

文章编号 10258-7106 ( 2009 ) 03-0336-09

# 云南个旧老厂细脉带型锡矿白云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄及其地质意义\*

杨宗喜<sup>1</sup>, 毛景文<sup>1, 2</sup>, 陈懋弘<sup>2</sup>, 童祥<sup>3</sup>, 武俊德<sup>3</sup>, 程彦博<sup>1</sup>, 赵海杰<sup>2</sup>

( 1 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083 ; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037 ; 3 云南锡业集团, 云南 个旧 661400 )

**摘 要** 细脉带型锡矿是云南个旧矿田老厂矿区的主要矿床类型之一。文章利用<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 同位素测年方法对老厂细脉带型锡矿床白云母-电气石-石英脉中的白云母进行了年龄测试。结果显示, 该白云母的<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 同位素坪年龄为( 82.7 ± 0.7 )Ma, 表明其形成时代为晚白垩世。进一步结合区域资料, 指出包括个旧锡多金属矿床在内的右江褶皱带内与岩浆作用有关的矿床具有相同的成矿地质背景, 为华南晚中生代岩石圈大规模伸展的产物。

**关键词** 地球化学, <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 同位素年龄, 白云母, 细脉带型锡矿, 个旧老厂

中图分类号: P618.44; P597+.3

文献标志码: A

## <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar dating of muscovite from Laochang veinlet-like Sn deposit in Gejiu tin polymetallic ore district and its geological significance

YANG ZongXi<sup>1</sup>, MAO JingWen<sup>1, 2</sup>, CHEN MaoHong<sup>2</sup>, TONG Xiang<sup>3</sup>, WU JunDe<sup>3</sup>,  
CHENG YanBo<sup>1</sup> and ZHAO HaiJie<sup>2</sup>

( 1 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources and School of Earth Science and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 Yunnan Tin Group, Gejiu 661400, Yunnan, China )

### Abstract

The veinlet-like Sn ore is one of the main ore types in the Laochang deposit of Gejiu orefield. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar dating of muscovite separated from the quartz-tourmaline-muscovite vein in Laochang ore district gives a <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar plateau age of ( 82.7 ± 0.7 ) Ma, suggesting that the ore-forming process in the Laochang veinlet-like Sn deposit took place in late Cretaceous. Based on geochronological data of the Dulong Sn-Zn deposit, the Bainiuchang Ag deposit, the Dachang tin polymetallic orefield and the Wangshe Cu-W deposit and an analysis of the tectonic evolution in the South China Block, the authors hold that these deposits resulted from the large-scale extension in South China under the same geodynamic condition in late Mesozoic.

**Key words:** geochemistry, <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar age, muscovite, veinlet-like Sn deposit, Laochang in Gejiu

个旧锡矿一直以其巨大的锡多金属资源储量、个旧地区已探明的锡资源储量超过 200 万吨, 其中的 Sn、Cu、Pb、Zn、W、Bi、Mo、Gd、Cd、Nd、Ta、Be、Fe、众多的矿床类型以及悠久的开采历史而闻名中外。

\* 本文为国家重点基础研究发展计划“973”项目(编号: 2007CB411407 和 2007CB411405)和中国地质调查局项目(编号: 1212010634001)资助成果

第一作者简介 杨宗喜, 男, 1984 年生, 在读硕士研究生, 矿物学、岩石学及矿床学专业。Email: yang.zongxi@gmail.com

收稿日期 2009-02-06; 改回日期 2009-04-20。张绮玲编辑。

Au、Ag 等有色、稀有及贵金属矿产达 20 余种,资源总储量超过了 1 000 万吨(庄永秋等,1996)。前人对个旧锡多金属矿床的矿床地质特征、矿床成因、成岩成矿时代等做了大量工作,取得了一系列成果(冯贤仁,1982;彭程电,1985;冶金工业部西南冶金地质勘探公司,1984;汪志芬,1983;李家和,1985;王新光等,1990;1992;朱金初等,1991;伍勤生等,1984;彭张翔,1992;戴福盛,1996;庄永秋等,1996;Jiang et al., 2001;王永磊等,2007;毛景文等,2008b;杨宗喜等,2008)。然而限于当时的分析测试技术水平,所获得的成岩成矿年龄数据多数精度较差,不能精确限定成矿时代。本文在前人工作的基础上,在对老厂细脉带型锡矿矿床地质特征研究的基础上,以老厂细脉带型锡矿作为研究对象,对白云母-电气石-石英脉中的白云母进行了<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 同位素年龄测定,进而探讨了个旧锡多金属矿田成矿的地球动力学背景。

## 1 区域地质背景

云南个旧超大型锡多金属矿田位于华南地块西部的右江褶皱带,右江褶皱带北以师宗-弥勒岩石圈断裂与扬子地块相邻,西南以红河超岩石圈断裂与特提斯构造域的三江褶皱带相邻。

矿区地层以三叠系出露最为完整,仅缺失上三叠统顶部。中生界以前的地层只在矿区南部见有二叠系上统龙潭组零星出露。新生界沉积则广泛分布于山间断陷盆地中。自下而上,矿区的地质层分别是上二叠统龙潭组细粒碎屑岩及煤系地层、下三叠统飞仙关组杂色砂页岩、永镇组砂泥岩、中三叠统个旧组碳酸盐岩(其下部夹有基性火山岩)、法郎组细粒碎屑岩及一些碳酸盐岩(在下部和上部分别夹有基性火山岩)、上三叠统乌格组和火把冲组细粒碎屑岩。中三叠统个旧组和法郎组是个旧地区分布最广泛的地层,也是主要的赋矿层位。

在个旧地区,西南部的红河深大断裂是三江褶皱带与华南地区的构造分界线,NS 向个旧断裂作为区域性小江岩石圈断裂的南延部分。除此之外,还有 NNE 向龙岔河、轿顶山和杨家田大断裂以及 NW 向白沙冲和陡岩断裂。区内还有五子山复式背斜和贾沙复式向斜,呈北东 30°走向,横贯全区。NS 向的个旧断裂将个旧地区分为东、西 2 个矿区,砂锡矿主要产于西矿区,而原生锡矿主要产于东矿区。东矿区的骨干构造主要是 NS-NNE 向、EW 向的复式褶

皱和大断裂。NNE 向的五子山复式背斜是东矿区的控矿构造,EW 向的 4 条压扭性大断裂(松树脚断裂、背阴山断裂、老熊洞断裂和仙人洞断裂)将矿田自北而南分为马拉格、松树脚、老厂、双竹和卡房 5 个矿区(图 1)。与这些 EW 向断裂平行的还有马松穹窿、大箐-阿西寨向斜、鸡心脑背斜、猪头山向斜、白龙断裂和大花山背斜(冶金工业部西南冶金地质勘探公司,1984)。

个旧矿田中生代岩浆活动频繁。基性、酸性、碱性岩都有分布,其成岩时代为 77~85 Ma(程彦博等,2008,2009a;2009b),它们先后侵入于三叠系中统砂页岩及碳酸盐岩中。在个旧西区,岩浆岩大面积裸露地表。贾沙岩体由辉长岩-二长岩组成,而酸性岩则有龙岔河岩体、神仙水岩体和白沙冲岩体。另外,西区还有碱性岩出露,岩性为碱性正长岩和霞石正长岩。而在个旧东区,岩浆岩只见少数露头,大多数岩体隐伏于地下 200~1 000 m 深处,主要由北边的马松岩体和南边的老卡岩体组成,它们均为花岗岩。

## 2 矿床地质特征及采样位置

细脉带型锡矿是个旧矿田老厂矿区主要的矿床类型之一。细脉规模不等,长数十厘米至 200 m,脉宽约数毫米至数十厘米,充填在灰岩或白云岩的裂隙之中。细脉带受层间滑动带和其他扭性构造带的控制,各种细脉有时平行成带,有时相互交叉。密集的细脉形成 2 条北东向展布的矿带,编号为 17 号、18 号,长度分别为 1 200 m 和 1 900 m,宽度分别为 100 m 和 400 m。北西部的 18 号矿带赋存在 05 花岗岩突起和 4033 花岗岩突起之间,规模较大,形态较完整,矿化连续性较好,从地表一直延伸到接触带,深近 300 余米;南东部的 17 号矿带赋存在 4033 花岗岩突起和 1021 花岗岩突起的南东侧,矿化连续性较差,仅分布在花岗岩接触带向上百余米范围内。

该类矿床以锡矿化为主,伴生有铍、钨、硼、锂、铷、铯、铌、钽及稀土元素等金属,平均含锡 0.42%、铍 0.11%、钨 0.11%(冶金工业部西南冶金地质勘探公司,1984)。金属矿物主要有锡石、毒砂、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿及少量白钨矿和黑钨矿等。脉石矿物主要有电气石、长石、白云母、石英、绿柱石、萤石、石榴子石、透辉石和锂云母等。脉体的矿物组合类型较多。常见有电气石-石英脉、电气石-长石-矽卡岩脉、电气石-云母脉、电气石-矽卡岩-氧化矿脉

等,并且矿脉周围碳酸盐岩有明显的硅化。石英-电气石脉可分为大脉型和细网脉型,大脉型通常位于细网脉型之下部,厚度几厘米到几十厘米,主要由石英和电气石组成,并含有一些黄铁矿、磁黄铁矿、毒

砂、黄铜矿和锡石等金属矿物。

实验样品采于个旧矿田老厂矿区 18<sup>#</sup> 矿脉带 240 作业平台之下。脉体围岩为灰岩,产状为  $36^{\circ} \angle 28^{\circ}$ 。在灰岩中发育有一组节理,产状为  $240^{\circ}$

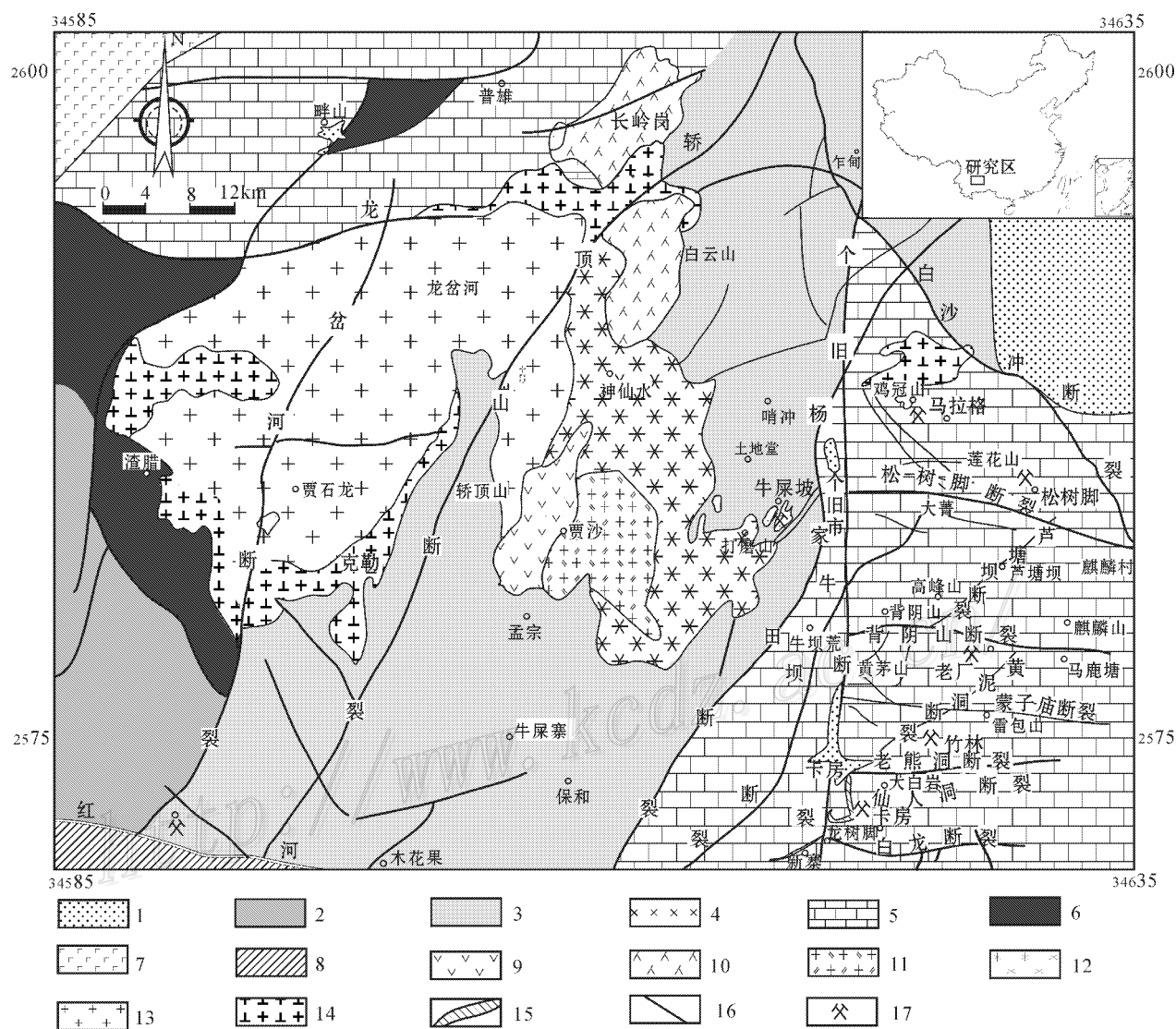


图 1 个旧地区地质简图及主要锡多金属矿床的分布图

(据 308 队,1984 年资料修编,图外框的数据为公里网格坐标)

1—第四系沉积物;2—上三叠统火把冲组板岩、砂岩、砂砾岩;3—中三叠统法郎组砂岩、页岩夹凝灰岩和玄武质熔岩;4—中三叠统法郎组玄武质熔岩;5—中三叠统个旧组碳酸盐岩;6—下三叠统紫红色砂岩夹绿色砂岩、泥灰岩;7—三叠统峨眉山玄武岩;8—哀牢山变质带;9—辉长岩;10—霞石正长岩;11—碱长花岗岩(原二长岩);12—碱性花岗岩;13—斑状黑云母花岗岩;14—等粒黑云母花岗岩;15—辉绿岩墙;16—断层;17—主要矿床

Fig. 1 Geological sketch map of Gejiu area, showing the distribution of tin-polymetallic deposits

(modified from No. 308 Geological Party, 1984)

1—Quaternary; 2—Slate, sandstone and glutinite of Upper Triassic Huobachong Formation; 3—Sandstone, shale interlayered with tuff and basaltic lava of Middle Triassic Falang Formation; 4—Basaltic lava of Middle Triassic Falang Formation; 5—Carbonate rock of Middle Triassic Gejiu Formation; 6—Lower Triassic mauve sandstone interlayered with green sandstone and marlite; 7—Triassic Emeishan basalt; 8—Ailaoshan metamorphic zone; 9—Gabbro; 10—Nepheline syenite; 11—Alkali feldspar granite (formerly monzonite); 12—Alkali granite; 13—Porphyritic biotite granite; 14—Equigranular biotite granite; 15—Diabase dike; 16—Fault; 17—Main ore deposit

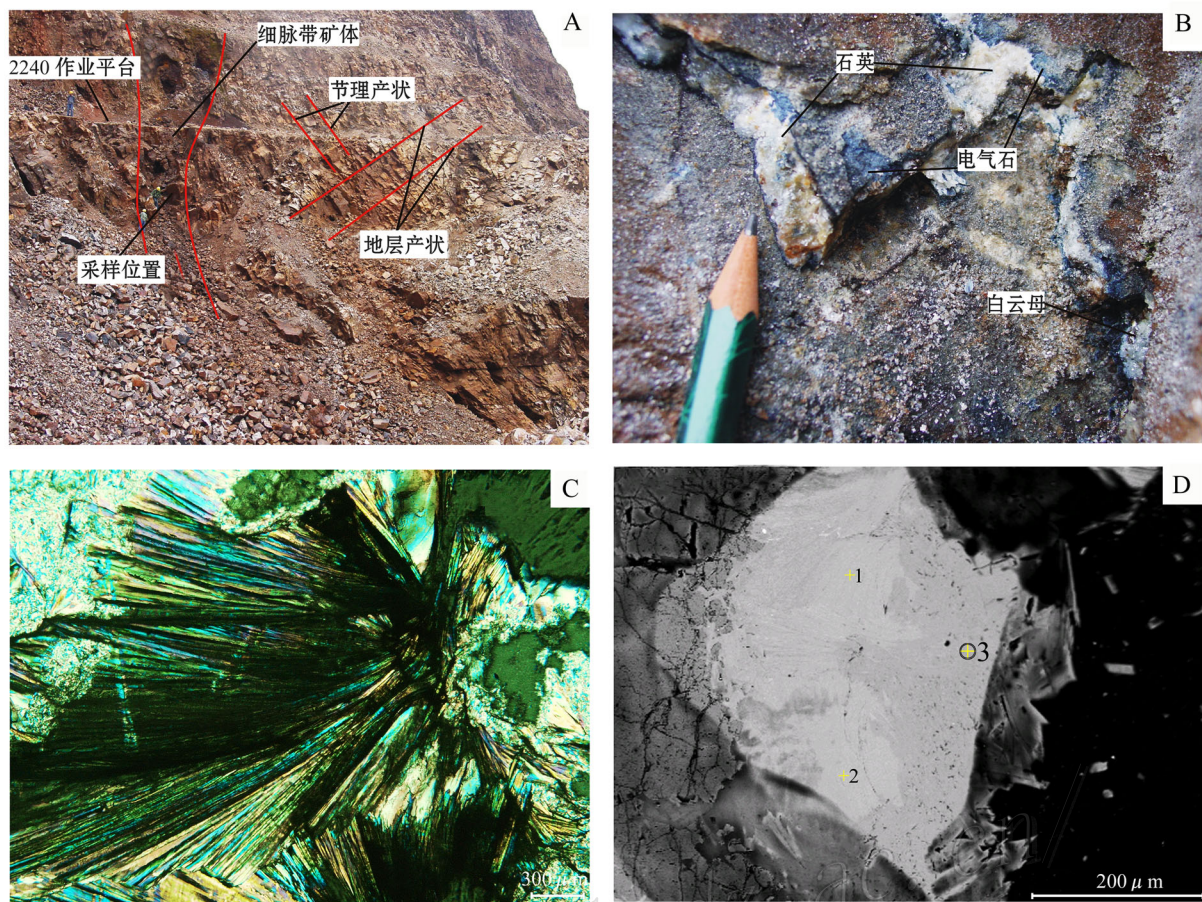


图2 采样位置示意图及样品照片

A. 采样位置示意图; B. 白云母-电气石-石英脉(样品照片); C. 白云母镜下照片; D. 白云母背散射照片

Fig. 2 Position and photos of the muscovite sample

A. Position of muscovite sample; B. Quartz-tourmaline-muscovite vein in Laochang district; C. Microscopic photo of muscovite sample; D. Backscattered pattern of muscovite sample

∠69°。脉体多沿节理发育,宽度变化较大,从几毫米到20 cm,延长数米,一群细脉组成了一组陡倾斜的矿体(图2A)。离矿体较近的围岩硅化现象明显。该处的矿化强度主要与裂隙的发育有关,在褶曲断裂带附近的围岩中,由其派生的节理发育,矿化强烈,而远离褶曲断裂带的地方,节理不发育,矿化较差。用于本次年龄测试的白云母样品赋存于白云母-电气石-石英脉中(图2B)。该白云母-电气石-石英脉为成矿热液活动时充填灰岩节理形成,该脉的形成与成矿热液活动密切相关,所以白云母的形成时代可以代表成矿热液的活动时代,进而可以间接指示细脉带型锡矿的成矿时代。白云母结晶颗粒较大(2~5 mm),呈放射状。显微镜下照片显示白云母有一组完全解理,平行消光,呈放射状(图2C)。

为了获得白云母的化学成分,笔者对白云母进

行了电子探针分析,分析结果及处理后的结果见表1,背散射照片见图2D。白云母的化学分子式为 $\text{KA}_{12}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ ,电子探针测试结果计算出的标准分子式与标准白云母化学分子式吻合,说明所采样品确实为白云母。

### 3 白云母年代学

#### 3.1 样品处理

将所采样品送河北省区域地质调查研究院实验室进行单矿物的挑选,得到纯度99%以上的白云母单矿物颗粒,然后送中国地质科学院地质研究所Ar-Ar年代学室进行年龄测试。

#### 3.2 分析方法和流程

本次白云母测年采用常规<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar阶段升温

表 1 云南个旧老厂细脉带型锡矿白云母电子探针分析结果  
Table 1 Electric microprobe analyses of muscovite in the Laochang deposit of Gejiu area

| 点号      | ω(B) %            |                  |                  |        |                  |                  |                                |                  |                                |                  |                               |        | 总和     |
|---------|-------------------|------------------|------------------|--------|------------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|--------|--------|
|         | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | FeO              | MgO    | CaO              | MnO              | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | NiO    |        |
| D037-2a | 0.216             | 11.422           | 2.519            | 1.007  | 0.014            | 0.145            | 31.756                         | 0                | 0.122                          | 46.714           | 0.006                         | 0.01   | 93.931 |
| D037-2b | 0.222             | 11.495           | 2.015            | 1.307  | 0.02             | 0.057            | 32.06                          | 0.014            | 0.061                          | 46.779           | 0.018                         | 0.019  | 94.067 |
| D037-2c | 0.284             | 11.648           | 0.207            | 0.161  | 0.014            | 0                | 36.914                         | 0                | 0.122                          | 45.398           | 0                             | 0.013  | 94.761 |
| 点号      | 离子数计算结果           |                  |                  |        |                  |                  |                                |                  |                                |                  |                               |        |        |
|         | Si                | Al <sup>IV</sup> | Al <sup>VI</sup> | Ti     | Fe <sup>3+</sup> | Fe <sup>2+</sup> | Mn                             | Mg               | Ca                             | Na               | K                             | 总离子数   |        |
| D037-2a | 3.1954            | 0.8046           | 1.7556           | 0.0000 | 0.1441           | 0.0000           | 0.0084                         | 0.1027           | 0.0010                         | 0.0286           | 0.9967                        | 7.0372 |        |
| D037-2b | 3.1860            | 0.8140           | 1.7595           | 0.0007 | 0.1148           | 0.0000           | 0.0033                         | 0.1327           | 0.0015                         | 0.0293           | 0.9988                        | 7.0406 |        |
| D037-2c | 3.0415            | 0.9585           | 1.9562           | 0.0000 | 0.0116           | 0.0000           | 0.0000                         | 0.0161           | 0.0010                         | 0.0369           | 0.9955                        | 7.0174 |        |

测试单位:中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室。

测年法。主要分析流程如下：

选纯的矿物用超声波清洗。超声清洗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,中子流密度约为  $6.0\times10^{12}\text{n}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。照射总时间为 3 019 min,积分中子通量为  $1.2\times10^{18}\text{n}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。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,其标准年龄为 132.7 Ma,K 含量为 7.6%(王松山,1983)。

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,净化 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。系统空白水平  $\text{m/e} = 40、39、37、36$  分别小于  $6\times10^{-15}\text{mol}$ 、 $4\times10^{-16}\text{mol}$ 、 $8\times10^{-17}\text{mol}$  和  $2\times10^{-17}\text{mol}$ 。中子照射过程中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  $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{O}}\chi_{\text{a}} = 0.0002389$ 、 $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$ 、 $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{O}}\chi_{\text{a}} = 0.000806$ 。 $^{37}\text{Ar}$  经过放射性衰变校正, $^{40}\text{K}$  衰变常数  $\lambda = 5.543\times10^{-10}\text{a}^{-1}$ (Steiger et al.,1977)。用 ISOPLLOT 程序计算坪年龄和等时线年龄,坪年龄误差以  $2\sigma$  给出。详细实验流程见有关文章(陈文等,2006)。

3.3 分析结果

个旧老厂细脉带型锡矿白云母-电气石-石英脉中的白云母(D037-2)的阶段加热 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 年龄的数据见表 2,共有 11 阶段,温度变化为 500~1 400℃,阶段升温年龄图谱及坪年龄见图 3,由所有构成坪年龄

表 2 云南个旧老厂细脉带型锡矿白云母 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 坪年龄测定结果

| Table 2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ stepwise heating dating data of sericites from muscovite in the Laochang deposit of Gejiu area |        |                                              |                                              |                                              |                                              |                                   |                                           |                       |                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|----------------|
| 加热阶段                                                                                                                                   | 加热温度/℃ | $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$ | $(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$ | $(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$ | $(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$ | $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ | $^{39}\text{Ar}/\times10^{-14}\text{mol}$ | $^{39}\text{Ar}$ 积累/% | $t/\text{Ma}$  |
| 1                                                                                                                                      | 500    | 56.9632                                      | 0.1767                                       | 0.0222                                       | 0.0520                                       | 4.7582                            | 0.26                                      | 0.35                  | $83.8\pm5.4$   |
| 2                                                                                                                                      | 600    | 58.2073                                      | 0.1748                                       | 0.2078                                       | 0.0592                                       | 6.5748                            | 0.05                                      | 0.42                  | $114.8\pm8.9$  |
| 3                                                                                                                                      | 700    | 15.2877                                      | 0.0286                                       | 0.0225                                       | 0.0270                                       | 6.8204                            | 1.76                                      | 2.78                  | $118.9\pm1.6$  |
| 4                                                                                                                                      | 760    | 10.2125                                      | 0.0120                                       | 0.0152                                       | 0.0244                                       | 6.6636                            | 2.42                                      | 6.03                  | $116.3\pm1.5$  |
| 5                                                                                                                                      | 820    | 5.4044                                       | 0.0022                                       | 0.0010                                       | 0.0126                                       | 4.7476                            | 1.11                                      | 7.52                  | $83.59\pm0.82$ |
| 6                                                                                                                                      | 880    | 5.0273                                       | 0.0010                                       | 0.0010                                       | 0.0122                                       | 4.7298                            | 24.89                                     | 40.95                 | $83.29\pm0.82$ |
| 7                                                                                                                                      | 940    | 4.9705                                       | 0.0009                                       | 0.0018                                       | 0.0124                                       | 4.7086                            | 15.61                                     | 61.91                 | $82.92\pm0.81$ |
| 8                                                                                                                                      | 1000   | 5.0524                                       | 0.0012                                       | 0.0022                                       | 0.0124                                       | 4.6971                            | 9.92                                      | 75.23                 | $82.73\pm0.82$ |
| 9                                                                                                                                      | 1100   | 5.1071                                       | 0.0014                                       | 0.0033                                       | 0.0126                                       | 4.6854                            | 13.86                                     | 93.85                 | $82.52\pm0.81$ |
| 10                                                                                                                                     | 1200   | 5.1634                                       | 0.0019                                       | 0.0138                                       | 0.0125                                       | 4.6103                            | 4.54                                      | 99.94                 | $81.23\pm0.86$ |
| 11                                                                                                                                     | 1400   | 35.9794                                      | 0.1186                                       | 0.5316                                       | 0.0343                                       | 0.9744                            | 0.05                                      | 100.00                | $17\pm12$      |

样号 D037-2 测试参数 样品质量 45.07 mg;J=0.00999。

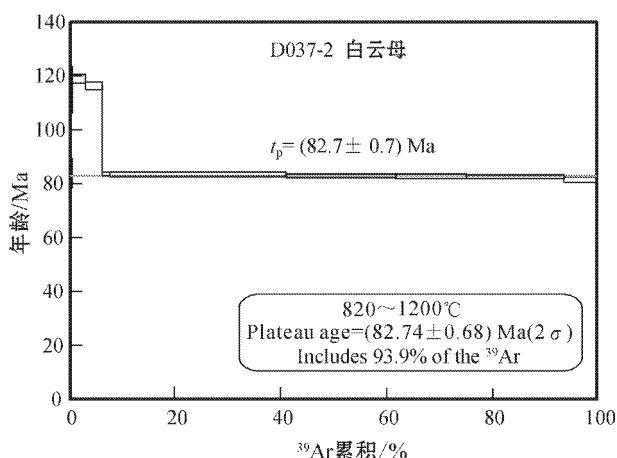


图 3 云南个旧老厂细脉带型锡矿白云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 坪年龄图

Fig. 3 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar spectrum age diagram of muscovite in the Laochang deposit of Gejiu area

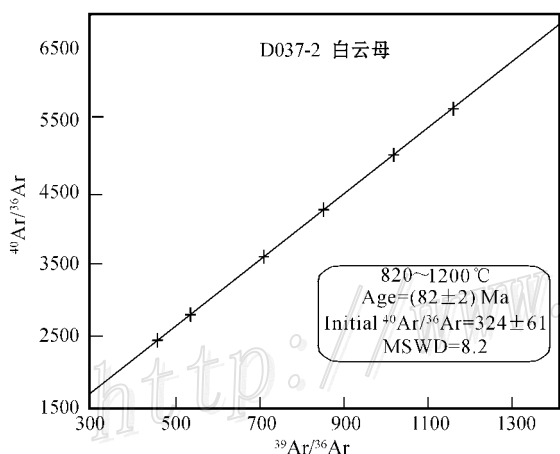


图 4 云南个旧老厂细脉带型锡矿白云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 等时线年龄图

Fig. 4 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar isochronal age diagram of muscovite in the Laochang deposit of Gejiu area

的数据点拟合的<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 等时线年龄见图 4。坪年龄计算据 Dalrymple 等提出的标准(存在不少于 3 个加热阶段且释放<sup>39</sup>Ar 达 50% 以上)加以计算。

由表 2 可知,个旧老厂细脉带型锡矿白云母-电气石-石英脉中的白云母低温释放阶段(500~760℃)视年龄变化较大,变化范围为(83.8±5.4)~(118.9±1.6)Ma,<sup>39</sup>Ar 仅占总析出量的 6.03%。6 个高温释放阶段(820~1 200℃)形成了(82.7±0.7)Ma(2σ)的年龄坪(<sup>39</sup>Ar 占总析出量 93.9%)图

3) 相应的等时线年龄为(82±2)Ma,<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 初始比值为(324±61),MSWD=8.2(图 4),等时线年龄与坪年龄在误差范围内完全一致。因此,白云母(D037-2)<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 坪年龄(82.7±0.7)Ma 具有地质意义,代表了白云母的形成年龄。

## 4 讨 论

### 4.1 成矿时代

个旧老厂细脉带型锡矿属于热液脉型矿床,其形成与位于其下部的老卡岩体有密切关系。程彦博等(2008)获得了老卡岩体的花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为(85±1)Ma。杨宗喜等(2008)测得与老卡岩体相关的卡房砂卡岩铜(锡)矿中辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄为(83.4±2.1)Ma。本次所获得的老厂细脉带型锡矿的白云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄(82.7±0.7)Ma 与前人获得的年龄相吻合,显示了卡房砂卡岩铜(锡)矿与老厂细脉带型锡矿是与老卡岩体有关的同一成矿系统。对比这几个年龄,老卡岩体的侵位最先发生,之后是位于接触带的卡房砂卡岩铜(锡)矿的矿化事件,最后是位于个旧锡矿最上部(剖面)或最外部(平面)的细脉带型锡矿的矿化,这与野外地质事实是完全一致的,说明个旧锡多金属矿床的成岩成矿事件发生在 83 Ma 左右。

纵观整个右江中生代成矿带,与岩浆作用有关的成矿事件均发生在燕山晚期。刘玉平等(2000)曾获得都龙矿床曼家寨矿段矿石单矿物 Rb-Sr 等时线年龄为(76.7±3.3)Ma,表明成矿发生在晚白垩世。都龙锡锌矿床的 TIMS 锡石等时线年龄为(82.0±9.6)Ma,隐伏花岗岩和花岗斑岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄分别为(92.9±1.9)Ma 和(86.9±1.4)Ma,表明锡(铜)矿化主要与晚白垩世岩浆活动有关,成岩成矿事件发生在晚白垩世(刘玉平等,2007)。虽然白牛厂矿体远离燕山晚期侵位的薄竹山花岗岩,但是新近的钻孔揭露了矿体下伏的隐伏花岗岩体(刘玉平等,2007),前人获得的薄竹山花岗岩的 Rb-Sr 和 U-Pb 年龄为 115~79 Ma(张世淘等,1997)。王登红等(2004)获得大厂西矿带铜坑-长坡矿床 91 号层状矿体石英<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 坪年龄为(94.5±0.3)Ma,龙头山 100 号块状矿体石英<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 坪年龄为(94.6±0.5)Ma。蔡明海等(2005)获得东矿带亢马脉状矿体石英 Rb-Sr 等时线年龄为(94.1±2.7)Ma。蔡明海等(2006)还获得了矿田内龙箱盖

岩体主体岩性黑云母花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为  $(93 \pm 1) \text{ Ma}$ , 斑状黑云母花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $(91 \pm 1) \text{ Ma}$ 。王社铜钨矿床属于大明山矿集区的典型矿床之一, 其辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为  $(93.8 \pm 4.6) \text{ Ma}$  (蔺志永等, 2008)。

上述年龄数据表明, 包括个旧锡多金属矿床、都龙锡矿床、白牛厂银多金属矿床、广西大厂锡多金属矿床以及大明山矿集区王社铜钨矿床在内的右江褶皱带成矿带内的成岩成矿事件发生于  $95 \sim 80 \text{ Ma}$ 。毛景文等 (2007, 2008a) 认为华南地区中生代可能存在 2 次大规模成矿作用, 成矿时代分别为晚侏罗世 ( $165 \sim 150 \text{ Ma}$ ) 和中白垩世 ( $130 \sim 90 \text{ Ma}$ )。从本次白云母  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年龄结果以及区域上的成矿时代来看, 右江褶皱带锡多金属矿床的形成应该是华南中生代第二次大规模成矿作用的结果。

## 4.2 成矿地质背景

前述区域上成岩成矿时代的综合讨论说明右江褶皱带的大规模成岩成矿作用发生在晚白垩世。它们的形成受控于相同的地球动力学背景。

(1) 从岩石学方面来看, 王永磊等 (2007) 通过研究个旧老厂矿田花岗岩的地球化学特征认为, 与成矿作用有关的花岗岩主要形成于后碰撞造山向板内环境的转换阶段。同时, 个旧花岗岩附近还发现了煌斑岩和碱性岩出露, 程彦博等 (2009a) 测得煌斑岩的年龄为  $(77.2 \pm 2.4) \text{ Ma}$ , 碱性岩的年龄为  $(76.6 \pm 3.6) \text{ Ma}$ , 有力的证明了燕山晚期个旧地区处于岩石圈伸展的构造背景。黔西南白层地区出露右江褶皱带规模最大的燕山期基性-超基性岩墙, 陈懋弘等 (2009) 测得该基性-超基性岩墙的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为  $(84 \pm 1) \text{ Ma}$ , 并结合岩石地球化学特征, 也得出了相同的结论, 认为右江褶皱带在晚白垩世 ( $80 \sim 90 \text{ Ma}$ ) 发生了大规模的岩石圈伸展减薄事件。丹池成矿带花岗岩主要为后造山花岗岩类, 形成于后造山向板内环境的转化阶段, 带内成岩成矿的主体构造环境为较稳定的区域拉张环境 (蔡明海等, 2004a)。

(2) 从构造地质学方面来看, 广西大厂锡多金属矿田发育伸展剪切褶皱、层间滑脱构造带、剪切劈理、石香肠构造、肠状构造、SN 向和 NE 向以张性为主兼具扭性的断裂构造以及配套的近 EW 向褶皱构造等, 反映了一种以区域拉张为主的伸展剪切变形机制, 属燕山晚期构造作用的产物 (蔡明海等, 2004b)。都龙-Song Chay 变质穹隆体在  $86 \sim 78 \text{ Ma}$

经历了 NNW-SSE 向的伸展, 而且, 该伸展构造与华南地块中生代末期大规模的区域伸展作用具有一致的伸展动力学机制 (颜丹平等, 2005)。

## 5 结 论

(1) 本文所获得的个旧老厂细脉带型锡矿的白云母  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年龄  $(82.7 \pm 0.7) \text{ Ma}$  真实可靠, 可以指示个旧老厂细脉带型锡矿的成矿时代。

(2) 个旧老厂细脉带型锡矿为热液脉型矿床, 其形成与老卡岩体具有密切的时空关系, 其成矿时代为  $(82.7 \pm 0.7) \text{ Ma}$ , 属于晚白垩世。

(3) 右江褶皱带在中生代末期发生了大规模的岩石圈伸展, 该伸展事件与区内大规模成岩成矿事件关系密切。

志 谢 在野外工作期间得到云南锡业集团卡房矿部杨文宝和杨春荣, 老厂矿部朱华全和李斌以及松树脚矿部康德明和陆荣宇的大力支持和帮助, 在此深表谢意。

## References

- Cai M H, Liang T, Wu D C and Huang H M. 2004a. Geochemical characteristics of granites and its structural genetic environment in the Nandan-Hechi metallogenetic belt, Northwest Guangxi [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 28: 306-313 (in Chinese with English abstract).
- Cai M H, Liang T, Wu D C and Huang H M. 2004b. Structure characteristics and mineralization controls of the Nandan-Hechi metallogenetic belt in Guangxi Province [J]. *Geology and Prospecting*, 6: 5-10 (in Chinese with English abstract).
- Cai M H, Liang T and Wu D C. 2005. Geological characteristics and ore-forming time of the Kangma deposit in the dachang tin-polymetallic ore field, Guangxi [J]. *Acta Geologica Sinica*, 79: 262-268 (in Chinese with English abstract).
- Cai M H, He L Q, Liu G Q, Wu D C and Huang H M. 2006. SHRIMP zircon U-Pb dating of the intrusive rocks in the Dachang tin-polymetallic ore field, Guangxi and their geological significance [J]. *Geological Review*, 52: 409-414 (in Chinese with English abstract).
- Chen M H, Mao J W, Zhang W, Yang Z X, Lu G, Hou K J and Liu J H. 2009. Zircon U-Pb age and Hf isotopic composition of the Baiceng ultrabasic rock veins in Zhenfeng County, southwestern Guizhou Province, China [J]. *Mineral Deposits*, 28(3): (in Press) (in Chinese with English abstract).
- Chen W, Zhang Y, Zhang Y Q, Jin G S and Wang Q L. 2006. Late

- Cenozoic episodic uplifting in southeastern part of the Tibetan plateau: Evidence from Ar-Ar thermochronology[ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 867-872( in Chinese with English abstract ).
- Cheng Y B, Mao J W, Xie G Q, Chen M H, Zhao C S, Yang Z X, Zhao H J and Li X Q. 2008. Preliminary study of the petrogenesis of Laochang - Kafang granite in the Gejiu area, Yunnan Province: Constraints from geochemistry and zircon U-Pb dating[ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 82( 11 ): 1478-1492( in Chinese with English abstract ).
- Cheng Y B, Mao J W, Chen M H, Xie G Q, Yang Z X, Feng J R, Zhao H J and Li X Q. 2009a. LA-ICP-MS zircon dating of the alkaline rocks and lamprophyres in Gejiu area and its implications[ J ]. *Geology in China*, 35( 6 ): 1082-1092( in Chinese with English abstract ).
- Cheng Y B, Mao J W, Xie G Q, Chen M H and Yang Z X. 2009b. Zircon U-Pb Dating of the Granites in Gejiu Supergiant Tin Polymetallic Ore-field and its Significance[ J ]. *Mineral Deposits*, 28( 3 ): 297-312( in Chinese with English abstract ).
- Dai F S. 1996. Characteristics and evolution of rock series, lithogenesis, metallogenesis of crust-derived anatectic magma in Gejiu ore field[ J ]. *Geology of Yunnan*, 15( 4 ): 330-344( in Chinese with English abstract ).
- Dalrymple G B and Lamphere M A. 1971. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar technique of K-Ar dating: A comparison with the conventional technique[ J ]. *Earth Planet Sci. Lett.*, 12: 300-308.
- Feng X R. 1982. Types and origin of accessory mineral of tin-bearing granite in Gejiu area and its relationship with mineralization[ J ]. *Geology of Yunnan*, 1( 2 ): 129-133( in Chinese with English abstract ).
- Jiang Z W, Nicholas H S O, Terence D B, William L P and Alison O. 2001. Numerical modeling of fault-controlled fluid flow in the genesis of tin deposits of the Malage ore field Gejiu mining district[ J ]. *Econ. Geol.*, 92: 228-247.
- Li J H. 1985. Characteristic and original study on granites in Gejiu area[ J ]. *Geology of Yunnan*, 4( 4 ): 327-352( in Chinese with English abstract ).
- Lin Z Y, Wang D H and Li S R. 2008. Geological characteristics and mineralization age of the Wangshe Cu-W deposit in Southwestern Guangxi Province, South China[ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 82( 11 ): 1565-1571( in Chinese with English abstract ).
- Liu Y P, Li C Y, Gu T and Wang J L. 2000. Isotopic constraints on the source of ore-forming materials of Dulong Sn - Zn polymetallic deposit, Yunnan[ J ]. *Geology Geochemistry*, 28: 75-82( in Chinese with English abstract ).
- Liu Y P, Li Z X, Li H M, Guo L G, Xu W, Ye L, Li C Y and Pi D H. 2007. U - Pb geochronology of cassiterite and zircon from the Dulong Sn-Zn deposit: Evidence for Cretaceous large-scale granitic magmatism and mineralization events in southeastern Yunnan Province, China[ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 23: 967-976( in Chinese with English abstract ).
- Mao J W, Xie G Q, Guo C L and Chen Y C. 2007. Large-scale tungsten-tin mineralization in the Nangling region, South China: Metallogenic ages and corresponding geodynamic processes[ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 23: 2329-2338( in Chinese with English abstract ).
- Mao J W, Xie G Q, Guo C L, Yuan S D, Cheng Y B and Chen Y C. 2008. Spatial-Temporal distribution of mesozoic ore deposits in south China and their metallogenic settings[ J ]. *Geological Journal of China University*, 14: 510-526( in Chinese with English abstract ).
- Mao J W, Cheng Y B, Guo C L, Yang Z X and Feng J R. 2008. Gejiu tin polymetallic ore-field: Deposit model and discussion for several points concerned[ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 82( 11 ): 1455-1467.
- Ministry of Metallurgical Industry -Southwest Metallurgical Geological Prospecting Company. 1984. *Geology of tin deposits in Gejiu area* [ M ]. Beijing: Metallurgical Industry Pub. House. 1-237( in Chinese ).
- Peng C D. 1985. A discussion on the condition, types and model of Gejiu tin deposit[ J ]. *Yunnan Geology*, 4( 1 ): 17-32( in Chinese with English abstract ).
- Peng Z X. 1992. Discuss of deposit model of Gejiu tin deposit[ J ]. *Geology of Yunnan*, 4: 154-163( in Chinese ).
- Steiger R H and Jager E. 1977. Subcommission on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology [ J ]. *Earth Planet Sci. Lett.*, 36: 359-362.
- Wang D H, Chen Y C, Chen W, Sang H Q, Li H Q, Lu Y F, Chen K L and Lin Z M. 2004. Dating the Dachang giant tin-polymetallic deposit in Nandan, Guangxi[ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 78: 132-138( in Chinese with English abstract ).
- Wang S S. 1983. Age determinations of <sup>40</sup>Ar-<sup>40</sup>K, (<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar) and radiogenic (<sup>40</sup>Ar) released characteristics on K-Ar geostandards of China[ J ]. *Scientia Geologica Sinica*, ( 4 ): 315-322( in Chinese with English abstract ).
- Wang X G, Zhu J C and Shen W Z. 1990. Contrast study on two main ore-forming granites in Gejiu tin deposit and their geological and prospecting significance[ J ]. *Journal of Nanjing University ( Earth Science Edition )*, 4: 66-75( in Chinese with English abstract ).
- Wang X G and Zhu J C. 1992. Origin, evolution and prospecting significance of granites in the Gejiu tin field, Yunnan Province[ J ]. *Geotectonica et Metallogenia*, 16( 4 ): 379-387( in Chinese with English abstract ).
- Wang Y L, Pei R F, Li J W, Wu J D, Li L and Wang H L. 2007. Geochemical characteristics and tectonic setting of Laochang granite in Gejiu[ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 81: 979-985( in Chinese with English abstract ).
- Wang Z F. 1983. Some problems on the mineralization of tin deposits in Gejiu, Yunnan[ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 57: 154-163( in Chinese with English abstract ).
- Wu Q S, Xu J Z and Yang Z. 1984. Sr isotopes characteristics of Gejiu Sn-bearing granites and a study of ore search indicators[ J ]. *Geochimica*, 4: 293-302( in Chinese with English abstract ).
- Yan D P, Zhou M F, Wang Y, Wang C L and Zhao T P. 2005. Structural styles and chronological evidences from Dulong-Song Chay tectonic dome: Earlier spreading of South China Sea Basin due to Late Mesozoic to Early Cenozoic extension of South China Block[ J ]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 30( 4 ):

402-412( in Chinese with English abstract ).

Yang Z X, Mao J W, Chen M H, Tong X, Wu J D, Cheng Y B and Zhao H J. 2008. Re-Os dating of molybdenite from the Kafang skarn copper( tin) deposit in the Gejiu tin polymetallic ore district and its geological significance[ J ]. Acta Petrologica Sinica, 24( 8 ): 1937-1944( in Chinese with English abstract ).

Zhang S T and Chen G C. 1997. The geological features and evolution of the Baozhu MT complex granite body in SE Yunnan[ J ]. Geology of Yunnan, 16 : 222-232( in Chinese with English abstract ).

Zhu J C, Wang X G and Ying C. 1991. Existing forms of tin in different rocks and metallogenetic model of Gejiu tin field[ J ]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 6( 2 ): 11-16( in Chinese with English abstract ).

Zhuang Y Q, Wang R Z and Yang S P. 1996. Gejiu tin( copper ) polymetallic ore deposits in Yunnan[ M ]. Beijing : Seismological Press. 1-18( in Chinese ).

## 附中文参考文献

蔡明海, 梁 婷, 吴德成, 黄惠民. 2004a. 桂西北丹池成矿带花岗岩地球化学特征及其构造环境[ J ]. 大地构造与成矿学, 28 : 306-313.

蔡明海, 梁 婷, 吴德成, 黄惠民. 2004b. 广西丹池成矿带构造特征及其控矿作用[ J ]. 地质与勘探, 6 : 5-10.

蔡明海, 梁 婷, 吴德成. 2005. 广西大厂锡多金属矿田亢马锡矿床地质特征及成矿时代[ J ]. 地质学报, 79 : 262-268.

蔡明海, 何龙清, 刘国庆, 吴德成, 黄惠民. 2006. 广西大厂锡矿田侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其意义[ J ]. 地质论评, 52 : 409-414.

陈懋弘, 毛景文, 章 伟, 杨宗喜, 陆 刚, 侯可军, 刘建辉. 2009. 黔西南白层超基性岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成[ J ]. 矿床地质, 28( 3 ) : .

陈 文, 张 彦, 张岳桥, 金贵善, 王清丽. 2006. 青藏高原东南缘晚新生代幕式抬升作用的 Ar-Ar 热年代学证据[ J ]. 岩石学报, 22 : 867-872.

程彦博, 毛景文, 谢桂青, 陈懋弘, 赵财胜, 杨宗喜, 赵海杰, 李向前. 2008. 云南个旧老厂-卡房花岗岩体成因初探 : 锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学约束[ J ]. 地质学报, 82( 11 ) : 1478-1493.

程彦博, 毛景文, 陈懋弘, 谢桂青, 杨宗喜, 冯佳睿, 赵海杰, 李向前. 2009a. 云南个旧锡矿田碱性岩和煌斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其地质意义[ J ]. 中国地质, 35( 6 ) : 1082-1093.

程彦博, 毛景文, 谢桂青, 陈懋弘, 杨宗喜. 2009b. 与云南个旧超大型锡矿床有关花岗岩的锆石 U-Pb 定年及意义[ J ]. 矿床地质, 28( 3 ) : 297-312.

戴福盛. 1996. 个旧矿区壳源重熔岩浆岩岩石系列特征、演化及其成岩成矿作用[ J ]. 云南地质, 15 : 330-344.

冯贤仁. 1982. 个旧含锡花岗岩副矿物类型、成因及与矿化关系[ J ]. 云南地质, 1 : 129-133.

李家和. 1985. 个旧花岗岩特征及成因研究[ J ]. 云南地质, 4 : 327-352.

蔺志永, 王登红, 李水如. 2008. 广西王社铜锡矿床地质特征及其成矿时代[ J ]. 地质学报, 82( 11 ) : 1565-1571.

刘玉平, 李朝阳, 谷 团, 王金良. 2000. 都龙锡锌多金属矿床成矿物质来源的同位素示踪[ J ]. 地质地球化学, 28 : 75-82.

刘玉平, 李正祥, 李惠民, 郭利果, 徐 伟, 叶 霖, 李朝阳, 皮道会. 2007. 都龙锡矿床锡石和锆石 U - Pb 年代学 : 滇东南白垩纪大规模花岗岩成岩-成矿事件[ J ]. 岩石学报, 23 : 967-976.

毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 陈毓川. 2007. 南岭地区大规模锡多金属成矿作用 : 成矿时限及地球动力学背景[ J ]. 岩石学报, 23 : 2329-2338.

毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 袁顺达, 程彦博, 陈毓川. 2008a. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境[ J ]. 高校地质学报, 14 : 510-526.

毛景文, 程彦博, 郭春丽, 杨宗喜, 冯佳睿. 2008b. 云南个旧锡矿田 : 矿床模型及若干问题讨论[ J ]. 地质学报, 82( 11 ) : 1455-1467.

彭程电. 1985. 试论个旧锡矿成矿条件及矿床类型、模式[ J ]. 云南地质, 4 : 154-163.

彭张翔. 1992. 个旧锡矿成矿模式商榷[ J ]. 云南地质, 11 : 362-368.

王登红, 陈毓川, 陈 文, 桑海清, 李华芹, 路远发, 陈开礼, 林枝茂. 2004. 广西南丹大厂超大型锡多金属矿床的成矿时代[ J ]. 地质学报, 78 : 132-138.

王松山. 1983. 我国 K-Ar 法标准样<sup>(40)</sup>Ar-<sup>(40)</sup>K 和<sup>(40)</sup>Ar-<sup>(39)</sup>Ar 年龄测定及放射成因<sup>(40)</sup>Ar 的析出特征[ J ]. 地质科学 ( 4 ) : 315-323.

王新光, 朱金初, 沈渭洲. 1990. 个旧锡矿田两个主要成矿花岗岩的对比研究及其地质和找矿意义[ J ]. 南京大学学报 ( 地球科学版 ), 66-75.

王新光, 朱金初. 1992. 个旧花岗岩的成因、演化及其找矿意义[ J ]. 大地构造与成矿学, 16( 4 ) : 379-387.

王永磊, 裴荣富, 李进文, 武俊德, 李 莉, 王浩琳. 2007. 个旧老厂矿田花岗岩地球化学特征及其形成构造背景[ J ]. 地质学报, 81 : 979-985.

汪志芬. 1983. 关于个旧锡矿成矿作用的几个问题[ J ]. 地质学报, 57 : 154-163.

伍勤生, 许俊珍, 杨 志. 1984. 个旧含锡花岗岩的 Sr 同位素特征及找矿标志的研究[ J ]. 地球化学, 4 : 293-302.

颜丹平, 周美夫, 王 焰, 汪昌亮, 赵太平. 2005. 都龙-Song Chay 变质穹隆体变形与构造年代——南海盆地北缘早期扩张作用始于华南地块张裂的证据[ J ]. 地球科学, 30( 4 ) : 402-412.

杨宗喜, 毛景文, 陈懋弘, 童 祥, 武俊德, 程彦博, 赵海杰. 2008. 云南个旧卡房夕卡岩型铜( 锡 ) 矿 Re-Os 年龄及其地质意义[ J ]. 岩石学报, 24( 8 ) : 1937-1944.

冶金工业部西南冶金地质勘探公司( 308 队 ). 1984. 个旧锡矿地质[ M ]. 北京 : 冶金工业出版社. 1-237.

张世涛, 陈国昌. 1997. 滇东南薄竹山复式岩体的地质特征及其演化规律[ J ]. 云南地质, 16 : 222-232.

朱金初, 王新光, 殷成玉. 1991. 个旧锡矿区不同岩石中锡的富集特征及成矿模式[ J ]. 地质找矿论丛, 6( 2 ) : 11-16.

庄永秋, 王任重, 杨树培. 1996. 云南个旧锡铜多金属矿床[ M ]. 北京 : 地震出版社. 1-183.