

粤北红岭钨矿中辉钼矿 Re-Os 同位素年代学 及其地质意义*

王小飞^{1,2}, 戚华文^{1**}, 胡瑞忠¹, 屈文俊³, 彭建堂¹, 毕献武¹

(1 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3 国家地质实验测试中心, 北京 100037)

摘要 粤北红岭钨矿为产在热水复式岩体之中的中型钨多金属矿床, 矿化类型为石英脉型黑钨矿化和蚀变花岗岩型白钨矿化。对矿区含矿石英脉中 8 个辉钼矿样品进行 Re-Os 同位素测定, 获得等时线年龄及模式年龄的加权平均值分别为 (159.1 ± 1.5) Ma 和 (158.8 ± 0.88) Ma。等时线纵截距为 -0.010 ± 0.041 , 说明样品中不存在可测定的初始 ^{187}Os 。统计表明南岭地区中东段钨锡矿床的成矿年龄多集中在 150~160 Ma。粤北已有的几个钨矿成矿年龄与区域燕山期花岗岩大规模侵位时期一致, 表明南岭地区花岗岩成岩成矿可能不存在明显的时差。

关键词: 地球化学, 红岭钨矿, 辉钼矿, Re-Os 同位素, 花岗岩, 粤北

中图分类号: 618.67

文献标志码: A

Re-Os isotopic chronology of molybdenites from Hongling tungsten deposit of Guangdong Province and its geological significance

WANG XiaoFei^{1,2}, QI HuaWen^{1**}, HU RuiZhong¹, QU WenJun³, PENG JianTang¹ and BI XianWu¹

(1 State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China; 2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China)

Abstract

Located in the middle part of Reshui composite pluton, the Hongling tungsten deposit is a medium size tungsten-poly-metallic deposit. Tungsten mineralizations in this deposit include quartz vein wolframite type and altered granitic scheelite type. Rhenium and osmium isotopic dating of 8 molybdenite samples from the Hongling quartz vein-type tungsten deposit has yielded a precise isochron age of (159.1 ± 1.5) Ma and a weighted average model age of (158.8 ± 0.88) Ma. The intercept of isochron is -0.010 ± 0.041 , suggesting that there is no measurable normal Os in these molybdenite samples. Statistics of precise ore-forming ages of W-Sn deposits from eastern and central Nanling region show that ore-forming ages are concentrated mostly in the range of 150~160 Ma, corresponding to the main periods of large-scale granitic emplacement in this region. The results obtained by the authors show that there is no distinct age gap between tungsten mineralization and granite intrusion in Nanling region.

* 本文为国家重点基础研究发展计划(2007CB411408)和中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室自主创新课题“华南地区和西南三江地区花岗岩成矿作用对比研究”项目的成果

第一作者简介 王小飞,男,1984年生,硕士研究生,主要从事矿床学和花岗岩研究。

**通讯作者简介 戚华文,男,1973年生,博士,副研究员,矿床地球化学专业。Email: qihuawen@vip.gyig.ac.cn

收稿日期 2009-11-17; 改回日期 2010-03-16。张绮玲编辑。

Key words: geochemistry, Hongling tungsten deposit, molybdenite, Re-Os isotope, granite, northern Guangdong

粤北地区是中国重要的钨锡多金属矿产地,该区钨锡矿化以石英脉型黑钨矿矿化为主体(例如石人嶂、梅子窝、瑶岭、锯板坑钨矿),兼具矽卡岩型白钨矿化(瑶岭钨矿)和蚀变花岗岩型白钨矿化(红岭钨矿)。钨锡多金属矿床的集中分布以及多种多样的矿化类型,使得粤北成为研究钨锡成矿作用理想之地。粤北也是中国石英脉型钨矿床石英脉(形态、矿物组合、微量元素组成和热液蚀变)垂直分带理论——“五层楼”模式或“五层楼”成矿规律的发源地之一(广东冶金地质932队,1966;1976)。深入研究该区典型矿床的成矿机理,对于丰富南岭地区花岗岩成岩成矿理论和指导找矿无疑具有重要的理论意义。

近年来,人们围绕南岭地区钨锡矿床的成因,开展了较多的同位素研究,获得了一大批成岩成矿年代学数据。由于受研究对象的差异、矿床的开采深度、分析测试条件等诸多因素的限制,前人对于矿区花岗岩与钨锡成矿关系的认识尚存在很大的分歧(毛景文等,2004a;2007;华仁民等,2005a;华仁民,2005;李华芹等,2006;蒋少涌等,2006;赵葵东等,2006;彭建堂等,2007;付建明等,2007;丰成友等,2007;谭俊等,2007)。深入研究和揭示区域花岗岩与钨锡成矿的关系,还需要将典型矿床成矿机理与区域花岗岩成因的研究相联系,系统开展年代学和同位素示踪等多方面的研究。

精确地确定矿床的成矿年龄是矿床成因研究的关键问题,也是分析区域花岗岩与钨锡成矿关系的基础。自20世纪80年代以来,矿床同位素年代学研究引入了许多新的测试技术并得以迅速发展,目前应用最广泛的同位素测年体系有钾硅酸盐矿物 ^{40}Ar - ^{39}Ar 体系,石英、硫化物流体包裹体 Rb-Sr 体系,辉钼矿 Re-Os 体系,萤石、方解石 Sm-Nd 体系及铀系矿物(热液锆石、独居石、磷钇矿等)U-Pb、Pb-Pb 体系等(John et al.,1995;Qiu,1996;Stein et al.,1997;Peter et al.,1998;Jens et al.,2003;David et al.,2004;Urs et al.,2005;Ewan et al.,2007;Fraser et al.,2008)。其中,辉钼矿 Re-Os 同位素年代学已成为当代矿床年代学研究的热点,广泛用于确定钼矿、斑岩型-矽卡岩型铜矿、钨锡钼铋矿及铅锌矿等金属矿床的成矿年龄(Mao et al.,1999;

2008;Stein et al.,1997;2001;Selby et al.,2001;Peng et al.,2006)。

与辉钼矿相比,硅酸盐所含 Re 和 ^{187}Os 的量可忽略不计(杜安道等,2007),所以,石英、硅酸盐是铼钨迁移的天然屏障,石英脉中的辉钼矿是理想的 Re-Os 同位素封闭体系,受后期改造很弱,可以准确地测定石英脉型钨矿床的成矿时代。目前,粤北地区钨矿的精确成矿年代数据还很少,只有付建明等(2008)获得石人嶂钨矿[(159.1±2.2)Ma]和师姑山钨铋矿[(154.2±2.7)Ma]的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄。因此,笔者以红岭钨矿为研究对象,系统采集了红岭钨矿石英脉中的辉钼矿进行 Re-Os 同位素分析,获得高精度的 Re-Os 同位素等时线年龄,精确限定了该矿床的成矿年龄,并初步探讨了该成矿年龄的地质意义。

1 矿区地质概况

红岭钨矿位于广东省韶关市始兴县红岭镇,为产在热水复式岩体中的中型钨多金属矿床。矿区大地构造位置位于华南加里东褶皱带,赣南-粤北后加里东隆起与湘南-粤北海西-印支拗陷过渡带,海西-印支期大东山-贵东-九连山 EW 向构造岩浆带中部南侧,热水 SN 向断裂构造与 NE 向断裂构造复合部位(邬凤茂,1981)。区域上出露的地层有古生界寒武系-奥陶系-志留系浅变质的浅海相碎屑沉积岩,上古生界泥盆系滨海相、浅海相砂页岩、碳酸盐岩建造,第四系残积、坡积、冲积层。区内广泛出露燕山期花岗岩,岩浆活动剧烈而频繁,断裂构造发育(图1)。

热水岩体位于贵东复式岩体中部南侧,受区域南北向断裂控制,出露面积约 300 km²(周新民,2007)。该岩体为分异演化较为完全的多阶段多岩相的复式花岗岩体,成岩时代属燕山三期,可划分为4个阶段:第一阶段为细粒少斑状黑云母花岗岩,呈孤岛状沿南北向分布于石坑子-红岭-热水一带;第二阶段为中(粗)细粒似斑状黑云母花岗岩,为热水岩体主体;第三阶段为中细粒白云母花岗岩,呈岩株产出,分布于红岭、芒头斜一带,局部为矿化岩体;第四阶段为细粒白云母花岗岩,呈岩钟或岩瘤状产出,为

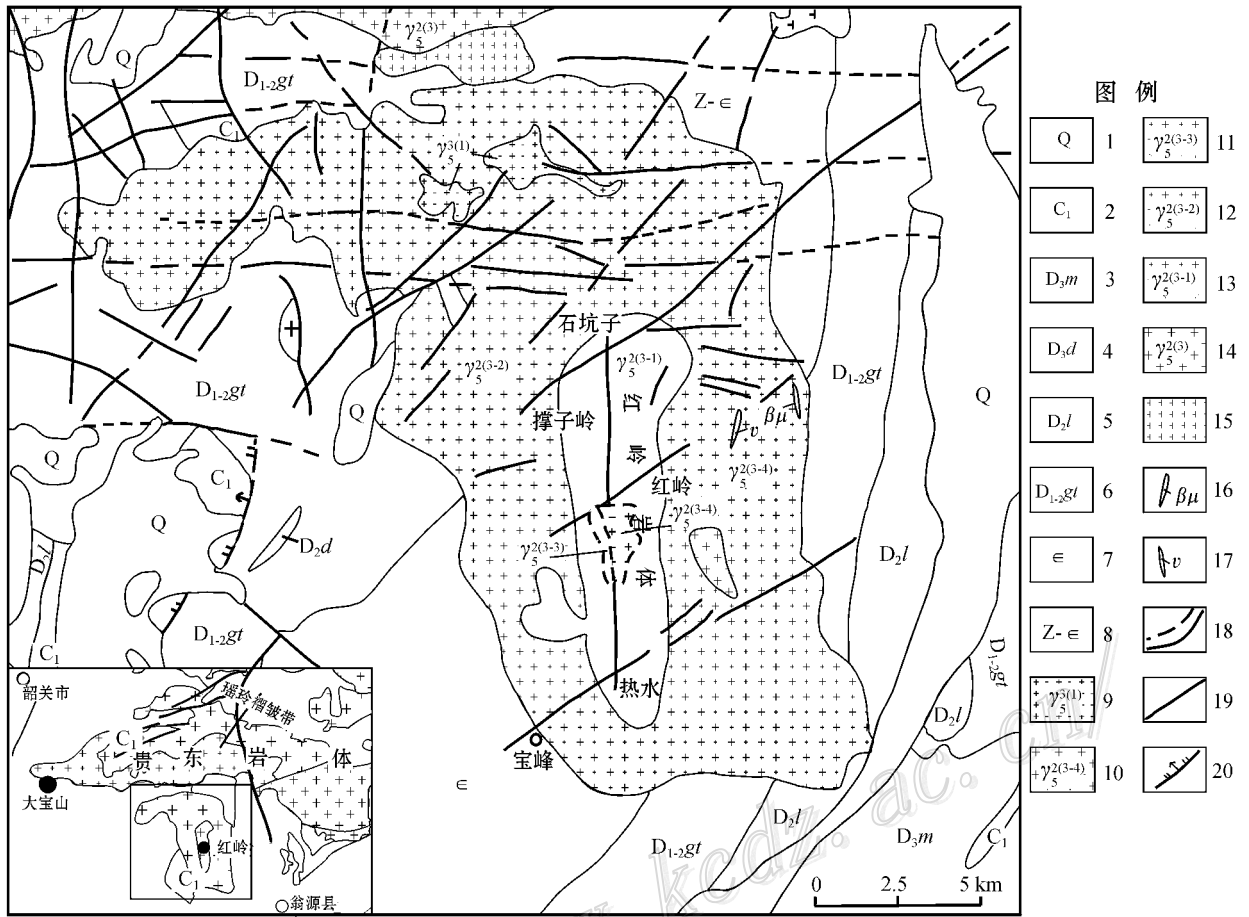


图 1 广东翁源县红岭地区地质图(据广东核工业 290 研究所资料及黄德鑫等 2008 修改)

1—第四系冲坡积粘土、砂及砾石；2—下石炭统灰岩夹石英砂岩、碳质页岩；3—上泥盆统帽子峰组页岩、石英砂岩夹灰岩；4—中泥盆统东岗岭组灰岩及粉砂质、泥质页岩；5—中泥盆统老虎坳组页岩、粉砂岩及石英砂岩；6—中下泥盆统桂头群厚层底砾岩、石英砂岩夹页岩、砂页岩；7—寒武系长石石英砂岩夹绢绿页岩；8—前寒武系浅变质石英砂岩、页岩互层；9—燕山四期黑云母花岗岩、二云母花岗岩；10—燕山三期细粒白云母花岗岩；11—燕山三期中细粒白云母花岗岩；12—燕山三期中细粒斑状黑云母花岗岩；13—燕山三期细粒少斑黑云母花岗岩；14—贵岩岩体细粒斑状黑云母花岗岩；15—燕山一期英安玢岩；16—辉长岩脉；17—辉绿岩脉；18—推测、实测地质界线；19—实测、推测断层；20—正断层

Fig. 1 Regional geological map of Hongling area, northern Guangdong Province

1—Quaternary ; 2—Lower Carboniferous ; 3—Upper Devonian Maozifeng Formation ; 4—Middle Devonian Donggangling Formation ; 5—Middle Devonian Laohuo Formation ; 6—Middle-Lower Devonian Guitou Group ; 7—Cambrian ; 8—Precambrian ; 9—Biotite granite and two-mica granite of 4th stage of Yanshanian period ; 10—Fine-grained muscovite granite of 3rd stage of Yanshanian period ; 11—Meium-fine grained muscovite granite of 3rd stage of Yanshanian period ; 12—Medium-fine grained porphyritic biotite granite of 3rd stage of Yanshanian period ; 13—Fine-grained biotite granite of 3rd stage of Yanshanian period ; 14—Fine-grained porphyritic biotite granite of Guidong intrusion ; 15—Dacite porphyrite of 1st stage of Yanshanian period ; 16—Gabbro vein ; 17—Diabase vein ; 18—Inferred or measured geological boundary ; 19—Inferred or measured fault ; 20—Normal fault

含矿岩体 红岭、石坑子均有发现^①。未矿化岩体蚀变较弱,以绢云母化、泥化为主,局部有绿泥石化。

此外,多阶段岩体中有细粒白云母花岗岩,细晶岩、长英岩、钾长花岗岩、奥长花岗岩、花岗伟晶岩及

辉绿岩等岩脉产出,各组石英脉切过早期酸性岩脉。本区的燕山四期花岗岩类($\gamma_5^{3(1)}$)仅发现 2 个细粒花岗岩体,分布于热水岩体北部,呈岩墙状沿东西方向侵入于燕山三期花岗岩中^①。

① 广东冶金地质 937 队. 1982. 广东省翁源县红岭钨矿区补充详细勘探地质报告.

2 矿床地质特征

红岭钨矿有2种钨矿化类型:石英脉型黑钨矿和蚀变花岗岩型白钨矿。两者在时空和成因上关系密切。石英脉赋存于中-细粒花岗岩体中,多呈单脉稀疏分布。花岗岩型矿床赋存于细粒白云母花岗岩的顶部,向上过渡到石英脉型矿床。

2.1 矿体形态

含矿石英脉有NNW向、NW向、NWW向、NE-NNE向、SN-NNE向等5组,各脉组发育程度悬殊,全区以NNW组、NW组最发育,次为NNE组、SN组,NE组发育最差,矿区中部各组矿脉发育较为完整(图2)。含矿裂隙中,NNE向、SN向为压扭性,NNW向、NW向为扭张性,NWW向则为张扭性^①。圈定矿脉129条,矿脉长300~1000m,最长1500m,延深300~500m,最深600m,脉宽0.18~0.35m,矿脉倾角70°以上。矿石平均 $w(\text{WO}_3)$ 1.85%。围岩蚀变主要有云英岩化、萤石化、绿泥石化、钾化^②。

蚀变花岗岩型白钨矿为隐伏矿体,矿化主要产于细粒白云母花岗岩($\gamma_5^{2(3-4)}$)凸出部位(图3),主要蚀变类型为云英岩化、钠化。矿体长1500m,宽500m,最大厚度>500m,呈透镜状、似层状产出(图3),白钨矿矿体可能由细粒白云母花岗岩自变质作用(斜长石的钠长石化脱钙)形成的大量 Ca^{2+} 与成矿流体中的 WO_4^{2-} 结合形成(谭运金,1999)。含钨石英脉进入到蚀变岩体后逐渐尖灭^②。

2.2 含矿石英脉分布特征

各脉组常为1~2条主脉及两侧的数条平行细脉或与主脉呈小角度(10°左右)斜交的羽状矿脉构成,脉带宽者达4~5m,以北西组矿脉最为明显。各方向脉组间纵横交织,互成菱形格状,并有向矿区中部收敛的趋势(图2)。在剖面上,各脉组常呈叠瓦状排列,亦有呈“X”型相交,脉体侧伏角约55~64°^②。

单脉沿走向由若干透镜状单体组成,单体长度从几十米至百余米,以脉体中部规模较大,往两端逐渐变小,常以分支叉至尖灭或被构造破碎带所取代。近南北向矿脉上部形态较稳定,下部多呈短小的串珠状透镜体出现;NE-NEE组矿脉南西端较稳定,北东端则由石英脉递变为云英岩-伟晶岩,矿脉下部递

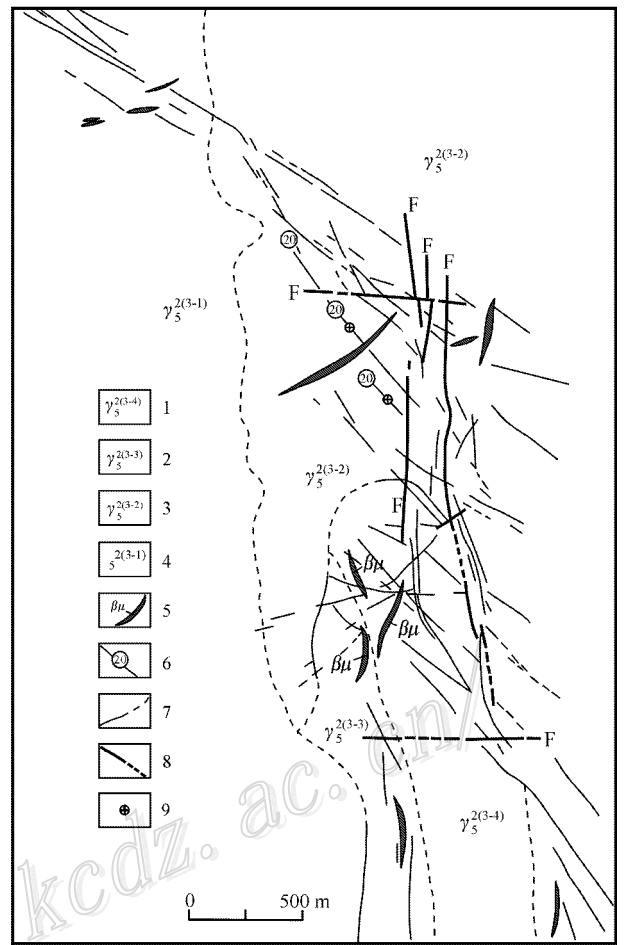


图2 红岭钨矿区地质图(据中国有色金属工业总公司锯瑶区成矿预测研究专题组^①,1985)

1—细粒少斑黑云母花岗岩;2—中细粒斑状黑云母花岗岩;3—中细粒白云母花岗岩;4—细粒白云母花岗岩;5—辉绿岩脉;6—含矿石英脉;7—实测、推测地质界线;8—实测、推测断层;9—辉钨矿采样点

Fig. 2 Geological map of the Hongling tungsten deposit
1—Fine-grained biotite granite; 2—Medium-fine grained porphyritic biotite granite; 3—Medium-fine grained muscovite granite; 4—Fine-grained muscovite granite; 5—Dolerite vein; 6—Quartz vein and its serial number; 7—Inferred or measured geological boundary; 8—Inferred or measured fault; 9—Sampling location

变为含矿破碎带。所有矿脉受成矿后沿脉断裂的影响,重叠膨大或错失现象显著^②。

在同一矿区内,具“五层楼”垂直分带规律的含矿石英脉可以仅发育于某一脉组,其他脉组不明显。红岭矿区NW组矿脉垂直形态上呈现“五层楼”分带,以NW组V73、V20脉最为典型^②。

① 中国有色金属工业总公司锯瑶区成矿预测研究专题组. 1985. 广东锯板坑-瑶岭地区钨矿成矿预测研究报告. 1-85.

② 广东冶金地质937队. 1982. 广东省翁源县红岭钨矿区补充详细勘探地质报告.

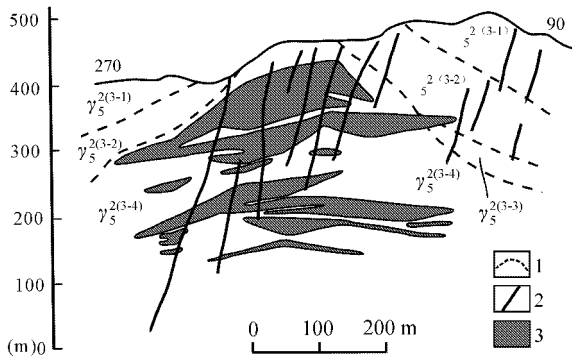


图 3 广东翁源县红岭钨矿 620 勘探线剖面图(据郭凤茂,1981 及林运淮,1982 修改)

1—推测岩性界线;2—含矿石英脉;3—蚀变花岗岩型白钨矿工业矿体

Fig. 3 Geological section along No. 620 exploration line of the Hongling tungsten deposit, northern Guangdong Province

1—Inferred boundary;2—Mineralized quartz vein;3—Industrial ore body of altered granitic scheelite type

2.3 矿物组成及结构构造

石英脉型钨矿床中的矿物有 20 种以上。金属矿物主要为黑钨矿、白钨矿、辉钼矿、辉铋矿、黄铜矿、黄铁矿,次为闪锌矿、磁黄铁矿、毒砂、黝铜矿、斑铜矿、绿柱石、日光榴石等;脉石矿物主要有石英、长石、云母、萤石,并有少量黄玉、绿泥石、电气石、磷灰石、方解石等(图 4a~4f)。矿床矿石类型属黑钨矿-辉钼矿-辉铋矿矿石(图 4a、4b、4c、4d、4e),矿石构造主要为块状、浸染状、条带状构造。黑钨矿为石英脉型矿床的主要工业矿物,黑色或褐黑色,晶体呈薄板状、厚板状或块状或放射状集合体,垂直脉壁或沿脉壁定向生长,或呈粒状、块状与硫化物构成集合体分布于脉中^①。

蚀变花岗岩型矿体中主要金属矿物为白钨矿、辉钼矿,呈浸染状较均匀分布于蚀变花岗岩中,部分呈脉状,矿石平均 $w(\text{WO}_3)$ 为 0.13%,伴生 Bi、Mo^①。

3 样品采集及分析测试

红岭钨矿的辉钼矿晶形较差,粒径 < 2 mm,多以细小团块、小团块或呈浸染状、星点状产于石英脉壁

(图 4d、4f),与云母及少量黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等硫化物共生,少量呈细小团块、浸染状产于石英脉中(图 4e),部分可见与黑钨矿共生(图 4a)。

本次采集了 16 个含辉钼矿石英脉样品,从其中挑出 8 个辉钼矿单矿物。样品 HLQ-13、HLQ-17-1 和 HLQ-17-2 采自 282 中段 NW 向 20 号脉,RH 编号(RH-1~RH-6)样品采自 282 中段 NWW 向 124 号脉。含辉钼矿石英脉经过手工破碎,在双目镜下分选辉钼矿。辉钼矿单矿物纯度在 98% 以上,经水清洗干净后,用玛瑙研钵充分研磨至 200 目。为避免交叉污染,处理完每个单矿物样品后,所用工具都用酒精浸泡并擦洗干净。

Re-Os 同位素分析测试工作在国家地质实验测试中心完成,样品质量为 0.8~1.3 g。将准确称取的样品加入 Carius 管底部,降温后加入 ^{185}Re 、 ^{190}Os 混合稀释剂和酸溶液,再封闭 Carius 管,加热分解样品,从制备的溶液中蒸馏分离 Os,萃取分离 Re,具体的化学处理过程参见文献(Shirey et al., 1995; 谢智等,1997; 杜安道等,2001; Stein et al., 2001; 屈文俊等,2003)。采用电感耦合等离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS 测定 Re 同位素和 Os 同位素比值。实验流程 Re、Os 和 ^{187}Os 的空白水平分别为 $(0.0038 \pm 0.0006) \times 10^{-9}$ 、 0.0002×10^{-9} 和 0.0001×10^{-9} ,远小于所测样品中铼、钨含量,不会影响实验中铼、钨含量的准确测定。采用同一流程测定的辉钼矿标准样品 GBW04435 (HLP) 的分析结果显示,标样的测定值与推荐值偏差小于 3%。

4 辉钼矿数据分析及讨论

4.1 成矿年龄

红岭钨矿 8 个辉钼矿样品的 Re-Os 同位素分析数据列于表 1。样品的模式年龄在 152.2~159.5 Ma 之间,初始 Os 在 0.0042~0.0088 之间。因 HLQ-17-1 样品的模式年龄 152.2 Ma 较其他数据明显偏小,剔除掉这个样品后,用 Isoplot 软件做等时线图(图 5),得到的 7 个样品的等时线年龄为 $(159.1 \pm 1.5)\text{Ma}$ 。等时线的纵截距为 -0.010 ± 0.041 ,说明初始 ^{187}Os 接近于 0,该批数据符合辉钼矿 Re-Os 同位素定年的条件。此外,该等时线的 MSWD 值为 0.5,表明所有样品的 Re、Os 同位素组成遵循放射性

① 广东冶金地质 937 队,1982. 广东省翁源县红岭钨矿区补充详细勘探地质报告。

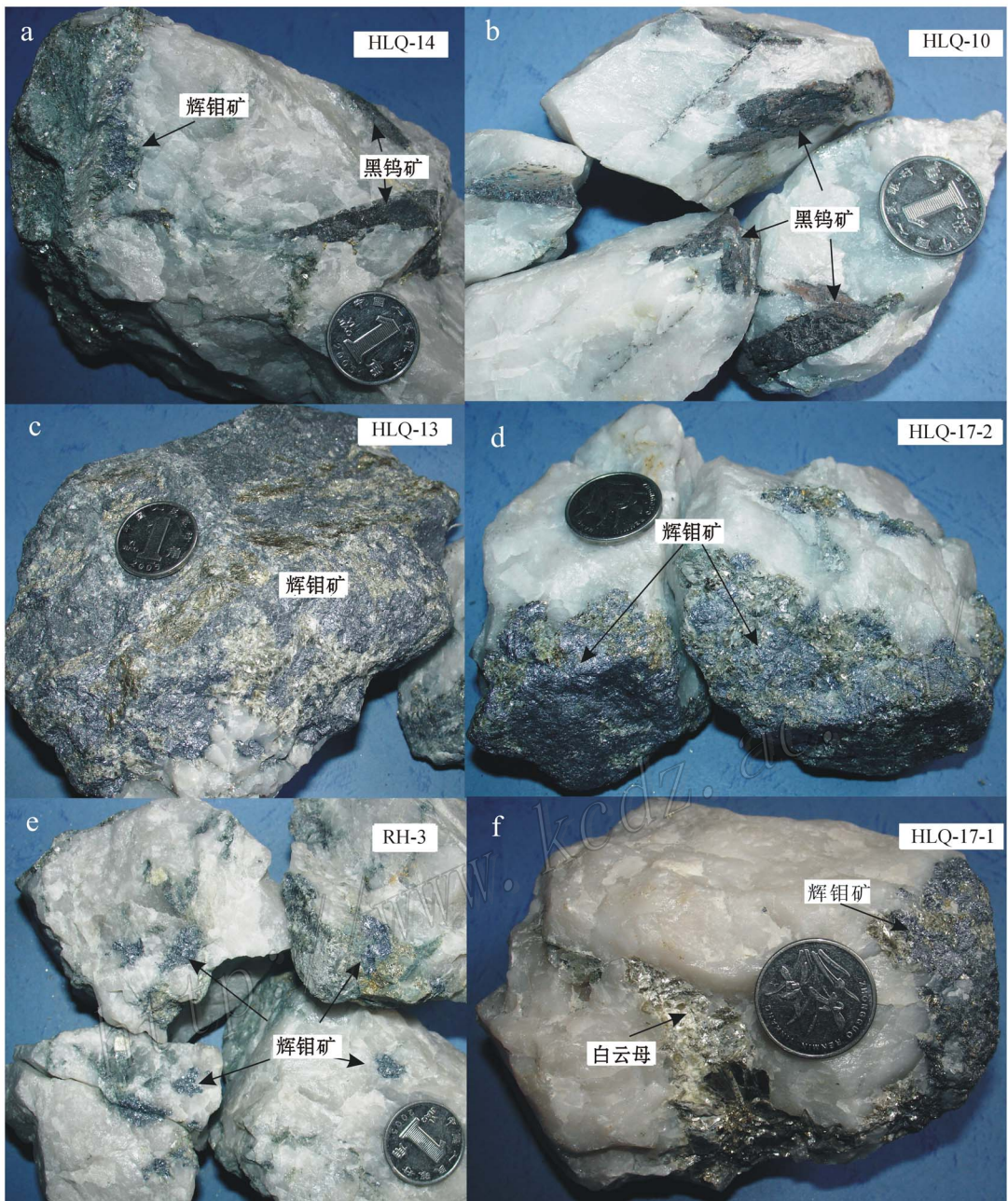


图4 红岭钨矿典型黑钨矿-辉钼矿矿石照片

a. 黑钨矿-辉钼矿矿石; b. 薄板状黑钨矿晶体; c. 浸染状辉钼矿矿石; d. 石英脉壁与云母共生的辉钼矿; e. 石英脉中细小团块状、浸染状辉钼矿; f. 石英脉中的白云母和脉壁辉钼矿

Fig. 4 Photographs of typical wolframite-molybdenite ore samples from the Hongling tungsten deposit

a. Wolframite-molybdenite ore; b. Sheetlike wolframite crystal; c. Disseminated molybdenite ore; d. Intergrowth of molybdenite and muscovite at the edge of quartz vein; e. Lump and disseminated molybdenite in the quartz vein; f. Muscovite in the quartz vein and molybdenite at the edge of the vein

衰变定律, 等时线年龄准确可靠。

除 HLQ-17-1 外的 7 个样品的模式年龄加权平均值(图 6)为 $(158.80 \pm 0.88) \text{Ma}$ (置信区间 95%),

与等时线年龄非常接近。因此, Re-Os 同位素等时线年龄 $(159.1 \pm 1.5) \text{Ma}$ 可以代表红岭钨矿床确切的成矿年龄。

表 1 红岭钨矿辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果

Table 2 Re-Os isotopic data for molybdenite from Hongling tungsten deposit, northern Guangdong Province

样品号	m/g	$\alpha(\text{Re})$ (ng/g)		$\alpha(\text{普 Os})$ (ng/g)		$\alpha(^{187}\text{Re})$ (ng/g)		$\alpha(^{187}\text{Os})$ (ng/g)		模式年龄/Ma	
		测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
RH-1	0.05005	3542	32	0.0044	0.0149	2227	20	5.926	0.053	159.5	2.4
RH-2	0.0536	1392	11	0.0088	0.0140	874.8	6.9	2.313	0.025	158.5	2.5
RH-3	0.05076	3152	24	0.0045	0.0050	1981	15	5.213	0.044	157.8	2.2
RH-4	0.05154	14574	117	0.0044	0.0099	9160	74	24.34	0.20	159.3	2.2
RH-6	0.05149	5123	52	0.0044	0.0130	3220	33	8.530	0.074	158.8	2.5
HLQ-13	0.05346	2212	20	0.0042	0.0095	1390	13	3.674	0.033	158.4	2.4
HLQ-17-1	0.05154	1304	13	0.0042	0.0095	819.3	8.2	2.080	0.019	152.2	2.4
HLQ-17-2	0.0505	2341	20	0.0045	0.0253	1471	12	3.912	0.036	159.4	2.4

注：1. $\alpha(\text{普 Os})$ 是根据 Nier 值的 Os 同位素丰度，通过 $^{192}\text{Os}/^{190}\text{Os}$ 测量比计算得出， $\alpha(^{187}\text{Os})$ 是 ^{187}Os 同位素总量。2. $\alpha(\text{Re})$ 、 $\alpha(\text{Os})$ 的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差，置信水平为 95%。3. 因为辉钼矿铪含量较高，几乎不含非放射成因的 ^{187}Os ，故用样品的铪、钨含量按下式直接计算模式年龄 (t): $t = 1/\lambda [\ln(1 + ^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re})]$, $\lambda(^{187}\text{Re} \text{ 衰变常数}) = 1.666 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ 。模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度 (1.02%)，置信水平 95%。

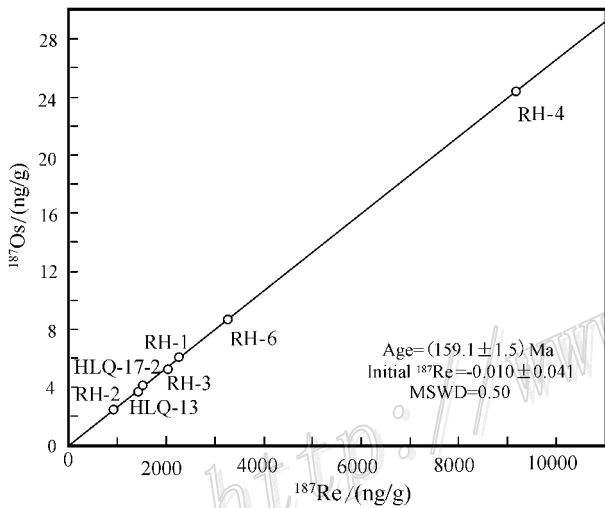


图 5 红岭钨矿辉钼矿 Re-Os 等时线年龄

Fig. 5 Re-Os isochron of molybdenite from the Hongling tungsten deposit

4.2 与区域成矿钨锡成矿年龄的对比

对南岭地区钨锡成矿的时代，前人曾做过大量工作，近年来更是通过 ^{40}Ar - ^{39}Ar 、Re-Os 等同位素定年方法获得了很多高精度的成矿年代学数据。已有的高精度的成矿年代数据显示，南岭地区钨锡成矿的时代并没有明显的空间分带规律，在成矿时代上却具有集中分布和分阶段性的特点(毛景文等, 2004a; 2007; 2008; 华仁民等, 2005a; 2005b; 华仁民, 2005; 彭建堂等, 2008)。

笔者统计了南岭地区中东段主要钨锡多金属矿床的成矿年代，这些成矿年龄均通过高精度的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 、Re-Os 同位素测试获得(表 2)。数据也包括了

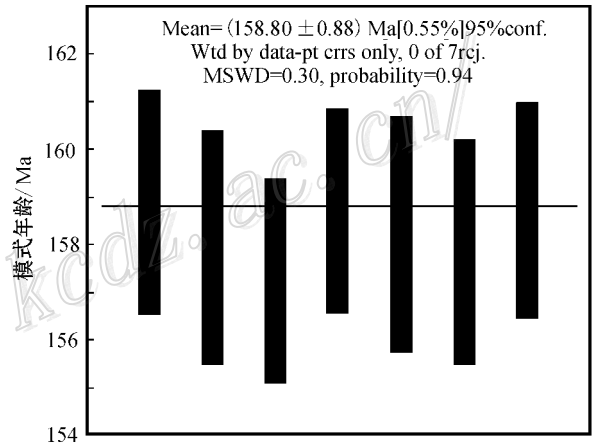


图 6 红岭钨矿 7 个辉钼矿 Re-Os 模式年龄加权平均值
Fig. 6 Weighted average of molybdenite Re-Os model ages of the Hongling tungsten deposit

本课题组获得的粤北梅子窝钨矿、瑶岭钨矿的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄 (157.7 ± 1.4) Ma、(159.2 ± 2.3) Ma (另文发表)。

对以上燕山早中期的钨锡成矿年龄数据做统计直方图(图 7)，考虑主要成矿年龄的误差，以 2 Ma 为一个单位。从统计图上可以看出，中生代南岭地区东、中段钨锡成矿的主要时期在 150~162 Ma，峰期在 154~160 Ma。本课题组获得的红岭钨矿成矿年龄 ($(159.1 \pm 1.5) \text{ Ma}$) 也在这一时间段内，与区域上大规模钨锡成矿作用在同一时期。

4.3 与区域花岗岩成岩年龄的对比

对解释该区钨锡成矿与花岗岩的关系问题，尤其是成岩成矿时差，从成岩成矿时代上来限定其先

表2 南岭地区中东段主要钨锡多金属矿床成矿年龄

Table 2 Metallogenic ages of W-Sn polymetallic deposits in Nanling region

矿床	测试对象及测试方法	成矿年龄/Ma	来源
柿竹园钨多金属矿 (矽卡岩云英岩型)	辉钼矿 Re-Os 等时线	151.0 ± 3.5	李红艳等, 1996
	两个云母样品 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	153.4 ± 0.2, 134.0 ± 1.6	毛景文等, 2004a
芙蓉锡矿田山门口矿区	两个白云母样品 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	156.1 ± 0.4,	毛景文等, 2004a
芙蓉矿田白腊水矿区(19号脉)	金云母岩中3个金云母样品 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	150.6 ± 1.0, 154.7 ± 1.1,	彭建堂等, 2007
	矽卡岩中角闪石 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	157.3 ± 1.0, 156.9 ± 1.1	
芙蓉矿田淘锡窝矿区	云英岩中2个白云母 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	159.9 ± 0.5, 154.8 ± 0.6	彭建堂等, 2007
	云英岩中白云母 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	160.1 ± 0.9	毛景文等, 2004b
新田岭白钨矿床(矽卡岩型)	矽卡岩退化蚀变岩中铁云母 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	157.06 ± 0.2	毛景文等, 2004a
黄沙坪铅锌钨钼多金属矿	辉钼矿 Re-Os 等时线年龄	154.8 ± 1.9	姚军明等, 2007
大吉山钨矿(石英脉型)	两个云母样品 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	144.4 ± 0.5, 147.2 ± 0.6	张文兰, 2006
淘锡坑钨矿(石英脉型)	辉钼矿 Re-Os 等时线年龄	154.4 ± 3.8	陈郑辉等, 2006
	白云母的 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	153.63 ± 1.5	陈郑辉等, 2006
漂塘钨矿(石英脉型)	白云母的 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	158.9 ± 1.4	刘善宝等, 2008
柯树岭钨锡多金属矿(石英脉型)	白云母的 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	158.8 ± 1.2	刘善宝等, 2008
仙鹤塘锡钨矿(石英脉型)	白云母的 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	231.4 ± 2.4	刘善宝等, 2008
大坳钨锡矿(云英岩及石英脉型)	辉钼矿 Re-Os 等时线年龄	151.3 ± 2.4	付建明等, 2007
瑶岗仙钨矿(石英脉型)	辉钼矿 Re-Os 等时线年龄	154.9 ± 2.6	Peng et al., 2006
	金云母和白云母 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	153.0 ± 1.1, 155.1 ± 1.1	
香花岭香花铺矿区锡钨矿 (云英岩型)	白云母 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	161.3 ± 1.1	Yuan et al., 2007
	白云母 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	154.4 ± 1.1	Yuan et al., 2007
	白云母 ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar 坪年龄	158.7 ± 1.2	Yuan et al., 2007
牛岭钨矿床(石英脉型)	辉钼矿 Re-Os 等时线年龄	154.9 ± 4.1	丰成友等, 2007
樟斗钨矿床(石英脉型)	辉钼矿 Re-Os 等时线年龄	149.1 ± 7.1	丰成友等, 2007
摇篮寨钨矿(蚀变岩型)	辉钼矿 Re-Os 等时线年龄	155.8 ± 2.8	丰成友等, 2007
游坑钨矿(石英脉型)	辉钼矿 Re-Os 等时线年龄	150.2 ± 2.2	刘 璠等, 2008
石人嶂钨矿(石英脉型)	辉钼矿 Re-Os 等时线年龄	159.1 ± 2.2	付建明等, 2008
师姑山钨矿(石英脉型)	辉钼矿 Re-Os 等时线年龄	154.2 ± 2.7	付建明等, 2008
红岭钨矿(石英脉型)	辉钼矿 Re-Os 等时线年龄	159.1 ± 1.5	本课题组
梅子窝钨矿(石英脉型)	辉钼矿 Re-Os 等时线年龄	157.7 ± 1.4	本课题组
瑶岭钨矿(石英脉及蚀变岩型)	辉钼矿 Re-Os 等时线年龄	159.2 ± 2.3	本课题组

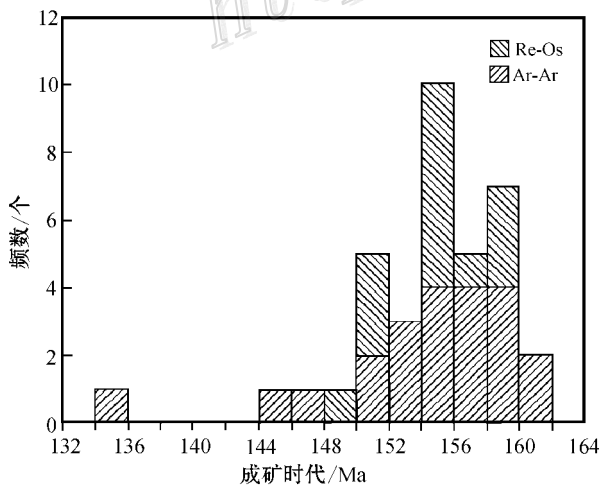


图7 南岭中东段钨锡多金属矿床成矿年龄统计图

Fig. 7 Histogram showing metallogenic ages of W-Sn polymetallic deposits in eastern and central Nanling region

后关系是非常重要的方面。对于复式岩体,用整个岩体的年龄范围与不同矿化阶段年龄对比是不妥的,在明确成岩成矿同源性的前提下,对成岩成矿年龄数据的筛选和评价是准确获得时差的首要工作和基础(谭俊等, 2006)。因此,精确的年代学对比需要考虑以下几个问题:①前人总结与钨锡矿化有关的花岗岩多为燕山晚期的细粒花岗岩(华仁民等, 2005a; 2005b; 彭建堂等, 2008),这些细粒花岗岩与复式岩体的主体花岗岩(多为黑云母花岗岩)的成岩年龄是否存在时差。例如,原来根据粒度划分的贵东复式岩体不同阶段花岗岩的演化系列(从早期的粗粒似斑状黑云母花岗岩逐渐过渡到晚期的细粒白云母花岗岩)可能是不存在的,不同粒度的花岗岩实际上是不同时代不同期次岩浆活动的产物(周新民, 2007);②南岭地区钨锡成矿作用本身是否存在多期或多阶段性,图7的统计结果表明,南岭地区的钨

锡成矿作用至少存在 2 个不同的成矿阶段,分别对应 134~136 Ma 与 144~162 Ma;^③对同一花岗岩成岩成矿体系而言,由于同位素体系封闭温度的差异(Dodson et al., 1985),针对不同分析测试对象,采用不同的同位素测试方法获得的同位素年龄本身存在时差。

广东冶金地质 937 队曾对红岭钨矿做过详细勘探,并获得矿区 28 号脉(北西向脉体)中的白云母 K-Ar 年龄 143 Ma,矿区多阶段岩体中云母 K-Ar 年龄为 138~152 Ma^①;广东省地质矿产局地质矿产研究所对矿区花岗岩进行了系统的成岩年龄测定,获得细粒含斑二云母二长花岗岩($\gamma_5^{\chi 3-1}$)全岩 Rb-Sr 年龄(144 ± 8) Ma,细-中粒斑状二云母二长花岗岩($\gamma_5^{\chi 3-2}$)全岩 Rb-Sr 年龄(165.46 ± 3.41) Ma,不等粒白云母碱长花岗岩($\gamma_5^{\chi 3-3}$)全岩 Rb-Sr 年龄(163.7 ± 3.0) Ma,中细粒白云母碱长花岗岩($\gamma_5^{\chi 3-4}$)中钾长石 K-Ar 年龄为(103.6 ± 1.6) Ma,并认为石英脉型钨矿为一个成矿阶段的产物^②。而罗汉民等根据这些已有的成岩成矿年龄,认为该矿区成矿岩体具 2 个活动期,分别对应不同成矿阶段(罗汉民等, 2006)。由于 K-Ar 体系抗扰动性差,加之封闭温度低(黑云母(300 ± 50)℃,钾长石(150 ± 50)℃;Dodson et al., 1985),使得定年结果常小于岩体的实际年龄。这些成岩年龄也与野外地质调查所划分的花岗岩期次不吻合。

笔者获得红岭钨矿的成矿年龄(159.1 ± 1.5) Ma 与上述二、三阶段花岗岩成岩年龄及热水岩体主体花岗岩($\gamma_5^{\chi 3-2}$)的锆石 U-Pb 年龄(164.0 ± 3.0) Ma(周新民, 2007)在误差范围内大致吻合。但目前与成矿有关的细粒白云母花岗岩($\gamma_5^{\chi 3-4}$)尚无精确的年代学数据,矿区花岗岩多阶段成矿问题尚需更多年代学数据的制约才能够解决。笔者也正在开展矿区细粒白云母花岗岩锆石 U-Pb 同位素年龄的分析测试工作。

热水岩体一般认为属贵东复式岩体的组成部分,为贵东岩体的南侧边缘相(周新民等, 2007)。笔者统计了贵东岩体内部主要花岗岩体的已有的年代学数据(参照周新民, 2007),其中热水岩体(中粗粒黑云母花岗岩)、寨头岩体(中细粒黑云母花岗岩)、竹山下岩体(细粒白云母花岗岩)、长坪岩体(中粗粒似斑状黑云母花岗岩)锆石 SHRIMP 年龄分别为

(164.0 ± 3.0) Ma, (163.0 ± 2.1) Ma, (161.0 ± 3.0) Ma, (158.0 ± 2.0) Ma(周新民, 2007), 隘子岩体(黑云母花岗岩)锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为(160.1 ± 6.1) Ma(徐夕生等, 2003), 司前岩体(黑云母花岗岩)同位素稀释法锆石 U-Pb 年龄(159.0 ± 0.7) Ma(孙涛等, 2003)。以上的成岩年龄在 158~164 Ma,这也和已获得的该区钨矿(石人嶂、师姑山、红岭、梅子窝、瑶岭)成矿年龄大体在同一时期,为粤北地区燕山早期花岗岩的主要成岩时期,也与华南地区燕山早期花岗岩类主要形成时代(165 Ma 到 150 Ma 之间,尤其是 160 Ma 左右)(华仁民等, 2005a; 2005b; 李献华等, 2007)一致。这些数据也表明区域成岩成矿时代的一致性。

5 结 论

(1)通过对红岭钨矿 8 个辉钼矿样品的 Re-Os 同位素分析测试,获得等时线年龄为(159.1 ± 1.5) Ma,该高精度年龄代表该钨矿床的成矿年龄。

(2)红岭钨矿的成矿年龄(159.1 ± 1.5) Ma 与区域花岗岩成岩成矿时代(150~165 Ma)在误差范围内基本一致,表明南岭地区与花岗岩有关的钨锡成矿作用与成岩作用之间可能并不存在明显的时差。

志 谢 在野外研究工作中,得到广东核工业 290 研究所朱捌总工程师和广东翁源红岭钨矿山的帮助和大力支持,广东省有色金属地质勘查局 932 队提供了红岭钨矿部分地质资料,在此深表谢意。

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 mineralization 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).
- David S and Robert A C. 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 and Os within molybdenite[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 68(19): 3897-3908.
- Dodson M H, McClelland-Brown E. 1985. Isotopic and palaeomagnetic evidence for rates of cooling, uplift and erosion[J]. The Chronology of Geological Record, Geol Soc Mem.(London), 10: 315-325.

① 广东冶金地质 937 队. 1982. 广东省翁源县红岭钨矿区补充详细勘探地质报告.

- 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 Carius tube sample preparation[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 20(4): 247-252 (in Chinese with English abstract).
- Du A D, Qu W J, Wang D H, Li H M, Feng C Y, Liu H, Ren J and Zeng F G. 2007. Subgrain size decoupling of Re and ¹⁸⁷Os within molybdenite[J]. *Mineral Deposits*, 26(5): 572-581 (in Chinese with English abstract).
- Ewan P, Alain C, Dominique G, Abdellah M, Mohammed A, Abdelkhalik E H, Etienne D and Gilbert F. 2007. Hydrothermal zircons: A tool for ion microprobe U-Pb dating of gold mineralization (Tamlalt Menhouhou gold deposit—Morocco)[J]. *Chemical Geology*, 245: 135-161.
- Feng C Y, Xu J X, Zeng Z L, Zhang D Q, Qu W J, She H Q, Li J W, Li D X, Du A D and Dong Y J. 2007. 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 Geologica Sinica*, 81(7): 952-963 (in Chinese with English abstract).
- Fraser G L, Hussey K and Compston D M. 2008. Timing of Palaeoproterozoic Au-Cu-Bi and W-mineralization in the Tennant Creek region, northern Australia: Improved constraints via intercalibration of ⁴⁰Ar/³⁹Ar and U-Pb ages[J]. *Precambrian Research*, 164: 50-65.
- Fu J M, Li H Q, Qu W J, Yang X J, Wei J Q, Liu G Q and Ma L Y. 2007. Re-Os isotope dating for the Da'ao tungsten-tin deposit in Jiuyishan area, southern Hunan Province[J]. *Geology in China*, 34(4): 651-656 (in Chinese with English abstract).
- Fu J M, Li H Q, Qu W J, Ma L Y, Yang X J, Wei J Q and Liu G Q. 2008. Determination of mineralization epoch of quartz-vein type tungsten deposits in Shixing region, northern Guangdong and its geological significance[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 32(1): 57-62 (in Chinese with English abstract).
- Guangdong No. 932 Metallurgical Geological Party. 1966. How we use the 'five floor' rule to find and evaluate and prospecting quartz vein-type wolframite deposit[J]. *Geology and Prospecting*, 5: 15-19 (in Chinese).
- Guangdong No. 932 Metallurgical Geological Party. 1976. Insist on 'Practise theory' to know the 'five floor' mineralization rule of vein type tungsten deposit[J]. *Geology and Prospecting*, 3: 11-16 (in Chinese).
- Hua R M, Chen P R, Zhang W L and Lu J J. 2005a. Three major metallogenic events in Mesozoic in south China[J]. *Mineral Deposits*, 24(2): 99-107 (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).
- Hua R M. 2005. 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).
- Huang D X and Chen H F. 2008. Geological characteristics and enriching rules of the Hongling quartz-vein type W deposit in Guangdong[J]. *Mineral Resources and Geology*, 22(3): 246-250 (in Chinese with English abstract).
- Jens S, Udo H and Klaus S. 2003. Rb-Sr dating of epithermal vein mineralization stages in the eastern Harz Mountains (Germany) by paleomixing lines[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67(10): 1803-1819.
- Jiang S Y, Zhao K D, Jiang Y H, Ling H F and Ni P. 2006. New type of tin mineralization related to granite in south China: Evidence from mineral chemistry, element and isotope geochemistry[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2509-2516 (in Chinese with English abstract).
- John N C, Alex N H, Kenneth E L, Roderick N R and Stephen E K. 1995. Direct dating of sulfides by Rb-Sr: A critical test using the Polaris Mississippi Valley-type Zn-Pb deposit[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(24): 5191-5197.
- Li H Y, Mao J W, Sun Y L, Zou X Q, He H L and Du A D. 1996. Re-Os isotopic chronology of molybdenites in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit, southern Hunan[J]. *Geological Review*, 42(3): 261-267 (in Chinese with English abstract).
- Li X H, Li X W and Li Z X. 1996. Genesis type and tectonic significance of early Yanshan period granites in the Nanling range[J]. *Chinese Science Bulletin*, 59(9): 981-991 (in Chinese).
- Lin Y H. 1982. Granitic type tungsten deposit[J]. *Geological Review*, 28(1): 77-82 (in Chinese).
- Liu J, Ye H S, Xie G Q, Yang G Q and Zhang W. 2008. Re-Os dating of molybdenite from the Hukeng tungsten deposit in the Wugongshan area, Jiangxi province, and its geological implications[J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(11): 1572-1579 (in Chinese with English abstract).
- Liu S B, Wang D H, Chen Y C, Li J K, Yin L J, Xu J X and Zeng Z L. 2008. ⁴⁰Ar/³⁹Ar 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*, 82(7): 932-940 (in Chinese with English abstract).
- Luo H M, Xiao G M and Tang K. 2006. Characteristics of tungsten polymetal minerogenic belt and ore prospecting orientation in Chengkou-Jiulian area, northern Guangdong Province[J]. *Resources Survey & Environment*, 27(2): 127-135 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z Z and Du A D. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou (W₂Mo) deposit in the northern Qilian Mountains and its geological significance[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63: 1815-1818.
- Mao J W, Li X F, Lehmann B, Chen W, Lan X M and Wei S L. 2004a. ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating of tin ores and related granite and its geodynamic significance for rock and ore formation[J]. *Mineral Deposits*, 23(2): 164-175 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Li X F, Zhang C Q and Mei Y X. 2004b. Mesozoic

- large scale mineralization and multiple lithospheric extensions from South China [J]. *Earth Science Frontiers* , 11(1): 45-56 (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).
- 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 and Yang Z Q . 2008 . Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* , 72 : 4607-4626 .
- Mao J W , Xie G Q , Guo C L , Yuan S D , Cheng Y B and Chen Y C . 2008 . Spatial-temporal distribution of Mesozoic ore deposits in south China and their metallogenic Settings [J]. *Geological Journal of China Universities* , 14(4): 510-526 (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).
- Peng J T , Hu R Z , Yuan S D , Bi X W and Shen N P . 2008 . The time ranges of granitoid emplacement and related nonferrous metallic mineralization in southern Hunan [J]. *Geological Review* , 54(5): 617-625 (in Chinese with English abstract).
- Peng J T , Zhou M F , Hu R Z , Shen N P , Yuan S D , Bi X W , Du A D and Qu W J . 2006 . Precise molybdenite Re-Os and mica Ar-Ar dating of the Mesozoic Yaogangxian tungsten deposit , central Nanling district , South China [J]. *Mineralium Deposita* , 41 : 661-669 .
- Peter R , Casey R , Marcos Z and Darry L . 1998 . High-precision $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of two consecutive hydrothermal events in the Chuquicamata porphyry copper system , Chile [J]. *Chemical Geology* , 148 : 45-60 .
- Qiu H N . 1996 . $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the quartz samples from two mineral deposits in western Yunnan (SW China) by crushing in vacuum [J]. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)* , 127 : 211-222 .
- Qu W J and Du A D . 2003 . Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with Carius tube sample digestion [J]. *Rock and Mineral Analysis* , 22(4): 254-257 (in Chinese with English abstract).
- Selby D and Creaser R A . 2001 . Re-Os geochronology and systematics in molybdenite from the Endako porphyry molybdenum deposit , British Columbia , Canada [J]. *Econ. Geol.* , 96 : 197-204 .
- Shirey S B and Walker R J . 1995 . Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis [J]. *Anal. Chem.* , 67 : 2136-2141 .
- Stein H J , Markey R J , Morgan J W , Du A D and Sun Y . 1997 . Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenum from the East Qinling molybdenum belt , Shaanxi Province , China [J]. *Econ. Geol.* , 98 : 175-180 .
- Stein H J , Markey R J , Morgan J W , Hannah J L and Scherf en A . 2001 . The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite : How and why it works [J]. *Terra Nova* , 13(6): 479-486 .
- Sun T , Zhou X M , Chen P R , Li H M , Zhou H Y , Wang Z C and Shen W Z . 2003 . Genesis and tectonic significance of Mesozoic strongly peraluminous granites in the eastern Nanling mountains [J]. *Science in China (Series D)* , 36(12): 1209-1218 (in Chinese).
- Tan J , Wei J H , Yang C F , Feng B and Li Y H . 2006 . Application state of isotopic dating methods for ore deposits [J]. *Geology and Prospecting* , 42(3): 61-66 (in Chinese with English abstract).
- Tan J , Wei J H , 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).
- Tan Y J . 1999 . Composite characteristic of tungsten minerals and its dominate factors of endogenesis tungsten deposit in south China [J]. *China Tungsten Industry* , 14(5-6): 84-89 (in Chinese).
- Urs S , Thomas P , Andreas A , Eric R and Christoph A H . 2005 . Magmatic-to-hydrothermal crystallization in the W-Sn mineralized Mole Granite (NSW , Australia) Part I : Crystallization of zircon and REE-phosphates over three million years-a geochemical and U-Pb geochronological study [J]. *Chemical Geology* , 220 : 215-235 .
- Wu F M . 1981 . Geochemical characteristic of Hongling granitic type tungsten (molybdenum) deposit [J]. *Geology and Prospecting* , 35(5): 50-54 (in Chinese).
- Xie Z , Zhang X and Chen J F . 1997 . Pretreatment of samples in rhenium-osmium isotopic analysis by Mass Spectrometry [J]. *Rock and Mineral Analysis* , 16(4): 284-288 (in Chinese with English abstract).
- Xu X S , Deng P , O 'Reilly S Y , Griffin W L , Zhou X M and Tan Z Z . 2003 . Laser probe ICPMS U-Pb dating of Single grain zircon of Guidong complex granites of southern China and its petrogenetic significance [J]. *Chinese Science Bulletin* , 48(12): 1328-1334 (in Chinese).
- Yao J M , Hua R M , Qu W J , Qi H W , Lin J F and Du A D . 2007 . Re-Os isotopic chronology of molybdenites from Huangshaping plumbum-zinc-tungsten-molybdenum deposit of south Hunan province and its significance [J]. *Science in China (Series D)* , 37(4): 471-477 (in Chinese).
- Yuan S D , Peng J T , Shen N P , Hu R Z and Dai T M . 2007 . $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic dating of the Xianghualing Sn-polymetallic orefield in southern Hunan and its geological implications [J]. *Acta Geologica Sinica* , 81(2): 278-286 .
- Zhang W L , Hua R M , Wang R C , Chen P R and Li H M . 2006 . New dating of the Dajishan granite and related tungsten mineralization in South Jiangxi [J]. *Acta Geologica Sinica* , 80(7): 956-962 (in Chinese with English abstract).
- Zhao K D , Jiang S Y , Jiang Y H and Liu D Y . 2006 . SHRIMP U-Pb dating of the Furong unit of Qitangling granite from southeast Hunan Province and their geological implications [J]. *Acta Petrologica Sinica* , 22(10): 2611-2616 (in Chinese with English abstract).
- Zhou X M . 2007 . Granite petrogenesis and lithospheric dynamics of late Mesozoic in Nanling range [M]. Beijing : Science Press . 398-405 (in Chinese).

附中文参考文献

- 陈郑辉,王登红,屈文俊等. 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,赵敦敏,王淑贤,孙德忠,刘敦一. 2001. Carius管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄[J]. 岩矿测试, 20(4):247-252.
- 杜安道,屈文俊,王登红,李厚民,丰成友,刘华,任静,曾法刚. 2007. 辉钼矿亚晶粒范围内 Re 和 ^{187}Os 的失耦现象[J]. 矿床地质, 26(5):572-581.
- 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. 2007. 赣南天门市-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.
- 付建明,李华芹,屈文俊等. 2007. 湘南九嶷山大坳钨锡矿的 Re-Os 同位素定年研究[J]. 中国地质, 34(4):651-656.
- 付建明,李华芹,屈文俊,马丽艳,杨晓君,魏君奇,刘国庆. 2008. 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, 32(1):57-62.
- 广东冶金地质 932 队. 1966. 我们是怎样用“五层楼”规律寻找? 评价和勘探黑钨石英脉矿床的[J]. 地质与勘探, 5:15-19.
- 广东冶金地质 932 队. 1976. 坚持《实践论》认识脉钨矿床“五层楼”成矿规律[J]. 地质与勘探, 3:11-16.
- 华仁民,陈培荣,张文兰,陆建军. 2005a. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用[J]. 矿床地质, 24(2):99-107.
- 华仁民,陈培荣,张文兰,姚军明,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.
- 华仁民. 2005. 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.
- 黄德鑫,陈恒飞. 2008. 广东红岭石英脉型钨矿床地质特征及富集规律[J]. 矿产与地质, 22(3):246-250.
- 蒋少涌,赵葵东,姜耀辉,凌洪飞,倪培. 2006. 华南与花岗岩有关的一种新类型的锡成矿作用:矿物化学、元素和同位素地球化学证据[J]. 岩石学报, 25(10):2509-2516.
- 李红艳,毛景文,孙亚莉,邵晓秋,何红蓼,杜安道. 1996. 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, 42(3):261-267.
- 李华芹,路远发,王登红,陈毓川,杨红梅,敦敬,谢才富,梅平萍,马丽艳. 2006. 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, 52(1):113-121.
- 李献华,李武显,李正祥. 2007. 再论南岭燕山早期花岗岩的成因类型与构造意义[J]. 科学通报, 52(9):981-991.
- 林运淮. 1982. 岩体型钨矿[J]. 地质论评, 28(1):77-82.
- 刘珺,叶会寿,谢桂青,杨国强,章伟. 2008. 江西省武功山地区浒坑钨矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 82(11):1572-1579.
- 刘善宝,王登红,陈毓川,李建康,应立娟,许建祥,曾载淋. 2008. 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, 82(7):932-940.
- 罗汉民,肖光铭,唐铿. 2006. 粤北城口-九连钨多金属成矿带特征及找矿方向[J]. 资源调查与环境, 27(2):127-135.
- 毛景文,李晓峰, Bernd Lehmann, 陈文,蓝晓明,魏绍六. 2004a. 湖南芙蓉钨矿地质特征、锡矿石和有关花岗岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年及其成岩成矿的地球动力学意义[J]. 矿床地质, 23(2):164-175.
- 毛景文,谢桂青,李晓峰,张长青,梅燕雄. 2004b. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 11(1):45-55.
- 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.
- 毛景文,谢桂青,郭春丽,袁顺达,程彦博,陈毓川. 2008. 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, 14(4):510-526.
- 彭建堂,胡瑞忠,毕献武,戴樟谟,李兆丽,李晓敏,双燕,袁顺达,刘世荣. 2007. 湖南芙蓉钨矿床 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 26(3):237-248.
- 彭建堂,胡瑞忠,袁顺达,毕献武,沈能平. 2008. 湘南中生代花岗岩质石成岩成矿的时限[J]. 地质论评, 54(5):617-625.
- 屈文俊,杜安道. 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钨地质年龄[J]. 岩矿测试, 22(4):254-257.
- 孙涛,周新民,陈培荣,李惠民,周红英,王志成,沈渭洲. 2003. 南岭东段中生代强过铝花岗岩成因及其大地构造意义[J]. 中国科学(D辑), 33(12):1209-1218.
- 谭俊,魏俊浩,杨春福,冯波,李闰华. 2006. 矿床同位素定年方法的应用现状评析[J]. 地质与勘探, 42(3):61-66.
- 谭俊,魏俊浩,李艳军,李闰华,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.
- 谭运金. 1999. 华南地区内生钨矿床的钨矿物成分特征及其控制因素[J]. 中国钨业, 14(5-6):84-89.
- 邬凤茂. 1981. 红岭花岗岩型钨(钼)矿床的某些地球化学特征[J]. 地质与勘探, 3(5):50-54.
- 谢智,张巽,陈江峰. 1997. 铼-钨同位素分析中样品的预处理[J]. 岩矿测试, 16(4):284-288.
- 徐夕生,邓平, O'Reilly S Y, Griffin W L, 周新民,谭正中. 2003. 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, 48(12):1328-1334.
- 姚军明,华仁民,屈文俊,戚华文,林锦富,杜安道. 2007. 湘南黄沙坪铅钨钼多金属矿床辉钼矿的 Re-Os 同位素定年及其意义[J]. 中国科学(D辑), 37(4):471-477.
- 张文兰,华仁民,王汝成,陈培荣,李惠民. 2006. 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, 80(7):956-962.
- 赵葵东,蒋少涌,姜耀辉,刘敦一. 2006. 湘南骑田岭岩体芙蓉超单元的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 25(10):2611-2616.
- 周新民. 2007. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化[M]. 北京:科学出版社. 394-405.