

文章编号:0258-7106(2004)02-0164-12

# 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\*

毛景文<sup>1</sup> 李晓峰<sup>1</sup> Bernd Lehmann<sup>2</sup> 陈文<sup>3</sup> 蓝晓明<sup>4</sup> 魏绍六<sup>4</sup>

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 Institute of Mineralogy and Mineral Resources, Technical University of Clausthal, 38678 Clausthal-Zellerfeld, Germany; 3 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 4 湖南省地质矿产局湘南地质调查院, 湖南 郴州 423000)

**摘要** 在研究和介绍湖南芙蓉锡矿床地质特征的基础上,对云英岩型锡矿石中的白云母和与成矿有关的骑田岭角闪黑云花岗岩中的黑云母进行了 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年龄测定,获得角闪黑云花岗岩的坪年龄为 $(157.5 \pm 0.3) \text{ Ma}$ ;三门云英岩锡矿石的坪年龄为 $(156.1 \pm 0.4) \text{ Ma}$ ;淘洗窝云英岩锡矿石的坪年龄 $(160.1 \pm 0.9) \text{ Ma}$ 。这 3 组测年数据很一致,不仅精确地反应出成岩成矿的时间限制,而且表明了花岗岩成岩与锡矿成矿的密切关系。此外,三组数据坪年龄一致显示出,在成岩成矿之后矿体未受到后期热事件的扰动。芙蓉锡矿床是湘南大型钨锡多金属矿集区的组成部分,也是华南地区中生代钨锡成矿两大高峰期之一的 160~135 Ma 期间形成的代表性矿床,可能为中国东部地球动力学体制调整时晚期岩石圈减薄过程中的产物。

**关键词** 地球化学 Ar-Ar 年龄 云母 锡矿床 芙蓉 湖南省

中图分类号: P618.44; P597+.3

文献标识码: A

湖南芙蓉锡矿是中国近年新探明的一个大型锡矿床,以砷卡岩-云英岩-绿泥石型矿化为主。芙蓉矿田包括白蜡水、麻子坪和山门口 3 个矿床,位于郴州市西南约 40 km 处。湘南地质调查院在 1:5 万地质调查的基础上,于 1996 年在进行异常查证时发现了此矿床,进而开展综合普查,确认它为工业性矿床(许以明等,2000)。经过近几年的勘查,初步探明它的锡矿资源为 60 多万吨(魏绍六等,2002),进一步的勘查工作正在进行之中。

近几年来,不少在第一线从事地质勘查的地质工作者对芙蓉矿田的地质特征进行了报道(魏绍六等,2002;黄革非等,2001;蔡锦辉等,2002),并开展了初步的成矿作用研究(王登红等,2003)和矿产资源预测研究(陈民苏等,2000),还总结了骑田岭花岗岩体的基本特征(郑基俭等,2001;徐惠长等,2002),测定了骑田岭花岗岩体的成岩时代(刘义茂等,2002;付建明等,2004)。本文在前人研究的基础上,通过野外考察,利用云母 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  方法厘定芙蓉锡

矿床的成矿时代,进而探讨其成矿的地质背景。

## 1 地质特征

芙蓉矿田位于炎陵-郴州-蓝山北东向构造岩浆带与郴州-邵阳北西向构造岩浆带的交汇部位,大地构造位置属于华南古生代褶皱系湘南-桂东拗陷的东部,向东毗邻赣南-粤北隆起。区域构造以北东向为主导,茶陵-临武和资兴-长城岭是 2 条最重要的深大断裂(图 1),还有一系列与之平行的褶皱和断裂。地球物理调查(童潜明等,1995)表明,区内存在 2 条重力梯级带,北部为郴州-临武带,南部与资兴-长城岭大断裂相吻合(图 1)。此外,从重磁资料推断,湘南地区还存在东西向和北西向基底断裂(图 1),它们对于成岩成矿也具有制约作用。

芙蓉锡矿床出现于骑田岭花岗岩体的南部接触带,出露地层比较简单,主要为石炭系、二叠系和白垩系(图 2)。石炭系下统关岩组为碳酸盐岩夹粉砂

\* 本文受国家基础研究规划项目(编号:G19990432116 和 G1999043211)资助

第一作者简介:毛景文,男,1956 年生,博士,研究员,长期从事矿床地质和地球化学研究工作。Email: Jingwenmao@263.net。

收稿日期 2003-12-12; 改回日期 2004-03-04。张绮玲编辑。

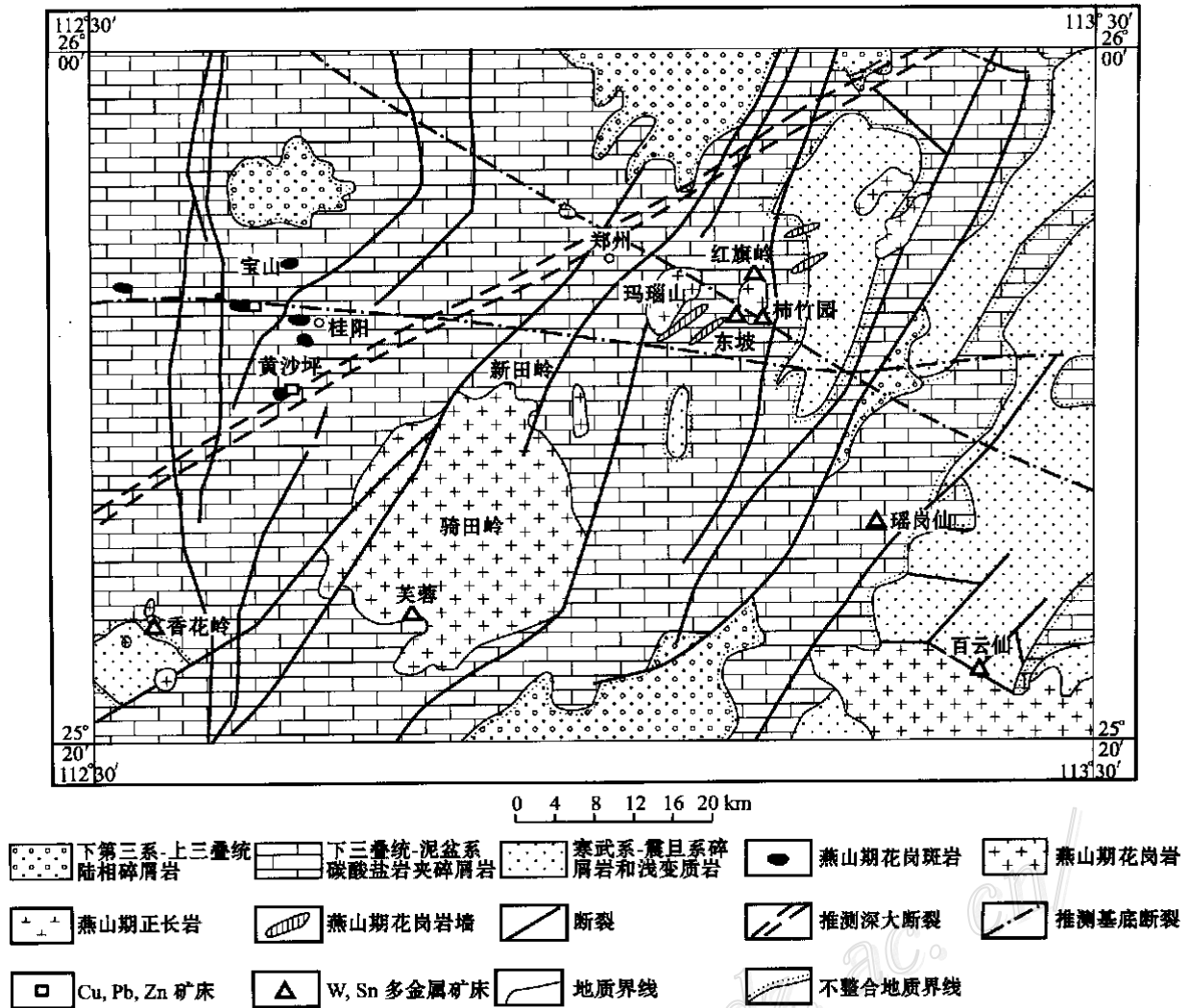


图 1 湘南大型 W-Sn-Mo 多金属矿集区的地质和矿产分布及其芙蓉锡矿床的位置  
(据湖南地质矿产局湘南地质勘查院, 2002 修改)<sup>①</sup>

Fig.1 Geological map of the W-Sn-Mo polymetallic ore concentration area of Hunan, showing the location of the Furong tin deposit (after Geological Survey of South Hunan, Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources, 2002)

质页岩和钙质页岩;大塘组含大量生物碎屑泥晶灰岩、灰云岩、云灰岩和砂岩,及页岩和薄层不稳定煤层;中统黄龙组为厚层白云岩。石炭系上统船山组为厚层-巨厚层状泥晶-细晶灰岩和白云岩。二叠系下统栖霞组为海湾相铁锰硅质岩、硅质页岩和钙质页岩;上统龙潭组为海陆交互相长石石英砂岩、粉砂岩及碳质页岩。二叠系下统栖霞组和石炭系下统大塘组碳酸盐岩为主要赋矿层位。白垩系为典型的陆相红色河湖相磨拉石碎屑岩建造,以角度不整合覆盖于石炭系和二叠系之上。

在进行 1:5 万地质填图时,将面积 520 km<sup>2</sup> 的骑田岭花岗岩体分为东部的菜岭超单元和其余的芙蓉超单元,并初步厘定或推测它们分别为印支期和燕山期的产物<sup>②</sup>(黄革非,1992)。由于受测试技术的限制,以往使用单矿物和全岩 K-Ar 法,全岩 Rb-Sr 等时线法和锆石-独居石 U-Pb 法测得 25 组年龄数据,显示出宽广的变化范围,即 75 ~ 258 Ma(黄革非,1992;郑基俭等,2001)。但是,最近刘义茂等(2002)对骑田岭岩体用<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 方法测年,发现其成岩时代为(139.6 ± 2.8) Ma ~ (156.9 ± 3.1) Ma,

① 湖南省地质矿产局湘南地质队. 1991. 1:5 万永春-宜章幅区调报告.

② 湖南省地质矿产局湘南地质调查院. 2002. 湖南郴州骑田岭芙蓉矿田超大型锡多金属矿床简介.(内部资料).

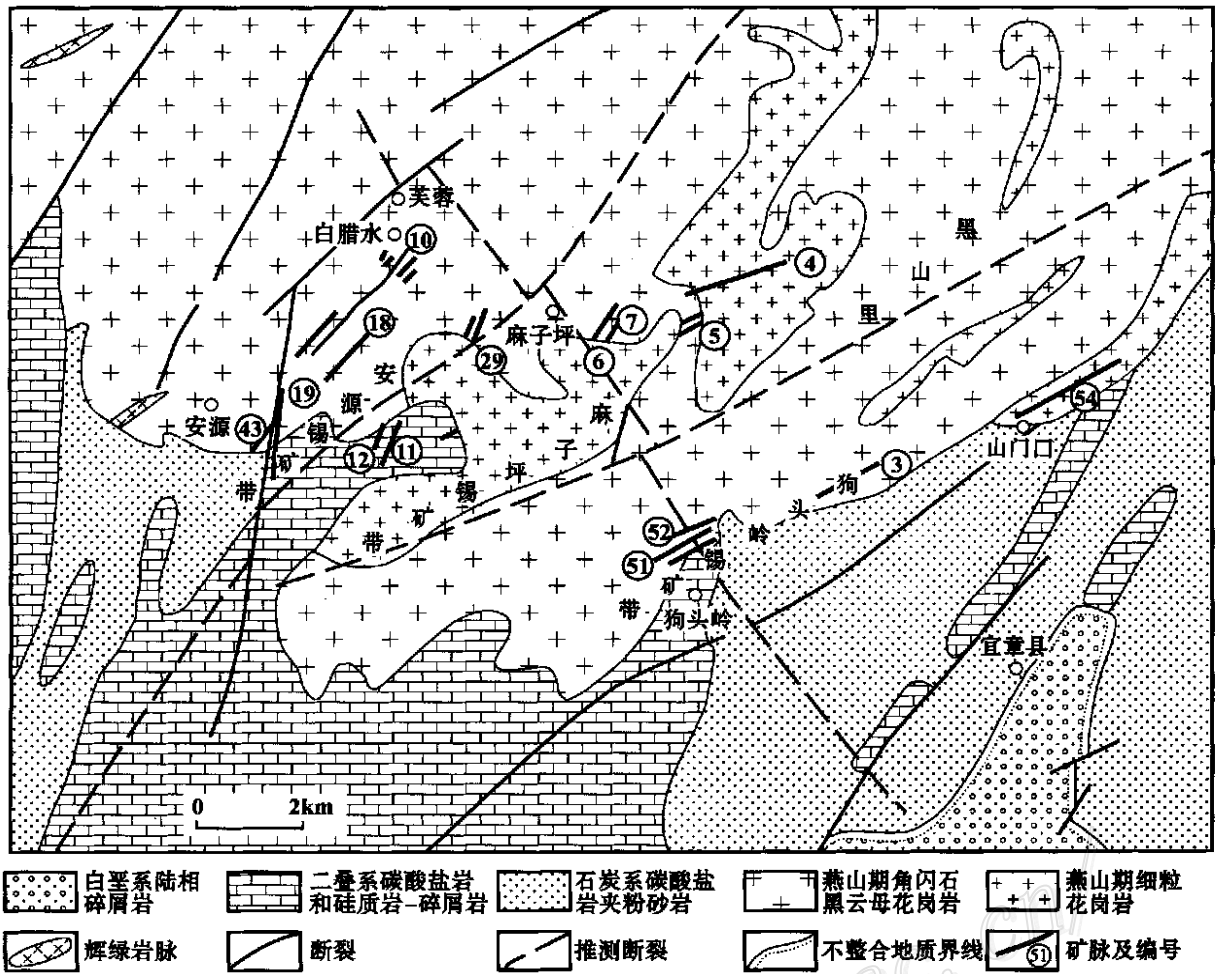


图2 芙蓉锡矿床地质略图 (据湖南地质矿产局湘南地质勘察院, 2002 修改) <sup>①</sup>

Fig.2 Sketch map of the Furong tin ore district ( modified after Geological Survey of South Hunan, Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources, 2002)

付建明等(2004)使用SHRIMP锆石U-Pb方法对莱岭超单元进行了测年,获得了(160±2)Ma的数据,表明花岗岩侵位于晚侏罗世-早白垩世。从岩石学来看,主岩体为角闪黑云二长花岗岩或角闪黑云花岗岩,主要造岩矿物为钾长石、斜长石、石英、角闪石和黑云母,副矿物有磁铁矿、钛铁矿、锆石、钼石和磷灰石。花岗斑岩岩墙和细粒黑云母花岗岩小岩体叠加在大岩基上,岩性为黑云母花岗岩,其矿物组合除了缺少角闪石外,其余主矿物和副矿物与主岩体相同。这两类岩石都是地壳重熔形成的过铝花岗岩,锶初始值( $I_{Sr}$ )为0.7087~0.7146,稀土元素球粒陨石标准化图形以略右倾和强烈钨亏损为特征(童潜明等,1995),与柿竹园的千里山岩体、瑶岗仙和香花

岭岩体的特征基本类似。

## 2 矿化蚀变特征

目前,在芙蓉矿田已经发现40多条矿脉<sup>②</sup>,这些矿脉基本上成群产出,构成白腊水-安源、黑山里-麻子坪和山门口-狗头岭3个锡矿带(图2)。尽管前人在芙蓉矿床中鉴定出7~8种矿化类型,但是构成主要工业矿体的矿化类型为矽卡岩型、绿泥石型和云英岩型。白腊水-安源带以矽卡岩化和绿泥石化为特征,而黑山里-麻子坪带和山门口-狗头岭带则主要为云英岩化。从已经探明的储量来看,以第一个成矿带为主,而在该带中,90%以上的锡集中在19号、10号和35号矿体中(图3)。以19号矿脉和10号

① 湖南省地质矿产局湘南地质队. 1991. 1:5万永春-宜章幅区调报告.

② 湖南省地质矿产局湘南地质调查院. 2002. 湖南郴州骑田岭芙蓉矿田超大型锡多金属矿床简介.(内部资料).

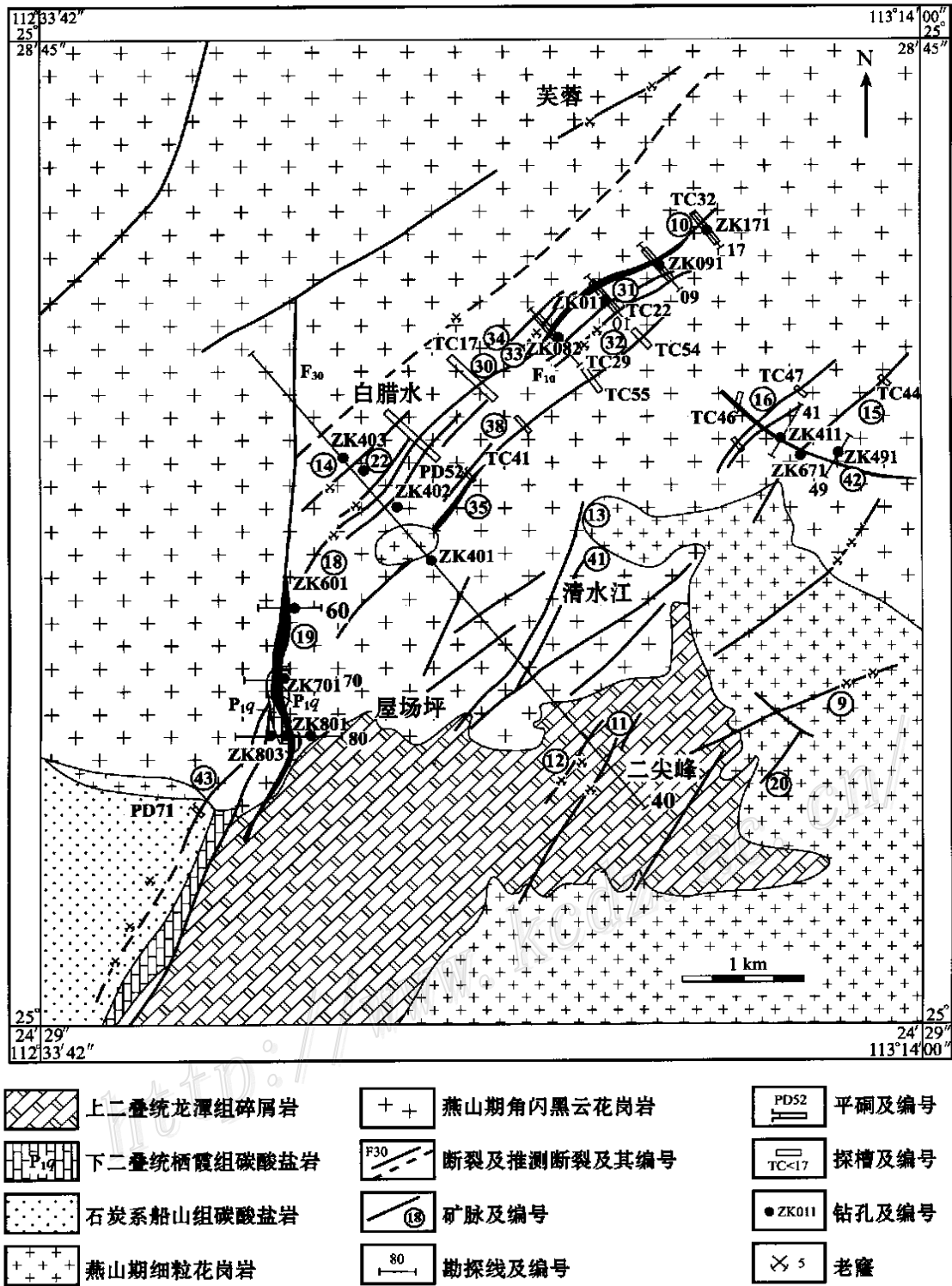


图 3 白腊水-安源锡矿带地质图 (据湖南地质矿产局湘南地质调查院, 2002 修改) <sup>①</sup>

Fig. 3 Geological map of the Bailashui-Anyuan tin ore zone in the Furong ore district (modified after Geological Survey of South Hunan, Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources, 2002)

① 湖南省地质矿产局湘南地质调查院. 2002. 湖南郴州骑田岭芙蓉矿田超大型锡多金属矿床简介. (内部资料).

矿脉最具有代表性,具体特点如下:

19号矿脉:为区内最大一条矿脉,位于白蜡水-安源矿带,也是矽卡岩矿化的代表。矿化发育于二叠系栖霞组碳酸盐岩残盖与岩体的接触部位,明显受一组近南北向断裂的控制,矿化蚀变带沿断裂向深部延长(图4)。矿体长1340m,向东倾斜75~80°,宽度50~150m,延伸100~200m。锡品位平均为0.7%,最高可至21%,控制储量约26万吨<sup>①</sup>。在接触带,内外矽卡岩都比较发育。由透辉石-钙铁辉石、钙铁榴石-钙铝榴石、符山石和硅灰石组成的外矽卡岩,在原生矽卡岩矿物之间充填石英和萤石等。内矽卡岩以绿帘石和钾长石为主,还有少量透辉石和钙铝榴石,并呈现出分带现象,以绿帘石为主的蚀变带在接触带附近,向下逐渐变成以钾长石集合体为主。原生矽卡岩的退化蚀变作用十分明显,蚀变矿物组合为绿云母、透闪石-阳起石、黑云母、绿泥石、方解石、萤石和石英,局部形成比较纯的绿云母岩石。矿化主要出现于退化蚀变阶段,金属矿物有锡石、磁铁矿及少量黄铜矿和方铅矿。

10号矿脉:也位于白蜡水-安源矿带,是区内第二大矿脉。发育于岩体之内,受北东向断裂的控制,矿化并非呈典型脉体产出,而是沿断裂交代花岗岩

而成,是一种破碎蚀变岩型矿化类型。矿脉长1320m,平均厚度14m,走向NE45~60°,倾向南东。该矿脉的显著特征是广泛发育绿泥石,绿泥石从交代花岗岩中的黑云母和角闪石开始,然后沿长石的解理进行交代,从矿脉中心向两边,交代强度降低。除了绿泥石外,还有少量的绢云母、石英和萤石。在显微镜下观察,发现蚀变从绢云母化开始,逐渐变成以绿泥石化为主,在局部可以看到被绿泥石交代的透辉石。金属矿物以锡石为主,还有少量方铅矿、闪锌矿和黄铁矿。锡矿化与绿泥石化呈现出密切的关系。

相对于白蜡水-安源矿带,黑山里-麻子坪和山门口-狗头岭2个矿带的已探明矿石规模比较小,进一步的找矿评价正在开展之中。在这2个带中,主要矿化为云英岩型,其次为矽卡岩型。成矿围岩基本上都是含角闪石黑云母花岗岩,云英岩化沿NE向断裂发育。不像江西洪水寨和湖南柿竹园含矿云英岩脉那样与围岩有明显的界线,这里的云英岩化沿断裂向两侧的花岗岩进行交代,与围岩呈现出渐变关系。云英岩的主要矿物组合为白云母或绢云母和石英,两者之间的比例变化较大,从以云母为主到以石英为主。个别云英岩含有一定量的绿泥石,局部

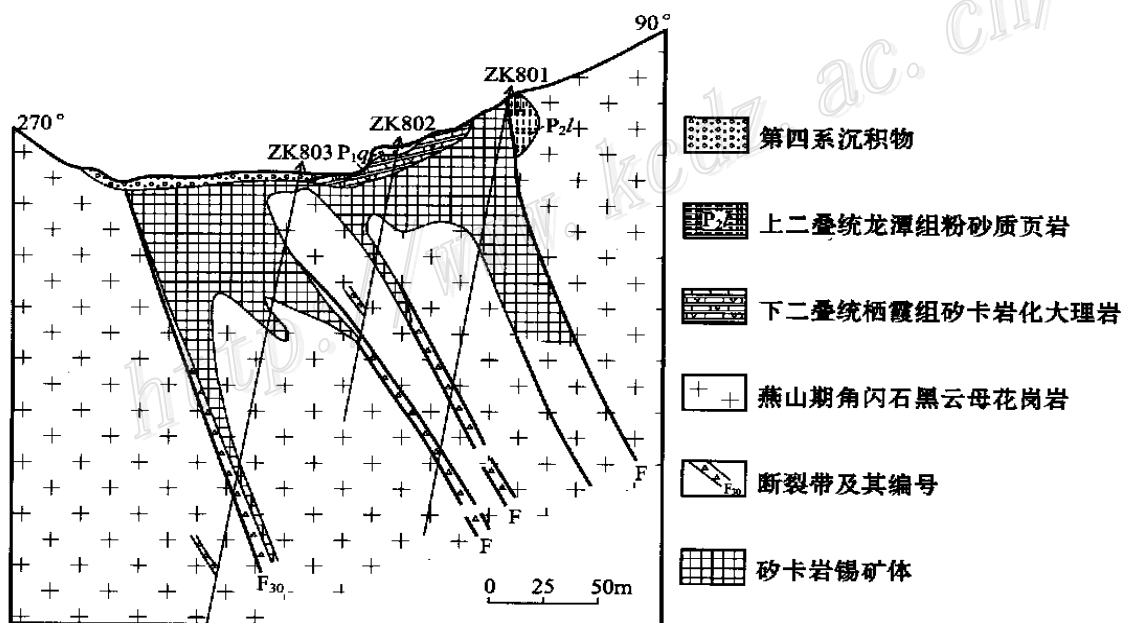


图4 19号矿脉第80线勘探剖面图(据魏绍六等,2002修改)

Fig.4 No. 19 exploration line in the Bailashui tin deposit of the Furong tin ore district (modified after Wei et al., 2002)

① 湖南省地质矿产局湘南地质调查院. 2002. 湖南郴州骑田岭芙蓉矿田超大型锡多金属矿床简介.(内部资料).

可以看到绿泥石含量大于白云母。此外,还有少量萤石、电气石、锡石和黄铁矿。矽卡岩型矿石出现在花岗岩体与二叠纪栖霞组灰岩的接触带内,与 19 号矿体类似,矽卡岩也是一套钙质矽卡岩,随之出现退化蚀变与锡矿化。但是,这 2 个带中的矽卡岩型矿化与云英岩型矿化相比,微不足道。

### 3 分析样品和取样位置

本次研究采集了 3 件样品进行测试。为了保证测试结果的可信度,在采样过程中力求获得新鲜样品,并采集可以精确测年的云母类(包括白云母和黑云母)样品。由于绝大多数矿体产在主岩体内部或内外接触带,仅采集了一件角闪黑云花岗岩。当地政府正在开凿芙蓉乡至锡矿的穿山洞,建造发电站,使笔者有幸采集到新鲜的花岗岩样品。花岗岩的主要组成有条纹长石、斜长石、石英和黑云母,可以见到斜长石被包裹在条纹长石之中。斜长石不像条纹长石那样新鲜,稍有一些蚀变,蚀变矿物以绢云母和斜黝帘石为主。黑云母新鲜,多色性明显, $N_g$  褐黄色, $N_m$  黄色, $N_p$  淡黄色。岩石呈中粗粒结构,条纹长石相对比较粗大。代表性副矿物有锆石和磷灰石。不少锆石集中在黑云母中并造成放射性破坏,在黑云母内形成褐色至黑色的晕圈。

两件云英岩矿石分别取自淘洗窝和三门勘查区,锡品位为 1%~2%。主要矿物是白云母(体积分数 60%~65%)和石英(20%~30%)以及 5%~7% 的萤石、锡石和其他暗色矿物。白云母十分新鲜,在显微镜下未见明显的蚀变。

### 4 测试分析流程和测试结果

本次研究采用常规的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 阶段升温测年法。其流程为:将挑选纯净的矿物(纯度>99%) 在丙酮中用超声波清洗,清洗后的样品被封进石英瓶中,送入核反应堆接受中子照射。照射工作是在中国原子能科学研究所的“游泳池”中进行的。使用 H8 孔道,其中子流密度为  $6.4 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。照射总时间为 3 540 min,积分中子通量为  $1.3 \times 10^{18} \text{ n cm}^{-2}$ 。同期接受中子照射的还有用做监控样的标准样:ZBH-25 黑云母国内标样,参考年龄( $132.7 \pm 1.2$ ) Ma。

样品的阶段升温加热使用电子轰击炉,每一个阶段加热 30 min,气体纯化 30 min。质谱分析是在 MM-1200B 质谱计上进行的,每个峰值均采集 8 组数据。所有的数据在回归到时间零点值后再进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。中子照射过程所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的  $\text{K}_2\text{SO}_4$  和  $\text{CaF}_2$  来获得,其值为:  $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{\text{Ca}} = 0.0002389$ ,  $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$ ,  $\text{SD}({}^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{\text{Ca}} = 0.000806$ 。<sup>37</sup>Ar 经过放射性半衰变校正;<sup>40</sup>K 衰变常数  $= 5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ ;年龄误差以  $1\sigma$  给出。详细实验流程见有关文章(陈文,1994;2002;Chen et al., 2002)。

三件云母的<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 测试结果列于表 1,并将相应的坪年龄图及等时线年龄图示于图 5。其中角闪黑云花岗岩(P-1)的坪年龄和等时线年龄分别为  $(157.5 \pm 0.3) \text{ Ma}$  和  $(156.9 \pm 0.3) \text{ Ma}$ (图 5a,b);三门云英岩锡矿石(SM-2)的坪年龄和等时线年龄分别为  $(156.1 \pm 0.4) \text{ Ma}$  和  $(155.7 \pm 1.7) \text{ Ma}$ (图 5c,d);淘洗窝云英岩锡矿石(TXW-2)的坪年龄和等时线年龄分别为  $(160.1 \pm 0.9) \text{ Ma}$  和  $(157.5 \pm 1.5) \text{ Ma}$ (图 5e,f)。这 3 组测年数据很好地吻合在一起,不仅精确地反映出成岩成矿的时限,而且表明了花岗岩成岩与锡矿成矿的密切关系。此外,这 3 组数据坪年龄一致,年龄坪平坦,显示出成岩成矿后未受到后期热事件的扰动。

### 5 讨论和结论

南岭是全球规模最大的钨锡多金属成矿带,而湘南地区又是该带中最重要的钨锡多金属矿床集中区,区内有柿竹园超大型 W-Sn-Mo-Bi 矿床、新田岭大型钨矿床、玛瑙山大型锡矿床、红旗岭大型锡矿床、芙蓉大型锡矿床和瑶岗仙大型钨矿床。全区共探明钨储量 170 万吨,锡储量 90 万吨,铋储量 25 万吨,钼储量 20 万吨。在过去几十年中,大多数研究集中在柿竹园矿床及其有关的千里山花岗岩体中(王昌烈等,1997;王书凤等,1988;毛景文等,1998)。虽然对于其他几个矿床也进行了部分研究,但是程度尚低。在湘南地区究竟有几次成矿作用?它们是否是同一时期和同一环境下的产物?这些是众所关注的科学问题。

表1 芙蓉矿田云英岩型锡矿石中的白云母和骑田岭角闪黑云花岗岩中的黑云母在加热过程 Ar-Ar 释放数据

Table 1  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  stepwise heating data of muscovite from the greisen ores of the Shanmen deposit and the Taoxiwo deposit as well as biotite from the Qitianling amphibole biotite granite

$t/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$	$^{39}\text{Ar}/\times 10^{-14}$ moles	年龄/Ma	$^{39}\text{Ar}$ 累积/%	$^{40}\text{Ar}^*/\%$
样品号: P-1, 骑田岭角闪黑云花岗岩中的黑云母; 样品称重 = 27.60 mg									
400	40.72510	0.11510	0.16080	0.10520	6.71820	98.24	113.40 ± 5.40	1.18	0.84
500	72.49250	0.21340	0.06320	0.06750	9.44370	67.24	157.40 ± 8.70	1.98	0.81
600	17.78720	0.02810	0.02140	0.02510	9.47180	449.71	157.90 ± 1.90	7.36	5.42
700	13.14030	0.01300	0.01220	0.02170	9.30150	1063.29	155.20 ± 1.60	20.09	12.58
800	11.7640	0.00800	0.01190	0.02050	9.39620	1534.05	156.70 ± 1.90	38.45	18.34
900	13.31140	0.01290	0.03760	0.02160	9.50450	956.63	158.40 ± 1.60	49.90	11.57
1000	11.65070	0.00700	0.04830	0.02060	9.57650	1522.86	159.50 ± 1.80	68.13	18.55
1100	10.64460	0.00420	0.05660	0.01960	9.41260	2541.62	156.90 ± 1.70	98.55	30.43
1200	32.26380	0.07700	1.19770	0.03870	9.58830	112.43	159.70 ± 3.90	99.90	1.37
1300	284.30951	0.93310	0.79890	0.25990	8.62970	8.75	144.40 ± 6.00	100.00	0.1
样品号: SM-2, 芙蓉矿田三门云英岩型锡矿石中的白云母; 样品称重 = 28.30 mg									
400	35.36540	0.09030	0.07860	0.04260	8.67870	159.57	145.20 ± 5.20	1.66	1.54
500	38.23390	0.10320	0.15270	0.03930	7.73570	165.30	130.00 ± 7.20	3.38	1.42
600	24.92350	0.05280	0.04000	0.03130	9.30760	282.24	155.30 ± 5.40	6.43	3.02
700	16.20680	0.02330	0.00460	0.02510	9.32930	619.69	155.60 ± 1.90	12.88	6.42
800	14.23850	0.01690	0.00360	0.01670	9.24880	865.93	154.30 ± 1.60	21.90	8.89
900	10.86770	0.00460	0.00110	0.01410	9.49090	2843.05	158.20 ± 1.70	51.50	29.97
1000	10.29840	0.00280	0.00040	0.01380	9.46390	3431.84	157.80 ± 2.00	87.23	36.07
1100	12.40600	0.1050	0.00220	0.01610	9.30120	1197.57	155.20 ± 2.30	99.70	12.37
1200	117.94810	0.36800	0.10020	0.13370	9.20780	28.73	153.70 ± 6.70	100.00	0.29
样品号: TXW-2, 芙蓉矿田淘洗窝云英岩型锡矿石中的白云母; 样品称重 = 27.60 mg									
400	30.68610	0.07830	0.04390	0.03300	7.56090	166.31	127.10 ± 4.50	1.88	1.48
500	30.78570	0.06850	0.01990	0.06330	10.55440	204.47	175.10 ± 3.90	4.19	2.55
600	24.67620	0.04710	0.01920	0.02330	10.74200	298.73	178.00 ± 3.80	7.56	3.79
700	20.20050	0.03370	0.01570	0.01980	10.24900	382.58	170.20 ± 3.50	11.88	4.63
800	13.82810	0.01420	0.01400	0.01580	9.63310	855.01	160.50 ± 1.80	21.54	9.72
900	11.64140	0.00700	0.01150	0.01410	9.56530	1966.94	159.40 ± 2.10	43.76	22.20
1000	10.41270	0.00320	0.00580	0.01370	9.46370	4525.14	157.70 ± 2.10	94.88	50.53
1100	16.63870	0.02330	0.05540	0.01870	9.74910	430.01	162.30 ± 1.90	9.73	4.95
1200	145.30450	0.47200	0.25510	0.12780	5.85630	23.64	99.20 ± 9.90	100.00	0.16

$J = 0.009656$ 。

骑田岭是湘南地区出露面积较大的一个岩体(图1),从野外调查看,主要岩性为角闪黑云花岗岩,应该是同一时期形成的一个大岩基。刘义茂等(2002)测定3件花岗岩中正长石样品的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为(139.6 ± 2.8) Ma ~ (156.9 ± 3.1) Ma。虽然局部可以见到细粒黑云母花岗岩枝和岩墙,但绝大多数矿体与角闪黑云花岗岩密切相关。由于本次采样正值劈山修水电站,用于测试的黑云母及花岗岩十分新鲜,所得到的(157.5 ± 0.3) Ma 坪年龄数据相当可靠,与刘义茂等(2002)的(156.9 ± 3.1) Ma 坪年龄和付建明等(2004)获得的SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(160 ± 2) Ma 数据相吻合。也与三门和淘洗窝云英岩锡矿石中白云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄(156.1

± 0.4) Ma 和(160.1 ± 0.9) Ma 相一致。另外,笔者还对骑田岭北部的新田岭钨矿床中砂卡岩退化蚀变岩的铁云母进行了 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 测年,结果为(157.1 ± 0.3) Ma(数据待另文发表)。这些数据一致表明芙蓉锡矿和新田岭钨矿与骑田岭花岗岩有成因联系,而且证明主期角闪黑云花岗岩就是成矿的母岩。李红艳等(1997)对柿竹园砂卡岩型矿石中的辉钨矿进行了 Re-Os 同位素测年,获得了(151.1 ± 3.5) Ma 的数据,这与毛景文等(1995;1998)测定的千里山岩体第一期花岗岩的成岩时代(152 ± 9) Ma 相吻合,早于第二期花岗岩[(136 ± 6) Ma ~ (137 ± 7) Ma]和花岗斑岩墙[(131 ± 1) Ma]的形成时间。最近,笔者对柿竹园矿区的云英岩矿脉进行了云母的

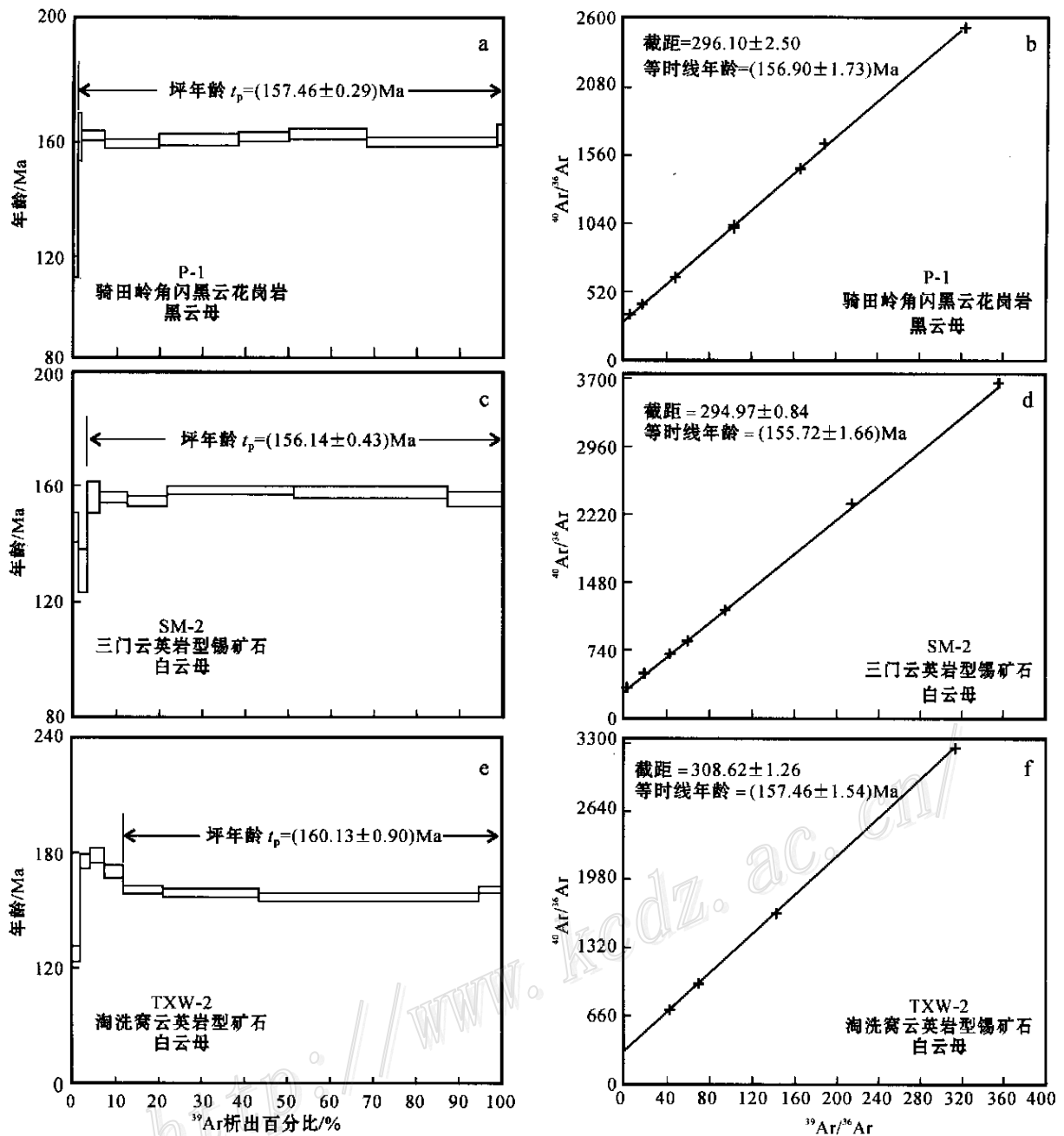


图 5 芙蓉矿田云英岩型锡矿石中的白云母和骑田岭角闪黑云花岗岩中的黑云母的 Ar-Ar 坪年龄和等时线年龄图

Fig.5 Age spectra of muscovite from the greisen ores of the Shanmen deposit and the Taoxiwo deposit, and biotite from the Qitianling amphibole biotite granite

<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 测年, 获得  $(153.4 \pm 0.2)$  Ma 和  $(134.0 \pm 1.6)$  Ma 的结果(另文将刊出), 与两期花岗岩的成岩年龄基本吻合。由此可见, 在芙蓉矿田和新田岭矿床仅发生了第一次成矿作用, 而柿竹园矿床则经历了两次成矿作用, 因此, 在柿竹园, 就有可能形成超大型多金属矿床, 这可能是原因之一。

中生代在中国东部发生了多幕次强烈构造活

动, 伴随有广泛的岩浆活动和大规模成矿作用(邓晋福, 1999; 毛景文等, 1999; 华仁民等, 1999)。过去几年的研究表明, 华北克拉通及其周缘的成矿作用及其地球动力学背景与华南地区有明显差异(毛景文等, 2003; 2004a)。毛景文等(2003; 2004b)提出在华北克拉通及其邻区(包括长江中下游地区), 中生代金属矿床大规模成矿作用出现在 200 ~ 160 Ma,



140 Ma 左右和 130 ~ 110 Ma 三个时期。通过对中生代地球动力学演化的分析研究,认为这三大成矿期所对应的地球动力学背景分别处于华北板块与扬子板块的碰撞造山后陆内造山和伸展过程中,南北主应力场向东西主应力场构造体制大转折晚期和东西向岩石圈大规模减薄作用发生时。对于华南地区中生代地球动力学演化尚不十分清楚,李献华(1999)认为华南白垩纪花岗岩岩浆活动与岩石圈伸展联系密切,并划分出 164 ~ 153 Ma, 146 ~ 136 Ma, 129 ~ 122 Ma, 109 ~ 101 Ma 和 97 ~ 87 Ma 五次花岗岩侵位事件,说明华南岩石圈出现过多次的伸展作用。其中 146 ~ 136 Ma 和 129 ~ 122 Ma 两次事件可以与华北克拉通及邻区的地球动力学大转换晚期和岩石圈大减薄相对应(毛景文等, 2003)。根据已知的放射性同位素测年资料,判断 160 ~ 150 Ma 是华南地区一个成矿的高峰期。在此期间形成的矿床除了芙蓉、新田岭和柿竹园外,还有赣南几个黑钨矿(锡石)石英脉型矿床,例如,漂塘钨锡矿床的石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为(150.2 ± 1.4) Ma, 大吉山钨矿的石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为(150.4 ± 8) Ma(李华芹等, 1993)。赣西宜春铌钽矿,中国最大的稀有矿床的成矿年龄厘定为(148.6 ± 2.9) Ma<sup>①</sup>,也基本上属于这个阶段的产物。除 160 ~ 150 Ma 这一华南地区钨锡矿成矿的高峰期外,还有 140 ~ 126 Ma 的次高峰期成矿期,这一期间不仅形成了柿竹园第二阶段矿石[(134.0 ± 1.6) Ma],而且西华山钨矿两个成矿阶段也在其中,它们分别为(139.8 ± 4.5) Ma 和(137.4 ± 3) Ma(李华芹等, 1993)。此外,江西岩背锡矿的年龄为(128 ± 4.2) Ma(黄常立等, 1997),赣北葛源铌钽矿的成矿时代为(128 ± 11) Ma<sup>①</sup>。虽然尚未得到香炉山钨矿的成矿年龄,但与其有关花岗岩的年龄测定为(126 ± 6.2) Ma<sup>①</sup>。

在南岭地区, 113 ~ 90 Ma 是另外一个重要的金属成矿期,此期的成矿金属元素主要为锡,钨和稀有金属元素较少。以大厂超大型锡多金属矿床为代表的丹池成矿带的成矿时代为 100 ~ 90 Ma(陈毓川等, 1993),最近再一次对 100 号矿体、铜坑和拉么进行同位素测年,获得(91.4 ± 2.9) ~ (105 ± 2) Ma 的数据(王登红等, 2004)。广西珊瑚钨锡矿成矿时代为(113.2 ± 4.7) Ma(李华芹等, 1993)。江西北部的

曾家垄锡矿和粤西的银岩锡矿也都是此时形成,后者的 Rb-Sr 等时线年龄为(86.9 ± 6) Ma(胡祥昭, 1989)。位于华南最西部的个旧锡矿可能也在这一阶段形成,虽然缺乏成矿年龄数据,但有关花岗岩的成岩时代为 75 ~ 65 Ma(伍勤生等, 1986)。

在华南地区,中生代钨锡矿床广泛发育,三个期次与成矿有关的花岗岩以多硅、高铝、富碱、多挥发组分和高度分异演化(分异指数 DI > 90)为特点,成矿物质明显为地壳重熔(花岗岩的  $I_{Sr} > 0.710$ )而成。尽管华南与华北在地球动力学与成矿方面具有明显的差别,但是在印支期晚期以后,随着华北克拉通与扬子克拉通的碰撞对接,整个中国东部连成一个大陆,所以,两者的地球动力学演化与成矿必然存在着一定的联系。以柿竹园矿床和芙蓉矿床为代表的大规模成矿作用出现的时限介于华北克拉通及其邻区的两期大规模成矿作用(160 ~ 190 Ma 和 140 Ma 左右)之间,可能是由于古太平洋板块向西俯冲时的大陆边界不同所致。华南地区的 150 ~ 160 Ma 成矿作用的早期也有与壳幔重熔花岗岩(花岗闪长岩或石英闪长岩)有关的斑岩铜矿,例如:德兴、永平和大宝山等,而且第二期(140 ~ 126 Ma)成矿似乎是第一期成矿的继续。总体来看,160 ~ 126 Ma 期间的成矿作用可能与华北克拉通及其邻区的 140 Ma 左右成矿作用相对应,只是在华南地区,成矿晚期出现大量壳源高铝花岗岩,形成了有关的钨锡矿。无论是华北,还是华南,在这一阶段正处于南北向构造体制向东西向的另一个构造体制转换的时期,成矿环境均为岩石圈伸展。在白垩纪,中国东部岩石圈表现为东西向大伸展,华北克拉通及其邻区岩石圈的快速伸展出现于 125 ~ 110 Ma,而华南的伸展作用却主要发生在 113 ~ 90 Ma。因此,华南地区的另一次钨锡矿成矿作用发生于中晚白垩世。另外,华南地区的钨锡矿在总体上表现为从东到西,成矿年龄逐渐变小;钨矿主要在中部,向东西两侧钨矿减少而锡矿明显增多的变化趋势。对于这一现象,利用太平洋板块向欧亚俯冲的模式难以解释。因此,华南地区中生代成矿动力学之谜仍然有待于进一步探讨。

#### References

Cai J H, Mao X D, Cai M H, et al. 2002. Geological characteristics of

① 陈毓川等. 2002. 国家重点基础规划发展项目(G1999043200)课题汇报材料.

- Bailashui tin deposit in Qitianling orefield, southern Hunan Province[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 10(2): 55 ~ 59 (in Chinese with English abstract).
- Chen M S and Liu X H. 2000. Metallogenic model and resource general capacity forecast of Furong tin field in Chenzhou[J]. *Hunan Geology*, 19(1): 43 ~ 47 (in Chinese with English abstract).
- Chen W, Luo X Q and Zhang S H. 1994. Research on laser microprobe <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 15(2): 197 ~ 205 (in Chinese with English abstract).
- Chen W, Liu X Y and Zhang S H. 2002. Continuous laser stepwise heating <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating technique[J]. *Geological Review*, 48(Supp.): 127 ~ 134 (in Chinese with English abstract).
- Chen W, Zhang Y, Ji Q, et al. 2002. The magmatism and deformation times of the Xidatan rock series, East Kunlun Mountain[J]. *Science in China (Series B)*, 45(Supp.): 20 ~ 27.
- Chen Y C, Huang M Z, Xu J, et al. 1993. The geology of Dachang tin deposit[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 102 ~ 181 (in Chinese).
- Deng J F, Mo X X, Zhao H L, et al. 1999. The Yanshanian lithosphere-asthenosphere and metallogenic environment in East China[J]. *Mineral Deposits*, 18(4): 309 ~ 315 (in Chinese with English abstract).
- Fu J M, Ma C Q, Xie C F, et al. 2004. Zircon SHRIMP dating of the Cailing granite stock on the eastern margin of the Qitianling granite intrusion, Hunan, South China, and its significance[J]. *Geology in China*, 31(1): 96 ~ 100 (in Chinese with English abstract).
- Hu X Z. 1986. The origin and petrology of the Yinyan tin-bearing granite porphyry[J]. *Geochimica*, 3: 251 ~ 263 (in Chinese with English abstract).
- Hua R M and Mao J W. 1999. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in East China[J]. *Mineral Deposits*, 18(4): 299 ~ 308 (in Chinese with English abstract).
- Huang G F, Zeng Q W, Wei S L, et al. 2001. Geological characteristics and ore-controlling factors of the Furong orefield, Qitianling, Hunan[J]. *Geology in China*, 28(10): 30 ~ 34 (in Chinese with English abstract).
- Li H Y, Mao J W, Sun Y Li, et al. 1997. Re-Os isotopic chronology of molybdenites in the Shizhuyuan poly-metallic tungsten deposit[J]. *Geological Review*, 42(3): 261 ~ 267 (in Chinese with English abstract).
- Li H Q, Liu J Q and Wei L. 1993. The study on the geochronology of fluid inclusions of hydrothermal deposit and its implications[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 28 ~ 75 (in Chinese).
- Li X H. 1999. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in South China: the geochronology and geochemistry constraints[A]. In: Institute of Geochemistry, CAS, eds. *Resource Environment and Sustaining Development*[C]. Beijing: Science Press. 264 ~ 275 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y M, Xu J F, Dai T M, et al. 2002. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar ages of Qitianling granite and its geological significance[J]. *Science in China (Series D)*, 32(Supp.): 41 ~ 48.
- Mao J W, Li H Y and Pei R F. 1995. Nd-Sr isotopic and petrogenetic studies of the Qianlishan granite stock, Hunan Province[J]. *Mineral Deposits*, 14(3): 235 ~ 242 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Li H Y, Song X X, et al. 1998. Geology and geochemistry of the Shizhuyuan W-Sn-Mo-Bi-poly-metallic deposits, Hunan, China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 182 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Hua R M and Li X B. 1999. A preliminary study of large scale metallogenesis and large clusters of mineral deposits[J]. *Mineral Deposits*, 19(4): 289 ~ 293 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Wang Y T, Zhang Z H, et al. 2003. Geodynamic settings of Mesozoic large-scale mineralization in the North China and adjacent areas: implication from the highly precise and accurate ages of metal deposits[J]. *Science in China (Series D)*, 46(8): 838 ~ 851.
- Mao J W, Xie G Q, Li X F, et al. 2004a. Mesozoic large-scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 45 ~ 55 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Holly S, Du A D, et al. 2004b. Molybdenite Re-Os precise dating for molybdenite from Cu-Au-Mo deposits in the Middle-Lower reaches of Yangtze River belt and its implications for mineralization[J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(1): 121 ~ 131 (in Chinese with English abstract).
- Tong Q M, Wu R H, Peng J L, et al. 1995. Metallogeny of W, Sn, Pb-Zn, Au and Ag deposits in the Chengxian-Guiyang area, South Hunan, China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 98p (in Chinese with English abstract).
- Wang C L, Luo S H, Xu Y Z, et al. 1987. Geology of Shizhuyuan W-Sn-Mo-Bi poly-metal deposits[J]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Chen Y C, Li H Q, et al. 2003. Geochemical characteristics of Furong tin deposit and its significance for ore prospecting, Hunan[J]. *Geological Bulletin of China*, 22(1): 50 ~ 56 (in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Chen Y C, Chen W, et al. 2004. Dating the Dachang giant tin-poly-metallic deposit in Nandan, Guangxi[J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(1): 132 ~ 138 (in Chinese with English abstract).
- Wang S F and Zhang Q L. 1988. Geology of Shizhuyuan deposit[M]. Beijing: Beijing Sci. & Tech. Press. (in Chinese with English abstract).
- Wei S L, Zeng Q W, Xu Y M, et al. 2002. Characteristics and ore prospecting of tin deposits in the Qitianling area, Hunan[J]. *Geology in China*, 29(1): 67 ~ 75 (in Chinese with English abstract).
- Wu Q S and Liu Q L. 1986. Genesis, evolution and mineralization of a complex formed from granite magma in Gejiu, Yunnan[J]. *J. Guilin College of Geology*, 6(3): 229 ~ 238 (in Chinese with English abstract).
- Xu H C, Gong S Q, Tan F P, et al. 2002. Geochemical characteristics and metallogenic significance of the Qitianling granite body and its xenolith[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 10

(1):51~56 (in Chinese with English abstract).

- Xu Y M, Hou M S, Liao X Y, et al. 2000. Deposit types and prospect for prospecting of Sn deposits in Furong ore field, Chenzhou [J]. *Hunan Geology*, 19(2): 95~100 (in Chinese with English abstract).
- Zheng J J and Jia B H. 2001. Geological characteristics and related tin-polymetallic mineralization of the Qitianling granite complex in southern Hunan Province [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 9(4):49~57 (in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

- 蔡锦辉,毛晓冬,蔡明海,等.2002.湖南骑田岭白蜡水锡矿床成矿地质特征[J].*华南地质与矿产*,10(2):55~59.
- 陈民苏,刘星辉.2000.郴州芙蓉锡矿田成矿模式及资源总量预测[J].*湖南地质*,19(1):43~47.
- 陈文,罗修权,张思红.1994.激光显微探针<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar定年方法研究[J].*地球学报*,15(2):197~205.
- 陈文,刘新宇,张思红.2002.连续激光阶段升温<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar地质年代测定方法研究[J].*地质论评*,48(增刊):127~134.
- 陈毓川,黄民智,徐珏,等.1993.大厂锡矿地质[M].北京:地质出版社.102~181.
- 邓晋福,莫宣学,赵海岭,等.1999.中国东部燕山期岩石圈-软流圈系统大灾变与成矿环境[J].*矿床地质*,18(4):309~315.
- 付建明,马昌前,谢才富,等.2004.湖南骑田岭岩体东缘菜岭岩体的锆石SHRIMP定年及其意义[J].*中国地质*,31(1):96~100.
- 胡祥昭.1989.银岩含锡花岗岩斑岩的岩石学特征及成因研究[J].*地球化学*,3:251~263.
- 华仁民,毛景文.1999.试论中国东部中生代成矿大爆发[J].*矿床地质*,18(4):299~308.
- 黄革非,曾钦旺,魏绍六,等.2001.湖南骑田岭地区锡矿床特征及控矿因素初步分析[J].*中国地质*,28(10):30~34.
- 李红艳,毛景文,孙亚利,等.1997.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,刘家齐,魏林.1993.热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用.北京:地质出版社.28~75.
- 李献华.1999.华南白垩纪岩浆活动与岩石圈伸展——地质年代学与地球化学限制[A].见:中国科学院地球化学研究所等,主编.资源环境与可持续发展[C].北京:科学出版社.264~275.
- 刘义茂,许继峰,戴摸.2002.骑田岭花岗岩<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar同位素年龄及其地质意义[J].*中国科学(D辑)*,32(增刊):41~48.
- 毛景文,李红艳,裴荣富.1995.湖南千里山花岗岩体的Nd-Sr同位素及岩石成因研究[J].*矿床地质*,14(3):235~242.
- 毛景文,李红艳,宋学信,等.1998.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.1~183.
- 毛景文,华仁民,李晓波.1999.浅议大规模成矿作用与大型矿集区[J].*矿床地质*,18(4):291~299.
- 毛景文,王志良.2000.中国东部大规模成矿作用时限及其动力学背景初步探讨[J].*矿床地质*,19(4):289~296.
- 毛景文,张作衡,余金杰,等.2003.华北中生代大规模成矿的地球动力学背景:从金属矿床年龄精测得到启示[J].*中国科学(D辑)*,33(4):289~300.
- 毛景文,谢桂青,李晓峰,等.2004a.华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J].*地质前缘*,11(1):45~54.
- 毛景文,Holly Stein,杜安道,等.2004b.长江中下游地区铜金(钼)矿Re-Os年龄测定及其对成矿作用的指示[J].*地质学报*,78(1):121~131.
- 童潜明,伍仁和,彭寄来,等.1995.郴桂地区钨锡铅锌金银矿床成矿规律[M].北京:地质出版社.98页.
- 王昌烈,罗仕徽,胥友志,等.1987.柿竹园钨锡钼铋多金属矿床地质[M].北京:地质出版社.
- 王登红,陈毓川,李华芹,等.2003.湖南芙蓉锡矿的地质地球化学特征及找矿意义[J].*地质通报*,22(1):50~56.
- 王登红,陈毓川,陈文,等.2004.广西南丹大厂超大型锡金属矿床的成矿时代[J].*地质学报*,78(1):132~138.
- 王书凤,张绮玲.1988.柿竹园矿床地质引论[M].北京:北京科学技术出版社.
- 魏绍六,曾钦旺,许以明,等.2002.湖南骑田岭地区锡矿床特征及找矿前景[J].*中国地质*,29(1):67~75.
- 伍勤生,刘青莲.1986.个旧含锡花岗岩浆杂岩体的成因及演化[J].*桂林冶金地质学院学报*,6(3):229~238.
- 徐惠长,龚述清,唐分配,等.2002.骑田岭岩体及其包体的地球化学特征和成矿意义[J].*华南地质与矿产*,10(1):51~56.
- 许以明,侯茂松,廖兴钰,等.2000.郴州芙蓉矿田锡矿类型及找矿远景[J].*湖南地质*,19(2):95~100.
- 郑基俭,贾宝华.2001.骑田岭岩体的基本特征及其与锡多金属成矿作用关系[J].*华南地质与矿产*,9(4):49~57.

## $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ Dating of Tin Ores and Related Granite in Furong Tin Orefield, Hunan Province, and Its Geodynamic Significance

Mao Jingwen<sup>1</sup>, Li Xiaofeng<sup>1</sup>, Bernd Lehmann<sup>2</sup>, Chen Wen<sup>3</sup>, Lan Xiaoming<sup>4</sup> and Wei Shaoliu<sup>4</sup>

(1 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Institute of Mineralogy and Mineral Resources, Technical University of Clausthal, 38678 Clausthal-Zellerfeld, Germany; 3 Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 4 Southern Hunan Institute of Geological Survey, Hunan Bureau of Geology and Mineral Exploration, Chenzhou 423000, Hunan, China)

### Abstract

Furong, a large tin orefield newly discovered in southern Hunan Province, is one of the most important W-Sn-Bi mineralization areas in the world. At present, the controlled reserves amount to about 600,000 tons of tin metal with an average grade of 0.8%. Further exploration is ongoing, and more than 40 ore veins have been explored, which are located in the southern portion of the Qitianling Yanshanian amphibole-biotite granite pluton and hosted in Carboniferous and Permian carbonate rocks. The veins generally occur in swarms, forming Bailashui-Anyuan, Heishanli-Maziping and Shanmenkou-Goutouling tin zones. Previous workers identified 7 to 8 types of mineralization in the ore district, but the main orebodies of commercial value seem to be of skarn, chlorite and greisen types. The first area is characterized by skarnization and chloritization, while the last two areas mainly by greisenization.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating was performed on muscovite from greisen-type tin ore and biotite from related amphibole-biotite granite, which yielded three sets of age data, i.e., a plateau age of  $(157.5 \pm 0.3)$  Ma for amphibole-biotite granite, a plateau age of  $(156.1 \pm 0.4)$  Ma for the Sanmen greisen-type tin ore and a plateau age of  $(160.1 \pm 0.9)$  Ma for the Taoxiwo greisen-type tin ore. Coincident well with each other, these three sets of age data not only accurately reflect the timing of rock and ore formation but also indicate the close relation between granite and tin ore. In addition, the plateau ages of the three sets suggest that no subsequent thermal perturbation occurred after the formation of granite and tin deposits. As part of the southern Hunan polymetallic tungsten-tin province, the Furong tin orefield was formed in a pulsation of 160 ~ 135 Ma, an important time for W-Sn-Mo-Bi-Be-Cu mineralization in South China, which is supposed to have been caused by lithospheric thinning processes.

**Key words:** geochemistry, Ar-Ar age, mica, tin deposit, Furong, Hunan Province