon U-Pb dating and litho-geochemistry [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(4):916-926.
- [22] 伍伟. 云南老君山成矿区找矿信息集成及勘查靶区优选[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2010.
Wu Wei. Integration of Prospecting Information and Optimized Target Areas for the Exploration in Laojunshan Metallogenic Region, Yunnan [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2010.
- [23] 张洪培, 刘继顺, 李晓波, 等. 滇东南花岗岩与锡、银、铜、铅、锌多金属矿床的成因关系[J]. 地质找矿论丛, 2006, 21(2):87-90.
Zhang Hongpei, Liu Jishun, Li Xiaobo, et al. Relation-ship of granites to tin, silver, copper, lead, zinc, polymetallic deposits in Southeastern Yunnan, China [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2006, 21(2):87-90.
- [24] 曹文书, 刘继顺. 滇东南三保银多金属矿床地质特征[J]. 有色金属矿产与勘查, 1998, 7(2):86-91.
Cao Wenshu, Liu Jishun. Geology and metallogenesis of the Sanbao silver polymetallic deposit, the Southeast Yunnan [J]. Geological Exploration for Nonferrous Metals, 1998, 7(2):86-91.
- [25] 杨国尼, 龚洪波. 麻栗坡三保银多金属矿床成分及成因探讨[J]. 云南地质, 2009, 28(1):60-66.
Yang Guoni, Gong Hongbo. The ore composition of Sanbao, Malipo Ag multimetallic deposit and a discussion about the genesis [J]. Yunnan Geology, 2009, 28(1):60-66.
- [26] 薛步高. 麻栗坡三保—锰矿床氧化矿石的选冶性能及其矿床类型[J]. 云南地质, 2000, 19(2):184-193.
Xue Bugao. The deposit type and washability of oxidized ore in the Sanbao Ag-Mn deposit, Malipo [J]. Yunnan Geology, 2000, 19(2):184-193.
- [27] Friedman I, O'Neil J R. Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest [C]//Data of Geochemistry. Washington: United States Government Printing Office, 1997.
- [28] Rollinson H R. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation [M]. New York: Longman Scientific and Technical, 1993.
- [29] Huang Z L, Li W B, Chen J, et al. Carbon and oxygen isotope constraints on mantle fluid involvement in the mineralization of the Huize super-large Pb-Zn deposits, Yunnan Province, China [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2003, 78/79:637-642.
- [30] Zheng Y F. Carbon-oxygen isotopic covariation in hydrothermal calcite during degassing of CO₂ [J]. Mineralium Deposita, 1990, 25(4):246-250.
- [31] 郑永飞, 陈江峰. 稳定同位素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
Zheng Yongfei, Chen Jiangfeng. Stable Isotope Geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [32] Taylor B E. Magmatic volatiles: isotopic variation of C, H, and S [J]. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 1986, 16(1):185-225.
- [33] Veizer J, Holser W T, Wilgus C K. Correlation of ¹³C/¹²C and ³⁴S/³²S secular variations [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1980, 44(4):579-587.

- [34] Ohmoto H. Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits[J]. *Economic Geology*, 1972, 67(5):551-578.
- [35] Ohmoto H. Isotopes of sulfur and carbon[J]. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 1979, 20(3):509-567.
- [36] Hoefs J. *Stable Isotope Geochemistry* [M]. Berlin: Springer, 1997.
- [37] Veizer J, Hoefs J. The nature of O^{18}/O^{16} and C^{13}/C^{12} secular trends in sedimentary carbonate rocks[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1976, 40(11): 1387-1395.
- [38] Rye R O, Ohmoto H. Sulfur and carbon isotopes and ore genesis: A review[J]. *Economic Geology*, 1974, 69(6): 826-842.
- [39] 储雪蕾. 地幔的碳同位素[J]. *地球科学进展*, 1996, 11(5):446-452.
Chu Xuelei. Carbon isotopes in mantle [J]. *Advance in Earth Science*, 1996, 11(5):446-452.
- [40] 刘建明, 刘家军. 滇黔桂金三角区微细浸染型金矿床的盆地流体成因模式[J]. *矿物学报*, 1997, 17(4): 448-456.
Liu Jianming, Liu Jiajun. Basin fluid genetic model of sediment-hosted micro-disseminated gold deposits in the gold-triangle area between Guizhou, Guangxi and Yunnan [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1997, 17(4): 448-456.
- [41] 毛景文, 赫英, 丁悌平. 胶东金矿形成期间地幔流体参与成矿过程的碳氧同位素证据[J]. *矿床地质*, 2002, 21(2): 121-128.
Mao Jingwen, He Ying, Ding Tiping. Mantle fluids involved in metallogenesis of Jiaodong (East Shandong) gold district: Evidence of C, O and H isotopes [J]. *Mineral Deposits*, 2002, 21(2): 121-128.

Carbon-Oxygen Isotopic Characteristics and Its Significance of Sanbao Mn-Ag Deposit in Laojunshan Ore District, Southeastern Yunnan Province

DU Shengjiang^{1,2}, WEN Hanjie^{3,4}, QIN Chaojian³, LU Shufan¹, YAN Yongfeng⁵, YANG Guangshu⁵

1. *Guizhou Geological Survey, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Guiyang 550005, Guizhou, China;*

2. *East China University of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China;*

3. *State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, Guizhou, China;*

4. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

5. *Kunming University of Science and Technology, Kunming 650000, Yunnan, China*

Abstract: A systematic study of carbon-oxygen isotope and electron microprobe for Sanbao Mn-Ag deposit was carried out. It was found that the carbon isotope composition of primary rhodochrosite and coexisted calcite were negative and the oxygen isotopic value were positive, while the carbon isotope value of wall rock was near zero. The results show that the carbon in Sanbao Mn-Ag deposit mainly derives from the mantle source or deep magma system, but its carbon isotope value of this deposit doesn't completely within $\delta^{13}C$ value of deep mantle. It implies that the carbon in the ore-forming fluid may derive mainly from deep system, at the same time, atmospheric precipitation is added to cyclic leaching partial carbon produced from wall rock. The morphology of the ore bodies is stratoid layers, lentoid and lenticular and cystic, rather than typical of layered structure. Additionally, some magmatic accessory minerals such as zircon and rutile are discovered in the Mn-Ag ores. Comprehensive analysis show that the genetic type of Sanbao Mn-Ag deposit belongs to hydrothermal origin and not marine sedimentary deposit. Therefore, this study not only reports characteristics of stable carbon-oxygen isotope but is helpful to deepen the understanding on deposit genesis, broaden exploring information and improve prospecting effect.

Key words: hydrothermal type deposit; carbon-oxygen isotope; electron probe; Mineralogy; oxidized manganese ore; primary manganese ore; Sanbao Mn-Ag deposit; Laojunshan ore district