

文章编号:0258-7106 (2007) 03-0237-12

湖南芙蓉锡矿床 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄 及地质意义*

彭建堂¹, 胡瑞忠¹, 毕献武¹, 戴樟谟², 李兆丽¹, 李晓敏¹,
双燕¹, 袁顺达¹, 刘世荣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 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

摘要 文章以金云母、角闪石和白云母为测试对象, 利用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素定年的方法, 精确厘定了芙蓉超大型锡矿床的形成时间。研究表明, 白腊水矿区3个金云母样品的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄分别为 $(150.6 \pm 1.0)\text{Ma}$ 、 $(157.3 \pm 1.0)\text{Ma}$ 和 $(154.7 \pm 1.1)\text{Ma}$; 热液成因角闪石的坪年龄为 $(156.9 \pm 1.1)\text{Ma}$ 。淘锡窝矿区云英岩中2个白云母样品的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $(159.9 \pm 0.5)\text{Ma}$ 和 $(154.8 \pm 0.6)\text{Ma}$; 因此芙蓉矿床的形成时间为151~160 Ma, 这与骑田岭主体花岗岩的侵入时间(151~162 Ma)相吻合。湘南地区的柿竹园超大型W-Sn-Mo-Bi-F矿床、新田岭大型W矿床、瑶岗仙W矿床和黄沙坪Pb-Zn多金属矿床的形成时间亦集中在150~160 Ma之间, 因此, 湘南有色金属矿化集中区可能主要集中在150~160 Ma发生成矿, 这种大规模成矿作用可能与中生代华南岩石圈的拉张、伸展作用密切相关。

关键词 地球化学; $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄; 金云母; 角闪石; 白云母; 芙蓉锡矿床; 湘南

中图分类号: P618.44

文献标识码: A

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic dating of tin mineralization in Furong deposit of Hunan Province and its geological significance

PENG JianTang¹, HU RuiZhong¹, BI XianWu¹, DAI TongMo¹, LI ZhaoLi¹,

LI XiaoMin¹, SHUANG Yan¹, YUAN ShunDa¹ and LIU ShiRong¹

(1 State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002, Guizhou, China;

2 Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640, Guangdong, China)

Abstract

The newly-discovered Furong ore deposit, located in the southern part of the Qitianling pluton emplaced at 151~162 Ma in southern Hunan, is a superlarge tin deposit. It consists of Bailashui-Anyuan, Taoxiwo-Sanmenkou and Maziping-Heishanli ore districts, and its ore veins occur in Qitianling pluton and the inner or outer contact zone between the granite pluton and the Late Palaeozoic sedimentary rocks. In this study, Ar-Ar isotope dating of muscovite, hornblende and phlogopite was carried out in order to constrain the tin mineralization timing of the Furong deposit. The plateau ages of three phlogopite samples from the Bailashui ore district are $(150.6 \pm 1.0)\text{Ma}$, $(157.3 \pm 1.0)\text{Ma}$ and $(154.7 \pm 1.1)\text{Ma}$, respectively; and the plateau age of hydrother-

* 本文得到中国科学院重要方向项目(KZCX3-SW-125)和国家自然科学基金项目(40472053、40673021)的资助

第一作者简介 彭建堂,男,1968生,博士,研究员,主要从事矿床学、同位素地球化学研究。

收稿日期 2006-07-28; 改回日期 2006-12-25。李岩编辑。

mal hornblende from the same mining district is (156.9 ± 1.1) Ma. The plateau ages of two muscovite samples from the Taoxiwo ore district are (159.9 ± 0.5) Ma and (154.8 ± 0.6) Ma, respectively. These age data are coincident with the intrusion time of the Qitianling granite (151~162 Ma), and also in accordance with the ages of other nonferrous metal deposits such as the Shizhuyuan W-Sn-Mo-Bi-F deposit, the Xintianling W deposit, the Yaogangxian W deposit and the Huangshaping Pb-Zn polymetallic deposit in this area. The large-scale mineralization in southern Hunan is probably ascribed to the Mesozoic lithospheric extension in South China.

Key words: geochemistry, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic age, phlogopite, hornblende, muscovite, Furong tin deposit, southern Hunan

自20世纪60年代以来,前人对湘南骑田岭花岗岩进行了较多的研究(中国科学院贵阳地球化学研究所,1979;范蔚茗,1987;湖南地质矿产局,1988;地质矿产部南岭项目花岗岩专题组,1989),利用各种不同测试手段来确定其侵入时代,积累了大量的同位素年代学数据,这些年龄数据均落入225~118 Ma之间(黄革非,1992)。根据这些资料,骑田岭花岗岩被公认为是一复式岩体,从印支期到燕山晚期(T—K)都有活动,但以燕山早期(J)为主(黄革非,1992;郑基俭等,2001)。随着近年在该岩体的南缘发现了具世界级规模的锡矿资源——芙蓉超大型锡矿床,骑田岭花岗岩再次成为人们的研究热点,人们对其成岩时代进行了重新厘定(刘义茂等,2002;朱金初等,2003;2005;付建明等,2004;李金东等,2005)。这些研究表明,过去被公认为是印支期的菜岭单元实际上也是燕山早期的产物。刘义茂等(2002)的研究表明,菜岭单元花岗岩中黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 (156.9 ± 3.1) Ma;朱金初等(2003)的研究表明,菜岭超单元全岩的Rb-Sr等时线年龄为 (159 ± 1.2) Ma,单颗粒锆石熔融法U-Pb年龄为 (162 ± 2) Ma;最近的研究发现,该花岗岩单元中锆石的SHRIMP年龄为 (160 ± 2) Ma(付建明等,2004;朱金初等,2005)或 (156.7 ± 1.7) Ma(李金东等,2005)。因此,骑田岭花岗岩中菜岭单元应形成于156~162 Ma。骑田岭岩体中芙蓉单元的锆石熔融法U-Pb年龄为151~158 Ma(黄革非,1992),其独居石熔融法U-Pb年龄、黑云母K-Ar年龄和全岩Rb-Sr等时线年龄分别为163 Ma、158 Ma和161 Ma(郑基俭等,2001)。因此,骑田岭岩体的形成时限大致在151~162 Ma。

位于骑田岭岩体南缘的芙蓉锡矿床由于发现较晚,工作程度不高,有关该矿床的成矿时代数据较少。王登红等(2003)首次报道了该矿床白腊水矿区10号矿体蚀变岩型矿石(强绿泥石化花岗岩)的Rb-

Sr等时线年龄(136 Ma)。但国外已有的研究表明,花岗岩蚀变发生锡矿化时,其成矿体系往往是处于一种开放状态,会发生严重的 ^{87}Sr 丢失现象,从而导致其Rb-Sr同位素年龄偏低(Walraven et al., 1990)。蔡锦辉等(2004)对白腊水矿区43号矿脉和19号矿脉进行了年龄测定,其中43号矿体中的黑云母K-Ar年龄为140 Ma,19号脉体含石英流体包裹体的Rb-Sr等时线年龄为 (177 ± 3) Ma,但后者远大于骑田岭花岗岩的成岩年龄,这明显与野外地质事实不符。最近毛景文等(2004a)精确测定了山门口一带锡矿化的Ar-Ar年龄,但该矿床白腊水矿区仍缺乏精确年代学数据的制约,而白腊水矿区的锡矿资源量占整个芙蓉矿床的72.4%,特别是该矿区的19号矿体是芙蓉矿床最大的矿脉,其资源量约占整个矿床的31.8%。因此,本文利用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年方法,以金云母、角闪石和白云母为测试对象,对芙蓉矿床白腊水矿区的19号矿体和淘锡窝矿区开展同位素年代学研究,试图精确厘定芙蓉锡矿床的形成时间,揭示湘南郴州地区钨、锡等有色金属大规模成矿的时限及其地球动力学背景。

1 矿床地质特征

芙蓉矿床位于骑田岭花岗岩的南部,距湖南郴州市约40 km。在构造上,该区位于华南褶皱带的北缘,NE向炎陵—郴州—临武岩石圈断裂带与NW向郴州—邵阳地壳断裂带的交汇部位。骑田岭地区出露的地层以古生界为主,其中泥盆系的余田桥组(D_3s)、石炭系的石蹬子组(C_1s)、二叠系的栖霞组(P_1q)是主要赋矿层位(黄革非等,2003)。该区构造变形强烈,经历了地槽、地台和地台活化3个构造演化阶段,对应地形成了加里东构造层、海西-印支构造层和燕山构造层;不同构造阶段形成的构造形迹相互交叉、叠加,最终该区呈现出以EW向构造为基

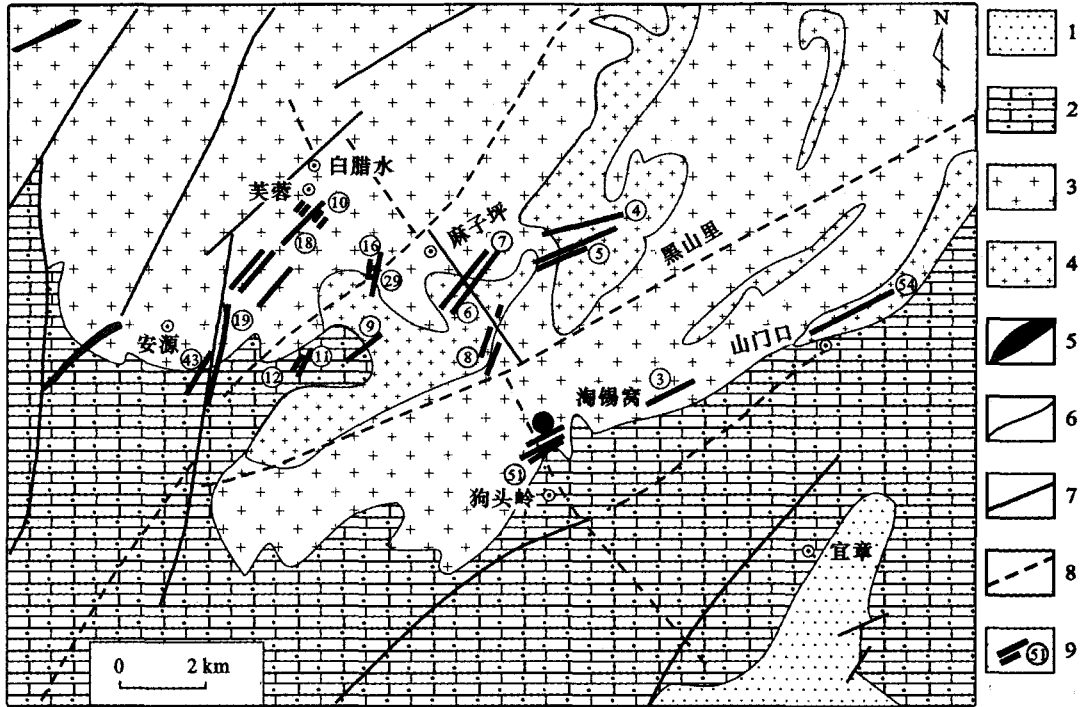


图 1 湘南芙蓉锡矿床地质简图(据黄革非等,2003;毛景文等,2004a 修改)

1—白垩系陆相碎屑岩;2—二叠系-石炭系碳酸盐岩夹粉砂岩;3—中、粗粒花岗岩;4—细粒花岗岩;5—花岗岩斑岩;6—地质界限;
7—实测断层;8—推测断层;9—矿脉及编号

Fig. 1 Simplified geological map of the Furong tin deposit, southern Hunan (modified after Huang et al., 2003; Mao et al., 2004a)

1—Cretaceous continental clastic rock; 2—Permian-Carboniferous carbonate intercalated with siltstone; 3—Coarse- and medium-grained granite; 4—Fine-grained granite; 5—Granite porphyry; 6—Geological boundary; 7—Measured fault; 8—Inferred fault; 9—Ore vein and its serial number

底,SN向、NNE-NE向、NW向构造为主体的构造格局(黄革非等,2003)。其中NE向主干断裂控制了该区锡矿带的分布,次级断裂控制了锡矿体的形态、产状和规模。区内岩浆活动频繁,以中酸性花岗岩为主,骑田岭岩体的主体为燕山早期侵入的酸性-中酸性花岗岩,局部有燕山晚期岩脉出现,该岩体侵位于石炭系-三叠系碳酸盐岩和碎屑岩中,地表出露面积约 520 km²(黄革非,1992;郑基位等,2001)。

在骑田岭岩体内外接触带及岩体内部形成了以锡为主的一系列有色多金属矿产,目前在该区已发现锡矿床(点)22处,钨(锡)矿点5处,铅锌(锡)矿点26处(黄革非等,2001),其中锡矿具有重要的工业价值。该区的锡矿类型包括蚀变岩体型、构造蚀变带型、矽卡岩型、斑岩型、云英岩型、石英脉型,其中以构造蚀变岩型、蚀变岩体型和矽卡岩型锡矿为主。在空间上,目前已发现的50多条锡矿脉(体)具有明显的成群分带趋势,大致可划分为白腊水—安源、黑山里—麻子坪和山门口—淘锡窝—狗头岭等3条

NE向锡矿带(图1)。其中白腊水—安源矿带的规模最大,目前已发现20多条矿脉,预计锡资源量在40万吨以上(黄革非等,2001),该矿带的锡矿主要赋存于花岗岩岩体中及与围岩的内外接触带内,锡矿类型以构造蚀变带型、蚀变岩体型、矽卡岩型为主;黑山里—麻子坪矿带的锡矿以构造蚀变带型为主,矿体主要产于花岗岩岩体中;山门口—淘锡窝—狗头岭矿带的锡矿主要产于岩体内、外接触带,锡矿类型以矽卡岩型、云英岩型为主(黄革非等,2001)。

该区锡矿体大多呈层状、脉状、透镜状、扁豆状和不规则状产出。不同类型的锡矿体,其矿物组成亦有差别:云英岩型、蚀变岩体型、斑岩型和石英脉型锡矿体的矿物组成相对较简单,金属矿物以锡石为主,另有少量黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等,非金属矿物由绿泥石、石英、长石、绢云母等;而矽卡岩、构造蚀变带型锡矿的矿物组合相对复杂,金属矿物除锡石外,还有磁铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂、黄铁矿等,非金属矿物有透闪石、透辉石、石英、符山

石、萤石、绿泥石、绢云母、方解石等。根据矿物共生组合,芙蓉锡矿床的矿石类型可分为:单一锡石型、锡石-磁铁矿型、锡石-透闪石-透辉石型、锡石-硫化物型等。锡矿矿石品位一般在0.3%~1.5%之间,最高可达20.8%(黄革非等,2001);Sn主要以独立矿物锡石的形式存在。围岩蚀变强烈,主要有云英岩化、绿泥石化、绢云母化、矽卡岩化、萤石化、硅化等。由于目前已有许多文献对芙蓉矿床的地质特征进行了详细论述(许以明等,2000;黄革非等,2001,2003;魏绍六等,2002;蔡锦辉等,2002;王登红等,2003),因此,本文不再重复。

2 样品采集与测试方法

本次用于Ar-Ar同位素测年的金云母和角闪石样品采自白腊水矿区的19号矿体,其中样品TPK-31为采自芙蓉电站的金云母岩,云母片径粗大;样品PD-7采自民采的金龙平硐中,为与矽卡岩共生的金云母岩,金云母的片径也较大;样品AY-3为采自安源480工区的金云母岩,金云母片径一般在5mm以上;样品WCP-8采自屋场坪,为产于矽卡岩中的角闪石。2件白云母样品采自淘锡窝矿区54号矿体,其中样品TXW-10为云英岩型矿石,白云母较多且片径较大,局部可见白云母和石英呈脉状产出;TXW-12也为云英岩型矿石,矿石样品中白云母、石英较多,但白云母片径小,另有少量黄铁矿、黄铜矿呈浸染状分布,局部有石英脉分布。

在野外和室内研究的基础上,将选取的样品碎至60目左右,然后利用双目镜将杂质剔除,所有供本研究的金云母、角闪石和白云母等单矿物样品均用X-射线衍射分析(XRD)进行检查,以保证其样品的纯度。样品的实验测定在桂林矿产地质研究院Ar-Ar同位素实验室的英制MM-1200型稀有气体质谱仪上进行。该仪器灵敏度为 2.25×10^{-6} A/Pa,真空度为 10^{-9} mm Hg,全系统的 ^{40}Ar 本底为 10^{-14} mol, ^{36}Ar 、 ^{37}Ar 、 ^{38}Ar 和 ^{39}Ar 的本底为 10^{-16} mol。样品经快中子照射,快中子照射总通量为 1.3×10^{18} n/cm²;经放射性冷却后的样品装入全不锈钢超高真空提取、纯化系统,系统真空度为 10^{-8} mm Hg;样品由电子轰击炉进行各阶段加热和温度控制。各阶段析出的气体经海绵钛、蒸发钛纯化后,转入质谱仪,依次反复地进行各氩同位素峰值的静态测定,峰值由计算机直接采读;并分别进行K、Ca由于快中子照射

所产生的 ^{36}Ar 和 ^{40}Ar 同位素的干扰校正,其校正因子分别为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.00031$, $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.0098$ 和 $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.0086$ 。实验过程中采用中国黑云母标样JBH(132.5 Ma)作为年龄比照,来计算样品的年龄值。年龄计算采用的 $\lambda(^{40}\text{K})$ 为 $5.543 \times 10^{-10} \text{a}^{-1}$ 。

3 分析结果与讨论

3.1 金云母的Ar-Ar年龄

该区的金云母岩产于骑田岭花岗岩与矽卡岩之间,主要分布在芙蓉矿床白腊水矿区的19号矿体中,在铁婆坑、芙蓉电站、屋场坪、安源480工区等多处可见,云母常与磁铁矿、石榴石等共生,其形成与白云岩或镁质碳酸盐岩有关。金云母呈棕黑色,为片状集合体,片径一般为8~10mm。3个金云母样品的氩同位素测试结果见表1。从分析数据和图2不难发现,每个样品都呈正常的平坦型年龄谱,不存在坪年龄谱图的异常,而且绝大多数加热阶段析出的 ^{39}Ar 都符合成坪条件,相关性极好;这均暗示样品未受到后期热事件的扰动。样品PD-7的坪年龄为 $(150.6 \pm 1.0)\text{Ma}$,等时线年龄为 $(151.5 \pm 3.0)\text{Ma}$;样品TPK-30的坪年龄为 $(157.3 \pm 1.0)\text{Ma}$,等时线年龄为 $(158.4 \pm 3.2)\text{Ma}$;样品AY-3的坪年龄为 $(154.7 \pm 1.1)\text{Ma}$,等时线年龄为 $(152.5 \pm 3.1)\text{Ma}$ (图2)。3个样品的坪年龄与其对应的等时线年龄吻合很好,反映了本次所测金云母样品的年龄真实可信。

3.2 角闪石的Ar-Ar年龄

角闪石产于19号矿体中的矽卡岩内,手标本呈墨绿色,角闪石呈纤维状、放射状分布,标本中另见颜色较浅的石榴石,和少量细小硫化物及紫色萤石。薄片角闪石呈长柱状,主要呈绿、褐两种颜色,多色性非常明显;正高突起,见两组解理和简单双晶。X射线衍射分析(XRD)确认其为角闪石;电子探针分析(EMPA)进一步确认该矿物为普通角闪石中的铁角闪石,其K₂O含量为1.14%~2.08%。角闪石样品的氩同位素测试结果见表2。从分析数据和图3不难发现,该样品的年龄谱相当平坦,不存在坪年龄谱图的异常,而且11个加热阶段中的8个阶段析出的 ^{39}Ar 都符合成坪条件,相关性极好;这均暗示样品未受到后期热事件的扰动。样品WCP-8的坪年龄为 $(156.9 \pm 1.1)\text{Ma}$,等时线年龄为 $(156.2 \pm 3.1)\text{Ma}$,两者相当吻合。

表 1 金云母样品⁴⁰Ar/³⁹Ar 阶段升温测年数据
Table 1 ⁴⁰Ar/³⁹Ar analytical data for phlogopite samples from the Furong tin deposit

加热阶段	$\theta/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{39}\text{Ar}_K/10^{-12}\text{mol}$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_K$	$^{39}\text{Ar}_K/\%$	$t_a/\text{Ma} \pm 1\sigma$
样品 PD-7, $m = 70.20$ mg, 照射参数 $J = 0.0108871$									
1	350	8.9524	0.003464	0.0055	0.0089	0.371	7.9206	1.05	149.2 ± 2.7
2	480	8.9273	0.002371	0.0044	0.0041	1.936	8.2186	5.47	154.6 ± 1.5
3	600	8.6586	0.002301	0.0085	0.0059	3.385	7.9710	9.57	150.1 ± 1.3
4	750	8.4507	0.001873	0.0073	0.0057	4.190	7.8891	11.85	148.7 ± 1.3
5	850	8.5097	0.001541	0.0061	0.0061	6.671	8.0462	18.87	151.5 ± 1.1
6	980	8.4381	0.001537	0.0071	0.0063	8.050	7.9759	22.77	150.2 ± 1.2
7	1120	8.5862	0.001777	0.0106	0.0075	7.046	8.0535	19.93	151.6 ± 1.2
8	1200	8.6180	0.001684	0.0284	0.0195	2.744	8.1145	7.76	152.7 ± 1.4
9	1250	8.5209	0.001588	0.1093	0.0778	0.746	8.0543	2.11	151.6 ± 1.6
10	1350	8.7577	0.002127	0.3226	0.2066	0.217	8.1543	0.61	153.4 ± 4.3
样品 TPK-30, $m = 83.10$ mg, 照射参数 $J = 0.0109027$									
1	350	9.4997	0.003676	0.005243	0.008542	0.376	8.4053	1.12	158.2 ± 2.7
2	480	9.0963	0.002415	0.004231	0.004306	1.963	8.3742	5.84	157.6 ± 1.5
3	600	8.9242	0.002372	0.010156	0.007465	2.722	8.2157	8.10	154.8 ± 1.4
4	750	8.9918	0.001993	0.007038	0.005653	4.184	8.3948	12.45	158.0 ± 1.3
5	850	8.8152	0.001596	0.006314	0.006665	6.157	8.3354	18.32	156.9 ± 1.2
6	980	8.8942	0.001620	0.006977	0.006424	7.820	8.4075	23.27	158.2 ± 1.2
7	1120	8.9042	0.001843	0.010636	0.007681	6.772	8.3521	20.15	157.2 ± 1.2
8	1200	8.8702	0.001733	0.027762	0.020480	2.702	8.3522	8.04	157.2 ± 1.4
9	1250	8.8951	0.001656	0.111008	0.082780	0.706	8.4085	2.10	158.2 ± 1.7
10	1350	9.0903	0.002204	0.328245	0.222600	0.205	8.4643	0.61	159.2 ± 4.6
样品 AY-3, $m = 92.0$ mg, 照射参数 $J = 0.013756$									
1	300	7.3185	0.003368	0.003111	0.02498	0.394	6.3150	0.92	150.3 ± 2.2
2	500	7.1989	0.002633	0.001454	0.01765	1.253	6.4123	2.93	152.5 ± 1.6
3	650	7.1980	0.002302	0.000774	0.01322	3.777	6.5092	8.83	154.7 ± 1.5
4	750	7.1614	0.002104	0.000559	0.01133	6.790	6.5312	15.87	155.2 ± 1.5
5	850	7.0708	0.001860	0.000555	0.01124	7.226	6.5127	16.89	154.8 ± 1.5
6	920	6.9774	0.001568	0.000447	0.01475	7.675	6.5052	17.94	154.6 ± 1.5
7	1000	6.9241	0.001442	0.000489	0.01705	7.820	6.4894	18.28	154.3 ± 1.5
8	1080	6.9595	0.001649	0.000917	0.03486	4.115	6.4636	9.62	153.7 ± 1.5
9	1150	7.0509	0.001848	0.001933	0.04504	1.882	6.4965	4.40	154.4 ± 1.5
10	1220	6.9250	0.001543	0.002199	0.03107	1.442	6.4605	3.37	153.6 ± 1.5
11	1300	6.9728	0.001606	0.003875	0.05797	0.406	6.4899	0.95	182.0 ± 2.2

注： m 表示样品质量； t_a 表示视年龄；下标 m 表示测定值；* 表示放射成因氩。测试单位：桂林矿产地质研究院。

从上可知,本次采自白腊水矿区 19 号矿体的 3 个金云母和角闪石样品,其 Ar-Ar 年龄均相当一致,落入 151~158 Ma。正如前所述,白腊水矿区 19 号矿体是芙蓉矿床的最大矿脉,其资源量占白腊水矿区的 44% 以上,因此,19 号矿体的形成时间可代表白腊水矿区锡成矿的主体时间,即白腊水矿区的主成矿期应为 151~158 Ma。

3.2 白云母的 Ar-Ar 年龄

由于白云母中 Ar 对后期地质作用很敏感,因此即使部分受到后期叠加改造作用的影响,白云母也会形成明显的扩散丢失图谱(Hanson et al., 1975; Wijbrans et al., 1986),而未受扰动的白云母则形成

平坦的年龄谱(邱华宁等,1997)。从表 3 和图 4 不难发现,本次测定的 2 个白云母样品都呈正常的平坦型年龄谱,不存在任何异常的坪年龄谱图,这表明白云母形成以后未受到后期热事件的扰动;而且绝大部分加热阶段析出的³⁹Ar 都符合成坪条件,相关性极好。样品 TXW-10 的坪年龄为(159.9 ± 0.5) Ma,等时线年龄为(160.9 ± 3.2) Ma;样品 TXW-12 的坪年龄为(154.8 ± 0.6) Ma,等时线年龄为(152.3 ± 3.1) Ma(图 4)。两个样品的坪年龄与其对应的等时线年龄均吻合很好,说明本次得到的白云母的坪年龄和等时线年龄数据真实可靠,反映了所测样品的真实形成时间。

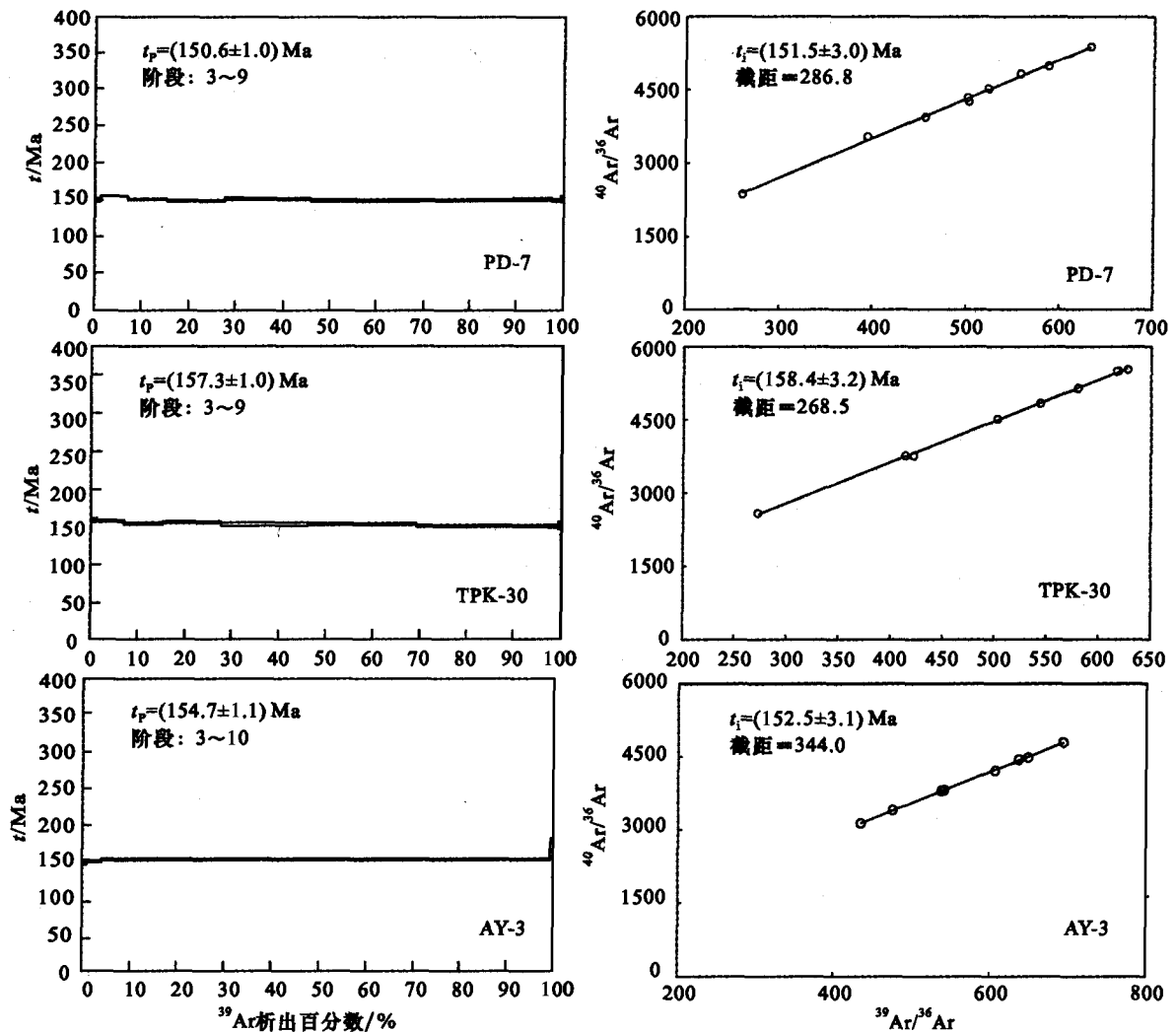


图2 芙蓉锡矿床白腊水矿区金云母的 Ar-Ar 坪年龄(左)及等时线年龄(右)

Fig. 2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectra and plateau (left) and isochron (right) ages for phlogopite samples from the Bailashui mining area of the Furong tin deposit

表2 角闪石样品 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温测年数据

Table 2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ analytical data for hornblende sample from the Furong tin deposit

加热阶段	$\theta/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{39}\text{Ar}_K/10^{-12} \text{ mol}$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_K$	$^{39}\text{Ar}_K/\%$	$t_a/\text{Ma} \pm 1\sigma$
样品 WCP-8, $m = 502.0 \text{ mg}$, 照射参数 $J = 0.013769$									
1	800	7.0240	0.002093	1.56120	0.92642	0.0486	6.5556	1.13	155.9 ± 1.3
2	900	7.0875	0.001897	0.90522	0.62483	0.1101	6.6103	2.56	157.1 ± 1.3
3	950	7.3231	0.002546	0.32908	0.22763	0.3322	6.5956	7.74	156.8 ± 1.3
4	1000	7.1674	0.00192	0.17783	0.12380	0.6843	6.6095	15.93	157.1 ± 1.3
5	1050	7.0852	0.001669	0.19348	0.12373	0.6937	6.6030	16.15	157.0 ± 1.3
6	1100	7.0576	0.00164	0.22755	0.10490	0.7326	6.5874	17.06	156.6 ± 1.3
7	1150	7.1672	0.001942	0.24106	0.09676	0.7734	6.6091	18.01	157.1 ± 1.3
8	1200	7.1600	0.001948	0.34046	0.19213	0.4042	6.6102	9.41	157.1 ± 1.3
9	1250	7.1483	0.002046	0.54141	0.19906	0.3287	6.5901	7.65	156.7 ± 1.3
10	1300	7.0558	0.002021	1.30790	0.34268	0.1323	6.5828	3.08	156.5 ± 1.3
11	1350	6.7207	0.002376	2.46353	0.98094	0.0546	6.2594	1.27	175.8 ± 1.7

注: m 表示样品质量; t_a 表示视年龄; 下标 m 表示测定值; * 表示放射成因氩。测试单位: 桂林矿产地质研究院。

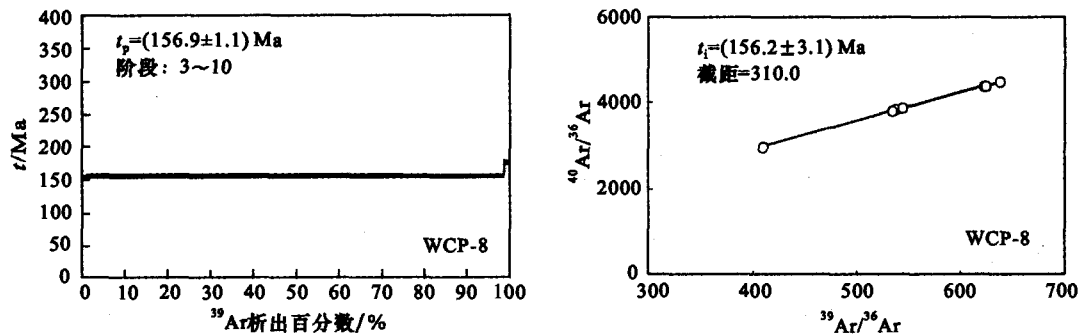


图 3 芙蓉白腊水矿区角闪石的 Ar-Ar 坪年龄(左)及等时线年龄(右)

Fig. 3 ⁴⁰Ar/³⁹Ar age spectrum and plateau (left) and isochron (right) ages for hornblende sample from the Bailashui mining area of the Furong tin deposit

表 3 白云母样品⁴⁰Ar/³⁹Ar 阶段升温测年数据

Table 3 ⁴⁰Ar/³⁹Ar analytical data for muscovite samples from the Furong tin deposit

加热阶段	$\theta/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{39}\text{Ar}_K/10^{-12}\text{mol}$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_K$	$^{39}\text{Ar}_K/\%$	$t_a/\text{Ma} \pm 1\sigma$
样品 TXW-10, $m = 55.10\text{ mg}$, 照射参数 $J = 0.0108871$									
1	350	11.9313	0.012003	0.000640	0.007460	0.308	8.3756	1.03	157.4 ± 2.7
2	450	8.8694	0.003107	0.002044	0.004363	1.745	7.9427	5.83	149.6 ± 0.4
3	550	9.1820	0.002627	0.003661	0.005683	2.380	8.3973	7.95	157.8 ± 0.3
4	650	9.0492	0.001843	0.004078	0.005907	3.733	8.4963	12.47	159.6 ± 0.3
5	750	8.9961	0.001528	0.003042	0.006436	5.607	8.5363	18.73	160.3 ± 0.2
6	850	9.0041	0.001335	0.005110	0.006617	6.900	8.6014	23.05	161.5 ± 0.2
7	950	8.9506	0.001512	0.005508	0.008275	6.056	8.4957	20.23	159.6 ± 0.2
8	1100	8.8296	0.001418	0.010430	0.013670	2.455	8.4029	8.2	157.9 ± 0.4
9	1200	8.7457	0.001004	0.015235	0.030000	0.602	8.4419	2.01	158.6 ± 1.9
10	1350	9.1901	0.001825	0.021598	0.016200	0.150	8.6445	0.50	162.3 ± 5.6
样品 TXW-12, $m = 64.40\text{ mg}$, 照射参数 $J = 0.0108871$									
1	350	9.4444	0.003439	0.001441	0.006442	0.344	8.4195	1.05	158.2 ± 3.4
2	480	8.8148	0.00234	0.002074	0.004036	1.896	8.1149	5.79	152.7 ± 1.0
3	600	8.8156	0.001637	0.003784	0.005074	2.626	8.3234	8.02	156.5 ± 0.9
4	750	8.7723	0.001917	0.004121	0.004935	4.139	8.1975	12.64	154.2 ± 0.8
5	850	8.5469	0.001267	0.003378	0.006004	6.071	8.1642	18.54	153.6 ± 0.7
6	980	8.6766	0.00155	0.004939	0.005887	7.600	8.2102	23.21	154.4 ± 0.7
7	1120	8.8979	0.001924	0.005237	0.007631	6.595	8.3212	20.14	156.4 ± 0.7
8	1200	8.6137	0.00157	0.010816	0.012800	2.649	8.1421	8.09	153.2 ± 0.9
9	1250	8.7300	0.001596	0.017733	0.028030	0.658	8.2514	2.01	155.2 ± 2.3
10	1350	9.2703	0.002125	0.029754	0.016140	0.167	8.6367	0.51	162.1 ± 6.1

注： m 表示样品质量； t_a 表示视年龄；下标 m 表示测定值；* 表示放射成因氩。测试单位：桂林矿产地质研究院。

毛景文等(2004a)亦测定了淘锡窝矿区的 Ar-Ar 同位素年龄,云英型矿石中白云母的坪年龄为(160.1 ± 0.9)Ma,等时线年龄为(157.7 ± 1.5)Ma,与本次得到的 TXW-10 年龄值吻合较好。另外,在山门口—淘锡窝—狗头岭锡矿带中的山门口矿区,云英型锡矿石中白云母的坪年龄为(156.1 ± 0.4)Ma,等时线年龄为(155.7 ± 1.6)Ma(毛景文等,2004a),与本次研究中样品 TXW-12 的年龄值基本吻合。因此,在芙蓉矿床中,山门口—淘锡窝矿带形

成于 154 ~ 160 Ma,与白腊水矿区的形成时间(151 ~ 158 Ma)相当一致,亦与骑田岭主体花岗岩的侵入时间(151 ~ 162 Ma)相吻合。

3.3 问题的讨论

在湘南郴州千里山—骑田岭一带,分布有许多大型、超大型矿床,如柿竹园 W-Sn-Mo-Bi-F 矿床、芙蓉 Sn 矿床、瑶岗仙 W 矿床、新田岭 W(白钨矿)矿床、香花岭 Sn-W-Pb-Zn 多金属矿床、黄沙坪 Pb-Zn 多金属矿床、宝山 Pb-Zn-Ag 多金属矿床,构成了一个

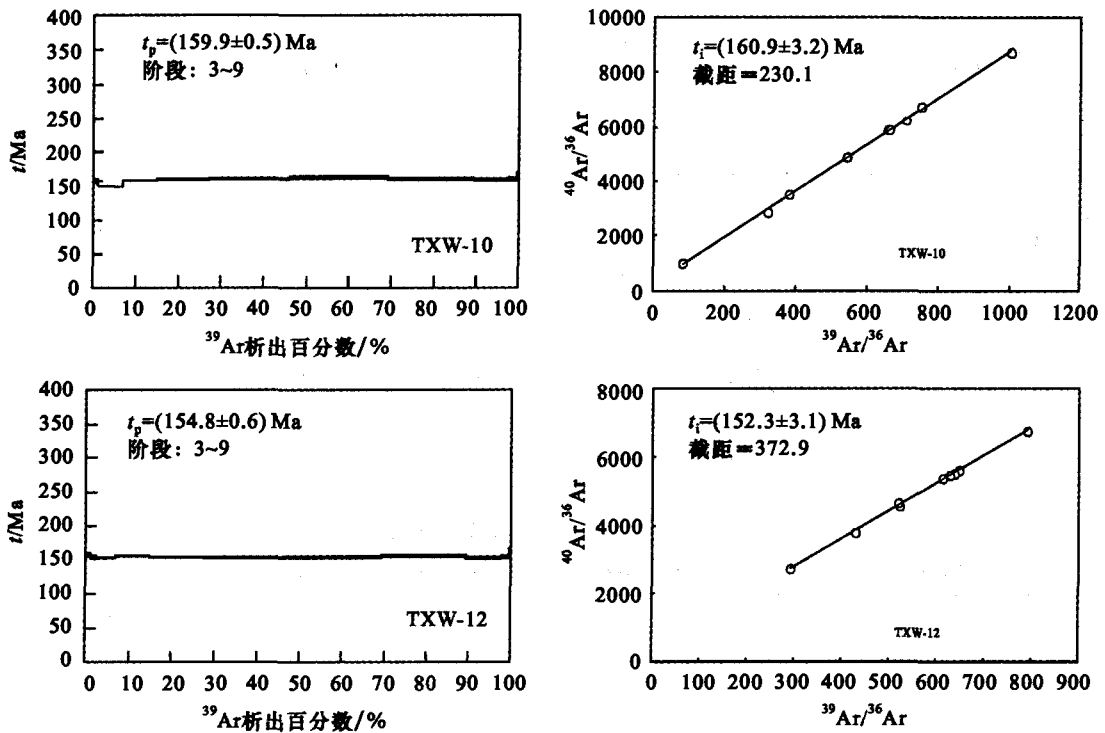


图4 芙蓉锡矿床淘锡窝矿区白云母的 Ar-Ar 坪年龄(左)及等时线年龄(右)

Fig. 4 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectra (left) and plateau (right) and isochron ages for muscovite samples from the Taoxiwo mining area of the Furong tin deposit

著名的湘南有色金属矿化集中区。对于该矿化集中区的形成时间,以往的工作主要集中在柿竹园矿区。如李红艳等(1996)利用 Re-Os 同位素测年方法,得到该矿辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 (151.0 ± 3.5) Ma;刘义茂等(1997)得到与主岩体相关的矽卡岩矿物(石榴子石、透辉石)的 Sm-Nd 等时线年龄为 (160.8 ± 2.4) Ma;最近 Li 等(2004)对该矿的石榴石、萤石、黑钨矿进行了 Sm-Nd 同位素定年,得到其等时线年龄为 (149 ± 2) Ma;毛景文等(2004b)测得该矿云英岩中白云母的 Ar-Ar 坪年龄为 (153.4 ± 0.2) Ma;笔者最近测得该矿矿脉中白云母 Ar-Ar 年龄为 (148.2 ± 1.1) Ma。最近人们对该区其他矿床也进行了研究,如肖红全等(2003)得到金船塘 Sn-Bi 矿床黄铁矿的 Pb-Pb 等时线年龄为 (164 ± 12) Ma;毛景文等(2004)测得新田岭白钨矿矿床矽卡岩中铁云母 Ar-Ar 年龄为 (157.1 ± 0.3) Ma;Peng 等(2006)对瑶岗仙脉型钨矿进行了辉钼矿 Re-Os 同位素测年,8 个辉钼矿样品形成了一条很好的等时线,其 Re-Os 等时线年龄为 (154.9 ± 2.6) Ma;Yuan 等(2007)最近得到香花岭尖峰岭矿区云英岩型锡矿床中白云母 Ar-Ar 坪年龄为 (158.7 ± 1.2) Ma,该矿香

花铺和塘官铺两矿区的白云母 Ar-Ar 坪年龄分别为 (161.3 ± 1.1) Ma 和 (154.4 ± 1.1) Ma。由上文可知,在芙蓉锡矿床中,白腊水矿区的主成矿期为 151~158 Ma,山门口、狗头岭等矿区的形成时间在 154~160 Ma。因此,在湘南的郴州地区,W、Sn 等金属可能主要集中在 150~160 Ma 发生大规模成矿。最近姚军明等(2007)对该区黄沙坪铅锌矿的定年研究,也有力地证实了这一结论的可靠性,该矿的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为 (154.8 ± 1.9) Ma。值得注意的是,赣南西华山钨矿床的形成时间为 (158 ± 10) Ma(李志昌等,1987);大吉山钨矿床石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 (150.4 ± 8) Ma(李华芹等,1993),含钨石英脉中白云母 K-Ar 年龄为 (152.6 ± 2.4) Ma 和 (158.2 ± 2.8) Ma(蒋国豪等,2004);漂塘钨矿石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 (150.2 ± 1.4) Ma(李华芹等,1993);崇义淘锡坑钨矿的 Re-Os 等时线年龄为 (154.4 ± 3.8) Ma(陈郑辉等,2006)。因此,150~160 Ma 可能是整个南岭地区钨、锡等有色金属大规模成矿的一个高峰期。

前人的研究表明,南岭地区存在燕山早期的碱性玄武岩(177~178 Ma)、双峰式火山岩(158~179

Ma)和 A 型花岗岩(176~178 Ma)(赵振华等,1993;陈培荣等,1998;1999;2002;范春芳等,2000)的岩石组合,暗示了华南自燕山早期就开始处于一种后造山的大陆裂解的构造环境中(陈培荣等,1999;2002)。随后该区强烈的花岗质岩浆活动亦与这种岩石圈伸展裂解作用密切相关(Gilder et al.,1996;Li,2000);目前在华南已发现多条 NE 向的低 t_{DM} 和高 ϵ_{Nd} 花岗岩带(Gilder et al.,1996;Chen et al.,1998;Hong et al.,1998;洪大卫等,2002),这种低 t_{DM} 和高 ϵ_{Nd} 带被广泛认为是中生代岩石圈伸展和壳、幔相互作用的证据;而湘南的千里山和骑田岭岩体正好位于这些陆内拉张带上。且已有的研究显示,千里山岩体、骑田岭岩体、花山和金鸡岭岩体的地球化学特征与 A 型花岗岩相似(赵振华等,2000;郑基俭等,2001;柏道远等,2005;付建明等,2005;朱金初等,2006),其形成过程中均有许多新生地幔物质的加入(赵振华等,2000;朱金初等,2003;2006)。Pb、Os 同位素示踪揭示,柿竹园矿床的形成是壳、幔相互作用的结果,成矿过程中有大量深源物质的加入(赵振华等,2000);最新的研究也显示,芙蓉锡矿床中成矿流体的稀有气体同位素组成³He/⁴He 测定值为 0.14~2.95 Ra,成矿流体具壳、幔混合的特点(Li et al.,2006)。因此,湘南郴州一带的花岗岩及其相关的 W、Sn 多金属成矿可能与中生代华南地幔物质上涌、岩石圈发生拉张、伸展作用密切相关。

致谢 野外工作得到湘南地质矿产调查研究所魏绍六总工、黄革非总工、罗小亚主任、许以明、邝田顺、侯茂松、何洲虎、刘东宏等工程师的大力支持和热情帮助! 论文撰写过程中得到毛景文研究员和桑海清高工的热情赐教,论文审稿人和编辑同志提供了宝贵的修改意见,在此一并致以诚挚的谢意!

References

- Bo D Y, Chen J C, Ma T Q and Wang X H. 2005. Geochemical characteristic and tectonic setting of Qitianling A-type granitic pluton in Southern Hunan[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24(4): 255~272 (in Chinese with English abstract).
- Cai J H, Mao S D, Cai M H and Liu G Q. 2002. Geological characteristics of Bailashui tin deposit in Qitianling orefield, Southern Hunan [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 10 (2): 54~59 (in Chinese with English abstract).
- Cai J H, Wei C S and Sun M H. 2004. A discussion on the ore-forming age of the Bailashui tin deposit in Qitianling, Hunan[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 25(2): 235~238 (in Chinese with English abstract).
- Chen J F and Jahn B M. 1998. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence [J]. *Tectonophysics*, 284: 101~133.
- Chen P R, Zhang B T, Kong X G, Cai B M, Ling H F and Ni Q S. 1998. Geochemical characteristics and tectonic implication of Zhaibei A-type granite intrusive in South Jiangxi[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 14(3): 289~298 (in Chinese with English abstract).
- Chen P R, Kong X G, Wang Y X, Ni Q S, Zhang B T and Ling H F. 1999. Rb-Sr isotopic dating and significance of early Yanshanian bimodal volcanic-intrusive complex from southern Jiangxi Province [J]. *Geol. J. China Univ.*, 5(4): 378~383 (in Chinese with English abstract).
- Chen P R, Hua R M, Zhang B T, Lu J J and Fan C F. 2002. Early Yanshanian post-orogenic granite: Petrological constraints and geodynamic setting [J]. *Science in China (Series D)*, 32(4): 279~289 (in Chinese).
- 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[J]. *Geol. Bull. China*, 25(4): 496~501 (in Chinese with English abstract).
- Fan C F and Chen P R. 2000. Geochemical characteristics and tectonic implication of Beitou A-type granite intrusive in Southern Jiangxi Province[J]. *Geochimica*, 29(4): 358~366 (in Chinese with English abstract).
- Fan W M. 1987. Origin of the Qitianling granite in Southern Hunan: Rb-Sr isotopic and REE constraints[J]. *Geotectonic et Metallogenia*, 11(1): 47~54 (in Chinese with English abstract).
- Fu J M, Ma C Q, Xie C F, Zhang Y M and Peng S B. 2004. Zircon SHRIMP dating of the Cailing granite on the eastern margin of the Qitianling granite and its significance[J]. *Geol. in China*, 31(1): 96~100 (in Chinese with English abstract).
- Fu J M, Ma C Q, Xie C F, Zhang Y M and Peng S B. 2005. Ascertainment of the Jinjiling aluminous A-type granite, Hunan Province and its tectonic settings[J]. *Geochimica*, 34(5): 215~226 (in Chinese with English abstract).
- Gilder S A, Gill J, Coe R S, Zhao X X, Liu Z W, Wang G X, Yuan K R, Liu W L, Kuang G D and Wu H R. 1996. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of South China[J]. *J. Geophysical Research (B)*, 101(7): 16137~16155.
- Granitoid Research Group of Nanling Project. 1989. *Geology of granitoids of Nanling range and their petrogenesis and mineralization* [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 28~57 (in Chinese).
- Hanson G N, Simmons K R and Bence A E. 1975. ⁴⁰Ar/³⁹Ar spectrum ages for biotite, hornblende and muscovite in a contract metamorphic zone[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 39: 1269~1273.
- Hong D W, Xie X L and Zhang J S. 1998. Isotopic geochemistry of

- granitoids in South China and their metallogeny[J]. *Resource Geology*, 48(4): 251~263.
- Hong D W, Xie X L and Zhang J S. 2002. Geological significance of the Hangzhou-Zhuguangshan-Huashan high- ϵ_{Nd} granite belt [J]. *Geol. Bull. China*, 21(6): 348~354 (in Chinese with English abstract).
- Huang G F. 1992. Discussion on the emplacement timing of Qitianling complex granite[J]. *Geol. & Prospect.*, 28(11): 7~11 (in Chinese with English abstract).
- Huang G F, Zheng Q W, Wei S L, Xu Y M, Hou M S and Kang W Q. 2001. Geological characteristics and ore-controlling factors of the Furong orefield, Qitianling, Hunan[J]. *Geol. in China*, 28(10): 30~34 (in Chinese with English abstract).
- Huang G F, Gong S Q, Jiang X W, Tan S X, Li C B and Liu D H. 2003. Exploration on the ore-forming regularities of tin deposits in Qitianling area, Southern Hunan[J]. *Geol. Bull. China*, 22(6): 445~451 (in Chinese with English abstract).
- Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1988. Regional geological of Hunan Province[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 498~522 (in Chinese with English abstract).
- Institution of Geochemistry, CAS. 1979. Geochemistry of granitoids in south China[M]. Beijing: Sci. Press. 24~50 (in Chinese).
- Jiang G H, Hu R Z, Xie G Q, Zhao J H and Tang Q L. 2004. K-Ar ages of plutonism and mineralization at the Dajishan tungsten deposit, Jiangxi Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 24(3): 253~256 (in Chinese with English abstract).
- Li H Q, Liu J Q and Wei L. 1993. Chronology of fluid inclusion on hydrothermal ore deposit and its geological application[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 28~64 (in Chinese with English abstract).
- Li H Y, Mao J W, Sun Y L, Zou X Q, He H L and Du A D. 1996. Re-Os isotopic chronometry of molybdenite in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit, Southern Hunan[J]. *Geological Reviews*, 42(3): 261~267 (in Chinese with English abstract).
- Li J D, Bai D Y, Wu G Y, Che Q J, Liu Y R and Ma T Q. 2005. Zircon SHRIMP dating of the Qitianling granite, Chenzhou, Southern Hunan and its geological significance[J]. *Geol. Bull. China*, 24(5): 411~414 (in Chinese with English abstract).
- Li X H. 2000. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in southeast China [J]. *J. Asian Earth Science*, 18: 293~305.
- Li X H, Liu D Y, Sun M, Li W X, Liang X R and Liu Y. 2004. Precise Sm-Nd and U-Pb isotopic dating of the supergiant Shizhuyuan polymetallic deposit and its host granite, SE China [J]. *Geol. Mag.*, 141(2): 225~231.
- Li Z C, Wan J H and Du G M. 1987. Sm-Nd isochron of fluorites[J]. *Geology and Geochemistry*, 15(9): 67~68 (in Chinese with English abstract).
- Li Z L, Hu R Z, Peng J T, Bi X W and Li X M. 2006. Helium isotopic geochemistry of ore-forming fluids tin deposit in Hunan Province, China[J]. *Resource Geology*, 56(1): 9~16.
- Liu Y M, Dai T M, Lu H Z, Xu Y Z, Wang C L and Kang W Q. 1997. ^{40}Ar - ^{39}Ar and Sm-Nd isotopic ages for lithogeny and mineralization of the Qilishan granite[J]. *Science in China (Series D)*, 27(5): 425~430 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y M, Xu J F, Dai T M, Li X H, Deng X G and Wang Q. 2002. ^{40}Ar / ^{39}Ar isotopic ages of the Qitianling granite and its geological significance[J]. *Science in China (Series D)*, 32(Supp.): 41~47 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Li X F, Bernd Lehmann, Chen W, Lan X M and Wei S L. 2004a. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of tin ores and related granite in Furong tin orefield, Hunan Province and its geodynamic significance [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 extension in South China[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 45~55 (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.
- Qiu H N and Peng L. 1997. ^{40}Ar / ^{39}Ar geochronometry and fluid inclusion dating[M]. Hefei: Press of Chinese University of Science & Technology. 143~151 (in Chinese with English abstract).
- Walraven F, Strydom J H and Strydom N. 1990. Rb-Sr open-system behavior and its application as a pathfinder for Sn mineralisation in granites of the Bushveld Complex, South Africa[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 37(3): 333~350.
- Wang D H, Chen Y H, Li H Q, Chen Z H, Yu J J, Lu Y F and Li J Y. 2003. Geological and geochemical features of the Furong tin deposit in Hunan and their significance for mineral prospecting[J]. *Geol. Bull. China*, 22(1): 50~56 (in Chinese with English abstract).
- Wei S L, Zeng Q W, Xu Y M, Lan X M, Kang W Q and Liao X Y. 2002. Characteristics and ore prospects of tin deposits in the Qitianling area, Hunan[J]. *Geology in China*, 29(1): 67~75 (in Chinese with English abstract).
- Wijbrans J R and McDougall I. 1986. ^{40}Ar / ^{39}Ar dating of white micas from an Alps high-pressure metamorphic belt on Naxos(Greece): The resetting of argon isotopic system [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 93: 187~194.
- Xiao H Q, Zhao K D, Jiang S Y, Jiang Y H and Ling H F. 2003. Lead isotope geochemistry and ore-forming age of the Jinchuantang Sn-Bi deposit in Dongpo orefield, Hunan[J]. *Mineral Deposits*, 22(3): 264~270 (in Chinese with English abstract).
- Xu Y M, Hou M S, Liao X Y and Ao Z W. 2000. The types and prospect for tin deposits in Furong ore field, Chenzhou[J]. *Hunan Geology*, 19(2): 95~100 (in Chinese with English abstract).
- Yao J M. 2007. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Huangshaping Pb-Zn-W-Mo deposit and its significance [J]. *Science in China (Series D)* (in press) (in Chinese with English abstract).
- Yuan S D, Peng J T, Shen N P, Hu R Z and Dai T M. 2007. ^{40}Ar - ^{39}Ar isotopic dating of the Xianghualing Sn-polymetallic orefield in Southern Hunan and its geological implications[J]. *Acta Geologica*

- Sinica, 81(2): 278~286.
- Zhao J H, Bao Z W and Zhang B Y. 1998. Geochemistry of Mesozoic basalt in Southern Hunan[J]. Science in China (Series D), 28 (Supp. 4): 7~14 (in Chinese).
- Zhao Z H, Bao Z W, Zhang B Y and Xiong X L. 2000. Crust-mantle interaction background of the ore formation in the giant Shizhuyuan tin polymetallic deposit[J]. Science in China (Series D), 30 (Supp. 1): 161~168 (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[J]. Geology and Minerals of South China, 9(4): 50~57 (in Chinese with English abstract).
- Zhu J C, Huang G F, Zhang P H, Li F C and Rao B. 2003. On the emplacement age and material sources for the granites of Cailing superunit, Qitianling pluton, Southern Hunan[J]. Geological Reviews, 46(3): 245~252 (in Chinese with English abstract).
- Zhu J C, Zhang H, Xie C F, Zhang P H and Yang C. 2005. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology and petrology of the Zhujiashui granite, Qitianling pluton, Southern Hunan[J]. Geol. J. China Univ., 11(3): 335~342 (in Chinese with English abstract).
- Zhu J C, Zhang P H, Xie C F, Zhang H and Yang C. 2006. The Huashan-Guposhan A-type granite belt in the western part of the Nanling mountain: Petrology, geochemistry and genetic interpretations[J]. Acta Geologica Sinica, 80(4): 529~542 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 柏道远, 陈建超, 马铁球, 王先辉. 2005. 湘南骑田岭岩体 A 型花岗岩的地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 24(4): 255~272.
- 蔡锦辉, 毛晓冬, 蔡明海, 刘国庆. 2002. 湘南骑田岭白腊水矿床成矿地质特征[J]. 华南地质与矿产, 10(2): 54~59.
- 蔡锦辉, 韦昌山, 孙明慧. 2004. 湖南骑田岭白腊水锡矿田成矿年龄讨论[J]. 地球学报, 25(2): 235~238.
- 陈培荣, 章邦桐, 孔兴功, 蔡笔聪, 凌洪飞, 倪琦生. 1998. 赣南寨背 A 型花岗岩体的地球化学特征及其构造地质意义[J]. 岩石学报, 14(3): 289~298.
- 陈培荣, 孔兴功, 王银喜, 倪琦生, 章邦桐, 凌洪飞. 1999. 赣南燕山早期双峰式火山岩-侵入杂岩的 Rb-Sr 同位素定年及意义[J]. 高校地质学报, 5(4): 378~383.
- 陈培荣, 华仁民, 章邦桐, 陆建军, 范春芳. 2002. 南岭燕山早期后造山花岗岩类: 岩石学制约和地球动力学背景[J]. 中国科学(D), 32(4): 279~289.
- 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.
- 地质矿产部南岭项目花岗岩专题组. 1989. 南岭花岗岩地质及其成因和成矿关系[M]. 北京: 地质出版社. 28~57.
- 范春芳, 陈培荣. 2000. 赣南破头 A 型花岗岩的地质地球化学特征及其形成的构造环境[J]. 地球化学, 29(4): 358~366.
- 范蔚若. 1987. 湘南骑田岭花岗岩体的成因: Rb-Sr 同位素和 REE 的制约[J]. 大地构造与成矿学, 11(1): 47~54.
- 付建明, 马昌前, 谢才富, 张业明, 彭松柏. 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.
- 付建明, 马昌前, 谢才富, 张业明, 彭松柏. 2005. 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, 34(5): 215~226.
- 中国科学院贵阳地球化学研究所. 1979. 华南花岗岩类的地球化学[M]. 北京: 科学出版社. 24~50.
- 洪大卫, 谢锡林, 张季生. 2002. 试析杭州一诸广山—华山高 ϵ_{Nd} 值花岗岩带的地质意义[J]. 地质通报, 21(6): 348~354.
- 湖南省地质矿产局. 1988. 湖南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社. 498~522.
- 黄革非. 1992. 骑田岭复式岩体侵位时代讨论[J]. 地质与勘探, 28(11): 7~11.
- 黄革非, 曾钦旺, 魏绍六, 许以明, 侯茂松, 康卫清. 2001. 湖南骑田岭芙蓉矿田锡矿地质特征及控矿因素初步分析[J]. 中国地质, 28(10): 30~34.
- 黄革非, 龚述清, 蒋希伟, 谭双喜, 黎传标, 刘东宏. 2003. 湘南骑田岭锡矿成矿规律探讨[J]. 地质通报, 22(6): 445~451.
- 蒋国豪, 胡瑞忠, 谢桂青, 赵军红, 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.
- 李红艳, 毛景文, 孙亚莉, 邹晓秋, 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, 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[M]. 北京: 地质出版社. 28~64.
- 李金东, 柏道远, 伍光英, 车勤建, 刘耀荣, 马铁球. 2005. 湖南郴州地区骑田岭花岗岩锆石的 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 中国地质, 24(5): 411~414.
- 李志昌, 万建华, 杜国民. 1987. 萤石 Sm-Nd 等时线[J]. 地质地球化学, 15(9): 67~68.
- 刘义茂, 戴樟谟, 卢焕章, 胥有志, 王昌烈, 康卫青. 1997. 千里山花岗岩成岩成矿的 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 和 Sm-Nd 同位素年龄[J]. 中国科学(D 辑), 27(5): 425~430.
- 刘义茂, 许继峰, 戴樟谟, 李献华, 邓希光, 王强. 2002. 骑田岭花岗岩 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 同位素年龄及其地质意义[J]. 中国科学(D 辑), 32(S2): 41~47.
- 毛景文, 李晓峰, Bernd Lehmann, 陈文, 蓝晓明, 魏绍六. 2004a. 湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 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, 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.
- 邱华宁, 彭良. 1997. ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年代学与流体包裹体定年[M]. 合肥: 中国科技大学出版社. 143~151.
- 王登红, 陈毓川, 李华芹, 陈正宏, 余金杰, 路远发, 李寄岷. 2003. 湖南芙蓉锡矿的地质地球化学特征及其找矿意义[J]. 地质通报, 22(1): 50~56.
- 魏绍六, 曾钦旺, 许以明, 蓝晓明, 康卫清, 廖兴钰. 2002. 湖南骑

- 田岭地区锡矿床矿床特征及找矿前景[J]. 中国地质, 29(1): 67~75.
- 肖红全, 赵葵东, 蒋少涌, 姜耀辉, 凌洪飞. 2003. 湖南东坡矿田金船塘锡铋矿床铅同位素地球化学及成矿年龄[J]. 矿床地质, 22(3): 264~270.
- 许以明, 侯茂松, 廖兴钰, 敖宗伟. 2000. 郴州芙蓉矿田锡矿类型及找矿前景[J]. 湖南地质, 19(2): 95~100.
- 姚军明. 2007. 湘南黄沙坪铅锌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)(待刊).
- 赵振华, 包志伟, 张伯友, 熊小林. 2000. 柿竹园超大型钨多金属矿床形成的壳幔相互作用背景[J]. 中国科学(D辑), 30(S1): 161~168.
- 赵振华, 包志伟, 张伯友. 1998. 湘南中生代玄武岩类地球化学特征[J]. 中国科学(D辑), 28(增刊): 7~14.
- 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): 50~57.
- 朱金初, 黄革非, 张佩华, 李福春, 饶冰. 2003. 湖南骑田岭岩体菜岭超单元花岗岩侵位年龄和物质来源研究[J]. 地质论评, 49(4): 245~252.
- 朱金初, 张辉, 谢才富, 张佩华, 杨策. 2005. 湘南骑田岭竹视水花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年代学和岩石学[J]. 高校地质学报, 11(3): 335~342.
- 朱金初, 张佩华, 谢才富, 张辉, 杨策. 2006. 南岭西段花山一姑婆山 A 型花岗质杂岩带: 岩石学、地球化学和岩石成因[J]. 地质学报, 80(4): 529~542.