

文章编号 0258-7106(2006)01-0017-10

江西银山多金属矿床蚀变绢云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其地质意义*

李晓峰¹, 陈文², 毛景文¹, 王春增³, 谢桂青¹, 冯佐海⁴

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 3 University of Maine at Presque Isle, Presque Isle, ME 04769, USA; 4 桂林工学院资源与环境工程系, 广西 桂林 541004)

摘 要 江西银山矿床是一个与火山-次火山热液有关的多金属矿床。文章通过对该矿床九区与铜金矿化有关的蚀变英安斑岩和石英斑岩中绢云母的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 快中子活化年龄测试, 获得蚀变英安斑岩中绢云母的坪年龄和等时线年龄分别为 $(178.2 \pm 1.4) \text{ Ma}$ 和 $(179.6 \pm 2.9) \text{ Ma}$, 蚀变石英斑岩中 2 件绢云母样品的坪年龄和等时线年龄分别为 $(175.4 \pm 1.2) \text{ Ma}$ 和 $(175.3 \pm 1.1) \text{ Ma}$ 、 $(176.2 \pm 5.1) \text{ Ma}$ 和 $(176.6 \pm 3.3) \text{ Ma}$ 。这些数据表明, 银山多金属矿床铜金矿化的成矿时代为 175~180 Ma。该成果的获得对于进一步认识德兴地区乃至华南地区中生代的地球动力学背景具有重要意义。

关键词 地质学; $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化测年; 蚀变英安斑岩; 蚀变石英斑岩; 银山多金属矿床; 德兴; 江西
中图分类号 P597+.3 **文献标识码** A

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of sericite from altered dacite porphyry and quartz porphyry in Yinshan polymetallic deposit of Jiangxi Province and its geological significance

LI XiaoFeng¹, CHEN Wen², MAO JingWen¹, WANG ChunZeng³, XIE GuiQing¹ and FENG ZuoHai⁴

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China; 3 University of Maine at Presque Isle, Presque Isle, ME 04769, USA; 4 Guilin Institute of Technology, Guilin 541004, Guangxi, China)

Abstract

The Yinshan polymetallic deposit in Jiangxi Province is a hydrothermal vein-type deposit closely related to Late Jurassic felsic-intermediate volcanic-subvolcanic activities. The second stage of Cu-Au mineralization is associated with dacite porphyry. Sericites from dacite porphyry and quartz porphyry in the Cu-Au ore zone were analyzed by the ^{40}Ar - ^{39}Ar fast-neutron activation dating technique, and the results yielded the plateau age and the isochron age of $(178.2 \pm 1.4) \text{ Ma}$ and $(179.6 \pm 2.9) \text{ Ma}$ respectively in altered dacite porphyry, and $(175.4 \pm 1.2) \text{ Ma}$ and $(176.2 \pm 5.1) \text{ Ma}$, $(175.3 \pm 1.1) \text{ Ma}$ and $(176.6 \pm 3.3) \text{ Ma}$ respectively in altered quartz porphyry. It is held that the Cu-Au mineralization in the Yinshan deposit took place in 175~180 Ma, resulting from the tectonic extension related to multiple lithospheric extension in South China.

Key words: geology, ^{40}Ar - ^{39}Ar fast-neutron activation dating, altered dacite porphyry, altered quartz porphyry, Yinshan polymetallic deposit, Dexing, Jiangxi Province

* 本文得到国家自然科学基金青年项目(40403006)、国家自然科学基金重点项目(40434011)和中国博士后资助金(2003033209)的资助
第一作者简介 李晓峰,男,1971年生,副研究员,主要从事矿床地质和矿床地球化学研究工作。

收稿日期 2005-07-20; 改回日期 2005-10-27。

银山多金属矿床位于江西德兴大型铜金矿集区内。该矿集区不仅是中国著名的铜矿产地,也是金、银等贵金属的聚集地。区内主要有德兴斑岩铜矿(铜厂、朱砂红和富家坞)、金山金矿、银山多金属矿等大型矿床,以及蛤蟆石、花桥等小型金矿。其中,银山多金属矿床是一个与陆相火山-次火山热液有关的多金属矿床,最初以开采银而得名。20世纪50年代建成铅锌矿,70~80年代勘探铜硫矿体,80年代后期又发现了相当可观且与铜硫矿体相伴产出的金矿。铜金矿主要以九区和西山地区为代表,并构成铜硫金矿带。铜金矿体主要产于九区3号英安斑岩体的南北接触带、爆破角砾岩、千枚岩、蚀变石英闪长岩和石英斑岩中,矿带走向EW—SEE。随着地质勘探工作不断向深部进展,矿床的蚀变矿物组合向深部逐渐过渡为斑岩铜矿的矿物组合(江西银山铜铅锌金银矿床编写组,1996);从而推测,银山深部可能有一个规模较大的中酸性(花岗闪长)斑岩体,推测深部存在隐伏的斑岩型铜金矿床。银山铜金矿体是一个连接深部斑岩铜矿与高硫型浅部低温热液矿床的“过渡型矿床”(张德会,1997),应该与德兴铜厂斑岩铜矿床属于同一类岩浆成矿系统(华仁民等,2005)。虽然银山矿床铜金矿体与德兴斑岩铜矿床在围岩蚀变、矿物组合以及流体包裹体等方面具有很大的相似性,但从已有的成矿成岩年龄资料来看,两者还存在较大的差异。因此,笔者在前人工作的基础上,通过对银山铜铅锌金银矿床与铜金矿化有关的成矿年龄的研究,旨在探讨其成因关系及地球动力学背景。

1 区域地质背景

银山多金属矿床所在的江西德兴矿集区位于江南造山带东段,其北西是扬子板块,南西是华南褶皱系,东面则是同属江南造山带的江(山)绍(兴)地区。该矿床位于赣东北深大断裂与乐安江深大断裂之间、乐华-德兴火山盆地的北东缘(华仁民,1987)(图1)。区域上出露的地层主要为中元古界双桥山群下亚群浅变质岩系,以及中生界上侏罗统鹅湖岭组流纹质-英安质火山碎屑岩。双桥山群是一套浅变质的火山碎屑沉积岩夹变质火山熔岩,由两种不同成因类型且产于不同大地构造环境的上、下亚群组成。其下亚群为稳定的大陆边缘沉积岩系(1515 Ma(杨

明桂,1988));其上亚群为强烈活动的板块边缘沉积岩系(1371 Ma(江西地质矿产局,1984))。上侏罗统鹅湖岭组是一套以中酸性岩类为主的钙碱性陆相火山岩系,不整合于双桥山群之上,其底部主要为千枚质角砾岩,中部为流纹质集块角砾岩和角闪流纹熔岩,上部为凝灰角砾岩和英安质熔岩。下白垩统石溪组主要是一套棕红色砂岩,不整合覆盖于老地层之上。银山多金属矿床和德兴大型斑岩铜矿床赋存于双桥山群下亚群内。

区内主体构造为由浅变质岩系构成的银山背斜。该背斜两翼陡,核部紧闭,枢纽走向NE—NNE。其北西翼发育一系列近EW向顺层裂隙,SE翼则发育一系列NE向、NNW-NW向及NEE向断裂。主要断裂F7为背斜轴部断裂带,是由少数主断面组成的脆-韧性剪切带。西山火山机构为一破火山口,平面上呈SE向的椭圆形,剖面上呈漏斗状,接触面产状陡立,向SE倾斜。其周边特别是东侧,发育环状和放射状裂隙系统。整个火山机构及放射状断裂系统控制着银山矿床的火山-次火山作用及有关的流体成矿作用。

在区域上,早侏罗世-白垩世岩浆活动频繁,不仅发育有大量的陆壳重熔型花岗岩体(如灵山、大茅山岩体(195 Ma))、壳幔混源型浅成侵入岩(铜厂花岗斑岩(170 Ma)(王强等,2004)),还发育大量的火山喷发岩和次火山岩(如银山石英斑岩(164~167 Ma)、英安斑岩(159 Ma)等)。

银山的火山活动可分为有明显间断的3个喷发旋,分别为偏酸性、中酸性和偏中性。以第1、2旋回为主要火山活动期,均以火山碎屑喷发开始,继之以熔岩喷溢,其后有次火山岩侵入。在银山地区,第1旋回火山活动为偏酸性的流纹英安质-流纹质,分布在矿区北东侧和东侧,其活动形式明显为裂隙式喷发,主要沿近EW向构造和NE向构造的交汇部位发生。其稍后的次火山岩(石英斑岩)则分布在偏北部的九龙上天—北山一带,呈近EW向的不规则岩脉(如4、5、13号岩体)侵入于盆地边缘的双桥山群之中。第2旋回火山活动为英安质,其次火山岩(英安斑岩)主要分布在西山及其周围(如1、3号岩体)。该阶段的火山喷发活动已从裂隙式逐渐转为中心式,西山的中心式火山机构保留得较为完整。第3旋回火山活动仅有少量英安质熔岩喷溢,且局限于西山火山机构内(11号岩体)(华仁民,1987)。

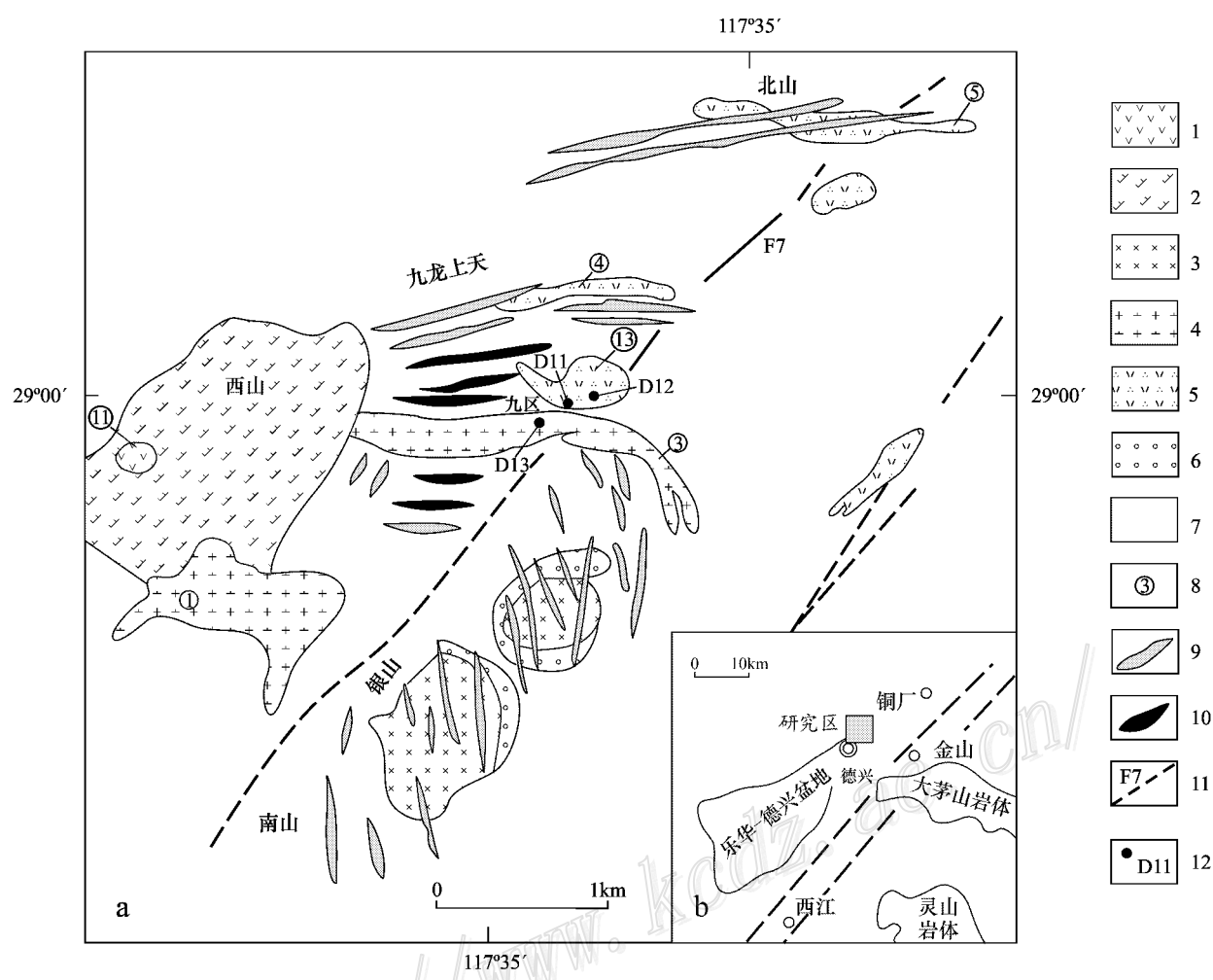


图 1 德兴银山矿区地质简图(据华仁民,1987 修改)

1—安山玢岩 2—英安质火山岩 3—角闪流纹岩 4—英安斑岩 5—石英斑岩 6—千枚质砾岩 7—千枚岩 (图 1a) 8—次火山岩体编号 ;
9—Pb-Zn-Ag 矿脉 ;10—Cu-Au 矿脉 ;11—主要断裂 ;12—采样位置及编号

Fig.1 Simplified geological map of Yinshan ore district in Jiangxi Province , showing location of study area
(modified from Hua ,1987)

1—Andesitic porphyry ; 2—Dacitic volcanics ; 3—Amphibole rhyolite ; 4—Dacite porphyry ; 5—Quartz porphyry ; 6—Phyllitic conglomerate ;
7—Phyllite ; 8—Subvolcanic intrusion ; 9—Pb-Zn-Ag ore ; 10—Cu-Au ore ; 11—Major fault ; 12—Sampling site and serial number

2 矿床地质特征

银山矿区主要出露中元古界双桥山群下亚群和侏罗系鹅湖岭组岩石,是主要的赋矿围岩。矿区的构造格架为银山背斜和沿背斜轴部产生的 F7 断裂以及西山火山构造。银山多金属矿床的成矿作用与燕山早期的火山-次火山热液活动密切相关。华仁民等(1987 ;1993)、李晓峰等(2002)和 Li 等(2005)认为,该矿床主要有 2 期矿化作用,分别与燕山早期的前两个旋回的次火山岩活动相对应,并在空间上各有中心。从矿区热液蚀变的具体情况来看,分布

于矿区北部的第 1 旋回次火山岩石英斑岩的蚀变程度最深,主要是黄铁矿化、石英绢云母化,其次为泥化、绿泥石化、碳酸盐化等。由于蚀变强烈,在镜下已难辨认长石的特征。第 2 旋回英安斑岩的蚀变比第 1 旋回的蚀变要浅,主要是石英绢云母化、泥化和碳酸盐化,其岩石薄片在正交偏光下显现长石晶形并可见到模糊的双晶。第 3 旋回安山玢岩的蚀变很浅,仅有微弱的黄铁矿化,镜下可清楚看到斜长石斑晶的双晶和部分环带构造,并可测定斜长石的成分。江西银山铜铅锌金银矿床编写组(1996)认为,银山矿床的成矿作用主要与第 2 旋回的火山-次火山作用有关,早期以铜硫金矿化为主,晚期以铅锌银矿化

为主。林德松等(1990)认为,与石英斑岩侵入有关的成矿作用主要为铅锌银矿化,其成矿温度为 $130\sim 310^{\circ}\text{C}$;与英安斑岩侵入有关的成矿作用,主要为铜金矿化,其成矿温度为 $200\sim 330^{\circ}\text{C}$ 。沈渭洲等(1991)则认为,银山矿床的成矿作用和热液蚀变作用是次火山英安斑岩向外,由较高温的铜金矿体,过渡到较低温的铅锌矿体。

银山矿床的矿化形式以陡倾斜的裂隙充填大脉为主,脉宽一般在 5 cm 以上;其次是细脉型和细脉浸染型。矿体主要产于双桥山群千枚岩中。矿石矿物主要为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂、硫砷铜矿和砷黝铜矿。北山区、九龙上天区有较多的毒砂、硫砷铜矿、砷黝铜矿等,而在南部区段,这类矿物很少;在北部,闪锌矿含铁较高,而南部则出现较低温的纤维锌矿(华仁民,1987)。

脉状铅锌银矿体主要分布于北山、九龙上天和银山,前两者的矿体走向近EW向,倾向N或者S;西山矿体的走向为NE、NNE、近NS、NNW,银山区矿体走向NW,倾向SW或者SE。矿脉长度一般为 $300\sim 600\text{ m}$,最长达 $1\,050\text{ m}$,一般厚 $1\sim 5\text{ m}$ 。由脉状矿体组成矿脉带,与围岩接触关系清楚(江西银山铜铅锌金银矿床编写组,1996)。

铜金矿体产于九区和西山的铜硫矿带,以及3号英安斑岩体的南北接触带、爆破角砾岩、千枚岩、蚀变石英斑岩内。矿带走向EW至SEE,长逾 900 m ,宽逾 350 m 。矿体规模大,为形态完整的板状、厚板状。其产状与英安斑岩体一致,常出现分支复合现象。矿体的走向或倾向均与3号岩体一致,随岩体产状的变化而变化。岩体的中央部分为无矿核心。矿石类型主要有铜硫金矿石和硫金矿石。主要矿石矿物为黄铁矿、黄铜矿、砷黝铜矿、硫砷铜矿、黝铜矿、方铅矿、闪锌矿等。围岩蚀变主要为黄铁绢英岩化、青磐岩化、高岭石化、绿泥石化和碳酸盐化等。3号岩体蚀变分带明显,由内向外为:绢云母化英安斑岩带、石英绢云母化英安斑岩带-石英绢云母化千枚岩带、绢云母绿泥石化千枚岩带-绿泥石碳酸盐化千枚岩带(江西银山铜铅锌金银矿床编写组,1996)。

3 样品及测试方法

3.1 样品

本次用于 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年代学测试的绢云母样品,采自银山多金属矿床铜金矿化带九区地表采场的3

号蚀变英安斑岩体(1件,样品号:D13),以及13号蚀变石英斑岩体(2件,样品号:D11和D12)。

3.2 测试方法

将选纯的绢云母(纯度 $>99\%$)用超声波清洗。在用超声波清洗的过程中,要注意清洗液的选择和严格控制时间。一般先用经过2次亚沸蒸馏净化的纯净水清洗3次,每次 3 min 。在此过程中,矿物表面和解理缝中在天然状态下和碎样过程中吸附的粉末和杂质被清除。然后,在丙酮中清洗2次,每次 3 min 。在此过程中,矿物表面吸附的油污等有机物质被清除。

清洗后的样品被封进石英瓶中,送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院的“游泳池堆”中进行的。使用H8孔道,其中子流密度约为 $6.0\times 10^{12}\text{ n cm}^{-2}\text{ s}^{-1}$ 。照射总时间为 $3\,064\text{ min}$,积分中子通量为 $1.10\times 10^{18}\text{ n cm}^{-2}$ 。同时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,其标准年龄为 132.7 Ma ,K含量为 7.6% 。

使用电子轰击炉对样品进行阶段升温加热,每一个阶段加热 30 min ,净化 30 min 。质谱分析在MM-1200B质谱计上进行,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。系统空白水平: m/e 在40、39、37、36时,分别小于 $6\times 10^{-15}\text{ mol}$ 、 $4\times 10^{-16}\text{ mol}$ 、 $8\times 10^{-17}\text{ mol}$ 和 $2\times 10^{-17}\text{ mol}$ 。通过分析经照射的 K_2SO_4 和 CaF_2 ,来获得中子照射过程中所产生的干扰同位素的校正系数,其值为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}}=0.0002389$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}}=0.004782$ ($^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}}=0.000806$ 。 ^{37}Ar 经过放射性衰变校正, ^{40}K 衰变常数 $=5.543\times 10^{-10}\text{ a}^{-1}$,坪年龄误差以 2σ 给出。用ISOPLLOT程序计算正、反等时线。详细实验流程请参见有关文献(Chen et al., 2002; 陈文等, 2002)。

4 分析结果

银山矿区蚀变英安斑岩和石英斑岩中绢云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄分析结果分别列于表1、2、3。总的来说,在不同的加热温度区间,不同样品绢云母所获之视年龄间的差异都比较小。

3号英安斑岩D13样品的绢云母经过10个阶段的分步加热,加热温度区间为 $600\sim 1400^{\circ}\text{C}$ 。在

表 1 银山多金属矿床蚀变英安斑岩中绢云母(D13)⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄分析结果

Table 1 ⁴⁰Ar/³⁹Ar stepwise heating data of sericite(D13) from altered dacite porphyry in Yinshan deposit

$\theta/^{\circ}\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$	$^{39}\text{Ar}/10^{-14}\text{mol}$	^{39}Ar (累积) $\%$	t/Ma
600	10.6417	0.0033	0.0767	0.0325	9.6612	152.73	2.33	189.2 $\pm$ 2.0
700	9.0011	0.0007	0.0421	0.0148	8.7921	687.99	12.84	172.9 $\pm$ 1.7
780	9.2602	0.0006	0.0435	0.0148	9.0931	957.43	27.46	178.6 $\pm$ 1.7
830	9.2466	0.0003	0.0084	0.0021	9.1459	1896.09	56.41	179.6 $\pm$ 1.9
870	9.3177	0.0004	0.0232	0.0157	9.2004	1279.72	75.95	180.6 $\pm$ 1.7
900	9.1777	0.0004	0.0468	0.0155	9.0521	826.97	88.58	177.8 $\pm$ 1.8
940	9.1301	0.0006	0.0506	0.0157	8.9492	560.29	97.14	175.9 $\pm$ 1.8
1 000	9.4715	0.0016	0.0830	0.0223	9.0017	133.81	99.18	176.9 $\pm$ 1.9
1 100	11.0172	0.0072	0.5537	0.0501	8.9384	37.63	99.76	175.7 $\pm$ 3.5
1 400	17.3315	0.0230	0.9285	0.0491	10.5920	15.98	100.00	206.4 $\pm$ 3.8

注 表中下标 m 者代表样品中测定的同位素比值, ⁴⁰Ar* 代表放射性成因⁴⁰Ar, 年龄误差为 2σ。测试仪器 :MM-1200B 质谱仪, 测试单位 :中国地质科学院地质研究所开放研究实验室。

表 2 银山多金属矿床蚀变石英斑岩中绢云母(D12)⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄分析结果

Table 2 ⁴⁰Ar/³⁹Ar stepwise heating data of sericite(D12) from altered quartz porphyry in Yinshan deposit

$\theta/^{\circ}\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$	$^{39}\text{Ar}/10^{-14}\text{mol}$	^{39}Ar (累积) $\%$	t/Ma
600	9.8164	0.0114	0.3727	0.0391	6.4670	49.20	0.79	127.6 $\pm$ 1.6
700	9.3422	0.0021	0.0613	0.0164	8.7212	156.06	3.28	170.0 $\pm$ 1.7
780	8.9968	0.0007	0.0302	0.0144	8.7761	244.90	7.20	171.0 $\pm$ 1.7
850	8.9484	0.0004	0.0117	0.0131	8.8226	455.18	14.49	171.9 $\pm$ 1.6
900	9.0607	0.0005	0.0121	0.0139	8.9099	166.94	17.16	173.5 $\pm$ 1.9
960	9.1869	0.0005	0.0068	0.0130	9.0364	880.87	31.26	175.8 $\pm$ 1.8
1 000	9.2655	0.0008	0.0102	0.0146	9.0314	512.29	39.46	175.7 $\pm$ 1.7
1 050	9.3312	0.0010	0.0119	0.0161	9.0203	426.57	46.28	175.5 $\pm$ 1.7
1 100	9.3271	0.0009	0.0060	0.0131	9.0689	777.95	58.73	176.4 $\pm$ 1.7
1 150	9.1866	0.0008	0.0119	0.0140	8.9453	439.52	65.77	174.2 $\pm$ 1.8
1 200	9.2188	0.0008	0.0101	0.0143	8.9723	561.98	74.76	174.7 $\pm$ 1.8
1 250	9.3008	0.0009	0.0106	0.0134	9.0285	952.03	90.00	175.7 $\pm$ 1.8
1 300	9.3335	0.0009	0.0155	0.0131	9.0584	578.64	99.26	176.3 $\pm$ 1.7
1 400	9.6117	0.0024	0.2408	0.0195	8.9265	46.53	100.00	173.8 $\pm$ 2.1

注 表中下标 m 者代表样品中测定的同位素比值, ⁴⁰Ar* 代表放射性成因⁴⁰Ar, 年龄误差为 2σ。测试仪器 :MM-1200B 质谱仪, 测试单位 :中国地质科学院地质研究所开放研究实验室。

表 3 银山多金属矿床蚀变石英斑岩中绢云母(D11)⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄分析结果

Table 3 ⁴⁰Ar/³⁹Ar stepwise heating data of sericite(D11) from altered quartz porphyry in Yinshan deposit

$\theta/^{\circ}\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$	$^{39}\text{Ar}/10^{-14}\text{mol}$	^{39}Ar (累积) $\%$	t/Ma
600	9.8839	0.0089	0.2142	0.0300	7.2556	50.39	0.80	141.8 $\pm$ 1.8
700	9.3823	0.0026	0.0773	0.0170	8.6174	160.73	3.34	167.2 $\pm$ 1.7
780	9.0932	0.0010	0.0364	0.0144	8.8095	299.87	8.10	170.8 $\pm$ 1.7
840	9.1358	0.0009	0.0264	0.0141	8.8698	381.48	14.14	171.9 $\pm$ 1.6
900	9.2388	0.0009	0.0219	0.0139	8.9626	610.85	23.82	173.6 $\pm$ 1.9
950	9.3018	0.0007	0.0140	0.0136	9.1041	639.70	33.95	176.2 $\pm$ 1.8
990	9.2873	0.0007	0.0149	0.0135	9.0794	703.66	45.10	175.8 $\pm$ 2.0
1 030	9.3861	0.0014	0.0321	0.0167	8.9747	402.39	51.47	173.8 $\pm$ 1.7
1 080	9.3891	0.0012	0.0184	0.0138	9.0216	321.47	56.56	174.7 $\pm$ 2.3
1 140	9.4104	0.0011	0.0133	0.0136	9.0785	818.10	69.52	175.8 $\pm$ 2.7
1 180	9.4128	0.0012	0.0212	0.0141	9.0686	336.87	74.86	175.6 $\pm$ 2.3
1 240	9.4424	0.0011	0.0177	0.0138	9.1118	571.60	83.92	176.4 $\pm$ 2.2
1 300	9.4565	0.0011	0.0068	0.0132	9.1346	876.01	97.79	176.8 $\pm$ 1.8
1 350	9.7768	0.0023	0.0515	0.0150	9.0857	139.23	100.00	175.9 $\pm$ 2.1

注 表中下标 m 者代表样品中测定的同位素比值, ⁴⁰Ar* 代表放射性成因⁴⁰Ar, 年龄误差为 2σ。测试仪器 :MM-1200B 质谱仪, 测试单位 :中国地质科学院地质研究所开放研究实验室。

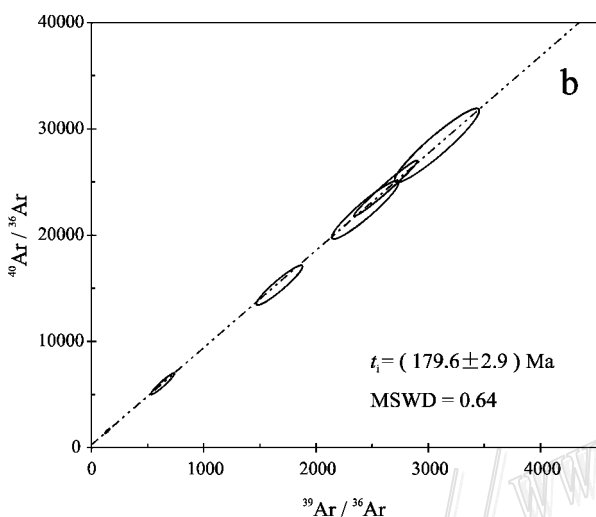
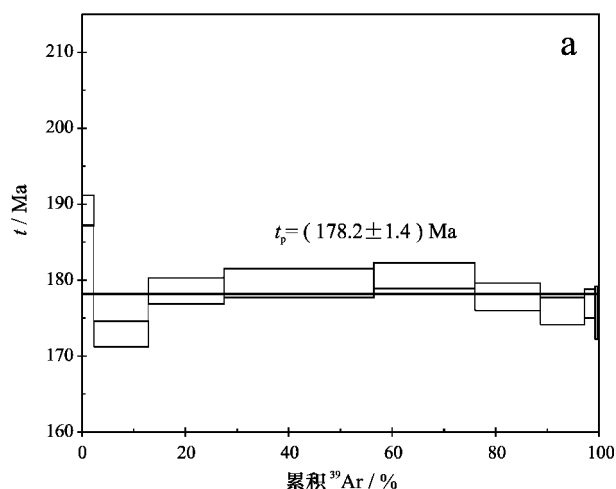


图2 银山多金属矿床蚀变英安斑岩中(D13)绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄(a)和等时线年龄(b)

Fig. 2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plateau age (a) and isochron age (b) of sericite (D13) from dacite porphyry in Yinshan deposit

780~1 100℃温度范围内,由3~9加热阶段共7个数据点所获之视年龄间的最大差异为4.7 Ma;采用加权平均计算其坪年龄为 $(178.2 \pm 1.4) \text{ Ma}$ (2σ) (图2a);线性回归计算其等时线年龄为 $(179.6 \pm 2.9) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=0.64$) (图2b)。

13号蚀变石英斑岩D12样品经过14个阶段的分步加热,加热温度区间为600~1 400℃。在900~1 400℃温度范围内,由5~14加热阶段共10个数据点所获之视年龄间的最大差异为2.8 Ma;采用加权平均计算其坪年龄为 $(175.3 \pm 1.1) \text{ Ma}$ (2σ) (图3a);线性回归计算其等时线年龄为 $(176.6 \pm 3.3) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=0.19$) (图3b)。

13号蚀变石英斑岩D11样品经过14个阶段的

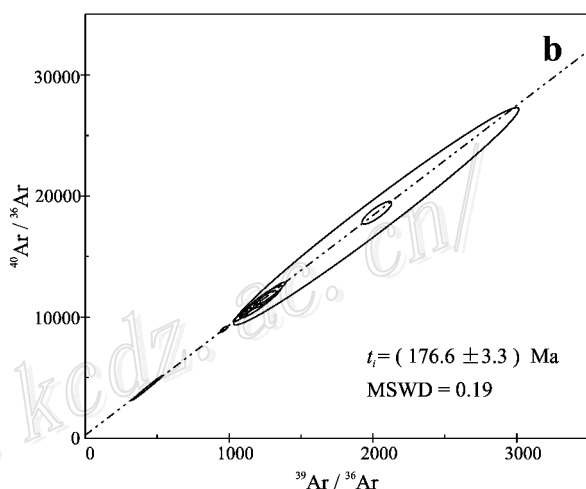
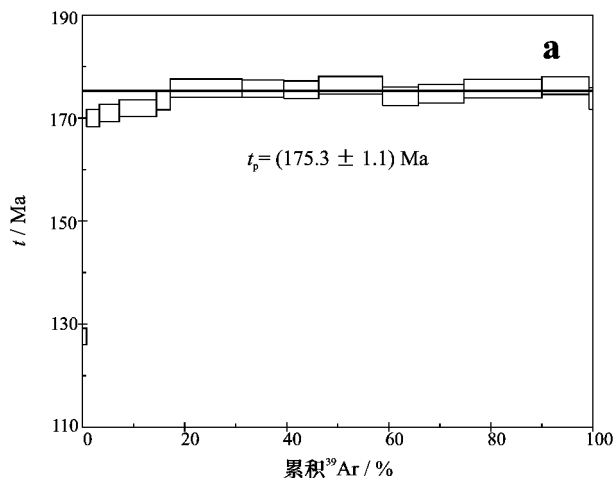


图3 银山多金属矿床蚀变石英斑岩中(D12)绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄(a)和等时线年龄(b)

Fig. 3 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plateau age (a) and isochron age (b) of sericite (D12) from quartz porphyry in Yinshan deposit

分步加热,加热温度区间为600~1 350℃。在840~1 350℃温度范围内,由4~14加热阶段共11个数据点所获之视年龄间的最大差异为3.2 Ma;采用加权平均计算其坪年龄为 $(175.4 \pm 1.2) \text{ Ma}$ (2σ) (图4a);线性回归计算其等时线年龄为 $(176.2 \pm 5.1) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=0.32$) (图4b)。

由表1、2、3可知,每个样品不同温度每次分馏的 $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ 的比值基本一致,给出的表面年龄也基本相同,产生了一致的年龄谱。并且,每个样品的等时线年龄和坪年龄的测试结果具有很好的一致性,说明样品自结晶作用以来对钾和氩保持封闭体系,未受过任何地质热事件的扰动,代表了样品结晶作用的年龄。因此,本次样品测试结果是可靠的。另外,采自同一岩体不同地点的绢云母样品(D11和

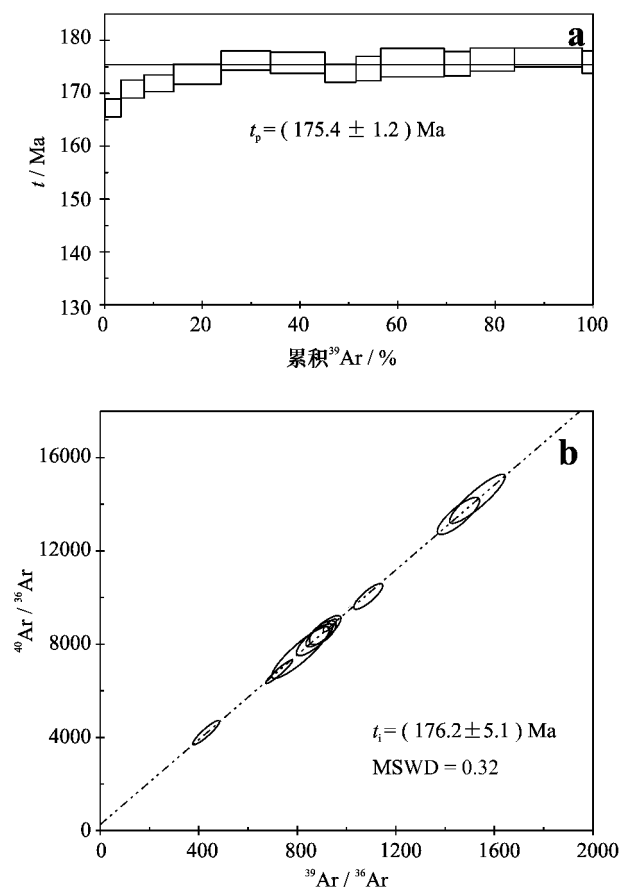


图 4 银山多金属矿床蚀变石英斑岩中(D11)绢云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 坪年龄(a)和等时线年龄(b)

Fig. 4 ⁴⁰Ar/³⁹Ar plateau age (a) and isochron age (b) of sericite (D11) from quartz porphyry in Yinshan deposit

D12)具有相同的 Ar-Ar 年龄[坪年龄分别为(175.4 ± 1.2) Ma 和(175.3 ± 1.1) Ma;等时线年龄分别为(176.2 ± 5.1) Ma 和(176.6 ± 3.3) Ma],也进一步证明了数据的可靠性。

5 讨论和结论

5.1 银山矿床铜金矿化的成矿年龄

长期以来,随着对银山多金属矿床成矿作用研究的不断进展,所获的有关银山火山岩-次火山岩形成时间及其成矿时代的研究数据也越来越多。沈渭洲等(1991)对英安斑岩、流纹英安斑岩、安山玢岩及角闪流纹岩进行了全岩 Rb-Sr 等时线年龄测定,结果为(164 ± 20) Ma。林德松等(1988)用锆石 U-Pb 法测得流纹英安斑岩的同位素年龄为 167 Ma。叶庆同(1987)测得第 1 旋回火山岩的 K-Ar 法同位素

年龄为 145 Ma,第 2 旋回火山岩的 K-Ar 法同位素年龄为 142 Ma,英安斑岩为 138 Ma。

从已有的年龄资料来看,银山矿床的成岩、成矿年龄主要是应用全岩 K-Ar 法、全岩 Rb-Sr 法或锆石 U-Pb 法获得的,数据比较混乱,精度和可靠性较低;另一方面,鹅湖岭组火山岩岩石序列的建立及其时代还存在着不少争论(江西省地质矿产局,1984),其时代依据主要是火山岩的 K-Ar 法年龄。因此,对银山地区火山岩-次火山岩的年龄进行精确显得尤为重要。

银山矿床与铜金有关的成矿作用主要与绢云母化蚀变作用有关,其成矿温度为 200 ~ 330 °C,与绢云母的 Ar-Ar 体系的封闭温度(350 °C)基本一致。因此,本次所测得的年龄代表了银山矿床与铜金有关的成矿作用的年龄,即其成矿年龄为 175 ~ 180 Ma,为早-中侏罗世的产物,因而,与其有关的次火山岩体的年龄应该更早。3 号蚀变英安斑岩的绢云母坪年龄(178.2 Ma)和等时线年龄(179.6 Ma)分别大于 13 号蚀变石英斑岩绢云母的坪年龄(175.3 Ma)和等时线年龄(176.6 Ma 和 176.2 Ma),说明与铜金矿化有关的成矿作用发生在 179 Ma 左右,而与铅锌银矿化有关的成矿作用则发生在 175 Ma 左右,后者晚于前者。

上述成果的取得,对于正确认识银山矿床的成因机制具重要作用,但存在的问题是,从本次测得的年龄数据来看,该区火山岩-次火山岩的年龄至少应该大于 175 Ma,然而,已有的研究成果都表明,其年龄均小于 175 Ma;而且,银山矿床的围岩鹅湖岭组火山碎屑岩的年龄小于成矿年龄。因此,有必要在本次工作的基础上,对次火山岩和鹅湖岭组火山碎屑岩的年龄进行精确厘定。笔者目前正在进行此项工作,相信在不久的将来,会有新的进展。

5.2 银山矿床成因机制初探

对于银山矿床的成矿作用,尤其是热液蚀变分带及其与斑岩铜矿床的关系等问题,一直存在着争论。张德会(1997)认为,该矿床的成矿演化具多期多阶段性,矿床分带具多中心性、不对称性、叠加性和定向性。第 1 期为铅锌成矿期,与第 1 旋回的石英斑岩有关,成矿作用以 5 号和 13 号石英斑岩为中心;第 2 期为铜金成矿期,与第 2 旋回的英安斑岩有关,成矿作用以 3 号英安斑岩为中心。江西银山铜铅金银矿床编写组(1996)认为,银山矿床的成矿作用主要与第 2 旋回的火山-次火山作用有关,早期

以铜硫金矿化为主,晚期以铅锌银矿化为主。沈渭洲等(1991)根据含矿岩石及不同成矿期矿石的 Pb、S、Sr 和 C 同位素测试结果,认为银山矿床的成矿作用和热液蚀变作用是从次火山英安斑岩向外,由较高温的铜金矿体,过渡到较低温的铅锌矿体;成矿物质和成矿流体主要来源于火山-次火山岩浆,在成矿的晚期阶段,成矿流体中有大气降水的混入,一部分成矿物质由大气降水从基底岩石淋滤带入。张德会等(2003)从流体包裹体研究的角度认为,银山矿床的成矿流体与斑岩铜矿具有特征上的相似性和成矿演化上的继承性,以岩浆热液为主;成矿物质的沉淀是两种温度相近但盐度不同的流体发生混合作用的结果,具有高硫型浅成低温热液矿床“高盐度流体搬运”的特点。

从本次工作结果来看,银山矿床的铜金成矿作用早于铅锌银成矿作用,与第 2 旋回火山-次火山作用有关;与德兴地区斑岩铜矿的成矿和成岩年龄(分别为 170 Ma 和 171 Ma)相差不大。从而,为进一步研究银山矿床的成因及其与斑岩铜矿的关系提供了佐证。

5.3 德兴地区铜金成矿作用的地球动力学背景

德兴地区的铜金成矿作用主要有 2 种类型,一种是以德兴铜厂、富家坞、朱砂红等为代表的斑岩铜矿成矿作用;另一种是与银山次火山岩英安斑岩有关的次火山岩热液铜金成矿作用。关于德兴斑岩铜矿的成岩成矿年龄数据积累较多,如,铜厂花岗闪长斑岩的全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 172 Ma、黑云母 K-Ar 年龄为 170~163 Ma、全岩 K-Ar 年龄为 168 Ma;富家坞岩体的全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 166 Ma 和 157 Ma,朱砂红岩体的全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 161 Ma(江西银山铜铅锌金银矿床编写组,1996);华仁民等(2000)用 Rb-Sr 法测得铜厂花岗闪长斑岩的等时线年龄为 184.2 Ma,认为德兴斑岩铜矿的成矿年龄主要集中于 184~170 Ma。总体来看,数据显得比较混乱,范围较广,在一定程度上制约了对该地区铜金成矿作用地球动力学背景的探讨。最近,一些学者利用高精度测试技术,精确厘定了德兴地区斑岩铜矿的成岩年龄及其成矿年龄,如, Lu 等(2005)测得德兴铜厂辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 (170.4 ± 1.8) Ma;汪强等(2004)测得德兴铜厂和富家坞花岗闪长斑岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 (171 ± 3)

Ma。从本次所测得的数据来看,银山矿区与陆相火山作用有关的铜金成矿作用的时间(175~180 Ma),与德兴铜厂和富家坞斑岩铜矿的形成时限基本一致,应同属早侏罗世岩浆作用的结果,可能是同一时期的一个统一的成矿系统,是同一地球动力学体制下的产物。

关于德兴地区成岩成矿背景,乃至华南地区中生代大规模成矿作用的动力学背景,是人们不断进行研究、探讨的课题。胡受奚等(1992)认为,银山多金属成矿作用是赣东北深大断裂发生 A 型俯冲作用所致。江西银山铜铅锌金银矿床编写组(1996)认为,银山多金属矿床形成于燕山早期的陆内断陷-火山盆地环境;而德兴斑岩铜矿则形成于古太平洋板块俯冲所导致的大陆边缘弧的挤压环境(朱训等,1983;芮宗瑶等,1984)。王强等(2004)认为,华南地区在早-中侏罗世发育了较广泛的伸展型岩浆活动与成矿作用,德兴铜厂和富家坞岩体侵位于伸展的构造背景。华仁民等(2005)认为,该地区早-中侏罗世岩浆活动是沿着扬子-华夏边界发生的构造岩浆活动。

从更大的范围来看,华南地区于 180~170 Ma 发生了众多的岩浆活动。如,在赣南-闽西,发现了燕山早期的 A 型花岗岩(176~178 Ma)和双峰式火山岩(158~179 Ma)(陈培荣等,2002);湘南-桂东南的碱性玄武岩和正长岩的年龄为 175~160 Ma(Li et al., 2003);湘东南与铜多金属矿床共生的花岗闪长岩的形成时代为 171~181 Ma(Wang et al., 2002)。最近,“大规模成矿作用与大型矿集区预测”项目组在恩平—绍兴一带(包括浙江、福建、江西和广东等地)发现了呈北东向分布的中生代 3 个时期(190~170 Ma、140~120 Ma 和 100~80 Ma)的碱性岩系列和钾玄岩系列的巨型富碱侵入岩系。在 170~150 Ma 期间,在沿江山-绍兴断裂、湘南和粤西出现了几个相互平行的走向近东西的伸展带,形成一系列的 I 型花岗岩和富碱花岗岩岩类(毛景文等,2004a)。

伴随这些岩浆活动,华南地区发生了第 1 次金属成矿作用(华仁民等,2005),主要是铜金成矿作用和钨锡成矿作用。钨锡成矿作用始于 170 Ma,在 150 Ma 达到高峰,如:黄沙钨矿床形成于 (170 ± 5) Ma^①;大宝山铜钨矿床形成于 (164.7 ± 0.3) Ma(毛景文等,2003);淘洗窝锡矿床形成于 (160.13 ± 0.9)

① 陈毓川,等. 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043201)课题汇报材料。(内部资料)。

Ma(毛景文等,2004b);众多钨锡矿床的成矿年龄都集中于 150 Ma 左右(毛景文等,2004b)。与 180~170 Ma 左右的铜金成矿作用有关的矿床,主要有德兴铜厂铜金矿床、富家坞斑岩铜钼矿床、银山次火山热液铜金铅锌银矿床等。华仁民等(2005)把该时期列为华南地区中生代所发生的 3 次大规模成矿作用中的第 1 次 Cu、Pb-Zn(Au)成矿作用,认为这 3 次大规模成矿作用与拉张的动力学背景、壳幔相互作用、深部热和流体参与等有着成因上的密切关系。

综上所述,华南地区在 180~170 Ma 时发生了以碱性岩浆为主的岩浆活动。但该期岩浆活动及与之有关的成矿作用不如中晚侏罗世—白垩纪那样强烈,而且分布也比较局限。因此可以说,在 180~170 Ma 左右时,华南地区处于局部伸展环境。此时,该地区所发生的岩浆事件和成矿事件应该是局部伸展环境的产物。

Reference

- Chen P R, Hua R M and Zhang B T. 2002. Early Yanshanian post-orogenic granitoids in the Nanling region-petrological constraints and geodynamic setting[J]. *Science in China (Series D)*, 32: 279~289 (in Chinese).
- Chen W, Liu X Y, and Zhang S H. 2002. Continuous laser stepwise heating ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating technique[J]. *Geol. Rev.*, 48(Supp.): 127~134 (in Chinese with English abstract).
- Chen W, Zhang Y, Ji Q, Wang S H and Zhang J X. 2002. The magmatism and deformation times of the Xidatan rock series, East Kunlun Mountain[J]. *Science in China (Series B)*, 45(Supp.): 20~27.
- Hua R M. 1987. A discussion on the mechanism of lead, zinc and copper metallogenesis in Yinshan, Jiangxi Province[J]. *Mineral Deposits*, 6(2): 90~96 (in Chinese with English abstract).
- Hua R M, Chen K R, Shen Z L, Zhao L Z and Wu P H. 1993. On the multi-factor mineralization of Yinshan deposit, Jiangxi [A]. In: *Proceedings of the 5th National Conference of Mineral Deposits* [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 43~45 (in Chinese).
- Hua R M, Li X F, Lu J J, Chen P R, Qiu D T and Wang G. 2000. Study on the tectonic setting and ore-forming fluids of Dexing large ore-concentrating area, Northeast Jiangxi Province[J]. *Advance in Earth Science*, 15(4): 525~533 (in Chinese with English abstract).
- Hua R M, Chen P R, Zhang W L and Lu J J. 2005. Three major metallogenic events in Mesozoic in South China[J]. *Mineral Deposits*, 24(2): 99~107 (in Chinese with English abstract).
- Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Resources. 1984. *Regional Geology of Jiangxi Province* [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~921 (in Chinese with English abstract).
- Li X F, Hua R M, Ji J F, Lu J J, Liu S X and Liu L W. 2002. Origin of illite and its relation with ore-forming fluids in Yinshan polymetallic deposit, Dexing, Jiangxi Province[J]. *Chinese Journal of Geology*, 37(1): 86~95 (in Chinese with English abstract).
- Li X F, Wang C Z, Mao J W, Hua R M, Liu Y M and Xu Q H. 2005. Kübler index and K-Ar ages of illite in the Yinshan polymetallic deposits, Jiangxi Province, South China: analyses and implications[J]. *Resource Geology*, 55(4): 397~404.
- Li X H, Chen Z G and Liu D Y. 2003. Jurassic gabbro-syenite suites from southern Jiangxi Province, SE China: Age, origin, and tectonic significance[J]. *International Geology Review*, 45: 898~921.
- Lin D S and He G C. 1990. A study on the mineral inclusion of the Yinshan Cu-Pb-Zn polymetallic deposit at Dexing, Jiangxi Province[J]. *Mineral Resource and Geology*, 4(3): 50~58 (in Chinese with English abstract).
- Lu J J, Hua R M and Yao C L. 2005. Re-Os age for molybdenite from the Dexing porphyry Cu-Au deposit of Jiangxi Province, China[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 69(Supp. A): 882.
- Mao J W, Zhang Z H and Yu J J. 2003. Geodynamic setting of Mesozoic large-scale mineralization in the North China and adjacent areas: implications for highly precise and accurate ages of metal deposits[J]. *Science in China (Series D)*, 33(4): 289~300 (in Chinese).
- Mao J W, Li X F and Lehmann B. 2004a. ⁴⁰Ar/³⁹Ar 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 and Li X F. 2004b. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China[J]. *Earth Science Frontier*, 11(1): 45~55 (in Chinese with English abstract).
- Rui Z Y, Huang C K, Qi G M, Xu J and Zhang H T. 1984. Porphyry copper (molybdenum) deposits of China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~350 (in Chinese with English abstract).
- Shen W Z, Chen F R, Liu C S and Du Y S. 1991. A study on stable isotopic feature of Yinshan multi-metallic deposit, Jiangxi Province [M]. *Journal of Nanjing University (Earth Science)*, 2: 186~193 (in Chinese with English abstract).
- Steiger R H and Jager E. 1977. Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36: 359~362.
- Wang Q, Zhao Z H, Jian P, Xu J F, Bao Z W and Ma J L. 2004. SHRIMP zircon U-Pb geochronology and Nd-Sr isotopic geochemistry of the Dexing granodiorite porphyry[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 315~324 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y J, Fan W M, Guo F, et al. 2002. U-Pb dating of early Mesozoic granodioritic intrusion in southeastern Hunan Province, South China and its petrogenetic implications[J]. *Science in China (Series D)*, 45(3): 280~288 (in Chinese).
- Writing Group of Yinshan Cu-Pb-Zn-Au-Ag Deposit in Jiangxi Province,

- Jiangxi Geological Exploration Bureau, CNNC. 1995. Yinshan Cu-Pb-Zn-Au-Ag Deposit in Jiangxi Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~380 (in Chinese with English abstract).
- Yang M G, Wu A G and Zhong N C. 1988. Middle-Late Proterozoic stratigraphic division, sedimentary formation and its crystal evolution in South China [J]. *Geology of Jiangxi*, 2: 112~121 (in Chinese).
- Ye Q T. 1987. Genetic and ore-forming series of lead-zinc deposits in Northeast Jiangxi [M]. Beijing: Beijing Sci. & Techn. Pub. House. 1~124 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D H. 1997. Spatial and temporal distribution and metallogenic of Yinshan deposit [J]. *Mineral Deposits*, 16 (4): 298~307 (in Chinese with English abstract).
- Zhang D H, Zhang W H and Liu W. 2003. The high salinity fluid inclusions and its significance in ore origin in the Yinshan polymetallic deposit [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 19 (1): 173~180 (in Chinese with English abstract).
- Zhu X, Huang C K, Rui Z Y, Zhou Y H, Zhu X J, Hu Z S and Mei Z K. 1983. The geology of Dexing porphyry copper ore deposits [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 336p (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 陈培荣, 华仁民, 章邦桐. 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: 279~289.
- 陈文, 刘新宇, 张思红. 2002. 连续激光阶段升温 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 地质年代测定方法研究 [J]. *地质论评*, 48 (增刊): 127~134.
- 胡受奚, 陈武, 华仁民. 1992. 气化-热液矿床的侧向分带激起成因机制 [J]. *矿床地质*, 11 (4): 291~300.
- 华仁民. 1987. 江西银山铅锌铜矿化机制的讨论 [J]. *矿床地质*, 6 (2): 90~96.
- 华仁民, 陈克荣, 沈兆龙, 赵连泽, 吴佩红. 1993. 江西银山矿床多元成矿作用 [M]. 见: 第五届全国矿床会议论文集 [C]. 北京: 地质出版社. 43~45.
- 华仁民, 李晓峰, 陆建军, 陈培荣, 丘德同, 王果. 2000. 德兴大型铜金矿集区的构造环境与成矿流体研究 [J]. *地球科学进展*, 15 (4): 525~533.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 陆建军. 2005. 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.
- 江西省地质矿产局. 1984. 江西省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社. 921 页.
- 江西银山铜铅锌金银矿床编写组. 1996. 江西银山铜铅锌金银矿床 [M]. 北京: 地质出版社. 380 页.
- 李晓峰, 华仁民, 季俊峰, 陆建军, 刘盛祥, 刘连文. 2002. 江西银山多金属矿床伊利石的形成与流体成矿作用的初步研究 [J]. *地质科学*, 37 (1): 86~95.
- 林德松, 何国朝. 1990. 江西银山矿床矿物包裹体研究 [J]. *矿产与地质*, 4 (3): 50~58.
- 毛景文, 张作衡, 余金杰. 2003. 华北中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精确得到的启示 [J]. *中国科学(D 辑)*, 33 (4): 289~300.
- 毛景文, 李晓峰, Lehmann B. 2004a. 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*, 23 (2): 164~175.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰. 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.
- 芮宗瑶, 黄崇轲, 齐国明, 徐珏, 张洪涛. 1984. 中国斑岩铜(钼)矿床 [M]. 北京: 地质出版社. 1~350.
- 沈渭洲, 陈繁荣, 刘昌实, 杜杨松. 1991. 江西银山多金属矿床的稳定同位素研究 [J]. *南京大学学报(地球科学)* 2: 186~193.
- 王强, 赵振华, 简平, 许继峰, 包志伟, 马金龙. 2004. 德兴花岗岩闪长斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学和 Nd-Sr 同位素地球化学 [J]. *岩石学报*, 20 (2): 315~324.
- 杨明桂, 吴安国, 钟南昌. 1988. 华南中晚元古代地层划分、沉积建造特征及其地壳构造演化 [J]. *江西地质* 2: 112~121.
- 叶庆同. 1987. 赣东北铅锌矿床成矿系列和成矿机理 [M]. 北京: 北京科学技术出版社. 1~124.
- 张德会. 1997. 银山矿床成矿作用时空特征及矿床成因讨论 [J]. *矿床地质*, 16 (4): 298~307.
- 张德会, 张文淮, 刘伟. 2003. 江西银山多金属矿床高盐度包裹体及其成因意义 [J]. *岩石学报*, 19 (1): 173~180.
- 朱训, 黄崇轲, 芮宗瑶, 周耀华, 朱贤甲, 胡淙声, 梅占魁. 1983. 德兴斑岩铜矿 [M]. 北京: 地质出版社. 336 页.