

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

长江中下游地区铜金(钼)矿 Re-Os 年龄测定 及其对成矿作用的指示

毛景文^{1,2)} Holly STEIN³⁾ 杜安道⁴⁾ 周涛发⁵⁾ 梅燕雄²⁾ 李永峰¹⁾ 藏文桂¹⁾ 李进文^{1,2)}

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037; 2) 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京, 100083

3) AIRIE Program, Department of Earth Resources, Colorado State University,
Fort Collins, CO 80523-1482 US

4) 国家地质实验测试中心, 北京, 100037; 5) 合肥工业大学资源与环境工程学院, 230009

内容提要 长江中下游是中国东部一个重要的 Cu-Au-Fe-Mo 矿成矿带。笔者等在 5 个夕卡岩-斑岩 Cu-Au-Mo 矿区采集了 11 件辉钼矿样品, 在铜陵地区大团山层控夕卡岩 Cu-Au-Mo 矿体采集了 5 件辉钼矿样品进行 Re-Os 同位素年龄测定。在对 16 件样品进行 ICP-MS 方法测定的同时, 还利用 NTIMS 方法对其中 9 件样品进行了精测, 两种方法测定的结果基本吻合。16 件辉钼矿的 Re-Os 同位素模式年龄为 $134.7 \pm 2.3 \sim 143.7 \pm 1.6$ Ma (2σ)。其中大团山铜矿区的 5 件样品的模式年龄更为接近, 分布范围为 $138.0 \pm 3.2 \sim 140.8 \pm 2.0$ Ma, 平均 139.3 ± 2.6 Ma, 其等时线年龄为 139.1 ± 2.7 Ma, 初始 Os 为 0.7 ± 8.1 (MSWD = 0.29)。这些结果清楚地反映出夕卡岩-斑岩 Cu-Au-Fe-Mo 矿床与层控夕卡岩 Cu-Au-Mo 矿床为同一时代形成, 属于同一成矿系统。作为中国东部大规模成矿作用的组成部分, 长江中下游地区铜钼金矿床的形成与岩石圈构造体制大转换之地球动力学事件相耦合, 为中生代第二期大规模成矿作用的产物。

关键词 Re-Os 同位素测年 夕卡岩-斑岩-层控 Cu-Au-Mo 矿床 长江中下游地区

长江中下游是中国东部一个重要的铜金铁成矿带, 其中矿床以矿集区形式沿江呈近东西-北东向弧形展布。从西向东有鄂东南、九瑞、安庆-贵池、铜陵和宁芜-宁镇等几个大中型矿集区(图 1)。前人对长江中下游成矿带中的铜金铁矿床的地质特征、成矿过程和成矿作用以及控矿构造进行了大量研究。在上世纪中期对长江中下游大规模勘查期间, 这些矿床被认为是与花岗质岩石有关的夕卡岩-热液矿床(郭宗山, 1957; 郭文魁, 1957, 1963)。随之, 对于矿床的形成过程及其与花岗岩的关系进行了广泛的研究(胡受奚等, 1979; 王道经, 1981; 郭文魁, 1982; 刘湘培等, 1988; 黄斌, 1991; 翟裕生等, 1992a, 1992b; 黄许陈等, 1993; 唐永成等, 1998; 周涛发等, 1996, 2001, 2002; 吴淦国等, 2003)。Pan 等(1999)将其总结为与花岗岩有关的斑岩-夕卡岩-层控矿床。但是, 在 20 世纪 80 年代以来, 鉴于除了夕卡岩矿体外, 还有在泥盆系与石炭系之间以及石炭系、二叠系和三

叠系内或之间发育诸多层状矿体, 而且一些矿床或矿体显示出某些同生的层纹状构造以及黄铁矿草莓状构造等, 因而一些学者又推测这套矿床为多次海底喷流沉积成矿, 至少部分属此类(阎学义等, 1977; 顾连兴, 1984; 顾连兴等, 1986; 季绍新等, 1990; 岳文浙等, 1993)。常印佛等(1983, 1991)发现这些层状矿尽管有同生矿床的某些特征, 但总是出现于中生代花岗质岩体周围, 而且与夕卡岩-斑岩矿体密切共生, 因而建议为层控夕卡岩型矿床。对于这套矿床的成矿认识的关键证据之一是年龄的测定, 本文在成矿带 6 个矿床中挑选 16 件辉钼矿样品进行了 Re-Os 同位素测定, 并使用 ICP-MS 和 NTIMS 两种方法进行相互验证, 测定了铜金矿化发生的时代, 进而探讨其成矿的地球动力学背景。

1 地质背景

长江中下游成矿带位于扬子克拉通北缘, 秦岭

注: 本文为国家重点基础研究发展规划(编号 G1999043216, G1999043211)、中国地质调查局地质调查项目(编号 K1.4-3-3)及国土资源部专项研究计划(编号 20010103)的成果。

收稿日期: 2003-05-03; 改回日期: 2003-07-17; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 毛景文, 男, 1956 年生。博士, 研究员, 长期从事矿床地质和地球化学研究工作。通讯地址: 100037, 北京西城区百万庄大街 26 号, 矿产资源研究所; 电话: 010-68327333; Email: Jingwenmao@263.net。

所有矿化均出现在岩体内部及岩体近接触带(proximal contact)。主要蚀变类型有钾化、硅化、泥化、夕卡岩化和绢云母化。笔者等在钻孔岩心取得斑钼矿矿石中的辉钼矿作为测试样品。

安庆是安庆—贵池矿集区中的一个最主要的 Cu-Au-Mo-(Fe) 矿田,包括安庆、铜牛井和铜山三个矿床。矿床分布于中生代花岗质岩体内外接触带及岩体内部残留围岩碳酸盐岩的接触带。月山岩体由闪长岩、花岗闪长岩和石英闪长岩组成(邱瑞龙, 1992;周涛发等, 2002),矿体和花岗质岩体的围岩为三叠纪碳酸盐岩。矿田内矿化可以分为夕卡岩型 Cu-Fe、夕卡岩型 Au 和热液脉状—网脉状 Cu-Mo-Au 矿体。笔者等在安庆矿区的一个已经停采了的小规模露天采场的网脉状矿体中采集了两件辉钼矿样品。

铜矿里是一个小型夕卡岩型-热液脉型钼矿床,位于安庆—贵池矿集区的最东部,它是该区唯一一个以寒武纪—奥陶纪碳酸盐岩为围岩的矿床。虽然也是一个夕卡岩型矿床,通过交代泥灰岩和富泥质灰岩成矿,但是在地表未出露花岗岩体,地球物理调查表明在矿体下部存在一个隐伏岩体。笔者等在当地农民地下坑采的矿石堆中获得样品,挑选辉钼矿进行测试。

大团山是长江中下游成矿带铜陵矿集区中的最大铜矿床之一(凌其聪等, 1998; Du et al., 2003)。矿区内所有矿体都是呈似层状分布于中生代花岗质岩墙(或岩床)的两侧,矿体和岩墙(或岩床)的围岩为三叠纪和二叠纪碳酸盐岩,矿化在二叠纪与三叠纪岩层界面处尤其富集,矿体变厚,黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿和辉钼矿等硫化物叠加在与角岩成互层的钙质夕卡岩之上。笔者等在 No. Mo II 2 矿体的 ZK231 和 ZK3815 钻孔岩心取样。

南阳山和沙滩角两个小型 Cu-Mo 矿床分别位于新屋里花岗闪长岩体的东南接触带和沙滩角花岗闪长岩体的南部接触带,它们都属于夕卡岩型 Cu-Mo 矿床,由当地农民在小规模开采。笔者等在坑采的矿石堆中各拣 3 块和 2 块辉钼矿的矿石样品。

3 分析方法和流程

本次研究中的测试分析分别在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室和中国科学技术大学 Re-Os 同位素实验室进行,其中化学分离和 ICP-MS 同位素比值测定在前一个实验室完成,NTIMS 同位素比值测定在后一个实验室完成。分析方法(杜安道

等, 1994, 2001a; Du et al., 2001b; Shirey et al., 1995; Smoliar, 1996)简述如下。

3.1 样品的分解

准确称取适量辉钼矿样品,通过长细颈漏斗加入到 Carius 管(一种高硼厚壁耐高压大玻璃安瓿瓶)底部。缓慢加干冰或液氮到有半杯乙醇保温杯中,调节温度到摄氏 $-50 \sim -80^{\circ}\text{C}$ 。放装好样的 Carius 管到该保温杯中,把准确称取的 ^{185}Re 和 ^{190}Os 混合稀释剂,通过长细颈漏斗加入到 Carius 管底部,再加入 2 mL 10 mol/L HCl, 4 mL 16 mol/L HNO_3 。加入的溶液很快被冻结。用丙烷氧气火焰加热封好 carius 管的细颈部分。待回温后,放入两端有带孔螺旋帽的不锈钢套管内。轻轻放套管入鼓风机烘箱内,逐渐升温到 230°C ,保温 10 h。冷却到室温,取出 carius 管放入 $-50 \sim -80^{\circ}\text{C}$ 的保温杯中,在底部冷冻的情况下,用玻璃刀在细颈部分上端划痕。用丙烷氧气火焰烧红一个细玻璃棒的一端,去烫划痕,使产生裂纹。在冰水浴中回温后,掰掉端头,倒出溶液。以上操作涉及到高温高压,要有屏蔽玻璃,并带防护面具。一定要注意安全。

3.2 钼的常量蒸馏

用 40 mL 水将 carius 管中液体转入蒸馏瓶中。 $105 \sim 110^{\circ}\text{C}$ 蒸馏 50 min,用 10 mL 水吸收蒸出的 OsO_4 。此时的水吸收液经适当稀释可直接用于 ICP-MS 钼同位素比值测定。若用于 NTIMS 测定,需进一步纯化。将第一次蒸馏残液倒入 50 mL 小烧杯中待分离铼。为降低 OsO_4 水吸收液中的 HNO_3 浓度,将其转入已洗净的原蒸馏瓶中,再加入 30 mL 水进行第二次蒸馏,蒸馏约 1 h 左右。蒸出的 OsO_4 用 5 mL HBr 吸收。将装有二次蒸馏吸收液的比色管放在烘箱中 85°C ,保温 4 h。将第二次蒸馏吸收液分两次转入 5 mL Teflon 尖底瓶中,在电热板加热浓缩至 $20\ \mu\text{L}$ 左右。由于这时的含钼 HBr 溶液纯度不够,直接点带进行 NTIMS 测量,灵敏度不高,故要通过微蒸馏使含钼溶液进一步得到纯化。

3.3 钼的微蒸馏

用微量取样管的塑料吸头吸取浓缩液转移至 Teflon 尖底瓶的盖子中央,缓慢蒸发至干。用微量取样管吸取 10 μL 8 mol/L HBr 置于 Teflon 尖底瓶的尖底上,将 40 μL 配制好的氧化剂溶液(100 g/L $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 9 mol/L H_2SO_4 介质)加到 Teflon 尖底瓶盖子中央含 Os 的残渣上。迅速将 Teflon 尖底瓶倒扣在盖上,尽快旋紧密封。塑料瓶底部和周围用铝箔包裹,顶上不包铝箔。将倒置的尖底瓶平移至电热板

上, 60~80 °C 加热。残渣中的钨被氧化成 OsO_4 进入气相, 达到小瓶的尖顶上被 HBr 重新还原为六溴钨酸。经过 3.5~4 h, 约有 70% 的钨被尖顶上的 HBr 吸收还原。尖底上纯净的六溴钨酸溶液可备 NTIMS 测定 Os 同位素比值。

3.4 丙酮萃取分离 Re

将第一次蒸馏残液置于 120 °C 电热板上, 加热近干。加少量水反复加热赶酸, 加入 10 ml 5 mol/L NaOH , 稍微加热, 促进转为碱性介质。转入 120 mL Teflon 分液漏斗中。加入 10 mL 丙酮, 振荡 5 min 萃取 Re。静止分相, 弃去水相。加 2 mL 5 mol/L NaOH 溶液到分液漏斗中, 振荡 2 min, 进一步洗去丙酮相中的杂质, 弃去水相。排丙酮到 100 mL 已加有 2 mL 水的玻璃烧杯中。在电热板上 50 °C 加热赶尽丙酮。继续加热溶液至干。用 5 mL 0.8 mol/L HNO_3 中和溶解残渣。该溶液经高倍稀释可直接用

于 ICP-MS 测定铼同位素比值。如若进行 NTIMS 测定, 需将此残渣溶解液进一步纯化。

3.5 阴离子交换纯化铼

根据 Re 含量高低, 取部分含 Re 0.8 mol/L HNO_3 溶液到已用 0.8 mol/L HNO_3 平衡的阴离子交换柱上 (AG-1X8 Resin, 200~400 目, Cl^- 型, 美国 Bio Rad 公司。使用前用 Milli-q 水清洗, 除去漂浮物。装入内径约 3 mm 的玻璃柱中, 柱床高 2 cm)。依次用 3 mL 0.8 mol/L HNO_3 、2 mL 1 mol/L HCl 洗去杂质, 1 mL 水洗掉 HCl 。最后用 3 mL 4 mol/L HNO_3 洗脱 Re 到 7 mL Teflon 圆底小瓶中。浓缩至数十微升备 NTIMS 测定 Re 同位素比值。

4 测试结果

笔者等对所采集的 16 件辉钼矿样品使用 ICP-MS 方法进行测定, 同时对除了大团山铜矿 5 件及

表 1 长江中下游辉钼矿 Re-Os ICP-MS 和 NTIMS 同位素数据

Table 1 Re-Os ICP-MS and NTIMS data of molybdenites from Middle—Lower Reach of the Yangtze River

方法	编号	矿区名	样重(g)	Re($\mu\text{g/g}$)		^{187}Re ($\mu\text{g/g}$)		^{187}Os (ng/g)		模式年龄(Ma)	
				测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ
ICP-MS	TKL-1	铜矿里	0.04045	53.52	0.49	33.64	0.31	78.25	0.77	139.4	2.2
	TKL-2	铜矿里	0.04193	54.50	0.52	34.26	0.33	80.06	0.72	140.1	2.2
	STJ-3	沙滩角	0.00545	674.2	6.1	423.8	3.8	975.1	8.8	138.0	2.1
	STJ-4	沙滩角	0.01659	174.2	1.6	109.5	1.0	249.9	2.4	136.9	2.2
	STJ-5	沙滩角	0.00157	1169	12	734.9	7.6	1736	20	141.7	2.5
	NYS-1	南阳山	0.03886	53.02	0.50	33.32	0.32	77.32	0.71	139.1	2.2
	NYS-4	南阳山	0.08091	29.41	0.27	18.49	0.17	42.47	0.40	137.8	2.2
	NYS-5	南阳山	0.02398	184.9	1.7	116.2	1.1	265.5	2.5	136.9	2.1
	YU-1	安庆	0.03177	78.61	0.88	49.41	0.55	111.0	1.0	134.7	2.3
	YU-2	安庆	0.02813	76.95	0.73	48.37	0.46	110.8	1.1	137.4	2.2
	CMS	城门山	0.00755	284.4	3.0	178.8	1.9	424.4	3.9	142.3	2.3
	dtzZK231-1	大团山	0.01049	261.0	2.5	164.1	1.6	380.5	2.8	139.0	2.0
	dtzZK231-2	大团山	0.01059	278.9	3.9	175.3	2.5	409.2	3.2	139.9	2.5
	dtzZK231-3	大团山	0.01065	149.8	2.2	94.2	1.4	219.3	1.8	139.6	2.6
	dtzZK38151	大团山	0.0047	754	15	474.1	9.4	1091.4	8.6	138.0	3.2
	dtzZK38152	大团山	0.01066	981.4	8.6	616.9	5.4	1427.1	11.2	138.7	2.0
	dtzZK38152	大团山	0.00113	1000	8.5	628.9	5.3	1476.4	11.1	140.8	2.0
NTIMS	TKL-1	铜矿里	0.04045	53.71	0.28	33.76	0.18	79.43	0.43	141.1	1.6
	TKL-2	铜矿里	0.04193	54.46	0.28	34.23	0.18	82.07	0.43	143.7	1.6
	STJ-3	沙滩角	0.00545	674.5	3.5	424.0	2.2	994.7	5.7	140.7	1.6
	STJ-5	沙滩角	0.00157	1163	6	731.2	3.8	1742	10	142.8	1.6
	NYS-1	南阳山	0.03886	52.79	0.27	33.18	0.17	77.74	0.50	140.5	1.6
	NYS-4	南阳山	0.08091	29.45	0.15	18.51	0.10	43.02	0.26	139.3	1.6
	NYS-5	南阳山	0.02398	184.8	1.0	116.2	0.6	272.6	1.4	140.7	1.5
	YU-1	安庆	0.03177	78.56	0.41	49.38	0.26	113.5	0.6	137.9	1.5
	YU-2	安庆	0.02813	77.32	0.40	48.60	0.25	115.6	0.8	142.6	1.7

注: ① 化学分离和 ICP-MS 同位素比值测定在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室完成; NTIMS 同位素比值测定在中国科学技术大学 Re-Os 同位素实验室进行。② 质谱测量仪器为美国 Finnigan 公司生产的 MAT262 带有负离子转换装置的负离子热表面电离质谱仪; ③ Re、Os 含量误差包括稀释剂和样品的称量误差、稀释剂标定误差和质谱测定误差。年龄误差包括稀释剂标定误差、质谱测定误差和 ^{187}Re 衰变常数的不确定度。

沙滩角 1 件(编号:STJ-4)和城门山 1 件(编号:CMS)外的 9 件辉钼矿样品使用 NTIMS 方法进行测试,结果列于表 1。从表 1 可以看出,两种测试方法获得的数据吻合得比较好。总体而言,ICP-MS 方法测试的结果比 NTIMS 方法测试的结果系统偏低一些,但仍然在误差范围之内。利用 ICP-MS 方法测试 16 件辉钼矿样品,得到模式年龄为 $134.7 \pm 2.3 \sim 142.3 \pm 2.3$ Ma (2σ),平均 138.8 ± 2.3 Ma。其中,大团山铜矿区的 5 件样品的模式年龄更十分接近,分布范围为 $138.0 \pm 3.2 \sim 140.8 \pm 2.0$ Ma,平均 139.3 ± 2.6 Ma。采用 ISOPLOT 软件(Ludwig, 1999)对所获得的 5 件数据进行等时线计算,得到等时线年龄为 139.1 ± 2.7 Ma(图 2),初始 Os 为 0.7 ± 8.1 (MSWD = 0.29)。所得到的等时线年龄与相应的模式年龄平均值几乎完全吻合。

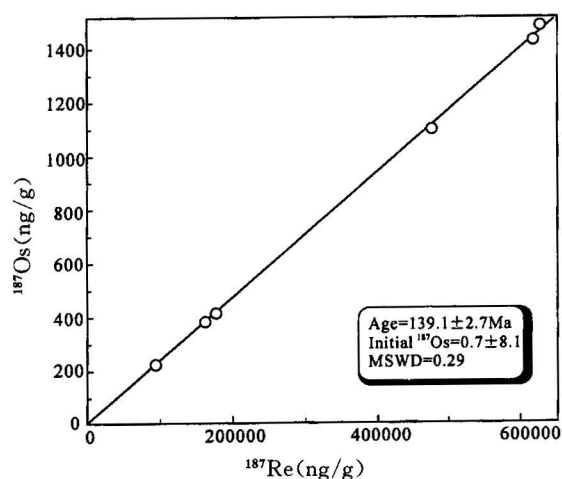


图 2 安徽铜陵地区大团山 Cu-Au-Mo 矿床辉钼矿 Re-Os 等时线图

Fig. 2 Molybdenite Re-Os isochron of the Datuanshan Cu-Au-Mo deposit in the Tongling ore district, Anhui province

采用 ISOPLOT 软件, ^{187}Re 衰变常数 $1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$, 绘制等时线图并计算年龄及误差, 不确定度 1.02%
Calculated with ISOPLOT program, $\lambda(^{187}\text{Re}) = 1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$; uncertainty 1.02%

5 讨论和结论

5.1 测试方法的可信度与成矿时代厘定

前面已经述及,本次测年利用 ICP-MS 与 NTIMS 两种方法相互验证,其测试结果基本吻合,误差不大于 2%。同时,将 4 件样品带到美国克罗地亚州立大学 Re-Os 同位素实验室进行对比研究,结果显示在两个实验室用 NTIMS 测定的结果基本相

同(表 2)。由此可见,两种方法在三个实验室测试的结果基本一致,获得的成矿年代相当精确。这些数据与 Sun 等(2003)获得的 Os-Os 以及 Re-Os 测年数据也十分接近。其中与大团山同属于狮子山矿田的龙虎山一件样品的 Os-Os 模式年龄为 138.0 ± 2.5 Ma, Re-Os 模式年龄为 139.02 ± 0.34 Ma, 月山矿床的一件样品的 Os-Os 模式年龄为 136.1 ± 2.0 Ma。本次测定的年龄也与相关岩体的黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄 $139.8 \sim 135.8$ Ma(吴才来等, 1996)相接近。最近, Selby 等(2002)在阿拉斯加 Tintina 金矿带对 Fort Knox 和 Pogo 两个金矿的硫化物 Re-Os 同位素测年,得到的数据与矿区内花岗岩体的 U-Pb 锆石年龄相吻合;两个矿床和相关岩体中云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄却明显偏新。他们认为 Re-Os 同位素年龄代表成矿时代,而 Ar-Ar 年龄记录着成岩或成矿末期的同位素封闭时间。

表 2 同一批样品在中国科学技术大学 Re-Os 同位素实验室与科罗拉多大学 Re-Os 同位素实验室测年结果对比

Table 2 Comparison of the ages of the same samples dated in two laboratories

矿区	样品号	年龄值(Ma)①	年龄值(Ma)②
南阳山矿区	NYS-1	140.5 ± 1.6	141.1 ± 0.5
沙滩角矿区	STJ-3	140.7 ± 1.6	141.9 ± 0.4
铜矿里矿区	TKL-2	143.7 ± 1.6	143.6 ± 0.5
安庆铜钼矿区	YU-1	137.9 ± 1.5	139.1 ± 0.4

注:① 中国科学技术大学 Re-Os 同位素实验室测定。② 科罗拉多大学 Re-Os 同位素实验室测定。

成矿年龄是认识成矿规律的基础。在上世纪 80 年代对长江中下游地区大多数矿床进行 K-Ar 和 Rb-Sr 等时线年龄测定,获得了大批数据。翟裕生等(1992b)将长江中下游地区的成矿作用和成矿系列进行了详细总结,提出燕山期成矿时代为 170~90Ma,夕卡岩型-斑岩型 Cu-Mo-Au 成矿亚系列为 170~130Ma,夕卡岩型铁矿 Fe 及 Fe-Cu 成矿亚系列为 160~120Ma,玢岩铁矿成矿亚系列为 130~90Ma。本次研究测定整个长江中下游地区 Cu-Mo-Au(Fe)矿床形成于 134.7 ± 2.2 Ma ~ 143.7 ± 1.6 Ma 之间。余金杰等(2002)通过对宁芜玢岩铁矿中的钠长石的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法测定,获得 $122.9 \pm 0.2 \sim 124.9 \pm 0.3$ Ma 数据,表明产于宁芜一庐枞断陷火山盆地中的玢岩铁矿的时代晚于铜钼金矿。张旗等(2003)利用 SHRIMP 锆石 U-Pb 方法测得大王山组火山岩年龄为 127 ± 3 Ma,龙王山组火山岩年龄 131 ± 4 Ma,说明了与玢岩铁矿成因有密切关系的火

山岩在形成时代上略早于成矿的发生,但晚于铜钼金成矿作用和相关的花岗岩侵位。这些资料比较清楚地证明了一些学者关于长江中下游地区成矿作用的科学推断,例如,陈毓川^①和 Ishihara^②不约而同地强调宁芜—庐枞火山岩盆地在斑岩-夕卡岩-层状铜钼金矿成矿之后断陷形成,因此提出在宁芜—庐枞盆地下部可能找到第二个铜陵大型铜金矿集区。

5.2 矿床成因的启示

在长江中下游铜金矿成矿带中,不仅有比较典型的夕卡岩型矿床,也有斑岩型矿床,例如,沙溪斑岩铜金矿(傅斌等,1997;徐文艺等,1999;Xu et al., 1999),在一些矿床中夕卡岩-斑岩矿化同时出现,例如,城门山和铜陵地区的冬瓜山深部矿体(唐永成等,1998),更引人注目还有不少层状夕卡岩矿体和/或层状块状硫化物矿体。这些铜金矿体可以出现于石炭纪、二叠纪和三叠纪碳酸盐岩石的地层,翟裕生等(1992b)总结为矿田构造的“三层结构”模式。层状矿体虽然广泛发育于不同系或统的界面之间,但最集中出现于泥盆系五通组砂页岩与石炭系高骊山组灰岩或上石炭统黄龙组白云岩之间的层间滑脱界面(例如,狮子山矿田的冬瓜山矿床和新桥矿田)。由于层状矿体的形态以及具有一些同生沉积和交代成矿共有的特征,近 20 多年来,有不少研究提出为海底喷流沉积成矿之结果(阎学义等,1977;顾连兴,1984;顾连兴等,1986;季绍新等,1990;岳文浙等,1993),推测成矿时代为海西—印支期。但是,也有不少学者对于这种认识持怀疑或否定态度,例如, Pan 等(1999)对比北美包括 Bingham 特大型铜矿在内的诸多矿床,提出长江中下游地区的这些空间分布关系密切的斑岩型-夕卡岩型-层状矿体为三位一体,属于燕山期与花岗质岩石有关的同一成矿系统的产物。曾经考察过铜陵铜金矿的著名块状硫化物矿床专家 Kirkham 也断然否认铜陵地区存在海底喷流形成的同生块状硫化物矿体^③。陆建军^④通过对铜陵冬瓜山矿区层状铜矿体中的黄铜矿进行铜同位素测试,发现铜来自燕山期的花岗质岩浆系统,但也认为矿石中的硫可能部分为同生沉积。经过长期在新桥硫铜金矿野外调查和评价,藏文栓等^⑤列举出大量地质证据论述了在新桥矿区除了菱铁矿层可能为滨海相沉积形成之外,块状硫化物矿体明显沿泥盆系与中石炭统之间的不整合界面充填成矿,呈现出后生成矿特点。这样一来,这些最新研究进展更加趋向于常印佛等(1983,1991),翟裕生等(1992a, 1992b),Zhai 等(1996)和唐永成等(1998)对成矿的

认识,即在以燕山期岩浆流体为主的成矿过程中,原同生沉积的硫化物和膏盐参与成矿系统。Xu 等(2001)通过对争议最大的铜陵矿集区内的新桥矿床进行解剖研究,也提出石炭纪硫化物矿源层被燕山期花岗岩有关流体的活化富集成矿。本次工作通过对大团山层状矿体的精确测年,表明铜钼金硫化物成矿的模式年龄为 $138.0 \pm 3.2 \sim 140.8 \pm 2.0$ Ma, 平均 139.3 ± 2.6 Ma, 属于早白垩世。其钨同位素初始值为 0.29 也清楚地反映出成矿作用发生时没有普通钨加入到同位素体系,所有的钨几乎都是经过放射性蜕变而形成。与此相反,在贵州黄家湾寒武纪底部黑色页岩中的层状钼镍矿含有 40%~50% 的普通钨,后者是典型的海底喷流型矿床(毛景文等,2001b)。这些信息都可能暗示出层状矿体为交代而不是海底喷气作用的产物。另外,16 件样品的铼含量在 $29 \sim 1000 \mu\text{g/g}$ 之间,表现出异常高含量。毛景文等(1999a)、Mao 等(1999b)和 Stein 等(2001)认为辉钼矿中的 Re 含量可以指示出成矿物质的来源,从地幔来源 $\rightarrow$ I 型 $\rightarrow$ S 型花岗岩有关的矿床,Re 含量呈数量级下降。长江中下游地区辉钼矿的高 Re 含量表明与成矿有关岩体是壳幔同熔作用之结果,正如邓晋福等(1999,2000,2002)所建议的壳幔强烈相互作用是当时成岩成矿的大背景。

5.3 成矿环境与成矿模型

虽然长江中下游成矿带位于扬子克拉通北缘,但其成矿地球动力学与华北克拉通基本一致(毛景文等,2003a)。在华北克拉通及其周缘中生代大爆发成矿出现在三个年龄段,分别为 190~160 Ma、140 Ma 左右和 125~110 Ma 左右,它们所对应的地球动力学背景分别为碰撞造山过程、构造体制大转折和岩石圈大规模拆沉作用(毛景文等,2003a)。长江中下游地区与花岗质岩石有关的斑岩型夕卡岩型-层状铜钼金矿和与陆相火山岩有关的玢岩铁矿两次大爆发成矿与后两个地球动力学时空结构相耦合。

徐志刚(1985)通过综合研究指出,长江中下游地区从寒武纪到三叠纪早期一直处于比较稳定状态,为一个持续发育的拗陷槽,其内有连续沉积的浅海相碳酸盐岩和碎屑岩。扬子克拉通与华北克拉通在 238~218 Ma 之间碰撞对接(李曙光等,1989, 1997; Ames et al., 1993, 1996; Chen et al., 1995; Chavagnotz and Jahn, 1996; Rowley et al., 1997; 李锦轶, 2001),此后开始内陆造山作用。从中三叠世到中侏罗世,长江中下游地区为大别造山带南部

前陆盆地,由一系列断续相连的拗陷组成,其内沉积有一套碎屑岩,中侏罗统罗岭组湖相沉积为造山尾声的标志(唐永成等,1998)。此时的地球动力学特点是岩石圈伸展和减薄,地幔隆升(图 3a)。任纪舜等(1998)对中国东部地球动力学研究提出南北向主应力场结束于 170~155Ma,接着可能由于古太平洋板块与欧亚板块的聚合而开始发生地球动力学调整,直到 135Ma 左右主应力场显示为近东西向(牛宝贵等,2003)。长江中下游地区的 Cu(Fe)-Mo-Au 矿床系统的形成时代正处于地球动力调整时期,也就是毛景文等(2003a)所提出的中生代第二期大规模成矿,与成矿有关的花岗质岩浆主要是来自下地壳和上地幔之间经过同熔作用形成,而且以底劈形式侵位,壳幔相互作用十分强烈,因此在岩体中有大量地幔岩包体和角闪石巨晶(秦新龙等,2002;杜杨松等,1997)。在此期间,长江中下游地区岩石圈仍然表现为地幔隆升,矿化及有关岩体大多数沿东西向与 NNE 向断裂的交汇部位形成和定位(图 3b)。长江中下游地区作为中国东部的一个组成部分,尤其是华北克拉通之邻区,在地球动力主应力场调整到东西向后,没有显示出明显的挤压特征,而是大伸展,125~110Ma 为快速伸展时期,表现为一系列 NNE 向断陷盆地的形成和强烈的火山活动。宁芜—庐枞盆地中的玢岩铁矿就是在这一地球动力背景下的产物(图 3c)。

致谢:在野外期间曾得到安徽地质调查院储国正、杜建国、张成火和江西地质矿产勘查局的大力支持和帮助;在室内工作和论文撰写期间曾与陈毓川、裴荣富、常印佛、翟裕生、赵一鸣、吴淦国、董树文、邓军、杜杨松、陈江峰、徐志刚、Shunso Ishihara、Rodney Kirkham、Richard J. Goldfarb、冯锐、潘元明、屈文俊、杜建国、余金杰、杨刚、蒙义峰、曾普胜就有关问题进行了认真讨论,得益匪浅,在此一并致谢。

注 释

- ① 陈毓川. 2000. 在“铜陵大型矿集区精细结构”项目会议中的发言.
- ② Ishihara S. 2000. 在巴西召开的第 31 届国际地质大会期间与毛

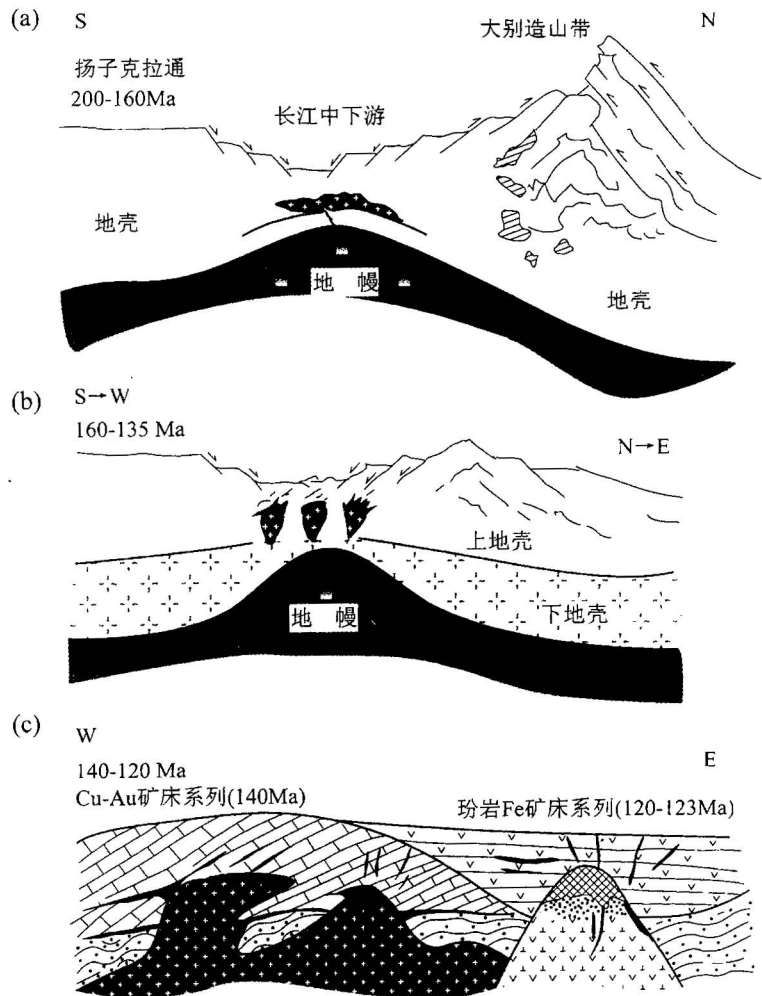


图 3 长江中下游地区金属矿床成矿地球动力学模式图

Fig. 3 Geodynamic model for the metallogenic process of metallic deposits in Middle-Lower Reach belt in China

- (a)—造山期间及碰撞后的前陆拗陷(200~160Ma); (b)—地球动力学转换(主应力场由南北向转为东西向, 160~135Ma)及其末期的斑岩型-夕卡岩型-层状 Cu-Au-Mo 成矿响应(140Ma±); (c)—东西向大减薄与玢岩铁矿成矿响应(125~123Ma)
- (a)—Foreland depression(200~160 Ma) during orogenesis and post-collision; (b)—main stress transition from NS- to EW-trending(160~135 Ma) and related porphyry-skarn Cu-Au-Mo mineralization (140Ma±); (c)—EW-trending large-scale thinning process and related porphyry iron mineralization(125~123 Ma)

景文的讨论.

- ③ Kirkham R. 2001. 与毛景文(2001)在吉尔吉斯斯坦野外考察时进行的讨论.
- ④ 陆建军. 2002. 在“大规模成矿作用与大型矿集区预测”项目年终汇报会中的报告.
- ⑤ 藏文栓, 吴淦国, 张达, 李进文, 刘爱华. 2004. 浅析新桥硫铁矿田的成因——地质方面的证据. 地质学报, 78(待出版).

参 考 文 献

- 常印佛, 刘学圭. 1983. 关于层控夕卡岩型矿床. 矿床地质, 2(1): 11~20.

- 常印佛, 刘湘培, 吴昌言. 1991. 长江中下游铁铜成矿带. 北京: 地质出版社.
- 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 1999. 中国东部燕山期岩石圈-软流圈系统大灾变与成矿环境. 矿床地质, 18(4): 309~315.
- 邓晋福, 赵国春, 赵海玲, 罗照华, 戴圣潜, 李凯明. 2000. 中国东部燕山期火成岩构造组合与造山-深部过程. 地质论评, 46(1): 41~48.
- 邓晋福, 戴圣潜, 赵海玲, 杜建国. 2002. 铜陵 Cu-Au(Ag)成矿区岩浆-流体-成矿系统和亚系统的识别. 矿床地质, 21(4): 317~322.
- 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 等. 1994. 辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究. 地质学报 68(4): 339~347.
- 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 等. 2001a. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄. 岩矿测试, 20(4): 247~252.
- 杜杨松, 李学军. 1997. 安徽铜陵典型矿区岩石包体研究及其岩浆-成矿作用过程探讨. 高校地质学报, 3(2): 171~182.
- 杜杨松, 田世洪, 李学军. 2003. 安徽铜陵天马山矿床与大团山矿床流体成矿作用对比研究. 地质学报(英文版), 77(1): 116~124.
- 傅斌, 任启江, 邢凤鸣, 徐兆文, 胡文瑄, 郑永飞. 1997. 安徽沙溪含铜斑岩⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年及其地质意义. 地质论评, 43(3): 310~316.
- 顾连兴. 1984. 江西武山中石炭世海相火山岩及块状硫化物矿床. 桂林冶金地质学院学报, (4): 91~102.
- 顾连兴, 徐克勤. 1986. 论长江中下游地区中石炭世海底块状硫化物矿床. 地质学报, 60(2): 176~186.
- 郭文魁. 1957. 论安徽铜官山铜矿成因. 地质学报, 37(3): 317~332.
- 郭文魁. 1963. 某些金属矿床的原生分带及其成因. 地质学报, 43(3): 247~270.
- 郭文魁. 1982. 论花岗岩类与金属成矿作用. 中国区域地质, (2): 15~30.
- 郭宗山. 1957. 扬子下游某些夕卡岩型铜矿床. 地质学报, 1957, 37(1): 1~10.
- 胡受奚, 周顺之, 孙志明, 等. 1979. 论我国东部与铁、铜矿床有关中—酸性岩类的成矿专属性. 地质学报, 53(4): 323~336.
- 黄斌. 1991. 安徽铜陵地区块状硫-铁-金矿床的铅同位素特征. 地质学报, 65(4): 347~359.
- 黄许陈, 储国正. 1993. 铜陵狮子山矿田多位一体(多层楼)模式. 矿床地质, 12(3): 221~230.
- 季绍新, 王文斌, 等. 1990. 赣西北铜矿. 北京: 地质出版社.
- 李红艳, 毛景文, 孙亚莉, 等. 1996. 柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究. 地质论评, 42(3): 261~267.
- 李锦轶. 2001. 中朝地块与扬子地块碰撞的时限与方式——长江中下游地区震旦纪—侏罗纪沉积环境的演变. 地质学报, 75(1): 25~34.
- 李曙光, 葛宁洁, 刘德良, 张宗清, 叶笑江, 郑双根, 彭长权. 1989. 大别山北翼大别群中 C 型榴辉岩的 Sm-Nd 同位素年龄及其构造意义. 科学通报, 34(7): 522~525.
- 李曙光, 李惠民, 陈移之, 等. 1997. 大别山—苏鲁地区超高压变质年代学—II 锆石 U-Pb 同位素体系. 中国科学(D 辑), 27: 310~322.
- 凌其聪, 周贵斌, 黄许陈, 等. 1998. “层控式”矽卡岩矿床特征及成矿机制——以铜陵大团山铜(金)矿床为例. 贵金属地质, 7(2): 91~95.
- 刘湘培, 常印佛, 吴昌言. 1988. 论长江中下游地区成矿条件和成矿规律. 地质学报, 62(2): 167~177.
- 毛景文, 杨建民, 张招崇, 等. 1999a. 北祁连山小柳沟钨钼矿床 Re-Os 同位素测年及其意义. 地质论评, 45(4): 412~417.
- 毛景文, 杜安道, 张光第, 王义天. 2001b. 贵州黄家湾钨钼矿地质、地球化学和 Re-Os 同位素测年. 地质学报, 75(2): 234~243.
- 毛景文, 张作衡, 余金杰, 王义天, 牛宝贵. 2003a. 华北中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到启示. 中国科学(D 辑), 33(4): 289~300.
- 牛宝贵, 和政军, 宋彪, 任纪舜. 2003. 张家口组火山岩 SHRIMP 定年及其重大意义. 地质通报, 22: 140~141.
- 秦新龙, 杜杨松, 田世洪, 李铨基, 尹京武, 金尚中. 2002. 安徽铜陵地区含磁黄铁矿-黄铜矿角闪石巨晶的首次发现. 自然科学进展, 12: 834~838.
- 邱瑞龙. 1992. 安徽月山高钾闪长岩岩石学特征及岩石成因探讨. 地质论评, 38(2): 97~108.
- 任纪舜, 牛宝贵, 和政军, 谢广连, 刘志刚. 1998. 中国东部的构造格局和动力演化. 见: 任纪舜, 杨巍然, 主编. 中国东部岩石圈结构与构造岩浆演化. 北京: 地震出版社, 1~12.
- 唐永成, 吴言昌, 储国正, 等. 1998. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质. 北京: 地质出版社, 239~243.
- 王道经. 1981. 铜陵地区地质构造与矽卡岩型铜矿的若干关系. 地质论评, 27(4): 301~306.
- 王德滋, 任启江, 邱检生, 等. 1996. 中国东部橄榄安粗岩省火山岩特征及其成矿作用. 地质学报, 70(1): 23~34.
- 吴才来, 周珣若, 黄许陈, 等. 1996. 铜陵地区中酸性侵入岩年代学研究. 岩石矿物学杂志, 15(4): 299~307.
- 吴淦国, 张达, 藏文栓. 2003. 铜陵矿集区构造滑脱及分层成矿特征研究. 中国科学(D 辑), 2003, 33(4): 300~308.
- 吴良士, 余忠珍. 1999. 江西九瑞地区中生代两次构造事件及其对成岩成矿的控制. 矿床地质, 1999, 18(2): 129~137.
- 徐兆文, 邱检生, 任启江, 徐文艺, 牛翠祯, 傅斌. 1999. 安徽沙溪斑岩铜(金)矿床地质地球化学特征及成因. 地质学报(英文版), 73(1): 8~18.
- 余金杰, 毛景文. 2002. 宁芜武玢岩铁矿钠长石⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年及意义. 自然科学进展, 12(10): 1059~1063.
- 徐文艺, 徐兆文, 顾连兴, 等. 1999. 安徽沙溪斑岩铜(金)矿床成矿热历史探讨. 地质论评, 45(4): 361~367.
- 徐志刚. 1985. 从构造应立场特征探讨中国东部中生代火山岩成因. 地质学报, 59(2): 109~126.
- 阎学义, 袁成祥, 等. 1977. 长江中下游成矿带中石炭纪海底火山喷发-沉积黄铁矿型铜矿地质特征. 南京大学学报(自然科学版), (1): 43~67.
- 岳文浙, 等. 1993. 长江中下游威宁期沉积地质与块状硫化物矿床. 北京: 地质出版社.
- 翟裕生, 等. 1992a. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律. 北京: 地质出版社.
- 翟裕生, 姚书振, 林新多, 等. 1992b. 长江中下游地区铁、铜等成矿规律. 矿床地质, 11(1): 1~12.
- 张旗, 简平, 刘敦一, 王元龙, 浅青, 王焰, 薛怀民. 2003. 宁芜火山岩的锆石 SHRIMP 定年及其意义. 中国科学(D 辑), 33(4): 309~314.
- 周涛发, 岳书仓. 1996. 月山地区铜成矿作用同位素地球化学研究. 矿床地质, 16(4): 341~350.
- 周涛发, 刘晓东, 袁峰, 岳书仓. 2001. 安徽月山矿田成矿流体的迁移速率和规模. 地质论评 47(2): 139~145.
- 周涛发, 袁峰, 岳书仓, 刘晓东, 赵勇. 2002. 安徽月山夕卡岩型矿床形成的水岩作用. 矿床地质, 21: 1~9.

References

Ames L, Tilton G R, Zhou G. 1993. Timing of collision of the Sino-

- Korean and Yangtze cratons; U-Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites. *Geology*, 21: 339~342.
- Ames L, Zhou G, Xiong B. 1996. Geochronology and isotopic character of ultrahigh-pressure metamorphism with implications for collision of the Sino-Korean cratons, central China. *Tectonics*, 15: 472~489.
- Chavagnat N O, Jahn B. 1996. Coseite-bearing eclogites from the Bixiling complex, Dabie mountains, China: Sm-Nd ages, geochemical characteristics and tectonics implication. *Chemical Geology*, 133: 29~51.
- Chang Yinfo, Liu Xiangpei, Wu Changyan. 1991. The copper-iron belt of the Lower ddle Reaches of the Changjiang River. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Chang Yinfo, Liu Xuegui. 1983. On stratabound skarn deposits. *Mineral Deposits*, 2 (1): 11~20 (in Chinese with English abstract).
- Chen J, Xie Z, Liu S, Li X, Foland K A. 1995. Cooling age of Dabie orogen, China, determined by ^{40}Ar - ^{39}Ar and fission track techniques. *Sci. in China (Ser. B)*, 38: 749~757.
- Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Zhao Hailing, Luo Zhaohua, Zhao Guochun, Dai Shengqian. 1999. The Yanshanian lithosphere-aesthenosphere catastrophe and metallogenic environment in East China. *Mineral Deposits*, 18 (4): 309~315 (in Chinese with English abstract).
- Deng Jinfu, Zhao Guochun, Zhao Hailing, Luo Zhaohua, Dai Shengqian, Li Kaiming. 2000. Yanshanian Igneous Petrotectonic Assemblage and Orogenic-Deep Processes in East China. *Geological Review*, 46(1): 41~48(in Chinese with English abstract).
- Dengjingfu, Dai Shenqian, Zhao Hailing, Du Jianguo. 2002. Recognition of the magma-fluid-metallogenic system and sub-system in the Tongling Cu-Au (Ag) metallogenic area. *Mineral Deposits*, 21(4): 317~322(in Chinese with English abstract).
- Du Andao, He Hongliao, Yin Ningwan, Zou Xiaoqiu, Sun Yali, Sun Dezhong, Chen Sizhen, and Qu Wenjun. 1994. A study on the rhenium-osmium geochronometry of molybdenites. *Acta Geologica Sinica*, 68:339~347(in Chinese with English abstract).
- Du Andao, Zhao Dunmin, Wang Shuxian. 2001a. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with tube sample preparation. *Rock and Mineral Analysis*, 20 (4): 247~252 (in Chinese with English abstract).
- Du Andao, Wang Shuxian, Sun Dezhong, Zhao Dunmin, Liu Dunyi. 2001b. Precise Re-Os dating of Molybdenite using Carius tube, NTIMS and ICP-MS. in: Piestrzynski A. et al, eds. *Mineral Deposits at the 21st Century*, 405~407.
- Du Yangsong, Li Xuejun. 1997. Enclaves in the typical mining districts of Tongling, Anhui and their implication to the process of magmatism-metallogeny. *Geological Journal of China Universities*, 3(2): 171~182(in Chinese with English abstract).
- Du Yangsong, Tian Shihong, Li Xuejun, and Lee Hyun Koo. 2003. Contrast in fluid metallogeny between the Tianmashan Au-S deposit and the Datuanshan Cu deposit in Tongling, Anhui province. *Acta Geologica Sinica(English Edition)*, 77:116~124.
- Fu Bin, Ren Qijiang, Xing Fengming, Xu Zhaowen, Hu Wenxuan, Zheng Yongfei. 1997. ^{40}Ar - ^{39}Ar Dating of copper (gold)-bearing porphyry in Shaxi, Anhui province and its geological significance. *Geologica Review*, 43(3): 310~316(in Chinese with English abstract).
- Gu Lianxing, Xu Keqin. 1986. On the Middle Carboniferous submarine massive sulfide deposits in the Middle-Lower Yangtze River region. *Acta Geologica Sinica*, 60 (2): 176~186 (in Chinese with English abstract).
- Gu Lianxing. 1984. Middle Carboniferous submarine volcanic rocks and massive sulfide deposits in Wushan, Jiangxi Province. *Journal of Guilin College of Geology*, (4): 91~102 (in Chinese with English abstract).
- Guo Wenkui. 1957. On the genesis of the Tongguanshan copper deposit. *Acta Geologica Sinica*, 37 (3): 317~332 (in Chinese with English abstract).
- Guo Wenkui. 1963. Original zoning of some metallic deposit and its genesis. *Acta Geologica Sinica*, 43 (3): 247~270 (in Chinese with English abstract).
- Guo Wenkui. 1982. On the granitoids and metal mineralization. *Regional Geology of China*, (2): 15~30(in Chinese with English abstract).
- Guo Zonghsan. 1957. Some skarn copper deposits in Lower Yangtze River valley. *Acta Geologica Sinica*, 37(1): 1~10 (in Chinese with English abstract).
- Hu Shouxi, Zhou Sunzi, Sun Zhiming, et al. 1979. On the metallogenic specialization of the middle-acid rocks related to Fe, Cu deposits in the eastern China. *Acta Geologica Sinica*, 53 (4): 323~336(in Chinese with English abstract).
- Huang Bin. 1991. Lead isotopic characteristics of the massive sulfur-iron-gold deposits in Tongling area, Anhui province. *Acta Geologica Sinica*, 65 (4): 347~359 (in Chinese with English abstract).
- Huang Xuchen, Chu Guozheng. 1993. Metallogenic model of the ore deposits in the Shizishan orefield, Tongling. *Mineral Deposits*, 12:213~221(in Chinese with English abstract).
- Ishihara S. 1977. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Min. Geol.*, 27:293~305.
- Ji Shaoxin, Wang Wenbin and others. 1990. Copper deposits in Northwestern Jiangxi. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Li Hongyan, Mao Jingwen, Sun Yali, et al. 1996. Re-Os isochron age of the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposits in Hunan Province. *Geological Review*, 42(3): 261~267 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi. 2001. Timing And pattern of collision of the Sino-Korea and Yangtze cratons: The evolution of the Sinian-Jurassic sedimentary environment in the middle-lower reaches of Yangtze River. *Acta Geologica Sinica*, 75 (1): 25~34 (in Chinese with English abstract).
- Li S G, Ge G J, Liu D L, Zhang Z Q, Ye X J, Zheng S G, Peng C Q. 1989. Sm-Nd isotopic ages of the C-type eclogite from the Dabie group in the north Dabieshan area and its significance. *Chinese Sciences Bulletin*, 34(7): 522~525(in Chinese).
- Li S G, Li H M, Chen Y Z. 1997. Chronology of the ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Dabieshan-Sulu area: I zircon U-Pb isotopic sytematics. *Sciences in China (Series D)*, 27:310~322(in Chinese).
- Ling Qicong, Zhou Guibin, Huang Xuchen, et al. 1998. Mechanism and the characteristics of stratbound-type ore deposit. *Journal Precious Metallic Geology*, 7(2): 91~95(in Chinese with English abstract).
- Liu Xiangpen, Chang Yinfo, Wu Changyan. 1988. On the metallogenic conditions and metallogeny of the Middle-Lower

- Yangtze River region. *Acta Geologica Sinica*, 62(2): 167~177 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K. 1999. Isoplot/Ex, version 2.0; a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Geochronology Center, Berkeley, Special Publication 1a.
- Mao Jingwen, Zhang Zhaochong, Zhang Zuoheng, Du Andao. 1999b. Rhenium - osmium isotopic dating of molybdenite in the Xiaoliugou W (Mo) deposit in North Qilian Mountains and its geological significance. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 63:1815~1818.
- Mao Jingwen, Zhang Guangdi, Du Andao, Wang Yitian, and Zeng Mingguo. 2001. Geology, Geochemistry, and Re-Os isotopic dating of the Huangjiawan Ni-Mo-PGE deposit, Zunyi, Guangzhou Province— with a discussion of the polymetallic mineralization of basal Cambrian black shales in South China. *Acta Geologica Sinica*, 75(2): 234~243 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Wang Yitian, Zhang Zuoheng, Yu Jinjie, Niu Baogui. 2003a. Geodynamic settings of Mesozoic large-scale mineralization in the North China and adjacent areas: implication from the highly precise and accurate ages of metal deposits. *Sciences of China (Series D)*, 33(8): 838~851 (in Chinese).
- Niu Baogui, He Zhengjun, Song Biao, Ren Jishun. 2003. SHRIMP dating of the Zhangjiakou volcanic series and its significance. *Geological Bulletin of China*, 22: 140~141 (in Chinese with English abstract).
- Qin Xinlong, Du Yangsong, Tian Shihong, Lee Xuanju, Yin Jingwu, Jin Shangzhong. 2002. First discovery of the pyrrhotite-chalcopyrite-bearing amphibole megacrysts in Tongling, Anhui Province. *Advance in Natural Sciences*, 12: 834~838 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Ruilong. 1992. Petrological characteristics and genesis of the Yueshan high-potassium diorite, Anhui province. *Geological Review*, 38(2): 97~108 (in Chinese with English abstract).
- Pan Y, Dong P. 1999. The Lower Changjiang (Yangzi/Yangtze River) metallogenic belt, east China: intrusion- and wall rock-hosted Cu-Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposits. *Ore Geology Reviews*, 15:177~242.
- Pei R F, Hong D W. 1995. The granites of South China and their metallogeny. *Episodes*, 18:77~86.
- Ren Jishun, Niu Baogui, He Zhengjun, Xie Guanglian, Liu Zhigang. 1998. Tectonic pattern and dynamic evolution of the east China. In: Ren Jishun, Yang Weiran eds. *The Lithosphere Structure and Tectono-Magma Evolution of the East China*. Beijing: Seismology Press, 1~12 (in Chinese).
- Rowley D B, Xue F, Turker R D, Peng Z X, Baker J, Davis A. 1997. Age of ultrahigh pressure metamorphism and protolith of orthogneisses from the eastern Dabie Shan; U/Pb zircon geochemistry. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 151: 191~203.
- Selby D, Creaser R A, Hart C J, Rombach C S, Thompson J F H, Smith M T, Bakke A A, Goldfarb R J. 2002. Absolute timing of sulfide and gold mineralization: A comparison of Re-Os molybdenite and Ar-Ar mica methods from the Tintina gold belt, Alaska. *Geology*, 30(9):791~794.
- Shirey S B, Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis. *Anal. Chem.*, 67:2136~2141.
- Smoliar M I, Walker R J, Morgan J W. 1996. Re-Os ages of group II A, III A, IV A and IV B iron meteorites. *Science*, 271: 1099~1102.
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Hannah J L, Schersten A. 2001. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: how and why it works. *Terra Nova*, 13:479~486.
- Sun W, Xie Z, Chen J, Zhang X, Chai Z, Du A, Zhao J, Zhang C, Zhou T. 2003. Os-Os dating of copper and molybdenum deposits along the Middle and Lower reaches of the Yangtze river, China. *Economic Geology*, 98:175~180.
- Tang Yongcheng, Wu Changyan, Chu Guozheng, Xing Fengming, Wang Yongmin, Cao Fenyang, Chang Yinfo. 1998. Geology of copper-gold polymetallic deposits in the along-Changjiang area of Anhui province. Beijing: Geological Publishing House, 239~243 (in Chinese with English abstract).
- Wang Daojing. 1981. Relations between geological fractures and skarn type deposits. *Geologica Review*, 27(4): 301~306 (in Chinese with English abstract).
- Wang Dezi, Ren Qijiang, Qiu Jiansheng, et al. 1996. Characteristics of volcanic rocks in the shoshonite province, eastern China, and their metallogenesis. *Acta Geologica Sinica*, 70(1): 23~34 (in Chinese with English abstract).
- Wu Cailai, Zhou Xunruo, Huang Xuchen, et al. 1996. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronology of intrusive rocks from Tongling. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 15 (4): 299~307 (in Chinese with English abstract).
- Wu Ganguo, Zhang Da, Zang Wenshan. 2003. Study of tectonic layering motion and layering mineralization in the Tongling metallogenic cluster. *Sciences of China (Series D)*, 33: 8852~863 (in Chinese).
- Wu Liangshi, Wu Zhongzhen. 1999. Two Mesozoic tectonic events in Jiurui area, Jiangxi province and their controlling roles on rock-forming and ore-forming activities. *Mineral Deposits*, 18 (2): 129~137 (in Chinese with English abstract).
- Xu Wenyi, Xu Zhaoen, Gu Lianxing, et al. 1999. Heat evolution from intrusion to mineralization in Shaxi porphyry copper (gold) deposits, Anhui Province. *Geological Review*, 45 (4): 361~367 (in Chinese with English abstract).
- Xu Z W, Qiu J S, Ren Q J, Xu W Y, Niu C Y, Fu B. 1999. Geological, geochemical characteristics and genesis of the Shaxi porphyry Cu (Au) Deposit, Anhui. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 73(1): 8~18.
- Xu Zhigang. 1985. Genesis of Mesozoic volcanic rocks in eastern China as discussed in the light of the characteristics of the structural stress field. *Acta Geologica Sinica*, 59(2): 109~126 (in Chinese with English abstract).
- Xu G, Zhou J. 2001. The Xinqiao Cu-S-Fe-Au deposit in the Tongling mineral district, China: synorogenic remobilization of a stratiform sulfide deposit. *Ore Geology Review*, 18:77~94.
- Yan Xueyi, Yuan Xuecheng. 1977. Carboniferous submarine exhalative sedimentary pyrite type copper deposits. *Bulletin of Nanjing University (Natural Sciences version)*. (1): 43~67 (in Chinese with English abstract).
- Yu Jinjie, Mao Jingwen. 2002. $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating for albite from the Ningwu porphyry iron deposits and its significances. *Natural Sciences Progress*, 12(10):1059~1063 (in Chinese with English abstract).
- Yue Wenzhe, Ye Z Z, Wei N Y, Jiang Y H, Ji S X. 1993. Sedimentary geology and stratabound massive deposits of Late Carboniferous Weining age in the Middle and Lower Yangtze

- Reaches. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Zang Wenshuan, Wu Ganguo, Zhang Da, Li Jinwen, Liu Aihua. 2004. Preliminary study on the Xinqiao S-Fe ore field; Some geological evidences. *Acta Geologica Sinica*, 77 (in press, in Chinese with English abstract).
- Zhai Yusheng and others. 1992a. Metallogenic regularities of iron-copper (gold) deposits in Middle-Lower Yangtze River valley. Beijing: Geological Publishing House, 1~235 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Yusheng, Yao Shuzhen, Lin Xinduo, et al. 1992b. Metallogeny of iron and copper deposits in the Middle-Lower Yangtze River region. *Mineral Deposits*, 11(1): 1~12 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S, Xiong Y Y, Yao S Z, Liu X D. 1996. Metallogeny of copper and iron deposits in the Eastern Yangtze Craton, east-central China. *Ore Geology Review*, 1996, 11:229~248.
- Zhang Qi, Wang Yan, Qian Qing, et al. 2001. The characteristics and tectonic-metallogenic significances of the adakites in Yanshan period from eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 17 (2): 236~244 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Jian Ping, Liu Dunyi, Wang Yuanlong, Qia Qing, Xue Huimin. 2003. SHRIMP dating of volcanic rocks from Ningwu area and geological implication. *Sciences of China (Series D)*, 33: 830~837 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Taofa, Yue Shucang. 1996. Isotopic geochemistry of copper mineralization in Yueshan, Anhui. *Mineral Deposits*, 16 (4): 341~350 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Taofa, Liu Xiaodong, Yuan Feng, Yue Shucang. 2001. Migration Velocity and Scale of the Ore-forming Fluid for Formation of Cu, Au Deposits in Yueshan Orefield, Anhui Province. *Geological Review*, 47(2): 139~145 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Taofa, Yuan Feng, Yue Shucang, Liu Xiaodong Zhao Yong. 2002. Water/rock interaction during formation of skarn-type deposits in Yueshan orefield, Anhui province. *Mineral Deposits*, 21:1~9 (in Chinese with English abstract).

Molybdenite Re-Os Precise Dating for Molybdenite from Cu-Au-Mo Deposits in the Middle-Lower Reaches of Yangtze River Belt and Its Implications for Mineralization

MAO Jingwen^{1,2)}, Holly STEIN³⁾, DU Andao⁴⁾, ZHOU Taofa⁵⁾, MEI Yanxiong¹⁾,
LI Yongfeng¹⁾, ZANG Wenshuan²⁾, LI Jinwen^{1,2)}

1) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

2) *Faculty of Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing, 100083*

3) *AIRIE Program, Department of Earth Resources, Colorado State University, Fort Collins, USA*

4) *National Research Center of Geoanalysis, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

5) *Department of Resource and Environmental Sciences, Hefei University of Technology, Hefei, 230009*

Abstract

The Middle-Lower Yangtze River metallogenic belt is an important corridor for Cu-Au-Mo-Fe deposits in East China. Because there are porphyry-skarn Cu-Au-Mo deposits, and stratabound Cu-Au-Mo deposits, their origin have been strongly controversial for a long time. We obtained eleven molybdenite samples from five skarn-porphyry Cu-Au-Mo deposits and the other five samples from the Datuanshan stratabound Cu-Au-Mo deposit for Re-Os dating. The total 16 samples are dated with ICP-MS method and 9 of them are dated by NTIMS. The results from the two methods of ICP-MS and NTIMS are almost concordant each other. Re-Os model ages of 16 molybdenite range from 134.7 ± 2.3 to 143.7 ± 1.6 Ma (2σ) in which the model ages of the five samples from the Datuanshan deposit are quite close, varying from -138.0 ± 3.2 to 140.8 ± 2.0 Ma, averaging 139.3 ± 2.6 Ma, their corresponding isochron is 139.1 ± 2.7 Ma with initial Os value of 0.7 ± 8.1 (MSDW = 0.29). These data definitely reflect the porphyry-skarn-Cu-Au-Fe-Mo deposits and the stratabound skarn Cu-Au-Mo deposits share the same forming ages and are the products of a same metallogenic system. They all occurred at the time of the transition stage of geodynamic regimes i. e. from the main compression regime in north-south direction to quickly significant extension in EW-direction.

Key words: Re-Os isotopic dating; porphyry-skarn-manto Cu-Au-Mo deposits; Middle—Lower Yangtze river ore belt