

·专题研究·

滇西“三江”地区临沧花岗岩基中三叠世碱长花岗岩的发现及其意义

廖世勇, 尹福光, 王冬兵, 唐渊, 孙志明, 孙洁

(成都地质矿产研究所, 四川成都 610081; 中国地质调查局 青藏高原地质研究中心, 四川成都 610081)

摘要: 在野外调研的基础上, 对滇西“三江”地区临沧花岗岩基中勐库碱长花岗岩体的年代学、岩石学和地球化学开展了较系统的研究。结果显示, 勐库岩体的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 236.2 ± 3.7 Ma, 表明岩体应形成于中三叠世, 而非前人认为的新生代。全岩主、微量元素, Sr 同位素和锆石微量元素特征显示岩体属于 S 型花岗岩系列, 来自于与临沧花岗岩基相类似的地壳沉积物源区的部分熔融, 并经历了高程度的结晶分异作用。以勐库岩体为代表的碱长花岗岩与临沧花岗岩基形成时代一致, 表明碱长花岗岩应为临沧花岗岩基的重要组成部分。除已报道的黑云母二长花岗岩类和黑云母花岗闪长岩类外, 临沧花岗岩基还应包括较广泛分布的碱长花岗岩类。本文同时揭示, 由于临沧花岗岩基中以勐库岩体为代表的碱长花岗岩并非早前认为的新生代岩体, “三江”南段特别是临沧地块前人划分的新生代岩体分布范围和规模可能需要重估。

关键词: 西南“三江”地区, 临沧花岗岩, 中三叠世, 新生代, 碱长花岗岩, 锆石 U-Pb 定年

中图分类号: P588.12⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)01-0001-12

The discovery of Middle Triassic alkali feldspar granite from the giant Lincang batholith in southern Three River region and its geological implications

LIAO Shi-yong, YIN Fu-guang, WANG Dong-bing, TANG Yuan, SUN Zhi-ming and SUN Jie

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China; Research Center for Tibetan Plateau Geology, China Geological Survey, Chengdu 610081, China)

Abstract: The Lincang batholith located in southern Three River region is the largest felsic intrusion in southwestern China. The Mengku pluton is one of the major alkali feldspar granite intrusions within the Lincang batholith. Based on field investigations, the authors studied the geochronology, petrology and geochemistry of the Mengku pluton. The results show that the pluton was emplaced in the Middle Triassic (236.2 ± 3.7 Ma), much older than the previously conceived Early Cenozoic. This means that the distribution and abundance of magmatism of the Cenozoic intrusion province in the southern Three River region should be reevaluated. After a careful examination of whole-rock major and trace elements, Sr isotope and zircon trace elements, the authors believe that the Mengku pluton was of S-type affinity and originated from high extent of fractional crystallization of melts generated by metasedimentary crustal anatexis. The Mengku pluton is part of the Lincang batholith. The alkali feldspar granite is another important rock type that has never been reported in the Lincang batholith, which was previously considered to be composed of biotite monzogranite and granodiorite.

收稿日期: 2013-05-10; 修订日期: 2013-06-03

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

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

网络出版时间: 2013-08-23; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1966.P.20130823.1529.001.html>

Key words : Three River region ; Lincang batholith ; Middle Triassic ; Cenozoic ; alkali feldspar granite ; zircon U-Pb dating

作为东特提斯域的重要组成部分,位于青藏高原东缘的云南“三江”地区是研究特提斯,特别是古特提斯构造域演化的重要场所,长期以来一直是国内外学者关注的重点。临沧花岗岩基位于古特提斯被动陆缘一侧的临沧陆块,是西南地区最大的复式花岗岩基。作为古特提斯构造域中重要的地质体,该岩基记录了本区晚古生代以来大洋俯冲到陆块碰撞的复杂历史,对考察重建区域地质演化有重要意义,对其岩性组合的研究历来是研究关注的重点。例如徐夕生等(1987)认为临沧花岗岩基岩性多变,主要为似斑状黑云母二长花岗岩,其次为斑状黑云母花岗闪长岩及少量黑云母斜长花岗岩、石英二长岩,兼有 S 型花岗岩和 I 型花岗岩特征;张雯华等(1993)认为该岩基主要由黑云母二长花岗岩组成,为 S 型和 I 型混杂,以 S 型为主体;刘昌实等(1989)、刘昌实(1990)认为岩基主要为黑云母二长花岗岩,为典型的 S 型花岗岩;李兴林(1996)认为其主要为黑云母二长花岗岩,其次为黑云母花岗闪长岩;莫宣学(1998)认为岩性相对简单,以黑云母二长花岗岩和黑云母花岗闪长岩为主,岩石地球化学具 S 型花岗岩特征;彭头平等(2006)认为岩基主体岩性为二长花岗岩和灰白色钾长花岗岩,内部有花岗闪长岩分布。近年来,随着研究工作的深入进行,特别是 1:25 万地质填图工作的完成,越来越多的研究者认同临沧花岗岩基主体岩性为黑云母二长花岗岩,其次为黑云母花岗闪长岩,同时总体属于沉积物源区熔融形成的 S 型花岗岩系列(Heppe *et al.*, 2007; 刘德利等, 2008; Hennig *et al.*, 2009; 孔会磊, 2011; 孔会磊等, 2012; Dong *et al.*, 2013)^{①②}。然而,由于临沧花岗岩基规模巨大,目前的研究依然较为有限,仍有必要对其岩性组合、所属岩石系列以及不同岩性的时空关系开展进一步工作。本文对临沧花岗岩基内部前人尚未报道的碱长花岗岩进行了锆石 U-Pb 年代学研究,并通过全岩地球化学和锆石微量元素研究,探讨了其成因和与临沧花岗岩基的关系。此外,还对本区新生代岩体的时空划分提出了新的看法。

1 区域及岩体地质概况

临沧地块位于“三江”南段,东侧通过澜沧江结合带与思茅地块相邻,西侧通过昌宁-勐连结合带与保山地块相邻(图 1a)。临沧花岗岩基位于临沧地块东侧,侵位于元古宇围岩地层中,总体呈南北向延伸,宽度从 10 到 50 km 不等,长约 370 km,展布面积约 1.1 万 km²(图 1b)。岩基为 Sukhothai-临沧岩浆弧的一部分,向南可与泰国东部侵入岩省(Eastern Province Granitoid)对应(Sone and Metcalfe, 2008)。岩基主体岩性为黑云母二长花岗岩,其次为黑云母花岗闪长岩。岩石矿物组成为钾长石(20%~40%)、斜长石(20%~40%)、石英(20%~30%)、黑云母(5%~20%),通常还有少量角闪石(0~4%)(李兴林, 1996; 孔会磊, 2011)或白云母(0~3%)^{①②}。副矿物主要为锆石、磷灰石、独居石、磁铁矿等。除上述岩性外,前人认为岩基中还存在后期侏罗纪和白垩纪二长花岗岩以及新生代碱长花岗岩、二长花岗岩和花岗闪长岩的侵入^{①②}。

碱长花岗岩呈岩体、岩枝或小岩株侵位于临沧花岗岩基北段中部^①,分布范围较广(图 1b)。其中面积较大的两个岩体分别位于临沧市东侧和双江县东北侧,均为近南北向延伸,与临沧花岗岩基总体一致。前人将碱长花岗岩划分为古近纪花岗岩,认为其在后期侵入临沧花岗岩基^①。本次研究的对象为碱长花岗岩体群中规模较大的勐库碱长花岗岩体。岩体位于临沧花岗岩基西侧,呈北西-南东走向,宽约 2 km,长约 24 km,总面积约 40 km²(图 1c)。围岩主要为临沧花岗岩基,局部为前寒武纪大勐龙群和石炭纪地层。由于出露情况较差,未见岩体与围岩接触关系。岩石具典型中粒花岗结构,或似斑状结构。矿物组成包括石英(35%~40%)、长石(60%~70%)和黑云母(1%~2%),另有少量白云母。石英多为半自形和他形,波状消光。长石多为自形或半自形板条状,聚片双晶发育。黑云母为自形,具浅棕褐色-深棕褐色多色性。长石大多受弱到中等蚀

① 云南省地质调查院. 2004. 1:25 万临沧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.

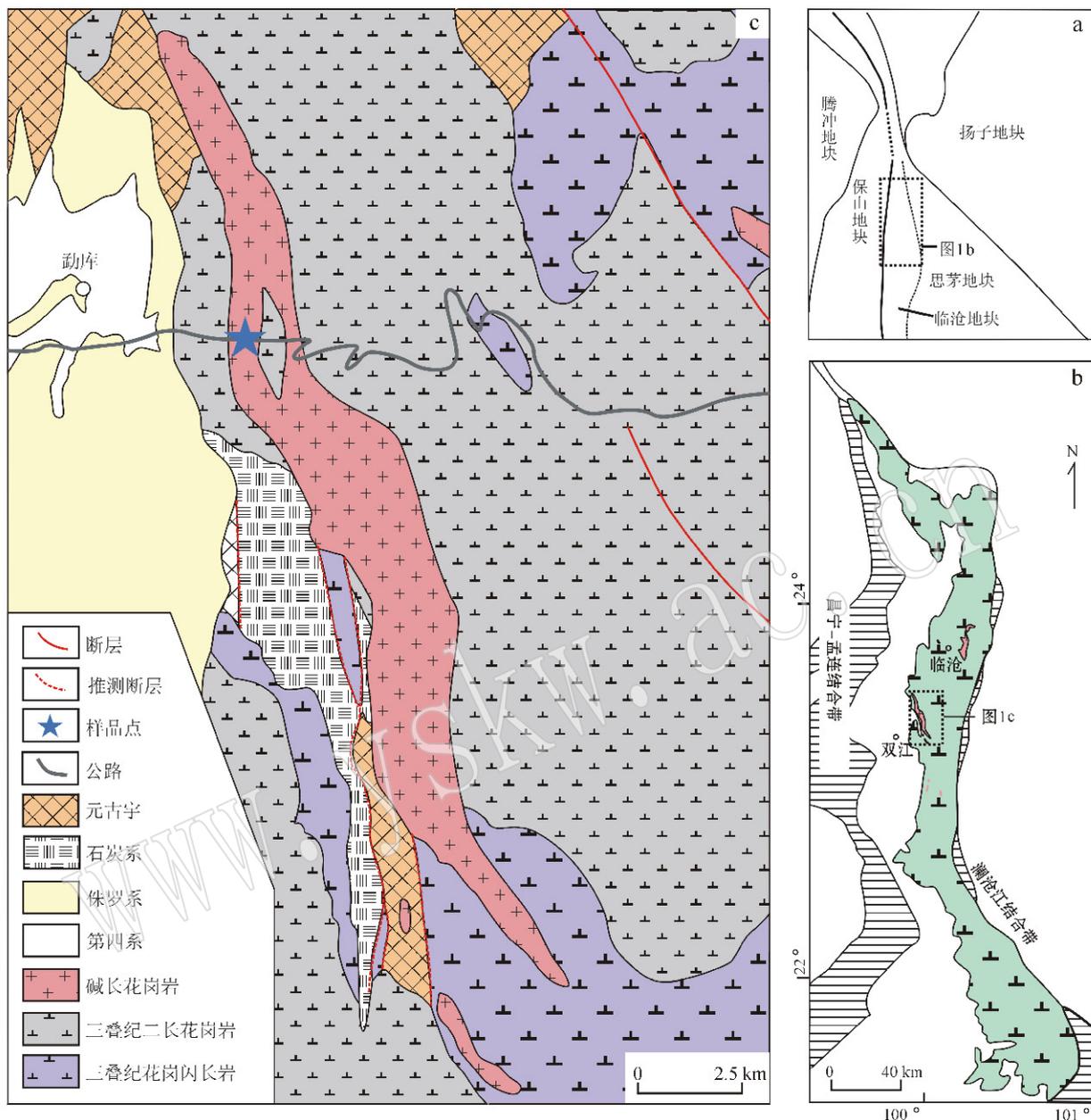


图1 西南“三江”南段(a)、临沧岩基(b)和勐库岩体及邻区(c)地质简图(修改自云南省地质调查院, 2004^①)
 Fig. 1 Simplified geological map of the Three River region(a), the Lincang batholith (b) and the Mengku pluton (c)
 (modified after Yunnan Institute of Geological Survey, 2004^①)

变,具不同程度泥化、绢云母化蚀变,部分有黝帘石化。黑云母大多已绿泥石化。

2 样品及测试方法

本次研究在岩体北段勐库西侧采集了年代学和地球化学样品。样品点位于双江至临沧公路旁,具体位置见图1c。主量元素由国土资源部西南矿产资

源监督检测中心采用X荧光光谱法测试,所用仪器为PANalytical生产的AXIOS荧光光谱仪,分析精度和准确度优于5%。微量元素及Sr同位素分析在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。其中,微量元素采用电感耦合等离子体质谱仪ICP-MS(Agilent7500a)完成,分析精度和准确度优于5%。Sr同位素测试采用Triton Ti TIMS仪器分析,详细的溶液制备和流程分析方法见

① 云南省地质调查院. 2004. 1:25万临沧幅区域地质图及调查报告.

Gao 等(2004)。

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,再通过重砂法分选出锆石,然后在双目镜下挑选出透明度和晶形较好的锆石颗粒。将锆石颗粒粘贴在环氧树脂表面制成锆石样品靶,然后对靶平面进行抛光,揭露锆石内部形态,并使样品表面平整、光滑。随后,在对锆石进行反射光、透射光显微照相基础上,对锆石进行阴极发光(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进行 U-Pb 测年和稀土元素分析。锆石稀土元素含量和 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 μm 。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)中加入少量氦气,以提高仪器灵敏度、降低检出限和改善分析精度(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 6 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,锆石标准 91500 的 U-Th-Pb 同位素比值推荐值据 Wiedenbeck 等(1995)。锆石稀土元素含量利用多个 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,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。详细的仪器操作条件和数据处理方法同 Liu 等(2008, 2010a, 2010b)。锆石样品的 U-Pb 年龄谱和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot 3.0 (Ludwig, 2003)完成。

3 测试结果

3.1 锆石年代学及稀土元素特征

动库碱长花岗岩代表性的样品(11LC01-1)中锆石粒度中等,多在 100~200 μm 之间,延长度小于 3。阴极发光显示锆石内部形态大多较为一致,震荡环带发育,无明显继承核,应属于典型的岩浆锆石(图 2)。绝大多数锆石测点均具有非常一致的 Th/U 比值

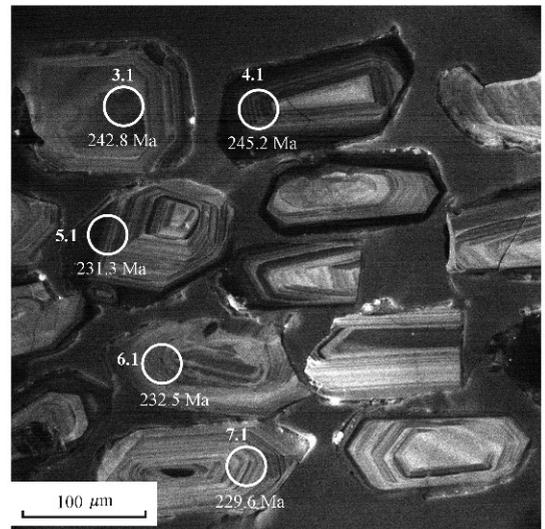
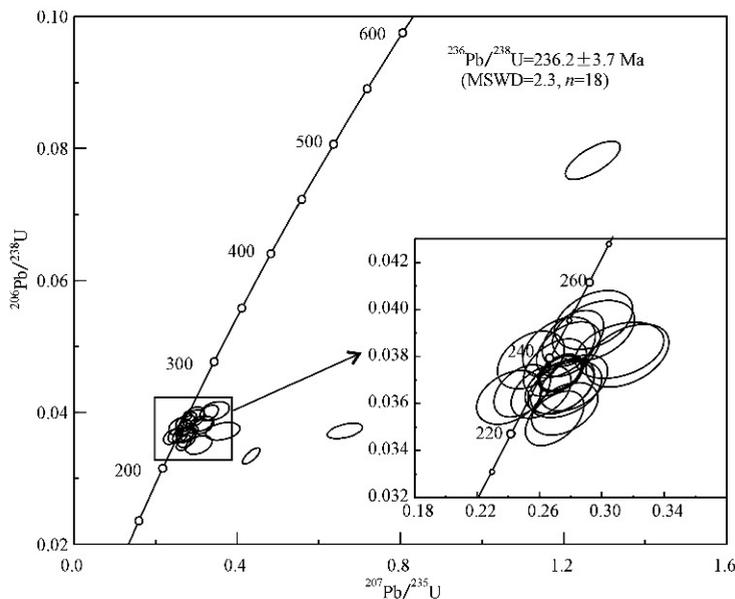


图 2 动库岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 一致曲线图(左)和锆石 CL 图像(右)

Fig. 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagram (left) and CL images of representative zircons (right) from the Mengku pluton

(0.2~0.6)(表 1),也与岩浆锆石一致。锆石边部有窄的暗色边,可能为后期变形过程中增生形成,此外还可见少量包裹体,均在测试过程中尽量避免。选择了较为理想的点位对上述锆石进行了 U-Pb 年龄和稀土元素测定。

勐库碱长花岗岩的 25 个测点中,除 7 个测点的明显偏离谐和曲线外,其余 18 个测点表观年龄变化于 224~250 Ma(表 1),投影点在谐和曲线或附近集中分布,获得 236.2 ± 3.7 Ma ($n = 18$, MSWD = 2.3) 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值,该年龄应反映勐库碱长花岗岩的侵位时间(图 2)。

锆石稀土元素总量(ΣREE)为 $546.6 \times 10^{-6} \sim 3812.1 \times 10^{-6}$ (平均 1361.8×10^{-6}), Th 含量为 $70.6 \times 10^{-6} \sim 882.3 \times 10^{-6}$, U 含量为 $270.7 \times 10^{-6} \sim 1985.9 \times 10^{-6}$ (表 2)。在球粒陨石标准化稀土元素配分图中,均具强的负 Eu 异常($\delta\text{Eu} = 0.07 \sim 0.35$ 平均 0.13)和较强的正 Ce 异常(δCe 平均为 12.2),并表现出重稀土元素富集特征(图 3)。值得注意的是,部分测试点显示轻稀土元素(LREE)富集特征,与其他样品有明显区别(图 3)。通过测试信号分析发现,这种 LREE 异常富集特征大多(点 9.1 和 24.1 除外)与 P 的突增相伴,应为击穿磷灰石包裹体造成。不过,上述样品稀土元素异常大多仅限于 La~Nd,而中稀土元素 Eu 和 Nb、Th、Pb 等未受明显影响。测试点 9.1 和 24.1 的轻、中稀土元素格外富集,同时无磷信号增高现象,但显示 Th 突增,考虑到褐帘石通常具有异常高的稀土(特别是轻、中稀土)元素和 Th 分配系数,我们认为这种特征很可能由击穿褐帘石包裹体造成。

3.2 全岩地球化学

采集了两个代表性样品进行了全岩主、微量元素和 Sr 同位素分析,结果列于表 3。从结果可以看出,勐库岩体具高硅($\text{SiO}_2 = 76.8\% \sim 77.1\%$)富钠($\text{Na}_2\text{O} = 6.26\% \sim 6.68\%$)贫钾($\text{K}_2\text{O} = 0.29\% \sim 0.36\%$)特征,在 QAP 图中位于碱长花岗岩区域,与临沧花岗岩基主体岩性区别明显(图 4)。岩石显示铝饱和到过饱和特征($A/\text{CNK} = 1.06 \sim 1.12$),标准矿物中刚玉分子含量均大于 1($C = 1.04 \sim 1.8$)(表 3),与 S 型花岗岩类似(Chappell and White, 2001)。此外,岩石具有低的 MgO (0.24%~0.26%)和高的

分异指数($\text{DI} = 93.4 \sim 94.8$),反映岩体经历了高程度分异演化作用。稀土元素方面,勐库岩体具有轻稀土元素(LREE)富集(图 5),Eu 中等亏损($\delta\text{Eu} = 0.51 \sim 0.55$)的特征,总体配分型式与临沧花岗岩基类似,但稀土元素总量明显偏低。岩体微量元素蛛网图型式显示 Nb、Ti 和 Sr 的负异常,总体也与临沧花岗岩基类似,但高场强元素(如 Zr、Hf、Th、Nb 等)和 Ba、Rb、Pb 含量明显偏低(图 5)。我们对样品 11LC01-1 进行了 Sr 同位素测试,结果显示样品具有非常富集的 Sr 同位素特征($^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$)为 0.716 363(表 3),与临沧花岗岩基类似($^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$) = 0.715 3~0.742 8(徐夕生等,1987;刘昌实,1989;张雯华等,1993)。

4 讨论

4.1 岩体时代

前人将临沧花岗岩基内部的碱长花岗岩类均作为新生代侵入岩。本次研究对其中规模较大的勐库岩体进行了 LA-ICP-MS 的锆石原位 U-Pb 年龄测定,确认其形成于 236.2 ± 3.7 Ma ($n = 18$, MSWD = 2.3),为中三叠世,而非新生代岩体。前人将该碱长花岗岩划归为新生代,主要理由是认为其侵位于晚三叠世二长花岗岩中,而晚三叠世二长花岗岩又显示 44.8 Ma 左右的下交点年龄,为后期岩体热扰动造成,因而推断碱长花岗岩为新生代^①。本次野外工作由于露头情况限制,未能观察到其与围岩的接触关系,但通过查阅资料发现该晚三叠世二长花岗岩的锆石年代学工作可信度并不高,而且采样品位于距勐库岩体达 30 km 的北侧临沧市西侧^②,其并不能可靠限定勐库岩体的时代。临沧花岗岩基内部以勐库岩体为代表的碱长花岗岩应为中三叠世岩浆活动产物。

很多早期研究者认为临沧花岗岩基存在二叠纪甚至更早期岩浆活动(陈吉琛,1987,1989;徐夕生等,1987;李兴林,1996;俞赛赢等,2003;云南省地质调查院,2004^①,2008^②)。然而这些资料多为全岩 Rb-Sr 等时线年龄、单矿物 K-Ar 年龄或单颗粒锆石年龄,可信度较低。最近精确锆石原位 U-Pb 定年均显示临沧花岗岩大多侵位于晚三叠世(203~227

① 云南省地质调查院,2004. 1:25 万临沧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。

表1 动库岩体(11LC01-1)锆石 U-Pb 定年数据
Table 1 LA-ICP-MS U-Pb dating results of zircons from the Mengku pluton

点号	$w_B/10^{-6}$		Th/U	同位素比值				年龄/Ma				备注			
	Pb	Th		U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$				
					1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ		1 σ		
1.1	18.4	201.3	397.3	0.51	0.0516	0.0026	0.2701	0.0134	0.0375	0.0008	242.7	10.7	237.5	5.0	
2.1	12.5	135.7	270.7	0.50	0.0489	0.0028	0.2545	0.0142	0.0379	0.0008	230.2	11.5	239.5	5.0	
3.1	14.8	70.6	339.7	0.21	0.0532	0.0034	0.2726	0.0153	0.0384	0.0009	244.8	12.2	242.8	5.3	
4.1	27.3	244.0	595.1	0.41	0.0516	0.0024	0.2815	0.0130	0.0388	0.0008	251.9	10.3	245.2	4.9	
5.1	26.7	294.8	602.9	0.49	0.0492	0.0024	0.2489	0.0119	0.0365	0.0007	225.7	9.7	231.3	4.6	
6.1	18.1	164.6	409.1	0.40	0.0542	0.0027	0.2748	0.0135	0.0367	0.0008	246.5	10.8	232.5	4.9	
7.1	18.9	203.4	432.7	0.47	0.0483	0.0027	0.2407	0.0138	0.0363	0.0008	219.0	11.3	229.6	4.7	排除
8.1	14.9	139.8	318.5	0.44	0.0684	0.0047	0.3651	0.0281	0.0371	0.0009	316.0	20.9	235.0	5.6	排除
9.1	21.8	882.3	386.0	2.29	0.1278	0.0056	0.6638	0.0287	0.0372	0.0008	516.9	17.5	235.2	4.8	排除
10.1	12.1	143.5	279.0	0.51	0.0632	0.0046	0.3063	0.0217	0.0350	0.0009	271.3	16.9	222.0	5.8	排除
11.1	22.2	198.8	506.1	0.39	0.0531	0.0029	0.2729	0.0146	0.0367	0.0007	245.0	11.6	232.3	4.6	
12.1	24.1	233.8	546.6	0.43	0.0539	0.0031	0.2764	0.0156	0.0366	0.0008	247.8	12.4	231.7	4.9	
13.1	27.9	266.6	653.2	0.41	0.0548	0.0025	0.2698	0.0124	0.0354	0.0008	242.5	9.9	224.1	4.8	
14.1	23.9	317.6	529.6	0.60	0.0558	0.0030	0.2762	0.0140	0.0358	0.0007	247.7	11.2	226.6	4.6	
15.1	14.2	121.6	313.3	0.39	0.0604	0.0034	0.3163	0.0176	0.0380	0.0009	279.1	13.6	240.7	5.5	
16.1	19.8	173.6	439.6	0.39	0.0527	0.0027	0.2785	0.0135	0.0383	0.0008	249.5	10.7	242.4	4.8	
17.1	21.4	213.3	496.7	0.43	0.0510	0.0024	0.2611	0.0127	0.0365	0.0007	235.6	10.2	231.1	4.6	
18.1	15.9	147.7	347.0	0.43	0.0596	0.0036	0.3113	0.0188	0.0383	0.0008	275.2	14.5	242.1	4.9	
19.1	23.5	209.2	500.5	0.42	0.0608	0.0029	0.3313	0.0154	0.0399	0.0008	290.5	11.7	252.2	4.8	排除
20.1	19.0	188.9	433.9	0.44	0.0566	0.0031	0.2821	0.0143	0.0369	0.0008	252.3	11.3	233.4	4.9	
21.1	18.0	171.7	386.7	0.44	0.0551	0.0033	0.2948	0.0165	0.0396	0.0008	262.3	13.0	250.1	5.1	
22.1	16.2	153.0	336.3	0.45	0.0621	0.0041	0.3456	0.0236	0.0402	0.0009	301.4	17.8	254.1	5.8	排除
23.1	37.4	89.0	388.6	0.23	0.1174	0.0038	1.2716	0.0445	0.0782	0.0019	833.1	19.9	485.3	11.4	排除
24.1	90.6	731.7	1985.9	0.37	0.0950	0.0031	0.4350	0.0141	0.0334	0.0008	366.7	10.0	211.6	5.0	排除
25.1	16.5	163.7	357.2	0.46	0.0559	0.0034	0.2947	0.0173	0.0391	0.0009	262.2	13.6	247.2	5.3	

表2 动库岩体中锆石的稀土元素含量

Table 2 REE data of zircon from the Mengku pluton

 $w_p/10^{-6}$

点号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Hf	Er	Tm	Yb	Lu	Nb	Eu/Eu*	Ce/Ce*	Σ REE
1.1	0.024	12.7	0.09	1.80	4.97	0.49	42.6	15.1	190.6	74.0	335.0	69.8	635.9	118.8	1.8	0.10	64.8	1 501.9
2.1	0.093	10.9	0.07	1.13	3.16	0.34	24.5	8.75	111.3	44.1	199.3	41.9	369.2	71.3	1.6	0.12	33.7	886.0
3.1	0.529	5.5	0.11	2.00	5.58	0.40	25.3	8.54	97.9	36.0	159.6	33.6	299.0	52.6	1.3	0.10	5.4	726.5
4.1	17.4	59.4	7.08	38.7	13.8	0.61	43.3	13.9	177.9	68.3	311.0	66.2	612.4	114.5	3.1	0.08	1.3	1 544.5
5.1	0.603	16.6	0.36	3.04	8.13	0.59	51.4	18.8	233.7	88.4	382.5	78.5	704.2	125.7	1.4	0.09	8.6	1 712.6
6.1	2.199	15.1	0.88	5.13	4.00	0.22	22.5	8.40	109.3	41.2	186.2	40.7	378.9	67.1	1.6	0.07	2.6	881.7
7.1	0.059	12.7	0.11	1.03	4.41	0.38	28.2	11.3	145.8	56.7	251.4	53.5	497.4	90.1	1.9	0.10	38.4	1 153.0
8.1	0.485	10.8	0.22	1.56	3.99	0.42	27.5	10.8	140.6	54.0	247.1	52.7	492.2	88.8	1.6	0.12	7.9	1 131.3
9.1	104.5	1 251.4	32.3	160.2	104.4	16.8	208.2	54.3	447.0	123.1	433.2	78.9	679.0	118.9	1.8	0.35	5.2	3 812.1
10.1	9.546	65.6	4.22	16.87	8.26	1.39	32.3	10.1	121.3	45.7	198.7	42.1	394.6	72.4	1.6	0.26	2.5	1 023.1
11.1	0.987	18.0	0.34	2.41	4.12	0.47	30.6	11.4	146.4	57.3	265.1	56.7	529.6	95.3	2.0	0.13	7.5	1 218.7
12.1	0.220	13.1	0.11	1.40	5.04	0.39	31.9	12.8	161.5	62.3	284.4	60.3	560.3	101.9	2.1	0.09	20.4	1 295.6
13.1	31.6	95.1	12.1	62.6	20.6	1.17	65.5	19.7	239.9	88.4	389.5	79.1	717.9	128.5	1.6	0.10	1.2	1 951.5
14.1	7.637	39.3	3.20	15.4	7.59	0.71	30.1	10.3	124.9	48.1	214.7	45.8	417.0	77.4	2.0	0.14	1.9	1 042.1
15.1	0.493	10.2	0.21	0.99	2.37	0.17	18.1	7.29	88.7	36.1	162.8	34.8	327.4	61.0	1.9	0.08	7.7	750.6
16.1	6.271	43.2	3.10	16.6	10.4	1.33	39.7	13.1	153.7	54.2	246.5	52.6	488.9	86.1	1.6	0.20	2.4	1 215.6
17.1	0.279	14.0	0.15	1.83	3.56	0.27	28.0	10.9	139.6	54.9	246.7	51.9	478.8	85.5	2.2	0.08	16.6	1 116.3
18.1	11.0	40.0	4.47	22.7	8.91	0.60	31.9	10.1	124.5	49.1	224.1	47.6	445.0	82.2	1.5	0.11	1.4	1 102.0
19.1	0.408	14.2	0.18	1.90	3.29	0.29	24.6	9.22	116.7	46.2	207.8	44.3	405.7	75.7	7.6	0.10	12.8	950.4
20.1	7.71	29.2	2.62	13.9	7.67	0.45	32.8	12.6	149.2	59.3	271.0	56.9	531.8	98.5	1.7	0.09	1.6	1 273.6
21.1	0.646	11.6	0.28	1.82	4.19	0.37	25.9	10.4	132.0	50.7	235.2	48.9	463.2	86.6	1.8	0.11	6.5	1 071.7
22.1	42.0	123.1	15.7	84.1	21.47	1.02	48.6	14.1	149.0	57.2	249.1	52.1	486.3	88.3	2.1	0.10	1.2	1 432.1
23.1	0.114	9.5	0.08	1.69	2.41	0.36	15.8	5.30	64.6	25.6	118.8	25.3	231.7	45.3	2.0	0.18	23.5	546.6
24.1	31.8	808.7	25.1	139.7	86.0	12.8	166.8	44.8	421.2	124.2	493.8	103.5	962.1	158.4	8.8	0.33	6.9	3 579.0
25.1	0.135	15.7	0.21	2.70	4.19	0.50	30.9	11.6	140.3	54.4	247.8	51.4	476.7	89.3	1.8	0.13	22.7	1 125.8

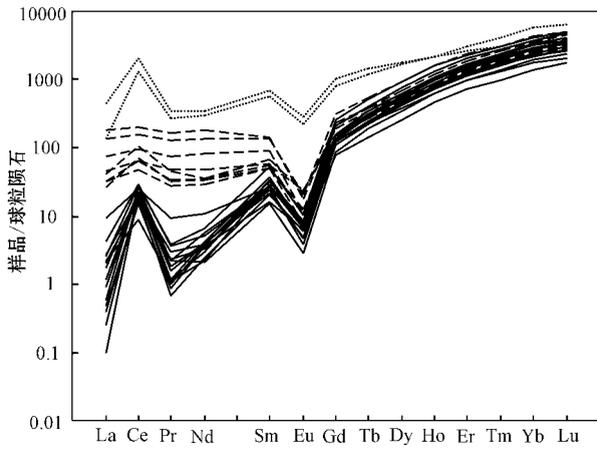


图 3 勐库岩体锆石稀土元素配分图

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns for zircons from the Mengku pluton

长点划线为受磷灰石包裹体影响测点(包括点 4.1、10.1、13.1、14.1、16.1、18.1、20.1、22.1);点划线为受褐帘石包裹体影响测点(包括 9.1 和 24.1)球粒陨石标准化值采用 Sun 和 McDonough(1989) dashed lines are spoiled by apatite (4.1, 10.1, 13.1, 14.1, 16.1, 18.1, 20.1, 22.1) and allanite(9.1, 24.1) were marked by short dashed lines respectively; chondrite data are from Sun and McDonough(1989)

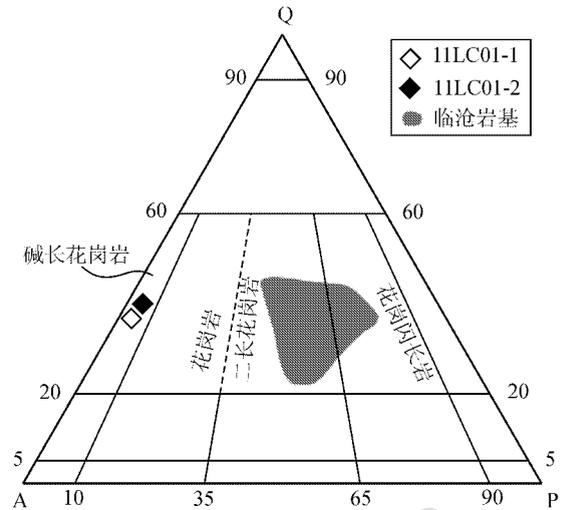


图 4 勐库岩体 QAP 图解 据 Streckeisen 和 Le Maitre (1979); 临沧岩基数据据 Dong 等(2013)]

Fig. 4 QAP classification diagram of the Mengku pluton (after Streckeisen and Le Maitre, 1979; samples of the Linchang batholith are from Dong *et al.*, 2013)

Ma),少数为中晚三叠世之交(~230 Ma)(彭头平, 2006; Heppe *et al.*, 2007; Hennig *et al.*, 2009; Jian *et al.*, 2009; 孔会磊, 2011; 孔会磊等, 2012; Dong *et al.*, 2013),仅有一例报道了一组确凿的中三叠世年龄(239 Ma)(Hennig *et al.*, 2009)。本文报道为临沧花岗岩基的第2个中三叠世年龄,显示以

勐库岩体为代表的碱长花岗岩是临沧花岗岩基早阶段岩浆活动的重要组成部分。通过以上工作可以看出,临沧花岗岩基应以晚三叠世为主体,仅少量为中三叠世,与澜沧江火山岩带内三叠纪岩浆岩的时代分布特征(主要为晚三叠世,少量为早、中三叠)可对比(彭头平, 2006; Wang *et al.*, 2010)。

4.2 岩石成因

勐库岩体具有高演化特征,这使得我们在分析

表 3 勐库岩体的岩石化学成分及 CIPW 标准矿物

Table 3 Chemical compositions and CIPW norms of samples from the Mengku pluton

样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
11LC01-1	76.8	0.12	13.37	0.38	0.12	0.005	0.24	0.68	6.68	0.36	0.13	0.84	99.7
11LC01-2	77.1	0.11	13.57	0.41	0.14	0.0061	0.26	0.8	6.26	0.29	0.13	0.89	100.0
样号	A/CNK	Ba	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Th	U	Pb	Zn	Cu	Ni
11LC01-1	1.06	42.8	24.0	155.6	21.6	76.2	9.08	13.2	3.71	9.71	10.6	3.52	3.30
11LC01-2	1.12	33.9	22.4	151.5	23.2	68.8	7.80	12.4	4.20	9.07	10.9	2.78	3.01
样号	V	Cr	Co	Hf	Ta	Sc	Li	Mo	Sn	Cs	Ga	La	Ce
11LC01-1	6.43	5.70	2.28	2.83	2.01	4.27	4.63	0.08	7.15	0.88	12.5	16.5	25.6
11LC01-2	6.33	5.30	1.81	2.57	1.74	4.46	4.80	0.08	7.03	1.09	12.2	33.7	58.2
样号	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr
11LC01-1	3.08	10.5	2.06	0.40	2.40	0.45	2.83	0.65	2.03	0.33	2.33	0.33	0.717 884
11LC01-2	5.76	18.1	3.04	0.50	2.82	0.52	3.33	0.68	2.10	0.33	2.28	0.36	-
样号	2δ (⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr)	δEu	Q	Or	Ab	An	C	Hy	Mt	Il	Ap	D. I.	
11LC01-1	0.000 005	0.716 363	0.55	35.54	2.15	57.09	2.64	1.04	0.61	0.06	0.23	0.29	94.78
11LC01-2	-	-	0.51	38.22	1.73	53.4	3.24	1.8	0.66	0.15	0.21	0.29	93.35

主量元素单位为%, 微量元素单位为 10⁻⁶。

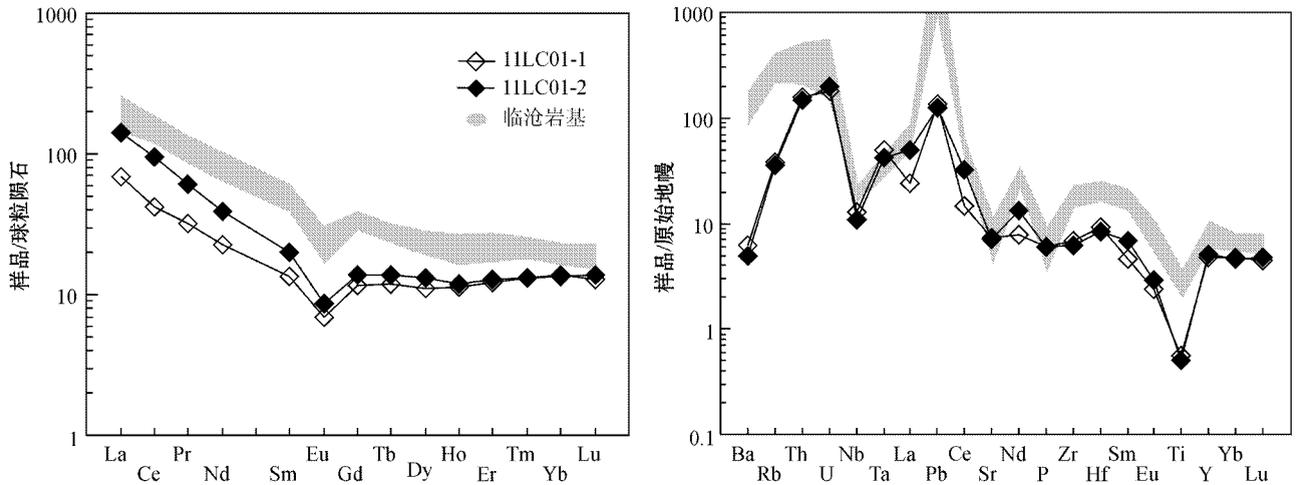


图 5 勐库岩体稀土元素球粒陨石标准化配分图(左)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(右)
(标准化数据据 Sun 和 McDonough, 1989; 临沧岩基数据据 Dong 等, 2013)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns (left) and primitive mantle-normalized multi-element patterns (right) of the Mengku pluton (normalizing values are from Sun and McDonough, 1989; samples of Lincang batholith are from Dong *et al.*, 2013)

其成因时必须谨慎对待。岩体具有铝饱和到过饱和特征($A/CNK = 1.06 \sim 1.12$),同时标准矿物中刚玉分子含量大于 1($C = 1.04 \sim 1.8$),与 S 型花岗岩类似(Chappell and White, 2001)。由于岩体演化程度很高,仍不能排除其为高演化 I 型花岗岩类(Chappell, 1999)。但综合分析我们认为,岩体应属 S 型花岗岩,而非高演化 I 型花岗岩系列。首先,岩体具有富集的 Sr 同位素组成($^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr} = 0.716363$),与 S 型花岗岩类似(Chappell, 1999)。虽然岩浆高的演化程度可能会导致异常高的 Rb/Sr 比值,并使得 Sr 同位素数据不可靠,但 11LC01-1 的 Rb/Sr 比值仅为 0.15,低于临沧花岗岩的 Rb/Sr 比值(>0.6) (刘昌实等, 1989; 孔会磊, 2011; Dong *et al.*, 2013),因此勐库岩体的 Sr 同位素测试值是可信的,可以用来反映源区特征,表明其应来自沉积物为主的岩浆源区。其次, Wang 等(2012)通过对青藏高原中生代以来的大量 I 型和 S 型花岗岩锆石微量元素的统计研究,发现二者在 Eu 异常、Nb/Pb 比值、Pb 和 Th 含量等方面存在系统差异,并以此为依据,利用上述微量元素对碎屑锆石源区进行了成功示踪。应用该成果,我们对勐库岩体锆石微量元素进行了投图分析(测试点 9.1 和 24.1 由于 Eu、Th 含量受褐帘石包裹体影响,不参与投图)结果显示,勐库岩体的锆石微

量元素特征与 S 型花岗岩一致,而与 I 型花岗岩明显区别(图 6)。综上所述我们认为,勐库碱长花岗岩应属于 S 型花岗岩类,来自沉积物源区的部分熔融。

勐库岩体位于临沧花岗岩基内部,形成时代与临沧花岗岩基一致(203~239 Ma),同时也属于 S 型花岗岩系列。二者的稀土和微量元素配分型式总体较为相似(图 5),也具有类似的 Sr 同位素组成,同时考虑到它们在时空上的相关性,我们认为勐库岩体很可能来自于与临沧花岗岩基相类似的地壳源区的部分熔融。不同的是勐库岩体在侵位前经历了更高分异演化,因而具有高的 SiO_2 含量。结晶分异矿物很可能以富钾矿物钾长石为主,从而形成了岩体高 Na_2O 低 K_2O 的特征。

4.3 临沧花岗岩基岩石类型

临沧花岗岩基规模巨大,目前大多研究者均认同,其岩石类型相对单一,主体岩性为黑云母二长花岗岩,其次为黑云母花岗闪长岩。位于岩基不同位置的同类岩性仅在岩石结构(如从细粒到中粗粒,等粒到斑状结构)构造(如从块状到片麻状构造)矿物组成和化学成分上会有局部差异(李兴林, 1996; Heppe *et al.*, 2007; Hennig *et al.*, 2009; 孔会磊, 2011; 孔会磊等, 2012; Dong *et al.*, 2013; 云南省地质调查院, 2004^①, 2008^②)。本次工作发现,岩体

① 云南省地质调查院, 2004. 1:25 万临沧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。

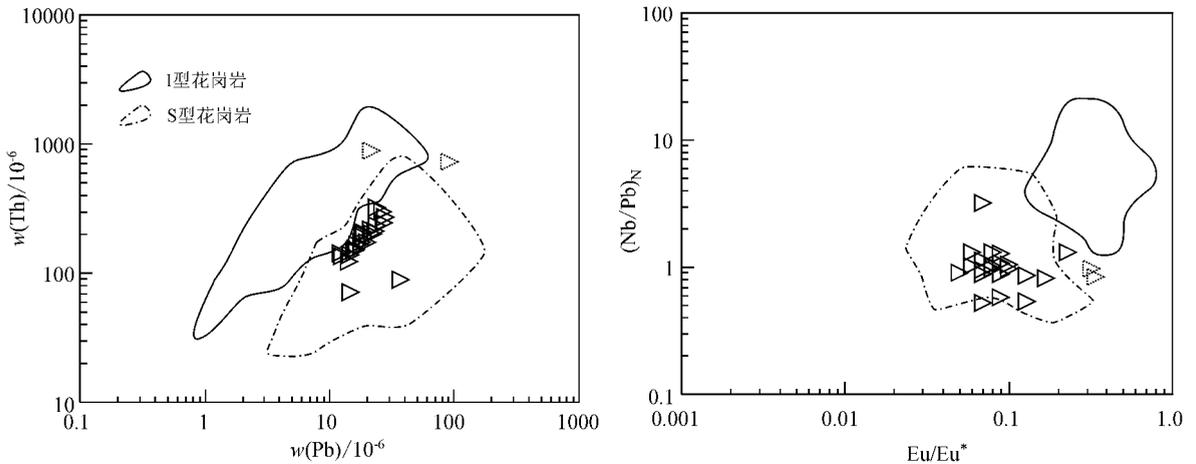


图 6 勐库岩体锆石微量元素含量及比值图

Fig. 6 Plots of trace element concentrations and ratios in zircons from Mengku granite

I型和S型花岗岩锆石稀土元素含量统计数据来自 Wang等(2012);灰色虚线三角形为受褐帘石包裹体影响测点(9.1和24.1)不可用;球粒陨石标准化值采用 Sun和McDonough(1989)

the trace element data of zircons from I- and S-type granitoids obtained by Wang *et al.* (2012); spots (9.1, 24.1) influenced by allanite are marked by gray triangles; chondrite data are from Sun and McDonough (1989)

内部分布较广的碱长花岗岩在形成时代上与临沧花岗岩基一致,表明其应为临沧花岗岩基的重要组成部分。临沧花岗岩基除黑云母二长花岗岩和黑云母花岗岩闪长岩外,还分布有较广泛的碱长花岗岩类。

4.4 对“三江”南段新生代岩浆岩分布的制约

最近研究者通过一系列填图和综合研究工作,揭示“三江”南段地区保山和临沧地块存在一定规模的新生代岩浆活动,以勐库岩体为代表的碱长花岗岩便被作为其中重要组成部分(俞赛赢等,2004;喻学惠等,2008;陈琿等,2010;云南省地质调查院,2004^①)。前人认为这些新生代岩浆活动年龄在40 Ma到50 Ma之间(俞赛赢等,2004;喻学惠等,2008;陈琿等,2010),与金沙江-哀牢山富碱斑岩带和腾梁地区新生代侵入岩带在时代上存在较大区别,对于探讨“三江”地区新生代演化和成矿作用均具有重要意义(沈敢富,2000)。遗憾的是,由于工作程度有限,上述岩体时代的划分大多均依赖地层年代学和岩相学对比,仅少数有K-Ar, Rb-Sr和U-Pb年代学资料限定(俞赛赢等,2004;喻学惠等,2008;陈琿等,2010)。本次工作表明,侵位于临沧地块的以勐库岩体为代表的碱长花岗岩形成于中三叠世,而非前人认为的新生代,这种情况在本区其他

新生代岩体中可能同样存在(廖世勇等,2013)。这表明“三江”南段,特别是临沧地块内部前人划分的新生代岩体分布范围和规模可能需要重估。

5 结论

(1)勐库碱长花岗岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 236.2 ± 3.7 Ma,表明岩体侵位于中三叠世,而非前人认为的新生代。以勐库岩体为代表,侵位于临沧花岗岩基内部的碱长花岗岩属于临沧花岗岩基早阶段岩浆活动产物。

(2)勐库碱长花岗岩属于S型花岗岩系列,来自于与临沧花岗岩基相类似的地壳沉积物源区的部分熔融,并经历了高程度的结晶分异。

(3)临沧花岗岩基除已报道的黑云母二长花岗岩类和黑云母花岗岩闪长岩类外,还包括较广泛分布的碱长花岗岩类。

(4)临沧花岗岩基中以勐库岩体为代表的碱长花岗岩并非前人认为的新生代岩体;“三江”南段特别是临沧地块前人划分的新生代岩体分布范围和规模可能需要重估。

① 云南省地质调查院,2004. 1:25万临沧幅区域地质图及调查报告。

References

- Chappell B W. 1999. Aluminium saturation in I-and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites[J]. *Lithos*, 46(3): 535~551.
- Chappell B W and White A J R. 2001. Two contrasting granite types : 25 years later[J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 48(4): 489~499.
- Chen Jichen. 1987. Ages of granitoids in western Yunnan and discussion on their isotopic datings[J]. *Yunnan Geology*, 6 : 101~113 (in Chinese).
- Chen Jichen. 1989. Tectonic surroundings forming west yunnan granitoids and their rock characters[J]. *Yunnan Geology*, 8(3~4): 205~212 (in Chinese).
- Chen Hui, Li Feng, Jian Runtang, *et al.* 2010. Zircon SHRIMP Dating of the Laochang Granite Porphyry in Lancang, Yunnan and Its Geological Significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(4): 485~491(in Chinese).
- Dong Guochen, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, *et al.* 2013. Zircon U-Pb dating and the petrological and geochemical constraints on Lincang granite in Western Yunnan, China: Implications for the closure of the Paleo-Tethys Ocean[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 62(30): 282~294.
- Hennig D, Lehmann B D, Frei D, *et al.* 2009. Early Permian seafloor to continental arc magmatism in the eastern Paleo-Tethys: U-Pb age and Nd-Sr isotope data from the southern Lancangjiang zone, Yunnan, China[J]. *Lithos*, 113(3): 408~422.
- Hepe K, Helmcke D and Wemmer K. 2007. The Lancang River Zone of southwestern Yunnan, China: A questionable location for the active continental margin of Paleotethys[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30(5): 706~720.
- 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): 1 093~1 101.
- Jian Ping, Liu Dunyi, Kroner A, *et al.* 2009. Devonian to Permian plate tectonic cycle of the Paleo-Tethys Orogen in southwest China (II): Insights from zircon ages of ophiolites, arc/back-arc assemblages and within-plate igneous rocks and generation of the Emeishan CFB province[J]. *Lithos*, 113(3): 767~784.
- Kong Huilei. 2011. Geochemistry, Geochronology and Petrogenesis of Lincang Granites in Southern Lancangjiang Zone of Sanjiang Area. MA thesis[D]. China University of Geosciences(Beijing)(in Chinese).
- Kong Huilei, Dong Guochen, Mo Xuanxue, *et al.* 2012. Petrogenesis of Lincang granites in Sanjiang area of western Yunnan Province: constraints from geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Hf isotope[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 28(5): 1 438~1 452(in Chinese).
- Gao Shan, Rudnick R L, Yuan Honglin, *et al.* 2004. Recycling lower continental crust in the North China crator[J]. *Nature*, 432 : 892~897.
- Li Xinglin. 1996. Basic characteristics and formation structural environment of Lincang composite granite batholith[J]. *Yunnan Geology*, 15(1): 1~18 (in Chinese).
- Liao Shiyong, Yin Fuguang, Sun Zhimin, *et al.* 2013. The discovery of Late Triassic subvolcanic dacite porphyry in eastern margin of the Baoshan terrane, and its geodynamic implications[J]. *Geological Bulletin of China*, 32(7): 1 006~1 013 (in Chinese).
- 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 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): 1 535~1 546.
- Liu Changshi. 1990. The Hercynian-Indosinian collision type granites of west Yunnan and their petrogenetic modeling[J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 10(1): 35~44(in Chinese).
- Liu Changshi, Zhu Jinchu and Xu Xisheng. 1989. Study on the characteristics of Lincang composite granite batholith in West Yunnan[J]. *Geology in Yunnan*, 8(3~4): 189~204(in Chinese).
- Liu Deli, Liu Jishun, Zhang Caihua, *et al.* 2008. Geological characteristics and tectonic setting of Yunxian granite in the northern part of South Lancangjiang convergent margin, Western Yunnan Province [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 27(1): 23~31(in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R, 2003. User's manual for Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley, C A, Berkeley Geochronology Center.
- Mo Xuanxue. 1998. Volcanics-ophiolite and mineralization of Middle-Southern part in Sanjiang area of Southwestern China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~128(in Chinese).
- Peng Touping. 2006. The Triassic Post-collisional Magmatism for the Southern Lancangjiang Tectonic Zone, Southwestern China: Petrogenesis and Its Tectonic implications[D]. PhD Thesis, Chinese Academy of Sciences, 1~108(in Chinese).

Shen Ganfu. 2000. The Petrogenesis and Mineralization of the Cenozoic Intrusive Rocks in the Nuijiang-Lancangjiang-Jinshajiang Area, Southwestern China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~141 (in Chinese).

Sone M and Metcalfe I. 2008. Parallel Tethyan sutures in mainland Southeast Asia: New insights for Palaeo-Tethys closure and implications for the Indosinian orogeny [J]. *Comptes Rendus Geosciences*, 340(2~3): 166~179.

Streckeisen A and Le Maitre R W. 1979. A chemical approximation to the modal QAPF classification of the igneous rocks [J]. *Neues Jahrb Mineral Abh*, 136: 169~206.

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.

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, Zhang Aimei, Fan Weiming, et al. 2010. Petrogenesis of late Triassic post-collisional basaltic rocks of the Lancangjiang tectonic zone, southwest China, and tectonic implications for the evolution of the eastern Paleotethys: Geochronological and geochemical constraints [J]. *Lithos*, 120(3): 529~546.

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 Xisheng, Cai Dekun and Zhu Jinchu. 1987. Characteristics and origin of Hercynian-Indosinian granitoids in the Lancangjiang river collision belt, western Yunnan [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 11(3): 247~258 (in Chinese).

Yu Saiying, Li Kunqiong and Shi Yuping. 2003. A study on the granodiorite in the middle part of Lincang granite batholith [J]. *Yunnan Geology*, 22(4): 426~442 (in Chinese).

Yu Saiying, Yang Shipan and Li Kunqiong. 2004. The genesis, evolution and structural setting of Palaeogene granitoid magma in Gengma [J]. *Yunnan Geology*, 23(2): 217~232 (in Chinese).

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 Wenhua, Chen Fukun and Qin Jiyuan. 1993. Petrogenesis and source characteristics of the Lincang granite batholith in West Yunnan [A]. *Accretion of Asia* [C]. Beijing: Seismological Press, 1~142 (in Chinese).

附中文参考文献

陈吉琛. 1987. 滇西花岗岩类时代划分及同位素年龄值选用 [J]. *云南地质*, 6(2): 101~113.

陈吉琛. 1989. 滇西花岗岩类形成的构造环境及岩石特征 [J]. *云南地质*, 8(3~4): 205~212.

陈 琿, 李 峰, 坚润堂, 等. 2010. 云南澜沧老厂花岗斑岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义 [J]. *地质学报*, 84(4): 485~491.

孔会磊. 2011. 三江地区南澜沧江带临沧花岗岩的地球化学、年代学与成因 [硕士学位论文] [D]. 北京: 中国地质大学, 1~73.

孔会磊, 董国臣, 莫宣学, 等. 2012. 滇西三江地区临沧花岗岩的岩石成因-地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素约束 [J]. *岩石学报*, 28(5): 1438~1452.

李兴林. 1996. 临沧复式花岗岩基的基本特征及形成构造环境的研究 [J]. *云南地质*, 15(1): 1~18.

廖世勇, 尹福光, 孙志明, 等. 2013. 保山地块东缘晚三叠世何珠次英安斑岩的发现及其地质意义 [J]. *地质通报*, 32(7): 1006~1013.

刘昌实. 1990. 滇西海西-印支期碰撞型花岗岩的成岩定量模拟 [J]. *桂林工学院学报*, 10(1): 35~44.

刘昌实, 朱金初, 徐夕生. 1989. 滇西临沧复式岩基特征研究 [J]. *云南地质*, 8(4): 189~204.

刘德利, 刘继顺, 张彩华, 等. 2008. 滇西南澜沧江结合带北段云县花岗岩的地质特征及形成环境 [J]. *岩石矿物学杂志*, 27(1): 23~31.

莫宣学. 1998. 三江南段火山岩-蛇绿岩与成矿 [M]. 北京: 地质出版社, 1~128.

彭头平. 2006. 澜沧江南带三叠纪碰撞后岩浆作用——岩石成因及其构造意义 [博士学位论文] [D]. 中国科学院广州地球化学研究所, 1~108.

沈敢富. 2000. 西南三江地区新生代侵入岩的成岩与成矿 [M]. 北京: 地质出版社, 1~141.

徐夕生, 蔡德坤, 朱金初, 等. 1987. 滇西澜沧江碰撞带海西-印支期花岗岩类的特征和成因 [J]. *大地构造与成矿学*, 11(3): 247~258.

俞赛赢, 李昆琼, 施玉萍, 等. 2003. 临沧花岗岩基中段花岗岩闪长岩类研究 [J]. *云南地质*, 22(4): 426~442.

俞赛赢, 杨仕潘, 李昆琼. 2004. 耿马一带古近纪花岗岩类岩浆成因及演化 [J]. *云南地质*, 23(2): 217~232.

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.

张雯华, 陈福坤, 秦季元. 1993. 滇西临沧花岗岩带的成因类型及其物源的讨论 [A]. *亚洲的增生* [C]. 北京: 地震出版社, 1~142.