

赣南雷公嶂钼矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义*

赵云彪¹, 黄凡^{1**}, 迟雷^{2,3}, 王岩¹, 童日发⁴

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 2 内蒙古大学物理科学与技术学院, 内蒙古呼和浩特 010021; 3 中国地质大学(北京), 北京 100083; 4 江西省核工业地质局二六四大队, 江西赣州 341000)

摘要 雷公嶂钼矿床是赣南地区新发现的一座具中型钼矿找矿前景的独立钼矿床, 成矿特征明显区别于赣南已发现的与钨多金属共(伴)生的钼矿床。为确定矿床成矿时代, 文章利用高精度 ICP-MS 辉钼矿 Re-Os 同位素测年技术, 首次获得了雷公嶂钼矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素加权平均模式年龄, 为(156.3±1.0)Ma, 等时线年龄为(156.9±3.6)Ma, 证实了矿床成岩与成矿作用同时发生, 形成于南岭地区燕山早期中晚侏罗世(165~150 Ma)。矿床中辉钼矿的 $w(\text{Re})$ 为 $6.104 \times 10^{-6} \sim 13.974 \times 10^{-6}$, 平均为 8.507×10^{-6} , 结合矿床地质特征和成矿岩体主量元素及 Hf 同位素等证据, 文章认为成矿物质来自地壳, 没有地幔物质加入。结合赣南地区成岩与成矿年代学资料, 文章认为区内钼钨多金属矿床形成于华南中生代岩石圈大规模伸展-减薄的地球动力学背景。

关键词 地球化学; 钼矿床; Re-Os 同位素; 成矿年龄; 雷公嶂; 赣南

中图分类号: P618.65

文献标志码: A

Re-Os dating of molybdenites from Leigongzhang molybdenum deposit of southern Jiangxi Province and its geological significance

ZHAO YunBiao¹, HUANG Fan¹, CHI Lei^{2,3}, WANG Yan¹ and TONG RiFa⁴

(1 MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 School of Physical Science and Technology, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, Inner Mongolia, China; 3 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 4 Geologic Party No. 264, Jiangxi Nuclear Industrial Geological Bureau, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

Abstract

The Leigongzhang molybdenum deposit is a newly discovered independent molybdenum deposit in the southern part of Jiangxi Province, with a medium-sized molybdenum resources. Its metallogenic characteristics are clearly distinct from those of molybdenum deposits associated with tungsten that have been found in the region. In order to determine the metallogenic age of the deposit, the Re-Os isotope analysis of molybdenite in the ore-body was performed by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), and the Re-Os isotope weighted average model age was (156.3±1.0) Ma, and the isochron age was (156.9±3.6) Ma, confirming that the diagenesis and mineralization of the deposit occurred simultaneously during middle-late Jurassic of the early Yanshan period (165~150 Ma). The Re content of molybdenite in the deposit is $6.104 \times 10^{-6} \sim 13.974 \times 10^{-6}$, with an average of 8.507×10^{-6} . Combining the geological characteristics of the deposit and the evidence of the major ele-

* 本文得到国家自然科学基金(编号:42172097、41402069)、中国地质调查局中国矿产地质志项目(编号:DD20221695)和中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(编号:JYYWF20183701、JYYWF20183704、K1305)共同资助

第一作者简介 赵云彪,男,1998年生,硕士研究生,矿物学、岩石学、矿床学专业。Email:zybglut@163.com

** 通讯作者 黄凡,男,1983年生,研究员,硕士生导师,主要从事区域成矿规律与成矿预测研究。Email:hfhymn@163.com

收稿日期 2021-04-29;改回日期 2022-11-17。赵海杰编辑。

ments and Hf isotope of the ore-forming granite, this paper concludes that the ore-forming material was come from the crust without the mantle material. Combining with the regional diagenetic and diagenetic data, this paper suggests that the regional tungsten-molybdenum deposits were formed in the geodynamic setting of lithospheric thinning and crustal extension in South China during the Mesozoic.

Key words: geochemistry, molybdenum deposit, Re-Os isotope, metallogenic age, Leigongzhang, southern Jiangxi Province

赣南地区素有“世界钨都”之称(王登红等, 2007), 钨多金属矿床主要分布于崇义-大余-上犹-兴国-宁都-赣县-于都等矿集区内(图 1a)。随着找矿勘查的深入, 在赣南兴国-宁都矿集区内陆续发现了画眉坳钨矿床、岩前钨矿床、张家地钨矿床和见龙铜钨矿床等一批矿床, 但独立钨矿床鲜有报道。雷公嶂钨矿床位于江西省兴国县境内, 是近年来在赣南地区发现的一座具有中型钨矿找矿潜力的独立钨矿床, 矿化特征明显区别于赣南地区与钨多金属共(伴)生的钨矿床(童日发等, 2012)。前人对该矿床的研究主要集中于矿床地质特征, 并未对其成矿年龄做出厘定。因此, 本文采用高精度 ICP-MS 辉钨矿 Re-Os 同位素测年技术对雷公嶂钨矿床进行同位素年代学研究, 并对其成矿物质来源和动力学背景进行探讨, 以期对矿床及区域成矿规律研究提供可靠的年代学资料。

1 区域和矿床地质概况

1.1 区域地质概况

大地构造位置上, 雷公嶂矿区位于华夏板块中部, 南岭 EW 向构造岩浆带与 NNE 向武夷构造带的交汇部位(杨瑞栋等, 2013)。区内出露地层有震旦系、寒武系、泥盆系、石炭系、白垩系和第四系(图 1b)。其中震旦系、寒武系分布面积广泛, 岩性为一套以变质砂岩、板岩和千枚岩为主的浅变质岩, 为该区基底地层; 泥盆系、石炭系岩性为一套以碎屑岩、碳酸盐岩为主的海相碎屑沉积岩, 为该区盖层; 白垩系分布在兴国断陷盆地内, 为一套砖红色湖盆相沉积; 泥盆系、石炭系和白垩系与下伏寒武系呈角度不整合接触(童日发等, 2012; 杨瑞栋等, 2013)。

区内构造以断裂和褶皱为主。受多期构造作用影响, NNE 向遂川-乐安断裂、大余-南城断裂, EW 向遂川-石城深大断裂在矿区交汇, 构成了以 NNE 向断裂为主, NW、EW、NE 向断裂相继发育的构造格局

(舒良树等, 2008)。自早古生代以来, 特别是在中生代, 江口-社富-兴国断裂与万安断裂长期活动, 与 EW 向遂川-石城大断裂相互作用, 加上 NW 向应力, 形成了长岗 NW 向断裂与茶园向斜, 其南翼断层附近岩层强烈扭曲, 断裂面呈麻花状(杨瑞栋等, 2013)。

区内加里东期、印支期和燕山期均有岩浆活动, 以燕山期最为强烈, 与区内钨多金属成矿关系也最为密切。区内岩浆岩分布广泛, 出露岩体有加里东期鹅婆岩体(郭娜欣等, 2014); 印支期蔡江岩体(田泽瑾等, 2014)、清溪岩体(于扬等, 2012); 燕山早期永丰岩体(杨世文等, 2019)、东固岩体(舒徐洁等, 2018)、良村岩体(王崴平等, 2014)、黄陂岩体(刘汉彬等, 2014), 岩体多呈岩基状; 燕山晚期岩浆岩出露较少, 多呈岩株状。

1.2 矿床地质概况

矿区内出露地层仅见寒武系中统高滩群(C_{2gt})及少量第四系(图 2a)。高滩群岩性为含云母石英砂岩, 局部为千枚岩、变余砂岩等浅变质岩。地层倾向多在 40° 左右, 倾角为 $35^\circ\sim 75^\circ$, 局部因层间揉皱而出现地层倒转现象(童日发等, 2012)。第四系主要分布于低洼处, 由砾石、砂、黏土等组成。

矿区位于均村复式背斜北东翼, 区内断裂和裂隙发育, 控制着矿体的展布。断裂构造有 NW 和 NNW 向 2 组, 均具有多期活动的特点。其中, NW 向断裂为导矿构造, 分布于雷公嶂南东至均村一带, 分别为 F_1 、 F_2 ; NNW 向断裂位于雷公嶂东部, 分别为 F_3 、 F_4 (图 2a)。矿区裂隙有 NWW、EW、SN、NE 向 4 组, 其中 NWW 向裂隙为主要的容矿构造, 由若干平行滑动面密集延布的裂隙束组成, 裂隙密集程度一般为 1~8 条/m, 含辉钨矿的钾长石-石英细脉充填其中, 单条裂隙中钾长石-石英脉宽多在 0.01~0.1 m 之间, 个别可达 0.6 m(童日发等, 2012)。

矿区内未见岩浆岩出露, 已有工程也未揭露深部岩体。距矿区仅 7 km 处为永丰复式岩体, 已有资料显示其与矿床存在密切的时空和成因联系(童

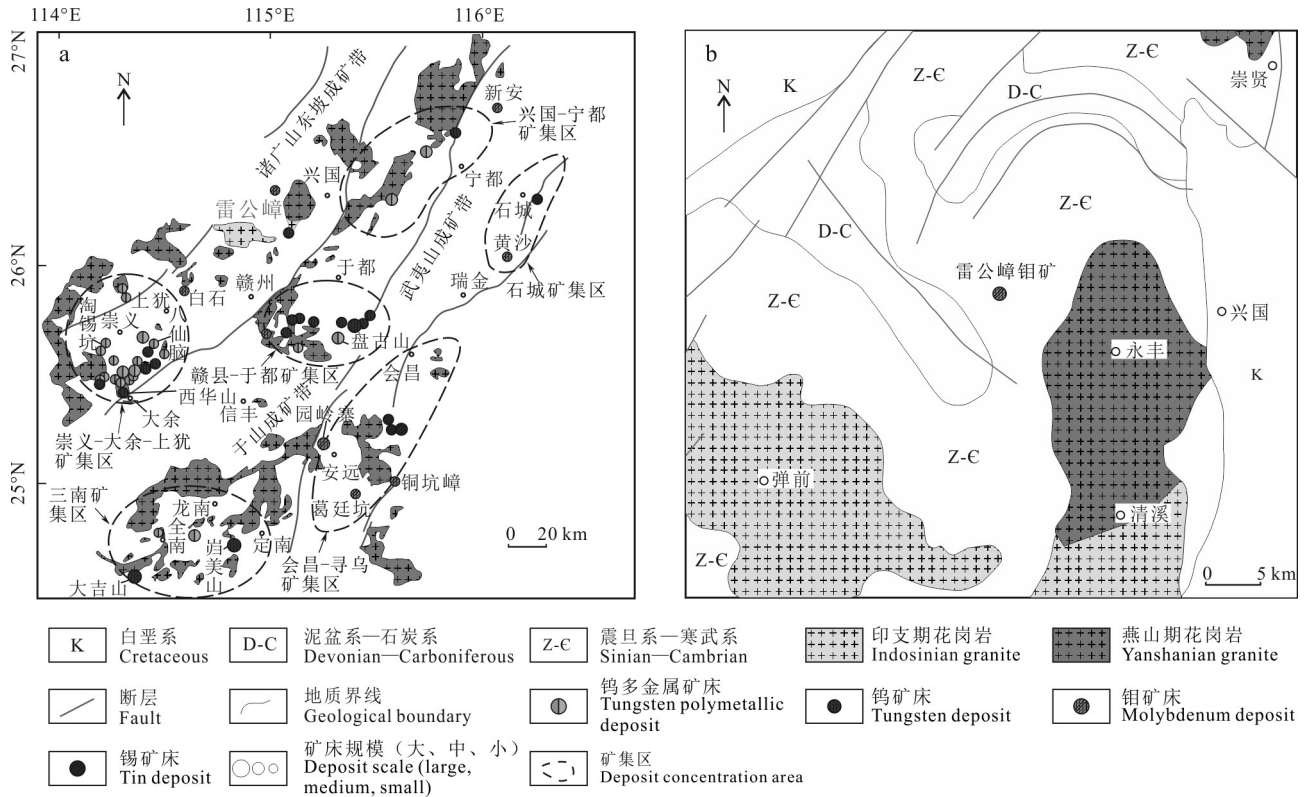


图1 赣南钨多金属矿集区及矿床分布图(a,据丰成友等,2015修改)和雷公樟钼矿床区域地质简图(b,据童日发等,2012修改)

Fig.1 Tungsten polymetallic deposit concentration area (a, modified after Feng et al., 2015) and deposit distribution map in South Jiangxi (b, modified after Tong et al., 2012)

日发等,2012)。永丰复式岩体由永丰岩体和隆市岩体组成,其中隆市岩体侵入到永丰岩体中,两者岩性均为黑云母二长花岗岩,仅矿物粒径和斑晶含量有所差异(杨世文等,2019)。矿区围岩蚀变发育,与钼矿化有关的蚀变主要有钾长石化、黄铁矿化、云英岩化、硅化、绢云母化和绿泥石化(童日发等,2012)。

雷公樟钼矿床以热液充填成矿为主,矿化类型为钾长石-石英细脉型,矿体赋存在震旦系-寒武系浅变质岩裂隙中,已查明4条近平行排列的钼矿体(图2a),矿体特征见表1。矿体整体走向为NWW向,倾向为NNE(图2b),倾角 $65^{\circ}\sim 80^{\circ}$,矿体出露标高在350~450 m之间(童日发等,2012)。已探明钼金属量4574 t,钼平均品位0.12%,伴生硫平均品位1.46%,钼资源远景规模达中型以上(童日发等,2012)。矿石矿物主要为辉钼矿、黄铁矿,次为黄铜矿、辉铋矿、磁黄铁矿、闪锌矿;脉石矿物主要为钾长石、石英、黑云母。辉钼矿产出形式有3种:一是呈片状、团块状、浸染状产于石英脉或钾长石-石英细脉中(图3a、b);二

是呈集合体状充填于裂隙中而成脉状,但厚度小(仅1~3 mm)且延伸短(2~3 m),单条细脉不能构成工业矿体,但常成群成带出现;三是呈浸染状赋存于钾长石-石英细脉旁侧的围岩中(杨瑞栋等,2013)。

2 实验方法及测试结果

2.1 样品采集和测试方法

用于辉钼矿 Re-Os 同位素测试的样品采自雷公樟钼矿床钻孔 ZK705 和 5 号坑口矿石堆,共 5 件样品,均为含辉钼矿矿石。

将所选样品进行破碎,在双目镜下分选辉钼矿单矿物,确保所选辉钼矿单矿物纯度在 98% 以上,将挑选出的辉钼矿单矿物水洗干净,晾干并用玛瑙研钵反复研磨至 200 目,以避免大颗粒辉钼矿中 Re 和 Os 失耦而引起测年误差(Selby et al., 2004)。Re-Os 同位素测试在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室完成,采用美国 TJA 公司生产的电感耦合等

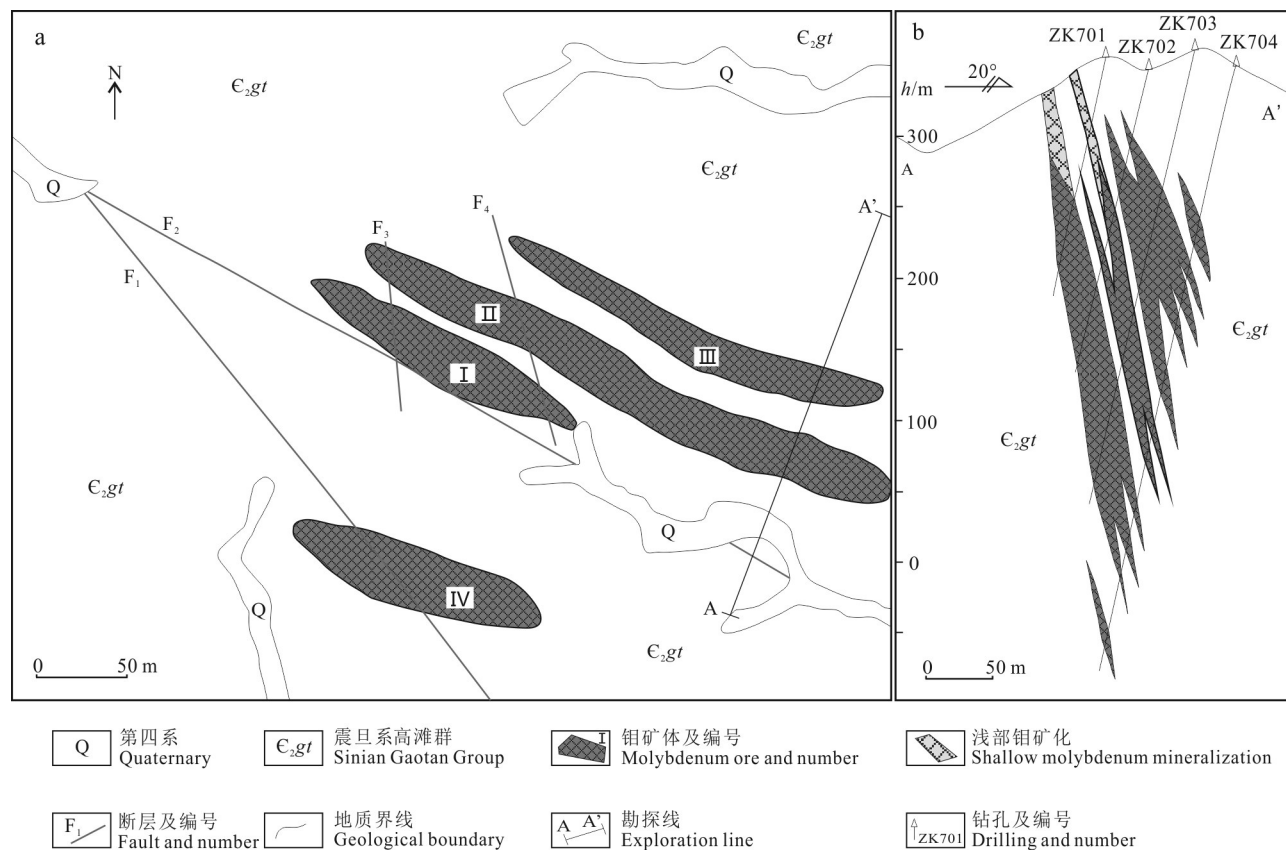


图 2 雷公嶂钼矿床地质简图(a)和雷公嶂钼矿床 A-A' 勘探线剖面图(b, 据童日发等, 2012 修改)

Fig.2 Geological map of the Leigongzhang molybdenum deposit (a) and section of A-A' exploration line of Leigongzhang molybdenum deposit (b, modified after Tong et al., 2012)

表 1 雷公嶂钼矿体特征(据童日发等, 2012)

Table 1 Characteristics of Leigongzhang molybdenum ore body (after Tong et al., 2012)

矿体编号	矿体长度/m	矿体厚度/m	矿体产状	矿体形态
I	320	30~60	走向 288°~295°, NE∠68°~78°	透镜状
II	600~700	40~70	走向 287°~295°, NE∠70°~80	透镜状
III	400~450	30~50	走向 287°~295°, NE∠70°~80°	透镜状
IV	250	20~60	走向 280°~285°, NE∠70°~75°	透镜状

离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS 测定同位素比值, 化学处理过程及测试过程详见参考文献(杜安道等, 1994; 2001; Du et al., 2004)。

2.2 测试结果

雷公嶂钼矿床 5 件矿石样品中辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果见表 2。除样品 LGZ-12 外, 4 件样品的辉钼矿中普通 Os 含量低, 且 ^{187}Re 和 ^{187}Os 含量变化范围小。5 件辉钼矿的 Re-Os 同位素模式年龄趋于一致, 介于 $(155.2 \pm 2.2) \sim (157.0 \pm 2.4)\text{Ma}$, 加权平均年龄为 $(156.3 \pm 1.0)\text{Ma}$ (MSWD=0.38) (图 4a), 5 个数数据点构成一条很好的 ^{187}Re - ^{187}Os 等时线, 其等时线年

龄为 $(156.9 \pm 3.6)\text{Ma}$ (MSWD=0.93) (图 4b), 二者在误差范围内一致, 且普通 Os 含量接近于 0, 表明分析结果可靠, 可以代表雷公嶂钼矿床的成矿年龄。

3 讨论

3.1 成岩成矿时代

兴国-宁都矿集区是赣南一大型钨多金属矿集区, 前人对区内矿床开展了详细的年代学研究, 获得了大量的年代学数据(表 3)。如见龙铜钨矿床辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 $(155.9 \pm 1.2)\text{Ma}$, 成矿岩体锆

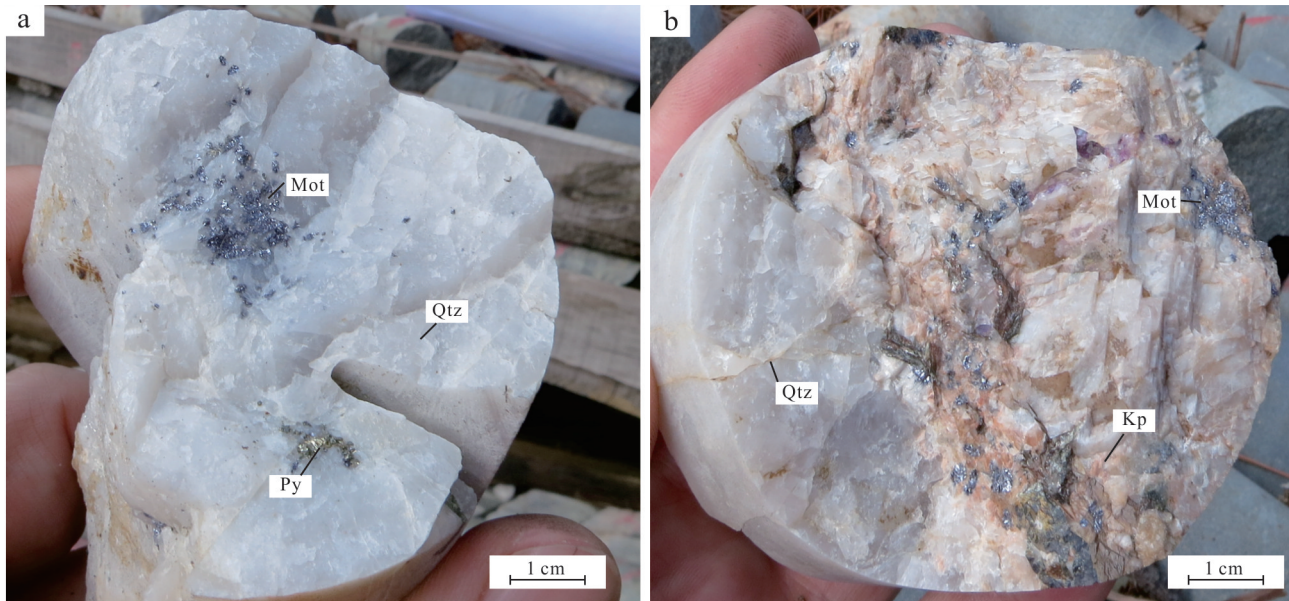


图3 雷公嶂钼矿典型矿石照片

a. 石英-辉钼矿脉; b. 石英-钾长石-辉钼矿脉

Qtz—石英; Kp—钾长石; Mot—辉钼矿; Py—黄铁矿

Fig.3 Typical photos of the Leigongzhang molybdenum deposit

a. Quartz-molybdenite vein; b. Quartz-K-feldspar-molybdenite vein

Qtz—Quartz; Kp—Potassium feldspar; Mo—Molybdenite; Py—Pyrite

表2 雷公嶂钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果

Table 2 Re-Os isotopic data of molybdenites from the Leigongzhang molybdenum deposit

样号	$w(\text{Re}) / (\text{ng/g})$		$w(\text{普Os}) / (\text{ng/g})$		$w(^{187}\text{Re}) / (\text{ng/g})$		$w(^{187}\text{Os}) / (\text{ng/g})$		模式年龄/Ma	
	测量值	不确定度	测量值	不确定度	测量值	不确定度	测量值	不确定度	测量值	不确定度
LGZ-8	6104	52	0.0008	0.0184	3837	33	10.05	0.07	157.0	2.4
LGZ-9	6506	51	0.0400	0.0106	4089	32	10.59	0.07	155.2	2.2
LGZ-10	8585	81	0.0004	0.0154	5396	51	14.11	0.09	156.7	2.4
LGZ-12	13974	163	0.7592	0.0262	8783	103	22.93	0.15	156.5	2.6
LGZ-14	7367	66	0.0633	0.0102	4630	41	12.07	0.09	156.3	2.4

石 U-Pb 年龄为 $(154.2 \pm 1.7)\text{Ma}$ (杨斌等, 2021); 画眉坳钼矿床辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 $(158.5 \pm 3.3)\text{Ma}$, 成矿岩体锆石 U-Pb 年龄为 $(159.9 \pm 1.2)\text{Ma}$ (Feng et al., 2015); 岩前钼矿床辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 $(159.2 \pm 2.3)\text{Ma}$, 成矿岩体锆石 U-Pb 年龄为 $(160.6 \pm 0.7)\text{Ma}$ (赵正等, 2013); 张家地钼矿床辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 $(157.9 \pm 1.6)\text{Ma}$, 成矿岩体锆石 U-Pb 年龄为 $(158.4 \pm 3.1)\text{Ma}$ 和 $(161.9 \pm 3.2)\text{Ma}$ (丰成友等, 2015)。综上所述, 区内钼多金属矿床成岩时间为 161~154 Ma, 成矿时间为 160~155 Ma, 两者在误差范围基本一致。

本文获得雷公嶂钼矿床 Re-Os 等时线年龄为 $(156.9 \pm 3.6)\text{Ma}$, 与前人报道的永丰复式岩体的年龄

$(154 \sim 157\text{Ma})$ 在误差范围内基本一致 (杨世文等, 2019)。结合区域内多个矿床年代学数据, 可以推断雷公嶂钼矿床乃至兴国-宁都矿集区钼多金属成岩成矿作用集中发生于燕山早期中晚侏罗世 (165~150 Ma), 成岩和成矿存在显著的时空和成因联系。

3.2 成岩成矿时差

前人在南岭地区中生代成岩与成矿时差问题上存在争议。华仁民 (2005a) 认为南岭地区燕山中期第一阶段 (170~150 Ma) 花岗岩大多在第二阶段 (150~139 Ma) 或更晚成矿, 成岩与成矿作用存在明显的时间差。谭俊等 (2007) 则认为成岩与成矿时间相差不大。本文基于最新报道的年代学数据, 补充更新华仁民 (2005a) 中使用的年代学数据。西华

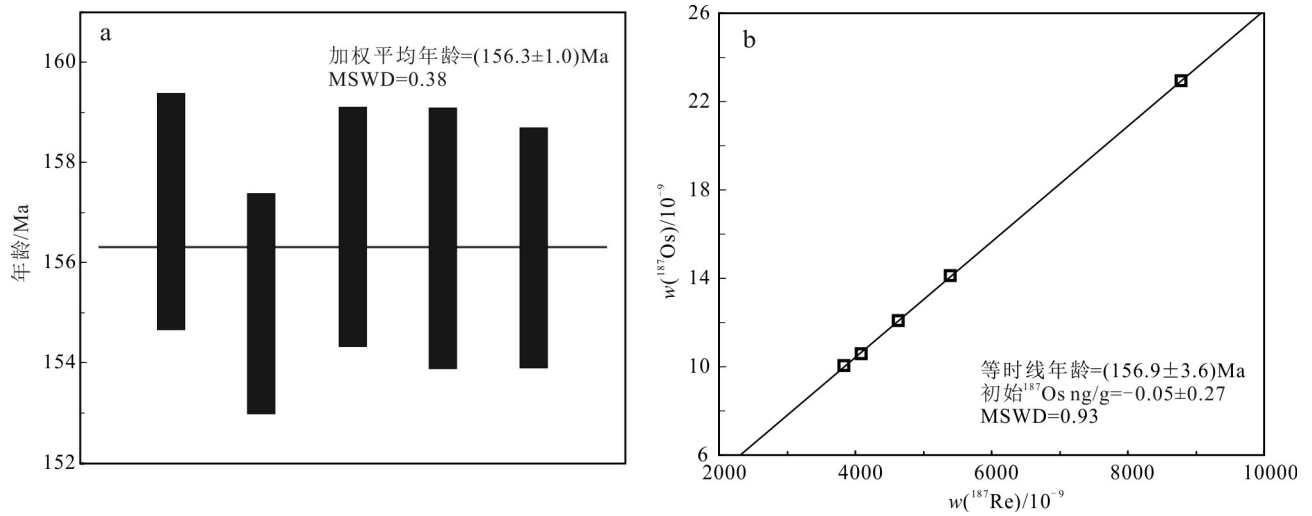


图 4 雷公嶂钼矿辉钼矿 Re-Os 加权平均模式年龄(a)及等时线年龄(b)

Fig.4 Leigongzhang molybdenum deposit molybdenite Re-Os weighted average model age (a) and isochron age (b)

山钨矿床成矿岩体锆石 U-Pb 年龄为 (155.7±2.2) Ma, 辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 (157.0±2.5) Ma (Wang et al., 2011); 大吉山钨矿床成矿岩体的云母 K-Ar 年龄为 (160.3±3.0) Ma (蒋国豪等, 2004), 辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 (161.0±1.3) Ma (张思明等, 2011); 芙蓉锡矿白腊水矿区成矿岩体(骑田岭岩体) 年龄为 (151~162 Ma) (毛景文等, 2004), 矿石中金云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 (150~158 Ma) (彭建堂等, 2007); 烂头山锡矿床成矿岩体(姑婆山岩体) 锆石 U-Pb 年龄为 (161~167 Ma) (华仁民, 2005 a), 含钨石英脉中的白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 (162.0±1.9) Ma (康志强等, 2012)。综上所述, 南岭地区中生代成岩与成矿作用在误差范围内基本一致, 两者相差一般不会超过 10 Ma。本次获得的雷公嶂钼矿床成矿年龄为 (156.9±3.6) Ma, 在误差范围内与成矿岩体(永丰复式岩体) 年龄 (154~157 Ma) 一致, 也支持了后一种观点。

3.3 成矿物质来源

Re-Os 同位素体系不仅可以确定成矿年龄, 还被用来示踪成矿物质来源。Mao 等 (1999) 提出辉钼矿中 $w(\text{Re})$ 从壳源 ($n \times 10^{-6}$)、壳幔混源 ($n \times 10^{-5}$) 到幔源 ($n \times 10^{-4}$) 依次递增。本文所测得的雷公嶂钼矿床 5 件矿石样品中辉钼矿 $w(\text{Re})$ 为 $6.104 \times 10^{-6} \sim 13.974 \times 10^{-6}$, 平均为 8.507×10^{-6} , 指示成矿物质为地壳来源。地幔物质部分熔融形成的岩石具有高 MgO 含量和 $\text{Mg}^\#$ 的特征 (Defant et al., 1990), 而成矿岩体(永丰复式岩体) 的 $w(\text{MgO})$ 和 $\text{Mg}^\#$ 均较低 (杨世文等, 2019), 矿区内也未发现有基性或超基

性岩脉侵入, 进一步说明没有地幔物质加入。另外, 成矿岩体(永丰复式岩体) 的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为 -28.76~ -9.78, 对应的两阶段模式年龄 $T_{\text{DM}2}$ 为 1832~2929 Ma (杨世文等, 2019), 指示其为古老地壳物质部分熔融的产物。综上所述, 矿床成矿物质为地壳来源, 没有地幔物质混入。此外, 从统计的赣南部分

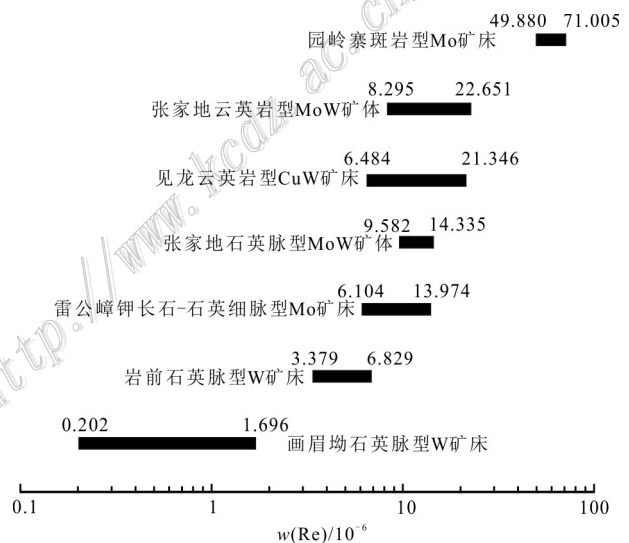


图 5 赣南钨多金属矿床中辉钼矿 $w(\text{Re})$ (数据引自黄凡等, 2012; 赵正等, 2013; 丰成友等, 2015; Feng et al., 2015; 杨斌等, 2021)

Fig.5 $w(\text{Re})$ content of Molybdenite in tungsten polymetallic deposits in southern Jiangxi (data are quoted from Huang et al., 2012; Zhao et al., 2013; Feng et al., 2015; Feng et al., 2015; Yang et al., 2021)

钨多金属矿床辉钨矿中 $w(\text{Re})$ (图5)可以看出,成因类型不同的矿床,其辉钨矿中 Re 含量存在差异,整体上按照石英脉型、云英岩型、斑岩型的顺序依

次增加,指示成矿物质由壳源逐渐过渡为幔源。即使是成因类型相同的矿床,其辉钨矿中的 $w(\text{Re})$ 也有所不同,如画眉坳钨矿床与岩前钨矿床,指示

表3 赣南主要钨多金属矿床成岩成矿年代学数据

Table 3 Diagenesis and mineralization time of main tungsten polymetallic deposits in southern Jiangxi

矿床名称	主矿种	测试方法	成矿年龄/Ma	误差	资料来源	相关岩体	测试方法	成岩年龄/Ma	误差	资料来源
雷公嶂	Mo	辉钨矿 Re-Os	156.9	3.6	本文	永丰岩体 隆市岩体	SHRIMP 锆石 U-Pb	155.8 156.9	2 1.8	杨世文等, 2019
园岭寨	Mo	辉钨矿 Re-Os	162.7	1.1	黄凡等, 2012	园岭寨岩体	LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb	165.49	0.59	黄凡等, 2012
洋西坑	Mo	辉钨矿 Re-Os	156.09	0.77	赵磊等, 2013					
摇篮寨	W、Mo	辉钨矿 Re-Os	155.8	2.8	丰成友等, 2007a	张天堂岩体	SHRIMP 锆石 U-Pb	156.9	1.7	丰成友等, 2007a
木梓园	W、Mo	辉钨矿 Re-Os	151.1	8.5	张文兰等, 2009	木梓园岩体	单颗粒 锆石 U-Pb	153.3	1.9	张文兰等, 2009
淘锡坑	W、Mo	辉钨矿 Re-Os	154.4	3.8	陈郑辉等, 2006	淘锡坑岩体	SHRIMP 锆石 U-Pb	157.6	3.5	郭春丽等, 2007
庵前滩	W、Mo	辉钨矿 Re-Os	154.4	1.6	刘善宝等, 2010					
梅树坪	W、Mo	辉钨矿 Re-Os	156.2	0.93	王浩洋等, 2017	梅树坪岩体	LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb	157.2	1.7	王浩洋等, 2017
大吉山	W、Mo	辉钨矿 Re-Os	161	1.3	张思明等, 2011	大吉山岩体	云母 Ar-Ar	160.3	3.0	蒋国豪等, 2004
画眉坳	W、Mo	辉钨矿 Re-Os	158.5	3.3	Feng et al., 2015	画眉坳岩体	LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb	159.9	1.2	Feng et al., 2015
西华山	W、Mo	辉钨矿 Re-Os	157	2.5	Wang et al., 2011	西华山岩体	LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb	155.7	2.2	Wang et al., 2011
樟东坑	W、Mo	辉钨矿 Re-Os	151.3	1.7	李光来等, 2014	九龙脑岩体	LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb	151	2.2	王少轶等, 2017
宝山	W、Mo	辉钨矿 Re-Os	161	1.9	丰成友等, 2012	宝山岩体	LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb	166.6	0.3	Wen et al., 2018
茅坪	W、Mo	辉钨矿 Re-Os	156.8	3.9	曾载淋等, 2009	茅坪岩体	SHRIMP 锆石 U-Pb	151.8	2.9	Feng et al., 2011
牛岭	W、Mo	辉钨矿 Re-Os	154.6	9.7	丰成友等, 2007b	红桃岭岩体	SHRIMP 锆石 U-Pb	151.4	3.1	丰成友等, 2007b
洪水寨	W、Mo	辉钨矿 Re-Os	156.3	1.3	丰成友等, 2011a	九龙脑岩体	SHRIMP 锆石 U-Pb	155.8	1.2	丰成友等, 2011a
九龙脑	W、Mo	辉钨矿 Re-Os	151.5	1.1	丰成友等, 2011b	九龙脑岩体	SHRIMP 锆石 U-Pb	155.8	1.2	丰成友等, 2011a
张家地王 泥排矿段	W、Mo	辉钨矿 Re-Os	158.4	3.1	丰成友等, 2015	张家地岩体	SHRIMP 锆石 U-Pb	154.1	1.8	丰成友等, 2015
张家地刘 家庄矿段		辉钨矿 Re-Os	161.9	3.2						
盘古山	W、Bi	辉钨矿 Re-Os	155.3	2.8	方贵聪等, 2014	盘古山隐伏 岩体	LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb	161.7	1.6	方贵聪等, 2014
漂塘	W、Sn、 Mo	白云母 Ar-Ar	152	1.9	张文兰等, 2009	漂塘岩体	单颗粒 锆石 U-Pb	161.8	1	张文兰等, 2009

成矿物质来源存在一定的差异。

3.4 地球动力学背景

对华南燕山期大规模岩浆-成矿作用的动力学机制,前人已进行广泛探索,目前普遍认为华南燕山期成岩成矿作用形成于伸展环境(华仁民等,2005b;毛景文等,2007;Mao et al., 2013)。Mao等(2013)认为Izanagi 板块在180 Ma左右向欧亚大陆俯冲,在170~160 Ma期间俯冲板片局部多处撕裂而形成I型、同熔型岩石及斑岩型铜矿和脉状铅锌银矿。随后于160~150 Ma期间在南岭地区俯冲板片打开天窗,软流圈物质直接涌入上地壳,形成了壳幔混源型高分异S型花岗岩及石英脉型或矽卡岩型钨多金属矿床。晚白垩世(135 Ma)古太平洋板块由向大陆边缘斜向俯冲转变为水平运动,形成左行走滑断层和拉分盆地,在华南地区陆内形成拉张环境,导致岩石圈减薄,诱发大规模岩浆活动及与之有关的锡钨多金属成矿。从统计的赣南地区主要钨多金属矿床的成岩成矿年代学数据(表3)可以看出,雷公嶂乃至赣南地区钨多金属成岩成矿作用主要发生于燕山早期中晚侏罗世(165~150 Ma),形成于华南中生代岩石圈大规模伸展-减薄的地球动力学背景。

4 结 论

(1) 雷公嶂钨矿床辉钨矿 Re-Os 同位素加权平均模式年龄为(156.3±1.0)Ma,等时线年龄为(156.9±3.6)Ma,成岩成矿作用近乎同时发生。属于南岭地区燕山早期中晚侏罗世(165~150 Ma)成矿大爆发的一部分,形成于华南中生代岩石圈大规模伸展-减薄的地球动力学背景。

(2) 雷公嶂钨矿床辉钨矿中平均 $w(\text{Re})$ 为 8.507×10^{-6} ,结合成矿岩体主量元素及 Hf 同位素特征,表明成矿物质来自地壳,没有地幔物质加入。

致 谢 匿名审稿专家和编辑部老师对本文提出了许多中肯、有益的修改意见,在此表示由衷的感谢!

References

Chen Z H, Wang D H, Qu W J, Chen Y C, Wang P A, Xu J X, Zhang J J and Xu M L. 2006. Geological characteristics and mineraliza-

tion age of the Taoxikeng tungsten deposit in Chongyi County, southern Jiangxi Province, China[J]. Geological Bulletin of China, 25(4): 496-501(in Chinese with English abstract).

Defant M J, Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere[J]. Nature, 347(6294): 662-665.

Du A D, He H L, Yin N W, Zhao X Q, Sun Y L, Sun D Z, Chen S Z and Qu W J. 1994. A study on the Re-Os geochronometry of molybdenites[J]. Acta Geologica Sinica, 68(4): 339-347(in Chinese with English abstract).

Du A D, Zhao D M, Wang S X, Sun D Z and Liu D Y. 2001. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with tube sample preparation[J]. Rock and Mineral Analysis, 20(4): 247-252(in Chinese with English abstract).

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

Fang G C, Chen Y C, Chen Z H, Zeng Z L, Zhang Y Z, Tong Q Q, Sun J, Huang H X and Guo N X. 2014. Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os geochronology of the Pan' gushan tungsten deposit in southern Jiangxi Province and its significance[J]. Acta Geoscientifica Sinica, 35(1): 76-84(in Chinese with English abstract).

Feng C Y, Feng Y D, Xu J X, Zeng Z L, She H Q, Zhang D Q, Qu W J and Du A D. 2007a. Isotope chronological evidence for upper Jurassic petrogenesis and mineralization of altered granite-type tungsten deposits in the Zhangtiantang area, Southern Jiangxi[J]. Geology in China, 34(4): 642-650(in Chinese with English abstract).

Feng C Y, Xu J X, Zeng Z L, Zhang D Q, Qu W S, She H Q, Li J W, Li D X, Du A D and Dong Y J. 2007b. Zircon SHRIMP U-Pb and molybdenite Re-Os dating in Tianmenshan-Hongtaoling tungsten-tin ore field, Southern Jiangxi Province, China and its geological implication[J]. Acta Geologica Sinica, 81(7): 952-963(in Chinese with English abstract).

Feng C Y, Huang F, Zeng Z L, Qu W J and Ding M. 2011a. Isotopic chronology of Jiulongnao granite and Hongshuizhai greisens-type tungsten deposit in southern Jiangxi Province[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 41(1): 111-121(in Chinese with English abstract).

Feng C Y, Huang F, Qu W J, Zeng Z L and Ding M. 2011b. Molybdenite Re-Os isotopic dating on different types of tungsten deposits in Southeast of Jiulongnao ore field and its geological significance[J]. China Tungsten Industry, 26(4): 6-11(in Chinese with English abstract).

Feng C Y, Zeng Z, Zhang D Q, Qu W J, Du A D, Li D X and She H Q. 2011. SHRIMP Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os isotopic dating of the tungsten deposits in the Tianmenshan-Hongtaoling W-Sn ore field, southern Jiangxi Province, China, and geological implications[J]. Ore Geology Reviews, 43(1): 8-25.

Feng C Y, Zeng Z L, Wang S, Liang J S and Ding M. 2012. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating of the skarn type tung-

- sten deposits in southwestern Jiangxi Province, China and geological implication: Exemplified by the Jiaoli and Baoshan tungsten polymetallic deposits[J]. *Geotectonica et Metallogenica*, 36(3): 337-349(in Chinese with English abstract).
- Feng C Y, Zhao Z, Qu W J and Zeng Z L. 2015. Temporal consistency between granite evolution and tungsten mineralization in Huamei'ao, southern Jiangxi Province, China: Evidence from precise zircon U-Pb, molybdenite Re-Os, and muscovite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope geochronology[J]. *Ore Geology Reviews*, 65: 1005-1020.
- Feng C Y, Zeng Z L, Qu W J, Liu J S and Li H P. 2015. A geochronological study of granite and related mineralization of the Zhangjiadi molybdenite-tungsten deposit in Xingguo county, southern Jiangxi Province, China, and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(3): 709-724(in Chinese with English abstract).
- Guo C L, Wang D H, Chen Y C, Wang Y B, Chen Z H and Liu S B. 2007. Precise zircon SHRIMP U-Pb and quartz vein Rb-Sr dating of Mesozoic Taoxikeng tungsten polymetallic deposit in southern Jiangxi[J]. *Mineral Deposits*, 26(4): 432-442(in Chinese with English abstract).
- Guo N X, Zhao Z, Chen Z Y, Chen Y C, Hou K J and Wang S Y. 2014. Chronology, geochemistry and geological significance of E' po granite intrusion, southern Jiangxi[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 33(4): 589-597(in Chinese with English abstract).
- Hua R M. 2005a. Differences between rock-forming and related ore-forming times for the Mesozoic granitoids of crust remelting types in the Nanling range, South China, and its geological significance[J]. *Geological Review*, 51(6): 633-639. (in Chinese with English abstract).
- Hua R M, Chen P R, Zhang W L, Yao J M, Lin J F, Zhang Z S and Gu S Y. 2005b. Metallogenesis and their geodynamic settings related to Mesozoic granitoids in the Nanling range[J]. *Geological Journal of China Universities*, 11(3): 291-304. (in Chinese with English abstract).
- Huang F, Wang D H, Zeng Z L, Zhang Y Z, Zeng Y and Wen Z L. 2012. Petro-geochemical characteristics, isotope chronology study on Yuanlingzhai porphyry Mo deposit in southern Jiangxi Province and its geological significance[J]. *Geotectonica et Metallogenica*, 36(3): 363-376(in Chinese with English abstract).
- Jiang G H, Hu R Z, Xie G Q, Zhao J H and Tang Q L. 2004. K-Ar ages of pluton and mineralization at the Dajishan tungsten deposit, Jiangxi Province, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 24(3): 253-256(in Chinese with English abstract).
- Kang Z Q, Feng Z H, Li X F, Liao J F, Yu Y and Pan H B. 2010. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of muscovite in the Shuiyanba tungsten-tin ore field in Northeast Guangxi and its geological significance[J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 21(6): 610-615(in Chinese with English abstract).
- Li G L, Hua R M, Wei X L, Qu W J, Huang X E, Hu D Q and Zhou L Q. 2014. Re-Os isotopic age of two types of molybdenite from Zhangdongkeng tungsten deposit in southern Jiangxi Province and their geological implications[J]. *Earth Science*, 39(2): 165-173 (in Chinese with English abstract).
- Liu H B, Jin G S, Li J J, Han J, Zhang J F, Zhang J and Ding Y J. 2014. The simple grained zircon U-Pb dating and its geological significance of Taoshan compound granite massif[J]. *World Nuclear Geoscience*, 31(2): 109-114(in Chinese with English abstract).
- Liu S B, Chen Y C, Fan S X, Xu J X, Qu W J and Ying L J. 2010. The second ore-prospecting space in the eastern and central parts of the Nanling metallogenic belt: Evidence from isotopic chronology[J]. *Geology in China*, 37(4): 1034-1049(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H and Du A D. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W(Mo) deposit in the northern Qinlian Mountains and its geological significance[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(11/12): 1815-1818.
- Mao J W, Li X F, Lehmann B, Chen W, Lan X M and Wei S L. 2004. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of tin ore and related granite in Furong tin ore field, Hunan Province, and its geodynamic significance[J]. *Mineral Deposits*, 23(2): 164-175(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Guo C L and Chen Y C. 2007. Large-scale tungsten-tin mineralization in the Nanling region, South China: Metallogenic ages and corresponding geodynamic processes[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(10): 2329-2338(in Chinese with English abstract).
- Peng J T, Hu R Z, Bi X W, Dai T M, Li Z L, Li X M, Shuang Y, Yuan S D and Liu S R. 2007. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic dating of tin mineralization in Furong deposit of Hunan Province and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 26(3): 237-248(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Cheng Y B, Chen M H and Pirajno F. 2013. Major types and time-space distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their geodynamic settings[J]. *Mineralium Deposita*, 48(3): 267-294.
- Selby D and Creaser R A. 2004. Macroscale NTIMS and microscale LA-MC-ICP-MS Re-Os isotopic analysis of molybdenite: Testing spatial restrictions for reliable Re-Os age determinations, and implications for the decoupling of Re-Os within molybdenite[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68(19): 3897-3908.
- Shu L S, Yu J H, Jia D, Wang B, Shen W Z and Zhang Y Q. 2008. Early Paleozoic orogenic belt in the eastern segment of South China[J]. *Geological Bulletin of China*, 27(10): 1581-1593(in Chinese with English abstract).
- Shu X J, Chen Z H, Zhu Y H, Liao S B, Zhou B W, Li G Z, Zhao X C, Liu S and Chen L C. 2018. Genesis of Donggu highly fractionated granites, Xingguo, southern Jiangxi, and its geological significance[J]. *Geological Review*, 64(1): 108-126(in Chinese with English abstract).
- Tan J, Wei J J, Li Y J, Li Y H and Yan Y F. 2007. Some reviews on diagenesis and metallogeny of the Mesozoic crustal remelting granitoids in the Nanling region[J]. *Geological Review*, 53(3): 349-362 (in Chinese with English abstract).

- Tian Z J, Chen Z Y, Wang D H, Chen Z H, Huang F, Zhao Z and Hou K J. 2014. Zircon U-Pb geochronology and uranium-production capacity of the Taoshan complex in southern Jiangxi[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 33(1): 133-141(in Chinese with English abstract).
- Tong R F and Yang R D. 2012. Molybdenum mineralization characteristics of Leigongzhang molybdenum deposit and prospecting targets, Jiangxi[J]. *Mineral Exploration*, 3(6): 755-760(in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Chen Y C, Chen Z H, Liu S B, Xu J X, Zhang J J, Zeng Z L, Chen F W, Li H Q and Guo K L. 2007. Assessment on mineral resource in Nanling region and suggestion for further prospecting[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(7): 882-890(in Chinese with English abstract).
- Wang F Y, Li C Y, Ling M X, Zhang H, Sun Y L and Sun W. 2011. Geochronology of the Xihuashan tungsten deposit in southeastern China: Constraints from Re-Os and U-Pb dating[J]. *Resource Geology*, 61(4): 414-423.
- Wang H Y, Zhao Z, Chen W, Zhou H, Chen Z Y, Hou K J and Li C. 2017. Geological characteristics, rock forming and ore-forming age and prospecting of Meishuping tungsten-molybdenum deposit in Jiangxi[J]. *Earth Science Frontiers*, 24(5): 109-119(in Chinese with English abstract).
- Wang S Y, Zhao Z, Fang G C, Ouyang X, Chen Z Y and Hou K J. 2017. Mineralogical and geochronological characteristics of the Zhang (Dongkeng) Jiu (Longnao) tungsten polymetallic deposit, southern Jiangxi Province, and its geological implications[J]. *Earth Science Frontiers*, 24(5): 120-130(in Chinese with English abstract).
- Wang W P, Chen Y C, Wang D H and Chen Z Y. 2014. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and petro-geochemistry of the Liangcun granites and their petrogenesis, South Jiangxi[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(2): 347-358(in Chinese with English abstract).
- Wen W Z and Zhou M F. 2018. Mineralogical and metasomatic evolution of the Jurassic Baoshan scheelite skarn deposit, Nanling, South China[J]. *Ore Geology Reviews*, 95: 182-194.
- Yang B, Zhao L, Chen Z L, Mo H H, Lu J and Tan Y. 2021. U-Pb and Re-Os dating of the Jianlong Cu-W deposit in Xingguo county of Southern Jiangxi Province: Constraint on its petrogenetic and metallogenetic age[J]. *Geology in China*, 48(2): 495-506(in Chinese with English abstract).
- Yang R D, Tong R F, Shao W J and Zeng Y. 2013. Potential for exploring large-sized and high grade deposits in Xingguo vortex structure area, southern Jiangxi[J]. *Mineral Exploration*, 4(2): 121-130 (in Chinese with English abstract).
- Yang S W, Lou F S, Zhang F G, Wu Z C and Feng C Y. 2019. The Late Jurassic aluminum A-type granite belt in southern Jiangxi and its geological significance[J]. *Geological Science and Technology Information*, 38(3): 12-29(in Chinese with English abstract).
- Yu Y, Chen Z Y, Chen Z H, Hou K J, Zhao Z, Xu J X, Zhang J J and Zeng Z L. 2012. Zircon U-Pb dating and mineralization prospective of the Triassic Qingxi pluton in southern Jiangxi Province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(3): 413-421. (in Chinese with English abstract).
- Zeng Z L, Zhang Y Z, Zhu X P, Chen Z H, Wang C H and Qu W J. 2009. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Maoping tungsten-tin deposit in Chongyi country of southern Jiangxi Province and its geological significance[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 209-214(in Chinese with English abstract).
- Zhang S M, Chen Z H, Shi G H, Li L X, Qu W J and Li C. 2011. Re-Os isotopic dating of molybdenite from Dajishan tungsten deposit in Jiangxi province[J]. *Mineral Deposits*, 30(6): 1113-1121(in Chinese with English abstract).
- Zhang W L, Hua R M, Wang R C, Li H M, Qu W J and Ji J Q. 2009. New dating of the Piaotang granite and related tungsten mineralization in southern Jiangxi[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(5): 659-669(in Chinese with English abstract).
- Zhao L, Qi F Y and Li J D. 2013. Geological characteristics and Re-Os isotopic dating of Yangxikeng molybdenum deposit in Ganxian of Jiangxi[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 35(4): 77-82(in Chinese with English abstract).
- Zhao Z, Chen Y C, Zeng Z L, Chen Z H, Wang D H, Zhao B and Zhang J J. 2013. Geological characteristics and petrogenetic and metallogenic age of the Yanqian tungsten deposit in eastern Nanling region[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 43(6): 2828 -1839(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈郑辉, 王登红, 屈文俊, 陈毓川, 王平安, 许建祥, 张家菁, 许敏林. 2006. 赣南崇义地区淘锡坑钨矿的地质特征与成矿时代[J]. *地质通报*, 25(4): 496-501.
- 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. 辉钨矿的铷-锶同位素地质年龄测定方法研究[J]. *地质学报*, 68(4): 339-347.
- 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 孙德忠, 刘敦一. 2001. Carius管溶样-负离子热表面电离质谱准确测定辉钨矿铷-锶同位素地质年龄[J]. *岩矿测试*, 20(4): 247-252.
- 方贵聪, 陈毓川, 陈郑辉, 曾载淋, 张永忠, 童启荃, 孙杰, 黄鸿新, 郭娜欣. 2014. 赣南盘古山钨矿床铅石 U-Pb 和辉钨矿 Re-Os 年龄及其意义[J]. *地球学报*, 35(1): 76-84.
- 丰成友, 丰耀东, 许建祥, 曾载淋, 余宏全, 张德全, 屈文俊, 杜安道. 2007a. 赣南张天堂地区岩体型钨矿晚侏罗世成岩成矿的同位素年代学证据[J]. *中国地质*, 34(4): 642-650.
- 丰成友, 许建祥, 曾载淋, 张德全, 屈文俊, 余宏全, 李进文, 李大新, 杜安道, 董英君. 2007b. 赣南天门山-红桃岭钨锡矿田成岩成矿时代精细测定及其地质意义[J]. *地质学报*, 81(7): 952-963.
- 丰成友, 黄凡, 曾载淋, 屈文俊, 丁明. 2011a. 赣南九龙脑岩体及洪水寨云英岩型钨矿年代学[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 41(1): 111-121.
- 丰成友, 黄凡, 屈文俊, 曾载淋, 丁明. 2011b. 赣南九龙脑矿田东南部

- 不同类型钨矿的辉钨矿 Re-Os 年龄及地质意义[J]. 中国钨业, 26(4): 6-11.
- 丰成友, 曾载淋, 王松, 梁景时, 丁明. 2012. 赣南矽卡岩型钨矿成岩成矿年代学及地质意义-以焦里和宝山矿床为例[J]. 大地构造与成矿学, 36(3): 337-349.
- 丰成友, 曾载淋, 屈文俊, 刘俊生, 李海潘. 2015. 赣南兴国县张家地钨矿床成岩成矿时代及地质意义[J]. 岩石学报, 31(3): 709-724.
- 郭春丽, 王登红, 陈毓川, 王彦斌, 陈郑辉, 刘善宝. 2007. 赣南中生代淘锡坑钨矿区花岗岩锆石 SHRIMP 年龄及石英脉 Rb-Sr 年龄测定[J]. 矿床地质, 26(4): 432-442.
- 郭娜欣, 赵正, 陈振宇, 陈毓川, 侯可军, 王少秩. 2014. 赣南鹅婆岩体的年代学和岩石地球化学特征及其地质意义[J]. 岩矿测试, 33(4): 589-597.
- 华仁民. 2005a. 南岭中生代陆壳重熔型花岗岩类成岩-成矿的时间差及其地质意义[J]. 地质论评, 51(6): 633-639.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 姚志明, 林锦富, 张展适, 顾晟彦. 2005b. 南岭与中生代花岗岩类有关的成矿作用及其大地构造背景[J]. 高校地质学报, 11(3): 291-304.
- 黄凡, 王登红, 曾载淋, 张永忠, 曾跃, 温珍连. 2012. 赣南园岭寨大型钨矿岩石地球化学、成岩成矿年代学及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 36(3): 363-376.
- 蒋国豪, 胡瑞忠, 谢桂青, 赵红军, 唐群力. 2004. 江西大吉山钨矿成矿年代学研究[J]. 矿物学报, 24(3): 253-256.
- 康志强, 冯佐海, 李晓峰, 廖家飞, 余勇, 潘会彬. 2012. 桂东北水岩坝钨锡矿田白云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年代学研究及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 31(6): 606-611.
- 李光来, 华仁民, 韦星林, 屈文俊, 黄小娥, 胡东泉, 周龙全. 2014. 赣南樟东坑钨矿两类矿化中辉钨矿的 Re-Os 同位素定年及其地质意义[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 39(2): 165-173.
- 刘善宝, 陈毓川, 范世祥, 许建祥, 屈文俊, 应立娟. 2010. 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[J]. 中国地质, 37(4): 1034-1049.
- 刘汉彬, 金贵善, 李军杰, 韩娟, 张建锋, 张佳, 丁迎军. 2014. 桃山复式花岗岩体单颗粒锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 世界核地质科学, 31(2): 109-114.
- 毛景文, 李晓峰, Bernd L, 陈文, 蓝晓明, 魏绍六. 2004. 湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地球动力学意义[J]. 矿床地质, 23(2): 164-175.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 陈毓川. 2007. 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, 23(10): 2329-2338.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 毕献武, 戴樟潼, 李兆丽, 李晓敏, 双燕, 袁顺达, 刘世荣. 2007. 湖南芙蓉锡矿床 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 26(3): 237-248.
- 舒良树, 于津海, 贾东, 王博, 沈渭洲, 张岳桥. 2008. 华南东段早古生代造山带研究[J]. 地质通报, 27(10): 1581-1593.
- 舒徐洁, 陈志洪, 朱延辉, 廖圣兵, 周博文, 李功振, 赵旭辰, 刘爽, 陈雷超. 2018. 赣南兴国东固高分异花岗岩成因及地质意义[J]. 地质论评, 64(1): 108-126.
- 谭俊, 魏俊浩, 李艳军, 李闫华, 鄢云飞. 2007. 南岭中生代陆壳重熔型花岗岩类成岩成矿的有关问题[J]. 地质论评, 53(3): 349-362.
- 田泽瑾, 陈振宇, 王登红, 陈郑辉, 黄凡, 赵正, 侯可军. 2014. 赣南桃山复式岩体的锆石 U-Pb 年代学及其产铀性探讨[J]. 岩矿测试, 33(1): 133-141.
- 童日发, 杨瑞栋. 2012. 江西雷公嶂矿区钨矿化特征及找矿方向[J]. 矿产勘查, 3(6): 755-760.
- 王登红, 陈毓川, 陈郑辉, 刘善宝, 许建祥, 张家菁, 曾载淋, 陈富文, 李华芹, 郭春丽. 2007. 南岭地区矿产资源形势分析和找矿方向研究[J]. 地质学报, 81(7): 882-890.
- 王浩洋, 赵正, 陈伟, 周辉, 陈振宇, 侯可军, 李超. 2017. 江西梅树坪钨矿床地质、成岩成矿时代与找矿方向[J]. 地学前缘, 24(5): 109-119.
- 王少秩, 赵正, 方贵聪, 欧阳翔, 陈振宇, 侯可军. 2017. 赣南樟(东坑)-九(龙脑)钨多金属矿床矿物学、年代学特征及其地质意义[J]. 地学前缘, 24(5): 120-130.
- 王崴平, 陈毓川, 王登红, 陈振宇. 2014. 赣南兴国县良村花岗岩锆石 LA-ICP-MSU-Pb 年代学、岩石地球化学与成岩机制研究[J]. 大地构造与成矿学, 38(2): 347-358.
- 杨斌, 赵磊, 陈正乐, 莫火华, 鲁捷, 谭友. 2021. 赣南兴国县见龙铜钨矿床 U-Pb 和 Re-Os 同位素定年: 对成岩成矿时代的限定[J]. 中国地质, 48(2): 495-506.
- 杨瑞栋, 童日发, 邵伟江, 曾跃. 2013. 赣南兴国旋卷构造区寻找富大矿床的思考[J]. 矿产勘查, 4(2): 121-130.
- 杨世文, 楼法生, 张芳荣, 吴正昌, 丰成友. 2019. 赣南晚侏罗世铝质 A 型花岗岩带及其意义[J]. 地质科技情报, 38(3): 12-29.
- 于扬, 陈振宇, 陈郑辉, 侯可军, 赵正, 许建祥, 张家菁, 曾载淋. 2012. 赣南印支期清溪岩体的锆石 U-Pb 年代学研究及其含矿性评价[J]. 大地构造与成矿学, 36(3): 413-421.
- 曾载淋, 张永忠, 朱祥培, 陈郑辉, 王成辉, 屈文俊. 2009. 赣南崇义地区茅坪钨锡矿床铷-锶同位素定年及其地质意义[J]. 岩矿测试, 28(3): 209-214.
- 张思明, 陈郑辉, 施光海, 李丽侠, 屈文俊, 李超. 2011. 江西省大吉山钨矿床辉钨矿铷-锶同位素定年[J]. 矿床地质, 30(6): 1113-1121.
- 张文兰, 华仁民, 王汝成, 李惠民, 屈文俊, 李建清. 2009. 赣南漂塘钨矿花岗岩成岩年龄与成矿年龄的精确测定[J]. 地质学报, 83(5): 659-670.
- 赵磊, 漆富勇, 李江东. 2013. 江西赣县洋西坑钨矿床地质特征及 Re-Os 同位素测年[J]. 地球科学与环境学报, 35(4): 77-82.
- 赵正, 陈毓川, 曾载淋, 陈郑辉, 王登红, 赵斌, 张家菁. 2013. 南岭东段岩前钨矿床地质特征及成岩成矿时代[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 43(6): 1828-1839.