

南京栖霞山多金属矿床的有机成矿作用*

谢树成 殷鸿福 王红梅 周修高

(中国地质大学地球科学学院, 武汉)

提 要: 通过检测南京栖霞山多金属矿床成矿流体中的系列生物标志化合物, 确证了成矿流体中的有机质源于赋矿地层中的菌藻类生物。成矿流体中的有机质富含较多的杂原子, 流体中的 Zn 含量高达 200.4×10^{-6} , 表明成矿元素能以有机-金属络合物的形式搬运。矿石中的 Pb、Zn 总量与 S/C 比值存在一定关系, 有机质通过还原 SO_4^{2-} 而为矿质沉淀提供 S^{2-} 。并由此提出长江中下游地区许多矿床赋存于石炭-三叠系中与有机质、有机流体的这些成矿作用有一定的关系。

主题词: 多金属矿床 有机包裹体 生物标志化合物 成矿作用 南京栖霞山

1 矿床地质概况

南京栖霞山铅锌银锰多金属矿床是宁镇地区唯一的一个大型矿床, 属长江中下游多金属成矿带的重要组成部分, 其中的铜、金、镉、镓、铟等均可综合利用。矿体主要赋存于上石炭统黄龙组的白云岩和灰岩中, 其次是上石炭统船山组和下二叠统栖霞组的灰岩中。矿床的形成经历了同生沉积期 I、后生热液成矿期 II (包括黄铁矿-菱锰矿 II-1, 石英-黄铁矿 II-2, 闪锌矿-方铅矿 II-3, 黄铁矿-菱锰矿-闪锌矿-方铅矿 II-4 和方解石-石英-重晶石 II-5 等七个成矿阶段) 以及表生成矿期 III^[1]。铅锌成矿主要在 II-3 阶段, 其次是 II-4 阶段。

许多学者^[1~3]从栖霞山矿床中金属矿物的生物组构(如黄铁矿化的管孔藻)和草莓状黄铁矿的硫同位素($\delta^{34}\text{S} = -27.2\%$)两方面论证了菌类和藻类生物在沉积成岩期对成矿物质的预富集作用。然而, 生物成矿作用往往不是静止的, 而是随其它地质作用的发展而在动态地演化。一些矿床的生物地球化学和有机地球化学研究表明, 生物、有机质、有机流体都能积极地参与某些矿床的形成, 随着生物演化变成有机质进而再演化为有机流体, 生物成矿作用也由活生物体的成矿作用发展为有机质的成矿作用, 进而发展与有机流体的成矿作用, 这些成矿作用相互联系、相互贯穿, 这就随其它地质作用的发展(沉积→成岩→造山等)构成了生物-有机质-流体成矿系统^[4]。该系统常见于盆地或盆地-山脉中, 表现在某些金属矿床与生物礁、黑色岩系的密切联系以及油气矿床和某些金属矿床的空间联系上。栖霞山矿床所处的宁镇山脉在石炭-二叠系中多处出现油气显示。栖霞山采石场, 在一次爆破时, 就有十余公斤原油从栖霞组灰岩中喷射而出^①。临接宁镇山脉南边的句容盆地和北边的苏北盆地, 均是两个含油气盆地, 尽管苏北盆地的油气主要产于中、新生代地层中, 但两个盆地均在石炭-二叠系中

* 国家自然科学基金(编号: 49672114)和地质矿产部生物成矿作用重点学科生长点基金(编号: 92012019)资助
谢树成, 男, 1967年生, 讲师, 主要从事生物成矿作用和有机地球化学的科研和教学工作
1996-09-20 收稿, 1997-04-10 修改回

① 江苏石油地质 1976 年度研究报告

出现原油。如此,栖霞山矿床除了菌藻生物的预富集作用外,石炭-二叠系中的有机质和有机流体是否参与矿床的形成?

2 赋矿地层、矿石中的吸附烃类

赋矿地层的岩石、矿石样品用氯仿索氏抽提 72 小时,氯仿沥青 A 经硅胶-氧化铝层析柱分离后得饱和烃、芳烃、非烃和沥青质。饱和烃作气相色谱 (GC)、色谱-质谱 (GC-MS) 分析,非烃和沥青质作红外光谱分析。实验所用仪器为 HP5890 气相色谱仪, Finnigan Mat 4515 色谱-质谱联用仪, PE-1725X 型傅利叶转换红外光谱仪。

2.1 氯仿沥青 A 及族组成

矿区五件样品的有机抽提分析显示 (表 1), 矿区主要赋矿地层上石炭统灰岩的氯仿沥青 A 较低 (平均 23.3×10^{-6}), 矿石中的相对较高 (平均 213.8×10^{-6})。矿石中的有机碳, 一般为 $0.37\% \sim 5.05\%$, 比赋矿围岩的 ($0.035\% \sim 0.14\%$) 要高, 这是有机质向成矿场所发生迁移聚集的反映。矿石中的有机质转化率 ($A/C_{\text{有机}}$) 与上石炭统黄龙组 (C_2h) 断层泥中的相似, 而低于赋矿围岩中的。赋矿围岩与矿石的氯仿沥青 A 的族组成也很不相同, 前者以非烃占优势, 而矿石中的以芳烃为主。

表 1 栖霞山矿区岩石、矿石中的氯仿沥青 A 及族组成

Table 1. Content and group components of chloroform bitumen A in rocks and ores from the Qixiashan ore district

样号	岩(矿)石名称	$C_{\text{有机}}/\%$	氯仿沥青 A/ 10^{-6}	$A/C_{\text{有机}}$	族组成/ $\%$			
					饱和烃	芳烃	非烃	沥青质
NQD-6	上石炭统黑色灰岩	0.14	31.4	0.022	9.1	6.8	68.2	15.9
NQH-J-25	上石炭统黄铁矿化灰岩	0.02	18.9	0.095	14.7	2.9	67.6	14.8
NQH-J-27	上石炭统黑色断层泥	0.40	19.5	0.005	12.5	20.8	62.5	4.2
NQH-J-23	黄铁矿矿石	4.02	63.3	0.002	8.0	44.6	27.7	19.6
QX-2	方铅矿闪锌矿矿石	5.05	364.3	0.007	4.4	58.5	19.8	17.3

2.2 生物标志化合物

矿石中正构烷烃的碳数分布范围为 $C_{14} \sim C_{31}$, 主峰碳数为 C_{17} , 无明显的奇偶优势, 反映了有机质的菌、藻生物源的特点。辨认出的规则类异戊二烯烃有姥鲛烷 (Pr)、植烷 (Ph)、降姥鲛烷、四甲基十七烷等, $Pr/Ph < 1$ 。检出了较丰富的长链三环萜烷, 碳数分布范围为 $C_{19} \sim C_{29}$, 五环三环萜烷主要是藿烷系列的 $C_{27} \sim C_{33}$, $C_{32}\alpha\beta S / (R+S) = 59\%$, 已近平衡值, 反映有机质成熟度很高, 接近液态烃演化终点。甾烷化合物主要为 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 的 $\alpha\alpha\alpha$ ($22S+22R$), $\alpha\beta\beta$ ($22S+22R$) 常见的 12 个胆甾烷。岩石中的生物标志化合物与矿石中的类似。 C_{27} 、 C_{28} 、 C_{29} 的 $\alpha\alpha\alpha$ 型甾烷的进一步分析显示了矿石中的有机质与赋矿岩石石炭-二叠系中的有机质类似, 表明来源的继承性。

3 流体包裹体中的有机质

3.1 流体包裹体的一般特征

栖霞山各成矿阶段主要发育盐水溶液包裹体和有机包裹体，后者主要由气态烃和液态烃组成的两相有机包裹体，偶见有气态烃、液态烃和盐水溶液组成的三相含烃有机包裹体。早期较高温阶段(Ⅱ-2)出现了气体包裹体，而且有机包裹体和盐水溶液包裹体的气液比均较大，在数量上，盐水溶液包裹体比有机包裹体多得多。但在铅锌主成矿阶段(Ⅱ-3)，有机包裹体比盐水溶液包裹体多。尽管包裹体数量的多少与晶体缺陷有关，但同一矿物、同一成矿阶段有机包裹体在数量上超过盐水溶液包裹体，意义深远。就同一成矿阶段而言，有机包裹体比盐水溶液包裹体大。总的来说，本区流体包裹体均较小，气液比也小，类型较单一(表 2)。

表 2 栖霞山多金属矿床流体包裹体一般特征

Table 2. Characteristics of fluid inclusions in the Qixiashan polymetallic deposit

成矿阶段	寄主矿物	包裹体类型		气液比/%		大小/ μm		包裹体数据关系	形态	
		A	H	A	H	A	H		A	H
Ⅱ-2	石英	A-1 A-2	H-1 H-2	5~80	25~40	5~20	6~20	A>H	圆形 长条形 三角形 菱形 不规则	棒状 豆荚状 泪滴状 圆三角形 椭圆形 蝌蚪状 不规则
	方解石	A-1 A-2		5~80		2~10	8~12	A>H		
Ⅱ-3	石英	A-1	H-2 H-3	5~10	20	3~8	8~40	A<H		
	方解石	A-1	H-2 H-3	5~10	10~15	2~15	8~15	A<H		
Ⅱ-4	方解石	A-1	H-2 H-3	10~15	30	6~30	5~38	A \approx H		
Ⅱ-5	重晶石	A-1	H-3	10~15		5~12	10~30	A<H		

注：A—盐水溶液包裹体；A-1—液体包裹体；A-2—气体包裹体。H—有机包裹体；H-1—气体包裹体；H-2—气液两相包裹体；H-3—纯液体包裹体

3.2 有机包裹体的光谱学特征

许多岩石、矿石中都有或多或少的有机包裹体存在，但并非都能识别，特别是那些透明无色的两相有机包裹体，往往与两相的盐水溶液包裹体难于区分。笔者采用先从偏光显微镜下观察其颜色、形态、大小、相组成、分布等，然后配以显微冷热台观察温度变化对有机包裹体的动态变化，而后对其单体进行荧光光谱和红外光谱分析，最后对其群体作 GC、GC-MS 分析。

栖霞山矿区有机包裹体主要是褐色、黑色，部分为无色。在形态上，由于有机流体一般比无机流体粘稠度大，故有机包裹体往往表现出较光滑的外形，并显示出一定的流动感，即使呈多边形，其棱角往往是圆滑的，矿区出现的形态主要有椭圆形、棒形、泪滴状、圆三角

形等。从成矿早期到晚期,出现了盐水溶液包裹体占优势(Ⅱ-2)→有机包裹体占优势(Ⅱ-3)→有机包裹体和盐水溶液包裹体均势(Ⅱ-4)→盐水溶液包裹体占优势(Ⅱ-5),构成了一个较明显的变化趋势,表明无机流体与有机流体的相互消长关系,也说明了铅锌的沉淀与有机流体的加入有关。

显微冷热台为观察有机包裹体随温度而发生的动态变化提供了直接的手段。栖霞山矿区的有机包裹体在加热过程中,大多不能恢复原状,与盐水溶液包裹体形成对比。有些两相有机包裹体加热至一定程序,开始慢慢从包裹体边缘变黑,继续加热时,其中的无色气泡慢慢变黑。部分有机包裹体在加热过程中,气液比随温度变化小,最终以突然爆裂为特征。降温冷冻过程中,盐水溶液包裹体一般在 -30°C 左右,其气泡就开始发生变化,但有机包裹体在 -50°C 以下也难以有变化。

选择较大的有机包裹体(直径在 $20\ \mu\text{m}$ 以上)进行有关红外光谱和荧光光谱分析,仪器分别为PE-200型傅利叶变换红外光谱仪(FTIR)和MPV-3显微紫外分光光度计。红外光谱分析证实(图1a),单个有机包裹体主要含有苯环、长链 $-\text{CH}_2-$ 、 $-\text{CH}_3$ 以及含氧、硫等杂原子。单体有机包裹体的荧光光谱(图1b)的Q值(红绿比)和 λ_{max} 值(荧光强度最大值所对应的波长)分别为 $2.25\sim 5.56\ \text{nm}$, $600\sim 700\ \text{nm}$ 。

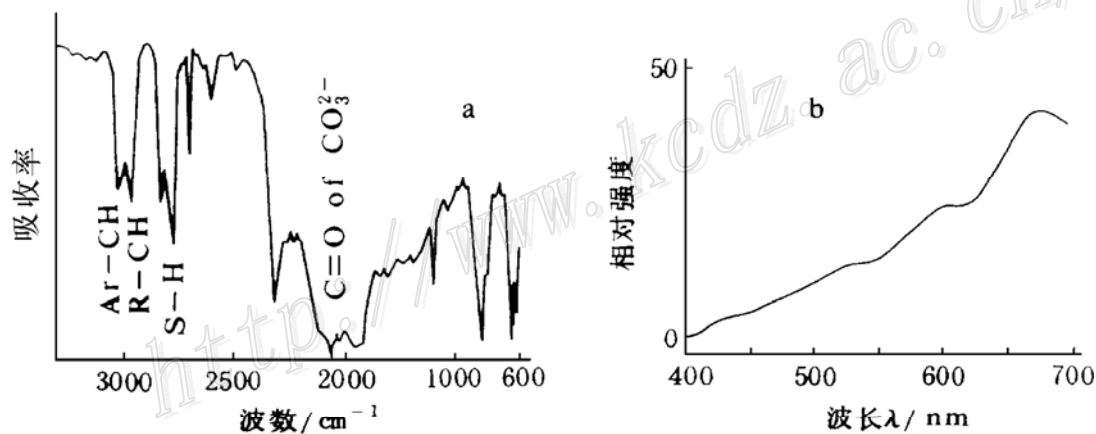


图1 单个有机包裹体的红外光谱(a)及荧光光谱(b)

Fig. 1. FTIR (a) and Fluorescent spectrum; (b) of individual hydrocarbon inclusions.

3.3 有机包裹体中的生物标志化合物

以往多数金属矿床的有机地球化学工作着重于岩石、矿石中的吸附烃类和干酪根,而不是专门研究包裹体中的生物标志化合物^[5]。与成矿有最直接联系的有机质往往是成矿流体中的,而有机包裹体又是有机成矿流体遗留下来的最为直接的样品,因此包裹体中有机质的研究对探讨有机成矿作用至关重要。

挑选铅锌主成矿阶段(Ⅱ-3)的石英单矿物 $400\sim 500\ \text{g}$,磨碎至20目左右,加入1%盐酸除去可能混入的碳酸盐矿物,用蒸馏水洗至中性。加入氯仿浸泡5小时并不断搅拌,以除去污染物及非包裹体中的有机质,倒去氯仿,如此反复3~5次。用已抽提过的滤纸把石英包好,低温烘干。放入研钵中细磨至200目以下,所有磨具事先均用氯仿洗净。用滤纸把200目以下的石英包装成筒状,放入索氏抽提器进行抽提,以下的分离及GC、GC-MS分析与前述的岩石、矿石的吸附烃类相同。

结果显示,石英包裹体中氯仿沥青 A 的丰度为 21.1×10^{-6} , 远比矿石中的吸附烃类的低。有机包裹体中, 烷烃占 5.4%, 未检测出芳烃, 非烃和沥青质分别为 59.5% 和 35.1%。成矿流体中以非烃和沥青质这些富含杂原子 (O、S、N) 化合物为主的现象暗示了非同一般的意义。成矿流体与矿石在有机质族组成上存在较大差异为分析其间的有机成矿作用提供了基础。

有机包裹体中检出的正构烷烃、类异戊二烯烃、长链三环萜烷、藿烷类和甾烷等生物标志化合物 (图 2) 及其参数与岩石、矿石中的吸附烃类中的有一定相似性 (表 3), 反映了矿石及成矿流体有机质的来源与菌藻生物有关, 成熟度很高, 成矿有机流体类似于原油体系。然而一个很明显的差别是, 铅锌矿石中的长链三环萜烷很丰富, 超过了藿烷类, 这可能是矿石中的烃类经过了较长距离的运移, 因为长链三环萜烷比藿烷类更易于运移, 而且运移后的有

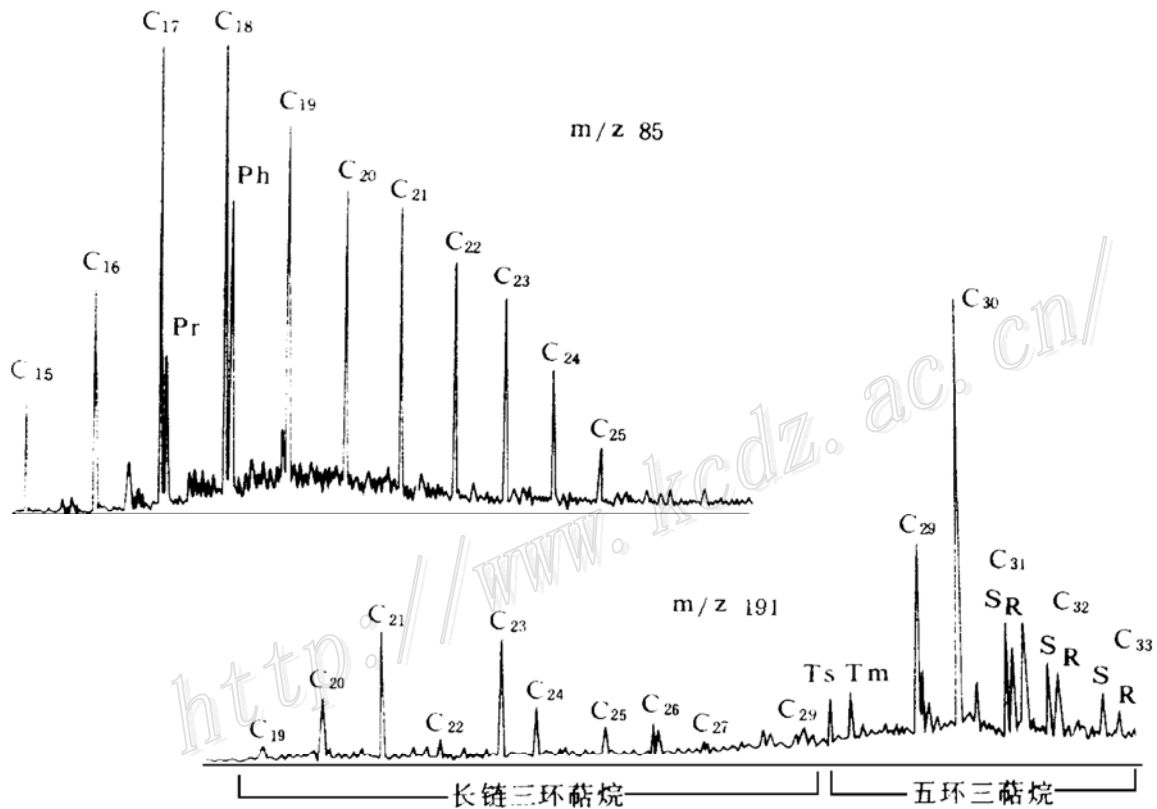


图 2 有机包裹体的 GC-MS 质量色谱图

Fig. 2. GC-MS gas chromatography of hydrocarbon inclusions.

表 3 包裹体、岩石和矿石中的可抽提有机质和生物标志物参数

Table 3. Extractable organic matter and biomarker parameters of inclusions, rocks and ores

	EOM ^① / 10^{-6}	族组成/% ^②				正构烷烃		Pr/Ph ^③	Pr/(n- C ₁₇)	Ph/(n- C ₁₈)	甾烷		藿烷		HOP/ STER ^⑧
		P	A	N	S	碳数分 布范围	主峰碳数				%20S ^④	C ₂₇ / C ₂₉ ^⑤	%22S ^⑥	Tm/ Ts ^⑦	
包裹体	21.1	5.4	0	59.5	35.1	C ₁₅ -C ₂₅	C ₁₇	0.72	0.64	1.10	—	—	57	1.0	—
矿 石	213.8	6.2	51.6	23.8	18.4	C ₁₄ -C ₂₇	C ₁₇	0.86	0.37	0.78	50	0.58	59	1.1	2.2
围 岩	31.4	9.1	6.8	68.2	15.9	C ₁₄ -C ₃₁	C ₁₇	0.67	0.38	0.60	53	0.56	59	2	2.2

① 可抽提有机质; ② P—烷烃, A—芳烃, N—非烃, S—沥青质; ③ 姥鲛烷/植烷; ④ %20S/ (20S+20R·C_{29aaa}胆甾烷); ⑤ C₂₇甾烷/C₂₉甾烷; ⑥ %22S-C₃₂二升藿烷/ (22S+22R-C₃₂二升藿烷); ⑦ 17 α -三降藿烷/18 α -三降新藿烷; ⑧ C₃₀ $\alpha\beta$ 藿烷/C₂₉甾烷

机质的非烃和沥青质将减少，这也与铅锌矿石的族组成符合。但是黄铁矿矿石的长链三环萜烷并未超过藿烷类，可见矿石中的有机质的复杂性。

3.4 成矿流体的其它物化性质

对矿区各成矿阶段的流体包裹体作系统的分析、测试和计算，其物化性质如下表4所示。从中可以看出，铅锌主成矿阶段（Ⅱ-3）的碳同位素值与有机质有关，pH值也不同于Ⅱ-2阶段，表现出较强的酸性，这些都与有机流体的加入有关。Ⅱ-5阶段表现出有一定的热卤水特征。据铅同位素及微量元素的研究^[6,7]，栖霞山多金属矿床中的成矿物质主要源于下伏基地的前寒武系地层。可见成矿流体的多源性，即有携带矿质的源自下伏基底流体，源于石炭-二叠纪地层的有机流体及大气水和可能的岩浆水（Ⅱ-2阶段）。然而，震旦系及下古生代地层（寒武系、奥陶系）同样存在白云岩，为何这些源自下伏基底的矿质不就近在此成矿而必须搬运至上古生代地层（白云岩和灰岩）中沉淀？笔者认为，这与有机成矿作用有很大关系。

表4 各成矿阶段流体的物化参数

Table 4. Physical-chemical parameters of fluids at various ore-forming stages

成矿阶段	$t/^\circ\text{C}$	$p/10^5\text{Pa}$	密度/ (g/cm ³)	盐度/ (wt% NaCl)	Eh /mV	pH	$\delta^{13}\text{C}_{\Sigma\text{C}}$ /‰	$\delta^{34}\text{S}_{\Sigma\text{S}}$ /‰	δD /‰	$\delta^{18}\text{O}$ /‰	$\frac{\text{Na}}{\text{K}}$	$\frac{\text{Na}}{\text{Ca}+\text{Mg}}$	$\frac{\text{F}}{\text{Cl}}$	$\frac{\text{SO}_4^{2-}}{\text{Cl}^-}$	$\frac{\text{CO}_2}{\text{H}_2\text{O}}$	还原 参数/ R	Zn/ 10 ⁻⁶
Ⅱ-2	220~ 288				-0.75	5.1	-7.5				1.44	0.07	0.33	1.16	0.35	0.29	
Ⅱ-3	130~ 238	324	0.87	3.4	-0.53	3.9	-24.2	9.1	-58	-1.1	0.37	0.08	0.54	0.49	0.64	0.06	26.9
Ⅱ-4	150~ 218		0.89	3	-0.44	3.3			-100	-12.6							
Ⅱ-5	130~ 172		0.95	2.9	-0.42	3.2					19.15	0.60	0.33	0.26	0.22	0.07	200.4

注：温度、压力、盐度和密度由中国地质大学（武汉）资源学院矿床教研室分析；其它参数由中国有色金属工业总公司矿产地质研究院分析

4 有机质、有机流体的成矿作用

4.1 活化迁移作用

Giordano^[8]对MVT铅锌矿床研究后指出，只有与含硫和含氮的配位体有关的有机络合物才能对铅、锌的搬运起重要作用，并认为以这种金属有机络合物形式搬运的金属浓度必须达到 10×10^{-6} 。Gize^[9]也强调有机硫在搬运金属中的重要性。前文指出，栖霞山矿区成矿有机流体类似于原油体系，氯仿沥青A以非烃和沥青质等含杂原子（O、S、N）化合物为主，流体中锌的含量可达 26.9×10^{-6} （表4），甚至可高达 200.4×10^{-6} 。因此有机流体中这种特殊的族组成暗示了成矿元素至少是Zn能以有机金属络合物搬运，并完全可以形成矿床。然而，Pb、Zn等成矿元素的油水分配系数较小，分别为0.019、0.037^[10]，因此，只可能是部分铅、锌以这种形式迁移。

4.2 还原沉淀作用

宁镇地区所分析的各地层岩石中，Pb、Zn含量与有机碳含量均没有很明显的相关性。在所分析的Pb、Zn、S矿石中，Pb、Zn与有机碳也无明显的关系（图3a）。然而，这些矿石中

的 S 与有机碳表现出较好的正相关性 (图 3b), 所有样品聚为两组, 可能是 2 次不同成矿阶段 (II-3、II-4) 的反映。不仅如此, 这些矿石中的 Pb 与 Zn 的总量与 $S/C_{\text{有机}}$ 比值也表现出一定的关系 (图 3c), 可以用二次方程来表述, 与 $S-C_{\text{有机}}$ 关系一样, 所有样品也聚成两组。由此可以判断, 有机质是通过控制硫而来影响 Pb、Zn 沉淀成矿的。前述有机包裹体的研究指出, Pb、Zn 的沉淀与有机流体的加入有关, 而且, 成矿流体中的有机质最终富集于矿石中要发生复杂的反应, 看来, 有机流体的这些复杂反应与提供还原性硫 S^{2-} 有关。由于有机质中所含的有机硫并非很高, 因此靠有机质的裂解作用难以提供全部成矿所需的 S^{2-} 。II-5 非 Pb、Zn 矿化阶段大量重晶石的发育以及赋矿地层中大量去膏化现象存在, 显示了 II-3、II-4 成矿阶段流体中可能有 SO_4^{2-} 的存在, 这也为包裹体成分分析所证实 (含 SO_4^{2-} 4%~17%), 因此有机质很可能是通过还原 SO_4^{2-} 而为成矿提供 S^{2-} 的。

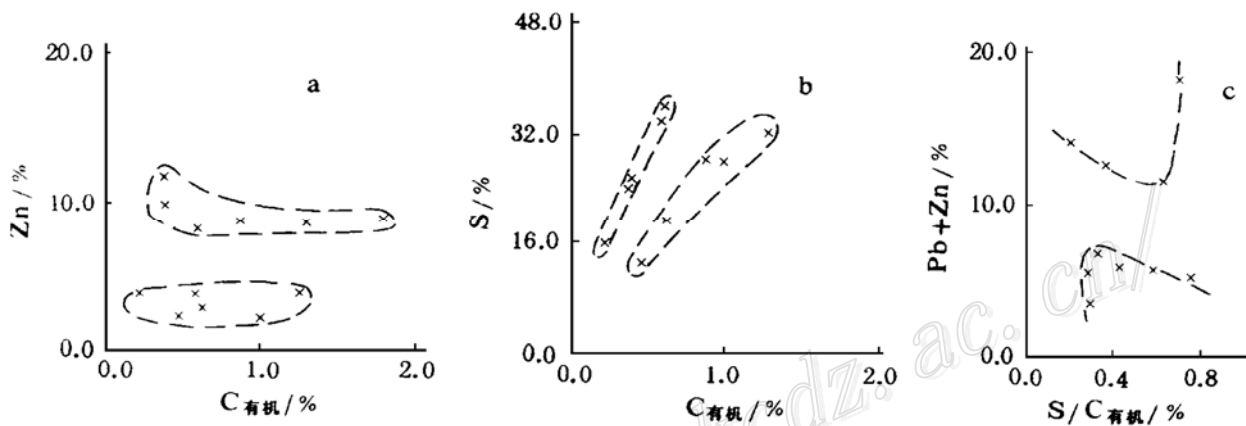


图 3 矿石中 Pb+Zn、Zn、S 与 $C_{\text{有机}}$ 之间的关系

Fig. 3. Relationship of lead, zinc, sulfur to organic carbon in ores.

就宁镇山脉乃至整个长江中下游地区而言, 白云岩的控矿现象很突出。然而震旦系—奥陶系、上石炭统、三叠系均发育化学性质很活泼的、利于成矿的白云岩, 但震旦系—奥陶系的矿化明显少得多, 仅在个别地点有零星的 Pb、Zn 矿点。前已指出, Pb、Zn 成矿物质主要源于震旦纪及其以下的基底岩石, 那么受岩浆驱动从基底来的成矿流体携带的矿物质上升以后, 遇到第一个白云岩段应是震旦系—奥陶系, 而实际上宁镇地区乃至整个长江中下游地区成矿主要发育在第二个和第三个白云岩段 (上石炭统、三叠系), 因此, 成矿作用除了与白云岩等化学性质活泼的地层岩性有关外, 地层中还有其它更重要的控矿因素。对比这三大套白云岩组合, 可以发现一个很明显的差异是, 震旦系—奥陶系白云岩中的有机质已经发生了异常熟化作用, 镜质体反射率 R_0 高达 5%~7%, 已经不可能为成矿提供有机流体了, 下伏基底来的成矿流体进入该段地层时, 成矿流体的物化条件难以有质的改变, 尤其是难以为矿质的沉淀提供大量的 S^{2-} , 而上石炭统和三叠系中的白云岩则正好与之相反。尽管长江中下游石炭—二叠—三叠纪层控铜、金等多金属矿床与区内的岩体关系很密切, 这是因为铜等矿质主要来源于岩体。然而区内的多金属矿床主要发育在石炭纪、二叠纪和三叠纪地层中, 而大量发育利于成矿白云岩的震旦系—奥陶系很少成矿。综合栖霞山矿床及前面的论述, 笔者认为, 地层中的有机质, 有机流体的性质起很积极的作用, 它们通过还原硫酸盐而为矿质的沉淀提供

S²⁻。安徽铜陵冬瓜山铜矿床中气态和固态有机包裹体的存在是这种成矿作用的体现^①。

参 考 文 献

- 1 肖振民, 蔡彩文, 郭晓山等. 南京栖霞山铅锌银锰硫矿床层控及二源二次成矿问题的探讨. 华东冶金地质, 1980, (2): 1~7
- 2 江苏冶金地质勘探公司八一〇队专题组, 南京栖霞山铅锌多金属矿床成矿模式研究. 华东冶金地质, 1983, (1): 103~113
- 3 刘孝善, 陈诸麒, 陈永清等. 南京栖霞山硫化物矿床的矿石结构构造及其对矿石的成因意义. 南京大学学报(自然科学版), 1979, (4): 75~93
- 4 殷鸿福, 谢树成. 微生物成矿研究的新进展和新动向. 地学前缘, 1994, 1 (4): 148~156
- 5 涂光炽. 中国层控矿床地球化学(第三卷). 北京: 科学出版社, 1988, 255~297
- 6 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 长江中下游铜铁成矿带. 北京: 地质出版社, 1991, 266~268
- 7 Etiminan H, Hoffman C F. Biomarkers in fluid inclusions: A new tool in constraining source regimes and its implications for the genesis of Mississippi valley-type deposits. *Geology*, 1989, 17: 19~22
- 8 Giordano T H. A preliminary evaluation of organic ligands and metal-organic complexing in Mississippi Valley-type ore solutions. *Econ. Geol.* 1985, 80: 96~106
- 9 Gize A P et al. The organic geochemistry of two Mississippi Valley-type lead-zinc deposits. *Econ. Geol.*, 1987, 82: 457~470
- 10 Manning D A C, Gize A P. The role of organic matter in ore transport processes. In: Engel M H, Macko S A ed. *Organic geochemistry: principles and applications*. New York: Plenum Press. 1993: 547~563

<http://www.kcdz.ac.cn/>

① 殷鸿福等, 1995, 长江中下游 C-P-T 海盆演化及其与铜金多金属矿的关系, “八五”国家科技攻关项目报告

ORGANIC ORE-FORMING PROCESS IN THE QIXIASHAN POLYMETALLIC DEPOSIT, NANJING CITY, JIANGSU PROVINCE

Xie Shucheng, Yin Hongfu, Wang Hongmei and Zhou Xiuguo

(China University of Geosciences, Wuhuan 430074)

Key words: polymetallic deposit, hydrocarbon inclusion, biomarker, ore-forming process, Qixia Mountain of Nanjing

Abstract

Biom mineralization evolves coincidentally with other geological processes. Many geologists have already discussed the participation of organisms in the ore-forming process of the Qixiashan polymetallic deposit, and this paper deals emphatically with the role of organic matter and organic fluids in metallogenesis. Combined the non-destructive analytical techniques like optical analysis and ultraviolet fluorescent and infrared spectroscopy with the destructive techniques such as gas chromatography and gas chromatography-mass spectrography, this paper has systematically studied hydrocarbon inclusions discovered in the ore deposit, detected series of biomarkers in the ore-forming fluids, and compared the difference in extractable organic matter among host rocks, ores and inclusions. Characteristics of organic matter in fluids and relationships of ore-forming elements to organic carbon and sulfur show that some ore-forming elements were transported by organometallic complexes and that organic fluids provided S^{2-} for the precipitation of metals. On such a basis, some ore-forming processes of the stratabound polymetallic deposits in the middle and lower reaches of the Yangtze River are discussed.