

# 南岭成矿带中、东段的第二找矿空间 ——来自同位素年代学的证据

刘善宝<sup>1</sup> 陈毓川<sup>2</sup> 范世祥<sup>4</sup> 许建祥<sup>3</sup> 屈文俊<sup>5</sup> 应立娟<sup>1</sup>

(1.中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037;2.中国地质科学院,北京 100037;3.江西省国土资源厅,江西 南昌 330001;4.江西省赣南地质调查大队,江西 赣州 341000;5.国家地质测试中心,北京 100037)

**提要:**辉钼矿的 Re-Os 同位素年代学研究表明,南岭东段赣南地区的庵家滩钨矿床的成矿年龄为 156 Ma,园岭寨钨矿床的成矿年龄为 160 Ma。已有同位素年代学数据的统计显示,南岭成矿带的中、东段中生代的成矿作用可划分为 3 期 7 个阶段:即印支期的~225 Ma 左右和~195 Ma 左右,燕山早期的 170~160 Ma、160~150 Ma 和 150~145 Ma,燕山晚期的~135 Ma 和~100 Ma。在 3 期成矿作用中,燕山早期的成矿作用最为强烈,也是南岭成矿带中、东段的钨锡矿床主要成矿期,矿床类型丰富多样,既有独立的钨锡多金属矿床,也有独立的锡矿床;既有铜、铅、锌多金属矿床,也有独立的钼矿床、金矿床等。同位素年代学及其新的找矿进展表明,从横向上,该区域可能存在的未被发现或重视的矿产种类;在纵向上,讨论了已知矿床深部的成矿潜力,为开展南岭中、东段地区的第二空间的地质找矿提供了理论证据。

**关键词:**南岭;同位素;年代学;第二找矿空间

**中图分类号:**P597 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)04-1034-16

## 1 引言

南岭地区是全球最重要的钨锡矿床集中分布区,早期探明的西华山钨矿、柿竹园钨钼钨锡矿床、黄沙萍铅锌多金属矿、宝山铜多金属矿、盘古山钨铋矿、大吉山钨、铌钽矿等大型矿床,在 20 世纪末又有一系列重大发现,如探明的芙蓉超大型锡矿、淘洗坑钨锡矿、铜坑嶂钼矿、八仙脑钨锡多金属矿、荷花萍锡矿、园岭寨钨矿、银坑桥子坑金银矿等矿床,预示该区域内进一步找矿潜力的巨大。南岭成矿带的第二找矿空间何在?许建祥等<sup>[1]</sup>提出了“五层楼+地下室”的找矿模型,杨明桂等<sup>[2]</sup>提出了“多位一体”的成矿模式,以同位素年代学为依据,从横向上和纵向上等 2 个方面,分析了南岭成矿带中、东段的第二找矿空间,为进一步开展地质找矿工作提供了理论依据。

## 2 南岭中、东段的矿床基本特征及其成矿年代学研究概况

本文的南岭成矿带的中、东段地区包括湘南、赣南和粤北地区,是钨、锡矿床的集中分布区,主要矿化类型包括矽卡岩型(矽卡岩+云英岩复合型)、石英脉型(石英+云英岩复合型)、斑岩型等,最近又发现了石英脉+破碎带复合型。钨锡矿化明显受成矿花岗岩和围岩的岩性控制,其中中生代的成矿花岗岩以富含钨锡组分为特征,并具有多阶段分异演化、多阶段侵位和多阶段成矿的特征<sup>[3-5]</sup>。地层组分决定了矿床类型,当赋矿围岩为碳酸盐岩或富含钙质砂岩时,则形成矽卡岩型矿床;当赋矿围岩为长英质砂岩时,则形成外带型石英脉型<sup>[6]</sup>;当赋矿围岩为泥质板岩或花岗岩时,则形成内带型石英脉型或石英脉+云英岩复合型。近年来,在南岭成矿带内除发现

收稿日期:2010-05-10;改回日期:2010-06-17

基金项目:中国地质科学院矿产资源研究所基本业务费专项资金(K0906)及中国地质调查局地质大调查项目(1212010633903)资助。

作者简介:刘善宝,男,1970 年生,博士,工程师,矿物学、岩石学、矿床学专业;E-mail:Liubaoshan7002@163.com。

一系列的钨锡矿床外,还发现了独立的钼矿床(赣南园岭寨、新安、湘东龙王排)、独立的锡矿(湘南芙蓉锡矿床)、破碎带型的钨锡多金属矿床(赣南八仙脑)、辉钼矿—萤石矿(赣南铜坑璋)、金多金属矿(赣南银坑矿田的桥子坑、留龙)等等,进一步丰富该成矿带的矿产资源,也拓宽了该成矿带的找矿空间。

在成矿年代学方面,诸多学者应用 Re-Os、Ar-Ar 和 SHRIMP 锆石 U-Pb 等方法对南岭地区的主要钨锡矿床及其相关的花岗岩进行了精确测试,比较清晰地勾画出了该区成矿作用的年龄结构。毛景文等<sup>[6]</sup>认为华南地区中生代大规模成矿作用分为 170~180 Ma、140~126 Ma 和 110~80 Ma 3 个时间段;华仁民等<sup>[7]</sup>提出了华南地区存在 180~170 Ma、150~139 Ma 和 125~90 Ma 3 个阶段的成矿事件;通过近年来的进一步的数据积累,毛景文等<sup>[8]</sup>认为南岭地区的大规模成矿作用划分为 2 个阶段,即 165~150 Ma 和 130~90 Ma。除此之外,还有印支期的独立的锡矿床,如湘南的荷花坪锡矿辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄为 224 Ma<sup>[9]</sup>、赣南的仙鹅塘锡多金属矿

白云母的 Ar-Ar 坪年龄为 231 Ma<sup>[10]</sup>、闽西南的中甲锡矿辉钼矿的 Re-Os 平均模式年龄为 195 Ma<sup>[11]</sup>等;燕山早期独立钼矿床(赣南园岭寨辉钼矿的 Re-Os 年龄为 160 Ma,见下文),即在横向上可能还有未被发现的矿床;甚至在一个矿床内有 2 期成矿作用的叠加(湘南的摇岗仙钨锡矿<sup>[12]</sup>、赣南的茅坪钨矿<sup>[13]</sup>),即预示其深部找矿潜力的巨大。另外燕山晚期的 2 次成矿作用也不容忽视,即 135 Ma(赣南的铜坑璋钼矿<sup>[14]</sup>、福建的马坑铁矿<sup>[15]</sup>)和 100 Ma(福建的紫金山铜金矿<sup>[16]</sup>、福建的赤路钼矿<sup>[17]</sup>)。综上所述,笔者认为有必要对南岭成矿带中、东段地区已有的成矿年代数据进行综合分析、处理,探讨其成矿规律,为开展第二空间找矿提供理论依据。

### 3 南岭东段—赣南地区庵前滩钨矿床和园岭寨钼矿床的成矿时代

笔者在赣南地区选择了于都庵前滩钨矿床和安远园岭寨钼矿床进行了辉钼矿 Re-Os 同位素测试,前者是该区钨锡矿床的代表,其矿化类型与其附近的盘古山钨钼矿、铁山垅钨矿等矿床类似(图 1),后

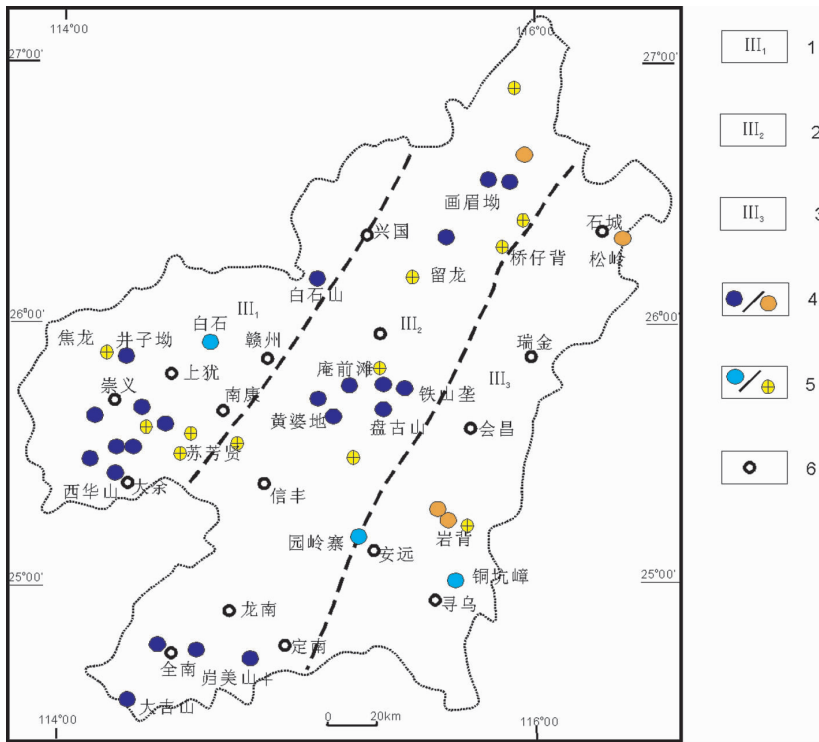


图 1 赣南地区主要钨、锡、钼、金矿床分布简图  
 1—诸广山—万洋山成矿亚带;2—于山成矿亚带;3—武夷山成矿亚带;4—钨矿/锡矿;5—钼矿/金矿;6—城市  
 Fig.1 Distribution of W-Sn-Mo-Au ore deposits in southern Jiangxi area  
 1-Zhuguangshan-Wanyangshan metallogenic subbelt; 2-Yushan metallogenic subbelt; 3-Wuyishan metallogenic subbelt; 4-W/Sn ore deposit; 5-Mo/Au ore deposit; 6-City

者是独立钨矿床的代表,其矿化类型与广昌的新安钨矿、福建的永定山口钨矿等类似。前人对赣南地区的崇义—大余—上犹矿集区进行了一系列的成矿年代学的研究,主要矿床的成矿期集中在150~160 Ma<sup>[8,10,18-23]</sup>,而其他矿集区的成矿年代学研究相对薄弱。另外安远园岭寨钨矿床的成矿时代是否与邻近的寻乌铜坑钨矿床一致,需要对其进行同位素年代学测试。

### 3.1 庵前滩钨铋矿床的成矿时代

庵前滩钨铋矿床位于于山成矿带中部的于都—赣县矿集区内(图1),与其邻近的矿床有盘古山钨铋矿、铁山垄钨矿、上坪钨矿、黄婆地钨矿等大、中型矿床。庵前滩钨铋矿床主要由南组、中组和北组3个

区段组成,其矿化类型可分为石英脉型钨铋矿床和矽卡岩型钨铋矿床,其中主要成矿元素为钨、铋,同时黄铁矿中金的含量也比较高,个别样品金最高含量可达到 $1.64 \times 10^{-6}$ 。矿体赋存于寒武系下统牛角河组( $\epsilon_1n$ )和上泥盆统中棚组( $D_{3z}$ )、三门滩组( $D_{3s}$ )以及燕山早期中细粒似斑状二云母花岗岩( $J_3\gamma$ )中。全区矿化面积大于1 km<sup>2</sup>,计有宽20 cm以上石英脉32条;各矿脉带在平面上多呈两端窄,中间宽的狭长脉体(图2)。

该矿床中白钨矿含量较高,尤其是中组、北组。南组钨矿化以黑钨矿为主,白钨矿与黑钨矿的平均比值是1:2.83,白钨矿约占钨矿物总量的1/4;北组白钨矿化与黑钨矿化几乎均等,白钨矿与黑钨矿的

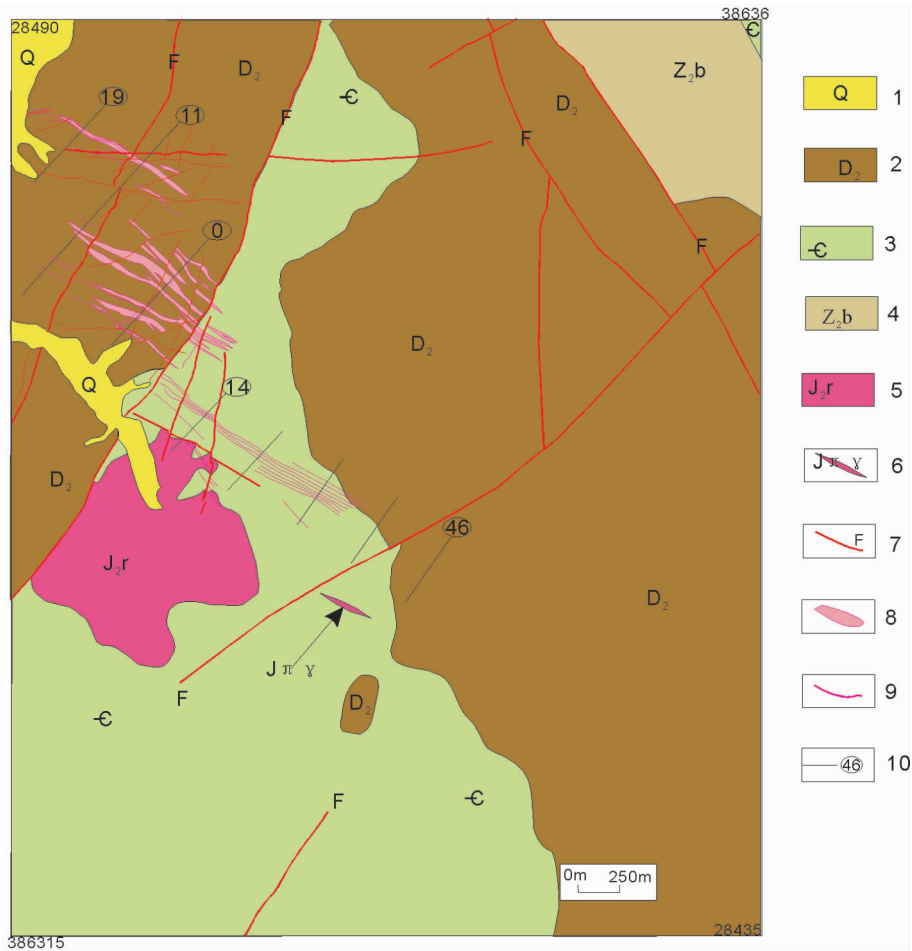


图2 于都县庵前滩矿区地质图

1—第四系;2—泥盆系;3—寒武系;4—震旦系;5—花岗岩;6—花岗斑岩;7—构造;  
8—细脉标志带;9—钨矿脉;10—勘探线及编号

Fig.2 Geological map of the Anqiantan ore district in Yudu County

1- Quaternary; 2-Devonian; 3-Cambrian; 4-Sinian; 6-Granite; 7-Granite porphyry; 8-Typical zone of veinlets; 9-W ore vein; 10-Exploration line and its serial number

平均比值是 1:1.05, 白钨矿约占钨矿物总量的 1/2; 中组钨矿化则以白钨矿为主, 白钨矿与黑钨矿的平均比值是 1:0.37, 白钨矿约占钨矿物总量的 3/4。总的趋势是中、北组白钨矿的含量比值要比南组高; 全区白钨矿与黑钨矿的平均比值是 1:1.95, 白钨矿约占钨矿物总量的 1/3。

本文用于同位素年龄测试的样品采自矿区的南组矿脉的 V3、V4、V5 和 V6 矿脉, 主要矿物组合类型有两种: 一是黑钨矿、白钨矿-辉铋矿、辉钼矿-石英组合; 二是黄铁矿、黄铜矿-少量黑钨矿、白钨矿-石英组合。样品主要采自于前者, 辉钼矿呈铅灰色、金属光泽、硬度小、污手、薄片有挠性、具油脂感、多呈鳞片状集合体或细小颗粒状分布, 多见于含钨石英脉中, 在花岗岩区脉侧蚀变云英岩中也可见到, 一般单独产出较多, 偶尔也见到与白云母共生。

年龄测试在中国地质科学院国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室完成, 分析流程及相关测试方法详见文献[24-25]。

辉钼矿中普通 Os 含量很低的, 一般都低于  $10^{-9}$ , 几乎所有的  $^{187}\text{Os}$  都来自于  $^{187}\text{Re}$  的  $\beta^-$  衰变, 因此, 可以通过辉钼矿中的  $^{187}\text{Re}$  和  $^{187}\text{Os}$  含量计算模式年龄。模式年龄的结果列于表 1, 辉钼矿中  $^{187}\text{Re}$  和  $^{187}\text{Os}$  含量变化比较大, 6 个样品的模式年龄变化在 153.7~163.7 Ma, 利用 Isoplot 软件<sup>[42]</sup>对所测得的 6 个数据进行  $^{187}\text{Re}-^{187}\text{Os}$  等时线拟和(图 3-a), 获得的等时线年龄为  $(154\pm 9)$  Ma,  $\text{MSWD}=16$ , 是较大的; 其模式年龄的加权平均值(图 3-b)显示样品 AQT-V3-70 的模式年龄明显偏离中值。为此, 将 AQT-

V3-70 的数据删除后, 重新计算辉钼矿的等时线年龄(图 3-c)为  $(154.4 \pm 1.6)$  Ma, 5 个样品点的拟合程度高; 其模式年龄加权平均值(图 3-d)为  $(155.17 \pm 0.99)$  Ma,  $\text{MSWD}=0.89$ , 其模式年龄和等时线年龄结果集中一致, 即为庵前滩矿的成矿时代。

### 3.2. 安远园岭寨钼矿床的成矿时代

园岭寨钼矿床位于山成矿带的中南段, 处于山成矿带与武夷山西坡成矿带的衔接部位(图 1), 是赣南地质大队近年来新发现的具有斑岩矿化特征的钼矿床之一, 具有形成大型钼矿床的潜力。

矿区内出露的地层主要为元古宇的寻乌组, 总体走向北西, 倾向北东或南西。以  $F_2$  为界, 分为上下两个部分: 下部为一套厚层-巨厚层变粒岩夹变质长石石英砂岩、含砾石英砂岩、薄层砂质板岩、黑云母斑点板岩、千枚岩; 上部为云母片岩夹千枚状板岩、白云母绢云母片岩和变余长石石英砂岩。侏罗系上统主要分布在矿区西北角的版石盆地内, 岩性为泥岩、石英砂岩、砂砾岩等, 与下伏寻乌岩组呈断层接触或角度不整合接触关系(图 4-A)。

区内岩浆岩侵入强烈, 主要岩性为花岗岩类(图 4-A)。其中加里东期中细粒斑状角闪黑云二长花岗岩分布于矿区的东部, 呈岩株产出, 岩石呈浅肉红色, 变余花岗结构, 片麻状构造、条带-条纹状构造。花岗斑岩( $\gamma\pi$ ) 出露于矿区内中部, 岩体呈北西方向脉状展布, 长 1000 m, 宽 200 m, 出露面积约 0.2  $\text{km}^2$ , 变余斑状结构, 基质微花岗结构, 块状构造, 花岗斑岩既是钼矿的成矿岩体, 也是赋矿岩体。霏细斑岩( $\nu\pi$ ) 出露于矿区东部, 呈岩墙状产出。近南北走

表 1 于都县庵前滩钨钼矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素数据

Table 1 Re-Os dating data of molybdenite from the Anqiantan W-Bi ore deposit in Yudu County

样品编号	Re(ng/g)		C 普 Os(ng/g)		Re <sup>187</sup> (ng/g)		Os <sup>187</sup> (ng/g)		模式年龄(Ma)	
	测定值	±δ	测定值	±δ	测定值	±d	测定值	±δ	测定值	±δ
AQT-V3-0	2466	24	0.0738	0.0035	1550	15	4.012	0.031	155.2	2.3
AQT-V3-40	2788	24	0.0080	0.0030	1753	15	4.517	0.036	154.5	2.2
AQT-V3-70	1789	17	0.1040	0.0023	1124	11	3.070	0.026	163.7	2.4
AQT-V4-40	782	6	0.1562	0.0026	491.8	3.9	1.285	0.010	156.6	2.2
AQT-V5-0	3531	29	0.0848	0.0031	2219	18	5.757	0.052	155.5	2.2
AQT-V6-40	1292	12	0.0656	0.0038	812.2	7.8	2.083	0.022	153.7	2.5

注: 由国家地质实验测试中心屈文俊研究员等测试。

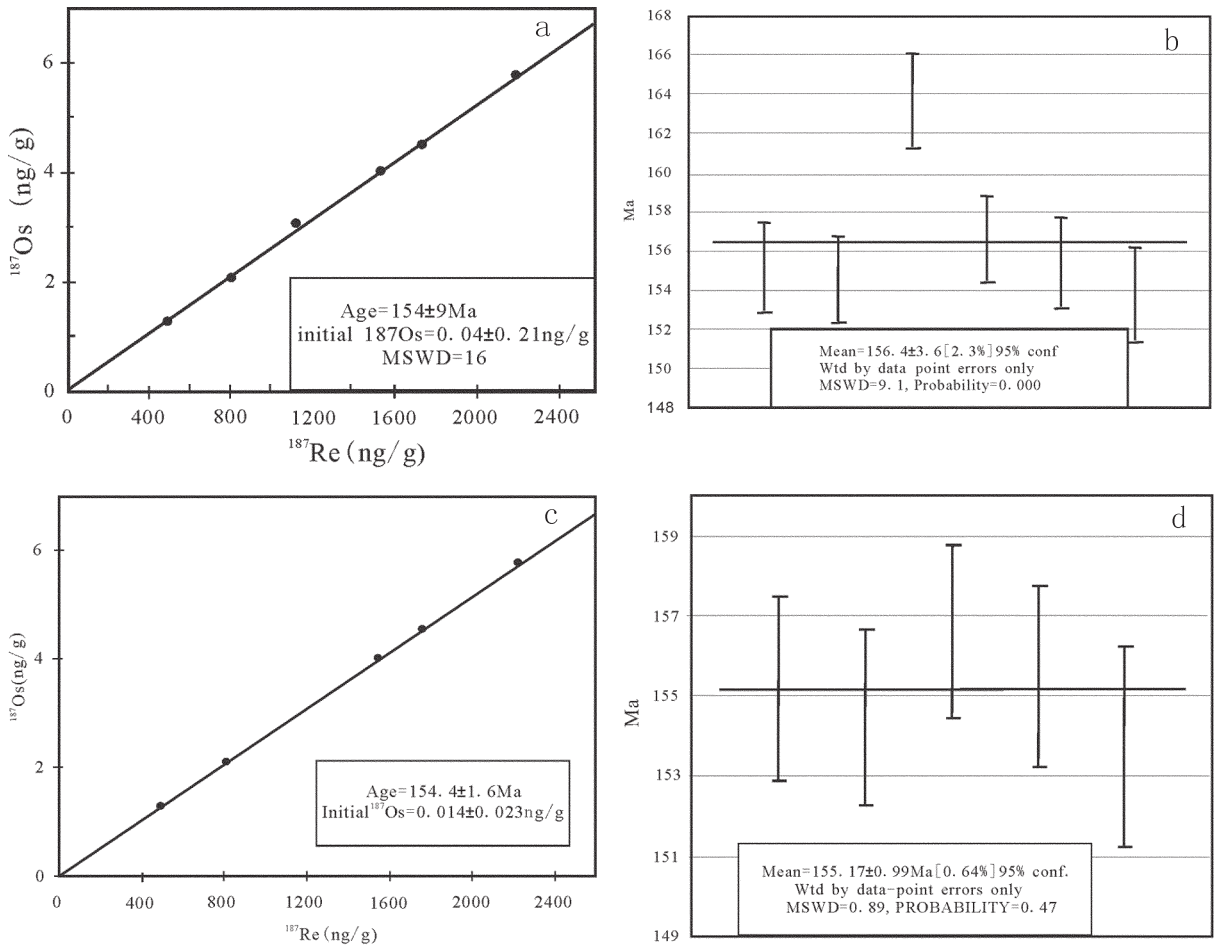


图3 庵前滩辉钼矿 Re-Os 等时线(a、c)及模式年龄加权平均值(b、d)

Fig.3 Re-Os isochron diagram (a, c) and model age diagram (b, d) of molybdenite from Anqiantan

向,倾向西,倾角  $35^{\circ}\sim 63^{\circ}$ 。长 1200 m,宽 100 m,岩石呈肉红色,风化后为灰白色。少斑结构,基质霏细结构。

矿区内的矿体均分布于花岗斑岩体的北西部,位于花岗斑岩中及其外接触带附近,均呈北西西向展布,与花岗斑岩体的走向基本一致(图 4-A、B),预示该矿床与花岗斑岩有密切的成因联系。矿体厚度变化较大,呈透镜状产出,主要由石英-辉钼矿细脉或网脉组成,辉钼矿在矿石中主要呈片状集合体分布于石英细脉及网脉中。

园岭寨木矿床 5 件辉钼矿的 Re-Os 同位素测试结果列于表 2,其模式年龄变化在  $159.6\sim 161.7$  Ma,辉钼矿  $\text{Re}^{187}$  含量变化在  $23744\times 10^{-9}\sim 29818\times 10^{-9}$ ,其最大差值为  $6074\times 10^{-9}$ ;其  $\text{Os}^{187}$  的含量变化在  $63.22\times 10^{-9}\sim 79.61\times 10^{-9}$ ,其最大差值为  $16.29\times 10^{-9}$ 。5

件样品的等时线年龄为  $(165\pm 11)$  Ma,MSWD=0.81(图 5a);加权平均年龄为  $(160\pm 1)$  Ma,MSWD=0.52(图 5-b)。由于辉钼矿  $\text{Os}^{187}$  的含量变化范围较少,在等时线图上 5 个样品点分布相对较集中,其等时线年龄的误差较大,而其模式年龄分布集中,其加权平均年龄为  $(160\pm 1)$  Ma 应代表该矿床的成矿年龄。

园岭寨钼矿床是一个独立的钼矿床,其矿物组成相对单一,其成矿年龄比该区域的钨锡矿床(155 Ma)相对早 5 Ma 左右,预示着在该区发生大规模钨锡成矿作用之前,可能存在一期独立的钼的成矿作用,如广昌的新安钼矿床的成矿年龄为 165 Ma<sup>[26]</sup>、福建永定山口钼矿床的成矿年龄为 168 Ma<sup>[27]</sup>。另外,在该区大规模钨锡成矿作用之后,也有一期独立的钼成矿作用发生,如赣南寻乌铜坑钨钼矿床的成矿年龄为 135 Ma<sup>[14]</sup>。

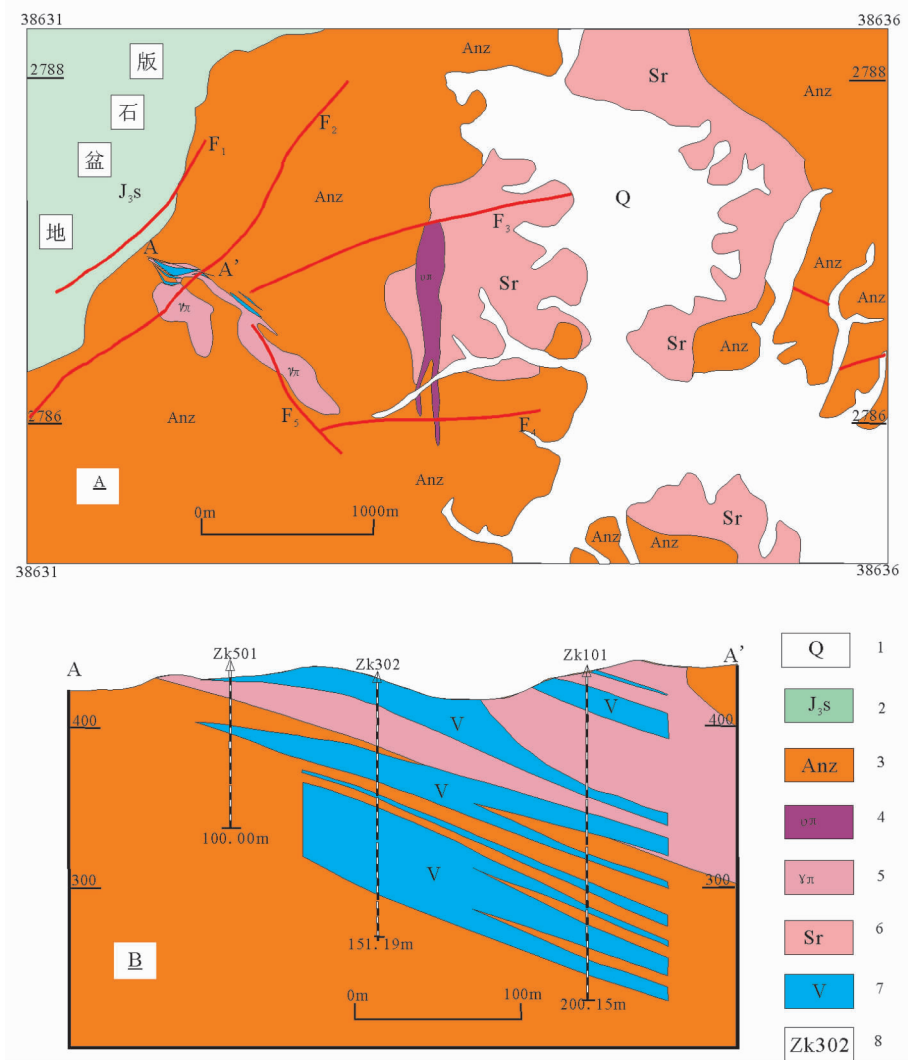


图 4 安远园岭寨钼矿床地质图(A)及地质剖面图(B)

1—第四系;2—侏罗系上统;3—前震旦系;4—霏细斑岩;5—花岗斑岩;6—加里东期角闪石黑云母花岗岩;  
7—钼矿体;8—钻孔及编号

Fig. 4 Geological map (A) and geological section (B) of the Yuanlingzhai Mo ore deposit in Anyuan  
1-Quaternary;2-Upper Jurassic;3-Precambrian;4-Felsophyre; 5-Granite porphyry;6-Caledonian hornblende biotite granite;7-Mo ore body;8-Drill hole and its serial number

表 2 安远县园岭寨钼矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素数据

Table 2 Re-Os dating data of molybdenite from the Yuanlingzhai Mo ore deposit in Anyuan

编号	样重 (g)	Re(ng/g)		C 普 Os(ng/g)		Re <sup>187</sup> (ng/g)		Os <sup>187</sup> (ng/g)		模式年龄 (Ma)	
		测定值	误差	测定值	误差	测定值	误差	测定值	误差	测定值	误差
YLZ-3A	0.05039	45129	351	0.1076	0.0255	28364	220	75.76	0.70	160.1	2.3
YLZ-3-A	0.03031	45271	342	0.1195	0.0269	28454	215	76.77	0.72	161.7	2.3
YLZ-3-B	0.03073	43721	330	0.0784	0.0533	27479	207	73.76	0.59	160.9	2.2
YLZ-4	0.03142	47441	361	0.1045	0.0265	29818	227	79.61	0.74	160.0	2.3
YLZ-5	0.03122	37778	355	0.0654	0.0668	23744	223	63.22	0.52	159.6	2.4

注:由国家地质实验测试中心屈文俊研究员等测试。

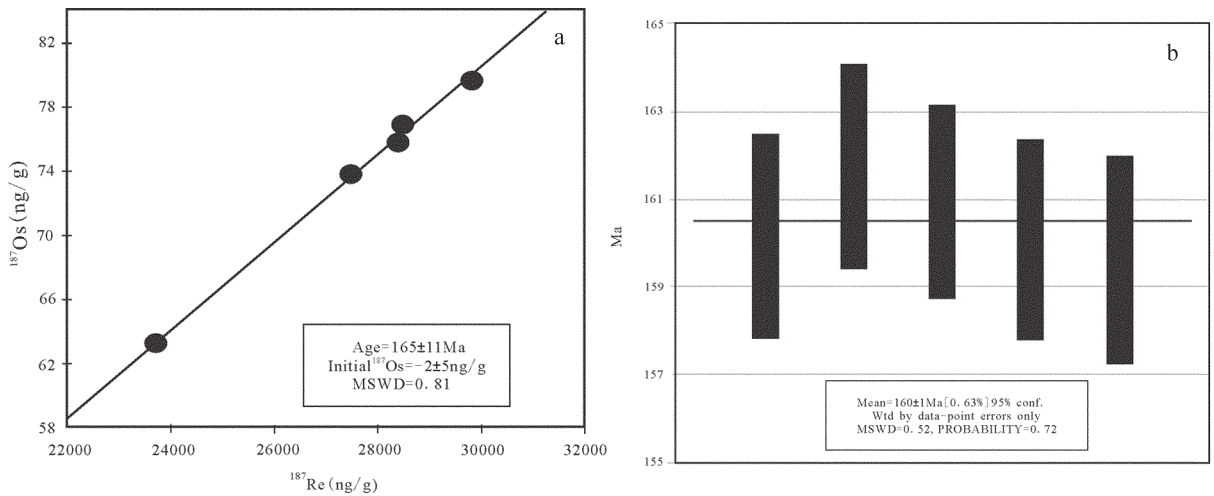


图 5 园岭寨辉钼矿 Re-Os 等时线图(a)及加权平均年龄图(b)

Fig.5 Re-Os isochron diagram (a) and model age diagram (b) of molybdenite in Yuanlingzhai

## 4 南岭成矿带成矿期次及成矿阶段的划分

笔者在收集已有的辉钼矿 Re-Os 同位素年代学数据的基础上,结合已发表的云母类 Ar-Ar、锆石 U-Pb 等数据,将南岭成矿带中、东段的中生代成矿作用划分为 3 期、7 个阶段。

### 4.1 印支期成矿作用

南岭成矿带的印支期成矿作用可划分为 2 个阶段,即早期成矿作用和晚期成矿。早期成矿作用主要集中在 231~213 Ma,代表性的矿床有湘南的荷花坪锡矿<sup>[9]</sup>、赣南的仙鹅塘锡钨矿<sup>[10]</sup>、广西省都庞岭的李贵福钨锡多金属矿<sup>[28]</sup>等;晚期的成矿作用发生在 195 Ma 左右,目前仅有闽西的中甲锡矿<sup>[11]</sup>。南岭成矿带印支期成矿作用形成的矿床以锡矿床为主,矿物组成相对较为简单,主要金属矿物为锡石,其次是黑钨矿、白钨矿、辉钼矿等。该时期的成矿作用与区域上印支期的岩浆活动是同步的,如赣粤交界的贵东花岗岩为 236~239 Ma<sup>[29]</sup>、闽西南的大富足花岗岩为 226 Ma<sup>[30]</sup>、湘南王仙岭花岗岩为  $(212 \pm 4)$  Ma<sup>[9]</sup>、龙源坝花岗岩为  $(210.9 \pm 3.8)$  Ma<sup>[31,32]</sup>,尤其值得注意的是三叠纪末、侏罗纪早期的成岩作用,如粤北的霞岚花岗岩的锆石 SHRIMP 年龄为  $(196 \pm 2)$  Ma、辉长岩为  $(195 \pm 1)$  Ma,为南岭成矿带缺少 200~180 Ma 期间的岩浆岩时代添加了新数据<sup>[33]</sup>。随着同位素年代学数据的不断积累,印支期的岩浆岩活动也具有多期多阶段

活动的特征,与之对应的成矿作用必然存在,湘南荷花坪锡矿和李贵福钨锡多金属矿的发现或地质找矿突破,就是有力的佐证。当然,在一个矿区内可能存在多期的成岩成矿作用的叠加现象,如闽西南的中甲锡多金属矿床内,既有早侏罗纪的石英脉型钼矿<sup>[11]</sup>,也有燕山晚期的矽卡岩型锡矿床<sup>[9]</sup>,但至少证明三叠纪末、侏罗纪早期的成矿作用是客观存在的。

### 4.2 燕山早期成矿作用

对于燕山早期的成矿作用,前人<sup>[6-8]</sup>进行了详尽的论述,积累了大量的年代学数据,笔者结合已有的同位素年代学数据,将该期成矿作用划分为 170~160 Ma、160~150 Ma、150~145 Ma 3 个成矿阶段。

南岭成矿带于 170~160 Ma 期间形成的矿床主要为独立的钼矿床,矿体及其矿化蚀变体主要分布在成矿岩体的接触带内,矿物组成简单,主要金属矿物为辉钼矿,其次是少量的黄铁矿;主要矿化类型为石英脉型、云英岩型、斑岩型和破碎蚀变带型等,热液蚀变主要为硅化、云英岩化、绿泥石化、云母化等。其矿物组成明显不同于南岭成矿带的钨锡矿床,成矿时代比南岭成矿带钨锡矿床的主成矿期 155 Ma 早 10~5 Ma,因此将其单列为一个成矿阶段。如闽西南永定山口钼矿为 168 Ma<sup>[27]</sup>、赣南广昌新安钼矿为 165 Ma<sup>[26]</sup>、安远园岭寨钼矿的成矿年龄为 160 Ma。同时在部分钨锡矿床内也存在该阶段的成矿作用,如湘南的摇岗仙钨矿田杨梅岭矿段的辉钼矿 Re-Os 模式年龄变化在 167~163.8 Ma<sup>[12]</sup>,而该矿田主成矿期为

(154.9±2.6)Ma<sup>[35]</sup>,二者相差约 15 Ma,表明摇岗仙钨矿田内至少存在 2 期的成矿作用,即 170~160 Ma 期间的成矿作用也是客观存在的。

160~150 Ma 是南岭成矿带钨锡矿床的成矿集中期,主要集中在 155 Ma 左右<sup>[6-8,10]</sup>。该时期的成矿作用最为强烈,矿化类型复杂多样,矿物组分多样,主要矿物为黑钨矿、白钨矿和锡石、伴生有辉钼矿。南岭成矿带的大部分中、大型钨锡矿床形成于该时期。如湘南的柿竹园钨锡多金属矿形成于 153~151 Ma<sup>[6,36]</sup>、摇岗仙钨矿田主成矿期为 159~153 Ma<sup>[8,35]</sup>、芙蓉钨矿田形成于 160~151 Ma<sup>[37]</sup>、大垌钨锡矿成矿时代为 151.4 Ma<sup>[38]</sup>、赣南的淘锡坑钨矿形成于 152~155 Ma<sup>[18,22]</sup>、茅坪钨矿形成于 155 Ma<sup>[13]</sup>、闽西南的行洛坑钨钼矿的成矿年龄为 156~151 Ma<sup>[39]</sup>、粤北的师姑山钨铋矿和石人嶂钨矿分别形成于 154.2 Ma 和 159.1 Ma<sup>[40]</sup>。同时,在该成矿期还形成了富含硫化物的多金属矿床,如湘南的黄沙坪铅锌钼多金属矿 154 Ma<sup>[41]</sup>、宝山铜钼多金属矿 158 Ma<sup>[42]</sup>。该时期的成矿作用之强烈,不仅覆盖了南岭成矿带,而且还延伸到了武夷山成矿带的北端,如熊家山钼矿形成于 152 Ma<sup>[43]</sup>。

南岭成矿燕山早期的成矿作用持续到 150~145 Ma 已接近尾声,可以说是 160~150 Ma 成矿作用的延续,甚至部分矿床的成矿时代也很难确定应归属哪一个成矿阶段。但是,将其界定一个独立的成矿阶段,主要考虑以下几个方面的因素:一是目前的同位素定年误差较大,不能满足地质的要求,如赣南的西华山岩体的斑状黑云母花岗岩与中粒黑云母花岗岩显然是在不同阶段形成的,其锆石 SHIMP U-Pb 年龄分别为 (152.6±2.1)Ma、(150.3±2.2) Ma<sup>①</sup>,均在误差范围内,应划归为同一个时代或阶段。二是随着同位素年代学数据的积累,该时期的成岩成矿作用是客观存在的。如湘南的骑田岭岩体是 3 期形成的,分别是 163~160 Ma、157~156 Ma 和 150~147 Ma<sup>[44]</sup>、湘南的白蜡水锡矿区含矿花岗斑岩脉的 SHIMP U-Pb 年龄为 (146±5)Ma<sup>[45]</sup>,表明成矿年龄肯定晚于或接近 146 Ma; 同时该时期的独立矿床也有相关报道,如湘东的龙王排钼矿为 147.6 Ma<sup>[46]</sup>、赣南大吉山大型钨铋钼矿床为 144.4~147.2 Ma<sup>[47]</sup>。三是成矿预测和地质找矿工作的需要。南岭成矿带钨锡矿床一般与成矿岩浆演化到晚期的补体成因关系最为密

切,具有多阶段成岩成矿的特征,成矿岩浆岩活动持续时间长、岩浆活动期次及阶段越多,越有利于形成大型钨锡矿床<sup>[9]</sup>。运用同位素年代学的研究,建立成矿岩浆岩活动时代的精细结构,配合地球化学、地球物理及地质构造方面研究,可对成矿远景区或已发现矿床深部的潜力评价提供依据。赣南、湘南地区钨锡矿床的成矿时代主要集中在 155 Ma 左右,其深部是否存在更年轻的成矿岩浆岩,即 150~145 Ma 阶段的成矿作用,如湘南芙蓉锡矿田的白蜡水矿区的含矿花岗斑岩脉的成岩年龄为 (146±5)Ma<sup>[45]</sup>,这为其开展深部及外围找矿提供理论指导。

#### 4.2 燕山晚期成矿作用

燕山晚期形成的矿床是中国白垩纪大陆成矿体系的重要组成部分<sup>[48]</sup>,在南岭成矿带上,该时期的矿床主要分布在其东段和西段,根据已有年代学数据,可将该成矿作用划分为 2 个阶段,即 139~123 Ma 和 105~90 Ma。139~123 Ma 期间形成的矿床仅分布在南岭成矿带东段,如赣南的岩背锡矿床 125 Ma<sup>[49]</sup>、寻乌的铜坑钨钼矿 135 Ma<sup>[14]</sup>等,向北延伸到武夷山北坡,如金竹坪钼矿 135 Ma<sup>[50]</sup>;105~90 Ma 期间形成的矿床分布范围较大,主要分布南岭成矿带的东段和西段,成矿带西段的著名大厂锡矿床 95~98 Ma<sup>[51-52]</sup>、界牌岭锡矿床 91 Ma<sup>[8]</sup>等;南岭成矿带东段的紫金山铜金矿床 102 Ma<sup>[16]</sup>、红山铜矿床 100 Ma<sup>[53]</sup>等。虽然,燕山晚期形成的矿床在南岭成矿带上分布很局限,但在华南成矿省内分布很广泛,如浙江的徐家墩锡多金矿床 138 Ma<sup>[54]</sup>、赣北香炉山钨矿床 121~128 Ma<sup>[55]</sup>、广西大明山钨矿床 95 Ma<sup>[56]</sup>、王社铜钼矿床 94 Ma<sup>[57]</sup>、龙头山斑岩型金矿床 100.3 Ma<sup>[58]</sup>、云南个旧锡矿床 95~82 Ma<sup>[59-60]</sup>、都龙锡锌矿床 80 Ma<sup>[61]</sup>等,表明燕山晚期成矿作用是华南地区重要的成矿事件之一。

### 5 南岭成矿带中、东段的第二找矿空间探讨

随着 2008 年国土资源部《深部探测与实验研究专项课题》的实施,深部地质找矿已成为一个热门的课题。笔者从成矿年代学的角度,讨论的南岭成矿带中、东段地区的第二找矿空间,其内容包括两个方面:一是已发现矿田(床)的深部;二是区域上可能存

①陈郑辉.危机矿山汇报,2009.



在没有被发现的矿床,如钨矿床等。

### 5.1 钨锡矿床具有多期多阶段成矿的特征,其深部找矿潜力巨大

湘南芙蓉锡矿床、赣南的淘锡坑钨矿床深部地质找矿取得了重大突破<sup>[62]</sup>,表明南岭成矿带的深部找矿的潜力巨大。最近,赣南的盘古山、黄沙、淘锡坑和茅坪等钨矿山深部的岩体又发现了隐伏的工业矿脉,都充分说明老矿山不但没有“硐老山空”,反而显示老矿山的深部具有形成中、大型矿床的潜力,同位素年代学的研究也为其提供了理论依据。

赣南崇义—大余—上犹矿集区是中国钨矿床的

最重要的集中区之一,如著名的西华山、漂塘、茅坪、淘锡坑等为代表的17个大、中型钨矿床均位于该矿集区内(图6)。地表出露的成矿花岗岩主要营前167~172 Ma<sup>①</sup>、九龙脑154 Ma<sup>②</sup>、张天堂155 Ma、天门山152~150 Ma、红桃岭<sup>[19-20,23]</sup>、西华山152~150 Ma<sup>③</sup>(图6)。依据成矿花岗岩的成岩时代,可将其划分为3个阶段,即176~167 Ma、160~155 Ma和155~150 Ma,而仙鹅塘锡钨矿成矿时代则为印支期<sup>[10]</sup>、成岩与成矿时代不完全对应(图6),除测试数据不齐因素外,表明该区内可能存在隐伏的印支期成矿岩浆岩。尤其值得注意西华山—张天堂矿带上,成矿

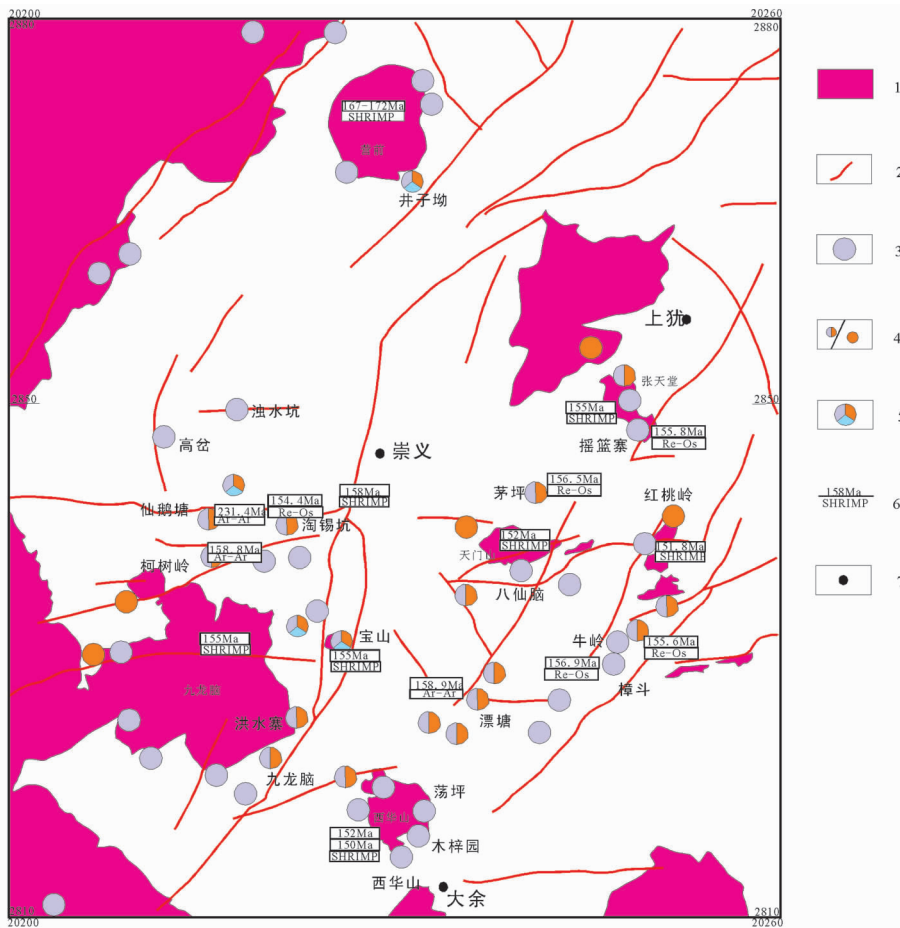


图6 赣南崇义—大余—上犹地区主要矿床分布图

1—花岗岩;2—构造;3—钨矿;4—钨锡矿/锡矿;5—多金属矿;6—年龄/方法;7—城市

Fig.6 Distribution of major ore deposits in Congyi-Dayu-Shangyou area of southern Jiangxi Province  
1-Granite; 2-Structure; 3-W ore deposit; 4-W-Sn/Sn ore deposit; 5-Polymetallic ore deposit; 6-Age/method; 7-City

①郭春丽.中国地质科学院博士学位论文,2010.  
 ②陈郑辉.中国地质科学院博士学位论文,2006.  
 ③陈郑辉.危机矿山汇报,2009.

作用可划分 3 个阶段,即 158 Ma(漂塘钨矿)、155 Ma(茅坪钨矿、塘漂仔及其东侧的牛岭和樟斗钨矿)、140 Ma(西华山钨矿黑钨矿 Sm-Nd 等时线年龄  $(139.28 \pm 2.8) \text{ Ma}^{[63]}$ )。由图 7 可见,西华山和天门山岩体均形成于 152 Ma 左右,暗示漂塘、茅坪、塘漂仔等钨矿床的深部可能存在隐伏的、更年轻的成矿岩体,茅坪钨矿床深部花岗岩内体的一条石英脉辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 141 Ma<sup>[13]</sup>就是一个有力的佐证,预示其深部的找矿潜力。截止目前,赣南地区仅有西华山钨矿和大吉山钨矿的成矿时代为 145~140 Ma,而其他钨锡矿床的成矿时代主要集中在 155 Ma 左右,表明形成于燕山早期第二阶段的矿床的深部可能存在第三阶段形成的“第二成矿”空间。

在南岭成矿带上,钨锡矿床多期多阶段的成矿特征,不仅表现在赣南地区,而且在湘南地区的体现更为完整。由图 8 可见,成矿岩浆岩的成岩时代可划分为 2 期,即印支期(王仙岭岩体)和燕山早期,其中燕山早期的岩浆活动可划分为 4 个阶段,即 170 Ma、161 Ma、156 Ma、和 149 Ma,与之有关矿床的成矿时代,除缺少 150~145 Ma 成矿阶段外,其他成矿阶段都是基本对应的,而芙蓉锡矿田白蜡水矿区含矿花岗斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 147 Ma<sup>[49]</sup>弥补了 150~145 Ma 成矿阶段的空缺。南岭成矿带内钨锡矿床多期多阶段成矿的特征不仅表现在矿集区

内,甚至在一个矿田或矿床内也有体现,如赣南的西华山钨矿<sup>[3]</sup>、湘南的芙蓉锡矿田<sup>[37,45]</sup>、瑶岗仙钨矿<sup>[12]</sup>等,由此决定了矿床多层位的空间赋存特征,如赣南西华山和岿美山<sup>[4]</sup>、芙蓉锡矿床和淘锡坑钨矿床深部地质找矿的重大突破,也是这一特征的体现,显示了南岭成矿带中、东段地区深部地质找矿的巨大潜力。

### 5.2 区域上非优势矿种的地质找矿也不容忽视

南岭成矿带上的钨锡矿床具有多元素共生、伴生特征,除 W、Sn 主成矿元素外,还有 Mo、Bi、Pb、Zn、Ag、Te、Au 等元素,代表性矿床有柿竹园钨锡铋钼多金属矿、宝山铜铅锌钨钼多金属矿、行洛坑钨钼矿、盘古山钨铋矿、岿美山钨金矿、大吉山钨铋钼矿等;同时在上述矿区或矿田的外围有一系列的中、低温矿床相伴,如淘锡坑钨矿床北侧的赤坑银铅锌多金属矿、崇义—大余—上犹矿集区与于都—赣县矿集区之间的苏芳贤—王母渡金矿田、兴国—画眉坳钨矿集区与于都—赣县钨矿集区之间的银坑金银多金属矿田等(图 1)。上述不同类型矿床在空间上相邻,在成矿时代上同步,属于同一个成矿亚系列<sup>①</sup>。南岭地区已发现贵金属矿床 100 余处,其外围周边地区已发现大、中型金、银矿床至少 46 处,另外南岭地区已探获的铅、锌资源量分别占到了全国的 30%和 22%<sup>[64]</sup>,显示了南岭成矿带的巨大成矿潜力。除上述的矿产外,近年来,在南岭成矿带的中、东段地区又

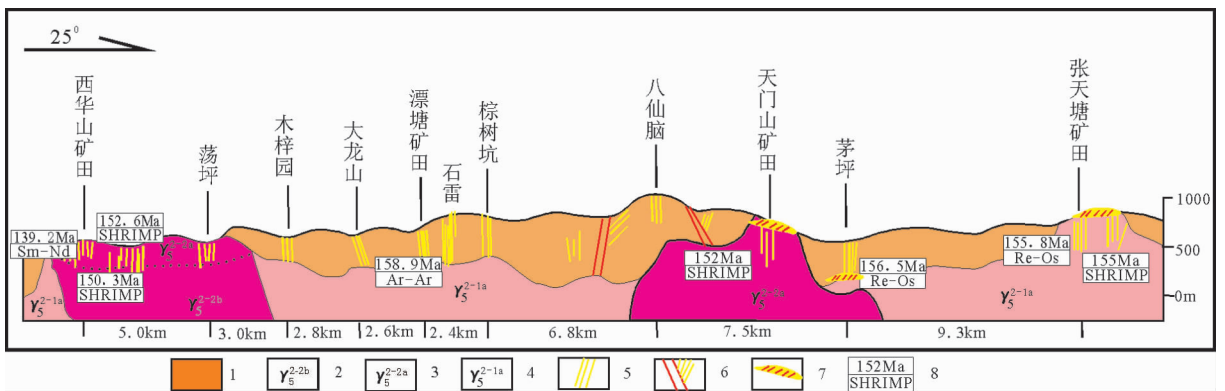


图 7 赣南地区西华山—张天堂地质剖面简图

- 1—前奥陶系, 2—燕山早期第二阶段第三次侵入花岗岩; 3—燕山早期第二阶段第二次侵入的花岗岩;
- 4—燕山早期第二阶段第一次侵入的花岗岩; 5—石英脉型; 6—破碎蚀变岩型; 7—云英岩型; 8—年代/方法

Fig.7 Simplified geological section of Xihuashan-Zhangtiantang in southern Jiangxi

- 1—Pre-Ordovician; 2—Third intrusive granite at the second stage of early Yanshanian; 3—Second intrusive granite at the second stage of early Yanshanian; 4—First intrusive granite at the second stage of early Yanshanian; 5—Quartz vein type; 6—Shattered altered rock type; 7—Greisen type; 8—Age/method

①刘善宝.中国地质科学院博士论文,2008.

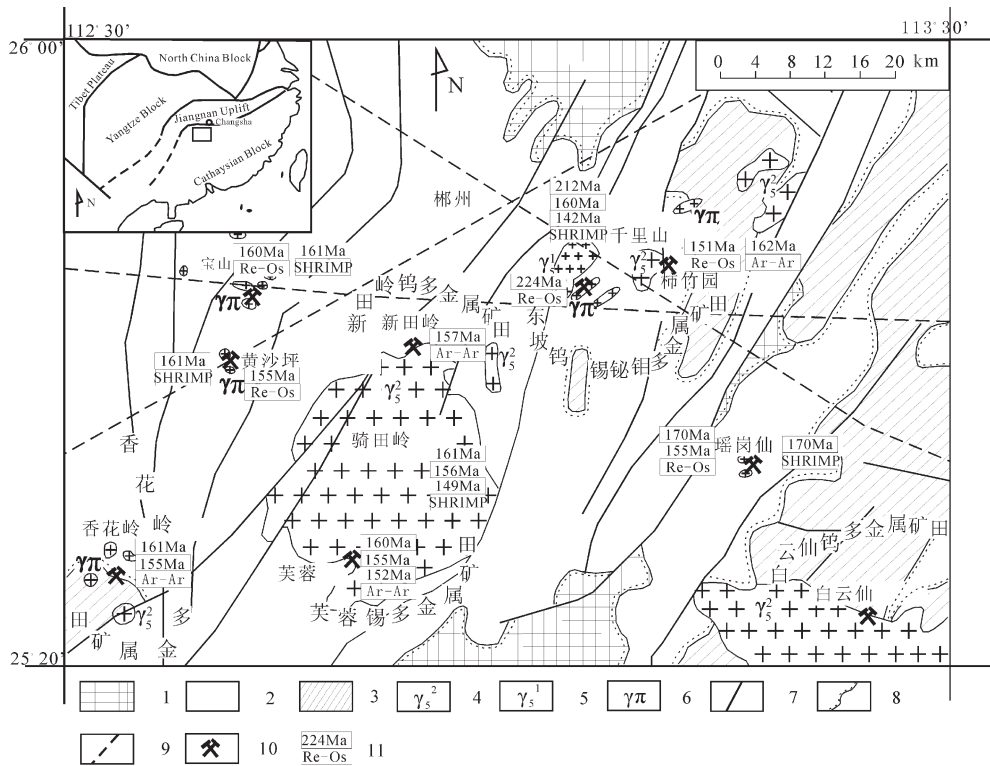


图8 湘南骑田岭—千里山矿集区主要矿床分布简图(底图转自文献<sup>①</sup>)

1—古新系—上三叠系;2—下三叠系—泥盆系;3—前寒武系;4—燕山早期花岗岩;5—印支期花岗岩;6—花岗斑岩;  
7—断裂;8—不整合地质界线;9—隐伏断裂;10—矿产地;11—年龄/方法

Fig.8 Distribution of major ore deposits in the Qitianling-Qianlishan ore concentration area of southern Hunan  
1-Paleocene-Upper Triassic; 2-Lower Triassic-Devonian; 3-Pre-Cambrian; 4-Early Yanshanian granite; 5-Indo-Chinese granite; 6-Granite porphyry; 7-Fracture; 8-Unconformity; 9-Concealed fracture; 10-Ore deposit; 11-Age/method

发现了一系列的独立钨矿床,如湘东的龙王排钨矿、赣南的安远园岭寨钨矿、广昌新安钨矿、寻乌铜坑嶂钨矿、武夷山南段的永定山口钨矿、武夷山北坡的金竹坪钨矿等。依据已有的成矿年代学数据分析,结合已发现矿床的地质特征,在南岭成矿带的东段可能存在2期独立钨矿的成矿作用,即燕山早期的170~160 Ma(园岭寨钨矿、新安钨矿和永定山口钨矿)和燕山晚期的135 Ma左右(铜坑嶂钨矿、金竹坪钨矿、永平铜钨矿)。上述2期成矿作用的界定,进一步拓宽了该区的地质找矿思路和空间。

综上所述,无论在纵向上,即已知钨锡矿床的深部;还是在横向上,即区域上,已知钨锡矿田(床)的外围及其邻区的金、银、铅、锌、钼等矿床,都显示了巨大的找矿潜力。在成矿时代上,向前延伸到印支期,向后延续到燕山晚期,多期多阶段成矿特征决定

了矿床的多层位的空间分布格局。按照“全位成矿,缺位找矿”的思路,在注重钨锡矿床深部地质找矿的同时,也应加强其外围金、银、铅、锌、钼等矿床的地质找矿,或许更容易实现地质找矿的新突破。

## 6 结论

(1) 辉钨矿 Re-Os 同位素年代学研究表明,赣南地区庵家滩钨矿床和园岭寨钨矿床的成矿时代分别为155 Ma、160 Ma,表明在该区钨锡成矿的主成矿期之前存在一期独立的钨成矿作用;

(2) 区域同位素年代分析、统计表明,南岭成矿带中生代的成矿作用可分为3期7个阶段,即印支期的225 Ma左右和195 Ma左右,燕山早期的170~160 Ma、160~150 Ma和150~145 Ma,燕山晚期的135 Ma左右和100 Ma左右;

①王永磊.中国地质科学院博士论文,2008.

(3)结合南岭成矿带中生代成矿作用期次及阶段的划分,在横向上,可能存在未被发现的矿床,在纵向上,在已知矿床的深部存在晚期成矿作用形成的隐伏工业矿体,从横向和纵向 2 个方面,探讨了南岭中、东段地区的第二空间的找矿潜力。

**致谢:**王学明编辑对本文提出了宝贵的修改意见,赣南地质大队的曾载淋总工、张永忠副总工、赖志坚副总工给予了大力支持,中国地质科学院矿产资源研究所王登红研究员在本文的撰写过程中进行了指导和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

### 参考文献(References):

- [1] 许建祥,曾载淋,王登红,等. 赣南钨矿新类型及“五层楼+地下室”找矿模型[J]. 地质学报, 2008, 82(07):880-887.  
Xu Jianxiang, Zeng Zailin, Wang Denghong, et al. A new type of tungsten deposit in southern Jiangxi and the new model of “Five Floors+Basement” for prospecting [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(07):880-887(in Chinese with English abstract).
- [2] 杨明桂,曾载淋,赖志坚,等. 江西钨矿床“多位一体”模式与成矿热动力过程[J]. 地质力学学报, 2008, 14(03):241-250.  
Yang Minggui, Zeng Zailin, Lai Zhijian, et al. The “multi-position in one” mode and dynamic mechanism of mineralization of tungsten deposits in Jiangxi[J]. Journal of Geomechanics, 2008, 14(03):241-250(in Chinese with English abstract).
- [3] 陈毓川,裴荣富,张宏良,等. 南岭地区与中生代花岗岩类有色及稀有金属矿床地质[M]. 北京:地质出版社, 1989:1-101  
Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Zhang Hongliang, et al. The Nonferrous and Rare Metal Mineral Deposits are Related with Mesozoic Granite Series in Nanling Metallogenic Belt, SE China [M]. Beijing:Geol. Pub. House, 1989:1-101 (in Chinese with English abstract).
- [4] 毛景文,李红艳,宋学信,等. 湖南柿竹园钨锡钼铋多金属矿床地质与地球化学[M]. 北京:地质出版社,1998:34-56.  
Mao Jingwen, Li Hongyan, Song Xuexin, et al. The Geological and Geochemical Characteristics of Shizhuyuan W-Sn-Mo-Bi Polymetallic Deposit, in Southern Hunan Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House, 1998:34-56(in Chinese with English abstract).
- [5] 裴荣富,熊群尧. 中国特大型金属矿床成矿偏在性成矿构造聚敛(场)[J]. 矿床地质, 1999, 18:37-46.  
Pei Rongfu, Xiang Qunyao. Metallogenic proferentiality and metallotect convergence of unique ore deposits in China [J]. Mineral Deposits, 1999, 18:37-46(in Chinese with English abstract).
- [6] 毛景文,谢桂青,李晓峰,等. 华南地区中生代大规模成矿作用域岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 2004, 11:45-55.  
Mao Jingwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, et al. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extensions from South China [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11:45-55 (in Chinese with English abstract).
- [7] 华仁民,陈培荣,张文兰,等. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用[J]. 矿床地质, 2005, 24:99-107.  
Hua Renmin, Chen Peirong, Zhang Wenlan, et al. Three major metallogenic events in Mesozoic in South China[J]. Mineral Deposits, 2005, 24:99-107(in Chinese with English abstract).
- [8] 毛景文,谢桂青,郭春雨,等. 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.  
Mao Jingwen, Xie Guiqing, Guo Chunli, et al. Large-scale tungsten-tin mineralization in the Nanling region, South China: Metallogenic ages and corresponding geodynamic processes [J]. Acta Petrological Sinica, 2007, 23 (10):2329-2338 (in Chinese with English abstract).
- [9] 蔡明海,陈开旭,屈文俊,等. 湘南荷花坪钨锡多金属矿床地质特征及铼钼矿 Re-Os 测年[J]. 矿床地质, 2006, 25(03):263-268.  
Cai Minghai, Chen Kaixu, Qu Wenjun, et al. Geological characteristics and Re-Os dating of molybdenites in Hehuaping tin-polymetallic deposit, southern Hunan Province [J]. Mineral Deposits, 2006, 25(03): 263-268(in Chinese with English abstract).
- [10] 刘善宝,王登红,陈毓川,等. 赣南崇义—大余—上犹矿集区不同类型含矿石英中白云母  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄及其地质意义 [J]. 地质学报, 2008, 82(07):932-939  
Liu Shanbao, Wang Denghong, Chen Yuchuan, et al.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages of muscovite from different types tungsten-bearing quartz veins in the Chong-Yu-You concentrated mineral area in Gannan Region and its geological significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(07):932-939(in Chinese with English abstract).
- [11] 张达,吴淦国,吴建设,等. 闽西南中甲锡多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质力学学报, 2003, 9(03):261-266.  
Zhang Da, Wu Ganguo, Wu Jianshe, et al. Re-Os age of the Zhongjia tin polymetallic deposit, Southwestern Fujian, and their geological significance [J]. Journal of Geomechanics, 2003, 9(03): 261-266(in Chinese with English abstract).
- [12] 王登红,李华芹,秦燕,等. 湘南瑶岗仙钨矿成岩成矿作用年代学研究[J]. 岩矿测试, 2009, 28(03):201-208.  
Wang Denghong, Li Huaqin, Qin Yan, et al. Rock-forming and ore-forming age of the Yaogangxian tungsten deposit of Hunan Province[J]. Rock and Mineral Analysis, 2009, 28(03):201-208(in Chinese with English abstract).
- [13] 曾载淋,张永忠,朱祥培,等. 赣南崇义地区茅坪钨锡矿床铼-钨同位素定年及其地质意义[J]. 岩矿测试, 2009, 28(03):209-214.  
Zeng Zailin, Zhang Yongzhong, Zhuxiangpei, et al. 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, 2009, 28 (03):209-214(in Chinese with English abstract).
- [14] 许建祥,曾载淋,李雪琴,等. 江西寻乌铜坑钨矿床地质特征及成矿时代[J]. 地质学报, 2007, 81(07):924-928.  
Xu Jianxiang, Zeng Zailin, Li Xueqin, et al. Geological

- characteristics and mineralization age of the Tongkengzhang molybdenum deposit in Xunwu County, South Jiangxi Province, China[J]. *Acta Geological Sinica*, 2007, 81(07):924-928(in Chinese with English abstract).
- [15] 王登红, 陈毓川. 加强成矿年代学研究, 深化成矿规律认识, 指导地质找矿[J]. *岩矿测试*, 2009, 28(03)前言.
- Wang Denghong, Chen Yuchuan. Intensifying metallogenic chronology research, understanding the metallogenic rules, instructing geologic prospecting [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2009, 28(03), Preface(in Chinese).
- [16] 张德全, 丰成友, 李大新, 等. 紫金山地区斑岩-浅成热液成矿系统的成矿流体演化[J]. *地球学报*, 2005, 26(02):127-136.
- Zhang Dequan, Feng Chengyou, Li Daxin, et al. The evolution of ore-forming fluids in the porphyry-epithermal metallogenic system of Zijinshan area [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2005, 26 (02):127-136(in Chinese with English abstract).
- [17] 张克尧, 王建平, 杜安道, 等. 福建福安赤路钨矿床辉钨矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. *中国地质*, 2009, 36(01):147-154.
- Zhang Keyao, Wang Jianping, Du Andao, et al. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Chilun molybdenum deposit in Fu'an, Fujian Province[J]. *Geology in China*, 2009, 36(01):147-154(in Chinese with English abstract).
- [18] 陈郑辉, 王登红, 屈文俊, 等. 赣南崇义淘锡坑钨矿的地质特征及其成矿时代[J]. *地质通报*, 2006, 25:496-501.
- Chen Zhenghui, Wang Denghong, Qu Wenjun, et al. Geological characteristics and mineralization age of the Taoxikeng tungsten deposit in Chongyi County, southern Jiangxi Province [J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25:496-501 (in Chinese with English abstract).
- [19] 丰成友, 许建祥, 曾载淋, 等. 赣南天门山-红桃岭钨锡矿田成矿时代精细测定及其地质意义[J]. *地质学报*, 2007, 81(07):952-963.
- Feng Chengyou, Xu Jianxiang, Zeng Zailin, et al. 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 Geological Sinica*, 2007, 81(07):952-963(in Chinese with English abstract).
- [20] 丰成友, 丰耀东, 许建祥, 等. 赣南张天堂地区岩体钨矿晚侏罗世成矿的同位素年代学证据 [J]. *中国地质*, 2007, 34(04):642-650.
- Feng Chengyou, Feng Yaodong, Xu Jianxiang, et al. Isotope chronological evidence for Upper Jurassic petrogenesis and mineralization of altered granite-type tungsten deposits in the Zhangtang area, southern Jiangxi [J]. *Geology in China*, 2007, 34(04):642-650(in Chinese with English abstract).
- [21] 郭春丽, 王登红, 陈毓川, 等. 赣南中生代淘锡坑钨矿区花岗岩锆石及石英脉 Rb-Sr 年龄测定 [J]. *矿床地质*, 2007, 26(04):432-442.
- Guo Chunli, Wang Denghong, Chen Yuchuan, et al. Precise zircon SHRIMP U-Pb and quartz vein Rb-Sr dating of Mesozoic Taoxikeng tungsten polymetallic deposit in southern Jiangxi [J]. *Mineral Deposits*, 2007, 26(04):432-442(in Chinese with English abstract).
- [22] 郭春丽, 蒯志勇, 王登红, 等. 赣南淘锡坑钨多金属矿床花岗岩和云英岩岩石特征及云英岩中白云母  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  定年[J]. *地质学报*, 2008, 82(09):1274-1284.
- Guo Chunli, Lin Zhiyong, Wang Denghong, et al. Petrologic characteristics of the granites and greisens and muscovite  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating in the Taoxikeng tungsten polymetallic deposit, southern Jiangxi Province [J]. *Acta Geological Sinica*, 2008, 82(09):1274-1284(in Chinese with English abstract).
- [23] 刘善宝, 王登红, 陈毓川, 等. 南岭东段赣南地区天门山花岗岩体及花岗斑岩脉的 SHRIMP 定年及其意义[J]. *地质学报*, 2007, 81(07):972-978.
- Liu Shanbao, Wang Denghong, Chen Yuchuan, et al. SHRIMP dating of Tianmenshan granite pluton and granite-porphry dyke in southern Jiangxi Province, eastern Nanling region, and its significance [J]. *Acta Geological Sinica*, 2007, 81 (07):972-978(in Chinese with English abstract).
- [24] 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 等. 辉钨矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究[J]. *地质学报*, 1994, 68(4):339-347.
- Du Andao, He Hongliao, Yin Ningwan, et al. Study on the Re-Os geochronometry of molybdenites [J]. *Acta Geological Sinica*, 1994, 68(4):339-347(in Chinese with English abstract).
- [25] 屈文俊, 杜安道. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钨矿铼-钨地质年龄[J]. *岩矿测试*, 2003, 22(4):254-257.
- Qu Wenjun, Du Andao. Highly Precise Re-Os Dating of molybdenite by ICP-MS with carius tube sample digestion [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2003, 22(4):254-257(in Chinese with English abstract).
- [26] 曾载淋, 刘善宝, 邓茂春, 等. 江西广昌新安钨矿床地质特征及其 Re-Os 定年[J]. *岩矿测试*, 2010, 待刊.
- Zeng Zailin, Liu Shanbao, Deng Maochun, et al. Geological characteristics and Re-Os isotopic age of Xin'an Mo deposit in Jiangxi province [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2010, in press.
- [27] 罗锦昌, 陈郑辉, 屈文俊. 福建省永定山口钨矿辉钨矿铼-钨同位素定年及其地质特征[J]. *岩矿测试*, 2009, 28(03):254-258;
- Luo Jinchang, Chen Zhenghui, Qu Wenjun. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Shankou molybdenum deposit in Yongding County of Fujian Province and its geological significance [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2009, 28(03):254-258 (in Chinese with English abstract).
- [28] 邹先武, 崔森, 屈文俊, 等. 广西都庞岭李贵福钨锡多金属矿 Re-Os 同位素定年[J]. *中国地质*, 2009, 36(04):837-844.
- Zou Xianwu, Cui Sen, Qu Wenjun, et al. Re-Os isotope dating of the Liguifu tungsten-tin polymetallic deposit in Dupangling area, Guangxi [J]. *Geology in China*, 2009, 36 (04):837-844 (in Chinese with English abstract).
- [29] 徐夕生, 邓平, O'Reilly S Y, 等. 华南贵东杂岩体单颗粒锆石激

- 光探针 ICPMS U-Pb 定年及其成岩意义[J]. 科学通报, 2003, 48(12):1328-1334.
- Xu Xisheng, Deng Ping, O'Reilly S Y. et al. Single zircon LA-ICPMS U-Pb Dating of the Guidong complex (SE China) and its petrogenetic significance [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(12):1328-1334(in Chinese with English abstract).
- [30] 赵蕾, 于津海, 王丽娟, 等. 红山含黄玉花岗岩的形成时代及其成矿能力分析[J]. 矿床地质, 2006, 25(06):672-682.
- Zhao Lei, Yu Jinhai, Wang Lijuan, et al. Formation time of Hongshan topaz-bearing granite and its metallogenic potential prognosis[J]. Mineral Deposits, 2006, 25(06):672-682(in Chinese with English abstract).
- [31] 张敏, 陈培荣, 黄国龙, 等. 南岭东段龙源坝复式岩体 La-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 地质学报, 2006, 80(07):984-994.
- Zhang Min, Chen Peirong, Huang Guolong, et al. Single-zircon La-ICP-MS ages of the Longyuanba pluton in the eastern Nanling region and geological implication [J]. Acta Geological Sinica, 2006, 80(07):984-994(in Chinese with English abstract).
- [32] 于津海, 王丽娟, 王孝磊, 等. 赣东南富城杂岩体的地球化学和年代学研究[J]. 岩石学报, 2007, 23(06):1441-1456.
- Yu Jinghai, Wang Lijuan, Wang Xiaolei, et al. Geochemistry and geochronology of the Fucheng Complex in the southeastern Jiangxi Province, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (06):1441-1456(in Chinese with English abstract).
- [33] 余心起, 狄永军, 吴淦国, 等. 粤北存在早侏罗世的岩浆岩——来自霞岚杂岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学的证据[J]. 中国科学 (D 辑), 2009, 39(06):681-693.
- Yu Xinqi, Di Yongjun, Wu Ganguo, et al. The early Jurassic magmatic rock in Northern Guangzhou Province, South China: Evidences from the zircon U-Pb isotopic chronology of Xialan complex[J]. Sciences in China(Series D), 2009, 39(06):681-693(in Chinese).
- [34] 杨祖龙, 张德全, 丰成友, 等. 福建龙岩中甲锡多金属矿床石英斑岩中锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2008, 27(03):329-335.
- Yang Zulong, Zhang Dequan, Feng Chengyou, et al. SHRIMP zircon U-Pb dating of quartz porphyry from Zhongjia tin-polymetallic deposit in Longyan area, Fujian Province, and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 2008, 27(03):329-335 (in Chinese with English abstract).
- [35] Peng J T, Zhou M F, Hu R Z, et al. Precise molybdenite Re-Os and mica Ar-Ar dating of the Mesozoic Yaogangxian tungsten deposit, central Nanling district, South China [J]. Mineralium Deposita, 2007, 41:661-669.
- [36] 李红艳, 毛景文, 孙亚利, 等. 柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究[J]. 地质论评, 1996, 42(03):261-267.
- Li Hongyan, Mao Jingwen, Sun Yali, et al. Re-Os isotopic Chronology of molybdenites in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit, southern Hunan[J]. Geological Review, 1996, 42(03):261-267(in Chinese with English abstract).
- [37] 彭建堂, 胡瑞忠, 毕献武, 等. 湖南芙蓉锡矿床  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2007, 26(03):237-248.
- Peng Jiantang, Hu Ruizhong, Bi Xianwu, et al.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  isotopic dating of tin mineralization in Furong deposit of Hunan Province and its geological significance [J]. Mineral Deposits, 2007, 26(03):237-248(in Chinese with English abstract).
- [38] 付建明, 李华芹, 屈文俊, 等. 湘南九嶷山大坳钨锡矿的 Re-Os 同位素定年[J]. 中国地质, 2007, 134(04):651-656.
- Feng Chengyou, Li Huaqin, Qu Wenjun, et al. Re-Os isotope dating of the Da ao tungsten-tin deposit in the Jiuyi Mountains, southern Hunan Province [J]. Geology in China, 2007, 134(04):651-656(in Chinese with English abstract).
- [39] 张家菁, 陈郑辉, 王登红, 等. 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, 2008, 32(01):92-97.
- Zhang Jiajing, Chen Zhenghui, Wang Denghong, et al. Geological characteristics and metallogenic epoch of the Xingluokeng tungsten deposit, Fujian Province[J]. Geotectonica Et Metallogenia, 2008, 32(01):92-97(in Chinese with English abstract).
- [40] 付建明, 李华芹, 屈文俊, 等. 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, 2008, 32(01):57-62.
- Fu Jianming, Li Huaqin, Qu Wenjun, et al. Determination of mineralization epoch of quartz-vein type tungsten deposits in Shixing region, northern Guangdong and its geological significance [J]. Geotectonica Et Metallogenia, 2008, 32(01):57-62(in Chinese with English abstract).
- [41] 姚军明, 华仁民, 屈文俊, 等. 湘南黄沙坪铅锌钨钼多金属矿床辉钨矿的 Re-Os 同位素定年及其意义 [J]. 中国科学 (D 辑), 2007, 37(04):471-477.
- Yao Junming, Hua Renmin, Qu Wenjun, et al. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Huangshaping Pb-Zn-Mo polymetallic deposit, Hunan Province, South China and its geological significance [J]. Science in China (Series D), 2007, 37(04):471-477(in Chinese).
- [42] 路远发, 马丽艳, 屈文俊, 等. 湘南宝山铜-钨多金属矿床成岩成矿的 U-Pb 和 Re-Os 同位素定年研究[J]. 岩石学报, 2006, 22(01):2483-2492.
- Lu Yuanfa, Ma Liyan, Qu Wenjun, et al. U-Pb and Re-Os isotope geochronology of Baoshan Cu-Mo polymetallic ore deposit in Hunan Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(01):2483-2492(in Chinese with English abstract).
- [43] 孟祥金, 侯增谦, 董光裕, 等. 江西金溪熊家山木矿床特征及其 Re-Os 年龄[J]. 地质学报, 2007, 81(07):946-951.
- Meng Xiangjin, Hou Zengqian, Dong Guangyu, et al. The geological characteristics and Re-Os isotope age of molybdenite of the Xiongjiashan molybdenum deposit, Jiangxi Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(07):946-951(in Chinese with English abstract).

- [44] 朱金初, 王汝成, 张佩华, 等. 南岭中段骑田岭花岗岩基的锆石 U-Pb 年代学格架[J]. 中国科学(D 辑), 2009, 39(08):1112-1127. Zhu Jinchu, Wang Rucheng, Zhang Peihua, et al. Zircon U-Pb age framework of Qitianling granite batholith, central part of Naniing Range[J]. Science in China(Series D), 2009, 39(08):1112-1127(in Chinese).
- [45] 李华芹, 路远发, 王登红, 等. 湖南骑田岭芙蓉矿田成岩成矿时代的厘定及其地质意义[J]. 地质论评, 2006, 52(01): 113-121. Li Huaqing, Lu Yuanfa, Wang denghong, et al. Dating of the rock-forming and ore-forming ages and their geological significances in the Furong Ore-field, Qitian Mountain, Hunan[J]. geological Review, 2006, 52(01):113-121(in Chinese with English abstract).
- [46] 徐辉煌, 熊峥嵘, 伍式崇, 等. 湘东龙王排钨多金属矿地质特征及辉钨矿铼-钨同位素定年[J]. 岩矿测试, 2009, 28 (03):244-248. Xu Huihuang, Xiong Zhengrong, Wu Shichong, et al. Geological characteristics and mineralization age of the Longwangpai molybdenum-polymetallic deposit in East Hunan [J]. Rock and Mineral Analysis, 2009, 28(03):244-248(in Chinese with English abstract).
- [47] 张文兰, 华仁民, 王汝成, 等. 赣南大吉山花岗岩成岩与钨矿成矿年龄的研究[J]. 地质学报, 2006, 80(07):956-962; Zhang Wenlan, Hua Renmin, Wang Rucheng, et al. New dating of the dajishan granite and related tungsten mineralization in southern Jiangxi[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(07):956-962 (in Chinese with English abstract).
- [48] 王登红, 陈毓川, 徐志刚. 中国白垩纪大陆成矿体系的初步研究及找矿前景浅析[J]. 地学前缘, 2005, 12(02):231-239. Wang Denghong, Chen Yuchuan, Xu Zhigang. Preliminary study on Cretaceous mineralization systems in China: Implications for future prospecting[J], Earth Science Frontiers, 2005, 12(02):231-239(in Chinese with English abstract).
- [49] 梅玉萍, 李华芹, 王登红, 等. 江西岩背斑岩锡矿的成岩成矿时代及其地质意义[J]. 地球学报, 2007, 28(05):456-461. Mei Yuping, Li Huaqing, Wang Denghong, et al. Rock-forming and Ore-forming ages of the Yanbei porphyry tin deposit in Jiangxi Province and their geological significance [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2007, 28 (05):456-461 (in Chinese with English abstract).
- [50] 张家菁, 吴木森, 陈郑辉, 等. 江西省上饶县金竹坪钨多金属矿床成矿年代学研究[J]. 岩矿测试, 2009, 28(03):228-232. Zhang Jiajing, Wu Musen, Chen Zhenghui, et al. Geochronologic study on the Jinzhuping Molybdenum-polymetallic deposit from Shangrao of Jiangxi Province[J]. Rock and Mineral Analysis, 2009, 28(03):228-232(in Chinese with English abstract).
- [51] 王登红, 陈毓川, 陈文, 等. 广西南丹大厂大型锡多金属矿床成矿时代[J]. 地质学报, 2004, 78(01):132-139. Wang Denghong, Chen Yuchuan, Chen Wen, et al. Dating the Dachang giant tin-polymetallic deposit in Nandan, Guangxi [J], Acta Geologica Sinica, 2004, 78 (01):132-139 (in Chinese with English abstract).
- [52] 李华芹, 王登红, 梅玉萍, 等. 关于大厂拉么锌铜多金属矿床成岩成矿作用年代学研究[J]. 地质学报, 2008, 82(07):912-920. Li Huaqing, Wang Denghong, Mei Yuping, et al. Lithogenesis and mineralization chronology study on the Lamo zinc-copper polymetallic ore deposit in dachang orefield, Guangxi [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82 (07):912-920 (in Chinese with English abstract).
- [53] 黄常立, 唐维新, 桂永平. 会昌岩背式斑岩锡矿[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997. 1-132; Huang Changli, Tang Weixin, Gui Yongping. The Yanbei Pattern of Porphyritic Type tin Deposit in Huichang County, Jiangxi Province, South China[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997, 1-132(in Chinese with English abstract).
- [54] 张家菁, 施光海, 童贵生, 等. 浙江徐家墩鹤湖组含铜多金属矿花山岩的地球化学与年代学 [J]. 地质学报, 2009, 83 (06):791-799. Zhang Jiajing, Shi Guanghai, Tong Guisheng, et al. Geochemistry and geochronology of copper and polymetal-bearing volcanic rock of the Erhuling Formation in Xujiadun, Zhejiang Province[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(06):791-799(in Chinese with English abstract).
- [55] 张家菁, 梅玉萍, 王登红, 等. 赣北香炉山白钨矿床的同位素年代学研究及其地质意义[J]. 地质学报, 2008, 82(07):927-931. Zhang Jiajing, Mei Yuping Wang Denghong, et al. Isochronology study on the Xianglushan scheelite deposit in North Jiangxi Province and its geological significance [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(07):927-931(in Chinese with English abstract).
- [56] 李水如, 王登红, 梁婷, 等. 广西大明山钨矿区成矿时代及其找矿前景分析[J]. 地质学报, 2008, 82(07):873-879. Li Shuiru, Wang Denghong, Liang Ting, et al. Metallogenic epochs of the Damingshan tungsten deposit in Guangxi and its prospecting potential[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(07):873-879(in Chinese with English abstract).
- [57] 蔺志永, 王登红, 李水如. 广西王社铜钨矿床的 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2008, 82(11):1565-1571. Lin Zhiyong, Wang Denghong, Li Shuiru. Re-Os isotopic age of molybdenite from the Wangshe copper-tungsten deposit in Guangxi and their implications [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82 (11):1565-1571 (in Chinese with English abstract)
- [58] 陈富文, 李华芹, 梅玉萍. 广西龙头山斑岩型金矿成岩成矿锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究 [J]. 地质学报, 2008, 82 (07):921-926. Chen Fuwen, Li Huaqing, Mei Yuping. Zircon SHRIMP U-Pb chronology of diagenetic mineralization of the Longtoushan porphyry gold orefield, Gui County, Guangxi [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(07):921-926(in Chinese with English abstract).
- [59] 秦德先, 黎应书, 谈书成, 等. 云南个旧锡矿的成矿时代[J]. 地质科学, 2006, 41(01):122-132.

- Qin Dexian, Li Yingshu, Tan Shucheng, et al. Metallogenic ages of Gejiu tin ore deposit in Yunnan Province [J]. Chinese Journal of Geology, 2006, 41 (01):122–132 (in Chinese with English abstract).
- [60] 杨宗喜,毛景文,陈懋弘,等.云南个旧老厂细脉带型锡矿云母  $^{40}\text{Ar}$ – $^{39}\text{Ar}$  年龄及其地质意义[J].矿床地质, 2009, 28(03):336–344.
- Yang Zongxi, Mao Jingwen, Chen Maohong, et al.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of muscovite from Laochang veinlet-like Sn deposit in Gejiu tin polymetallic ore district and its geological significance [J]. Mineral Deposits, 2009, 28(03):336–344(in Chinese with English abstract).
- [61] 刘玉平,李正祥,李惠民,等.都龙锡锌矿床锡石和锆石 U–Pb 年代学:滇东南白垩纪大规模花岗岩成岩–成矿事件[J].岩石学报, 2007, 23(05):967–976.
- Liu Yuping, Li Zhengxiang, Li Huimin, et al. U–Pb geochronology of cassiterite and zircon from the Dulong Sn–Zn deposit: Evidence for Cretaceous large-scale granitic magmatism and mineralization events in southeastern Yunnan Province, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(05):967–976(in Chinese with English abstract).
- [62] 王登红,许建祥,张家菁,等.华南深部找矿有关问题探讨[J].地质学报, 2008, 82(07):865–871.
- Wang Denghong, Xu Jianxiang, Zhang Jiaping, et al. Several issues on the Deep Prospecting in South China [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(07):865–871(in Chinese with English abstract).
- [63] Li Huaqin, Liu Jiaoqi, Du Guomin, et al. Chronological study on metallization of Endogenetic metallic deposits—an example from Xihuashan tungsten deposit, South China [J]. Chinese Science Bulletin, 1993, 38(11):931–934.
- [64] 王登红,陈毓川,陈郑辉,等.南岭地区矿产资源形势分析和地质找矿方向研究[J].地质学报, 2007, 81(07):882–890.
- Wang Denghong, Chen Yuchuan, Chen Zhenghui, et al. Assessment on mineral resource in Nanling region and suggestion for further prospecting [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(07):882–890(in Chinese with English abstract).

## The second ore–prospecting space in the eastern and central parts of the Nanling metallogenic belt: evidence from isotopic chronology

LIU Shan–bao<sup>1</sup>, CHEN Yu–chuan<sup>2</sup>, FAN Shi–xiang<sup>4</sup>,  
XU Jian–xiang<sup>3</sup>, QU Wen–jun<sup>5</sup>, YING Li–juan<sup>1</sup>

(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. Land Office of Jiangxi Province, Nanchang 330000, Jiangxi, China; 4. South Jiangxi Geological Survey Party, Ganzhou 341000, Jiangxi, China; 5. National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China)

**Abstract:** A study of Re–Os isotopic chronology of molybdenite suggests that the metallogenic age of the Anqiantan tungsten ore deposit in south Jiangxi area within eastern Nanling region is about 156 Ma and that of the Yuanlingzhai molybdenum ore deposit is about 160 Ma. Statistics indicate that there occurred 3 epochs comprising 6 stages of mineralization during Mesozoic in the eastern and central parts of the Nanling metallogenic belt. These stages are about 225 Ma and 195 Ma of Indo–Chinese period, 170–160 Ma, 160–150 Ma and 150–145 Ma of Early Yanshanian period, and about 135 Ma and 100 Ma of Late Yanshanian period. The mineralization during Early Yanshanian period is the strongest one, so that Early Yanshanian is the major metallogenic period for tungsten and tin ore deposits in the eastern and central parts of the Nanling metallogenic belt. There exist independent W–Sn polymetallic ore deposits, Sn ore deposits, Cu–Pb–Zn polymetallic ore deposits and Mo ore deposits. Combined with an analysis of metallogenic chronology, the authors hold that there might exist undiscovered or neglected mineral resources in the horizontal direction as well as metallogenic potential at the depth of the known ore deposits in the vertical direction. This study has provided theoretic basis for geological prospecting in the second space of the eastern and central parts of the Nanling metallogenic belt.

**Key words:** Nanling; isotope; chronology; second ore–prospecting space

**About the first author:** LIU Shan–bao, male, born in 1970, doctor and engineer, engages in the study of metallogenic regularity and geology; E–mail: Liubaoshan7002@163.com.