文章编号: 0254 - 5357(2012)04 - 0745 - 08

福建武夷山坪地钼矿辉钼矿铼 - 锇同位素定年及其地质意义

王翠芝[1,2], 李 超[3]
(1. 福州大学紫金矿业学院, 福建 福州 350108; 2. 福建省矿产资源重点实验室, 福建 福州 350108;
3. 国家地质实验测试中心, 北京 100037)

摘要: 福建武夷山坪地钼矿为中高温热液型钼矿,产于晚侏罗世钾长花岗岩岩体"层节理"及岩体与下元古界大金山组接触带的南北向断裂中。矿石自然类型主要为硅化岩型(石英脉型)、黄铁绢英岩型、花岗岩型、蚀变构造岩型。矿石构造主要有条带状、浸染状、角砾状、细脉状等构造类型。矿石结构以中粗 - 中细粒鳞片结构为主,局部呈现厚板状、带状(常常弯曲)。辉钼矿是唯一的矿石矿物。本研究采集坪地钼矿不同矿体、不同产状、不同标高的辉钼矿进行 Re - Os 同位素测年,得到等时线年龄为(102.9 ± 1.8) Ma,MSWD = 2.1,Re - Os模式年龄为(103.70 ± 1.7) Ma ~ (111.6 ± 1.6) Ma,加权平均值为(107.4 ± 3.3) Ma,MSWD = 16。MSWD 均较大,说明坪地辉钼矿的成矿具有多阶段性,钾长花岗岩中细脉状、岩体"层节理"中粗脉状和断裂角砾岩带中团块状三种类型的辉钼矿分别是在(111.20 ± 1.7) Ma ~ (111.60 ± 1.6) Ma、(105.60 ± 1.6) Ma ~ (107.40 ± 1.6) Ma 和(103.70 ± 1.7) Ma 三个不同的成矿阶段形成的,成矿时代属早白垩世晚期。这一同位素年龄资料为福建东南沿海浦城—宁德北西向中生代构造 - 岩浆带中同类矿床的形成演化与指导区域找矿提供了新的地球化学依据。

关键词: 坪地钼矿; 中高温热液矿床; 辉钼矿; 铼 - 锇同位素定年
中图分类号: P579.3; P578.291 **文献标识码**: A

Re-Os Isotopic Dating of Molybdenite of Pingdi Molybdenum Deposits in Wuyishan, Fujian Province and Its Geological Significance

WANG Cui-zhi[1,2], *LI Chao*[3]
(1. College of Zijin Mining, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China;
2. Fujian Key Laboratory of Mineral Resources, Fuzhou 350108, China;
3. National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037, China)

Abstract: Pingdi molybdenum deposit was attributed to medium-high hydrotherm type deposits, occurring in layer-joints of K-feldspar granite of Chenwulou unite of Late Jurassic and the north-south faults developed within Chenwulou magmatic body and the contact between Chenwulou magmatic body and lower Proterozoic Dajinshan formation. The ore mineralizations are of silified alteration type (quartz vein type), pyrite sericite quartz rock type, granite type and structural breccia type. Ore structures are of veinlet, disseminated, breccia, small vein. The ores mainly have medium and coarse-medium fine grain platy texture, and minor molybdenites are thick tabular and bent banding. Molybdenite is the only ore mineral in this molybdenum deposit. We collected molybdenites with different occurrences and elevations from different ore bodies of Pingdi molybnum deposits for Re-Os isotopic dating. The

收稿日期: 2012 - 02 - 26; **接受日期**: 2012 - 06 - 22
基金项目: 福建省自然基金资助项目"辉钼矿中伴生铼资源的矿物学约束"(2010J01257)
作者简介: 王翠芝,副教授,博士,主要研究方向为矿床成矿规律及矿产开发利用。E-mail: wcuizhi@163.com。

isochron age of (102.9 ± 1.8) Ma(MSWD = 2.1), and the model age of (107.4 ± 3.3) Ma (MSWD = 16) were obtained. This results indicated the multi-stages mineralization with three types of molybdenite such as fine veins in rock of K-feldspar granite, thick veins in "bedding joint" of K-feldspar granite and in breccia silicified rocks controlled by fractures, which were formed in different metallogenic phases, (111.20 ± 1.7) Ma – (111.60 ± 1.6) Ma, (105.60 ± 1.6) Ma – (107.40 ± 1.6) Ma and (103.70 ± 1.7) Ma, the mineralization periods during late stage of early cretaceous. This isotopic data provided the new geochemical evidences for Mesozoic tectonic magma evolution and guided regional ore-exploration of Pucheng-Ningde NW tectonic belt of Southeast coast of Fujian Province.

Key words: Pingdi molybdenum deposit; medium-high hydrothermal deposit; molybdenite; Re-Os isotope dating

坪地钼矿位于福建武夷山市区东南 27 km(直距,五夫镇境内)。由坪地、上西坑、东坑 3 个钼矿段组成。福建省区域地质调查队(2003)和福建省地质调查研究院(2005)分别对坪地、上西坑矿段开展了详查工作[1-2]。目前,这两个矿段已由天宝矿业集团公司开采。本区的区域地层、构造、岩浆岩、变质作用、成矿作用,前人已有大量论述[3-11],对于坪地钼矿矿床地质特征及矿床成因,傅树超等[12-13]已作了系统研究,认为控矿地质条件有早元古代大金山组变质岩、晚侏罗世中细粒钾长花岗岩和南北向断裂构造。对于晚侏罗世中细粒钾长花岗岩的成岩研究,傅树超等利用 SHRIMP 锆石 U – Pb 测年得到岩石成岩年龄为 150 Ma(私人通信),这一成岩年龄数据与同一成矿带(浦城—宁德北西向钼多金属成矿带)东南端的赤路钼矿 Re – Os 同位素模式年龄 105 ~ 106 Ma[14] 相差较大,因此,坪地钼矿形成年龄问题已制约了对坪地钼矿形成机制的深刻认识。浦城—宁德北西向钼多金属成矿带由北西向断裂及受断裂控制的下白垩统石帽山群地层组成。该成矿带横跨北东构造线而不整合于其他老地层之上[15],隶属于环太平洋钼成带的华南褶皱系 W – Cu – Mo 成矿省。坪地钼矿成矿时代研究不仅对该矿成矿机制和找矿方向研究有重要理论和实践意义,而且将为全球性重要的环太平洋钼成矿带的成矿规律研究提供重要的同位素年代学资料。为此,本文采集坪地矿段辉钼矿样品(其他矿段已有研究者采样,但还没见报道),利用辉钼矿 Re – Os 同位素进行定年工作,这一新资料将为探讨该矿床及区域钼、钨、铅、锌、银多金属大规模成矿的时限及地球动力学过程提供重要的年代学和地球化学约束。

1　区域地质背景及矿区地质概况

坪地钼矿位于闽西北隆起带北缘,浦城—宁德钼多金属成矿带与浦城 – 建阳多金属成矿带的交汇部位(这两个成矿带分别受浦城—宁德北西向断裂区域断裂和浦城 – 永泰嵩口南北向断裂控制),由于经历长期的构造变动,岩浆活动频繁,南北向、北西向和北东向三组断裂构造发育且成带分布,具有良好的热液成矿地质条件,是铜、钼、铅锌多金属成矿的有利部位。该钼矿属于中高温岩浆热液充填交代型钼矿床,矿区内下元古界大金山组变质岩、晚侏罗世中细粒钾长花岗岩和南北向断裂构造为主要的控矿因素[12-13]。

坪地矿段钼矿(化)体 7 个,主要赋存在坪地岩体顶部内接触带的"层节理"中,矿体呈缓倾角似层状或透镜状产出,编号分别为 I_1 ~ I_5、I_7,其中以 I_1 矿体规模最大,工程控制程度最高,其他矿体品位较低,研究程度较低,而赋存于岩体内南北向断裂破碎带中的矿体 I_6 则呈陡倾角脉状产出(图 1)。

坪地钼矿矿石自然类型因产状不同有所差别。岩体层节理中矿体矿石自然类型有:硅化岩型(即石英脉型);黄铁绢英岩型;花岗岩型; 构造角砾岩型,并以硅化岩型为主,约占矿石类型的 90%,矿石的主要金属矿物有辉钼矿和黄铁矿,次为磁铁矿、钼铅矿、钛铁矿,其总量为 6.53%;主要脉石矿物为石英、绢云母、白云母,占 93.47%。南北向断裂控制的矿体,矿石主要为构造角砾岩型、石英脉型、黑云斜长变粒岩型(以变质岩地层不同有多种),金属矿物量少(占 5%),金属矿物以黄铁矿为主,其次是辉钼矿,少量方铅矿、黄铜矿、钛铁矿、褐铁矿、闪锌矿、钼铅矿、钼华、褐铁矿等。矿石类型不同,矿石组构有所差别。层节理中矿石主要为条带状、团块状、浸染状、薄膜状构造,而南北向断裂控制的矿石角砾状构造发育。层节理中的矿石结构主要是自形晶粒结构、片状结构、鳞片状结构;南北向断裂带的矿石结构主要为细小鳞片状结构,局部有厚板状结构(常有弯曲)、充填结构、压碎结构、土状结构等(图 2)。

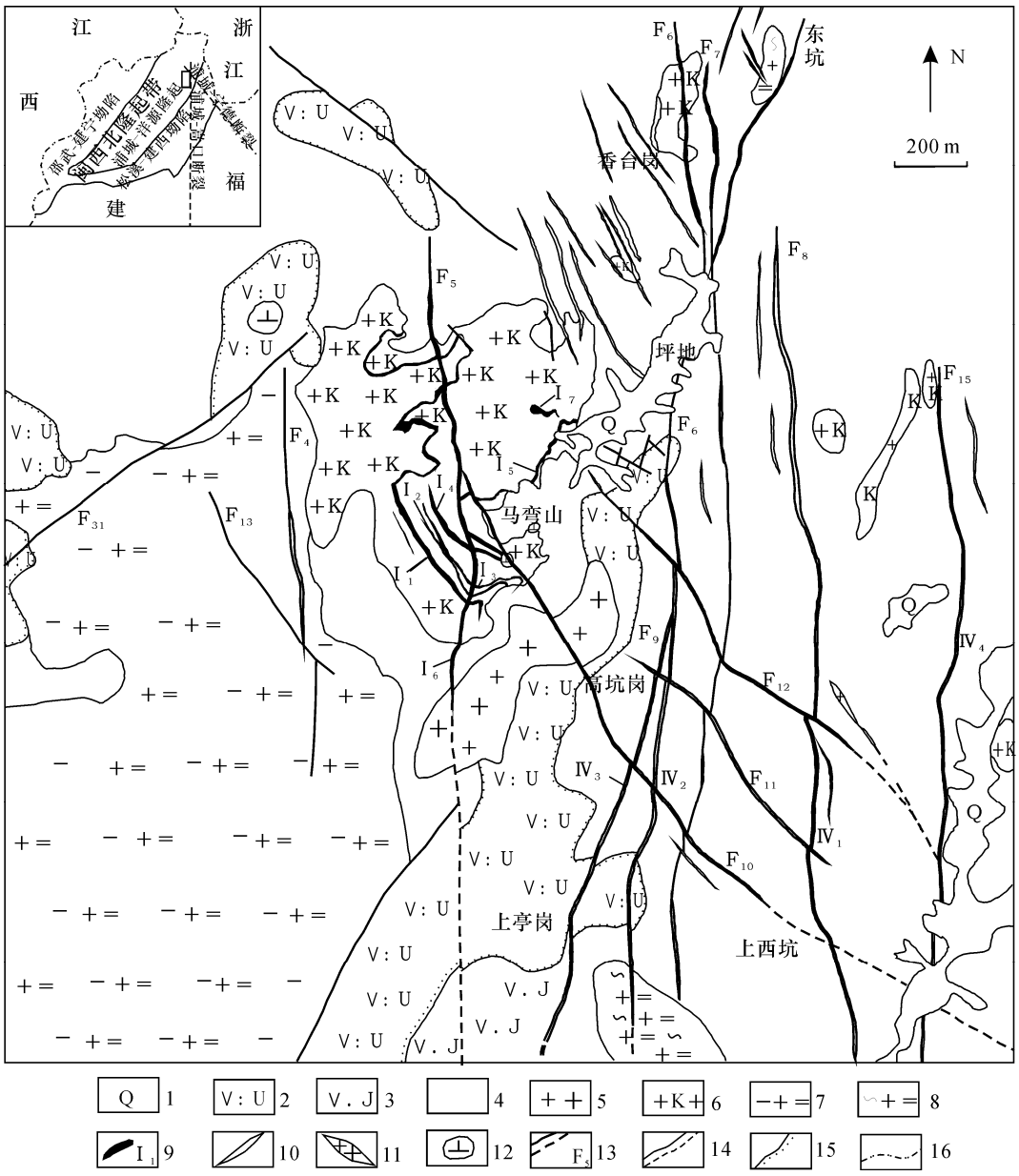


图 1　武夷山坪地钼矿矿区地质略图(据福建省区域地质调查队改编,2003)

Fig. 1　Geological scheme of Pingdi molybdenum deposits in Wuyishan

1—第四系; 2—侏罗系南园组第二段; 3—侏罗系长城组; 4—下元古界大金山岩组上段; 5—晚白垩世石牌前单元花岗斑岩; 6—晚侏罗世古竹超单元陈屋楼单元钾长花岗岩; 7—志留纪岭兜超单元大坊－横坑单元白云母二长花岗岩; 8—晚元古代梅坝单元黑云二长花岗岩; 9—钼矿体; 10—钼矿化体; 11—花岗斑岩脉; 12—闪长玢岩脉; 13—实、推测断层及编号; 14—实、推测地质界线; 15—不整合地质界线; 16—省界。

坪地钼矿辉钼矿有三个世代。第一世代辉钼矿主要分布于石英颗粒间,呈微细脉状分布于钾长花岗岩中;第二世代辉钼矿与黄铁矿连生,沿黄铁矿与石英脉石矿物裂隙、间隙充填,呈细脉状、浸染状存在,这类矿石主要分布在坪地岩体的"层节理"中;第三世代辉钼矿多分布在南北向断裂带的角砾状矿石中或断裂附近各类岩石裂隙中,一般颗粒细小,结晶度较差,呈稀疏浸染状胶结岩石角砾或黄铁矿等早阶段形成的矿物,局部呈厚板状、带分布,往往晶面弯曲。

2　样品及分析方法

本次测年样品共采 5 大件,采自坪地矿段不同矿体、不同产状、不同标高的辉钼矿矿石中,编号 PDI1－04、07、08 分别采自坪地矿段 I_1 矿体的黄铁绢英岩、硅化岩、碎裂花岗岩裂隙中,PDZK005－1 采自钻孔岩心钾长花岗岩节理面上,PDI6 样品采自坪地矿段 I_6 矿体的构造角砾岩中,故本次所用样品具有代表性,可以代表坪地钼矿坪地矿段的矿石特征。

样品先后经重力分离、电磁分离和在双筒显微

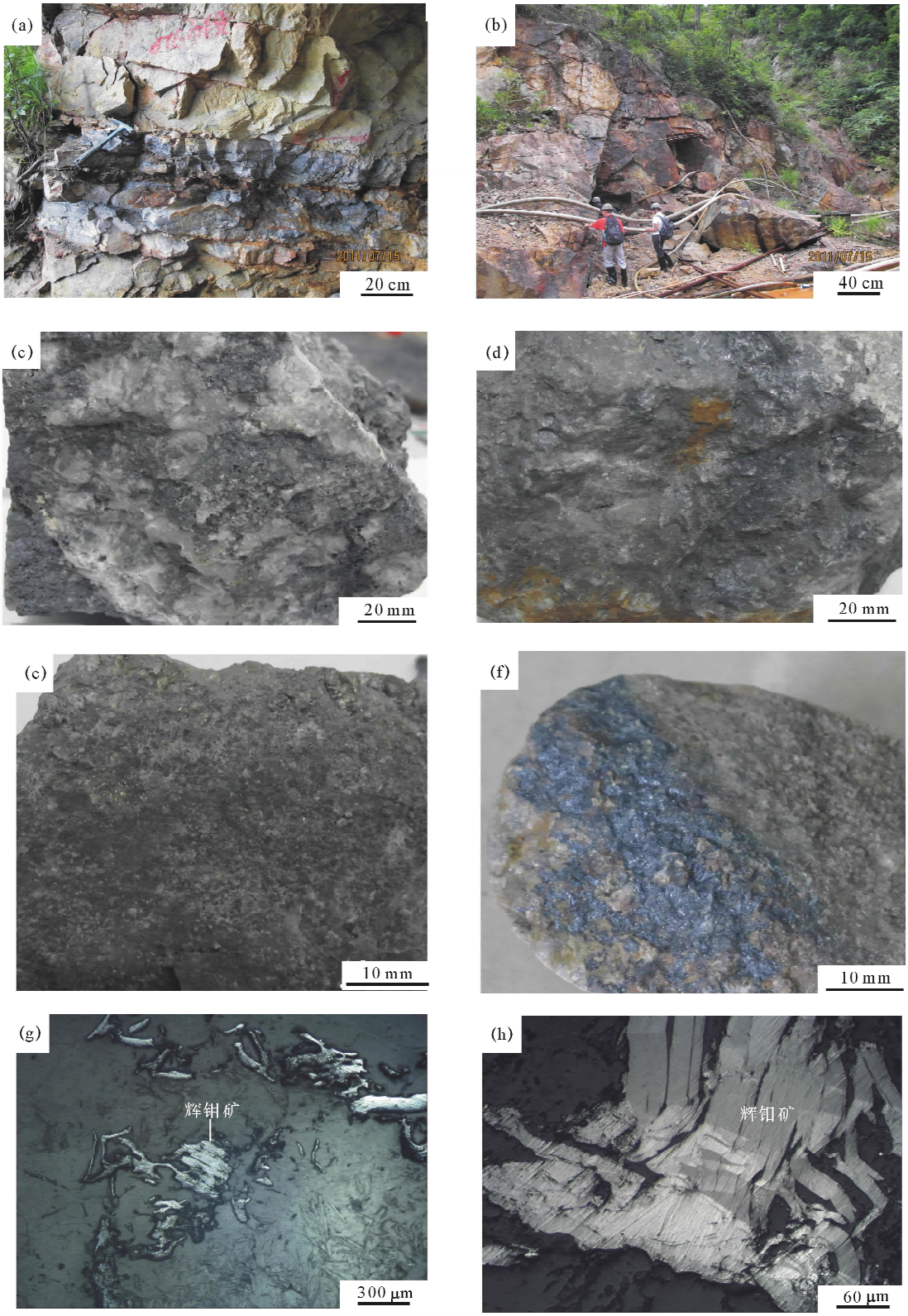


图 2　坪地钼矿体及辉钼矿的形态

Fig. 2　Shapes of molybnum ore body and molybdenite in Pingdi ore block

(a)—岩体"层节理"控制的 I_1 矿体；(b)—断裂带控制的 I_6 矿体地表出露部分；(c)—I_1 矿体硅化岩中团块状矿石；(d)—I_6 矿体角砾状硅化岩中稠密浸染状矿石；(e)—I_1 矿体硅化岩中浸染状矿石；(f)—钾长花岗岩节理面上薄膜状辉钼矿；(g)—I_1 矿体中鳞片状辉钼矿；(h)—I_6 矿体中厚板状辉钼矿。

镜下挑选获得,辉钼矿纯度在 99% 以上。样品分析在国家地质实验测试中心 Re - Os 同位素实验室进行,采用 Carius 管封闭溶样分解样品,分析仪器是 TJA X - series 电感耦合等离子体质谱仪,Re - Os 同位素分析的原理和详细分析方法参见文献[16 - 20]。实验室全流程空白 Re 约 0.0022 ng,普通 Os 为 0.0004 ng,远远低于所测样品中 Re、Os 的含量,因此,不会影响实验中 Re、Os 含量的准确测定。ICP - MS可达到目前国外同类仪器的测量精密度,实验数据准确。

3　分析结果

坪地钼矿中辉钼矿的 Re - Os 含量见表 1,其中^{187}Os 为总^{187}Os,计算时的误差指其总误差,包括样品的称量误差、稀释剂标定误差和质谱测量误差,置信度为 95%。编号为 PDZK501 -01 辉钼矿样品作为平行样测试了 2 次,平行样的测试结果非常接近,说明测试结果数据可靠。从表 1 中可以看出,模式年龄介于(103.70 ±1.7) Ma ~ (111.6 ±1.6) Ma,明显分为三组,分别在 111 Ma、106 Ma、103 Ma 左右。用全部 6 个点采用 ISOPLOT 程序[21]作^{187}Re - ^{187}Os 等时线图,得到辉钼矿的 Re - Os 等时线年龄为(102.9 ±1.8) Ma,MSWD =2.1 (图 3),Re - Os 模式年龄加权平均值为(107.4 ±3.3) Ma, MSWD = 16(图 4)。由此可知,等时线年龄和模式年龄加权平均值的误差都比较大,说明成矿具有多阶段性。因此,取模式年龄(103.70 ±1.7) Ma、(105.60 ±1.6) Ma ~ (107.40 ±1.6) Ma 和(111.20 ±1.7) Ma ~ (111.60 ±1.6) Ma 作为三个阶段的成矿年龄,属于早白垩世晚期。

上述辉钼矿 Re - Os 测试分析结果显示坪地钼矿成矿具有多阶段性,分别以模式年龄(111.20 ±1.7) Ma ~ (111.60 ±1.6) Ma、(105.60 ±1.6) Ma ~ (107.40 ±1.6) Ma 和(103.70 ±1.7) Ma 代表从早到晚的三个成矿阶段。这三个成矿阶段分别形成产状不同的矿体,每种产状矿体中的矿石特征明显不同。第一成矿阶段钾长花岗岩中细脉状的辉钼矿,晶片较大,结晶度较高,这类矿石中辉钼矿的模式年龄较大,如 PDZK501 -01 两个平行样,分别为(111.6 ±1.6) Ma、(111.2 ±1.7) Ma,两者数据相差很小,说明测试数据可靠;第二成矿阶段为坪地矿段"层节理"中主矿体的成矿阶段,如 I_1 矿体黄铁硅化岩矿石中的辉钼矿多呈鳞片状,模式年龄分布在 106 Ma 左右,如 PDI1 -07 样品(107.4 ±1.6) Ma,PDI1 -04 样品(105.6 ±1.5) Ma,PDI1 -08 样品(105.6 ±1.5) Ma,野外露头中可见第一成矿阶段中形成的细脉状辉钼矿脉被第二成矿阶段的"层节理"中的黄铁硅化岩 - 辉钼矿脉截断;第三成矿阶段是 I_6 矿体角砾状矿石中的辉钼矿,晶片相对较小,结晶度相对较差,局部常见带状分布,且常有弯曲、挠曲现象,模式年龄较小,为(103.7 ±1.7) Ma,野外可见第二成矿阶段形成的 I_1 矿体明显被第三成矿阶段的 I_6 矿体错开(断距可达 30 m),说明 I_6 矿体形成稍晚于 I_1 矿体及围岩中细脉状的辉钼矿矿体。因此,本次 Re - Os 测年数据是可信的,能够与矿体、矿石特征一致,从地质成矿历史来讲,坪地钼矿的三个成矿阶段同属于早白垩世晚期是合理的。

4　成矿时代的地质意义

东南大陆位于中国东部中新生代巨型构造 - 岩浆岩带上,尤其是以中生代岩浆及成矿最为宏伟壮观。这些构造岩浆成矿作用与中生代以来特提斯构造域向古太平洋构造域转换有直接关系。中国东南部晚三叠世 - 早侏罗世陆内拉张是特提斯向太平洋构造域转换的前奏[22];随后伴随着中侏罗世 - 晚侏罗世早期古太平板块向欧亚板块俯冲,表现为大规模陆内挤压,标志着构造转换开始[23];晚侏罗世晚期 - 早白垩世古太平洋构造伸展走滑和晚白垩世的扩张裂标志着东南沿海已全面进入太平洋构造。闽西北隆起带作为东南大陆上的一个主要构造单元,应经历了构造成矿域的转换,并在转换的每一阶段都可能留下相应的成矿作用记录。

表 1　坪地钼矿中辉钼矿的 Re - Os 同位素组成

Table 1　Re-Os isotopic data of molybdenite in Pingdi Mo deposits

样品编号	样品质量	w(Re)/(μg·g^{-1})		w(普 Os)/(ng·g^{-1})		w(^{187}Re)/(μg·g^{-1})		w(^{187}Os)/(ng·g^{-1})		模式年龄/Ma	
	m/g	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ
PDI1 -07	0.05104	8.828	0.073	0.0617	0.0113	5.549	0.046	9.939	0.093	107.4	1.60
PDI6 -01	0.05660	43.95	0.490	0.037	0.0133	27.630	0.310	47.760	0.400	103.7	1.70
PDI1 -04	0.05150	8.018	0.068	0.024	0.0084	5.040	0.043	8.872	0.073	105.6	1.50
PDI1 -08	0.05064	14.460	0.120	0.0258	0.0116	9.090	0.074	16.010	0.130	105.6	1.50
PDZK501 -01	0.05007	4.277	0.038	0.0678	0.0059	2.688	0.024	4.987	0.045	111.2	1.70
PDZK501 -01	0.07558	4.091	0.033	0.0613	0.0080	2.571	0.021	4.783	0.040	111.6	1.60

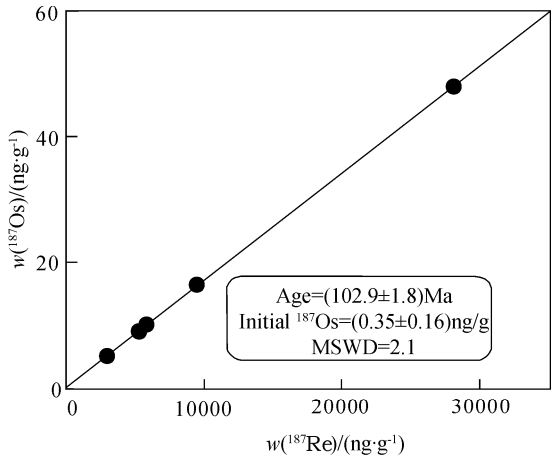


图 3　坪地钼矿中辉钼矿 Re－Os 同位素等时线年龄

Fig. 3　Re-Os isochron age of the molybdenite in Pingdi Mo deposits

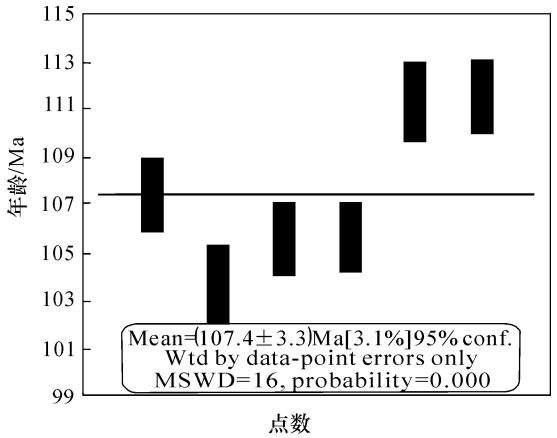


图 4　坪地钼矿中辉钼矿 Re－Os 模式年龄加权平均值

Fig. 4　Re-Os weighted mean model age of the molybdenite in Pingdi Mo deposits

毛景文等总结了华南中生代金属矿床大规模成矿作用的主要时代，提出华南地区中生代主要金属矿床出现于三个阶段，即晚三叠世(210～230 Ma)、中晚侏罗世(150～170 Ma)和早中白垩世(80～134 Ma)[24－25]。张达等重点研究了东南沿海一带中生代金属矿床成矿时代分布规律，认为东南沿海中生代金属矿床大规模成矿总体分布与华南地区比较接近，只是不同时段成矿作用的集中程度及持续时限存在差异性，主要集中在早侏罗世(190～200 Ma)、中晚侏罗世(150～170 Ma)、晚侏罗世－早白垩世(130～150 Ma)和早白垩世晚期(90～130 Ma)四个成矿作用阶段[26]。这四个成矿作用集中阶段的形成实际上是与特提斯向环太平洋构造域转换的不同阶段相对应。早侏罗世(190～200 Ma)主要为东西向的构造格局，叠加有北东向的构造变形作用。中晚侏罗世(150～170 Ma)由于太平洋板块的持续挤压，地壳加厚，形成规模较大推覆构造，同时也形成了相应的成矿作用。晚侏罗世－早白垩世(130～150 Ma)则完成构造成矿域的转换，加厚的岩石圈出现伸展变形，出现大规模的岩浆作用与伸展空间成矿。这一时期的成矿作用在华南大陆内部及周缘地区都广泛存在[27－30]。早白垩世晚期(90～130 Ma)，则表现为持续伸展及走滑机制，形成一系列的火山－潜火山活动，并伴随着沿海地区独特的火山－潜火山热液型金属成矿作用。本文利用坪地钼矿的辉钼矿 Re－Os 同位素测得的模式年龄(103.70±1.7) Ma～(111.6±1.6) Ma 和同一北西向成矿带东南端的赤路钼矿 105～106 Ma[14] 均可划入早白垩世晚期(90～130 Ma)，并且填补了张达等研究的 100～110 Ma 这一时间段无矿的空白(图 5)。

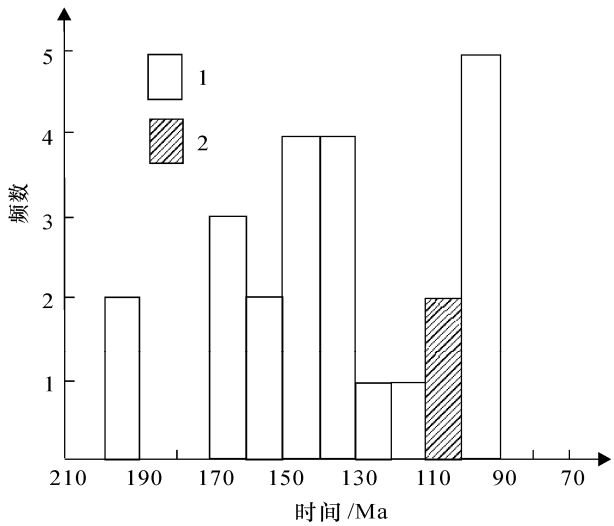


图 5　东南沿海成矿区矿床时代频数分布图

Fig. 5　Histogram showing mineralization age frequency China distribution of main mineral deposits in Southeastern

1—数据引自张达等[26]($N=22$)；2—本研究($N=2$)。

浦城—宁德北西向成矿带，属于环太平洋钼成矿带中的华南褶皱系 W－Cu－Mo 钼成矿省的我国东南沿海钼矿区，与整个东南沿海地区乃至环太平洋地区一样，应该经历同样的构造成矿域的转换，并在转换的每一阶段都可能留下相应的成矿作用记录。本文提供的坪钼矿的成矿年龄，与本区所在的浦城—宁德北西向成矿带内该时代的火山－侵入岩 K－Ar 和 Rb－Sr 年龄(大多在 95～120 Ma)是一致的，且与浦城—宁德北西向成矿带东南端的福安赤路钼矿辉钼矿的 Re－Os 同位素模式年龄为 105～

106 Ma 也相吻合[14]。坪地钼矿和福安赤路钼矿作为浦城—宁德北西向成矿带的西北和东南两个端元,与浦城—宁德北西向成矿带中部的上厂钼矿[31]、大林坑钼矿[32]成矿都沿着中生代火山盆地边缘分布,说明浦城—宁德北西向成矿带的大规模成矿基本上是同时的。

区域上,同构造阶段的钼矿还有更接近东南沿海的砺山钼矿(91 Ma)[33],以及远离东南沿海的江西境内铜坑嶂钼矿(134 Ma)[34]等,当然各地钼矿的具体成矿年龄存在一定的差异,表明其成矿作用具有一定的演化历史,从内陆到沿海,成矿年龄有逐渐减小的趋势。

上中生代以来的成矿时代讨论表明,闽西北地区历经了中生代以来与构造成矿域转换相伴生的主要岩浆及成矿作用。坪地钼矿成矿时代研究表明,与大规模早白垩世晚期火山 - 潜火山活动相关的钼多金属成矿在闽西北地区应该具有普遍性,是今后进一步找矿的重要方向。

5　结语

根据福建武夷山坪地钼矿辉钼矿 Re - Os 同位素测年结果,结合矿床地质特征和矿石特征,钼矿形成经历了三个成矿阶段,其中最早阶段小规模的矿化发生在(111.2 ± 1.7) Ma ~ (111.6 ± 1.6) Ma,主矿化发生在钾长花岗岩的"层节理"中,成矿模式年龄为(105.60 ± 1.6) Ma ~ (107.40 ± 1.6) Ma,最后一个阶段的矿化发生在南北向断裂中,成矿模式年龄为(103.70 ± 1.7) Ma。成矿时代为早白垩世晚期,该期成矿作用与东南沿海地区持续伸展及走滑机制下形成一系列的火山 - 潜火山活动有关。因此,本次 Re - Os 同位素定年数据不仅为研究本区的成矿作用提供了重要的依据,而且为寻找浦城—宁德北西向成矿带及我国东南沿海燕山晚期的相类似矿产提供了重要方向。

6　参考文献

[1] 福建省区域地质调查大队. 武夷山市坪地矿区坪地矿段钼矿详查报告[R]. 2003.

[2] 福建省地质调查研究院. 武夷山市东坑—上西坑矿区上西坑矿段钼矿详查报告[R]. 2005.

[3] 袁忠信,吴良士,张宗清,叶笑江. 北麻源群 Sm - Nd、Rb - Sr 同位素年龄研究[J]. 岩石矿物学杂志,1991,10(2):127 - 132.

[4] 赵国春,孙德有,贺同兴. 北麻源群变质流体对变质反应温度缓冲作用研究[J]. 岩石学报,1996,12(1):59 - 69.

[5] 傅树超,苏江湖. 闽北浦城地区晋宁期小串花岗片麻岩地质特征[J]. 福建地质,1994,13(4):227 - 234.

[6] 傅树超. 福建松溪后洋矿区钼矿地质特征[J]. 福建地质,2008,27(1):8 - 12.

[7] 石礼炎. 福建古田西朝钼矿床成矿构造特征及找矿方向[J]. 福建地质,2009,28(3):167 - 174.

[8] 刘诗光,刘乃忠. 福建建阳大金山铅锌矿床成因探讨[J]. 福建地质,2003,22(3):116 - 124.

[9] 马金清. 福建武夷山叶坑铅锌银矿床地质特征[J]. 福建地质,2006,25(3):113 - 120.

[10] 王文兵. 福建武夷山山口银多金属矿床地质特征及成因分析[J]. 福建地质,2010,29(2):96 - 100.

[11] 金华. 福建顺昌仁寿铅锌银矿地质特征及找矿方向[J]. 福建地质,2010,29(3):183 - 188.

[12] 傅树超. 福建武夷山坪地钼矿床地质特征及成因探讨[J]. 福建地质,2005,24(3):125 - 133.

[13] 傅树超. 福建省武夷山坪地钼矿床地质特征及成因探讨[J]. 地质与勘探,2011,47(2):268 - 276.

[14] 张克尧,王建平,杜安道,林仟同,黄金明,胡荣华,黄庆敏. 福建福安赤路钼矿床辉钼矿 Re - Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 中国地质,2009,36(1):147 - 155.

[15] 高天钧,王振民,吴克隆,黄辉,张克尧,许绳铭,连天萍. 台湾海峡及其周边地区构造岩浆演化与成矿作用[M]. 北京:地质出版社,1999:105 - 148.

[16] 杜安道,赵敦敏,王淑贤,孙德忠,刘敦一. 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,2011,20(4):247 - 252.

[17] 杜安道,屈文俊,李超,杨刚. 铼 - 锇同位素定年方法及分析测试技术的进展[J]. 岩矿测试,2009,28(3):288 - 304.

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

[19] 屈文俊,杜安道,李超. 金川铜镍硫化物样品中锇同位素比值的高精度分析[J]. 岩矿测试,2009,28(3):219 - 222.

[20] 李超,屈文俊,杜安道. 铼 - 锇同位素定年方法中丙酮萃取铼的系统研究[J]. 岩矿测试,2009,28(3):233 - 238.

[21] Ludwig K R. Squid 1.02: A User's Manual [M]. Berkeley Geochronology Centre, 2001: 1 - 219.

[22] 邢光福,杨祝良,毛建仁,舒良树,沈加林,孙强辉,陈荣,陶奎元. 东南大陆边缘早侏罗世火成岩特征及其构造意义[J]. 地质通报, 2002,21(7): 384 - 391.

[23] Wu G G, Zhang D, Cheng B L, Wu J S. Pomesozoic transformation of tectonic domain in Southeast China and its geodynamic mechanism [J]. *Earth Sciences* (*English Edition*), 2000, 11(3): 288 - 292.

[24] 毛景文,谢桂青,郭春丽,陈毓川. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用: 成矿时限及地球动力学背景[J]. 岩石学报,2007,23(10): 2329 - 2338.

[25] 毛景文,谢桂青,郭春丽,袁顺达,程彦博,陈毓川. 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,2008,14(4): 510 - 526.

[26] 张达,吴淦国,刘乃忠,狄永军,吕良冀,曹文融. 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[J]. 地质学报,84(10): 1428 - 1437.

[27] Mao J W , Wang Y T, Lehmann B, Yu J J, Du A D, Mei Y X, Li Y F, Zang W S, Stein H J, Zhou T F. Molybdenite Re-Os and albite $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of Cu-Au-Mo and magnetite porphyry systems in the Yangtze River valley and metallogenic implications [J]. *Ore Geology Reviews*, 2006, 29(3 - 4): 307 - 324.

[28] Mao J W, Xie G Q, Bierlein F, Qu W J, Du A D, Ye H S, Pirajno F, Li H M, Guo B J, Li Y F, Yang Z Q. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling Dabie orogenic belt [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2008,72(18): 4607 - 4626.

[29] 吴淦国,张达,彭润民,吴建设,高天钧,陈柏林,汪群峰,狄永军,张祥信. 东南沿海成矿带矿床形成的时间演化规律研究[J]. 地学前缘,2004,11(1): 237 - 247.

[30] 徐晓春,岳书仓. 浙闽粤滨海地区成矿演化和矿床时空分布的控制因素[J]. 矿床地质,1999,18(4): 373 - 378.

[31] 刘乃忠. 福建浦城上厂钼矿床地质特征及成因初探[J]. 福建地质,2005,24(3): 141 - 146.

[32] 刘诗光. 福建松溪大林坑钼多金属矿床地质特征及成因初探[J]. 福建地质,2005,24(3): 134 - 140.

[33] 王成辉,王登红,陈郑辉,严朝辉,吴资龙,林东燕,刘乃忠. 福建砺山钼矿的地质特征、成矿时代及区域找矿前景[J]. 矿物学报,2009,29(1): 63 - 69.

[34] 许建祥,曾载淋,李雪琴,刘俊生,陈郑辉,刘善宝,郭春丽,王成辉. 江西寻乌铜坑嶂钼矿床地质特征及其成矿时代[J]. 地质学报,2007,81(7): 925 - 928.