

粤西大降坪硫铁矿床地球化学特征 及成因探讨*

潘家永 张 乾 张宝贵

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳)

提 要: 大降坪矿床存在着两种截然不同的矿石类型, III号矿体条带状矿石是同生热水沉积作用形成; IV号矿体块状矿石是后期热液叠加改造形成。两者在微量元素、硫、铅同位素及流体包裹体等地球化学性质方面各具特征。通过矿床地质地球化学等方面研究表明: 该矿床为一典型的同生热水沉积-后期热液叠加改造型层控矿床。

主题词: 硫铁矿床 地球化学特征 矿床成因 粤西大降坪

位于广东省云浮县境内的大降坪矿床是我国超大型硫铁矿床之一。本文从微量元素、稳定同位素等地球化学方面对该矿床进行了系统研究认为: 该矿床是一典型的同生热水沉积-后期热液叠加改造型层控矿床。

1 矿床地质概况

大降坪矿床位于云开隆起区中段偏北。矿区出露地层为震旦系, 分a、b两层, a层岩性主要为含石榴石、红柱石、矽线石的片岩夹石英岩, b层岩性较复杂, 变质程度低, 以石英岩、千枚岩、变质砂岩、碳质板岩、碳质粉砂岩为主夹硅质岩及薄层灰岩, 其中b-3层的碳质板岩、碳质粉砂岩、板岩、千枚岩及硅质岩为矿体的围岩。

矿区无岩浆岩出露, 仅于矿体附近围岩中偶尔见规模很小的花岗斑岩脉。矿区褶皱与断裂构造非常发育。无论是地层还是矿体, 同步紧密褶曲构造发育, 甚至在手标本上也可见到复杂的褶曲构造, 褶皱使得矿体厚度加大, 如IV号矿体最厚处可达160m。矿区一系列走向北西向向南弯曲的断裂常破坏矿体, 断裂晚于条带状矿石的形成; 最主要的 F_4 断层由一组大致平行的断裂组成, 块状矿石沿该断裂带分布(图1), 断裂带中既可见角砾状黄铁矿石, 又可见粗粒黄铁矿脉充填于其中, 说明该断层具有多期活动的特点, 从 F_4^1 向 F_4^2 , 矿物粒度变细, 块状矿石中残余的条带状矿石增多, 石英中流体包裹体减少, 据此推测, F_4 断层可能是后期热液通道。

该矿床从北到南分为长白岭、大降坪和尖山三个矿段, 黄铁矿体呈层状夹于碳质板岩、碳质粉砂岩及千枚岩中, 矿体与围岩呈渐变过渡关系, 产状与地层一致。规模最大的大降坪

* 中国科学院矿床地球化学开放研究实验室资助项目

潘家永, 男, 26岁, 助理研究员, 1991年获中国地质科学院硕士学位。邮政编码: 550002

1993-4-27收稿, 1993-8-13修改回

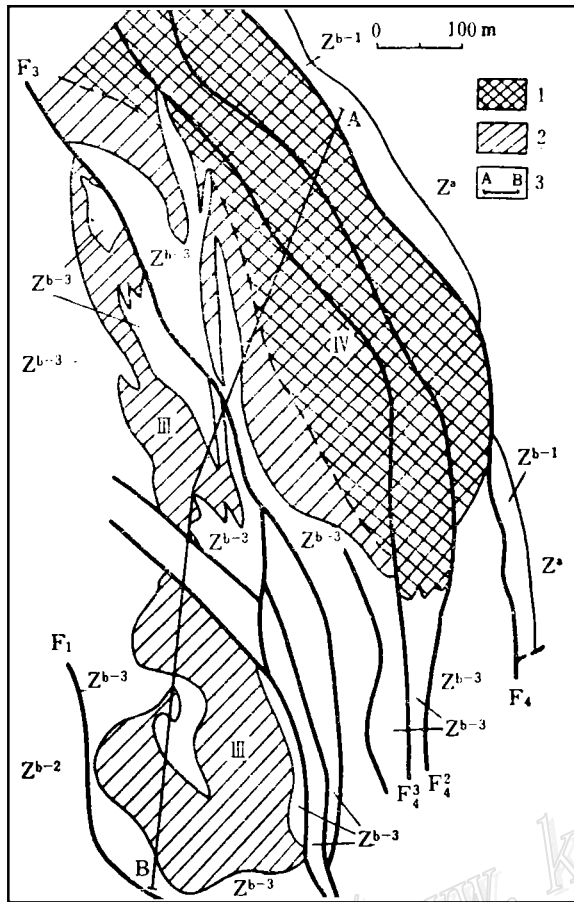


图 1 大降坪矿床Ⅲ、Ⅳ号矿体地质图

(据矿区资料)

Z^a—震旦系 a 层, 片岩; Z^{b-1}—震旦系 b-1 层, 石英岩、千枚岩、片岩; Z^{b-2}—震旦系 b-2 层, 片岩、变质砂岩、碳质粉砂岩夹薄层灰岩; Z^{b-3}—碳质板岩、板岩、碳质粉砂岩、千枚岩、硅质岩; Ⅲ、Ⅳ—矿体编号; F—断层; 1—块状矿体; 2—条带状矿体; 3—采样路线

Fig. 1. Geological map of No. III and No. IV orebodies in the Dajiangping pyrite deposit.

Z^a—Sinian Bed a, schist; Z^{b-1}—Sinian Bed b-1, quartzite, phyllite and schist; Z^{b-2}—Sinian Bed b-2, schist, metasandstone, carbonaceous siltstone intercalated with flaggy limestone; Z^{b-3}—Sinian Bed b-3, carbonaceous slate, slate, carbonaceous siltstone, phyllite and silicalite; Ⅲ, Ⅳ—Serial number of orebody; F—Fault; 1—Massive orebody; 2—Banded orebody; 3—Sampling line.

矿段是本文研究对象, 它主要由Ⅲ、Ⅳ两矿体组成, 其中Ⅳ号矿体以块状矿石为主, 边部过渡为条带状矿石, Ⅲ号矿体全由条带状矿石组成。地表揭露证实, Ⅲ号和Ⅳ号矿体在深部是相连的同一矿体。

矿石矿物组成简单, 主要有用矿物为黄铁矿, 方铅矿、闪锌矿等为少量—微量矿物。块状矿石几乎全由粗粒黄铁矿组成, 局部见晚期形成的方铅矿沿裂隙充填。条带状矿石中黄铁矿粒度一般小于 1 mm。脉石矿物主要有石英、绢云母、碳质及少量方解石、萤石、蛋白石、等。石英形态多种多样, 块状矿体中常呈透镜状石英脉顺层产出, 条带状矿石中呈细粒镶嵌状、非晶质梳状或为矿石的硅质条带。矿石构造除层状、条带状、块状构造外, 条带状矿石中常见沉积韵律构造、层纹状、条纹状构造等, 块状矿石中普遍存在后期热液熔蚀交代形成的交代残余构造、残余条带状构造、结晶粒状结构及穿层脉状构造等。在块状矿体中, 原始沉积形成的条带状及成层构造虽经后期热液的叠加改造, 但仍清晰可辨。块状矿石与条带状矿石过渡区常见胶状、似胶状构造。

2 微量元素地球化学特征

2.1 围岩及矿石的微量元素特征

矿区地层、硅质岩及矿石中Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As等元素含量分析结果见表1。

表1 大降坪矿床岩石、矿石微量元素含量(10^{-6})

Table 1. Minor element contents of ores and rocks from the Dajiangping pyrite deposit (10^{-6})

样品号	名称	采样位置	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Pb/Zn
YFD-21	千枚岩	IV矿体下盘Z ^a 层	0.001	1.752	52.95	274.4	367.2	20.8	0.75
YFD-22	千枚岩	IV矿体下盘Z ^{b-1} 层	0.012	0.410	10.17	33.3	302.1	34.4	0.11
YFD-23	变质砂岩	IV矿体下盘Z ^{b-1} 层	0.006	2.703	11.00	244.8	278.9	43.1	0.88
YFD-59	碳质板岩	III矿体上盘Z ^{b-3} 层	—	8.573	18.66	229.0	462.1	19.2	0.50
YFD-60	碳质板岩	III矿体上盘Z ^{b-3} 层	0.001	2.271	29.32	603.2	9514.7	24.3	0.06
平均			<0.005	3.142	24.42	276.9	2185.0	28.4	0.127
YFD-48	硅质岩	Z ^{b-3} 中夹层, III矿体顶板	0.002	1.435	4.87	541.6	23.8	7.7	22.78
YFD-49	硅质岩	Z ^{b-3} 中夹层, III矿体顶板	0.002	0.410	4.39	326.9	19.5	3.6	16.75
YFD-51	硅质岩	Z ^{b-3} 中夹层, III矿体顶板	0.002	0.747	—	79.2	11.8	5.5	6.7
YFD-53	硅质岩	碳质板岩中夹层	0.002	3.428	11.76	92.4	62.05	0.5	1.50
平均			0.002	1.510	<7.21	260.0	29.3	3.5	8.87
YFD-27	块状矿石	IV矿体	0.003	0.976	46.19	1493.8	33.4	141.0	44.79
YFD-38	块状矿石	IV矿体块状条带状过渡区	0.006	0.280	32.44	3865.3	976.5	177.7	3.96
YFD-39	块状矿石	IV矿体块状条带状过渡区	0.002	1.831	22.36	5691.3	34.0	140.3	167.54
YFD-63	条带状矿石	III矿体南段	0.003	10.784	90.26	11376.9	193.2	111.7	58.88
YFD-67	条带状矿石	III矿体中段	0.001	0.395	11.53	3939.5	310.6	176.7	12.69
平均			0.003	2.850	40.56	5273.4	309.5	149.5	17.04

注:“—”未检出;分析方法:原子吸收光谱;分析者:中国科学院地球化学研究所侯瑛、郭安贞

无论是岩石还是矿石, Au、Cu含量均低于地壳克拉克值; Ag在岩矿石中富集, 在地层、硅质岩与矿石中的Ag含量分别是地壳克拉克值的44、21.5、40倍。矿区岩矿石含Ag高是云浮地区震旦系—寒武系浅变质岩系的统一特征, 该区寒武系片岩含Ag可高达 20×10^{-6} , 一般为 $1 \times 10^{-6} \sim 15 \times 10^{-6}$, 且于该区发现了如茶洞、高杖、金子窝等许多产于断层破碎带中的独立或伴生银矿床。

岩石和矿石中Pb、Zn、As含量具有一定的规律性。地层中(千枚岩及板岩、砂岩)平均含Pb 276.9×10^{-6} 、含Zn 2185.0×10^{-6} 、含As 28.4×10^{-6} ; 硅质岩中平均含Pb 260×10^{-6} 、含Zn 29.3×10^{-6} 、含As 3.5×10^{-6} , 矿石中平均含Pb 5273.4×10^{-6} 、含Zn 309.5×10^{-6} 、含As 149.5×10^{-6} (表1)。岩石与矿石中Pb、As含量变化顺序为矿石>地层>硅质岩, 而Zn含量为地层>矿石>硅质岩。矿石和硅质岩的Pb/Zn比值都大于1, 而地层小于1。在Pb-Zn-As三角图中(图2a), 矿石与硅质岩位于同一区域, 而地层以高Zn含量与矿石和硅质岩区别开来。矿石与硅质岩相同的Pb/Zn比值及在Pb-Zn-As图中相同的区域可能反映它们的成因联系。

2.2 黄铁矿的微量元素含量特征及成因意义

在黄铁矿的微量元素中, 一般认为沉积及沉积改造矿床黄铁矿的Co/Ni比值小于1, 而热液(包括岩浆热液、变质热液等)矿床则相反^[1]。

大降坪矿床黄铁矿的微量元素也能反映出矿床成因的某些线索。该矿床条带状矿石可视为同生沉积产物，低级区域变质并未改变其沉积特征，非晶质SiO₂（玉髓及硅石）的存在说明没有发生重结晶；块状矿石经受了后期热液叠加，残存的层状、条带状构造及与条带状矿石过渡等现象说明被叠加改造之前仍为条带状矿石。相应地，条带状黄铁矿 Co/Ni值小于1，为0.43~0.95，而块状黄铁矿该比值大于1，为1.02~1.53。在Co-Ni图中（图2b），条带状黄铁矿位于 Co/Ni < 1 的沉积区域，块状黄铁矿位于 Co/Ni > 1 的热液矿床区域，只有个别样品有交叉，这些样品大多为两类矿石过渡地段的黄铁矿。同样两类矿石在 (Se/Te)-Tl 图中（图2c）也能明显区分开来。

该矿床块状黄铁矿的 Au、Ni、Se、Tl、Ga、Ge 含量明显低于条带状黄铁矿，而 Ag、Co、Te、In 含量与条带状黄铁矿接近或略低（表2）。造成这种现象的原因可能是：①后期热液没有带来更多的微量元素；②后期热液叠加改造过程中，黄铁矿在高温下结晶出更好的晶形和更大的晶体，对 Au、Ag、Co、Ni 等微量元素具有排斥性。在 Co-Ni、(Se/Te)-Tl 图中

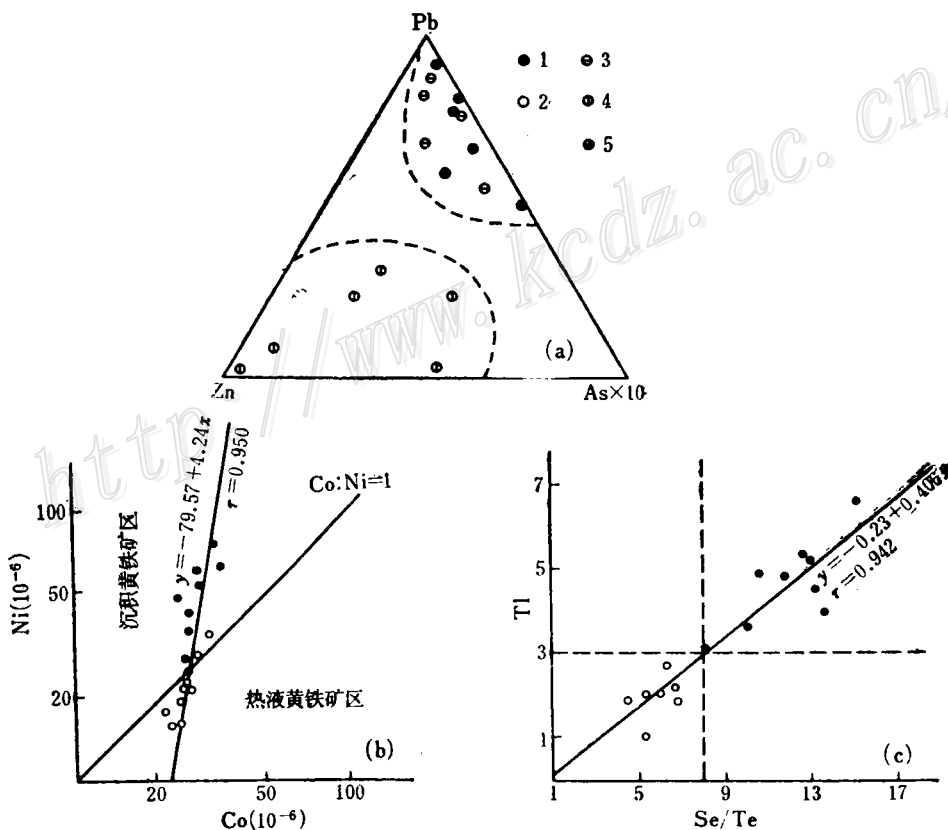


图 2 大降坪矿床微量元素图解

(a) 矿石及岩石的Pb-Zn-As图；(b) 黄铁矿的Co-Ni图；(c) 黄铁矿的Se/Te-Tl图；1—条带状黄铁矿；2—块状黄铁矿；3—矿石；4—地层；5—硅质岩

Fig. 2. Diagram showing trace elements of the Dajiangping deposit.

(a) Pb-Zn-As diagram of rocks and ores; (b) CO-Ni diagram of pyrite; (c) Se/Te-Tl diagram of pyrite; 1—Banded pyrites; 2—Massive pyrites; 3—Ores; 4—Strata; 5—Silicalite.

表 2 大降坪矿床黄铁矿的微量元素含量(10^{-6})
Table 2. Minor element contents of pyrite from the Dajiangping pyrite deposit (10^{-6})

序号	样品号	矿体	矿石类型	Au	Ag	Co	Ni	Se	Te	Tl	Ga	In	Ge	Cd	Co/Ni	S/Se
1	YFD-24	IV	块状	0.006	6.66	22.98	15.32	0.10	0.019	2.0	—	0.8	0.1	—	1.50	5.26
2	YFD-27			0.003	15.09	28.41	27.85	0.12	0.020	2.1	—	0.7	0.1	—	1.02	6.00
3	YFD-28			0.004	4.64	30.60	34.28	0.29	0.017	2.0	—	0.6	0.1	—	0.89	17.06
4	YFD-32			—	5.06	21.43	17.17	0.15	0.028	1.0	0.3	0.5	—	—	1.25	5.36
5	YFD-35			—	5.77	24.17	15.75	0.18	0.028	2.7	0.3	—	0.1	—	1.53	6.40
6	YFD-36			—	3.83	26.38	21.14	0.16	0.024	2.2	0.3	0.6	0.1	—	1.25	6.67
7	YFD-38			—	4.16	24.58	18.84	0.14	0.031	1.9	—	0.5	0.2	—	1.30	4.52
8	YFD-75			—	6.37	25.87	22.88	—	—	—	—	—	—	—	1.13	—
9	平均			—	6.45	25.55	21.65	0.17	0.025	1.9	—	—	—	—	1.18	6.80
10	YFD-44	IV	条带状	0.002	4.88	26.69	25.42	0.37	0.028	4.5	1.0	0.5	0.6	—	1.05	13.21
11	YFD-62	III	条带状	0.004	4.05	32.33	75.60	0.18	0.022	3.1	0.1	0.6	0.3	—	0.43	8.18
12	YFD-63			0.012	14.95	24.01	48.02	0.26	0.020	5.2	0.4	1.0	0.2	—	0.50	13.00
13	YFD-64			—	6.65	28.57	60.34	0.32	0.021	6.6	3.4	0.6	1.8	—	0.47	15.24
14	YFD-67			—	3.64	26.29	40.69	0.36	0.034	4.9	0.2	0.7	—	—	0.65	10.60
15	YFD-73			0.025	11.68	33.98	60.76	0.23	0.017	3.9	0.2	0.9	0.7	—	0.56	13.53
16	YFD-76			0.005	4.23	26.14	27.38	0.28	0.022	5.3	0.1	1.1	0.1	—	0.95	12.73
17	平均			—	7.53	28.55	52.13	0.27	0.023	4.8	0.7	0.8	—	—	0.55	11.74
18	平均	III、IV	—	6.78	26.83	34.10	0.24	0.024	3.6	—	—	—	—	0.79	10.00	

注:“—”未检出;分析者:中国科学院地球化学研究所侯瑛、陈晔虞

(图2b、c),所有样品沿着两条趋向线分布似乎说明:块状矿石的Co、Ni、Se、Te、Tl等微量元素继承了条带状矿石的特征;从原点向外,依次为IV号矿体块状黄铁矿—IV号矿体条带状黄铁矿—III号矿体条带状黄铁矿,似乎反映了受后期热液叠加改造的强弱程度。

3 稳定同位素地球化学特征

3.1 硫同位素

3.1.1 硫同位素含量变化特征 我们沿图1所示采样路线采集了不同类型的黄铁矿石,从中挑选出黄铁矿单矿物,经处理制样后在西德MAT-230质谱仪上测定了硫同位素组成(表3),其变化范围为 -25.6% ~ $+21.1\%$,与文献中 $\delta^{34}\text{S}$ 值(-25.8% ~ $+24.0\%$)一致^[2]。

该矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 组成与不同矿体、矿石类型、黄铁矿粒度及矿石和黄铁矿中有机碳含量有明显的规律性:从III号矿体细粒条带状矿石到IV号矿体粗粒块状矿石, $\delta^{34}\text{S}$ 值由高的负值升为高的正值,而有机碳含量却降低;尤其在III、IV号矿体过渡部位,有机碳含量的突然降低与 $\delta^{34}\text{S}$ 值的突然升高惊人地一致(表3)。

3.1.2 硫的来源讨论 与沉积或沉积改造作用有关的硫化物矿床硫同位素组成可分为正值、负值及分散型三种类型,硫来源于海(湖)水硫酸盐的还原和分解^[1]。大降坪矿床与海水或湖水提供硫的硫化物矿床相比(表4),硫同位素组成有以下特点:①该矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 值从

表3 大降坪黄铁矿床硫同位素组成及有机碳含量
Table 3. Sulfur isotope composition and organic carbon content of the Dajiangping pyrite deposit

样品号	采样位置	矿石类型	测定矿物	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ (‰)	有机碳 (%)	
					矿石	黄铁矿
YFD-28	IV矿体 F ₄ 断层旁	粗粒块状矿石		21.1	0.05	0.05
YFD-27	IV矿体 322 平台	粗粒块状矿石		20.6		
YFD-32	IV矿体 334 平台	残余条带状粗粒矿石		19.2		
YFD-24	IV矿体 334 平台	粗粒松散状矿石		14.3	0.25	0.10
YFD-74	IV矿体 334 平台	粗粒块状矿石		13.9		
YFD-75	IV矿体 440 平台	粗粒块状矿石		14.4	0.13	0.09
YFD-44	IV矿体 346 平台	粗粒条带状矿石	黄铁矿	12.6	0.97	0.22
YFD-35	IV矿体边部过渡区	似胶状致密块状矿石		-9.4		0.19
YFD-38	IV矿体边部	似胶状致密块状矿石		9.4		
YFD-76	IV矿体边部	细粒条带状矿石		-12.2	0.90	
YFD-73	III矿体北段	条带状矿石		-17.4	1.06	0.34
YFD-71	III矿体北段	条带状矿石		-15.5		
YFD-67	III矿体中段	宽条带状矿石		-18.1	1.08	0.40
YFD-62	III矿体南段	细粒条带状矿石		-21.4	1.35	0.44
YFD-63	III矿体南段	细粒条带状矿石		-21.3	1.11	
YFD-64	III矿体南段	细粒条带状矿石		-25.6	0.87	0.37

$\delta^{34}\text{S}$ 分析者: 中国科学院地球化学研究所耿龙年 (精密度 ± 0.2); 有机碳分析者: 贵阳钢厂化验室朱燕

表4 大降坪黄铁矿床硫同位素组成与其它层状硫化物矿床比较
Table 4. A comparison of sulfur isotope composition of the Dajiangping pyrite deposit with that of some other stratiform sulfide deposits

矿床	含矿层时代及岩性	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ (‰)	硫的来源	资料来源
大降坪	条带状细粒黄铁矿	-25.6 ~ -9.4		本文
	粗粒块状黄铁矿	+12.6 ~ +21.1		
	III + IV 矿体	-25.6 ~ +21.1		
内蒙古东升庙	中元古界细碎屑岩	-0.6 ~ +27.1	海水硫酸盐	涂光炽等, 1987 ^[1]
内蒙古炭窑口	中元古界细碎屑岩	+14.6 ~ +31.6		
河北高板河	中元古界泥质岩	-10.9 ~ +19.7		
加拿大 Anvil 地区层状硫化物矿床	寒武系碎屑岩	+10 ~ +22	海水硫酸盐	Shanks 等, 1987 ^[12]
加拿大托姆·贾森	泥盆系碎屑岩	+5 ~ +28	海水硫酸盐	Gardner 等, 1985 ^[13]
印第安拉 New Albany 页岩中黄铁矿	泥盆系黑色页岩	-13.2 ~ -21.6	海水硫酸盐的细菌还原	Edward 等, 1990 ^[14]
云南金顶	老第三系陆相碎屑岩	-4.0 ~ -20.5	陆相盆地硫酸盐生物分解	张乾, 1991 ^[3]

-25.6‰到+21.1‰, 与高板河矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 值有相似之处, 同属分散型, 然而条带状矿石与块状矿石 $\delta^{34}\text{S}$ 值的明显分开是其它矿床少见的; ②条带状矿石的 $\delta^{34}\text{S}$ 值与金顶铅锌矿床

陆相盆地中湖水硫酸盐经生物分解形成生物成因硫类似^[3], 也与美国印第安拉New Albany 页岩中黄铁矿的硫同位素组成及 $\delta^{34}\text{S}$ 值随样品有机碳含量升高而降低的情形完全相同^[11], 说明该类矿石硫的形成, 生物作用起了重要作用; ③粗粒块状黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值与东升庙、炭窑口、高板河及加拿大塞尔文盆地中层状硫化物矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 接近。这些矿床的硫被认为来源于海水硫酸盐的还原^[1,12,13]。

以上特点说明: 尽管该矿床Ⅲ、Ⅳ矿体存在两种不同的硫同位素组成, 其来源可能都是海水硫酸盐的还原与分解。之所以Ⅲ、Ⅳ矿体有截然不同的 $\delta^{34}\text{S}$ 组成, 可能是盆地不同部位沉积环境的不同、硫源的充足与否、生物作用的强弱等多种因素综合的结果, 但最明显的可能是生物作用, Ⅲ矿体有机碳含量高, 说明沉积环境生物作用的强烈, 因生物分解作用而使之富轻硫 (^{32}S); Ⅳ矿体有机碳含量低, 说明生物作用微弱, 海水硫酸盐来源的硫进入封闭一半封闭还原洼地直接被还原成富 ^{34}S 的 H_2S , 因而沉淀出的硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值为高正值。块状矿石中的残余条带状黄铁矿 (YFD-32、YFD-44) 的 $\delta^{34}\text{S}$ 值与重结晶的粗粒黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值的一致性也说明: 后期热液叠加改造并没有改变 $\delta^{34}\text{S}$ 的组成, 很可能后期热液没有带来更多的硫。

3.2 铅同位素

3.2.1 铅同位素组成特征 大降坪矿床铅同位素组成存在以下显著特点: ①条带状黄铁矿与矿体围岩具有相同的铅同位素组成, 均高于粗粒块状黄铁矿的三组铅同位素组成; ②属于含矿层下伏层位的Z^a层变质砂岩铅同位素组成与矿石及围岩铅不同, 前者明显富 ^{206}Pb 和 ^{208}Pb ; ③矿石和围岩 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 较低, 具有老铅特征, 而矿区花岗斑岩 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 明显高于矿石与围岩; ④无论是矿区哪种地质体, 都具有较高的 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值, 这是粤西地区震旦系—寒武系及与之有关矿床的区域性特征 (表5)。

表 5 大降坪矿床铅同位素组成与区内混合岩、岩浆岩对比

Table 5. Lead isotope composition of the Dajiangping pyrite deposit in comparison with that of migmatite and magmatite in the Yunkai upwarped district

地质产状	样品数	测试矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
大降坪矿床	Ⅲ号条带状矿石	6	$\frac{18.293 \sim 18.431}{18.348^{\text{①}}}$	$\frac{15.712 \sim 15.871}{15.812}$	$\frac{38.697 \sim 39.035}{38.829}$
	Ⅳ号块状矿石	7	$\frac{18.141 \sim 18.280}{18.222}$	$\frac{15.622 \sim 15.792}{15.698}$	$\frac{38.299 \sim 38.673}{38.499}$
	矿体围岩(Z ^b)	3	$\frac{18.321 \sim 18.388}{18.354}$	$\frac{15.776 \sim 15.830}{15.801}$	$\frac{38.680 \sim 38.848}{38.781}$
	Z ^a 层变质砂岩	1	18.932 ± 0.018	15.770 ± 0.026	39.873 ± 0.035
	Z ^a 层中花岗斑岩	1	18.547 ± 0.026	15.690 ± 0.023	38.826 ± 0.053
云开隆起区基底混合岩	10	长石	$\frac{17.793 \sim 18.335}{18.094}$	$\frac{15.476 \sim 15.763}{15.584}$	$\frac{37.817 \sim 38.453}{38.228}$
云开隆起区燕山期岩浆岩	11	长石或石英	$\frac{18.524 \sim 18.693}{18.605}$	$\frac{15.420 \sim 15.708}{15.632}$	$\frac{38.570 \sim 38.937}{38.918}$

由中国科学院地球化学研究所毛存孝、彭建华测定; ①为平均值, 其它同

3.2.2 铅的来源讨论 条带状矿石铅与围岩铅一致, 显示出两者是同源的。从地质特征看: 条带状矿体为整合层状矿体, 与围岩呈渐变过渡关系, 矿石条带与层理一致, 属同生沉积矿体, 矿石与围岩铅可能都来自当时向沉积盆地提供物质的上地壳源区。

块状矿石是后期热液叠加改造变富而成的矿石，三组铅同位素组成都低于条带状矿石，有两种原因可造成这种结果：①沉积时两者就有不同的铅同位素组成；②后期热液带来更均一的铅与矿石铅混合。但以下两点支持第二种可能性：①块状矿体后期叠加改造强烈，改造热液或多或少会带来一部分铅叠加到矿石中去；②块状矿体中残余条带状黄铁矿（如 YFD-31、YFD-32 等三组铅同位素组成分别为 18.279~18.280、15.700~15.792、38.668~38.673）三组铅同位素组成接近于条带状黄铁矿，而明显属后期结晶的矿物铅同位素比值降低（如 YFD-28、YFD-74-2、YFD-74-3 三组铅同位素组成分别为 18.141~18.173、15.622~15.676、38.299~38.443）。为了查明块状矿石铅的来源，本文收集了云开隆起区基底混合岩（其同位素年龄在 $800 \times 10^6 \sim 1500 \times 10^6$ a 之间^[4,5]，可视为该区古老混合岩基底）及燕山期岩浆岩的铅同位素组成投入图 4。该区燕山期岩浆岩铅位于图 4 的右方，条带状矿石与

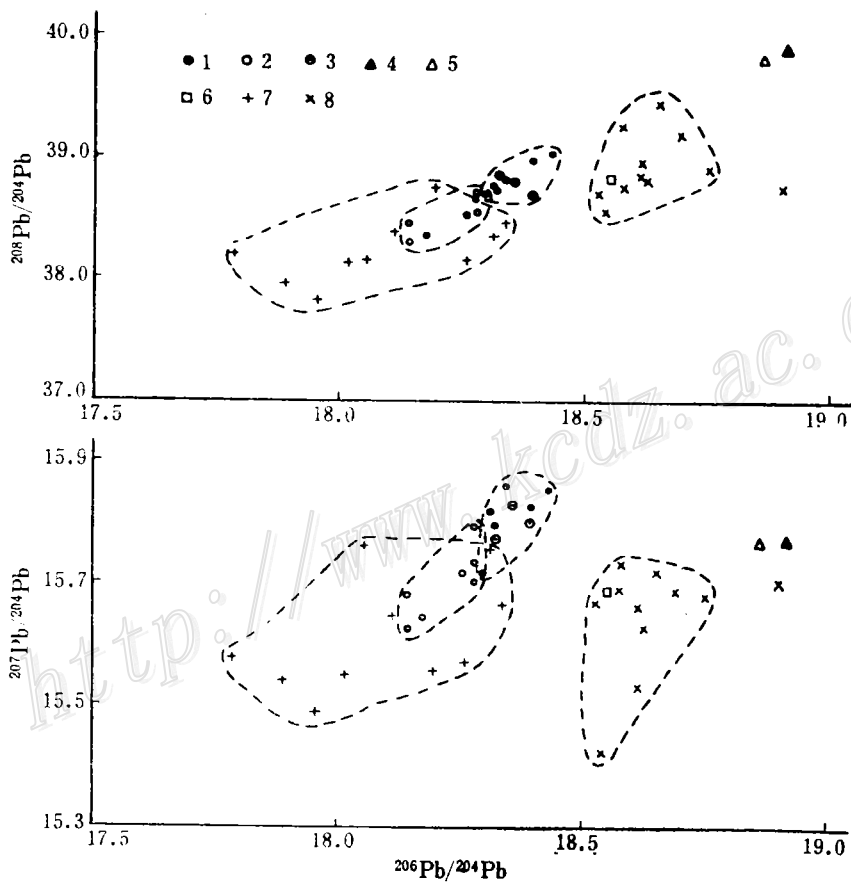


图 3 大降坪矿床铅同位素组成及与云开隆起区基底混合岩铅和燕山期岩浆岩铅比较

1—条带状矿石；2—块状矿石；3—矿体围岩；4—变质砂岩；5—校正后变质砂岩；6—花岗斑岩；7—云开隆起区基底混合岩；8—云开隆起区燕山期岩浆岩

Fig. 3. Lead isotope composition of the Dajiangping pyrite deposit in comparison with the basement migmatite lead and the Yanshanian igneous rock lead in the Yunkai upwarped district.

1—Banded ore; 2—Massive ore; 3—Host rock of the orebody; 4—Metasandstone; 5—Metasandstone after rectification; 6—Granite porphyry; 7—Basement migmatite in the Yunkai upwarped district; 8—Yanshanian magmatic rock in the Yunkai upwarped district.

之混合不可能形成块状矿石所具有的铅同位素组成; 而块状矿石铅正好位于条带状矿石铅与混合岩铅之间, 因此块状矿石铅很可能是在条带状矿石铅的基础上混入了混合岩铅, 根据铅同位素混合模式公式计算^[6]: 块状矿石铅中条带状矿石铅占 49.9%, 混合岩铅占 50.1%。

3.3 氢、氧同位素特征

该矿床Ⅲ矿体条带状矿石石英中流体包裹体很少, 仅见少量 $<1\mu\text{m}$ 的纯液相包裹体及少数 $1\sim 2\mu\text{m}$ 的气液包裹体, 其均一温度 $90\sim 110^\circ\text{C}$; Ⅳ矿体块状矿石石英中流体包裹体明显增多, 主要为 $<5\mu\text{m}$ 的纯液相包裹体及 $5\sim 15\mu\text{m}$ 的气-液包裹体, 其均一温度 $300\sim 350^\circ\text{C}$, 因此本文只挑选出块状矿石中粗粒黄铁矿及与黄铁矿共生的石英测定了其流体包裹体的氢氧同位素组成(图4)。

该矿床 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $-44\text{‰}\sim -53\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $-2.9\text{‰}\sim +11.0\text{‰}$ 。在图4中除一个样品靠近大气降水线外, 其余4个样品点均位于变质水的区域内。

云开隆起区在加里东期遭受了低压相系绿片岩相-角闪岩相变质作用及混合岩化作用, 形成了以震旦系组成的复背斜核部为中心向外依次分布的混合岩带、铁铝榴石-十字石带、黑云母和白云母-绢云母带^[7]。该矿床 F_1 断层为改造热液通道, 既穿过古老的变质混合岩基底, 又通过上述变质岩带, 基底混合岩及变质岩中的变质热液很可能进入 F_1 断层而成为该矿床的改造热液, 当然也有可能有一部分大气降水进入改造热液。

4 矿床成因讨论

该矿床存在两种截然不同的矿石, 两者在地质产状与微量元素、稳定同位素等地球化学方面明显不同:

(1) 条带状矿石黄铁矿颗粒细小, 未发生重结晶, 为整合层状矿体, 与围岩呈渐变过渡关系, 矿石条带延伸方向与地层层理一致, 属同生沉积矿体; 块状矿石黄铁矿颗粒粗大, 明显发生重结晶现象, 矿石交代溶蚀、交代残余等构造发育, 块状矿体中有条带状矿石残余, 显然是后期热液改造而成。

(2) 从 F_1 到 F_2 断裂, 黄铁矿颗粒逐渐变细, 块状矿石中残余条带状矿石增多, 石英中流体包裹体减少, 说明 F_1 断裂很可能是改造热液的通道。

(3) 矿区地层中硅质岩、条带状矿石及其中硅质条带三者稀土元素球粒陨石标准化模式一致, 皆为一组右倾曲线, 和北美页岩标准化模式与海水及现代洋底热水沉积物的稀土模式类似^[8], 显示了大降坪矿床条带状矿石是热水沉积作用形成的。

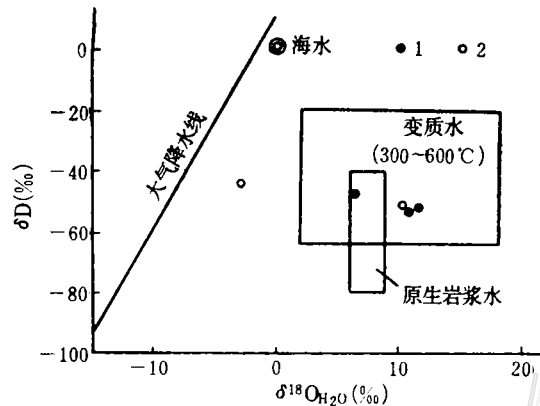


图4 大降坪矿床块状矿石矿物流体包裹体 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 图

1—石英; 2—黄铁矿

Fig. 4. δD versus $\delta^{18}\text{O}$ diagram of fluid inclusions in massive ore minerals from the Dajiangping pyrite deposit.

1—Quartz; 2—Pyrite.

(4) 两类矿石有不同的微量元素组成, 条带状矿石黄铁矿中 $Co/Ni < 1$, 显示其沉积特征; 块状矿石黄铁矿中 $Co/Ni > 1$, 显示其后期热液改造特征。在黄铁矿的 $Co-Ni, Se/Te-TI$ 图解中, 两类矿石能明显分开。

(5) 条带状矿石 $\delta^{34}S$ (‰) 为 $-25.6 \sim -9.4$ 、块状矿石为 $+12.6 \sim +21.1$, 两者皆来自于海水硫酸盐的还原或分解, 但前者生物分解起了重要作用。

(6) 条带状矿石铅同位素组成与矿区地层一致, 显示出它们来源一致; 块状矿石铅同位素表明: 块状矿石铅来源于条带状矿石铅与区内基底混合岩铅的混合, 因此后期热液改造过程中带入了部分铅, 块状矿石中可见少量方铅矿存在也说明了这一点。

(7) 条带状矿石流体包裹体少而小, 均一温度为 $90 \sim 110^\circ C$; 块状矿石石英中流体包裹体多而大, 均一温度为 $300 \sim 350^\circ C$ 。块状矿石中矿物流体包裹体氢、氧同位素表明: 后期改造热液主要为变质热液。

以上各点说明Ⅲ矿体条带状矿石是同生热水沉积作用形成的, 其铅同位素二阶段模式年龄为 $598 \times 10^6 \sim 645 \times 10^6$ a, 属震旦纪, 与地层一致, 也与该区古水震旦纪地层中硅质岩年龄 (612×10^6 a)^[9]一致; 该矿区产于粤西震旦系类复理石建造中的海底还原洼地, 火山作用微弱, 矿区可见被后期构造破坏了的同生角砾岩, 角砾成分有混合岩, 片岩等被黄铁矿等矿物胶结, 说明矿区有同生断裂存在充当海底喷流热水通道, 因而具备了热水沉积矿床形成的地质条件^[10]。Ⅳ矿体块状矿石是在原有条带状矿石基础上经后期热液改造而成, 后期热液叠加改造过程中随之带入了部分铅进入矿体, 硫及 Co, Ni, Se, Te 等微量元素继承了条带状矿石的特征, 改造的结果使原来的矿石颗粒变大, 且变得更富。块状矿石铅同位素二阶段模式年龄为 $400 \times 10^6 \sim 526 \times 10^6$ a, 与区域内加里东期变质作用时代一致, 这时期是该区构造、岩浆、变质作用最强烈的时期, 这就产生了许多深大断裂, 为热液提供了通道, 也产生了大量的热量, 为改造热液提供了热源。Ⅳ矿体靠近热液通道处被强烈改造, 而离热液通道(F₁)越远, 改造程度也减弱。综上所述, 该矿床为一典型的同生热水沉积-后期热液叠加改造型层控矿床。

参 考 文 献

- 1 涂光炽等. 中国层控矿床地球化学, 第2卷. 北京: 科学出版社, 1987. 134~156
- 2 卢炳. 中国硫铁矿地质. 北京: 地质出版社, 1984. 59~209
- 3 张乾. 云南金顶铅锌矿床成因研究. 地质找矿论丛, 1991, 6(2): 47~58
- 4 简平. 云开隆起西南端混合岩、花岗岩同位素地质年代研究. 广东地质, 1991, 6(2): 58~67
- 5 于津生等. 广东罗定泗纶混合岩田同位素组成特征. 广东地质, 1991, 6(3): 73~82
- 6 李长江等. 浙东南金银铅锌区域成矿作用的若干问题探讨. 地质与勘探, 1990, 26(6): 1~8
- 7 刘公民. 广东省变质岩概况. 广东地质, 1989, 4(4): 1~20
- 8 张乾等. 粤西大降坪黄铁矿床热水沉积硅质岩特征及稀土模式. 科学通报, 1992, 37(17): 1588~1592
- 9 张伯友等. 糜棱岩、混合岩、花岗岩三者成因联系——粤西深层次推覆构造研究的特征意义. 地质论评, 1992, 38(5): 407~413
- 10 涂光炽等. 中国层控矿床地球化学, 第3卷. 北京: 科学出版社, 1988. 131~169
- 11 Beier J A, Hayes J M. Geochemical and isotopic evidence for paleoredox conditions during deposition of the Devonian-Mississippian New Albany shale, Southern Indiana. Geol. Soc. America Bull., 1989, 101: 774~782

- 12 Shanks W C, Woodruff L G. Sulfur and Lead isotope studies of stratiform Zn-Pb-Ag deposits, Anvil Range, Yukon; Basinal brine exhalation and anoxic bottom-water mixing. *Econ. Geol.*, 1987, 82: 600~634
- 13 Gardner M D, Hutcheon I. Geochemistry, mineralogy and geology of Jason Pb-Zn deposits, Macmillan Pass, Yukon, Canada. *Econ. Geol.*, 1985, 80: 1257~1276
- 14 Edward M R, Nelson R S, Mark S G. Distribution and geochemical characteristics of metal enrichment in the New Albany shale (Devonian-Mississippian), Indiana. *Econ. Geol.*, 1991, 85: 1790~1807

A PRELIMINARY DISCUSSION ON GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND GENESIS OF THE DAJIANGPING PYRITE DEPOSIT, WESTERN GUANGDONG

Pan Jiayong, Zhang Qian and Zhang Baogui

(Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guiyang 550002)

Key words: pyrite deposit, geochemical characteristics, genesis of the ore deposit, Dajiangping of western Guangdong

Abstract

There are two diametrically different ore types in the Dajiangping ore deposit: the banded ore in No. III orebody was formed by syngenetic hot-water deposition, whereas the massive ores in the No. IV orebody by late hydrothermal superimposition and reformation. The two types of ores are quite different from each other in such aspects as trace elements, sulfur and lead isotopes and fluid inclusions. Geological and geochemical studies show that the ore deposit is a typical syngenetic hot water deposition—late hydrothermal superimposition and reformation type stratabound deposit.