

# “三江”云龙锡(钨)成矿带晚白垩世二云母花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义

廖世勇, 王冬兵, 唐 渊, 尹福光, 孙志明, 孙 洁

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

**摘 要:** 云龙成矿带位于西南“三江”中段, 是该区重要的锡(钨)矿集区。本文利用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年方法, 对带内与成矿相关的二云母花岗岩进行了年龄测试, 获得成岩年龄为  $72.2 \pm 0.8$  Ma (MSWD = 1.9), 属晚白垩世。这是在保山地块首次发现确凿的晚白垩世岩浆岩, 表明保山地块经受了该时期构造-岩浆活动的影响。通过锆石微量元素和主微量地球化学特征分析, 认为其应属 S 型花岗岩。结合区域地质背景, 认为云龙成矿带该期花岗岩可能与腾冲地块晚白垩世 S 型花岗岩形成于一致的动力学背景, 为新特提斯东向俯冲过程中内陆增厚地壳熔融的产物。本次报道的晚白垩世 S 型花岗岩与成矿带内一期重要成矿期次时代一致。结合前人研究资料认为, 云龙成矿带内三期主要的成矿事件均有同期构造-岩浆事件对应, 其中早、晚白垩世成矿活动与同期花岗岩体侵入紧密相关, 而新生代成矿活动则与崇山剪切带走滑活动关系密切。这表明本区锡(钨)矿床经历了多期成矿过程, 岩浆侵入活动和构造相关混合岩化对矿床形成均有贡献, 单一的成因机制(花岗岩相关或混合岩化)可能无法合理解释本区矿床的成因。

**关键词:** 西南“三江”; 保山地块; 云龙成矿带; 晚白垩; 花岗岩; 锆石 U-Pb 定年

中图分类号: P597; P588.12<sup>+1</sup>

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2013)04-0450-13

## LA-ICP-MS U-Pb age of two-mica granite in the Yunlong tin-tungsten metallogenic belt in Three River region and its geological implications

LIAO Shi-yong, WANG Dong-bing, TANG Yuan, YIN Fu-guang, SUN Zhi-ming and SUN Jie  
(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** Located in the middle segment of the Three River region, the Yunlong metallogenic belt is considered to be connected with the Southeast Asian giant tin belt. The authors performed LA-ICP-MS zircon U-Pb analysis of two-mica granite closely related to tin mineralization, and got a Late Cretaceous emplacement age of  $72.2 \pm 0.8$  Ma (MSWD = 1.9). This is the first discovery of convincing Late Cretaceous magmatism in Baoshan terrane. The two-mica granitoid in Yunlong tin metallogenic belt was emplaced in a tectonic setting identical with the setting of the Tengchong terrane, and could represent the melting products of thickened crust in the hinterland in response to the eastward subduction of the Neo-Tethys. The emplacement age of the two-mica granite reported here is synchronous with an important tin metallogenic period in the Yunlong tin metallogenic belt. These data, combined with previous reports, suggest that the three important metallogenic periods in the belt corresponded respectively to contemporaneous tectonomagmatic events. That is, the Early and Late Cretaceous ones were closely related to granitoid emplacement, whereas the Cenozoic one was related to the strike-slip shearing of the Chongshan shear zone. The genesis of tin deposits in the Yunlong tin metallogenic belt can hardly be explained

收稿日期: 2013-03-26; 修订日期: 2013-06-02

基金项目: 国家自然科学基金(41202048, 41202067); 中国地质调查局综合研究资助项目(12120113049100, 1212011220412)

作者简介: 廖世勇(1983-), 男, 博士, 工程师, 岩石学研究方向, E-mail: liaosy@hotmail.com.

by one single model (granite-related magmatic-hydrothermal or migmatitic-hydrothermal model). Granitic magmatism and tectonic-related migmatism had both contributed to the formation of tin deposits, but they played different roles in different metallogenic periods.

**Key words:** Three River region; Baoshan terrane; Yunlong metallogenic belt; Late Cretaceous; granite; zircon U-Pb dating

云龙成矿带位于保山地块北缘(图 1),是滇西著名的锡(钨)成矿带(施琳,1989;罗君烈,1991)。区内重要的矿床包括铁厂锡矿、石缸河钨锡矿、志本山

锡矿和五叉树钨锡矿等中小型矿床。目前学术界对于这些矿床的成因一直存在争议,主要可分为两种观点:一种认为云龙成矿带内锡(钨)矿床与花岗岩

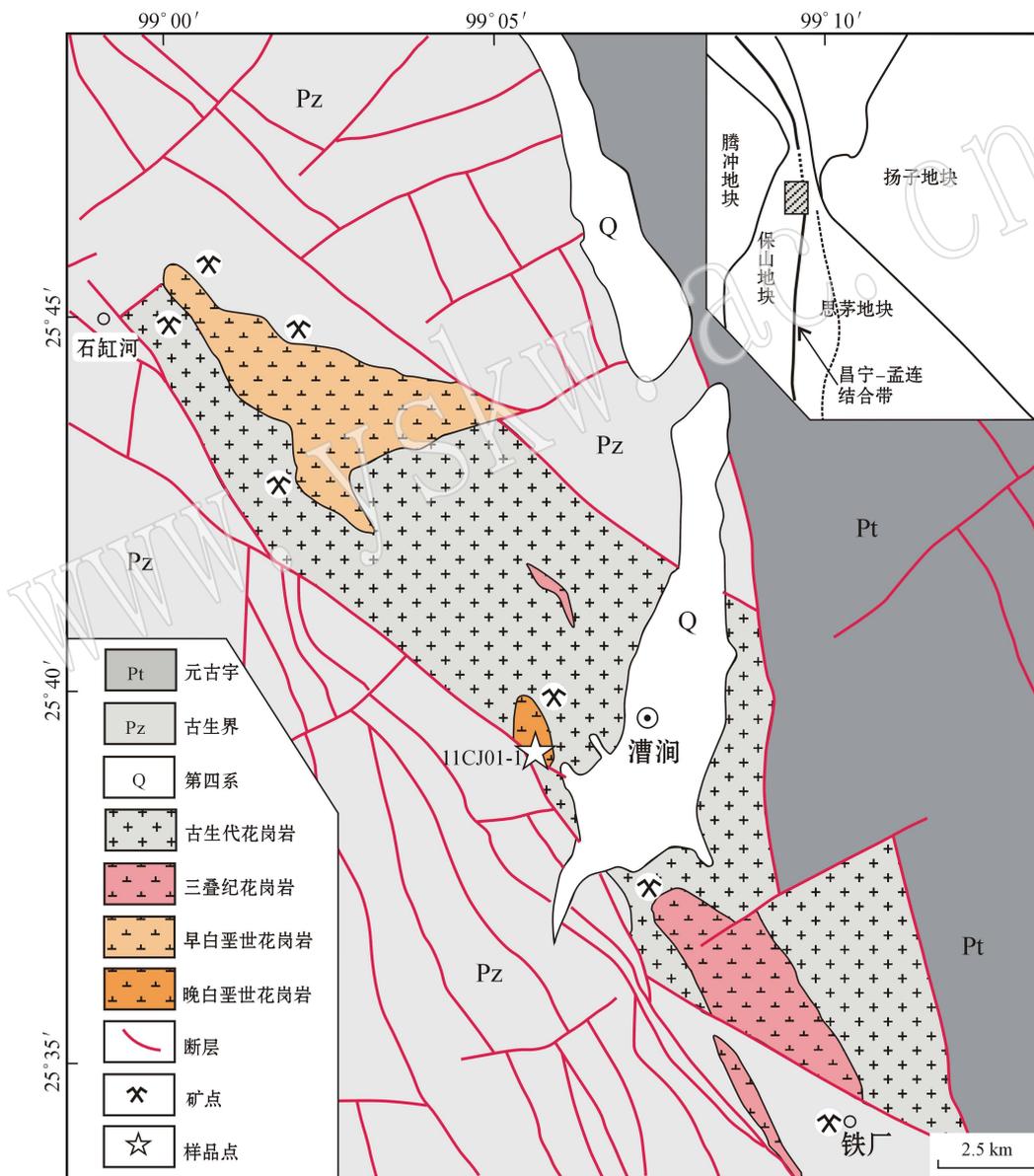


图 1 滇西云龙矿带地质简图(修改自 1:25 万大理幅地质图<sup>①</sup>)

Fig. 1 Simplified geological map of the Yunlong metallogenic belt, western Yunnan (modified after 1:250 000 Geological Map of Dali<sup>①</sup>)

① 云南省地质调查院, 2004. 1:25 万大理幅区域地质图及调查报告.

紧密相关,为岩浆期后高-中温热液矿床,地层仅提供了部分成矿物质(林文信, 1984; 张位及, 1984; 邹树, 1985; 李光勋, 1986; Zou *et al.*, 1988; 刘伟宁等, 1988; 张文源, 1989a, 1989b, 1996a, 1996b; 罗君烈, 1991); 另一种观点认为该区锡(钨)矿床不同于传统类型的与花岗岩相关的矿床,而是与变质变形导致的混合岩化作用有关,为高-中温深成热液混合岩化矿床,成矿物质主要来自地层(王根等, 1984; 胡泽宁, 1985, 1988; 毕助周, 1986; 陆建军等, 1989; 于际民等, 2002; Yu and Jiang, 2003; Jiang *et al.*, 2004)。这两种观点的一个重要差异在于,前者强调成矿同期花岗岩在区内有较广泛的出露或隐伏,而后者认为区内并无重要的成矿同期花岗岩体,强调了构造相关混合岩化的作用。然而到目前为止,区内花岗岩可靠的年代学工作仍然十分匮乏(邹树, 1985; 陆建军等, 1989; 张文源, 1989a),非常有必要进一步精确厘定出露岩体的形成时代,从而为解决上述成因争议提供可靠资料。本文对区内与成矿相关岩体进行了年代学研究,识别出了区内与成矿相关的晚白垩世S型花岗岩体。结合前人研究工作对该期岩浆活动的成因、形成动力学背景及其对建立矿床成因模式的意义进行了探讨。

## 1 地质背景及样品特征

云龙成矿带位于保山地块北段,昌宁-孟连结合带西侧(图1)。区内出露地层主要为前寒武崇山群变质岩系和未变质的古生界地层。前者主要位于研究区东侧,总厚度大于4 000 m,岩性主要分为上下两段,下段为混合岩化变粒岩、片岩、片麻岩和混合岩;上段主要为大理岩和片岩、板岩互层,并有长石脉、伟晶岩脉贯入(张位及, 1984; 毕助周, 1986)。古生界出露于本区西侧,主要包括寒武系沙河厂组、奥陶系浦缥组、泥盆系何元寨组和泥盆系铺门前组。岩性复杂,包括灰岩、泥灰岩、泥岩、粉砂岩、砂岩等,基本未受变质作用影响<sup>①</sup>。区内构造复杂,断裂极为发育,具多期活动特征,以北西向为主,也发育东北向次级断裂,控岩控矿明显(毕助周, 1986; 张文源, 1990)。区内岩浆活动较为发育,已发现的锡(钨)矿床(点)在空间分布上,明显与花岗岩有关。其规律是,矿带与花岗岩带相伴,均呈北西向延展,并受温泉断裂带控制;矿体沿花岗岩体内外接触带赋存,不同矿化围绕岩体呈带状分布(张位及, 1984; 李光勋, 1986; Zou *et al.*, 1988; 张文源, 1989a, 1990)。前人根据同位素年龄及接触关系,将区内花岗岩分

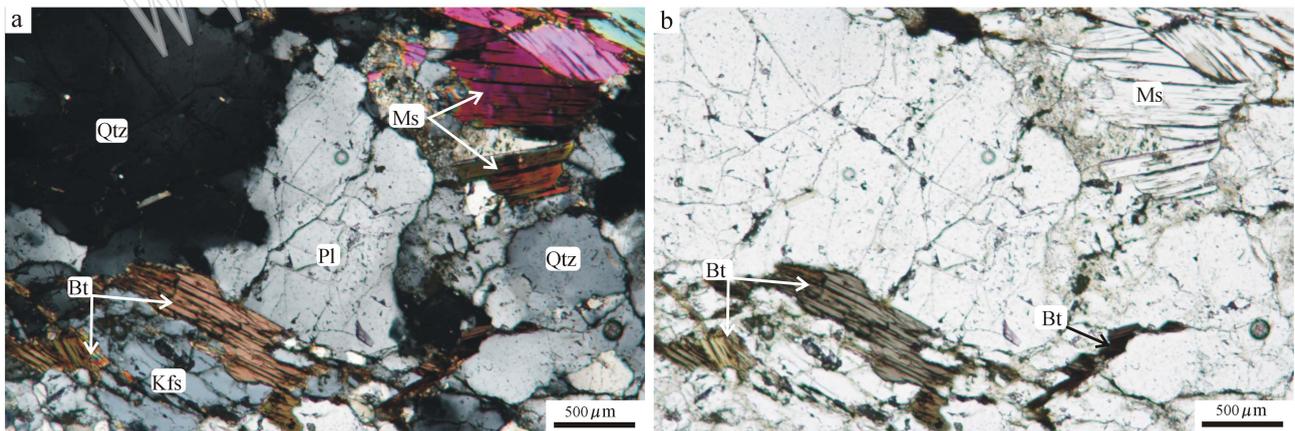


图2 云龙矿带二云母花岗岩代表性样品镜下照片(a为正交偏光, b为单偏光)

Fig. 2 Crossed nicols (a) and plainlight (b) photomicrographs of representative samples from Yunlong two-mica granite

Qtz—石英; Pl—斜长石; Kfs—钾长石; Bt—黑云母; Ms—白云母

Qtz—quartz; Pl—plagioclase; Kfs—K-feldspar; Bt—biotite; Ms—muscovite

① 云南省地质调查院, 2004. 1:25万大理幅区域地质图及调查报告.

为四期：加里东片麻状花岗岩，出露于志本山岩体西南部；燕山早期中粗粒黑云母（二云母）花岗岩，出露于志本山、称勾山、秧田边、光山；燕山晚期中细粒二云母花岗岩，出露于志本山等地；喜山期细粒白云母花岗岩，出露于石缸河、称勾山、李子坪等地（张文源，1989a, 1990, 1996a）。然而，由于精确年代学资料缺乏，上述岩浆岩期次划分在时代上存在较大误差（见后文分析）。

本次研究的岩体位于漕涧镇西侧扯火坡，北侧有锡矿点出露，前人将其划分为三叠纪二长花岗岩<sup>①</sup>。岩体面积约 1.2 km<sup>2</sup>，呈小岩株状侵入古生代花岗岩中，但由于风化覆盖严重，野外未见侵入接触关系。岩石具片麻构造，风化较弱，岩性为浅灰色中细粒二云母二长花岗岩。岩石矿物组合（体积分数）为斜长石（20%~25%）、钾长石（25%~30%）、石英（30%~35%）、黑云母（3%~5%）和白云母（3%~5%）（图 2）。斜长石主要为自形板状或略呈透镜状，内部裂纹发育，部分见聚片双晶发育。钾长石呈板状，半自形或他形，部分边部可见石英文象出溶。长石内部多有泥化和白云母化蚀变。石英自形程度普

遍好于钾长石，甚至可见其呈粒状被自形斜长石和半自形-他形钾长石包裹，呈浑圆状或他形溶蚀。同时部分石英边部可见文象钾长石出溶。石英亚颗粒化明显，波状消光。黑云母和白云母自形程度相近，均为半自形或他形填隙状。黑云母单偏光下呈棕褐色，多色性明显。白云母的出现表明，岩体应为过铝质。此外，还有少量副矿物如锆石和磷灰石等。

岩体具有高的 SiO<sub>2</sub> 含量（74.62% 质量分数），与镜下观察到的高石英含量一致。此外还具有较高的 K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O 含量（K<sub>2</sub>O=4.65%；Na<sub>2</sub>O=2.68%），显示富 K<sub>2</sub>O 特征（K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O=1.7）。样品为过铝质（A/CNK=1.18），标准矿物计算中均出现刚玉分子（2.37%）（表 1），也与镜下观察到白云母指示矿物一致，表明样品处于铝饱和状态。样品具有强的 Eu 和 Sr 负异常（Eu\* = 0.15, Sr\* = 0.05）（表 1）。岩体上述特征与传统的 S 型花岗岩特征非常类似，然而考虑到样品数据有限，无法分析其演化趋势，因而不能排除其为高演化的 I 型花岗岩类（Chappell, 1999），但可与 A 型花岗岩类明显区别（如 HFSE 含量）（Eby, 1990）。

表 1 云龙矿带二云母花岗岩的岩石化学成分及 CIPW 标准矿物

Table 1 Chemical compositions and CIPW Norms of samples from Yunlong two-mica granite

样号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Total	A/CNK
D1684	74.62	0.11	13.03	1.31	1.8	0.05	0.22	0.86	2.68	4.65	0.16	0.98	100.01	1.18
样号	Ba	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Th	U	Zn	Cu	Ni	V	Cr	Co
D1684	41.13	375	10.01	23.1	69.3	15.2	11.4	6.12	55.95	14.23	7.98	9	27.64	3.37
样号	Hf	Ta	Sc	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
D1684	3.21	0.8	13.4	12.2	21.7	2.87	8.86	2.33	0.13	2.89	0.5	5.08	0.91	2.49
样号	Tm	Yb	Lu	Eu*	Sr*	Q	Or	Ab	An	C	Hy	Mt	Il	Ap
D1684	0.3	1.77	0.19	0.15	0.05	38.71	27.65	22.77	3.35	2.37	2.69	1.91	0.21	0.35

注：主量元素单位为 w<sub>B</sub>/%，微量元素单位为 w<sub>B</sub>/10<sup>-6</sup>，原始数据据云南省地质调查院（2004）<sup>①</sup>。

## 2 分析测试方法

本次工作采集了二云母二长花岗岩样品，并从中分选出锆石进行定年。样品点位于漕涧至六库新公路旁，具体见图 1。锆石的分选工作在河北省区域地质矿产调查研究所完成。先将岩石样品粉碎至能全部通过 0.3 mm 孔径筛，再用浮选和电磁选方法进行分离，然后在双目镜下挑选出透明度和晶形较好的锆石颗粒。选择晶型较好，无裂隙、无明显包裹

体的锆石颗粒粘贴在环氧树脂表面制成锆石样品靶。将锆石靶打磨去掉约 1:3~1:2 锆石厚度（锆石长轴平行靶平面）后对其抛光至锆石表面平整、光滑，然后对锆石进行反射光、透射光显微照相和阴极发光（CL）图像分析。锆石阴极发光显微照相在西北大学大陆动力学国家重点实验室的扫描电镜 + Gata 公司 MonocL3 + 型阴极荧光探头上完成，分析电压为 15 kV，电流为 19 nA。

根据锆石透、反射光及 CL 图像，尽量避开锆石内部的包裹体、裂隙，选择代表性的锆石颗粒和区域

① 云南省地质调查院，2004，1:25 万大理幅区域地质图及调查报告。

进行 U-Pb 测年和微量元素分析。锆石微量元素含量和 U-Pb 同位素定年在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室(GPMR)利用 LA-ICP-MS 同时分析完成,斑束直径  $32\ \mu\text{m}$ 。激光剥蚀系统为 GeoLas 2005, ICP-MS 为 Agilent 7500a。激光剥蚀过程中使用氦气作载气、氩气作为补偿气以调节灵敏度,二者在进入 ICP 之前通过一个 T 型接头混合。在等离子体中心气流(Ar+He)中加入了少量氮气,以提高仪器灵敏度、降低检出限和改善分析精密性(Hu *et al.*, 2008)。每个时间分辨分析数据包括大约 20~30 s 的空白信号和 50 s 的样品信号。

U-Pb 同位素定年中采用锆石标准 91500 作外标进行同位素分馏校正,每分析 5 个样品点,分析 2 次 91500。对于与分析时间有关的 U-Th-Pb 同位素比值漂移,利用 91500 的变化采用线性内插的方式进行了校正(Liu *et al.*, 2010a)。锆石标准 91500 的 U-Th-Pb 同位素比值推荐值据 Wiedenbeck 等(1995)。锆石微量元素含量利用多个 USGS 参考玻璃(BCR-2G, BIR-1G)作为多外标、Si 作内标的方法进行定量计算(Liu *et al.*, 2010a),这些 USGS 玻璃中元素含量的推荐值据 GeoReM 数据库。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICPMSDataCal(Liu *et al.*, 2008, 2010a)完成。详细的仪器操作条件和数据处理方法同文献(Liu *et al.*, 2008, 2010a, 2010b)。锆石样品的 U-Pb 年龄谐和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot 3.0(Ludwig, 2003)完成。

### 3 分析结果

样品中锆石粒度中等,多呈自形、半自形短柱状,长短轴比通常小于 2。在透、反射光下多呈无色半透明-透明状。锆石的阴极发光图像如图 3 所示。从图中可以看到,锆石内部形态大多较为一致,无明显继承核,内部结构均一,边部振荡环带发育,具典型岩浆成因锆石特征。选择其中较为典型的锆石进行了 U-Pb 年龄和微量元素测定,分析结果分别列于表 2 和表 3。从表 2 可以看到,绝大多数分析点均具

有较高的 Th( $123.9 \times 10^{-6} \sim 433.9 \times 10^{-6}$ ) U( $552.2 \times 10^{-6} \sim 8\ 733.6 \times 10^{-6}$ )含量和相对较高的 Th/U 比值,大多高于 0.1,与典型的岩浆锆石类似。少数锆石表观年龄与其他锆石无明显差异,但在阴极发光图像中明显更暗(如点 5.1、7.1),且环带发育程度更低(图 3 表 2),从这些锆石相对较高的 Th、U 含量来看,认为正是 Th、U 含量差别造成这些锆石内部结构与其他锆石存在一定差异。此外,点 19.1 和 20.1 显示较为特征的核-边结构,但二者年龄在误差范围内无法区分,这种核-边结构可能仅反映了锆石在短暂成岩演化中的多阶段生长过程。在 U-Pb 年龄谐和图上(图 4),除 3 个谐和度较低点(2.1、8.1、10.1)外,其余 21 个测试点都分布在谐和线上或附近,其加权平均年龄为  $72.2 \pm 0.8\ \text{Ma}$ (MSWD = 1.9,  $n = 21$ ),可以代表岩体的形成时代。

锆石稀土元素含量见表 3,配分曲线见图 5。可以看出,除 1 个分析点外(点 11CJ01-1-23),其余样品显示非常一致的左倾配分型式。锆石稀土总量( $\Sigma\text{REE}$ )为  $378.8 \times 10^{-6} \sim 2\ 689.2 \times 10^{-6}$ (平均  $874.3 \times 10^{-6}$ ),具强的负 Eu 异常( $\delta\text{Eu} = 0.04 \sim 0.18$ , 平均 0.11)和较强的正 Ce 异常( $\delta\text{Ce} = 1.0 \sim 137.1$ , 平均为 49.3)(表 2)。点 11CJ01-1-23 的表观年龄与总体一致,但显示明显的中-轻稀土的富集,同时无 Ce 异常,与其余点明显不同。在分析了原始数据后发现,这种特征为击穿磷灰石包裹体造成。由于磷灰石具有低的 Th、U 含量,因此未对年龄值产生明显影响(表 2)。

## 4 讨论

### 4.1 岩体侵位时代和成因类型

前人对本岩体的时代并未进行过详细工作,而仅利用岩相对比认为其属于三叠纪花岗岩<sup>①</sup>。然而,通过详细分析发现这种划分并无充分依据。首先,岩性对比的基础并不成立。用作与岩体对比的临沧岩基北段位于保山地块南部,其时代为三叠纪,但岩性为黑云二长花岗岩和角闪黑云二长花岗岩,与本次研究岩体的二云母二长花岗岩差异明显<sup>②</sup>。其次,即便岩性可以对比,其也未必能作为时代划分依据。以本带中石缸河东志本山花岗岩为例(图 1),其主体

① 云南省地质调查院, 2004. 1:25 万大理幅区域地质图及调查报告。

② 云南省地质调查院, 2008. 1:25 万凤庆县幅区域地质图及调查报告。

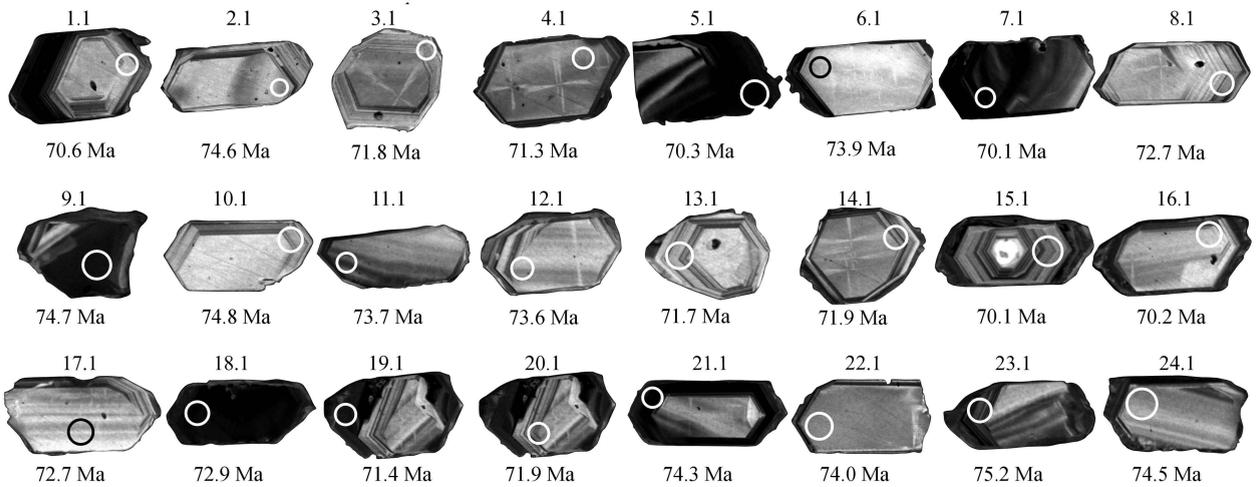


图 3 云龙矿带二云母花岗岩锆石 CL 照片(图中圆圈为测年点位, 直径均为 32 μm)

Fig. 3 CL images of zircon grains for Yunlong two-mica granite (the solid circles in 32 μm diameter represent the locations of U-Pb age analyses)

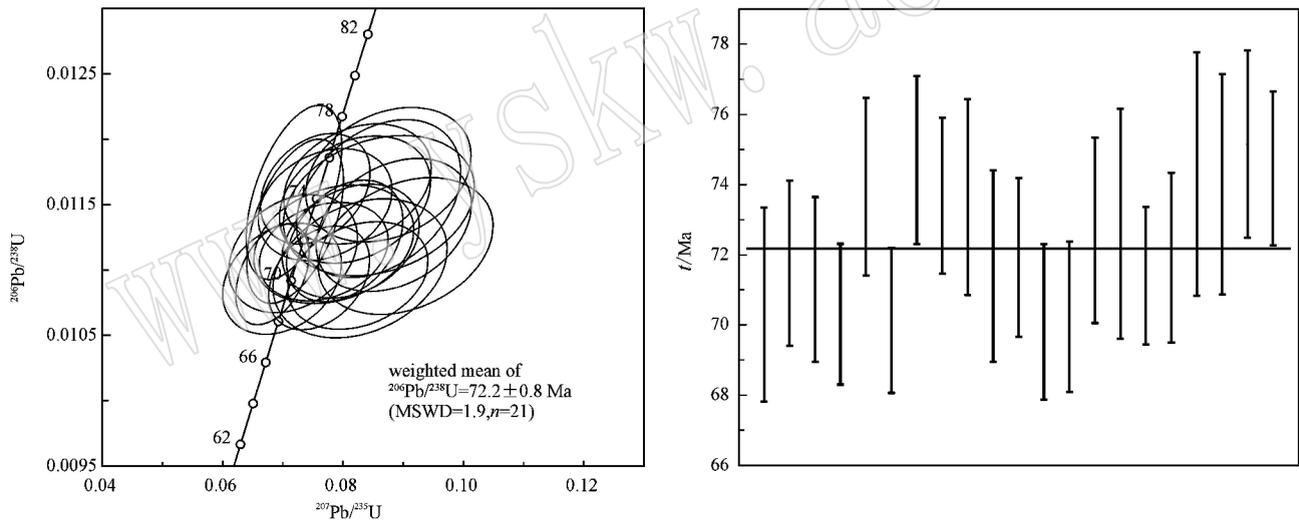


图 4 云龙矿带二云母花岗岩锆石 U-Pb 测年结果

Fig. 4 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia plots and recalculated weighted mean  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ages for Yunlong two-mica granite

岩性也为黑云母二长花岗岩,因而被划分为三叠纪花岗岩<sup>①</sup>,但最近精确定年工作表明,黑云母二长花岗岩的形成时代为早白垩世(~129 Ma)(陶琰等, 2009),而非三叠纪。本文对本岩体的精确年代学工作也表明,其侵位时代为晚白垩世,而非前人认为的三叠纪。这是保山地块内部首次识别出的可靠的该时期岩浆活动。

Wang 等(2012)对青藏高原中生代到新生代的大量 I 型和 S 型花岗岩锆石微量元素特征进行了统计研究,发现二者在  $\text{Eu}$  异常,  $\text{Nb}/\text{Pb}$  比值,  $\text{Pb}$ 、 $\text{Th}$  含量等方面存在系统差异,并以此为依据,利用微量元素对碎屑锆石源区进行了成功示踪。在前文中提及,本次工作的二云母花岗岩在多种特征上与 S 型花岗岩类似,但无法排除为高演化的 I 型花岗岩类。

① 云南省地质调查院. 2004. 1:25 万大理幅区域地质图及调查报告.

表 2 云龙矿带二云母花岗岩锆石 U-Pb 定年数据  
Table 2 LA-ICP-MS U-Pb dating results of zircons from Yunlong two-mica granite

样品号	$w_B/10^{-6}$				Th/U	同位素比值				年龄/Ma				备注		
	Pb	Th	U	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 $\sigma$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 $\sigma$
1.1	11.4	146.1	564.2	0.26	0.0549	0.0038	0.0830	0.0059	0.0110	0.0002	80.9	5.5	70.6	1.4		
2.1	13.1	123.9	586.0	0.21	0.0712	0.0067	0.1092	0.0089	0.0116	0.0003	105.3	8.1	74.6	2.1		
3.1	13.9	155.1	738.6	0.21	0.0521	0.0038	0.0787	0.0054	0.0112	0.0002	76.9	5.1	71.8	1.2		
4.1	23.9	309.7	1213.3	0.26	0.0473	0.0029	0.0720	0.0043	0.0111	0.0002	70.6	4.1	71.3	1.2		
5.1	86.3	336.1	8733.6	0.04	0.0448	0.0016	0.0685	0.0025	0.0110	0.0002	67.3	2.3	70.3	1.0		
6.1	19.2	226.8	915.4	0.25	0.0519	0.0033	0.0822	0.0051	0.0115	0.0002	80.2	4.8	73.9	1.3		
7.1	46.4	265.3	3883.6	0.07	0.0503	0.0023	0.0762	0.0034	0.0109	0.0002	74.6	3.2	70.1	1.0		
8.1	11.7	124.8	598.4	0.21	0.0764	0.0058	0.1157	0.0082	0.0113	0.0002	111.2	7.4	72.7	1.6		
9.1	23.8	132.5	1846.1	0.07	0.0526	0.0032	0.0826	0.0050	0.0117	0.0002	80.6	4.7	74.7	1.2		
10.1	11.2	125.6	552.2	0.23	0.0653	0.0047	0.1023	0.0072	0.0117	0.0002	98.9	6.6	74.8	1.6		
11.1	25.3	276.2	1338.1	0.21	0.0486	0.0028	0.0772	0.0045	0.0115	0.0002	75.5	4.3	73.7	1.1		
12.1	16.4	184.7	742.1	0.25	0.0534	0.0037	0.0861	0.0064	0.0115	0.0002	83.9	6.0	73.6	1.4		
13.1	12.8	156.0	653.0	0.24	0.0591	0.0037	0.0905	0.0059	0.0112	0.0002	88.0	5.5	71.7	1.4		
14.1	21.8	239.6	1115.2	0.21	0.0534	0.0032	0.0815	0.0046	0.0112	0.0002	79.5	4.3	71.9	1.1		
15.1	23.1	178.6	1630.3	0.11	0.0465	0.0026	0.0701	0.0040	0.0109	0.0002	68.8	3.8	70.1	1.1		
16.1	17.8	216.4	855.6	0.25	0.0557	0.0032	0.0827	0.0047	0.0110	0.0002	80.7	4.4	70.2	1.1		
17.1	21.3	269.8	921.2	0.29	0.0577	0.0035	0.0886	0.0052	0.0113	0.0002	86.2	4.9	72.7	1.3		
18.1	84.7	433.9	8496.2	0.05	0.0458	0.0018	0.0723	0.0033	0.0114	0.0003	70.9	3.1	72.9	1.6		
19.1	24.7	287.4	1236.4	0.23	0.0496	0.0027	0.0770	0.0043	0.0111	0.0002	75.4	4.1	71.4	1.0		
20.1	34.1	150.5	3319.4	0.05	0.0520	0.0024	0.0805	0.0039	0.0112	0.0002	78.6	3.7	71.9	1.2		
21.1	56.0	345.9	5039.7	0.07	0.0451	0.0017	0.0721	0.0032	0.0116	0.0003	70.7	3.0	74.3	1.7		
22.1	16.7	209.9	811.0	0.26	0.0552	0.0038	0.0860	0.0055	0.0115	0.0002	83.8	5.2	74.0	1.6		
23.1	24.3	311.5	775.1	0.40	0.0549	0.0037	0.0876	0.0056	0.0117	0.0002	85.3	5.2	75.2	1.3		
24.1	26.4	257.1	1426.6	0.18	0.0473	0.0023	0.0757	0.0037	0.0116	0.0002	74.0	3.5	74.5	1.1		

$w_B/10^{-6}$ 

表3 云龙矿带二云花岗岩锆石的微量元素含量  
Table 3 REE data of zircon from Yunlong two-mica granite

点号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Nb	$\delta Eu$	$\delta Ce$	$\Sigma REE$
1.1	0.017	30.5	0.04	0.42	1.60	0.75	8.6	3.04	37.5	15.9	85.2	21.1	250.5	58.7	2.3	0.18	137.1	450.5
2.1	0.030	0.8	0.03	1.12	3.73	0.06	31.1	15.39	224.2	96.1	479.9	106.7	1021.1	196.4	1.7	0.13	-	440.6
3.1	0.001	24.5	0.02	0.52	1.18	0.60	8.5	3.15	43.4	18.3	97.3	24.3	268.0	60.7	2.3	0.11	77.7	463.9
4.1	0.033	26.0	0.05	0.80	1.86	1.22	14.7	5.68	72.2	30.7	155.1	37.6	413.7	96.7	2.2	0.11	6.8	809.1
5.1	0.028	32.6	0.12	1.63	4.31	2.46	28.0	9.96	121.8	46.4	222.8	49.2	507.7	105.2	18.9	0.05	17.3	2689.2
6.1	0.042	36.2	0.06	1.44	2.64	1.59	15.8	5.36	64.4	25.8	125.8	29.6	309.3	67.0	2.9	0.16	-	626.4
7.1	0.011	30.4	0.03	1.09	2.43	1.17	12.5	4.27	49.5	20.3	101.5	24.7	263.8	59.5	10.0	0.04	41.6	1418.0
8.1	0.000	71.5	0.09	1.79	4.72	2.30	29.8	9.79	117.6	45.5	209.8	46.3	460.8	96.5	2.0	0.15	55.1	389.3
9.1	0.058	21.4	0.04	0.71	1.40	0.62	9.0	3.49	46.9	21.0	109.3	27.3	307.1	72.1	2.6	0.14	25.7	854.5
10.1	0.000	3.5	0.01	0.11	0.55	0.49	8.5	4.05	65.5	30.1	160.7	38.3	395.7	84.1	1.8	0.16	-	378.8
11.1	0.042	49.4	0.40	6.34	11.90	5.25	64.6	19.61	216.5	78.1	345.2	72.6	693.3	133.3	4.5	0.10	59.1	808.1
12.1	0.076	10.3	0.02	0.56	1.36	1.01	9.6	3.74	51.1	22.0	119.6	29.4	319.1	71.4	2.6	0.18	85.9	536.8
13.1	0.000	0.6	0.00	0.05	0.19	0.11	2.8	1.44	22.2	9.9	50.1	11.5	111.5	22.1	2.2	0.15	36.1	412.0
14.1	0.589	9.4	0.28	1.76	1.82	0.45	9.4	3.39	44.3	18.8	92.1	21.0	214.8	43.7	3.7	0.12	69.0	674.2
15.1	0.012	32.1	0.04	1.10	2.75	1.53	17.3	6.34	78.5	32.2	157.3	36.0	375.4	80.3	4.4	0.09	-	711.3
16.1	0.035	1.7	0.24	4.27	6.40	0.02	13.7	2.61	18.4	4.0	12.1	1.8	13.7	2.2	1.9	0.11	39.2	575.6
17.1	0.014	27.7	0.04	0.64	1.33	0.64	8.2	2.80	34.3	14.6	74.6	18.7	214.0	50.2	2.2	0.12	26.7	645.9
18.1	0.042	21.3	0.06	0.38	0.98	0.70	6.2	2.35	28.0	11.9	61.8	15.4	177.7	42.0	17.3	0.05	39.5	1955.9
19.1	0.000	17.5	0.04	0.48	0.89	0.47	5.5	1.85	24.0	10.7	58.7	15.5	181.0	45.2	2.8	0.15	57.4	777.1
20.1	0.003	35.3	0.11	1.83	3.73	1.79	18.7	6.28	74.8	29.9	150.8	36.7	395.6	88.7	6.7	0.06	-	1166.5
21.1	0.012	16.4	0.00	0.73	1.39	0.34	11.0	3.92	53.7	22.8	113.8	27.4	281.0	60.5	13.6	0.06	-	1644.0
22.1	0.000	22.8	0.17	3.12	6.54	0.80	45.8	16.55	218.7	89.7	431.3	94.7	913.7	172.0	1.7	0.13	46.1	594.3
23.1	0.004	18.4	0.05	0.65	1.13	0.69	6.7	2.19	27.7	11.6	59.8	14.7	157.6	35.1	2.7	0.09	1.0	1189.5
24.1	1.485	35.3	0.39	3.66	5.28	2.97	26.2	8.26	92.2	34.7	164.4	37.5	396.3	86.1	3.2	0.07	66.1	772.3

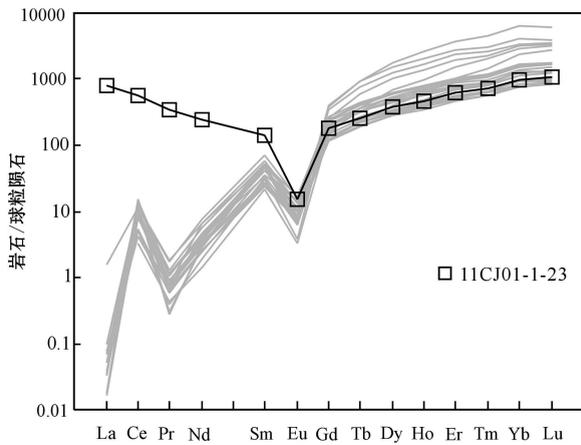


图 5 云龙矿带二云母花岗岩锆石稀土元素配分图

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of zircons from Yunlong two-mica granite  
 深色线条为微量元素异常锆石(11CJ01-1-23), 灰色线条代表正常锆石; 球粒陨石标准化采用 Sun and McDonough (1989) 值  
 the light gray line and black line represent the normal and abnormal zircons, respectively; chondrite data are from Sun and McDonough (1989)

为此, 利用 Wang 等(2012)的研究成果, 对岩体锆石微量元素进行了投图分析(图 6)。结果显示, 二云母花岗岩的锆石微量元素特征与 S 型花岗岩一致, 而与 I 型花岗岩明显区别。因此笔者认为, 本区二云母花岗岩应属于 S 型花岗岩类。岩石中白云母的出现和全岩地球化学铝过饱和特征反映了源区的过铝

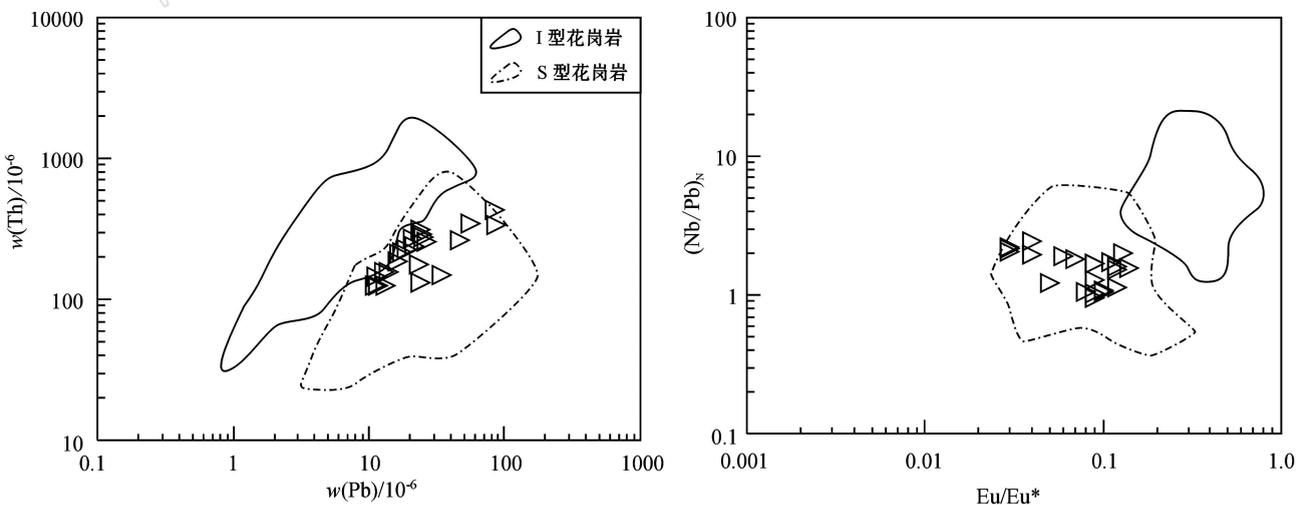


图 6 云龙矿带二云母花岗岩锆石微量元素含量及比值图

Fig. 6 Plots of trace element concentrations and ratios in zircons from Yunlong two-mica granite  
 I 型和 S 型花岗岩锆石稀土成分统计数据来自 Wang 等(2012); 球粒陨石标准化值采用 Sun and McDonough (1989)  
 the trace element data of zircons from I- and S-type granitoids obtained by Wang *et al.* (2012) were shown for comparison;  
 chondrite data are from Sun and McDonough (1989)

性质, 表明为地壳沉积物源区部分熔融形成。

#### 4.2 形成动力学机制

保山地块自三叠纪古特提斯洋盆闭合并与思茅-印支地块碰撞, 形成大量碰撞-后碰撞岩浆活动后, 岩浆活动十分稀少, 仅北缘志本山和南缘发现有少量早白垩世和新生代岩浆活动(喻学惠等, 2008; 陶琰等, 2009)。本次识别出的晚白垩世岩浆活动表明, 除上述岩浆活动外, 保山地块还受到晚白垩世构造岩浆活动的影响。

西南“三江”地区晚白垩世岩浆活动较为发育, 主要分布于“三江”东缘(如个旧、中甸、高贡等地)和西侧腾冲地块(如腾冲、梁河等地)。东缘晚白垩世岩浆活动时代集中在 $\sim 80$  Ma, 以 S 型花岗岩和 A 型花岗岩类为主(侯增谦等, 2001; Cheng and Mao, 2011; 李肖龙等, 2012), 成矿组合除 Sn、W 外(主要位于“三江”东缘南段), 还包括 Cu、Pb、Zn、Mo 等(主要位于“三江”东缘北段)(潘桂棠, 2003; Hou *et al.*, 2007)。对于上述岩浆活动形成的构造背景, 目前主要认为其形成于陆-陆碰撞后的板内伸展环境(侯增谦等, 2001; 李文昌等, 2012), 或者与晚中生代华南西部伸展拉张有关(张颖等, 2011; 李肖龙等, 2012)。腾冲地块晚白垩世岩浆活动时代略晚, 在 65~76 Ma 之间, 早期岩性以 S 型和 I 型花岗岩为主(67~76 Ma), 后期有少量 A 型花岗岩(65~68 Ma)(杨启军等, 2009; Xu *et al.*, 2012; 罗改等, 2012)。

同期成矿组合较为单一,以  $S_n$  为主,其次为  $W$ ,向南可与东南亚锡成矿带相连(Hou *et al.*, 2007; 王安建等 2009)。目前研究者对腾冲地块晚白垩世岩浆活动的形成构造背景认识较为一致,认为本区晚白垩世岩体是西部拉萨地块晚白垩世岩浆弧的东延,与新特提斯域演化紧密相关(杨启军等, 2009; Xu *et al.*, 2012; 罗改等, 2012)。早期西侧 I 型花岗岩带为陆弧岩浆活动,东侧 S 型花岗岩带为俯冲过程中内陆增厚地壳的熔融产物(杨启军等, 2009; Xu *et al.*, 2012); 晚期 A 型花岗岩为新特提斯闭合陆-陆碰撞后应力松弛阶段产物(罗改等, 2012)。

本次报道的云龙成矿带内晚白垩世花岗岩的形成动力学机制与腾冲地块者类似,而与“三江”东缘者区别。首先在成岩时代上,带内晚白垩世花岗岩侵位于  $\sim 72$  Ma,明显晚于“三江”东缘花岗岩( $\sim 80$  Ma),而与腾冲地块者一致(65~76 Ma)。其次,本带在空间上紧邻腾冲地块晚白垩 S 型花岗岩带(图 1),而与“三江”东缘晚白垩世花岗岩出露区相距较远,同时还有思茅-印支地块相阻隔,该地块内并无同期岩浆活动(刘增乾, 1993)。此外,在花岗岩相关成矿组合上,云龙成矿带以  $S_n$  为主,也与腾冲地块晚白垩世成矿组合类似。综上本文认为,云龙成矿带在晚白垩世花岗岩可能与腾冲地块花岗岩,特别是早期(67~76 Ma) S 型花岗岩的形成动力学机制一致,应为新特提斯东向俯冲过程中内陆增厚地壳的熔融产物(杨启军等, 2009; Xu *et al.*, 2012)。

#### 4.3 云龙成矿带构造-岩浆活动历史与成矿

云龙成矿带内岩浆活动较为发育,多个矿床(点)与岩体在空间上紧密相关(图 1)。前人对区内岩浆岩的 K-Ar 和 Rb-Sr 定年表明,时代从 586 Ma 到 13 Ma 弥散分布(邹树, 1985; 陆建军等, 1989; 张文源, 1989a)。然而,上述岩体通常经历了强烈的变形变质和表生风化作用,这些年龄并不可靠或者地质意义不明确(邱华宁等, 1994)。随着近年来精确年代学工作的开展,目前已识别出可靠的岩浆活动期次主要包括奥陶纪漕涧西片麻状花岗岩<sup>①</sup>、早白垩世志本山花岗岩( $\sim 129$  Ma)(陶琰等, 2009)和三叠纪辉绿岩墙群(Liao *et al.*, 2013),以前二者为主体。此外,1:25 万大理幅地质图<sup>①</sup>显示在铁厂矿区还存在三叠纪二长花岗岩,本次工作也尝试采样,但

由于出露情况较差,未成功。

目前云龙成矿带内较为系统且可靠的成矿年代学工作仅邱华宁等(1994)有开展。邱华宁等(1994)通过精细的单矿物 Ar-Ar 年代学工作,识别出早白垩世到新生代 3 期重要成矿时代,分别为 145 Ma、69 Ma 和 30~40 Ma。该工作对新生代和晚白垩世的年龄测试均获得了较为理想的坪年龄,可以准确反映成矿时代,但早白垩世成矿年龄却存在较大问题。测定结果显示所用锡石中存在过剩 Ar(邱华宁等, 1994),作者虽采用最低坪年龄作为该期成矿年龄,但可能仍然偏老。早白垩世成矿期( $\sim 145$  Ma)目前尚未寻找到对应岩浆期次。考虑到整个西南“三江”地区并无该时期的构造岩浆事件,而本区和邻近的腾冲地块内所发现的早白垩世岩浆活动均集中于 110~130 Ma(丛峰等, 2011; Xu *et al.*, 2012; 李再会等, 2012),本文认为该较老的成矿年龄( $\sim 145$  Ma)很可能是过剩 Ar 导致。陶琰(2009)报道的志本山花岗岩( $\sim 129$  Ma)的年龄应更接近该期成矿时代。也即,最早一期成矿时代应为早白垩世中期而非早期,与志本山花岗岩为代表的同期岩浆事件相对应。由于成矿带紧邻崇山剪切带,新生代成矿事件应与剪切带的走滑剪切活动有关,后者的走滑剪切活动开始于 30~40 Ma 左右(Wang *et al.*, 2006; Akciz *et al.*, 2008)。本次研究显示,云龙成矿带还存在 72 Ma 左右的晚白垩世 S 型花岗岩浆活动,与邱华宁等(1994)获得的晚白垩世成矿时代( $\sim 69$  Ma)在误差范围内吻合。

目前对云龙成矿带内矿床成因的争论主要集中在成矿与岩浆活动相关还是与混合岩化相关(详见引言)。通过前文分析可以看到,成矿带内三期主要的成矿事件均有同期构造-岩浆事件相对应,岩浆活动和构造相关变质变形过程对矿床形成均有贡献。其中早、晚白垩世成矿活动与同期岩浆花岗岩体侵入紧密相关,而新生代成矿活动与崇山剪切带走滑活动联系密切。虽然不同成矿阶段中不同成矿机制对矿床富集的贡献程度还需进一步工作,但单纯的一种成因机制(花岗岩相关或混合岩化)可能无法合理解释本区矿床的成因。这对于云龙锡(钨)成矿带矿床成因研究及找矿勘探工作开展均有重要意义。

① 云南省地质调查院, 2004. 1:25 万大理幅区域地质图及调查报告.

## 5 结论

(1) 保山地块云龙成矿带内二云母花岗岩属 S 型花岗岩, 侵位年龄为  $72.2 \pm 0.8$  Ma。这是保山地块内部首次报道确凿的晚白垩世岩浆活动, 表明保山地块受到了该时期构造-岩浆活动影响。

(2) 云龙成矿带内晚白垩世 S 型花岗岩浆活动形成地球动力学背景与腾冲地块晚白垩世岩浆岩一致, 为新特提斯东向俯冲过程中内陆增厚地壳的熔融产物。

(3) 本次研究发现的晚白垩世花岗岩与云龙成矿带内一期重要成矿期次时代一致。云龙成矿带内经历了从早白垩世到新生代 3 期重要成矿时期, 岩浆侵入活动和构造相关混合岩化在不同时期对矿床形成均有贡献, 单一的成因机制难以合理解释区内矿床成因。

## References

- Akciz S, Burchfiel B C, Crowley J L, *et al.* 2008. Geometry, kinematics, and regional significance of the Chong Shan shear zone, Eastern Himalayan Syntaxis, Yunnan, China [J]. *Geosphere*, 4(1): 292~314.
- Bi Zhuzhou. 1986. The geological characteristics and mineralizing conditions of the Tiechang, Yunlong tin deposit [J]. *Yunnan Geology*, 5(3): 222~233 (in Chinese).
- Chappell B W. 1999. Aluminium saturation in I- and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites [J]. *Lithos*, 46(3): 535~551.
- Cong Feng, Lin Shiliang, Zou Guangfu, *et al.* 2011. Magma mixing of granites at Lianghe: In-situ zircon analysis for trace elements, U-Pb ages and Hf isotope [J]. *Science in China (Series D)*, 41(4): 468~481 (in Chinese).
- Cheng Yanbo and Mao Jingwen. 2011. Age and geochemistry of granites in Gejiu area, Yunnan province, SW China: Constraints on their petrogenesis and tectonic setting [J]. *Lithos*, 120(3): 258~276.
- Eby G N. 1990. The A-type granitoids: a review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis [J]. *Lithos*, 26(1): 115~134.
- Hou Zengqian, Zaw K, Pan Guitang, *et al.* 2007. Sanjiang Tethyan metallogenesis in SW China: Tectonic setting, metallogenic epochs and deposit types [J]. *Ore Geology Reviews*, 31(1): 48~87.
- Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Zhou Jirong, *et al.* 2001. Collision-Orogenic processes of the Yidun Arc in the Sanjiang region: record of granites [J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(4): 484~497 (in Chinese).
- Hu Zening. 1985. Geological characteristics of Yunlong hydrothermal tin deposit occurring in migmatite, western Yunnan [J]. *Geochimica*, 1: 67~74 (in Chinese).
- Hu Zening. 1988. Typomorphic characteristics of cassiterite in the Yunlong tin deposit, Yunnan Province [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 8(4): 381~385 (in Chinese).
- Hu Zhaochu, Gao Shan, Liu Yongsheng, *et al.* 2008. Signal enhancement in laser ablation ICP-MS by addition of nitrogen in the central channel gas [J]. *J. Anal. At. Spectrom*, 23(8): 1093~1101.
- Jiang Shaoyong, Yu Jimin and Lu Jianjun. 2004. Trace and rare-earth element geochemistry in tourmaline and cassiterite from the Yunlong tin deposit, Yunnan, China: implication for migmatitic-hydrothermal fluid evolution and ore genesis [J]. *Chemical Geology*, 209(3): 193~213.
- Li Guangxun. 1986. The ore field structure and deposit features of tin deposits at Tiechang, Yunlong county [J]. *Yunnan Geology*, 5(2): 126~136 (in Chinese).
- Li Wenchang, Yu Haijun, Yin Guanghou, *et al.* 2012. Re-Os dating of molybdenite from Tongchanggou Mo-polymetallic deposit in north-west Yunnan and its metallogenic environment [J]. *Mineral Deposits*, 31(2): 282~292 (in Chinese).
- Li Xiaolong, Mao Jingwen, Cheng Yanbo, *et al.* 2012. Petrogenesis of the Gaofengshan granite in Gejiu area, Yunnan province: zircon U-Pb dating and geochemical constraint [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(1): 183~198 (in Chinese).
- Li Zaihui, Lin Shiliang, Cong Feng, *et al.* 2012. U-Pb dating and Hf isotopic compositions of quartz diorite and monzonite granite from the Tengchong-Lianghe block, Western Yunnan and its geological implication [J]. *Acta Geologica Sinica*, 86(7): 1047~1062 (in Chinese).
- Liao Shiyong, Yin Fuguang, Sun Zhiming, *et al.* 2013. Early Middle Triassic mafic dikes from the Baoshan subterranean, western Yunnan: Implications for the tectonic evolution of the Palaeo-Tethys in Southeast Asia [J]. *International Geology Review*, 55(8): 976~993.
- Lin Wenxin. 1984. Some new views on ore-bearing rocks from the Tiechang, Yunlong tin deposit [J]. *Yunnan Geology*, 3(2): 150~158 (in Chinese).
- Liu Weining and Liang Yongning. 1988. Characteristics of the Yunlong tin deposit, west Yunnan, China [J]. *Geochimica*, 1: 62~68 (in Chinese).
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Gao Shan, *et al.* 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. *Chemical Geology*, 257(1~2): 34~43.
- Liu Yongsheng, Hu Zhaochu, Zong Keqing, *et al.* 2010b. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS [J]. *Chinese Science Bulletin*, 55(15): 1535~1546.
- Liu Yongsheng, Gao Shan, Hu Zhaochu, *et al.* 2010a. Continental and

- oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the trans-north China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in Zircons from Mantle Xenoliths [ J ]. *Journal of Petrology*, 51( 1~2 ): 537~571.
- Liu Zengqian. 1993. Division of Tectono-Magmatic Zones and the Distribution of Deposits in the Sanjiang Area ( Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang Area ) [ M ]. Geological Publishing House, 1~246 ( in Chinese ).
- Lu Jianjun, Zhu Jinchu, Liu Changshi, *et al.* 1989. Characteristics of Yunlong migmatites in western Yunnan province and their relation to tin mineralization [ J ]. *Geotectonica et Metallogenia*, 13( 3 ): 264~275 ( in Chinese ).
- Ludwig K R. 2003. User 's Manual for Isoplot 3.00 : A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [ M ].
- Luo Gai, Jia Xiaochuan, Yang Xuejun, *et al.* 2012. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of southern Menglian granite in Tengchong area of western Yunnan province and its tectonic implications [ J ]. *Geological Bulletin of China*, 31( 2~3 ): 287~296 ( in Chinese ).
- Luo Junlie. 1991. Granitoids related to western Yunnan ( dianxi ) tin deposits and their mineralization [ J ]. *Mineral Deposits*, 10( 1 ): 81~96 ( in Chinese ).
- Qiu Huaning, Dai Kuangmo and Pu Zhiping. 1994. dating mineralization of Lushui tin-tungsten deposit, western Yunnan, using  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  age spectrum technique [ J ]. *Geochimica*, 23( Supp ): 93~102 ( in Chinese ).
- Pan Guitang. 2003. Archipelagic Orogenesis, Metallogenic Systems and Assessment of the Mineral Resources Along the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang Area in the Southwestern China [ M ]. Geological Publishing House, 1~419 ( in Chinese ).
- Shi Lin. 1989. Metallogenic Regularity of the Western Yunnan Tin Metallogenic Belt [ M ]. Geological Publishing House, 1~296 ( in Chinese ).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [ J ]. *Geological Society, London, Special Publications*, 42: 313~345.
- Tao Yan, Zhu Feilin, Ma Yansheng, *et al.* 2009. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of Zhibenshan granite from Baoshan block [ J ]. *Acta Mineralogica Sinica*, 31: 329 ( in Chinese ).
- Wang Anjian, Cao Dianhua, Guan Ye, *et al.* 2009. Metallogenic Belts of Southern Three Rivers Region, Southwest China: Distribution, Characteristics and Discussion [ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 83( 10 ): 1365~1375 ( in Chinese ).
- Wang Gen, Du Junsheng, Sun Qiqing, *et al.* 1984. The characteristics of major rock-forming and ore minerals and the genesis of Yunlong tin belt [ J ]. *Yunnan Geology*, 3( 4 ): 326~334 ( in Chinese ).
- Wang Qing, Zhu Dicheng, Zhao Zhidan, *et al.* 2012. Magmatic zircons from I- S- and A-type granitoids in Tibet: Trace element characteristics and their application to detrital zircon provenance study [ J ]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 53: 59~66.
- Wang Yuejun, Fan Weiming, Zhang Yanhua, *et al.* 2006. Kinematics and 40Ar-39Ar geochronology of the Gaoligong and Chongshan shear systems, western Yunnan, China: Implications for early Oligocene tectonic extrusion of SE Asia [ J ]. *Tectonophysics*, 418( 3 ): 235~254.
- Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, *et al.* 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses [ J ]. *Geostandards Newsletter*, 19( 1 ): 1~23.
- Xu Yigang, Yang Qijun, Lan Jiangbo, *et al.* 2012. Temporal-spatial distribution and tectonic implications of the batholiths in the Gaoligong-Tengliang-Yingjiang area, western Yunnan: Constraints from zircon U-Pb ages and Hf isotopes [ J ]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 53( 7 ): 151~175.
- Yang Qijun, Xu Yigang, Huang Xiaolong, *et al.* 2006. Geochronology and geochemistry of granites in the Gaoligong tectonic belt, western Yunnan: tectonic implications [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 817~834 ( in Chinese ).
- Yu Jimin, Jiang Shaoyong, Pan Jiayong, *et al.* 2002. Evolution of ore-forming fluids in the Yunlong tin deposit, Western Yunnan: evidence from hydrogen and oxygen isotopes [ J ]. *Geological Review ( Supp )*, 48( Supp ): 250~255 ( in Chinese ).
- Yu Jimin and Jiang Shaoyong. 2003. Chemical composition of tourmaline from the Yunlong tin deposit, Yunnan, China: implications for ore genesis and mineral exploration [ J ]. *Mineralogy and Petrology*, 77( 1 ): 67~84.
- Yu Xuehui, Xiao Xiaoni, Yang Guilai, *et al.* 2008. Zircon SHRIMP dating of several granites and geological significance in southern part of Sanjiang area, western Yunnan province [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 24( 2 ): 377~383 ( in Chinese ).
- Zhang Weiji. 1984. Granite and their ore genesis of Yunlong tin belt, western Yunnan [ J ]. *Yunnan Geology*, 3( 2 ): 141~149 ( in Chinese ).
- Zhang Wenyuan. 1989a. Evolution of Granite and metallogenesis of tin-deposit in Yunlong tin belt [ J ]. *Mineral Resources and Exploration*, ( 4 ) 8~13 ( in Chinese ).
- Zhang Wenyuan. 1989b. A discussion on some problems of the metallogenesis of Tiechang tin-deposit, Yunlong [ J ]. *Yunnan Geology*, 8( 1 ): 24~35 ( in Chinese ).
- Zhang Wenyuan. 1990. Petrogenetic mechanism and mineralization granite in Yunlong tin mining area, Western Yunnan [ J ]. *Journal of Kunming Institute of Technology*, 15( 6 ): 1~8 ( in Chinese ).
- Zhang Wenyuan. 1996a. Genesis of the shiganghe tin deposit in western Yunnan province [ J ]. *Mineral Resources and Geology*, 10( 3 ): 159~164 ( in Chinese ).
- Zhang Wenyuan. 1996b. Metallogenic characteristics and origin of the tiechang tin deposit in western Yunnan [ J ]. *Geological exploration for Non-Ferrous Metals*, 5( 6 ): 334~339 ( in Chinese ).
- Zhang Ying, Huang Zhilong, Luo Taiyi, *et al.* 2011. LA-ICP-MS Zir-

- con U-Pb Dating and Petrogenesis of Shenxiangshui Granite in Gejiu, Yunnan Province, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 31(3):515~524(in Chinese).
- Zou Shu. 1985. The metallogenic characteristics and model for granite derived from crustal remelting, Western Yunnan[J]. Journal of Mineral Resources and Geology Institute, (3):6~12(in Chinese).
- Zou Shu, Lin Yongcai and Gao Zepei. 1988. An Approach to Ore-Forming Characteristics and Metallogenic Model of the Granites Emplaced Through Tectonic Remelting in the Yunlong Tin Belt, Western Yunnan. Geology of Tin Deposits in Asia and the Pacific[M]. Springer: 253~264.
- ### 附中文参考文献
- 毕助周. 1986. 云龙铁厂锡矿地质特征及成矿条件[J]. 云南地质, 5(3):222~234.
- 丛峰, 林仕良, 邹光富, 等. 2011. 梁河花岗岩岩浆混合作用: 锆石微量元素、U-Pb 和 Hf 同位素示踪[J]. 中国科学: 地球科学, 41(4):468~481.
- 侯增谦, 曲晓明, 周继荣, 等. 2001. “三江”地区义敦岛弧碰撞造山过程: 花岗岩记录[J]. 地质学报, 75(4):484~497.
- 胡泽宁. 1985. 云龙锡矿独特的矿床地质特征[J]. 地球化学(1):67~74.
- 胡泽宁. 1988. 云龙锡矿锡石的标型特征[J]. 矿物学报, 8(4):381~385.
- 李光勋. 1986. 云龙铁厂锡矿矿田构造和矿床特征[J]. 云南地质, 5(2):127~136.
- 李文昌, 余海军, 尹光侯, 等. 2012. 滇西北铜厂沟钨多金属矿床辉钨矿 Re-Os 同位素年龄及其成矿环境[J]. 矿床地质, 31(2):282~292.
- 李肖龙, 毛景文, 程彦博, 等. 2012. 云南个旧高峰山花岗岩成因: 锆石 U-Pb 年代学及地球化学约束[J]. 岩石学报, 28(1):183~198.
- 李再会, 林仕良, 丛峰, 等. 2012. 滇西腾冲梁河地块石英闪长岩-二长花岗岩-锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义[J]. 地质学报, 86(7):1047~1062.
- 林文信. 1984. 对云龙铁厂锡矿含矿岩石的一些认识[J]. 云南地质, 3(2):150~158.
- 刘伟宁, 梁永宁. 1988. 云龙锡矿床的构造-地球化学特征[J]. 地球化学, (1):62~68.
- 刘增乾. 1993. “三江”地区构造岩浆带的划分与矿产分布规律[M]. 地质出版社, 1~246.
- 陆建军, 朱金初, 刘昌实, 等. 1989. 滇西云龙混合岩及其与锡矿化的关系[J]. 大地构造与成矿学, 13(3):264~275.
- 罗改, 贾小川, 杨学俊, 等. 2012. 滇西腾冲地区勐连花岗岩体南段 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其构造意义[J]. 地质通报, 31(2~3):287~296.
- 罗君烈. 1991. 滇西锡矿的花岗岩类及其成矿作用[J]. 矿床地质, 10(1):81~96.
- 潘桂棠. 2003. 西南“三江”多岛弧造山过程成矿系统与资源评价[M]. 地质出版社, 1~419.
- 邱华宁, 戴框谟, 蒲志平. 1994. 滇西泸水钨锡矿床<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 法成矿年龄研究[J]. 地球化学, 23(增刊):93~102.
- 施琳. 1989. 滇西锡矿带成矿规律[M]. 地质出版社, 1~296.
- 陶琰, 朱飞霖, 马言胜, 等. 2009. 保山地块志本山花岗岩锆石 LA-ICP-MS 分析[J]. 矿物学报, S1:329.
- 王安建, 曹殿华, 管焯, 等. 2009. 西南“三江”成矿带中南段金属矿床成矿规律与若干问题探讨[J]. 地质学报, 83(10):1365~1375.
- 王根, 杜俊声, 孙琪清, 等. 1984. 云龙锡矿带主要造岩矿物、锆石矿物特征及成因探讨[J]. 云南地质, 8(4):326~334.
- 杨启军, 徐义刚, 黄小龙, 等. 2009. 滇西腾冲-梁河地区花岗岩的年代学、地球化学及其构造意义[J]. 岩石学报, 25(5):1092~1104.
- 于际民, 蒋少涌, 潘家永, 等. 2002. 滇西云龙锡矿成矿流体演化的氢、氧同位素证据[J]. 地质论评, 48(增刊), 250~255.
- 喻学惠, 肖晓牛, 杨贵来, 等. 2008. 滇西“三江”南段几个花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 24(2):377~383.
- 张位及. 1984. 滇西云龙锡矿带花岗岩及其成矿[J]. 云南地质, 3(2):141~149.
- 张文源. 1989a. 滇西云龙锡矿带花岗岩演化特征与锡矿成因探讨[J]. 矿产与勘查, (4):8~13.
- 张文源. 1989b. 云龙铁厂锡矿成矿的几个问题[J]. 云南地质, 8(1):24~35.
- 张文源. 1990. 滇西云龙锡矿花岗岩的成岩机制和成矿作用[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 15(6):1~8.
- 张文源. 1996a. 滇西石缸河锡矿床的成因探讨[J]. 矿产与地质, 10(3):159~164.
- 张文源. 1996b. 滇西铁厂锡矿床的成矿地质特征和成因探讨[J]. 有色金属矿产与勘查, 5(6):334~339.
- 张颖, 黄智龙, 罗泰义, 等. 2011. 云南个旧神仙水岩体锆石 U-Pb 年代学及岩石地球化学研究[J]. 矿物学报, 31(3):515~524.
- 邹树. 1985. 试论滇西云龙锡矿带构造重熔位花岗岩的成矿特征及其成矿模式[J]. 矿产地质研究院学报, (3):6~12.