

doi:10.3799/dqkx.2011.029

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

李光来¹, 华仁民^{1*}, 韦星林², 王旭东^{1,3}, 黄小娥²

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. 江西有色地质勘查局, 江西南昌 330001

3. 东华理工大学, 江西抚州 344000

摘要: 徐山钨铜矿位于江西省中部, 是一个由石英脉型、矽卡岩型、花岗岩型 3 种类型“叠置”的三位一体矿床, 其中石英脉型和花岗岩型矿体及其相互关系基本符合“五层楼+地下室”或者“上脉下体”型钨矿床的特征。首次利用 Rb-Sr 等时线法对该矿床含黑钨矿石英脉的镶边白云母进行了亚样品定年, 获得其成矿年龄为 147.1 ± 3.4 Ma (MSWD=0.71)。该矿床的形成年龄与江西南部的石英脉型钨矿床相似, 都形成于燕山中期; 而与赣东北、赣西北的铜矿床成矿时间有较明显差异。白云母的 I_{Sr} 值很高, 为 0.849 ± 0.026 , 其原因可能是成矿花岗岩浆本身来源于演化程度和成熟度较高的壳源岩石, 而成矿流体在水-岩反应的过程中又萃取了岩石中具有异常高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值的 Sr。高 I_{Sr} 值也反映了相关的花岗岩及矿床形成过程中基本上没有幔源物质的参与。

关键词: 白云母; Rb-Sr 定年; 地质年代学; 超低本底; 高 I_{Sr} 值; 徐山钨铜矿床。

中图分类号: P618.4; P597

文章编号: 1000-2383(2011)02-0282-07

收稿日期: 2010-10-28

Rb-Sr Isochron Age of Single-Grain Muscovite in the Xushan W-Cu Deposit, Central Jiangxi, and Its Geological Significance

LI Guang-lai¹, HUA Ren-min^{1*}, WEI Xing-lin², WANG Xu-dong¹, HUANG Xiao-e²

1. State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Nanjing University, Nanjing 210093, China

2. Jiangxi Bureau of Nonferrous Metal Exploration, Nanchang 330001, China

3. Donghua University of Technology, Fuzhou 344000, China

Abstract: The Xushan tungsten-copper deposit is located in the central part of Jiangxi Province. It is a trinity deposit comprising three types of ore-bodies, i. e. quartz vein type, skarn type, and granite type. Rb-Sr micro-isochron method is first applied to determining the ore-forming age by using single grain of muscovite growing at the edge of the wolframite-quartz vein tungsten ore. Result shows that the mineralization age is 147.1 ± 3.4 Ma, with MSWD=0.71, and the I_{Sr} value is 0.849 ± 0.026 . This ore-forming age is similar to those of quartz-wolframite-vein tungsten deposits in southern Jiangxi, but is much later than the ages of copper deposits in northeastern Jiangxi and slightly earlier than the ages of copper deposits in northwestern Jiangxi. The very high I_{Sr} value may suggest that the ore-related granite was a melting product of highly evolved and highly saturated crust material, and the ore-forming fluids have extracted the strontium of extremely high $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios from the granite through water-rock interaction. It also suggests that there was almost no contribution of mantle material during the formation of either ore-related granite or tungsten mineralization.

Key words: muscovite; Rb-Sr dating; geochronology; ultra-low procedural blank; high I_{Sr} value; Xushan W-Cu deposit.

江西省是我国重要的金属成矿省。铜、钨、钼、金、稀土等储量均位于全国前列,被誉为该省矿产资源的“五朵金花”;此外,江西的铀矿和银矿也很丰富。江西金属矿产的总体分布格局是“北铜南钨”,即赣北地区发育多个大型铜矿(如赣东北德兴的铜厂、银山,赣西北九瑞的城门山、武山等),而赣南则以钨矿(尤其是石英脉型钨矿)的密集产出为特征,相对来说,赣南地区缺乏独立的、较大规模的铜矿床。

前人对赣东北、赣西北地区的铜多金属矿床和赣南地区的石英脉型钨矿床都进行了较为深入细致的研究,取得了大量成果,但对位于二者之间的赣中地区的矿产资源的关注和研究则显得不足且较为零星。

本文研究的徐山钨矿位于江西中部的丰城,该矿床除了产钨外,还有铜伴生,因此又称为徐山钨铜矿。前人对该矿床的研究较少,已发表的文献主要集中于金属矿物的矿相学(徐国风,1981)、不同矿石类型中黑钨矿的对比(邹继蓉,1982)、含钨石英脉的显微组构(钟文华,1989),以及元素地球化学晕(万大理,1991)等方面,至今缺少年代学研究工作。本文在对矿床进行地质特征调查的基础上,采用单颗粒白云母 Rb-Sr 等时线法开展了成矿年代学的初步研究。

1 矿床地质概况

徐山钨铜矿床大地构造位置属于江南古陆南缘,华南加里东褶皱带武功山隆起东端(图 1),黄金岭—老虎山向斜轴部。区域内出露地层以震旦系为主,其次有上泥盆—下石炭统的峡山群、上三叠—下侏罗统的安源群、第三系的衢江群以及第四系的红土砾石层与冲积层。本区燕山期岩浆活动强烈,在燕山早中期发育有 3 次花岗岩浆的侵入活动。

徐山矿区地质概况如图 2 所示。矿区主要发育有震旦系上部浅变质岩以及第四系残坡积层与冲积层。变质岩的主要岩石类型有:千枚岩、砂质千枚岩、千枚状粉砂岩、变质粉砂岩、变质砂岩等。第四系坡积物、冲积物中除了含有变质岩碎块、石英碎块、沙粒及粘土之外还含有少量钨矿物与锡石。区内发育的断裂主要为北东向和北北东向。矿区的岩浆岩为蚀变的黑云母花岗岩,隐伏于含矿石英脉下部。

徐山钨铜矿床是一个由石英脉型、矽卡岩型、花岗岩型 3 种不同成因类型矿化叠置的“三位一体”矿床,3 种矿化类型的空间分布关系见图 3 所示。石英

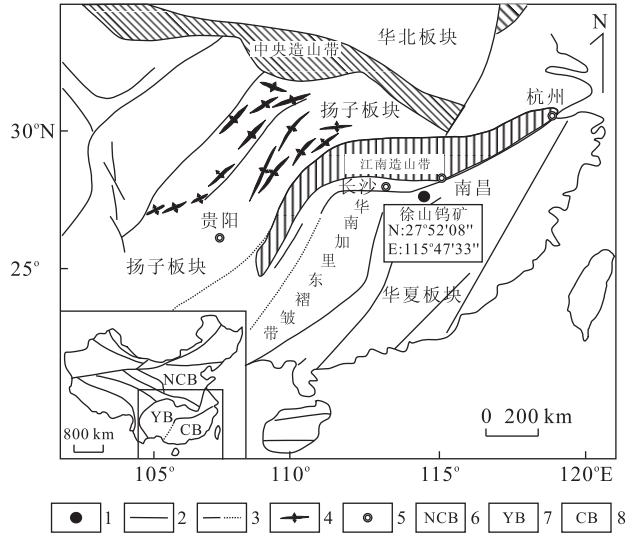


图 1 徐山钨铜矿大地构造位置略图

Fig. 1 A sketch tectonic map of Xushan W-Cu deposit
1. 徐山钨铜矿; 2. 断裂; 3. 构造边界; 4. 背斜轴; 5. 地名; 6. 华北板块; 7. 扬子板块; 8. 华夏板块

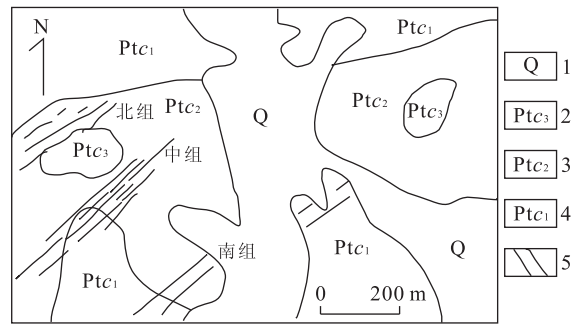


图 2 徐山钨铜矿区地质简图(据钟文华,1989 修改)

Fig. 2 The geological map of Xushan W-Cu ore district
1. 第四系浮土; 2~4. 震旦系板溪群上部浅变质岩系; 5. 石英脉型钨矿

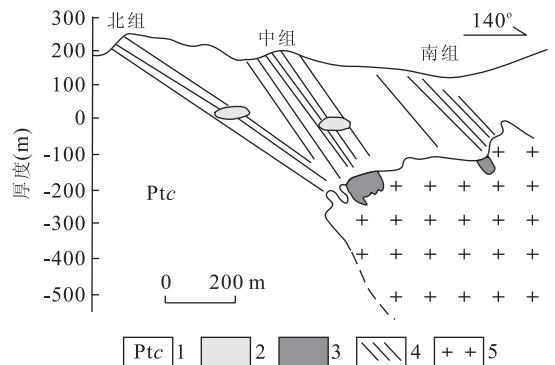


图 3 徐山钨铜矿床 0 线剖面图(万大理,1991)

Fig. 3 Central exploration section of Xushan W-Cu deposit
1. 震旦系板溪群上部浅变质岩系; 2. 矽卡岩型钨矿; 3. 花岗岩型钨矿; 4. 石英脉型钨矿; 5. 燕山期黑云母花岗岩

脉型和花岗岩型矿体的特征及相互关系基本符合“五层楼+地下室”或者“上脉下体”型钨矿床的特征。值得注意的是,矿石的钨含量和铜含量在这 3 种成因类型的矿体中都呈现正相关关系,因此从某种意义上来说,该矿床兼具赣南石英脉型钨矿与赣北矽卡岩型—斑岩型铜矿床的一些特征。

石英脉型钨矿体主要产于震旦系浅变质岩中,走向 NE-NEE,倾向 SE,大致可以分成北组、中组和南组 3 组;矽卡岩型矿体主要产于外接触带的矽卡岩体内,呈似层状、透镜状产出;花岗岩型矿体主要产于花岗岩顶部与“舌部”前缘,呈似层状、扁豆状、透镜状产出。主要矿石矿物为黑钨矿、白钨矿、黄铜矿等,脉石矿物有石英、白云母、方解石、透辉石、石榴子石等。花岗岩发生的蚀变作用主要有微斜长石化、电气石化、钠长石化、云英岩化等;石英脉两侧变质岩发育有电气石化、黄铁矿化、碳酸盐化等蚀变;矽卡岩型钨铜矿体则伴有强烈的矽卡岩化,在接触带附近还发育有角岩化。

2 样品特征及分析方法

本文的成矿年龄测定采用单颗粒白云母 Rb-Sr 等时线法,又称“微等时线法”。白云母的晶体化学式为 $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$,其中 K^+ 的离子半径为 0.133 nm,而 Rb^+ 的离子半径为 0.148 nm,两者离子半径相似, Rb^+ 可以替代 K^+ 进入白云母的晶格,而 Sr^{2+} 则由于自身化合价及离子半径原因很难进入白云母晶格,因此白云母具有较高的 Rb/Sr 比值,从而也成为 Rb-Sr 同位素定年的理想矿物。

近年来,中国科学院地质与地球物理研究所利用高精度 IsoProbe-T 型固体热电离质谱计,采用超低本底化学流程,先后对单颗粒金云母、单颗粒黄铁矿、单颗粒闪锌矿进行了 Rb-Sr 同位素测试,取得了一系列成功的实例(李秋立等,2006;韩以贵等,2007;Li *et al.*, 2008;张长青等,2008),同时也为金属矿床的年代学研究提供了新的途径。

本次测试样品(XS-11)采自徐山钨铜矿床—150 m 中段巷道顶板,手标本大小约 $10\text{ cm} \times 8\text{ cm} \times 4\text{ cm}$,与白云母共生的矿物有石英、黑钨矿、黄铁矿、黄铜矿等,其中白云母为细小鳞片状结构,发育于含钨石英脉侧边。与大吉山、茅坪等石英脉型黑钨矿发育的镶边白云母相比,该样品的白云母颗粒较小,大者约 $0.5\text{ cm} \times 0.3\text{ cm}$ 。采用亚样品取样方法,从该手标本样品挑选 6 片白云母(样号 XS-

11-1~XS-11-6),分别用于 Rb-Sr 同位素测试。为了实现最终的超低本底测试,整个样品制备过程在千级超净实验室中完成,具体流程如下:

(1)清洗容样杯:将前人实验用过的容样杯用二次酸煮 24 h 后,用 Milli Q 高纯水分 3 次冲洗内壁与杯口,第一次洗完后加入 6 N HCl 放入烤箱($100\text{ }^\circ\text{C} \pm$)回流 24 h,后两次清洗后,分别注入 Milli Q 高纯水放入烤箱($100\text{ }^\circ\text{C} \pm$)内回流 24 h,最后蒸干容样杯备用。

(2)称样:双目镜下挑选较为纯净的白云母单片,在超声波清洗器中清洗 3 次(先用酒精清洗 1 次,后用 Milli Q 高纯水清洗 2 次),样品蒸干后,在超微电子天平下称重后转移到容样杯中。每个容样杯滴注 $6\text{ }\mu\text{L}$ Rb-Sr 稀释剂与 8 滴 HF 溶样 48 h。

(3)过柱分离样品:装柱后,用 Milli Q 高纯水冲洗交换柱 4 次,加适量树脂于交换柱内,再滴注 Milli Q 高纯水滤洗 2 次,3.5 N HNO_3 滤洗 1 次。先过柱分离 Rb 样品,在 Rb 样品内加 $2\text{ }\mu\text{L}$ 1% H_3PO_4 ,蒸干待测。而后用 3 mL HNO_3 分 5 次洗去交换柱中残余的 Rb,最后滴入高纯水接 Sr,接完后在 Sr 样品内加入 $2\text{ }\mu\text{L}$ 1% H_3PO_4 ,蒸干后待测。

质谱测试在中国科学院地质与地球物理研究所固体同位素地球化学实验室购置的英国 GV 公司(原 MicroMass 公司)最新产品 IsoProbe-T 型固体热电离质谱计上完成。采用单 W 灯丝加载样品,1 μL 纯化的 TaF5 作为发射剂,以 1 μL 2N HNO_3 酸提取 Sr 加载于 W 灯丝。采用 1 μL 2N HNO_3 提取 Rb 加载于 Ta 灯丝, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值测量精度优于 0.002%(李秋立等,2006)。

3 分析结果及讨论

3.1 分析结果

六件亚样品 Rb-Sr 同位素测试结果见表 1,所获得的 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 值为 369.7~819.8, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 1.623 677~2.569 813。利用 Ludwig(2001)编写的 Isoplot 软件拟合的 Rb-Sr 等时线如图 4 所示,获得的等时线年龄为 $147.1 \pm 3.4\text{ Ma}$, I_{Sr} 值为 0.849 ± 0.026 , MSWD 值为 0.71,较低的 MSWD 值证明了该等时线具有较高的质量。

3.2 年龄的可靠性评价

采用亚样品取样可以很大程度地避免成矿流体与围岩之间发生同位素交换的影响,更有利于达到同位素平衡和 Sr 初始比值的均一(杨进辉等,2000)。尽

表 1 徐山钨铜矿床白云母 Rb-Sr 同位素测试结果

Table 1 Data of Rb-Sr isotope analysis for muscovite from Xushan W-Cu deposit

样品编号	质量(mg)	Rb(10^{-6})	Sr(10^{-6})	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	误差(2σ)
Xs-11-1	3.03	1 308.4	11.2	369.7	1.623 677	0.000 015
Xs-11-2	2.33	1 420.2	8.7	521.6	1.936 595	0.000 019
Xs-11-3	2.61	1 439.7	7.5	628.4	2.149 134	0.000 021
Xs-11-4	2.95	1 331.1	8.2	534.1	1.967 618	0.000 012
Xs-11-5	2.85	1 451.1	7.1	684.4	2.286 030	0.000 014
Xs-11-6	2.68	1 431.0	6.0	819.8	2.569 813	0.000 026

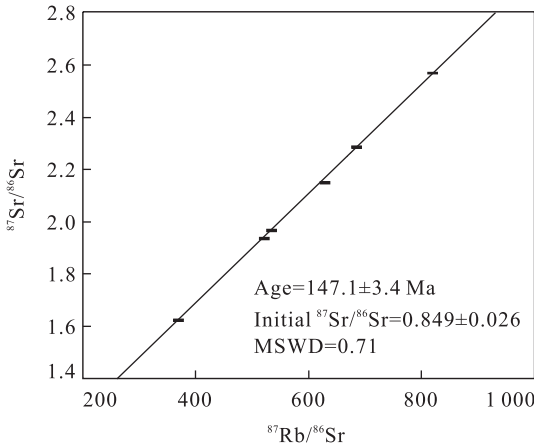


图 4 徐山钨铜矿床白云母 Rb-Sr 同位素等时线

Fig. 4 Rb-Sr isochron of muscovite from Xushan W-Cu deposit

管取样位置间隔很近,各亚样品的 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值仍显示出较为宽泛的变化范围,从而为获得较为合理的等时线奠定了基础.数据点偏离拟合的程度通常用加权平均方差 MSWD 值来表征.本次实验 MSWD=0.71,小于 1,说明数据点离散度较低,等时线质量较高;同时也一定程度上说明白云母形成之后很好地保持了 Rb-Sr 同位素体系的封闭,并未发生与外界环境之间的 Rb-Sr 物质交换.综上所述,本文获得的 Rb-Sr 等时线年龄 147.1 ± 3.4 Ma 可以准确代表白云母的结晶年龄.前已述及,该白云母与黑钨矿密切共生,因此, 147.1 ± 3.4 Ma 可以作为徐山钨铜矿床的成矿年龄.

4 样品 Sr 同位素高初始比的原因及指示意义

Sr 同位素初始比值 (I_{Sr}) 通常被用来判断岩浆岩及热液矿床的物质来源.如果未作 Sr 的本底扣除,可能会导致高 Rb/Sr 比值的样品的等时线斜率偏低,进而导致锶初始比值较低(李秋立等,2006).然而该类实验整个流程的本底为 pg 级,较常规流程

的本底 (10^{-10} g 级) 提高两个数量级(陈福坤等,2005;Li *et al.*, 2005),因而本文的测试值与真实值相当,本底的影响基本可以忽略不计.

本次实验获得的 Sr 同位素初始比值为 0.849 ± 0.026 , 不仅远远高于幔源岩石 (0.704), 也明显高于普通壳源花岗岩 (0.720) 的这一比值, 指示成矿流体和成矿物质都不可能直接来源于地幔. 关于这一 I_{Sr} 比值明显高于一般壳源岩石的原因, 笔者认为可能主要受控于以下两个因素:

(1) 通常 Rb 在岩浆体系中的总分配系数小于 1, 而 Sr 在岩浆体系中的总分配系数大于 1(刘昌实和杨心宜, 1991), 岩浆分离结晶的过程使得残余相逐渐富集不相容元素 Rb 而相对亏损 Sr, 因此壳源岩石的演化程度越高其 Rb/Sr 比值也越高. 由此可以判断: 作为岩浆熔体来源的壳源岩石本身就具有较高的演化程度和成熟度. 例如, 如果岩浆来自于加里东期花岗岩的重熔, 那么它已经具有较高的 I_{Sr} ; 而由这种岩浆体系演化到后期分异出的岩浆热液势必具有更高的 Rb/Sr 比值.

(2) 成矿流体在水-岩(花岗岩)反应的过程中萃取来的 Sr 本身就具有异常高的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值. 因为微量元素分析结果显示, 赣南地区大多数与钨矿有关或邻近钨矿的花岗岩都有非常高的 Rb/Sr 比值. 如果花岗岩的形成与水-岩反应之间, 乃至与白云母最终形成之间存在一定的时间间隔, 就可能会导致白云母 Rb-Sr 时钟开启时 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的比值较高.

因此, 白云母的高 I_{Sr} 值可能反映了相关的花岗岩及矿床形成过程中基本上没有幔源物质的参与. 这与赣南钨矿及其花岗岩的情况基本上是一致的(王旭东等, 2009; 华仁民等, 2010).

5 赣中中生代成矿作用及其与赣北、赣南的比较

赣中地区的金属矿产资源, 虽然不及赣北的铜

和赣南的钨那样引人注目,但也相当丰富.赣中地区既有永平、东乡等大型铜矿床,浒坑、下桐岭、徐山等钨矿床,还有冷水坑大型银铅锌矿床,宜春 414 矿、横峰葛源等大型钽铌矿床,此外,赣中地区有华南最具代表性的火山岩型铀矿床——相山铀矿.

除了徐山钨铜矿床外,笔者还测定了赣中地区分宜下桐岭钨矿的辉钼矿 Re-Os 年龄,为 152 Ma (另文发表).而赣中另一个重要的钨矿——安福浒坑钨矿的 Re-Os 年龄为 150 Ma(刘珺等,2008).此外,前人还测得赣中宜春 414 钽铌矿和铅山永平铜矿的成矿年龄分别为 148.6 Ma 和 154 Ma(毛景文等,2004a).

由这些年龄数据可以初步认为,赣中地区与赣北、赣南一样,主要的成矿作用也发生在中生代,因此也是华南中生代大规模成矿作用的一部分.然而,由于赣中与赣北、赣南所处的大地构造位置和地质背景不同,因此造成了它们之间在成矿作用上的一些差异.

赣东北在构造上属于扬子陆块东缘的江南造山带(江南古陆),铜、金以及白钨矿是江南造山带的特征成矿元素.赣东北与中生代花岗岩类有关的矿床如德兴的铜厂、银山,其成矿年龄主要为燕山早期的 170 Ma 左右(Lu *et al.*, 2005;李 晓峰等,2006),是华南地区中生代 3 次大规模成矿作用中最早的一次(华仁民等,2005).该地区的金山金矿的成矿年龄比较复杂,至今未有定论,但肯定不会晚于德兴铜矿(毛光周等,2008).

赣西北地区的九瑞矿集区已经属于长江中下游成矿带,其中城门山铜矿石英脉中辉钼矿的 Re-Os 年龄为 141 Ma、石英斑岩中浸染状辉钼矿的 Re-Os 年龄为 137 Ma(吴良士和邹晓秋,1997),斑岩型钼矿中辉钼矿的模式年龄为 142 Ma(毛景文等,2004a);武山铜矿南矿带 Re-Os 年龄为 146.4 Ma(李进文等,2007).邓晋福和吴宗絮(2001)认为这两个矿床的形成与下扬子克拉通岩石圈的减薄事件关系密切.城门山和武山铜矿的成矿年龄与长江中下游成矿带的鄂东南、铜陵、安庆等矿集区的铜矿为同一时期(毛景文等,2004b),可以归入华南地区中生代 3 次大规模成矿作用中最晚的一次(华仁民等,2005).

赣南地处南岭东段,属于华夏地块范围的华南加里东褶皱带.震旦—寒武系陆源碎屑(—火山)沉积广泛发育,是钨的重要矿源层之一(一般含钨 $(10\sim 16)\times 10^{-6}$,钨的地壳丰度为 1.1×10^{-6}).已

知大型钨矿的围岩大多是震旦系、寒武系和泥盆系,其中赣南最发育的石英脉型和蚀变花岗岩型黑钨矿矿床多产于震旦系、寒武系硅铝质砂岩、板岩或凝灰岩、凝灰质砂岩中.如赣南的西华山、黄沙等钨矿的围岩主要是寒武系碎屑岩,局部有震旦系、泥盆系.在这一点上,徐山钨铜矿与赣南的钨矿类似.赣南钨矿的成矿年龄,近年来已经有大量的数据,明显集中在 145~160 Ma,尤其是 150~160 Ma(华仁民等,2010),显示出短时间内“爆发”成矿的特点.

赣中地区位于赣北、赣南之间,实际上处在扬子地块和华夏地块的结合部位;在地质构造背景上既与赣北、赣南不同,又兼有二者的某些特征;并且与赣南较为相似.与赣南相比,该区钨矿床的规模较小、数量也较少,但钨矿伴生组分中铜的含量比赣南有所增加,甚至出现了钨铜矿床(徐山)、铜钨矿床(东乡、永平)等过渡类型.该区钨—铜系列矿床的形成时代多集中于 145~155 Ma,明显晚于赣东北铜矿,与赣南钨矿形成时代基本相同或稍滞后.

近年来,扬子陆块与华夏地块的结合带的构造—沉积—岩浆—成矿作用正愈来愈受到关注和重视.其中,所谓的“钦杭成矿带”作为古板块结合带背景下的成矿带,因其发育有十余处特大型矿床及近百处大中型矿床,而受到诸多学者越来越多的关注(杨明桂等,1997,2009).而赣中地区恰处于钦杭成矿带的中—东段,而且该地区已经是国内重要的钨、铜、钽铌、银、铀成矿地区之一.因此可以预期,对赣中地区的成矿作用研究以及找矿勘查工作必将出现一个高潮.

6 结论

(1)利用单颗粒白云母 Rb-Sr 等时线法测定赣中地区徐山钨铜矿床的成矿年龄为 147.1 ± 3.4 Ma,与赣南地区大部分石英脉型钨矿的成矿时代相近,都形成于燕山中期,晚于赣东北德兴地区的铜矿而早于赣西北九瑞地区的铜矿.

(2)白云母中 Sr 的高初始比值,主要反映了成矿流体对花岗岩及其源岩高 I_{Sr} 比值的继承,以及流体自生演化过程中对矿体围岩中 Sr 的萃取.据此判断,徐山钨铜矿床成矿流体乃至成矿物质都不可能来源于地幔物质.

致谢:感谢徐山钨矿、铁路乡钨矿等单位的领导和同行在野外考察过程中提供的有力帮助.中国科学院地质与地球物理研究所的李向辉博士、屈敏博

士以及南京大学的凌洪飞教授分别在样品测试实验及数据解释过程中给作者提供了很大帮助,在此一并致以诚挚的谢意。

References

- Chen, F. K., Li, Q. L., Li, C. F., et al., 2005. Prospect of high precision mass spectrometer in isotope geochemistry. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30: 639—645 (in Chinese with English abstract).
- Deng, J. F., Wu, Z. X., 2001. Lithospheric thinning event in the lower Yangtze craton and Cu-Fe metallogenic belt in the middle and lower Yangtze river reaches. *Geology of Anhui*, 11(2): 86—91 (in Chinese with English abstract).
- Han, Y. G., Li, X. H., Zhang, S. H., et al., 2007. Single grain Rb-Sr dating of euhedral and cataclastic pyrite from the Qiyugou gold deposit in western Henan, Central China. *Chinese Science Bulletin*, 52(11): 1307—1311 (in Chinese).
- Hua, R. M., Chen, P. R., Zhang, W. L., et al., 2005. Three major metallogenic events in Mesozoic in South China. *Mineral Deposits*, 24(2): 99—107 (in Chinese with English abstract).
- Hua, R. M., Li, G. L., Zhang, W. L., et al., 2010. A tentative discussion on differences between large-scale tungsten and tin mineralizations in South China. *Mineral Deposits*, 29(1): 9—23 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. W., Li, X. H., Pei, R. F., et al., 2007. Re-Os age of molybdenite from the southern ore zone of the Wushan copper deposit, Jiangxi Province, and its geological significance. *Acta Geological Sinica*, 81(6): 801—807 (in Chinese with English abstract).
- Li, Q. L., Chen, F. K., Wang, X. L., et al., 2005. Ultra-low procedural blank and the single-grain mica Rb-Sr isochron dating. *Chinese Science Bulletin*, 50: 2861—2865.
- Li, Q. L., Chen, F. K., Yang, J. H., et al., 2008. Single grain pyrite Rb-Sr dating of the Linglong gold deposit, eastern China. *Ore Geology Reviews*, 34: 263—270.
- Li, X. F., Chen, W., Mao, J. W., et al., 2006. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of sericite from altered dacite porphyry and quartz porphyry in Yinshan polymetallic deposit of Jiangxi Province and its geological significance. *Mineral Deposits*, 25(1): 17—26 (in Chinese with English abstract).
- Liu, C. S., Yang, X. Y., 1991. The effect of protracted fractionation of magma on change in initial Sr ratio in granitic batholith. *Geotectonica et Metallogenia*, 15(2): 152—159 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J., Mao, J. W., Ye, H. S., et al., 2008. Re-Os dating of molybdenite from the Hukeng tungsten deposit in the Wugongshan area, Jiangxi Province, and its geological implications. *Acta Geologica Sinica*, 82(11): 1576—1584 (in Chinese with English abstract).
- Lu, J. J., Hua, R. M., Yao, C. L., 2005. Re-Os age for molybdenite from the Dexing porphyry Cu-Au deposit of Jiangxi Province, China. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 69 (Supp. A): 882.
- Ludwing, K. R., 2001. ISOPLOT/EX. Version 2.49. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, 1—20.
- Mao, G. Z., Hua, R. M., Gao, J. F., et al., 2008. Rb-Sr age of gold-bearing pyrite in the Jinshan gold deposit, Jiangxi Province. *Acta Geologica Sinica*, 29(5): 599—605 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J. W., Stein, H., Du, A. D., et al., 2004b. The Re-Os isotope accurate timing of copper (molybdenum) in the middle and lower Yangtze area and its indication for metallogenesis. *Acta Geologica Sinica*, 78(1): 121—131 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J. W., Xie, G. Q., Li, X. F., et al., 2004a. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China. *Earth Science Frontiers*, 11: 45—55 (in Chinese with English abstract).
- Wan, D. L., 1991. Geochemical anomaly features of the Xushan tungsten deposit, Jiangxi. *Geology and Prospecting*, 27(6): 47—51 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. D., Ni, P., Jiang, S. Y., et al., 2010. Origin of ore-forming fluids of Piaotang tungsten deposit in Jiangxi Province; evidence from helium and argon isotopes. *Chinese Science Bulletin*, 55(7): 628—634.
- Wu, L. S., Zou, X. Q., 1997. Re-Os isotopic age study of the Chengmenshan copper deposit, Jiangxi Province. *Mineral Deposits*, 16(4): 376—381 (in Chinese with English abstract).
- Xu, G. F., 1981. Typomorphic characteristics of ore minerals from XS copper-tungsten deposit and its practical significance, Central Jiangxi, China. *Geochimica*, 4: 329—336 (in Chinese with English abstract).
- Yang, J. H., Zhou, X. H., Chen, L. H., 2000. Dating of gold mineralization for super large altered tectonite type gold deposits in northwestern Jiaodong Peninsula and its implications for gold metallogeny. *Acta Petrologica Sinica*, 16(3): 454—458 (in Chinese with English abstract).

- Yang, M. G., Hang, S. B., Lou, F. S., et al., 2009. Lithospheric structure and large-scale metallogenic process in Southeast China continental area. *Geology in China*, 36(3): 528—543 (in Chinese with English abstract).
- Yang, M. G., Mei, Y. W., 1997. Characteristics of geology and metallization in the Qin Zhou-Hangzhou paleoplate juncture. *Geology and Mineral Resources of South China*, 3: 52—59 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, C. Q., Li, X. H., Yu, J. J., et al., 2008. Rb-Sr dating of single sphalerite from the Daliangzi Pb-Zn deposit, Sichuan, and its geological significances. *Geological Review*, 54(4): 532—538 (in Chinese with English abstract).
- Zhong, W. H., 1989. The micro-fabric features of tungsten-bearing quartz veins in Xushan tungsten ore deposit and their significance. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 20(3): 223—229 (in Chinese with English abstract).
- Zou, J. R., 1982. A primary study on wolframite in Xushan tungsten deposit. *Geology-Geochemistry*, 12(8): 51—52 (in Chinese).
- 附中文参考文献**
- 陈福坤, 李秋立, 李潮峰, 等, 2005. 高精度质谱计在同位素地球化学的应用前景. *地球科学——中国地质大学学报*, 30(6): 639—645.
- 邓晋福, 吴宗絮, 2001. 下扬子克拉通岩石圈减薄事件与长江中下游 Cu~Fe 成矿带. *安徽地质*, 11(2): 86—91.
- 韩以贵, 李向辉, 张世红, 等, 2007. 豫西祁雨沟金矿单颗粒和碎裂状黄铁矿 Rb-Sr 等时线定年. *科学通报*, 52(11): 1307—1311.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等, 2005. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用. *矿床地质*, 24(2): 99—107.
- 华仁民, 李光来, 张文兰, 等, 2010. 华南钨和锡大规模成矿作用的差异及其原因初探. *矿床地质*, 29(1): 9—23.
- 李进文, 李旭辉, 裴荣富, 等, 2007. 江西武山铜矿南矿带辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义. *地质学报*, 81(6): 801—807.
- 李秋立, 陈福坤, 王秀丽, 等, 2006. 超低本底化学流程和单颗粒云母 Rb-Sr 等时线定年. *科学通报*, 51(3): 321—325.
- 李晓峰, 陈文, 毛景文, 等, 2006. 江西银山多金属矿床蚀变绢云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其地质意义. *矿床地质*, 25(1): 17—26.
- 刘珺, 毛景文, 叶会寿, 等, 2008. 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. *地质学报*, 82(11): 1576—1584.
- 刘昌实, 杨心宜, 1991. 岩浆长期结晶对岩石锶同位素初始比值的影响. *大地构造与成矿学*, 15(2): 152—159.
- 毛光周, 华仁民, 高剑峰, 等, 2008. 江西金山金矿含金黄铁矿的 Rb-Sr 年龄. *地球学报*, 29(5): 599—605.
- 毛景文, Holly Stein, 杜安道, 等, 2004b. 长江中下游地区铜金(钼)矿 Re-Os 年龄测定及其对成矿作用的指示. *地质学报*, 78(1): 121—131.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等, 2004a. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展. *地学前缘*, 11: 45—55.
- 万大理, 1991. 江西徐山钨矿床地球化学异常特征. *地质与勘探*, 27(6): 47—51.
- 王旭东, 倪培, 蒋少涌, 等, 2009. 江西漂塘钨矿成矿流体来源 He 和 Ar 同位素证据. *科学通报*, 54(21): 3338—3344.
- 吴良士, 邹晓秋, 1997. 江西城门山铜矿铼-钨同位素年龄研究. *矿床地质*, 16(4): 376—381.
- 徐国凤, 1981. 我国赣中 XS 铜钨矿床金属矿物标型特征研究及其实际意义. *地球化学*, 4: 329—336.
- 杨进辉, 周新华, 陈立辉, 2000. 胶东地区破碎带蚀变岩型金矿时代的测定及其地质意义. *岩石学报*, 16(3): 454—458.
- 杨明桂, 黄水保, 楼法生, 等, 2009. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用. *中国地质*, 36(3): 528—543.
- 杨明桂, 梅勇文, 1997. 钦-杭古板块结合带与成矿带的主要特征. *华南地质与矿产*, 3: 52—59.
- 张长青, 李向辉, 余金杰, 等, 2008. 四川大梁子铅锌矿床单颗粒闪锌矿铷-锶测年及地质意义. *地质论评*, 54(4): 532—538.
- 钟文华, 1989. 徐山含钨石英脉的显微组构特征及意义. *中南大学学报(自然科学版)*, 20(3): 223—229.
- 邹继蓉, 1982. 徐山三位一体钨矿床黑钨矿的初步研究. *地质地球化学*, 12(8): 51—52.