

文章编号: 0258-7106 (2011) 01-0057-17

滇东南老君山地区印支期成矿事件初探

——以新寨锡矿床和南秧田钨矿床为例^{*}

冯佳睿¹, 毛景文¹, 裴荣富¹, 李超²

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 国家地质实验测试中心, 北京 100037)

摘 要 老君山地区是滇东南多金属成矿带的重要组成部分, 但对该区典型矿床精确的成矿时代和构造背景的研究较少。文章选择与锡石密切共生的金云母及与钨矿共生的辉钼矿为研究对象, 分别运用⁴⁰Ar-³⁹Ar 阶段加热和 Re-Os 同位素定年方法, 对新寨锡矿床中的金云母及南秧田钨矿床中的辉钼矿进行了成矿时代的研究, 获得了金云母的⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素坪年龄, 为(209.5±1.1) Ma, 对应的等时线年龄为(209.0±2.2) Ma, 辉钼矿的 Re-Os 同位素模式年龄为(209.1±3.3)~(214.1±4.3) Ma。上述测年结果提供了滇东南地区印支期成矿的信息。综合研究表明, 新寨锡矿床和南秧田钨矿床形成于印支期后造山晚期或后碰撞阶段, 受控于拉张-裂解的动力学背景。

关键词 地球化学; ⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素年龄; Re-Os 同位素定年; 新寨锡矿床; 南秧田钨矿床; 印支期; 滇东南
中图分类号: P618.44; P618.67 **文献标识码**: A

A tentative discussion on Indosinian ore-forming events in Laojunshan area of southeastern Yunnan: A case study of Xinzhai tin deposit and Nanyangtian tungsten deposit

FENG JiaRui¹, MAO JingWen¹, PEI RongFu¹ and LI Chao²

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

2 National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China)

Abstract

The Laojunshan area is an important part of the southeastern Yunnan polymetallic belt; nevertheless, the timing and tectonic setting of the typical deposits in this area were poorly constrained. In this paper, the authors present new ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating of phlogopite closely coexisting with cassiterite ages for the Xinzhai tin deposit and Re-Os dating of three molybdenite samples separated from the Nanyangtian tungsten deposit to constrain timing and duration of the mineralization. Phlogopite from the Xinzhai tin deposit yielded an ⁴⁰Ar-³⁹Ar plateau age of (209.5±1.1) Ma and isochronal age of (209.0±2.2) Ma. The Re-Os model ages range from (209.1±3.3) Ma to (214.1±4.3) Ma. These ages provide the Indosinian metallogenic information in southeastern Yunnan. The available data and evidence suggest that the Sn and W mineralization in the Xinzhai tin deposit and the Nanyangtian tungsten deposit occurred in late post-orogenic or post-collisional stage during the Indosinian period in southern China and was controlled by a geodynamic setting of extension-cracking.

Key words: geochemistry, ⁴⁰Ar-³⁹Ar age, Re-Os isotopic dating, Xinzhai tin deposit, Nanyangtian tung-

^{*} 本文得到国家自然科学基金重点基金(40930419)资助

第一作者简介 冯佳睿, 女, 1982 年生, 博士研究生, 矿产普查与勘探专业。Email: feng-jiarui@yeah.net

收稿日期: 2010-07-08; 改回日期: 2010-11-01。许德焕编辑。

sten deposit, Indosinian period, southeastern Yunnan

滇东南老君山是中国一个重要的锡钨多金属成矿区,根据矿床类型和主要成矿元素组合,可将其分为南秧田-茶叶山(W)、大竹山-新寨(Sn-W)、曼家寨-铜街(Sn-Zn) 3个矿集区。

新寨锡矿床和南秧田钨矿床是老君山成矿区内重要的多金属矿床。新寨锡矿床位于该成矿区的北部,已探明其锡金属储量属大型规模,锌和铜作为伴生元素可回收利用^①。前人对该矿床的矿床地质、成矿作用和成矿过程等方面进行了大量的研究,积累了丰富的基础资料,提出了许多重要认识(李文尧, 2002;李华等, 2007; 2008; 杨国尼, 2008),并对矿石中的黑云母及矿化围岩中的白云母应用 K-Ar 等方法取得了 225.74 Ma 和 202.70 Ma 的年龄数据(王学, 1994)。西南地质勘探局 306 队(1988)运用 K-Ar 法获得了新寨锡矿床矿化围岩中黑云母和白云母的年龄,为 197.10~217.00 Ma^②,黑云母和白云母与锡石共生,可代表锡矿床的矿化时代。

南秧田钨矿床位于老君山成矿区的东部,云南 317 地质分队的地质勘探报告^③表明,南秧田矿区的钨资源储量为中型规模,是滇东南地区最大的以钨为主的金属矿床。有关该矿床的研究相对较少,特别是对其成矿时代的厘定尚缺乏精确的同位素年龄数据,仅有曾志刚等(1999)应用矿石全岩 Rb-Sr 法获得其年龄为(214.25±15.60) Ma。

本文在详细研究上述 2 个矿床地质特征的基础上,选择与锡石密切共生的金云母及与钨矿共生的辉钼矿为研究对象,利用 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 和 Re-Os 同位素测年法,对这 2 个矿床进行了成矿时代的制约,精确厘定其成矿年龄,并初步探讨了这 2 个矿床形成的构造背景。

1 区域地质背景

研究区位于云南省的东南部,隶属于滇东南-桂西锡钨多金属成矿带,其大地构造位置位于滨太平洋构造域,华南褶皱系越北隆起的北缘。该区经历了复杂的地质演化过程:震旦纪期间,主要形成滨海至浅海相的类复理石建造;寒武纪至中奥陶世,为碎

屑岩、泥质岩和碳酸盐岩建造;晚奥陶世和志留纪时期为隆起剥蚀区;泥盆纪至早二叠世,广泛发育浅海相碳酸盐岩建造;晚二叠世至晚三叠世,部分地区沉积了巨厚的复理石建造、基性火山岩和火山碎屑岩建造;晚三叠世末的印支运动使该区域发生强烈的褶皱和断裂而成为剥蚀区。燕山期花岗岩浆的强烈侵入活动,形成了老君山花岗岩体(庄永秋等, 1996; 张洪培等, 2006)。

研究区内出露的地层主要为寒武纪变质岩系,其中,上寒武统歇场组、中寒武统龙哈组和田蓬组、下寒武统冲庄组最为发育。歇场组的岩性主要为白云质灰岩;龙哈组和田蓬组的主要岩性分别为白云质大理岩和石英片岩及片麻岩等;冲庄组主要由斜长片麻岩和石英云母片岩等组成(图 1)。

区内出露的岩浆岩为老君山花岗岩体。该岩体略似长方形,南北长约 15 km,东西宽约 10 km,面积约 150 km²。岩性组分比较单一,按照岩石的演化顺序大致可分为 3 期,分别为中粗粒二云二长花岗岩、中细粒二云母花岗岩和花岗斑岩。

在该区的东南部,出露一套面积约 1 000 km² 的环状变质杂岩,一些研究者将其称为“老君山变质核杂岩”(李东旭等, 2000; 刘玉平等, 2000)。该变质核杂岩的内核为强烈变形的中-深变质岩系,主要分布在老君山花岗岩体的东侧,由猛洞岩群和花岗片麻岩构成。猛洞岩群位于花岗片麻岩之上,包括南秧田和洒西 2 个岩性段。南秧田岩段以云母片岩为主,含有云母石英片岩、绿泥石片岩、角闪片岩、石英电气石片岩等,原岩可能主要为泥质岩类;洒西岩段的岩性较为复杂,主要为变粒岩类、片麻岩类、角闪岩类和钙硅酸盐类,原岩主要为长英质砂岩类、泥质岩类、不纯碳酸盐岩类等。猛洞岩群的变质程度大多已达角闪岩相,原生沉积构造大多被后生面理构造所置换,顺层韧性剪切作用强烈(刘玉平等, 2000)。花岗片麻岩类为该中-深变质岩系的主体部分,据其岩石组构特征,由下至上依次为花岗片麻岩、条痕状花岗片麻岩和眼球状花岗片麻岩,显现出变形程度逐渐增强的趋势。这些岩石普遍具鳞片花岗变晶结构,显微交代结构广泛发育,钾长石化较为

① 西南地质勘探局 306 队. 1988. 云南省麻栗坡县新寨锡矿床详查地质报告. 内部资料.

② 云南 317 地质分队. 1984. 云南省麻栗坡县南秧田钨矿深部评价报告. 内部资料.

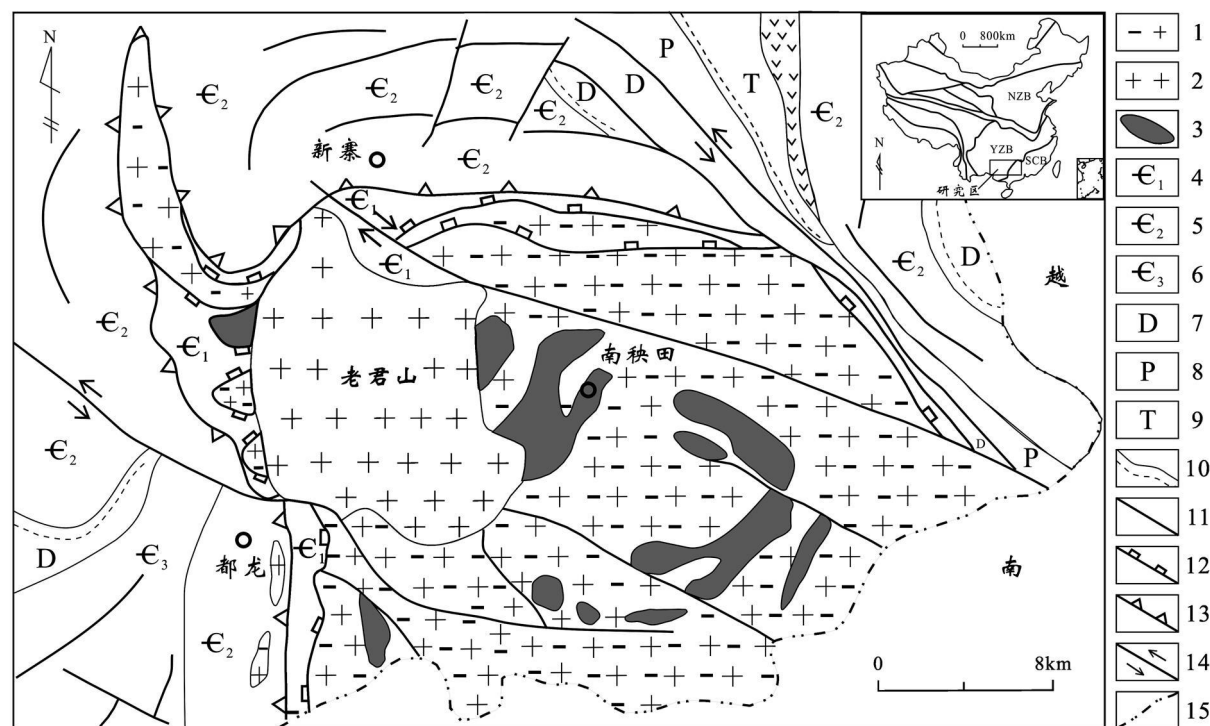


图 1 滇东南老君山地区地质图(据西南地质勘探局 306 队, 1988^①)

1—花岗片麻岩; 2—老君山花岗岩; 3—猛洞岩群; 4—下寒武统冲庄组斜长片麻岩和石英云母片岩; 5—中寒武统白云质大理岩、石英片岩和片麻岩; 6—上寒武统歇场组白云质灰岩; 7—泥盆系; 8—二叠系硅质岩和泥岩; 9—三叠系砂岩、页岩夹凝灰岩和玄武质熔岩; 10—假整合界线; 11—断层; 12—韧性剥离断层; 13—基底剥离断层; 14—走滑断层; 15—国界
NZB—华北地块; YZB—扬子地块; SCB—华南地块

Fig. 1 Geological map of the Laojunshan area in Southeast Yunnan
(after No 306 Party of Southwest Geological Exploration Bureau, 1988)

1—Granite gneiss; 2—Laojunshan granite; 3—Mengdong Group; 4—Plagioclase gneiss and quartz-mica schist of Lower Cambrian Chongzhuang Formation; 5—Middle Cambrian dolomitic marble, quartz-schist and gneiss; 6—Dolomitic limestone of Upper Cambrian Xiechang Formation; 7—Devonian; 8—Permian siliceous rock and mudstone; 9—Triassic sandstone, shale bearing tuff and basaltic lava; 10—Unconformity; 11—Fault; 12—Ductile detachment fault; 13—Base detachment fault; 14—Strike slip fault; 15—National boundaries NZB—North China Block; YZB—Yangtze Block; SCB—South China Block

强烈, 其副矿物组合为磁铁矿+ 钛铁矿+ 锆石。花岗片麻岩类之内, 包裹有大量猛洞岩群的残留体, 由于强烈的变质和变形作用, 这些残留体多呈透镜状、夹层状产出。刘玉平等(2000)选取该花岗片麻岩类为研究对象, 结合其铅同位素特征及 Pb-Pb 等时线年龄, 认为该中-深变质岩系的时代应为前寒武纪。

研究区内断裂发育, NW 向的马关-都龙、南温河和文山-麻栗坡大断裂是该区最重要的控矿构造; 区内其他断裂构造主要为 NS 向和 EW 向 2 组, 呈十字型展布。NS 向断裂分布于该区的西侧, 以向西倾斜为主, 倾角一般为 50~ 80°; EW 向断裂分布于该区

的中部及北部, 倾角一般为 40~ 70°。

目前, 该区已发现大量锡、钨、铜、铅、银、锌、钼多金属矿床(点), 其中包括已探明的一批超大型矿床, 如都龙锡、钨、铜、铅、银、锌多金属矿床等。矿床类型众多, 有矽卡岩型、石英脉型、片岩型和硫化物型等。矿床分布的总体趋势是呈矿集区形式或成团出现(毛景文等, 2008)。

2 矿床地质特征和采样位置

本文选择该地区内的新寨锡矿床和南秧田钨矿

① 西南地质勘探局 306 队. 1988. 云南省麻栗坡县新寨锡矿床详查地质报告. 内部资料.

床为研究对象, 进行成矿时代及相关问题的探讨。首先, 介绍一下这2个重要矿床的地质特征和采样位置。

新寨锡矿床

新寨锡矿区面积为 3.6 km², 区内出露的岩石主要有大理岩、石英云母片岩、花岗片麻岩、斜长片麻岩和黑云母石英片岩等。矿体产于中寒武统田蓬

组, 赋矿围岩为二云母石英片岩、云母石英片岩及大理岩等, 围岩中成矿元素的丰度偏高, 如二云母石英片岩的 $w(\text{Sn})$ 达 200×10^{-6} (蔡德坤等, 1983)。该矿床主要由一个主矿体和 15 个小矿体组成, 矿体呈层状顺层产出, 平行排列, 与地层同步褶皱(图 2)。其中最大的 I 号矿体, 占该矿床总储量的 81.2%, 是一个顺层产出的厚大矿体(图 3), 倾向北西, 倾角

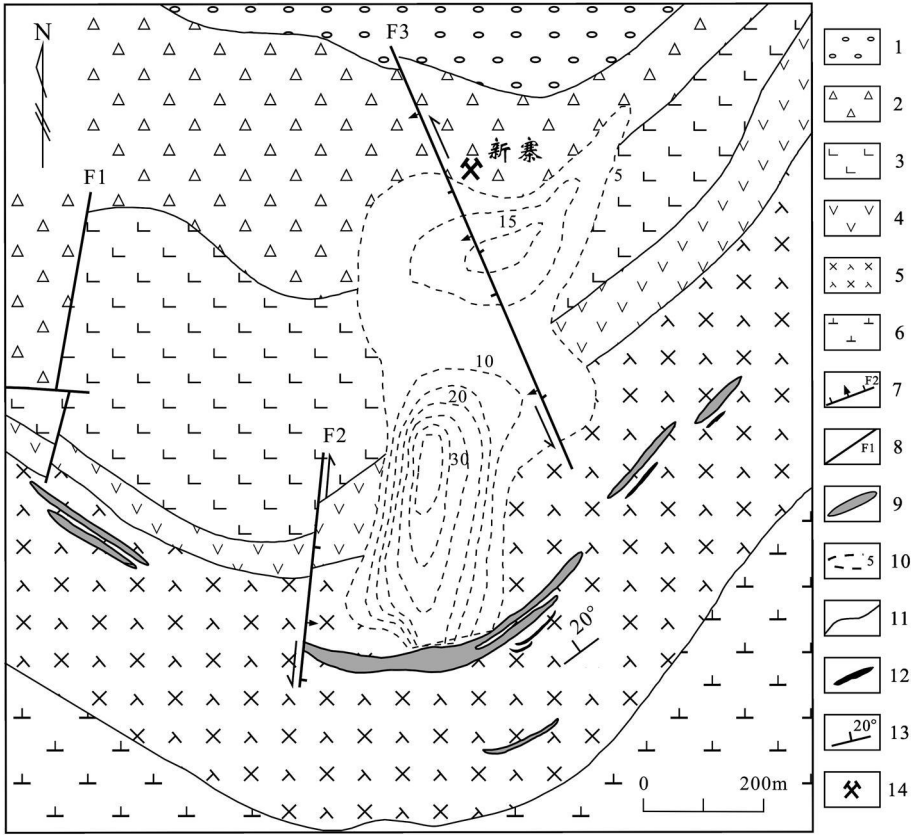


图 2 新寨锡矿床地质略图(据西南地质勘探局 306 队, 1988^①)

1—中寒武统田蓬组都龙段云母片岩和大理岩; 2—中寒武统田蓬组都龙段大理岩夹云母片岩; 3—中寒武统田蓬组都龙段云母片岩夹大理岩; 4—中寒武统田蓬组都龙段大理岩夹石英片岩; 5—中寒武统田蓬组都龙段二云石英片岩、石英片岩夹大理岩; 6—中寒武统田蓬组都龙段花岗片麻岩; 7—张性断裂及编号; 8—性质不明断裂及编号; 9—矿体; 10—矿体等厚线; 11—地层界线; 12—层状矽卡岩; 13—岩层产状; 14—矿区

Fig. 2 Geological sketch map of the Xinzhai tin deposit (after No 306 Party of Southwest Geological Exploration Bureau, 1988)
1—Mica schist and marble of Dulong Member in Middle Cambrian Tianpeng Formation; 2—Marble-bearing mica schist of Dubng Member in Middle Cambrian Tianpeng Formation; 3—Mica schist-bearing marble of Dulong Member in Middle Cambrian Tianpeng Formation; 4—Marble-bearing quartz schist of Dulong Member in Middle Cambrian Tianpeng Formation; 5—Two-mica-quartz schist, quartz schist-bearing marble of Dulong Member in Middle Cambrian Tianpeng Formation; 6—Granite gneiss of Dubng Member in Middle Cambrian Tianpeng Formation; 7—Tensional fracture and its serial number; 8—Ambiguous fracture and its serial number; 9—Ore body; 10—Orebody isopach; 11—Stratigraphic boundary; 12—Stratified skarn; 13—Attitude of strata; 14—Ore district

① 西南地质勘探局 306 队. 1988. 云南省麻栗坡县新寨锡矿床详查地质报告. 内部资料.

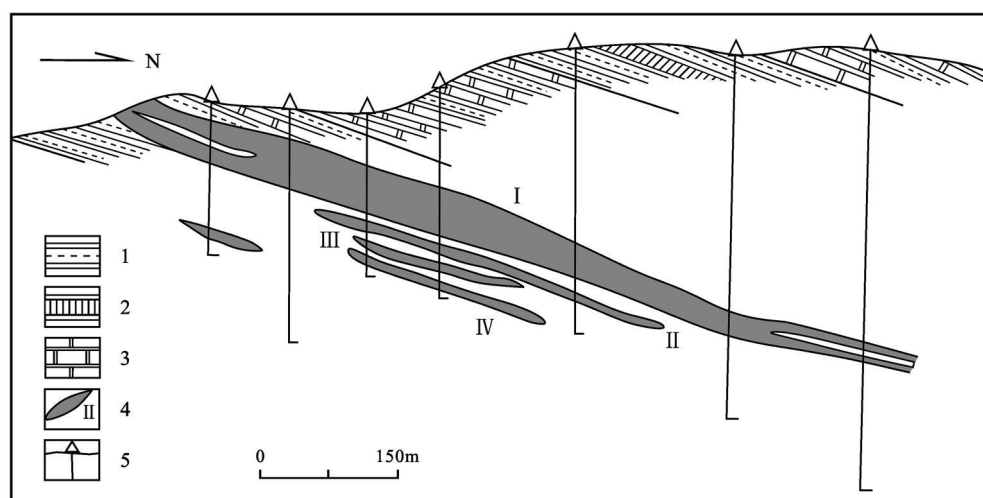


图3 新寨锡矿床8号勘探线剖面图(据王学, 1994)

1—中寒武统田蓬组都龙段二云母石英片岩; 2—中寒武统田蓬组都龙段石英二云母片岩; 3—中寒武统田蓬组都龙段大理岩夹片岩;

4—矿体及编号; 5—钻孔

Fig. 3 Cross section along No. 8 prospecting line in the Xinzhai tin deposit (after Wang, 1994)

1—Twe-mica-quartz schist of Dulong Member in Middle Cambrian Tianpeng Formation; 2—Quartz-twe-mica schist of Dulong Member in Middle Cambrian Tianpeng Formation; 3—Marble-bearing schist of Dulong Member in Middle Cambrian Tianpeng Formation; 4—Ore body and its serial

number; 5—Drill hole

17~20°。矿体埋藏标高为746~1147 m, 南北长1116 m, 东西宽273~527 m, 分布面积约0.45 km², 最大厚度为48.17 m。

新寨矿床以锡矿化为主, 伴生有铜、锌、锑、银、铅、钨、铋、钴、钼等, 平均含锡0.60%、铜0.21%、锌0.37%^①。矿石类型主要有含锡石片岩型和锡石砂卡岩型。含锡石片岩型是该矿床的主要矿石类型, 是由具高Sn丰度的矿源层, 在区域变质作用影响下形成的, 表现为直径数毫米的锡石颗粒沿二云母石英片岩等围岩的层理分布。砂卡岩型矿石一般品位较低, 其中的锡石主要产于砂卡岩期退化蚀变阶段, 与金云母共生。金属矿物有锡石、铁闪锌矿、磁黄铁矿、毒砂、黄铜矿、黄铁矿, 少量白铁矿、辉铜矿、方铅矿和斑铜矿等; 非金属矿物有石英、长石、云母、萤石、石榴子石、透辉石、角闪石、阳起石、透闪石、帘石、电气石、十字石、碳酸盐矿物等。围岩热液蚀变有硅化、云英岩化、砂卡岩化、白云母化、电气石化、萤石化、绿泥石化和碳酸盐化等。区内的区域变质作用为浅至中等变质程度, 主要是由各类片岩、大理岩组成的绿片岩相。矿区内地表未见岩浆岩, 仅在

一号平硐中的矿化砂卡岩边缘发现有蚀变的二长花岗岩, 岩石呈团块状、脉状产出, 分布范围很小, 初步推测其可能是深部隐伏岩体派生的岩脉。

本文所采集的I号矿体的含金云母锡石砂卡岩型矿石(XZ7), 是砂卡岩晚期即退化蚀变阶段的产物, 其锡矿物主要为浅色的细粒、微粒锡石。经详细的显微镜观察, 该矿石中的金云母呈片状产出(图4), 无定向排列, 单偏光下呈浅黄褐色, 一组完全解理, 平行消光, 粒度为0.22~0.62 mm, 与锡石密切共生。

南秧田钨矿床

南秧田钨矿区面积为7 km², 区内出露地层主要为下寒武统冲庄组变质岩系, 分为太阳坪、南秧田和戈岭3个岩性段。早古生代该区发育的一套厚度较大的由碎屑岩、泥质岩、碳酸盐岩等频繁交互组成的沉积岩, 经区域混合岩化作用形成了中等变质的绿片岩相-角闪岩相岩系。太阳坪岩段和南秧田岩段主要为绿片岩相岩石, 岩性为片岩、片麻岩、石英岩、变粒岩等; 戈岭岩段主要为角闪岩相岩石, 岩性为斜长角闪片麻岩、角闪变粒岩、变粒岩等。南秧田岩段

① 西南地质勘探局306队, 1988. 云南省麻栗坡县新寨锡矿床详查地质报告. 内部资料.

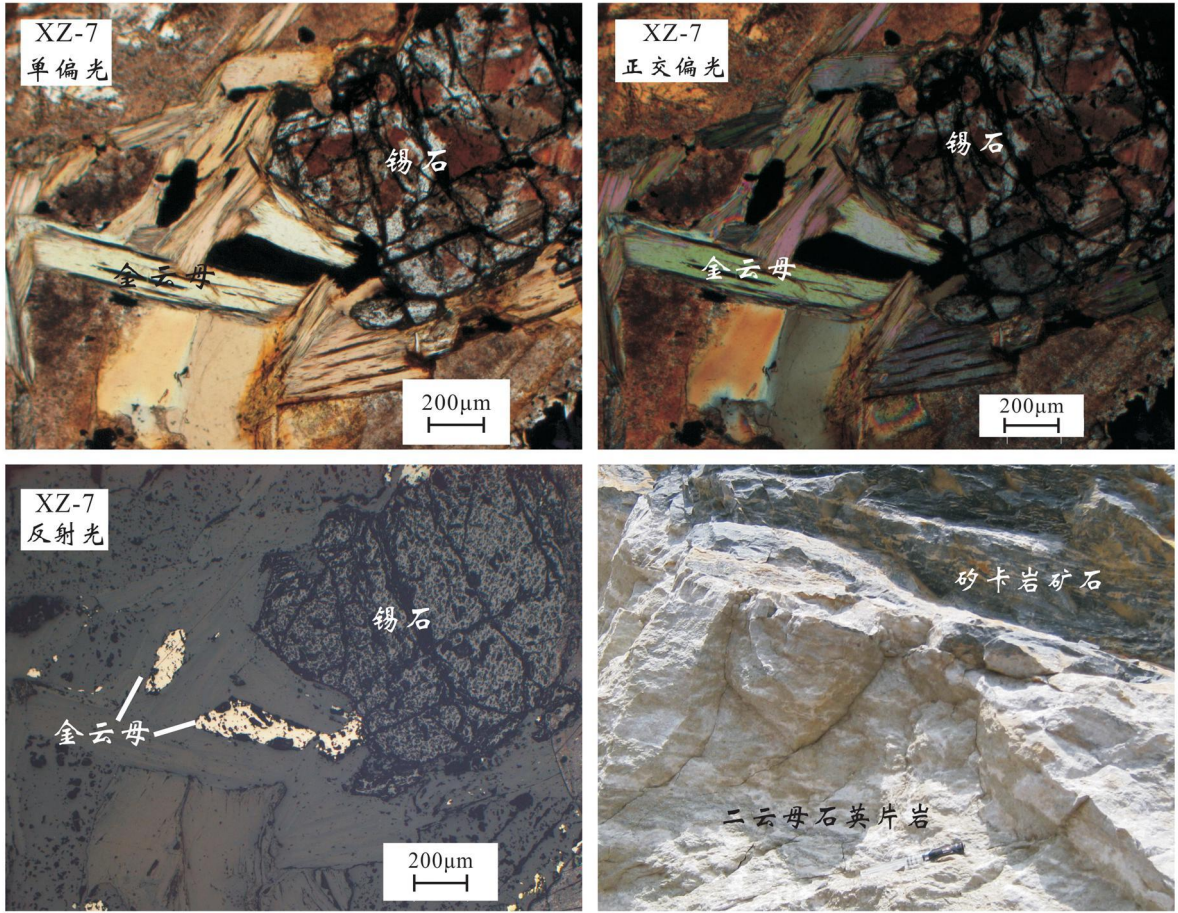


图 4 新寨锡矿床中金云母与锡石共生显微照片

Fig. 4 Mineral paragenesis between phlogopite and cassiterite in the Xinzhai tin deposit

为主要含矿层, 其中的云母片岩、云母石英片岩、绿泥片岩、变粒岩和片麻岩等, 与该段中的层状砂卡岩组成互层带, 矿体即赋存于砂卡岩中。砂卡岩带由 I、II 两层稳定的层状砂卡岩组成(图 5), 两层砂卡岩的间距一般为 25~ 40 m, 其间为石英电气石岩、片麻岩和片岩等。I 层砂卡岩的厚度一般为 2~ 4 m, 最厚为 18.75 m, II 层砂卡岩的厚度一般为 1~ 3 m, 最厚为 6.57 m, 局部地段尖灭。

在南秧田钨矿区, 共发现了 11 个矿体, I 层砂卡岩内有矿体 6 个, II 层砂卡岩内有矿体 5 个。I 层砂卡岩内的 I-1 号矿体规模最大, 其资源量占 I 层砂卡岩内矿体的 74%, 赋矿围岩以片岩、片麻岩和角闪变粒岩为主, 多数矿体内及其边部见有石榴子石和绿帘石砂卡岩的残留体。在 II 层砂卡岩中, II-3 号矿体为主要矿体, 近矿围岩为片岩和白云母斜长片麻岩等。矿体形态简单, 主要呈层状和似层状, 总体产状与围岩一致, 走向 NNE 至 NE, 倾向东,

倾角平缓, 一般为 5~ 15° (图 6)。矿体厚度较小, 一般为 1~ 4 m, 最厚达 12.8 m, 走向长度为 200~ 930 m, 倾斜宽度为 90~ 150 m。

矿石中的主要金属矿物有白钨矿、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿等, 非金属矿物主要为石英、长石、云母、透辉石、透闪石、阳起石、绿帘石、楣石、萤石、磷灰石、锆石、方解石和绿泥石等。矿石类型主要为砂卡岩型白钨矿。矿石结构为花岗变晶结构、粒状、鳞片状变晶结构等, 矿石构造以条带状为主, 有少量为致密块状。

围岩蚀变主要为砂卡岩化、绿泥石化和绢云母化等。该矿床内砂卡岩发育, 主要呈层状分布于矿体周围, 在离开矿体的赋矿地层中不发育砂卡岩矿物。砂卡岩的矿物组合以石榴子石、透辉石、阳起石、绿帘石和绿泥石为主, 无明显分带现象。砂卡岩的类型主要有透辉石砂卡岩、透闪石砂卡岩和绿帘石砂卡岩等。

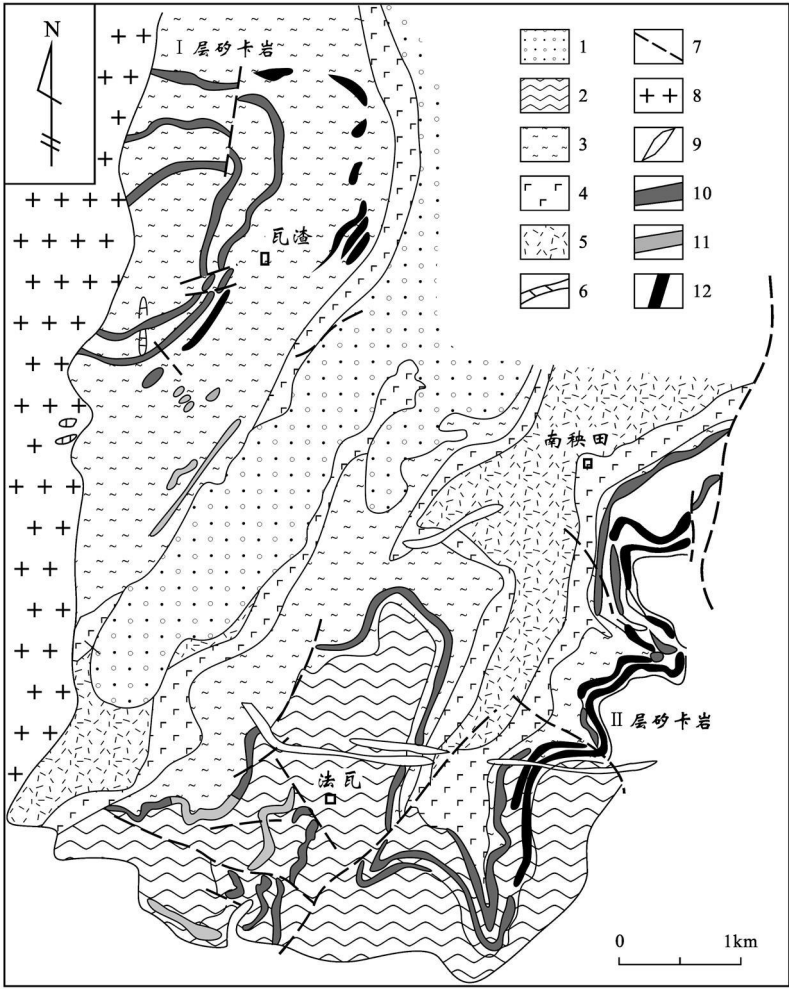


图 5 南秧田钨矿床地质图(据云南 317 地质分队, 1984^①)

1—第四系; 2—下寒武统冲庄组太阳坪段白云母斜长片麻岩; 3—下寒武统冲庄组南秧田段片岩和片麻岩; 4—下寒武统冲庄组戈岭段角闪变粒岩和片麻岩; 5—下寒武统冲庄组戈岭段花岗片麻岩; 6—下寒武统冲庄组南秧田段石英电气石岩;
7—断层; 8—二云二长花岗岩; 9—花岗斑岩脉; 10—矽卡岩; 11—钠长伟晶岩脉; 12—白钨矿体

Fig. 5 Geological map of the Nanyangtian tungsten deposit (after No 317 Geological Party of Yunnan, 1984)

1—Quaternary; 2—Muscovite plagioclase gneiss of Taiyangping Member in Lower Cambrian Chongzhuang Formation; 3—Schist and gneiss of Nanyangtian Member in Lower Cambrian Chongzhuang Formation; 4—Hornblende-leptynite and gneiss of Geling Member in Lower Cambrian Chongzhuang Formation; 5—Granite gneiss of Geling Member in Lower Cambrian Chongzhuang Formation; 6—Quartz-tourmaline rocks of Nanyangtian Member in Lower Cambrian Chongzhuang Formation; 7—Fault; 8—Two mica monzogranite; 9—Granite porphyry vein; 10—Skarn;
11—Albite-pegmatite vein; 12—Scheelite ore body

根据矿物组合和共生关系, 将成矿过程划分为 2 期 4 个阶段: (1) 矽卡岩期, 分为 ①矽卡岩阶段和 ②退化蚀变阶段; (2) 石英硫化物期, 分为 ③石英硫化物阶段和 ④方解石硫化物阶段。第 ①阶段的矿物主要为钙铝榴石、透辉石、符山石; 第 ②阶段的矿物主要有阳起石、透闪石、绿帘石、绿泥石、钙铁榴石、白云母

和黑云母等, 这些矿物充填交代早阶段形成的矽卡岩矿物, 同时形成大量的白钨矿, 该阶段是钨矿的主成矿阶段; 第 ③阶段的矿物主要为石英、萤石、方解石、辉钼矿、黄铁矿和黄铜矿等, 它们大多沿裂隙分布或充填交代先期形成的矽卡岩矿物; 第 ④阶段的主要矿物为方解石, 含少量磁黄铁矿、黄铁矿和黄铜

① 云南 317 地质分队. 1984. 云南省麻栗坡县南秧田钨矿深部评价报告. 内部资料.
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

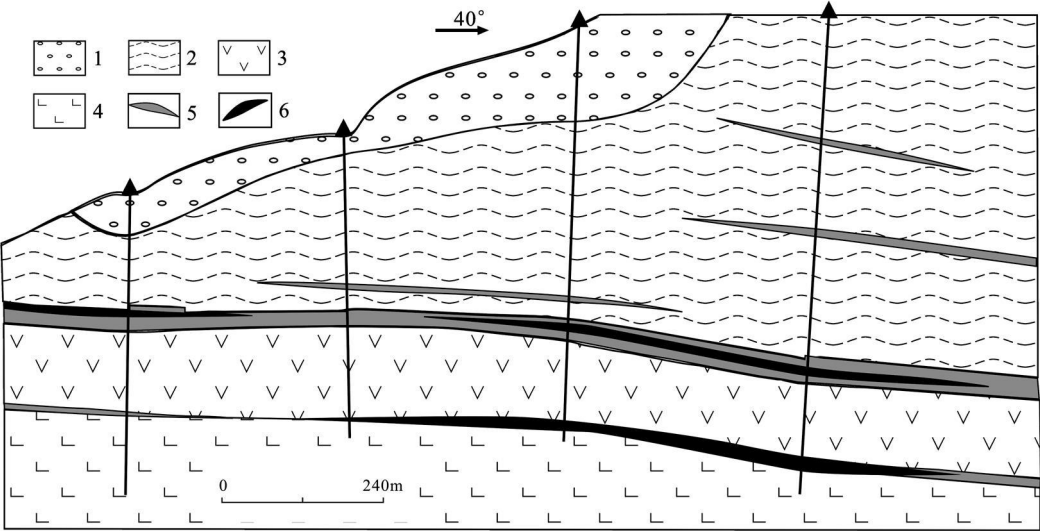


图 6 南秧田钨矿床 5 号勘探线剖面图(据云南 317 地质分队, 1984^①)

1—第四系; 2—下寒武统冲庄组南秧田段二云母片岩; 3—下寒武统冲庄组南秧田段石英变粒岩; 4—下寒武统冲庄组南秧田段钠长石石英变粒岩; 5—矽卡岩; 6—矿体

Fig. 6 Geological section along No. 5 prospecting line in the Nanyangtian tungsten deposit
(after No 317 Geological Party of Yunnan, 1984)

1—Quaternary; 2—Two-mica schist of Nanyangtian Member in Lower Cambrian Chongzhuang Formation; 3—Quartz leptynite of Nanyangtian Member in Lower Cambrian Chongzhuang Formation; 4—Albite quartz leptynite of Nanyangtian Member in Lower Cambrian Chongzhuang Formation; 5—Skarn; 6—Ore body

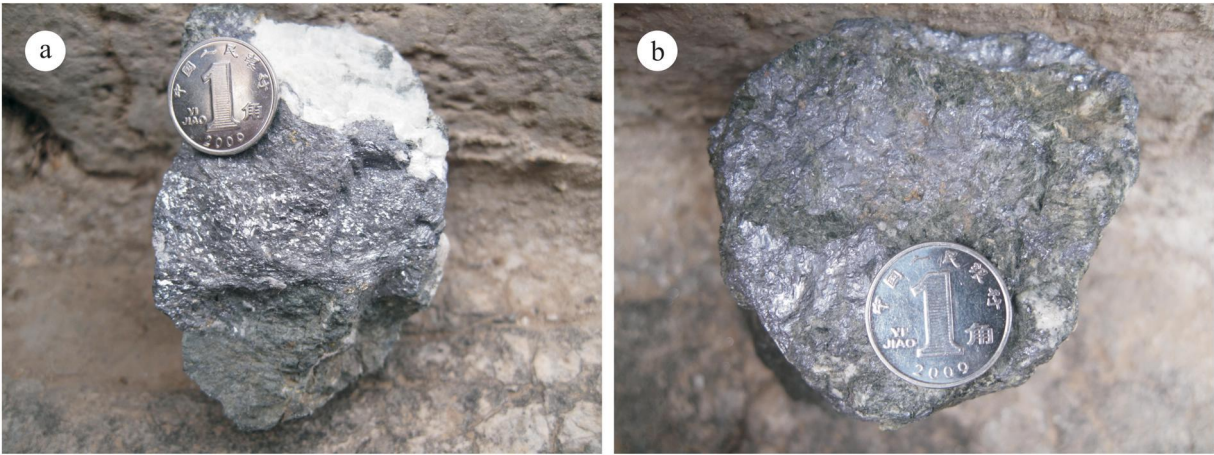


图 7 南秧田钨矿床内钨矿石中的鳞片状辉钼矿(a) 和团块状辉钼矿(b)

Fig. 7 Scaly molybdenite in tungsten ore (a) and shell-like molybdenite surrounding tungsten ore (b) from the Nanyangtian tungsten deposit

矿等。
本次研究所采集的辉钼矿样品形成于石英硫化物期的石英硫化物阶段, 因此, 辉钼矿的 Re-Os 年龄可代表矿化年龄。3 件辉钼矿样品均采自南秧田矿区内矽卡岩型钨矿体, 呈晶形非常完好的鳞片状、团块状分布于钨矿石中(图 7)。

① 云南 317 地质分队. 1984. 云南省麻栗坡县南秧田钨矿深部评价报告. 内部资料.
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

3 分析方法

3.1 Ar-Ar 测年

对样品进行粉碎过筛、水漂、磁选和重液分离,分选出粒度为60~80目的金云母,然后,在双目镜下手工挑选出200 mg纯度达到99.9%以上的金云母样品,送实验室进行测试。选纯的金云母样品用超声波清洗,清洗过程中要注意清洗液的选择和严格控制时间。通常先用经过2次亚沸蒸馏净化的纯净水清洗3次,每次3分钟,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分钟,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,照射工作在中国原子能科学研究所的“游泳池堆”中进行。使用H8孔道,中子流密度约为 $(2.65 \times 10^{13}) \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,照射总时间为2880 min,积分中子通量为 $(4.58 \times 10^{18}) \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。样品的阶段升温加热使用石墨炉,每一个阶段加热30 min,净化30 min。质谱分析在中国地质科学院地质研究所Ar-Ar年代学同位素实验室多接收惰性气体质谱仪Helix MC上进行,每个峰值均采集20组数据,所有的数据在回归到时间零点值后再进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。中子照射过程中所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的 K_2SO_4 和 CaF_2 来获得,其值为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{\text{Ca}} = 0.0002389$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$, $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{\text{Ca}} = 0.000806$ 。 ^{37}Ar 经过放射性衰变校正; ^{40}K 衰变常数 $\lambda = 5.543 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$;用ISOPLOT程序计算坪年龄及正、反等时线(Ludwig, 2001);坪年龄误差以 2σ 给出。中子照射、样品处理和仪器测试均使用国内标样黑云母[ZBH-25黑云母标样,其标准年龄为 $(132.7 \pm 1.2) \text{ Ma}$, $w(\text{K})$ 为7.6%](王松山, 1983)做监控。详细实验流程见有关文献(陈文等, 2006; 张彦等, 2006)。

3.2 Re-Os 测年

辉钼矿样品直接从手标本上取得,样品新鲜,蚀变很微弱,纯度大于99%。辉钼矿样品颗粒较粗,为了避免大颗粒辉钼矿由Re和Os的失耦而引起的测年误差(Stein et al., 2003; Selby et al., 2001),测试前先将辉钼矿样品研磨至0.05~0.1 mm。辉钼矿

样品的Re-Os同位素测试工作在国家地质实验测试中心Re-Os同位素实验室完成。分析方法及程序详见Shirey等(1995), Du等(2004),现简述如下:

(1) 分解样品 准确称取待分析样品,通过细颈漏斗加入到Carius管底部。将液氮缓慢加到有半杯乙醇的保温杯中,使成粘稠状(摄氏-50~-80℃)。把装好样品的Carius管放到该保温杯中,用适量超纯浓HCl通过细颈漏斗把准确称取的 ^{185}Re 和 ^{190}Os 混合稀释剂转入Carius管底部,再依次加入适量硝酸和30% H_2O_2 。当Carius管底溶液冻实后,用液化石油气和氧气火焰加热封好Carius管的细颈部分。擦净表面残存的乙醇,放入不锈钢套管内,轻轻放套管入鼓风烘箱内,待回到室温后,逐渐升温到200℃(辉钼矿和硫化物样品)或230℃(岩石样品),保温24 h。取出冷却后,在底部冻实的情况下,先用细强火焰烧熔Carius管细管部分一点,使内部压力得以释放,再用玻璃刀划痕,并用烧热的玻璃棒烫裂划痕部分。

(2) 蒸馏分离Os 将待打开的Carius管放在冰水浴中回温,使内容物完全融化,用约20 ml水将管内溶液转入蒸馏瓶中。把内装5 ml超纯水的25 ml比色管放在冰水浴中,以备吸收蒸馏出的 OsO_4 。连接蒸馏装置,加热微沸30 min。所得 OsO_4 水吸收液可直接用于ICP-MS测定Os同位素比值。将蒸馏残液转入150 ml Teflon烧杯中待分离Re。

(3) 萃取分离Re 将蒸馏残液置于电热板上,加热近干。根据样品量加入4~10 ml 5~6 mol/L NaOH(如果碱化后沉淀量过多,可适当增加NaOH用量),稍微加热,促进样品转为碱性介质。转入Teflon离心管中,加入4~10 ml丙酮,振荡1分钟萃取Re。对于0.1 g以下辉钼矿,离心后,用滴管直接取上层丙酮相到150 ml已加有2 ml水的Teflon烧杯中,在电热板上以50℃加热除去丙酮,然后,电热板温度升至120℃加热至干,加数滴浓硝酸和30%过氧化氢,加热蒸干以除去残存的Os。用数滴 HNO_3 溶解残渣,用水转移到小瓶中,稀释到适当体积,备ICP-MS测定Re同位素比值。对于0.1 g以上辉钼矿以及其他样品,在丙酮萃取离心后,需进一步纯化含Re丙酮溶液。将离心管内上清液转入Teflon分液漏斗中分相,弃去碱溶液。再加入2 ml 5 mol/L NaOH,振荡1 min,弃去碱溶液。转移丙酮相到Teflon离心管中,离心。

(4) 质谱测定 采用美国TJA公司生产的电感

耦合等离子体质谱仪(TJA X-series ICP-MS)测定同位素比值。对于 Re, 选择质量数 185、187, 用 190 监测 Os; 对于 Os, 选择质量数为 186、187、188、189、190、192, 用 185 监测 Re。使用 TJA X-series ICP-MS 测得的 Re、Os 和 ¹⁸⁷Os 全流程本底值分别为 $(0.0613 \pm 0.0025) \times 10^{-9}$ 、 $(0.0003 \pm 0.0000) \times 10^{-9}$ 、 $(0.0001 \pm 0.0001) \times 10^{-9}$, 远远小于所测样品和标样中的 Re、Os 含量, 因此, 不会影响测定结果。

4 定年结果

4.1 Ar-Ar 测年

与新寨锡矿床中锡石密切共生的金云母的阶段

加热 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄数据见表 1, 共有 13 阶段, 温度变化为 700~1 300 ℃。阶段升温年龄谱图及坪年龄见图 8a, 据所有构成坪年龄的数据点给出了相应的 ⁴⁰Ar/³⁶Ar-³⁹Ar/³⁶Ar 等时线图(图 8b)。依据 Darrymple 等(1971)提出的标准(存在不少于 3 个加热阶段且释放 ³⁹Ar 达 50% 以上)进行坪年龄的计算。

由表 1 可知, 新寨锡矿床矿石中金云母低温释放阶段(700~800 ℃)的视年龄变化不大, 变化范围为 $(212.7 \pm 2.3) \sim (265.0 \pm 12.0)$ Ma, ³⁹Ar 仅占总析出量的 0.12%, 可能是由矿物晶格缺陷或矿物边缘少量氩的丢失所造成(邱华宁等, 1997)。830~1 300 ℃释放阶段形成了 (209.5 ± 1.1) Ma(2σ) 年龄坪(³⁹Ar 占总析出量的 99.88%) (图 8a), 等时线年

表 1 新寨锡矿中金云母 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄测定结果
Table 1 Ar-Ar data for phlogopite in the Xinzhai tin deposit

加热阶段	加热温度 / ℃	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	³⁶ Ar/ ³⁹ Ar	³⁷ Ar/ ³⁹ Ar	³⁸ Ar/ ³⁹ Ar	⁴⁰ Ar*/ ³⁹ Ar	³⁹ Ar/ 10 ⁻¹⁴ mol	³⁹ Ar (Cum.)/%	视年龄/ Ma(±1σ)
新寨锡矿床金云母, 样号: XZ-6; 测试参数: W= 40.24 mg; J= 0.009876									
1	700	77.0455	0.2065	0.0000	0.0421	16.0145	0.08	0.12	265.0±12.0
2	800	27.3426	0.0496	0.0000	0.0141	12.6687	1.16	1.89	212.7±2.3
3	830	15.5661	0.0107	0.0107	0.0082	12.4020	3.77	7.64	208.4±2.0
4	860	13.3042	0.0032	0.0042	0.0070	12.3596	7.36	18.84	207.8±2.0
5	890	12.9141	0.0017	0.0000	0.0065	12.3976	6.58	28.87	208.4±2.0
6	920	12.8570	0.0015	0.0076	0.0069	12.4208	4.48	35.69	208.7±2.0
7	950	12.6321	0.0007	0.0000	0.0062	12.4276	5.60	44.23	208.8±2.0
8	980	12.8055	0.0012	0.0000	0.0077	12.4561	5.59	52.75	209.3±2.0
9	1020	12.8685	0.0012	0.0055	0.0067	12.5010	7.86	64.72	210.0±2.0
10	1050	12.7806	0.0009	0.0000	0.0072	12.5033	5.46	73.04	210.0±2.0
11	1100	12.7857	0.0011	0.0141	0.0069	12.4648	5.93	82.08	209.4±2.0
12	1200	12.9291	0.0010	0.0065	0.0070	12.6279	11.1	98.98	212.0±2.0
13	1300	12.9069	0.0017	0.0000	0.0064	12.3887	0.67	100	208.2±2.5

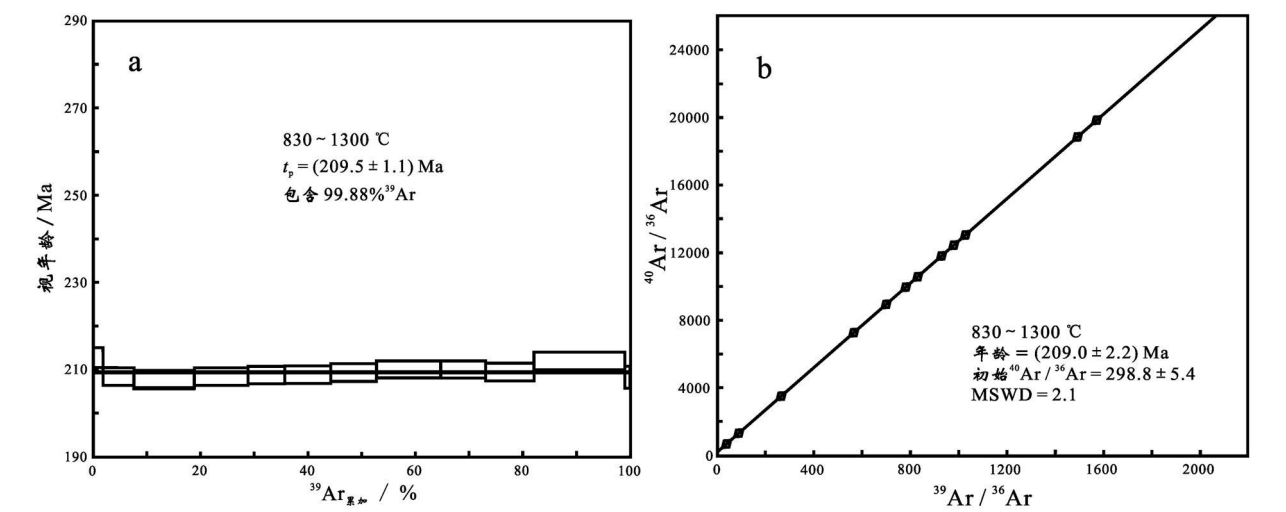


图 8 新寨锡矿床中金云母 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 坪年龄(a) 和等时线年龄(b)图

Fig. 8 ⁴⁰Ar-³⁹Ar spectrum (a) and isochronal age diagram (b) of phlogopite in the Xinzhai tin deposit

表 2 实验标准物质 JDC 测定结果和标准值

Table 2 Certificated values and analytical data of Re-Os isotope for standard sample JDC

编号	原样名	<i>m</i> / g	<i>w</i> (Re) / 10 ⁻⁶		<i>w</i> (¹⁸⁷ Os) / 10 ⁻⁹		模式年龄 / Ma	
			测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
100510-19	JDC	0.10016	17.05	0.13	24.95	0.20	139.6	1.9

表 3 南秧田钨矿床 Re-Os 同位素测试结果

Table 3 Re-Os isotopic data of molybdenites from the Nanyangtiao tungsten deposit

编号	原样名	<i>m</i> / g	<i>w</i> (Re) / 10 ⁻⁶	<i>w</i> (普 Os) / 10 ⁻⁹	<i>w</i> (¹⁸⁷ Re) / 10 ⁻⁶	<i>w</i> (¹⁸⁷ Os) / 10 ⁻⁹	模式年龄 / Ma
100423-17	NYT-2	0.10113	151.274	1.0749	95.079	338	213.0±4.3
100510-1	NYT-2	0.00583	163.319	1.1490	102.649	367	214.1±3.1
100510-2	NYT-3	0.00542	174.214	0.2540	109.497	382	209.1±3.3

注: Re、Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差, 置信水平 95%。模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度(1.02%), 置信水平 95%。 $\lambda(^{187}\text{Re 衰变常数}) = 1.666 \times 10^{-11} / \text{a}$ (Smoliar et al., 1996), Re-Os 模式年龄按下列公式计算: $t = [\ln(1 + ^{187}\text{Os} / ^{187}\text{Re})] / \lambda_{\text{Os}}$ 。

龄为(209.0±2.2) Ma(图 8b), ⁴⁰Ar/³⁶Ar 初始值为(298.8±5.4), MSWD=2.1, 等时线年龄与坪年龄在误差范围内完全一致, 样品初始值的误差相对较大, 其绝对值略高于尼尔值(295.5±5), 但两者在误差范围内基本一致, 表明金云母形成时没有捕获过剩氩, 本文所测得的数据是可靠的。因此, 金云母的坪年龄(209.5±1.1) Ma 具有地质意义, 可代表矿物的结晶年龄。

4.2 Re-Os 测年

本次测试过程中, 分析了实验标准物质 JDC 的 Re 和 ¹⁸⁷Os, 测试结果列于表 2。辉钼矿样品的 Re-Os 同位素测试结果列于表 3。对 3 件辉钼矿样品, 获得了近似相等的 Re-Os 模式年龄值(209.1±3.3) Ma~(214.1±3.1) Ma。样品中辉钼矿的普通 Os 含量基本为 0, 说明¹⁸⁷Os 都是¹⁸⁷Re 衰变的产物, 符合模式年龄的计算条件, 所获得的模式年龄可代表成矿年龄。由于 3 件辉钼矿样品的模式年龄比较接近, 其¹⁸⁷Re/¹⁸⁷Os 的变化范围较小, 因此, 等时线年龄的不确定度较大, 在这种情况下, 采用 Re-Os 模式年龄能更准确地反映其成矿年龄。

5 讨 论

5.1 成矿时代

前人对新寨锡矿床和南秧田钨矿床的成矿年龄进行过一些年代学研究。王学 (1994) 通过 K-Ar

法对新寨锡矿床矿化围岩及矿石中与锡石密切共生的白云母和黑云母进行了测定, 获得其成矿年龄为 202.70~225.74 Ma; 西南地质勘探局 306 队^①报道的新寨锡矿床矿化围岩中黑云母和白云母的 K-Ar 年龄为 197.10~217.00 Ma; 曾志刚等(1999)获得的南秧田钨矿床矿石全岩 Rb-Sr 法年龄为(214.25±15.60) Ma。虽然运用 K-Ar 法和 Rb-Sr 法对年龄进行限定可能会带来较大的误差, 但从上述数据也可大致判断, 这 2 个矿床均形成于晚三叠世。

本文获得的新寨锡矿床和南秧田钨矿床的成矿年龄分别为(209.5±1.1) Ma(图 8a)和(209.1±3.3)~(214.1±3.1) Ma(表 3), 与老君山地区区域变质年龄(204.39 Ma)(王学, 1994)基本一致, 而与该区老君山花岗岩的形成年龄(83.3~92.9 Ma)(刘玉平等, 2007; 冯佳睿等, 2010)相差较大。由此可得出的结论应该是, 该区锡钨的成矿作用和成矿热液来源, 可能与印支期区域变质作用及混合岩化热液有密切的关系, 而与燕山期老君山花岗岩无明显成因联系。

印支期在中国是一个发生重要动力学事件的时期(胡正国等, 1994; 冯建忠等, 2002; 王平安等, 1998; 宋史刚等, 2008; 黄典豪等, 1994), 对于滇东南和整个华南地区是否存在印支期的锡钨成矿作用, 前人也已开展了研究工作。毛景文等(2008; 2009)总结提出了华南地区中生代主要金属矿床成矿出现于 3 个阶段, 即晚三叠世(230~210 Ma)、中一晚侏罗

① 西南地质勘探局 306 队. 1988. 云南省麻栗坡县新寨锡矿床详查地质报告. 内部资料.
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

世(170~150 Ma)和早-中白垩世(134~80 Ma),并认为华南地区晚三叠世矿化组合为钨锡铋钼。华仁民等(2010)指出,华南地区锡成矿作用的时间跨度较大,除燕山中期(160~150 Ma)及燕山晚期(120~80 Ma)2个成矿高峰期外,印支期也可能成为华南锡的主要成矿期之一。近年来,越来越多的资料表明,晚三叠世成矿作用在华南地区普遍存在,例如,蔡明海等(2006)获得的湘南荷花坪锡多金属矿床中辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄为(224.0±1.9) Ma;刘善宝等(2008)测得赣南崇余-犹钨矿集区内崇义仙鹅塘锡钨矿床的成矿年龄为(231.4±2.4) Ma;杨峰等(2009)测定了广西栗木锡矿床云英岩化花岗岩中白云母的 Ar-Ar 年龄,认为该锡矿床的成矿作用主要发生在 214 Ma 左右;赵蕾等(2006)研究了闽西南印支期红山花岗岩的形成时代(226 Ma)、特征及其含矿性,认为其演化晚期的产物有可能形成锡矿床;毛景文等(2008)研究发现,湘东钨矿床(以往称为邓阜仙钨矿床)与印支期岩体具有明显的时空和成因关系,湘东锡田锡矿床的主体矽卡岩型锡矿体均位于印支期粗粒花岗岩体的外接触带。以上数据及研究结果暗示,印支期华南地区存在锡钨的成矿作用。

5.2 老君山地区印支期成矿作用初探

印支运动是黄汲清(1945)首次提出的,泛指晚三叠世的一次规模巨大、影响整个中国及东亚的区域构造运动。印支运动对中国古地理环境的发展产生了巨大影响,结束了三叠纪中期中国“南海北陆”的构造格局,中国西南及长江中下游和华南大部地区已由(浅)海转为陆地。从此,中国南、北陆地连为一体,大部分地区已处于陆地环境。华北、华南和塔里木陆块完全会聚拼合,形成了统一的中国大陆(王鸿祯,1985),进入了陆内造山运动,形成了较大的构造岩浆带并发生了大规模的成矿作用。

秦岭作为中国南、北构造的分界或结合带,具有重要的构造意义。印支运动在秦岭地区是明显和强烈的,在沉积建造、岩浆活动、构造形迹上得到全方位的展现。秦岭地区的印支运动起因于扬子板块与华北板块在三叠纪末期的俯冲、碰撞作用,碰撞造成地层叠置逆冲、推覆和走滑,从而使岩石圈加厚,并发生强烈变质、变形和岩浆活动,尤其是碰撞后期(晚期)拉张伸展阶段的岩浆活动和成矿作用更为强烈。造山期后加厚的岩石圈具重力不稳定性,发生快速转换,导致岩石圈发生拆沉减薄,并伴随地壳的

快速隆升,从而使软流圈地幔基性岩浆上涌和深部物质上升(卢欣祥等,1996;卢欣祥,2000),导致岩石圈-软流圈系统能量和物质的再分配。当流体上升的通道被打开时,富含成矿物质的流体可能快速上升并导致大规模成矿(罗照华等,2007a)。同时,软流圈的地幔物质在上升过程中,也会携带大量的成矿物质和幔源流体。由于软流圈减压和对地壳的加热效应,一旦产生岩浆,这些含矿流体将随岩浆一起快速上升到地壳浅部,从而导致大规模成矿作用的发生(罗照华等,2006;2007b)。秦岭印支期成矿同世界上许多与造山带有关的金及多金属矿化主要出现在造山晚期的伸展、抬升阶段的规律相一致。

华南地区中生代动力体制经历了从特提斯构造域向滨太平洋构造域的转换,发生了印支和燕山2期构造挤压和地壳增厚事件(张岳桥等,2009)。华南板块在印支期处于华北地块与印支地块之间,华南地区的中生代构造运动主要是从印支造山运动开始的。(258±6)~(243±5) Ma 发生了以 Sibumasu 地块与印支板块-华南板块的碰撞增生为代表的印支构造运动,并在 245 Ma 左右造成东特提斯洋的关闭(Carter et al., 2001),使华南内部发生了以碰撞-挤压-推覆-隆升为主的印支造山运动,任纪舜等(1999)将其称为“陆-陆叠覆造山运动”。如同世界上其他造山带主碰撞期后期发生的大量地壳拉张一样,华南印支造山运动在造山期和造山期后都有强烈的拉张构造运动发生,造成岩石圈加厚,并伴随强烈变质、变形和岩浆活动,尤其是在碰撞后期(晚期)拉张伸展阶段,这种岩浆活动和成矿作用表现得更为明显。

加里东期,在滇东南老君山锡钨多金属成矿区,主要沉积了滨海-浅海相的类复理石建造,其岩石组合为具沉积旋回的碳酸盐岩、泥质岩及碎屑岩等。在华南印支运动的影响下,伴随着大规模的区域变质作用和混合岩化热液活动,该区发生钨锡矿化,钨矿床一般赋存于下寒武统片岩和片麻岩间的层状矽卡岩中,锡矿床主要赋存于中寒武统地层。刘玉平等(2007)获得的该区都龙超大型锡锌多金属矿床的锡石 TIMS 法 U-Pb 年龄和矿石 Rb-Sr 等时线年龄均指示锡(铜)矿化的主成矿年龄为 77~82 Ma。结合笔者对南秧田和新寨2个矿床的成矿年代学研究,表明在滇东南老君山锡钨多金属成矿区内,印支期形成的矿床与燕山期形成的矿床并存。这与卢欣祥等(2008)提到的印支期成矿作用的特点是一致

的。

近年来,越来越多的学者开始对印支期成岩成矿作用及其构造环境进行研究(李献华, 1990; 孙涛等, 2003; 孙涛, 2006; 邓希光等, 2004; 徐夕生等, 2003; 周新民等, 2007; 张宏飞等, 2007)。印支期花岗岩除与铀矿有密切成因关系外(张成江, 1996; 章邦桐等, 2002; 王志成等, 2002; 谭洪波, 2009; 陈佑纬等, 2009), 还具有形成 Sn(W) 矿床的潜力(刘善宝等, 2008; 赵蕾等, 2006; 伍式崇等, 2009; 柏道远等, 2007a)。前人研究表明, 华南印支期花岗岩形成于同造山阶段的后碰撞构造环境(柏道远等, 2007b), 王岳军等(2005) 经研究指出, 湘南地区印支期岩体的主成岩时代为 $(239 \pm 3) \sim (244 \pm 4)$ Ma, 形成于印支期强烈挤压、地壳物质叠置加厚的构造环境; 蔡明海等(2006) 认为, 与印支期花岗岩有关的湘南荷花坪锡多金属矿床成岩成矿的构造环境可能与印支期强烈挤压作用后期基性岩浆的底侵作用有关; 杨峰等(2009) 认为, 与云英岩化关系密切的广西栗木锡铌钽多金属矿床是晚三叠世的产物, 形成于后碰撞的伸展体制。毛景文等(2008) 将该期矿化作用与东秦岭地区晚三叠世钼矿(卢欣祥等, 2008; 毛景文等, 2008) 进行对比, 认为都属于后碰撞局部伸展环境的产物。

新寨锡矿床和南秧田钨矿床的成矿作用均发生在晚三叠世, 表明矿床形成于印支期后造山晚期或后碰撞阶段, 印支运动引起的区域变质作用和混合岩化热液活动对该区的成矿具有重要意义, 它们的形成受控于拉张-裂解的动力学背景。当然, 这仅是初步结论, 还需要进一步的地质、地球化学和地球物理证据予以支持。

6 结 论

(1) 本文所获得的新寨锡矿床内金云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄 $[(209.5 \pm 1.1) \text{ Ma}]$ 和南秧田钨矿床内辉钼矿的 Re-Os 年龄 $[(209.1 \pm 3.3) \sim (214.1 \pm 3.1) \text{ Ma}]$, 可指示锡钨矿床的成矿时代。

(2) 新寨锡矿床和南秧田钨矿床的成矿作用可能与印支期区域变质作用和混合岩化热液活动有关。

(3) 新寨锡矿床和南秧田钨矿床形成于印支期后造山晚期或后碰撞阶段, 它们受控于拉张-裂解的动力学背景。

志 谢 野外工作中得到了云南黄金矿业集团股份有限公司周云满高工和中国地质大学(北京)地球科学与资源学院程彦博同学的大力帮助; 论文撰写期间得到了北京矿冶研究总院汤集刚教授的热情帮助, 同时与中国地质科学院矿产资源研究所谢桂青副研究员和陈懋弘副研究员进行了讨论, 受益匪浅; 国家地质测试中心 Re-Os 同位素实验室屈文俊研究员、杜安道研究员在实验过程中给予了热情的指导和帮助; 审稿人对文章的修改提出了诸多宝贵意见, 在此表示真诚谢意!

References

- Bai D Y, Jia B H, Li J D, Wang X H, Ma T Q, Zhang X Y and Chen B H. 2007a. Important significance of regional tectonic regime to metallogenic capacity of Indosinian and Early Yanshanian granites in southeastern Hunan: A case study of Qianlishan and Wangxianling plutons[J]. *Mineral Deposits*, 26(5): 487-500 (in Chinese with English abstract).
- Bai D Y, Zhou L, Ma T Q and Wang X H. 2007b. Genesis and tectonic setting of Indosinian granites in southeast Hunan[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 26(3): 197-212 (in Chinese with English abstract).
- Cai D K. 1983. The formation and evolution of Laojunshan granitoid rocks in southeastern Yunnan and the mineralization and enrichment of tin and tungsten[J]. *Yunnan Geology*, 2(2): 102-113 (in Chinese).
- Cai M H, Chen K X, Qu W J, Liu G Q, Fu J M and Yin J P. 2006. Geological characteristics and Re-Os dating of molybdenites in Hehuaping tin-polymetallic deposit, southern Hunan Province[J]. *Mineral Deposits*, 25(3): 263-268 (in Chinese with English abstract).
- Carter A, Roques D, Bristow C and Kinny P. 2001. Understanding Mesozoic accretion in Southeast Asia: Significance of Triassic thermotectonism (Indosinian Orogeny) in Vietnam[J]. *Geol.*, 29: 211-214.
- 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(4): 867-872 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y W, Bi X W, Hu R Z and Qi H W. 2009. Comparison of geochemical characteristic of uranium- and non-uranium-bearing Indosinian granites in Guidong composite pluton[J]. *Journal of Mineral Petrol.*, 29(3): 106-114 (in Chinese with English abstract).
- Dalrymple G B and Lamphere M A. 1971. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ technique of K-Ar dating: A comparison with the conventional technique[J]. *Earth*

- Planet Sci. Let., 12: 300-308.
- Deng X G, Chen Z G, Li X H and Liu D Y. 2004. SHRIMP U-Pb zircon dating of the Darongshan-Shiwandashan granitoid belt in South-eastern Guangxi, China[J]. Geological Review, 50(4): 426-432 (in Chinese with English abstract).
- Du A D, Wu S Q, Sun D Z, Wang S X, Qu W J, Stein H J, Morgan J and Malinovsky D. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC[J]. Geostandard and Geoanalytical Research, 28(1): 41-52.
- Feng J R, Mao J W, Pei R F, Zhou Z H and Yang Z X. 2010. SHRIMP zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of Laojunshan granite intrusion from the Wazha tungsten deposit, Yunnan Province and their implications for petrogenesis[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(3): 845-857 (in Chinese with English abstract).
- Feng J Z, Zou S C, Wang D P, Wang X M and Ma Z G. 2002. Baguamiao superlarge gold deposit in the Qinling orogen: The characteristics of its control by the brittle-ductile shear zone and dynamic mechanism for ore-forming structure[J]. Geology in China, 29(1): 58-66 (in Chinese with English abstract).
- Hu Z G and Qian Z Z. 1994. A new idea of geological tectonics in the Xiaolinling region[J]. Geological Review, 40(4): 289-295 (in Chinese with English abstract).
- Hua R M, Li G L, Zhang W L, Hu D Q, Chen P R, Chen W F and Wang X D. 2010. A tentative discussion on differences between large-scale tungsten and tin mineralizations in South China[J]. Mineral Deposits, 29(1): 9-23 (in Chinese with English abstract).
- Huang D H, Wu C Y and He H L. 1994. Re-Os isotope ages of molybdenum deposits in east Qinling and their significance[J]. Mineral deposits, 13(3): 221-230 (in Chinese with English abstract).
- Huang J Q. 1945. The main geotectonic features in China[M]. Central Geological Survey Anthology, 20: 1-165 (in Chinese).
- Li D X and Xu S S. 2000. Rotation-shearing genesis of metamorphic core complex: Structural analysis of metamorphic core complex in Laojunshan, Southeastern Yunnan Province[J]. Geological Review, 46(2): 113-119 (in Chinese with English abstract).
- Li H, Chen Z Y and Li Z L. 2007. Geochemical anomaly characteristics of Xinzhai iron-copper polymetallic ore deposit in Malipo County, Yunnan Province[J]. Science and Technology Information, (35): 241-243 (in Chinese).
- Li H, Li Z L, Ren W X, Zhang Z J, Jiang X J and Long K H. 2008. Geological characteristics of Xinzhai iron-copper-tin polymetallic ore deposit in Malipo County, Yunnan Province[J]. Metal Materials and Metallurgy Engineering, 36(1): 41-45 (in Chinese with English abstract).
- Li W Y. 2002. Geophysical and geochemical characteristics of Xinzhai tin ore deposit of Malipo, Yunnan Province[J]. Yunnan Geology, 21(1): 72-82 (in Chinese with English abstract).
- Li X H. 1990. The magmatism era of the granitic composite batholith in Wanyangshan-Zhuguangshan and crustal movement[J]. Science in China (Ser. B), (7): 747-755 (in Chinese).
- Liu S B, Wang D H, Chen Y C, Li J K, Ying L J, Xu J X and Zeng Z L. 2008. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of muscovite from different types tungsten-bearing quartz veins in the Chong-Yu-You concentrated mineral area in Gannan region and its geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 82(7): 932-940 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y P, Li C Y, Gu T and Wang J L. 2000. Lead isotopic characteristics and age assignment of moderate to high-grade metamorphic rock series in Laojunshan, Southeastern Yunnan[J]. Acta Mineralogica Sinica, 20(3): 228-232 (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 southeast Yunnan Province, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(5): 967-976 (in Chinese with English abstract).
- Lu X X. 2000. Granitoid tectonic map of Qinling belt[M]. Xi'an: Xi'an Cartographic Press (in Chinese).
- Lu X X, Dong Y, Chang Q L, Xiao Q H, Li X B and Wang X X. 1996. Indosinian Shahewan rapakivi granite in Qinling and its dynamic significance[J]. Science in China (Ser. D), 39(3): 244-248 (in Chinese).
- Lu X X, Li M L, Wang W, Yu Z P and Shi Y Z. 2008. Indosinian movement and metallogenesis in Qinling orogenic belt[J]. Mineral Deposits, 27(6): 762-773 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 2001. ISOPLOT/EX Version 2.49: A geochronological Toolkit for Microsoft Excel[CP]. Berkley: Geochronological Centre Special Publication, No. 1a.
- Luo Z H, Liang T, Chen B H, Xin H T, Ke S, Zhang Z L and Cheng S H. 2007a. Intraplate orogenesis and its implications in metallogenesis[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(8): 1945-1956 (in Chinese with English abstract).
- Luo Z H, Mo X X, Lu X X, Chen B H, Ke S, Hou Z Q and Wang W. 2007b. Metallogeny by trans magmatic fluids: Theoretical analysis and field evidence[J]. Earth Science Frontiers, 14(3): 165-183 (in Chinese with English abstract).
- Luo Z H, Wei Y, Xin H T, Ke S, Li W T, Li D D and Huang J X. 2006. The Mesozoic intraplate orogeny of the Taihang Mountains and the thinning of the continental lithosphere in North China[J]. Earth Science Frontiers, 13(6): 52-63 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Cheng Y B and Chen Y C. 2009. Mineral deposit model of Mesozoic ore deposits in South China[J]. Geological Review, 55(3): 347-354 (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 Universities, 14(4): 510-526 (in Chinese with English abstract).
- Qiu H N and Peng L. 1997. ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology and its applications

- in dating fluid inclusion[M]. Hefei: Publishing House of the University of Science and Technology of China, 54-65 (in Chinese).
- Ren J S, Niu B G and Liu Z G. 1999. Soft collision, superposition orogeny, and multi-cycle suture[J]. *Earth Science Frontiers*, 6(3): 85-93 (in Chinese with English abstract).
- Selby D and Creaser R A. 2001. Re-Os geochronology and systematics in molybdenite from the Endako porphyry molybdenum deposit, British Columbia, Canada[J]. *Econ. Geol.*, 96: 197-204.
- Shirey S B and Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis[J]. *Analytical Chemistry*, 67: 2136-2141.
- Smoliar M I, Walker R J and Morgan J W. 1996. Re-Os ages of group II A, IIIA, IVA and VIB iron meteorites[J]. *Science*, 271: 1099-1102.
- Song S G, Ding Z J, Yao S Z, Zhou Z G, Zhang S X and Du A D. 2008. Re-Os isotopic dating of molybdenite and its implication for molybdenite mineralization of Wenquan porphyry, Wushan, Gansu Province[J]. *Northwestern Geology*, 44(1): 67-73 (in Chinese with English abstract).
- Stein H J, Scherst N A, Hannah J and Markey R. 2003. Sulgrain-scale decoupling of Re and 187Os and assessment of laser ablation ICP-MS spot dating in molybdenite[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67: 3673-3686.
- Sun T. 2006. A new map showing the distribution of granites in South China and its explanatory notes[J]. *Geological Bulletin of China*, 25(3): 332-335 (in Chinese).
- Sun T, Zhou X M, Chen P R, Li H M, Zhou H Y, Wang Z C and Shen W Z. 2003. The petrogenesis of Mesozoic strongly-peraluminous granite in east section of Nanling and its tectonic significance[J]. *Science in China (Ser. D)*, 33(12): 1209-1218 (in Chinese).
- Tan H B. 2009. Geological features and genesis of Zhongchuan U-Au deposit in Gansu Province[J]. *Journal of East China Institute of Technology*, 32(3): 219-225 (in Chinese with English abstract).
- Wang H Z (Chief Editor). 1985. Atlas of the palaeogeography of China[M]. Beijing: Geol. Pub. House, 53-58 (in Chinese).
- Wang P A, Chen Y C and Pei R F. 1998. Regional mineralogical series, tectono-mineralogical cycles and evolution in the Qinling orogenic belt, China[M]. Beijing: Geol. Pub. House, 81-83 (in Chinese).
- Wang S S. 1983. Age determinations of ^{40}Ar , ^{40}K , ^{40}Ar - ^{39}Ar and radiogenic ^{40}Ar released characteristics on K-Ar geostandards of China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, (4): 315-323 (in Chinese with English abstract).
- Wang X K. 1994. Geological-geochemical characteristics of Xinzhai tin deposit in Malipo[J]. *Yunnan Geology*, 13(1): 1-16 (in Chinese).
- Wang Y J, Fan W M, Liang X Q, Peng T P and Shi Y R. 2005. SHRIMP zircon U-Pb dating of Indosinian granites in Hunan and genesis and their implications for petrogenesis[J]. *Chinese Science Bulletin*, 50(12): 1259-1266 (in Chinese).
- Wang Z C, Zhou X M, Zheng D Y, Wang G and Teng R Q. 2002. A metallogenetic model for Mesozoic unconformity-related uranium deposits in South China[J]. *Geological Review*, 48(4): 365-371 (in Chinese with English abstract).
- Wu S C, Hong Q H, Long W P and Luo Y. 2009. Geological features and metallogenetic model of Xitian W-Sn polymetallic deposit, Hunan Province[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (2): 1-6 (in Chinese with English abstract).
- Xu X S, Deng P, O'Reilly S Y, Griffin W L, Zhou J M and Tan Z Z. 2003. Single zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of the Guidong complex (SE China) and its petrogenetic significance[J]. *Chinese Science Bulletin*, 48(12): 1328-1334 (in Chinese).
- Yang F, Li X F, Feng Z H and Bai Y P. 2009. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of muscovite from greisenized granite and geological significance in Limu tin deposit[J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 29(1): 21-24 (in Chinese with English abstract).
- Yang G N. 2008. An analysis of the metallogenetic conditions of Xinzhai Sn deposit[J]. *Yunnan Geology*, 27(2): 229-234 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Z G, Li C Y, Liu Y P and Tu G C. 1999. Geology and geochemistry of metamorphogenic skarn from Laojunshan metallogenic province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 19(1): 95-99 (in Chinese with English abstract).
- Zhang C J. 1996. The genesis of uranium- and non-uranium-bearing granites from several complexes in south China and their relationship to uranium mineralization[J]. *Journal of Chengdu Institute of Technology*, 23(4): 31-38 (in Chinese with English abstract).
- Zhang B T, Chen P R and Kong X G. 2002. Rb-Sr chronology of bimodal volcanic rocks of the Yutian Group in the Linjiang basin, southern Jiangxi[J]. *Geology in China*, 29(4): 351-354 (in Chinese with English abstract).
- Zhang H F, Xiao L, Zhang L, Yuan H L and Jin L L. 2007. Geochemistry and Pb-Sr-Nd isotopic compositions of the Indosinian Granitoids of Bikou block at edge of Northwestern Yangtze plate: Constraints for petrogenesis and geodynamic setting[J]. *Science in China (Ser. D)*, 37(4): 460-470 (in Chinese).
- Zhang H P, Liu J S, Li X B and Zhang X L. 2006. Relationship of granites to tin, silver, copper, lead, zinc, polymetallic deposits in southeastern Yunnan, China[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 21(2): 87-90 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y, Chen W, Chen K L and Liu X Y. 2006. Study on the Ar-Ar age spectrum of diagenetic I/S and the mechanism of ^{39}Ar recoil loss: Examples from the clay minerals of P-T boundary in Changxing, Zhejiang Province[J]. *Geological Review*, 52(4): 556-561 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y Q, Xu X B, Jia D and Shu L S. 2009. Deformation record of the change from Indosinian collision-related tectonic system to Yanshanian subduction-related tectonic system in South China during the Early Mesozoic[J]. *Earth Science Frontiers*, 16(1): 244-247 (in Chinese with English abstract).

Chinese with English abstract).

Zhao L, Yu J H, Wang L J, Xie L, Sun T and Qiu J S. 2006. Formation time of Hongshan topaz-bearing granite and its metallogenic potential prognosis[J]. Mineral Deposits, 25(6): 672-682 (in Chinese with English abstract).

Zhou X M, Chen P R and Xu X S. 2007. Petrogenesis of Late Mesozoic granite and dynamic evolution of lithosphere in Nanling region[M]. Beijing: Science Press. 691p (in Chinese).

Zhuang Y Q, Wang R Z and Yang S P. 1996. Tin, copper, polymetallic deposits in Gejiu, Yunnan Province[M]. Beijing: Seismology Press. 183p (in Chinese).

附中文参考文献

柏道远, 贾宝华, 李金冬, 王先辉, 马铁球, 张晓阳, 陈必河. 2007a. 区域构造体制对湘东南印支期与燕山早期花岗岩成矿能力的重要意义——以千里山岩体和王仙岭岩体为例[J]. 矿床地质, 26(5): 487-500.

柏道远, 周亮, 马铁球, 王先辉. 2007b. 湘东南印支期花岗岩成因及构造背景[J]. 岩石矿物学杂志, 26(3): 197-212.

蔡德坤. 1983. 滇东南老君山花岗岩类岩石的形成演化与锡、钨的矿化富集作用[J]. 云南地质, 2(2): 102-113.

蔡明海, 陈开旭, 屈文俊, 刘国庆, 付建明, 印建平. 2006. 湘南荷花坪锡多金属矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 测年[J]. 矿床地质, 25(3): 263-268.

陈文, 张彦, 张岳桥, 金贵善, 王清利. 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(4): 867-872.

陈佑纬, 毕献武, 胡瑞忠, 戚华文. 2009. 贵东复式岩体印支期产铀和非产铀花岗岩地球化学特征对比研究[J]. 矿物岩石, 29(3): 106-114.

邓希光, 陈志刚, 李献华, 刘敦一. 2004. 桂东南地区大容山十万大山花岗岩带 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年[J]. 地质论评, 50(4): 426-432.

冯佳睿, 毛景文, 裴荣富, 周振华, 杨宗喜. 2010. 云南瓦渣沟矿区老君山花岗岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及成因探讨[J]. 岩石学报, 26(3): 845-857.

冯建忠, 邹世才, 汪东坡, 王学明, 马治国. 2002. 陕西八卦庙金矿脆韧性剪切带控矿特征及成矿构造的动力学机制[J]. 中国地质, 29(1): 58-66.

胡正国, 钱壮志. 1994. 小秦岭地质构造新认识[J]. 地质论评, 40(4): 289-295.

华仁民, 李光来, 张文兰, 胡东泉, 陈培荣, 陈卫锋, 王旭东. 2010. 华南钨和锡大规模成矿作用的差异及其原因初探[J]. 矿床地质, 29(1): 9-23.

黄典豪, 吴澄宇, 何红蓼. 1994. 东秦岭地区钼矿床的铼-钨同位素年龄及其意义[J]. 矿床地质, 13(3): 221-230.

黄汲清. 1945. 中国主要大地构造特征[M]. 中央地质调查所文集.

(甲种), 20: 1-165.

李东旭, 许顺山. 2000. 变质核杂岩的旋扭成因—滇东南老君山变质核杂岩的构造解析[J]. 地质论评, 46(2): 113-119.

李华, 陈正友, 李忠烈. 2007. 云南省麻栗坡县新寨铁铜多金属矿床地球化学异常特征[J]. 科技信息, (35): 241-243.

李华, 李忠烈, 任武行, 张志军, 蒋兴建, 龙康华. 2008. 云南省麻栗坡县新寨铁铜多金属矿床地质特征[J]. 金属材料与冶金工程, 36(1): 41-45.

李文尧. 2002. 云南麻栗坡新寨锡矿物化探异常特征[J]. 云南地质, 21(1): 72-82.

李献华. 1990. 万洋山-诸广山花岗岩复式岩基的岩浆活动时代与地壳运动[J]. 中国科学(B辑), (7): 747-755.

刘善宝, 王登红, 陈毓川, 李建康, 应立娟, 许建祥, 曾载淋. 2008. 赣南崇余犹矿集区不同类型含石英英脉中白云母 Ar/Ar 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 82(7): 932-940.

刘玉平, 李朝阳, 谷团, 王金良. 2000. 滇东南老君山中-深变质岩系铅同位素特征及时代归属[J]. 矿物学报, 20(3): 228-232.

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(5): 967-976.

卢欣祥. 2000. 秦岭花岗岩大地构造图[M]. 西安: 西安地图出版社.

卢欣祥, 董有, 常秋玲, 肖庆辉, 李晓波, 王晓霞. 1996. 秦岭印支期沙河湾奥长环斑花岗岩及动力学意义[J]. 中国科学(D辑), 26(3): 244-248.

卢欣祥, 李明立, 王卫, 于在平, 时永志. 2008. 秦岭造山带的印支运动及印支期成矿作用[J]. 矿床地质, 27(6): 762-773.

罗照华, 梁涛, 陈必河, 辛后田, 柯珊, 张自力, 程素华. 2007a. 板内造山作用与成矿[J]. 岩石学报, 23(8): 1945-1956.

罗照华, 莫宣学, 卢欣祥, 陈必河, 柯珊, 侯增谦, 汪万. 2007b. 透岩浆流体成矿作用——理论分析与野外证据[J]. 地学前缘, 14(3): 165-183.

罗照华, 魏阳, 辛后田, 柯珊, 李文韬, 李德东, 黄金香. 2006. 太行山中生代板内造山作用与华北大陆岩石圈巨减薄[J]. 地学前缘, 13(6): 52-63.

毛景文, 谢桂青, 程彦博, 陈毓川. 2009. 华南地区中生代主要金属矿床模型[J]. 地质论评, 55(3): 347-354.

毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 袁顺达, 程彦博, 陈毓川. 2008. 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(4): 510-526.

邱华宁, 彭良. 1997. ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代学与流体包裹体定年[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社. 54-65.

任纪舜, 牛宝贵, 刘志刚. 1999. 软碰撞、叠覆造山和多旋回缝合作用[J]. 地学前缘, 6(3): 85-93.

宋史刚, 丁振举, 姚书振, 周宗桂, 张世新, 杜安道. 2008. 甘肃武山温泉辉钼矿 Re-Os 同位素定年及其成矿意义[J]. 西北地质, 44(1): 67-73.

孙涛. 2006. 新编华南花岗岩分布图及其说明[J]. 地质通报, 25(3): 332-335.

孙涛, 周新民, 陈培荣, 李惠民, 周红英, 王志成, 沈渭洲. 2003. 南

- 岭东段中生代强过铝花岗岩成因及其大地构造意义[J]. 中国科学(D辑), 33(12): 1209-1218.
- 谭洪波. 2009. 甘肃中川金铀矿床地质特征及成因讨论[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 32(3): 219-225.
- 王鸿桢, 主编. 1985. 中国古地理图集[M]. 北京: 地图出版社. 53-58.
- 王平安, 陈毓川, 裴荣富. 1998. 秦岭造山带区域矿床成矿系列, 构造-成矿旋回与演化[M]. 北京: 地质出版社. 81-83.
- 王松山. 1983. 我国 K-Ar 法标准样 ^{40}Ar - ^{40}K 和 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄测定及放射成因 ^{40}Ar 的析出特征[J]. 地质科学, (4): 315-323.
- 王学. 1994. 麻栗坡新寨锡矿床地质地球化学特征[J]. 云南地质, 13(1): 1-16.
- 王岳军, 范蔚茗, 梁新权, 彭头平, 石玉若. 2005. 湖南印支期花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其成因启示[J]. 科学通报, 50(12): 1259-1266.
- 王志成, 周新民, 郑大瑜, 王 敢, 滕润球. 2002. 华南中生代不整合型铀矿成因模式[J]. 地质论评, 48(4): 365-371.
- 伍式崇, 洪庆辉, 龙伟平, 罗 郢. 2009. 湖南锡田钨锡多金属矿床成矿地质特征及成矿模式[J]. 华南地质与矿产, (2): 1-6.
- 徐夕生, 邓 平, O' Reilly S Y, Griffin W L, 周新民, 谭正中. 2003. 华南贵东杂岩体单颗粒锆石激光探针 ICPMS U-Pb 定年及其成岩意义[J]. 科学通报, 48(12): 1328-1334.
- 杨 峰, 李晓峰, 冯佐海, 白艳萍. 2009. 栗木锡矿云英岩化花岗岩白云母 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. 桂林工学院学报, 29(1): 21-24.
- 杨国尼. 2008. 云南文山麻栗坡新寨锡矿成矿条件分析[J]. 云南地质, 27(2): 229-234.
- 曾志刚, 李朝阳, 刘玉平, 涂光炽. 1999. 老君山成矿区变质成因矽卡岩的地质地球化学特征[J]. 矿物学报, 19(1): 95-99.
- 张成江. 1996. 华南几个杂岩体中产铀与非产铀花岗岩的成因及其与铀成矿关系[J]. 成都理工学院学报, 23(4): 31-38.
- 章邦桐, 陈培荣, 孔兴功. 2002. 赣南临江盆地余田群双峰式火山岩的 Rb-Sr 年代学研究[J]. 中国地质, 29(4): 351-354.
- 张宏飞, 肖 龙, 张 利, 袁洪林, 靳兰兰. 2007. 扬子陆块西北缘碧口块体印支期花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成: 限制岩石成因及其动力学背景[J]. 中国科学(D辑), 37(4): 460-470.
- 张洪培, 刘继顺, 李晓波, 章霞林. 2006. 滇东南花岗岩与锡、银、铜、铅、锌多金属矿床的成因关系[J]. 地质找矿论丛, 21(2): 87-90.
- 张 彦, 陈 文, 陈克龙, 刘新宇. 2006. 成岩混层(I/S) Ar-Ar 年龄谱型及 ^{39}Ar 核反冲丢失机理研究—以浙江长兴地区 P-T 界线粘土岩为例[J]. 地质论评, 52(4): 556-561.
- 张岳桥, 徐先兵, 贾 东, 舒良树. 2009. 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录[J]. 地学前缘, 16(1): 244-247.
- 赵 蕾, 于津海, 王丽娟, 谢 磊, 孙 涛, 邱检生. 2006. 红山含黄玉花岗岩的形成时代及其成矿能力分析[J]. 矿床地质, 25(6): 672-682.
- 周新民, 陈培荣, 徐夕生. 2007. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化[M]. 北京: 科学出版社. 691页.
- 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. 1-18.