

滇西凤庆地区箐头山花岗岩的特征

——古特提斯洋碰撞汇聚向伸展转换的证据

田素梅^{1,2)}, 刘军平^{1,2)}, 范振华³⁾, 包佳凤¹⁾, 孙柏东¹⁾,
俞赛赢^{1,2)}, 吴嘉林¹⁾, 朱勋早¹⁾, 宋冬虎⁴⁾

1) 云南省地质调查院, 昆明, 650216;

2) 自然资源部三江成矿作用及资源勘查利用重点实验室, 昆明, 650051;

3) 山东省第一地质矿产勘查院, 济南, 250100; 4) 云南省国土规划设计院, 昆明, 650216



Pre-pub. on line: www.
geojournals.cn/georev

内容提要:笔者等在野外调查的基础上,对出露于滇西临沧岩浆弧北部凤庆箐头山地区原1:25万凤庆县幅划分的二叠纪糜棱岩化黑云二长花岗岩进行了系统的年代学、岩石学和地球化学研究。该花岗岩体中,锆石具典型的振荡环带, Th/U 值均大于0.2, 为岩浆成因, 其 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 213 ± 5 Ma, 应当为岩浆结晶年龄, 表明该岩体形成于晚三叠世, 而非前人认为的二叠纪。全岩主微量元素分析结果显示, 箐头山花岗岩 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 值低, 富 Al_2O_3 , 铝饱和指数(A/NCK 值)平均为1.18, 属过铝质高钾钙碱性系列。稀土配分曲线右倾, 具有轻稀土富集、重稀土弱亏损、负铈异常明显的特征 ($\delta\text{Eu}=0.36\sim0.50$); 富集大离子亲石元素 Rb 和 K, 亏损高场强元素 Zr。在 Rb—(Y+Nb) 判别图解中, 箐头山花岗岩投影点落入后碰撞花岗岩区, 并具有明显向板内花岗岩转换的特征。结合区域地质资料, 笔者等认为获得的 213 Ma 可能代表昌宁—孟连古特提斯洋闭合之后地壳由碰撞后造山向构造伸展转换的时限, 为昌宁—孟连古特提斯洋碰撞后造山作用的结束提供时代约束。

关键词: 锆石 U-Pb 测年; 地球化学; 昌宁—孟连结合带; 弧—陆碰撞; 箐头山花岗岩; 云南凤庆

滇西昌宁—孟连结合带是全球东特提斯构造域的重要组成部分, 沿其发育了云南省境内造山带规模最大的临沧花岗岩体(图1), 为研究古特提斯洋俯冲消减提供了重要场所, 长期以来一直是中外地质学家关注的热点(陈吉琛, 1987, 1989; 李兴林, 1996; 张旗等, 1996; 王义昭, 1997, 2005; 莫宣学等, 1998; 俞赛赢等, 2003)。前人的研究表明, 滇西古特提斯洋由一系列相对稳定的地块与岛弧及其之间多个规模不等的洋盆所组成, 属多岛弧—盆系统, 昌宁—孟连洋盆为古特提斯洋的主洋盆(钟大赉, 1998; 潘桂堂等, 2003; 王舫等, 2014)。国内外学者对昌宁—孟连结合带古特提斯的演化进行了大量的研究, 表明古特提斯洋盆于晚三叠世已处于闭合状态(谭富文等, 2001; 刘军平等, 2017, 2019), 但是对昌宁—孟连古特提斯洋闭合后的碰撞后造山作用结

束时限还没有一个精确的年代学约束。

笔者等对临沧岩浆弧北部凤庆地区箐头山岩体中糜棱岩化黑云二长花岗岩的岩石学、地球化学和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学进行详细研究, 并结合云南省地质调查院近几年开展的云南省1:5万、1:25万区域地质矿产调查项目成果^{①②③}, 对箐头山花岗岩的侵位时代、成因类型、物质来源等特征进行了探讨, 对昌宁—孟连洋盆闭合后的碰撞后造山作用时限进行有效约束, 进而为昌宁—孟连结合带古特提斯洋的演化提供新的重要信息。

凤庆箐头山花岗岩野外露头差, 风化强烈, 前人研究程度较低, 且所获结论相差甚远^{④⑤⑥}。1:20万凤庆幅仅对其进行了简单的相带划分, 归属印支期和喜山期, 1:25万凤庆县幅区域地质调查报告将这些糜棱岩化花岗岩时代划归为二叠纪, 认为是

注: 本文为国家自然科学基金地区基金资助项目(编号:420602005)、国家自然科学基金特提斯重大研究计划重点项目(编号:92055207)和西南三江有色金属资源基地调查项目(编号:DD20160016)子项目云南省1:5万诗礼、犀牛街、大河、老家库、哨街幅区域地质矿产调查项目的成果。

收稿日期:2020-12-09; 改回日期:2021-06-11; 网络首发:2021-06-20; 责任编辑:黄道衷、刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview.2021.06.091
作者简介:田素梅,女,1984年生,硕士,高级工程师,主要从事区域地质调查和岩矿鉴定工作;Email:313470364@qq.com。通讯作者:范振华,男,1983年生,硕士,工程师,主要从事矿产勘查和矿产成因研究工作;Email:158524564@qq.com。

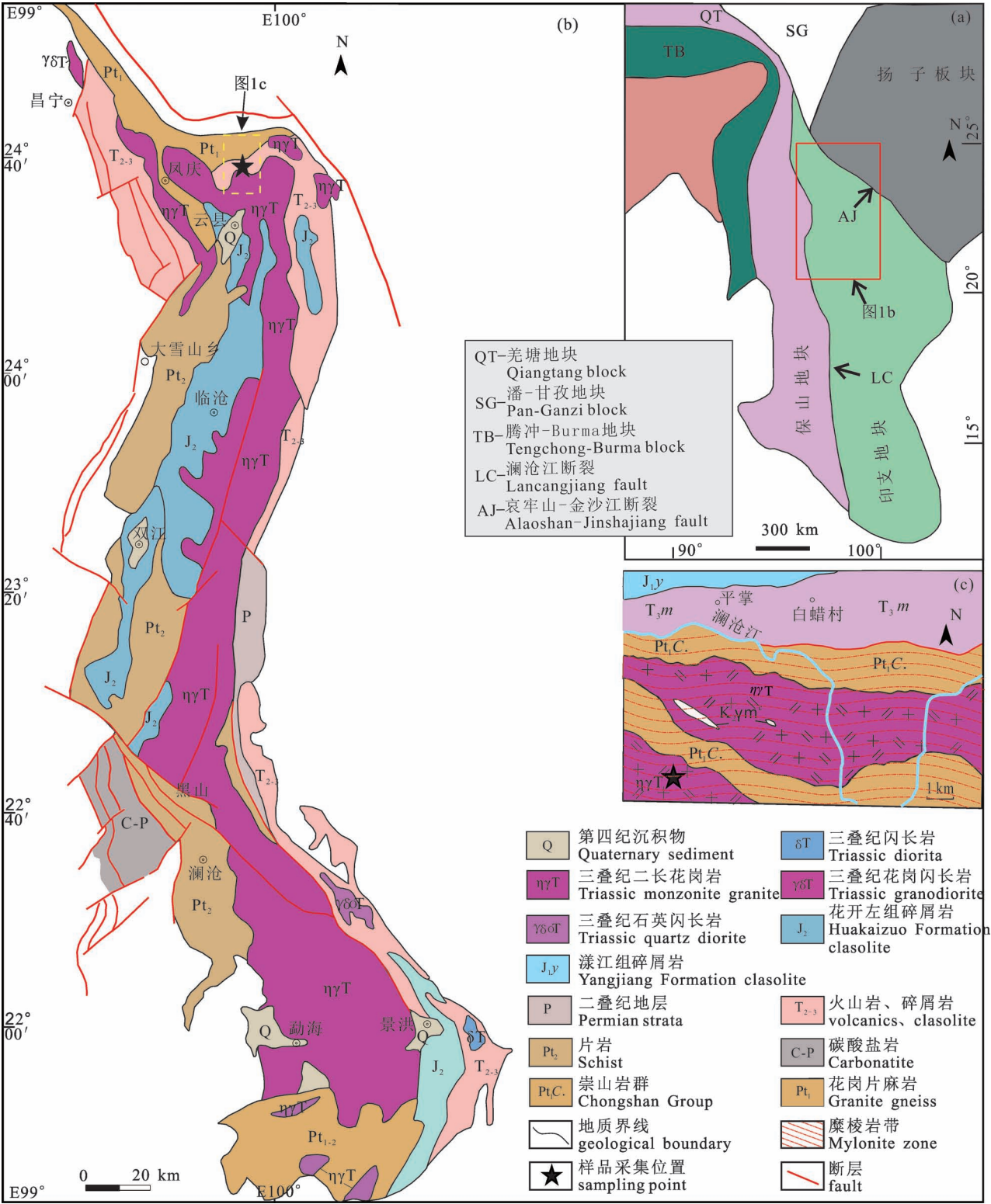


图 1 滇西三江中段地质构造简图:(a) 三江南段地质构造分区图(据云南省地质调查院^①);(b) 昌宁—孟连构造带地质简图(据李文昌等,2010);(c) 凤庆地区地质简图(据云南省地质调查院^①)

Fig. 1 Geological structure sketch map in the central part of the Sangjiang(means three rivers: Jinsha River, Lancang River and Nujiang River) area, western Yunnan: (a) Geological structure sketch map in the south section of the Sangjiang area (after Yunnan Institute of Geological Survey^①); (b) Geological map of Changning—Menglian structural belt(after Li Wencang et al. , 2010&); (c) Geological map of Fengqing area (after Yunnan Institute of Geological Survey^①)

俯冲消减作用过程中形成的I型花岗岩。本次因公路开挖,岩石露头较新鲜,通过野外调查,笔者等认为临沧花岗岩体中二叠纪花岗岩仅有少量呈岛弧状残留于三叠纪黑云二长花岗岩中,为花岗闪长岩、英云闪长岩等,部分遭受后期韧性剪切变形变质作用^②;而凤庆箐头山花岗岩岩性多为糜棱岩化黑云二长花岗岩、糜棱岩化钾长花岗岩、黑云二长花岗质初糜棱岩等,与二叠纪花岗岩岩性差异较大。

1 地质背景和样品特征

研究区位于西南“三江”南段,构造上位于羌塘—三江造山系(VII)和班公湖—双湖—怒江—昌宁—孟连对接带(VIII),地层属于华南地层大区、羌北—昌都—思茅地层区、兰坪—思茅地层分区的澜沧地层小区及漾濞地层小区。区内出露地层有古元古界崇山岩群、三叠系麦初箐组、侏罗系漾江组,岩浆岩以三叠纪花岗岩体为主,少量二叠纪、白垩纪花岗岩(图1)。箐头山花岗岩体与周围临沧花岗岩中三叠纪黑云二长花岗岩之间无明显差异,受后期韧性剪切作用影响,发生了不同程度的糜棱岩化作用(图2a,b),应变强度向临沧花岗岩岩体内部逐渐减弱,与之呈渐变过渡关系,原岩结构基本保留^③。

糜棱岩化黑云二长花岗岩为糜棱结构、变余中细粒花岗结构,弱定向塑性流动构造。矿物成分主要由碱性长石(35%~40%)、斜长石(25%~30%)、石英(25%~30%)组成,次要矿物为黑云母(3%~6%),副矿物主要有金属矿物、磷灰石,典型样品的显微结构照片见图2c。碱性长石无色,它形粒状一半自形板状,部分略呈透镜状,负低突起,主要为正长石,具卡氏双晶,弱泥化;斜长石半自形—自形板状,正低突起,聚片双晶发育,略显透镜状、眼球状,碎裂细粒化,绢云母化;石英为无色,它形粒状—浑圆状—透镜状,正低突起,多细粒化重结晶形成矿物集合体;黑云母具浅黄色—深褐色多色性,正中突起,细粒化明显。岩石中略显透镜状、眼球状斜长石、碱性长石和少量石英碎斑间,塑变细粒化重结晶长英质矿物和黑云母聚集呈网纹状半定向一定向分布。

糜棱岩化钾长花岗岩为灰白色,糜棱结构、变余中细粒花岗结构,定向塑性流动构造。矿物成分为碱性长石(50%~55%)、斜长石(8%~10%)、石英(30%~35%)及少量黑云母(2%左右),副矿物为金属矿物、电气石、锆石等。岩石残余结构显示原岩为钾长花岗岩;黑云母半自形—自形片状,具浅黄色—

深褐色多色性;斜长石呈半自形—自形板状,大部分可见聚片双晶,不同程度绢云母化;碱性长石为它形粒状一半自形板状,多为正长石,含少量微斜长石,具格子状双晶,泥化,表面混浊;石英为它形粒状,充填于长石间隙中,局部石英与碱性长石呈显微文象交生。依岩石中矿物自形程度及相互关系而判定其矿物生成顺序为:黑云母—斜长石—碱性长石—石英。在后期糜棱岩化作用下,粒径 ≤ 5.8 mm的粒状碱性长石、斜长石、石英略显透镜状、眼球状,碎裂特征明显,沿裂隙见基质矿物贯入,构成碎斑;基质为混杂状矿物集合体,主要由粒径 ≤ 0.1 mm的粒状变晶石英、碱性长石、斜长石和显微鳞片变晶状黑云母等矿物组成,经重结晶作用绕碎斑呈流状分布。由于受后期风化作用影响,大部分岩石风化破碎呈碎块状。

黑云二长花岗质初糜棱岩(图2d)为初糜棱结构,局部见变余花岗结构,定向塑性流动构造,主要造岩矿物包括石英(35%~40%)、斜长石(30%~35%)和碱性长石(25%~30%)、黑云母(5%~8%),副矿物包括锆石、榍石、磁铁矿等。岩石中碎斑含量约55%,成分为斜长石、碱性长石、石英和少量鱼状黑云母,矿物边缘多见细粒化现象;长英质矿物和少量黑云母形成45%以下的碎基,呈流状、条痕状聚集产出。黑云母一般为变余半自形—自形片状,略显鱼状,具浅—深褐色多色性,正中突起,颗粒大小0.5~2.0 mm,定向分布,绿泥石化。斜长石(更长石为主)呈透镜状、眼球状(最大者达3 mm×5 mm)定向,部分为半自形—自形板状,聚片双晶发育。石英碎斑内见自形较好的黑云母包裹体,残余原岩浆组构特征,细粒化石英沿长轴拉伸呈条痕状、丝带状;碱性长石主要为微斜长石和正长石,呈眼球状、透镜状碎斑,见裂纹、波状消光,部分呈变余半自形板状,沿长轴方向定向排列。

2 样品分析方法

锆石分选在河北区域地质矿产调查研究所实验室完成,原岩样品经人工粉碎,淘洗后除轻矿物部分,将得到的重砂部分经电磁选后得到含有少量杂质的锆石样品,最后在双目镜下挑选出锆石晶体。选择晶型较好,无裂隙的锆石颗粒粘贴在环氧树脂表面制成锆石样品靶,打磨样品靶,使锆石的中心部位暴露出来,然后进行抛光。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,根据反射光、透射光及锆石CL图像,选择代表性的锆石颗粒

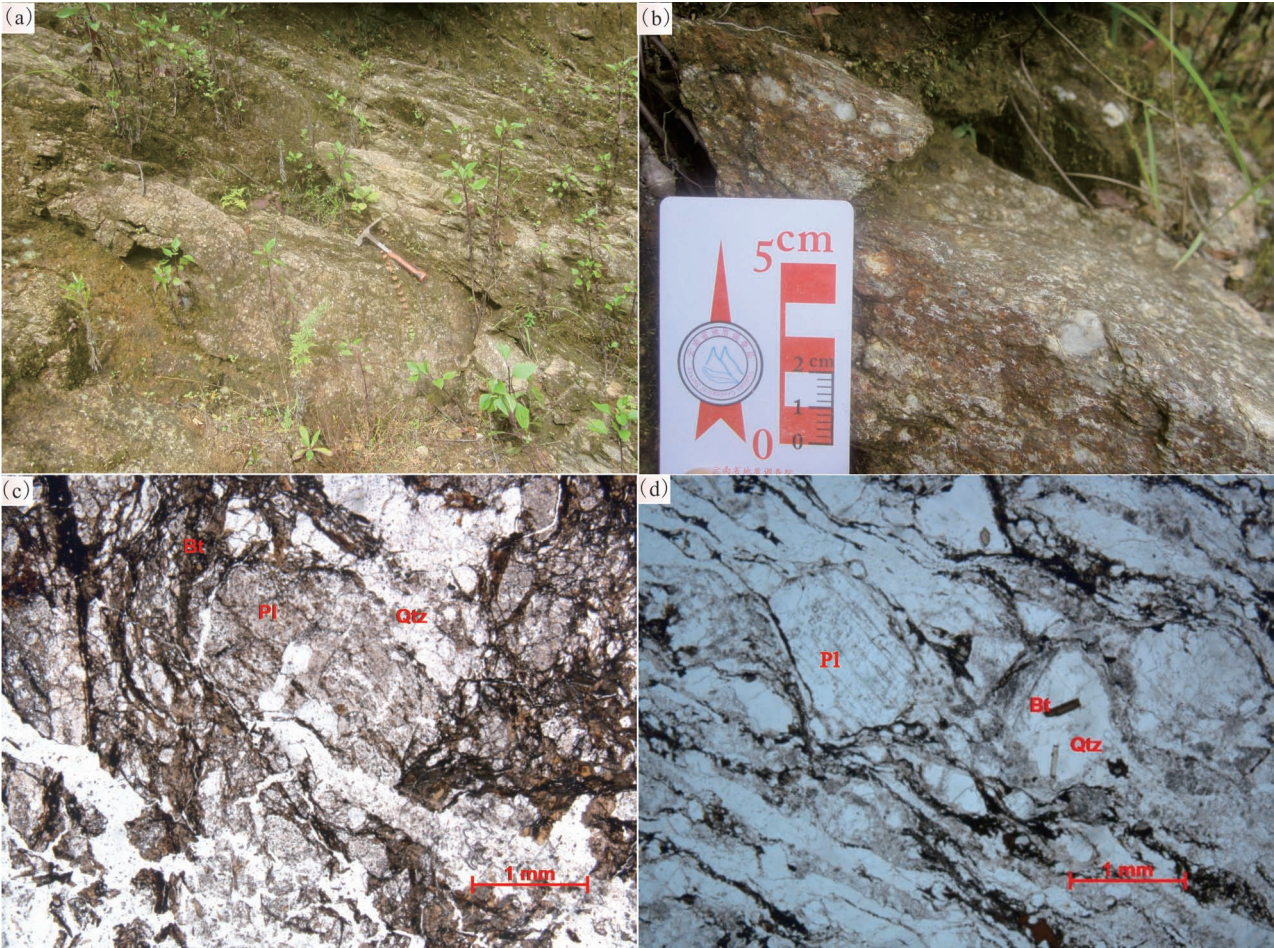


图 2 滇西箐头山地区糜棱岩化黑云二长花岗岩野外及显微照片

Fig. 2 The field and microphotographs for mylonitized biotite monzogranites in Qingtoushan area, Western Yunnan
(a) 糜棱岩化黑云二长花岗岩野外露头照片; (b) 黑云二长花岗质初糜棱岩野外露头照片; (c) 糜棱岩化黑云二长花岗岩中斜长石保留原半自形—自形板状特征, 略显透镜状、眼球状, 重结晶长英质矿物、黑云母绕碎斑呈半定向—定向分布; (d) 黑云二长花岗质初糜棱岩中石英碎斑内见自形较好的黑云母包裹体, 斜长石呈变余半自形板状, 残余原岩浆组构特征, 碎斑边缘见细粒化现象, 碎基绕碎斑呈流状、条痕状聚集产出。Qtz—石英; Pl—斜长石; Bt—黑云母
(a) Field outcrop photo of mylonitized biotite monzonitic granite; (b) field outcrop photo of biotite monzonitic primary mylonite; (c) plagioclase in mylonitized biotite monzonitic granite retains the characteristics of proto hypidiomorphic plate, slightly lenticular, eyeball shaped, plastic fine-grained, recrystallized felsic minerals, biotite around the broken spots in semi-directional—directional distribution; (d) In the biotite monzonite granitic primary mylonite, biotite inclusions with good idiomorphic features can be found in quartz plaques; plagioclase with metamorphic semi-idiomorphic plate; residual features of original magma fabric, fine granulation phenomenon at the edge of plaques, and the aggregated debris surrounding the plaques in flow and stripe shape can be seen. Qtz—quartz; Pl—plagioclase; Bt—biotite

和区域进行 U-Pb 测年。锆石 U-Pb 定年及微量元素含量分析是在湖北省地质实验室测试中心岩石矿物研究室利用 LA-ICP-MS 同时分析完成的。测试仪器采用的是由美国 Coherent Inc 公司生产的 GeoLasPro 全自动版 193 nm ArF 准分子激光剥蚀系统 (LA) 和美国 Agilent 公司生产的 7700X 型电感耦合等离子质谱仪 (ICP-MS) 联用构成的激光剥蚀电感耦合等离子体质谱分析系统 (LA-ICP-MS)。另外激光剥蚀系统配置了由澳大利亚国立大学开发研制的匀化器, 由 10 根长度不同的细 PV 管组成, 激光

剥蚀产生的细小粉末样品通过匀化器装置后, 因通过长短不同的管道所需的时间略有不同而使样品脉冲信号得到平滑, 从而能有效降低激光脉冲剥蚀样品而产生的信号波动。锆石微量元素含量利用 NIST610 作为外标, Si 作为内标进行定量计算。锆石 U-Pb 定年分析采用锆石标准年龄物质 91500 作为外标进行同位素分馏校正, 每分析 6~8 个样品点分析 2 次 91500。样品测试时, 背景信号采集 10 s, 样品剥蚀 40 s, 管路吹扫 10 s, 信号采集时间总共为 60 s。样品的同位素比值和元素含量采用 ICP-MS

DataCal 9.0 进行处理分析,加权平均年龄的计算及锆石年龄谐和图的绘制采用 Isoplot3.0 (Ludwing, 2003) 来完成。采用年龄为²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄,其加权平均值的误差为 5.0 Ma,²⁰⁶Pb/²³⁸U (和²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb) 平均年龄误差为 95%置信度。

选择 4 件岩石样品分别进行主量元素和微量元素分析。样品磨碎至 200 目后,在武汉上谱分析科技有限责任公司进行主量和微量元素分析测试。主量元素使用 X-射线荧光光谱仪 (XRF-1500) 法测试。用 0.6 g 样品和 6 g 四硼酸锂制成的玻璃片在 ShimadzuXRF-1500 上测定氧化物的质量分数值,精度优于 2%~3%。微量元素及稀土元素利用酸溶法制备样品,使用 ICP-MS (Element II) 测试,分析精度 (按照 GSR-1 和 GSR-2 国家标准):当元素质量分数值大于 10×10⁻⁶ 时,精度优于 5%,当质量分数值小于 10×10⁻⁶ 时,精度优于 10%。

3 锆石 U-Pb 年龄

1:20 万凤庆幅^①将箐头山岩体划为印支期和喜马拉雅期、1:25 万凤庆县幅^②将该岩体划归二叠纪。笔者等为准确厘定该岩体的时代,在凤庆县小湾镇西南箐头山附近采集了 1 件重约 5 kg 的新鲜花岗岩样品进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年,岩性为糜棱岩化黑云二长花岗岩,具体采样位置见图 1,样品分析测试结果见表 1。

锆石呈半透明—透明短柱状—柱状,多数自形较好,多见短柱状、柱状,长轴在 110~320 μm,宽度以 80~140 μm 为主,锆石的长、宽比变化较大,为

1.5:1~3:1。锆石阴极发光图像显示 (图 3),绝大多数锆石具有明显的振荡环带,指示为岩浆成因;部分锆石长、宽比值小,内部具有残留的继承锆石核,表现为均匀的无分带的内部结构,继承锆石大多数有较窄的振荡环带 (刘军平等,2020b);部分锆石内部或边部表现出强发光现象,显示出流体改造的特征。笔者等对具有清楚振荡环带的锆石进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测试,其中 14 个点的²⁰⁶Pb/²³⁸U 数据集中在 201~227 Ma,锆石 Th/U 值均>0.1,表明这些锆石为典型的岩浆成因锆石 (刘军平等,2020a),样品加权平均年龄值和锆石 U-Pb 谐和年龄值见图 4,获得 213±5 Ma (MSWD = 3.4, n=14) 加权平均岩浆锆石结晶年龄值,因此岩浆侵位、冷凝时期应属晚三叠世。继承锆石 U 含量为 314×10⁻⁶~793×10⁻⁶,Th 含量为 12.4×10⁻⁶~383×10⁻⁶,Th/U 值为 0.04~0.74,年龄较复杂,其中 7 个测试点锆石年龄主要分为两组:588~613 Ma、316~332 Ma,表明区内新元古代和晚古生代发生过重要的构造热事件。对部分锆石较亮部位进行锆石 U-Pb 测定,5 个测点锆石 Th/U 值较小 (其中 7、15 测点为 0.08),且测点处均表现为无振荡环带特征 (图 3),5 个点的 n(²⁰⁶Pb)/n(²³⁸U) 加权平均年龄为 197.0±3.5 Ma。表明滇西箐头山花岗岩在早侏罗世可能发生过岩浆再造作用,推测该年龄反映的是与变形有关的流体改造的年龄。

4 岩石地球化学特征

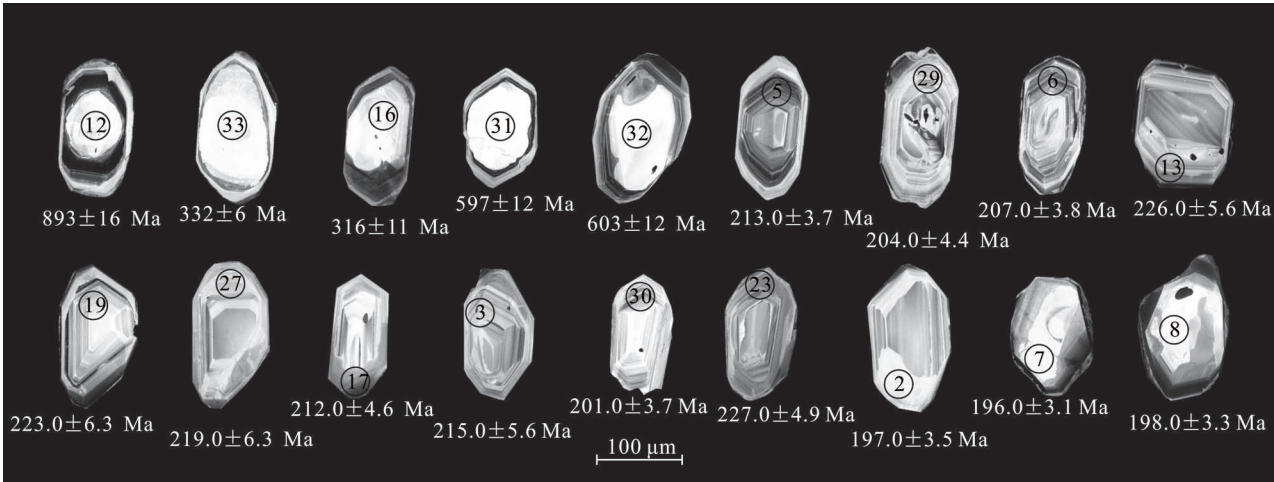


图 3 滇西凤庆地区箐头山花岗岩典型锆石阴极发光 (CL) 图像、U-Pb 定年点
Fig. 3 Cathodoluminescences (CL) images and U-Pb Dating points of typical zircons from Qingtoushan granite, Fengqing area, western Yunnan

表 1 滇西箐头山花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果
Table 1 LA-ICP-MS U-Pb dating data of the zircons from Qingtoushan granites in Fengqing area, west Yunnan

测点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值				同位素年龄(Ma)						谐和度 (%)		
	Pb	Th	U		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$		$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$		$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$		$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$				
					测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ	测值	1 σ			
第一组																	
D7624-12	331	383	517	0.74	0.0684	0.0039	1.4213	0.0810	0.1485	0.0029	881	114	898	34	893	16	99
D7624-16	79	194	491	0.40	0.0530	0.0048	0.3710	0.0333	0.0503	0.0019	328	209	320	25	316	11	98
D7624-31	35	12	324	0.04	0.0567	0.0049	0.7657	0.0641	0.0971	0.0020	480	193	577	37	597	12	96
D7624-32	35	12	314	0.04	0.0636	0.0054	0.8529	0.0672	0.0981	0.0020	728	150	626	37	603	12	96
D7624-33	58	95	746	0.13	0.0512	0.0041	0.3733	0.0276	0.0529	0.0010	250	188	322	20	332	6	96
D7624-34	36	12	325	0.04	0.0611	0.0056	0.8327	0.0684	0.0998	0.0022	643	196	615	38	613	13	99
D7624-35	34	12	339	0.04	0.0592	0.0042	0.7859	0.0530	0.0954	0.0020	572	156	589	30	588	12	99
D7624-36	67	103	793	0.13	0.0491	0.0036	0.3609	0.0247	0.0528	0.0011	150	172	313	18	331	7	94
第二组																	
D7624-4	51	173	704	0.25	0.0604	0.0053	0.2968	0.0281	0.0351	0.0008	617	190	264	22	222	5	82
D7624-1	79	264	649	0.41	0.0515	0.0054	0.2526	0.0256	0.0357	0.0009	265	50	229	21	226	6	98
D7624-5	100	229	2086	0.11	0.0505	0.0027	0.2394	0.0133	0.0336	0.0006	217	126	218	11	213	4	97
D7624-6	69	189	1251	0.15	0.0536	0.0043	0.2426	0.0177	0.0326	0.0006	367	181	221	15	207	4	93
D7624-13	115	236	452	0.52	0.0508	0.0051	0.2448	0.0201	0.0356	0.0009	232	218	222	16	226	6	98
D7624-17	105	1325	1327	1.00	0.0501	0.0034	0.2308	0.0154	0.0335	0.0007	198	159	211	13	212	5	99
D7624-18	53	266	795	0.33	0.0545	0.0050	0.2481	0.0218	0.0326	0.0008	391	209	225	18	207	5	91
D7624-19	237	158	421	0.38	0.0508	0.0056	0.2400	0.0220	0.0352	0.0010	232	233	218	18	223	6	97
D7624-26	59	130	392	0.33	0.0505	0.0058	0.2332	0.0214	0.0334	0.0009	220	244	213	18	211	6	99
D7624-27	82	318	430	0.74	0.0510	0.0055	0.2298	0.0201	0.0345	0.0010	243	233	210	17	219	6	96
D7624-30	334	2068	1506	1.37	0.0490	0.0035	0.2154	0.0151	0.0317	0.0006	146	156	198	13	201	4	98
D7624-3	57	236	548	0.43	0.0501	0.0044	0.2268	0.0162	0.0338	0.0009	211	180	208	13	215	6	96
D7624-23	41	90	654	0.14	0.0470	0.0041	0.2252	0.0167	0.0358	0.0008	56	187	206	14	227	5	90
D7624-29	106	554	851	0.65	0.0503	0.0042	0.2221	0.0169	0.0322	0.0007	209	5	204	14	204	4	99
第三组																	
D7624-2	96	234	1938	0.12	0.0506	0.0029	0.2196	0.0125	0.0310	0.0006	220	135	202	10	197	4	97
D7624-7	173	341	4221	0.08	0.0537	0.0027	0.2344	0.0119	0.0309	0.0005	367	118	214	10	196	3	91
D7624-8	123	312	2509	0.12	0.0503	0.0031	0.2176	0.0121	0.0312	0.0005	206	143	200	10	198	3	99
D7624-15	151	285	3782	0.08	0.0506	0.0025	0.2174	0.0102	0.0310	0.0005	220	121	200	9	197	3	98
D7624-22	220	713	3686	0.19	0.0471	0.0027	0.2041	0.0120	0.0310	0.0007	54	130	189	10	197	4	95

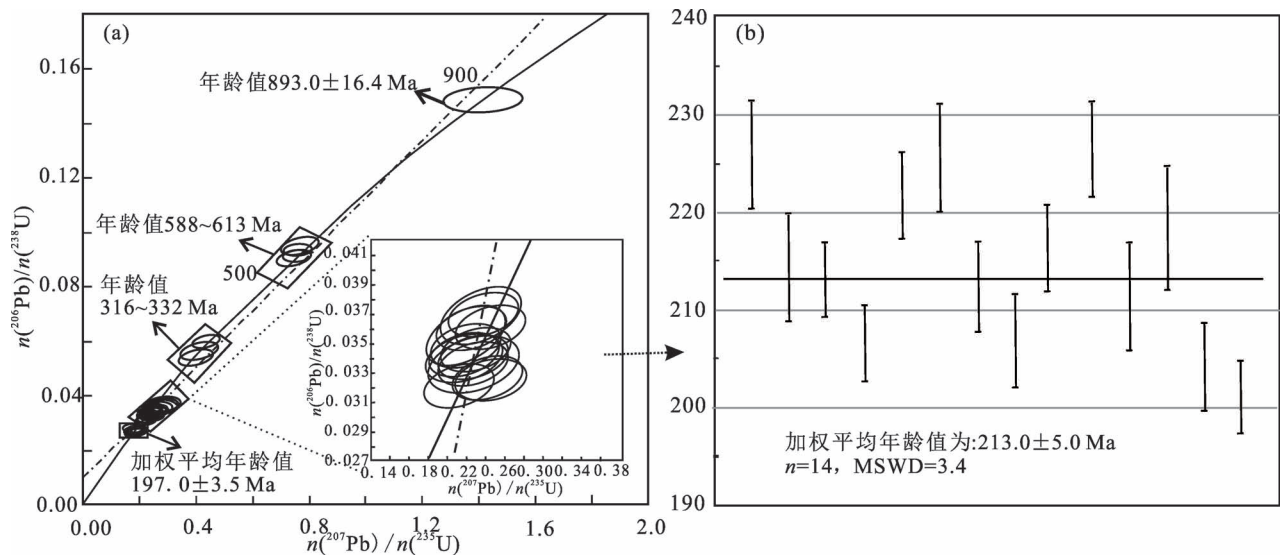


图 4 滇西箐头山地区糜棱岩化黑云二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄图
Fig. 4 U-Pb concordia diagram of the zircons from mylonitized biotite monzogranite
in Qingtoushan area, Fengqing Western Yunnan

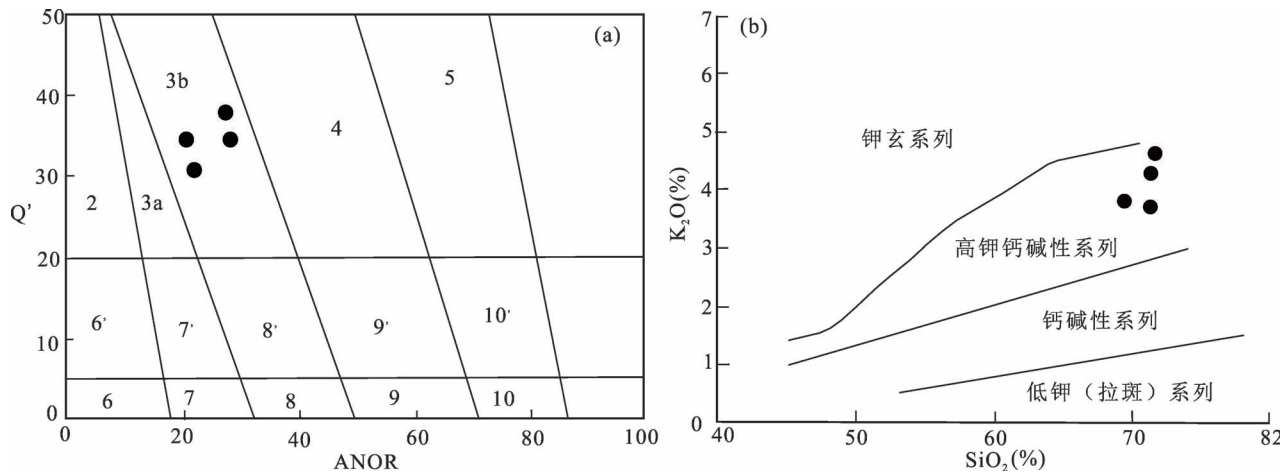


图 5 滇西箐头山地区糜棱岩化黑云二长花岗岩 Q'—ANOR 分类图解和 SiO₂—K₂O 图解
Fig. 5 The Q'—ANOR and SiO₂—K₂O diagram of the mylonitized biotite monzogranite
in Qingtoushan area, Fengqing, Western Yunnan

4.1 主量元素

样品分析测试结果见表 2。在 Q'—ANOR 分类图解中(图 5a), 凤庆箐头山糜棱岩化黑云二长花岗岩样品全部落入二长花岗岩区域, 与野外观察及镜下鉴定结果一致。SiO₂ 含量为 67.83%~70.85%, 平均为 69.35%, Al₂O₃ 含量高, 在 13.44%~14.05%, 平均为 13.65%, CaO 和 MgO 含量的平均值分别为 1.77% 和 1.93%, Na₂O 含量为 2.27%~2.60%, K₂O 含量变化范围为 3.61%~4.80%, Na₂O/K₂O 值均小于 1, 为 0.51~0.63, 在 SiO₂—

K₂O 图解中(图 5b) 花岗岩样品均落在高钾钙碱性岩区, 属于高钾钙碱性系列(Rickwood, 1989)。铝饱和指数 A/NCK 值在 1.07~1.25 之间, 平均为 1.18, A/NK 值均大于 1(为 1.47~1.78), 表现出过铝质花岗岩特征。C. I. P. W. 标准矿物中均出现刚玉分子 c=1.19~3.2(平均 2.54), 且大于 1%, 无透辉石分子 di, 与 S 型花岗岩类似(Dong Guochen et al., 2013)。

4.2 稀土元素和微量元素

箐头山糜棱岩化黑云二长花岗岩的稀土元素总

表 2 滇西箐头山地区黑云二长花岗岩主量元素(%)、微量和稀土元素($\times 10^{-6}$)分析数据

Table 2 Analysis date of major elements (%), trace elements and race earth elements ($\times 10^{-6}$) contents in the biotite monzogranites in Qingtoushan area, Fengqing, Yunnan

样品编号	PM009-1-1	PM009-3-1	PM009-8-1	PM009-11-1	样品编号	PM009-1-1	PM009-3-1	PM009-8-1	PM009-11-1
岩石名称	糜棱岩化 黑云二长 花岗岩	黑云二长 花岗质 糜棱岩	糜棱岩化 黑云二长 花岗岩	糜棱岩化 黑云二长 花岗岩	岩石名称	糜棱岩化 黑云二长 花岗岩	黑云二长 花岗质 糜棱岩	糜棱岩化 黑云二长 花岗岩	糜棱岩化 黑云二长 花岗岩
SiO ₂	67.83	69.40	69.30	70.85	Ta	1.59	1.31	1.41	1.75
TiO ₂	0.60	0.60	0.62	0.47	Pb	32.5	26.9	31.2	53.9
Al ₂ O ₃	14.05	13.44	13.61	13.50	Th	20.2	24.7	29.7	26.5
Fe ₂ O ₃	1.99	1.54	2.00	1.63	U	6.77	5.13	4.86	7.92
FeO	2.18	2.70	2.50	1.80	Y	36.3	19.0	22.3	42.3
MnO	0.05	0.03	0.05	0.06	La	37.2	40.0	51.0	38.9
MgO	2.29	2.04	2.01	1.38	Ce	74.4	85.5	105	80.9
CaO	2.21	1.19	1.80	1.89	Pr	9.37	10.1	12.9	10.1
Na ₂ O	2.33	2.60	2.27	2.44	Nd	36.5	38.4	49.7	38.5
K ₂ O	3.76	4.16	3.61	4.80	Sm	7.23	7.04	9.15	8.22
P ₂ O ₅	0.26	0.16	0.18	0.14	Eu	1.15	0.91	1.22	0.94
H ₂ O ⁺	1.16	1.18	1.01	0.49	Gd	6.59	5.91	7.67	7.65
烧失	2.34	1.94	1.58	0.83	Tb	1.16	0.85	1.10	1.41
总和	99.88	99.81	99.53	99.78	Dy	7.16	4.40	5.42	8.57
Na ₂ O+ K ₂ O	6.09	6.76	5.88	7.24	Ho	1.39	0.76	0.89	1.59
A/NK	1.78	1.53	1.78	1.47	Er	4.03	2.14	2.36	4.49
A/NCK	1.18	1.23	1.25	1.07	Tm	0.59	0.27	0.28	0.62
Sc	12.4	12.9	10.3	9.15	Yb	3.72	1.78	1.59	3.73
Cr	77.2	78.5	80.7	67.1	Lu	0.55	0.29	0.22	0.55
Co	12.2	14.2	10.4	10.4	ΣREE	227.34	217.46	270.81	248.48
Ni	20.9	23.0	22.6	14.8	LREE/HREE	2.70	5.14	5.48	2.50
Cu	15.8	53.7	19.6	16.1	δEu	0.50	0.42	0.43	0.36
Zn	45.0	23.2	54.4	48.0	δCe	0.94	1.00	0.96	0.96
Rb	223	209	212	263	La/Sm	5.14	5.69	5.57	4.73
Sr	121	105	126	110	(La/Sm) _N	3.24	3.58	3.51	2.98
Zr	195	186	224	170	(Gd/Yb) _N	1.43	2.68	3.90	1.66
Nb	16.8	18.0	16.9	16.8	(La/Lu) _N	7.01	14.48	24.20	7.35
Ba	786	757	772	630	Sr/Y	3.35	5.50	5.67	2.60
Hf	9.22	11.3	14.6	16.6	Rb/Sr	1.84	1.99	1.68	2.39

量ΣREE 在 $217.46 \times 10^{-6} \sim 270.81 \times 10^{-6}$, 平均值为 241.02×10^{-6} , LREE 相对富集, HREE 相对亏损, 二者的比值为 2.50~5.48。在稀土元素球粒陨石标准化配分图中所有的样品均表现出明显的右倾特征(图 6a), 总体配分型式与临沧花岗岩体类似(云南省地矿局, 2003^③; 云南省地质调查院, 2008^④, 2016^⑤); 结合稀土元素球粒陨石标准化配分模式图可以看出, $(La/Yb)_N$ 为 6.73~21.64, 轻重稀土元素分异程度较高, 轻稀土元素的分馏系数 $(La/Sm)_N$ 变化于 2.98~3.58, 重稀土元素分馏系数 $(Gd/Yb)_N$ 为 1.43~3.90, 轻重稀土元素分馏程度相当; δEu 为 0.36~0.50, 显示 Eu 具有明显负异常特征, δCe = 0.94~1.00, 平均 0.97。

在微量元素蜘蛛图中(图 6b), 4 件样品的曲线

形态相似, 与临沧花岗岩体的配分模式相近(云南省地质调查院^{③④⑤}), 均富集部分大离子亲石元素 Rb 和 K, Zr、Sr、Ba 显示负异常, Sr 和 Ba 明显负异常暗示了岩浆源区残余斜长石和角闪石或者存在两者的早期结晶分异。但相比于临沧花岗岩体, 箐头山岩体 Hf 含量变化于 $9.22 \times 10^{-6} \sim 16.6 \times 10^{-6}$, 明显偏高, Zr/Hf 值低(10.24~21.15)。

5 讨论

5.1 箐头山花岗岩形成时代

近十年来, 随着同位素定年技术的改进与发展, 各地勘单位、科研院校等对临沧花岗岩体的形成时代做了大量的研究工作, 并逐渐积累了一批精确可靠的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄结果。Hennig 等

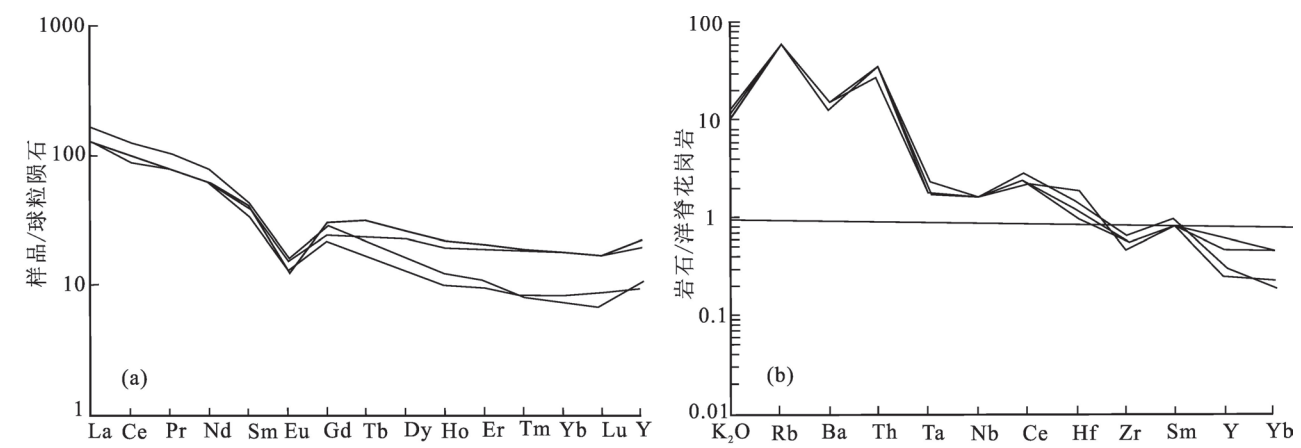


图 6 滇西箐头山地区糜棱岩化黑云二长花岗岩稀土元素球粒陨石标准化图(a) (据 Boynton, 1984) 和微量元素蛛网图(b) 据 Sun et al. , 1989)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns(a) (fter Boynton,1984) and primitive mantle-normalized patterns(b) (after Sun et al. , 1989) of mylonitized biotite monzogranites in Qingtoushan area, Fengqing, Western Yunnan

(2009)在临沧花岗岩岩基北端测得 230 Ma 锆石 U-Pb 年龄;Dong Guochen 等(2013,2017)在临沧市北侧二长花岗岩中获得锆石 U-Pb 定年结果为 203 Ma,云县大朝山附近二长花岗岩时代为 235 Ma; Dong Guochen 等(2013)和彭头平等(2006) 在凤庆地区分别取得了 231 Ma、230 Ma 岩浆侵位年龄,并在临沧市南侧获得花岗闪长岩年龄为 252 Ma。廖世勇等(2014)在勐库地区的碱长花岗岩中测得了 236 Ma 锆石 U-Pb 年龄值。云南省地质调查院^{③④}先后在临沧花岗岩中获得大量锆石 U-Pb 年龄值。如在临沧地区似斑状中粗粒黑云二长花岗岩中取得锆石 U-Pb 年龄为 231.6~238.7 Ma;在澜沧县麻力地区、景洪曼东地区采集的 3 件锆石样品分别获 228 Ma、230 Ma、238.5 Ma 的加权平均年龄值,同时在景洪曼东地区花岗闪长岩中获得 256Ma 的岩浆侵位年龄;在勐库地区的二长花岗岩中得到了 229 Ma 的锆石年龄。澜沧江南段不同地区花岗质岩锆石测年结果为 217~233 Ma(王舫等,2014),临沧岩基最南端高分异花岗岩 2 个样品锆石时代分别为 216 Ma 和 228 Ma (Wang Changming et al. , 2015),孔会磊等(2012)对不同地区临沧花岗岩样品锆石 U-Pb 定年分析结果为 203~227Ma。

笔者等对凤庆箐头山地区糜棱岩化黑云二长花岗岩进行了详细的 LA-ICP-MS 锆石测年工作。这些样品中锆石大多自形较好,具有清晰的振荡环带,锆石 Th/U 值均>0.1,为典型的岩浆成因锆石。锆石测年结果表明,这些岩浆成因的锆石 U-Pb 年龄

为 213 Ma,该年龄应代表花岗质岩浆的侵位、冷凝年龄。由此,可以认为箐头山糜棱岩化黑云二长花岗岩的形成年龄为 213 Ma,为晚三叠世,而非前人认为的二叠纪。

从上述大量年代学数据来看,虽然临沧花岗岩体规模巨大,但东西、南北等地岩浆结晶年龄无明显差异,其主体形成年龄为 210~235 Ma。

5.2 岩浆源区与成岩构造环境

笔者等测试的 4 件样品的 CaO 与 Na₂O 含量较低,P₂O₅ 含量为 0.14~0.26, K₂O/Na₂O 值均大于 1.5,为 1.59~1.97,铝饱和指数 (A/NCK) 为 1.07~1.25,平均值为 1.18,刚玉分子指数 C 较大为 1.19~3.2(平均 2.54),Rb/Sr>0.9,表现出 S 型花岗岩特征。同时箐头山花岗岩和临沧花岗岩的地球化学特征均显示 Zr、Hf、Ti 的负异常和 Rb、Th、U 相对富集,与典型的壳源花岗岩相似(Harris et al. , 1986; Bea et al. , 2011)。一些研究者认为 S 型花岗岩源区主要为变杂砂岩和变泥质岩等变沉积岩源区(Brown, 2013)。过铝质花岗岩 Rb/Ba 和 Rb/Sr 值变化能直接反映其源区特征,因此,可利用 Rb—Sr—Ba 系统比值确定源区成分(Sylvester, 1998)。在 Rb/Ba—Rb/Sr 图解(图 7a)中,箐头山糜棱岩化黑云二长花岗岩 4 件样品全部落入贫粘土区。

Chappell 和 White(1992)认为 CaO/Na₂O 值是判别花岗岩源区成分的一个重要指标。Patino Douce 和 Johnson(1991)通过实验揭示,花岗岩中 CaO/Na₂O 值主要受源区中斜长石、粘土成分含量

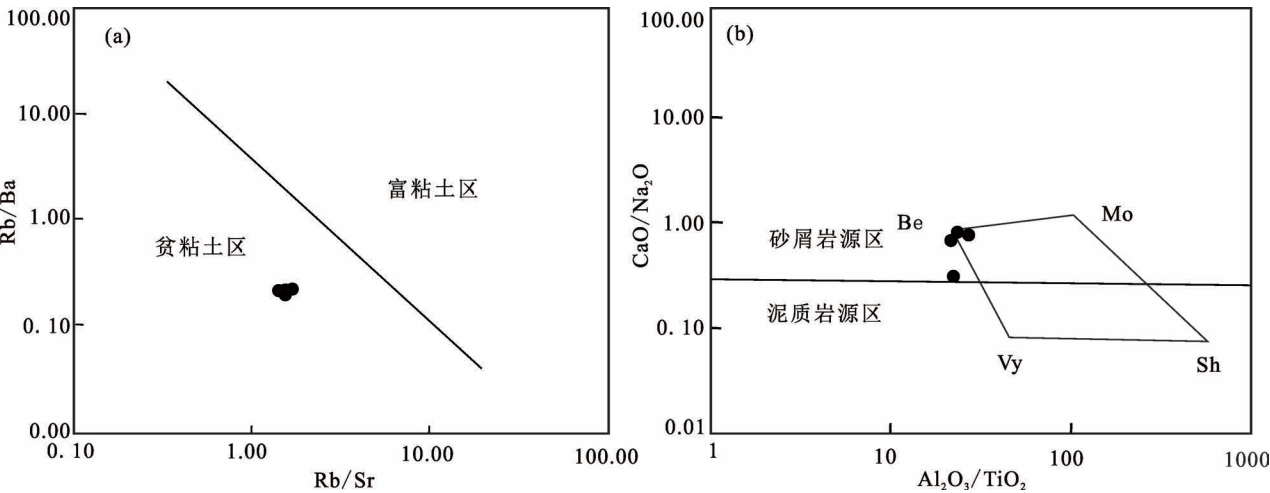


图 7 滇西箐头山花岗岩 Rb/Ba—Rb/Sr(a) 和 CaO/Na₂O— Al₂O₃/TiO₂(b) 图解(据 Sylvester, 1998)

Fig. 7 Rb/Ba—Rb/Sr(a) and CaO/Na₂O— Al₂O₃/TiO₂(b) diagrams of granites in Qingtoushan area, Fengqing, Western Yunnan (after Sylvester, 1998)

Be—澳大利亚拉克伦褶皱带中 Bethanga 岩体; Mo—阿尔卑斯造山带中的 Moschumandl 岩体; Vy—海西造山带中的 Vysoky—Kamen 岩体; Sh—喜马拉雅造山带中的 ShisgaPangma 岩体
Be—Bethanga rocks in the Lachlan fold belt of Australia; Mo—Moschumandl rocks in the alpine orogenic belt; Vy—The Vysoky—Kamen rocks in the Hercynian orogenic belt; Sh— The Shisga Pangma rocks in the Himalayan orogenic belt

控制,贫斜长石、富粘土质泥岩产生的强过铝花岗岩 CaO/Na₂O 值一般小于 0.3;富斜长石、贫粘土质碎屑岩产生的花岗岩 CaO/Na₂O 值一般大于 0.3。箐头山花岗岩的 CaO/Na₂O 值为 0.46~0.95,大于 0.3,属碎屑岩产生的花岗岩。在 CaO/Na₂O—Al₂O₃/TiO₂ 图解中(图 7b),笔者等 4 件样品均落入砂屑岩源区,该结果与利用 Rb/Sr 比值判断的结果是吻合的,表明箐头山花岗岩体属于贫粘土的砂屑岩系部分熔融的产物。

前人对于临沧花岗岩形成的构造背景研究存在不同认识。刘昌实、陈吉琛(1989)认为其主体属于碰撞型花岗岩,是昌宁—孟连碰撞带的主要组成部分;赵枫等(2018)认为临沧花岗岩类主体形成于古特提斯洋同碰撞造山和后碰撞伸展两种构造环境;部分研究者认为临沧花岗岩形成于碰撞后环境,例如 Dong Guochen 等(2013)和孔会磊等(2012)认为临沧花岗岩形成于后碰撞挤压向伸展转换阶段,属碰撞后花岗岩,彭头平等(2006)和 Hennig 等(2009)认为临沧花岗岩可能形成于碰撞晚期—碰撞后的构造环境;而王舫等(2014)通过地球化学特征并结合区域构造背景认为临沧花岗岩可能形成于中—晚三叠世古特提斯洋闭合后的构造伸展阶段。

结合区域地质资料及张旗 Sr—Yb 判别图(图 8),临沧花岗岩 50%~60%投影点落入常见的低 Sr

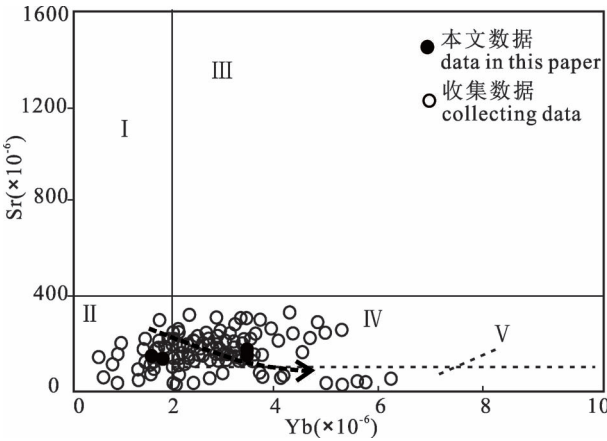


图 8 临沧花岗岩的 Sr—Yb 图解(据张旗,2006)

Fig. 8 Sr—Yb diagram of Lingcang granite (after Zhang Qi, 2006&)

I—高 Sr 低 Yb 型花岗岩; II—低 Sr 低 Yb 型花岗岩; III—高 Sr 高 Yb 型花岗岩; IV—低 Sr 高 Yb 型花岗岩; V—非常低 Sr 高 Yb 型花岗岩

I—high Sr lower Yb type granites; II—lower Sr lower Yb type granites; III—high Sr high Yb type granites; IV— lower Sr high Yb type granites; V—very lower Sr high Yb type granites

高 Yb 型花岗岩区(浙闽型),25%~35%投影点落入低 Sr 低 Yb 型花岗岩区(喜马拉雅型),约 5%~10%投影点落入极低 Sr 高 Yb 型花岗岩区(南岭型)(云南省地质调查院,2008,2013,2015,2016;孔会磊,

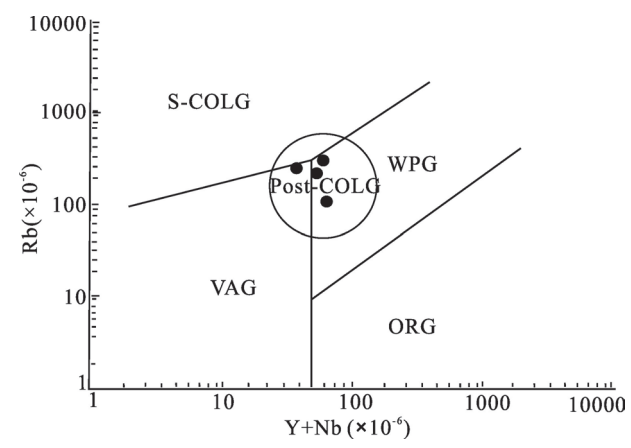


图 9 滇西箐头山花岗岩 Rb — (Y+Nb) 判别图解
(据 Pearce, 1996)

Fig. 9 Rb—(Y+Nb) discrimination diagram of Qingtoushan granite in Fengqing area, Western Yunnan (after Pearce, 1996)

WPG—板内花岗岩; ORG—洋中脊花岗岩; VAG—岛弧花岗岩; S-COLG—同碰撞花岗岩; Post-COLG—后碰撞花岗岩

WPG—Within plate granite; ORG—ocean ridge granite; VAG—volcanic arc granite; S-COLG—syn-collisional granite; Post-COLG—post-collisional granite

2011)。张旗等(2006)研究认为碰撞阶段通常会出现低 Sr 低 Yb 型花岗岩,而临沧花岗岩体中大量样品均落入低 Sr 高 Yb 型花岗岩区,表现出与我国东南沿海花岗岩相一致的特征,应形成于挤压向伸展转换阶段,即碰撞后阶段(张旗,2008)。Liegeois 等(1998)研究指出,碰撞后阶段是指洋盆消失和主碰撞发生之后到造山作用结束这一时段的造山过程。碰撞后的伸展作用导致地壳减薄,地幔抬升,软流圈上涌,地幔发生减压熔融作用,形成的玄武岩浆底侵,使地壳熔融形成花岗岩(张旗等,2007)。临沧花岗岩形成环境总体上表现为压力降低的趋势,岩浆源区具有麻粒岩相(低 Sr 低 Yb 型)→角闪岩相(低 Sr 高 Yb 型)→低角闪岩相(极低 Sr 高 Yb 型)变化,源区深度逐渐减小,指示了造山运动由碰撞→碰撞后→伸展阶段的变化过程。

箐头山花岗岩位于临沧花岗岩基北段,与临沧花岗岩基中主体岩石的地球化学特征具有较高的一致性,在 Rb—(Y+Nb) 构造环境判别图解中落入后碰撞花岗岩区(图 9),具有明显向板内花岗岩转换特征;结合区域地质背景及前人研究成果,笔者等认为箐头山花岗岩形成于昌宁—孟连古特提斯洋闭合之后地壳由碰撞后造山向陆内构造伸展转换阶段。且云南省地质调查院^{①⑥}在临沧花岗岩体中发现多

处 A 型花岗岩出露点,地化数据显示具非造山花岗岩或板内花岗岩特征,与二叠纪俯冲花岗岩、三叠纪碰撞、后碰撞花岗岩正好组成一个完整的岩浆演化旋回,推测为古特提斯构造演化最终结束的标志(刘军平等,2020d)。

5.3 地质意义

长期以来,昌宁—孟连结合带一直被认为是晚古生代(泥盆纪—三叠纪)特提斯洋盆消亡的残余记录(张旗等,1985,1992,1996;刘本培等,1993,2002;莫宣学等,2006;钟大赟,1998;潘桂堂等,2003)。近年来,云南省地质调查院^①在双江勐库地区发现的退变质榴辉岩中获得了 801 Ma 的原岩年龄,结合新元古代南华纪 810~830 Ma 裂谷事件火山岩(Li Xianhua et al., 2008)以及其上不整合覆盖的冰碛岩,表明随着罗迪尼亚(Rodinia)超级大陆解体,最迟到南华纪地史时期,已形成初始原特提斯洋盆(潘桂棠等,2012;李静等,2017)。研究者们又相继在昌宁—孟连结合带内识别出早古生代时期蛇绿混杂岩,如 Wang Baodi 等(2013a,b)在南汀河地区发现 454~439 Ma 堆晶辉长岩,王冬兵等(2016)在牛井山地区识别出约 468 Ma 的 O 型高镁埃达克质英云闪长岩,刘桂春等(2017)在双江县忙那河地区采集到锆石 U-Pb 年龄为 471 Ma 的钠质堆晶斜长岩;彭智敏等(2020)在双江清平地区获得 434~437 Ma 斜长角闪岩;云南省地质调查院^②(2020)在勐海布朗山地区获得变质堆晶辉长岩年龄为 480.2 Ma。这一系列数据表明昌宁—孟连洋盆在早古生代时期就已经出现了真正的洋壳,可以被看作是早古生代原特提斯大洋扩张的证据。近年来的地质调查和研究进展表明,原特提斯洋盆的俯冲消减与古特提斯洋的伸展扩张是同步进行的,即古特提斯洋对原特提斯洋的继承性演化是在同一个大洋盆地中完成的,是连续演化的过程(刘桂春等,2017;李静等,2017;王保弟等,2018)。昌宁—孟连特提斯洋经历了早古生代原特提斯大洋扩张、早古生代中晚期—晚古生代特提斯俯冲消减与岛弧带形成、晚二叠世末—早三叠世主碰撞汇聚、晚三叠世晚碰撞造山与盆山转换等阶段(王保弟等,2018;刘军平等,2019)。结合区域资料,昌宁—孟连带在二叠纪末—早三叠世进入弧—陆俯冲向碰撞汇聚转换阶段(280~245 Ma);中三叠世进入主碰撞阶段(245~235 Ma);中—晚三叠世碰撞后造山阶段(235~210 Ma);之后进入伸展拉张阶段(~198 Ma),主要沉积了以早侏罗统芒汇河组、小红桥组为代表的火山岩

夹碎屑岩沉积(刘军平等,2017,2020c;王保弟等,2018)。

笔者等在箐头花岗岩中所测得锆石 U-Pb 年龄 213 Ma 代表昌宁—孟连洋盆关闭后,陆—陆碰撞后造山作用结束并向构造伸展转换阶段的时间,由此,笔者等认为箐头花岗岩可能是昌宁—孟连洋盆碰撞后造山向早期伸展作用转换的产物(王保弟等,2018),为昌宁—孟连洋弧—陆碰撞向伸展转换提供了年代学依据。而笔者等所测得的另一组年龄数据在 198~196 Ma 之间,该年龄数据与 1:25 万景洪幅区域地质调查项目在江桥、那澜两地的芒汇河组流纹岩中所获得的锆石 U-Pb 年龄 196.7 Ma、198.1 Ma 具有一致性,可能代表岩石经历了一次构造热事件,野外露头尺度上表现为岩石强糜棱岩化作用,可能与昌宁—孟连洋盆关闭后,构造背景由挤压向伸展转换后的剪切作用有关。区域上该时间段表现为典型的碰撞后的伸展构造背景,属后碰撞—后造山阶段,岩石地球化学上芒汇河组流纹岩具有典型后造山花岗岩或“A”型花岗岩的特征(解龙等,2015;王玉玺等,2017;李金超,2021),指示当时已完全进入碰撞后构造伸展阶段(吕留彦等,2019)。

6 结论

(1)箐头山花岗岩岩体结晶年龄为 213 ± 5 Ma (MSWD=3.4, $n=14$),表明岩体形成于晚三叠世,而非前人认为的二叠纪,是目前临沧岩浆弧发现的最为年轻的具有后碰撞花岗岩及板内花岗岩双重性质的酸性岩浆记录,前人划分的二叠纪花岗岩的分布范围和规模需要重估。

(2)箐头山花岗岩岩体具有低 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 、富 Al_2O_3 的过铝质高钾钙碱性系列,显示 Zr、Hf、Ti 的负异常和 Rb、Th、U 相对富集,具典型的壳源花岗岩特征,为上地壳中—低压环境下麻粒岩相—角闪岩相贫粘土砂屑岩系部分熔融产物。

(3)箐头山花岗岩岩体形成于昌宁—孟连洋闭合之后地壳由碰撞后造山向构造伸展转换阶段,暗示当时昌宁—孟连结合带已由挤压碰撞环境转变为拉张环境,进入陆内伸展阶段,213 Ma 可能为昌宁—孟连古特提斯洋闭合后碰撞后造山作用结束提供时代约束。

致谢:云南省地质调查院张虎教授级高工、孙载波高工均认真审阅了本文并提出了许多详细的修改意见,在此一并表示衷心感谢。

注 释 / Notes

- ① 云南省地质矿产局. 1981. 1:20 万凤庆幅区域地质调查报告.
- ② 云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志. 北京:地质出版社.
- ③ 云南省地质调查院. 2003. 1:25 万临沧县幅、滚龙幅(国内部分)区域地质调查报告.
- ④ 云南省地质调查院. 2008. 1:25 万凤庆县幅区域地质调查报告.
- ⑤ 云南省地质调查院. 2013. 1:25 万景洪市幅、澜沧县幅、勐腊县幅、勐海县幅区域地质调查报告.
- ⑥ 云南省地质调查院. 2016. 云南 1:5 万香竹林、勐永、勐撒区、懂过、耿马、安雅、勐库幅区域地质矿产调查报告.
- ⑦ 云南省地质调查院. 2016. 1:5 万诗礼、犀牛街、大河、老家库、哨街幅区域地质矿产调查报告.
- ⑧ 云南省地质调查院. 2020. 1:5 万曼各、小街、曼班、大勐龙、勐宋坝、万纳兰幅区域地质调查报告.

参 考 文 献 / References

- (The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
- 陈吉琛. 1987. 滇西花岗岩类时代划分及同位素年龄值选用. 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. 云南地质, 8(3~4): 205~212.
- 方宗杰, 王玉净, 周志澄, 王成源, 郭震宇. 2000. 滇西昌宁—孟连带西区两个地层问题——兼论昌宁—孟连带的闭合造山过程. 地层学杂志, 24(3): 182~189.
- 靳新娣, 朱和平. 2000. 岩石样品中 43 种元素的高分辨等离子质谱测定. 分析化学, 28(5): 563~567.
- 孔会磊, 董国臣, 莫宣学, 赵志丹, 朱弟成, 王硕, 李荣, 王乔林. 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. 岩石学报, 28(5): 1438~1452.
- 李金超, 国显正, 孔会磊, 姚学钢, 贾群子. 2021. 东昆仑浪麦滩地区 A 型花岗岩年代学、地球化学特征及其地质意义. 地质学报, 95(5): 1508~1522.
- 李静, 孙载波, 黄亮, 徐桂香, 田素梅, 邓仁宏, 周坤. 2017. 滇西勐库退变质榴辉岩的 P—T—t 轨迹及地质意义. 岩石学报, 33(7): 2285~2301.
- 李文昌, 尹光侯, 卢映祥, 王彦斌, 余海军, 曹晓民, 张世权. 2010. 西南“三江”格咱火山岩浆弧中红山属都蛇绿混杂岩带的厘定及其意义. 岩石学报, 26(6): 1661~1671.
- 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. 云南地质, 15: 1~18.
- 刘昌实, 朱金初, 徐夕生. 1989. 滇西临沧复式岩基特征研究. 云南地质, 8(3~4): 189~204.
- 刘本培, 冯庆来, 方念乔, 贾进华, 何馥香. 1993. 滇西南昌宁—孟连带和澜沧江带古特提斯多岛洋构造演化. 地球科学, 18(5): 529~538.
- 刘本培, 冯庆来, Chonglakmani C, Heilmcke D. 2002. 滇西古特提斯多岛洋结构及其南北延伸. 地学前言, 8(3): 67~76.
- 廖世勇, 尹福光, 王冬兵, 唐渊, 孙志明, 孙洁. 2014. 滇西“三江”地区临沧花岗岩体中三叠世碱长花岗岩的发现及其意义. 岩石矿物学杂志, 33(1): 1~12.
- 刘军平, 田素梅, 丛峰, 孙柏东, 黄晓明, 徐云飞. 2017. 滇西澜沧江南段沙乐花岗岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义. 沉积与特提斯地质, 37(4): 59~70.

刘军平, 胡绍斌, 田素梅, 卢晓萍, 孙柏东, 俞赛赢, 朱勋早, 孙鹏, 王晓峰. 2019. 滇西南澜沧地区无量山岩群变质英安岩锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 地质通报, 38(8): 1327~1334.

刘军平, 孙柏东, 王晓峰, 刘伟, 马进华, 关学卿, 宋冬虎, 吕勃烽. 2020a. 滇中禄丰地区中元古代早期球颧玄武岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其大地构造意义. 地质论评, 66(1): 35~51.

刘军平, 李静, 王根厚, 孙柏东, 胡绍斌, 俞赛赢, 王小虎, 宋冬虎. 2020b. 扬子板块西南缘基性侵入岩锆石定年及地球化学特征——Columbia 超级大陆裂解的响应. 地质论评, 66(2): 350~364.

刘军平, 王晓峰, 王小虎, 杨爱平, 宋冬虎, 田素梅, 夏彩香, 张坤, 杨仕潘. 2020c. 滇中甸中地区中二叠世晚期镁铁—超镁铁质岩体特征及其与峨眉地幔柱关系——来自锆石 U-Pb 年龄及岩石地球化学证据. 地质论评, 66(5): 1284~1298.

刘军平, 杨爱平, 王小虎, 罗光明, 田素梅, 朱勋早, 殷伟, 张坤. 2020d. 滇西凤庆地区小湾花岗岩年代学、地球化学特征及其弧—陆俯冲向碰撞汇聚作用. 中国地质, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.p.20200825.1426.002.html>

刘桂春, 孙载波, 曾文涛, 冯庆来, 黄亮, 张虎. 2017. 滇西双江县勐库地区湾河蛇绿混杂岩的形成时代、岩石地球化学特征及其地质意义. 岩石矿物学杂志, 36(2): 163~174.

吕留彦, 李静, 曾文涛, 俞赛赢, 孙载波, 王晓峰. 2019. 滇西南南澜沧江构造岩浆岩带早侏罗世火山岩的发现——兼论云南省境内印支构造旋回的上限. 中国地质, 46(6): 1270~1283.

莫宣学, 沈上越, 朱勤文, 须同瑞, 魏启荣, 谭劲, 张双全, 程惠兰. 1998. 三江中段段火山岩—蛇绿岩与成矿. 北京: 地质出版社: 44~47.

莫宣学, 潘桂棠. 2006. 从特提斯到青藏高原形成: 构造—岩浆事件的约束. 地学前缘, 13(6): 43~51.

潘桂棠, 徐强, 侯增谦, 王立全, 杜德勋, 莫宣学, 李定谋, 汪名杰, 李兴振, 江新胜, 胡云中. 2003. 西南“三江”多岛弧造山过程成矿系统与资源评价. 北京: 地质出版社, 11~79.

潘桂棠, 王立全, 李荣社, 尹福光, 朱弟成. 2012. 多岛弧盆系构造模式: 认识大陆地质的关键. 沉积与特提斯地质, 32(3): 1~20.

彭头平, 王岳军, 范蔚茗, 刘敦一, 石玉若, 苗来成. 2006. 澜沧江南段早中生代酸性火成岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及构造意义. 中国科学(D 辑), 36(2): 123~132.

彭智敏, 付于真, 王国芝, 关俊雷, 耿全如, 胡金峰, 刘云鹤, 张璋. 2020. 昌宁—孟连结合带青平地区斜长角山岩锆石年代学及 Sr—Nd—Hf 同位素研究. 地质学报, 94(2): 511~526.

谭富文, 潘桂棠, 王剑. 2001. 滇西泥盆纪—三叠纪盆—山转换过程与特提斯构造演化. 矿物岩石, 21(3): 179~185.

王保弟, 王立全, 王冬兵, 尹福光, 贺娟, 彭智敏, 闫国川. 2018. 三江昌宁—孟连带原—古特提斯构造演化. 地球科学, 43(8): 2527~2550.

王冬兵, 罗亮, 唐渊, 尹福光, 王保弟, 王立全. 2016. 昌宁—孟连结合带牛井山早古生代埃达克岩锆石 U-Pb 年龄、岩石成因及其地质意义. 岩石学报, 38(2): 2317~2329.

王舫, 刘福来, 刘平华, 施建荣, 蔡佳. 2014. 澜沧江南段临沧花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及构造意义. 岩石学报, 30(10): 3034~3050.

王义昭. 1997. 滇西昌宁—孟连带地质构造特征及构造环境. 特提斯地质, 21: 31~50.

王义昭. 2005. 昌宁—孟连带南部孟连—曼信地区晚古生代地层若干问题. 地质论评, 51(1): 1~9.

王玉玺, 王金荣, 周小玲, 王怀涛, 第鹏飞, 王晓伟, 陈万峰. 2017. Columbia 超大陆裂解: 来自塔里木克拉通南东缘大红山 A 型花岗岩的证据. 地质学报, 91(11): 2369~2386.

解龙, 顿都, 朱利东, 尼玛次仁, 杨文光, 陶刚, 李超, 何碧, 和源. 2015. 西藏北冈底斯扎独顶 A 型花岗岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其地质意义. 中国地质, 42(5): 1214~1227.

俞赛赢, 李昆琼, 施玉萍, 张惠华. 2003. 临沧花岗岩体中段花岗岩闪长岩类研究. 云南地质, 22(4): 426~442.

赵枫, 李龚健, 张鹏飞, 王传斌, 孙载波, 唐鑫. 2018. 西南三江临沧花岗岩体成因与构造启示: 元素地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素约束. 岩石学报, 34(05): 1397~1412.

张旗, 李达周, 张魁武. 1985. 云南省云县铜厂街蛇绿混杂岩的初步研究. 岩石学报, 1(3): 1~14.

张旗. 1992. 镁铁—超镁铁岩与威尔逊旋回. 岩石学报, 8(2): 168~176.

张旗, 周德进, 赵大升, 彭兴阶, 罗万林, 刘祥品. 1996. 滇西古特提斯造山带的威尔逊旋回: 岩浆活动记录 and 深部过程讨论. 岩石学报, 12(1): 17~28.

张旗, 王焰, 李承东, 王元龙, 金惟俊, 贾秀勤. 2006. 花岗岩的 Sr—Yb 分类及其地质意义. 岩石学报, 22(9): 2249~2269.

张旗, 潘国强, 李承东, 金惟俊, 贾秀勤. 2007. 花岗岩构造环境问题: 关于花岗岩研究的思考之三. 岩石学报, 23(11): 2683~2694.

张旗, 王焰, 潘国强, 李承东, 金惟俊. 2008. 花岗岩源岩问题——关于花岗岩研究的思考之四. 岩石学报, 24(6): 1193~1204.

钟大赉. 1998. 滇川西部古特提斯造山带. 北京: 科学出版社: 56~167.

Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb. Chemical Geology, 192(1~2): 59~79.

Bea F, Mazhari A, Montero P, Amini S, Ghalamghash J. 2011. Zircon dating, Sr and Nd isotopes, and element geochemistry of the Khalifan pluton, NW Iran: Evidence for Variscan magmatism in a supposedly Cimmerian superterrane. Journal of Asian Earth Sciences, 40(1): 172~179.

Boynton W V. 1984. Rare earth element geochemistry Volume 2 II Cosmochemistry of the rare elements: Meteorite studies. Developments in Geochemistry, 63~114.

Brown M. 2013. Granite: from genesis to emplacement. Bulletin of the Geological Society of America, 125(7~8): 1079~1113.

Chappell B W and White A J R. 1992. I- and S-type granites in the Lachlan fold belt. Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences, 83(1~2): 1~26.

Chen Jishen. 1987. Discussion on the Age division and the selects of isotopic age determination for granitic rock in western Yunnan. Yunnan Geology, 6: 101~113.

Chen Jishen. 1989. Tectonic surroundings forming West Yunnan granitoids and their rock characters. Yunnan Geology, 8(3~4): 205~212.

Dong Guochen, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Zhu Dicheng, Goodman R, Kong Huilei, Wang Shuo. 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. Journal of Asian Earth Sciences, 62: 282~294.

Fang Zongjie, Wang Yujing, Zhou Zhicheng, Wang Chengyuan, Guo Zhenyu. 2000. A discussion on two problems concerning the stratigraphy of the west zone in the Changning—Menglian belt, western Yunnan, China. Journal of Stratigraphy, 24(3): 182~189.

Harris N B W, Pearce J A, Tindle A G. 1986. Geochemical

- Characteristics of Collision-zone Magmatism// Collision Tectonics. Special Publication, Geological Society of London: 67~81.
- Hennig D, Lemann B, Frei D, Belatsk B, Zhao X F, Cabral A R, Zeng P S, Zhou M S, Schmidt K. 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. *Lithos*, 113(3~4): 408~422.
- Jin Xindi, Zhu Heping. 2000&. Determination of 43 trace elements in rock samples by double focusing high resolution inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 28(5): 563~567.
- Jian Ping, Liu Dunyi, Krner A, Zhang Qi, Wang Yizhao, Sun Xiaomeng, Zhang Wei. 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. *Lithos*, 113(3~4): 767~784.
- Kong Huilei, Dong Guochen, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Zhu Dicheng, Wang Shuo, Li Rong, Wang Qiaolin. 2012&. Petrogenesis of Lincang granites in Sanjiang area of western Yunnan Province: Constraints from geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Hf isotope. *Acta Petrologica Sinica*, 28(5): 1438~1452.
- Li Jinchao, Guo Xianzheng, Kong Huilei, Yao Xuegang, Jia Qunzi. 2021&. Geochronology, geochemical characteristics and geological significance of A-type granite from the Langmaitan area, East Kunlun. *Acta Geologica Sinica*, 95(5): 1508~1522.
- Li Jing, Sun Zaibo, Huang Liang, Xu Guixiang, Tian Sumei, Deng Renhong, Zhou Kun. 2017&. P—T—t path and geological significance of retrograded eclogites from Mengku area in western Yunnan Province, China. *Acta Petrologica Sinica*, 33(7): 2285~2301.
- Li Wenchang, Yin Guanghou, Lu Yingxiang, Wang Yanbin, Yu Haijun, Cao Xiaomin, Zhang Shiquan. 2010&. Delineation of Hongshan—Shudu ophiolite mélange in Geza volcanimatic arc and its significance, southwest “Jinsha—Lancang Nu Rivers”. *Acta Petrologica Sinica*, 26(6): 1661~1671.
- Li Xianhua, Li xianwu, Li Zhengxiang, Liu Ying. 2008. 850–790 Ma bimodal volcanic and intrusive rocks in Northern Zhejiang, South China: A major Episode of continental rift magmatism during the breakup of Rodinia. *Lithos*, 102(1~2): 341~357.
- Li Xinlin. 1996&. Basic characteristics and formation structural environment of Lincang composite granite batholith. *Yunnan Geology*, 15: 1~18.
- Liao Shiyong, Yin Fuguang, Wang Dongbing, Tang Yuan, Sun Zhiming, Sun Jie. 2014&. The discovery of Middle Triassic alkali feldspar granite from the giant Lincang batholiths in southern Three River region and its geological implications. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(1): 1~12.
- Liegeois N P, Navez J, Hertogen J, Black R. 1998. Contrasting origin of post-collisional high-K calc-alkaline and shoshonitic versus alkaline and peralkaline granitoids. The use of sliding normalization. *Lithos*, 45: 1~28.
- Liu Benpei, Feng Qinglai, Fang Nianqiao, Jia Jinhua, He Yanxiang. 1993&. Tectonic evolution of Paleo-Tethys poly-island-ocean in Changning—Menglian and Lancangjiang belts, Southwestern Yunnan, China. *Earth Science*, 18(5): 529~538.
- Liu Benpei, Feng Qinglai, Chonglakmani C, Heilmcke D. 2002&. Framework of Paleotethyan Archipelago Ocean of western Yunnan and its elongation towards north and south. *Earth Science Frontiers*, 9(3): 161~171.
- Liu Changshi, Zhu Jinchu, Xu Xisheng. 1989&. Study on the characteristics of Lincang composite granite batholith in west Yunnan. *Yunnan Geology*, 8(3~4): 189~204.
- Liu Guichun, Sunzailbo, Zeng Wengtao, Feng Qinglai, Huangliang, Zhuang Hu. 2017&. The age of Wanhe ophiolitic mélange from Mengku area, Shuangjiang County, western Yunnan Province, and its geological significance. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 36(2): 163~174.
- Liu Junping, Tian Sumei, Cong Feng, Sun Baidong, Huang Xiaoming, Xu Yunfei. 2017&. The shale granites from the southern part of the Lancang River, western Yunnan: Zircon U-Pb age, geochemistry and geological implications. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 37(4): 29~40.
- Liu Junping, Hu Shaobin, Tian Sumei, Lu Xiaoping, Sun Baidong, Yu Saiying, Zhu Xunzao, Sun Peng, Wang Xiaofeng. 2019&. U-Pb ages of zircon from metamorphic dolomite of the Wuliangshan Rock Group in Nanjian area, western Yunnan, and its tectonic significance. *Geological Bulletin of China*, 38(8): 1327~1334.
- Liu Junping, Sun Baidong, Wang Xiaofeng, Liu Wei, Ma Jinhua, Guan Xueqing, Song Donghu, Lü Boye. 2020a&. The zircon U-Pb age, geochemical characteristics and tectonic significance of the spherical basalt in the early Mesoproterozoic in Lufeng area central Yunnan. *Geological Review*, 66(1): 35~51.
- Liu Junping, Li Jing, Wang Genhou, Sun Baidong, Hu Shaobin, Yu Saiying, Wang Xiaohu, Song Donghu. 2020b&. Geochemical characteristics and U-Pb age of the zircons from mafic intrusion in the south western margin of the Yangtze plate: Response to break-up of the Columbia supercontinent. *Geological Review*, 66(2): 350~364.
- Liu Junping, Wang Xiaofeng, Wang Xiaohu, Yang Aiping, Song Donghu, Tian Sumei, Xia Caixiang, Zhang Kun, Yang Shipan. 2020c&. Characteristics of the late Middle Permian mafic—ultramafic rocks in Dianzhong area, central Yunnan, and their relationship with the Emei Mantle Plume—Evidence from zircon U-Pb age and petrogeochemistry. *Geological Review*, 66(5): 1284~1298.
- Liu Junping, Yang Aiping, Wang Xiaohu, Luo Guangming, Tian Sumei, Zhu Xunzao, Yin Wei, Zhang Kun. 2020d&. Zircon U-Pb age, Geochemistry characteristics and Arc—Continent subduction to collision of the Xiaowan granite in Fengqing area, western Yunnan Province. *Geology in China*, <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.p.20200825.1426.002.html>.
- Ludwig K R. 2003. User “s” manual for Isoplot 3. 00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, No. 4: 70.
- Lü Liuyan, Li Jing, Zeng Wentao, Yu Saiying, Sun Zailbo, Wang Xiaofeng. 2019&. The discovery of Early Jurassic volcanic rocks along the Southern Lancangjiang tectonic magmatic belt in southwest Yunnan, with a discussion on the upper limit of Indosinian tectonic cycles in Yunnan Province. *Geology in China*, 46(6): 1270~1283.
- Middlemost E A K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth-Science Reviews*, 37(3): 215~224.
- Mo Xuanxue, Pan Guitang. 2006&. From the Tethys to the formation of the Qinghai—Tibet Plateau: Constrained by tectono—magmatic events. *Earth Science Frontiers*, 13(6): 43~51.
- Mo Xuanxue, Shen Shangyue, Zhu Qinwen, Xu Tongrui, Wei Qirong,

- Tan Jin, Zhang Shuanglan, Chen Huilan. 1998&. Volcanic Ophiolite—mineralization in the Middle South Section of Sanjiang. Beijing: Geological Publishing House: 44~47.
- Pan Guitang, Xu Qiang, Hou Zengqian, Wang Liquan, Du Dexun, Mo Xuanxue, Li Dingmou, WangMingjie, Li Xinzhen, Jiang Xinshen, Hu Yunzhong. 2003&. Archipelagic Orogenesis, Metallogenic Systems and Assessment of the Mineral Resources along the Nuijiang—Langcangjiang—Jinshjiang Area in Southwestern China. Beijing: Geological Publishing House: 11~79.
- Pan Guitang, Wang Liquan, Li Rongshe, Yin Fuguang, Zhu Dicheng. 2012&. Tectonic model of archipelagic arc—basin systems: The key to the continental geology. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 32(3): 1~20.
- Patino Douce A E and Johnson A D. 1991. Phase equilibria and melting productivity in the politic system; Implication for the origin of peraluminous granitoids and aluminous granulites. *Contri. Mineral. Petro*, 107: 202~218.
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the teconic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25: 956~983.
- Pearce J A. 1996. Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, 19(4): 120~125.
- Peng Touping, Wilde S A, Wang Yuejun, Fan Weiming, Peng Bingxia. 2013. Mid-Triassic felsic igneous rocks from the southern Lancangjiang Zone, SW China; Petrogenesis and implications for the evolution of Paleo-Tethys. *Lithos*, 168: 15~32.
- Peng Touping, Wang Yuejun, Fan Weizheng, Liu Dunyi, Shi Yuruo, Miao Laicheng. 2006#. Zircon SHRIMP dating of early Mesozoic felsic volcanic rocks from the southern Lancangjiang zone and tectonic implications. *Sciencein China (Series D)*, 36(2): 123~132.
- Peng Zhimin, Fu Yuzhen, Wang Guozhi, Guan Junlei, Geng Quanru, Hu Jinfeng, Liu Yunhe, Zhang Zhang. 2020&. The results of geochronological, geochemical and Sr—Nd—Hf isotopic investigations on amphibolites in the Qingping Region, Changning—Menglian Suture Zone. *Acta Geologica Sinica*, 94(2): 511~526.
- Rickwood P C. 1989. Boundary lines with in petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos*, 22(4): 247~263.
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; Implications for mantle composition and processes// *Magmatism in Oceanic Basins*. Geological Society London Special Publications, 42(1): 313~345.
- Sylvester P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites. *Lithos*, 45(1~4): 29~44.
- Tan Fuwen, Pan Guitang, Wang Jian. 2001&. Devonian—Triassic basin—range transformation and the tectonia evlution of paleo-Tethys in Western Yunnan, China. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 21(3): 179~185.
- Taylor S R and McLennan S M. 1985. *The Continental Crust: Its composition and evolution: an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks*. Blackwell, Oxford: 1~312.
- Wang Baodi, Wang Liquan, Pan Guitang, Wang Dongbing, Tang Yuan. 2013a. U-Pb zircon dating of Early Paleozoic gabbro from the Nanting-he ophiolite in the Changning—Menglian suture zone and its geological implication. *Chinese Science Bulletin*, 58(8): 920~930.
- Wang Baodi, Wang Liquan, Yin Fuguang, Wang Dongbing, Liu Han, Tang Yan. 2013b. Longmu Co—Shuanghu—Changning—Menglian suture zone; Residual of uniform Early Paleozoic Tethys Ocean. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 87(zl): 72~75.
- Wang Baodi, Wang Liquan, Wang Dongbing, Yin Fuguang, He Juan, Peng Zhimin, Yan Guochuan. 2018&. Tectonic Evolution of the Changning—Menglian Proto—Paleo Tethys Ocean in the Sanjiang Area, Southwestern China. *Earth Science*, 43(8): 2527~2550.
- Wang Changming, Deng Jun, Santosh M, McCuaig T C, Lu Yongjun, Carranza E J M, Wang Q ingfei. 2015. Age and origin of the Bulangshan and Mengsong granitoids and their significance for post-collisional tectonics in the Changning—Menglian Paleo-Tethys Orogen. *Journal of Asian Earth Science*, 113(4): 656~676.
- Wang Dongbin, Luo Liang, Tang Yuan, Yin Fuguang, Wang Baodi, Wang Liquan. 2016&. Zircon U-Pb dating and petrogenesis of Early Paleozoic adakites from the Niujiangshan ophiolitic mélange in the Changning—Menglian suture zone and its geological implicatios. *Acta Petrologica Sinica*, 38(2): 2317~2329.
- Wang Fang, Liu Fulai, Wang Pinghua, Shi Jianrong, Cai Jia. 2014&. Petrogenesis of Lingcang granites in the south of Lancangjiang area: Constrain from geochemistry and zircon U-Pb geochronology. *Acta Petrologica Sinica*, 30(10): 3034~3050.
- Wang Yizhao. 1997&. Geological structures and tectonic settings in the Changning—Menglian zone, Western Yunnan. *Tethyan Geology*, 21: 31~50.
- Wang Yizhao. 2005&. Remarks on the Upper Paleozoic strata in the Menglian—Manxin area of the southern part of the Changning Menglian belt, western Yunnan. *Geological Review*, 51(1): 1~9.
- Wang Yuxi, Wang Jinrong, Zhou Xiaoling, Wang Huaitao, Di Pengfei, Wang Xiaowei, Chen Wanfeng. 2017&. The Cracking of Columbia Supercontinent: Evidence from the Dahongshan A-Type Granite in the Southeastern Tarim Craton. *Acta geologica sinica*, 91(11): 2369~2386.
- Williams I S. 1998. U—Th—Pb geochronology by ion microprobe. *Reviews in Economic Geology*, 7: 1~35.
- Wu Fuyuan, Wan Bo, Zhao Liang, Xiao Wenjiao, Zhu Rixiang. 2020&. Tethyan geodynamics. *Acta Petrologica Sinica*. 36(6): 1627~1674.
- Xie Long, Dun Du, Zhu Lidong, Ni Maciren, Yang Wenguang, Tao Gang, Li Chao, He Bi, He Yuan. 2015&. Zircon U-Pb geochronology, geochemistry and significance of the Zhaduding A-type granites in northern Gangdise, Tibet. *Geology in China*, 42(5): 1214~1227.
- Yu Saiying, Li Kunqiong, Shi Yuping, Zhang Huihua. 2003&. A study on the granodiorite in the middle partof Lincang granite batholith. *Yunnan Geology*, 22(4): 426~442.
- Zhang Qi, Li Dazhou, Zhang Kuiwu. 1985&. Preliminary study on tongchangjie ophiolitic melange from Yun County, Yunnan Province. *Acta Petrologica Sinica*, 1(3): 1~14.
- Zhang Qi. 1992&. The mafic—ultramafic rocks and Wilson cycle. *Acta Petrologica Sinica*, 8(2): 168~176.
- Zhang Qi, Zhou Dejin, Zhao Dasheng, Peng Xingjie, Luo Wanlin, Liu Xiangpin. 1996&. Wilson Cycle of the Paleo-Tethyan orogenic Belt in Western Yunnan; Record of Magmatism and Discussion on Mantle Processes. *Acta Petrologica Sinica*, 12(1): 17~28.
- Zhang Qi, Wang Yan, Li Chengdon, Wang Yuanlong, Jin Weijun, Jia Xiuqin. 2006&. Granite classification on the basis of Sr and Yb contents and its implications. *Acta Petrologica Sinica*, 22(9): 2249~2269.
- Zhang Qi, Pan Guoqiang, Li Chengdon, Jin Weijun, Jia Xiuqin.

2007&. Are discrimination diagrams always indicative of correct tectonic settings of granites? Some crucial questions on granite study (3). *Acta Petrologica Sinica*, 23(11): 2683~2698.

Zhang Qi, Wang Yan, Pan Guoqiang, Li Chengdon, Jin Weijun.

2008&. Sources of granites: some crucial questions on granite study (4). *Acta Petrologica Sinica*, 24(6): 1193~1204.

Zhao Feng, Li Gongjian, Zhang Pengfei, Wang Chuanbin, Sun Zaibo,

Tang Xin. 2018&. Petrogenesis and tectonic implications of the Lincang batholiths in the Sanjiang, Southwest China: Constraints by geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Hf isotope. *Acta Petrologica Sinica*, 34(5): 1397~1412.

Zhong Dalai. 1998. Palaeo-Tethys Orogenic Belt West of Yunnan and Sichuan. Beijing: Science Press: 56~167.

Age and geochemical characteristics of Qingtoushan granite in Fengqing area, Western Yunnan

——Transition evidences for collision convergence to extension of the Paleo-Tethys Ocean

TIAN Sumei^{1, 2)}, LIU Junping^{1, 2)}, FAN Zhenhua³⁾, BAO Jiafeng^{1, 2)}, SUN Baidong¹⁾,
YU Saiying^{1, 2)}, WU Jialin¹⁾, ZHU Xunzao¹⁾, SONG Domghu¹⁾

1) *Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming, 650216;*

2) *Key Laboratory of Sanjiang Metallogeny and Resources Exploration and Utilization, MNR, Kunming, 650051;*

3) *Institute of Geology and Mineral Resources of Shandong Province, Jinan, 250100;*

4) *Yunnan Institute of Land and Resources Planning and Design, Kunming, 650216*

Objectives: Geologists at home and abroad have done a lot of research on the evolution of the Paleo-Tethyan ocean in the Changning—Menglian suture zone, but there is still lack of precise chronological constraints on the end time of post-collisional orogeny after its closure. We study the emplacement age, genetic type and material source of Qingtoushan granite, located in the northern part of Lincang magmatic arc, in Fengqing area, western Yunnan Province, so as to constrain the post collisional orogeny after the closure of Changning—Menglian ocean basin.

Methods: Combined with the results of 1 : 50000 and 1 : 250000 Regional Geological and Mineral Survey Projects in recent years, we studied the petrology, geochemistry and LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of mylonitized biotite monzogranite exposed in the Qingtoushan area, providing evidences for the tectonic evolution of the Changning—Menglian suture zone.

Results: The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Qingtoushan granite yields a magma crystallization age of 213 ± 5 Ma (MSWD = 3.4, $n = 14$), which is attribute to characteristics of typical oscillatory zoning, and Th/U ratios greater than 0.2. The granite belongs to peraluminous high-K calc-alkaline series, with low $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ratio, rich in Al_2O_3 , and the average Al saturation index A/NCK is 1.18. The REE distribution curves have the characteristics of right deviation LREE enrichment, weak depletion on HREE, and obviously negative anomalies of Eu ($\delta\text{Eu} = 0.36 \sim 0.50$). The granites are enriched in lithophile elements Rb, K; and are depleted in the high field strength elements, such as Zr. In the Rb—(Y+Nb) discrimination diagrams of trace elements, the projection points fall into the post-COLG, which have the characteristics of obviously transformed to intraplate granite.

Conclusions: The crystallization age of 213 ± 5 Ma indicates that the Qingtoushan granite was formed in the Late Triassic rather than the Permian. It is the youngest acid magma with the dual properties of post-collisional granite and intraplate granite discovered in the Lincang magmatic arc so far, suggesting that the Changning—Menglian suture zone should have entered the intracontinental extension stage, and the tectonic environment at that time should have changed from compressional collision to extensional one. This age may provide constraints on the end of post-collisional orogeny after the closure of Changning—Menglian Paleo-Tethys ocean.

Keywords: zircon U-Pb dating; geochemistry; Changning—Menglian suture zone; arc—continent collision; Qingtoushan granite; Fengqing, western Yunnan

Acknowledgements: This paper is supported by the Regional Fund Projects of National Natural Science Foundation of China (No. 420602005), the Key Projects of National Natural Science Fund of Chinese Tethys Major Research Program (No. 92055207) and Southwest Sanjiang Nonferrous Metal Resource Base Survey Project (No. dd20160016), the results of the regional geological and mineral survey project of Yunnan Province 1 : 50000

Shili, Xiniujie, Dahe, laojiaku and Shaojie sheets.

First author: TIAN Sumei, female, born in 1984, senior engineer, master, is mainly engages in regional geological investigation and rock, ore appraisal; Email: 313470364@qq. com

Corresponding author: FAN Zhenhua, male, engineer, is mainly engaged in geological investigation; Email: 158524564@qq. com

Manuscript received on: 2020-12-09; Accepted on: 2021-06-11; Network published on: 2021-06-20

Doi: 10. 16509/j. georeview. 2021. 06. 091 **Edited by:** HUANG Daomao, LIU Zhiqiang

