



编号: 0258-7106(2011)04-0690-09

赣南园岭寨钼矿辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义*

周雪桂^{1,2}, 吴俊华^{1,2,*}, 屈文俊³, 龚敏^{1,2}, 袁承先², 廖明和²,
赵赣², 李牟², 魏俊浩¹, 马振东¹

(1 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2 江西省地矿资源勘查开发中心, 江西 南昌 330030;
3 国家地质实验测试中心, 北京 100037)

摘 要 赣南园岭寨钼矿为产在花岗斑岩与寻乌岩组变质岩内外接触带的大型斑岩型钼矿床。对矿区含矿石英脉中 5 个辉钼矿样品进行 Re-Os 同位素测定, 获得等时线年龄及模式年龄的加权平均值分别为 (161.1 ± 3.9) Ma 和 (162 ± 1) Ma。等时线初始 ^{187}Os 值为 (0 ± 2) ng/g, MSWD = 0.50。园岭寨钼矿形成于中侏罗世中晚期, 其成矿年龄对应于华南中晚侏罗世第二成矿阶段 (170 ~ 150 Ma), 与区域内 160 Ma 左右的钨锡矿成矿作用时间基本一致。区域上, 华南钼矿的成矿时间具有连续性, 在 165 ~ 130 Ma 均有发生。

关键词 地球化学, 园岭寨钼矿, 辉钼矿, Re-Os 同位素, 赣南

中图分类号: P618.65

文献标志码: A

Re-Os dating of molybdenites from Yuanlingzhai molybdenum deposit in southern Jiangxi Province and its geological significance

ZHOU XueGui^{1,2}, WU JunHua^{1,2}, QU WenJun³, GONG Min^{1,2}, YUAN ChengXian²,
LIAO MingHe², ZHAO Gan², LI Mou², WEI JunHao¹ and MA ZhenDong¹

(1 China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2 Center of Exploration and Development of Geology and Mineral Resources of Jiangxi Province, Nanchang 330030, Jiangxi, China; 3 National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China)

Abstract

Located in the inner and outer contact zones between granite porphyry and metamorphic rocks of Xunwuyan Formation, the Yuanlingzhai molybdenum deposit is a large-sized porphyry molybdenum deposit in southern Jiangxi Province. Re-Os isotopic dating of 5 molybdenite samples from the mineralized quartz veins of this ore deposit has yielded a precise isochron age of (161.1 ± 3.9) Ma and a weighted average model age of (162 ± 1) Ma. The intercept of isochron is (0 ± 2) ng/g, and the MSWD is 0.50. The Yuanlingzhai molybdenum deposit was formed in mid-late Middle Jurassic, and its metallogenic age corresponds to the second ore-forming stage (170 ~ 150 Ma) in the Late Jurassic in South China, consistent to regional tungsten-tin mineralization ages around 160Ma. Molybdenum mineralization occurred in the range of 165 ~ 130 Ma in South China.

Key words: geochemistry, Yuanlingzhai molybdenum deposit, molybdenite, Re-Os isotope, southern Jiangxi Province

近年来,随着同位素测试技术和方法的不断提高,Re-Os 同位素体系作为一种有效的新手段,被广

* 本文得到中国地质调查局“全国重要矿产资源潜力预测评价”子项目(1212010733805)的资助

第一作者简介 周雪桂,男,1970 年生,高级工程师,主要从事矿产勘查与资源评价研究工作。Email:1741536860@qq.com

** 通讯作者简介 吴俊华,男,1969 年生,高级工程师,在读博士,矿产勘查专业。Email:8755513337@qq.com

收稿日期 2010-09-25;改回日期 2011-05-04。张绮玲编辑。

泛应用于同位素地质年代学、矿床成因、壳-幔演化及其壳幔地球化学动力学等领域,特别是在金属矿床的定年研究中(杜安道等,2009;靳新娣等,2010;李晶等,2010)。由于 Re-Os 同位素体系封闭性好,基本不受后期改造的影响,可直接测定辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿等硫化物,能对金属矿床成矿年龄做出准确的厘定。国内外已经有很多利用 Re-Os 同位素体系高精度测年的成功范例,为相关矿床的形成时限及其动力学机制提供了强有力的年代学制约(Stein et al., 1997; Stein, 2006; 毛景文等, 2004a; 2004b; 2007 2008; 2009; 许建祥等, 2007; 罗锦昌等, 2009; 王小飞等, 2010; 钟立峰等, 2010)。

南武夷地区是武夷成矿带的一部分,为一条北东向至北北东向的隆起带,构造与岩浆活动强烈,成矿条件优越,以盛产钨矿而闻名。近年来,随着大调查项目的实施及社会资金、勘查力度的加大,在过去

认为具有找钨潜力的矿区中,相继发现了一批以钼为主的多金属矿床或独立的钼矿床,如赣南寻乌铜坑壤(许建祥等,2007;苏慧敏等,2010)、园岭寨、葛廷坑(本文)等大-中型钼矿,显示出在南武夷地区寻找大型钼矿床的巨大潜力。目前对于园岭寨矿区的普查、详查和勘探地质工作已经结束,但对该矿床的成矿地质条件和动力学机制研究相对薄弱,对该矿床的成矿年代学研究至今尚无文献报道。本文系统采集了园岭寨钼矿区含石英英脉中的辉钼矿,进行了 Re-Os 同位素分析,获得 Re-Os 同位素等时线年龄,并初步探讨了该成矿年龄的地质意义。

1 矿床地质特征

安远县园岭寨矿区位于华南褶皱系赣中南褶皱隆之武夷隆断束与赣西拗陷的信丰—于都拗陷断束的

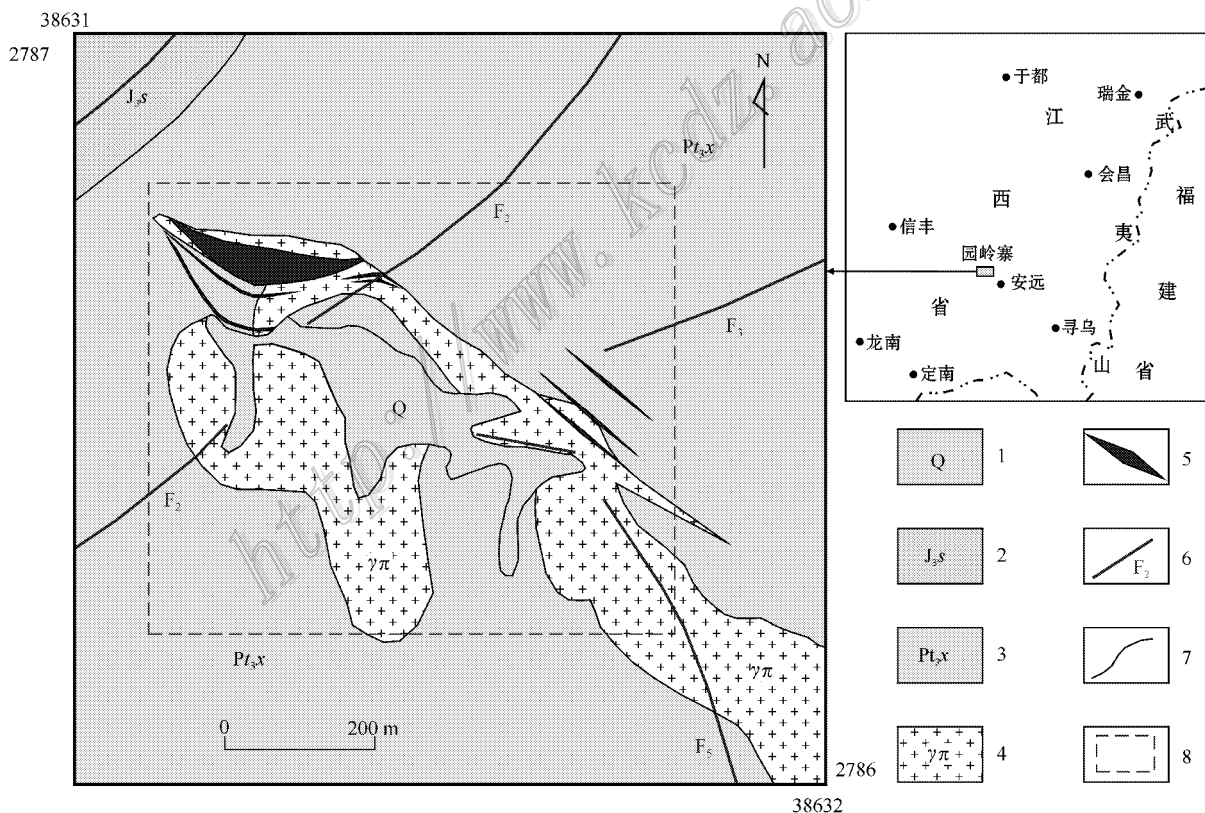


图1 园岭寨矿区泥竹塘区段地质简图(据江西省地矿局赣南地质大队^①修改)

1—第四系;2—上侏罗统上丁组泥岩、砂岩;3—上元古界寻乌岩组云母片岩、变粒岩;4—花岗岩;5—钼矿体;6—断层及编号;7—地层界线;8—泥竹塘区段范围

Fig. 1 Geological map of Nizhutang segment of the Yuanlinzhai ore district

1—Quaternary; 2—Mudstone, sandstone of Late Jurassic Shangding Formation; 3—Mica schist, granulite of Late Proterozoic Xunwuayan Rock Group; 4—Granite porphyry; 5—Molybdenum ore body; 6—Fault and its serial number; 7—Geological boundary; 8—Nizhutang area

① 江西省地矿局赣南地质大队. 2005. 江西省安远县园岭寨矿区泥竹塘区段钼矿普查地质报告.

交接部位,隶属北东向版石侏罗纪火山岩盆南西角之东缘与版石—重石推覆构造交汇复合处^①。区内北东向断裂构造发育,岩浆侵入频繁,火山活动强烈。区域内基底由元古代地层组成,盖层由中生代的一套泥砂岩系组成。具体有元古界寻乌岩组(Pt_3x)、侏罗系上统上丁组(J_3s)。元古界寻乌岩组为区内的主要地层,分布面积大,为安远县园岭寨钼矿床主要的赋矿围岩。

矿区内出露的地层比较简单,主要为元古界寻乌岩组(见图1)。寻乌岩组岩石颜色较杂,多为灰白色-砖红色,总体走向NE,倾向NW或SE,倾角 $40^{\circ} \sim 73^{\circ}$ 。从岩性上看,大体可以 F_2 为界,分为上、下2个部分,下部为一套厚层—巨厚层变粒岩夹变质长石石英砂岩、含砾石英砂岩、薄层砂质板岩、黑云母斑

点板岩、千枚岩;上部为云母片岩夹千枚状板岩、白云母绢云母片岩和变余长石石英砂岩。上侏罗统上丁组少量出露在矿区西北角,岩性为泥岩、石英砂岩、砂砾岩等,与下伏寻乌岩组呈断层接触或角度不整合接触关系。

区内构造以断裂为主,较大的断裂有 F_2 。 F_2 位于区段内北西部,长度大于352 m,宽0.3~0.8 m。走向 $NE40^{\circ}$,倾向NW,倾角 $77^{\circ} \sim 88^{\circ}$ 。断裂中发育压碎角砾岩、构造透镜体和挤压片理,断裂性质属压扭性。

园岭寨花岗斑岩体($\gamma\pi$),大致呈北西走向斜贯全区,长约700 m,宽20~140 m,出露面积约0.1 km^2 。岩体呈灰白色、浅肉红色,斑状结构,块状构造。斑晶含量25%~30%,其中长石占20%~40%、

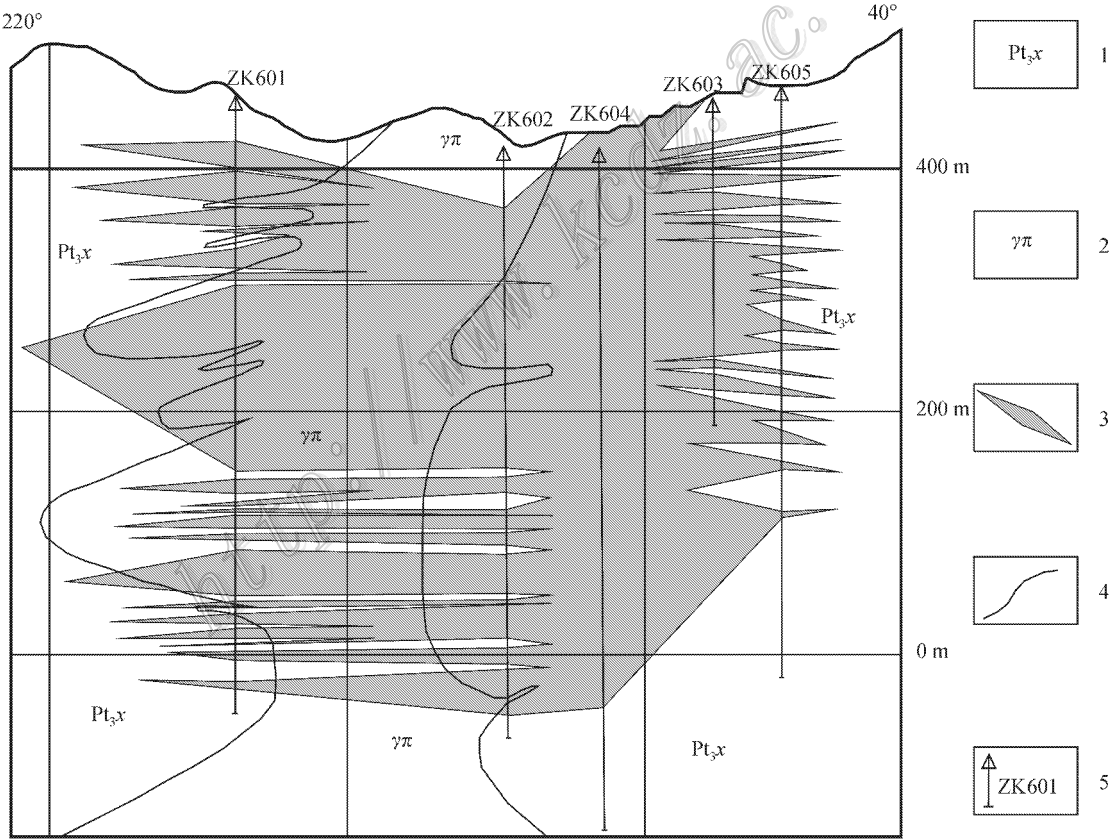


图2 园岭寨矿区泥竹塘区段地质剖面简图(据江西省地矿局赣南队资料^①修改)

1—新元古界寻乌岩组云母片岩、变粒岩;2—花岗斑岩;3—钼矿体;4—地层界线;5—钻孔及编号

Fig. 2 Geological section of Nizhutang section of the Yuanlinzhai ore district

1—Mica schist, granulate of Late Proterozoic Xunwuyan Formation; 2—Granite porphyry; 3—Molybdenum ore body; 4—Geological boundary; 5—Drill hole and its serial number

① 江西省地矿局赣南地质大队. 2005. 江西省安远县园岭寨矿区泥竹塘区段钼矿普查地质报告

石英占 5%~25%、黑云母占 15%。基质含量 70%~75%,由石英(20%~30%)、长石(20%)、黑云母(2%~5%)等组成。花岗斑岩是本区段的成矿母岩和赋矿岩体。

矿体产于花岗斑岩中及其外接触带附近(见图2),呈北西西向分布,矿体与花岗斑岩具有大体一致的展布方向。矿石矿物主要为辉钼矿、黄铜矿、铜蓝、辉铜矿、黄铁矿等。辉钼矿在矿石中主要呈片状集合体分布于石英细脉及网脉中(见图3)。区段内围岩蚀变较为普遍,种类较多,主要有硅化、钾长石化、绢云母化、褐铁矿化、绿泥石化等,局部出现云英岩化,与钼矿化密切相关的主要为硅化。钼矿体与花岗斑岩体具有密切的成生联系,矿体严格受花岗

斑岩体的控制。

2 样品采集与测试分析

用于年龄测试的辉钼矿样品均取自园岭寨矿区泥竹塘区段石英辉钼矿脉,辉钼矿呈片状集合体,与石英脉共生。一般矿脉的脉壁部位辉钼矿含量较高,辉钼矿粒径较大。辉钼矿样品挑选由河北区调队完成,含辉钼矿石英脉经过手工破碎,在双目镜下分选辉钼矿。辉钼矿单矿物纯度在 98% 以上,经水清洗干净后,用玛瑙研钵研磨至 200 目。为避免交叉污染,处理完每个单矿物样品后,所用工具都用酒精浸泡并擦洗干净。共采集辉钼矿样品 5 件。

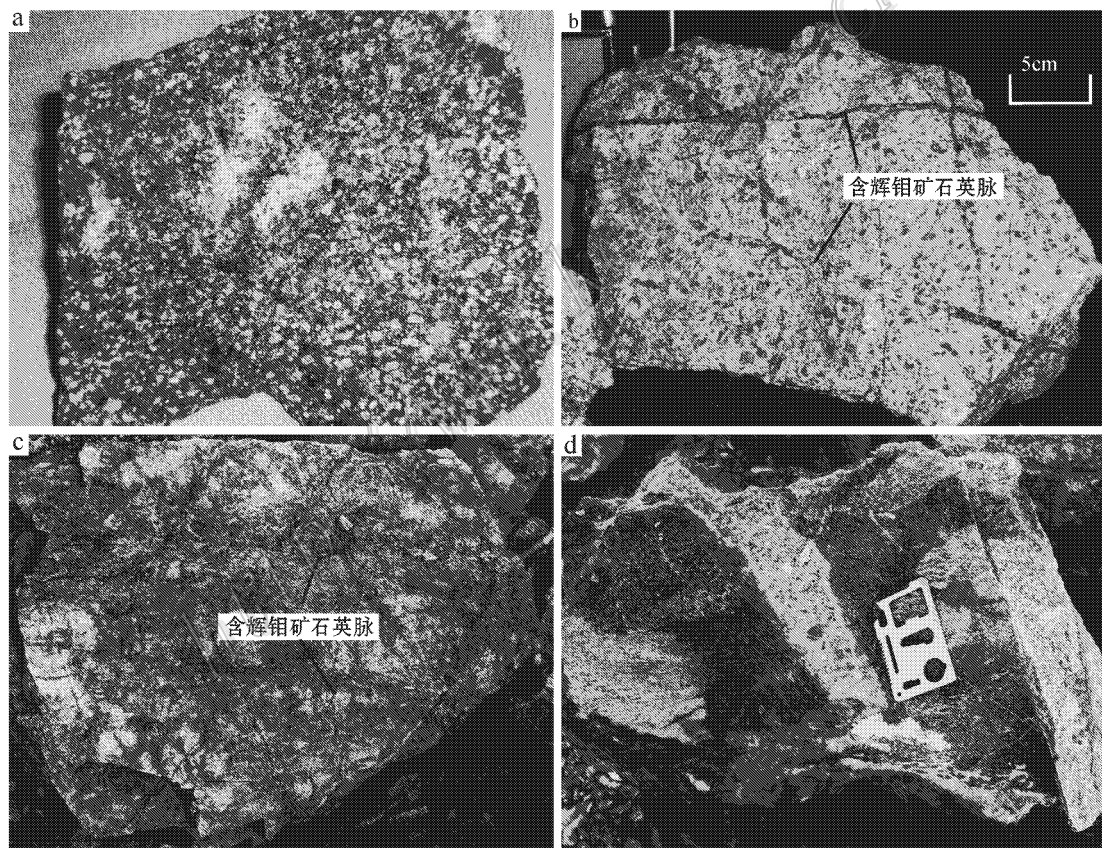


图3 园岭寨矿区泥竹塘区段主要岩、矿石照片

a. 花岗斑岩; b. 花岗斑岩中的石英辉钼矿脉; c. 寻乌岩组中的石英辉钼矿脉; d. 寻乌岩组中的花岗斑岩脉

Fig. 3 Photos of major rocks and ore bodies of Nizhutang section of the Yuanlinzhai ore district

a. Granite porphyry; b. Molybdenite quartz veins in granite porphyry; c. Molybdenite quartz veins in Xunwuyan Formation;

d. Granite porphyry vein in Xunwuyan Formation

Re-Os 同位素分析测试工作在国家地质实验测试中心完成,铼、钨化学分离步骤和质谱测定请参见文献(杜安道等,2009;Du et al.,2004;靳新娣等,2010;李晶等,2010),现简述如下。

2.1 样品分解

准确称取待分析样品,通过细颈漏斗加入到 Carius 管底部。缓慢加液氮到有半杯乙醇的保温杯中,使成粘稠状(摄氏-50℃~-80℃)。放装好样品的 Carius 管到该保温杯中。用适量超纯浓 HCl 通过细颈漏斗把准确称取的¹⁸⁵Re 和¹⁹⁰Os 混合稀释剂转入 Carius 管底部。再依次加入适量硝酸和 30% H₂O₂,剂量如下:

辉钼矿 0.1~0.4 g 2~3 mL 10 mol/L HCl+4~5 mL 16 mol/L HNO₃。

当 Carius 管底溶液冻实后,用液化石油气和氧气火焰加热封好 Carius 管的细颈部分。擦净表面残存的乙醇,放入不锈钢套管内。轻轻放套管入鼓风烘箱内,待回到室温后,逐渐升温到 200℃,保温 24 h。取出,冷却后在底部冻实的情况下,先用细强火焰烧熔 Carius 管细管部分一点,使内部压力得以释放。再用玻璃刀划痕,并用烧热的玻璃棒烫裂划痕部分。

2.2 Re、Os 分离

将待打开的 Carius 管放在冰水浴中回温使内容物完全融化,用约 20 mL 水将管中溶液转入蒸馏瓶中。把内装 5 mL 超纯水的 25 mL 比色管,放在冰水浴中,以备吸收蒸馏出的 OsO₄。连接蒸馏装置,

加热微沸 30 min。所得 OsO₄ 水吸收液可直接用于 ICP-MS 测定 Os 同位素比值。将蒸馏残液转入 150 mL Teflon 烧杯中待分离铼。

将蒸馏残液置于电热板上,加热近干。加少量水,加热近干。重复两次以降低酸度。根据样品量加入 4~10 mL 5~6 mol/L NaOH,稍微加热,促进样品转为碱性介质。转入 Teflon 离心管中,加入 4~10 mL 丙酮,振荡 1 min 萃取 Re。

2.3 质谱测定

采用美国 TJA 公司生产的电感耦合等离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS 测定同位素比值。选择质量数 185、187,用 190 监测 Os;选择质量数为 186、187、188、189、190、192,用 185 监测 Re。

实验流程 Re、Os 和¹⁸⁷Os 的空白样水平分别为 (0.007 3±0.000 6)×10⁻⁹、(0.000 1±0.000 1)×10⁻⁹、(0.000 1±0.0000)×10⁻⁹,远小于所测样品中铼、钨含量,不会影响实验中铼、钨含量的测定。采用同一流程测定的辉钼矿标准样品 GBW04436(JDC)的分析结果显示,标样的测定值与推荐值偏差小于 2%。

3 结果与讨论

3.1 成矿年龄

园岭寨钼矿 5 个辉钼矿样品的 Re-Os 同位素分析的数据及特征值列于表 1。

表 1 园岭寨钼矿辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果

Table 1 Re-Os isotopic data of molybdenites from the Yuanlingzhai molybdenum deposit

样号	m/g	ε(Re)(μg/g)		ε(普 Os)(ng/g)		¹⁸⁷ Re(μg/g)		¹⁸⁷ Os(ng/g)		模式年龄/Ma	
		测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
YRE-1	0.03073	46.71	0.40	0.1944	0.0435	29.36	0.25	79.13	0.68	161.5	2.4
YRE-4	0.03088	68.91	0.58	0.1381	0.0215	43.31	0.37	116.5	1.0	161.2	2.3
YRE-5	0.03054	39.92	0.30	0.3032	0.0436	25.09	0.19	67.70	0.58	161.8	2.3
YRE-6	0.03014	43.80	0.35	0.0319	0.0331	27.53	0.22	74.38	0.61	161.9	2.3
YRE-7	0.03088	66.95	0.57	0.4520	0.0650	42.08	0.36	113.9	1.0	162.2	2.4

注:1.ε(普 Os)是根据原子量表(Wieser,2006)和同位素丰度表(Bohler et al.,2005)通过¹⁹²Os/¹⁹⁰Os 测量比计算得出,¹⁸⁷Os 是¹⁸⁷Os 同位素总量;2.Re、Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差,置信水平 95%;3.因为辉钼矿铼含量较高,几乎不含非放射成因的¹⁸⁷Os,故用样品的铼、钨含量按照下列公式直接计算模式年龄: $t = 1/\lambda \ln(1 + ^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re})$,其中 λ(¹⁸⁷Re 衰变常数)= $1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$ (Smoliar et al.,1996),模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度(1.02%),置信水平 95%;4.在计算模式年龄或作¹⁸⁷Re-¹⁸⁷Os 等时线时,¹⁸⁷Re 和¹⁸⁷Os 的单位应该是摩尔质量浓度,即 n mol/g,为了直观,实际上采用了质量浓度,即 ng/g,这是因为¹⁸⁷Re 原子量 186.955765 和¹⁸⁷Os 原子量 186.955762 非常接近,无论采用什么单位得到的模式年龄或等时线年龄的差别都将小于千万分之一,远远小于目前年龄测定的不确定度范围 2%。

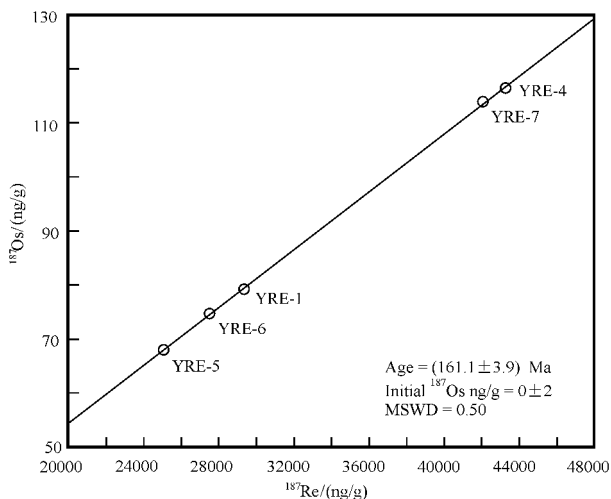


图4 园岭寨钼矿辉钼矿 Re-Os 等时线年龄

Fig. 4 Re-Os isochron ages of molybdenite from the Yuanlingzhai molybdenum deposit

从表1可以看出,园岭寨钼矿5件辉钼矿样品的 $w(^{187}\text{Re})$ 为 $27.53 \sim 43.31 \mu\text{g/g}$, 平均 $33.47 \mu\text{g/g}$ 。5件样品的模式年龄在 $161.2 \sim 162.2 \text{ Ma}$ 之间, α (普 Os) 在 $0.0319 \sim 0.4520$ 之间, 用 Isoplot 软件做等时线图(图4), 得到的5个样品的等时线年龄为 $(161.1 \pm 3.9) \text{ Ma}$, 等时线的纵截距为 $(0 \pm 2) \text{ ng/g}$, 初始 ^{187}Os 值接近于0, 符合 Re-Os 同位素定年的条件。此外, 该等时线的 MSWD 值为 0.50, 表明所有样品的 Re、Os 同位素组成遵循放射性衰变定律, 等时线年龄准确可靠。

5个样品的模式年龄加权平均值(图5)为 $(162 \pm 1) \text{ Ma}$ (置信区间 95%), 与等时线年龄非常接近。另外, 本次工作得到的辉钼矿样品具有以下特点: 所有5件辉钼矿样品均采自园岭寨矿区泥竹塘区段矿化最富集地段的矿石, 辉钼矿呈片状集合体产出, 采样地段未见强烈变形或后期热液蚀变矿化叠加现象。5件辉钼矿样品 Re-Os 同位素模式年龄值变化较小 ($161.2 \sim 162.2 \text{ Ma}$), 所得到的模式年龄与等时线年龄几乎完全吻合。因此, 笔者认为 Re-Os 同位素等时线年龄 $(161.1 \pm 3.9) \text{ Ma}$ 可以代表园岭寨钼矿确切的成矿年龄, 即矿床形成于中侏罗世中晚期。

3.2 与区域成矿年龄的对比

笔者统计了华南地区近几年发现的以钼为主的矿床和成矿年龄在 160 Ma 左右的钨锡矿床的同位素测年的数据, 见表2。

对华南地区钨锡成矿的时代, 前人做过大量的研究, 已有的研究成果表明, 华南地区的成矿作用具

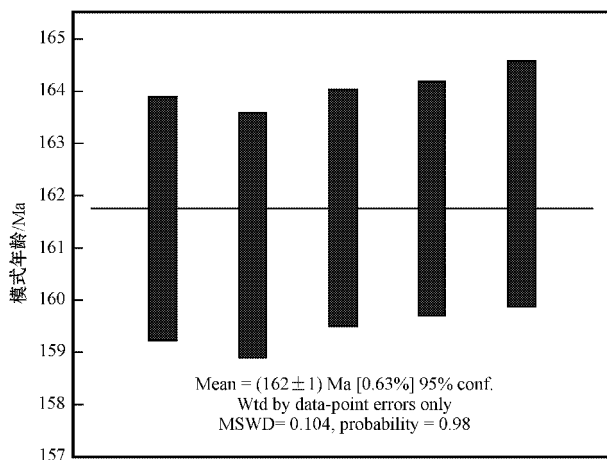


图5 园岭寨钼矿辉钼矿 Re-Os 模式年龄加权平均值

Fig. 5 Weighted average of molybdenite Re-Os model ages of the Yuanlingzhai molybdenum deposit

有集中分布和阶段性爆发的特点(华仁民等, 2005; 毛景文等, 2008)。毛景文等(2008)认为存在3个主要成矿阶段, 即晚三叠世($230 \sim 210 \text{ Ma}$)钨锡钼钨成矿阶段、中晚侏罗世($170 \sim 150 \text{ Ma}$)斑岩-矽卡岩铜矿、钨锡(钼)多金属矿床和早中白垩世($134 \sim 80 \text{ Ma}$)浅成低温热液型铜金银矿床。本文测得的园岭寨钼矿的成矿年龄为 $(161.1 \pm 3.9) \text{ Ma}$, 对应于华南中晚侏罗世第二成矿阶段, 与区域内 160 Ma 左右的钨锡成矿作用基本一致, 是环西太平洋 Izanagi(伊泽奈奇)板块向欧亚大陆俯冲的结果(毛景文等, 2008)。相对于本区的其他钼矿床($133.5 \sim 156.7 \text{ Ma}$), 园岭寨钼矿成矿时代偏老, 与福建永定山口钼矿成矿年龄 $(165.3 \pm 3.5) \text{ Ma}$ 大致相近(罗锦昌等, 2009), 从目前发表的文献来看, 可以确认在赣南地区存在 160 Ma 左右以钼为主的大型矿床。

以往, 前人对华南的成矿作用侧重于 W、Sn, 从华南 W、Sn 的成矿时代分析, $150 \sim 130 \text{ Ma}$ 期间是华南岩浆和成矿作用的低潮期(毛景文等, 2007), 但是国内外许多大中型钼矿的成矿时代从中生代到新生代相继都有发现, 例如北美的克莱梅克斯(Climax)、亨德逊、埃蒙斯山和恩达科等钼矿床, 华北、东秦岭等地区在 $233 \sim 221 \text{ Ma}$ 、 $148 \sim 138 \text{ Ma}$ 和 $131 \sim 112 \text{ Ma}$ 的3个时期均有与 Cu、Mo 成矿关系密切的“1”型花岗岩的强烈活动(毛景文等, 2005)。 $160 \sim 130 \text{ Ma}$ 期间由于受环西太平洋构造-成矿域的影响, 在中国东部发生了主应力场转换的重大地球动力学事件, 华北、东秦岭等地区均有强烈的钼成矿作用的积极响应。近年来相继在华南地区发现的以钼为主

表 2 华南地区主要钨-锡-钼多金属矿床成矿年龄

Table 2 Metallogenic ages of W-Sn-Mo polymetallic deposits in South China

序号	矿床名称	矿床类型	分析对象	方法	成矿年龄/Ma	参考文献
1	香花岭	Sn	锡石	U-Pb	157±6	Yuan et al. 2008a
2	尖峰岭	Sn	白云母	Ar-Ar	158.7±1.2	Yuan et al. 2008b
3	柯树岭	W	白云母	Ar-Ar	158.8±1.2	刘善宝等 2008
4	石人嶂	W	辉钼矿	Re-Os	159.1±2.2	付建明等 2008
5	红岭	W	辉钼矿	Re-Os	159.1±1.5	王小飞等 2010
6	淘洗窝	Sn	白云母	Ar-Ar	159.9±0.5	彭建堂等 2007
7	芙蓉	Sn	白云母	Ar-Ar	160.1±0.4	毛景文等 2004
8	行洛坑	W-Mo	辉钼矿	Re-Os	156.3±4.8	张家菁等 2008
9	永平	Cu-Mo	辉钼矿	Re-Os	156.7±2.8	李晓峰等 2008
10	圆珠顶	Cu-Mo	辉钼矿	Re-Os	155.6±3.4	钟立峰等 2010
11	铜坑漳	Mo	辉钼矿	Re-Os	133.8±0.7	许建祥等 2007
12	金竹坪	Mo	辉钼矿	Re-Os	135.5±5.7	张家菁等 2009
13	熊家山	Mo	辉钼矿	Re-Os	151.7±1.8	孟祥金等 2007
14	永定山口	Mo	辉钼矿	Re-Os	165.3±3.5	罗锦昌等 2009
15	园岭寨	Mo	辉钼矿	Re-Os	161.1±3.9	本文

的矿床,其成矿年龄亦在 160~130 Ma 期间的信息表明:华南武夷山成矿带在这期间亦发生了钨成矿作用的强烈响应。

位于北武夷地区上饶县熊家山矿区和金竹坪矿区辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄分别为(151.7±1.8) Ma(孟祥金等,2007)和(135.5±5.7) Ma(张家菁等,2009)。同处于武夷山成矿带南段的以钼为主的赣南寻乌县铜坑漳钼矿的成矿年龄为(133.8±0.7) Ma(许建祥等,2007),本次工作在赣南相继测定了园岭寨、葛庭坑钼矿(另文发表)的成矿时间,其成矿年龄均在 160 Ma 左右。它们虽处于武夷成矿带的不同区域,但其成矿时间具有连续性,钼的成矿作用在 165~130 Ma 均有发生。近年来,在武夷山成矿带以钼为主的矿床所取得的勘查进展的矿区还有多处,如江西永平十字头钼矿(李晓峰等,2008),福建境内的五夫坪地钼矿(傅树超,2005)、新村钼铅锌多金属矿(韩胜康,2008)、永定山口钼矿(罗锦昌等,2009)、广东差干钼多金属矿(朱晓琼,2008)等,这些发现充分说明了华南地区武夷山成矿带钼矿的找矿潜力巨大,武夷山成矿带可能成为中国又一个钼矿资源基地,这给整个华南地区的地质找矿提供了一个全新的思路。

4 结 论

通过本文的初步研究,得到以下主要结论:
(1)通过对园岭寨钼矿 5 个辉钼矿样品的 Re-

Os 同位素分析测试,获得等时线年龄为(161.1±3.9) Ma,初始¹⁸⁷Os 值为(0±2) ng/g,MSWD=0.50,该年龄代表该钼矿床的成矿年龄,表明园岭寨钼矿形成于中侏罗世中晚期;

(2)园岭寨钼矿的成矿年龄为(161.1±3.9) Ma,对应于华南中晚侏罗世第二成矿阶段,与区域内 160 Ma 左右的钨锡矿成矿作用基本一致,区域上华南钼的成矿时间具有连续性,在 165~130 Ma 均有发生。

从华南武夷山成矿带不断发现的钼矿床的信息分析,武夷山成矿带将很可能成为中国又一个钼矿资源基地。

志 谢 笔者在园岭寨矿区工作期间得到了赣南地质大队和园岭矿业有限公司的大力帮助,在此一并表示衷心的感谢。

References

Bohlkea J K, Laeter J R, Bievre P D, Peiserb H S, Rosman K J R and Taylor P D P. 2005. Isotopic compositions of the elements[J]. J. Phys. Chem. Ref. Data, 34(1): 57-67.

Du A D, Qu W J, Li C and Yang G. 2009. A review on the development of Re-Os isotopic dating methods and techniques[J]. Rock and Mineral Analysis, 28(3): 288-304(in Chinese with English abstract).

Du A D, Wu S Q, Sun D Z, Wang S X, Qu W J, Stein R M H, Morgan J and Malinovskiy D. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC[J]. Geo-

- standard and Geanalytical Research, 28(1): 41-52.
- Fu J M, Li H Q, Qu W J, Ma L Y, Yang X J, Wei J Q and Liu G Q. 2008. Determination of mineralization epoch of quartz-vein type tungsten deposits in Shixing region, northern Guangdong and its geological significance[J]. Geotectonica et Metallogenia, 32(1): 57-62(in Chinese with English abstract).
- Fu S C. 2005. On geologic characteristics and genesis of the Pingdi molybdenum deposit in Wuyishan City, Fujian Province[J]. Geology of Fujian, 24(3): 125-133(in Chinese with English abstract).
- Han S K. 2008. On the geologic characteristics and genesis of the Xincun molybdenum, lead and zinc polymetallic deposit in Yongding County, Fujian Province[J]. Geology of Fujian, 27(4): 353-360(in Chinese with English abstract).
- Hua R M, Chen P R, Zhang W L and Lu J J. 2005. Three major metallogenic events in Mesozoic in South China[J]. Mineral Deposits, 24(2): 99-107(in Chinese with English abstract).
- Jin X D, Li W J, Wu H Y, Zhang L C and Du A D. 2010. Development of Re-Os isotopic dating analytical technique and determination know-how on ICP-MS precise dating for molybdenite[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(5): 1617-1624(in Chinese with English abstract).
- Li J, Sun Y L, He K, Xian W S, Qiu J J and Zhang X. 2010. The improved molybdenite Re-Os dating method and its application[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(2): 642-648(in Chinese with English abstract).
- Li X F, Watanabe Y, Hua R M and Mao J W. 2008. Mesozoic Cu-Mo-W-Sn mineralization and Ridge/ Triple subduction in South China[J]. Acta Geologica Sinica, 82(5): 625-640(in Chinese with English abstract).
- Liu S B, Wang D H, Cheng Y C, Li J K, Ying L J, Xu J X and Zen Z L. 2008. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of muscovite from different types tungsten bearing quartz veins in the Chongyi-Dayu-Shangyou concentrated mineral area in Gannan region and its geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 82(7): 932-940(in Chinese with English abstract).
- Luo J C, Chen H H and Qu W J. 2009. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Shankou molybdenum deposit in Yongding County of Fujian Province and its geological significance[J]. Rock and Mineral Analysis, 28(3): 254-258(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Li X F, Bernd L, Chen W, Lan X M and Wei S L. 2004a. $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating of tin ores and related granite in Furong tin ore-field, Hunan Province, and its geodynamic significance[J]. Mineral Deposits, 23(2): 164-175(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Li X F, Zhang C Q and Mei Y X. 2004a. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in south China[J]. Earth Science Frontiers, 11(1): 45-55(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Zhang Z H, Li X F, Wang Y T, Zhang C Q and Li Y F. 2005. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings[J]. Acta Petrologica Sinica, 21(1): 169-188(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Guo C L and Chen Y C. 2007. Large-scale tungsten-tin mineralization in the Nanling region, south China: Metallogenic ages and corresponding geodynamic processes[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(10): 2329-2338(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Guo C L, Yuan S D, Cheng Y B and Chen Y C. 2008. Spatial-temporal distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their metallogenic settings[J]. Geological Journal of China Universities, 14(4): 510-520(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Cheng Y B and Chen Y C. 2009. Mineral deposit models of Mesozoic ore deposits in South China[J]. Geological Review, 55(3): 347-354(in Chinese with English abstract).
- Meng X J, Hou Z Q, Dong G Y, Liu J G, Qu W J, Yang Z S, Zou L Y, Wan L J and Xiao M Z. 2007. The geological characteristics and Re-Os isotope age of molybdenite of the Xiongjiashan molybdenum deposit, Jiangxi Province[J]. Acta Geologica Sinica, 81(7): 946-951(in Chinese with English abstract).
- Peng J T, Hu R Z, Bi X W, Dai T M, Li Z L, Li X M, Shuang Y, Yuan S D and Liu S R. 2007. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic dating of tin mineralization in Furong deposit of Hunan Province and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 26(3): 237-248(in Chinese with English abstract).
- Smoliar M I, Walker R J and Morgan J W. 1996. Re-Os ages of group IIA, IIIA, IVA and VIB iron meteorites[J]. Science, 271: 1099-1102.
- Stein H J. 2006. Low-rhenium molybdenite by metamorphism in northern Sweden: Recognition, genesis, and global implication[J]. Lithos, 87: 300-327.
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Du A D and Sun Y L. 1997. Highly precise and accurate Re-Os ages from molybdenum from the East Qinling molybdenum belt, Shanxi Province, China[J]. Econ. Geol., 98: 175-180.
- Su H M, Xie G Q, Sun J, Zhang C S and Cheng Y B. 2010. Zircon U-Pb dating for the granite porphyries in Hongshan porphyry copper deposit and Tongkengzhang porphyry molybdenum deposits in East Jiangxi Province and their significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(3): 819-829(in Chinese with English abstract).
- Wang X F, Qi H W, Hu R Z, Qu W J, Peng J T and Bi X W. 2010. Re-Os isotopic chronology of molybdenites from Hongling tungsten deposit of southern Jiangxi Province and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 29(3): 415-426(in Chinese with English abstract).
- Wieser M E. 2006. Atomic weights of the elements 2005(iupac technical report [J]. Pure Appl. Chem., 78(11): 2051-2066.
- Xu J X, Zeng Z L, Li X Q, Liu J S, Chen Z H, Liu S B, Guo C L and Wang C H. 2007. Geological characteristics and mineralization age of the Tongkengzhang molybdenum deposit in Xunwu County, South Jiangxi Province, China[J]. Acta Geologica Sinica, 81(7): 924-928(in Chinese with English abstract).
- Yuan S D, Peng J T, Shen N P, Hu R Z, Li H M, Shen N P and Zhang D L. 2008a. A precise U-Pb age on cassiterite from the Xianghua-

- ling tin-polymetallic deposit (Hunan, South China) [J]. *Miner Deposita*, 43: 375-382.
- Yuan S D, Peng J T, Shen N P, Hu R Z and Dai T M. 2008b. ^{40}Ar - ^{39}Ar isopic dating of the Xianghualing Sn-polymetallic orefield in Southern Hunan, China and its geological implication [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81: 278-286.
- Zhang J C, Zheng H, Wang D H, Chen Z Y, Liu S B and Wang C H. 2008. Geological characteristics and metallogenic epoch of the Xingluokeng tungsten deposit, Fujian Province [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 32(1): 92-97 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J C, Wu M S, Chen Z H, Liu S B, Li L X, Qiu L M, Wu B, Huang A J and Zhu P J. 2009. Geochronologic study on the Jinzhuping molybdenum-polymetallic deposit from Shangrao of Jiangxi Province [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 228-232 (in Chinese with English abstract).
- Zhong L F, Xia B, Liu L W, Li J, Lin X G, Xu L F and Lin L Z. 2010. Metallogenic geochronology of Yuanzhuding Cu-Mo deposit in western Guangdong-eastern Guangxi metallogenic belt and its geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 29(3): 395-404 (in Chinese with English abstract).
- Zhu X Q. 2008. Geological characteristics and prospects of Chagan Mo-polymetallic ore [J]. *West-China Exploration Engineering*, 2: 132-134 (in Chinese).
- ### 附中文参考文献
- 杜安道, 屈文俊, 李超, 杨刚. 2009. 铼-钨同位素定年方法及分析测试技术的进展 [J]. *岩矿测试*, 28(3): 288-304.
- 付建明, 李华芹, 屈文俊, 马丽艳, 杨晓君, 魏君奇, 刘国庆. 2008. 粤北始兴地区石英脉型钨矿成矿时代的确定及其地质意义 [J]. *大地构造与成矿学*, 32(1): 57-62.
- 傅树超. 2005. 福建武夷山坪地钨矿床地质特征及成因探讨 [J]. *福建地质*, 24(3): 125-133.
- 韩胜康. 2008. 福建永定新村钨铅锌多金属矿床地质特征及成因探讨 [J]. *福建地质*, 27(4): 353-360.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 陆建军. 2005. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用 [J]. *矿床地质*, 24(2): 99-107.
- 靳新娣, 李文君, 吴华英, 张连昌, 杜安道. 2010. Re-Os 同位素定年方法进展及 ICP-MS 精确定年测试关键技术 [J]. *岩石学报*, 26(5): 1617-1624.
- 李晶, 孙亚莉, 何克, 冼伟胜, 仇建军, 张旭. 2010. 辉钨矿 Re-Os 同位素定年方法的改进与应用 [J]. *岩石学报*, 26(2): 642-648.
- 李晓峰, Watanabe Yasushi, 华仁民, 毛景文. 2008. 华南地区中生代 Cu-(Mo)-W-Sn 矿床成矿作用与洋岭/转换断层俯冲 [J]. *地质学报*, 82(5): 625-640.
- 刘善宝, 王登红, 陈毓川, 李建康, 应立娟, 许建祥, 曾载淋. 2008. 赣南崇义-大余-上犹矿集区不同类型含矿石英中白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义 [J]. *地质学报*, 82(7): 932-940.
- 罗锦昌, 陈郑辉, 屈文俊. 2009. 福建省永定山口钨矿辉钨矿铼-钨同位素定年及其地质特征 [J]. *岩矿测试*, 28(3): 254-258.
- 毛景文, 李晓峰, Bernd Lehmann, 陈文, 蓝晓明, 魏绍六. 2004a. 湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其地球动力学意义 [J]. *矿床地质*, 23(2): 164-175.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 2004b. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展 [J]. *地学前缘*, 11(1): 45-55.
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 李晓峰, 王义天, 张长青, 李永峰. 2005. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景 [J]. *岩石学报*, 21(1): 169-188.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 陈毓川. 2007. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用: 成矿时限及动力学背景 [J]. *岩石学报*, 23(10): 2329-2338.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 袁顺达, 程彦博, 陈毓川. 2008. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境 [J]. *高校地质学报*, 14(4): 510-526.
- 毛景文, 谢桂青, 程彦博, 陈毓川. 2009. 华南地区中生代主要金属矿床模型 [J]. *地质论评*, 55(3): 347-354.
- 孟祥金, 侯增谦, 董光裕, 刘建光, 屈文俊, 杨竹森, 左力艳, 万禄进, 肖茂章. 2007. 江西小溪熊家山钨矿床特征及其 Re-Os 年龄 [J]. *地质学报*, 81(7): 946-951.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 毕献武, 戴檀谟, 李兆丽, 李晓敏, 双燕, 袁顺达, 刘世荣. 2007. 湖南芙蓉锡矿床 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄及地质意义 [J]. *矿床地质*, 26(3): 237-248.
- 苏慧敏, 谢桂青, 孙嘉, 张承帅, 程彦博. 2010. 江西铜坑钨矿和红山铜矿含矿斑岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义 [J]. *岩石学报*, 26(3): 819-829.
- 王小飞, 戚华文, 胡瑞忠, 屈文俊, 彭建堂, 毕献武. 2010. 粤北红岭钨矿中辉钨矿 Re-Os 同位素年代学及其地质意义 [J]. *矿床地质*, 29(3): 415-626.
- 许建祥, 曾载淋, 李雪琴, 刘俊生, 陈郑辉, 刘善宝, 郭春丽, 王成辉. 2007. 江西寻乌铜坑钨矿床地质特征及其成矿时代 [J]. *地质学报*, 81(7): 924-928.
- 张家菁, 陈郑辉, 王登红, 陈振宇, 刘善宝, 王成辉. 2008. 福建行洛坑大型钨矿的地质特征、成矿时代及其找矿意义 [J]. *大地构造与成矿学*, 32(1): 92-97.
- 张家菁, 吴木森, 陈郑辉, 刘善宝, 李立兴, 邱良明, 吴斌, 黄安杰, 祝平俊. 2009. 江西省上饶县金竹坪钨多金属矿床成矿年代学研究 [J]. *岩矿测试*, 28(3): 228-232.
- 钟立峰, 夏斌, 刘立文, 李杰, 林秀广, 徐力峰, 林良庄. 2010. 粤西-桂东成矿带园珠顶钨矿床成矿年代学及其地质意义 [J]. *矿床地质*, 29(3): 395-404.
- 朱晓琼. 2008. 差干钨多金属矿地质特征与找矿前景 [J]. *西部探矿工程*, 2: 132-134.