

doi:10.3969/j.issn.1007-3701.2015.04.006

江西雅山和下桐岭钨矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义

易先奎¹, 李晓峰², 王翠云³, 谢贤超¹, 张桃然¹, 胡倩¹

YI Xian-Kui¹, LI Xiao-Feng², WANG Cui-Yun³, XIE Xian-Chao¹, ZHANG Tao-Ran¹, HU Qian¹

(1. 江西有色地质勘查三队, 江西 新余 338000; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;
3. 广西区域地质调查研究院, 广西 桂林 541003)

(1. Team Three of Jiangxi Nonferrous Metal Geological Exploration, Xinyu 338000, Jiangxi, China; 2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science, Beijing 100029, China; 3. Guangxi Institute of Regional Geological Survey, Guilin 541003, Guangxi, China)

摘要:雅山钨矿(W-Mo)和下桐岭钨钼铋铍矿(W-Mo-Bi-Be)是江西武功山地区典型的石英脉型钨矿床,二者的成矿元素组合略有差异,但二者的成矿时代是否存在差异尚不十分清楚。为了确定二者成矿年代,通过选取雅山钨矿和下桐岭钨矿石英脉中与黑钨矿伴生的辉钼矿进行了 Re-Os 同位素定年,获得了雅山钨矿 3 个辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄和模式加权平均年龄分别为 156.0 ± 2.8 Ma 和 156.0 ± 2.4 Ma; 下桐岭钨矿 4 个辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄和模式加权平均年龄分别为 156.4 ± 8.7 Ma 和 156.1 ± 2.1 Ma; 在误差范围内,说明二者的成矿时代基本一致。研究表明,雅山钨矿和下桐岭钨矿床与武功山地区游坑钨矿成矿年代一致,与华南地区大规模钨锡成矿作用的时代基本一致(170~150 Ma),均形成于晚侏罗世。

关键词:雅山钨矿床;下桐岭钨钼矿床;石英脉型钨矿床;Re-Os 同位素;江西武功山地区

中图分类号:P618.67

文献标识码:A

文章编号:1007-3701(2015)04-384-07

Yi X K, Li X F, Wang C Y, Xie X C, Zhang T R and Hu Q. Re-Os isotopic ages of molybdenite from Yashan and Xiatongling Tungsten deposit and its geological implications, Jiangxi Province, South China. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2015, 31(4):384-390.

Abstract: The Yashan W-Mo and Xiatongling W-Mo-Bi-Be quartz-vein deposit is located in Wugongshan area, Jiangxi Province, South China. Three molybdenite samples and four molybdenite samples associated with wolframite in quartz vein in Yashan deposit and Xiatongling deposit, respectively, were collected for Re-Os isotope dating. The results show that the samples from Yashan yield isochron age of 156.0 ± 2.8 Ma and weighted average model age of 156.0 ± 2.4 Ma, the samples from Xiatongling deposit yield isochron age of 156.4 ± 8.7 Ma and weighted average model age of 156.1 ± 2.1 Ma. These ages data indicated that the Yashan and Xiatongling deposit formed in Late Jurassic, similar to Hukeng tungsten deposit in the area. Although the Yashan and Xiatongling deposit have different metal association, they formed almost synchronous in the Late Jurassic lithospheric extensional tectonic setting.

Key words: Yashan deposit; Xiatongling deposit; quartz-vein type ore-body; Re-Os isotope dating; Jiangxi, South China

收稿日期:2015-09-02;修回日期:2015-11-21.

基金项目:国家自然科学基金项目(41272112)和国家基础研究发展规划项目(2012CB416705).

第一作者:易先奎(1971—),男,高级工程师,主要从事地质矿产勘查与找矿工作,E-mail: 2462530499@qq.com.

雅山钨矿和下桐岭钨钼铋矿位于江西武功山地区,与浒坑大型钨矿等同为赣中武功山钨、钼、铋多金属成矿带的重要组成部分,属于石英脉型钨矿。雅山钨矿和下桐岭钨矿分别与雅山岩体和下桐岭岩体有关,前人虽然对雅山岩体的成岩时代进行了研究(锆石 U-Pb 年龄 $161.0 \pm 1.0 \text{ Ma}^{[1]}$),但是雅山钨矿成矿时代还不十分清楚,而且它与下桐岭钨矿是否是同时期的产物,一直受到人们的关注。由于矿山开放程度较低和开发阶段等因素的制约,对其研究较为薄弱,尤其缺少相关成矿的精细年龄数据。特别是近年来,通过对该地区的雅山钨矿的深边部进行勘查,使其由一个小型钨矿床扩大为一个中型钨矿床,越显得其成矿时代研究的重要性。为了精确厘定雅山钨矿的成矿时代及其与下桐岭钨矿的时空关系,本文对雅山钨矿床和下桐岭钨钼矿含钨石英脉中的辉钼矿样品进行了 Re-Os 同位素年代学研究,并结合前人研究资料,初步探讨了这两个矿床的成矿时代及其成矿动力学背景。

1 地质背景

江西武功山地区位于华南加里东褶皱带中段北缘,新元古代华南与扬子两个大陆板块的碰撞缝合带即萍乡-绍兴深大断裂南侧^[2],是一个典型的中生代花岗岩穹隆伸展构造^[3-5]。它主要由花岗质变质核杂岩、大型拆离断层和南北两侧盆地构造所组成^[6]。其形成与陆内板块碰撞,中生代多次岩浆侵位有关。

区内主要出露上元古界,由老到新为神山组、上施组、下坊组、老虎塘组和里坑组。褶皱构造为武功山复式背斜。主要断裂方向为北东向,次为北东东向及北西向。岩浆岩以燕山期岩浆活动最为强烈,规模最大,分布广,主要为酸性花岗岩,基性、超基性岩零星出露。武功山、明月山、浒坑、下桐岭、雅山等钨矿床以及宜春钽(铌)-锂型矿床(414 矿)均产于燕山早期花岗岩体中。说明燕山早期花岗岩是

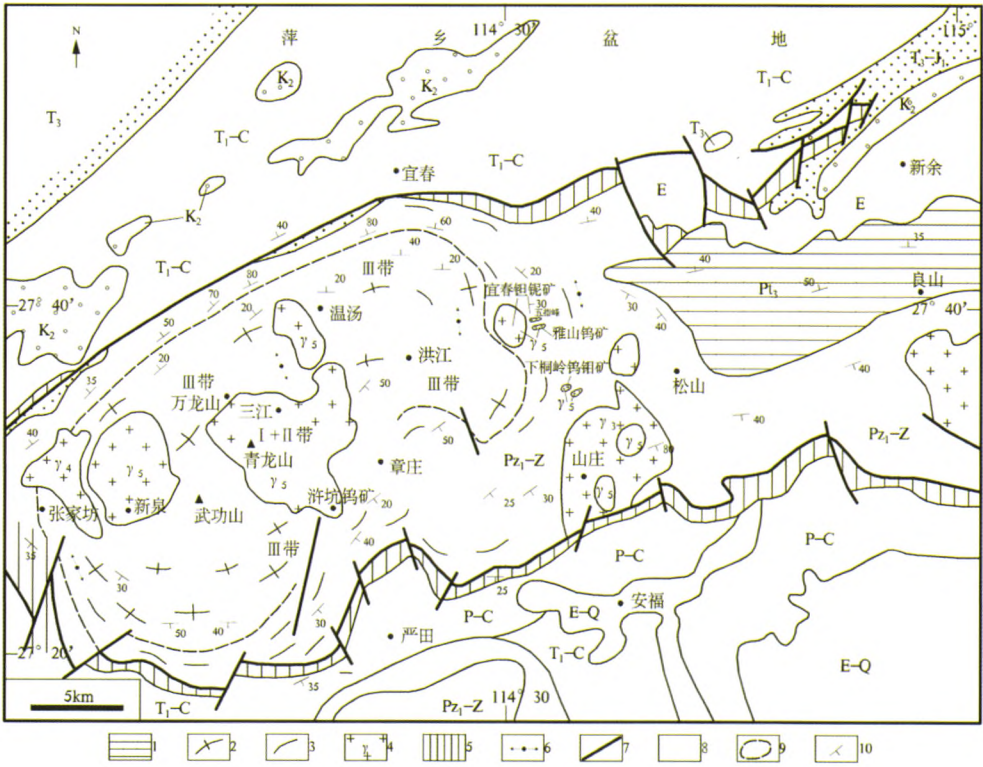


图1 武功山地区地质简图(据舒良树等,1998^[6]修改)

Fig. 1 Simplified geological map of Wugongshan area

1-片岩;2-片麻岩、花岗片麻岩;3-板岩、千枚岩;4-花岗岩;5-上泥盆统石英岩、石英砂岩;Q-第四系冲积层;E-下第三系红层;K₂-上白垩统红层;T₃-J₁-上三叠统-下侏罗统碎屑岩;T₁-C-下三叠统沉积岩-石炭系;P-C-二叠系-石炭系碳酸盐岩;Z-P_z-变质变形的震旦系-下古生界岩石;P₁-Z-上元古界神山群板岩、千枚岩、片岩;γ₁-燕山期花岗岩类;γ₂-印支期花岗岩类;γ₃-加里东期花岗岩类。

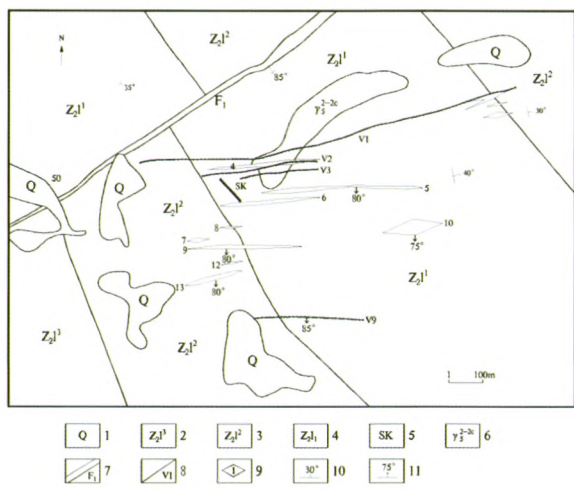


图2 雅山钨矿地质略图

Fig. 2 Simplified geological map of Yashan tungsten deposit

1-第四系;2-震旦系松山群老虎塘组上段;3-震旦系松山群老虎塘组中段;4-震旦系松山群老虎塘组下段;5-砂卡岩;6-燕山早期第二阶段第三次侵入细粒花岗岩;7-破碎带及编号;8-石英矿脉及编号;9-网脉型石英矿化带或矿化标志带及编号;10-地层产状;11-矿体产状。

该地区钨、钼、铋、钽、铌等矿床的成矿有利岩体。

2 矿床地质特征

2.1 雅山钨矿地质特征

雅山钨矿位于武功山复背斜向东倾伏与苑坑(神山)倒转复式背斜向西倾伏之交汇处的雅山花岗岩体内(图 1)。

矿区内出露元古界震旦系上统老虎塘组一套复理石建造浅变质的泥砂质岩系(图 2),主要由砂泥质互层或夹层的岩石所组成,局部夹有碳酸盐层

及炭质层,中上部夹有碳酸盐透镜体。总体产状为倾向北东东或南西西,倾角 20°~40°。

断裂构造发育,以 F₁ 断层破碎带为主的断裂面两侧派生的平行及羽状分支的次级裂隙,组成以走向近东西向为主、北东向次之的断裂带。

雅山钨矿主要与雅山岩体侵位有关。雅山岩体主要岩石类型为细粒二长花岗岩(γ_5^{2-26}),侵位于武功山变质核杂岩体中,其时空分布与变质核杂岩的形成关系密切。岩体呈岩瘤状产出,面积 0.03 km²。沿北东东向山沟出露,被变质岩覆盖的隐伏部分,顶面呈浑圆状,脊线走向近南北,倾向南,倾角 10°~15°。岩体顶部、边部常出现细粒的边缘相,呈同心环带状分布,厚度可达 250 m。花岗岩呈中细粒花岗结构、似斑状结构等,块状构造,主要由斜长石、钾长石、石英和白云母、黑云母组成,主要副矿物为锆石、钛铁矿、磷灰石。

雅山钨矿除了钨矿化外,还发育有钼、铋矿化。钨矿化主要在雅山岩体的内外接触带的石英脉中,为石英脉型黑钨矿。石英脉型黑钨矿又分为石英大脉型和石英网脉型。矿石矿物为黑钨矿、白钨矿、辉钼矿、辉铋矿等,脉石矿物为石英、长石、白云母、方解石、萤石等。矿石的结构有结晶粒状结构、交代结构,矿石的构造有块状构造、浸染状构造、条带状构造。脉侧蚀变主要为云英岩化、硅化、绢云母化(图 3)。

2.2 下桐岭钨钼矿地质特征

矿区出露震旦系上统老虎塘组(Z₂l),由一套浅变质的以砂质为主、砂泥质互层或夹层的岩石所组成,局部夹有碳酸盐层及炭质层。地层走向由北东向逐渐转为北北东向和北西向,总体倾向东或西,

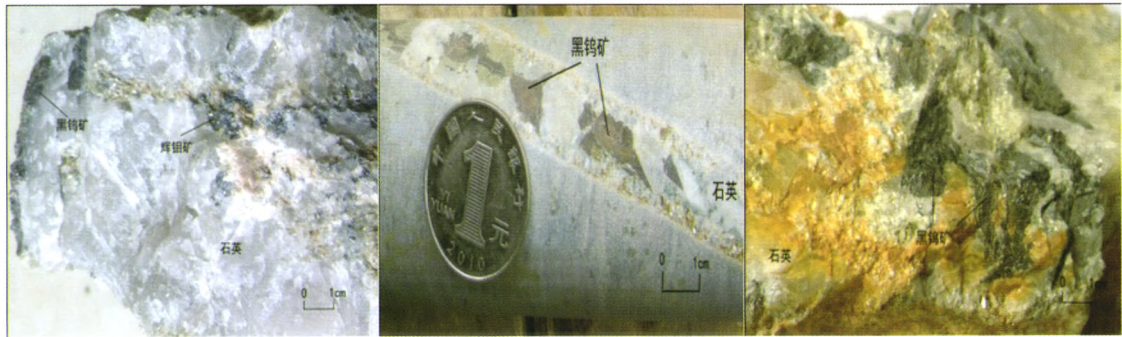


图3 雅山钨矿床矿石手标本照片

Fig. 3 Photos of the hand specimen of Yashan tungsten deposit

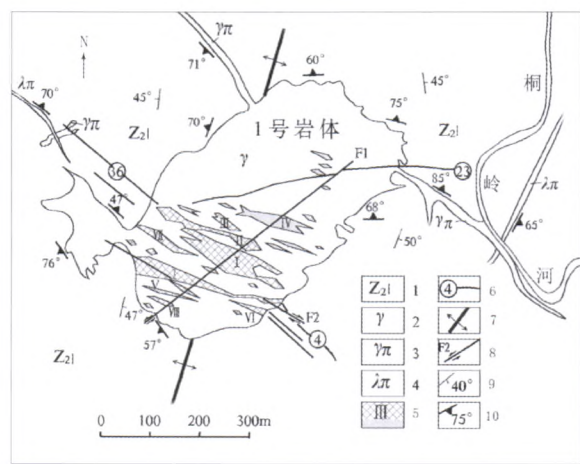


图4 下桐岭钨矿地质简图

Fig. 4 Simplified geological map of Xiatongling tungsten deposit
1-震旦系老虎塘组;2-花岗岩;3-花岗斑岩;4-石英斑岩;5-网脉型矿体及编号;6-大脉型矿体及编号;7-背斜轴;8-断层破碎带;9-地层产状;10-接触面产状.

倾角 30° ~ 60° ,(图 4)。

主要断裂及裂隙构造有北东、北西、东西(包括北东东、北西西)及北北东四组,其中,以北西、东西两组最为发育,北东组次之。

矿区出露的岩浆岩主要为燕山早期第二阶段第三次侵入的中细粒花岗岩(称之为 I 号岩体),次之有基性和酸性岩岩脉。而花岗岩岩体与花岗斑岩脉($\gamma \pi_1$)为同期贯入的产物。I 号花岗岩体近似“桶状”。北侧直接与北西向花岗斑岩岩脉相连,两者为渐变关系,无明显的界线。岩体长约 550 m,宽约 320 m,面积约 0.17 km²。东西两接触面均倾向北西,倾角 70° ~ 80° ,南北两接触面均倾向北东,倾

角 70° ~ 75° 。岩体边缘相保存较完好,东侧内接触带有变质岩残留顶盖,故岩体剥蚀较浅,保存较完整。岩体岩相较复杂,粒度变化大(0.1 ~ 4.5 mm),常有石英、长石等斑晶。按岩石结构构造划分:岩体边缘为细粒花岗岩,宽约 10 ~ 40 m,北部比南部宽;岩体中间,除有细粒及细粒斑状花岗岩外,多数为中粒等粒与中粒斑状花岗岩。

矿体主要赋存于中粒或中粒斑状花岗岩中,总体产状近于平行 I 号岩体南接触面,平均走向北西西 294° ,倾向北北东,平均倾角 75° 。由含钨、钼、铋、铍等金属矿物的石英细网脉所构成,石英细网脉宽一般 0.5 ~ 2 cm,有少量 10 cm 以上的大脉。钨、钼、铋、铍等金属矿物以细脉充填交代产出为主,辉钼矿在细脉或裂隙两侧围岩中呈浸染状出现。在 I 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,由南往北,黑钨矿减少,辉钼矿和辉铋矿则增加,北侧则形成了钼铋为主的网脉型矿体。矿石中有用金属矿物有黑钨矿(多呈长板状)、白钨矿、辉钼矿(鳞片状)、辉铋矿(长柱状、针状及毛发状)、绿柱石(六方柱状)及磷钼矿;脉石矿物有石英、长石、白云母、萤石(紫色、浅绿色)、方解石等。矿石具有条带状构造、块状构造、晶洞构造等(图 5)。

3 辉钼矿 Re-Os 年龄测试

3.1 样品特征及测试方法

为了便于对比研究,本次在雅山钨矿区采集样品 3 件,在下桐岭钨钼矿区采集样品 4 件。下桐岭

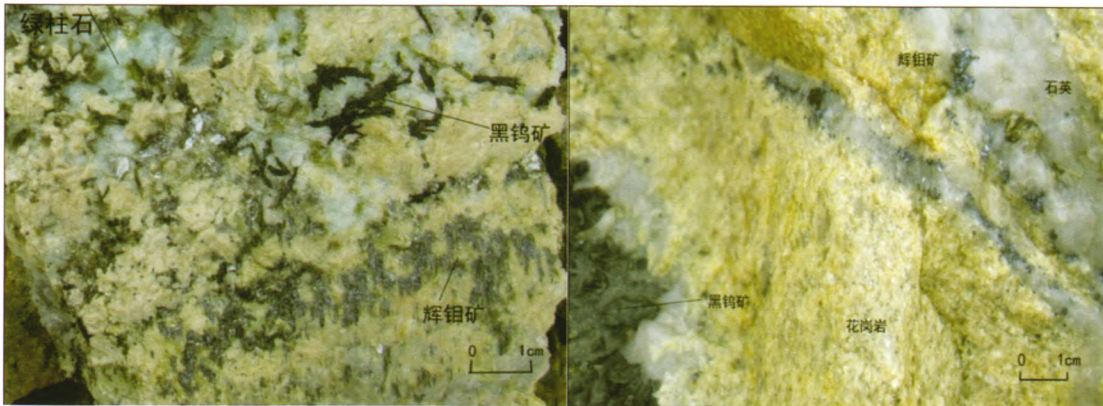


图5 下桐岭矿石手标本照片

Fig. 5 Photos of the hand specimen of Xiatongling tungsten deposit

钨钼矿位于雅山钨矿南东侧。雅山钨矿区样品分别采集于 V1 矿体的 270 m 中段的沿脉坑道中 2 件, V15 矿体钻孔中 1 件, 辉钼矿呈鳞片状, 与黑钨矿、黄铁矿等伴生。下桐岭钨钼矿区样品分别采集于 I 号钨钼矿体的 360 m、350 m 露采平台各 1 件, IV 号钨钼矿体的 360 m、350 m 露采平台各 1 件, 辉钼矿呈细小鳞片状, 与黑钨矿、辉铋矿、绿柱石、磷钇矿、黄铁矿伴生。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-钨同位素实验室完成, 采用美国 TJA 公司生产的电感耦合等离子体质谱仪 TJA Xseries ICP-MS 测定同位素比值。分析方法及程序详见 Shirey 等 (1995)^[6] 和 Du 等 (2004)^[7]。

3.2 测试结果

雅山钨矿辉钼矿的 Re-Os 同位素测试结果如表 2。由表 2 可以看出, 辉钼矿的 Re 含量变化于 2321 ~ 10194 ng/g 之间, ¹⁸⁷Re 含量为 1459 ~ 6407 ng/g, ¹⁸⁷Os 含量为 3.794 ~ 16.72 ng/g, 3 个辉钼矿样品的模式年龄为 155.5 ~ 156.5 Ma, 在误差范围内是一致的。用 Isoplot 软件计算了所测的 3 个样品的等时线年龄(图 6a)和模式年龄的加权平均值(图 6b), 结果分别为 156.0 ± 2.8 Ma 和 156.0 ± 2.4 Ma, 两者在误差范围内也是一致的。

下桐岭钨钼中矿辉钼矿的 Re-Os 同位素测试

结果如表 3。由表 3 可以看出, 辉钼矿的 Re 含量变化于 10366 ~ 15274 ng/g 之间, ¹⁸⁷Re 含量为 6515 ~ 9600 ng/g, ¹⁸⁷Os 含量为 16.97 ~ 25.11 ng/g, 4 个辉钼矿样品的模式年龄为 155.3 ~ 156.8 Ma, 在误差范围内是一致的。用 Isoplot 软件计算了所测的 4 个样品的等时线年龄(图 7a)和模式年龄的加权平均值(图 7b), 结果分别为 156.4 ± 8.7 Ma 和 156.1 ± 2.1a, 两者在误差范围内也是一致的。与李光来等 (2011)^[8] 获得的辉钼矿 Re-Os 年龄为 152.0 ± 3.3 Ma 较一致。

4 讨论

4.1 雅山钨矿和下桐岭钨矿的成矿时代

野外观察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, 因此本次测定的辉钼矿的 Re-Os 年龄对矿床成矿时代的有效限定。本文获得的雅山钨矿的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄分别为 156.0 ± 2.8 Ma, 与模式年龄的加权平均值 156.0 ± 2.4 Ma 在误差范围内高度一致, 因此雅山钨矿床的成矿年龄为 156.0 ± 2.8Ma 与雅山岩体的侵入时代基本一致(锆石 U-Pb 年龄 161.0 ± 1.0 Ma, 楼法生等, 2005^[11]); 获得的下桐岭钨矿的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄分别为 156.4 ± 8.7 Ma, 与模式年龄的加权平

表1 雅山钨矿辉钼矿Re-Os同位素测试结果
Table 1 Re-Os isotopic composition of molybdenites in Yashan tungsten deposit

样品 编号	Re (ng/g)		C 普 Os (ng/g)		Re ¹⁸⁷ (ng/g)		Os ¹⁸⁷ (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	
YS-4	10194	70	0.1585	0.0186	6407	44	16.72	0.10	156.5±2.1
YS-10	2321	16	0.0532	0.0057	1459	10	3.794	0.024	155.9±2.1
YS-17	8790	66	0.0554	0.0093	5525	41	14.33	0.09	155.5±2.1

表2 下桐岭钨钼矿中辉钼矿Re-Os同位素测试结果
Table 2 Re-Os isotopic composition of molybdenites in Xiatongling tungsten deposit

样品编号	Re (ng/g)		C 普 Os (ng/g)		Re ¹⁸⁷ (ng/g)		Os ¹⁸⁷ (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	
XDL14-2	10366	78	0.0373	0.0059	6515	49	16.97	0.11	156.1±2.2
XDL14-8	10435	75	0.0306	0.0116	6559	47	17.08	0.12	156.1±2.2
XDL14-9	15274	111	0.0324	0.0075	9600	70	25.11	0.15	156.8±2.1
XDL14-10	13943	98	0.0387	0.0072	8764	62	22.70	0.14	155.3±2.1

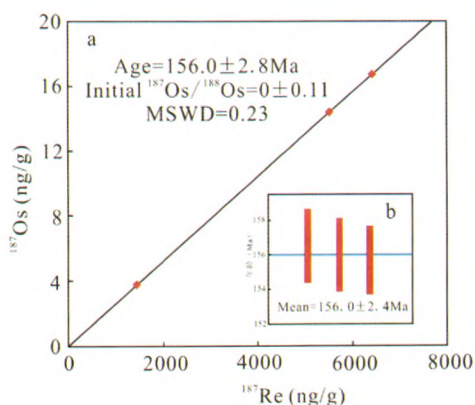


图6 雅山钨矿含钨石英脉中辉钼矿Re-Os等时线图(a)和模式年龄加权平均值图(b)

Fig. 6 Isochron age (a) and weighted average of model age (b) of Re-Os isotope in molybdenites from tungsten-bearing quartz veins in Yashan deposit

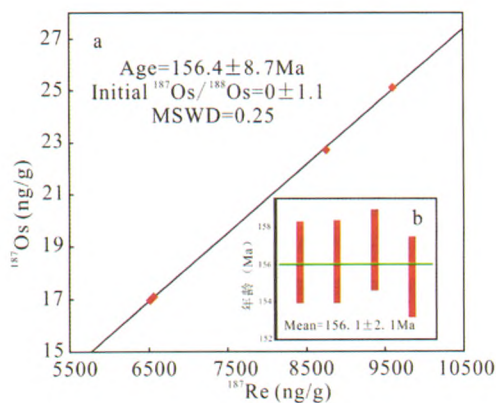


图7 下桐岭钨矿含钨石英脉中辉钼矿Re-Os等时线图(a)和模式年龄加权平均值图(b)

Fig. 7 Isochron age (a) and weighted average of model age (b) of Re-Os isotope in molybdenites from tungsten-bearing quartz veins in Xiatongling deposit

均值 156.1 ± 2.1 Ma 在误差范围内高度一致,因此下桐岭钨矿床的成矿年龄为 156.0 ± 2.8 Ma, 该测试结果与李光来等 (2011)^[8] 在误差范围内基本一致。测试结果显示,雅山钨矿和下桐岭钨矿是同一时期的产物,均形成于晚侏罗世。

与雅山钨矿、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市的徐山钨(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)^[9], 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)^[10], 都与本文所测的雅山、下桐岭钨矿成矿年龄基本一致, 说明 155 Ma 左右为赣中地区钨的成矿集中期。

李华芹等 (1993)^[11] 测得赣南典型石英脉型黑钨漂塘钨锡矿床石英流体包裹体 Rb-Sr 成矿年龄为 150.2 ± 1.4 Ma, 大吉山钨矿的 Rb-Sr 成矿年龄为 150.4 ± 8 Ma。陈郑辉等 (2006)^[12] 用辉钼矿 Re-Os 法测得淘锡坑钨矿床成矿年龄为 154.4 ± 3.8 Ma。

因此,可以说赣中的武功山地区钨矿的成矿时代与赣南地区钨矿的成矿时代基本一致,都形成于晚侏罗世。形成属于同一时期^[13]。

4.2 成矿动力学背景

自中生代以来,中国东部发生了一系列重大的地质事件,即华北和华南地块的碰撞对接,地球动力学方向大调整和岩石圈大减薄,这些事件伴有广

泛的岩浆活动和大规模成矿作用^[14-15]。华南岩石圈出现过多次的伸展作用,李献华(1999)^[16]划分出 164 ~ 153 Ma, 146 ~ 136 Ma, 129 ~ 122 Ma, 109 ~ 101 Ma 和 97 ~ 87 Ma 等 5 次花岗岩侵位事件,其中成矿作用主要发生的 170 ~ 150 Ma, 140 ~ 125 Ma 和 110 ~ 80 Ma 三个阶段) 是岩石圈伸展减薄环境的产物^[17]。

武功山成矿带位于“钦杭成矿带”的中段。近几十年研究表明钦杭成矿带具有高 ϵ Nd、低 T_{DM} 特征,且带上发育更多的双峰式火山-侵入杂岩和 A 型花岗岩、I 型花岗岩等,如桂东南的裂谷型钾玄质侵入岩 (158 ~ 165 Ma)^[18], 赣南的双峰式火山-侵入杂岩 (158-179 Ma) 和 A 型花岗岩或碱性侵入岩 (165 ~ 173 Ma)^[19]。毛景文等 (2011)^[20] 认为 160 ~ 150 Ma 的大规模钨锡多金属成矿作用有大量地幔物质参与成矿。以上均可能反映了中侏罗世-晚侏罗世华南为一伸展的动力学背景,岩石圈内部具有北东向线型的拉张减薄带或者裂谷带,由于拉张作用导致地幔物质的加入。

武功山花岗穹窿伸展构造是陆内造山带多次活动变形产物,即先因挤压增厚而局部熔融及岩浆上升,再因穹窿伸展而致地壳拉伸减薄。武功山地区花岗质片麻岩中白云母和黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年结果为 225 ~ 233 Ma^[4], 在该地区张家坊岩体中所获得的 K-Ar 法测年结果为 237 Ma^[21], 均表明华北地块和华南地块碰撞导致华南地块东南侧的武

功山地区发生强烈挤压。楼法生等(2005)^[1]的锆石 U-Pb 测年数据表明,武功山地区的雅山、温汤和明月山岩体的年龄分别为 161.0 ± 1.0 Ma, 143.8 ± 1.6 Ma 和 126.3 ± 6.4 Ma,并据此武功山地区大规模中生代岩浆活动大约开始于 161.0 Ma。以上结果表明武功山伸展构造开始于三叠纪,结束于早白垩世,其高峰期可能在晚侏罗世。雅山岩体和下桐岭岩体主要形成于华南地区的伸展减薄环境中。

5 结论

通过对雅山钨矿和下桐岭钨矿辉钼矿 Re-Os 同位素年代学研究,得出以下主要认识:

(1)雅山钨矿和下桐岭钨矿的形成年龄分别为 156.0 ± 2.8 Ma 和 156.4 ± 8.7 Ma,说明二者虽然成矿元素组合不同,但几乎同时期形成。

(2)雅山钨矿和下桐岭钨矿的成矿时代与赣中武功山地区钨矿的成矿时代与赣南地区钨矿的成矿时代基本一致;二者均形成于燕山期岩石圈伸展减薄环境。

参考文献:

- [1] 楼法生,沈渭洲,王德滋,舒良树,吴富江,张芳荣,于津海. 江西武功山穹窿复式花岗岩的锆石 U-Pb 年代学研究 [J]. 地质学报,2005,79(5): 636-644.
- [2] 杨明桂,梅勇文. 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,1997,(3): 52-59.
- [3] 孙岩,舒良树,福赫,夏菲. 赣北地区武功山变质核杂岩的构造发育 [J]. 南京大学学报(自然科学),1997,33(3): 447-449.
- [4] 舒良树,孙岩,王德滋. 华南武功山中生代伸展构造[J]. 中国科学(D辑),1998,28(5):431-438.
- [5] 舒良树,王德滋,沈渭洲. 江西武功山中生代变质核杂岩的花岗岩类 Nd-Sr 同位素研究[J]. 南京大学学报(自然科学),2000,36(3):306-311.
- [6] Shirey S B, Walker R J. Carius Tube Digestion for Low-Blank Rhenium-Osmium Analysis [J]. Analytical Chemistry, 1995, 67(13): 2136-2141.
- [7] Du A D, Wu S Q, Sun D Z, Wang S X, Qu W J, Markey R, Stein H, Morgan J, Malinovskiy D. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC [J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 2014, 28(1): 41-52.
- [8] 李光来,华仁民,黄小娥,韦星林,屈文俊,王旭东. 赣中下桐岭钨矿辉钼矿的 Re-Os 年龄及其地质意义 [J]. 矿床地质,2011,30(6): 1576-1584.
- [9] 刘珺,毛景文,叶会寿,杨国强,章伟. 江西武功山地区浒坑钨矿床辉钼矿的 Re-Os 年龄及其地质意义 [J]. 地质学报,2008, 82(11): 1576-1584.
- [10] 李光来,华仁民,韦星林,王旭东,黄小娥. 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,2011,36(2): 282-288.
- [11] 李华芹,刘家齐,魏林. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用[M]. 北京:地质出版社,1993,28-75.
- [12] 陈郑辉,王登红,屈文俊,陈毓川,王平安,许建祥,张家菁,许敏林. 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,2006,25(4):496-501.
- [13] 华仁民,陈培荣,张文兰,陆建军. 论华南地区中生代3次大规模成矿作用[J]. 矿床地质,2005, 24(2):99-107.
- [14] 毛景文,华仁民,李晓波. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区预测[J]. 矿床地质,1999,18:291-299.
- [15] 毛景文,王志良. 中国东部大规模成矿作用时限及其地球动力学背景的初步探讨 [J]. 矿床地质,2000,19(4): 289-296.
- [16] 李献华. 华南白垩纪岩浆活动与岩石圈伸展—地质年代学与地球化学限制[A].//中国科学院地球化学研究所. 资源环境与可持续发展 [M]. 北京:科学出版社,1999: 264-275.
- [17] 毛景文,谢桂青,李晓峰,张长青,梅燕雄. 华南地区钦杭成矿带地址特征和矿床时空分布规律 [J]. 地质学报,2004,85(5):45-55.
- [18] 李献华,周汉文,刘颖,李寄嵎,孙敏,陈正宏. 桂东南钾玄质岩浆岩带的厘定[J]. 科学通报,1999, 44(18): 1992-1998.
- [19] 李献华,李正祥,葛文春,周汉文,李武显,刘颖. 华南新元古代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及其构造意义 [J]. 矿物岩石地球化学通报,2001,20(4): 271-273.
- [20] 毛景文,陈懋弘,袁顺达,郭春丽. 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,2004, 11(1):636-658.
- [21] 江西省地质矿产局. 江西省地质志[M]. 北京:地质出版社,1984.