

doi:10.3799/dqkx.2013.100

# 云南老君山矿集区的晚侏罗世—早白垩世成矿事件

李建康<sup>1</sup>, 王登红<sup>1</sup>, 李华芹<sup>2</sup>, 陈郑辉<sup>1</sup>, 梅玉萍<sup>2</sup>

1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037

2. 中国地质调查局武汉地质矿产研究所, 湖北宜昌 443003

**摘要:** 云南省老君山矿集区产出南秧田、花石头、茶叶山等众多钨矿床, 是南岭成矿带西段为数不多的以钨为主的矿集区。由于受到多期构造热事件的影响, 该矿集区的成矿年龄存在较大的争议。为此, 选择白钨矿 Sm-Nd 同位素体系测定了南秧田钨矿田中长石石英脉型矿体的年龄, 用白云母和黑云母 Ar-Ar 方法厘定了区域花岗伟晶岩的形成时代及其变质围岩的变质时限。研究表明, 南秧田钨矿田中长石石英脉型白钨矿矿体的形成年龄为  $159 \pm 14$  Ma, 明显晚于印支期形成的矽卡岩型矿体; 两花岗伟晶岩及其围岩变质作用的年代分别为 144~141 Ma 和 121~112 Ma, 说明老君山矿集区存在晚侏罗世—早白垩世的构造热事件和成矿作用。综合前人的研究成果, 老君山矿集区受到区域花岗片麻岩和花岗岩产出特征的制约, 成矿时代分布与南岭成矿带一致, 存在晚三叠世、晚侏罗世—早白垩世和晚白垩世 3 个成矿高峰期。而且, 老君山矿集区的成矿特点与南岭东段的钨矿床有一定的可类比性, 是“东钨西扩”的典型实例, 这可能与老君山矿集区遭受了较高的剥蚀程度有关, 暗示南岭西段的高剥蚀区是寻找晚侏罗世钨矿床的远景区。

**关键词:** 晚侏罗世—早白垩世成矿事件; 南秧田钨矿田; 老君山矿集区; 南岭成矿带; 构造; 矿床。

**中图分类号:** P612

**文章编号:** 1000-2383(2013)05-1023-14

**收稿日期:** 2012-10-16

## Late Jurassic-Early Cretaceous Mineralization in the Laojunshan Ore Concentration Area, Yunnan Province

LI Jian-kang<sup>1</sup>, WANG Deng-hong<sup>1</sup>, LI Hua-qin<sup>2</sup>, CHEN Zheng-hui<sup>1</sup>, MEI Yu-ping<sup>2</sup>1. *Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*2. *Wuhan Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, China*

**Abstract:** The Laojunshan ore concentration area, containing many tungsten deposits of Nanyangtian, Huashitou and Chayeshan, is one of the few tungsten concentration areas in the western Nanling metallogenic belt. But, its regional ore-forming ages are controversial due to multi-stage tectono-thermal events. In this paper, the scheelite Sm-Nd dating method was used to determine the ore-forming age of the feldspar quartz vein type ore bodies in the Nanyangtian ore field, and the muscovite and biotite Ar-Ar dating method were used to determine the crystallization ages of the regional granitic pegmatites and the metamorphic age of their wall rocks respectively. The dating results show that the feldspar quartz veins type ore bodies formed at  $159 \pm 14$  Ma, younger than the skarn type ore bodies, and the pegmatite crystallization ages and the wall rock's metamorphic ages are 144–141 Ma and 121–112 Ma respectively. So the Late Jurassic-Early Cretaceous tectono-thermal event and tungsten mineralization occurred in Laojunshan area. The metallogenic regularity in the Laojunshan areas illustrates that the regional ore deposits or spots are constrained by the regional granite gneiss and granitic intrusion, and the ore-forming period is consistent with the three ore-forming peaks in the Nanling mineralogenic belt. Furthermore, the mineralization features in Laojunshan area are similar with that in the eastern Nanling metallogenic belt, which may be due to the high denudation degree. It is concluded that the great denudation area in the western Nanling region has great potential to find tungsten deposit formed in Late Triassic and Indo-Chinese and Late Jurassic-Early Cretaceous.

**基金项目:** 国家深部探测技术与实验研究专项(No.SinoProbe-03-01); 中央公益性科研院所基本科研业务费(No.K1001); 中国地质大调查项目(No.1212011220805)。

**作者简介:** 李建康(1976—), 副研究员, 主要从事矿床学研究, E-mail: Li9968@126.com

**Key words:** Late Jurassic-Early Cretaceous mineralization; Nanyangtian tungsten ore field; Laojunshan ore concentration area; Nanling miorallenic belt; tectonics; ore deposits.

东钨西锡是南岭成矿带最重要的成矿特征,但位于南岭西段的云南老君山矿集区具有一定的独特性,除产出都龙、新寨等锡矿床外,还有南秧田白钨矿矿田,以及花石头、茶叶山和老君山等黑钨矿矿床(云南省地质局,1:20万地质矿产报告·马关幅,1976)(图1)。南秧田钨矿田包括南秧田、法瓦和瓦渣等白钨矿矿床,其中南秧田矿床在1984年探明的钨矿金属量( $WO_3$ )为34 254 t(冯佳睿等,2011a),2011年初步控制的金属量增加到30万t,达到超大型规模(<http://news.eastday.com/c/20110217/u1a5727647.html>)。这些钨矿床对在以锡为主的南岭西段寻找钨矿床具有重要指示意义。

与南岭成矿带的其他地区不同,老君山矿集区经历了强烈的变质作用和构造活动,出露大面积的变质核杂岩(李东旭和许顺山,2000;郭利果,2006)。矿集区的岩浆活动强烈,除出露老君山花岗岩体外,还产出大量的花岗伟晶岩脉,部分发生铍矿化(蔡德坤,1983)。这些地质体的存在表明:区域上经历了多期次构造热事件,成矿作用的后期叠加改造作用强烈。因此,不同方法的定年工作往往得出不同的成矿年龄。如冯佳睿等(2011a)报道的南秧田矿田中矽卡岩型矿体的铀钼矿 Re-Os 模式年龄约为210 Ma;谭洪旗等(2011)报道的南秧田矿田矽卡岩中金云母的 Ar-Ar 坪年龄为114~129 Ma。鉴于以上情况,本文选择矿石矿物——白钨矿,利用 Sm-Nd 同位素定年技术对南秧田钨矿田的形成年龄进行了进一步研究,另外,利用白云母和黑云母 Ar-Ar 定年技术,测定了花岗伟晶岩及其变质围岩的年龄数据,由此来分析南秧田钨矿田的成矿年代及其与区域岩浆活动的关系,进而归纳区域矿床的成矿规律,指导南岭西段的钨找矿工作。

## 1 区域地质特征

云南省老君山矿集区紧邻中越边境,位于越北古陆北缘,隶属于扬子陆块东南缘。矿集区最明显的特征是出露面积约为360 km<sup>2</sup>的花岗片麻岩。根据岩石组构特征,花岗片麻岩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,表现出变形程度逐步增强的趋势,顶部还发育了一层花岗质糜棱岩(云南省地质局,1:20万地质矿产报

告·马关幅,1976)。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,钾长石化极为强烈。自花岗片麻岩分布区的中心向外,依次分布寒武系下统、中统、上统,以及泥盆系、二叠系、三叠系(图1)。以上特征使该地区表现为以花岗片麻岩为中心的穹窿构造,代表了以花岗片麻岩为中心的至少一期区域构造热活动。

老君山花岗岩体出露面积约153 km<sup>2</sup>,自花岗片麻岩的西部侵入中、下寒武统变质岩、混合岩化岩石中,平面上为似椭圆形,四周有一系列小岩体和岩脉分布。围绕老君山岩体,分布一系列环状和放射状断裂构造(图1),被称为老君山旋卷构造,老君山花岗岩是旋卷构造的中心(云南省地质局,1:20万地质矿产报告·马关幅,1976),说明老君山岩体的侵位极大地塑造了区域构造的分布和产状(李东旭和许顺山,2000),代表了另一期重要的区域构造热事件。

老君山矿集区的花岗片麻岩和花岗岩的产出特征控制着区域矿产的分布。老君山花岗岩体的西南部、东北部及其外接触带主要产出锡、铜、铅、锌等多金属矿床,如都龙锡矿。岩体内部和边部主要产出花石头、老君山、戈岭等石英脉型黑钨矿和高温热液型铍矿床。花岗片麻岩区主要产出南秧田、瓦渣、法瓦、茶叶山、新寨等白钨矿(锡)矿床(点),瓦渣、上阳坡等花岗伟晶岩型铍和云母矿床,及洒西等中高温热液型钨铍矿床。产于花岗片麻岩区的钨(锡)矿床具有一定的层控性,但未局限于某个特定的层位,内部的南秧田矿田和茶叶山白钨矿矿床赋存在寒武系下统的冲庄组中,外围的新寨锡矿床、老新寨和垮土钨锡矿化点产在寒武系中统的田蓬组中(云南省地质局,1:20万地质矿产报告·马关幅,1976),表现出自内部向外,矿种由钨向锡变化、赋矿层位变新的特点,显示出钨锡迁移的差异性(华仁民等,2010)。这种特点难以用热水沉积解释,暗示区域的构造热活动对成矿有较大的控制作用。

## 2 典型矿床的地质特征

前人已较系统介绍了该地区的都龙锡多金属矿床、新寨锡矿床、花石头钨矿床、洒西(丫口)钨铍矿床等典型矿床(王学焜,1994;刘玉平等,2007,2011;

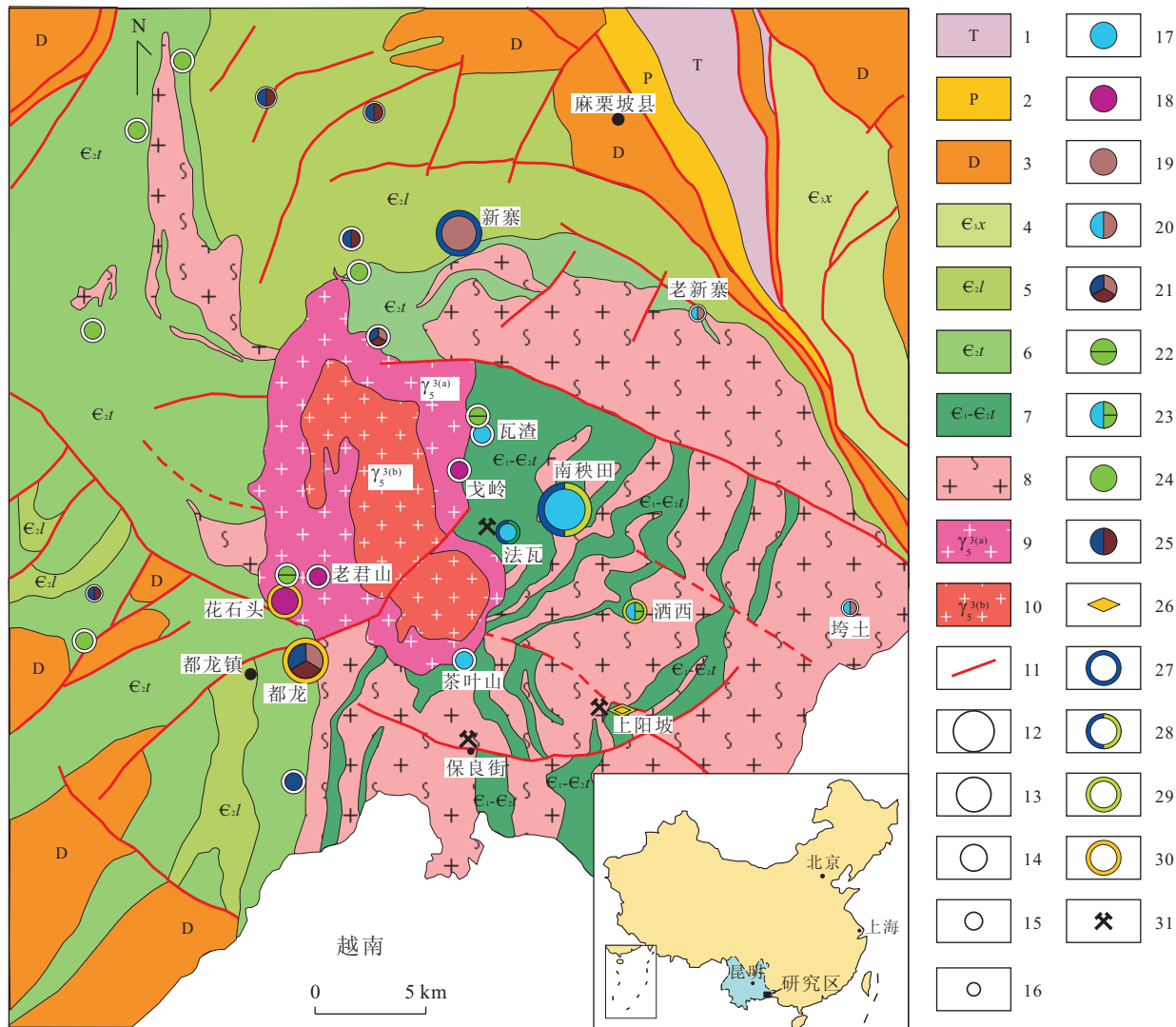


图 1 云南省老君山矿集区矿产地质图(据云南省地质局, 1: 20 万地质矿产报告·马关幅, 1976 编制)

Fig.1 Geological map of the Laojunshan ore concentration area in Yunnan Province

1. 三叠系; 2. 二叠系; 3. 泥盆系; 4. 寒武系歇场组白云质灰岩; 5. 寒武系龙哈组白云岩; 6. 寒武系田蓬组白云质灰岩; 7. 寒武系未分层中下统片岩、片麻岩; 8. 花岗片麻岩; 9. 燕山晚期第 1 期中粗粒花岗岩; 10. 燕山晚期第 2 期中细粒花岗岩; 11. 断裂; 12. 超大型矿床; 13. 大型矿床; 14. 中型矿床; 15. 小型矿床; 16. 矿(化)点; 17. 白钨矿矿床; 18. 黑钨矿矿床; 19. 锡矿; 20. 钨锡矿; 21. 锡多金属矿; 22. 铍矿; 23. 钨铍矿; 24. 铜矿; 25. 铅锌矿; 26. 白云母矿; 27. 晚三叠世成矿; 28. 晚三叠世和晚侏罗—早白垩世多阶段成矿; 29. 晚侏罗世—早白垩世成矿; 30. 晚白垩世成矿; 31. 本文工作区

谭筱虹等, 2010; 冯佳睿等, 2011a, 2011b), 本文重点介绍南秧田钨矿田和区域的花岗伟晶岩脉的地质特征。

南秧田钨矿田矿区面积为 7 km<sup>2</sup>, 产于花岗片麻岩区, 包括南秧田、法瓦、瓦渣矿床, 3 个矿床的矿体类型、产出状态相同, 可视为同一矿床的不同矿段(图 2)。矿体主要赋存在下寒武统冲庄组中, 该地层为一套浅至中深变质岩系, 原岩为厚度较大的滨海至浅海相类复理石沉积建造, 地层产状平缓。自下而上可分为 6 层: 绿泥石石英云母片岩、黄铁矿化炭质石英云母片岩夹含白钨矿化透闪石矽卡岩、石英黑

云母片岩、电气石石英片岩、白钨矿化透辉石透闪石矽卡岩、石英云母片岩。矿区地层变形作用较为强烈, 存在大量的揉皱、石香肠等构造现象, 沿变质岩片理产出大量的透镜状石英细脉。

白钨矿化主要发生在透辉石透闪石矽卡岩内, 形成矽卡岩型白钨矿矿体。矿体呈层状和似层状产出。矿石为自形一半自形粒状结构、他形粒状结构、纤状变晶结构、片状变晶结构、交代残余结构等; 矿石呈块状构造、纹层状构造、条带状构造、角砾状构造等。矿石的金属矿物以白钨矿为主, 次为黄铁矿, 少量毒砂、辉铜矿、锡石、黄铜矿、绿柱石、非金属矿

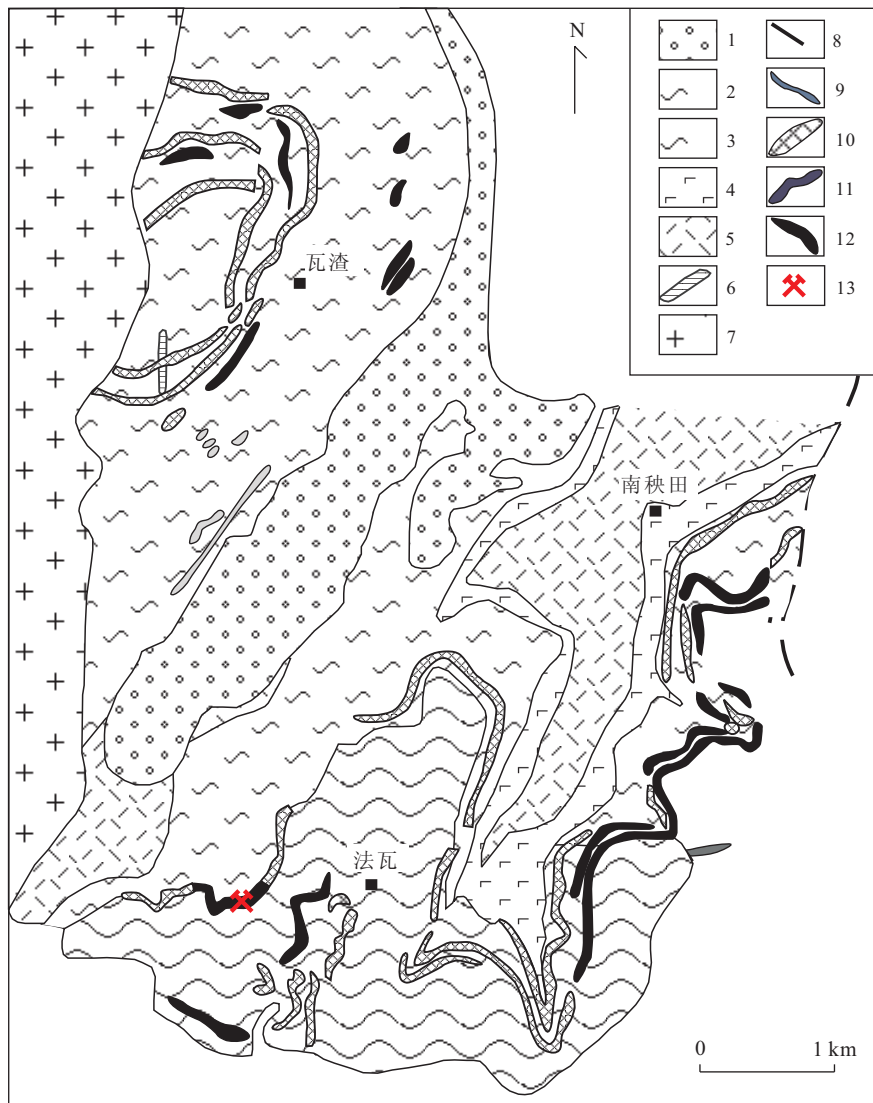


图 2 南秧田矿田地质图(据云南省 317 地质分队,1984)

Fig.2 Geological map of the Nanyangtian ore field

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大理岩、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;7.二云二长花岗岩;8.断层;9.花岗斑岩脉;10.砂卡岩;11.钠长伟晶岩脉;12.白钨矿体;13.采样位置

物有石英、长石、白云母、黑云母、电气石、绿帘石、透辉石、阳起石、黝帘石、楣石等。白钨矿呈白色,粒径一般在 0.01~1.00 mm,呈集合体状、斑点状、浸染状产出。

长石石英脉是另一种重要的白钨矿矿石类型(谭筱虹等,2010)。长石石英矿脉穿过了砂卡岩矿层,延伸到石英黑云母片岩中,一些脉体包裹了角砾状砂卡岩矿体,单脉脉幅一般 5~100 cm,延伸可达数米(图 3a)。矿脉产状较陡,存在局部膨大、分支、尖灭侧现等现象。长石石英脉中的矿物以石英为主,长石矿物所占比例不超过 10%,白钨矿呈米黄色,以团块状、集合体状产出,中粗粒,粒径多在 3~6 mm

之间,一些白钨矿团块的粒径超过 10 cm。脉体周边发育云英岩化、硅化、电气石化等蚀变现象。

长石石英脉型矿体穿过了在砂卡岩型矿体和石英云母片岩中沿片理产出的石英细脉,这些石英细脉规模小,延续性差,是区域变质作用的产物。在石英云母片岩中,石英细脉在荧光下未发现明显的白钨矿化(图 3b)。

老君山矿集区的花岗片麻岩区分布较多的花岗伟晶岩脉,是中国重要的祖母绿产地之一(张良钜和兰延,1999)。伟晶岩脉一般沿片理侵入寒武系变质岩中,或与花岗片麻岩呈侵入式接触关系,具有一定分带性,矿物组成主要为石英、长石、白云母和电气



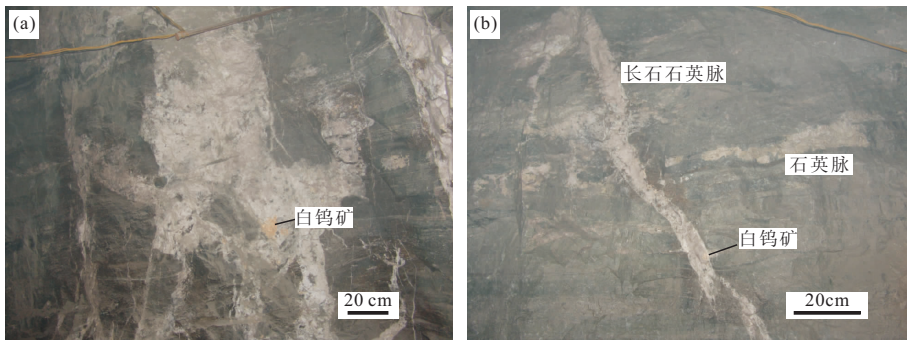


图 3 南秧田钨矿田中产出的长石石英脉型白钨矿矿体

Fig.3 The feldspar quartz veins of Nanyangtian tungsten ore filed

a.穿过矽卡岩矿体和变质围岩的长石石英矿脉;b.长石石英矿脉切过沿石英黑云母片岩片理产出的石英细脉,石英细脉未发现明显的白钨矿化

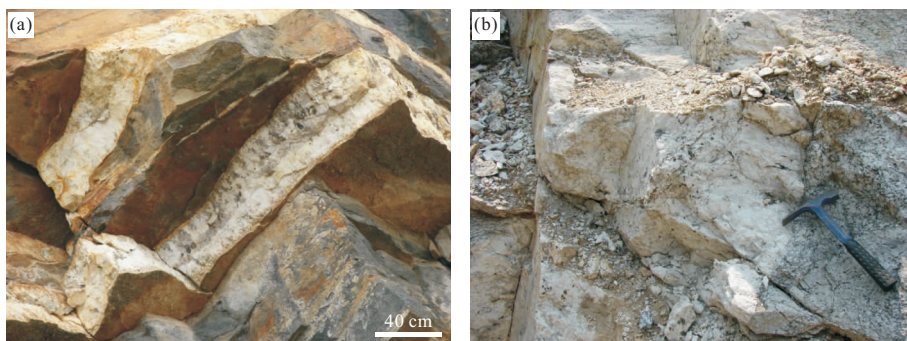


图 4 云南老君山矿集区花岗伟晶岩的产出状态

Fig.4 The granitic pegmatite veins exists in regional metamorphic rock

a.沿黑云闪长片麻岩片理产出的保良街伟晶岩脉;b.与黑云斜长片麻岩呈侵入式接触关系上阳坡伟晶岩脉

石,其次有绿柱石、白钨矿、萤石等.如马关县保良街东部的某条伟晶岩脉沿黑云闪长片麻岩的片理侵入,宽约 40 cm 左右,边部为中粗粒白云母钠长石带,中心为粗粒钠长石石英带或石英核,本文称之为保良街伟晶岩脉(图 4a).麻栗坡县猛洞乡上阳坡白云母矿区的伟晶岩脉侵入到黑云斜长片麻岩中,一般长 18 m,宽 1 m 左右,其中某条伟晶岩脉宽约 5 m,分为边部中粗粒文象伟晶岩带和中间小块体状白云母钠长石伟晶岩带(图 4b)(云南省地质局,1:20 万地质矿产报告·马关幅,1976),本文称之为上阳坡伟晶岩脉.

### 3 样品采集

用于 Sm-Nd 定年的白钨矿产自南秧田矿田,法瓦矿床云发工区的 1200 中段,洞口坐标为 104°38'25"E,22°58'38"N.9 件白钨矿样品产自同一个长石英脉型矿体的白钨矿集合体,白钨矿集合体大小约 20 cm,呈米黄色,矿脉侵入于石英黑云母片岩

中,产出状态类似于图 3a.

用于 Ar-Ar 定年的白云母样品 BLJ-2 和黑云母样品 BLJ-3 分别产自保良街伟晶岩脉及其黑云闪长片麻岩围岩,坐标为 104°37'28"E,22°52'29"N.样品 BLJ-2 为伟晶岩脉中白云母钠长石带的片状白云母,白云母样品呈叠层状集合体,透明性好(图 5);BLJ-3 样品为黑云闪长片麻岩中的黑云母,黑云母呈细小片状集合体,粒度约 1 mm,定向排列(图 5).

BLJ-LB-8 和 BLJ-LB-2 样品分别取自上阳坡伟晶岩及其黑云斜长片麻岩围岩,坐标为 104°40'02"E,22°52'52"N.样品 BLJ-LB-8 为伟晶岩脉中的大片白云母,采自小块体状白云母钠长石带,白云母片可达 10 cm 以上,层叠状,透明;BLJ-LB-2 为黑云斜长片麻岩中的黑云母,黑云母粒度约为 1~3 mm,定向分布(图 5).

### 4 测试分析方法

在 Sm-Nd 同位素分析前,首先将白钨矿颗粒碎



图 5 用于白云母和黑云母 Ar-Ar 定年的岩石照片

Fig.5 Pictures of rock samples for Ar-Ar dating of muscovite and biotite

BLJ-2、BLJ-3 分别为保良街伟晶岩脉与其黑云闪长片麻岩围岩的岩石样品；BLJ-LB-8、BLJ-LB-2 分别为上阳坡某伟晶岩脉与其黑云斜长片麻岩围岩的岩石样品

至 40~60 目,然后借助荧光灯,在双目显微镜下将含有石英、长石等杂质的白钨矿颗粒剔除,使白钨矿的纯度达到 99% 以上,最后将纯净的白钨矿碎至 200 目。Sm-Nd 同位素测定在武汉地质调查中心同位素实验室的 Triton II 质谱仪上完成。试样以氯化物形式涂在预先处理好的铼带上,Sm 和 Nd 均采用双带热表面电离技术进行测定。质量分馏用  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$  进行校正。在测定本样品过程中,采用 GBW04119 同位素地质年龄测定国家一级标准物质在监控仪器上的工作状态和分析流程。全部操作在净化实验室的净化柜进行,使用的全部器皿均由铂金、氟塑料和石英制成;所用试剂经亚沸蒸馏,其 Sm 和 Nd 全流程空白为  $0.1 \times 10^{-11} \sim 5.0 \times 10^{-11}$  g,空白对所测样品的影响可忽略不计,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  比值测定精度的相对标准偏差小于 0.0008%~0.0010%,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  比值测定精度的相对标准偏差约为 0.5%。具体定年方法见李华芹等(1998)所报道的流程。

Ar-Ar 同位素分析前,需要挑选纯净的白云母和黑云母单矿物。在挑选伟晶岩中的白云母时,首先自样品中挑选出大片的纯净白云母,而后剪掉边部和有杂质的部分,再用纯净水清洗和晾干后剪成细

小云母片,过 40~60 目筛后的云母片即可用于中子照射。挑选变质岩中的黑云母时,首先把岩石样品破碎成粒径约 1 mm 的小块后,挑选出黑云母颗粒,然后在双目镜下挑选不含杂质、新鲜的黑云母矿物。白云母和黑云母样品经中国原子能研究院 49-2 核反应堆进行中子照射,氩同位素质谱分析在中国地质科学院地质研究所开放实验室的 MM-1200B 气体质谱计上完成,技术方法参考 Chen *et al.* (2002)。

## 5 定年结果

南阳田矿田法瓦矿床的白钨矿定年结果见表 1。9 件样品中 Sm 的含量介于  $9.15 \times 10^{-6} \sim 13.56 \times 10^{-6}$  之间,Nd 含量介于  $23.04 \times 10^{-6} \sim 38.38 \times 10^{-6}$  之间,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  的变化范围为 0.1916~0.2382,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  的变化范围为 0.511980~0.512028,同位素分馏较为明显。在  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ - $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  图解中,测试的 9 个样品的 Sm-Nd 数据均表现出良好的线性,说明同位素体系的封闭性(图 6)。利用 ISOPLOT 软件,得到白钨矿 Sm-Nd 等值线年龄为  $159 \pm 14$  Ma, MSWD 为 0.075,初始  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  为  $0.511781 \pm 0.000019$ 。

表 1 南秧田矿田法瓦矿床的白钨矿 Sm-Nd 定年结果

Table 1 Sm-Nd dating results of scheelite in the Fawa tungsten deposit, Nanyangtian ore field

原送样号	W(Sm)(10 <sup>-6</sup> )	W(Nd)(10 <sup>-6</sup> )	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	1σ
YF-2-1	12.15	38.38	0.191 6	0.511 980	0.000 003
YF-2-2	12.40	37.44	0.200 3	0.511 990	0.000 002
YF-2-3	13.56	35.87	0.228 7	0.512 020	0.000 003
YF-2-4	11.82	30.01	0.238 2	0.512 028	0.000 003
YF-2-5	9.49	26.88	0.213 6	0.512 004	0.000 002
YF-2-6	9.15	27.67	0.200 1	0.511 989	0.000 004
YF-2-7	15.15	46.58	0.196 8	0.511 985	0.000 004
YF-2-8	9.42	23.04	0.247 3	0.512 038	0.000 003
YF-2-9	12.17	37.56	0.196 1	0.511 985	0.000 004

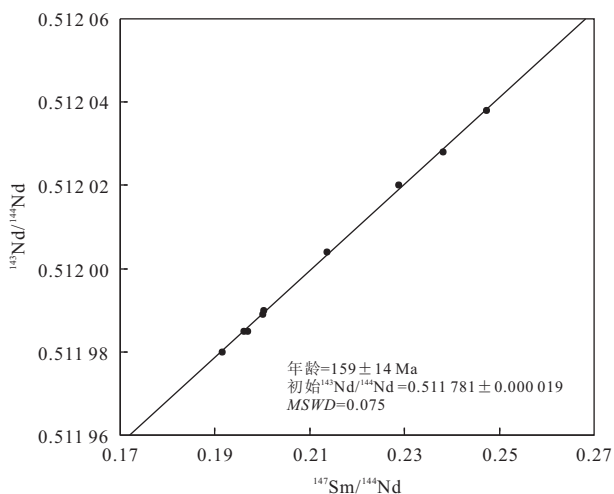


图 6 南秧田矿田法瓦矿床白钨矿 Sm-Nd 同位素等时线  
Fig.6 The Sm-Nd isochron of scheelite in the Fawa tungsten deposit, Nanyangtian ore field

保良街伟晶岩及其围岩的白云母和黑云母 Ar-Ar 定年结果见表 2、3 和图 7。由表 2 和图 7 可知,在加热过程中,保良街伟晶岩中白云母 Ar-Ar 坪年龄的加权平均值为 134.3 Ma,在 800~1 400 °C 的加热区间得到了比较稳定的坪年龄(130.1~142.3 Ma),析出的<sup>39</sup>Ar 占总量约 85%;在 1 200~1 400 °C 区间内得到了比较稳定的坪年龄(140.8±1.7 Ma)和相关性良好的反等时线,反等时线年龄为 140.3±4.2 Ma,<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 初始值为 299±130,变化范围与理想大气氩的<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 接近,说明样品的 Ar-Ar 体系保持封闭。由表 3 和图 7 可知,保良街伟晶岩围岩(黑云闪长片麻岩)的黑云母在 600~1 400 °C 区间析出的<sup>39</sup>Ar 占总量约 95%,该区间内各加热阶段的年龄变化于 110.7~113.0 Ma 之间,表现出稳定的年龄谱图,平均后取得坪年龄 111.9±1.0 Ma。在反等时线图上,各数据相关性良好,<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 初始值为 316±24,反等时线年龄为 111.3±1.3 Ma,与坪年

龄一致。

上阳坡伟晶岩及其围岩的白云母和黑云母 Ar-Ar 定年结果见表 4、5 和图 8。由表 4 和图 8 可知,上阳坡伟晶岩的白云母在 800~1 400 °C 区间析出的<sup>39</sup>Ar 占总量约 84%,该区间内各加热阶段的年龄变化于 142.5~145.3 Ma,表现出稳定的年龄谱图,平均后取得坪年龄 143.9±1.2 Ma。在反等时线图上,各数据表现出良好的相关性,得到的反等时线年龄为 144±2.1 Ma,<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 初始值(287±92)与理想大气氩的<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 接近。花岗片麻岩的黑云母也表现出了稳定的 Ar-Ar 年龄谱图,在 500~1 300 °C 区间析出的<sup>39</sup>Ar 占总量约 93%,坪年龄为 121.3±1.0 Ma(图 8),对应的反等时线年龄为 121.3±1.7 Ma,<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 初始值为 280±65。

以上数据表明,保良街和上阳坡伟晶岩及其围岩中的白云母和黑云母自结晶形成以后,对<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 体系保持封闭,没有受到后期热事件的影响,不存在过剩氩和丢失,定年结果可靠。

## 6 讨论

### 6.1 南秧田矿田的成矿年代

前人曾对南秧田矿田的矽卡岩矿体开展了定年工作,曾志刚等(1998)用全岩 Rb-Sr 等时线法得到的年龄为 214.25±15.6 Ma,冯佳睿等(2011a)的辉钼矿模式年龄为 209~214 Ma,二者与区域变质年龄值(~200 Ma,王学焜,1994)基本一致,明显早于该区老君山花岗岩的形成年龄(83.3~92.9 Ma)(刘玉平等,2007)。由此可知,南秧田矿田的矽卡岩型白钨矿矿体形成于晚三叠世,与印支期区域变质作用及混合岩化有密切的关系,与老君山岩体无直接的成因联系。



表 2 云南老君山矿集区保良街伟晶岩脉的白云母(BLJ-2)<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 逐步加热分析结果  
Table 2 The <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar step-heating data of muscovite (BLJ-2) from the Baoliangjie pegmatite

T(°C)	( <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>36</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>37</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>38</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	<sup>40</sup> Ar(%)	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	<sup>39</sup> Ar (10 <sup>-14</sup> mol)	<sup>39</sup> Ar (Cum.)(%)	年龄(Ma)	±1σ(Ma)
400	21.218 2	0.055 8	0.246 0	0.048 9	22.28	4.728 2	23.29	0.34	82.0	11.0
500	11.645 1	0.028 9	0.091 9	0.033 6	26.67	3.105 7	25.18	0.70	54.0	10.0
600	10.724 5	0.019 5	0.040 7	0.024 9	46.16	4.951 1	75.78	1.80	85.4	4.3
700	7.876 8	0.006 6	0.025 5	0.020 5	75.23	5.926 1	169.17	4.24	101.8	2.7
800	8.015 2	0.001 3	0.008 0	0.014 5	95.29	7.637 8	757.85	15.20	130.1	1.4
900	7.958 9	0.000 5	0.003 7	0.013 3	98.16	7.812 3	1013.71	29.86	133.0	1.3
1 000	7.985 5	0.000 3	0.000 6	0.012 7	98.74	7.884 7	2258.82	62.53	134.2	1.3
1 100	8.328 6	0.000 4	0.003 6	0.013 4	98.59	8.211 6	1077.28	78.11	139.5	1.5
1 200	8.501 4	0.000 4	0.001 2	0.014 9	98.62	8.384 2	997.64	92.54	142.3	1.6
1 300	8.543 3	0.000 8	0.017 0	0.014 5	97.16	8.300 7	479.43	99.47	141.0	1.6
1 400	10.692 7	0.008 2	0.079 0	0.027 6	77.34	8.270 6	36.58	100.00	140.5	2.7

注:下标 m 表示样品中测定的同位素比值,总的年龄=134.3 Ma,<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 为放射性<sup>40</sup>Ar 与<sup>39</sup>Ar 的比值,W=45.90 mg,J=0.009 792.

表 3 云南老君山矿集区保良街伟晶岩脉围岩(黑云闪长片麻岩)的黑云母(BLJ-3)<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 逐步加热分析结果  
Table 3 The <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar step-heating data of biotite (BLJ-3) from the wall rock (biotite diorite gneiss) of the Baoliangjie pegmatite

T(°C)	( <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>36</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>37</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>38</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	<sup>40</sup> Ar(%)	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar	<sup>39</sup> Ar (10 <sup>-14</sup> mol)	<sup>39</sup> Ar (Cum.)(%)	年龄(Ma)	±1σ(Ma)
400	174.087 4	0.586 0	0.092 4	0.133 2	0.53	0.917 6	58.96	0.72	15.9	9.6
500	24.185 9	0.077 2	0.057 9	0.031 5	5.67	1.372 0	119.15	2.18	23.7	8.7
600	19.984 4	0.047 9	0.012 0	0.023 0	29.13	5.822 1	275.66	5.54	98.3	2.4
700	8.783 3	0.007 1	0.007 4	0.014 9	76.19	6.692 0	1 137.23	19.44	112.5	1.9
800	7.459 9	0.002 5	0.005 2	0.013 2	90.13	6.723 9	707.81	28.08	113.0	1.3
900	6.971 7	0.001 1	0.006 8	0.013 4	95.48	6.656 3	1 423.19	45.47	111.9	1.2
1 000	7.148 4	0.001 6	0.025 1	0.013 8	93.37	6.674 9	841.15	55.75	112.2	1.3
1 100	6.775 0	0.000 7	0.011 1	0.013 2	97.07	6.576 9	1 993.39	80.10	110.7	1.2
1 200	6.861 2	0.000 8	0.007 5	0.013 1	96.58	6.626 5	1 349.50	96.58	111.5	1.2
1 300	7.219 5	0.001 7	0.069 1	0.015 5	93.08	6.720 5	264.77	99.82	113.0	2.1
1 400	9.719 8	0.010 6	0.257 2	0.037 6	67.82	6.593 2	14.88	100.00	110.9	3.8

注:下标 m 表示样品中测定的同位素比值,总的年龄=109.4 Ma,<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 为放射性<sup>40</sup>Ar 与<sup>39</sup>Ar 的比值,W=47.04 mg,J=0.009 618.

本文的白钨矿 Sm-Nd 法定年结果表明,南秧田矿田中长石石英脉型矿体形成于晚侏罗世,明显晚于矽卡岩型矿体,这与长石石英脉矿体型切穿矽卡岩型矿体和包括矽卡岩角砾的地质特征相符。在区域上,长石石英脉矿体的 Sm-Nd 年龄与保良街和上阳坡花岗伟晶岩的白云母 Ar-Ar 年龄(~140 Ma)基本一致。一般来说,花岗伟晶岩结晶于富 H<sub>2</sub>O 等挥发分的花岗质岩浆或流体(London, 2008),由此推断南秧田矿田的长石石英脉型矿体可能与同期区域花岗岩浆活动有关。

在南秧田钨矿田的石英云母片岩中,长石石英脉切过了沿变质片理产出的石英细脉,后者没有明显的白钨矿化,这佐证了长石石英矿脉的形成晚于区域变质作用,也暗示长石石英矿脉并非结晶于变质流体(图 3b)。此外,矽卡岩型和长石石英脉型矿体中白钨矿的形态、颜色和颗粒大小和地球化学组成等方面存在明显的差异。矽卡岩型矿体中白钨矿

的  $\Sigma\text{REE}(69.74 \times 10^{-6} \sim 213.16 \times 10^{-6})$  和  $\text{LREE}/\text{HREE}(2.08 \sim 2.55)$  相对较高,  $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$  和  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$  分别为 0.712~0.807 和 1.055~1.278;长石石英脉型矿体中白钨矿的  $\Sigma\text{REE}(152.15 \times 10^{-6})$  和  $\text{LREE}/\text{HREE}(0.137)$  相对较低,  $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$  和  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$  分别为 0.044 和 0.025,稀土配分模式与福建行洛坑和江西大吉山同类型白钨矿的稀土元素配分模式具有一定的相似性(曾志刚等, 1998)。以上特征进一步说明,南秧田矿田的长石石英脉型矿体与矽卡岩型矿体形成于不同流体(Raimbauh *et al.*, 1993),前者的形成可能与岩浆活动有关。

综上所述,南秧田钨矿田存在多期次成矿作用:矽卡岩型矿体形成于晚三叠世,与区域变质作用为同期热事件的产物;长石石英脉型矿体形成于晚侏罗世,代表了较晚的一期岩浆活动。南秧田矿田中矽卡岩型矿体中金云母的 Ar-Ar 坪年龄(114~129 Ma,谭洪旗等, 2011;刘玉平等, 2011)、洒西丫



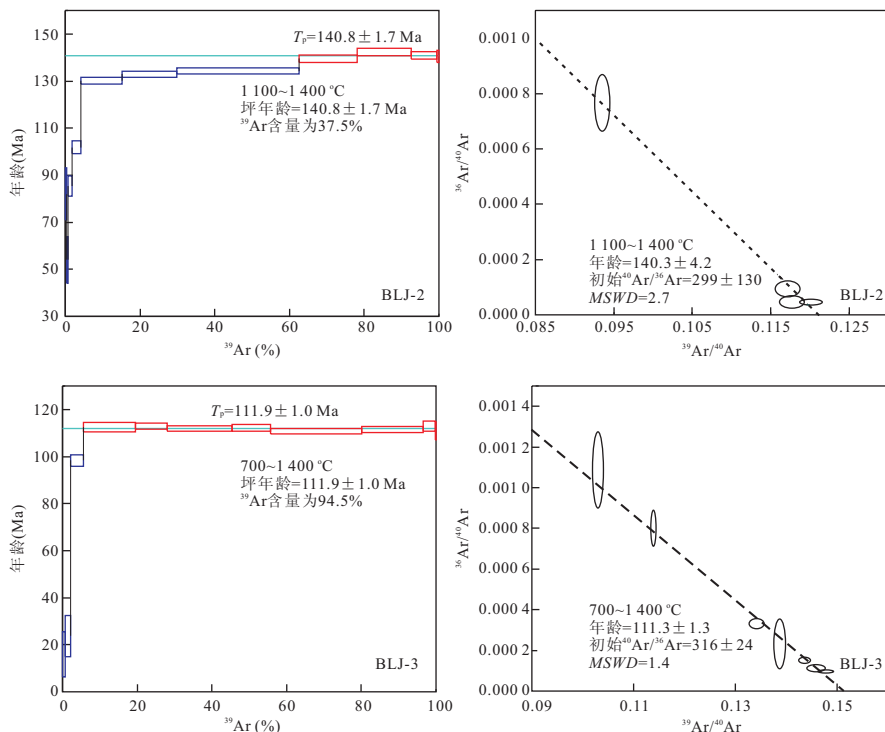


图 7 云南老君山矿集区保良街伟晶岩中白云母(BLJ-2)及其围岩中黑云母(BLJ-3) Ar-Ar 定年的坪年龄和反等时线  
 Fig.7 The  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  plateau age spectra and inverse isochron age spectra for muscovite (BLJ-2) and biotite (BLJ-3) from the Baoliangjie pegmatite and its wall rock respectively

表 4 云南老君山矿集区上阳坡伟晶岩脉的白云母(BLJ-LB-8)  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  逐步加热分析结果  
 Table 4 The  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  step-heating data of muscovite (BLJ-LB-8) from the Shangyangpo pegmatite

$T(^{\circ}\text{C})$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{40}\text{Ar}(\%)$	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{39}\text{Ar}$ ( $10^{-14}$ mol)	$^{39}\text{Ar}$ (Cum.) (%)	年龄(Ma) $\pm 1\sigma$ (Ma)
400	22.144 5	0.051 8	0.232 5	0.037 2	30.87	6.838 0	37.23	0.41	122.4 7.6
500	23.978 8	0.055 9	0.125 2	0.031 2	31.18	7.476 3	59.66	1.08	133.4 8.9
600	26.045 7	0.063 7	0.090 2	0.032 3	27.73	7.224 2	51.99	1.66	129.1 9.3
700	12.976 7	0.019 2	0.025 3	0.017 6	56.27	7.302 5	401.56	6.12	130.4 2.1
800	8.605 8	0.001 8	0.007 1	0.013 8	93.81	8.072 7	894.53	16.07	143.7 1.6
900	8.298 4	0.000 4	0.007 2	0.013 4	98.47	8.171 6	2 774.91	46.92	145.3 1.4
1 000	8.159 8	0.000 5	0.008 6	0.013 4	98.07	8.002 1	1 968.16	68.80	142.5 1.4
1 100	8.281 4	0.000 6	0.026 3	0.012 9	97.89	8.106 8	1 165.88	81.77	144.2 1.6
1 200	8.180 6	0.000 4	0.015 7	0.013 0	98.49	8.057 3	1 499.16	98.44	143.4 1.4
1 300	9.281 5	0.004 3	0.243 1	0.022 7	86.60	8.039 1	125.85	99.83	143.1 1.9
1 400	13.715 1	0.019 2	0.269 3	0.043 0	58.67	8.048 2	14.87	100.00	143.2 6.1

注: 下标 m 表示样品中测定的同位素比值, 总的年龄=143.1 Ma,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  为放射性  $^{40}\text{Ar}$  与  $^{39}\text{Ar}$  的比值,  $W=46.36$  mg,  $J=0.010 268$ .

口钨铍矿床的黑云母 Ar-Ar 年龄 (~120 Ma, 刘玉平等, 2011) 也是该期构造热事件的反映, 与本文黑云闪长片麻岩和黑云斜长片麻岩的黑云母 Ar-Ar 年龄基本一致, 说明该期次的构造热事件产生的热效应从晚侏罗世持续到早白垩世。

### 6.2 区域成矿规律分析

综合本文和前人的定年结果(表 6), 老君山矿集区主要矿床(点)的时空分布特征可归纳如图 1 所示。在花岗片麻岩区内部, 南秧田等白钨矿矿床是晚

三叠世和晚侏罗世—早白垩世两期成矿作用的结果, 洒西钨铍矿床和上阳坡白云母矿床形成于晚侏罗世—早白垩世; 在花岗片麻岩区的外围, 新寨锡矿砂卡岩的金云母 Ar-Ar 年龄表明其形成于晚三叠世。由此可推断, 产于花岗片麻岩区中部的矿床受到了晚三叠世和晚侏罗世—早白垩世构造热事件的影响; 产于花岗片麻岩区外围的矿床则主要受到印支期区域变质作用的影响, 晚侏罗世—早白垩世构造热事件的影响不明显。与老君山岩体有关的成矿事

表 5 云南老君山矿集区上阳坡伟晶岩脉的围岩(黑云斜长片麻岩)的黑云母(BLJ-LB-2) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 逐步加热分析结果  
Table 5 The  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  step-heating data of biotite (BLJ-LB-2) from the wall rock (biotite plagiogneiss gneiss) of the Shangyangpo pegmatite

$T(^{\circ}\text{C})$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{m}}$	$^{40}\text{Ar}(\%)$	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{39}\text{Ar}$ ( $10^{-14}$ mol)	$^{39}\text{Ar}$ (Cum.) (%)	年龄(Ma)	$\pm 1\sigma$ (Ma)
400	13.165 0	0.020 1	0.093 7	0.021 7	54.82	7.217 7	205.05	3.15	127.1	3.1
500	8.241 4	0.005 2	0.011 6	0.015 3	81.45	6.712 8	258.56	7.11	118.5	2.2
600	7.440 1	0.001 6	0.003 7	0.012 7	93.41	6.949 5	621.57	16.65	122.6	1.5
700	7.160 6	0.000 4	0.003 6	0.012 9	98.38	7.044 7	1 614.86	41.43	124.2	1.8
800	7.035 7	0.000 5	0.002 6	0.013 1	97.97	6.893 1	1 280.27	61.07	121.6	1.3
900	6.971 3	0.000 5	0.009 2	0.014 1	97.83	6.820 1	412.60	67.40	120.4	1.5
1 000	7.035 6	0.000 7	0.014 4	0.015 2	97.13	6.833 9	255.26	71.32	120.6	1.5
1 100	7.056 8	0.000 8	0.007 3	0.013 5	96.73	6.825 8	722.85	82.41	120.5	1.3
1 200	7.114 8	0.000 7	0.007 9	0.013 6	97.12	6.909 6	890.97	96.08	121.9	1.4
1 300	7.179 9	0.001 1	0.023 5	0.014 8	95.50	6.857 0	239.51	99.76	121.0	1.6
1 400	9.185 7	0.014 5	0.123 9	0.038 0	53.39	4.904 5	15.92	100.00	87.4	7.5

注:下标 m 表示样品中测定的同位素比值,总年龄=122.1 Ma, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 为放射性 $^{40}\text{Ar}$ 与 $^{39}\text{Ar}$ 的比值, $W=46.90$  mg, $J=0.010$  116.

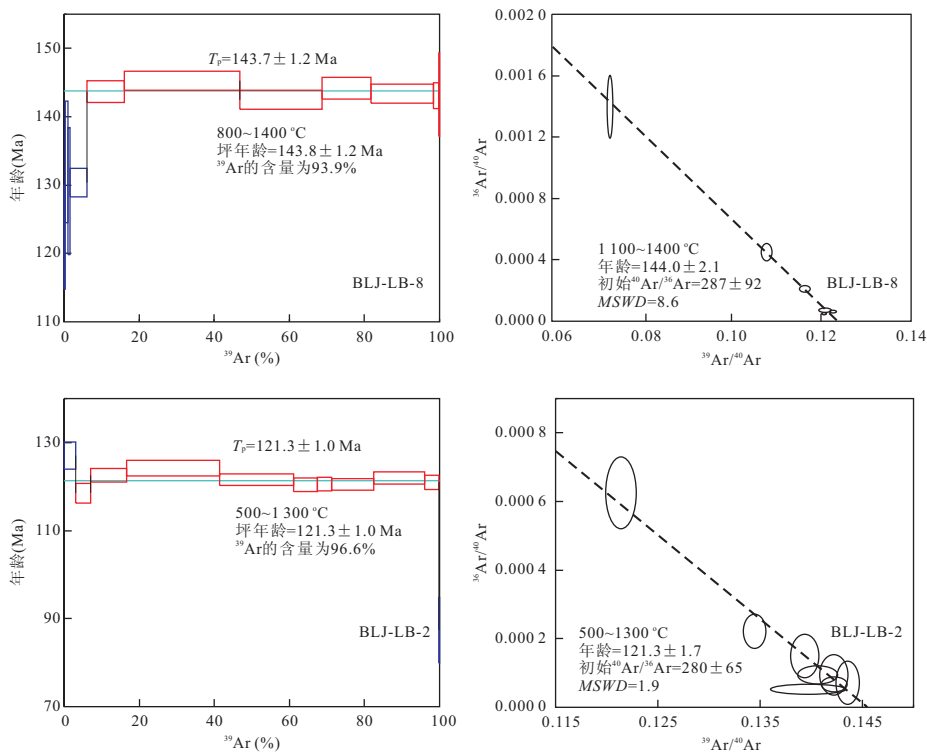


图 8 云南老君山矿集区上阳坡伟晶岩中白云母(BLJ-LB-8)及其围岩中黑云母(BLJ-LB-2) $\text{Ar}-\text{Ar}$ 定年的坪年龄和反等时线  
Fig.8 The  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  plateau age spectra and inverse isochron age spectra for muscovite (BLJ-LB-8) and biotite (BLJ-LB-2) from the Shangyangpo pegmatite and it's wall rock respectively

件发生于晚白垩世,表现出围绕老君山岩体自内向外矿种组合由钨、铍→锡→铅锌→铜变化,即由高温组合向低温组合变化,说明燕山晚期的成矿物质、流体和热量主要来源于老君山岩体所代表的岩浆活动。

由以上分析,可对老君山矿集区的成矿历史描述如下:老君山矿集区的印支期构造热事件以较强

烈的变质作用为主,南秧田矿田中矽卡岩型矿体的H-O和S同位素指示成矿流体为岩浆水(冯佳睿等,2010,2011b),暗示区域或深部存在一定规模的岩浆活动。在210 Ma左右,老君山矿集区的该期构造热事件达到高峰,形成南秧田钨矿田和新寨锡矿床中的矽卡岩型矿体。在晚侏罗世一早白垩世,老君山地区的岩浆活动较晚三叠世明显增强,混合花岗岩

表6 云南老君山矿集区主要地质体的年龄数据

Table 6 The dating results of main geological bodies in the Laojunshan ore concentration area

矿床名称	地质体	定年方法	年龄(Ma)	参考文献
南秧田钨矿	矽卡岩	辉钼矿 Re-Os	209~214	冯佳睿等,2011a
		金云母 Ar-Ar	114~129	谭洪旗等,2011
	长石石英脉	白钨矿 Sm-Nd	159±14	本文
新寨锡矿	矽卡岩	金云母 Ar-Ar	209	冯佳睿等,2011a
花石头钨矿	石英脉	白云母 Ar-Ar	85	刘玉平等,2011
洒西钨铍矿	矽卡岩	金云母 Ar-Ar	120	刘玉平等,2011
都龙锡多金属矿床	矽卡岩	钨石 TIMS U-Pb	80	刘玉平等,2007
保良街伟晶岩	白云母钠长石伟晶岩	白云母 Ar-Ar	141	本文
	黑云闪长片麻岩	黑云母 Ar-Ar	112	本文
上阳坡伟晶岩	白云母钠长石伟晶岩	白云母 Ar-Ar	144	本文
	黑云斜长片麻岩	黑云母 Ar-Ar	121	本文

岩化等区域变质作用从晚侏罗纪一直持续到早白垩纪(蔡德坤,1983),南秧田矿区矽卡岩中的金云母 Ar-Ar 年龄(谭洪旗等,2011)和本文的花岗伟晶岩围岩(黑云闪长片麻岩和黑云斜长片麻岩)的黑云母 Ar-Ar 年龄(表6)均是该期次热事件的反映。在 159±14 Ma,该期岩浆活动达到高峰,形成了南秧田矿田的石英脉型白钨矿体;在 141~144 Ma 左右,区域产出大量花岗伟晶岩脉,部分发生了稀有金属矿化,暗示此时区域构造运动相对减弱,为大量花岗伟晶岩的形成提供了相对封闭和稳定的构造环境(王登红等,2004;李建康等,2007)。在晚白垩世,老君山等滇东南地区发生了爆发式的岩浆活动和成矿作用,在较短的时间内老君山、个旧岩体和薄竹山岩体先后侵位,形成了都龙锡矿、花石头钨矿等矿床。

老君山矿集区 3 期成矿事件可对应南岭成矿带的 3 个成矿高峰期,即晚三叠世(230~210 Ma)、中—晚侏罗世(170~150 Ma)和早—中白垩世(134~80 Ma)(华仁民等,2005;毛景文等,2007;王登红等,2010a),二者具有相似的大地构造环境。老君山矿集区的晚三叠世钨锡成矿作用与南岭东段的赣南鹅仙塘锡矿床(231.0±2.4 Ma,刘善宝等,2008)、南岭中段的南荷花坪锡矿床(224.0±1.9 Ma,蔡明海等,2006)和栗木锡铌矿床(214 Ma,杨锋等,2009)的成矿时代一致;晚侏罗世—早白垩世的钨成矿作用可与南岭东段和中段的钨矿成矿高峰期类比(华仁民和毛景文,1999);晚白垩世的钨锡多金属成矿事件与桂西北大厂锡矿田和桂中大明山钨矿床的成矿时代高度吻合(李水如等,2008;梁婷等,2011)。在 3 期构造热事件中,老君山矿集区的岩浆活动和成矿作用表现出逐渐增强的趋势,晚白垩世的爆发式岩浆活动和成矿作用与南岭西段的成矿

特点有一定的一致性(李建康等,2013)。

### 6.3 对在南岭西段寻找钨矿的指示意义

按照空间和成矿特点,南岭成矿带可以分为西段、中段和东段。南岭成矿带西段的成矿作用集中在晚白垩世,成矿作用以锡矿化为主;南岭中段的成矿作用从印支期开始,大规模成矿持续到晚侏罗世—早白垩世,以多期次成矿作用为特征,形成了大量钨、锡、钼、铋、铅、锌多金属矿床;南岭东段的大规模成矿作用以晚侏罗世为高峰期(李建康等,2013)。而且,自西段向东段,成矿年代逐渐变老(陈毓川,1983)。虽然滇东南老君山矿集区位于南岭西段,但其不仅存在晚白垩世的成矿作用,还存在晚三叠世和晚侏罗世—早白垩世的矿床,矿种组合为钨、锡多金属,与南岭中段和东段的成矿特点有一定的可类比性。

自南岭西段→中段→东段,岩浆岩体出露的规模逐渐变大,岩浆岩从南岭西段主要出露燕山晚期花岗岩,到东段出露大面积加里东期花岗岩,出露地层从早中生代到晚古生代、早古生代演化,赋矿地层从泥盆系向寒武系变化(李建康等,2013)。以上特点说明,自西向东,南岭成矿带的剥蚀程度逐渐增强,与华南地区中生代东高西低的地形具有一定的吻合性(汪品先,1998)。老君山矿集区为一构造穹窿,出露了大面积的寒武系和花岗岩体,不同于滇东南的其他地区主要出露三叠系的特征(图1),也不同于南岭西段以晚古生界至中生界为主的地层组合,说明相对于南岭西段的其他地区,老君山矿集区也遭受了较高级别的剥蚀作用,这可能是老君山矿集区的成矿特征可以与南岭中段和东段类比的主要原因之一。

由以上分析推测,高剥蚀深度可能也是南岭西

段发现南岭东段式的钨矿(即“东钨西扩”,王登红等,2012)的主要原因之一。对比桂西北大厂锡矿田与老君山矿集区的异同,由二者地层的新老和岩体出露规模的大小可以组合成上部“大厂矿田”、下部“老君山矿集区”的模式,即上部以燕山晚期的似层状锡矿体为主,深部除了延续部分燕山晚期的似层状锡矿体(如都龙锡矿)外,还产出晚三叠世和晚侏罗世—早白垩世的钨成矿作用,后者属于广义的成矿“地下室”(王登红等,2010b)。因此,南岭成矿带不但存在东钨西扩的水平分带,还可能存在一定的垂向分带。在今后的找矿工作中,应注意在南岭西段高剥蚀程度的早古生代地层分布区寻找晚三叠世和晚侏罗世—早白垩世的钨锡矿床。

## 7 总结

(1)滇东南的南秧田钨矿田存在多期次成矿,砂卡岩型白钨矿矿体形成于晚三叠世,长石石英脉型白钨矿矿体形成于晚侏罗世,后者与区域花岗伟晶岩同为晚侏罗世—早白垩世岩浆活动的产物,说明区域存在晚侏罗世—早白垩世的构造热和成矿事件。

(2)在区域上,老君山矿集区存在晚三叠世、晚侏罗世—早白垩世和晚白垩世 3 期成矿事件,前两者形成的矿床主要分布在花岗片麻岩区,后者主要与老君山花岗岩体的侵入活动有关。3 期成矿事件与南岭成矿带的 3 个成矿高峰期吻合,且表现出岩浆活动逐渐增强,最后在燕山晚期大规模爆发式侵位的特点。

(3)虽然老君山矿集区位于南岭成矿带西段,但其存在南岭西段少见的晚三叠世和晚侏罗世—早白垩世钨成矿作用,可以与南岭东段和中段的成矿特点类比。较高的剥蚀程度可能是造成这种成矿特点的原因之一。因此,在今后的找矿工作中,应重点评价南岭西段高剥蚀地区的钨找矿潜力。

致谢:作者在野外工作期间,得到了云南省第二地质大队李伟工程师的帮助和云南紫金钨业公司的支持,在文稿撰写过程中,评审专家提出了宝贵意见。在此,一并表示感谢。

## References

Cai, D. K., 1983. Formation, Evolution and Tungsten-Tin Mineralization of Granitoid in Laojunshan, Southeastern Yunnan Province. *Yunnan Geology*, 2(2): 102—113 (in

Chinese).

Cai, M. H., Chen, K. X., Qu, W. J., et al., 2006. Geological Characteristics and Re-Os Dating of Molybdenites in Hehuaping Tin-Polymetallic Deposit, Southern Hunan Province. *Mineral Deposits*, 25(3): 263—268 (in Chinese with English abstract).

Chen, W., Zhang, Y., Ji, Q., et al., 2002. The Magmatism and Deformation Times of the Xidatan Rock Series, East Kunlun Mountain. *Science in China (Series B)*, 45(Suppl.): 20—27. doi:10.3969/j.issn.1674.2002.zl.003

Chen, Y. C., 1983. The Metallogenetic Series of the Rare-Earth, Rare and Nonferrous Metal Deposits Related to the Yanshanian Granites in South China. *Mineral Deposits*, (2): 15—24 (in Chinese with English abstract).

Feng, J. R., Mao, J. W., Pei, R. F., et al., 2011a. 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. *Mineral Deposits*, 30(1): 57—73 (in Chinese with English abstract).

Feng, J. R., Mao, J. W., Pei, R. F., et al., 2011b. Ore-Forming Fluids and Metallogenesis of Nanyangtian Tungsten Deposit in Laojunshan, Southeastern Yunnan Province. *Mineral Deposits*, 30(3): 403—419 (in Chinese with English abstract).

Feng, J. R., Zhou, Z. H., Cheng, Y. B., 2010. Characteristics and Significance of the Fluid Inclusions from the Nanyangtian Tungsten Deposit in Yunnan Province. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(1): 50—58 (in Chinese with English abstract).

Guo, L. G., 2006. Primary Research on Geochemistry and Geochronology of the Laojunshan Metamorphic Core Complex, Southeastern Yunnan (Dissertation). Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang (in Chinese with English abstract).

Hua, R. M., Chen, P. R., Zhang, W. L., et al., 2005. Three Major Metallogenic Events in Mesozoic in South China. *Mineral Deposits*, 24(2): 99—107 (in Chinese with English abstract).

Hua, R. M., Li, G. L., Zhang, W. L., et al., 2010. A Tentative Discussion on Differences between Large-Scale Tungsten and Tin Mineralizations in South China. *Mineral Deposits*, 29(1): 9—22 (in Chinese with English abstract).

Hua, R. M., Mao, J. W., 1999. A Preliminary Discussion on the Mesozoic Metallogenic Explosion in East China. *Mineral Deposits*, 18(4): 300—308 (in Chinese with English abstract).



- Li, D. X., Xu, S. S., 2000. Rotation-Shearing Genesis of Metamorphic Core Complex—Structural Analysis of Metamorphic Core Complex in Laojunshan, Southeastern Yunnan Province. *Geological Review*, 46(2): 113—120 (in Chinese with English abstract).
- Li, H. Q., Xie, C. F., Chang, H. L., et al., 1998. Study on Metallogenetic Chronology of Nonferrous and Precious Metallic Ore Deposits in North Xinjiang, China. Geological Publishing House, Beijing, 10—24 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. K., Wang, D. H., Liang, T., et al., 2013. The Research Progress of Nanling Regional Mineralization and Deep Exploration and Its Indication to Find Tungsten and Tin Deposits in Tibet. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(1): 58—74 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. K., Wang, D. H., Zhang, D. H., et al., 2007. Mineralizing Mechanism and Continental Geodynamics of Typical Pegmatite Deposits in Western Sichuan, China. Atomic Energy Press, Beijing, 59—97 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. R., Wang, D. H., Liang, T., et al., 2008. Metallogenic Epochs of the Damingshan Tungsten Deposit in Guangxi and Its Prospecting Potential. *Acta Geologica Sinica*, 82(7): 873—879 (in Chinese with English abstract).
- Liang, T., Wang, D. H., Hou, K. J., et al., 2011. LA-MC-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Longxianggai Pluton in Dachang of Guangxi and Its Geological Significance. *Acta Petrologica Sinica*, 27(6): 1624—1636 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S. B., Wang, D. H., Chen, Y. C., et al., 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. *Acta Geologica Sinica*, 82(7): 932—940 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. P., Li, Z. X., Li, H. M., et al., 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. *Acta Petrologica Sinica*, 23(5): 967—976 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. P., Li, Z. X., Ye, L., et al., 2011. Ar-Ar Geochronology of Tungsten Mineralization in the Laojunshan Ore Concentration Area, Yunnan Province. *Acta Mineralogica Sinica*, (S1): 617—618 (in Chinese).
- London, D., 2008. Pegmatites. Can Mineral, Special Publication 10, Québec, 347
- Mao, J. W., Xie, G. Q., Guo, C. L., et al., 2007. Large-Scale Tungsten-Tin Mineralization in the Nanling Region, South China: Metallogenic Ages and Corresponding Geodynamic Processes. *Acta Petrologica Sinica*, 23(10): 2329—2338 (in Chinese with English abstract).
- Raimbault, L., Baumer, A., Dubru, M., et al., 1993. REE Fractionation Between Scheelite and Apatite in Hydrothermal Conditions. *American Mineralogist*, 78(11—12): 1275—1285.
- Tan, H. Q., Liu, Y. P., Ye, L., et al., 2011.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Ages of Phlogopite of the Nanyangtian Tungsten and Tin Deposit in Southeastern Yunnan Province, and Its Geological Significance. *Acta Mineralogica Sinica*, (S1): 639—640 (in Chinese).
- Tan, X. H., Li, Z. J., Du, Z. F., 2010. On the Stratoid Scheelite of Kata-Metamorphite in Nanwenhe Area of SE Yunnan. *Yunnan Geology*, 29(4): 382—387 (in Chinese).
- Wang, D. H., Chen, Z. H., Chen, Y. C., et al., 2010a. New Data of the Rock-Forming and Ore-Forming Chronology for China's Important Mineral Resources Areas. *Acta Geologica Sinica*, 84(7): 1030—1040 (in Chinese with English abstract).
- Wang, D. H., Chen, Z. H., Huang, G. C., et al., 2012. Northwards and Westwards Prospecting for Tungsten and Its Significance in South China. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(3): 322—239 (in Chinese with English abstract).
- Wang, D. H., Tang, J. X., Ying, L. J., et al., 2010b. Application of “Five Levels+Basement” Model for Prospecting Deposits into Depth. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 40(4): 733—738 (in Chinese with English abstract).
- Wang, D. H., Zou, T. R., Xu, Z. G., et al., 2004. Advance in the Study of Using Pegmatite Deposits As the Tracer of Orogenic Process. *Advance in Earth Sciences*, 19(4): 614—620 (in Chinese with English abstract).
- Wang, P. X., 1998. Deformation of Asia and Global Cooling: Searching Links between Climate and Tectonics. *Quaternary Sciences*, 3: 213—221 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. K., 1994. Geological-Geochemical Characteristics of Xinzhai Tin Deposit in Malipo. *Yunnan Geology*, 13(1): 1—16 (in Chinese with English abstract).
- Yang, F., Li, X. F., Feng, Z. H., et al., 2009.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Dating of Muscovite from Greisenized Granite and Geological Significance in Limu Tin Deposit. *Journal of Guilin University of Technology*, 29(1): 21—24 (in Chinese with English abstract).
- Zeng, Z. G., Li, Z. Y., Liu, Y. P., et al., 1998. REE Geochemis-

- try of Scheelite of Two Genetic Types from Nanyang-tian, Southeastern Yunnan. *Geology-Geochemistry*, 26(2):34–38 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, L. G., Lan, Y., 1999. Gemological Characteristics and Deposit Geology of Yunnan Emerald. *Acta Mineralogica Sinica*, 19(2): 189–197 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 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. *云南地质*, 2(2): 102–113.
- 蔡明海, 陈开旭, 屈文俊, 等, 2006. 湘南荷花坪锡多金属矿床地质特征及铀钼矿 Re-Os 测年. *矿床地质*, 25(3): 263–268.
- 陈毓川, 1983. 华南与燕山期花岗岩类有关的稀土、稀有、有色金属矿床成矿作用. *矿床地质*, (2): 15–24.
- 冯佳睿, 毛景文, 裴荣富, 等, 2011a. 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. *矿床地质*, 30(1): 57–73.
- 冯佳睿, 毛景文, 裴荣富, 等, 2011b. 滇东南老君山南秧田钨矿床的成矿流体和成矿作用. *矿床地质*, 30(3): 403–419.
- 冯佳睿, 周振华, 程彦博, 2010. 云南南秧田钨矿床流体包裹体特征及其意义. *岩石矿物学杂志*, 29(1): 50–58.
- 郭利果, 2006. 滇东南老君山变质核杂岩地球化学和年代学初步研究(硕士学位论文). 贵阳: 中国科学院地球化学研究所.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等, 2005. 论华南地区中生代 3 次规模成矿作用. *矿床地质*, 24(2): 99–107.
- 华仁民, 李光来, 张文兰, 等, 2010. 华南钨和锡大规模成矿作用的差异及其原因初探. *矿床地质*, 29(1): 9–22.
- 华仁民, 毛景文, 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发. *矿床地质*, 18(4): 300–308.
- 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. *地质论评*, 46(2): 113–119.
- 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等, 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学. 北京: 地质出版社, 10–24.
- 李建康, 王登红, 梁婷, 等, 2013. 南岭区域成矿与深部探测的研究进展及其对西藏钨锡找矿的指示. *地球学报*, 34(1): 58–74.
- 李建康, 王登红, 张德会, 等, 2007. 川西伟晶岩型矿床的形成机制及大陆动力学背景. 北京: 原子能出版社, 59–97.
- 李水如, 王登红, 梁婷, 等, 2008. 广西大明山钨矿区成矿时代及其找矿前景分析. *地质学报*, 82(7): 873–879.
- 梁婷, 王登红, 侯可军, 等, 2011. 广西大厂笼箱盖复式岩体的 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. *岩石学报*, 27(6): 1624–1636.
- 刘善宝, 王登红, 陈毓川, 等, 2008. 赣南崇一余一犹矿集区不同类型含矿石英中白云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年龄及其地质意义. *地质学报*, 82(7): 932–940.
- 刘玉平, 李正祥, 李惠民, 等, 2007. 都龙锡铀矿床锡石和锆石 U-Pb 年代学: 滇东南白垩纪大规模花岗岩成岩—成矿事件. *岩石学报*, 23(5): 967–976.
- 刘玉平, 李正祥, 叶霖, 等, 2011. 滇东南老君山矿集区钨成矿作用 Ar-Ar 年代学. *矿物学报*, (S1): 617–618.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等, 2007. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用: 成矿时限及地球动力学背景. *岩石学报*, 23(10): 2329–2338.
- 谭洪旗, 刘玉平, 叶霖, 等, 2011. 滇东南南秧田钨锡矿床金云母<sup>40</sup>Ar-<sup>30</sup>Ar 定年及意义. *矿物学报*, (S1): 639–640.
- 谭筱虹, 李志均, 杜再飞, 2010. 滇东南南温河地区深变质岩中似层状白钨矿. *云南地质*, 29(4): 382–387.
- 王登红, 陈郑辉, 陈毓川, 等, 2010a. 我国重要矿产地成岩成矿年代学研究新数据. *地质学报*, 84(7): 1030–1040.
- 王登红, 陈郑辉, 黄国成, 等, 2012. 华南“南钨北扩”、“东钨西扩”及其找矿方向探讨. *大地构造与成矿学*, 36(3): 322–239.
- 王登红, 唐菊兴, 应立娟, 等, 2010b. “五层楼+地下室”找矿模型的适用性及其对深部找矿的意义. *吉林大学学报(地球科学版)*, 40(4): 733–738.
- 王登红, 邹天人, 徐志刚, 等, 2004. 伟晶岩矿床示踪造山过程的研究进展. *地球科学进展*, 19(4): 614–620.
- 汪品先, 1998. 亚洲形变与全球变冷——探索气候与构造的关系. *第四纪研究*, 3: 213–221.
- 王学焜, 1994. 麻栗坡新寨锡矿床地质地球化学特征. *云南地质*, 13(1): 1–16.
- 杨锋, 李晓峰, 冯佐海, 等, 2009. 栗木锡矿云英岩化花岗岩白云母<sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar 年龄及其地质意义. *桂林工学院学报*, 29(1): 21–24.
- 曾志刚, 李朝阳, 刘玉平, 等, 1998. 滇东南南秧田两种不同成因类型白钨矿的稀土元素地球化学特征. *地质地球化学*, 26(2): 34–38.
- 张良钜, 兰延, 1999. 云南祖母绿的矿床地质及宝石学特征. *矿物学报*, 19(2): 189–197.