

福建武平十二排钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义

王少怀

福州大学紫金矿业学院,福州,350108

内容提要:福建武平十二排钼矿床是近年来在闽西南地区找到的又一处钼矿床。钼矿化在中细粒黑云母花岗岩体与新元古界楼子坝群、晚古生界变质岩接触带内呈浸染状和脉状产出,并且构成透镜状矿体。本次研究过程中,对5件代表性辉钼矿样品进行了 Re-Os 同位素年龄测定,模式年龄值变化范围为 149.7 ~ 152.8Ma,等时线年龄为 (151 ± 2) Ma,略晚于黑云母花岗岩的成岩年龄,由此认为十二排钼矿床与黑云母花岗岩的形成时间均为晚侏罗世,属燕山早期构造—岩浆活动的产物。结合矿区外围其他钼矿床同位素年龄数据,可以推测闽西南大规模钼矿化发生在印支期台地向活动大陆边缘转变阶段,并伴随燕山早期挤压隆升(约 160 ~ 145 Ma)和燕山晚期由挤压向拉伸机制转换(约 105 ~ 90 Ma)作用所诱发的岩浆活动是导致钼矿床形成的主导因素。

关键词:Re-Os 同位素;辉钼矿;成矿年龄;武平十二排钼矿床;福建

因受闽台微大陆板块向欧亚大陆板块俯冲、碰撞、拼贴作用的强烈影响,闽西南拗陷经历过印支期隆起、剥蚀状态,燕山期尤其晚侏罗世发生大规模岩浆强烈和频繁的喷发和侵入,迄今为止,中酸性火山岩—侵入岩遍布全区。伴随着侏罗纪发育沿 NW、SE 两个方向发育的大规模逆掩、推覆构造,而从白垩纪开始却发生了断褶、隆起、滑脱、走滑、拆离等一系列的构造运动,相伴而来的是大规模火山—潜火山活动,并形成了“紫金山式”矿床类型组合(王少怀等,2009)。

闽西南钼矿带已发现近 20 处钼矿床(点),极大地丰富了“紫金山式”矿床类型组合内涵。钼矿带分布范围与闽西南拗陷基本一致,除了个别矿床(点)为复合型矿床(斑岩型+矽卡岩型)外,其余均与典型斑岩型钼矿床相似。钼矿化大多数在中生代花岗闪长岩、正长花岗斑岩、二长花岗岩、花岗斑岩、石英斑岩和花岗岩株及其内外接触带中,呈网脉状、细脉—浸染状、条带状和团块状产出,筒状、透镜状、似层状和脉状矿体主要受 NE 向和 NW 向断裂构造带或角砾岩带控制。少数全岩样品主元素分析结果表明,含矿岩体以相对富硅富碱质组分,而相对贫钙

贫铁镁质组分为特征,属富碱钙—碱质火成岩(地矿部福建省地质矿产勘查开发局,1998)。

闽西南钼矿带目前已发现大、中型钼矿床主要有:清流行洛坑钨(钼)矿床、上杭萝卜岭铜(钼)矿床、连城姑田铜(钼)矿床、马坑钼矿床、漳平北坑场钼矿床、武平十二排钼矿床、连城铜坑钼矿床等,估算钼的资源量为 200 ~ 300 万吨。钼矿床中钼含量大多数为 0.06% ~ 1.6%,平均值为 0.12%(王绍雄,1995;王少怀等,2010;王少怀,2011)。初步对比研究结果表明,闽西南钼矿带以矿床类型相对单一和成矿时间相对集中为特点。永定山口、武平十二排、漳平北坑场、清流行洛坑钼矿床辉钼矿样品 Re-Os 同位素等时线年龄分别为 165.3 ± 3.5 Ma(罗锦昌等,2009)、 150.8 ± 1.3 Ma(本文)、 148.8 ± 2.2 Ma(张达等,2010)和 147.5 Ma(张家菁等,2008),成矿时代为晚侏罗世;而马坑铁(钼)矿床、连城铜坑钼矿、萝卜岭铜(钼)矿床样品 Re-Os 同位素等时线年龄分别为 133.0 ± 0.8 Ma(张承帅等,2012)、 115.7 ± 1.1 Ma(另文发表)、和 104.9 ± 1.6 Ma(梁清玲等,2011),成矿时代却是早白垩世,暗示了钼的成矿作用分别发生在燕山早期和燕山晚期。

注:本文为福建省自然科学基金资助项目(编号 2012J01172)、国家自然科学基金资助项目(编号 41172041)、国土资源部典型金属矿科学基地研究(建设)项目(编号 200911007)、福州大学第十六期校 SRTP 项目(编号 16147)的成果。

收稿日期:2013-02-05;改回日期:2013-06-03;责任编辑:章雨旭。

作者简介:王少怀,男,1965年生。博士,教授。从事矿产普查与勘探教学与科研工作。通讯地址:350108,福州市福州地区大学城园路2号福州大学紫金矿业学院;Email: wangsh@fzu.edu.cn。

福建武平十二排钼矿床位于福建省武平县城东南 137° 方向直距 24km, 中心地理坐标: E116° 17' 45", N24° 56' 30", 面积约 7.79km² (福建省第八地质大队^①)。2004 年福建省第八地质大队对该区开展地质踏勘选点工作, 发现了规模较大的矿化蚀变体, 于 2005 年转入普查工作, 圈出了 7 个主要钼矿体, 矿床平均品位 0.179%, 通过资源量估算 332 + 333 钼资源量 2494t, 并认为具进一步工作价值。本文在前人工作基础上, 对十二排钼矿床开展了较系统的地质、同位素年代学研究, 对其成矿环境、地质特征和形成时代进行了探讨, 目的旨在建立该矿床的综合性成矿模式, 为指导隐伏钼矿床找矿勘查提供科学依据。

1 成矿地质环境

武平十二排钼矿床所属的闽西南坳陷是加里东运动后在华夏古陆裂陷槽基础上沉积晚古生界地层而形成的。矿床位于闽西南坳陷西南缘, 松溪—长汀岩石圈断裂以东的 NE 向明溪—武平拗陷东部之次一级明溪—龙井复式向斜南侧、与上杭—云霄 NW 向地壳(王培宗等, 1993) 深大断裂带北西缘相交(图 1)。区内出露的地层主要有下震旦统楼子坝组, 上泥盆统天瓦寮组、桃子坑组, 下石炭统林地组, 上石炭统统畲组、下二叠统船山组, 中二叠统栖霞组、文笔山组、童子岩组, 上二叠统翠屏山组。区内主体为十方一岩前复向斜, 轴向 NE, 地层为上古生

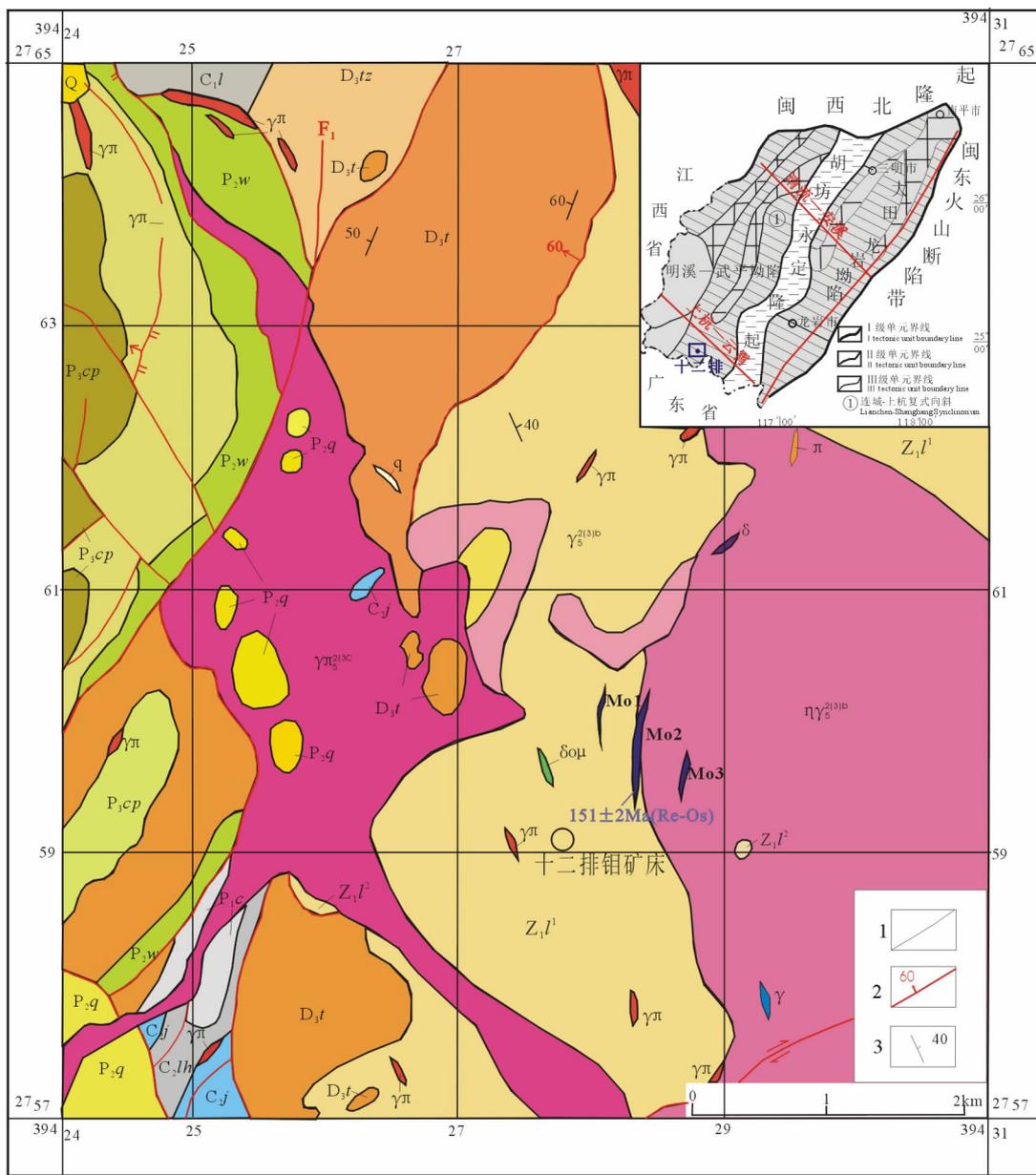


图1 福建武平十二排钼矿床地质简图(据福建省第八地质大队^①修编)

Fig. 1 Geological sketch map of the Shierpai molybdenum deposit, Wuping, Fujian

(modified from the 8th Geological Survey Team of Fujian Province^①)

Q—第四系沉积;P₃cp—上二叠统翠屏山组:灰色砂岩、粉砂岩、泥岩;P₂t—中二叠统童子岩组:灰黑色粉砂岩夹煤层;P₂w—中二叠统文笔山组:灰黑色泥岩;P₂q—中二叠统栖霞组:深灰色燧石灰岩;P₁c—上石炭统船山组:灰白色质纯灰岩;C₂lh—上石炭统老虎洞组:白云岩;C₂j—上石炭统经畲组:硅泥质角砾岩;C₁l—下石炭统林地组:黄白色石英砂砾岩;D₃tz—上泥盆统桃子坑组:灰白色石英砂砾岩;D₃t—上泥盆统天瓦寨组:黄白色石英砾岩;Z₁l₂—下震旦统楼子坝组上段:千枚岩;Z₁l₁—下震旦统楼子坝组下段:变质杂砂岩;γπ—燕山早期花岗岩斑岩;γ—燕山早期黑云母花岗岩;η—燕山早期中细粒二长花岗岩;γπ—花岗斑岩脉;γ—花岗岩脉;δ_{qu}—石英闪长斑岩脉;δ—闪长岩脉;π—斑岩脉;q—石英脉;Mo1—钼矿体及编号;1—实测地质界线;2—实测断层及产状;3—地层产状

Q—Quaternary sediments; P₃ cp—Upper Permian Cuipingshan Formation: grey sandstone, siltite, mudstone; P₂ t—Middle Permian Tongziyan Formation: grey-black siltite with coal-beds; P₂ w—Middle Permian Wenbishan Formation: grey-black mudstone; P₂ q—Middle Permian Qixia Formation: dark-grey cherty-bearing limestone; P₁ c—Lower Permian Chuanshan Formation: grey-white pure limestone; C₂ lh—Upper Carboniferous Laohudong Formation: dolomite; C₂ j—Upper Carboniferous Jianshe Formation: siliceous-muddy conglomerate; C₁ l—Lower Carboniferous Lindi Formation: yellow-white quartz sandstone—conglomerate; D₃ tz—Upper Devonian Taozikeng Formation: grey-white quartz sandstone—conglomerate; D₃ t—Upper Devonian Tianwadong Formation: yellow-white quartz conglomerate; Z₁ l₂—Lower Sinian Upper Louziba Formation: phyllite; Z₁ l₁—Lower Sinian Lower Louziba Formation: metamorphic graywacke; γπ—Early Yanshanian granite-porphry; γ—Early Yanshanian biotite granite; η—Early Yanshanian medium-fine-grained monzonitic granite; γπ—vein of granite-porphry; γ—vein of granite; δ_{qu}—quartz-diorite-porphry vein; δ—diorite vein; π—porphyry vein; q—quartz vein; Mo1—Mo ore-body and no.; 1—geological boundary; 2—fault and its attitude; 3—stratum attitude

界,东南翼保存完整,北东端受上杭—云霄 NW 向构造带左行切割,走滑拉分,使复向斜整体呈向东南突出的弧形盆地,北东侧为 NW 向武东—太平坑断裂带、西北侧为 NE 向武平—黄竹坪逆冲断裂带所夹持(地矿部福建省地质矿产勘查开发局^②)。十二排矿区西部十方—岩前 NE 向弧形断裂带,倾向 NW,倾角 50°~80°。北东侧尚有湖洋—刀湾里 NE 向断裂带,倾向 NW 或 SE,倾角 30°~50°。

印支运动使闽西南断褶隆成山,并形成一系列 NNE 向盆岭地形,明溪—龙井复式向斜卷入燕山期的构造运动后没有根本改变印支运动留下的痕迹,而是为后期的断裂所错切、走滑或推覆滑脱构造或岩体的侵入破坏。象洞十二排盆地等闽西南地区诸多中生代盆地也多沿 NNE 向呈串珠状排列,构成 NNE 向断陷带,为燕山期闽西南地区大规模形成与热液型有关的矿床及其类型组合提供良好的通道和赋矿空间。

区内侵入岩主要有:燕山早期第三阶段第二次侵入的二长花岗岩;燕山早期第三阶段第三次侵入的黑云母花岗岩;燕山晚期第二阶段第三次侵入的花岗斑岩。此外有闪长岩、辉绿岩、伟晶岩、石英脉及基性岩脉。

2 矿床地质特征

2.1 岩体地质

与钼的成矿作用关系密切的燕山早期第三阶段第三次侵入的黑云母花岗岩呈碎裂少斑结构,它与

邻区的同期次侵入的六个小岩体互为涌动侵入或脉动侵入接触。该岩体呈小岩株或岩瘤产出,岩石具变形局部碎裂特点。岩石结构为似斑状细粒花岗结构,似斑晶含量 2%~5%,粒度 8~12mm,基质粒度为 0.3~2mm。岩石呈浅肉红色,由钾长石、斜长石、石英及黑云母组成。钾长石具中等有序化,交代条纹不发育;斜长石普遍具正环带构造,发育聚片双晶。岩石化学成分以高硅富碱低铝钙、贫铁镁为特征;CIPW 标准分类属花岗岩,碱度分类属钙碱性岩偏碱性岩,含铝性为过铝质岩石;稀土元素含量较高,属轻稀土富集型,δEu 0.4~0.6,钕亏损明显。微量元素丰度与华南同熔型花岗岩相似。副矿物以种类多而含量低,普遍出现独居石、磷钇石、易解石等稀有、稀土矿物为特征,岩浆成因相当于 I 型花岗岩,岩体侵位于抬升造陆构造环境,为岩墙扩展被动侵位机制(地矿部福建省地质矿产勘查开发局^②)。

2.2 矿体地质特征

矿区出露地层单一,为下震旦统楼子坝组,岩性为一套变质中细粒长石石英杂砂岩、

变质粉砂岩、变质泥岩、千枚岩等浅变质岩。区内构造以断裂为主,主要有 NE 向构造破碎带(F₁),由黄铁矿化硅化绢云母化碎裂黑云母花岗岩,碎裂变质岩屑砂岩、千枚岩等组成,构造破碎带可见宽 20~60m,长大于 3000 m,总体产状 335°~345°∠50°~60°;后期 NW 向断裂切断 NE 向。两组均为控矿构造,前者为主控构造。

矿区共圈定 7 个主要钼矿体及 21 个小矿体,主

矿体控制走向长约 280 ~ 300m, 倾向延深约 180 ~ 200m, 平均厚度 1.29 ~ 3.51m, 规模属中—小型; 形态简单; 矿体基本无断层破坏或岩脉穿插; 厚度属稳定—较稳定类型; 品位 0.087% ~ 0.282%, 有用组分分布均匀—较均匀类型。围岩为中细粒花岗岩和变质细砂岩等。

矿石结构多样, 主要自形片状(图 2a)、半自形—他形片状、粒状结构。矿石构造有脉状(图 2b)、团块状、稠密浸染状(图 2a)、稀疏浸染状构造。辉钼矿分布极不均匀, 呈聚晶体、集合体、团块状。呈半自形薄片状的辉钼矿, 片径多为 0.2 × (4 ~ 5) mm 之间, 且平行裂隙面排列。也有呈乳滴状结构、浸染状构造、团块状构造等, 与黄铁矿(图 2c)、闪锌矿(图 2d)、黄铜矿等金属矿物共生。矿石矿物主要为辉钼矿, 其次为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿

等。脉石矿物主要有石英、钾长石、更长石, 次为绿泥石、白云母、绢云母、硅质等。矿石自然类型有: 浸染状型(图 2a)、石英脉型(图 2b)、裂隙面型; 矿石矿物组合类型分为: 纯辉钼矿型、辉钼矿—黄铁矿型(图 2c)、辉钼矿—闪锌矿型(图 2d)、辉钼矿—黄铜矿型。

矿区蚀变种类繁多, 按生成先后可分: ① 成矿前(成岩期)蚀变, 主要有钾长石化(钾化)、绢云母化、高岭石化; ② 成矿期蚀变, 主要有云英岩化、黑云母化(钾化)、硅化、绿泥石化、黄铁矿化、地开石化(泥化)、萤石化及碳酸盐化; ③ 成矿期后的蚀变, 主要有碳酸盐化、叶蜡石化等。

矿化阶段可划分为辉钼矿—白云母阶段(纯辉钼矿型)、辉钼矿—黄铁矿阶段、辉钼矿—闪锌矿和辉钼矿—黄铜矿阶段。

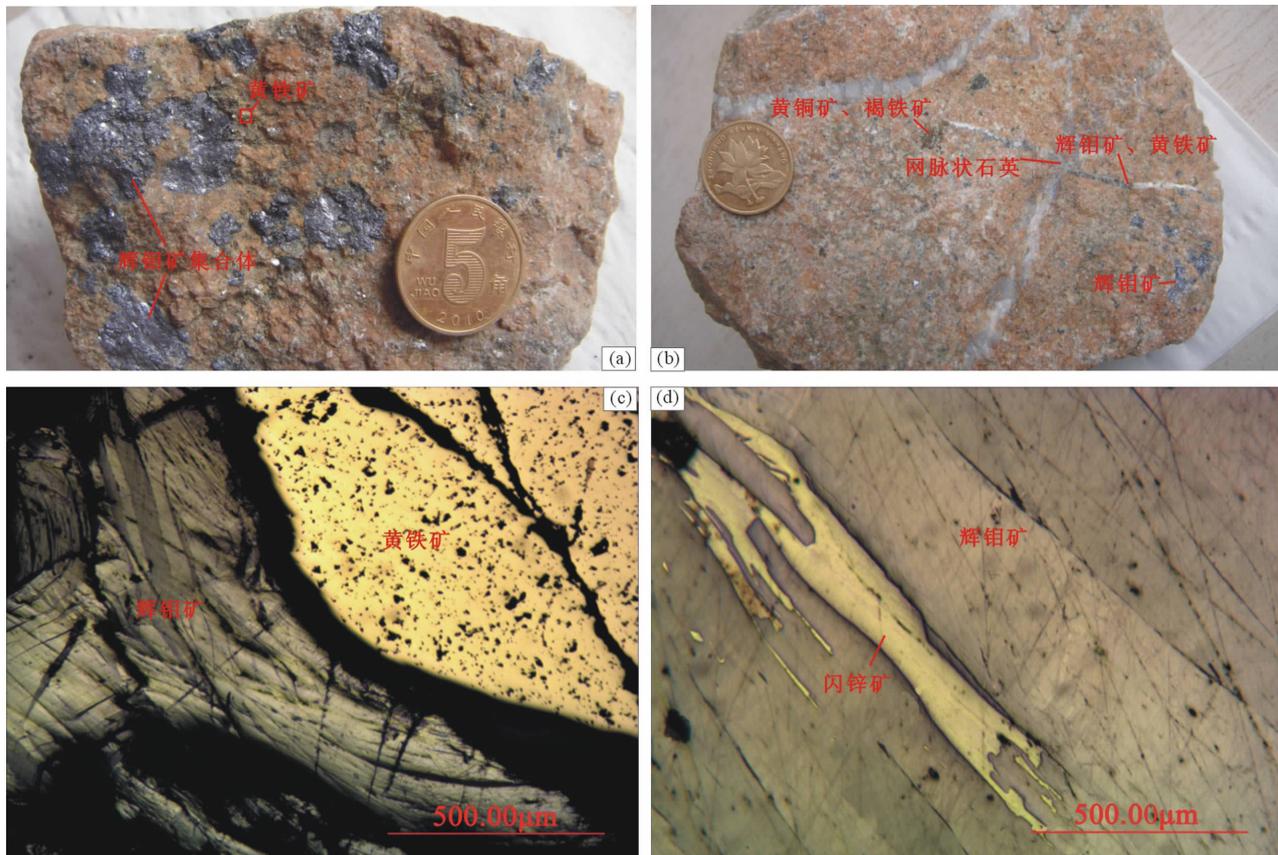


图 2 福建武平十二排钼矿床照片

Fig. 2 Photos of the Shierpai molybdenum deposit, Wuping, Fujian

(a) 二长花岗岩中的粗粒状辉钼矿集合体——代表性钼矿石; (b) 花岗斑岩中的含辉钼矿石英网脉和浸染状辉钼矿;

(c) 黄铁矿和辉钼矿的共生结构; (d) 闪锌矿和辉钼矿的共生结构

(a) typical molybdenum ore, coarse-grained molybdenite in monzonitic granite; (b) quartz veins with molybdenite and disseminated molybdenite in granite-porphry; (c) paragenetic texture of molybdenite—pyrite; (d) paragenetic texture of sphalerite—molybdenite

3 辉钨矿 Re-Os 同位素年龄测定

3.1 样品的采集和处理

本次研究工作从福建武平十二排钨矿床代表性矿体中采集辉钨矿样品,主要呈脉状、裂隙(面)状和浸染状,其中 SE3-1 为浸染状;SE1-2、SE1-8 为沿裂隙(面)展布;SE2-1、SE5-2 为石英脉型。辉钨矿呈铅灰色,自形、半自形、它形鳞片状集合体。较大的辉钨矿晶片有两种形式:第一种是呈放射状、团块状分布在石英脉的两侧;第二种是赋存在蚀变花岗岩中,与黄铁矿共存,分布不均且数量少。细鳞片状的辉钨矿主要产于蚀变花岗岩中,呈星点状、细脉状。所采辉钨矿样品未见有明显的后期改造作用和热液蚀变现象。在室内无污染环境和条件下,将野外采集的矿石样品采用特制工具直接从手标本上获取辉钨矿,并且在显微镜下进行了仔细检查,每件辉钨矿样品的纯度(体积分数)均大于 98%,并将其放置于玛瑙钵里进行研磨,使其粒度 $< 0.05 \text{ mm}$,最后对处理好的辉钨矿样品进行 Re-Os 同位素分析。

3.2 分析方法

辉钨矿样品的 Re-Os 同位素分析在国家地质实验室测试中心 Re-Os 同位素年代学实验室完成。样品的化学处理流程和质谱测定技术简述如下(杜安道等,1994;2001;2009;屈文俊等,2003;2009;Du et al.,2004):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($-50 \sim -80^\circ\text{C}$)。将装好样品的 Carius 管放到该保温杯中。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 2 mL 10 mol/L HCl、4 mL 16 mol/L HNO₃ 和 1 mL、30% H₂O₂,一定要注意一种试剂冻实后再加另一种试剂。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。轻轻放套管入鼓风机烘箱内,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。

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 150mL 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。加入 10 mL 5mol/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 10 mL 丙酮,振荡 1 min 萃取 Re。离心后,用滴管直接取上层丙酮相到 150mL 已加有 2 mL 水的 Teflon 烧杯中,在电热板上 50℃加热除去丙酮,然后电热板温度升至 120℃加热至干,加 4 mL 16 mol/L HNO₃ 和 1 mL、30% H₂O₂,加热蒸干以除去残存的 Os。用数滴 HNO₃ 溶解残渣,用水转移到小瓶中,稀释到适当体积,备 ICP-MS 测定 Re 同位素比值。

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。对于 Re: 选择质量数 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。

3.3 数据处理及结果

经实验室测试分析,分别得出 Re、Os、¹⁸⁷Re、¹⁸⁷Os 的含量,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,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

表 1 福建武平十二排辉钨矿中辉钨矿 Re-Os 同位素模式年龄

Table 1 Re-Os isotopic date of molybdenite from the Shierpai molybdenum deposit, Wuping, Fujian

原样名	样重(g)	Re(ng/g)		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	测定值	不确定度
SE1-2	0.05041	709.8	7.3	0.0650	0.0108	446.1	4.6	1.137	0.027	152.8	4.2
SE1-8	0.05066	1001	10	0.0049	0.0056	629.4	6.5	1.572	0.026	149.7	3.2
SE2-1	0.05176	1163	12	0.0051	0.0039	731.3	7.4	1.833	0.027	150.3	2.9
SE3-1	0.05094	4126	44	0.0087	0.0066	2594	28	6.595	0.087	152.4	2.9
SE5-2	0.05026	4511	43	0.0027	0.0104	2835	27	7.091	0.070	149.9	2.4

注:样品由国家地质实验室测试中心 Re-Os 同位素年代学实验室测定。

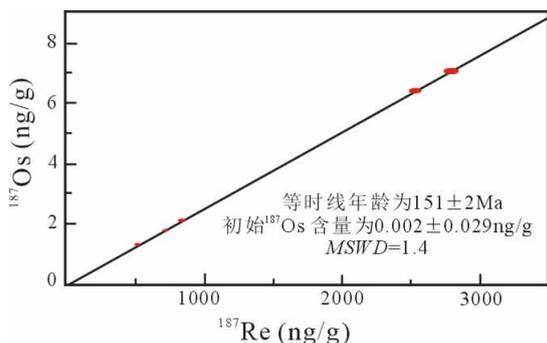


图3 福建武平十二排钼矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素等时线图

Fig. 3 Re-Os isotopic isochron diagram of molybdenite from the Shierpai molybdenum deposit, Wuping, Fujian

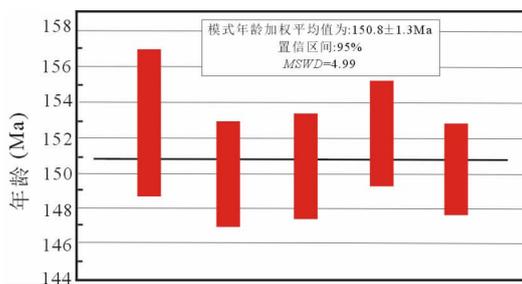


图4 福建武平十二排钼矿床中辉钼矿 Re-Os 模式年龄加权平均值

Fig. 4 Re-Os weighted mean model age diagram of molybdenite from the Shierpai molybdenum deposit, Wuping, Fujian

误差,置信水平95%。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%。在此基础上根据公式计算出模式年龄值(表1),其中衰变常数 $\lambda(^{187}\text{Re}) = 1.666 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ (Smoliar et al., 1996)。

最后,所获 Re-Os 同位素分析数据采用 Isoplot 软件作等时线和加权平均值(Ludwig, 1999)年龄图,得到 Re-Os 同位素等时线(图3)和加权平均值年龄(图4)。十二排辉钼矿的成矿式年龄在 $149.7 \pm 3.2 \sim 152.8 \pm 4.2 \text{ Ma}$,模式年龄加权平均值为 $(150.8 \pm 1.3) \text{ Ma}$,等时线年龄为 $(151 \pm 2) \text{ Ma}$,其 MSWD 值为1.4。

4 结果与讨论

4.1 成矿时代

武平十二排钼矿床5件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素模式年龄值变化范围为 $149.7 \pm 3.2 \sim 152.8 \pm 4.2 \text{ Ma}$,平均值为 $(150.8 \pm 1.3) \text{ Ma}$,采用 Isoplot 软件(Ludwig, 1999)所获辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为 $(151 \pm 2) \text{ Ma}$,MSWD 值为1.4,模式年龄与等时线年龄的一致性表明,所获数据的可信度较高。表明钼成矿时代为晚侏罗世,略晚于区域上黑云母二长花岗岩 U-Pb 谐和年龄 166 Ma (地矿部福建省地质矿产勘查开发局^②),因此,钼矿床成矿作用与岩浆活动发生的时间均为燕山早期。

4.2 区域地壳演化与成矿作用

大量研究结果表明,华南构造动力之彻底改变即 EW 向构造格局转变为 NE—NNE 向构造是在侏罗纪末—白垩纪初的中燕山运动(任纪舜等,1997),即南北挤压应力机制向 NW—SE 挤压应力机制逆

时针方向旋转的动态过程。李文达等(1998)提出中国东南大陆岩石圈的构造环境经历了 $176 \sim 150 \text{ Ma}$ 的挤压、 145 Ma 由挤压向伸展扩张的转换、 $125 \sim 105 \text{ Ma}$ 的扩张增强以及 92 Ma 左右进入裂解阶段,而中生代大规模的火山—侵入作用和成矿作用主要发生在大陆伸展—地壳减薄期。

从区域构造演化史看,闽西南拗陷带位于政和—大埔断裂带以西,南平—宁化构造岩浆带以南,松溪—长汀断裂带以东的闽西南地区,总体处于地幔拗陷带上(王培宗等,1993)。十二排钼矿区印支运动 NW—SE 方向的水平侧向挤压为晚古生代地层主体褶皱构造格架的形成奠定了基础,形成了一系列 NNE 向断裂及复式背、向斜构造(3条),从而基本奠定了闽西南地体的总体景观。燕山期主要表现为继承性断裂活动,燕山中期动力学背景总体上是向挤压为主环境转变,导致纵向拉伸及沿 NW 向的走滑和剪切活动,发育一系列 NW、NWW 向脆性断层,多数表现为左行转换断裂,错切 NE 向褶皱构造,由于走滑断裂的滑移引起的斜向拉分作用而产生的构造凹陷,形成一系列 NE 向呈串珠状排列的走滑拉分盆地,平行于褶皱带展布且受褶皱带控制,具有“断陷—拗陷”叠合结构特征;几近同时在强烈挤压之后板块活动处于短暂的平稳阶段,应力发生松弛,于 $165 \sim 160 \text{ Ma}$ 、 $150 \sim 145 \text{ Ma}$ 出现了松弛或伸展交替,除了发生 NE 向层间滑动、剪切、拆离或滑脱外,深部岩浆带还受到洋壳俯冲的挠动,软流圈热侵蚀、俯冲板片断离—折返作用等,导致地温梯度变高,区域上呈“热”状态,发生了地壳重熔或壳幔混熔,导致减压熔融岩浆沿构造虚弱带(背斜核部)上涌,伴随着发生成矿作用,形成了十二排钼矿床。进

入燕山晚期又转变为拉张环境,诱发大规模岩浆侵入—火山喷发活动,对上述隆起—伸展构造也有一定的改造和破坏作用,最终呈现与现今相似的构造格局。

闽西南中生代的走滑拉分沉积—火山盆地基本上都沿 NNE 向展布(冯宗帜,1993;韦德光等,1997;李兼海,1998),古生代地层组成一系列醒目的 NNE 向复式背、向斜(自西往东分别为明溪—武平复向斜、宣和(或称胡坊—永定)复背斜和大田—龙岩复向斜)及走滑和剪切活动导致的上杭—云霄、安溪—清流 NW 向断裂带等为主要构造特征,两组构造的复合交汇部位不仅制约着燕山早期的岩浆活动,而且其次级断裂构造及韧脆性剪切带往往为后来成矿作用提供有利赋矿空间(见图1)。自2006年至今,广大地质工作者先后在闽西南成矿带东西长120~160km,南北宽160~184km,分布面积约29000km²范围内发现各类钼矿床(点)近20处,其中连城县姑田矿区郭坑矿段钼(铜)矿床、紫金山铜金矿床外围罗卜岭斑岩型铜(钼)矿床、马坑钼矿床、行洛坑大型钨(钼)矿床和漳平北坑场钼(钨)矿床等以产出规模大和矿石品位高为特征。钼矿床广布于闽西南拗陷,钼矿带空间分布范围与拗陷带基本一致。

5 结论

(1) 首次对武平十二排钼矿床中的5件辉钼矿样品进行了 Re-Os 同位素分析,所获同位素模式年龄为(150.8 ± 1.3) Ma,等时线年龄为(151 ± 2) Ma,钼多金属矿体的形成时间为晚侏罗世,略晚于含矿黑云母花岗岩结晶年龄,属燕山早期构造—岩浆作用及相关流体活动的产物。

(2) 鉴于十二排矿床中辉钼矿大多呈浸染状分布于含矿花岗岩、花岗斑岩株和酸性火山岩中,并且与钼矿体中黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿呈共生结构关系,因此也佐证了十二排矿床含矿花岗岩、花岗斑岩和酸性火山岩的形成作用同样与燕山早期构造—岩浆活动有关。

(3) 根据十二排钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄,并且结合矿区外围各类侵入岩(层)体的岩相学特征,可以认为,晚侏罗世大规模构造—岩浆作用及相关流体活动为钼矿床的形成提供了动力、热力、热液和物质来源。

(4) 通过成矿年龄对比和总结,燕山早期中晚侏罗世挤压造山间歇的松弛或伸展期间(165 ~

160Ma, 150 ~ 145Ma),不仅是闽西南拗陷带重要的岩浆—构造活动期,而且也是钼矿成矿的重要时期。闽西南拗陷带钼的成矿作用受 NE 向复式背(或向)斜与上杭—云霄(或安溪—清流 NW 向)基底断裂带复合交汇部位控制,次级断裂构造往往是成矿作用的有利地段和赋矿场所。

(5) 通过进一步分析研究,闽西南钼矿带约20处钼矿床均分布于闽西南拗陷二级构造单元(隆中拗或拗中隆)之接壤地段。

致谢:本研究的野外调查与采样工作得到福建省第八地质大队罗锦昌总工、韦牧、谢春明工程师的热情帮助;中国地质科学院矿产资源研究所江思宏研究员、梁清玲硕士协助参与部分工作;福州大学紫金矿业学院黎敦朋老师和黄宏祥、王银秀、杨青等同学协助清绘了文中的部分图件;聂凤军研究员、张作衡研究员、章雨旭研究员审阅文稿,并提出了很好的修改建议;作者谨表衷心感谢。

注 释 / Notes

- ① 福建省第八地质大队. 2009. 福建省武平县十二排矿区钼矿详查报告(供审稿).
- ② 地矿部福建省地质矿产勘查开发局. 1997. 中华人民共和国地质图说明书(1: 5万象洞幅). 地矿部福建省地质矿产勘查开发局内部资料.

参 考 文 献 / References

- 地矿部福建省地质矿产勘查开发局. 1998. 中华人民共和国地质图说明书(1: 50万福建省幅). 福州: 福建地图出版社, 1~104.
- 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 邹晓秋, 孙亚利, 孙德忠, 陈少珍, 屈文俊. 1994. 辉钼矿的铼—钼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, 孙德忠, 刘敦一. 2001. Caris 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼—钼同位素地质年龄. 岩矿测试, 20(4): 247~252.
- 杜安道, 屈文俊, 李超, 杨刚. 2009. 铼—钼同位素定年方法及分析测试技术的进展. 岩矿测试, 28(3): 288~304.
- 冯宗帜. 1993. 福建中生代火山作用与构造环境. 中国区域地质, 12(4): 311~316.
- 李兼海. 1998. 福建省构造运动、构造层划分及其主要特征. 福建地质, 17(3): 115~130.
- 李文达, 毛建仁, 朱云鹤. 1998. 中国东南部中生代火成岩与矿床. 北京: 地震出版社.
- 梁清玲, 江思宏, 王少怀, 李超, 曾法刚. 2011. 福建紫金山矿田罗卜岭斑岩型铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 定年及地质意义. 地质学报, 86(7): 1113~1119.
- 罗锦昌, 陈郑辉, 屈文俊. 2009. 福建省永定山口钼矿辉钼矿铼—钼同位素定年及其地质特征. 岩矿测试, 28(3): 254~258.
- 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—钼地质年龄. 岩矿测试, 22(4): 254~262.
- 屈文俊, 杜安道, 李超, 孙文静. 2009. 金川铜镍硫化物样品中钼同位素比值的高精度分析. 岩矿测试, 28(3): 219~222.

任纪舜,王作勋,陈炳蔚,姜春发,牛宝贵,李锦轶,谢广连,和政军,刘志刚. 1997. 中国东部的构造格局和动力演化. 地学研究, 第29~30号: 43~55.

王培宗,陈耀安,曹宝庭. 1993. 福建省地壳一上地幔结构及深部构造背景的研究. 福建地质, 12(2): 79~158.

王少怀,裴荣富,曾宪辉,邱小平,魏民. 2009. 再论紫金山矿田成矿系列和成矿模式. 地质学报, 83(2): 145~157.

王少怀,张国兰,裴荣富. 2010. 紫金山矿集区铜地球化学块体特征及找矿潜力. 地球学报, 31(1): 90~94

王少怀. 2011. 紫金山矿集区地球化学异常特征及找矿潜力预测. 大地构造与成矿学, 35(1): 156~160.

王绍雄. 1995. 福建省寻找大型斑岩铜矿的前景与途径. 福建地质, 14(4): 165~176.

韦德光,揭育金,黄廷淦. 1997. 福建省区域地质构造特征. 中国区域地质, 16(2): 162~170

张达,吴淦国,刘乃忠,狄永军,吕良冀,曹文融. 2010. 福建漳平北坑场钼多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义. 地质学报, 84(10): 1428~1437.

张承帅,毛景文,谢桂青,赵财胜,于森,王金祥,刘武刚. 2012. 福建马

坑砂卡岩型铁(钼)矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 同位素年龄. 吉林大学学报(地球科学版), 42(Z1): 224~236

张家菁,陈郑辉,王登红,陈振宇,刘善宝,王成辉. 2008. 福建行洛坑大型钼矿的地质特征、成矿时代及其找矿意义. 大地构造与成矿学, 32(1): 92~97.

Bohlkea J K, Laeter J R and Bievre P D. 2005. Isotopic compositions of the elements. Phys. Chem. Ref. Data, 34(1): 57~67.

Du Andao, Wu Shuqi, Sun Dezhong. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: molybdenite HLP and JDC. Geostandard and Geoanalytical Research, 28(1): 41~52.

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

Smoliar M I, Walker R J and Morgan J W. 1996. Re-Os ages of group IIA, IIIA, IVA and VIB iron meteorites. Science, 271: 1099~1102.

Wieser M E. 2006. Atomic weights of the elements (IUPAC technical report). Pure Appl. Chem., 78(11): 2051~2066.

Re-Os Isotopic Dating of Molybdenite from Shierpai Molybdenum Deposit in Wuping, Fujian, and Its Geological Significance

WANG Shaohuai

Zijin College of Mining, Fuzhou University, Fuzhou, 350108

Abstract: Located in the southwestern section of the Fujian Province, the Shierpai ore deposit in Wuping county is a newly discovered molybdenum deposit. The molybdenum mineralization occurs within the biotite granite stock or along its contact zone with Neoproterozoic and Late Paleozoic metamorphic rocks. Ore bodies consist of veins, veinlets and disseminated blocks. Re-Os dating of five molybdenite samples collected from the main ore body shows that the isochron age is (151 ± 2) Ma and the model ages range from 149.7 Ma to 152.8 Ma with an average value of (150.8 ± 1.3) Ma, a little later than the age of the ore-bearing wall rock, the biotite granite. It can thus be considered that the biotite granite and the molybdenum deposit were both formed in Late Jurassic, and that magmatism and mineralization took place in early Yanshanian period in the Southwestern Fujian depression. Combined with other isotopic age data from the molybdenum deposits in adjacent areas, it can be inferred that the large-scale molybdenum mineralization in the southwestern Fujian depression occurring during the early Yanshanian. Magmatic activity induced by Indosinian transition from sustained platform to active continental margin accompanied by compressing and uplifting in early Yanshanian (about 160~145Ma) and late Yanshanian tectonic reworking with the conversion from compressing to pulling (about 105~90 Ma), seems to have been the dominant factor responsible for the formation of the molybdenum deposit.

Key words: Re-Os isotope; molybdenite; ore-forming age; Shierpai molybdenum deposit in Wuping county, Fujian