

滇西古特提斯俯冲-碰撞过程的岩浆作用记录

范蔚茗, 彭头平, 王岳军

中国科学院 广州地球化学研究所 同位素年代学和地球化学重点实验室, 广东 广州 510640

Fan Weiming, Peng Touping, Wang Yuejun

Key Laboratory of Isotope Geochronology and Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

Fan Weiming, Peng Touping, Wang Yuejun. Triassic magmatism in the southern Lancangjiang zone, southwestern China and its constraints on the tectonic evolution of Paleo-Tethys. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(6): 291-302

Abstract: Triassic magmatism widely developed in the southern Lancangjiang zone, southwestern China. The study of their precise U-Pb geochronology and characteristics of rock associations shows that (1) small amount of Early-Triassic (~248 Ma) volcanic rocks were preserved and cropped out in the area, which consist mainly of thin bed of andesitic rocks intercalated with minor basaltic andesites; that (2) the Middle-Triassic magmatism was characterized by extensive felsic igneous rocks with minor basalts interbedded in the middle of volcanic sections in part of areas, and the late Middle-Triassic rhyolites and main body of Lincang granitic batholith have the same extrusive/intrusive time with the age of ~230 Ma; that (3) the Late-Triassic volcanic sequences are principally composed of basalts with minor interlayered rhyolites, exhibiting typical characteristics of bimodal volcanics. In addition, the features of elemental geochemistry of all samples suggest that (1) the Early-Triassic andesitic rocks, characterized by characteristic natures of island arc volcanics, likely erupted in the subduction setting; that (2) the generation of Late-Triassic rhyolites with an affinity of A-like granite and synchronously main body granites in the Lincang batholith displaying similar geochemical features, is closely related with the post-collision or late-collision setting; that (3) although the Late-Triassic basic rocks partly show island arc volcanics such as high-Al contents and Nb-Ta depletion, some of them possessing high-Mg contents and mostly having trace-element ratios similar to intraplate basalt, which indicates that they erupted in the post-collision rift environment. Integrated with previous data in the study area, we conclude that the subduction and closing of main Paleo-Tethys Ocean (Changning-Menglian Ocean) in the Sanjiang area of southwestern China probably had completed until the late Early-Triassic, and the succeeding continent-continent/arc collision and post-collision rifting developed in the Middle-Triassic and Late-Triassic, respectively, and finally the evolution of Paleo-Tethys finished in the end of the Late-Triassic.

Key words: Triassic magmatism; island arc; post-collision; southern Lancangjiang zone; Paleo-Tethys

摘要:三叠纪岩浆作用广泛发育于澜沧江南带, 锆石 U-Pb 年代学结果及岩石组合特征显示: (1) 该区残留有少量的早三叠世火山岩 (约 248 Ma), 主要为一套薄层的以安山岩为主的火山岩; (2) 中三叠世以大规模的酸性岩浆作用为主, 部分地段的中部夹有少量的玄武岩, 其中晚期的流纹岩与该区出露巨大的临沧花岗岩基主体具有一致的形成时代 (约 230 Ma); (3) 晚三叠世则以基性火山岩为主, 夹少量流纹岩为特征的“双峰式”

收稿日期: 2009-03-02; 修回日期: 2009-09-15

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40830319); 中国科学院知识创新工程项目 (GIGCX-08-02; KZCX1-YW-15-5); 国家重点基础研究发展计划“973”项目 (2007CB411403)

作者简介: 范蔚茗 (1959—), 男, 研究员, 主要从事岩石大地构造研究。E-mail: wmfan@gig.ac.cn

火山岩组合。元素地球化学特征表明,早三叠世火山岩具有典型的岛弧火山岩的特征,暗示其很可能形成于俯冲的构造环境;中三叠世晚期的流纹岩与临沧花岗岩基主体具有非常相似的地球化学特征,结合其流纹岩具有 A 型花岗岩属性,表明该区中三叠世火成岩形成于碰撞后的构造背景;而晚三叠世基性火山岩虽然在地球化学特征上显示出与岛弧火山岩相似的高铝和 Nb-Ta 的亏损,但其中部分火山岩具有高镁和板内玄武岩的微量元素比值特征,说明这些火山岩可能形成于碰撞后裂谷 (post-collisional rifting) 环境。结合区域上前人的研究资料,我们认为西南三江地区古特提斯主洋盆的俯冲闭合可能直到早三叠世晚期才完成,其后的陆-陆/弧碰撞作用可能发生在中三叠世早期,中三叠世中晚期该区进入碰撞后演化阶段,晚三叠世开始处于碰撞后的裂谷阶段,古特提斯在该区的演化最终结束于三叠纪末。

关键词: 三叠纪岩浆作用; 岛弧; 碰撞后; 澜沧江南带; 古特提斯

中图分类号: P588.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-2321(2009)06-0291-12

0 引言

滇西地处欧亚板块与印度板块的结合部位,是古特提斯构造域的重要组成部分。自 20 世纪 80 年代以来,国内外学者在该区针对古特提斯的演化进行了大量的研究,相继发现了晚古生代含放射虫硅质岩及其他深水相沉积、蛇绿混杂岩、洋岛/洋脊火山岩等^[1-8]和高压蓝闪石片岩^[9-12]、弧火山岩/弧花岗岩等^[4, 12-18],均证实古特提斯洋在该区的存在及其主洋盆为昌宁—孟连洋盆^[4-5, 11-12]。而且,所有资料综合显示古特提斯主洋盆的演化经历了从早泥盆世初始洋盆的打开到石炭纪—早二叠世洋盆的扩张再到晚二叠世—早三叠世洋盆的关闭较为完整的威尔逊旋回^[12]。而区内三叠纪火山岩系夹红色沉积建造被 T₃—J₁ 的前陆磨拉石建造所上覆的特征^[12, 14],则暗示三叠纪之后结束了古特提斯构造域在该区的演化^[1, 12]。然而,目前关于古特提斯演化过程中精确的陆-陆或陆-弧碰撞的时间问题,一直存在分歧。其主要原因是晚中生代以来该区遭受过多期次的构造-岩浆作用的改造,且前人关于该区大规模出露的三叠纪火成岩的精细形成时代和构造背景缺乏共同的认识。

已有的资料显示,在该区德钦—维西—兰坪—剑川—洱源(攀天阁组—崔依比组)和云县—景洪一带(忙怀组—小定西组—芒汇河组或相当层)发育最大厚度可达 8 000 m 的三叠纪火山岩^[4, 11],以及沿澜沧江分布的晚二叠世—三叠纪巨型花岗岩带(如临沧花岗岩基和白忙雪山花岗岩带),构成了三江地区重要的构造-岩浆带(图 1)。虽然前人针对该火山岩带开展了一些研究,但这些研究更多集中于区域对比、地层接触关系、岩石(相)学、岩石化学和构造属性等^[4, 16, 19-24]。目前依然缺乏精确年代学

结果和系统的元素和同位素地球化学研究,尤其是出露巨大的临沧花岗岩基的主体侵入时代及其相伴生的三叠纪火山岩的形成时代和构造背景的研究。因此,有必要对与古特提斯主缝合带(昌宁—孟连带)相伴生的三叠纪火成岩进行详细的年代学和元素地球化学研究,其目的是:(1)确立三叠纪岩浆作用在该区的时空格架;(2)探讨岩浆作用过程中可能的大地构造背景的变化;(3)约束古特提斯演化过程中的俯冲-碰撞时空关系。

1 三叠纪岩浆作用的时空分布特征

澜沧江南段属三江(怒江、澜沧江、金沙江)构造-岩浆带的南带(图 1),带内早中生代火成岩位于澜沧江两侧云县—景洪一线,呈狭长状分布,南北延伸长达 400 km,宽 10~50 km^[11]。主要由临沧花岗岩体和三叠纪火山岩系组成(图 1)。

临沧花岗岩体是云南省出露面积最大的花岗岩基。岩基总体南北向延伸,呈反“S”状沿澜沧江断裂(南段)西侧展布,长达 350 km,东西宽 10~48 km,出露面积达 7 400 km²。向南与泰国、马来西亚的花岗岩体断续相连,向北延伸与白马雪山花岗岩体相连,构成一条醒目的花岗岩带^[18, 25]。临沧花岗岩基主体岩性为黑云母二长花岗岩和花岗闪长岩,无明显岩性分带。此外,还包含有少量的补体燕山晚期花岗岩^[11]。该岩基被小街—那东断裂和南岭—城子断裂分为北、中、南 3 段(图 1),其中北段和南段岩性主要为黑云二长花岗岩,中段主要由黑云母二长花岗岩和较少量的花岗闪长质岩石组成,闪长质岩体或与黑云母二长花岗岩呈侵入接触关系,或呈不规则状、孤岛状或条带状残留岩基分布于黑云母二长花岗岩体中^[21, 26-27]。燕山晚期花岗岩常呈小岩体或岩株侵位于黑云母二长花岗岩体中。主

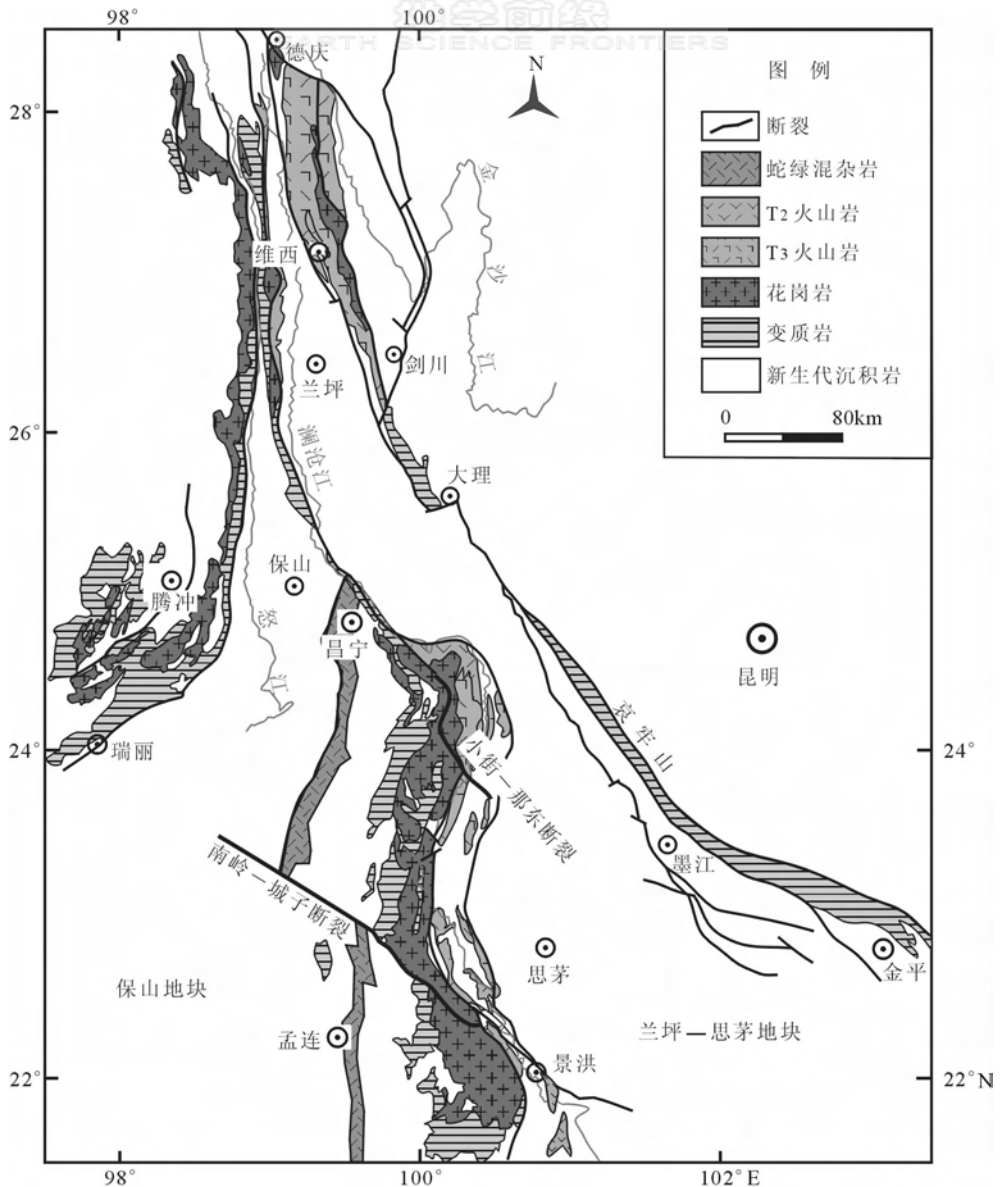


图1 西南三江地区地质简图
(根据文献[11]修改)

Fig. 1 Simplified geological map for Sanjiang area in the southwestern China

体二长花岗岩矿物组成有钾长石(25%~35%)、斜长石(27%~36%, $An = 25 \sim 40$)、石英(16%~32%)、黑云母(8%~12%), 以及少量的锆石、磷灰石、榍石、磁铁矿等副矿物。

三叠纪火山岩呈南北狭长带状分布于云县—景洪—勐腊一带, 其中尤以云县一带出露较为完整, 自下而上被划分为忙怀组(T_2m)、小定西组(T_3x)和芒汇河组(T_3m)^[4,11]。该火山岩系内各组之间呈整合或假整合接触, 与下伏前三叠系地层不整合接触, 又被下、中侏罗统复成分砾岩和紫红色泥岩不整合上覆^[11,24]。以往的研究认为该区普遍缺失下三叠统, 中三叠统为一套以中酸性火山岩为主的火山碎

屑岩建造; 上三叠统下部系以中基性火山岩为特征, 上部为碎屑岩夹火山岩为特征的火山岩-碎屑岩建造; 这套火山岩地层总厚度约 8 000 多米。其中位于该火山岩系下部的忙怀组为一套厚 924~1 646 m 的火山沉积岩系, 该组底部为一套粉砂岩、泥岩夹火山碎屑岩的组合, 中上部为一套厚约 1 600 m 的高钾流纹岩、火山碎屑岩夹少量玄武岩的组合^①。岩石类型有高钾流纹岩/英安岩、玄武岩、流纹质岩屑凝灰岩、玻屑凝灰岩、凝灰岩、凝结凝灰岩。其中

① 王自廉, 张志远, 薛玺会, 等. 云南省澜沧江南段三叠纪火山岩系地层划分及岩石类型(内部报告), 1984.

玄武岩以灰黑色气孔状和致密状为主, 并包含少量的杏仁状安山玄武岩; 而流纹岩常具斑状结构, 斑晶主要由斜长石(5%~10%, An 约 20)、石英(10%~15%)和钾长石(0~5%)组成, 基质为霏细或球粒结构。忙怀组的底部还有一套薄层的安山岩, 与上覆地层呈假整合, 由于缺乏详细的年代学资料, 前人通常把它划归为忙怀组的一部分(图 2)^①。

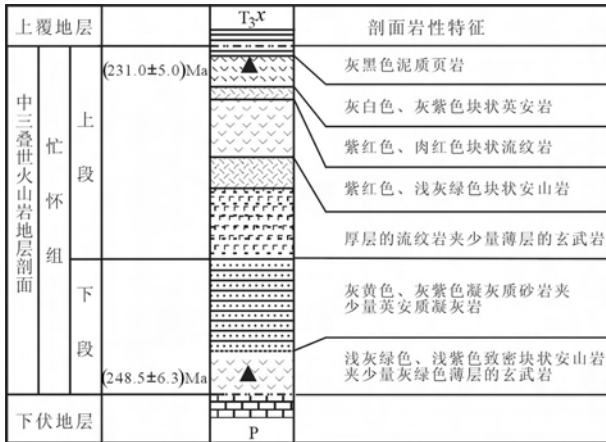


图 2 澜沧江南带邦沙地区原忙怀组地层柱状图

Fig. 2 Stratigraphic column of original Manghuai Formation in the Bangsha village, southern Lancangjiang Zone

晚三叠世小定西与芒汇河组火山岩以棉花地—丙令河、上台、那罕、文肖—普家村、大困博、平村、茂密、芒汇河、小荒田、那许、大新山及团山—南爬河等剖面出露完整, 其中以棉花地—丙令河剖面最为典型^①。小定西组以一套火山岩系地层为特征, 厚度约 2 000 余米。与下伏忙怀组呈假整合接触, 与上覆芒汇河组呈连续过渡或假整合接触。由一套灰绿色、暗绿色-紫红色的基性火山岩组成, 岩性主要为玄武岩、安山玄武岩, 夹安山岩、安山质、安山玄武质凝灰岩、火山角砾岩、沉凝灰岩, 紫红色灰绿色凝灰质砂岩、含砾砂岩、页岩及少量的中酸性火山岩角砾岩等。芒汇河组岩性复杂, 最大厚度可达 3 500 余米, 分上、中、下 3 段, 上段为紫红色块状复成分砾岩含砾角砾岩屑砂岩、少量紫红色泥岩和灰绿色安山岩夹灰绿色安山玄武岩和玄武岩; 中段为灰绿色安山熔岩、安山质角砾岩、夹酸性火山熔岩酸性熔结凝灰岩及少量基性熔岩; 下段为灰色、深灰色夹紫红色长石砂岩、泥岩、粉砂岩(图 3)。

2 三叠纪岩浆作用的年代

2.1 临沧岩基主体侵位时代

临沧花岗岩体作为澜沧江南带出露最大的侵入岩, 且是一个巨大的复式岩基。由于岩基本身的复杂性和测年手段的局限性(主要是全岩/单矿物 K-Ar、全岩 Rb-Sr 年龄和颗粒锆石 U-Pb 或 Pb-Pb 蒸发年龄), 对其形成年龄一直有着不同的看法, 如: 陈吉琛^[28]认为其形成于 279~210 Ma; 刘昌实等^[29]认为临沧复式岩基大致形成于 292~275 Ma; 云南省区域地质志^[11]则认为该岩基形成于晋宁期, 主体形成于华力西—印支期; 秦元季^[30]则认为该岩基主要形成于 255~180 Ma。俞赛赢等^[26]对临沧花岗岩基中呈残留体或捕虏体存在的花岗闪长岩进行 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年, 获得了(269±37) Ma 的年龄, 认为其形成于二叠纪。

我们应用高精度的单颗粒锆石 U-Pb 年代学方法对该岩基进行了定年, 其结果表明(表 1), 北段和南段主体岩性黑云母二长花岗岩给出了相似的形成时代, 分别为(229.4±3.0) Ma 和(230.4±3.6) Ma, 而中段主体岩性黑云母二长花岗岩给出了(230.4±3.6) Ma, 三者误差范围内具有一致的形成时代, 即临沧岩基主体应该形成于中三叠世(约 230 Ma), 并非以往所认为的形成于晚二叠世或者早三叠世或者燕山期。与澜沧江带北段的白马雪山花岗岩基(SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为(239±6) Ma)^[18]有着相近的形成年龄, 应是同一次构造岩浆事件产物。综合所有研究资料, 我们认为临沧岩基除了由其主体中三叠世花岗岩组成外, 可能还包括有少量的燕山期花岗岩补体和残留的二叠纪闪长质岩体。

2.2 火山岩的形成时代

由于该区普遍缺失早三叠世的地层, 因此中三叠世忙怀组为本区三叠纪火山岩系地层最下部层位。其地层在该区的云县、景洪和景谷等地都有分布, 以云县后阱和景洪邦沙地区最为典型。分上下岩性段, 其下段为一套灰黄、褐红色凝灰质、泥岩、砂质碎屑岩层, 常以一套复成分砾岩与二叠纪地层不整合或断层接触, 其中个别剖面底部还有一套薄层

① 王自廉, 张志远, 薛玺会, 等. 云南省澜沧江南段三叠纪火山岩系地层划分及岩石类型(内部报告), 1984.

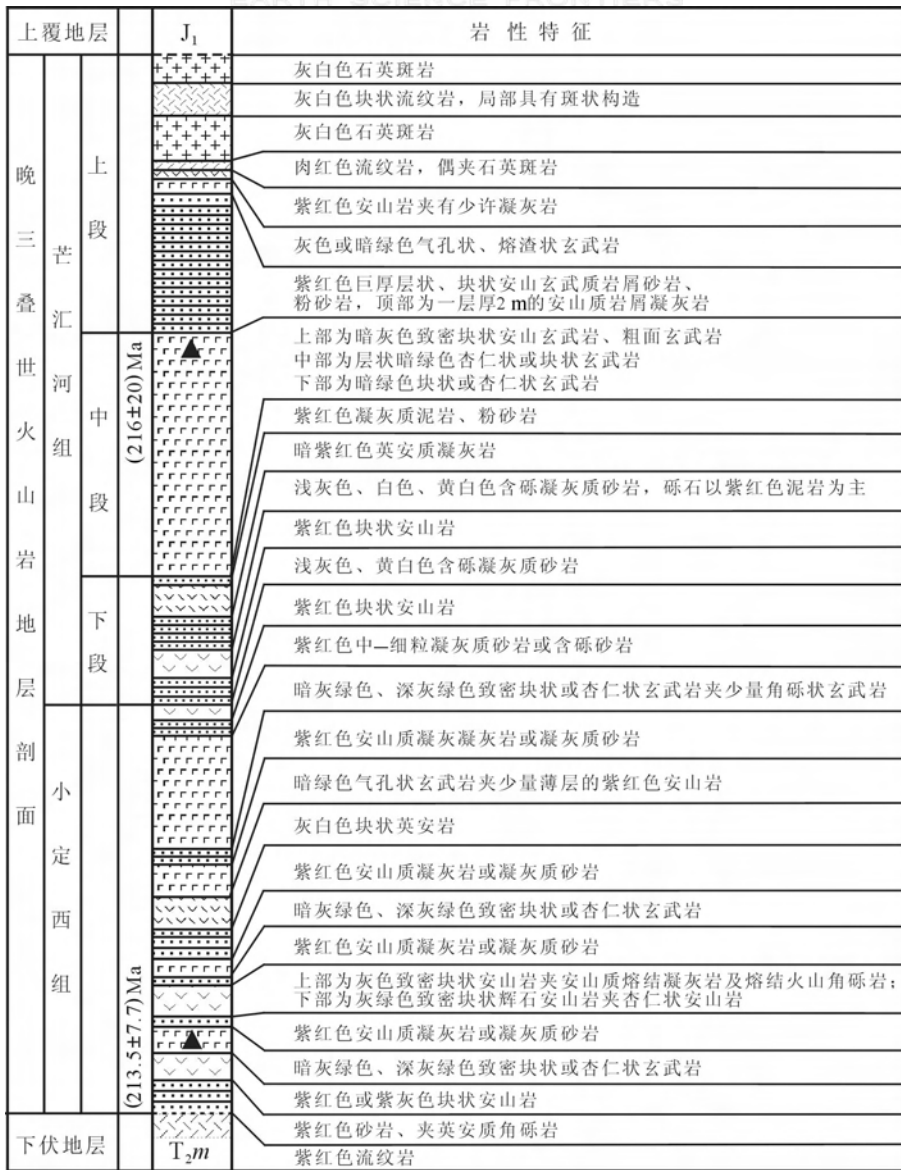


图3 澜沧江南带棉花地—丙令河小定西—芒汇河组地层剖面图
Fig. 3 Stratigraphic column of Xiaodingxi and Manghuihe Formations in the Mianhuadi-Binglinghe areas, southern Lancangjiang Zone

表1 澜沧江南带三叠纪火成岩锆石 U-Pb 年代学结果

Table 1 Geochronological results of zircons of Triassic igneous rocks in the southern Lancangjiang zone

样品号	位置	岩性	年龄/Ma	文献出处
02DX-137	北段	黑云母二长花岗岩	229.4±3.0 ⁽¹⁾	Peng 等, 2006 ^[31]
02DX-43	临沧花岗岩体	中段	231.8±2.0 ⁽²⁾	课题组未刊资料
20JH-10		南段	230.4±3.6 ⁽¹⁾	Peng 等, 2006 ^[31]
20SM-408	早三叠世(原忙怀组)	底部	248.5±6.3 ⁽¹⁾	Peng 等, 2008 ^[32]
02DX-95	中三叠世忙怀组	顶部	231.0±5.0 ⁽¹⁾	课题组未刊资料
02DX-103	晚三叠世小定西组	玄武质安山岩	213.5±7.7 ⁽¹⁾	课题组未刊资料
02DX-124	晚三叠世芒汇河组	安山岩	216±20 ⁽¹⁾	课题组未刊资料

注: 其中(1)和(2)分别为 SHRIMP 和 LA-ICP-MS 分析方法。

的安山质火山岩, 由于缺失生物依据, 通常划归忙怀组底部层位, 因此其具体形成时代没有得到很好地约束; 中上段为一套流纹岩、流纹斑岩、流纹质火山碎屑岩夹少量薄层玄武岩的火山岩组合。目前关于忙怀组顶部的时限也没有得到很好的约束。我们针对原忙怀组底部和顶部火山岩进行年代学研究, 其底部的安山岩样品 20SM-408 给出了 (248.5 ± 6.3) Ma (表 1), 属于早三叠世^[32], 并非以往认为的属于忙怀组底部, 这与该段火山碎屑岩与下段沉积 (中三叠世早期) 有沉积间断的地质认识相吻合^①。顶部流纹岩样品 02DX-95 给出了 (231.0 ± 5.0) Ma SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 (表 1), 代表了忙怀组上段顶部流纹岩的形成年龄, 与其相伴生的侵入岩 (临沧花岗岩的主体, 如表 1) 以及北部的德钦鲁春—红坡牛场三叠纪火山岩^[33] 和兰坪盆地三叠纪攀天阁组火山岩^[34] 的形成年龄相似 (235~238 Ma), 代表了该区同期岩浆作用的产物。

晚三叠世火山岩系地层小定西组和芒汇河组完整的剖面目前只在该区的云县棉花地—丙令河剖面出露。关于晚三叠世的小定西组和芒汇河组火山岩的形成时代, 目前仅有的是个别剖面的生物学判据, 而精确形成时代的资料还缺乏。本次研究在云县棉花地—丙令河晚三叠世 (小定西组和芒汇河组) 剖面的下部 (小定西组: 02DX-103) 和上部 (芒汇河组: 02DX-124) 分别获得 (213.5 ± 7.7) Ma 和 (216 ± 20) Ma 的年龄 (表 1)。虽然芒汇河组火山岩锆石 SHRIMP U-Pb 分析测试的点较少, 有着 20 Ma 误差范围, 但作为参考年龄是合适的。结合已有的研究, 如小定西组与芒汇河组间呈连续接触关系, 生物组合也相近^①, 表明小定西组和芒汇河组火山岩可能具有相近的形成时间, 可能是同一次岩浆事件不同幕次的表现。

3 地球化学特征及其形成的大地构造背景

3.1 早三叠世

早三叠世 (原忙怀组底部) 安山质火山岩地球化学特征表现为, 低 TiO_2 (质量分数为 $0.82\% \sim 1.22\%$)、 MgO (质量分数为 $2.34\% \sim 4.56\%$)、 K_2O (质量分数为 $0.21\% \sim 2.53\%$) 和 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值 ($0.07 \sim 0.86$)、高 Al_2O_3 (质量分数为 $16.46\% \sim 19.10\%$)、 Na_2O (质量分数为 $2.30\% \sim 5.14\%$)、属

低钾玄武质安山岩和安山岩。富集 LREE 和 LILE, 其 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{cn}} = 1.79 \sim 6.60$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{cn}} = 1.04 \sim 1.56$, 弱的 Eu 负异常 ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.62 \sim 0.90$); 在微量元素蛛网图上, 显示出 Nb-Ta、P 和 Zr-Hf 等高场强元素的亏损, 与岛弧火山岩的特征非常相似 (图 4a)。此外, 其高铝、(Th/La) 和低的 (Nb/La) 的特征, 以及在微量元素构造环境判别图解上 (图 5a, b), 所有样品都落在了岛弧火山岩区域, 均表明该火山岩很可能形成于与俯冲有关的岛弧环境。

3.2 中三叠世

中三叠世临沧岩基主体花岗岩 (北段、中段和南段) 和忙怀组上部的流纹岩具有相似的 SiO_2 (质量分数分别为 $66.69\% \sim 73.56\%$ 和 $71.77\% \sim 72.84\%$)、 TiO_2 (质量分数分别为 $0.18\% \sim 0.77\%$ 和 $0.35\% \sim 0.43\%$)、 Al_2O_3 (质量分数分别为 $13.89\% \sim 15.02\%$ 和 $13.69\% \sim 14.45\%$) 和 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ (质量分数分别为 $3.94\% \sim 8.14\%$ 和 $7.32\% \sim 8.05\%$); 其 A/CNK 值分别为 $0.96 \sim 1.24$ 和 $0.93 \sim 1.16$, 大都小于 1.10, 属于弱过铝质系列。此外, 在 Ce 和 Nb 对 Ga/Al 图解中 (图 6a, b), 忙怀组流纹岩均落于 A 型花岗岩区域。在原始地幔标准化微量元素图解中 (图 4b), 两者也展示出非常相似的配分模式 (图 4b), 如富集大离子亲石元素 (LILE), 明显亏损 Nb-Ta, P 和 Ti 等高场强元素, 以及明显的 Ba 和 Sr 负异常特征, 与形成于裂谷环境的美国 Missouri A-型流纹岩相似^[39]。在构造环境判别图解上, 所有样品都一致落在碰撞后花岗岩区域 (图 7a) 或碰撞晚期-碰撞后环境 (图 7b), 明显不同于以往所认为的属于同碰撞型花岗岩^[11-12, 24], 可能形成于碰撞后构造环境^[4, 21]。而且, 目前的国内外造山带岩浆作用的研究也认为, 碰撞阶段主要表现为地壳的构造加厚和形成高压变质作用, 很难产生花岗岩, 即使有花岗岩, 也很难在强烈挤压的背景下侵位上来。而在碰撞后的构造松弛阶段, 有利于形成大量的从基性到酸性的岩浆活动^[42-43]。因此, 与碰撞造山作用有关的大规模花岗质岩浆作用通常形成于碰撞后的应力松弛阶段^[4, 44]。结合忙怀组中部为一套以流纹岩为主夹少量玄武岩为特征的双峰式火山岩组合^①, 明显不同于典型地区岛弧火

① 王自廉, 张志远, 薛玺会, 等. 云南省澜沧江南段三叠纪火山岩系地层划分及岩石类型 (内部报告), 1984.

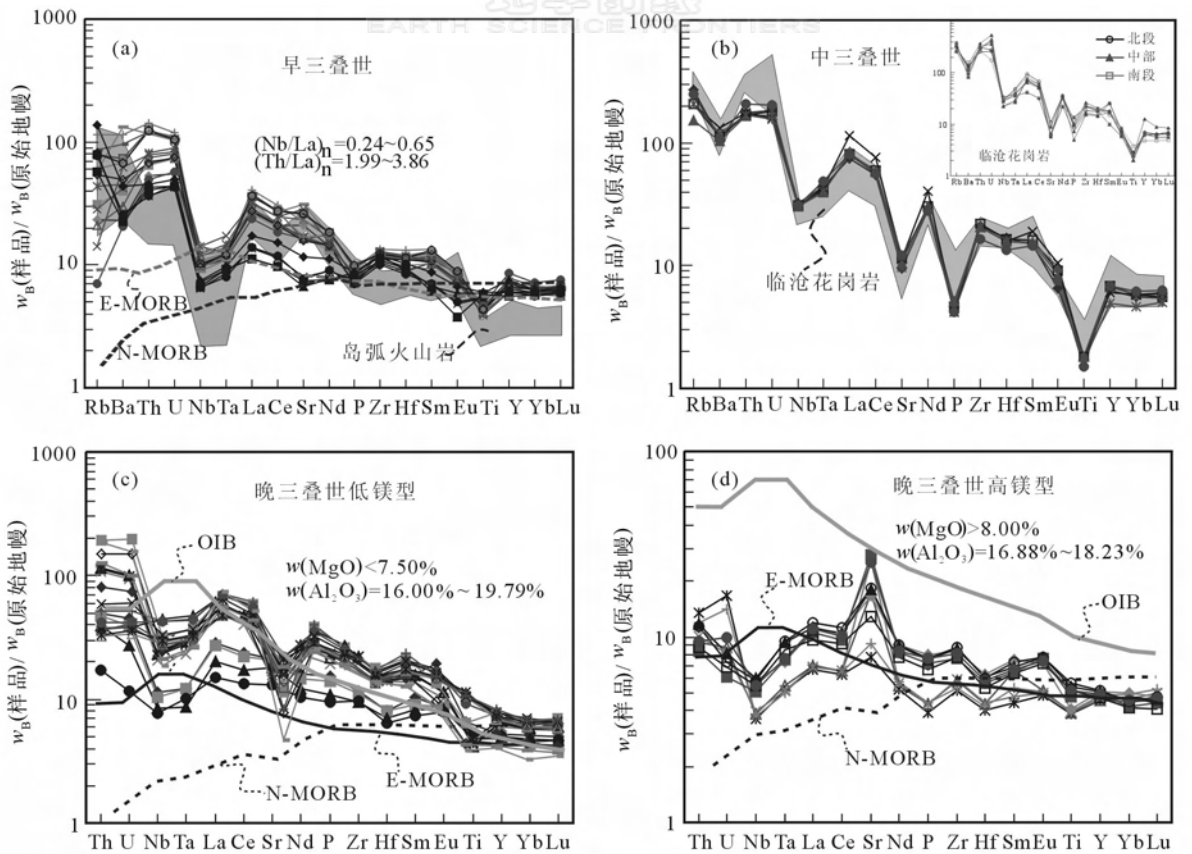


图4 南澜沧江带三叠纪火山岩微量元素蛛网图

Fig. 4 Primitive mantle-normalized multi-element spider diagram of Triassic volcanics

其中图 a 为早三叠世火山岩数据引自文献[32]; b 为中三叠世忙怀组上部流纹岩, 插图为临沧花岗岩基主体花岗岩。微量元素标准化值、N-MORB 和 E-MORB 数据都是引自文献[35]; 岛弧火山岩值引自文献[36-37]

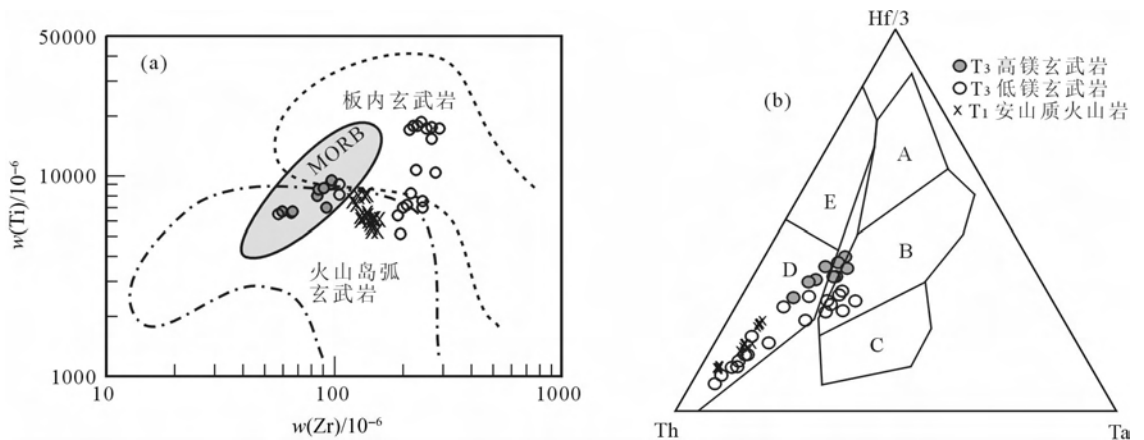


图5 早、晚三叠世火山岩微量元素构造环境判别图解

Fig. 5 Trace-element tectonic setting discrimination plots of Early-Triassic volcanics from southern Lancajiang zone
A 为 N-MORB; B 为 E-MORB 和板内拉斑玄武岩; C 为板内碱性玄武岩; D 为岛弧拉斑玄武岩; E 为岛弧钙碱性玄武岩;
T₁ 安山质火山岩数据引自文献[32]

山岩组合-玄武岩-玄武质安山岩系列或安山岩-英安岩系列^[45], 而与目前所认为的碰撞后伸展环境下岩浆活动特征相似, 如巴西南部 and 南天山的碰撞后花

岗岩即包括过铝质淡色花岗岩、高钾钙碱性花岗岩和铝饱和的 A 型花岗岩等^[43,46]。因此, 我们有理由认为, 该区中三叠世晚期岩浆作用应该形成于碰撞

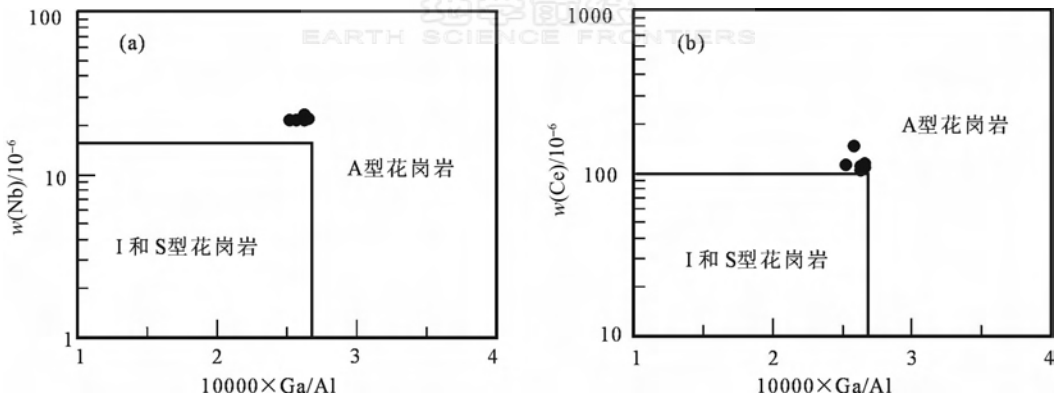


图6 澜沧江南带忙怀组流纹岩的Nb和Ce对 $10\,000\times\text{Ga}/\text{Al}$ 分类图解^[38]

Fig. 6 Nb and Ce versus $10\,000\times\text{Ga}/\text{Al}$ plots of the Middle-Triassic rhyolites from the southern Lancangjiang zone^[38]

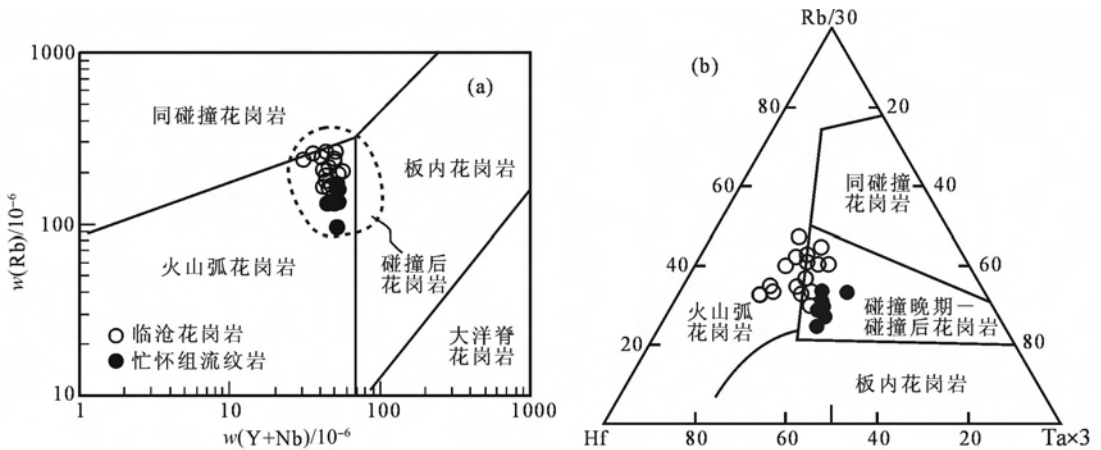


图7 南澜沧江带中三叠世酸性火成岩微量元素构造环境判别图解^[40-41]

Fig. 7 Tectonic setting discrimination plots of Middle-Triassic igneous rocks in the southern Lancangjiang zone^[40-41]

后的构造环境^[4]。

3.3 晚三叠世

晚三叠世小定西组和芒汇河组基性火山岩在地球化学上都属于高铝玄武岩, 根据其MgO含量不同又可划分为低镁型和高镁型两组。其中低镁型具有低的MgO(质量分数为3.01%~7.50%)以及低Zr/Nb(9.29~15.16)、Th/La(0.25~0.48)、Nb/La(0.26~0.66)比值, 表现出富集LREE和LILE, 亏损Nb-Ta和Zr-Hf等高场强元素为特征, 明显的轻重稀土的分异特征, 如 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{cm}} = 2.08 \sim 22.72$, $(\text{Dy}/\text{Yb})_{\text{cm}} = 1.28 \sim 1.50$, 铈异常不明显, 部分样品Sr负异常(图4c); 高镁型则表现为具有高的MgO(质量分数为8.08%~11.74%), 高Zr/Nb(19.37~23.92)比值, 具有比前者明显弱的轻重稀土分异的特征, 其 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{cm}} = 1.42 \sim 3.26$, $(\text{Dy}/\text{Yb})_{\text{cm}} = 1.04 \sim 1.30$, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.94 \sim 1.17$, 富集LILE, 亏损Nb-Ta和Zr-Hf等, 其Sr正异常和P负异常明显不同于低镁

型火山岩(图4d)。虽然所有晚三叠世基性火山岩高铝和亏损Nb-Ta的特征与岛弧火山岩非常相似, 而其显示出与裂谷火山沉积系列相似的以玄武岩为主夹少量流纹岩的陆相“双峰式”火山碎屑岩组合的特征^[47], 以及在微量元素构造环境判别图解上部分低镁型火山岩落在板内玄武岩的区域, 而高镁型火山岩则显示出有MORB组分的参与(图5a, b), 表明这些玄武岩的形成可能与碰撞后裂谷作用下的软流圈上涌有关^[48]。此外, 其高镁火山岩中部分样品具有异常高的MgO(>10%), 也可能暗示与热的软流圈地幔上涌背景有关^[49-50], 晚三叠世时该区可能处于碰撞后的裂谷构造环境。

4 对古特提斯构造演化的制约

正如前面所述, 近20多年来我国学者针对古特提斯在西南三江地区的演化研究过程中, 相继在昌

宁—孟连带和澜沧江带识别并证实了该区高压蓝闪石片岩、蛇绿构造混杂岩、变质带、弧火山岩和弧花岗岩, 证实了晚古生代末该区存在古特提斯洋消减和陆-陆(弧)碰撞作用, 以及晚古生代—早中生代沉积建造所揭示的构造背景、279 Ma 的蓝闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄, 晚古生代末区内构造-岩浆-沉积作用响应^[2,4,8-9,12,14,51]、Sukhothai-Chang Mai-临沧巨型花岗岩带的三叠纪年龄^[18,29,52-53]及三叠纪之后古特提斯演化历史的结束^[1,12], 暗示昌宁—孟连洋的关闭和随之的陆-陆(弧)碰撞作用主要发生在 P₁—T₁ 之间^[1,4,12]。然而, 关于古特提斯主洋盆(昌宁—孟连洋盆) 确切的俯冲碰撞时限, 尤其是陆-陆或陆-弧碰撞的时间, 还没有得到很好的限定。一方面主要是基于对该区侵入岩——巨型临沧花岗岩基形成构造背景认识的差别, 大都认为临沧花岗岩基主体是 S 型花岗岩, 代表的是同碰撞阶段的产物, 因此, 其形成时代即解释为陆-陆/弧碰撞的时间^[12,17,22,29]; 另一方面是基于对区内出露巨厚的与侵入岩相伴生的三叠纪火山岩岩石成因及其构造背景理解的不同, 带内下部的忙怀组火山岩以酸性为主, 中、上部的小定西组—芒汇河组以玄武岩为主夹少量流纹岩特征, 且都显示出岛弧火山岩的地球化学特征, 从而理解为一套碰撞型或滞后型弧火山岩^[4,16,19-24]。

而我们详细的岩相学、高精度单颗粒锆石 U-Pb 年代学和元素地球化学的研究表明: (1) 原划归为中三叠世忙怀组底部的薄层安山质火山岩, 并非中三叠世, 而是早三叠世(约 248 Ma) 与俯冲有关的岛弧火山岩, 结合区域上普遍缺失早三叠世地层的特征^[11-12], 暗示古特提斯主洋盆的闭合时间至少直到早三叠世早期之后才完成; (2) 临沧花岗岩基主体花岗岩与忙怀组上部的流纹岩一致形成于中三叠世晚期, 这种以巨大规模酸性岩浆为主夹极少量基性火山岩为特征的岩浆活动, 表明该区中三叠世开始进入碰撞后应力松弛阶段; (3) 晚三叠世小定西组—芒汇河组以低钾拉斑-钙碱性-高钾钙碱性-钾玄岩系列为特征火山岩组合^[4,12,16,19-21], 与碰撞后产生的岩浆组合特征相似^[48], 代表的是一种碰撞后的裂谷环境。以上研究对于古特提斯主洋盆(昌宁—孟连洋盆) 演化过程中的陆-陆或陆-弧碰撞时间得到了很好的约束, 即其碰撞时间应该发生在早三叠世中、晚期, 中三叠世以后进入了碰撞后演化阶段。

野外工作得到邱华宁研究员、云南省地矿局张志斌高工等的大力帮助, 在此表示衷心的感谢。

References:

- [1] Cong B L, Wu G Y, Zhang Q, et al. Petrotectonic evolution of the Tethys zone in western Yunnan, China[J]. Science in China: Series B, 1993, 23(11): 1201-1207(in Chinese).
- [2] Liu B P. Tectonic evolution of Paleo-Tethys poly-island-ocean in Changning-Menglian and Lancangjiang belts, Southwestern Yunnan, China[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1993, 18(5): 529-538(in Chinese).
- [3] Feng Q L, Liu B P. Early Permian Radiolarians from Babu ophiolitic mélange in Southeastern Yunnan[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(1): 1-3(in Chinese).
- [4] Mo X X, Shen S Y, Zhu Q W. Volcanics-Ophiolite and Mineralization of Middle and Southern Part in Sanjiang, Southern China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998: 1-128(in Chinese).
- [5] Mo X X, Deng J F, Dong F L, et al. Volcanic petrotectonic assemblages in Sanjiang orogenic belt, SW China and implication for tectonics[J]. Geological Journal of Chinese Universities, 2001, 7(2): 121-138(in Chinese).
- [6] Zhang Q, Li D Z, Zhang K W. The preliminary cognition of Alaskan-type ultramafic-mafic rocks in Yunnan and its significance for metallogenesis[J]. Yunnan Geology, 1984, 3(3): 245-255(in Chinese).
- [7] Zhang Q, Li D Z, Zhang K W. Preliminary study on Tongchangjie ophiolite mélange from Yun County, Yunnan Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 1985, 1(3): 1-14(in Chinese).
- [8] Zhang Q, Zhou D J, Zhao D S, et al. Wilson cycle of the Paleo-Tethyan orogenic belt in Western Yunnan: Record of magmatism and discussion on mantle processes[J]. Acta Petrologica Sinica, 1996, 12(1): 17-28(in Chinese).
- [9] Peng X J, Luo W L. The discovery of glaucophane schist zone in the southern Lancangjiang in the Western Yunnan Province, China and its tectonic implications[M]//Regional Geology of China (2). Beijing: Geological Publishing House, 1982: 69-75(in Chinese).
- [10] Zhao J, Zhong D L, Wang Y. Metamorphism of Lancang metamorphic belt, the western Yunnan and its relation to deformation[J]. Acta Petrologica Sinica, 1994, 29(4): 336-372(in Chinese).
- [11] Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. Regional Geology of Yunnan Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 295-301(in Chinese).
- [12] Zhong D L. The Paleotethys Orogenic Belt in West of Sichuan and Yunnan[M]. Beijing: Science Press, 1998: 1-230

- (in Chinese).
- [13] Xu X S, Cai D K, Zhu J C, et al. Characteristics and origin of Hercynian-Indosinian granitoids in the Lanchangjiang river collision belt, western Yunnan[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1987, 11: 247-258(in Chinese).
- [14] Li J L. The tectonic evolution of Sanjiang orogenic zone in the western Yunnan Province, China[J]. *Chinese Journal of Geology*, 1988, 4: 337-346(in Chinese).
- [15] Zhang R Y, Cong B L, Qin Y J. Blueschist in the western Yunnan and its tectonic significance[J]. *Science in China: Series B*, 1989, 12: 1318-1327(in Chinese).
- [16] Mo X X, Lu F X, Shen S Y. *Volcanism and Metallogenesis of Sanjiang Tethys*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993(in Chinese).
- [17] Li X Z, Liu W J, Wang Y Z, et al. The Tectonic Evolution and Metallogenesis in the Tethys of the Sanjiang Area, Southwestern China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999(in Chinese).
- [18] Jian P, Liu D Y, Sun X M. SHRIMP dating of Baimaxueshan and Ludian granitoid batholiths in Northwestern Yunnan Province, and its geological implications[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2003, 24(4): 338-342(in Chinese).
- [19] Zhu Q W, He C X. Stipulation of Triassic volcanic rocks association and series in Yunxian, southwest Yunnan Province and its structural significance[J]. *Geoscience*, 1993, 7: 151-159(in Chinese).
- [20] Zhu Q W, Zhang S Q, Tan J. Geochemical evidence of volcanic rocks for determining the south Lancangjiang suture zone[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 1998, 17(4): 298-307(in Chinese).
- [21] Zhu Q W, Zhang S Q, Tan J. Magmatic genesis of volcanic rocks of southern Lancangjiang convergent margin—Magmatism about ocean ridge, ocean island arc[J]. *Geoscience*, 1999, 13: 137-142(in Chinese).
- [22] Shen S Y, Feng Q L, Liu B P, et al. Study on ocean ridge, ocean island volcanic rocks of Changning-Menglian belt[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2002, 21(3): 13-17(in Chinese).
- [23] Wei Q L, Shen S Y. Characteristics of three categories of arc volcanic rocks on the western side of Ailao shan, Sanjiang area[J]. *Geological Science and Technology Information*, 1997, 16(2): 13-18(in Chinese).
- [24] Zhao D S, Liu X P. Geochemical characteristics of collision type volcanic rocks from northwestern Yunnan[J]. *Geochimica*, 1994, 33: 235-244(in Chinese).
- [25] Cobbing E J, Pitfield P E, Darbyshire D P F, et al. The granites of the South-East Asian Tin Belt[J]. *Overseas Memoir of the British Geological Survey*, 1992, 10: 1-369.
- [26] Yu S Y, Li K Q, Shi Y P, et al. A study on the granodiorite in the middle part of Lincang granite batholith[J]. *Yunnan Geology*, 2003, 22(4): 426-442(in Chinese).
- [27] Li X L. Basic characteristics and formation structural environment of Lincang composite granite batholith[J]. *Yunnan Geology*, 1996, 15(1): 1-18(in Chinese).
- [28] Chen J C. The discussion of chronological division of granites and selection of isotopic ages[J]. *Yunnan Geology*, 1987, 6: 101-113(in Chinese).
- [29] Cai D K. Study on the characteristics of Lincang composite granite batholith in west Yunnan [J]. *Yunnan Geology*, 1989, 8(3/4): 189-204(in Chinese).
- [30] Qin Y J. The Basic Characteristics and Intrusive Mechanism of Lincang Granitic Batholith[D]. Beijing: Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, 1999(in Chinese).
- [31] Peng T P, Wang Y J, Fan W M, et al. The SHRIMP zircon U-Pb dating of the felsic igneous rocks from Southern Lancangjiang and its tectonic implications[J]. *Science in China: Series D*, 2006, 10: 1032-1042.
- [32] Peng T P, Wang Y J, Zhao G C, et al. Arc-like volcanic rocks from the southern Lancangjiang zone, SW China: Geochronological and geochemical constraints on their petrogenesis and tectonic implications[J]. *Lithos*, 2008, 102: 358-373.
- [33] Wang L Q, Li D M, Guan S P, et al. The Rb-Sr age determinations of the “bi-model” volcanic rocks in the Luchun-Hongponiuchang superimposed rift basin, Deqin, Yunnan [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2002, 22(1): 65-71(in Chinese).
- [34] Mou C L, Yu Q. The age of volcanic rock of the Pantiang Formation in the Lanping basin, Yunnan Province[J]. *Journal of Stratigraphy*, 2002, 26(4): 289-292(in Chinese).
- [35] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[M]//Saunders A D, Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins*. *Geol Soc Spec Pub*, 1989, 42: 313-345.
- [36] Luhr J F, Haldar D. Barren Island Volcano (NE Indian Ocean): Island-arc high-alumina basalts produced by troctolite contamination[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2006, 149: 177-212.
- [37] Kimura J I, Yoshida T. Contributions of slab fluid, mantle wedge and crust to the origin of quaternary lavas in the NE Japan arc[J]. *Journal of Petrology*, 2006, 47: 2185-2232.
- [38] Whalen J B, Currie K, Chappel B W. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis[J]. *Contribution to Mineral and Petrology*, 1987, 70: 407-419.
- [39] Menuge J F, Brewer T S, Seeger C M. Petrogenesis of meta-luminous A-type rhyolites from the St Francois mountains, Missouri and the Mesoproterozoic evolution of the southern Laurentian margin[J]. *Precambrian Research*, 2002, 113:

269-291.

Asian Earth Sciences, 2002, 20(6): 657-664.

- [40] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25: 956-983.
- [41] Pearce J A. Sources and settings of granitic rocks[J]. *Epi-sodes*, 1996, 19: 120-125.
- [42] Bonin B, Azzouni-Sekkal A, Bussy F, et al. Alkali-calcic and alkaline post-orogenic (PO) granite magmatism: Petrologic constraints and geodynamic settings[J]. *Lithos*, 1998, 45: 45-70.
- [43] Solomovich L I. Postcollisional magmatism in the South Tien Shan Variscan Orogenic Belt, Kyrgyzstan: Evidence for high-temperature and high-pressure collision[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2007, 30: 142-153.
- [44] England P C, Thompson A B. p - T - t paths of regions metamorphism. I: Heat transfer during the evolution of regions of thickened continental crust[J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25: 894-928.
- [45] Wilson M. *Igneous Petrogenesis*[M]. London: Unwin Hyman, 1989.
- [46] Wildner W, Lima E F, Nardi L V S, et al. Volcanic cycles and setting in the Neoproterozoic III to Ordovician Camaqua Basin succession in southern Brazil: Characteristics of post-collisional magmatism[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2002, 118: 261-283.
- [47] Condie K C. Plate-tectonics model for Proterozoic continental accretion in the southwestern United States[J]. *Geology*, 1982, 10: 37-42.
- [48] Harris N B W, Marzouki F M H, Ali S. The Jabel Sayd Complex, Arabian shield: Geochemical constraints on the origin of peralkaline and related granites[J]. *Journal of the Geological Society-London*, 1986, 143: 287-295.
- [49] Melluso L, Mahoney J J, Dallai L. Mantle sources and crustal input as recorded in high-Mg Deccan Traps basalts of Gujarat (India)[J]. *Lithos*, 2006, 89: 259-274.
- [50] Shimoda G, Tatsumi Y, Nohda S, et al. Setouchi high-Mg andesites revisited: Geochemical evidence for melting of subducting sediments[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 160: 479-492.
- [51] Liu F T, Liu J H, He J Q, et al. The subducted slab of Yangtze continental block beneath the Tethyan orogen in Western Yunnan[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(5): 466-473.
- [52] Mahawat C, Atherton M P, Brotherton M S. The Tak batholith, Thailand: The evolution of contrasting granite types and implications for tectonic setting[J]. *J SE Asia Earth Sci*, 1990, 4: 11-27.
- [53] Feng Q L. Stratigraphy of volcanic rocks in the Changning-Menglian Belt in southwestern Yunnan, China[J]. *Journal of*

参考文献:

- [1] 从柏林, 吴根耀, 张旗, 等. 中国滇西古特提斯构造带岩石大地构造演化[J]. *中国科学: B辑*, 1993, 23(11): 1201-1207.
- [2] 刘本培. 滇西南昌宁—孟连带和澜沧江带古特提斯多岛洋构造演化[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 1993, 18(5): 529-538.
- [3] 冯庆来, 刘本培. 滇东南八布蛇绿混杂岩中的早二叠世放射虫化石[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2002, 27(1): 1-3.
- [4] 莫宣学, 沈上越, 朱勤文. 三江中南段火山岩蛇绿岩与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 1-128.
- [5] 莫宣学, 邓晋福, 董方浏, 等. 西南三江造山带火山岩-构造组合及其意义[J]. *高校地质学报*, 2001, 7(2): 121-138.
- [6] 张旗, 李达周, 张魁武. 对云南“阿拉斯加型”基性-超基性岩及其地质找矿意义的初步认识[J]. *云南地质*, 1984, 3(3): 245-255.
- [7] 张旗, 李达周, 张魁武. 云南省云县铜厂街蛇绿混杂岩的初步研究[J]. *岩石学报*, 1985, 1(3): 1-14.
- [8] 张旗, 周德进, 赵大升, 等. 滇西古特提斯造山带的威尔逊旋回: 岩浆活动记录和深部过程讨论[J]. *岩石学报*, 1996, 12(1): 17-28.
- [9] 彭兴阶, 罗万林. 滇西澜沧江南段蓝闪片岩带的发现及其大地构造意义[M]//中国区域地质(2). 北京: 地质出版社, 1982: 69-75.
- [10] 赵靖, 钟大赉, 王毅. 滇西澜沧变质带的变形序列与变质作用初步研究[J]. *地质科学*, 1994, 29(4): 336-372.
- [11] 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: 291-301.
- [12] 钟大赉. 滇川西部古特提斯造山带[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1-231.
- [13] 徐夕生, 蔡德坤, 朱金初, 等. 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*, 1987, 11: 247-258.
- [14] 李继亮. 滇西三江带的大地构造演化[J]. *地质科学*, 1988, 4: 337-346.
- [15] 张儒媛, 丛伯林, 秦元寄. 滇西蓝片岩及其构造意义[J]. *中国科学: B辑*, 1989, 12: 1318-1327.
- [16] 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.
- [17] 李兴振, 刘文均, 王义昭, 等. 西南三江地区特提斯构造演化与成矿(总论)[M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [18] 简平, 刘敦一, 孙晓猛. 滇西白马雪山和鲁甸花岗岩基 SHRIMP U-P 年龄及其地质意义[J]. *地质学报*, 2003, 24(4): 338-342.
- [19] 朱勤文, 何昌祥. 滇西南云县三叠纪火山岩组合及系列的厘

- 定及其构造意义[J]. 现代地质, 1993, 7: 151-159.
- [20] 朱勤文, 张双全, 谭劲. 确定南澜沧江缝合带的火山岩地球化学证据[J]. 岩石矿物学杂志, 1998, 17(4): 298-307.
- [21] 朱勤文, 张双全, 谭劲. 南澜沧江结合带火山岩岩浆成因[J]. 现代地质, 1999, 13: 137-142.
- [22] 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.
- [23] 魏启荣, 沈上越. 三江地区哀牢山西侧三类弧火山岩特征[J]. 地质科技情报, 1997, 16(2): 13-18.
- [24] 赵大升, 刘祥品. 滇西北碰撞型火山岩的地球化学特征[J]. 地球化学, 1994, 33: 235-244.
- [26] 俞赛赢, 李昆琼, 施玉萍, 等. 临沧花岗岩基中段花岗岩闪长岩类研究[J]. 云南地质, 2003, 22(4): 426-442.
- [27] 李兴林. 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, 1996, 15(1): 1-18.
- [28] 陈吉琛. 滇西花岗岩时代划分及同位素年龄值选用讨论[J]. 云南地质, 1987, 6: 101-113.
- [29] 蔡德坤. 滇西临沧复式岩基特征研究[J]. 云南地质, 1989, 8(3/4): 189-204.
- [30] 秦元季. 滇西临沧花岗岩基的基本特征和构造侵位机制[D]. 北京: 中国科学院地质研究所, 1999.
- [33] 王立全, 李定谋, 管士平, 等. 云南德钦鲁春—红坡牛场上二叠裂谷盆地“双峰式”火山岩的 Rb-Sr 年龄值[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(1): 65-71.
- [34] 牟传龙, 余谦. 云南兰坪盆地攀天阁组火山岩的 Rb-Sr 年龄[J]. 地层学杂志, 2002, 26(4): 289-292.
- [51] 刘福田, 刘建华, 何建坤, 等. 滇西特提斯造山带下扬子地块的俯冲板片[J]. 科学通报, 2000, 45(1): 79-84.

投稿预告

欢迎主题专辑投稿 也欢迎非主题投稿

《地学前缘》为双月主题性期刊, 欢迎按专辑主题投稿, 也欢迎非主题投稿, 因本刊设有“非主题来稿选登”。

- (1) 2010 年第 1, 2 期“地球物质科学”主题:
具体专辑名为“成岩成矿的物理过程”, “矿床地球化学”。
- (2) 2010 年第 3, 4 期“地球结构、构造与动力学”主题:
具体专辑名为“大陆构造与动力学”。
- (3) 2010 年第 5, 6 期“地球表层科学”主题:
具体专辑名为“地震及相关研究”, “水资源与环境”。
- (4) 2011 年第 1, 2 期“地球物质科学”主题:
具体专辑名为“花岗岩成因”, “变质作用与造山带演化”。
- (5) 2011 年第 3, 4 期“地球结构、构造与动力学”主题:
具体专辑名为“大陆地质与大陆构造”。