

长江中下游地区多位一体大型、超大型铜矿形成机制的地质、地球化学研究^{*}

马振东 单光祥

(中国地质大学地球化学系, 武汉)

提 要: 长江中下游地区是我国铜(金)、铁资源的重要基地, 其中多位一体铜矿床是环太平洋成矿带内特有的一类大型、超大型矿床。研究表明: 多位一体大型、超大型铜矿床与中生代岩浆作用有着密切的时空关系和成因联系, 也是该类矿床的主导控矿因素; 而基底类型及赋矿围岩的物理化学性质是矿床形成的特定外部条件。

主题词: 多位一体铜矿 形成机制研究 长江中下游地区

从区域成矿地质、地球化学背景的研究中认识到^①:

(1) 中国东部上地幔 Cu 含量具有南高北低的趋势, 而且东南沿海的地幔交代作用明显强于华北、东北地区的上地幔, 地幔交代作用导致了地幔“亏损”, 致使 Cu 等成矿元素在分异出来的地幔岩浆中富集。

(2) 扬子地块东部南北两缘具不同的中晚元古代的基底: 南缘以泥砂质复理石建造为主, 夹少量富 Cu 的基性火山熔岩; 北缘以中酸-中基性火山岩为主, 夹正常碎屑沉积岩。从南北中晚元古代基底 Cu 含量特征来看, 明显地继承了地幔“南富北贫”的趋势。然而无论是南北基底, 还是其上的盖层中, Cu 等成矿元素与大陆上部地壳的丰度相近, 没有形成明显富 Cu 元素的区域地球化学场。

(3) 与铜等成矿有关的中酸性小岩体是分异出来的富 Cu 地幔岩浆与下地壳混融的产物, 推测长江中下游地区的下地壳的成分是石英闪长质-英闪质-花岗闪长质的火成片麻岩。

(4) 导致沿江地幔岩浆上涌的机制, 除了南北陆块长期互相作用的因素外, 还应充分考虑中生代及其后的太平洋板块向东亚大陆俯冲机制的影响。

以上这些认识为区域成矿物源的探讨及成矿机制的研究提供了扎实的基础, 指明了研究的方向。长江中下游地区是我国铜(金)、铁资源的重要基地, 其中多位一体(夕卡岩型、斑岩型、似层状块状硫化物型)铜矿床是环太平洋成矿带内特有的一类大型、超大型矿床, 在范围不大的矿区内集中了如此丰富的成矿物质, 无疑与它的构造环境、岩浆作用、成矿物质的浓集机制的特殊性有关。为此, 必须从区域岩石圈各层圈组成及成矿元素在同一空间富集、继承、叠加等成矿机制来进行研究。通过研究表明多位一体大型、超大型铜矿床与中生代岩浆作用有着密切的时空关系和成因联系, 是该类矿床的主导控矿因素, 而基底及赋矿围岩的物理化学性质是矿床形成特定的外部条件。

^{*} 国家自然科学基金项目(49473187)和国家“八五”科技攻关计划(85-901-03-08D)联合资助
马振东, 男, 1943 年生, 教授, 主要从事地球化学、同位素地球化学的教学和科研工作。邮政编码: 430074
1996-09-23 收稿, 1997-03-17 修改回

^① 长江中下游及邻区区域地球化学与成矿关系研究, 1995, “八五”国家科技攻关计划亚专题成果报告

1 多位一体大型、超大型铜矿产出的构造位置

我国东部从北至南分布着岩石圈地球化学性质各异的华北、扬子、华夏陆块^[3]，它们控制着中国东部矿产的规律性展布：华北富 Fe、Au、Mo；华南盛产 W、Sn；扬子陆块北东缘（长江中下游）及东南缘（赣东北）一带 Cu（Au）、Fe 储量引人注目。长江中下游处于华北和扬子陆块在中生代碰撞对接及陆内俯冲机制的构造环境中，再加上其后古太平洋板块及印澳板块对东亚大陆的强烈影响，使中国东部大陆内的古板块叠接拼合，区域深断裂带重新复活，并形成新的构造带，在这些联系机制的综合影响下，控制了本区的构造-岩浆-成矿作用，使之形成具有中国特色的环太平洋铜矿带的一部分。研究区中生代岩浆-火山活动是导致成矿的主导因素。处于中生代南北陆块碰撞挤压及陆内俯冲带上的长江中下游地区，沿其陆块拼接带的方向平行分布着两个与成矿有关的花岗岩成岩系列。一个是沿拼接带分布的与 Cu（Au）、Fe 有关的深源中酸性花岗岩系列；另一个是沿着内侧断裂带分布的与 W、Sn 有关的壳源酸性花岗岩系列。由于两者的成岩源区的迥异，前者是幔壳混合源，后者是重熔陆壳，为此它们在地球化学特征上存在着明显的差异（见表 1）。

表 1 长江中下游地区中生代两个成岩系列地质、地球化学特征

Table 1. Geological-geochemical characteristics of two regional Mesozoic petrogenic series in middle and lower reaches of the Yangtze River

岩系 特 征	深源中酸性花岗岩系列 (以成 Cu 亚系列为例)	壳熔酸性花岗岩系列
侵入构造位置	陆内板块碰撞拼接带	板内隆起边缘断裂带
岩 源	幔壳混熔	壳源
岩石类型	闪长玢岩、石英闪长玢岩、花岗闪长(斑)岩	二长花岗岩、黑云母二长花岗岩、二云母碱长花岗岩
副矿物组合	磁铁矿、磷灰石、榍石、锆石	钛铁矿、石榴石、黄玉、锆石、磷灰石
岩石化学	低硅、富碱、富钾	高硅、富碱、铝过饱和
成矿元素组合	Cu、Au (Mo、W)	W、Sn、Li、Nb
稀土元素	右倾平滑型, $\delta Eu=0.8\sim 1$	右倾“V”字型, $\delta Eu=0.2\sim 0.35$
$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$	0.7050~0.710	0.7197~0.7206
$^{238}U/^{204}Pb$	低 μ 值 (8~9)	高 μ 值 (>10)
$\delta^{18}O_{全岩}/\text{‰}$	8~10	>10
$\epsilon_{Nd}(t)$	-11~-13	-5~-7

2 三级“岩浆泵”的逐级富集

处于华北（大别）陆块及扬子陆块碰撞造山带缝合线附近的长江中下游地区是软流圈上拱部位，那里地壳最薄。经强烈地幔交代作用，原始地幔岩浆分异出来的富 Cu 融体与下地壳

石英闪长质-英闪质-花岗闪长质的片麻岩发生局部熔融，形成了玄武-安山质母岩浆房，Cu 含量 $(90 \sim 110) \times 10^{-6}$ ，其深度约 20~30 km，这是第一级岩浆泵站（图 1）。

在深部地壳范围内玄武安山质母岩浆不断分离结晶，沿着壳幔断裂分异出辉长质-闪长质-花岗闪长质岩浆，由于熔浆结构所产生的晶体场效应， Cu^{2+} 等过渡族元素离子，倾向于在岩浆熔体中富集，其 Cu 含量 $(50 \sim 100) \times 10^{-6}$ （暗色包体？），形成深度约 2~3 km 至 4~5 km，这是二级岩浆泵站。

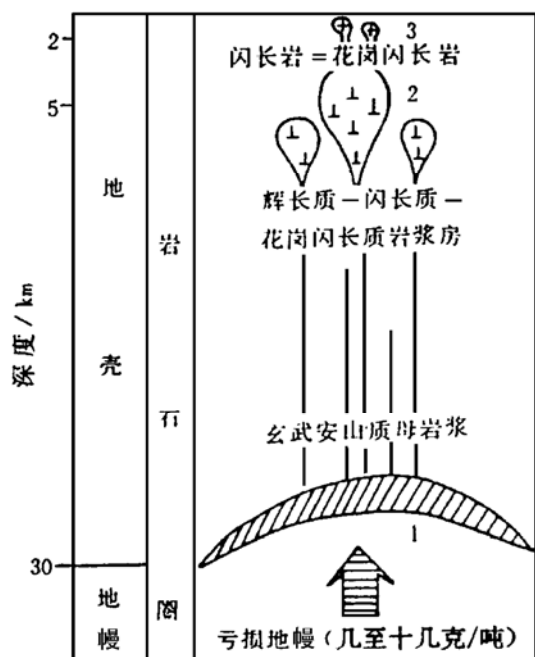


图 1 九瑞地区铜三级“岩浆泵”富集示意图

1, 2, 3—“岩浆泵”的编号

Fig. 1. Schematic diagram showing three-stage “magmatic pump” copper enrichment in Jiujang-Ruichang area.

1, 2, 3—represent serial number of magmatic pumps.

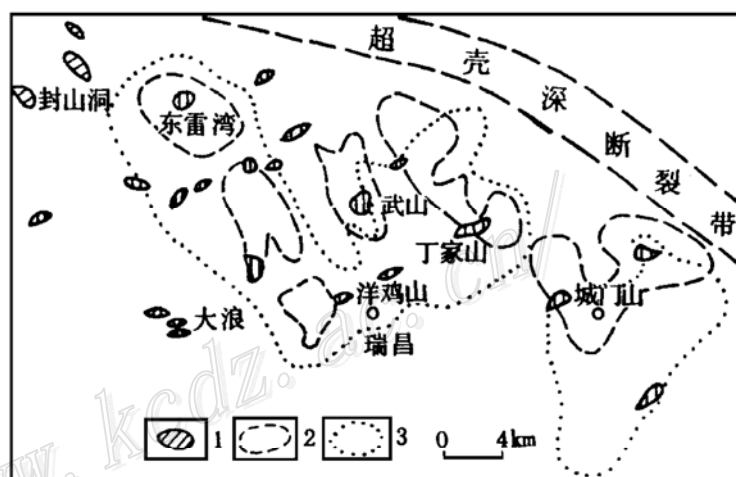


图 2 江西九瑞地区地表小岩体与深部隐伏岩基示意图

（据赣西北地质队资料）

1—地表酸性小岩体；2—隐伏岩株；3—深部岩基

Fig. 2. Schematic map showing distribution of small surface intrusives and deep concealed batholiths in Jiujang-Ruichang area, Jiangxi Province.

1—Surface intermediate-acid small intrusive body;
2—Concealed stock; 3—Deep batholith.

在近地表 0.5~2 km 所形成的闪长岩、花岗闪长岩小岩株、小岩墙，就是目前所研究的含矿小岩体，它是铜富集的第三级岩浆泵站（含铜几十至几百克/吨），它又是赋矿空间，在它们与围岩的接触带、顶缘冷缩裂隙、隐蔽爆发角砾岩带、围岩层间破碎带，在深部岩浆气液流体多期多次叠加作用下，使之发生普遍蚀变、矿化，局部形成工业矿体、富矿体。

由于多级岩浆泵的多期多次的“泵吸”作用，源源不断地把 Cu 等成矿物质从深部带到地壳浅部，在有利的环境下富集成矿，这可能就是小岩体形成大矿床的主导因素。图 2 是江西城门山、武山铜矿床及外围出露地表及深部隐伏岩体空间分布示意图（据赣西北地质队对九

瑞地区航磁电算资料推测^①),其深部 1.5~2.7 km 有 6 个隐伏岩株,规模 13~56 km²,很可能这是第二级岩浆泵站。

3 岩浆熔体结构及不同阶段铜富集趋势的制约

岩浆熔体是一个多相(晶体、熔体、气体)体系,当岩浆不断结晶过程中各种地球化学

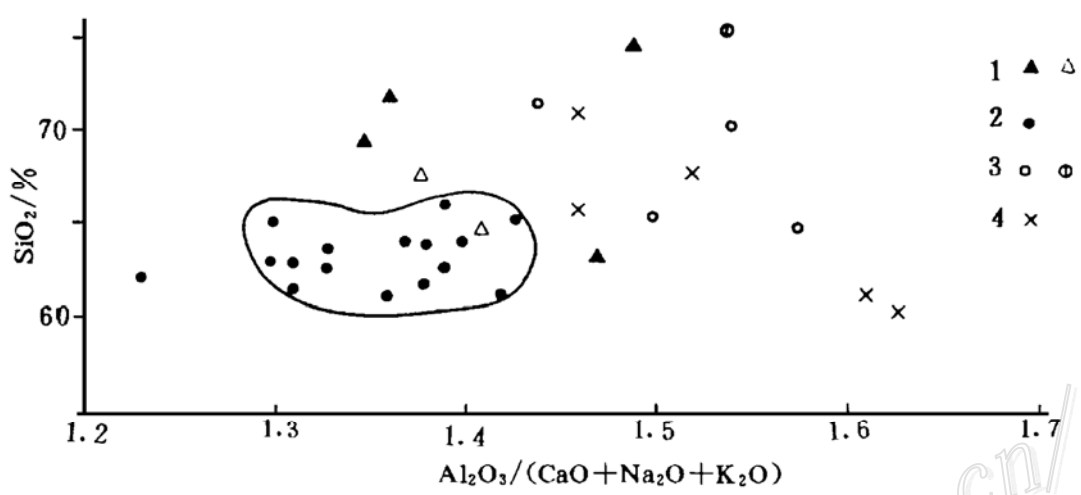


图 3 长江中下游地区各类含矿岩体 SiO₂ 和 Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) 图
1—含铁、铜岩体; 2—含铜岩体; 3—含钨岩体、含锡岩体; 4—无矿岩体

Fig. 3. SiO₂ versus Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) diagram of various ore-bearing intrusive bodies in middle and lower reaches of the Yangtze River.

1—Copper, iron-bearing intrusive body; 2—Copper-bearing intrusive body; 3—Tungsten-bearing intrusive body, tin-bearing intrusive body; 4—Barren intrusive body.

性质的微量元素有着不同的行为,Cu²⁺是典型的第一过渡族元素的金属离子,服从晶体场理论分配规律,它的八面体晶体场稳定能(22.2 千卡/克离子)大大地大于四面体晶体场稳定能。为此,当岩浆结晶时,它将优先进入八面体配位位置。据 Fess (1978)^[4]实验表明,当熔浆中 SiO₂及 Al₂O₃/(CaO+K₂O+Na₂O) 比值适当时,硅酸盐熔体八面体配位位置占优势,为此 Cu²⁺较大量地残留在岩浆熔体中,少量以硫化物形式进入已结晶的硅酸盐矿物的结构空隙或结晶体的缺陷中(黑云母、角闪石等)。

这次研究我们将沿江与铜、铁成矿有关的中酸性小岩体(包括 4 个无矿岩体)及邻区的含 W、Sn 岩体等共 33 个,投点在 SiO₂与 Al₂O₃/(CaO+K₂O+Na₂O) 图上(见图 3)。从图上可清楚地看到含 Cu 小岩体集中在 SiO₂ 为 58%~66%,Al₂O₃/(CaO+K₂O+Na₂O)为 1.28~1.43 较小的范围内,而非过渡族 Fe、W、Sn 等元素都不受晶体场理论的制约,而散布在较大的区间。在成矿带中有些所谓的无矿中酸性小岩体,其 Cu 等成矿元素含量并不低,而是由于岩浆熔体结构的缘故,相当一部分的 Cu(以硫化物形式)进入到黑云母、角闪石等矿物的

① 黄思邦、孟良文、张乃堂等,1990,城门山、武山铜矿地质,江西赣西北地质大队(内部资料)

结构空隙或其晶体的缺陷中。至晚期，在富含 Cu 熔体中，Cl⁻、F⁻、S²⁻ 等络合剂离子浓度越来越高，与 Na⁺、K⁺ 等大半径阳离子形成具有很大大溶解度的络合物，这些络合物随着晚期岩浆气液流体不断地向上输运，在各种有利的物理及化学障的环境中富集成矿。

岩浆熔体结构为 Cu²⁺（以络合物形式）在熔体中残余富集提供了空间，这是熔浆成矿的前提。然而，成矿与否的另外一个重要因素是岩浆从早期到晚期演化过程中成矿元素有无富集趋势，也就是熔浆中的成矿元素在晚期某一阶段集中富集，而不是均衡地分散在岩浆活动的各个阶段，这是铜富集成矿的另外一个重要机制。据大量资料统计表明成矿岩体的这种趋势十分明显，如鄂东南地区不同期次岩浆岩中，Cu 等成矿元素有向燕山早期第二阶段富集的趋势（表 2）^[1]，Cu、Au、W、Mo 等成矿元素从岩浆的第一阶段到第二阶段提高了几倍到十几倍，在如此短的时间内，成矿元素成几倍，十几倍的增长。而城门山主成矿期的花岗闪长斑岩中 Cu 含量高达 596×10⁻⁶，是区域早期石英闪长（玢）岩（30×10⁻⁶~50×10⁻⁶）的上百倍，可见其富集机制的效果是十分高的。

表 2 鄂东南地区不同期次岩浆岩中 Cu 等元素演化趋势表

Table 2. Evolution trend of copper and some other elements in magmatic rocks of different epochs in southeastern Hubei

岩浆活动期次		Au	As	Cu	Mo	W	Pb	Zn	S	V	P	Cr	Ni	Co	Ti	F	Cl
燕山晚期		1.01	53.26	43.2	1.10	0.53	40.6	27.1	480.5	21.5	780.0	85.7	6	7.8	3086.7	454	194.0
燕山 早期	第二阶段	12.03	201.70	208.8	8.95	6.53	143.0	81.7	3693.3	30.3	931.7	22.0	11	10.7	2516.7	655	99.3
	第一阶段	0.99	63.13	58.7	1.71	1.14	45.9	63.1	710.9	74.7	1404.4	65.0	12	14.4	3930.9	640	86.0

注：引自舒全安等 1992 年资料；单位：Au 为 10⁻⁹，其它为 10⁻⁶

4 基底地球化学特征对含矿岩体和铜、铁矿床分布规律的控制

长江中下游地区处于不同岩石圈陆块的拼接带，其基底组成受不同陆块地球化学组成的制约，北基底呈现了华北型岩石圈组成特征，南基底受制于扬子陆块的性质。由于该区域抬升较浅，至今未发现有深部地壳（下地壳）的出露，仅零星地分布着代表上地壳中、下部角闪岩相-绿片岩相的中、浅变质岩系（星子群、董岭群、张八岭群、双桥山群等），然而，它们各异的地球化学组成特征仍显示了对含矿岩体和铜、铁矿床分布规律的控制。

根据地球物理资料，在鄂东南大冶—海口一线东西向基底断裂两侧其重力场和磁场明显有别，南侧为重力负值区，其密度值为 2.63~2.65 g/cm³ 与微磁性的双桥山群泥砂质岩石相对应；北侧为重力正异常（密度为 2.74 g/cm³）及区域磁正异常^[4]。在安徽铜陵—南陵一线亦有类似的情况，南侧为重力低，北侧为重力高，是一个重力异常梯度带^①。有趣的是大冶—海口和铜陵—南陵两个近东西向不同基底分界线正好也是含铜的钾质钙碱性花岗闪长岩系列

① 安徽冶金地勘公司地研所，1979，利用卫星遥感图象结合物探资料对安徽断裂构造系统的初步研究（内部资料）

和含铁的钠质闪长岩系列的变化线，地球物理场、含矿岩体岩类和铜、铁矿床分布的这些变化同时也被南北基底化学组成方面差异的信息所显示（见图 4）。这里仅就基底岩类的基性度和含矿性这两方面来讨论它们对“南铜北铁”分布规律的影响。

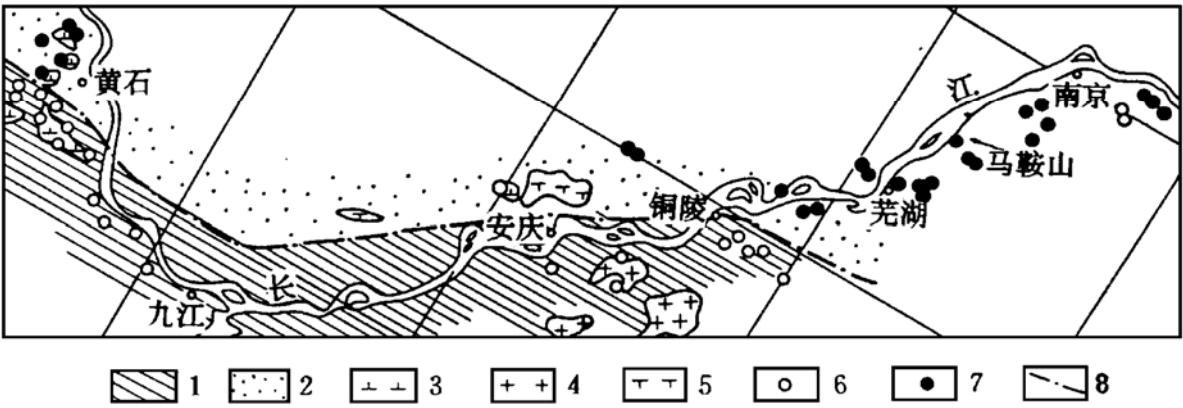


图 4 长江中下游地区不同基底对铜铁矿床空间分布的控制

1—南基底；2—北基底；3—闪长岩；4—花岗岩；5—碱性岩；6—铜矿床；7—铁矿床；8—推测基底界线

Fig. 4. The control of different basements over the spatial distribution of copper and iron deposits in middle and lower reaches of the Yangtze River.

1—Southern basements; 2—Northern basement; 3—Diorite; 4—Granite; 5—Alkaline rock; 6—Copper deposit; 7—Iron deposit; 8—Inferred boundary of basement.

(1) 北基底主体岩类的基性度明显高于南基底：通过对元古代南北基底各岩石类型“基性度”($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + 1/2\text{MgO} + 1/2\text{CaO}$)及基性元素组合的对比发现(表 3)：①在 SiO_2 含量相当的前提下，北基底泥砂质岩石的基性度(7.54~9.02)明显高于南基底(5.40~7.13)；②南北基底基性火山岩的基性度，如果在 SiO_2 含量相当的前提下，则基本相同，北基底基性火山岩 SiO_2 为 51.82%~53.68%，基性度为 15.45~17.33；南基底基性火山岩 SiO_2 为 49.09%~51.19%，基性度为 18.13~21.63；③北基底各类岩石的 Co、Cr、Ni、V、Ti 等基性元素均高于南基底相应岩类。

从基底物质的组成中了解到元古代南基底(星子群、双桥山群等)的原岩以泥砂质岩石为主，夹少量的基性、酸性火山岩；北基底主要岩类却由基性、中酸性火山岩组成夹少量火山碎屑岩及正常沉积岩。为此，从南北基底岩类总体基性度来看北基底高于南基底。

(2) Cu 等成矿元素具有明显的“南富北贫”的趋势：从表 4 所示的元古代南北基底 Cu 等成矿元素含量特征来看：①无论是基性火山岩、酸性火山岩，还是泥质岩、碎屑岩，Cu 等成矿元素含量明显具有“南富北贫”的趋势。虽然由于南侧基底当时形成时处于弧后盆地构造环境，海底火山作用较弱，形成不了一定规律的工业矿床，但是在基性-酸性火山熔岩发育地段的基底中却形成了重要的 Cu、Au 元素的矿源层，细碧玄武岩、玄武岩中 Cu 为 $100 \times 10^{-6} \sim 200 \times 10^{-6}$ ，Au 为 $4 \times 10^{-9} \sim 10 \times 10^{-9}$ ，为以后的成矿作用提供了丰富的物质基础。另外，南北基底界线的分界并不是一条简单的界线就能分开的，由于陆块间俯冲叠置，深部地壳垫托作用，也可能使这一侧地壳成为另一侧地壳的矿源层。为此，“南铜北铁”的矿床分布格局

表 3 元古代南北基底各岩类基性度及基性元素组合特征

Table 3. Basicities and basic element associations of various rocks in southern and northern Proterozoic basements

基底	群	岩 类	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	基性度	Co	Cr	Ni	V	Ti	资料来源
北元古代基底	张八岭群	泥质岩 (3)	63.31	4.26	2.36	2.72	2.08	9.02	16.4	59.5	24.8	119	5471	本文
		基性火山岩 (4)	53.68	8.98	1.80	3.95	5.38	15.45	15.8	224.0	104.0	235	6880	
		酸性火山岩 (12)	76.30	1.61	0.24	0.52	0.43	2.35	1.2	1.5	3.5	19	2020	
	董岭群	基性火山岩 (3)	51.82	5.15	7.23	4.23	5.66	17.33	30.2	19.4	21.5	323	11723	
		泥砂质岩 (3)	65.11	2.91	3.80	0.98	0.68	7.54	5.2	17.4	12.0	71	3420	
南元古代基底	上溪群	碎屑岩 (3)	69.56	2.91	3.32	1.54	0.23	7.12	13.3	73.0	33.8	98	4015	1994
		泥质岩 (29)	65.05	2.06	3.90	1.62	0.40	6.79	13.3	71.2	35.7	108	4966	
		基性火山岩 (2)	51.19	2.65	6.97	9.01	8.01	18.13	42.1	436.0	135.0	219	5212	
	双桥山群	碎屑岩 (31)	71.11	1.80	3.01	1.29	0.32	5.57	11.4	62.8	23.8	31	3873	朱贤甲 ^① 1986
		泥质岩 (22)	63.80	2.17	3.60	1.73	0.18	6.73	11.6	75.0	32.6	105	4747	
		基性火山岩 (11)	49.60	2.07	8.73	7.92	10.07	19.8						
		酸性火山岩 (6)	72.08	0.31	1.10	0.61	0.78	2.11						
	星子群	泥砂质岩 (7)	71.71	2.13	2.01	1.31	1.21	5.40	10.0	47.2	21.6	53	3445	本文 1994
		泥砂质岩 (2)	66.30	1.69	4.00	1.96	0.92	7.13	12.6	51.8	32.5	73	3921	
		基性火山岩 (2)	49.09	5.17	7.16	7.43	10.97	21.53	50.7	240.0	73.0	337	8895	

注：括号中的数字为样品数。单位：氧化物为%，其它为 10^{-6} ；①朱贤甲（江西省地矿局中心实验室），1986，赣北地区古火山岩及其含矿性研究（内部资料）

绝不是清一色的，在北基底中亦有些规模较大的铜矿床（安庆铜矿、沙溪铜矿等）。②W 等亲氧元素南北基底含量的差异也是显而易见的，南北基底相应岩类差几倍至近十倍，这种南基底富 W 等亲氧元素特征，明显地在江南中生代壳熔花岗岩的成岩、成矿作用中显露出来了，而且在空间上具有“高钨”不过江的规律（中下扬子地区）。

（3）Cu、Fe 元素的地球化学性质的制约：在地壳中，各种元素的富集系数（最低工业品位与地壳或区域丰度之比）是不同的。对于长江中下游地区的铜、铁矿床来说，Fe 只要富集 6 倍即可达到工业品位。为此，只要经历一次地质、地球化学作用即可形成工业矿床。而对于大多数成矿元素来说，则要富集几十倍、上百倍，甚至成千上万倍才能达到工业要求，Cu 就要浓集上百倍，而 Au 的富集系数约为 1000，为此这些元素的成矿作用往往具有多期、多源、多成因的特征。

再者，就是 Cu、Fe 元素本身的地球化学性质。在地壳条件下，Cu 的亲硫性远远超过 Fe 的亲硫性，只要有硫存在 Cu 总是比 Fe 优先夺取硫而形成 Cu 的硫化物，将 Fe 排除在外；另一方面 Fe 的亲氧性又远远大于 Cu，只要有氧存在，Fe 总比 Cu 优先夺取氧形成 Fe 的氧化物，而将 Cu 排除在外。Cu、Fe 对于 S、O 的争夺是形成各类 Cu、Fe 矿床的内在因素，也对内生夕卡岩型铜、铁矿床空间分布有着重要的控制意义。在成矿作用过程自身氧、硫逸度

表 4 元古代南北基底成矿元素含量表

Table 4. Contents of ore-forming elements in southern and northern Proterozoic basements

基底	群	岩类	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	As	Sb	Se	Hg	U	Mo	W	Sn	资料来源
北元古代基底	张八岭群	泥质岩 (3)	22.5	16	100	0.6	48	2.0	0.09	41	5	1.38	0.32	1.00	1.7	本文
		基性火山岩 (4)	66.3	9	74	0.7	56	3.0	0.28	19	4	1.59	0.14	1.00	0.6	
		酸性火山岩 (12)	3.4	9	51	0.5	81	1.1	0.10	15	2	1.23	0.28	0.64	0.9	
	董岭群	基性火山岩 (3)	12.5	23	153	0.5	61	0.7	0.06	321	3	1.04	0.19	0.32	1.2	
		泥砂质岩 (3)	8.5	22	98	0.4	72	0.6	0.05	41	4	2.22	0.11	0.72	2.3	
南元古代基底	上溪群	碎屑岩 (3)	27.9	24	98	0.9	21	16.3	0.32	32	8	2.45	0.19	10.45	2.7	1994
		泥质岩 (29)	32.7	31	106	4.4	41	24.8	0.73	20	9	2.18	0.29	4.67	3.3	
		基性火山岩 (2)	91.8	13	82	2.8	67	9.5	1.70	10	5	0.52	0.08	1.50	0.7	
	双桥山群	碎屑岩 (31)	25.4	24	75	1.1	50	9.28	5.00	43	39	2.27	0.29	2.00	2.0	朱贤甲 1986
		泥质岩 (22)	23.8	17	92	1.4	42	10.00	3.56	30	115	2.51	0.24	2.43	2.4	
		基性火山岩 (11)	124.9	16	138	4.4	479									
		酸性火山岩 (6)	38.2	7	70	0.9	178									
	星子群	泥砂质岩 (7)	14.8	26	80	1.3	74	0.7	0.13	35	3	2.03	0.22	0.74	0.5	本文 1994
		泥砂质岩 (2)	31.0	23	124	1.0	49	0.4	0.03	88	3	2.60	0.12	2.00	4.3	
		基性火山岩 (2)	65.0	19	136	1.3	91	0.7	0.08	66	4	0.40	0.10	0.4	0.8	

注：括号中的数字为样品数。单位：Au 为 10^{-9} ，其它为 10^{-6}

变化的主导因素前提下，从区域空间来看，成 Fe 岩系定位于地壳较浅的相对氧化环境（中生代盆地），硫逸度低，氧逸度高， Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 并存， Fe^{3+} 优势，沉积硫大量加入， S^{6+} 的硫酸盐占相当的比例。而成 Cu 岩系定位于地壳浅部的较还原环境下，以上古生界围岩为主，硫逸度较高，氧逸度较低，成矿元素以 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 为主，形成大量铜硫化物 (S^{2-})。对于某个矿床的空间分布也具有这样的富集机制，上部磁铁矿矿体，预示深部很可能会有磁黄铁矿和黄铜矿组合的矿体。

5 赋矿围岩成矿物理化学环境条件的控制

从地球化学的观点分析成矿环境，其实质是成矿的物理化学环境，它包括物理环境（岩石孔隙度、渗透率、岩石破碎度、热力场、压力场、流体循环系统……），又包括化学环境（成矿元素浓度、赋存形式、配位体络合物浓度及状态、氧化-还原电位、酸碱度……）。长江中下游地区沉积盖层中具有良好的成矿物理化学环境，它们控制着岩浆岩、火山岩及内、外生矿床、叠加改造型矿床的定位，为此，赋矿围岩成矿物理化学条件的分析是研究成矿规律不可缺少的重要一环。这里仅以威宁期黄龙组下部老虎洞碳酸盐岩（白云岩）及其下碎屑岩为例（区域重要的含矿层位之一，另外两个重要的含矿层位是二叠系及下三叠统）对其进行物理化学环境的分析。

从沉积作用、沉积相研究表明：威宁期上石炭统黄龙组沉积代表陆内拉张断陷盆地内的浅水沉积，主要有三部分组成：底部为含砾石英砂岩、砂砾岩及砂质白云岩；顶部常见黑色黄铁矿化白云质粘土岩；向上过渡为碳酸盐岩（白云岩）（见图 5）。从地球化学的观点来分析这一界面。

（1）绝佳的物性界面和构造界面：从上面沉积作用、沉积相分析获知威宁期这一界面本身其岩类特征上下剧变；另外从更大的时、空域来看，它又是巨厚层志留系碎屑岩（3000~5000 m）过渡到石炭、二叠、三叠系碳酸盐岩的“前哨层”。由于上下岩类的迥异，为此在各个构造发展阶段，由各种形迹的构造（如伸展构造等……）所形成的剥离断层最易发育于此，造成岩石破碎、孔隙度、渗透率增加，脆性岩石部分形成一个张性的减压层，而由于本身岩类（粘土层）及动力糜棱岩的存在，它又成为一个流体隔挡面，从而构成了局部流体循环的“贮”、“盖”系统。

（2）剧变的元素性质和梯度界面：这里有两层涵义：一是常量元素从 Si、Al、K 层急变为 Ca、Mg、 CO_3^{2-} ；二是指 Cu、Pb、Zn、Ag 等成矿元素，从含量相对较高（ $15 \times 10^{-6} \sim 45 \times 10^{-6}$ ）的碎屑岩（包括 3000~5000 m 厚的志留系）剧变为含量极低（ $0.5 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$ ）的碳酸盐岩（白云岩）的“饥渴层”，造成界面两侧元素性质、丰度梯度的剧变带。

（3）良好的氧化-还原和酸碱变化界面：碎屑岩和碳酸盐之间的过渡层是黑色黄铁矿化粘土层，富含黑色有机质沉积物（有机质 0.72%）和黄铁矿（ S^{2-} ）、菱铁矿（ Fe^{2+} ），其环境显然是还原的，而其上碳酸盐岩中大量存在 CO_3^{2-} （ O^{2-} ），在膏盐层（ CaSO_4 ）中为 S^{6+} ，是相对氧化环境；另外碳酸盐岩层又是碱性地球化学障（pH：方解石为 8.3，白云石为 7~8），遇上酸性的成矿热流体，必将发生剧烈的酸碱反应。

（4）恒制的放射性衰变热梯度界面：长江中下游地区泥质岩、碎屑岩中 U、Th、 ^{40}K 放射性元素含量普遍比碳酸盐岩的衰变产热率（ A_0 ）高出 3~5 倍，在具有 U 异常黑色页岩中热梯变的变化更为显著，在其形成的几亿年期间内，放射性元素无时无刻、永无休止地衰变着，所产生的衰变热是区域地壳内热流体不可忽视的驱动力。

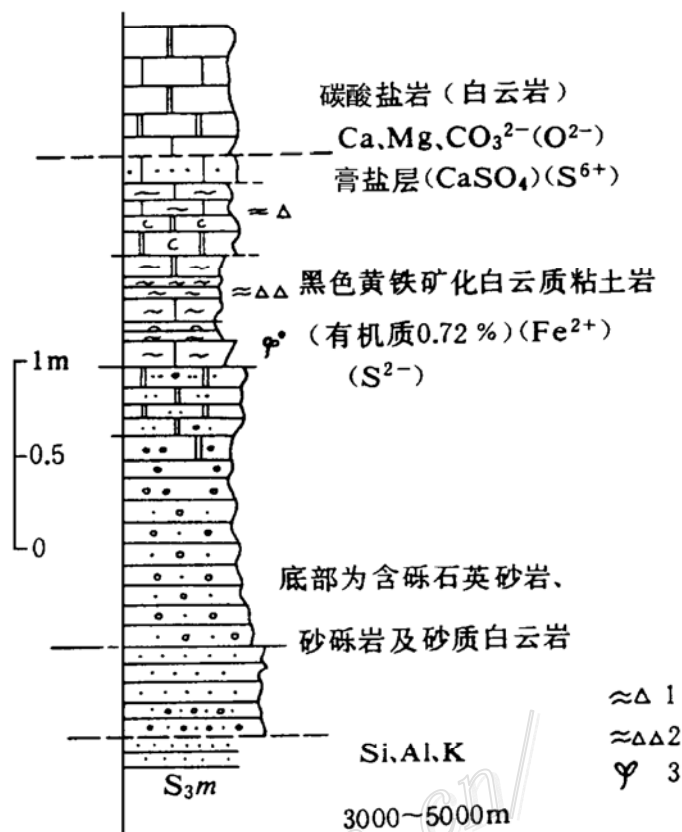


图 5 黄龙组底部岩段物理化学环境示意图

1—含纹层黄铁矿；2—含较多纹层黄铁矿；3—含威宁早期孢粉组合

Fig. 5. Physical-chemical environment of the bottom part of Huanglong Formation.

1—Rock with laminated pyrite; 2—Rock with fairly abundant laminated pyrite; 3—Rock with Early Carboniferous sporopollen association.

从以上的讨论来看,成矿作用实际上是一个庞大的“元素富集工厂”,它由天然动力而运转,主要功能是运输原料(成矿元素),其结果一些元素富集了,一些元素分散了。为此,要形成一个大型、特大型矿床必须有高效率的富集机制,同时能持续不断地运转。这首先需要的是成矿物质供给的背景,其次是要有足够的运矿介质——熔体、热液和络合剂及有利的使元素富集的物理化学环境,同时这些作用的每个环节还必须配合良好地持续进行,例如深断裂的产生与深源岩浆上侵时机的吻合,侵位的深度与温度、压力降低的幅度,矿质沉淀反应速率与矿质输运速度的默契,以及作为地球化学障的围岩条件等等,这些都统归于元素的富集机制,而长江中下游地区就具备有这良好的 Cu 等成矿元素的富集机制。

参 考 文 献

- 1 舒全安,陈培良,程建荣,鄂东南铜铁矿产地质,北京:冶金工业出版社,1992,130~135
- 2 曹洛华,葛宗侠,鄂东南深部地质初步探讨,湖北地质,1987,1(2)
- 3 Zhu Binqun. Evidences of isotopic systematics from crust and mantle for chemical heterogeneities of terranes, Chinese Sci. Bull., 1991, 36, 1279~1282
- 4 Feiss P G. Magmatic source of copper in porphyry copper deposits. Econ. Geol., 1978, 73: 397~404

GEOLOGICAL-GEOCHEMICAL STUDIES OF THE FORMATION MECHANISM OF “INTEGRAL WHOLE OF MULTIPLACES” LARGE AND SUPERLARGE COPPER DEPOSITS IN THE MIDDLE AND LOWER REACHES OF THE YANGTZE RIVER

Ma Zhendong and Shan Guangxiang

(Department of Geochemistry, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Key words: “integral whole of multiplaces” copper deposit, studies of formation mechanism, middle and lower reaches of the Yangtze River

Abstract

The middle and lower reaches of the Yangtze River is the major area for copper (gold) and iron resources of China, in which “integral whole of multiplaces” copper deposits make up a special type of large and superlarge deposits along the circum-Pacific metallogenic belt. The concentration of very rich metallogenic elements is attributed to its tectonic setting, magmatism and special enrichment mechanism. Hence, studies should be carried out in the light of the compositions of various layers of regional lithosphere and the metallogenic mechanism including the enrichment, inheritance and superimposition of ore-forming elements.

(下转接第 242 页 to be continued on p. 242)

series was formed against the tectonic setting of stretching-strike-slipping. Tectonics is the first ore control factor. The study of metallogenic evolution is of great significance not only for the investigation of tectonic evolution but also for the search and prognosis of ore deposits.



(上接 234 页 continued from p. 234)

Studies show that the spatial distribution of “integral whole of multiplaces” large and super large copper deposits is controlled obviously by deep intermediate-acid magma series formed along the jointing zone between the North China land block and the Yangtze land block in the middle and lower reaches of the Yangtze River. As a result of the intensification of the copper-rich basic crust and the favorable geochemical barrier, the underplating between the two blocks, the vertical crust-mantle interaction in the jointing zone and the continued enrichment of metallogenic elements through multi-stage “magmatic pump”, copper, a deep metallogenic element, was continuously and effectively piled up and concentrated until the formation of rich deposits in the middle and lower reaches of the Yangtze River.