编号：0258-7106（2011）06-1075-10

赣中下桐岭钨矿辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义*

李光来[1,2]，华仁民[1**]，黄小娥[2]，韦星林[2]，屈文俊[3]，王旭东[1,4]

（1 南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室，江苏 南京 210093；2 东华理工大学核资源与环境省部共建国家重点实验室培训基地，江西 南昌 330013；3 江西有色地质勘查局，江西 南昌 330001；4 国家地质实验测试中心，北京 100037）

摘 要 下桐岭钨多金属矿床位于赣中武功山地区分宜县，以花岗岩体内外的网脉型钨钼铋矿化为主，同时发育少量大脉型矿体。文章通过对该矿床成矿期形成的 6 件辉钼矿样品进行 Re-Os 同位素定年，获得其等时线年龄为（152.0±3.3）Ma（MSWD=2.4），模式年龄加权平均值为（150.6±1.3）Ma（MSWD=1.4），二者在误差范围内一致。这一年龄与南岭地区钨成矿的爆发期一致，表明下桐岭钨矿是燕山中期华南大规模钨成矿作用的产物。与南岭东段大多数石英脉型钨矿相比，下桐岭钨矿的辉钼矿具有较高的 Re 含量，暗示其受到较多壳-幔相互作用的影响，这可能与它处在“钦杭成矿带”赣中段、邻近萍乡-广丰深大断裂有一定关系。

关键词 地球化学；下桐岭钨矿；网脉型钨钼铋矿；Re-Os 同位素；钦杭成矿带

中图分类号：P618.67 **文献标志码**：A

Re-Os isotopic age of molybdenite from Xiatongling tungsten deposit, central Jiangxi Province, and its geological implications

LI GuangLai[1,2], HUA RenMin[1], HUANG XiaoE[2], WEI XingLin[2], QU WenJun[3] and WANG XuDong[1,4]

(1 State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China; 2 State Key Laboratory Breeding Base of Nuclear Resources and Environment, East China Institute of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China; 3 Jiangxi Bureau of Nonferrous Metal Exploration, Nanchang 330001, Jiangxi, China; 4 National Research Center of Geoanalysis, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract

The Xiatongling tungsten deposit, located in the central part of Jiangxi Province, is characterized by stockwork type W-Mo-Bi mineralization together with a small amount of wolframite-quartz-vein ore. In this study, six molybdenite samples of the ore-forming stage were collected for Re-Os isotope dating to determine the chronology of the ore deposit. The analytical results yield an isochron age of (152.0±3.3) Ma (MSWD=2.4) and weighted average model age of (150.6±1.3) Ma (MSWD=1.4). This ore-forming age is in accordance with most age data of tungsten deposits from the Nanling Mountains and vicinity areas, indicating that the Xiatongling tungsten deposit is the product of the peak period of middle Yanshanian large-scale tungsten metallogenesis in South China. A Comparison with most vein-type tungsten deposits in eastern Nanling shows that molybdenite from the Xiatongling ore deposit has relatively high Re content, which suggests the addition of mantle-derived material, resulting probably from the closeness to Pingxiang-Guangfeng deep fault of the so-called "Qin-Hang metallogenic belt".

* 本文得到国家重点基础研究发展计划项目（2007CB411404）、国家自然科学基金项目（41073035）资助

第一作者简介 李光来，男，1983 年生，博士研究生，矿产普查与勘探专业。Email：liguanglaia886@163.com

** 通讯作者 华仁民，男，1946 年生，矿物学岩石学矿床学专业。Email：huarenmin@nju.edu.cn

收稿日期 2011-01-24；改回日期 2011-09-15。张绮玲编辑。

http://www.kcdz.ac.cn

Key words: geochemistry, Xiatongling tungsten deposit, stockwork type W-Mo-Bi ore, Re-Os isotope dating, Qin-Hang metallogenic belt

下桐岭钨矿(又称为大岗山钨矿)位于江西省分宜县,是赣中武功山地区一个具有代表性的钨矿床。相对于赣南地区的钨矿,前人对它的研究较为薄弱(杨子江,1986;汪帮勤等,2004)。笔者最近对下桐岭钨矿进行了实地考察调查,了解了该矿床的地质特征,并通过辉钼矿 Re-Os 同位素年代学的研究,对该矿床成矿作用的特点进行了一些探讨。

1 地质背景

下桐岭钨矿位于华南加里东褶皱带中段北部,萍乡-绍兴深大断裂南侧。矿区西部为武功山复式背斜,由震旦系地层所组成,核部为加里东期混合岩以及燕山期花岗岩,轴向为北东向,向东倾伏;矿区东部为苑坑(神山)倒转复式背斜,轴向为北东向及北东东向,向北倒转,向西倾伏,矿区即位于武功山复式背斜与苑坑(神山)复式背斜之交汇处。下桐岭钨矿所在的武功山区主要发育上元古界地层。区内褶皱与断裂构造十分发育,主要构造为北东向(图1)。岩浆活动频繁,以酸性岩石分布最为广泛,规模最大,其中加里东期、印支期及燕山期花岗岩都有发育,以燕山期为主;基性、超基性岩石则零星出露。

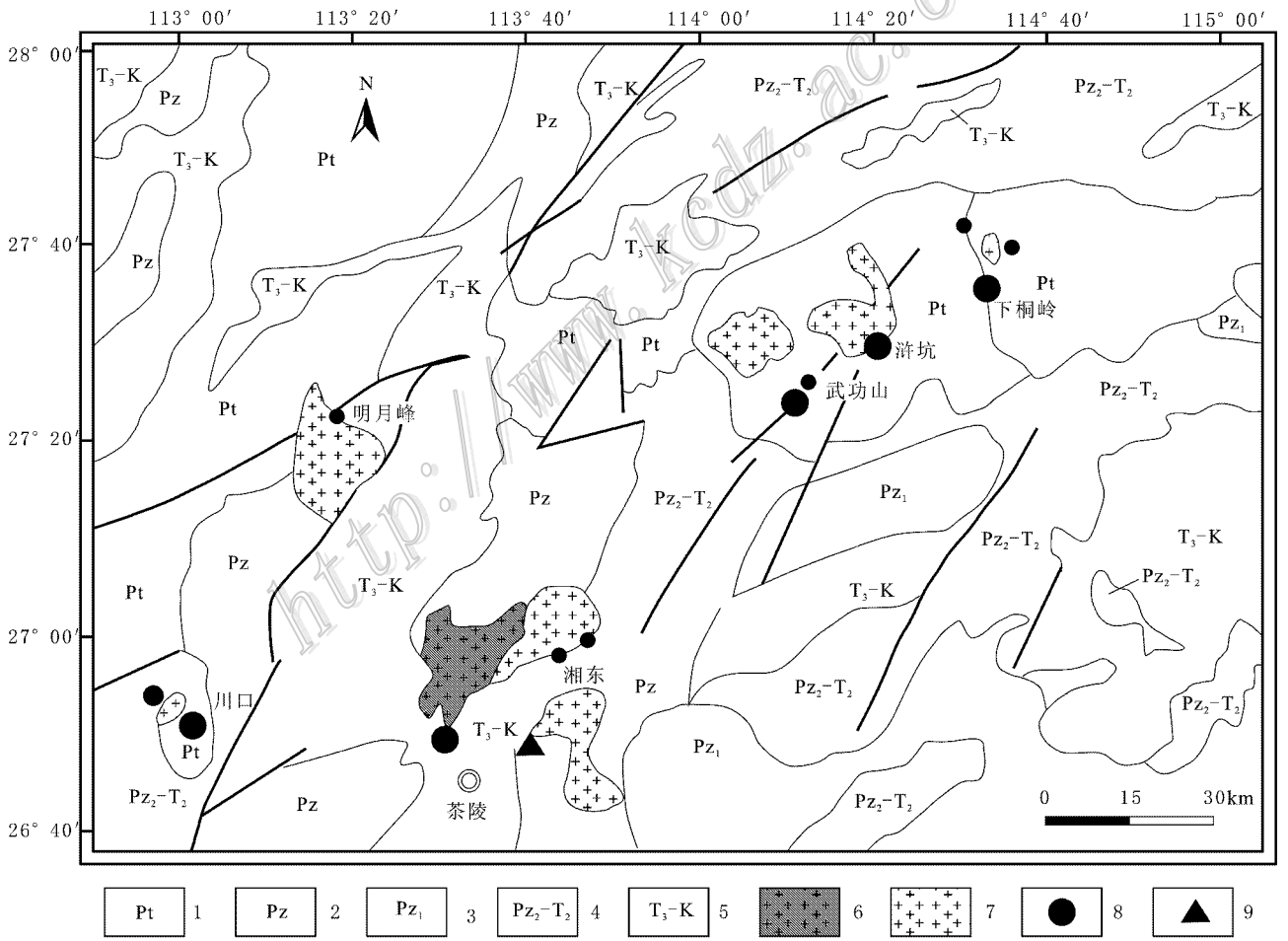


图 1 武功山钨矿集区地质简图(据盛继福,2004)

1—元古界;2—古生界;3—下古生界;4—上古生界—中三叠统;5—上三叠统—白垩系;6—加里东期花岗岩;7—燕山期花岗岩;8—热液型钨矿;9—矽卡岩型钨矿

Fig. 1 Simplified geological map of the Wugongshan tungsten concentration area(after Sheng, 2004)

1—Proterozoic; 2—Paleozoic; 3—Lower Paleozoic; 4—Upper Paleozoic—Middle Triassic; 5—Upper Triassic—Cretaceous; 6—Caledonian granite; 7—Yanshanian granite; 8—Hydrothermal type W deposit; 9—Skarn W deposit

http://www.kdz.ac.cn

矿区内地层以元古界(上震旦统)老虎塘组及第四系残积层及坡积层为主。老虎塘组主要岩性为变质砂岩、千枚岩或片岩；发育有硅化、角岩化、碳酸盐化及矽卡岩化等蚀变。主要构造为一轴向北北东的背斜，该背斜两翼分别倾向东、西。主要断裂与裂隙有北东向、北西向、近东西向(包括北东东向、北西西向)及北北东向 4 组，以北西向、近东西向 2 组最发育，北东组次之。岩浆岩主要为 1 号花岗岩体，与钨矿关系密切，岩体面积约 0.15 km^2，如图 2 所示，侵入于北北东向背斜的轴部；此外矿区内还有花岗斑岩脉、石英斑岩脉、细晶岩脉、伟晶岩及辉绿岩脉等脉岩发育。其中北西向的花岗斑岩岩脉，与 1 号花岗岩体北侧相连，两者为渐变关系，无明显的界线，所以二者可能为同时侵入和贯入的产物。1 号花岗岩体岩相较复杂，粒度变化大，矿体赋存部位主要发育中粒蚀变的花岗岩，通常具花岗变晶结构、似斑状变晶结构等，块状构造，主要由石英(40% 左右)、钾长石(35% 左右)、斜长石(更长石为主，20% 左右)，以及极少量白云母和石榴子石组成。其中的斜长石为半自形，聚片双晶发育，未见环带结构，在单偏光下因蚀变而显示浅灰色；钾长石，半自形，单偏光下表面为褐红色；石英，他形，港湾状，波状消光非常显著；黑云母，较为自形，多已被蚀变；以上矿物除石英之外均在一定程度上遭受了钾长石化、钠长石化以及云英岩化。花岗斑岩的斑晶主要为石英、钾长石以及少量斜长石，斑晶的含量约占 40%，其中钾长石

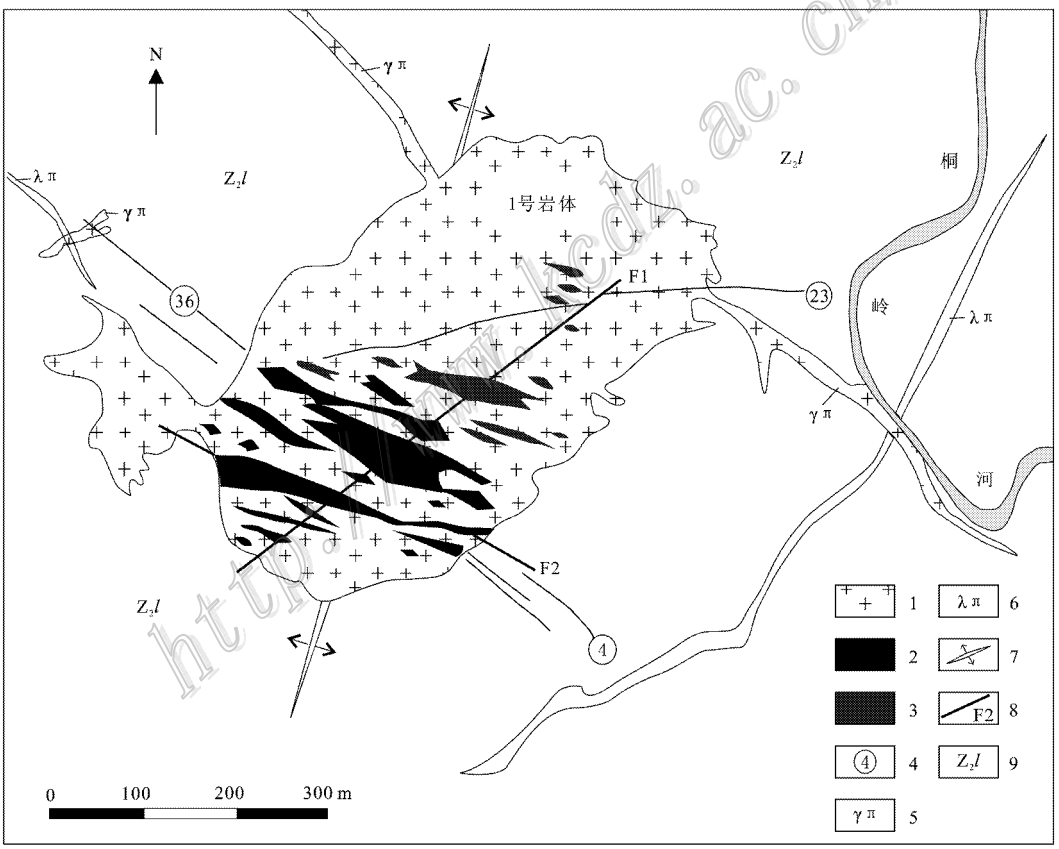


图 2　赣中下桐岭钨矿 1 号岩体地质简图(据江西省有色地质勘查局，2004❶；汪帮勤等，2004)

1—1 号岩体；2—以钨钼铋为主的网脉状矿体；3—以钼铋为主的网脉状矿体；4—大脉型矿体；5—花岗斑岩；6—石英斑岩；7—背斜轴；8—断裂破碎带；9—震旦系老虎塘组

Fig. 2　Geological map of No. 1 granite of the Xiatongling tungsten deposit (modified after Reserves Report of Dagangshan, 2004; Wang et al., 2004)

1—No. 1 rock mass; 2—Stockwork mineralized orebody mainly containing W, Mo and Bi; 3—Stockwork mineralized orebody mainly containing Mo and Bi; 4—Large vein type ore body; 5—Granite porphyry; 6—Quartz porphyry; 7—Anticline axis; 8—Fracture zone; 9—Sinian Laohutang Formation

❶ 江西省有色地质勘查局. 2004. 江西省分宜县大岗山钨矿储量地质报告.

斑晶约占 20%，石英斑晶约占 15%，斜长石约占 5%，基质部分粒度极细，除了少量白云母和少量斜长石之外，大部分由钾长石和石英组成。岩体边部和深部为细粒黑云母、白云母花岗岩，同时为非矿化地段(杨子江，1986)。

下桐岭钨矿是一个多金属矿床，除了钨外，还发育钼、铋、铍矿化。与赣南钨矿区主要产出黑钨矿石英脉型矿体不同，下桐岭的钨矿化主要集中在岩体内，矿床主要由充填于花岗岩体内的网脉型钨钼铋矿体构成主体，其次为石英大脉型、以及充填于岩体东西外接触带变质岩中的网脉型钨钼铋矿体。

在 1 号岩体中，南部主要为钨钼铋为主的网脉状矿体，黑钨矿含量较高，而往北黑钨矿有减少的趋势，辉钼矿和辉铋矿则略有增加，形成了钼铋为主的网脉型矿体(图 2)。石英大脉型矿体也可以分为以钨为主和以钼为主的两种类型。有用矿物为黑钨矿、白钨矿、辉钼矿、辉铋矿、绿柱石等，脉石矿物有石英、正长石、云母、萤石等，矿石具有条带状构造、块状构造、晶洞构造等。脉侧蚀变主要有硅化、云英岩化、钾长石化。

李崇佑等(1981)将下桐岭钨矿的矿化划分为 3 个阶段：早期为辉钼矿化，伴随着强烈的钾化；中期形成辉钼矿、黑钨矿、辉铋矿、绿柱石等，以云英岩化为主；晚期则主要以黄铁矿为主。

2 辉钼矿 Re-Os 年龄测试

2.1 样品特征及测试方法

本文测试样品均采自下桐岭钨矿 1 号岩体中钼矿化较发育的地段，钼矿化多呈浸染状产出，辉钼矿呈细小鳞片状，与白云母、石英、黑钨矿、黄铁矿等伴生，也有的与黑钨矿共生于石英脉的脉壁(图 3)。在双目镜下挑选结晶较好的辉钼矿样品(纯度 98% 以上)用于同位素年龄测试。同位素测试在国家地质实验测试中心铼-锇同位素实验室完成，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，化学处理过程及质谱测试过程详见相关文献(Shirey et al.，1995；杜安道等，2001；Stein et al.，2001；屈文俊等，2003；Du et al.，2004)。

2.2 测试结果

下桐岭钨矿辉钼矿的 Re-Os 同位素测试结果如表 1 所示。6 个辉钼矿样品的 Re 含量比较稳定，$w(Re)$变化于 $3.804\times10^{-6}\sim14.38\times10^{-6}$之间，$w(^{187}Re)$ 为 $2.391\times10^{-6}\sim9.038\times10^{-6}$，$w(^{187}Os)$为$6.031\times10^{-9}\sim22.96\times10^{-9}$。6 个辉钼矿样品的模式年龄非常一致，变化于(148.5±2.1) Ma～(152.3±2.3) Ma 之间；它们的加权平均值(150.6±1.3) Ma，MSWD=1.4(图 4)。取^{187}Re 衰变常数 $1.666\times10^{-11}a^{-1}$(Smoliar et al.，1996)，采用 ISOPLOT 软件(Ludwig，2001)对所获得的数据进行等时线计算，6 件辉钼矿样品测试结果构成的等时线年龄为(152.0±3.3) Ma(MSWD=2.4)(图 5)。等时线年龄与模式年龄在误差范围内高度一致。等时线与 Y 轴的截距为 −0.11±0.29，处在零值附近，说明辉钼矿中基本不存在普通锇，^{187}Os 都是^{187}Re的衰变产物，这符合计算模式年龄的条件，从而说明了所获得的模式年龄是有效的。

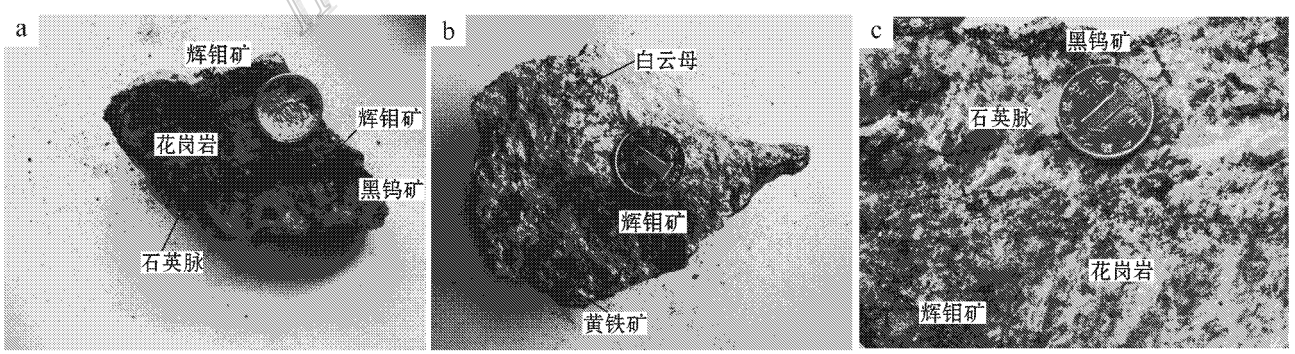


图 3 典型钼矿化矿石手标本照片

a. 脉状钨钼矿石；b. 浸染状钼矿石；c. 微弱钼矿化的脉状矿石

Fig. 3 Representative photos of molybdenite ore

a. Vein-like W-Mo ore; b. Disseminated Mo ore; c. Vein-like ore with weak mineralization of molybdenum

http://www.kcdz.ac.cn

表 1　下铜岭钨矿中辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果

Table 1　Re-Os isotope analyses of molybdenite from the Xiatongling tungsten deposit

原样名	m/g	w(Re)/10^{-6}		w(普 Os)/10^{-9}		w(^{187}Re)/10^{-6}		w(^{187}Os)/10^{-9}		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
Xtl-7	0.10033	14.38	0.13	0.0558	0.0033	9.038	0.082	22.96	0.21	152.3	2.3
Xtl-1	0.10015	3.804	0.029	0.0025	0.0141	2.391	0.018	6.031	0.053	151.2	2.1
Xtl-10	0.10006	6.976	0.059	0.0026	0.0143	4.385	0.037	10.98	0.11	150.1	2.3
Xtl-11	0.10036	11.06	0.09	0.0025	0.0056	6.951	0.055	17.51	0.15	151.0	2.1
Xtl-12	0.10004	6.514	0.051	0.0025	0.0057	4.094	0.032	10.14	0.08	148.5	2.1
Xtl-13	0.10078	12.21	0.10	0.0193	0.0056	7.675	0.062	19.33	0.15	151.0	2.1

注 样品由中国地质科学院国家地质测试中心屈文俊、杜安道测试。

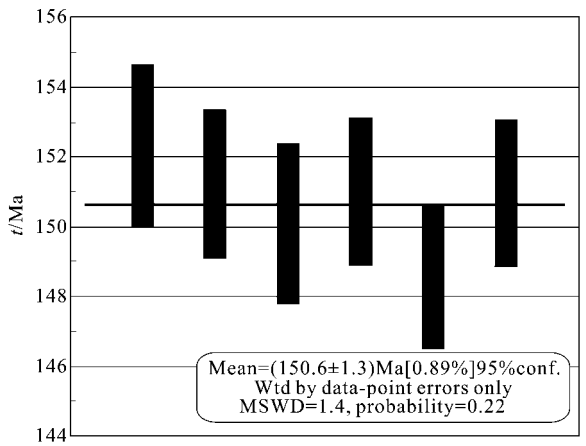


图 4　赣中下桐岭钨矿 1 号岩体中辉钼矿 Re-Os 模式年龄加权平均值

Fig. 4　Re-Os weighted average of model ages of molybdenites from the Xiatongling tunsten deposit

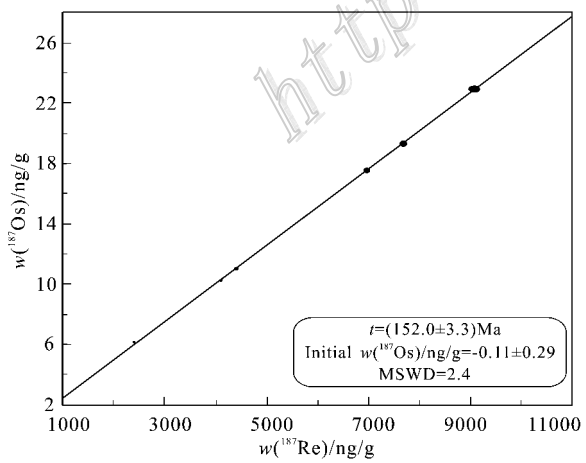


图 5　赣中下桐岭钨矿 1 号岩体中辉钼矿 Re-Os 同位素等时线

Fig. 5　Re-Os isochron of molybdenites from the Xiatongling tungsten deposit

失耦现象主要是由^{187}Os 在辉钼矿中的迁移引起的(Selby et al.，2004)，李超等(2009)研究认为 Os 迁移的根本原因在于辉钼矿中 Os 是高度不相容元素，辉钼矿的晶格相对排斥 Os，在放射性成因 Os 形成之后，趋向于从中心向边缘迁移，导致大颗粒样品边缘的模式年龄偏大，而中心的模式年龄偏小，对于与其他硫化物(如黄铜矿)接触的辉钼矿样品来说，Os 还可能从辉钼矿中迁移出进入其他硫化物的晶格，而使得辉钼矿的年龄偏小，其他硫化物的年龄偏大。对于 Re 含量极少的与钨矿相关的大颗粒辉钼矿来说，失耦现象的影响尤为显著，为了尽量降低该影响，应尽量选取完整的颗粒样品，多取样，并尽量细碎(杜安道等，2007)。本文测试所用的样品，一来颗粒较为细小，二者伴生的硫化物相对比较少，并经长时间玛瑙钵碾磨(实际粒度远小于 200 目)。失耦现象的影响得到了最大程度的控制。

3　讨　论

3.1　赣中地区的钨成矿作用

本文获得的下桐岭钨矿的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为(152.0±3.3) Ma，与模式年龄的加权平均值(150.6±1.3) Ma 在误差范围内高度一致，因此(152.0±3.3) Ma 可以代表该矿床的形成年龄。

与下桐岭钨矿同处于赣中地区的重要钨矿还有安福县的浒坑钨矿和丰城县的徐山钨(铜)矿。浒坑钨矿的辉钼矿 Re-Os 成矿年龄为(150.2±2.2) Ma(刘珺等，2008)，徐山钨(铜)矿矿石的单颗粒白云母 Rb-Sr 等时线年龄为(147.1±3.4) Ma(李光来等，2011)，都与本文所测的下桐岭钨矿成矿年龄(152.0±3.3) Ma 基本一致，说明 150 Ma 左右为赣中地区钨的成矿高峰期，这与南岭东段石英脉型钨矿的成

表 2 南岭东段及赣中地区若干石英脉型黑钨矿矿床辉钼矿的 Re-Os 年龄及 Re 含量比较

Table 2 Re-Os ages and Re content of molybdenites from several quartz vein tungsten deposits in eastern Nanling and central Jiangxi

产地	矿床名称	成因类型	$w(Re)/10^{-6}$ 范围	$w(Re)/10^{-6}$ 平均值(样品数)	年龄值/Ma	数据来源
赣南	淘锡坑	石英脉型	0.005～0.013	0.009(7)	154.4±3.8	陈郑辉等,2006
赣南	摇篮寨	石英脉型	0.297～0.788	0.055(4)	155.8±2.8	丰成友等,2007a
赣南	樟斗	石英脉型	0.207～0.523	0.359(6)	149.1±7.1	丰成友等,2007b
赣南	茅坪	石英脉型	0.080～0.732	0.457(8)	158.2～141.4	曾载淋等,2009
赣南	牛岭	石英脉型	0.029～13.11	2.831(5)	154.9±4.1	丰成友等,2007b
赣南	木梓园	石英脉型	0.032～22.27	3.68(8)	151. 1±8. 5	张文兰等,2009
粤北	师姑山	石英脉型	0.577～1.495	1.098(6)	154. 2±2. 7	付建明等,2008
粤北	石人嶂	石英脉型	0.484～5.039	2.276(8)	159.1±2.2	付建明等,2008
粤北	红岭	石英脉型	1.304～14.574	4.205(8)	159.1 ± 1.5	王小飞等,2010
闽西	行洛坑	石英脉型	2.851～4.292	3.919(5)	156.3 ±4.8	张家菁等,2008
赣中	浒坑	石英脉型	2.851～7.454	5.180(6)	150.2 ±2.2	刘 珺等,2008
赣中	下桐岭	石英脉型	3.804～14.38	9.157(6)	152±3.3	本文

注:牛岭钨矿在统计过程中剔除了一个稍显异常的数据点。

矿时代也是一致的(见表 2)。近年来南岭及邻区的大量钨锡成矿年龄测试数据显示,该地区大规模钨成矿作用的高峰期在燕山中期的 160～150 Ma(华仁民等,2010)。下桐岭和浒坑、徐山钨矿虽然不在南岭的范围内,但也是这一次大规模钨成矿作用高峰期的产物。

3.2 辉钼矿样品的 Re 含量特征及其地质意义

Re-Os 同位素体系还可用来追索成矿物质来源。谢智等(1998)认为地壳岩石相对地幔岩石富集 Re,^{187}Re 的就地衰变使岩石中 ^{187}Os 的含量增加,因此地壳岩石的 $^{187}Os/^{186}Os$ 比值比地幔岩石高。在地壳中的 $^{187}Os/^{186}Os$ 比值约为 10～11,而地幔物质约为 1.05～1.06,后者与球粒陨石的值相同;因此 Os 同位素组成是识别壳、幔来源物质的良好示踪剂。

至于辉钼矿中的 Re 含量的指示意义,前人研究较少,因为"不同成因类型矿床的辉钼矿中的 Re 含量不仅同矿石建造、矿物共生组合、成矿介质的物理化学环境有关,而且也显示了区域地球化学的特征,决定于这个地区特定的地质发展历史"(刘英俊等,1984)。毛景文等(1999)通过对大量金属矿床中辉钼矿的对比研究发现,不同物质来源的金属矿床伴生的辉钼矿 Re 的含量有所不同,他们认为:成矿过程中深源物质贡献的越多,辉钼矿中的 Re 含量越高,从幔源、壳幔混源到壳源,辉钼矿的 Re 含量各递减一个数量级;例如甘肃小柳沟钨矿的辉钼矿 $w(Re)$ 为 0.8×10^{-6}～8.7×10^{-6},平均 3.7×10^{-6},文中分析认为该矿床成矿物质为壳幔混源,总体上接近单一的壳源。

本文获得的下桐岭钨矿辉钼矿 $w(Re)$ 为 3.804×10^{-6}～14.38×10^{-6},平均 9.157×10^{-6},与小柳沟钨矿相似,但明显偏高,按照毛景文等(1999)总结的标准来判别,显示下桐岭钨矿的主要成矿物质为壳幔混源,且更偏离单一的壳源。值得注意的是,与下桐岭钨矿同处于赣中武功山地区的浒坑钨矿,不仅成矿年龄与下桐岭钨矿相当接近,而且辉钼矿的 $w(Re)$ 为 2.851×10^{-6}～7.454×10^{-6},平均 5.180×10^{-6}(刘珺等,2008),也反映出成矿物质为壳幔混源的特征。

然而,笔者收集到的众多产于南岭东段(赣南、粤北、闽西)的石英脉型黑钨矿矿床的辉钼矿 Re 含量却比赣中地区下桐岭、浒坑钨矿的明显偏低,$w(Re)$ 平均值的范围在 0.009×10^{-6}～4.205×10^{-6}(见表 2)。对于这一差异的原因,笔者的解释是:南岭东段的赣南等地区位于加里东褶皱带的隆起区,地壳的成熟度高,钨的成矿作用过程中也几乎没有幔源物质的参与(华仁民等,2010);而下桐岭、浒坑等钨矿位于区域性的萍乡-绍兴深大断裂附近,因此在成矿及相关的成岩过程中可能有较多的深部物质参与。

3.3 "钦杭成矿带"及其钨成矿作用

近年来,扬子与华夏这两大陆块结合带的构造-沉积-岩浆-成矿作用正愈来愈受到关注和重视。一般认为,扬子陆块和华夏陆块大致沿绍兴-萍乡-钦州一线拼贴形成华南陆块,该拼贴带被称为钦杭结合

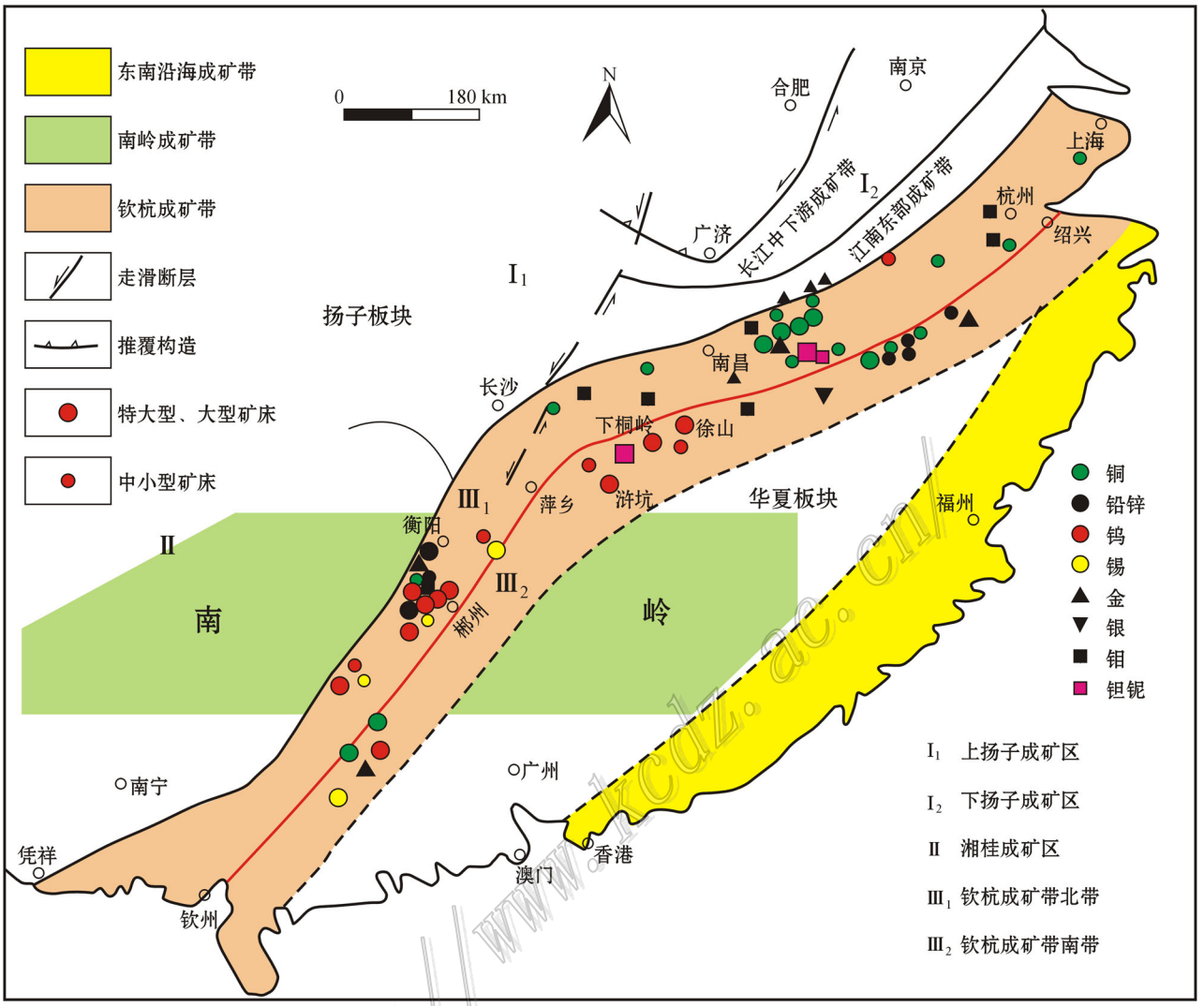


图 6　钦杭成矿带内生金属矿床分布略图(据杨明桂等,1997 修改)

Fig. 6　Distribution of ore deposits in the Qin-Hang metallogenic belt (modified after Yang et al., 1997)

带(杨明桂等,1994;1997;余达淦等,2006;胡肇荣等,2009),由于该带发育大量的超大型及大、中型矿床,已经成为中国最为重要的矿产资源基地之一,因而被称为"钦杭成矿带"(图 6),并受到地质学界越来越多的关注(杨明桂等,1997;2009;付建明等,2009)。"钦杭成矿带"的南西段(湘东南、桂东北)分布着柿竹园、芙蓉、锡田、瑶岗仙、黄沙坪、宝山、水口山等一系列大型-超大型锡钨矿床、铜铅锌矿床;该带的中东段则发育有德兴、永平、东乡、金山、银山、冷水坑等大型-超大型铜铅锌金银矿床以及 414、葛源等钽铌矿床,中国最大的火山岩型铀矿田(相山铀矿田)也发育于此。

与南岭成矿带不同的是,"钦杭成矿带"发育更多的与 A 型花岗岩、I 型花岗岩关系密切的矿床,这无疑反映出沿着该地带的壳-幔相互作用要更为显著和强烈。而赣中地区恰处于钦杭结合带的中-东段,这可能也是该地区的钨矿与赣南等地钨矿在成矿物质来源上显示出某些差异的原因之一。

4　结　论

通过对下桐岭钨矿辉钼矿 Re-Os 同位素年代学以及辉钼矿中 Re 含量的对比研究,得出以下主要认识:

(1) 下桐岭钨矿 1 号含矿岩体中矿体的形成年龄为(152.0±3.3) Ma,是华南地区燕山中期钨成矿

爆发期(150～160 Ma)的产物。

(2) 相对于南岭地区尤其是赣南的大多数石英脉型钨矿,赣中地区的下桐岭及浒坑等钨矿的辉钼矿具有更高的 Re 含量,可能指示了由于邻近萍乡-广丰深大断裂造成在成岩成矿过程中有较多深源物质的参与。

志 谢 大岗山钨矿的领导和同行在作者野外考察过程中给予了热情帮助,审稿人提出的建设性建议对作者今后的工作有很大的启发,在此向他们致以诚挚的谢意。

References

Chen Z H, Wang D H, Qu W J, Chen Y C, Wang P A, Xu J X, Zhang J J and Xu M L. 2006. Geological characteristics and mineralization age of the Taoxikeng tungsten deposit in Chongyi County, southern Jiangxi Province, China[J]. Geological Bulletin of China, 25(4): 496-501(in Chinese with English abstract).

Du A D, Zhao D M, Wang S X, Sun D Z and Liu D Y. 2001. Precise Re-Os dating for molybdenite by IDNTIMS with Carius tube sample preparation[J]. Rock and Mineral Analysis, 20(4): 247-252 (in Chinese with English abstract).

Du A D, Wu S Q, Sun D Z, Wang S X, Qu W J, Markey R, Stein H, Morgan J and Malinovskiy D. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC [J]. Geostandard and Geoanalytical Research, 28(1): 41-52.

Du A D, Qu W J, Wang D H, Li H M, Feng C Y, Liu H, Ren J and Zeng F G. 2007. Subgrain-scale decoupling of Re and Os with in molybdenite[J]. Mineral Deposits, 26(5): 572-580(in Chinese-with English abstract).

Feng C Y, Feng Y D, Xu J X, Zeng Z L, She H Q, Zhang D Q, Qu W J and Du A D. 2007a. Isotope chronological evidence for Upper Jurassic petrogenesis and mineralization of altered granite-type tungsten deposits in the Zhangtiantang area, southern Jiangxi[J]. Chinese Geology, 34(4): 642-650(in Chinese with English abstract).

Feng C Y, Xu J X, Zeng Z L, Zhang D Q, Qu W J, She H Q, Li J W, Li D X, Du A D and Dong Y J. 2007b. Zircon SHRIMP U-Pb and molybdenite Re-Os dating in Tianmenshan-Hongtaoling tungsten-tin orefield, southern Jiangxi Province, China, and its geological implication[J]. Acta Geologica Sinica, 81(7): 952-963(in Chinese with English abstract).

Fu J M, Li H Q, Qu W J, 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 J M, Xu D M, Chen X Q, Ma L Y and Cheng S B. 2009. Geological characteristics and metallogenic regularities of Qinzhou-Hangzhou paleo-plate juncture (southwest part)[J]. Acta Mineralogical Sinica, Supplement: 423(in Chinese).

Hu Z R and Deng G H. 2009. Tectonic characteristics of the Qinzhou-Hangzhou joint belt[J]. Journal of East China Institute of Technology, 32(2): 114-122(in Chinese with English abstract).

Hua R M, Li G L, Zhang W L, Hu D Q, Chen P R, Chen W F and Wang X D. 2010. A tentative discussion on differences between large-scale tungsten and tin mineralizations in South China[J]. Mineral Deposits, 29(1): 9-23(in Chinese with English abstract).

Li C, Qu W J and Du A D. 2009. Decoupling of Re and Os and migration model of ^{187}Os in coarse-grained molybdenite[J]. Mineral Deposits, 28(5): 707- 712(in Chinese with English abstract).

Li C Y and Xu J. 1981. Genetic classification of tungsten deposits of Jiangxi and its neighbouring provinces[A]. In: Yu H Z. Symposium on tungsten geology Jiangxi, China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 55-67(in Chinese).

Li G L, Hua R M, Wei X L, Wang X D and Huang X E. 2011. Rb-Sr isochron age of single-grain muscovite in Xushan W-Cu deposit, central Jiangxi, and its geological significance[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosiences, 36(2): 282-288(in Chinese with English abstract).

Liu J, Mao J W, Ye H S, Yang G Q and Zhang W. 2008. Re-Os dating of molybdenite from the Hukeng tungsten deposit in the Wugongshan area, Jiangxi Province, and its geological implications[J]. Acta Geologica Sinica, 82(11): 1576-1584 (in Chinese with English abstract).

Liu Y J, Cao L M, Li Z l, Wang H N, Chu T Q and Zhang J R. 1984. Geochemistry of elements[M]. Beijing: Science Press. 1-548(in Chinese).

Ludwig K R. 2001. ISOPLOT/Ex. Version 2. 49. A Geochronological toolkit for Microsoft Excel[J]. Berkeley Geochronology Center, 1-20.

Mao J W, Zhang Z H, Zhang Z C, Yang J M, Wang Z L and Du A D. 1999. Re-Os age dating of molybdenites in the Xiaoliugou tungsten deposit in the northern Qilian Mountains and its significance[J]. Geological Review, 45(4): 412-417(in Chinese with English abstract).

Qu W J and Du A D. 2003. Highly precise Re-Os dating of molybdenite-by ICP-MS with Carius tube sample digestion[J]. Rock and Mineral Analysis, 22(4): 254-257(in Chinese with English abstract).

Selby D and Creaser R A. 2004. Macroscale NTIMS and microscale LA-MC-ICP-MS Re-Os isotopic analysis of molybdenite: Testing spa-

http://www.kcdz.ac.cn

tial rest rictions for reliable Re-Os age det erminat ions, an d implications for the decoupling of Re and Os with in molybdenite [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 68(19): 3897-3908.

Smoliar M L, 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.

Sheng J F. 2004. Tungsten deposit[A]. In: Zhao Y M, Wu L S, Bai G, et al. Metallogenic regularity of main metal deposits in China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 147p(in Chinese).

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

Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Hannah J L and Schersten A. 2001. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: How and why it works[J]. Terra Nova, 13: 479-486.

Wang B Q, Huang D T, Li X Z and Wu Z R. 2004. Metallogenesis and geological characteristics of Xiatongling tungsten polymetallic deposit[J]. China Tungsten Industry, 19(6): 25-29 (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 Guangdong Province and its geological significance [J]. Mineral Deposits, 29(3): 415-426(in Chinese with English abstract).

Xie Z and Chen J F. 1998. Application of Re-Os isotopic systematics in the study of ore deposit[J]. Geology-Geochemistry, 26(4): 79-85 (in Chinese with English abstract).

Yang M G and Wang K. 1994. The geological tectonic framework and the crustal evolution in Jiangxi Province[J]. Geology of Jiangxi, 8(4): 239-251(in Chinese with English abstract).

Yang M G and Mei Y W. 1997. Characteristics of geology and metallization in the Qinzhou-Hangzhou paleoplate juncture[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 3: 52-59 (in Chinese with English abstract).

Yang M G, Huang S B, Lou F S, Tang W X and Mao S B. 2009. Lithospheric structure and large-scale metallogenic process in Southeast China continental area[J]. Geology in China, 36(3): 528-543 (in Chinese with English abstract).

Yang Z J. 1986. Metallogenetic characteristics of the Xiatongling tungsten deposit[J]. Geological Review, 32(1): 50-58(in Chinese with English abstract).

Yu D G, Guan T Y, Wu J H, Wang Y and Wu R G. 2006. The review of new development of basic geology research in Jiangxi Province [J]. Journal of East China Institute of Technology, S1: 1-11 (in Chinese with English abstract).

Zeng Z L, Zhang Y Z, Zhu P X, Chen Z H, Wang C H and Qu W J. 2009. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Maoping tungsten-tin deposit in Chongyi County of southern Jiangxi Province and its geological significance[J]. Rock and Mineral Analysis, 28(3): 209-214(in Chinese with English abstract).

Zhang J J, Chen Z H, Wang D H, Chen Z Y, Liu B S 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 W L, Hua R M, Wang R C, Li H M, Qu W J and Ji J Q. 2009. New dating of the Piaotang granite and related tungsten mineralizationin southern Jiangxi[J]. Acta Geologica Sinica, 83(5): 659-670 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

陈郑辉,王登红,屈文俊,陈毓川,王平安,许建祥,张家菁,许敏林. 2006. 赣南崇义地区淘锡坑钨矿的地质特征与成矿时代[J]. 地质通报,25(4): 496-501.

杜安道,赵敦敏,王淑贤,孙德忠,刘敦一. 2001. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-锇同位素地质年龄[J]. 岩矿测试,20(4): 247-252.

杜安道,屈文俊,王登红,李厚民,丰成友,刘 华,任 静,曾法刚. 2007. 辉钼矿亚晶粒范围内 Re 和^{187}Os 的失耦现象[J]. 矿床地质,26(5): 572-580.

丰成友,丰耀东,许建祥,曾载淋,佘宏全,张德全,屈文俊,杜安道. 2007a. 赣南张天堂地区岩体型钨矿晚侏罗世成岩成矿的同位素年代学证据[J]. 中国地质,34(4): 642-650.

丰成友,许建祥,曾载淋,张德全,屈文俊,佘宏全,李进文,李大新,杜安道,董英君. 2007b. 赣南天门山-红桃岭钨锡矿田成岩成矿时代精细测定及其地质意义[J]. 地质学报,81(7): 952-963.

付建明,李华芹,屈文俊,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.

付建明,徐德明,陈希清,马丽艳,程顺波. 2009. 钦—杭成矿带(南西段)特征与成矿规律[J]. 矿物学报,增刊: 423

胡肇荣,邓国辉. 2009. 钦-杭接合带之构造特征[J]. 东华理工大学学报,32(2): 114-122.

华仁民,李光来,张文兰,胡东泉,陈培荣,陈卫锋,王旭东. 2010. 华南钨和锡大规模成矿作用的差异及其原因初探[J]. 矿床地质,29(1): 9-23.

李 超,曲文俊,杜安道. 2009. 大颗粒辉钼矿 Re-Os 同位素失耦现象及^{187}Os 迁移模式研究[J]. 矿床地质,28(5): 707-712.

李崇佑,许 静. 1981. 江西及邻省钨矿成因类型[A]. 见:余鸿彰. 钨矿地质讨论会论文集[M]. 北京:地质出版社. 55-67.

李光来,华仁民,韦星林,王旭东,黄小娥. 2011. 江西中部徐山钨铜矿床单颗粒白云母 Rb-Sr 等时线定年及其地质意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报,36(2): 282-288.

刘 瑶,毛景文,叶会寿,杨国强,章 伟. 2008. 江西武功山地区浒

http://www.kcdz.ac.cn/

坑钨矿床辉钼矿的 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地质学报,82(11):1576-1584.

刘英俊,曹励明,李兆麟,王鹤年,储同庆,张景荣. 1984. 元素地球化学[M]. 北京:科学出版社. 1-548.

毛景文,张作衡,张招崇,杨建民,王志良,杜安道. 1999. 北祁连山小柳沟钨矿床中辉钼矿 Re-Os 年龄测定及其意义[J]. 地质论评,45(4):412-417.

屈文俊,杜安道. 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-锇地质年龄[J]. 岩矿测试,22(4):254-262.

盛继福. 2004. 钨矿床[A]. 见:赵一鸣,吴良士,白 鸽,等著. 中国主要金属矿床成矿规律[M]. 北京:地质出版社. 147 页.

汪帮勤,黄定堂,李新芝,吴忠儒. 2004. 下桐岭钨多金属矿床地质特征及成矿作用[J]. 中国钨业,19(6):25-29.

王小飞,戚华文,胡瑞忠,屈文俊,彭建堂,毕献武. 2010. 粤北红岭钨矿中辉钼矿 Re-Os 同位素年代学及其地质意义[J]. 矿床地质,29(3):415-426.

谢 智,陈江峰. 1998. Re-Os 同位素体系在金属矿床研究中的应用[J]. 地质地球化学,26(4):79-85.

杨明桂,王 昆. 1994. 江西省地质构造格架及地壳演化[J]. 江西地质,8(4):239-251.

杨明桂,梅勇文. 1997. 钦-杭古板块结合带与成矿带的主要特征[J]. 华南地质与矿产,3:52-59.

杨明桂,黄水保,楼法生,唐维新,毛素斌. 2009. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用[J]. 中国地质,36(3):528-543.

杨子江. 1986. 下桐岭钨矿床地质特征的探讨[J]. 地质论评,32(1):50-58.

余达淦,管太阳,巫建华,王 勇,吴仁贵. 2006. 江西基础地质研究新进展述评[J]. 东华理工学院学报,增刊:1-11.

曾载淋,张永忠,朱祥培,陈郑辉,王成辉,屈文俊. 2009. 赣南崇义地区茅坪钨锡矿床铼-锇同位素定年及其地质意义[J]. 岩矿测试,28(3):209-214.

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.

张文兰,华仁民,王汝成,李惠民,屈文俊,季建清. 2009. 赣南漂塘钨矿花岗岩成岩年龄与成矿年龄的精确测定[J]. 地质学报,83(5):659-670.

http://www.kcdz.ac.cn/