

城步铺头黄铁矿床再研究^①

刘文均 伊海生 温春齐

(成都理工学院沉积研究所 成都 610059)

提 要 位于湖南中部的城步铺头黄铁矿床,是产于泥盆系基维特阶的层状矿床,1984年作者在本刊报导过这个矿床的沉积环境。根据新的资料,再次对它的成因进行研究。该矿床位于华南古大陆边缘裂谷系的北东向深水盆地中,含矿岩系由暗色的硅质岩—泥灰岩组成,矿体呈层状整合产出,以黄铁矿为主,硫同位素以富含³²S为特点($\delta^{34}\text{S} = -17.4\text{‰} \sim -30.1\text{‰}$)。含矿岩系及矿石中,有机质含量较高(3%~5%),有机质类型为腐殖—腐泥混合类型,成熟度较高。矿石具致密块状及条带状构造,由大量草莓状黄铁矿组成,它们主要出现在致密块状矿石中。矿石及含矿围岩的稀土元素、微量元素组成,与现代大洋裂谷或隆起区中的热液沉积物的特征相似,表明它们具有相同的来源和成因,应属海底热液喷流沉积矿床,大量存在的有机质,对于矿床的形成也起了重要的作用。

关键词 黄铁矿 海底喷流 热水沉积

第一作者简介 刘文均 男 64岁 研究员 沉积学及沉积矿床

1984年作者曾在本刊著文“城步铺头黄铁矿床的沉积环境”,内容涉及该矿床的沉积环境、矿床特点、与生物礁的关系、硫同位素特点,以及成矿物质来源与成因等^[1]。最近,作者再次对这个矿床进行研究,回顾原有认识,多数是符合实际情况的,但对成矿物质来源和成因,在新的资料基础上,有了新的认识。

1 矿床地质特征简述

城步铺头黄铁矿床,位于湖南中部,构造位置为江南古陆东缘、华南加里东褶皱系中的雪峰山边缘褶皱带,泥盆纪时属晚古生代华南古大陆边缘上的北东向陆内裂谷带。含矿地层为中泥盆统棋梓桥组

上部,由暗色泥岩、泥灰岩、薄层硅质岩等组成。这个时期的古地理面貌^[2],由于受北东向张性断裂的影响,呈浅水碳酸盐台地与深水盆地相间分布的格局,矿区正位于城步—新化北东向线形台间盆地(台盆)的中南段。该盆地近南北延伸,北端与湘北陆棚边缘浅水碎屑盆地相连,向南延入广西的被动边缘盆地(图1)。

矿层位于棋梓桥组第4岩性段,主要由含碳泥质生物屑微晶灰岩、含碳泥质灰岩、含碳泥灰岩、钙质泥岩、硅质岩等,组成2~3个含矿旋回^[4](图2),每个旋回厚16~18m,自下而上钙质及生物屑含量减少,有机碳含量增加,颜色加深,硫的含量也相应增加。不同类型岩石及矿石组成中,有机碳含量均>

表 1 含矿岩系中不同岩石的化学成分 (%)

Table 1 Chemical composition of various rocks in the ore formation

岩 石	样数	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	Co rg
碳质泥灰岩	3	47.35	8.28	3.68	1.40	15.29	2.13	0.03	0.30	0.15	2.13	0.16	2.35
碳泥质灰岩	1	14.69	5.54	2.56	1.25	39.92	1.19	0.00	0.19	0.07	1.48	0.14	2.35
黄铁矿层(选矿大样)	1	35.32	1.38	14.4(TFe)		15.23	1.02	0.20	0.09				2.47
硅质岩	7	70.13	3.79	3.15	1.85	8.06	0.66	0.08	0.13	0.14	0.86	0.24	1.87
生物礁灰岩	2	0.62	0.05	0.35	0.14	53.90	0.94	0.06	0.01	0.04	0.11	0.10	

① 国家自然科学基金资助项目(49132050,1-3)

收稿日期:1997-03-28 收修改稿日期:1997-05-27

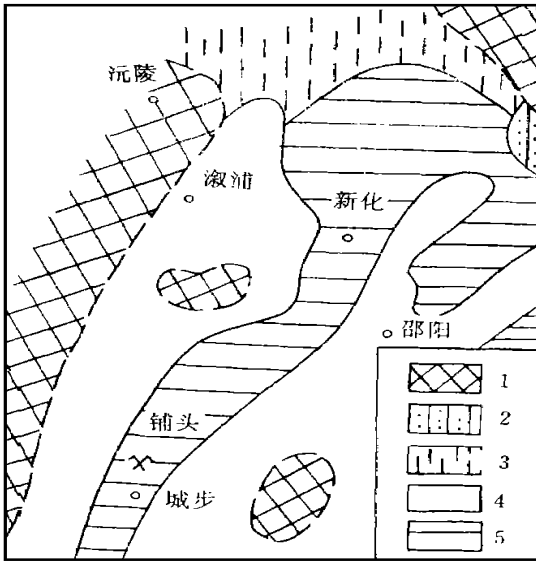


图 1 湘中地区泥盆纪棋梓桥期岩相古地理略图

1. 古陆; 2. 三角洲相; 3. 碎屑陆棚相;
4. 碳酸盐台地相; 5. 深水台盆相

Fig. 1 Lithofacies-palaeogeographic sketch map of the Qiziqiao age in the central part of Hunan

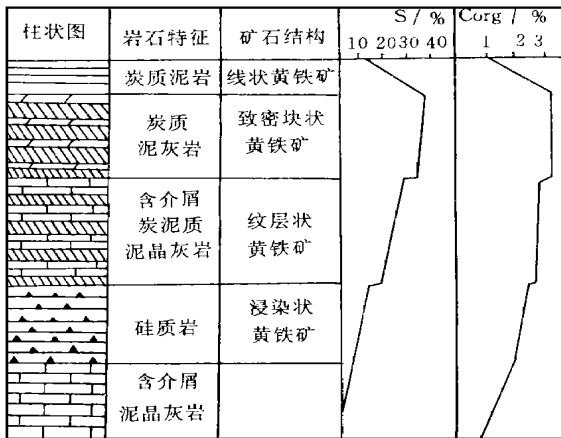


图 2 含矿旋回柱状图

Fig. 2 Column of ore-forming cycles

% (表 1).

棋梓桥组中上段,在矿区东侧形成北北东向延长的宝塔礁群,礁体主要由层孔虫及群体珊瑚组成,延长约 5 000 m,最宽处约 400 m,北高南低,最高约 126 m,礁体周围为深水盆地相泥灰岩所包围。矿体紧邻礁体西侧分布,呈层状,似层状与地层整合产出,有两个矿层,厚 1~31 m,北北东向延伸,形成北

宽南窄、北厚南薄的蝌蚪状,矿体厚度与礁高有关

矿石组份以黄铁矿为主,未见其他硫化物,非金属矿物有石英、粘土、有机质等,风化后常出现针状的泻利盐 ($Mg SO_4 \cdot H_2O$)及石膏等。12个黄铁矿单矿物分析结果, Ni的平均含量为 44×10^{-6} , CO为 0.4×10^{-6} , CO/Ni= 0.01

普遍存在的黄铁矿莓球是这个矿床的重要特色,矿石构造包括致密块状、稀疏-密集条带状或纹状,不同构造的矿石在矿床中规律分布,与有机碳含量多少及礁体分布有关,矿层中也见有黄铁矿交代微体生物化石的现象。

矿床的硫同位素组成以富含 ^{32}S 为特点,分布范围为 $-17.4\text{‰} \sim -30.1\text{‰}$,平均 -23.9‰ ,上下矿层间变化不大,但在平面上有一定分布规律,即沿走向分布稳定而倾向方向有较大变化,由东而西, $\delta^{34}S$ 由 -20.0‰ 变为 -27.0‰ ,有逐渐变小的趋势,最低值出现于矿体厚度最大的西北端 (-30.0‰)。

2 矿床成因的再认识

2.1 关于黄铁矿莓球

这个矿床中黄铁矿莓球的广泛存在,是十分罕见的。除极少量后生的细脉状黄铁矿外,整个原生的黄铁矿层,无论何种矿石类型,几乎都是由黄铁矿莓球以不同方式堆积而成。根据扫描镜下观察,莓球直径大小不一,一般 $10 \sim 20 \mu m$ 不等,球形或椭球形 (图版 A B),无序紧密堆积,但不同构造类型矿石的致密程度不一。这些莓球又由更小的黄铁矿单晶莓粒组成,单晶形态包括五角十二面体、立方体和八面体,也有少量呈聚形晶出现。它们的直径一般 $< 1 \mu m$ 不同晶形的莓粒在莓球中的排列方式有所不同,常见者有:

(1)立方体晶粒组成的同心状 (图版 G D),其边缘部分晶粒为长方立方体,放射状排列,中心部分立方体晶棱连生,留下若干等大的立方体晶间孔隙。

(2)八面体晶体,晶尖连生呈面状排列 (图版 E),留下的晶间孔隙亦为八面体。

(3)以立方体晶粒为主的无序排列,晶棱或晶类连生,但不具任何集合形态 (图版 F),也不显示莓球状外形。

(4)黄铁矿莓球与五角十二面体或聚形黄铁矿单晶 ($d=10 \sim 15 \mu m$) 集合在一起,无序堆积 (图版 G H)

一般说来,前两种莓球多出现于条带状矿石中,

即存在于含矿旋回的下部,而后两类莓球多出现了致密块状黄铁矿层中,即出现于含矿旋回的上部。

莓状黄铁矿在矿床中的出现,几十年来一直受到地质学家的注意。沉积岩中的莓球状黄铁矿,一般认为是同生的或早期成岩阶段形成的。而关于其成因机制,涉及多种看法,包括无机成因、间接生物成因到直接生物成因,至今尚无定论。因为要形成这种黄铁矿,必须满足两个条件:铁的有效供给和无论是无机的还是无机的硫的有效供给。这两个条件在不同环境中都可能得到满足,特别是在富含有机质的环境中更易于满足。因此黑色碳质沉积物是这种黄铁矿得以大量形成的理想环境。对于有机质与莓球黄铁矿形成的影响机制问题,至今还未进行充分研究,有的人认为有机大分子对矿物生长的规则化以及晶体的形态和微粒聚集的综合特性有重大影响 (Mann, 1988),而 Bianconi 等 (1991)关于在有机聚合基体中合成 CdS 的实验表明,有机聚合基体可作为无机反应的媒介并决定产物的形成。可见有机质对莓球黄铁矿的形成虽然不是直接的生物成因,但具有十分重大的影响。

沉积岩中通常存在两种形态的黄铁矿,即莓球状黄铁矿和单晶(自形晶)黄铁矿。一些研究者认为,莓球状黄铁矿主要是在对铁的单硫化物和黄铁矿过饱和溶液中形成,而单晶黄铁矿则是在不饱和的溶液中形成 (Soldhaber, Kaplan, 1974),但上述块状矿石中莓球状黄铁矿与单晶黄铁矿的共存现象,很难用溶液状态的不同来加以解释。Sawlowicz Z 的最近研究认为,莓球状黄铁矿到自形单晶黄铁矿之间是一个连续生长过程⁽⁵⁾。实验证明,莓球的保存可能取决于两个因素,即莓球及其组份与外部成岩环境的隔离,以及必要组份 (Fe 或 H₂S) 的供给停止,这种隔离可能由有机质、碳酸盐、二氧化硅、非晶质炭或其他金属硫化物所造成,可见在致密块状矿石中由于缺乏隔离条件,黄铁矿莓球容易转化为自形晶黄铁矿,而在条带状矿石中形成的莓球由于隔离条件较好而更容易完整的保存下来。此外,他还认为,黄铁矿莓球可能是在大小和复杂性上不同的三个数量级范围内产出的,即最小的显微球→莓球→聚莓球,前者即前文所述的莓粒,它的大小仅 0.1~ 1 μm,它们也可能是由更小的纳米级的莓粒所组成的微莓球。无论是莓粒或莓球,它们的组成方式都可能是首先组成空心环状莓体,而后逐步形成,而且不同大小的莓球或莓粒都可能转变成不同大小的自形晶

体,因此不同类型的矿石中,就可能见到由不同形态和大小的莓球或莓粒所组成的复杂图象。

2.2 矿床有机地化特点

矿床的含矿岩系及矿石中,有机碳含量均在 1% 以上。条带状矿石及碳质页岩氯仿抽提物的气相色谱分析结果 (表 2~ 3,图 3),矿床的有机地化特点为:

表 2 矿石及围岩有机碳、氯仿沥青 (A) 分析结果

Table 2 Organic analysis of ore and host rocks

序号	样品	C _{org} (%)	氯仿沥青 (A) %	氯仿沥青族组成			
				饱和烃 / %	芳烃 / %	非烃 / %	沥青质 / %
1	黄铁矿石	5.21	0.0561	44.355	21.774	12.366	12.097
2	碳质页岩	3.21	0.0302	40.966	29.517	8.050	11.628

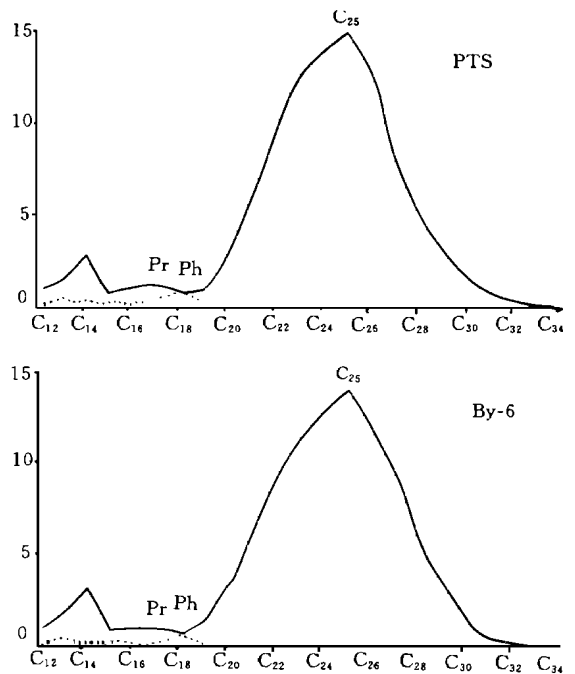


图 3 黄铁矿石 (上) 及碳质页岩 (下) 的抽提物色谱分析 (实线为正烷烃, 虚线为类异戊二烯烃)

Fig. 3 Gas chromatograms of extracts of the ore (upper) and carbonaceous shale (lower)

(1) 样品中,氯仿沥青“ A ”含量较低,而 CPI 及 OEP 均大于 1,表明有机质的演化程度较高已达成熟或过成熟阶段

(2) 矿石及围岩中,正烷烃的组成基本一致,色

谱曲线均呈前低后高的双峰型,碳数范围均在 $n_{C12} \sim n_{C33}$ 之间,高峰碳数分别为 n_{C14} 和 n_{C25} ,其中以 $n_{C20} \sim n_{C30}$ 之间的中高频碳数的正烷烃占有优势。 $n_{C21+} / n_{C22} / n_{C28+} / n_{C29} > 1$, CPI 及 OEP 均大于 1。族组分析中,饱和烃 芳烃 = 1.4 ~ 2.0, 这些特点都表明有机质类型属腐殖—腐泥型。

(3) 类异戊二烯烃系列中已检测到异十三烷 (iC_{13})、异十四烷 (iC_{14})、异十五烷 (iC_{15})、异十六烷 (iC_{16}) 和异二十一烷 (iC_{21})、姥鲛烷 (Pr) 和降姥鲛烷 ($n-Pr$) 普遍存在。Pr/Ph 是有机地球化学环境的重要指标,不同样品的 Pr/Ph < 1, 标志着沉积环境为还原环境,而 Pr/nC₁₇ < 1, Ph/nC₁₈ < 1 则表明有机质的热成熟度较高。

表 3 矿石及围岩抽提物饱和烃色谱分析结果

Table 3 Main parameters of alkanes in ore and host rocks

序号	样品	主峰碳数	碳数范围	峰型	CPI	OEP	$\frac{C_{21+}}{C_{28+}} / \frac{C_{22}}{C_{28}}$
by-6	纹层黄铁矿	n_{C14}, n_{C25}	$n_{C12} \sim n_{C32}$	双峰	1.14	1.00	1.75
PT-5	碳质泥岩	n_{C14}, n_{C25}	$n_{C12} \sim n_{C32}$	双峰	1.10	1.02	2.03
样号	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	Pr/Ph	nor-Pr/Ph	nor-Pr/nC ₁₆		
by-6	0.41	0.88	0.65	0.53	0.21		
PT-5	0.39	1.13	0.60	0.44	0.21		

沉积岩中有机质含量,主要受控于沉积环境和原始有机物的输入,碳酸盐岩与泥岩有机碳的含量相差也很大。因此华南泥盆系浅水碳酸盐台上的有机碳含量一般仅为 $0.8 \times 10^{-2} \sim 0.9 \times 10^{-2}$,而在

深水台盆的泥灰岩中可达 $8 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-2}$ 。它们中的抽提物含量的多少,一方面受控于原始有机碳含量的多少,同时与埋藏深度或热演化程序有关。我国泥盆系大都分布于南方各地,埋深较大,且经历了印支—燕山运动的影响,因此沥青“ A”的含量在碳酸盐台中仅为 $10^{-6} \times 10^{-6}$,而在台盆区为 $10^{-6} \times 10^{-6}$,在秦岭地区也仅有 $13 \times 10^{-6} \sim 130 \times 10^{-6}$,即具有过成熟演化特点。

沉积物中有机质类型,同样受到沉积环境的控制,而且表现在可溶有机质中正构烷烃的组成上。根据实验资料,沉积岩中的正构烷烃主要来源于原始有机质中的类脂组份,其中,中分子量 $n_{C15} \sim n_{C25}$ 正构烷烃多为低水生生物和藻类脂肪酸脱羧的结果,而高分子量 ($n_{C25} \sim n_{C30}$) 正构烷烃则来源于高等植物蜡的脂解。因此可溶有机质中正构烷烃分布曲线的峰形、主峰碳数 Σ_{22}^+ 以及 OEP 等参数,是划分有机质类型的重要标志。一般以海生低等生物为主的腐泥型有机质,以前高单峰、低主峰碳数、 $\Sigma_{21}^- / \Sigma_{22}^+ > 2$, OEP = 1.2 ~ 0.9 为特征;以陆生高等生物为主的腐殖型有机质,则表现为后高单峰、高主峰碳数、 $\Sigma_{22}^- / \Sigma_{22}^+ < 1.2$, OEP > 3.0 为特点,混合类型则表现为双峰型分布曲线。本区的泥盆系沉积物应属海洋环境,但由于它位于陆内裂谷环境下,线形的沉积盆地北端与大陆边缘相连,而泥盆纪正是陆生植物大量繁衍时期。因此有可能沿着裂谷盆地带来的大量陆源有机质,造成本区有机质的腐泥—腐殖型的混合,而不同于广西等地的泥盆系中的以腐泥型为主的有机质^[3]。

表 4 铺头矿区矿石及围岩的稀土元素分析 (INAA 测定)

Table 4 REE in ore and host rocks at Putou (INAA)

样号	样品	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yd	Lu	Σ REE	Σ L Σ H	W _{Eu}	W _{Ce}
P01	黄铁矿石	1.07	0.88	2.53	1.06	0.21	0.33	1.14	0.14	7.97	3.96	0.64	0.25
p01	硅质岩	2.20	3.19	3.32	0.82	0.17	0.19	0.29	0.02	11.03	21.06	0.81	0.59
p01	黑色泥岩	17.22	20.84	25.63	1.21	0.16	0.15	0.55	0.08	72.25	91.63	0.70	0.48

表 5 黄铁矿石及围岩中微量元素含量 ($\times 10^{-6}$)

Table 5 Minor elements in ore and host rocks ($\times 10^{-6}$)

样号	样品	Co	Ni*	Cu	Zn	Pb*	As	Sb	Rb	Sr	Cs	Ba	Zr	Hf	Ta	Th	U
P01	黄铁矿石	1.5	161	10	< 30	< 30	1002	3.5	13	79	7.3	478	377	0.3	0.41	0.26	0.7
p02	硅质岩	2.8	38		509		9.5	1.3	8	9	0.7	596	31	0.1	0.22	0.25	0.4
p03	黑色泥岩	4.0	61		163		36.3	6.5	61	15	7.5	1119	77	1.0	0.86	3.17	2.6

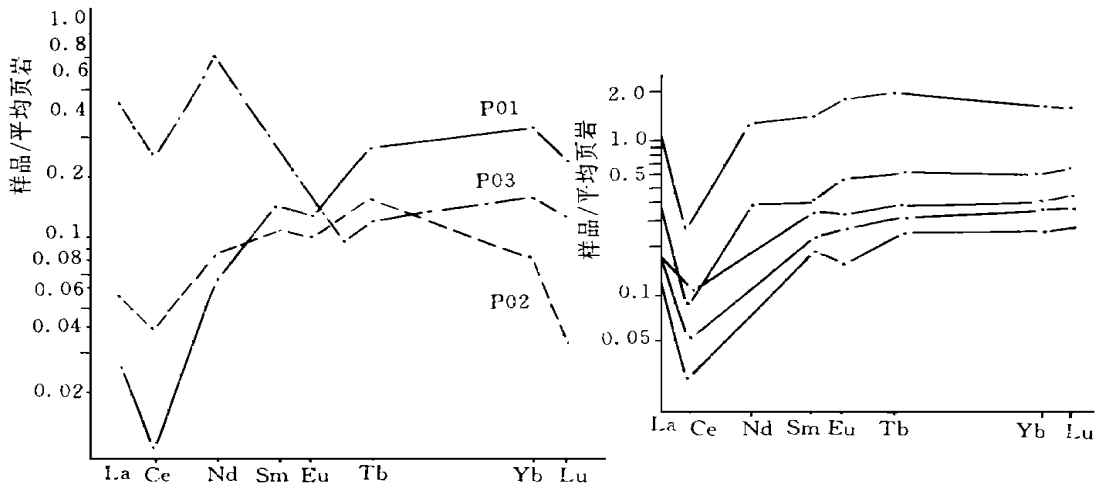


图 4 矿石及围岩稀土元素的 NAS 均化模式
 右上角为 Galapagos 裂谷系表层金属沉积物的稀土元素 NAS 标准化模式
 Fig. 4 NAS-normalized REE patterns of ore and host rocks

2.3 矿床的稀土及微量元素特点

矿石及围岩的稀土元素分析(表 4)表明,矿石和硅质岩的 Σ REE 较低而黑色泥岩的 Σ REE 含量较高,它们的轻、重稀土分异明显, W_{Ce} 有明显负亏损,这些都反映了海水来源的共同特点。它们的北美页岩 (NAS) 标准化后的分配型式(图 4), 矿石与硅质岩十分相似而与泥岩有些差别。黄铁矿的分配

型式在 Ce 值域为曲线的最低谷,而后上扬在 Tb 后形成平缓的高值峰。这一特点与东太平洋隆起区和 Galapagos 裂谷系表层金属沉积物的 NAS 标准化稀土模型十分接近 (Kunzendorf 等, 1985)。硅质岩的分配型式与矿石相似,与太平洋中部 CC 区硅质沉积物的 NAS 标准化的稀土分配型式也十分相似,说明无论是黄铁矿还是硅质岩,它们的来源及其构造环境,都是与裂谷作用共生的海底热水喷流活动有关的。这些样品的其他微量元素的含量特点同样表明(表 5), Co, Ni, Cu, Zn, As, Ba 等元素的含量相对较高,这些元素也是海底喷流沉积物中相对富集的元素。

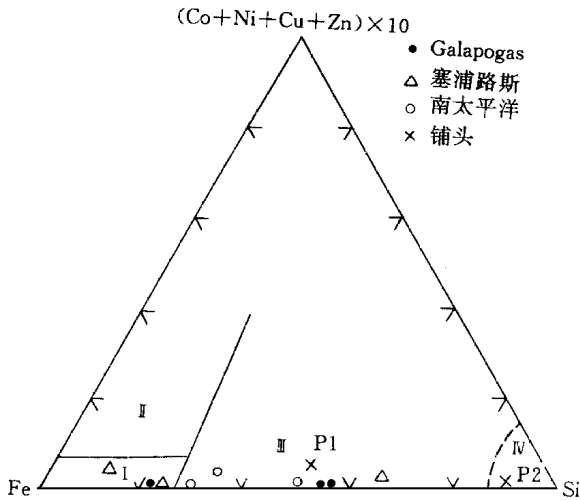


图 5 不同类型的热液喷出成因的 Fe-Si 沉积物在 Fe-Si-(Co+ Ni+ Cu+ Zn) x 10 三角图上的投点 (据 R. Hekinian 等, 1993) (I ~ IV 为类型) [4]

Fig. 5 Fe-Si-(Co+ Ni+ Cu+ Zn) x 10 diagram for Fe-Si sediments of various sedexes

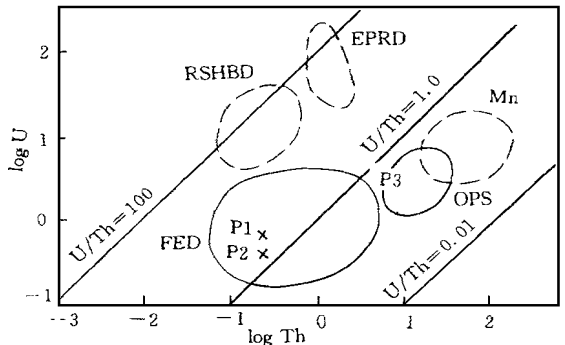


图 6 不同类型热液喷出沉积物在 log U-log Th 图上的投点 (据 Bostrom, 1983)

Fig. 6 Diagram of log U-log Th for various sedexes

根据最近报导,南太平洋板内火山岩区以及东太平洋隆起轴部以及远轴部地区,存在若干热水沉积物,可划分为 4 种类型,(I) Fe 氢氧化物;(II) 伴有硫化物的 Fe 氢氧化物;(III) Fe-Si 氢氧化物;IV Si-Fe 氢氧化物。在 Fe-Si-(Ni+ Co+ Cu+ Zn)×10 的三角图上,铺头黄铁矿床主要落在第 III 类型中,落在其中的还包括 Galapagos 及其相邻地区的热液沉积物,以及部份塞浦路斯黄铁矿床^[6](图 5),而硅质岩则落在 IV 类型区。在 log U- log Th 的关系图上(图 6,据 Bostrom, 1983) 它们也同样落在海底热液喷气矿床的沉积区内,而泥质岩则接近于正常的深海沉积区(图 6)。

3 小结

城步铺头黄铁矿床有以下特点:

(1) 矿床位于中泥盆世华南古大陆边缘裂谷系的线形深水台盆中,含矿岩系为硅质泥灰质岩系,矿体呈层状整合产出,以黄铁矿为主,硫同位素以³²S 的富集为特点

(2) 含矿岩系及矿石中富含有机质,正烷烃组成具后双峰型,碳数范围 nC₁₂~ nC₃₃,主峰碳数分别为 nC₁₄和 nC₂₅,有机质类型属腐殖-腐泥混合类型,Pr/Ph < 1,热成熟度较高。

(3) 矿石构造为致密块状及条带状,由大量莓球状黄铁矿组成,它们又由更小的莓粒,呈有序或无序排列,有的莓球与自形晶黄铁矿共生,并与矿石构造有关

(4) 矿石及硅质岩的稀土元素、微量元素特点,与现代海洋裂谷或隆起区的海底热水沉积物相似,表明它们具有相同的来源

因此,该矿床的形成,与古大陆边缘裂谷环境控制的海底热液喷出活动有关。当含有大量 Fe²⁺、Si 等元素的热液沿同生断裂上升溢出盆地底部时,由于有机质的大量存在,有利于微生物的大量繁殖,促进海水硫酸盐迅速还原为 HS¹⁻,而后与 Fe²⁺ 结合,形成单硫化物,聚合而成莓球状黄铁矿,最终聚集成矿。

参 考 文 献

- 1 刘文均. 湖南城步铺头黄铁矿的沉积环境. 沉积学报, 1984, 2(1): 53- 64
- 2 刘文均,熊申甫,夏志芬. 湖南中部中泥盆世棋梓桥期岩相古地理特征. 岩相古地理文集,第 1 集. 北京:地质出版社, 1985. 76~ 87
- 3 刘文均,伊海生,温春齐等. 华南两类铅锌矿床的有机成矿特点. 见:叶连俊主编. 生物成矿作用研究. 北京:海洋出版社, 1993. 127 ~ 139
- 4 徐新煌. 湖南城步层状黄铁矿床的地质特征及成矿环境和成矿机理. 南岭地区泥盆系矿床研究. 成都:四川高校编辑出版发行中心, 1985. 117~ 160
- 5 Sawlowicz Z. Pyrite framboids and their development: a new conceptual mechanism. Geol. Rundsch, 1993, 82: 148~ 156
- 6 Hekinian R, Haffer T M, Lanque T, et al. Hydrothermal Fe and Si Oxyhydroxide Deposits from South Pacific Intraplate Volcanoes and East Pacific Rise Axial and Off-Axial Regions. Econ geol. 1993, 88: 2099~ 2121

Restudy on the Putou Pyrite Ore Deposit

Liu Wenjun Yi Haisheng Wen Chungi

(Chengdu Institute of Technology, Chengdu 610059)

Abstract

The Putou pyrite ore deposit, formed in Givetian of Devonian, is a medium-scale stratiform deposit in Chengbu County of Hunan Province, China. The author reported its sedimentary environment in the present journal in 1984, and in this paper its genesis was discussed based on new data.

This deposit is located in a NE deep water basin which developed in the rift system of the South China palaeocontinent margin. The ore-bearing section consists of dark siliceous rock and marl. The ore beds are stratiform and conformably deposited in the synchronous strata. The ore is composed of only pyrite with massive and banded structures. The composition of sulfur isotope is rich in ³²S, and its variation range is from - 17. ‰ to - 30. ‰. The ore-bearing rock and ore are rich in organic carbon, which

is sapropel-humic type with higher maturity. Characteristics of the ore texture are widespread framboidal pyrite that consists of micrograined pyrite ($d < 1\mu\text{m}$) with different crystal forms and ordered or disordered structures, some framboidal pyrite appears massively with pyrite crystal in dense ores. Characteristics of REE and trace elements in the ore and hosted rocks, which conform with the modern hydrothermal deposits of oceanic rift or rise in the Pacific, suggested that their origin is the same. For this reason, the Putou pyrite deposit is a sedex ore deposit and its abundant organic matter plays an important role in ore deposits.

Key Words pyrite submarine exhalative hydrothermal sedimentation

图版 I -A, B. 不同形态大小的黄铁矿莓球无序堆积, 并保留若干孔隙; 图版 I -C. 立方体黄铁矿晶粒呈同心圆状排列, 晶棱连生, 立方体孔隙; 图版 I -D. 立方体黄铁矿晶粒多边形同心排列, 晶棱连生, 立方体孔隙; 图版 I -E. 八面体黄铁矿晶粒尖连生, 矩形面状排列, 八面体孔隙; 图版 I -F. 立方体黄铁矿晶粒无序排列, 也不见莓球外形及边界; 图版 I -G, H. 莓球状黄铁矿与五角十二面体黄铁矿单晶或聚形晶无序共生, 图版 I -G 中白色针状晶体为风化矿物泻利盐