

文章编号: 1008-0244(2001)01-14-07

湘中锡矿山式铋矿成矿物质来源探讨

陶 琰 高振敏

(中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放实验室, 贵阳, 550002)

金景福 曾令交

(成都理工学院, 成都, 610059)

摘 要 本文从地层含矿性、同岩浆活动的关系及同位素组成特征等几个方面进行分析,以阐明湘中锡矿山式铋矿成矿物质来源于构造岩浆活化作用形成的区域性深部上升流体。虽然赋矿层位相对集中,但不存在明显的铋矿源层。铅同位素研究表明矿石铅来源于深部均化条件下的铅同位素演化系统,与围岩地层铅同位素明显不同。硫同位素显示矿石硫为均一化程度较高的混合深源硫。包裹体水氢、氧同位素组成介于大气降水与初生水之间,为混合水类型。

关键词 湖南 锡矿山式铋矿 成矿物质来源 同位素特征 成矿流体

中图分类号: P618.66

文献标识码: A

低温热液矿床的成矿物质来源一直是最具争议性的问题,长期以来,在对湘中锡矿山式铋矿的研究中,不同作者在认识上存在巨大分歧。九十年代以前,争议的焦点集中在矿质是来源于岩浆还是来源于地层。一些作者认为,铋成矿与隐伏岩体有成因联系,成矿物质主要来自岩浆期后热液^[1,2],而意见相反的观点则认为铋成矿与岩浆作用无成因联系,成矿物质来源于围岩地层^[3-5]。九十年代以来,围绕矿质来源于地壳还是地幔、原地还是异地,众说纷纭,提出了多种成因观点如“热卤水成矿”^[6]、“古水热活动成矿”^[7]、“壳-幔成矿作用”^[8,9]以及“地幔柱演化成矿”^[10]等。

本文研究认为,成矿物质来源于区域性深部上升流体—构造岩浆活化作用中地幔与地壳渗出的混合流体。下面拟从地层含矿性,同位素组成特征及同岩浆活动的关系等几个方面进行讨论。

1 地质概况

锡矿山式铋矿又称为似层状硅化岩型铋矿,以锡矿山铋矿为典型代表,赋存于中泥盆统一下三叠统构造层,产出在灰岩与细碎屑岩组合

建造中,以围岩硅化为显著特征,硅化作用对原岩蚀变交代,沿层间破碎带或断裂带成面型或线型分布,形成硅化体。矿体产出在硅化体中,金属矿物基本上为单一的辉铋矿,在硅化岩中以浸染状、脉状、构造角砾胶结物、团块状或构造空洞充填产出;脉石矿物主要为石英或方解石。锡矿山式铋矿是湘中地区最重要的铋矿类型,占有湘中地区铋矿储量的75%,分布于湘中盆地范围内,地处华南褶皱系向扬子地台的过渡部位,矿床矿点众多,目前已发现四十多处,地跨娄底、涟源、冷水江、邵阳等地市,主要产出于隆起(带)边缘并受区域性深大断裂控制(图1)。矿体一般定位于背斜轴部或翼部被纵向陡倾角断裂构造所切穿的部位,成矿温度一般100~200℃,是典型低温热液矿床^[11]。

由于矿床矿物组合简单,缺乏供放射性同位素定年的矿石矿物,故湘中铋矿成矿时代精确定年难度很大,但普遍认为成矿作用发生于燕山晚期^[2,4,5,11],其依据包括地质分析和各种同位素年龄测定。区域地质研究认为,矿床受燕山期构造控制^[2,11]。以锡矿山和廖家坪岩脉为参照物的同位素定年一直是最为确切的证据。对锡矿山矿田东部云斜煌斑岩全岩用K-Ar法测年结果为119Ma(金荣龙,1980);廖家坪花岗斑岩同位素年龄为200Ma(肖启明等,1996^[12])。地质现象表明这些岩脉形成在成矿作用之前,可以作为铋矿成矿年龄的上限。史明魁等(1993)^[7]采用脉石石

收稿日期:2000-04-18;修回日期:2000-08-02

基金项目:地矿部定向科研基金(地定96-13)。

第一作者简介 陶 琰(1963-) 男 博士 从事矿床地球化学研究

英流体包裹体 Rb-Sr 等时线测得沃溪及龙山锑金矿年龄分别为 144.8Ma 和 175Ma。金景福等(1999)^[11]对锡矿山、罗家塘及左湾三个锑矿床(点)硅化石英作了电子自旋共振法测年,测得 ESR 年龄为 51.6~66.4Ma。根据 ESR 测年的技术特点,可以将它视为成矿年龄的下限。

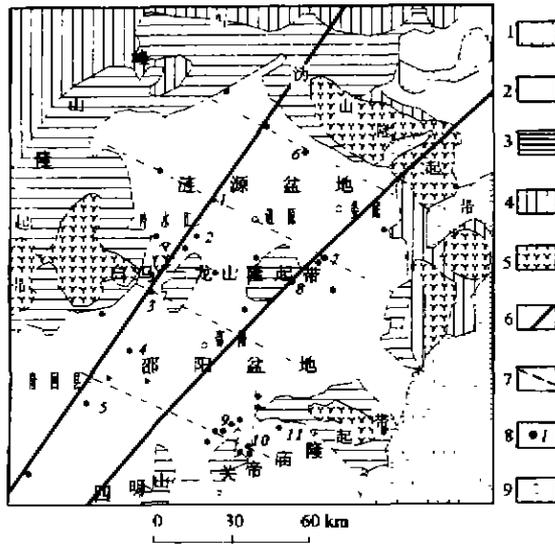


图1 湘中地区地质简图

Fig. 1. Geological sketch map of the Xiangzhong area.

1. 白垩系—第三系; 2. 泥盆系—中三叠统; 3. 震旦—志留系;
4. 冷家溪—板溪群; 5. 印支—燕山期花岗岩; 6. 超壳断裂;
7. 隐伏基底断裂; 8. 锡矿山式锑矿床(点)及编号; 9. 市、县所在地。矿床点: 1—锡矿山; 2—罗家塘; 3—牛山铺; 4—芭蕉坳; 5—五峰山; 6—甘溪; 7—马颈坳; 8—左湾; 9—石井铺; 10—新王家; 11—三德堂。

2 地层含矿性

根据湘中地区十一个 1:20 万区调图幅基岩光谱资料^[2], 124 条地层剖面共 6777 个基岩光谱分析, 有锑出谱样 216 个, 出谱率 3.19%, 出谱样平均 Sb 含量为 37.16×10^{-6} (表 1)。

表 1 所列数据出谱率最高的为寒武系(占 13.64%); 泥盆系出谱样 Sb 平均含量最高, 达 46.20×10^{-6} , 但出谱率只有 1.08%, 对泥盆系出谱样品按地层组进行统计发现锑含量最高的样品主要出现在跳马涧组, 而棋梓桥组至锡矿山组出谱样品 Sb 含量平均只有 32.50×10^{-6} 。

湖南地矿局物探队在锡矿山外围实测了 8 条泥盆系地层剖面^[2], 系统采集基岩光谱样 4200 个, 仅禾青、坪上、棋梓桥三条剖面有 Sb 出谱样 31 个(检出限为 30×10^{-6}), 出谱率 4.56%。若按

4200 个样计算, 出谱率更低, 仅 0.74%, 总的看来, 出谱率是很低的。杨舜全(1986)^[13]等认为, 少数样品出谱的原因是剖面靠近锑矿点或岩体。

表 1 湘中地区地层中 Sb 元素含量统计表
(据林肇风等, 1987^[2])

Table 1. Sb content statistics of strata in the Xiangzhong area

地层	剖面 条数	样品 数	Sb		
			出谱样个数	出谱率(%)	均值(10^{-6})
板溪群	14	1428	12	0.84	26.67
震旦系	22	991	34	3.43	41.17
寒武系	14	858	117	13.64	38.62
奥陶系	9	784	25	3.19	26.78
志留系	3	21	0	0	
泥盆系	48	1952	21	1.08	46.20
石炭系	14	743	7	0.94	21.25
合计	124	6777	216	3.19	37.16

上述资料所示各出谱样光谱值为 $n \times 10 \times 10^{-6}$, 远高于 K. K. Turekian and K. H. Wedepohl (1961)^[14]所统计的沉积岩中 Sb 丰度值 ($0.2 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$), 经湖南省地矿局地质研究所及物探队作对应检测^[2], 出谱样光谱值比对应化学分析高出一个数量级左右, 各出谱样品的 Sb 含量的实际值大致在 $1 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$ 之间, 而大部分未检出样品的 Sb 实际值应在 1×10^{-6} 以下。

因此, 区内各地层的 Sb 含量并不高。许多研究人员经仔细研究后认为, 要寻找一个公认的锑矿源层是较困难的^[2,5,13,15]。

3 铅同位素组成

湘中锡矿山式锑矿主要矿床(点)岩矿铅同位素组成及部分计算参数列于表 2, 综合分析如下:

(1) 辉锑矿 Pb 同位素组成 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 18.506~18.957, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.614~15.917, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 38.666~39.984, 蚀变硅化岩 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 18.392~18.957, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.590~15.638, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 38.322~38.746, 属于正常铅范围^[16], 铅同位素组成变化较小, 反映本类型锑矿具有统一的成矿流体来源。

(2) 如图 2 所示, 辉锑矿 Pb 同位素组成与围岩地层岩石 Pb 同位素组成有明显的差异。何明友(1997)^[17]曾利用矿石与围岩 Pb 同位素组成的拟合趋势关系探讨成矿与围岩的成因联系。从图 2 可见, 矿石与围岩不能联系到同一拟合趋势线上。蚀变硅化岩的同位素组成介于二者之间, 但与辉锑矿较为接近, 辉锑矿及以硅化岩为主的热

液蚀变岩石 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} \geq 18.4$, 围岩地层则 < 18.3 , $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 前者一般在 38.6 以上, 后者小于 38.5。上述特征反映出矿化与硅化的同源性,

成矿流体不是来自围岩地层, 但流体蚀变作用对原岩地层有一定的继承性或受围岩的混染影响。

表 2 铅同位素组成及有关参数

Table 2. Lead isotopic composition and related parameters

矿床(点)	样品编号	岩矿名称	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	模式年龄(Ma)	$\Delta\beta$	$\Delta\gamma$			
锡矿山	XK6	辉锑矿	18.622	15.718	38.666	158	25.31	31.92			
			18.650	15.917	38.984	72	38.29	40.41			
	甘溪		GX002K	18.509	15.620	38.732	175	18.92	33.68		
	马颈坳		MJ103K	18.517	15.672	38.749	168	22.31	34.13		
	牛山铺		NS003K	18.506	15.614	38.698	184	18.53	32.77		
	新王家		XW103K	18.514	15.633	38.750	169	19.77	34.16		
	三德堂		SD-SJ1	18.957	15.810	38.755	37	31.31	34.29		
锡矿山	XK15-1-2	蚀变硅化岩	18.413	15.632	38.356	293	19.70	23.65			
			XK15-3	18.392	15.614	38.737	207	18.53	33.81		
			XK15-27	18.413	15.636	38.746	199	19.96	34.05		
			XK005Y	18.509	15.590	38.606	205	16.96	30.32		
	罗家塘		LJ012Y	18.531	15.620	38.667	184	18.92	31.95		
	马颈坳		MJ101Y	18.569	15.608	38.627	183	18.13	30.88		
	牛山铺		NS005Y	18.534	15.601	38.605	198	17.68	30.29		
	新王家		XW107Y	18.529	15.601	38.657	187	17.68	31.68		
	三德堂		SD52	18.957	15.638	38.322	142	20.09	22.74		
	锡矿山		XK15-8	围岩	灰岩	18.034	15.593	38.142	451	17.16	17.93
					下苏溪	XS2	石英砂岩	18.222	15.650	38.461	322
XS4		白云岩	18.295		15.623	38.455	303	19.11	26.29		
三德堂		SD11	硅质岩		18.038	15.605	38.201	436	17.94	19.51	
SD55		灰岩	18.212		15.597	38.121	406	17.42	17.37		

测试单位: 成都理工学院核技术应用开发实验室。

(3) 采用拉塞尔—法夸尔—卡明法单阶段演化模式^[18]计算 Pb 同位素模式年龄(表 2)得出, 辉锑矿及蚀变硅化岩的模式年龄最高为 293Ma, 一般小于 200Ma, 与成矿真实年龄基本一致(地质研究表明, 锑成矿作用属于燕山晚期, 年龄大约在 100Ma \pm), 而地层岩石(泥盆系下统)的铅同位素模式年龄则为 303~451Ma, 与地层真实年龄形成时间也基本相当, 虽然模式年龄不足以作为定年依据反映成岩成矿时间, 但在总体上显著的集群差异仍然是有意义的, 辉锑矿模式年龄较围岩模式年龄年轻, 表明矿石铅非围岩地层来源, 也不可能来源于更老的地层的浸出作用, 而是来源于深部均化条件下的铅同位素演化系统。

(4) 矿石铅与地幔的相对偏差为: $16.96 < \Delta\beta < 38.29$, $17.37 < \Delta\gamma < 40.41$, 在铅同位素 $\Delta\beta - \Delta\gamma$ 成因分类图解^[19]中(图 3), 矿石及蚀变硅化岩的铅落在上地壳、地幔混合铅的范围内。陈毓蔚等(1980)^[20]曾提出过地幔与地壳混合的三种方式, 由于本区难以同板块俯冲作用相联系, 只能理解为燕山期构造岩浆活化过程中地幔与上地壳形成的成矿流体的混合。根据陈毓蔚等

(1980)^[20]提出的壳—幔混合比例计算公式计算, 锡矿山锑矿辉锑矿中的铅有 31%~32% 来自上地幔。

因此认为, 湘中锡矿山式锑矿矿石铅不是来源于围岩地层, 而是来源于深部的铅同位素演化系统—燕山期构造岩浆活化作用形成的壳—幔混合流体。

4 硫同位素组成

湘中锡矿山式锑矿矿石中硫化物矿物种类较单一, 以辉锑矿为主, 另可见少量黄铁矿及硫酸盐矿物, 因此, 辉锑矿硫同位素组成平均值基本代表热液总硫组成。湘中锑矿研究积累了较多的硫同位素数据, 主要收集有林肇凤(1987)^[21]、刘焕品(1986)^[1]、罗献林(1982)^[21]、杨舜全(1986)^[13]、文国璋(1993)^[6]等人的资料。结合本次研究测定的部分数据, 湘中地区地层中黄铁矿的硫同位素组成及主要锑矿床(或矿点)辉锑矿硫同位素组成见表 3、表 4。从表 3 看出, 湘中地区各时代地层中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值在 10.7‰~26.4‰ 之间, 总平均为 18.3‰, 大大高于辉锑矿

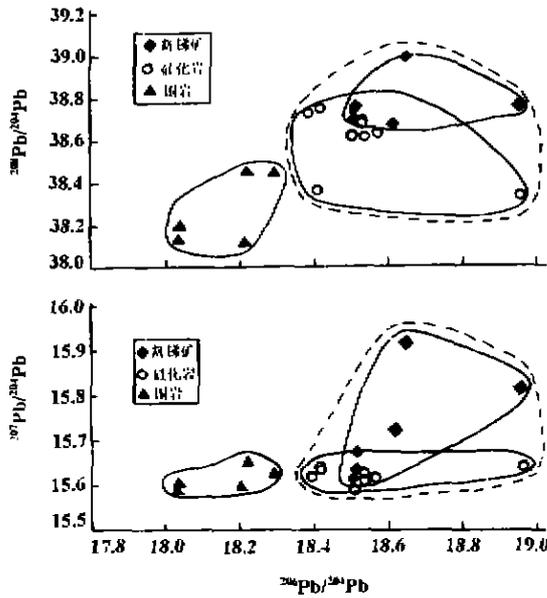


图 2 矿石与围岩²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 和 ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb 关系图

Fig. 2. ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb and ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb diagrams.

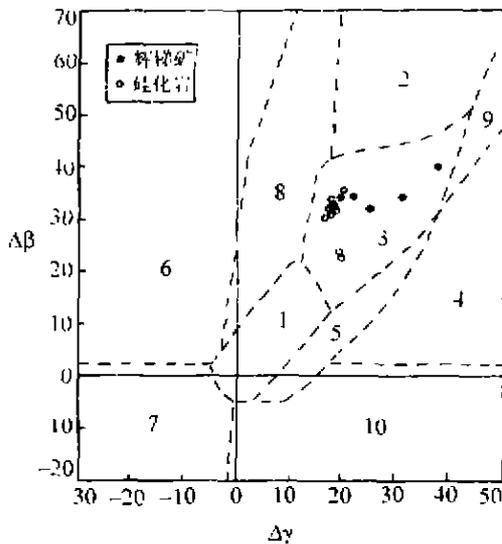


图 3 矿石铅同位素 Δβ-Δγ 成因分类图解 (据朱炳泉等,1997^[19])

Fig. 3. Δβ-Δγ diagram of genetic classification of ore lead.

- 1- 地幔源铅; 2- 上地壳源铅; 3- 上地壳与地幔混合的俯冲带铅; 4- 化学沉积; 5- 海底热水作用铅; 6- 中深变质作用铅; 7- 变质作用下地壳铅; 8- 造山作用铅; 9- 古老页岩上地壳铅; 10- 退变质作用铅。

的平均硫同位素组成(表 4),具有富重硫的特点。全区辉锑矿 δ³⁴S 值变化范围在 -9.81‰ ~ 16.83‰ 之间,锡矿山数据积累较多,其辉锑矿硫

同位素组成呈塔式分布,塔基较窄,塔峰高耸(图 4),主要集中在 6‰ ~ 9‰ 之间,峰值 7.0‰ ~ 7.5‰,反映成矿流体硫同位素均一化程度较高。由于辉锑矿硫同位素组成介于地幔硫与地层硫同位素组成之间,故可认为,成矿流体中的硫为深部来源的硫受地层硫混染并高度均一化的结果。

表 3 地层黄铁矿硫同位素组成

Table 3. Sulfur isotopic composition of pyrite in the strata

地层	取样地点	样数	δ ³⁴ S‰		资料来源
			变化范围	平均	
D ₃ x	锡矿山	4	14.6~34.8	26.4	
D ₂ q	牛山铺	3	3.5~19.3	10.7	
Є ₁	安化廖家坪	1		13.3	[13]
Ptbnw	桃源沃溪	1		19.4	
Ptbnm	桃源西安溪	4	11.5~19.1	16.7	
Ptn	湘北	4	12.9~23.5	18.5	[21]

表 4 湘中锡矿山式锑矿床(点)辉锑矿硫同位素组成

Table 4. Sulfur isotopic composition of antimonite

矿区名称	样品数	δ ³⁴ S‰		资料来源
		变化范围	平均	
锡矿山	387	-2.30~16.83	7.25	[1],[2],[6]
牛山铺	7	-2.89~10.22	0.06	本文
马颈地	1		5.54	[2]
芭蕉地	1		0.60	本文
五峰山	1		2.27	
新王家	2	-9.81.59	-4.12	[2]
三德堂	1		3.68	本文

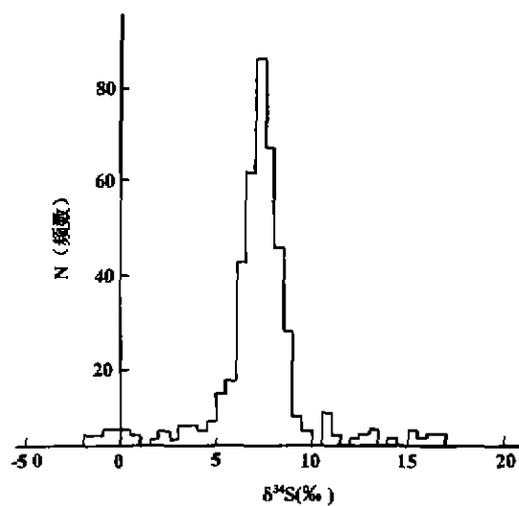


图 4 锡矿山锑矿田辉锑矿的硫同位素组成(N=387)

Fig. 4. Sulfur isotopic composition of antimonite in the Xikuangshan antimony deposit.

5 氢氧同位素组成

张国林等(1999)^[22]对中国主要类型铈矿的氢、氧同位素组成研究后指出,铈矿成矿流体中的水是多源的,有多种成因类型。在此项目研究工作中,我们对湘中锡矿山式铈矿热液矿物包裹体水的氢氧同位素组成进行了测定,结合刘文均(1992)^[23]的分析资料,数据如表 5 所列。 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化范围在 $-9.30\text{‰} \sim 8.03\text{‰}$ 之间, δD 变化范围为 $-33.8\text{‰} \sim -70\text{‰}$,这种同位素组成变化范围,与各种单一水的来源模式不完全相同。在 $\delta\text{D} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 坐标图上(图 5),投影点落在大气降水与初生水(地幔水)之间,初生水氢、氧同位素组成范围据谢泼德和爱泼斯(张理刚,1985)^[24],构成斜率为 1.4 的趋势线,表现为混合水热液的特征^[24]。与南岭-江南区中生代大气降水热液矿床氢、氧同位素组成比较^[24],显示出 δD 有较大变化,张理刚指出,大气降水热液矿床的 δD 值一般比较稳定,因为地壳的各种岩石中,

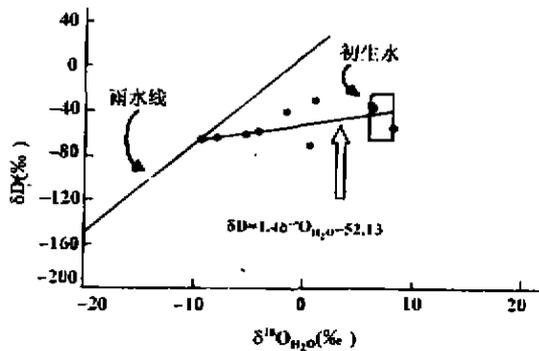


图 5 热液矿物包裹体水氢、氧同位素组成

Fig. 5. Hydrogen and oxygen isotopic composition of water in fluids inclusions.

表 5 热液矿物包裹体水氢、氧同位素组成

Table 5. Hydrogen and oxygen isotopic composition of water in fluids inclusions

序号	矿床	样品号	测试矿物	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{‰})$	备注
1			辉铈矿	-60	-4.2	据刘文均(1992) ^[21]
2			石英	-66	-8.0	
3			方解石	-70	0.5	
4			方解石	-66	-9.3	
5	锡矿山		重晶石	-61	-5.2	
6		XK15-1-2	石英	-41.1	-1.75	样品由宜昌地矿所
7		XK7	辉铈矿	-56.7	8.03	
8		XK6	方解石	-39.0	1.17	
9	芭蕉垭	BJ13-1	方解石	-33.8	5.96	同位素室测定
10		BJ13-2	方解石	-36.7	6.37	

氢的含量比水中的要低得多,即使在较低的 W/R 比值条件下,成矿热液也基本保持着局部地区原始大气降水的 δD 值。考虑到壳源岩浆水及建造水氢、氧同位素组成也可以出现在上述初生水的范畴,因此,湘中锡矿山式铈矿可能是包含壳、幔来源的深源流体与地下水混合作用成矿。

6 成矿作用与区域构造-岩浆活动的成因联系

在空间上,铈矿成矿作用与岩脉关系密切。锡矿山铈矿田及其南部罗家塘铈矿点出露的煌斑岩脉长达 10000m^[2],一般,各类铈矿都伴有或附近发育有煌斑岩及中-酸性岩脉群。如前所述,岩脉的形成与铈矿成矿作用发生在燕山晚期,成矿略晚于岩脉的形成。

在铈矿成矿同期地质事件中,还有周缘一些中-新生代红色盆地的形成及基性火山喷发活动的发生^[25],如燕山晚期的冠市街橄辉玄武岩(湘南)、新桥玻基玄武岩(浏山岩体一带)、喜山期宁乡县青华铺拉斑玄武岩等;在雪峰隆起西南段(道县)玄武岩中发现有地幔二辉橄辉岩包体。

以上事实表明,本区铈矿成矿期(中-新生代)有区域构造-岩浆活化性质,并且,地幔有显著的活动性,参与了本区内生动力作用。彭建堂研究指出,扬子地块南缘很可能存在一个富铈的上地幔块体^①。已有资料表明,湘南地区 198~81Ma 喷出的玄武岩中铈比原始地幔的平均值高 7.3~14 倍(赵振华等,1998)^[26],锡矿山煌斑岩的 Sb 为 35×10^{-6} (金景福等,1999)^[11],益阳科马提岩为 13×10^{-6} (史明魁等,1993)^[7],分别比原始地幔高出 1400 倍和 520 倍,富铈上地幔是成矿的重要物质基础,在成矿作用中起重要作用,铈成矿带的区域分布也显示深部构造包括超壳断裂、岩石圈特征、莫霍面形态等对成矿的控制^①。

金景福教授认为^[11],区域构造-岩浆活化作用是一个系统的内生作用过程,包括早期的中酸性岩浆活动及中、高温的 Au、W、Sn、Mo、Cu、Pb、Zn 矿床的形成;中、晚期形成酸性岩脉及出现基性岩浆活动;晚期发生低温的 Au、As、Sb、Hg 的成矿作用。早期成矿主要与上部地壳岩浆活动有关;晚期低温矿床的形成往往构成独立的流体活动阶段,上地壳与地幔处于统一的体系之中,流体

① 彭建堂,铈的大规模成矿与超常富集机制。博士后研究报告,中国科学院地球化学研究所,2000。

来源于自下(地幔)而上(上地壳)的渗出物混合,包涵对矿质的萃取过程,并在上部地层建造水、地下水参与下成矿。何明友等(1996)^[27]也曾明确提出过深部地质过程形成深源流体成矿的概念,其流体特征既非岩浆热液也非大气降水热液。我们认为,湘中锡矿山式锑矿成矿流体正是这种概念意义下的深部上升流体,在区域构造-岩浆活化作用下形成。

7 结 论

(1) 区内各地层的 Sb 含量并不高,不存在明显的锑矿源层。

(2) 各矿床点矿石 Pb 同位素组成变化较小,

辉锑矿 Pb 同位素组成与硅化岩接近,而与围岩地层明显不同。辉锑矿铅同位素 $\Delta\beta-\Delta\gamma$ 成因分类图解指示为上地壳、地幔混合铅。

(3) 矿床硫同位素组成为均一化程度较高的混合深源硫。

(4) 氢、氧同位素组成介于大气降水与初生水之间。

(5) 成矿区有显著的构造-岩浆活化性质,矿床产出与燕山晚期岩脉关系密切。

依据以上地质地球化学分析,笔者认为湘中锡矿山式锑矿成矿物质来源于与燕山晚期构造-岩浆活化作用有关的区域性深部上升流体。

参 考 文 献

- [1] 刘焕品等,湖南省锡矿山锑矿床的成因探讨. 湖南地质,1986,5(3):27~36.
- [2] 林肇凤、邹国光、胡必勤等,湘中锑矿. 湖南地质,1987,(3).
- [3] 湛锡霖等,湖南锡矿山锑矿成因探讨. 地质论评,1983,29(5).
- [4] 涂光炽等,中国层控矿床地球化学(第一卷). 北京:科学技术出版社,1984.
- [5] 肖启明等,湖南锑矿成因探讨. 矿床地质,1984,3(3):13~24.
- [6] 文国璋等,锡矿山超大型锑矿床控矿规律及形成机理初步研究. 地质与勘探,1993,29:20~27.
- [7] 史明魁、胡必勤、靳西祥等,湘中锑矿. 长沙:湖南科学出版社,1993.
- [8] 易建斌,全球锑矿床成矿学基本特征及超大型锑矿床成矿背景初探. 大地构造与成矿学,1994,18(3):199~208.
- [9] 易建斌,锑的成矿构造地球化学特性研究. 地质地球化学,1999,27(2):44~49.
- [10] 黎盛斯,湘中锑矿深源流体的地幔柱成矿演化. 湖南地质,1996,15(3):137~142.
- [11] 金景福、陶瑛、赖万昌等,湘中锡矿山式锑矿成矿规律及找矿方向. 成都:四川科学技术出版社,1999.
- [12] 肖启明、曾笃仁、金富秋等,中国锑矿床时空分布规律及找矿方向. 地质与勘探,1996,28(12):9~14.
- [13] 杨舜全,湖南省锑矿成因及找矿方向的探讨. 湖南地质,1986,5(4):12~25.
- [14] 武汉地质学院地球化学教研室,地球化学. 北京:地质出版社,1979,40~41.
- [15] 李智明,锡矿山锑矿成矿机理探讨. 矿产与地质,1993,7(2):88~93.
- [16] 宜昌地矿所同位素室,铅同位素地质研究的基本问题. 北京:地质出版社,1979.
- [17] 何明友、金景福,热液石英铅同位素组成及其地质意义. 地质论评,1997,43(3):317~321.
- [18] 沈渭洲,稳定同位素地质. 北京:原子能出版社,1987.
- [19] 朱炳泉等,地球科学中同位素体系理论与应用. 北京:科学出版社,1997.
- [20] 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. 地球化学,1980(3):215~229.
- [21] 罗献林,湖南主要类型锑矿的硫同位素组成分布. 湖南省地质学会会讯,1982,(9):83~89.
- [22] 张国林、谷湘平,中国主要类型锑矿床氢、氧、碳同位素组成及地球化学特征. 地质地球化学,1999,27(3):23~30.
- [23] 刘文均,华南几个锑矿床的成因探讨. 成都地质学院学报,1992,19(2):10~19.
- [24] 张理刚,稳定同位素在地质科学中的应用. 西安:陕西科学技术出版社,1985.
- [25] 郭锋等,湘南中生代玄武岩岩浆成因与岩石圈软流圈相互作用. 岩石矿物地球化学通报,1998,16(1):1~4.
- [26] 赵振华、包志伟、张伯友,湘南中生代玄武岩类地球化学特征. 中国科学(D辑),1998,28(增刊):7~14.
- [27] 何明友、胡瑞忠,深源流体-老王寨金矿床含矿流体来源的一种可能性. 地质地球化学,1996,(2):27~31.

THE ORIGIN OF ORE-FORMING FLUID OF XIKUANGSHAN-TYPE ANTIMONY DEPOSITS IN CENTRAL HUNAN PROVINCE

Tao Yan Gao Zhenmin

(Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy
of Sciences, Guiyang 550002)

Jin Jingfu Zeng Lingjiao

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract

The Xiangzhong (central Hunan) area is a world-known antimony metallogenic province, hosting a great number of antimony deposits, of which the Xikuangshan-type is most important. Study on the source of ore-forming materials for the Xiangzhong antimony deposits has aroused a hot discussion. Based on Sb contents of the strata and the relation with magmatic activities, as well as the isotopic characteristics, this paper shows that the ore materials were derived mainly from the rising plutonic fluid associated with Late Yenshanian- Early Himalayan tectonic-magmatic activities.

Key words: Hunan Province; Xikuangshan-type antimony deposits; source of the ore-forming materials; isotopic characteristics; ore-forming fluid