

文章编号: 1001-1412(2000)04-0320-08

湘中区域古流体的地球化学特征

卢新卫¹, 马东升², 王五一¹

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所 北京 100101;

2. 南京大学 成矿作用研究国家重点研究室, 江苏 南京 210093)

摘要: 成矿流体是区域流体场与矿源层或含矿建造相互作用的地球化学演化产物。区域古流体的研究对于认识和了解成矿流体以及矿床成因具有重要意义。应用地球化学方法对湘中区域古流体的系统研究结果表明: 湘中区域古流体是一种来源于大气降水的低温、低盐度、偏碱性的还原性地质流体, 这种区域古流体与湘中成矿期(中生代)的成矿流体极为相似, 成矿流体是由区域古流体演化而来。

关键词: 区域古流体; 成矿流体; 地球化学; 湘中

中图分类号: P596

文献标识码: A

1 前言

地壳流体过程作为关键环节始终贯穿于成矿“源-运-储”的整体演化链条之中。其中最重要的又当数地壳中的古流体过程。因此, 对地壳中的古流体过程没有充分的认识, 则不可能正确地认识成矿过程。这也是当前矿床成因理论进一步发展的主要障碍。虽然热液矿床成矿流体的研究, 如气液包裹体、围岩蚀变和氢氧同位素等, 已有较长的研究历史和丰富的成果积累, 但主要都局限于矿床本身, 很少涉及区域古流体场的地球化学性质。有关中—低温层控矿床的大量研究成果表明: 成矿流体是区域流体场与矿源层或含矿建造相互作用的地球化学演化产物。然而, 有关重要典型成矿区带的区域古流体场地球化学背景资料, 及其变化规律与成矿作用关系的综合研究在国内外至今均尚属空白。目前我们对热液矿床成矿流体来源、成因和演化的所有认识, 大多是在缺乏流体背景区域地球化学资料的情况下, 基于对矿床的点式孤立研究而获得的。因此, 重要典型成矿区带的古流体区域地球化学已成为区域成矿规律和热液成矿理论中一个不可回避的关键问题, 亟待加以研究。

流体活动示踪研究表明^①: 湘中地区在中生代时期, 地层中存在着大规模的区域流体活动,

收稿日期: 2000-05-29; 修订日期: 2000-09-26

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 49733012)资助。

第一作者简介: 卢新卫(1969-), 男, 陕西蓝田人, 1999年毕业于南京大学获得地球化学专业博士学位。现为中国科学院地理科学与资源研究所博士后, 主要从事环境地球化学、生命元素与健康研究, 发表论文20余篇。

①卢新卫. 南京大学博士论文. 1999.

这一区域活动流体影响着地层中微量元素的分布以及成矿作用。中生代是华南重要的成矿期^[1]。本文拟通过采样、分析,试图了解湘中成矿期(中生代时期)区域流体的地球化学特征。

2 区域古流体的包裹体特征

脉体(石英脉和方解石脉)和蚀变岩石是古流体的很好记录。对采自研究区内泥盆系和石炭系中(图1)与成矿作用同期的大量石英、方解石包裹体的研究结果(表1)表明:区域内的古流体包裹体主要为原生包裹体,包裹体数量多,但均较小,一般在 $8 \sim 10 \mu\text{m}$ 。区域内古流体包裹体的特征极为相似,包裹体类型主要为纯液相和气液相,形态呈不规则状和椭圆状,随机分布。少量次生包裹体形状多为浑圆状并呈线型分布在脉体裂隙中。可测量的气液两相包裹体大小在 $4 \sim 25 \mu\text{m}$,气液比变化于 $5\% \sim 25\%$,主要在 $10\% \sim 15\%$ 之间,包裹体均呈无色。

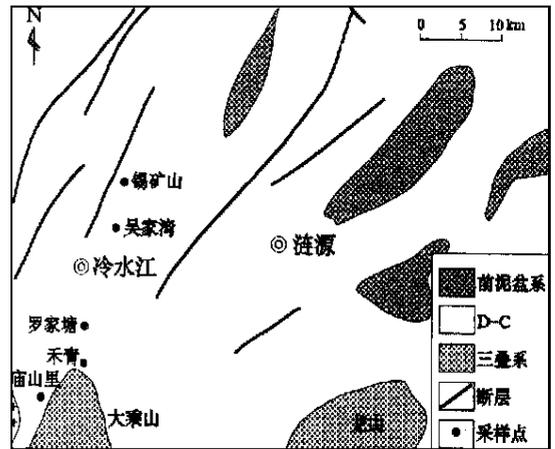


图1 区域样品采集位置示意图

Fig.1 Map showing the site of sampling point

表1 湘中区域古流体包裹体特征

Table 1 The characteristics of regional paleofluid inclusions of central Hunan

	庙山里	禾青	罗家塘	吴家湾	锡矿山*	利北井
包裹体类型	纯液相、气液相	纯液相、气液相	纯液相、气液相	纯液相、气液相	纯液相、气液相、少量气相	纯液相、气液相
形态	不规则状、浑圆状	椭圆状、不规则状、浑圆状	椭圆状、不规则状	不规则状	不规则状、椭圆状	浑圆状、不规则状
颜色	无色	无色	无色	无色	无色	无色
分布	随机	随机	随机	随机	随机	随机
气液包裹体大小	$4 \sim 15 \mu\text{m}$, 一般 $6 \sim 10 \mu\text{m}$	$3 \sim 120 \mu\text{m}$, 一般 $8 \sim 10 \mu\text{m}$	一般 $8 \sim 12 \mu\text{m}$	$< 20 \mu\text{m}$, 一般 $10 \sim 12 \mu\text{m}$	$< 3 \sim 50 \mu\text{m}$, 一般 $3 \sim 5 \mu\text{m}$	$< 5 \sim 25 \mu\text{m}$, 一般 $8 \sim 10 \mu\text{m}$
气液包裹体气体百分比(%)	$10 \sim 30$, 一般 $15 \sim 20$	$5 \sim 20$, 一般 $12 \sim 15$	一般 $12 \sim 15$	$10 \sim 25$, 一般 $15 \sim 20$	$5 \sim 25$, 一般 $10 \sim 15$	$< 12 \sim 25$, 一般 10 左右

注:* 资料据解庆林。南京大学博士论文,1996。

湘中区域古流体包裹体特征与区内锡矿山锑矿流体包裹体极为相似(表1),这可能显示出区域古流体与成矿流体间存在着极为密切的关系。

3 区域古流体的物理化学特征

3.1 古流体的温度测定

湘中区域古流体包裹体在 THMSE600 型冷热台上测得的均一化温度见表 2。从表 2 可以看出,盆地南部边缘的庙山里古流体温度为 148.0~158.3,向北即盆地内部,禾青古流体温度为 160~185,再向北到锡矿山古流体温度为 172.8~254.4。总体来说,古流体的温度较低,且从盆地(涟源盆地)边缘向盆地内部古流体的温度有增高趋势。区域古流体的温度范围与锡矿山锑矿成矿流体的温度范围一致(表 2),并且与文献中所报道的大气降水成因锑矿床成矿温度范围(150~250)^[2-4]基本一致;而低于与岩浆热液有关的锑矿床的温度(200~350)^[5-6]。这说明湘中区域上活动的古流体来源于大气降水。来源于大气降水的古流体在从高势能的盆地边缘向低势能的盆地内部运移过程中,因受到古地温场的加热,流体温度逐渐升高。并且因流体与岩石不断发生水-岩相互作用,淋滤、萃取岩石地层中的成矿元素,使得区域流体逐渐演化为成矿流体。

表 2 湘中区域古流体包裹体测温数据

Table 2 Homogenization temperature of regional paleofluid inclusions of central Hunan

采样点	样号	矿物	产状	均一温度/
庙山里	HL043	方解石	棋梓桥组灰岩中方解石脉	148.0
庙山里	HL047	方解石	棋梓桥组灰岩中方解石脉	158.3
禾青	HL006	石英	棋梓桥组硅化灰岩中石英脉	162.4
禾青	HL003	方解石	棋梓桥组灰岩中方解石脉	150
禾青	HL026	方解石	棋梓桥组灰岩中方解石脉	185
禾青	HL027	方解石	棋梓桥组灰岩中方解石脉	160
罗家塘	HL030	方解石	余田桥组硅化灰岩中方解石脉	187.5
吴家湾	HL018-1	方解石	岩关阶灰岩中方解石脉	161.3
锡矿山 ⁽¹⁾		方解石	含矿晶洞中	139~144.5
锡矿山 ⁽¹⁾		方解石	与辉锑矿共生	166.5~250
锡矿山 ⁽¹⁾		石英	与辉锑矿共生	240~275
锡矿山 ⁽²⁾		方解石	无矿方解石脉	172.8~254.4
利北井	HL055	方解石	大塘阶灰岩中方解石脉	258

注: (1) 资料据解庆林。南京大学博士论文, 1996; (2) 资料据杨照柱^[17]; 其余为本文资料。

本文测温在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室完成。

3.2 古流体的盐度、密度及其他物理化学性质

在 THMSE600 型冷热台测得古流体包裹体的冰点如表 3 所示。采用盐度(S)冰点(T_m)关系式^[7-8]:

$$S[w(\text{NaCl})/\%] = -1.76958T_m + 4.2384 \times 10^{-2}T_m^2 - 5.2778 \times 10^{-4}T_m^3 \pm 0.128$$

计算出古流体的盐度(表 3)表明:湘中区域古流体为低盐度的地质流体。此外,从南(庙山里)

向北(锡矿山)盐度有升高趋势,且成矿流体(锡矿山锑矿成矿流体)的盐度略高于区域古流体的盐度。

古流体的密度以刘斌等^[9]拟合的密度式计算,结果列于表3。由于本研究未观察到含CO₂包裹体,故古流体压力无法依据H₂O-CO₂体系的联合P-T图来获得,而只能按NaCl-H₂O体系的P-V-T关系近似确定,结果大致为18~30MPa。

区域古流体的pH值可根据样品真空爆裂后去离子水提取液稀释后的pH值及气相色谱测定的包裹体含水量换算求得,其换算方法有关文献中已有详细叙述,流体Eh值的计算方法文献^[10]中也较为详细。因而,本文不再赘述,只给出湘中区域古流体pH值、Eh值的计算结果(表3)。

表3 湘中区域古流体部分物理化学参数

Table 3 Some calculated physical-chemical parameters of regional paleofluid of central Hunan

样号	矿物	冰点 ()	盐度 <i>w</i> (NaCl)/%	密度 (g/cm ³)	压力 (MPa)	pH	Eh (eV)	资料
HL043	方解石	-0.8	1.45	0.80	18	8.98	-0.76	
HL047	方解石	-0.9	1.56	0.81	18	9.29	-0.74	
HL006	石英	-1.1	1.85	0.92	20	8.35		
HL003	方解石	-0.65	1.14	0.79	20	9.14	-0.84	
HL026	方解石	-1.05	1.80	0.86	22	8.62	-0.79	本
HL027	方解石	-1.65	2.79	0.88	18	8.98	-0.67	文
HL030	方解石	-2.16	3.62	0.90	30	8.75	-0.72	
HL018-1	方解石	-2.34	3.88	0.90	22	7.92	-0.78	
HL055	方解石	-7.9	11.61	0.94	20	8.62	-0.96	
	方解石		3.85~4.03		20	8.98~9.31	-1.22~-1.41	解
	方解石		3.69~8.48		18~40	7.67~9.39	-1.35~-1.52	庆
	石英		3.69~4.40		20~30			林

可见,湘中区域古流体是一种低盐度、偏碱性的还原性地质流体,其物理化学性质与锡矿锑矿床成矿流体性质相近。

3.3 古流体的液相成分

对利用矿物爆裂后去离子水提取法获得的包裹体中流体相进行成分分析,其结果见表4所示。将测试结果用以下公式进行换算:

$$C_i = \frac{V \cdot C'_i}{m \cdot d}$$

其中V为提取液体积(ml),C'_i为组分测试含量,m为液相分析取样量(g),d为气相色谱测得的样品含水量(ml/g)。校正换算后样品的实际液相成分列于表5。

计算结果(表5)表明:湘中区域古流体阴离子序列为HCO₃⁻ > Cl⁻ > SO₄²⁻ > F⁻,阳离子序列为Ca²⁺ > Mg²⁺ > Na⁺ > K⁺,且以富SO₄²⁻为特征,K⁺/Na⁺值一般小于1。与区域上同期成矿流体(如锡矿山成矿流体)液相成分(XB72, XB133)相比,区域古流体中的Cl⁻、SO₄²⁻、Na⁺、K⁺含量均明显低于成矿流体,具加热地下水或大气降水的特征。

表4 湘中古流体包裹体液相成分测定结果

Table 4 Composition of liquid phase of regional paleofluid inclusions from central Hunan

样号	取 样 量 (g)	电导率 ($\mu\text{V}/\text{cm}$)	液 相 成 分($w_B/10^{-6}$)								
			K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ³⁺	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
HL043	3.0	15.5	0.040	0.063	3.12	0.16	—	7.06	0.19	0.68	7.44
HL047	3.0	56.2	0.031	0.058	4.82	0.24	—	15.50	0.18	0.62	0.14
HL006	3.0	27.2	0.055	0.036	1.58	0.10	0.16	2.75	0.076	1.17	2.17
HL003	3.0	60.5	0.012	0.16	4.73	0.49	—	15.69	0.13	0.72	0.62
HL026	3.0	57.3	0.061	0.12	5.13	0.18	—	16.84	0.09	0.59	0.14
HL027	3.0	56.0	0.050	0.041	4.98	0.11	—	14.97	0.20	0.76	0.12
HL034	4.0	49.5	0.10	0.15	5.13	0.11	—	16.88	0.16	0.74	0.10
HL030	4.0	63.0	0.12	0.15	5.36	0.10	—	18.09	0.21	0.49	0.16
HL055	4.0	62.8	0.11	0.14	5.28	0.20	—	17.75	0.67	0.51	0.15
Xk 144	3.0	58	0.26	0.58	5.30	0.44	—	20.38	0.18	0.98	0.25
XB72	4.0	98	0.09	0.10	13.3	1.06	—	22.74	0.46	0.94	18.27
XB133	5.0	60	0.17	0.17	9.32	0.22	—	12.83	0.20	1.49	2.00

注: Xk 和 XB 样品采自锡矿山,均为方解石且据解庆林^①;XB 样品产状与辉锑矿共生。提取液为 50 ml, pH= 6.76 的去离子水。

样品由南京大学内生金属成矿作用研究国家重点实验室测定。

表5 校正后的湘中古流体液相成分($w_B/10^{-6}$)

Table 5 Corrected values of liquid composition of regional paleofluid inclusions

样号	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	K ⁺ /Na ⁺	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻
HL043	0.200	0.315	15.616	0.801	35.335	0.951	3.403	37.237	0.635	19.496	0.091
HL047	0.111	0.207	17.239	0.858	55.436	0.644	2.217	0.501	0.536	20.092	4.425
HL006	0.054	0.035	1.490	0.098	2.696	0.075	1.147	2.127	1.543	15.204	0.539
HL003	0.050	0.667	19.708	2.042	65.375	0.542	3.000	2.583	0.075	9.651	1.161
HL026	0.078	0.154	6.577	0.231	21.590	0.115	0.756	0.176	0.506	28.472	4.223
HL027	0.208	0.171	20.750	0.458	62.375	0.833	3.167	0.500	1.216	45.306	6.334
HL034	0.217	0.326	11.152	0.239	36.696	0.348	1.609	0.217	0.666	46.661	7.415
HL030	0.286	0.357	12.762	0.238	43.071	0.500	1.167	0.381	0.801	53.622	3.063
HL055	0.550	0.700	26.400	1.000	88.750	3.350	2.550	0.750	0.786	26.400	3.400
Xk 144	0.538	1.200	10.965	0.910	42.163	0.372	2.027	0.517	0.448	12.049	3.921
XB72	0.070	0.078	10.350	0.826	17.722	0.359	0.733	14.239	0.897	12.530	0.051
XB133	0.611	0.611	33.513	0.791	46.134	0.719	5.358	7.192	1	42.368	0.745

4 古流体的稳定同位素组成

不同来源及不同演化历史的介质水(流体),具有完全不同的 H, O, S, C 同位素组成和变化规律^[11]。因此依据介质水的 H, O, S, C 同位素特征,就有可能推测这些矿化介质的来源和演化历史,这无疑对热液矿床的成因和形成历史将起返本还原的作用。

本次工作对采自湘中的方解石、石英包裹体水进行 H, O, C 同位素测定。

方法:将矿物单晶粉碎至 0.25~0.5mm, 过筛后在双目镜下挑纯。样品氢氧碳同位素成分

均由南京大学内生金属成矿作用研究国家重点实验室测定。分析仪器为MT252质谱仪。氢氧同位素成分结果相对于SMOW标准,分析精度分别好于 $\pm 3 \times 10^{-3}$ 和 $\pm 0.2 \times 10^{-3}$,碳同位素结果相对于PDB标准,精度好于 $\pm 0.2 \times 10^{-3}$,结果见表6。

表6 湘中古流体稳定同位素组成($w_B/10^{-3}$)

Table 6 Stable isotope compositions of the regional paleofluid from central Hunan

样号	矿物	均一温度/ °C	$\delta(D)$	$\delta(^{18}O)$	$\delta(^{18}O)_{H_2O}$	$\delta(^{13}C)$	$\delta(^{13}C)_{CO_2}$
HL043	方解石	148.0	- 53.1	16.73	4.45	- 10.01	- 10.98
HL047	方解石	158.2	- 46.3	9.94	- 1.59	- 2.31	- 3.47
HL006	石英	162.4	- 51.9	21.33	6.91		
HL003	方解石	150	- 69.1	12.58	0.45	- 1.21	- 2.71
HL026	方解石	185	- 51.2	13.71	3.87	- 1.41	- 1.65
HL027	方解石	160	- 50.9	13.62	2.20	- 3.47	- 4.57
HL034	方解石	172	- 47.3	14.30	3.67	- 1.05	- 1.71
HL030	方解石	187.5	- 47.1	12.30	2.60	- 2.49	- 2.21
HL018-1	方解石	161.3		14.56	3.23	- 2.11	- 3.16
HL055	方解石	268	- 51.9	18.56	12.67	2.31	3.91
XK113	方解石	140	- 58	22.3	9.4		
XK144	方解石	143	- 52	24.3	11.4		
XY15	方解石	210.6	- 65	18.4	9.9	- 6.98	- 6.51
XY29	方解石	254.4	- 81	16.2	9.6	1.62	3.00

注: XK、XB 样品据解庆林(1996); XY 样品据杨照柱等^[17]。

$\delta(^{18}O)_{H_2O}$ 按下式计算:

$$1000 \ln a_{\text{石英-水}} = 3.38 \times 10^{-6} T^{-2} - 3.40 \quad (\text{Clayton et al., 1972})$$

$$1000 \ln a_{\text{方解石-水}} = 2.78 \times 10^{-6} T^{-2} - 3.40 \quad (\text{O'Neil et al., 1969})$$

$\delta(^{13}C)_{CO_2}$ 按下式计算:

$$1000 \ln a_{\text{方解石-CO}_2} = -8.914 \times 10^8 T^{-3} + 8.557 \times 10^6 T^{-2} - 18.11 \times 10^3 T^{-1} + 8.27 \quad (\text{Bottinga, 1969})$$

4.1 氢同位素

湘中区域古流体 $\delta(D)$ 值大部分在 $-50 \times 10^{-3} \sim -65 \times 10^{-3}$ 之间, 范围较小, 变化不大。古流体的 $\delta(D)$ 值与锡矿山成矿流体的 $\delta(D)$ 值 ($-71 \times 10^{-3} \sim -54.4 \times 10^{-3}$, 平均为 -60×10^{-3})^[12] 及长江中下游地区侏罗纪—白垩纪大气降水 ($\delta(^{18}O) = -9 \times 10^{-3}$, $\delta(D) = -60 \times 10^{-3}$)^[11] 极为一致。这可能表明区域古流体来源于大气降水, 并与锡矿山锑矿流体存在着一定的演化关系。

4.2 氧同位素

由表6可以看出方解石 $\delta(^{18}O)$ 为 $9.94 \times 10^{-3} \sim 22.3 \times 10^{-3}$, 按均一温度和方解石-水分馏方程^[13] 计算出与方解石达平衡水 $\delta(^{18}O)$ 值为 $-1.59 \times 10^{-3} \sim 12.67 \times 10^{-3}$, 并由均一温度和石英-水分馏方程^[14] 所计算出的平衡水之 $\delta(^{18}O)$ 值为 6.91×10^{-3} 。古流体 $\delta(^{18}O)$ 值大部分落在 $-1.59 \times 10^{-3} \sim 9.9 \times 10^{-3}$ 范围内(表6)。且由南向北即涟源盆地边缘向盆地内部古流体 $\delta(^{18}O)$ 值有升高趋势。如在盆地南部边缘的庙山里古流体 $\delta(^{18}O)$ 为 $-1.59 \times 10^{-3} \sim 4.45 \times 10^{-3}$; 向北到禾青, 古流体 $\delta(^{18}O)$ 为 $0.45 \times 10^{-3} \sim 6.91 \times 10^{-3}$, 再向北到锡矿山时古流体 $\delta(^{18}O)$ 达到 $9.6 \times 10^{-3} \sim 11.4 \times 10^{-3}$ 。古流体 $\delta(^{18}O)$ 值的这一变化特征与流体运移过程中流体-岩石的相互作用有关。前文古流体测温结果表明: 盆地边缘向盆地内部古流体的温度有增高趋势。当来源于大气降水的古流体由盆地南部边缘向盆地内部运移时, 由于温度的逐渐升高, 流体-岩石

相互作用加剧,使得古流体 $\delta(^{18}\text{O})$ 值也逐渐升高,发生氧漂移。

湘中区域古流体氢氧同位素值与锡矿山成矿流体的氢氧同位素值($\delta(^{18}\text{O}) = -5.2 \times 10^{-3} \sim 8.4 \times 10^{-3}$, $\delta(\text{D}) = -54 \times 10^{-3} \sim -79 \times 10^{-3}$)^① 及华南典型大气降水热液成因的同仁汞矿、凡口和泗顶铅锌矿氢氧同位素特征^[11]十分相似,且与世界其他大气降水热液锑矿床氢氧同位素^[2-3]一致。这进一步说明湘中区域古流体可能来源于大气降水,锡矿山锑矿成矿流体由区域古流体演化而来。

4.3 碳同位素

方解石除 $\delta(^{13}\text{C})$ 两个样品较低,分别为 -6.98×10^{-3} 和 -10.1×10^{-3} 外,其余为 $-3.47 \times 10^{-3} \sim 2.31 \times 10^{-3}$,按方解石- CO_2 平衡分馏方程^[14]计算,与之有关的 $\delta(^{13}\text{C})_{\text{CO}_2}$ 值为 $-4.57 \times 10^{-3} \sim 3.91 \times 10^{-3}$ 。古流体 $\delta(^{13}\text{C})_{\text{CO}_2}$ 值落在海相碳酸盐 $\delta(^{13}\text{C})$ 值变化范围($0 \pm 4 \times 10^{-3}$)内^[17],且与本区灰岩 $\delta(^{13}\text{C})$ 值($-1.3 \times 10^{-3} \sim 4.11 \times 10^{-3}$)^[17]一致。因此,可以认为古流体中碳质来源于海相碳酸盐岩地层。

5 小结

(1) 区域古流体包裹体特征与区内锡矿山锑矿床流体包裹体特征极为相似,可能说明锑矿成矿流体与区域古流体间存在着极为密切的关系。

(2) 古流体是一种低温、低盐度、偏碱性的还原性地质流体。且从盆地(涟源)南部边缘向盆地内部(向北),古流体的温度、盐度均呈现增高趋势。古流体的物理化学性质与区内典型矿床(锡矿山锑矿)成矿流体性质相近。

(3) 与区内同期成矿流体(如锡矿山锑矿成矿流体)液相成分相比,区域古流体中 Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ 质量分数均明显低于成矿流体,且具加热地下水或大气降水特征。

(4) 氢氧同位素特征反映出区域古流体来源于大气降水,且与锡矿山锑矿成矿流体间存在着一定的演化关系。成矿流体是由区域古流体演化而来。古流体中的碳质来自于海相碳酸盐岩层。

参考文献:

- [1] 史明魁,傅必勤,靳西祥,等.湘中锑矿[M],长沙:湖南科学出版社,1994.1-150.
- [2] Gokce A, Spiro B. Stable isotope study of antimony deposits in the Muratdagı region, Western Turkey[J]. Mineral. Deposit., 1994, 29: 361-365.
- [3] Guillemette N, Willians-Jones A E. Genesis of the Sb-W-Au deposits at Ixtahuacan, Guatemala: evidence from fluid inclusions and stable isotopes[J]. Mineral. Deposit., 1993, 28: 167-180.
- [4] 华仁民,陈晓东,赵乙英,等.左江褶皱带沉积—改造型矿床成矿流体的初步研究[J].南京大学学报(自然科学版),

① 解庆林,南京大学博士论文,1996.

- 1997, 33(地质流体专辑): 60-68.
- [5] Bril H, Barnfort D. Hydrothermal alteration and fluid circulation related to W, Au and Sb vein mineralization, Haut Allier, Massif central France[J]. *Econ. Geol.*, 1989, 84: 2237-2251.
- [6] Jankovic S. Sb-Au-Tl mineral associations in the Mediterranean region. *Intern. Geol. Rev.*, 1989, 31: 262-273.
- [7] Potter R W II, Clyne M A and Brown D L. Freezing point, depression of aqueous sodium chloride solutions[J]. *Econ. Geol.*, 1978, 73: 284-285.
- [8] 张生, 李统锦, 王联魁. 广东长坑金银矿床的成矿流体地球化学[J]. *矿物学报*, 1998, 18(1): 38-45.
- [9] 刘斌, 段光贤. NaCl—H₂O 溶液包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. *矿物学报*, 1987, 7(4): 345-352.
- [10] 卢焕章, 李秉伦, 沈昆等. 包裹体地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1990. 74-155.
- [11] 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. 23-250.
- [12] 马东升. 地壳中大规模流体运移的成矿现象和地球化学示踪[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 1997, 33(地质流体专辑): 1-10.
- [13] O'Neil J R, Cayton R N and Mayeda T. Oxygen isotope fractionations in divalent metal carbonates[J]. *J. Chem. Phys.*, 1969, 51: 5547-5558.
- [14] Clayton R N, O'Neil J R, Mayeda T. Oxygen isotope exchange between quartz in dilute hydrothermal solutions[J]. *Chem. Geol.*, 1972, 8: 102-122.
- [15] Bottinga Y. Calculated fractionation factors for carbon and hydrogen isotope exchange in the system calcite-carbon-dioxide-graphite-methane-hydrogen-water vapor. *Geochim[J]. Cosmochim. Acta*, 1969, 33: 49-64.
- [16] Ohmoto H, Rye R O. Isotope of sulfur and carbon In: Barnes H L (ed) *Geochemistry of hydrothermal ore deposits (2nded)* [M]. New York: A Wiley Interscience Publication John Wiley & Sons, 1979. 509-569.
- [17] 杨照柱, 卢新卫, 丘卉. 锡矿山锡矿稳定同位素地球化学研究[J]. *西安工程学院学报*, 1998, 20(4): 1-5.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF REGIONAL PALEOFLUID OF CENTRAL HUNAN

LU Xin-wei¹, MA Dong-sheng², WANG Wu-yi¹

(1. *Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101;*

2. State Key Laboratory for Research of Mineral Deposits, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Ore-forming fluid evolved from regional fluid. Regional fluid leaches source bed or ore-bearing formation and forms ore-forming fluid. So the research on regional fluid for recognizing ore-forming fluid and metallogeny not only has theoretical significance, but also has practical value in exploration of ore deposits. Using the method of geochemistry, the paper systematically studies regional paleofluid of central Hunan. The study result shows that the regional paleofluid in central Hunan, originated from meteoric water and is lower in temperature, salinity and weak alkali reduction. The physicochemical property of regional paleofluid is similar to typical ore-forming fluid of mineralization epoch of central Hunan (Mesozoic era) and the typical ore-forming fluid evolved from it.

Key words: regional paleofluid; ore-forming fluid; geochemistry; central Hunan