

文章编号:0258-7106(2003)04-0360-05

福建碧田矿床冰长石的 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年龄及其地质意义\*

张德全 丰成友 李大新 余宏全 董英君

(中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037)

**摘要** 采用 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 方法,测得碧田绢云母-冰长石型浅成热液 Ag-Au 矿床中与成矿同时的冰长石形成年龄为 $(94.69 \pm 2.25)$  Ma。这一结果显示,紫金山地区的酸性硫酸盐型浅成热液矿化比绢云母-冰长石型浅成热液矿化早 5 Ma 左右。综合目前的资料和测年数据,可以确定紫金山地区以花岗闪长斑岩为中心的斑岩-浅成热液成矿系统中水热-成矿事件的时间序列是(由先至后):花岗闪长斑岩侵位(105 Ma 左右)→钾硅酸盐化及初始的 Cu(Mo)矿化(104.5 Ma 左右)→绢英岩化及含 Cu-硫化物矿化(102.5 Ma 左右)→明矾石化-硅化及酸性硫酸盐型浅成热液 Cu-Au 矿化(100 Ma 左右)→冰长石化-硅化及绢云母-冰长石型浅成热液 Ag-Au 矿化(94.7 Ma 左右)。从花岗闪长斑岩侵位至绢云母-冰长石型浅成热液 Ag-Au 矿脉定位,其间经历了约 10 Ma。反映紫金山地区与成矿有关花岗闪长斑岩有较长的热历史。

**关键词** 地球化学  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  定年 冰长石 碧田矿床 紫金山 福建

**中图分类号**: P597

**文献标识码**: A

紫金山地区位于福建沿海中生代火山岩带的内侧,在北东长 14 km、宽 8 km 的范围内,已发现金、银、铜矿床 7 处,其中紫金山矿床的 Au 和 Cu、碧田矿床的 Ag 控制储量达大型规模(图 1)。它们分别属于斑岩型 Cu(Mo)矿床、酸性硫酸盐型浅成热液 Cu-Au 矿床、绢云母-冰长石型浅成热液 Ag-Au 矿床以及介于斑岩型和浅成热液型之间的过渡型 Cu 矿床,并且组成了以花岗闪长斑岩侵入体为中心的斑岩-浅成热液成矿系统。其中,斑岩矿床与发育于花岗闪长斑岩顶部的高盐度岩浆流体有关;酸性硫酸盐型浅成热液矿床靠近岩浆源,是从改造斑岩矿床后形成的含岩浆挥发份的热水中淀积形成的;而绢云母-冰长石型浅成热液矿床则是侵入体侧向加热、侧向流动的中性-弱酸性热水淀积产物(相当于远成热液矿床)(张德全等,2003a)。详细的研究表明,在这个成矿系统中,与成矿有关的水热-成矿事件主要有 4 次:钾硅酸盐化与初始的斑岩 Cu(Mo)矿化、绢英岩化与含 Cu-硫化物(黄铁矿为主)矿化、明矾石化-硅化与酸性硫酸盐型浅成热液 Cu-Au 矿化和冰长石化-硅化与绢云母-冰长石型浅成热液 Ag-Au 矿化(张德全等,2003b)。野外观测和室内光薄片鉴定结

果已经证明,钾硅酸盐化与初始的斑岩 Cu(Mo)矿化最早,绢英岩化与含 Cu-硫化物矿化紧随其后,明矾石化-硅化与酸性硫酸盐型浅成热液 Cu-Au 矿化和冰长石化-硅化与绢云母-冰长石型浅成热液 Ag-Au 矿化均晚于绢英岩化及含 Cu-硫化物矿化(张德全等,2003b)。然而至今尚未观测到任何证据能证明明矾石化-硅化及酸性硫酸盐型浅成热液 Cu-Au 矿化和冰长石化-硅化及绢云母-冰长石型浅成热液 Ag-Au 矿化两者发生的时间先后,因为这两种浅成热液矿床在空间上相隔有一定距离。本文通过对碧田矿床内与 Ag-Au 矿脉共生冰长石的 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 定年研究,为确定紫金山地区两种不同类型的浅成热液矿床的时间先后提供年龄数据。

## 1 矿床地质概述

碧田矿床是紫金山地区唯一的绢云母-冰长石型浅成热液矿床。该矿床位于区域南西部的白垩纪上杭火山盆地东北边部(图 1),已控制的银储量达大型规模(那建国,1998)。矿区出露的下白垩统石帽山群包括上部流纹质火山岩和下部粗安质火山岩及

\* 本文受国家重点基础研究项目“大规模成矿作用与大型矿集区预测”(编号:G1999043209)资助

第一作者简介:张德全,男,1946 年生,研究员,博士生导师,一直从事矿床地质-地球化学研究。

收稿日期 2003-02-22; 改回日期 2003-06-11。张绮玲编辑。

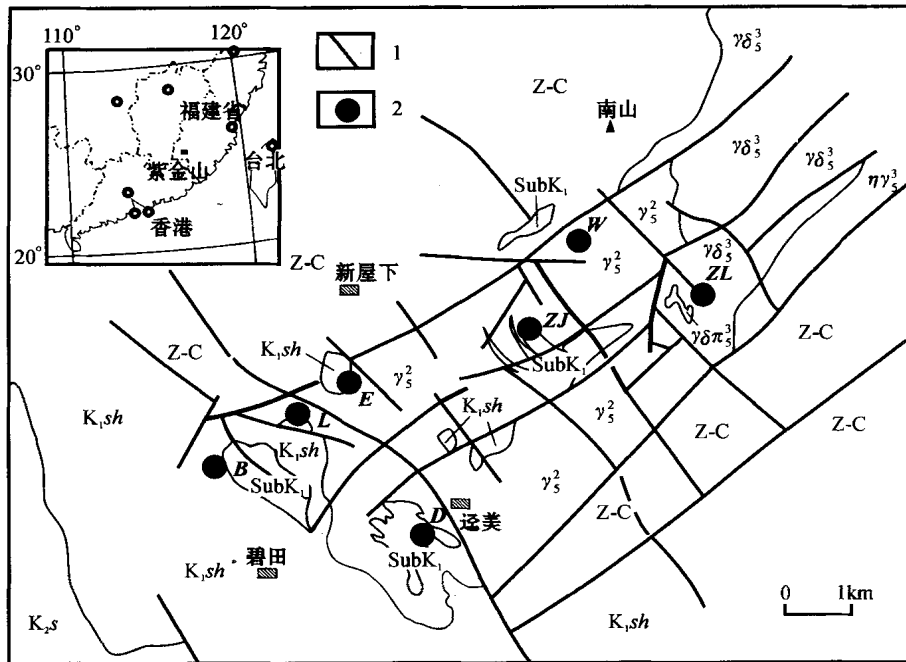


图 1 紫金山地区地质略图(据张德全等,2003a 修编)

K<sub>2</sub>s—晚白垩世沙县组红层;K<sub>1</sub>sh—早白垩世石帽山群陆相火山岩;SubK<sub>1</sub>—早白垩世次火山岩(英安斑岩、粗安斑岩)、火山碎屑岩或热液角砾岩;γδ<sub>3</sub><sup>3</sup>—早白垩世罗卜岭花岗闪长斑岩;γδ<sub>3</sub><sup>2</sup>—早白垩世中寮花岗闪长岩;ηγ<sub>3</sub><sup>3</sup>—早白垩世才溪二长花岗岩;γ<sub>3</sub><sup>2</sup>—晚侏罗世紫金山花岗岩;Z-C—震旦和晚古生代变沉积岩;1—断裂;2—矿床位置;矿床:B—碧田(Ag-Au-Cu),L—龙江亭(Cu),D—大茭岗(Cu-Au),E—二庙沟(Au-Cu),ZJ—紫金山(Cu-Au),W—五子骑龙(Cu),ZL—中寮[Cu(Mo)]

Fig.1 Simplified geologic map of Zijingshan area

K<sub>2</sub>s—Late Cretaceous red beds;K<sub>1</sub>sh—Early Cretaceous volcanic rocks;SubK<sub>1</sub>—Early Cretaceous sub-volcanic and hydrothermal breccia;γδ<sub>3</sub><sup>3</sup>—Early Cretaceous Luoboling granodiorite porphyry;γδ<sub>3</sub><sup>2</sup>—Early Cretaceous Zhongliao granodiorite;ηγ<sub>3</sub><sup>3</sup>—Early Cretaceous Caixi monzogranite;γ<sub>3</sub><sup>2</sup>—Late Jurassic Zijingshan granite;Z-C—Upper Proterozoic and Upper Palaeozoic meta-sediments;1—Fault;2—Location of deposit Mineral deposits: B—Bitian (Au-Ag-Cu), L—Longjiangting (Cu), D—Dajigang (Cu-Au), E—Er miaogou (Cu-Au), ZJ—Zijingshan (Cu-Au), W—Wuziqilong (Cu), ZL—Zhongliao(Cu)

次火山岩,它们构成一个火山构造洼地,其基底岩石为晚侏罗世花岗岩。在基底与火山岩层不整合面附近,发育一组与不整合面平行(局部斜交)的铲式断裂-裂隙带。Ag-Au 矿脉与热液角砾岩一起沿不整合界面的铲式断裂-裂隙带充填产出,并构成总体走向 NW 向(310°~330°)、向 SW 或 NE 向缓倾斜(倾角 <30°)、由多层组成的、走向长 100~700 m、倾向延长 500~1500 m 的矿体群,隐伏于地表之下。矿石矿物主要为黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿,少量方铅矿、闪锌矿、自然银、辉银矿、银金矿和自然金。脉石矿物主要有石英、玉髓、绢云母(水云母)、冰长石,少量菱铁矿、重晶石。矿区内广泛发育硅化(石英+玉髓)、冰长石化、绢英岩化(绢云母+石英)和粘土化(水云母+高岭石)蚀变,此外还见有碳酸盐化(方解石+菱铁矿)和绿泥石化。绢英岩化形成最早,其常被粘土化蚀变叠加,也被石英-冰长石细脉穿插。碳酸盐化(尤其是热液方解石脉)形成最晚。从 Ag-Au

矿脉向两侧数米至十数米范围内,发育硅化和冰长石化,再往外则显示为绢云母化和轻微碳酸盐化。矿体中心部位硅化强烈,表现为宽 0.01~1 mm 的石英-玉髓脉密集充填,向外为冰长石化和硅化。冰长石化在粗安质火山岩中尤为发育,它有两种产出型式:一是与热液石英一起构成团粒状不规则集合体,交代钾长石或角闪石斑晶;二是与石英一起,构成极细(宽 <1 mm)的石英-冰长石脉,脉壁极不规则,单脉长度 <10 cm,密集充填于粗安岩中。镜下有时还见细小的冰长石颗粒充填于石英晶洞中。尽管该矿床冰长石极其细小(大多在 0.01~0.1 mm),但其在偏光显微镜下常显示出菱形切面,且其长对角线方向对应于 Ng。此外,刘晓东等(1998)的 EPMA、SEM 和 XRD 分析测试结果,也证实其为冰长石。总体上,自矿区深部至地表有绢英岩化(不整合面之下的花岗岩中,有 Cu 矿化)→硅化、冰长石化(不整合界面附近的粗安质火山岩和花岗岩中,见

Ag、Au 矿化) → 粘土化 → 碳酸盐化(粗安质火山岩中)的蚀变分带现象。需要指出的是,该矿床中的硅化和冰长石化晚于绢英岩化,Ag-Au 矿化及与其有关的硅化-冰长石化早于石帽山群上部流纹质火山岩的形成。因为硅化和冰长石化改造并叠加了绢英岩化蚀变,Ag-Au 矿化及与其有关的硅化-冰长石化只产于蚀变花岗岩和蚀变粗安质火山岩中,而石帽山群上部流纹质火山岩只是矿体的盖层。

## 2 冰长石的 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 测年

本次研究所使用的冰长石测试样品(样号 Zj 0115)采自碧田矿区 5106 矿点采矿坑道的一条含矿(Au-Ag)冰长石-石英细脉中。采样位置的坐标:  $E116^{\circ}21'45.3''$ ;  $N25^{\circ}09'59.3''$ ;  $h=261\text{ m}$ 。

样品原岩为宽 1 cm 左右的玉髓-石英-冰长石复合脉,由极窄(宽  $<0.5\text{ mm}$ )的玉髓、石英或冰长石细脉组合而成,其中玉髓脉产于该复合脉的中心,向外是石英和冰长石细脉的互层,最边部为冰长石脉。该复合脉的旁侧 1 cm 范围内见 2 粒极细的自然金与黄铁矿一起散布于硅化碎裂岩中(原岩为被热液角砾岩充填并碎裂的粗安斑岩)。这表明其结晶顺序为冰长石 → 石英 → 玉髓(最晚),而且冰长石与金矿化近于同时。

经室内粉碎样品并初步富集后,在双目镜下选取冰长石单矿物。将分离好的 Zj 0115 冰长石样品送至中国地质科学院地质研究所同位素研究室,进行 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 放射性同位素测年。该测年方法的分析技术和工作流程见陈文等(2002)。Zj 0115 冰长石的 Ar-Ar 分阶段加热测试结果分别见表 1 和图 2。

表 1 Zj 0115 冰长石样品 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  分阶段加热数据

Table 1  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  step heating data of Zj 0115 adularia sample

$\theta/^\circ\text{C}$	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$	$^{40}\text{Ar}^*/\%$	$^{39}\text{Ar}/\times 10^{-14}\text{ mol}$	$^{39}\text{Ar}$ 累积/ $\%$	$t/\text{Ma}$
300	11.5583	0.0232	0.0413	4.7120	2.39	127.10	2.60	$85.50 \pm 3.50$
400	6.7179	0.0078	0.0232	4.4244	3.69	208.89	6.87	$80.40 \pm 2.60$
500	6.8032	0.0063	0.0195	4.9323	5.10	258.77	12.16	$89.40 \pm 1.20$
600	6.4723	0.0050	0.0025	4.9947	7.50	376.15	19.86	$90.50 \pm 1.10$
700	6.1754	0.0036	0.0138	5.1211	8.57	419.05	28.43	$92.70 \pm 1.30$
800	6.0600	0.0037	0.0080	4.9552	8.19	414.17	36.89	$89.80 \pm 1.90$
900	6.5599	0.0057	0.0174	4.8812	5.12	262.84	42.27	$88.50 \pm 1.90$
1000	6.8004	0.0060	0.0161	5.0358	4.81	239.33	47.16	$91.20 \pm 1.60$
1100	6.4069	0.0025	0.0023	5.6739	9.27	409.46	55.54	$102.40 \pm 4.50$
1200	6.3561	0.0029	0.0086	5.4965	20.97	955.89	75.09	$99.30 \pm 1.40$
1300	6.6871	0.0057	0.0207	5.0134	24.38	1218.26	100.00	$90.80 \pm 3.30$

注:  $m=96.40\text{ mg}$ ,  $J=0.010298$ 。Ar-Ar 同位素测定在中国地质科学院地质研究所同位素实验室进行,样品用铝箔包装后,在中国原子能研究所的反应堆中 B5 孔道进行。快中子积累通量达  $10^{18}$  中子/ $\text{cm}^2$ 。Ar 同位素分析采用 MM-1200B 质谱仪。 $\lambda=5.543 \times 10^{-10}\text{ a}^{-1}$ 。

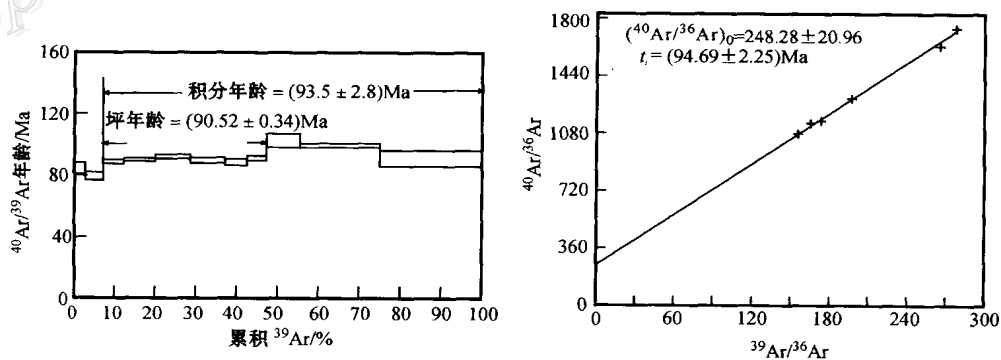


图 2 碧田矿床蚀变冰长石(Zj0115)的 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年龄谱及 Ar-Ar 等时线

Fig. 2 Spectra of  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  step heating analyses and Ar-Ar isochrone of Zj0115 adularia from the Bitian sericite-adularia type epithermal Ag-Au deposit

### 3 地质意义

对 Zj0115 冰长石样品从低温(300℃)到高温(1300℃)按 100℃ 的温度间隔,分 11 个加热阶段熔样,获得的阶段性年龄变化于(80.40±2.60) Ma 和(102.40±4.50) Ma 之间(表 1)。如图 2 所示,300℃和 400℃的 2 个低温视年龄值小且变化大,对应的<sup>39</sup>Ar 累积释放量仅 6.87%(表 1),不具地质意义。从 500℃到 1000℃温度区间,6 个温度阶段加热获得的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年龄构成了一个坪[坪年龄为(90.52±0.34) Ma],但由于累计释放的<sup>39</sup>Ar 还不及 50%,所以这个年龄数据可能不代表该冰长石的形成年龄。从 1100℃至 1300℃的 3 个温度段,<sup>39</sup>Ar 累积释放量约 53%,其年龄值从(102.40±4.5) Ma 逐步降到(90.80±5.3) Ma。对于这种年龄值变化相对较大的情况,采用积分年龄是一个有效的办法。9 个中-高温区(500~1300℃)的积分年龄值为(93.5±2.8) Ma。同时,用 6 个温度区间(500℃到 1000℃)获得的<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 和<sup>39</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 数据,求得的等时线年龄为(94.69±2.25) Ma (MSWD = 0.3761),初始的<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 比值为(248.28±20.96) (参见图 2),略小于尼尔值(理想大气值 295.5±5),说明无过剩氩。该等时线年龄不但与积分年龄[(93.5±2.8) Ma]在误差范围内一致,也略大于 Ag-Au 矿体的盖层——石帽山群上部流纹质火山岩的全岩 Rb-Sr 等时线年龄[(94±7.7) Ma,张德全等,2001]。相比之下,Ar-Ar 等时线年龄值应该代表了冰长石的形成年龄。由于冰长石与 Ag-Au 矿化的共生关系,因此可以确定,紫金山地区斑岩-浅成热液成矿系统中冰长石化-硅化及 Ag-Au 矿化事件发生于 94.7 Ma 左右。

前已述及,碧田矿床的冰长石-绢云母型浅成热液 Ag-Au 矿化是以花岗闪长斑岩侵入体为中心的斑岩-浅成热液成矿系统的组成部分。钾硅酸盐化及初始的斑岩 Cu(Mo)矿化、绢英岩化及含 Cu-硫化物(黄铁矿为主)矿化、明矾石化-硅化及酸性硫酸盐型浅成热液 Cu-Au 矿化和冰长石化-硅化及绢云母-冰长石型浅成热液 Ag-Au 矿化是这个成矿系统中与成矿有关的 4 次重要的水热-成矿事件。前人的工作已经证明,钾硅酸盐化与初始的斑岩 Cu(Mo)矿化最早,绢英岩化与含 Cu-硫化物矿化紧随其后,明矾石化-硅化及酸性硫酸盐型浅成热液 Cu-Au 矿化、冰长

石化-硅化及绢云母-冰长石型浅成热液 Ag-Au 矿化均晚于绢英岩化与含 Cu-硫化物矿化,但却缺少两类不同浅成热液矿化(酸性硫酸盐型和绢云母-冰长石型)之间谁先谁后的证据。与此同时,还获得了与成矿有关的花岗闪长斑岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄(105±7.2) Ma、钾硅酸盐化蚀变中黑云母的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 坪年龄(104.54±1.72) Ma、绢英岩化蚀变带中绢云母的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 坪年龄(102.53±1.49) Ma 以及紫金山酸性硫酸盐型浅成热液型矿床金矿石中石英的流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄(100±3) Ma(陈好寿,1996;张德全等,2003b)。本次工作在碧田矿区获得了冰长石的 Ar-Ar 年龄,地质意义在于:

(1) 尽管目前尚缺乏直接的证据,但放射性同位素测年结果显示,紫金山地区的酸性硫酸盐型浅成热液矿化早于绢云母-冰长石型浅成热液矿化。数据表明,前者比后者早 5 Ma 左右。因此,碧田矿区 Zj0115 冰长石样品的 Ar-Ar 测年结果,为明确紫金山地区两类不同的浅成热液矿化之间的先后关系提供了有用的数据。

(2) 综合目前的资料和测年数据,可以确定紫金山地区以花岗闪长斑岩为中心的斑岩-浅成热液成矿系统中水热-成矿事件的时间序列是(由先至后):花岗闪长斑岩侵位(105 Ma 左右)→钾硅酸盐化及初始的 Cu(Mo)矿化(104.5 Ma 左右)→绢英岩化及含 Cu-硫化物矿化(102.5 Ma 左右)→明矾石化-硅化及酸性硫酸盐型浅成热液 Cu-Au 矿化(100 Ma 左右)→冰长石化-硅化及绢云母-冰长石型浅成热液 Ag-Au 矿化(94.7 Ma 左右)。从花岗闪长斑岩侵位,至绢云母-冰长石型浅成热液 Ag-Au 矿脉定位,其间经历了约 10 Ma。这也反映出紫金山地区与成矿有关的花岗闪长斑岩有较长的热历史。如果按照已获得的钾硅酸盐化流体的最高温度(660℃)和冰长石型浅成热液 Ag-Au 矿化流体的最低温度(120℃)(张德全等,2003b)来计算,则紫金山地区与成矿有关的花岗闪长斑岩之冷却速率大约为 55℃/Ma。

### References

- Chen H S. 1996. The research on the mineralization and chronology and isotopic exploration assessment for Zijinshan copper-gold deposit [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 20(4): 348~360 (in Chinese with English abstract).
- Chen W, Liu X Y and Zhang S H. 2002. Continuous laser stepwise

- heating  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating technique[ J ]. *Geol. Rev.* , 48( Supp ) : 127 ~ 134 ( in Chinese with English abstract ) .
- La J G. 1998 . Geological and ore-forming characteristics of the Bitian silver-poly metallic deposit , Fujian Province[ J ]. *Uranium Deposits in South China* , 15 : 20 ~ 31 ( in Chinese ) .
- Liu X D and Huang T X. 1998 . The Characteristics and implication of adularia from Bitan gold deposit in Fujian Province[ J ]. *J. East China Geol. Inst.* , 21 ( 4 ) : 308 ~ 314 ( in Chinese with English abstract ) .
- Zhang D Q, She H Q, Li D X, et al. 2003a. The porphyry-epithermal metallogenic system in the Zijinshan region, Fujian Province[ J ]. *Acta Geologica Sinica* , 77(2) : 253 ~ 261 ( in Chinese with English abstract ) .
- Zhang D Q, Feng C Y, Li D X, et al. 2003b. Evolution of ore-forming fluids in the porphyry-epithermal metallogenic system in the Zijinshan region[ J ]. *Acta Geoscientia Sinica* , ( In press ) .

#### 附中文参考文献

- 陈好寿. 1996. 金山铜金矿床成矿年代及同位素找矿评价研究[ J ]. *大地构造与成矿学* , 20(4) : 348 ~ 360 .
- 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 .
- 那建国. 1998. 福建碧田银多金属矿区地质成矿特征初探[ J ]. *华南铀矿地质* , 15 : 20 ~ 31 .
- 刘晓东, 黄铁心. 1998. 福建碧田金矿床冰长石特征及其意义[ J ]. *华东地质学院学报* , 21(4) : 308 ~ 314 .
- 张德全, 余宏全, 李大新, 等. 2003a. 紫金山地区的斑岩-浅成热液成矿系统[ J ]. *地质学报* , 77(2) : 253 ~ 261 .
- 张德全, 丰成友, 李大新, 等. 2003b. 紫金山地区斑岩-浅成热液成矿系统的成矿流体演化[ J ]. *地球学报* , ( 待刊 ) .

## $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ Dating of Adularia from Bitian Sericite-Adularia Type Epithermal Ag-Au Deposit in Fujian Province and Its Geological Significance

Zhang Dequan, Fen Chengyou, Li Daxin, She Hongquan and Dong Yingjun

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

#### Abstract

The Bitian sericite-adularia type epithermal Ag-Au deposit is an important member in the intrusion-centered porphyry-epithermal metallogenic system of Zijinshan area. Adularia in the deposit, contemporaneous with Ag-Au mineralization, yields  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  step heating age of 94.69 ~ 2.25 Ma. The dating result shows that the sericite-adularia type epithermal Ag-Au mineralization was formed 5 Ma later than the acid-sulfate type epithermal Cu-Au mineralization in Zijinshan area. Based on dating data available in combination with field relations, the authors have established the time sequence of hydrothermal and mineralization events in the intrusion-centered porphyry-epithermal metallogenic system of Zijinshan area as follows: intrusion of granodiorite porphyry (about 105 Ma) → potassic alteration and preliminary Cu (Mo)-mineralization (about 104.5 Ma) → alunite alteration, silicification and acid-sulfate type epithermal Cu-Au mineralization (about 100 Ma) → adularia alteration, silicification and sericite-adularia type epithermal Ag-Au mineralization (about 95 Ma). From the intrusion of granodiorite porphyry to the end of sericite-adularia type epithermal Ag-Au mineralization, the ore-forming process lasted about 5 Ma, which means that granodiorite porphyry related to mineralization in Zijinshan area had a relatively long heating history.

**Key words:** geochemistry,  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  dating, adularia, Bitian deposit, Zijinshan, Fujian Province