

湘南九嶷山大坳钨锡矿的 Re-Os 同位素定年研究

付建明¹ 李华芹¹ 屈文俊² 杨晓君¹ 魏君奇¹ 刘国庆¹ 马丽艳¹

(1.宜昌地质矿产研究所,湖北宜昌,443003; 2.国家地质实验测试中心,北京 100037)

摘要:湘南九嶷山大坳钨锡矿床与具有铝质 A 型花岗岩特征的金鸡岭复式花岗岩关系密切。矿床类型包括云英岩体型、破碎带蚀变岩型、变花岗岩型和云英岩-石英脉型等 4 类。通过对云英岩-石英脉型钨锡矿中辉钨矿 Re-Os 同位素测年,获得辉钨矿的等时线年龄为 (151.3 ± 2.4) Ma,与花岗岩成岩年龄 $(151 \sim 156)$ Ma 一致,显示成矿与成岩是同时的。通过对区域上获得的高精度成矿年龄综合分析对比,认为 150~160 Ma 为南岭地区中生代大规模成矿作用的高峰期,九嶷山大坳钨锡矿床正是这一高峰期的产物。这为进一步研究区域成矿规律,指导区域找矿提供了重要同位素年代学依据。

关键词:钨锡矿床;云英岩-石英脉;辉钨矿 Re-Os 定年;大坳;湘南

中图分类号:P597+.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)04-0651-06

九嶷山大坳钨锡矿位于湖南省南部蓝山县境内、九嶷山花岗岩杂岩带的中部。是中国地质调查局地质大调查以来在南岭地区发现的大型钨锡矿之一。近年来,在矿床类型、控岩控矿构造、成矿规律、花岗岩与成矿关系等方面进行了比较系统的研究^[1-9],同时也获得了一些有意义的同位素年龄数据,可信的花岗岩成岩年龄集中在 151~156 Ma 之间^[2,9]。但到目前为止,还没有可靠的成矿年代学数据,这在一定程度上制约了对该矿床及区域成矿规律的研究及区域找矿勘探工作。为此,笔者利用辉钨矿 Re-Os 同位素体系,获得了高精度的成矿年龄数据,结果表明成矿与成岩是同期的,都是南岭中生代大规模成岩成矿作用高峰期的产物。

1 区域地质概况

在大地构造上,九嶷山大坳钨锡矿处于华夏板块与扬子板块接合带附近(图 1),南岭纬向构造带中段北缘、NE 向炎陵—蓝山基底断裂与 EW 向都庞岭—九嶷山断隆带交汇部位。区内经历了加里东、印支、燕山等多期构造活动,不同期次形成的构造形迹彼此交截、叠加、改造,呈现以 EW 向隆起为基底,NNE-近 SN 向断裂为主体,伴随 NE、NW、近 EW 向断裂的复杂构造格局。

出露的地层以边缘海槽盆相砂泥质岩石为主的震旦

系—志留系和以浅海台地相碳酸盐岩为主的泥盆系—中三叠统,在一些断陷盆地中发育晚三叠世—侏罗纪和白垩系的陆相沉积岩。

区内岩浆岩发育,岩性以酸性、超酸性为主,另有少量的中性、碱性、基性岩出露。花岗质岩体出露广泛。除雪花顶岩体属于加里东期外,其余的九嶷山主体(包括金鸡岭复式岩体、砂子岭岩体和西山火山—侵入杂岩)、骑田岭、千里山、铜山岭、花山—姑婆山、大东山等花岗岩都属于燕山早期构造—岩浆活动的产物^[9]。一系列大型—超大型 W、Sn 多金属矿床分布在这些燕山期花岗岩的内外接触带,它们之间有着密切成因联系。

2 矿田地质特征

矿田内褶皱、断裂构造发育。褶皱分布在震旦—寒武纪地层中,为同斜紧闭褶皱,呈北东向展布。据断裂展布方向,可分为 NNE-近 SN 向、NE 向及 NW 向等 3 组。其中 NNE-近 SN 向断裂最重要(图 1),自西向东主要有砂子冲—香草冲断裂(F₁)、砂子冲—邓家断裂(F₂)、癞子山—正冲断裂(F₃)及正冲—麻江园断裂(F₄)、黄河—狮子头断裂(F₅)等(图 1)。该组断裂为区内形成最早,活动延续的时间较长。断裂内硅化、钠长石化、云英岩化等蚀变较强,局部可见钨锡、

收稿日期:2007-02-02;改回日期:2007-03-12

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(1212010533307 和 12120106339-01-4)资助。

作者简介:付建明,男,1964 年生,研究员,博士,主要从事地球化学研究;E-mail:ycfjianmin@cgs.gov.cn。

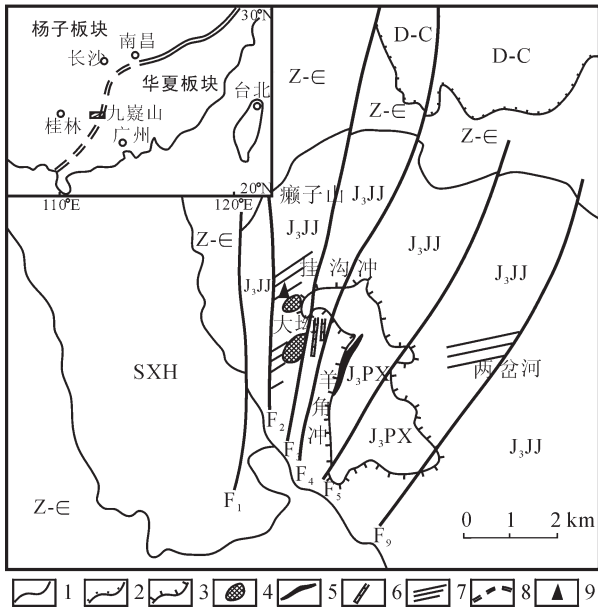


图1 九嶷山地区地质略图

D-C—泥盆—石炭系; Z-ε—震旦—寒武系; J₃PX—螃蟹木超单元; J₃JJ—金鸡岭超单元; SXH—雪花顶超单元; F—断层; 1—地质界线; 2—不整合地质界线; 3—花岗岩超接触界线; 4—云英岩体型锡矿; 5—变花岗岩型钨锡矿; 6—破碎带蚀变型钨锡矿; 7—云英岩—石英脉型钨锡矿; 8—缝合带; 9—辉钼矿 Re—Os 年龄取样位置

Fig.1 Geological sketch map of the Jiuyi Mountains area.

D-C—Devonian—Carboniferous; Z-ε—Sinian—Cambrian; J₃PX—Pangximo superunit; J₃JJ—Jinjingling superunit; SXH—Xuehuating superunit; F—fault; 1—Geological boundary; 2—Unconformity; 3—Granite contact line; 4—Greisen type tin deposit; 5—Altered granite type tin deposit; 6—Fractured zone alteration type tin deposit; 7—Greisen—quartz vein type tin deposit; 8—Suture zone; 9—Sampling site for molybdenite Re—Os dating

铅锌等矿化,其次级断裂可见钨锡铅锌矿脉。区内主要的钨锡多金属矿床分布于该组断裂间,显示该组断裂具有重要的控矿作用^[9]。

矿田内除露少量的震旦—寒武纪地层外,主要分布的是酸性岩浆岩,包括雪花顶岩体和金鸡岭复式岩体。根据岩石谱系单位划分为志留纪雪花顶、晚侏罗世金鸡岭和螃蟹木等3个超单元(图1)。其中金鸡岭和螃蟹木超单元的岩石演化最完全,与钨锡多金属成矿关系最密切。金鸡岭花岗岩 U—Pb 锆石 SHRIMP 年龄为 $(156 \pm 2) \text{Ma}$ ^[9]。岩性主要为微细—粗中粒斑状二(黑)云母二长花岗岩,晚期为细粒二云母二长花岗岩。Sn、W、F、Li、Rb、Be、Mo、Pb、Zn 等微量元素分别高出维氏值 2~25 倍。螃蟹木岩体为区内另一个重要的含钨锡岩体,位于金鸡岭岩体内部,二者之间呈侵入接触关系,但不存在淬冷边。章邦桐等^[10]认为其形成时代与金鸡岭岩体相近,获得 Rb—Sr 等时线年龄为 $150.7 \pm 2.8 \text{Ma}$,表明它们是燕山早期同一构造岩浆活动的产物。岩性为中细粒(二)黑云母花岗

岩。微量元素 Sn、W、F、Li、Rb、Bi、Mo、Pb、Zn 分别高出维氏值 2~780 倍^[9]。岩体内见辉绿岩脉,呈北北西向断续延伸,形成时代略晚于螃蟹木岩体,属晚侏罗世或早白垩世^①。

金鸡岭复式花岗岩(包括金鸡岭和螃蟹木岩体,下同)以富硅(75.00%~76.86%)、富碱(6.60%~8.88%)、贫镁(0.01%~0.19%)和钙(0.30%~0.93%)以及 FeO*/MgO 比值(7.32~86.50,平均 39.14)高为特征。其 $K_2O/Na_2O > 1$ 、 $NK/A = 0.70 \sim 0.92$ (平均 0.86)、 $A/CNK = 1.00 \sim 1.16$,属偏铝—过铝质钙碱—弱碱性岩石^[2,3]。在微量元素和同位素组成上,岩石富含 Ga、Th、Y、Zr、U、Nb 等大离子高场强元素及亏损 Ni、Cr、Eu、Ti、V、P、Sr 等元素。10000Ga/Al 比值(2.90~4.87,平均 3.34)明显高于世界 I 型(2.25)和 S 型花岗岩(2.39)对应值。在 Whalen 等^[11] 10000 Ga/Al—Zr、Nb、Ce、Y 以及 $Zr+Nb+Ce+Y$ 对 FeO*/MgO 和 $(Na_2O+K_2O)/CaO$ 等 A 型花岗岩多种判别图上,投影点落在 A 型花岗岩区,而与高分异的 I、S 花岗岩明显不同。锆石的饱和温度高(807~838℃)^[12],未见继承锆石。上述这些特征与广东南昆山^[13]、江苏苏州^[14]和国外澳大利亚^[15]Lachlan 褶皱带铝质 A 型花岗岩十分相似。因此,笔者认为金鸡岭复式花岗岩应为铝质 A 型花岗岩,而不是以前普遍认为的典型 S 型花岗岩^[2,4]。

3 矿床地质特征

矿床赋存在金鸡岭复式岩体内,矿化以锡为主,伴随有钨矿化。钨锡矿化以云英岩体型为主,其次为破碎带蚀变岩型、变花岗岩型和云英岩—石英脉型,矿体主要分布于 F₁ 与 F₅ 断裂间(图1)。

云英岩体型:主要由云英岩、石英脉等组成,其顶部往往发育透镜状伟晶岩脉。钨锡矿体呈板状、厚板状、脉状自上而下叠置呈层状分布于云英岩体中,产状与云英岩体具有一致性。矿化与云英岩化的强弱有关,云英岩、强云英岩化花岗岩常构成钨锡矿体,部分云英岩化、弱云英岩化花岗岩和正常花岗岩亦可构成矿体。矿体走向近 SN,向 E 或 W 倾斜,倾角为 10~45°,走向长度为 120~880 m。围岩蚀变具面状分布的特点,主要为云英岩化,其次见黄玉化、钠化、萤石化、钾化等。矿石按有用矿物含量分为锡矿石、钨矿石及钨锡矿石 3 种,三者矿体中互为过渡,没有截然界线。矿石具有鳞片变晶结构、自形—半自形粒状结构,块状构造、浸染状构造、细脉状构造。矿石主要由锡石、黑钨矿、铁锂云母、石英、钾长石、白云母、黄玉、黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿及铁闪锌矿等组成。锡石多呈浸染粒状分布于云英岩中,黑钨矿呈半自形板状及他形粒状分布于伟晶岩、石英脉及云英岩中。

云英岩—石英脉型:分布广泛,主要受区域性控矿断裂两侧的次级 NE 向剪切断裂带控制。矿体主要由石英脉及脉侧云英岩组成,产状与断裂带基本一致。走向 35~60°,倾向 SE,倾角 55~80°。矿脉规模一般不大,单脉长数十米至 1000 余

①湖南省地质矿产局. 1:5 万沱江镇幅和洪塘营幅区域地质调查报告,1993.

米,厚 0.10~1.20 m,倾斜延深数十米至 300 m。矿石矿物主要由石英、铁锂云母和锡石、黑钨矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿及黄铁矿等组成。锡石、黑钨矿多呈自形粒状近对称分布于石英脉两壁或呈细脉状充填于近脉壁横张裂隙中及石英脉角砾间。矿石具鳞片变晶结构、自形-半自形粒状结构,斑杂状构造、晶洞构造、角砾状构造、脉状构造等。围岩蚀变主要有云英岩化、钠化、钾化及铅锌矿、黄铁矿化等。

破碎带蚀变岩型: 主要分布在金鸡岭与螃蟹木超单元接触带附近。受近 SN 向断裂破碎带控制,规模较大,矿化较好。矿脉由蚀变花岗岩、伟晶岩脉、云英岩脉、构造角砾岩等组成,沿走向与伟晶岩脉呈渐变过渡关系,显示矿脉与岩浆活动之间的内在成因联系^[9]。伟晶岩脉往往破碎成角砾状,黑钨矿、锡石多呈粗大自形晶充填于角砾间。矿脉倾向 E-SEE 向,倾角较陡 (72~86°),矿脉平均厚 1.07~1.70 m,Sn 平均品位 0.18%~1.497%,WO₃ 含量为 0.04%~0.53%。

变花岗岩型: 主要分布于区域性控矿断裂 F3 与 F5 间螃蟹木与金鸡岭超单元接触带,受层节理带控制,呈面状展布。接触带处花岗岩蚀变强烈,形成含钨锡钠长石化黄玉化花岗岩,构成矿体,其顶部见透镜状含钨锡伟晶岩。矿体产状较平缓,倾角一般 5~20°;矿体厚 1.30~20.60 m,Sn 平均品位 0.09%~0.41%,WO₃ 为 0.10%~0.21%。矿石具鳞片花岗岩变晶结构,斑杂状构造,矿石矿物为锡石、黑钨矿,脉石矿物为石英、钠长石、黄玉及黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿等。

矿体厚度及 Sn、WO₃ 品位沿走向及倾向均变化较大。沿走向,单条矿脉两个样品之间的品位相差可达十多倍,甚至

几十倍;沿厚度方向,脉幅与品位表现为正相关;沿倾向,矿石品位一般上部高,往下逐渐降低,且 Sn、WO₃ 品位呈明显的负相关,具有上部富钨,下部富锡的特点。

4 Re-Os 同位素定年

4.1 分析方法

用于同位素测年的样品(样号 05DA6-3)采自九嶷山大坳云英岩-石英脉型钨锡矿。地理坐标为北纬 25°13'09.5";东经 111°53'41.9"。辉钼矿是用刀片及骨针等小工具直接从手标本上挑选的。辉钼矿从手标本上剥离后在实体显微镜下做进一步的检查与选纯,送测试样品纯度达 98%以上。

Re-Os 同位素分析测试工作在国家地质实验测试中心完成,采用 Carius 管封闭溶样分解样品,样品分解以及 Re 和 Os 的分离等化学处理过程见参考文献^[11-13]。

采用美国 TJA 公司生产的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。从分析结果(表 1)可以看出分析质量是比较好的。

4.2 分析结果

从辉钼矿的 Re-Os 同位素分析结果(表 2)可以看出,辉钼矿模式年龄为 151.0~161.1 Ma,在误差范围内近于一致。用 Isoplot 软件计算了所测 6 个点的等时线年龄(图 2)和模式年龄的加权平均值,结果分别为 (151.3±2.4)Ma(MSWD=9.6)和 (153.3±3.2)Ma(MSWD=2.7),两者在误差范围内是一致的。等时线年龄及加权平均模式年龄都比较可靠。等时线的截距为 0.0031±0.0059,接近 0 点,说明辉钼矿中不存在普通

表 1 Re-Os 同位素标样分析结果

Table 1 Re-Os isotope analysis data for reference materials

标准名称		Re(μg/g)		¹⁸⁷ 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
GBW04435(HLP)	测定值	279.010	3.197	647.6	5.4	221.2	3.6
	证书值	283.8	6.2	659.0	14	221.4	5.6

表 2 九嶷山大坳云英岩-石英脉中辉钼矿的 Re-Os 同位素组成

Table 2 Re-Os isotopic composition of molybdenite in greisen-quartz veins from the Da'ao ore district, Jiuyi Mountains

原样名	Re ng/g		C 普 Os ng/g		¹⁸⁷ Re ng/g		¹⁸⁷ 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
05DA6-3-1	107.43	0.82	0.0016	0.0009	67.53	0.51	0.1734	0.0017	154.0	2.3
05DA6-3-2	331.66	2.70	0.0001	0.0007	208.47	1.69	0.5359	0.0045	154.1	2.2
05DA6-3-3	1174.56	9.21	0.002	0.0011	738.28	5.79	1.859	0.0139	151.0	2.0
05DA6-3-4	98.42	0.75	0.0001	0.0009	61.86	0.47	0.1564	0.0015	151.6	2.2
05DA6-3-5	57.71	0.44	0.0082	0.0002	36.27	0.28	0.0975	0.0016	161.1	3.1
05DA6-3-6	29.33	0.42	0.0009	0.0013	18.44	0.26	0.0468	0.0008	152.1	3.6

注:Re、Os 含量的不确定度为绝对误差,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%。模式年龄通过下列公式计算得到: $t = \frac{1}{\lambda} \ln(1 + \frac{^{187}\text{Os}}{^{187}\text{Re}})$ 其中 λ 是 ¹⁸⁷Re 的衰变常数, $\lambda = 1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$ 。

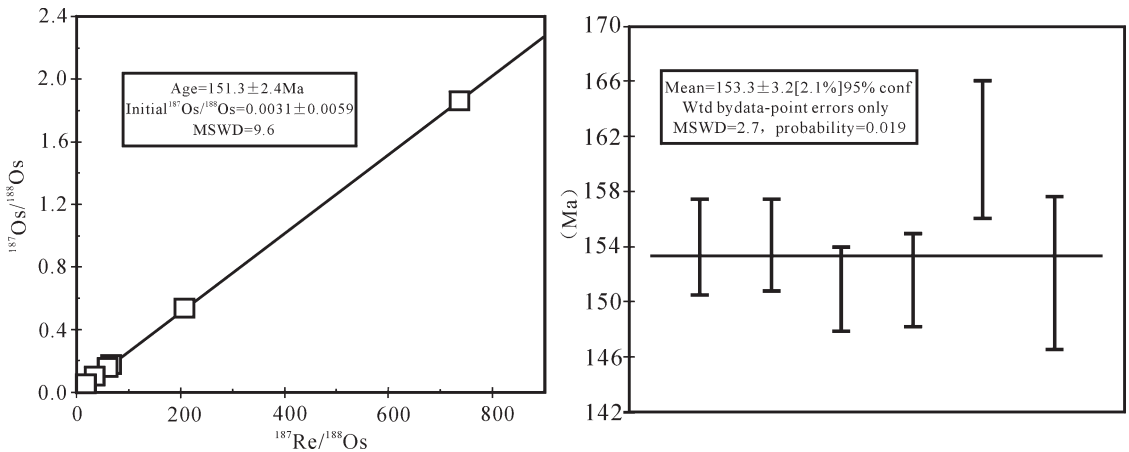


图2 大坳云英岩-石英脉型钨锡矿中辉钨矿的 Re-Os 等时线与模式年龄加权平均图
Fig.2 Re-Os isochron diagram and weighted average of model ages in the tungsten-tin ore of the Da'ao greisen-quartz vein type tungsten-tin deposit

钨, ^{187}Os 都是 ^{187}Re 的衰变产物, 这符合计算模式年龄的条件。因而也说明了所获得的模式年龄也是有效的。

5 讨论与结论

5.1 成矿时代

到目前为止, 九嶷山地区还没有可靠的成矿年龄数据, 以往所确定的成矿年龄都是根据相关岩体的同位素年龄来推定的。本次测定的辉钨矿的 Re-Os 同位素年龄是对成矿时代的有效限定。测定结果表明, 成矿时代 ($151.3 \pm 2.4 \text{ Ma}$) 与成岩年龄 ($150 \sim 156 \text{ Ma}$)^[1-4] 在误差范围内完全一致。证明二者应形成于统一的背景条件下。

5.2 地质意义

(1) 近年来, 南岭地区利用 Re-Os 同位素测年法已获得了一些钨锡矿的成矿年龄数据。如湖南锡田钨多金属矿、广东石人嶂和师姑山钨锡矿分别为 (150.0 ± 2.7)Ma、(159.1 ± 2.2)Ma 和 (154.2 ± 2.7)Ma^①; 湖南宝山铜-钨多金属矿床为 160 Ma ^[15]; 江西淘锡坑钨矿为 (154.4 ± 3.8)Ma^[16]; 湖南柿竹园钨锡铋多金属矿为 (151.1 ± 3.5)Ma^[17]; 湖南瑶岗仙钨矿为 (154.9 ± 0.4)Ma^[18]。另外, 还有一大批高精度的 Ar-Ar 测年结果, 毛景文等^[19] 获得骑田岭芙蓉锡矿田中山门口和淘锡窝云英岩锡矿石中白云母和新田岭钨矿床中矽卡岩退化蚀变岩的铁云母的 Ar-Ar 坪年龄分别为 (156.1 ± 0.4)Ma、(160.1 ± 0.9)Ma 和 (156.1 ± 0.4)Ma; 瑶岗仙钨矿含石英脉中金云母和白云母的 Ar-Ar 坪年龄分别为 (153.0 ± 1.1)Ma 和 (155.1 ± 1.1)Ma^[18]; 毛景文等^[20] 获得柿竹园矿区的云英岩矿脉云母的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄为 (153.4 ± 0.2)Ma; Yuan Shunda 等^[21] 对香花岭锡多金属矿的成矿年代学研究表明, 尖峰岭、香花铺和塘官铺云英岩

型锡矿床中白云母 Ar-Ar 坪年龄分别为 (158.7 ± 1.2)Ma、(161.3 ± 1.1)Ma 和 (154.4 ± 1.1)Ma。上述的成矿年龄数据表明, $150 \sim 160 \text{ Ma}$ 年龄可能为南岭地区中生代大规模成矿作用的高峰期。值得注意的是, 该时间段正好也是南岭地区花岗岩形成的高峰期^②, 这一特征显示成矿与成岩时代的一致性。九嶷山钨锡矿床正是这一大规模成岩成矿作用高峰期的产物。

(2) 传统观点^[22-24] 认为华南花岗岩主要为壳源重融型 S 型花岗岩, W、Sn 等多金属矿床与这类花岗岩关系密切。金鸡岭复式花岗岩在岩石地球化学特征上与典型的 S 型花岗岩明显不同, 而具有 A 型花岗岩的特征^[2-4]。从南岭地区来看, 与大型-超大型 W、Sn 矿床有关的花岗岩大部分具有 A 型花岗岩的特点, 如骑田岭^[25]、花山-姑婆山^[26]、千里山^[27]等。因此, 对花岗岩成因类型的重新认识, 有助于指导区域找矿勘查工作。

致谢: 野外工作得到了湖南省地质矿产局 418 队刘树生高级工程师、曾志方高级工程师、陈文辉高级工程师的帮助, 在此致以衷心的感谢。

参考文献 (References):

- [1] 章邦桐, 戴永善, 王驹, 等. 南岭西段金鸡岭复式花岗岩地质及岩浆动力学特征[J]. 高校地质学报, 2001, 7(1):50-61.
Zhang Bangtong, Dai Yongshan, Wang Ju, et al. Geology and magma-dynamical features of Jinjiling composite granitic batholith in the western Nanling region [J]. Geological Journal of China Universities, 2001, 7(1):50-61(in Chinese with English abstract).
- [2] 付建明. 华南骑田岭-九嶷山地区燕山早期花岗岩类与壳-幔相互作用[D]. 中国地质大学(武汉), 2005, 114.
Fu Jianming. The early Yanshanian granitoids of Qitianling - Jiuyishan area, south China: implication for crust-mantle

① 中国地质调查局项目“南岭地区锡矿成矿规律研究”资料(未发表), 2007.

② 付建明, 刘云华, 魏君奇, 等. “南岭地区锡矿成矿规律研究”中期成果报告, 2006.

- interaction [D]. China University of Geosciences (Wuhan). 2005, 114(in Chinese with English abstract).
- [3] 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 湖南金鸡岭铝质 A 型花岗岩的厘定及构造环境分析[J]. 地球化学, 2005, 34 (3):215-226.
Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, et al. Ascertainment of the Jinjiling A-type granite, Hunan Province and its tectonic setting[J]. Geochimica, 2005, 34 (3):215-226(in Chinese with English abstract).
- [4] 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 湖南九嶷山复式花岗岩体 SHRIMP 锆石定年及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(4):370-378.
Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of the Jiuyishan composite granite in Hunan and its geologic significance [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004, 28(4): 370-378(in Chinese with English abstract).
- [5] 曾志方, 曾永红, 刘大勇. 湖南大坳钨锡矿区构造控矿规律及其在找矿中的应用效果[J]. 矿产与地质, 2005, 19(1):18-24.
Zeng Zhifang, Zeng Yonghong, Liu Dayong. Ore controlling regularities of structure in Da'ao tungsten and tin ore field and application effect in ore prospecting [J]. Mineral Resources and Geology, 2005, 19(1):18-24(in Chinese with English abstract).
- [6] 刘树生, 贾宝华, 曾志方. 九嶷山锡矿田矿床地质特征及矿床成因[J]. 华南地质与矿产, 2005, (2):39-44.
Liu Shusheng, Jia Baohua, Zeng Zhifang. Geological characteristics and origin of the Jiuyishan tin orefield in Nanling region [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2005, (2):39-44 (in Chinese with English abstract).
- [7] Whalen J B, Carrie K L, Chappell B W. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1987, 95:407-419.
- [8] 刘昌实, 陈小明, 王汝成, 等. 广东龙口南昆山铝质 A 型花岗岩的成因[J]. 岩石矿物学杂志, 2003, 22(1):1-10.
Liu Changshi, Chen Xiaoming, Wang Rucheng, et al. Origin of Nankunshan aluminous A-type granite, Longkou County, Guangdong Province[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2003, 22 (1):1-10(in Chinese with English abstract).
- [9] 邱检生, 王德滋, 蟹泽聪史, 等. 福建沿海铝质 A 型花岗岩的地球化学及岩石成因[J]. 地球化学, 2000, 29(4):313-321.
Qiou Jiansheng, Wang Dezi, Satoshi Kanisawa, et al. Geochemistry and petrogenesis of A-type granites in the coastal area of Fujian Province [J]. Geochimica, 29(4):313-321(in Chinese with English abstract).
- [10] Pearce J A, Harris P N, Trindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. J Petrol, 1984, 25:956-983.
- [11] Shirey S B, Walker R J. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis[J]. Anal Chem, 1995, 67:2136-2141.
- [12] 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 等. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿-钨同位素地质年龄[J]. 岩矿测试, 2001, 20(4):247-252.
Du Andao, Zhao Dunmin, Wang Shuxian, et al. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with carius tube sample preparation[J]. Rock and Mineral Analysis, 2001, 20(4):247-252(in Chinese with English abstract).
- [13] 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钼矿-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).
- [14] Smoliar M L, Walker R J, Morgan J W. Re-Os ages of group II A, III a, IV A and VI B iron meteorites. Science, 1996, 271:1099-1102.
- [15] 路远发, 马丽艳, 屈文俊, 等. 湖南宝山铜-钼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 (10):2483-2492.
Lu Yuanfa, Ma Liyan, Qu Wenjun, et al. U-Pb and Re-Os isotope geochronology of Baoshan Cu-Mo polymetallic ore in Hunan Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (10):2483-2492(in Chinese with English abstract).
- [16] 陈郑辉, 王登红, 屈文俊, 等. 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, 2006, 25(4):496-501.
Chen Zhenghui, Wang Denghong, Qu Wenjun, et al. Geological characteristics and mineralization age of the Taosikeng tungsten deposit in Chongyi County, southern Jiangxi Province, China [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (4):496-501 (in Chinese with English abstract).
- [17] 李红艳, 毛景文, 孙亚利. 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(3):261-267.
Li Hongyan, Mao Jingwen, Sun Yali. Re-Os isotopic chronometry of molybdenite in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit, southern Hunan [J]. Geol Rev, 1996, 42:261-267 (in Chinese with English abstract).
- [18] Peng Jiantang, Zhou Meifu, Hu Ruizhong, et al. Precise molybdenite Re-Os and mica Ar-Ar dating of the Mesozoic Yaogangxian tungsten deposit, central Nanling district, South China [J]. Miner Deposita, 2006, 41:661-669.
- [19] 毛景文, 李晓峰, Bernd Lehmann, 等. 湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其地球动力学意义[J]. 矿床地质, 2004, 23(2):164-175.
Mao Jingwen, Li Xiaofeng, Bernd Lehmann, et al. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of tin ores and related granite in Furong tin orefield, Hunan Province, and its geodynamic significance [J]. Mineral Deposits, 2004, 23(2):164-175(in Chinese with English abstract).
- [20] 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 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, 2004, 11(2):45-56.
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(1):45-56(in Chinese with English abstract).
- [21] Yuan Shunda, Peng Jiantang, Shen Nengping, et al. ^{40}Ar - ^{39}Ar isotopic dating of the Xianghualing Sn-polymetallic orefield in southern Hunan and its geological implications [J]. Acta Geologica

- Sinica, 2007(in press).
- [22] 地质矿产部南岭项目花岗岩专题组. 南岭花岗岩地质及其成因和成矿关系[M]. 北京:地质出版社, 1989.
- Granitoid Research Group of Nanling Project. Geology of Granitoids of Nanling Range and Their Petrogenesis and Mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989(in Chinese).
- [23] 涂光炽, 等. 中国超大型矿床(I)[M]. 北京:科学出版社, 2000:584.
- Tu Guangchi, et al. Super-large Ore Deposits in China (I) [M]. Beijing: Science Press, 2000:584(in Chinese).
- [24] 陈毓川, 裴荣富, 张宏良, 等. 南岭地区与中生代花岗岩有关的有色及稀有金属矿床地质[M]. 北京:地质出版社, 1989:508.
- Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Zhang Hongliang, et al. The geology of nonferrous and rare metals related with the Mesozoic granitoid in the Nanling Region [M]. Beijing: Geological Publishing House. 1989:508(in Chinese).
- [25] 柏道远, 陈建超, 马铁球, 等. 湘东南骑田岭 A 型花岗岩的地球化学特征及其构造环境[J]. 岩石矿物学杂志, 2005, 24(4):256-272.
- Bai Daoyuan, Chen Jianchao, Ma Tieqiu, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of Qitianling A-type granitic pluton in southeast Hunan [J]. Acta Petrologica et Mineralogica. 2005, 24 (4):256-272(in Chinese with English abstract).
- [26] 朱金初, 张佩华, 谢才富, 等. 南岭西段花山-姑婆山 A 型花岗岩杂岩带: 岩石学、地球化学和岩石成因[J]. 地质学报, 2006, 80 (4):529-541.
- Zhu Jinchu, Xie Caifu, Zhang Peihua, et al. The Huashan - Guposhan A-type granitoid belt in the western part of the Nanling Mountains: petrology, geochemistry and genetic interpretations [J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 49 (3):245-252 (in Chinese with English abstract).
- [27] 赵振华, 包志伟, 张伯友, 等. 柿竹园超大型钨多金属矿床形成的壳幔作用背景[J]. 中国科学(D), 2000, 30(增刊):161-168.
- Zhao Zhenhua, Bao Zhiwei, Zhang Boyou, et al. Crust-mantle interaction and its contribution to the Shizhuyuan superlarge tungsten polymetallic mineralization [J]. Science in China(D), 2000, 30(suppl): 161-168(in Chinese).

Re-Os isotope dating of the Da'ao tungsten-tin deposit in the Jiuyi Mountains, southern Hunan Province

FU Jian-ming¹, LI Hua-qin¹, QU Wen-jun², YANG Xiao-jun¹, WEI Jun-qi¹,
LIU Guo-qing¹, MA Li-yan¹

(1. *Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, Hubei, China;*
2. *National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China*)

Abstract: The Da'ao tungsten-tin deposit in the Jiuyi Mountains, southern Hunan, is closely related to the Jinjiling composite granite which has the characteristics of aluminous A-type granite. The deposit types include the greisen type, altered granite type, fractured zone alteration type and greisen-quartz vein type. Based on the precise Re-Os dating of molybdenite from the ore-bearing greisen-quartz vein, a mineralization age of 151.3 ± 2.4 Ma was obtained, which is consistent with the formation age (151-156 Ma) of granite, suggesting that the mineralization occurred simultaneously with the rock formation. An integrated analysis and comparison of highly precise mineralization ages obtained on a regional scale shows that the period of 150-160 Ma was the peak stage of Mesozoic large-scale mineralization in the Nanling region and that the Da'ao tungsten-tin deposit in the Jiuyi Mountains is just the product of this peak stage. The new data provide important isotope chronological evidence for the further study of the regional metallogenic characteristics and guidance of regional mineral prospecting.

Key words: tungsten-tin deposit; greisen-quartz vein; molybdenite Re-Os dating; Da'ao, southern Hunan Province

About the first author: FU Jian-ming, male, born in 1964, professor and doctor, engages in the study of geochemistry; E-mail: ycfjianmin@cgs.gov.cn.