

西南三江造山带早古生代岩浆事件及其对原特提斯大洋演化的响应

尹福光, 徐波, 王冬兵, 王保弟, 唐渊

YIN Fuguang, XU Bo, WANG Dongbing, WANG Baodi, TANG Yuan

中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081

Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China

摘要:西南三江造山带由多条缝合带及其间多个大小不等的中间地块构成,大地构造位置处于欧亚板块和印度板块结合部位的特提斯构造域东段。在福贡县马吉乡古当河片麻状花岗岩、保山怒江坝镇西片麻岩、永德变质流纹岩、漕涧花岗岩岩体、西盟花岗片麻岩、澜沧基性-中基性火山岩中分别获得 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 465 ± 5 Ma、 512 ± 7 Ma、 510 ± 16 Ma、 $441\sim 457$ Ma、 $454\sim 456$ Ma、 $456\sim 459$ Ma,结合前人的西南三江地区早古生代岩浆岩年龄数据,昌宁-孟连特提斯大洋东西两侧都有中-晚奥陶世侵入岩,岩石地球化学特征表明,侵入岩具岛弧特征。昌宁-孟连特提斯大洋西缘的保山地块内部及东部有寒武纪火山岩,具双峰式特征,为拉张环境形成,表明特提斯大洋在寒武纪还在扩张。至中奥陶世,构造体制开始转变,大洋板块向东、西两大陆开始俯冲,在其大陆边缘形成岛弧。

关键词:三江;早古生代;岩浆事件;大地构造

中图分类号:P534.4;P588.11 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2021)06-0817-10

Yin F G, Xu B, Wang D B, Wang B D, Tang Y. Early Paleozoic magmatic event in the Sanjiang orogenic belt in southwest China and its response to the evolution of the Proto-Tethyan Ocean. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(6): 817-826

Abstract: The Sanjiang orogenic belt in southwest China is composed of several sutures and many intermediate massifs of different sizes. It is tectonically located in the eastern part of Tethys structural domain where Eurasia plate and India plate joint. Zircon U-Pb dating of samples collected from Gudanghe gneissic granite, Nujiangba Town gneiss, Yongde metamorphic rhyolite, Caojian granite, Ximeng granitic gneiss and Lancang basic medium basic volcanic rocks in Maji Town of Fugong County yielded 465 ± 5 Ma, 512 ± 7 Ma, 510 ± 16 Ma, $441\sim 457$ Ma, $454\sim 456$ Ma, $456\sim 459$ Ma respectively. Combined with the age data of the early Paleozoic magmatic rocks in the Sanjiang area, Southwest China, middle Late Ordovician intrusives with island arc characteristics were emplaced on the east and west sides of the Changlian-Menglian Tethys Ocean. The Cambrian volcanic rocks with two peaks in the interior and east of Baoshan massif in the western margin of Changlian-Menglian Tethys ocean revealing tension environment indicate that the Tethys ocean existed in Cambrian and is still expanding. In the Middle Ordovician, the tectonic system began to change, and the oceanic plates began to subduct toward east and west, forming island arcs on the continental margin.

Key words: Sanjiang; Early Paleozoic; magmatic event; tectonics

西南“三江”地区大地构造位置处于特提斯构造域,一种观点认为,“三江”地区特提斯演化阶段存在多个陆壳地块与洋盆相间排列的多岛洋构造—

古地理格局^[1],为泥盆纪—三叠纪古特提斯洋消亡的残迹^[1-4];另一种观点认为,“三江”地区经历了从特提斯大洋岩石圈向大陆岩石圈转换及大陆边缘

收稿日期:2020-02-26;修订日期:2020-04-17

资助项目:中国地质调查局项目《西南基础地质综合调查与片区总结》(编号:1212011220412)和《地质调查综合智能编图系统与应用》(编号:DD20190415)

作者简介:尹福光(1965-),男,博士,研究员,从事区域地质调查与研究。E-mail: yfuguang@126.com

多岛弧盆系构造演化^[5-8]。因此,西南“三江”地区是否残存特提斯主大洋,其启动时间存在新元古代还是晚古生代的分歧。岩浆作用往往能很好地记录这两方面的信息。近年来,在西南三江造山带陆续发现早古生代岩浆岩^[9-10],既为拉张环境,又有挤压-碰撞环境。对于这些早古生代岩浆岩形成的构造背景主要有3种不同认识:①冈瓦纳大陆泛非运动早古生代造山事件的构造-岩浆活动记录^[11-12];②原古特提斯洋向冈瓦纳大陆北缘俯冲形成的岩浆弧^[13-15];③寒武纪—奥陶纪伸展型花岗岩浆事件,属于早古生代西北澳大利亚冈瓦纳被动大陆边缘盆地的一部分。查明此期岩浆岩事件的性质,有助于确定特提斯大洋位置及形成时间、原特提斯洋俯冲消减过程、俯冲增生-碰撞的物质记录分布等。

1 区域地质背景

西南“三江”造山带是由多条缝合带及其间多个大小不等的中间地块构成的^[17-18],大地构造位置处于欧亚板块和印度板块结合部位的特提斯构造域东段。主要构造单元包括冈瓦纳大陆北缘弧盆系的察隅-盈江岩浆弧、嘉黎-波密陆缘缝合带、冈底斯-腾冲岩浆弧、潞西-三台山陆缘缝合带、保山-镇康地块、特提斯大洋的怒江-孟连主大洋、泛华夏大陆边缘弧盆系的左贡-临沧-勐海岩浆弧、澜沧江陆缘缝合带、昌都思茅地块、金沙江-哀牢山陆缘缝合带、德格-中甸地块、甘孜-理塘陆缘缝合带等^[17-19]。20世纪八十、九十年代,中国地质学家在三江造山带发现震旦纪(?)—早古生代洋壳消减及相应的活动边缘构造-岩石组合残余,被称为原特提斯洋的残余^[20],明确将特提斯演化划分为3个阶段:原特提斯阶段(Z?—S)、古特提斯阶段(D—T₂)和新特提斯阶段(T₃—E)^[21-22]。潘桂棠等^[23-24]认为,三江地区为一系列共存的多条弧链(岛弧)相间分布的洋盆及(微)陆块,在古生代构成复杂的“多岛弧盆”构造系统,澜沧江-昌宁-孟连混杂岩带为一个连续演化的特提斯大洋消失的残余,晚古生代古特提斯洋是原特提斯大洋的继承和发展,或可看作残余大洋^[17-20, 25-29]。

近年的地质调查与研究进展揭示,在滇西地区发现由早古生代特提斯洋盆俯冲消减形成的岛弧型的中基性-中酸性岩浆作用记录。云县-景谷火山弧带大中河地区新识别出一套晚志留世(421.3±

2.3 Ma、418.8±3.5 Ma)具大陆边缘岛弧型的中基性-中酸性火山岩组合^[29];南汀河蛇绿混杂岩中堆晶岩和辉长岩的锆石U-Pb年龄为444~439 Ma,岩石地球化学特征显示其同时具有洋中脊和岛弧性质^[30];牛井山蛇绿混杂岩中英云闪长岩的锆石U-Pb年龄为468 Ma,岩石地球化学特征显示其具有高硅埃达克岩性质^[9, 31-32];澜沧惠民一带的澜沧群绿片岩的锆石U-Pb年龄为456 Ma,岩石地球化学特征显示其具岛弧性质^[33];澜沧曼来、上允一带澜沧群绿片岩的锆石U-Pb年龄为454~462 Ma,岩石地球化学特征显示其具岛弧性质^[34];保山地块东缘云岭花岗岩中二长花岗岩的锆石U-Pb年龄为454 Ma,岩石地球化学特征显示其为高硅、钙碱性、强过铝质的S型花岗岩^[10](图1)。

2 早古生代岩浆活动

2.1 保山地块西部边缘早古生代岩浆活动

保山地块西部边缘及高黎贡山脉广泛出露寒武纪—奥陶纪花岗岩,自北向南分布在福贡县马吉乡古当河、怒江称杆乡、保山怒江坝镇西高黎贡山、龙陵龙江乡、龙陵镇安镇、潞西平达乡等地。由于出露位置不同,受后期构造-变质影响,寒武纪—奥陶纪花岗岩表现出不同的岩石面貌。

笔者^{①②}对福贡县马吉乡古当河片麻状花岗岩进行锆石定年获得其结晶年龄为465±5 Ma。宋述光等^[34]认为,怒江早古生代片麻状花岗岩的SHRIMP U-Pb年龄1487±11 Ma代表其原始结晶时代。笔者^{①②}在保山怒江坝镇西高黎贡山黑云斜长片麻岩(11GZPM01-4)获取锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄为512±7 Ma,代表原岩年龄。在龙江4件眼球状片麻岩锆石边部记录花岗岩结晶年龄为502~518 Ma^[16]。龙陵镇安镇花岗岩群时代主要集中在480~504 Ma^[14]。潞西平达乡花岗岩岩体群平达乡岩体时代研究较早,年龄数据也较多。Chen等^[26]报道2件花岗岩样品结晶年龄分别为466 Ma、472±5 Ma。Shen等^[35]报道2件花岗岩样品形成年龄分别为499±5 Ma、502±5 Ma。董美玲等^[13]报道2件花岗岩岩侵位时间分别为486.3±5.5 Ma、486±12 Ma。Wang等^[11]报道3件花岗岩样品形成年龄分别为473±6 Ma、470±5 Ma、472±5 Ma。笔者通过LA-ICP-MS锆石年代学研究,获得1件粗-中粒黑云母二长花岗岩结晶年龄为490±8 Ma。

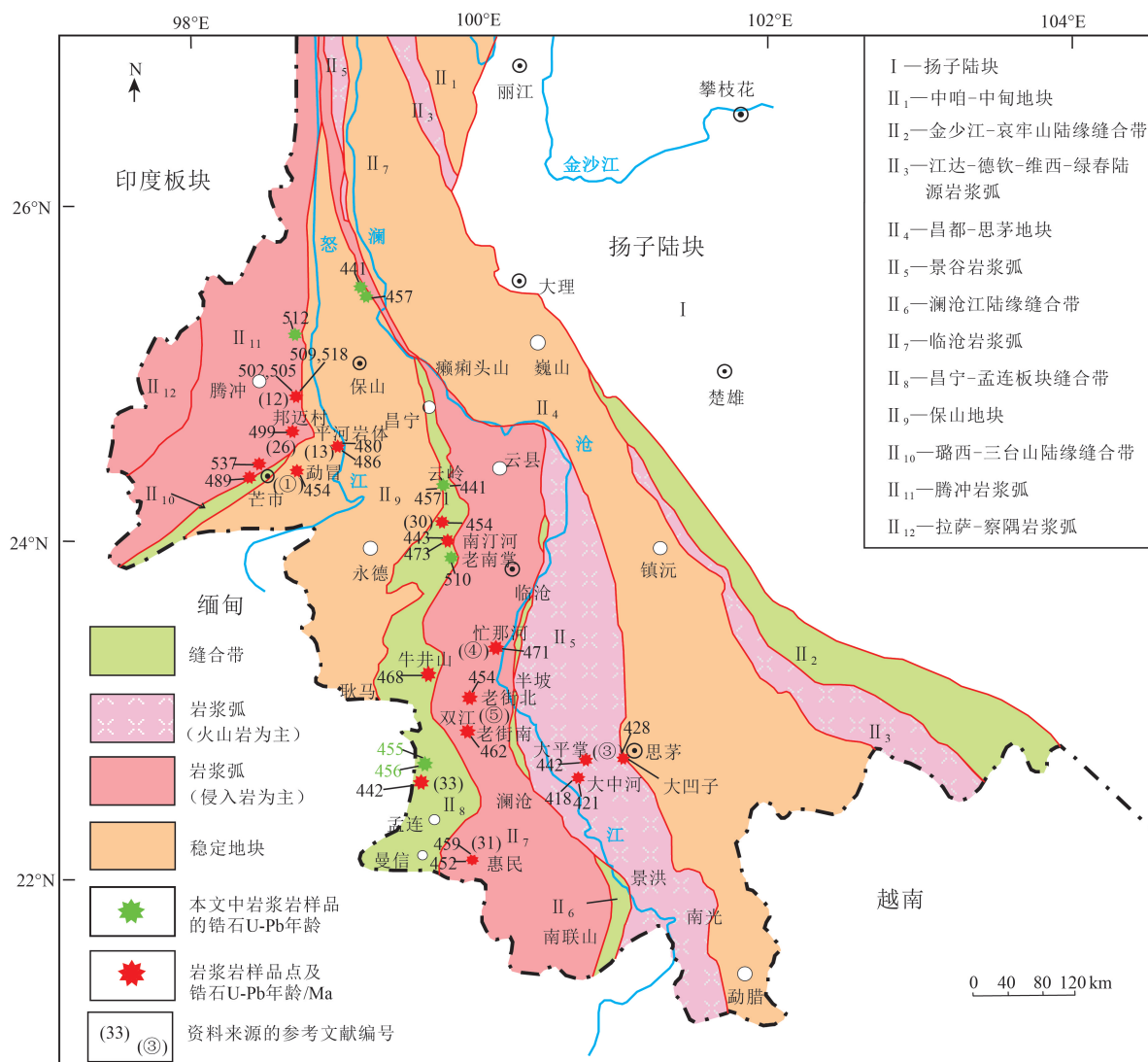


图1 中国西南三江早古生代岩浆岩年龄数据及分布

Fig. 1 Geological map showing distribution of Early Paleozoic magmatic rocks and age data in Sanjiang, Southwest China

岩石地球化学研究表明,平达岩体可能是古老地壳物质(以砂屑岩为主)在温度较高的条件下经部分熔融形成的,并伴随不同程度地幔物质的注入^[14]。另外,保山地块中南部地区存在下一中奥陶统缺失的现象(表现为平行不整合或微角度不整合)^[13],也与拉萨地块北缘申扎东部地区发现的寒武系—奥陶系角度不整合^③相当。这些构造岩浆信息表明,保山地块和拉萨地块在晚寒武世末期—早奥陶世早期可能都经历了一次重要的构造事件,并具有类似的岩石成因。

2.2 保山地块内部早古生代岩浆活动

保山地块中部晚寒武世火山岩广泛分布,呈厚

数厘米、数十厘米至数十米夹层产于上寒武统核桃坪组、保山组粉砂质泥岩、粉砂岩中,在核桃坪组中部及保山组上部相对集中。晚寒武世火山岩岩石类型主要为白岩凹旋回的拉斑玄武岩、碱性玄武岩,一碗水旋回的致密状玄武岩、斑状玄武岩、强蚀变安山岩、玄武质或安山质凝灰岩、沉凝灰岩等。

火山岩时代确定主要依据化石产出时代^③。与火山岩互层的核桃坪组泥质板岩产三叶虫 *Blackwelderia baoshanensis* Luo, *Parashen giaeolengata* Luo, *Wayaonia hetaopingensis* Lo, 其年代地层为 497~494 Ma 的排碧阶(崮山阶),确定火山岩时代为晚寒武世早期。保山组的沉凝灰岩中产腕足 *Eoorthis doris*

(Walcott), 三叶虫 *Mictosaukia Walcottii* (Mansuy), *M. batangensis* Chu, *Lophosaukia baoshanensis* Xiang, *Saukia grabaui* Sun, *Proceratopyge fenhwangensis* Hsiang, *Hewenia typica* Zhou, 其年代地层为 489.5~485.4 Ma 的第十阶(凤山阶), 确定火山岩时代为晚寒武世晚期。此外柳水剖面沙河厂组拉斑玄武岩, 其下部与上部粘土岩中均产大量 *Liushuicephalus shidianensis* Luo, *Baoshanaspis?* sp., *Maladioidella* sp., *Metapianaspis?* sp. 等三叶虫化石, 年代地层为 494~489.5 Ma 的江山阶。由此推断, 保山晚寒武世火山岩的形成时间应为 485.4~497 Ma。

主量与微量元素判别图解(图 2、图 3)^[36] 均显示, 白岩凹火山喷发旋回的形成可能与泛非后期的陆缘伸展作用有关, 岩浆因源于 P 型地幔(PREMA prevalent mantle)低程度部分熔融而富 Ti、K。一碗水火山喷发旋回形成环境与白岩凹旋回相同, 但岩浆因 P 型地幔熔融程度升高而 Ti、K 略亏损, 同时, 因源于 P 型地幔, 岩浆显示大离子亲石元素(LILE)相对富集。综合分析认为, 保山—镇康中部晚寒武世早期白岩凹旋回碱性玄武岩与保山—镇康西缘寒武纪变质高钛板内玄武岩(499.2 Ma)相当。晚寒武世晚期一碗水旋回玄武岩与拉萨地块控错地区晚寒武世双峰式火山岩中的变质玄武岩^[29] 相似, 仅铝略高而碱含量低。火山岩形成于晚寒武世伸展构造环境, 推测火山岩的形成与原特提斯扩张作

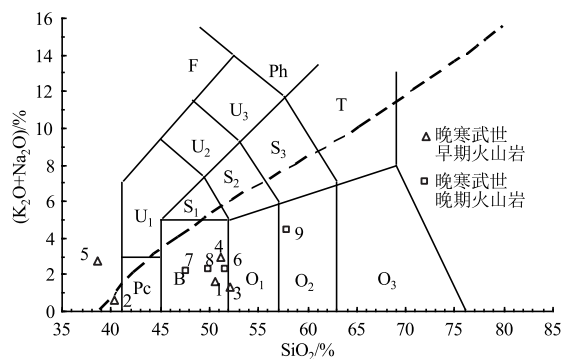


图 2 保山—镇康地块中部晚寒武世火山岩 TAS 图解
(据参考文献③[36]修改)

Fig. 2 TAS diagram of Late Cambrian volcanic rocks in central Baoshan-Zhenkang block

F—似长石岩; U₁—碱玄岩; U₂—响岩质碱玄岩; U₃—碱玄质响岩; Ph—响岩; S₁—粗面玄武岩; S₂—玄武质粗面安山岩; S₃—粗面安山岩; T—粗面岩、粗面英安岩; Pc—苦橄玄武岩; B—玄武岩; O₁—玄武安山岩; O₂—安山岩; O₃—英安岩

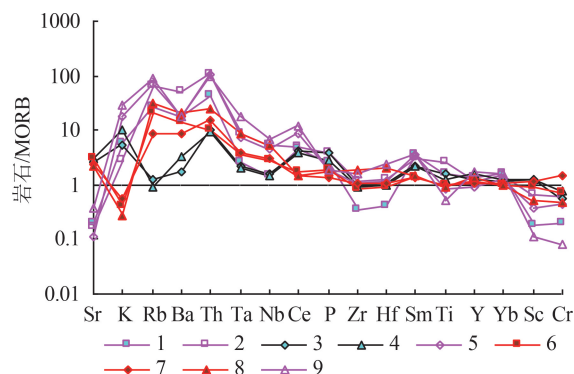


图 3 保山—镇康地块中部晚寒武世火山岩微量元素
比值蛛网图(微量元素标准值据参考文献③[36])

Fig. 3 Cobweb diagram of trace element ratios of Late Cambrian volcanic rocks in central Baoshan-Zhenkang block

用有关。

2.3 保山地块东部早古生代岩浆活动

2.3.1 保山地块东缘寒武纪火山岩

保山地块东缘早古生代火山岩多呈夹层产出, 主要赋存于寒武系勐统群(王雅岩组、允沟岩组)中。火山岩分布十分有限, 在上忙岗、大平掌、芒告等地相对集中。岩性以钠长阳起绿泥片岩、绿泥阳起片岩及钠长绿帘绿泥千枚岩、变质流纹岩、流纹质千糜岩、英安质千糜岩为主。

在永德县大平掌勐统群中采集了 1 件变质流纹岩样品进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年, 共分选出 10 粒锆石, 锆石自形, 环带构造发育, Th/U 值除 2 号和 8 号锆石小于 0.6, 可能为继承锆石外, 其余均属原生岩浆锆石。其中 8 颗锆石获得的 8 个点位于谐和线上, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 510 ± 16 Ma (MSWD = 6.9, $n=8$), 代表岩浆结晶年龄。另外, 云南省地质调查院^①在变质酸性火山岩中获全岩 Rb-Sr 等时线年龄值为 491 ± 18 Ma, 亦为寒武纪。

云南省地质调查院^①综合早古生代变质基性火山岩和变质酸性火山岩的构造环境, 认为二者属于典型的“双峰式”火山岩, 应形成于与伸展作用有关的板内环境。结合与火山岩共生的绢云千枚岩、泥质板岩、硅质岩、条带状大理岩(薄层灰岩), 以下古生界为代表的沉积-岩浆组合, 反映了滇西原特提斯形成过程中大陆边缘斜坡至盆地形成的岩石学证据。

2.3.2 云龙县槽涧晚奥陶世花岗岩

笔者^①对云龙县槽涧花岗岩2件样品进行了锆石定年。花岗岩锆石的长宽比变化较大,大部分环带清晰,显示为岩浆结晶锆石。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年获得2件样品的年龄分别为 441 ± 9 Ma 和 457 ± 7 Ma,表明岩浆侵位时间为晚奥陶世。

由于本期岩石经历了多期变形、变质作用的改造,岩石已强混合岩化、糜棱岩化,除其成分能判定为花岗岩外,成因结构印记已完全被改造,岩石地球化学资料成为研究岩石成因及构造-岩浆类型的唯一手段。在花岗岩非活动性元素图解中,本期花岗岩的投影点主要落入火山弧花岗岩区,同时具有部分板内或异常洋中脊花岗岩特征(图4、图5),表明本期花岗岩主要是挤压构造体制下的产物,与微量元素配分模式显示的信息基本一致,代表了活动大陆边缘岩浆弧的一部分。

2.3.3 西盟中—晚奥陶世花岗岩

西盟地区出露的变质岩系,一般统称为西盟群,其中含花岗片麻岩,一直被认为是前寒武系。岩石 SiO_2 含量为 72.73%~77.24%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 4.28\% \sim 9.01\%$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0.65 \sim 20.84$, $A/\text{CNK} = 1.05 \sim 2.66$; 具高 SiO_2 、 Al_2O_3 , 低 Na_2O 特征, $A/\text{CNK} > 1.1$, 属 S 型花岗岩,2 件锆石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值分别介于 $-6.45 \sim -1.90$ 和 $-5.60 \sim -1.44$ 之间。

(1) 岩石特征

西盟地区奥陶纪花岗片麻岩主要出露于老县城勐卡镇附近,自北向南分布于新厂乡南、莫窝、漫亨、力所等地,具有以下明显的特征:①构造面理强烈发育,倾向 NNW—NNE—NE,倾角小(约 20°),线理中等—弱发育;②岩石糜棱岩化现象明显,如石英拔丝拉长、长石残斑、矿物细粒化等现象十分明显;③细粒化且面理强发育的岩石特征与片岩非常相似,有长石残斑面理强发育的岩石特征与片麻岩非常相似;④斑晶主要为粒径 1~4 mm 的他形粒状钾长石(5%),内有石英、斜长石包体。基质主要由细粒钾长石(40%)、斜长石(30%)、石英(20%)、黑云母(5%)等组成,副矿物主要有锆石、电气石、金属矿物。基质中长石、石英呈杂乱分布,彼此紧密接触,黑云母呈鳞片状星散分布于长石、石英粒间。

(2) 采样位置及形成时代

点 11XM01 样品位于西盟老县城(勐卡镇)至

新厂柏油公路约 4 km 处的一陡崖,地理坐标为北纬 $22^\circ 45.22'$ 、东经 $99^\circ 26.74'$,为花岗片麻岩(图 6-a)。该点锆石阴极发光(CL)图像(图 7-a)显示受糜棱岩化影响极微弱,表现为少数锆石边部模糊不清,但其内部仍显示岩浆结晶环带,大部分锆石有典型的岩浆结晶环带,无继承性核、无变质增生边,属岩浆结晶产物。对样品进行 U-Th-Pb 同位素测定,所有数据投影点均分布在谐和线上(图 8-a), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 455 ± 3 Ma (MSWD = 0.6, $n=20$),代表锆石结晶年龄。

点 11XM04 样品位于勐卡镇—新厂弹石路阿莫村小学篮球场西南采石场,地理坐标为北纬 $22^\circ 48.88'$ 、东经 $99^\circ 26.94'$,为眼球状片麻状含电气石花岗质糜

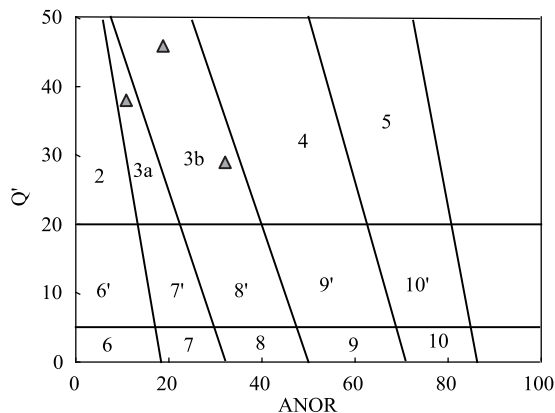


图4 槽涧岩体花岗岩 ANOR-Q'图解

Fig. 4 ANOR-Q' diagram of granite in Caojian pluton
2—碱长花岗岩;3a—钾长花岗岩;3b—二长花岗岩;4—花岗闪长岩;5—英云闪长岩;6'—石英碱长正长岩;7'—石英正长岩;8'—石英二长岩;9'—石英二长闪长岩、石英二长辉长岩;10'—石英闪长岩、石英辉长岩、石英斜长岩;6—碱长正长岩;7—正长岩;8—二长岩;9—二长闪长岩、二长辉长岩;10—闪长岩、辉绿辉长岩、斜长岩

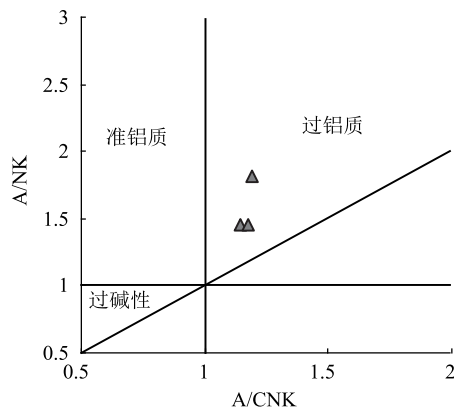


图5 槽涧岩体花岗岩 A/CNK-A/NK 图解^②

Fig. 5 A/CNK-A/NK diagram of granite in Caojian pluton



图6 西盟奥陶纪花岗岩岩性特征

Fig. 6 Lithological characteristics of Ordovician granites in Ximeng

a—点 11XM01; b—11XM04; c—点 11XM10

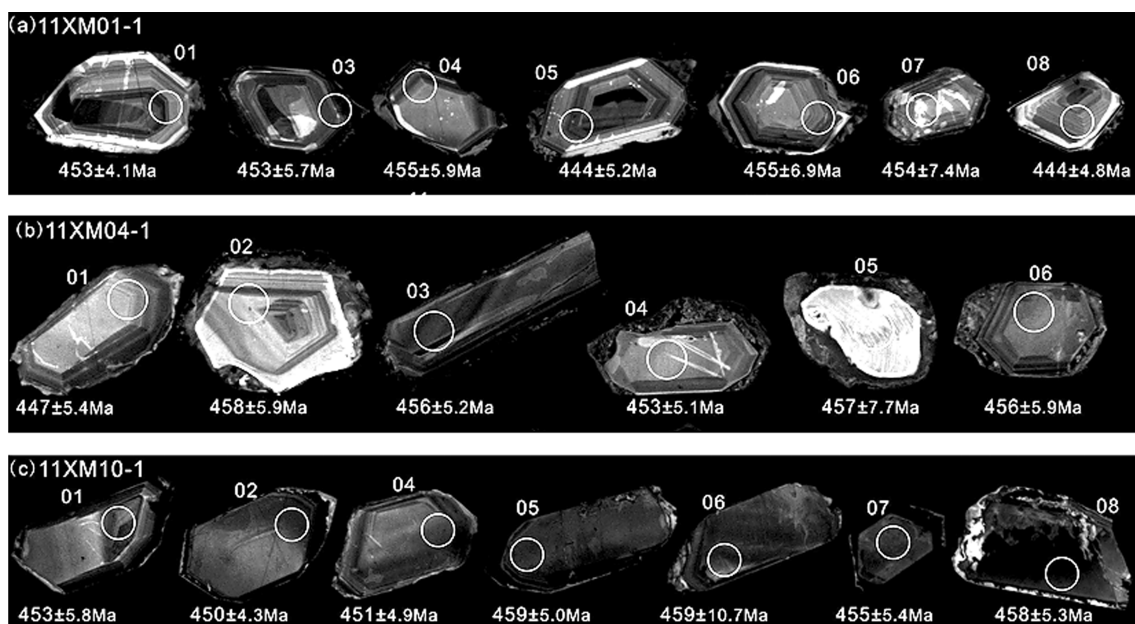


图7 西盟奥陶纪花岗岩锆石阴极发光 (CL) 特征

Fig. 7 Characteristics of zircon CL images from Ordovician granite in Ximeng

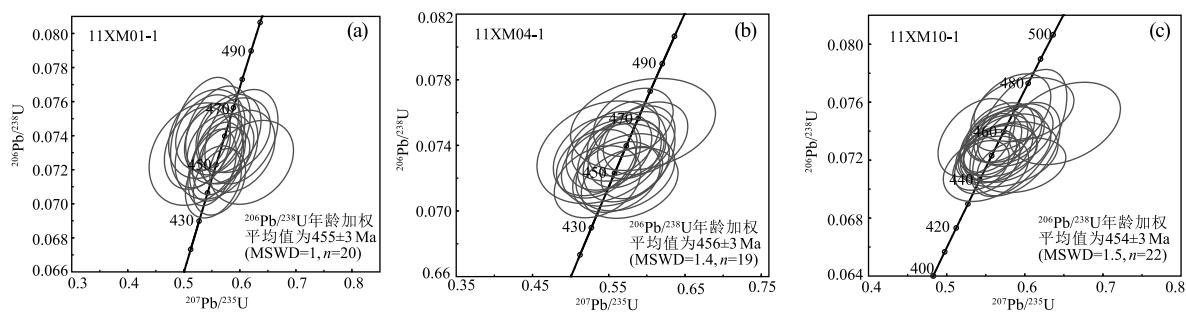


图8 西盟勐卡镇西盟岩群老街子岩组锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 8 Zircon U-Pb age concordance diagrams of Laojiezi Formation of Ximeng Group, Mengka Town, Ximeng

棱岩(图 6-b)。

点 11XM04 样品的锆石 CL 图像(图 7-b)显示锆石受糜棱岩化影响极微弱,表现为个别锆石边部受到影响模糊不清,其内部仍显示岩浆结晶环带,大部分锆石有典型的岩浆结晶环带,无继承性核、无变质增生边,属岩浆结晶的产物。相对 11XM01-1 中的锆石,11XM04-1 中的锆石受糜棱岩化影响更微弱,这与前者岩石更细而后者较粗的现象一致。对样品进行 U-Th-Pb 同位素测定,所有数据点均分布在谐和线上(图 8-b), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $456 \pm 3 \text{ Ma}$ (MSWD=1.4, $n=19$),代表锆石结晶年龄。

点 11XM10 样品位于西盟老县城(勐卡镇)—莫窝公路剖面,为含电气石花岗岩质糜棱岩(图 6-c)。该点锆石 CL 图像(图 7-c)显示锆石未受糜棱岩化影响,有典型的岩浆结晶环带,无继承性核、无变质增生边,属岩浆结晶的产物。对样品进行 U-Th-Pb 同位素测定,所有数据点均分布在谐和线上(图 8-c), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $454 \pm 3 \text{ Ma}$ (MSWD=1.5, $n=22$),代表锆石结晶年龄。

此外,Nie 等^[31]获得西盟县新厂乡一带的曼亨花岗岩锆石 U-Pb 结晶年龄为 $446.1 \pm 2.5 \text{ Ma}$;Xing 等^[32]获得西盟花岗片麻岩锆石 U-Pb 结晶年龄为 $462 \sim 461 \text{ Ma}$;康欢等^[33]报道西盟 3 件二长花岗岩时代为 $463 \pm 3 \text{ Ma}$ 、 $460 \pm 6 \text{ Ma}$ 、 $462 \pm 5 \text{ Ma}$ 。综上所述,西盟早古生代花岗岩结晶时代在 $454 \sim 463 \text{ Ma}$ 之间,属于中—晚奥陶世。

西盟奥陶纪花岗岩 SiO_2 含量为 $72.73\% \sim 77.24\%$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0.65 \sim 20.84$, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 4.28\% \sim 9.01\%$,显示高硅、富碱的特点。岩石的 $DI=84.45 \sim 92.82$, $CI=0.79 \sim 10.83$,表明岩石的分异演化较彻底,结晶程度好。CIPW 标准矿物计算结果具较高的 q 值,并出现较高的 c 分子,标准矿物组合为 $c+q+or+ab+an+hy$,属于铝过饱和、 SiO_2 过饱和系列。岩石的 A/CNK 值为 $1.05 \sim 2.66$ (平均为 1.29),绝大部分大于 1.1,属 S 型花岗岩。邢晓婉等^[37]对西盟花岗片麻岩的研究表明,花岗片麻岩为高钾钙碱性过铝质 S 型花岗岩。西盟地区花岗片麻岩的锆石 Hf 同位素组成均一, $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值均为负值,集中于 $-6.45 \sim -1.44$ 之间, t_{DM2} 集中于 $1.54 \sim 1.90 \text{ Ga}$ 之间。鲁慧等^[38]认为代表了活动大陆边缘岩浆弧的一部分。

2.4 昌宁-孟连缝合带早古生代岩浆活动

北起昌宁、双江,经铜厂街、老厂至孟连,向南延入缅甸。地质调查显示,铜厂街、南汀河、牛井山、曼信等地发育较典型的蛇绿混杂岩,蛇绿混杂岩构造单元出露较齐全,多处发育具 N-MORB 特征的洋脊型玄武岩或者 OIB 型玄武岩,在曼信、依柳、铜厂街等地还见准洋脊型玄武岩;与其伴生的硅质岩为远洋非补偿性盆地硅质岩,其中所含放射虫为远洋深海组合。

近年来,王保弟等^[16]在南汀河地区发现 $454 \sim 439 \text{ Ma}$ 的洋壳残余记录,潘桂棠等^[25]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,宋述光等^[34]、孙载波等^[39]在铜厂街蛇绿混杂岩东侧勐勇—芒红一带对杏仁状玄武岩样品进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年,获得 $449.3 \pm 8.4 \text{ Ma}$ 的锆石结晶年龄,双江县忙那河钠质堆晶斜长岩年龄为 $470.8 \pm 5.3 \text{ Ma}$ ^[40],曼信变质辉长岩年龄约为 420 Ma ^[16]。李静等^[41]根据滇西藏东三江地区主要地块碰撞拼合的古地磁资料,认为昌宁-孟连结合带可能于晚奥陶世 Katian 期中期(约 450 Ma)扩张。由此表明,三江地区昌宁-孟连结合带存在早古生代的蛇绿岩,应代表原特提斯洋消亡后残存的地质体。

2.5 特提斯洋东缘早古生代增生杂岩-岛弧

2.5.1 澜沧特提斯洋早古生代增生杂岩

以澜沧岩群为代表,主要分布在滇西南地区,北起凤庆县,经云县、临沧、双江和澜沧县,南至西双版纳州,呈长条状分布,为一套绿片岩相变质岩系基性-中基性火山岩。

Nie 等^[31]对澜沧岩群惠民组 3 件变质火山岩中具有岩浆环带的锆石进行了 LA-ICP-MS 年代学研究,获得其年龄为 $456 \sim 459 \text{ Ma}$;Xing 等^[18]在栗义一带澜沧岩群变质火山岩中获得锆石 U-Pb 年龄为 $454 \pm 27 \text{ Ma}$,在惠民地区变质火山岩中获得锆石 U-Pb 年龄为 $462 \pm 6 \text{ Ma}$ 。综合研究表明,澜沧岩群形成时代不晚于中奥陶世,时代跨度大,为新元古代—早古生代。在惠民岩组绿片岩(玄武岩、英安岩、流纹岩)中获得 $451.7 \pm 2.1 \text{ Ma}$ 的锆石 U-Pb 同位素年龄值,为奥陶纪^③。在 Hf-Th-Nb 图解(图略)中基性火山岩投影点落在岛弧拉斑玄武岩区;在非活动性元素($Y+Nb$)-Rb 图解(图略)中,酸性火山岩投影点均落在岛弧花岗岩区^[13]。显然,奥陶纪惠民岩组火山岩为岛弧火山岩。K、Rb、Ba、Th、

Ta、Ce 富集, Zr、Hf、Ti 亏损, 与岛弧玄武岩特征相似, 但 Ti 元素含量更高, 分析认为, 其代表了以昌宁—孟连带为代表的原特提斯大洋向东俯冲消减形成的早古生代晚期火山—岩浆弧(前锋弧)。

2.5.2 临沧—勐海构造岩浆岩带

云南省 1:5 万临沧县等 3 幅区域地质调查中^{③④}, 在临沧五老山地区首次识别出奥陶纪正长花岗岩序列。对片麻状正长花岗岩和细粒正长花岗岩分别进行了年龄分析, 2 件样品锆石 U-Pb 同位素年龄分别为 473.0 ± 2.9 Ma 和 474.1 ± 1.6 Ma, 表明其形成于早奥陶世。云南省 1:5 万临沧县等 3 幅区域地质调查证明, 五老山奥陶纪花岗岩应形成于碰撞造山后的局部伸展环境^③。孙载波等^[39]在临沧—勐海构造岩浆岩带最南端识别出奥陶纪布朗山花岗岩体, 侵位于澜沧岩群, 并采用 LA-ICP-MS 方法对该岩体白云母正长花岗岩进行锆石 U-Pb 定年, 测得的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 值为 458.5 ± 3.0 Ma, 说明该岩体的侵位时间为中—晚奥陶世。布朗山花岗岩为高钾钙碱性强过铝型花岗岩, 并具有白云母过铝花岗岩的演化趋势, 以及某些后碰撞或后造山花岗岩的特点。孙载波等^[39]认为是俯冲板片在深部脱水, 导致中—上地壳物质在低温、低压、高氧逸度环境下形成的部分熔融物, 代表了原特提斯洋盆俯冲消减作用的开始。

3 讨论

目前的主流观点认为, 特提斯是在欧亚大陆和冈瓦纳大陆之间长期存在的、向东呈喇叭状的多岛洋, 各陆块阶段性地从冈瓦纳大陆裂离出来并向北漂移, 最后又阶段性地与北部的欧亚大陆碰撞拼合在一起, 故形成了多期特提斯^[20, 31, 33, 42-43]。其中, 位于滇西南的腾冲地块、保山地块被认为是早古生代存在于冈瓦纳北部边缘的微陆块, 具有亲冈瓦纳的属性, 发育寒武纪具双峰式特征的拉张环境火山岩^[14, 44]。保山地块东部边缘的早古生代孟定街岩群中发育大量以砂泥质岩石夹硅质岩为主的斜坡相浊流沉积, 并含中志留世的牙形石, 原岩特征和沉积建造表明其形成于被动大陆边缘沉积环境, 表明了至少从寒武纪—早奥陶纪开始, 原特提斯大洋已经具有一定规模。

昌宁—孟连西边的云龙县槽涧发育记录为 441 ± 9 Ma 和 457 ± 7 Ma 的晚奥陶世花岗岩, 西盟发育

中—晚奥陶世花岗岩($446 \sim 463$) Ma。昌宁—孟连东边的澜沧地区澜沧岩群惠民组 $456 \sim 459$ Ma 岛弧火山岩, 临沧—勐海岩浆岩带五老山 473.0 ± 2.9 Ma 和 474.1 ± 1.6 Ma 花岗岩体、布朗山 458.5 ± 3.0 Ma 花岗岩体, 证明昌宁—孟连特提斯大洋东西 2 个大陆边缘发育大量早古生代花岗岩, 代表了原特提斯洋东段早古生代岩浆弧的一部分^[12, 33-34, 42, 45-47], 滇西南地区原特提斯洋的俯冲至少持续 450 Ma。昌宁—孟连缝合带内的南汀河地区 $454 \sim 439$ Ma 洋壳残余记录^[11, 30], 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^[9], 也证实了早古生代的原特提斯洋俯冲事件。与铜厂街洋岛玄武岩 449.3 ± 8.4 Ma^[33] 和退变榴辉岩(变质年龄 447 Ma^[41]) 的资料吻合。

昌宁—孟连特提斯大洋西缘的西盟、槽涧的早古生代构造岩浆记录可对比于印度大陆北缘, 很可能代表了早古生代冈瓦纳大陆原特提斯陆缘岩浆弧的一部分, 但俯冲时间上具有穿时性^[39, 48-50]。昌宁—孟连特提斯大洋西缘的临沧—勐海岩浆岩带中五老山、布朗山奥陶纪花岗岩具有与保山、腾冲地块近一致的岩浆活动时限, 指示此时的原特提斯洋板块同时向东俯冲—增生, 形成增生岩浆弧。

4 结论

(1) 昌宁—孟连特提斯大洋西、东缘保山地块东西两侧都发育中—晚奥陶世侵入岩, 具岛弧特征。

(2) 昌宁—孟连特提斯大洋西缘的保山地块内部及东部有寒武纪火山岩, 具双峰式特征, 为拉张环境形成, 表明特提斯大洋在寒武纪还在扩张。

(3) 至中奥陶世, 构造体制开始转变, 向东、向西两大陆开始俯冲, 在大陆边缘形成岛弧。

参考文献

- [1] 刘本培, 冯庆来, Chonglakmani C, 等. 滇西古特提斯多岛洋的结构及其南北延伸[J]. 地学前缘, 2002, (3): 161-171.
- [2] 黄汲清, 陈国铭, 陈炳蔚. 中国及邻区特提斯海的演化[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [3] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [4] 王义昭. 滇西昌宁—孟连带南部孟连—曼信地区晚古生代地层若干问题[J]. 地质论评, 2005, 51(1): 1-9.
- [5] 王立全, 潘桂棠, 丁俊, 等. 青藏高原及邻区地质图及说明书(1:1 500 000)[M]. 北京: 地质出版社, 2013.
- [6] 王立全, 潘桂棠, 李才, 等. 藏北羌塘中部果干加年山早古生代堆晶

- 辉长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄——兼论原-古特提斯洋的演化[J].地质通报,2008,27(12): 2045-2056.
- [7] 李文昌,潘桂棠,侯增谦,等.西南“三江”多岛弧盆-碰撞造山成矿理论与勘查技术[M].北京:地质出版社,2010.
- [8] 潘桂棠,王立全,张万平,等.青藏高原及邻区大地构造图及说明书(1:1 500 000)[M].北京:地质出版社,2013.
- [9] 王冬兵,罗亮,唐渊,等.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[J].岩石学报,2016,32(8): 2317-2329.
- [10] Wang B D, Wang L Q, Pan G T, et al. U-Pb zircon dating of Early Paleozoic gabbro from the Nantinghe ophiolite in the Changning-Menglian suture zone and its geological implication [J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58(8): 920-930.
- [11] 林仕良,丛峰,高永娟,等.滇西腾冲地块东南缘高黎贡山群片麻岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].地质通报,2012,31(s1): 258-263.
- [12] Liu S, Hu R, Gao S, et al. U-Pb zircon, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on the age and origin of Early Palaeozoic I-type granite from the Tengchong-Baoshan Block, Western Yunnan Province, SW China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 36(2/3): 168-182.
- [13] 董美玲,董国臣,莫宣学,等.滇西保山地块早古生代花岗岩类的年代学、地球化学及意义[J].岩石学报,2012,28(5): 1453-1464.
- [14] Dong M L, Dong G C, Mo X X, et al. Geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Hf isotopes of granites in the Baoshan Block, Western Yunnan: Implications for Early Paleozoic evolution along the Gondwana margin[J]. Lithos, 2013, 179(5): 36-47.
- [15] 蔡志慧,许志琴,段向东,等.青藏高原东南缘滇西早古生代早期造山事件[J].岩石学报,2013,29(6): 2123-2140.
- [16] 王保弟,王立全,王冬兵,等.三江昌宁-孟连带原-古特提斯构造演化[J].地球科学,2018,43(8): 2527-2550.
- [17] 尹福光,潘桂棠,万方,等.西南“三江”造山带大地构造相[J].沉积与特提斯地质,2006,(4): 33-39.
- [18] 尹福光,王冬兵,王保弟,等.西南三江造山带地层区划[J].沉积与特提斯地质,2017,37(4): 1-8.
- [19] 任飞,潘桂棠,尹福光,等.西南三江地区洋板地块层特征及构造演化[J].沉积与特提斯地质,2017,37(4): 9-16.
- [20] 沈上越,冯庆来,刘本培,等.昌宁-孟连带洋脊、洋岛型火山岩研究[J].地质科技情报,2002,21(3): 13-17.
- [21] 李三忠,赵淑娟,余珊,等.东亚原特提斯洋(II): 早古生代微陆块亲缘性与聚合[J].岩石学报,2016,32(9): 2628-2644.
- [22] 潘桂棠,陈智良,李兴振,等.东特提斯地质构造形成演化[M].北京:地质出版社,1997.
- [23] 潘桂棠,徐强,侯增谦,等.西南“三江”多岛弧造山过程成矿系统与资源评价[M].北京:地质出版社,2003.
- [24] 潘桂棠,徐耀荣,王培生.青藏高原东部边缘新生代构造[C]//青藏高原地质文集(12).北京:地质出版社,1983: 129-141.
- [25] 潘桂棠,刘宇平,郑来林,等.青藏高原碰撞构造及其效应[M].广州:广东科技出版社,2013.
- [26] 莫宣学,路凤香,沈上越.三江特提斯火山作用与成矿[M].北京:地质出版社,1993.
- [27] Jian P, Liu D, Sun X. SHRIMP dating of the Permo-Carboniferous Jinshajiang ophiolite, southwestern China: Geochronological constraints for the evolution of Paleo-Tethys [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 32(5/6): 1-384.
- [28] 王立全,潘桂棠,李才,等.藏北羌塘中部果干加山早古生代堆晶辉长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄——兼论原-古特提斯洋的演化[J].地质通报,2008,27(12): 2045-2056.
- [29] 毛晓长,王立全,李冰,等.云县-景谷火山弧带大中河晚志留世火山岩的发现及其地质意义[J].岩石学报,2012,28(5): 1517-1528.
- [30] 王保弟,王立全,潘桂棠,等.昌宁-孟连结合带南汀河早古生代辉长岩锆石年代学及地质意义[J].科学通报,2013,58(4): 344-354.
- [31] Nie X M, Feng Q L, Qian X, et al. Magmatic record of Prototethy an evolution in SW Yunnan, China: Geochemical, zircon U-Pb geochronological and Lu-Hf isotopic evidence from the Huimin metavolcanic rocks in the southern Lancangjiang zone [J]. Gondwana Research, 2015, 28(2): 757-768.
- [32] Xing X W, Wang Y J, Cawood P A, et al. Early Paleozoic accretionary orogenesis along northern margin of Gondwana constrained by high-Mg metaigneous rocks, SW Yunnan [J]. International Journal of Earth Sciences, 2017, 106(5): 1469-1486.
- [33] 康欢,李大鹏,陈岳龙,等.云南宝山东缘早古生代高 Si 花岗岩的成因及构造意义[J].现代地质,2016,30(5): 1026-1038.
- [34] 宋述光,李建清,魏春景,等.滇西北怒江早古生代片麻状花岗岩的确定及其构造意义[J].科学通报,2007,52(8): 927-930.
- [35] Shen L, Hu R Z, Shan G, et al. U-Pb zircon, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on the age and origin of Early Palaeozoic I-type granite from the Tengchong-Baoshan Block, Western Yunnan Province, SW China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 36(2): 168-182.
- [36] 毛晓长.保山-镇康地块及邻区早古生代地质特征及特提斯构造演化[D].中国地质大学博士学位论文,2016.
- [37] 邢晓婉,张玉芝,王岳军,等.西盟地区奥陶纪花岗岩片麻岩的锆石 U-Pb 年代学、Hf 同位素组成特征及其大地构造意义[J].大地构造与成矿学,2015,39(3): 470-480.
- [38] 鲁慧,孙载波,张虎,等.云南西盟曼亨花岗岩锆石 U-Pb 年龄与地质意义[J].矿物学报,2015,35(4): 515-521.
- [39] 孙载波,曾文涛,周坤,等.孟连结合带奥陶纪洋岛玄武岩的识别及其构造意义——来自地球化学和锆石 U-Pb 年龄的证据[J].地质通报,2017,36(10): 1760-1771.
- [40] 刘桂春,孙载波,曾文涛,等.湾河蛇绿混杂岩的形成时代、岩石地球化学特征及地质意义[J].岩石矿物学杂志,2017,36(2): 163-174.
- [41] 李静,孙载波,徐桂香,等.滇西双江县勐库地区榴闪岩的发现与厘定[J].矿物学报,2015,35(4): 421-424.
- [42] 李才,吴彦旺,王明,等.青藏高原泛非-早古生代造山事件研究重大进展——冈底斯地区寒武系和泛非造山不整合的发现[J].地质通报,2010,29(12): 1733-1736.
- [43] 朱弟成,赵志丹,牛耀龄,等.拉萨地体的起源和古生代构造演化[J].高校地质学报,2012,18(1): 1-15.
- [44] Wang B D, Wang L Q, Yin F G, et al. Longmuco-Shuanghu-Changning-Menglian Suture Zone: Residual of Uniform Early

- Paleozoic Tethys Ocean[J].Acta Geological Sinica,2013,87(zl): 72-75.
- [45] 李朋武,高锐,崔军文,等.西藏和云南三江地区特提斯洋盆演化历史的古地磁分析[J].地球学报,2005,(5): 3-20.
- [46] 孙载波,胡绍斌,周坤,等.滇西南勐海布朗山奥陶纪花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成特征及其构造意义[J].地质通报,2018,37(11): 2044-2054.
- [47] 潘桂棠,李兴振,王立全,等.青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J].地质通报,2002,21(1): 701-707.
- [48] 翟明国,从柏林,张儒媛.滇西澜沧群两类火山岩系的识别及其地质意义[J].中国科学(B 辑),1990,(1): 77-85.
- [49] Zhu D,Zhao Z,Niu Y,et al.The origin and pre-Cenozoic evolution of the Tibetan Plateau[J].Gondwana research,2013,23(4): 1429-1454.
- [50] Dario V,Rubatto D,Villa I M.The mafic rocks of Shao La (Khartu,S. Tibet): Ordovician basaltic magmatism in the greater himalayan crystallines of central-eastern Himalaya [J].Journal of Asian Earth Sciences,2010,38(1/2): 1-25.
- ①尹福光,王冬兵,唐渊,等西南三江南段关键地区区域地质调查综合研究报告,2015.
- ②中国地质调查局成都地质调查中心.中华人民共和国 1:5 万大芒光房幅、双江县幅、文东幅区域地质调查报告,2019.
- ③云南地质调查研究院.中华人民共和国 1:25 万腾冲县幅(国内部分)、潞西市幅(国内部分)区域地质调查报告,2008.
- ④重庆市地勘局川东南地质大队.头道水幅、涌宝幅、蚂蚁堆幅、大寨幅区域地质矿产调查报告,2016.
- ⑤成都理工大学.中华人民共和国 1:5 万临沧幅、博尚幅、民乐幅区域地质矿产调查报告,2019.
- ⑥中国地质调查局成都地质调查中心.中华人民共和国 1:5 万圈内幅、翁孔坝幅、忙糯幅区域地质调查报告,2019.