2005 年 8 月
26 卷 4 期:327-331

地 球 学 报
ACTA GEOSCIENTICA SINICA

Aug. 2005
26(4):327-331

安徽铜陵大团山铜矿床层状矽卡岩矿体中辉钼矿 Re-Os 年龄测定及其地质意义

梅燕雄[1)] 毛景文[1,2)] 李进文[1)] 杜安道[3)]

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,北京,100083;
3)中国地质科学院国家地质实验测试中心,北京,100037

摘 要 安徽铜陵大团山铜矿床位于长江中下游铁铜成矿带中段,前人根据与成矿有关中酸性侵入岩的时代推测其形成于燕山期。本文运用 Re-Os 同位素测年方法对大团山铜矿床层状矽卡岩型矿体中的辉钼矿进行了精确年龄测定,获得等时线年龄 139.1 ±2.7 Ma,模式年龄变化在 138.0～140.8 Ma 之间。这组年龄数据和与成矿有关中酸性侵入岩的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素年龄 135.8～139.8 Ma 相吻合。作为中国东部中生代大规模成矿作用的产物,大团山铜矿床及铜陵地区铜硫(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。

关键词 Re-Os 同位素年龄 大团山铜矿床 安徽铜陵

Re-Os Dating of Molybdenite from Stratiform Skarn Orebodies in the Datuanshan Copper Deposit, Tongling, Anhui Province, and Its Geological Significance

MEI Yanxiong[1)] MAO Jingwen[1,2)] LI Jinwen[1)] DU Andao[3)]

1) *Institute of Mineral Resource, CAGS, Beijing*, 100037;
2) *China University of Geosciences, Beijing*, 100083; 3) *National Research Center of Geoanalysis, CAGS, Beijing*, 100037

Abstract The Datuanshan copper deposit in Tongling, Anhui Province, is located in the middle section of the Middle and Lower Yangtze Valley iron-copper metallogenic belt. The metallogenic epoch of the deposit was previously regarded as Yanshanian on the basis of the ages of intermediate-acid intrusive rocks related to the ore-forming process. The authors collected 6 molybdenite samples from stratiform skarn orebodies in the Datuanshan copper deposit for Re-Os precise dating. The isochron age is 139.1 ±2.7 Ma, and the Re-Os model ages vary from 138.0～140.8 Ma. These age data are concordant with $^{40}Ar/^{39}Ar$ ages, 135.8～139.8 Ma, of the ore-forming intermediate-acid intrusive rocks. The Datuanshan copper deposit and the copper-sulfur-gold deposits in Tongling area are products of Mesozoic large-scale metallogenic process in East China, coupling with the geodynamic event of the lithospheric tectonic regime transition.

Key words Re-Os isotopic age Datuanshan copper deposit Tongling Anhui Province

长江中下游铁铜成矿带中段的铜陵地区,铜硫(金)矿床密集分布,自西向东形成铜官山、狮子山、凤凰山、新桥、沙滩角等矿田。前人对铜陵地区铜金矿床的地质特征及其成因进行了大量研究,根据与成矿有关中酸性侵入岩的关系推测其主要形成于燕山期(常印佛等,1983,1991;翟裕生等,1992;黄许陈等,1993;唐永成等,1998;凌其聪等,1998)。本文挑选狮子山矿田大团山铜矿床层状矽卡岩型矿体中的辉钼矿进行 Re-Os 同位素精确测年,厘定铜矿床的形成时代,进而探讨其成矿的地球动力学背景。

1 成矿地质特征

大团山铜矿床地处铜陵大通-顺安复向斜的次级青山背斜北段东南翼,受区域性东西向基底构造与北东向盖层构造的复合控制,为一中型隐伏铜矿床。矿区及外围出露地层主要为中-下三叠统灰岩、大理岩、白云岩、白云质大理岩及砂页岩、硅质岩等,与成矿有关的侵入岩为燕山晚期花岗闪长岩及石英

本文由国家重点基础研究发展规划项目(编号:G1999043211)、国土资源部专项研究计划项目(编号:20010103)和中国地质调查局地质调查项目(编号:K1.4-3-3)共同资助。
改回日期:2003-06-08;责任编辑:宫月萱。
第一作者:梅燕雄,男,1962 年生,研究员,博士,主要从事区域成矿学研究和矿产资源评价工作;E-mail:meiyx@sohu.com。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

二长闪长岩、辉石二长闪长岩,岩体黑云母$^{40}Ar/^{39}Ar$同位素年龄为 139.8～135.8 Ma(吴才来等,1996,2003)。在侵入岩与围岩的接触带发育矽卡岩化、角岩化及硅化等蚀变,接触构造和层间滑脱构造控制了铜矿体的形态及空间分布(图 1)。

该矿床属层矽卡岩型铜矿床。铜矿体主要呈似层状、透镜状赋存于三叠系下统殷坑组底部条带状矽卡岩和角岩互层中,钼矿体则多呈薄层状、透镜状赋存于上二叠统大隆组硅质页岩、硅质岩、角岩及矽卡岩中。矿石类型主要为含铜矽卡岩、含铜角岩及含铜钼硅质(页)岩等。矿石矿物组合主要为黄铜矿、磁黄铁矿、方黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、石榴石、透辉石、钙铁辉石、石英等。有用组分以铜为主,平均品位为 0.94 %;次为钼和金,平均品位分别为 0.034 %和0.44 $\times10^{-6}$;伴生银、硫、铋、镓等有益组分。

成矿作用过程可分为矽卡岩期和石英-硫化物期。矽卡岩期包括以接触变质作用为主的早阶段和以交代作用为主的晚阶段,分别形成硅灰石、透辉石-钙铁辉石、钙铁榴石、方柱石组合和钙铝榴石、透闪石、阳起石、磁铁矿、绿帘石组合。石英-硫化物期亦分为两个阶段:早阶段形成的金属硫化物多呈浸染状、不规则团块状及条带状分布于矽卡岩、角岩及硅质(页)岩中,以磁黄铁矿和黄铜矿为主,并有辉钼矿、黄铁矿、闪锌矿等,为主要成矿阶段;晚阶段则形成石英-硫化物脉、含铜磁黄铁矿脉等含矿脉体。本次测年样品即采自大隆组硅质(页)岩和角岩中形成于早石英-硫化物阶段的浸染状辉钼矿。

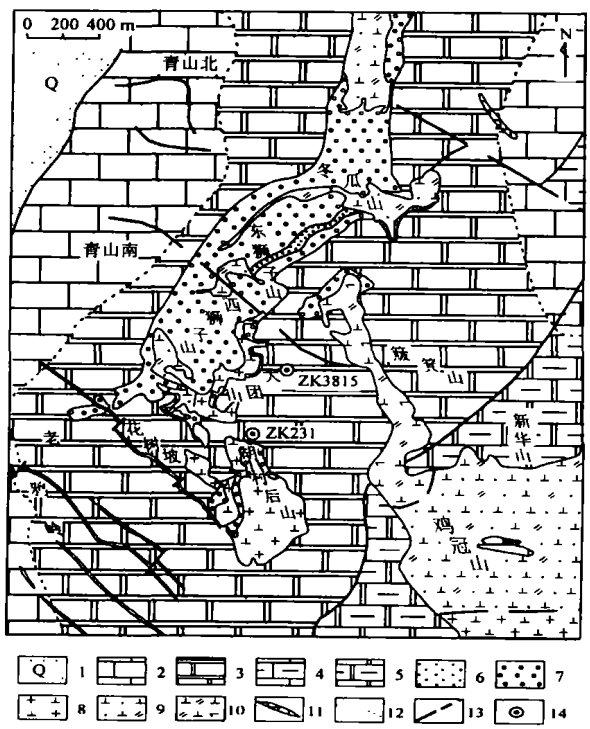

图 1 大团山铜矿床及外围地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of the Datuanshan copper deposit and its adjacent area

1-第四系;2-下三叠统灰岩;3-下三叠统大理岩;4-中三叠统白云岩;5-中三叠统白云石大理岩;6-角岩;7-矽卡岩;8-花岗闪长岩;9-石英二长闪长岩;10-辉石三长闪长岩;11-花岗斑岩;12-大理岩化界线;13-断裂;14-采样钻孔及编号

1-Quaternary system; 2-limestone of Lower Triassic; 3-marble of Lower Triassic; 4-dolostone of Middle Triassic; 5-dolomite-marble of Middle Triassic; 6-hornfels; 7-skarn; 8-granodiorite; 9-quartz monzodiorite; 10-pyrozene monzodiorite; 11-granite-porphyry; 12-the boundary of marbleization; 13-fault; 14-sampling borehole

2 样品采集、测试流程和分析结果

2.1 采样位置与样品特征

本次测年分析所用样品采自大团山铜矿床的 Mo Ⅱ$_2$ 号矿体(图 2),采样钻孔 ZK231、ZK3815 所属勘探线相距 400 m。其中 dtsZK231-1、2、3 号样品采自 ZK231 孔 617.60～619.30 m,岩性为灰绿色灰褐色角岩夹矽卡岩,局部相间成条带状,黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿主要沿裂隙面或层面产出,辉钼矿及部分黄铜矿则主要呈浸染状分布,经化学分析,Cu 含量为 0.15 %～0.33 %,Mo 含量为 0.05 %～0.10 %;dtsZK3815—1、2、3 号样品采自 ZK3815 孔 690.10～691.55 m,岩性为灰色、深灰色硅质页岩夹硅质岩,含浸染状磁黄铁矿、黄铁矿及少量黄铜矿和辉钼矿,经化学分析,Cu 平均含量为 0.09 %,Mo 平均含量为 0.08 %。样品经手标本观察、破碎、水淘洗、电磁选、酒精淘洗、重液分离,最后在双目镜下从 13 件原始样品中挑选出 6 件辉钼矿样品用于 Re-Os 同位素年龄测定,样品纯度大于 98 %。

2.2 实验条件及测试方法

测试在国家地质实验测试中心铼-锇同位素实验室完成,具体过程为采用 Carius 管封闭溶样来分解样品(杜安道等,1994;Shirey,1995)。

2.2.1 样品分解 准确称取待分析样品,通过长细颈漏斗加入到 Carius 管(一种高硼厚壁大玻璃安瓿瓶)底部,然后置于温度为摄氏 - 50 ℃至 - 80 ℃的盛有液氮与乙醇混合溶液的保温杯中。经过一段时间的冷却后,把准确称取的^{185}Re 和^{190}Os 混合稀释剂加入到 Carius 管底部,再加入 2 毫升 10 mol/L HCl,6 毫升 16 mol/L HNO_3。当管底溶液冰冻凝固后,用丙烷氧气火焰加热将 Carius 管封闭。待封闭的 Carius 管回至室温后,放入不锈钢套管内,并置于鼓风烘箱内,逐渐升温到 230 ℃,保温 10 h。最后,在Carius管底部冷冻的情况下打开,并用40 mL 水

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

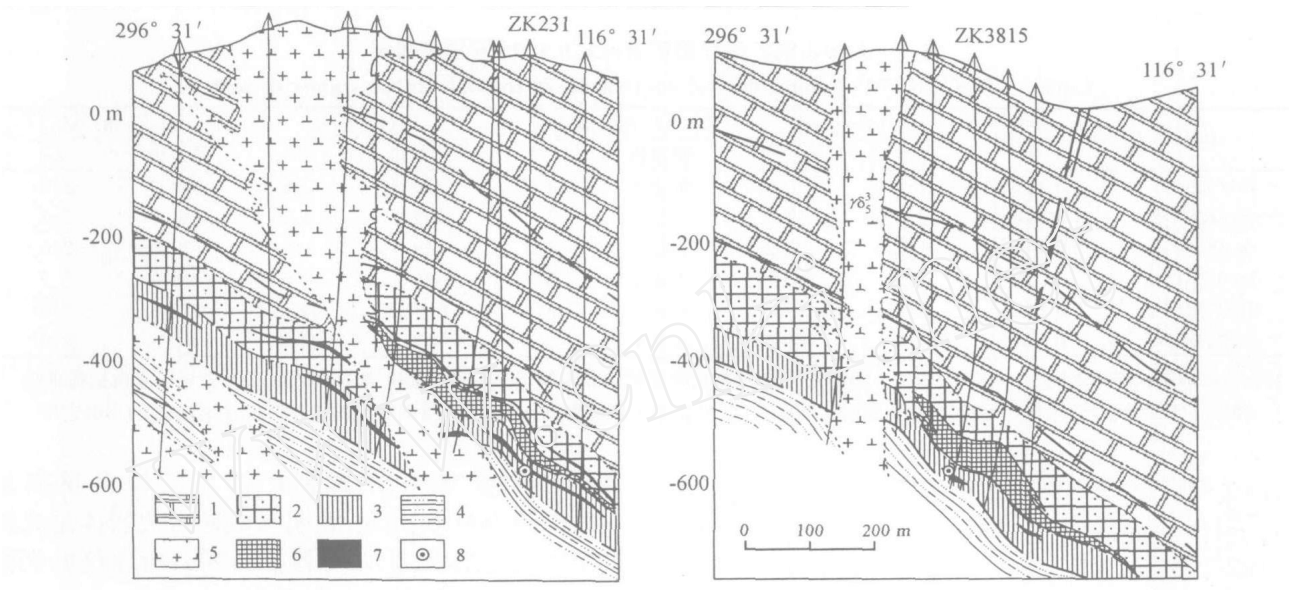

图 2　大团山铜矿床 23 线和 38 线地质剖面图及采样位置(据安徽 321 地质队,1990,缩编)

Fig. 2　Geological profile and sampling position of the Datuanshan copper deposit (modified from the 321 team of Anhui, 1990)

1-大理岩;2-矽卡岩;3-硅质(页)岩、角岩夹矽卡岩;4-砂页岩;5-花岗闪长岩;6-铜矿体;7-钼矿体;8-采样位置

1-marble; 2-skarn; 3-silicalite, siliceous shale, hornfels; 4-sandstone and shale; 5-granodiorite; 6-copper ore-body; 7-molybdenum ore-body; 8-sampling position

将管中溶液转入蒸馏瓶中。

2.2.2　蒸馏分离锇　为满足仪器测量所要求的酸度及消除 OsO_4 水吸收液中的少量铼的干扰,锇的蒸馏分两次进行。首先,于 105 ℃至 110 ℃蒸馏 50 min,用 10 mL 水吸收蒸出的 OsO_4,将蒸馏残液转入 50 mL 小烧杯中待分离铼用。然后,将吸收液转入已洗净的原蒸馏瓶中,再加入 40 mL 水进行第二次蒸馏,蒸馏约 1 h 左右。蒸出的 OsO_4 用 10 mL 水吸收后用于 ICP-MS 测定 Os 同位素比值。

2.2.3　萃取分离 Re　将第一次蒸馏残液置于电热板上,加热至近干后,再加入少量水,加热至近干。然后加入 10 毫升 5 mol/L NaOH,使其转为碱性介质。略加热后取上清液倒入 120 mL Teflon 分液漏斗中,加入 10 mL 丙酮,萃取 5 min。静止分相后弃去水相。再加 2 毫升 5 mol/L NaOH 溶液到分液漏斗中,振荡 2 min,洗去丙酮相中的杂质,弃去水相。将丙酮转到已加有 2 mL 水的小玻璃烧杯中。在电热板上 50 ℃加热以蒸发丙酮,并加热溶液至近干后加数滴浓硝酸,以除去残存的锇。最后,用数毫升稀 HNO_3 溶解盐类并移至 10 mL 比色管中,调整溶液硝酸浓度为 2 %。备 ICP-MS 测定 Re 同位素比值。

2.2.4　质谱测定　采用美国 TJA 公司生产的 TJA PQ ExCell ICP-MS(电感耦合等离子体质谱仪测定)测定 Re 同位素比值。采用美国 Finigan 公司 HR ICP-MS 测定 Os 同位素比值。对于 Re:选择质量数为 185、187,用 190 监测 Os。对于 Os:选择质量数为 186、187、188、189、190、192,用 185 监测 Re。

本实验全流程空白 Re 约为 10 pg,普通 Os 约为 1 pg,大大小于所测样品中铼锇含量,因此,不会影响实验中铼、锇含量的准确测定。

2.3　测试结果

大团山铜矿床 6 件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素测试结果列于表 1,获得模式年龄为 138.0 ±3.2～140.8 ±2.0 Ma,而且 6 个数据都十分接近。采用 ISOPLOT 软件的模式 1 (Ludwig, 1999) 对所获得的数据进行等时线计算,得到等时线年龄为139.1 ±2.7 Ma(图 3)。5 件样品的 Re 含量普遍较高,在(149.8～1000) $\times10^{-6}$之间,平均为 570.85 $\times10^{-6}$。

3　讨论与结论

铜陵地区铜硫(金)矿床以矽卡岩型为主,层状矽卡岩矿体及层状块状硫化物矿体尤为发育,其多赋存于石炭系、二叠系和三叠系以碳酸盐岩为主的地层中,主要受层间界面控制。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,一些学者提出为海底喷流沉积成矿之结果(阎学义等,1977),推测成矿时代为海西-印支期。陆建军[1]

[1] 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.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 大团山铜矿床辉钼矿 Re-Os ICPMS 同位素数据

Table 1 Re-Os ICPMS isotopic data of molybdenite in the Datuanshan copper deposit

编号	样重	Re/μg·g^{-1}		^{187}Re /μg·g^{-1}		^{187}Os / ng·g^{-1}		模式年龄/ Ma	
	/ g	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ
dtsZK231-1	0.01049	261.0	2.5	164.1	1.6	380.5	2.8	139.0	2.0
dtsZK231-2	0.01059	278.9	3.9	175.3	2.5	409.2	3.2	139.9	2.5
dtsZK231-3	0.01065	149.8	2.2	94.2	1.4	219.3	1.8	139.6	2.6
dtsZK3815-1	0.0047	754	15	474.1	9.4	1091.4	8.6	138.0	3.2
dtsZK3815-2	0.01066	981.4	8.6	616.9	5.4	1427.1	11.2	138.7	2.0
dtsZK3815-3	0.00113	1000	8.5	628.9	5.3	1476.4	11.1	140.8	2.0

注: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;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。

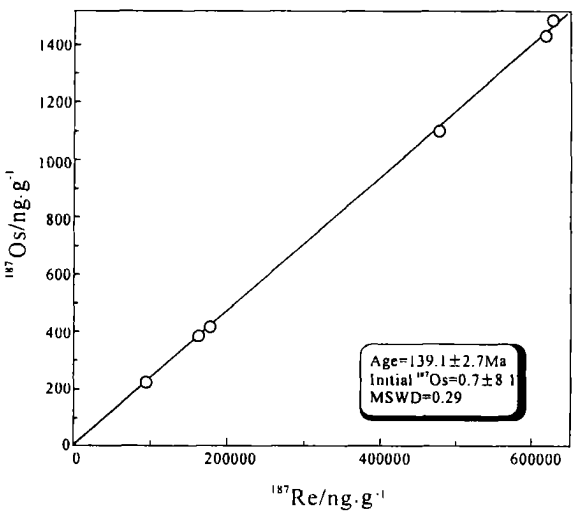

图 3 大团山铜矿床辉钼矿 Re-Os 同位素等时线图❶

Fig. 3 Re-Os isochron of molybdenite in the Datuanshan copper deposit

通过对铜陵冬瓜山铜矿床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。常印佛等(1983,1991)、唐永成等(1998)认为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到成矿系统。本次工作通过对大团山铜矿床层状矽卡岩型矿体的精确测年,表明铜钼成矿作用发生于 139.1 ±2.7 Ma,相当于早白垩世。其锇同位素初始值为零清楚地反映出成矿作用发生时没有原始^{187}Os 存在和普通锇加入到同位素体系,所有的^{187}Os 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 %的普通锇,后者是典型的海底喷流型矿床(毛景文等,2001),可能暗示出层状矽卡岩为交代作用而不是海底喷气作用的产物。另外,大团山铜矿床 6 件辉钼矿样品的铼含量高达 149.8～1 000.0 μg/ g,表明与成矿有关岩体是壳幔同熔作用之结果,正如邓晋福(1999)所建议的壳幔强烈相互作用是当时成岩成矿的大环境。

无论是同生喷流沉积成矿与燕山期岩浆流体成矿的叠合,还是以燕山期岩浆流体成矿为主导、同生沉积硫化物和膏盐参与到成矿系统,都表明燕山期成矿的重要性。翟裕生等(1992)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 170～90 Ma,矽卡岩型-斑岩型 Cu-Mo-Au 成矿亚系列为 170～130 Ma,矽卡岩型 Fe 及 Fe-Cu 成矿亚系列为 160～120 Ma,玢岩铁矿成矿亚系列为 130～90 Ma。本次研究测定的等时线年龄可能代表铜陵地区乃至整个长江中下游地区 Cu-Mo-Au 成矿的爆发期,与吴良士等(1997)对九瑞地区城门山铜矿床中辉钼矿的 Re-Os 模式年龄测试数据 144～139 Ma 基本吻合。此外,本次测定的等时线年龄也与相关岩体的黑云母^{40}Ar/^{39}Ar 同位素年龄 139.8～135.8 Ma(吴才来等,1996)很好地吻合在一起,暗示出二者的成因联系。余金杰等(2002)通过对宁芜地区玢岩铁矿中钠长石的^{40}Ar/^{39}Ar 法精确测年,获得 122.9 ±0.2 ～124.9 ±0.3 Ma 数据,表明玢岩铁矿的形成晚于铜(钼金)矿床。

毛景文等(2003)提出,扬子克拉通北缘的长江中下游成矿带与华北克拉通在中生代时的成矿地球动力学背景基本一致,中生代大爆发成矿分别出现在 190～160 Ma、140～135 Ma 和 120 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。本次工作获得的大团山铜矿床层状矽卡岩型矿体中辉钼矿 139.1 ±2.7 Ma 的 Re-Os 等时线年龄数据及相关同位素资料表明,大团山铜矿床及铜陵地区铜硫(金)

❶ 等时线计算采用 ISOPLOT 软件(Ludwig,1999),^{187}Re 和^{187}Os 的相对误差均为 2 %(2σ)

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

矿床主要形成于燕山期,它们是中国东部中生代大规模成矿作用的产物,可能与当时的岩石圈构造体制大转换之地球动力学事件相耦合。

参考文献

常印佛,刘学圭. 1983. 关于层控式矽卡岩型矿床——以安徽省内下扬子坳陷中一些矿床为例. 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.

杜安道,何红蓼,殷宁万等. 1994. 辉钼矿的铼-锇同位素地质年龄测定方法研究. 地质学报,68(4):339～347.

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.

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.

毛景文,杜安道,张光第等. 2001. 贵州黄家湾钼镍矿地质、地球化学和 Re-Os 同位素测年. 地质学报,75(2):234～243.

毛景文,王义天,张作衡等. 2003. 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.

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.

吴才来,周甸若,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.

吴才来,陈松永,史仁灯等. 2003. 铜陵中生代中酸性侵入岩特征及成因. 地球学报,24(1):41～48.

吴良士,邹晓秋. 1997. 江西城门山铜矿床 Re-Os 同位素年龄及其意义. 矿床地质,16(4):376～381.

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.

余金杰,毛景文. 2002. 宁芜玢岩铁矿钠长石^{40}Ar-^{39}Ar 定年及意义. 自然科学进展,12(10):1059～1063.

翟裕生等. 1992. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律. 北京:地质出版社.

Referances

Chang Yinfo, Liu Xuegui. 1983. Stratabound skarn type deposits—a case study of Lower Yangzi depression within Anhui province. Mineral Deposits, 2(1):11～20(in Chinese).

Chang Yinfo, Liu Xiangpei, Wu Yanchang. 1991. The iron-copper metallogenic belt of the middle and lower reaches of Changjiang river. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).

Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Zhao Hailing et al. 1999. The Yanshanian lithosphere - asthenosphere catastrophe and metallogenic environment in East China. Mineral Deposits, 18(4):309～315(in Chinese with English abstract).

Du Andao, He Hongliao, Yin Ningwan et al. 1994. Re-Os isotopic dating method of molybdenite. Acta Geological Sinica, 68(4):339～347 (in Chinese).

Huang Xuchen, Chu Guozheng. 1993. Multistory metallogenic model of the Shizishan ore-field in Tongling. Mineral Deposits, 12(3):221～230(in Chinese).

Ling Qicong, Zhou Guibin, Huang Xuchen et al. 1998. Metallogenic mechanism and characteristics of stratabound skarn deposits—a case study of Datuanshan copper(gold) deposit in Tongling. Journal of Precious Metal Geology, 7(2):91～95(in Chinese with English abstract).

Ludwig K. 1999. Isoplot/Ex, version 2.0: A geochrological toolkit for Microsoft Excel. Geochronology Center, Berkeley, Special Publication 1a.

Mao Jingwen, Du Andao, Zhang Guangdi et al. 2001. Geology, geochemistry and Re-Os isotopic dating of Huangjiawan molybdenum-nickel deposit, Guizhou Province. Acta Geological Sinica, 75(2):234～243 (in Chinese with English abstract).

Mao Jingwen, Wang Yitian, Zhang Zuoheng et al. 2003. 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 (D), 33(8):838～851 (in Chinese with English abstract).

Shirey S B, Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-rosmium analysis. Anal. Chem., 67:2136～2141.

Tang Yongcheng, Wu Yanchang, Chu Guozheng et al. 1998. Geology of copper-gold polymetallic deposits in the along-Changjiang area of Anhui province. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).

Wu Cailai, Zhou Xunruo, Huang Xuchen et al. 1996. ^{40}Ar/^{39}Ar chronology of intermediate-acid intrusive rocks from Tongling. Acta Petrologica et Mineralogica, 15(4):299～307(in Chinese with English abstract).

Wu Cailai, Chen Songyong, Shi Rendeng et al. 2003. Origin and features of the Mesozoic intermediate-acid intrusive rocks in the Tongling area, Anhui, China. Acta Geoscientica Sinica, 24(1):41～48(in Chinese with English abstract).

Wu Liangshi, Zhou Xiaoqiu. 1997. Re-Os isotopic age study of the Chengmenshan copper deposit, Jiangxi province. Mineral Deposits, 16(4):376～381(in Chinese with English abstract).

Yan Xueyi, Yuan Chengxiang. 1977. Geological characteristics of middle Carboniferrous submarine volcanic sedimentary pyritic copper deposits in the Middle and Lower Reaches of Changjiang river. Journal of Nanjing University(Natural Sciences), (1):43～67(in Chinese).

Yu Jinjie, Mao Jingwen. 2002. Albite ^{40}Ar-^{39}Ar dating of Ningwu porphyritic iron deposits and its significance. Advance in Natrure Sciences, 12(10):1059～1063(in Chinese with English abstract).

Zhai Yusheng et al. 1992. Metallogeny of iron-copper-(gold) deposits of the Middle and Lower Reaches of Changjiang river. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net