

青海治多地区多彩蛇绿混杂岩带南侧当江荣 二叠纪—三叠纪岩浆弧的确定

刘 银^{1,2}, 李荣社², 计文化², 潘术娟^{1,2}, 时 超^{1,2}, 陈奋宁², 陈守建², 赵振明²
LIU Yin^{1,2}, LI Rong-she², JI Wen-hua², PAN Shu-juan^{1,2}, SHI Chao^{1,2},
CHEN Fen-ning², CHEN Shou-jian², ZHAO Zhen-ming²

1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 中国地质调查局西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054

1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China

摘要:在多彩蛇绿混杂岩带南侧当江荣火山岩带测制了一条近 S—N 向的剖面, 通过野外对剖面出露的火山岩的详细观察, 其组合有: 安山岩—流纹斑岩—流纹质凝灰岩—安山质凝灰熔岩, 对其系统采样并进行了 XRF 岩石化学分析和 ICP-MS 微量、稀土元素分析。结果表明, 该套火山岩为高 Si(SiO_2 平均为 66.76%)、低 Ti(TiO_2 平均为 0.41%) 和富 Na($\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$) 的钙碱性系列岩石(里特曼指数 $\sigma = 0.51 \sim 1.99 < 3.3$); 富集 LILE 元素(Rb、Ba 等), 亏损 HFSE 元素(Nb、Ta 等)和 P、Ti 等元素; 稀土元素总量较低($\Sigma\text{REE} = 72.43 \times 10^{-6} \sim 141.16 \times 10^{-6}$), 轻重稀土元素分馏较强($\Sigma\text{LREE} / \Sigma\text{HREE} = 1.46 \sim 3.28$), 稀土元素分配模式为轻稀土富集型, 轻度的 Eu 负异常($\delta\text{Eu} = 0.58 \sim 0.89$)。主量、稀土、微量元素相关判别图解均指示其为典型的钙碱性系列岩石组合, 属于与板块俯冲作用有关的岩浆岛弧带的产物, 从而为多彩沟蛇绿混杂岩带的俯冲极性和构造环境的进一步确定提供了新的佐证。

关键词:青海治多地区; 多彩蛇绿混杂岩; 岩浆弧; 地球化学; 构造环境; 地质意义

中图分类号: P588.13; P588.21*1; P597*3 文献标志码: A 文章编号: 1671-2552(2010)12-1840-11

Liu Y, Li R S, Ji W H, Pan S J, Shi C, Chen F N, Chen S J, Zhao Z M. The define and geological significance of Permian-Triassic magmatic arc at Dangjiangrong, south of Duocai ophiolite mélangé zone in the Zhiduo area, Qinghai, China. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(12): 1840-1850

Abstract: Duocai ophiolite mélangé zone, a part of the Xijir Ulan lake—Jinsha river ophiolite zone, located in the binding site of jinsha suture zone and ganzhi suture belt of the northern Tibet Plateau. Through the detailed field investigation of the S—N directional cross section of Dangjiangrong volcanic rocks zone, located in the south of the Duocai ophiolite mélangé zone, we found that the pre-existed main rock assemblage was andesite, rhyolite porphyry, rhyolitic tuff and andesitic tuffaceous lava. The results from XRF analysis and ICP-MS analysis on systemic sampling show that the Dangjiangrong volcanic rocks are rich in SiO_2 (56.92%~75.71%) and Na_2O ($\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$), poor in TiO_2 (0.15%~0.77%), belonging to calc-alkaline type rocks. The chondrite-normalized REE-patterns are characterized by LREE enrichment with variable degree of negative Eu anomalous values ($\delta\text{Eu} = 0.58 \sim 0.89$) and the primary mantle-normalized trace elements-patterns by HFSE depleted as well as P element. It is proved that the volcanic rocks were formed in an island-arc environment by the evidence of petrochemistry and geochemistry of trace and rare element, which provides the corroborating evidences to the further define of subduction polarity and tectonic setting of Duocai ophiolite mélangé zone.

Key words: Zhiduo area, Qinghai; Duocai ophiolite mélangé; magmatic arc; geo-chemistry; tectonic setting; geological significance

收稿日期: 2010-06-21; 修订日期: 2010-08-13

基金项目: 中国地质调查局项目《青藏高原前寒武纪地质和古生代构造—古地理综合研究》(编号: 1212010610102) 和国家自然科学基金项目《青藏高原中北部地区中上二叠统不整合地质意义研究》(编号: 40872084) 资助

作者简介: 刘银(1987-), 男, 在读硕士, 构造地质学专业。E-mail: shiningly@163.com

通讯作者: 计文化(1968-), 男, 博士, 高级工程师, 从事区域地质调查和区域构造研究。E-mail: jiwenhua1968@126.com

研究区位于西金乌兰—金沙江缝合带与甘孜—理塘结合带的结合部位。对于西金乌兰—金沙江缝合带的研究,总体来说是东多西少,前人的研究工作主要集中在缝合带东段的松潘—甘孜地体 SW 侧的甘孜—理塘一带的地体边界^[1-5],在构造地质学、岩石学、地球化学、同位素年代学等方面已经做了较为详细的研究^[6-12]。对于金沙江洋打开、俯冲和闭合的时限,获得的认识及分歧主要有以下几点:①金沙江弧后洋盆始于泥盆纪晚期,形成于石炭纪—二叠纪^[13-14]。②俯冲时限比较模糊,部分学者认为早二叠世晚期向西俯冲^[14];也有学者认为晚石炭世就已经开始,持续到晚二叠世早期^[15]。③碰撞闭合时限也比较含糊,部分学者认为晚二叠世晚期开始碰撞造山^[15],在中二叠世末期基本闭合,最终闭合于中三叠世^[16];也有学者认为两侧地块在晚三叠世才开始发生碰撞,晚三叠世末期—侏罗纪早期洋盆最终封闭^[17-19]。缝合带西段由于条件限制,自 21 世纪以来仅陆续取得了一些年代学数据研究进展,其中朱迎堂等^[20]认为西金乌兰洋在晚泥盆世开始形成;陈文等^[21]认为至晚三叠世板块碰撞作用仍然没有开始,洋壳的俯冲作用仍在继续。

对于西金乌兰—金沙江带的俯冲极性,部分学者认为它是向北消亡的^[22],把昆仑作为其伴生岛弧,但近来的区域地质调查研究表明,南侧羌塘北缘完整的岩浆弧才是与之匹配的伴生岛弧。王永文等^[23]总结西金乌兰蛇绿构造混杂岩带的演化过程后,结合风火山一带地球物理的研究成果和西金乌兰—金沙江构造混杂岩带的剖面工作,认为其俯冲极性由北向南,部分断裂被后期构造改造为北倾。许志琴等^[24]对金沙江断裂东段(松潘—甘孜造山带西缘)古特提斯蛇绿岩、混杂堆积和板块体制的研究表明,松潘—甘孜地体往南西俯冲于羌塘地体之下。西金乌兰—金沙江缝合带南部的乌丽—开心岭岛弧也被认为是西金乌兰—金沙江洋向南俯冲的产物^[19]。

关于甘孜带的时代和俯冲极性,很多学者根据基性火山岩、蛇绿混杂岩的时代和岩石地球化学特征认为,由于二叠纪晚期金沙江洋的封闭和峨眉山热幔柱的影响,中甸微地块从扬子板块西缘逐渐裂离,形成甘孜—理塘洋,晚三叠世早期该洋盆达到最大规模,三叠纪末期开始向西俯冲造山^[25-31]。也有部分研究者根据中泥盆统或下石炭统深水相放射虫硅质岩的存在而认为甘孜—理塘洋盆在中泥盆世之前

就已经裂开^[13,32-33],最近杨文强等^[34]通过对滇西北香格里拉地区放射虫地层、硅质岩的研究认为,经历了中泥盆世至早三叠世的扩张期和早三叠世晚期的向西俯冲阶段,并形成义敦岛弧火山岩^[35]。

对于金沙江带和甘孜—理塘结合带岛弧火山岩进行研究,结合前人在时代方面的研究成果,戴宗明等^[36]认为中二叠世—中三叠世(P_2-T_2)是甘孜—理塘带蛇绿岩的主要形成时期,金沙江洋盆自晚二叠世开始自东向西消减,在早中三叠世开始俯冲碰撞,在西部形成江达陆缘火山弧,出露以英安岩—流纹岩为主的钙碱性岩石组合。三叠纪—早侏罗世,羌塘陆块总体处于俯冲、消减的岛弧构造环境;晚三叠世,三江地区形成义敦岛弧,以发育岛弧钙碱性安山岩—英安岩系^[37],并表现出特定的火山喷发—沉积的韵律旋回^[38]为其主要组成特征,在羌塘中部各拉丹冬一带也发现了鄂尔陇巴组碱性—钙碱性岛弧型火山岩^[39]。此外,部分学者还在雀儿山—稻城一带发现了晚三叠世的弧花岗岩,在昌台—香城—中甸一带发现了晚三叠世弧火山岩^[40-41]等。近年来少数学者在北羌塘盆地治多县进行了相关研究,李莉等^[42]对治多县西北部索加一带甲丕拉组的火山岩进行了研究,认为该套火山岩为碱性玄武岩、粗面安山岩组合,具有弧火山岩的特征,是甘孜—理塘洋向南消减的产物;李善平等^[43]对治多西侧(研究区西侧)松赛弄一带的火山岩研究后认为,该套火山岩是以安山岩和英安岩类占优势的钙碱性系列火山岩组合,形成于大陆碰撞与陆缘弧并存的环境。

结合前人对西金乌兰—金沙江带和甘孜—理塘带的研究,目前的认识是:金沙江洋盆始于泥盆纪晚期,形成于石炭纪—二叠纪,对于俯冲、闭合、碰撞的时限则比较模糊。甘孜带在中泥盆世之前就开始裂开,晚三叠世早期达到最大规模,三叠纪末期开始向西俯冲。而据前文可知,区域上结合带在整个三叠纪均伴有相关弧火山岩的形成。当江荣火山岩位于金沙江带多彩蛇绿混杂岩带的南侧,其物质组成和构造环境不清,因此笔者对该带出露的火山岩进行研究,拟弄清该套火山岩形成的构造环境及其地质意义。

1 区域地质概况

研究区地处金沙江构造混杂岩带与甘孜构造混杂岩带交会的部位,其南为昌都地体,北为松潘—甘

孜-可可西里地体(图1)。当江荣火山岩位于多彩蛇绿混杂岩带之南,呈NW—SE向带状分布,在1:25万治多县幅区域地质调查中将其作为金沙江构造混杂岩带的一部分。

本文重点研究的地区可分为南、北2部分。北部为多彩蛇绿混杂岩,蛇绿岩主要由堆晶岩、基性岩墙、玄武岩组成,缺少变质橄榄岩单元。蛇绿岩与硅质岩、细碎屑复理石伴生,在出露约800m的宽度内呈3个叠置岩片产出。蛇绿岩与复理石之间,蛇绿岩内部发育不同尺度的韧性剪切带,呈现强烈的构造混杂特征。南部涉及岩石地层单位较多。其中宁多岩群由二云石英片岩、斜长角闪片岩和大理岩组成,北

与蛇绿混杂岩断层接触,南与侏罗纪石英闪长岩侵入接触。当江荣火山岩如图2所示,剖面上由第②~⑥层组成,南与切龙砂岩韧性断裂接触,北被晚三叠世花岗闪长岩侵入。其中绿片岩原岩主要为玄武质安山岩,长英质糜棱岩原岩多为流纹岩,糜棱岩化火山碎屑岩原岩主要为安山质火山碎屑岩。在剖面东部支沟内可见灰色厚层块状灰岩,多与火山碎屑岩互层产出,灰岩中含纤维海绵 *Inozian* 和海百合茎 *Cyclocyclicus* sp.。切龙砂岩由灰色、浅灰色变质砂岩、杂砂岩组成,其内部韧性剪切变形较为发育,与南侧晚三叠世巴塘群脆性断层接触,北与当江荣火山岩韧性断裂接触。除上述岩石地层单位外,还有晚

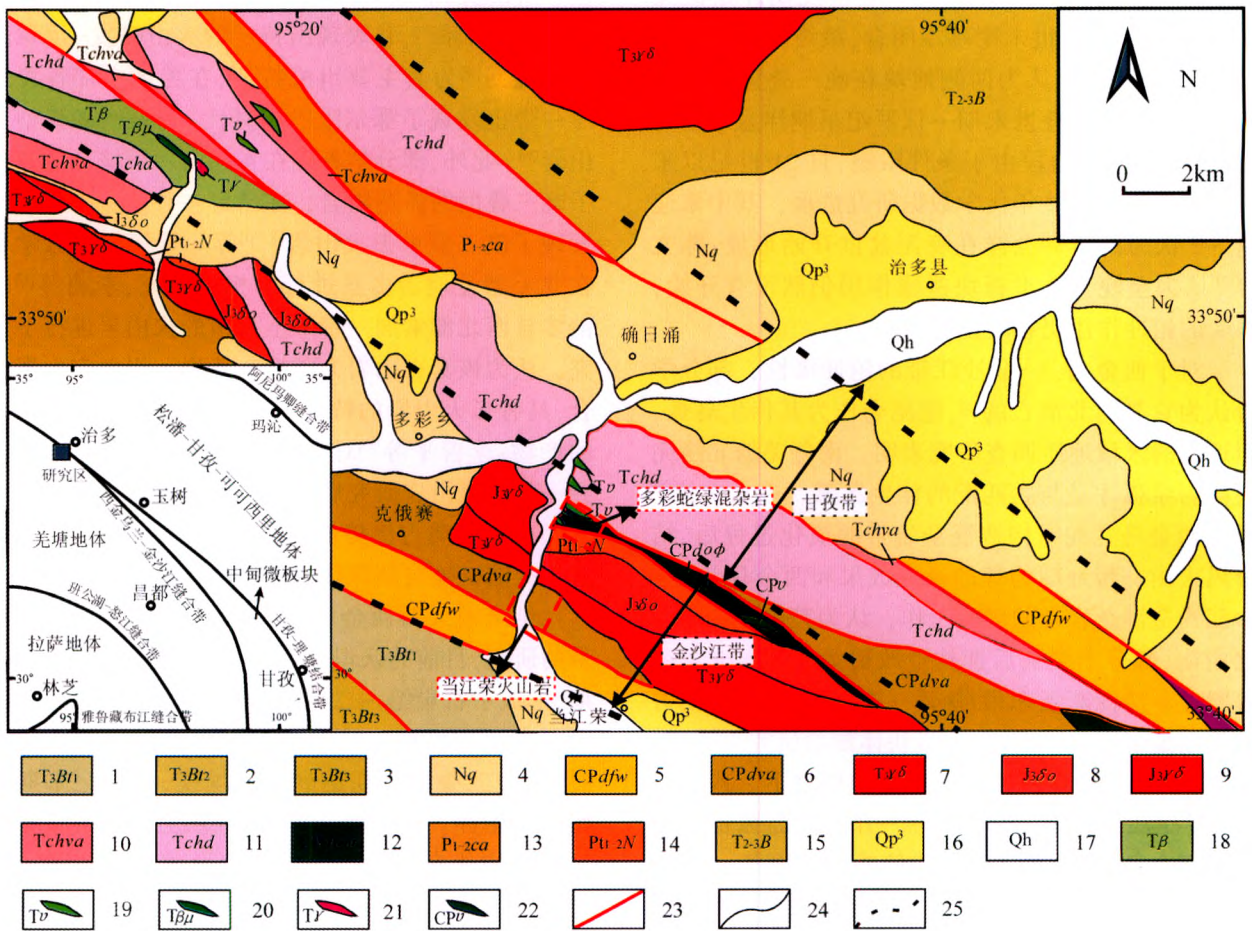


图1 治多县多彩—当江荣一带地质简图(据1:25万治多县幅)

Fig. 1 Geological sketch map for the Duocai-Dangjiangrong area, Zhiduo County

- 1—晚三叠世巴塘群碎屑岩组;2—晚三叠世巴塘群火山岩组;3—晚三叠世巴塘群碳酸盐岩组;4—新近纪曲果组;5—石炭—二叠纪切龙砂岩;
- 6—石炭—二叠纪当江荣火山岩;7—晚三叠世花岗闪长岩;8—晚侏罗世石英闪长岩;9—晚侏罗世花岗闪长岩;10—三叠纪格仁火山岩;
- 11—三叠纪达龙砂岩;12—石炭—二叠纪多彩蛇绿混杂岩;13—早—中二叠世俄巴达动灰岩;14—前寒武纪宁多岩群;15—中—晚三叠世巴颜喀拉山群砂岩组;
- 16—第四纪中晚更新世沉积物;17—第四纪全新世沉积物;18—三叠纪辉绿岩;19—三叠纪辉长岩脉;20—三叠纪辉长岩脉;
- 21—三叠纪花岗闪长岩脉;22—石炭纪—二叠纪辉长岩脉;23—断层;24—地质界线;25—缝合带边界

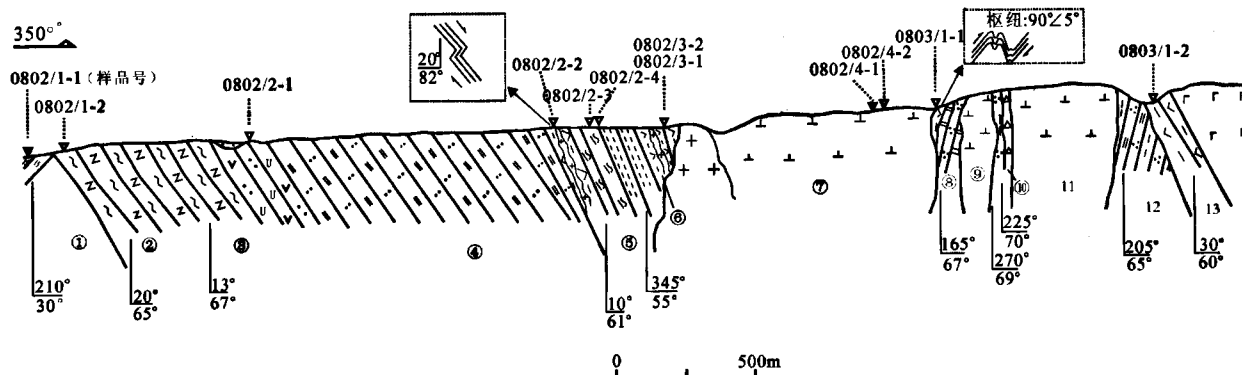


图 2 当江荣火山岩带路线剖面及采样位置

Fig. 2 Geological section of Dangjiangrong volcanic rocks zone

- ①长英质糜棱岩; ②绿片岩; ③安山质凝灰岩; ④长英质糜棱岩夹糜棱岩化火山碎屑岩; ⑤安山岩与流纹质凝灰岩互层、长英质糜棱岩; ⑥流纹斑岩; ⑦闪长岩; ⑧斜长角闪片岩; ⑨闪长岩; ⑩石英片岩、角岩; 11—闪长岩; 12—黑云母石英片岩; 13—斜长角闪片岩

三叠世、晚侏罗世 2 期中酸性侵入岩。需要说明的是, 上述岩石地层单位虽然发育规模不等的韧性剪切带, 变质程度达绿片岩相, 而与昌都地块内的晚三叠世巴塘群不同, 但各岩石地层单位相对完整, 局部地段原岩结构、构造保留清楚, 与多彩蛇绿混杂岩带也有显著差异。

2 当江荣火山岩剖面地质特征

由当江荣路线剖面(图 2)可知, 该剖面出露的岩性可分为火山岩、侵入岩和变质岩, 各自特征分述如下。

2.1 当江荣火山岩岩石学特征和形成时代

2.1.1 火山岩的岩石学特征

火山岩主要分布在剖面的②~⑥层, 出露的岩性主要为安山质凝灰岩、长英质糜棱岩、安山岩、流纹质凝灰岩、流纹斑岩。其中, ②层绿片岩为灰绿色, 变余斑状结构, 片状构造, 斑晶主要为绿帘石化的长石和绿帘石化的辉石, 粒度为 0.2~0.6mm, 基质具显微粒状变晶结构, 主要由蚀变矿物绿泥石、绿帘石、石英组成, 原岩为玄武质安山岩。③层岩性为安山质凝灰岩, 浅灰色—灰白色, 内部可见椭圆状浅色长石斑晶, 斑晶约具定向性(图版 I-2); 在镜下可见其整体为斑状结构, 可见长石斑晶(3%~6%), 偶见长石聚斑, 因其中不规则锯齿状长石同源碎屑(4%~6%)而呈现出凝灰结构; 长石的绿帘黝帘石化和绢云母化较为发育, 基质中的长柱状长石微晶的

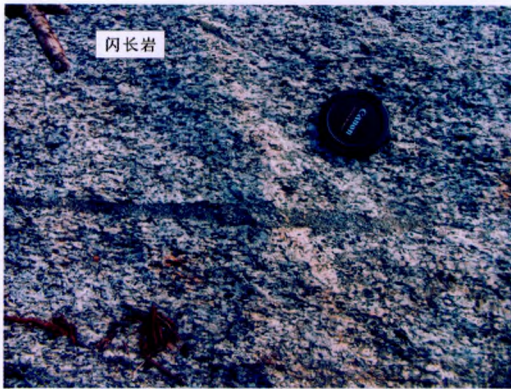
定向排列而使整体呈现出流动构造; 局部石英颗粒聚集、含量增多、颗粒明显加大并具有旋转碎斑结构, 表明经历了糜棱岩化作用。在⑤层中可见安山岩与流纹质凝灰岩互层(图版 I-1), 反映了火山岩喷发—沉积—溢流的韵律旋回; 其中安山岩为浅灰褐色, 斑状结构, 块状构造, 斑晶主要为斜长石(60%~65%)、黑云母(20%~30%)、石英(5%~8%), 基质为长英质, 明显可见斜长石微晶的玻晶交织结构, 占整个薄片的 45%~55%, 此外, 所见的绿泥石蚀变可能为角闪石等暗色矿物蚀变的产物(图版 I-5); 流纹质凝灰岩为浅灰褐色, 凝灰结构, 块状构造, 其中晶屑含量为 15%~20%, 主要为长石和石英, 长石粒径为 0.4~0.7mm 不等, 长石晶屑断面呈棱角状, 绿帘石蚀变发育, 玻屑含量为 60%~75%, 为长英质, 绢云母化较强(图版 I-6)。流纹斑岩为浅灰色, 斑状结构, 流纹构造, 斑晶主要为石英(50%~55%)、长石(40%~45%), 基质为长英质及少量丝状、条带状黑云母, 占薄片的 65%~75%, 定向性明显, 特点是石英斑晶颗粒粗大(0.8~2mm), 平均为 1.5mm, 在石英斑晶边部可见三连晶结构, 局部出现斜长石绿帘石蚀变(图版 I-7)。此外, 在样品 0802/3-1 中, 英安岩为浅灰色—灰白色, 斑状结构, 局部可见流纹构造, 斑晶为长石(斜长石和钾长石), 基质为长英质及少量丝带状、条带状绢云母, 具玻璃质—霏细结构, 占薄片的 60%~75%, 与流纹斑岩的明显区别是斑晶几乎不含石英, 且粒径较小(0.1~0.8mm), 平均为 0.5mm(图



1. 安山岩与流纹质凝灰岩韵律互层宏观照片



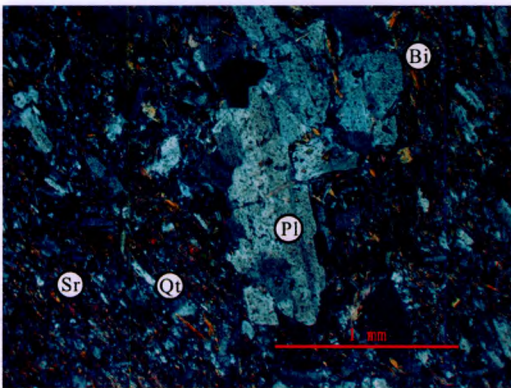
2. 安山质凝灰岩宏观照片



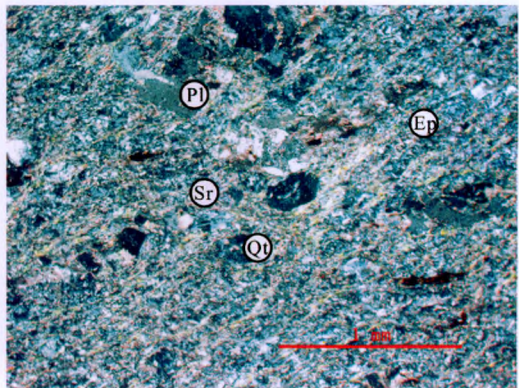
3. 经片麻理改造后的闪长岩宏观照片



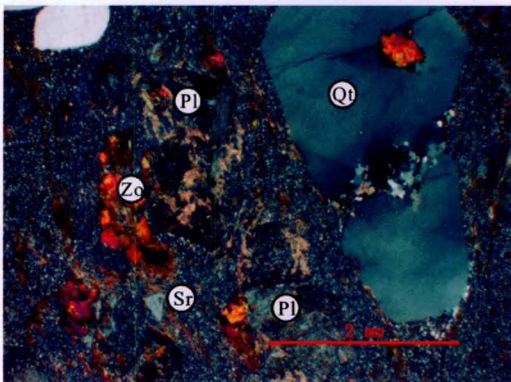
4. 片麻状花岗岩与流纹斑岩侵入关系宏观照片



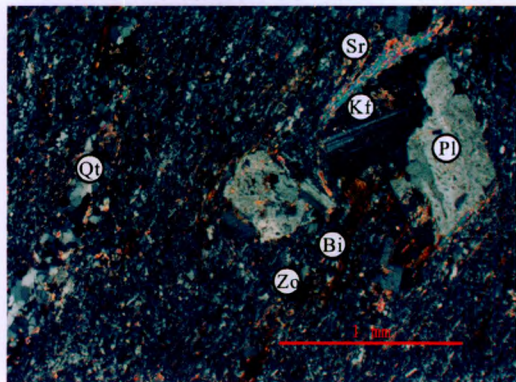
5. 安山岩镜下显微照片(正交)



6. 流纹质凝灰岩镜下显微照片(正交)



7. 流纹斑岩镜下显微照片(正交)



8. 英安岩镜下显微照片(正交)

版 I-8)。

2.1.2 火山岩的形成时代

1:25 万冷多县幅将当江荣火山岩与多彩蛇绿岩、切龙砂岩、俄巴达动灰岩统一归为金沙江构造混杂岩,依据区域对比和多彩蛇绿岩硅质岩中产有放射虫 *Pseudoalbaillella fusiformis* (纺锤形假阿尔拜虫)、*Pseudoalbaillella* sp. (假阿尔拜虫众多未定种) 等放射虫化石,将当江荣火山岩的时代定为石炭纪—二叠纪。而实际情况如前文所述,当江荣火山岩主体为一套中酸性火山岩,夹有火山碎屑岩及灰岩夹层,切龙砂岩主体为一套陆源碎屑岩,它们的形成环境均与多彩蛇绿岩产出背景有很大差异,不应归入构造混杂岩带中。然而,当江荣火山碎屑岩中的灰岩夹层含有纤维海绵 *Inozian* 及海百合茎 *Cyclocyclicus* sp., 可初步限定该套火山碎屑岩形成于晚古生代晚期。侵入于火山岩中的花岗闪长岩单颗粒锆石 U-Pb 法同位素谱和线年龄为 $215.4\text{Ma} \pm 0.8\text{Ma}$ ^①, 表明其形成于晚三叠世之前。除此之外,本次工作在当江荣火山岩流纹斑岩中获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄(测年相关数据未在正文中给出)为 $237.6\text{Ma} \pm 1.7\text{Ma}$ (图 3), 结合锆石形态和 U/Th 比值(1.27~2.01), 认为其代表了当江荣火山岩中流纹斑岩的结晶时代。据此,笔者将当江荣火山岩的主体形成时代进一步限定为二叠纪—中三叠世。

2.2 侵入岩

侵入岩主要分布在剖面的第⑦、⑨和 11 层,岩

性主要为闪长岩及后期侵位的花岗岩(脉)。剖面第⑦层和⑨层中的闪长岩差异较大,⑦层内闪长岩(图版 I-3)所含的角闪石、辉石、长石等矿物粒度较⑨层闪长岩大,但自形程度较⑨层差,且富含深源包体,为早期形成的;而⑨层中的闪长岩矿物粒度较小、自形却更好、无包体,说明未受前期片麻理构造改造,为较晚期侵位形成的。另外在⑥层中可见片麻状花岗岩与流纹斑岩的侵位关系(图版 I-4),在⑦层中沿剖面向北出现由花岗岩向闪长岩过渡的岩性特点。

2.3 变质岩

变质岩主要分布在第⑧、⑩和 13 层,岩性主要为石英片岩、黑云母石英片岩、斜长角闪片岩。大部分变质岩充当围岩,在与侵入岩接触部位片理化加强,与侵入岩、火山岩接触部位以侵入接触为主,而变质岩之间则以构造片理接触为主。

3 当江荣火山岩岩石地球化学特征

在野外进行了系统的剖面观察和采样工作。对采集的样品进行镜下岩相学研究,对其中 5 件无蚀变或蚀变弱的火山岩样品进行了岩石地球化学测试。测试单位为西安地质矿产研究所岩矿测试中心,主量元素采用 X 荧光光谱分析(XRF),微量和稀土元素采用 ICP-MS 分析。测试结果见表 1。

3.1 主量元素

由表 1 可知,挥发分(LOI)含量为 1%~5%,说明

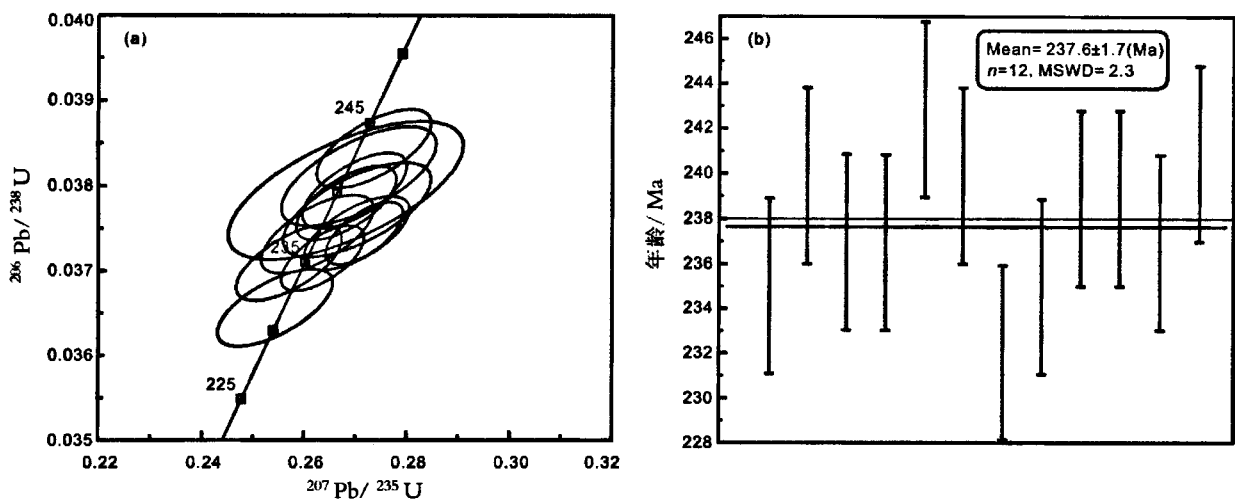


图 3 当江荣流纹斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谱和图(a)与统计直方图(b)

(测试单位为西北大学大陆动力学国家重点实验室)

Fig. 3 SHRIMP U-Pb concordia diagram of zircons from the Dangjiangrong rhyolite porphyry (a) and its histogram (b)

样品没有经过强烈的蚀变。样品有较高的 SiO_2 含量, 介于 56.92%~75.71% 之间, 全碱含量 ($\text{ALK} = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 为 3.93%~5.64, 而且大多数样品的 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ (样品 0802/2-3 除外)。由 Willson(1989) TAS 图解(图 4)可知, 当江荣火山岩样品由安山岩、英安岩、流纹岩组成, 火山岩样品处于亚碱性系列范围内, 里特曼指数 ($\sigma = \text{ALK}^2 / (\text{SiO}_2 - 43)$) 也表明该

处的火山岩为亚碱性系列中的钙碱性系列 ($\sigma < 3.3$)。此外, 相对于主量元素, 微量元素在岩浆上升过程中和岩石形成后, 不易受大陆地壳混染和后期蚀变的影响, 更能准确地反映岩浆的物质来源和形成的构造环境, 结合微量元素, 在 Nb/Y-Zr/TiO_2 图解(图 5)中, 可见样品投点主要落在玄武质安山岩和流纹质英安岩区域, 与主量元素 TAS 图解所得结论较为

表 1 当江荣火山岩主量元素、稀土元素和微量元素丰度

Table 1 Major element, REE and trace element contents of Dangjiangrong volcanic rocks

样品号	0802/2-3	0802/2-4	0802/3-1	0802/3-2	0802/2-1
岩石名称	流纹质凝灰岩	安山岩	英安岩	流纹斑岩	安山质凝灰熔岩
SiO_2	71.55	56.92	75.71	72.41	57.23
TiO_2	0.16	0.60	0.15	0.35	0.77
Al_2O_3	14.97	18.21	13.92	14.39	16.94
Fe_2O_3	1.00	2.49	1.15	1.43	2.88
FeO	0.72	4.42	0.81	1.77	5.86
MnO	0.04	0.13	0.04	0.07	0.15
MgO	0.56	4.96	0.49	1.39	3.42
CaO	2.50	4.34	1.07	3.09	4.69
Na_2O	2.20	4.46	4.23	2.84	4.8
K_2O	3.09	0.93	1.36	1.05	0.25
P_2O_5	0.06	0.11	0.06	0.095	0.12
LOI	3.1	2.43	0.99	1.12	2.82
H_2O^+	0.68	1.36	0.23	0.37	1.95
Total	99.96	100.00	99.98	100.01	99.93
σ	0.96	1.99	0.95	0.51	1.70
τ	77.59	23.10	65.33	33.40	15.82
AR	1.87	1.63	2.19	1.57	1.61
La	20	12.9	11.6	28	8.08
Ce	36	24.4	23.7	51.4	18.7
Pr	3.98	2.79	2.74	5.48	2.43
Nd	13.4	10.8	9.91	18.6	10.3
Sm	2.7	2.51	2.11	3.47	2.82
Eu	0.6	0.76	0.55	0.66	0.69
Gd	2.34	2.7	2.1	3.39	2.97
Tb	0.34	0.41	0.31	0.48	0.44
Dy	2.29	2.84	2.25	3.27	3.1
Ho	0.5	0.63	0.53	0.75	0.7
Er	1.51	1.71	1.5	2.11	1.91
Tm	0.24	0.25	0.24	0.32	0.29
Yb	1.72	1.79	1.65	2.28	1.82
Lu	0.27	0.28	0.26	0.35	0.28
ΣREE	100.09	81.37	74.55	141.16	72.43
LREE/HREE	3.28	1.99	2.11	3.21	1.46
δEu	0.71	0.89	0.79	0.58	0.72
$(\text{La}/\text{Yb})_N$	8.34	5.17	5.05	8.81	3.19
$(\text{La}/\text{Sm})_N$	4.79	3.32	3.55	5.22	1.85
$(\text{Gd}/\text{Yb})_N$	1.13	1.25	1.05	1.23	1.35

续表 1

样品号	0802/2-3	0802/2-4	0802/3-1	0802/3-2	0802/2-1
岩石名称	流纹质凝灰岩	安山岩	英安岩	流纹斑岩	安山质凝灰熔岩
Cu	14.2	40.7	16.6	19.1	45
Pb	24.6	16.8	37	4.87	4.76
Zn	51.8	65.5	37.1	30.5	88.6
Cr	1.36	20.6	0.62	26.1	5.73
Ni	1.1	18.4	0.96	21.9	4.93
Co	17.1	37.8	58	80.1	30.3
Li	6.26	11.5	3.42	7.71	10.7
Rb	152	56.2	59.1	67.7	6.25
Cs	0.46	1.37	0.68	0.65	0.11
Sr	40.6	282	78.2	162	69.3
Ba	600	438	568	218	70.4
V	7.86	197	5.33	49.9	217
Sc	4.74	28.8	4.33	10.6	38.2
Nb	6.27	4.36	6.05	10	3.78
Ta	0.63	0.37	0.64	0.85	0.25
Zr	115	68.5	112	132	71.5
Hf	3.02	1.86	2.83	3.32	1.87
Be	2.66	1.46	2.62	1.85	0.84
Ga	15.6	16.8	12.8	12	14
U	3.45	1.42	2.62	2.02	0.68
Th	9.89	4.64	9.09	10.8	2.88
Y	14.2	16.6	15.1	20.6	17.9
Ta/Yb	0.37	0.21	0.39	0.37	0.14
Th/Ta	15.70	12.54	14.20	12.71	11.52
La/Nb	3.19	2.96	1.92	2.80	2.14
Ba/Nb	95.69	100.46	93.88	21.80	18.62

注:氧化物含量为%,微量和稀土元素为 10^{-6} ; $\sigma=(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})^2/(\text{SiO}_2-43)$; $\tau=(\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O})/\text{TiO}_2$; $\text{AR}=[\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}]/[\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}-\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}]$; 标准化数据引自 Sun and McDonough, 1989

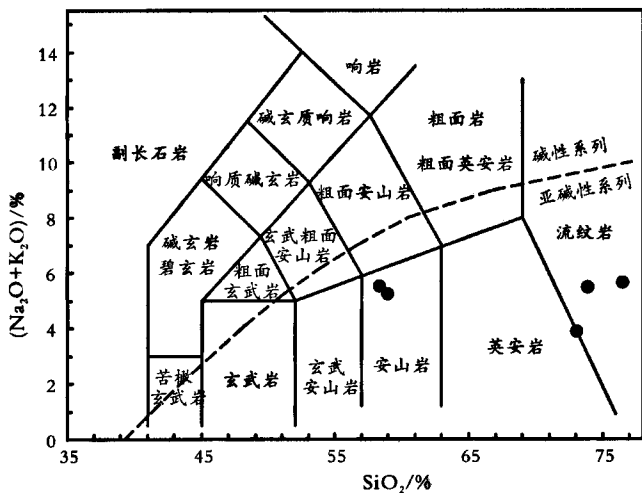


图 4 当江荣火山岩 TAS 图解

Fig. 4 TAS diagram of Dangjiangrong volcanic rocks

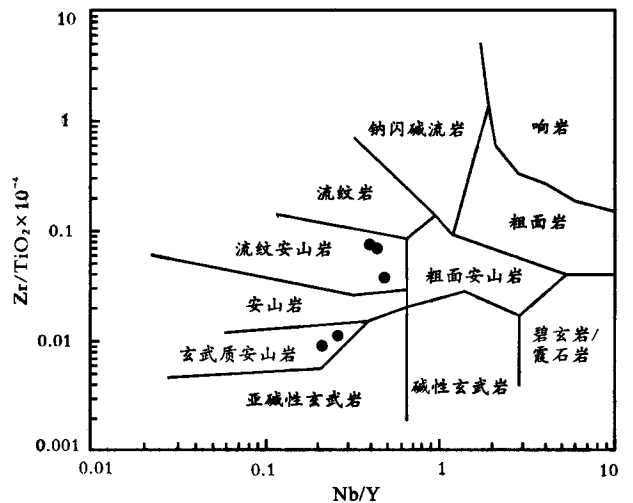


图 5 当江荣火山岩 Nb/Y-Zr/TiO₂ 图解

Fig. 5 Nb/Y-Zr/TiO₂ diagram of the volcanic rocks

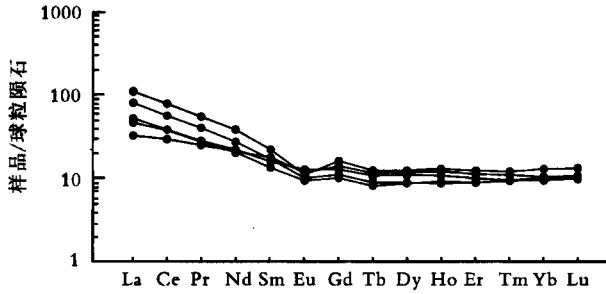


图6 当江荣火山岩球粒陨石标准化稀土元素配分图
(标准化数据引自 Sun and McDonough,1989)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE-patterns of Dangjiangrong volcanic rocks

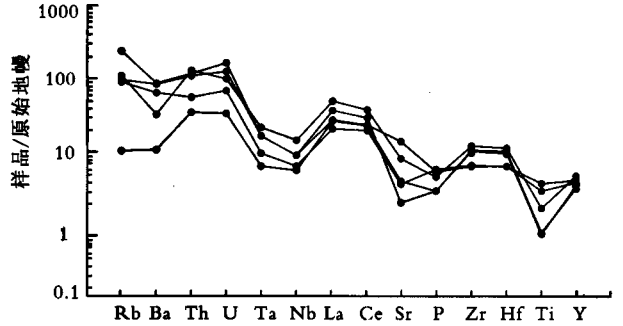


图7 当江荣火山岩原始地幔标准化微量元素配分图
(标准化数据引自 Sun and McDonough,1989)

Fig. 7 Primary mantle-normalized trace element-patterns of Dangjiangrong volcanic rocks

一致,均反映为岛弧钙碱性火山岩组合。

3.2 稀土元素

在稀土元素丰度(表1)中,稀土元素总量(Σ REE)变化不大,介于 $72.43 \times 10^{-6} \sim 141.16 \times 10^{-6}$ 之间, $(La/Yb)_N$ 值介于 3.19~8.81 之间, $(La/Sm)_N$ 介于 1.85~5.22 之间, $(Gd/Yb)_N$ 值介于 1.05~1.35 之间,说明轻、重稀土元素明显富集,轻稀土元素分馏明显。岩石中 δEu 为 0.50~0.89,从中性岩到酸性岩亏损逐渐增强,反映岩浆从中性到酸性斜长石分离结晶作用愈来愈强。在 REE 球粒陨石标准化图(图6)上,稀土元素配分曲线分布较为一致,显示轻稀土元素曲线右倾而重稀土元素平坦的特点。

3.3 微量元素

由微量元素丰度(表1)可知, Ta/Yb 值较低,介于 0.14~0.39 之间,而 Th/Ta (11.52~15.70)、 La/Nb (1.92~3.19)、 Ba/Nb (18.62~10 0.46) 值均较高,在原始地幔标准化多元素配分图(图7)中表现为富集型,其中大离子亲石元素(LILE) Rb 、 Ba 富集明显,而 Ti 、 P 和 Nb 、 Ta 等高场强元素(HFSE)均呈现负异常的特点。

4 构造环境探讨

由上述分析可知,当江荣火山岩是一套以安山岩-英安岩-流纹岩为主的钙碱性岩石。在主量元素中, $AR < 2.2$,且 TiO_2 含量较低(0.15%~0.77%),平均为 0.41%,属低 Ti ,代表该岩浆是较高度部分熔融的产物,显示岛弧火山岩的特征^[44];组合指数 σ 和戈蒂里指数 τ 的构造环境判别图解(图8)

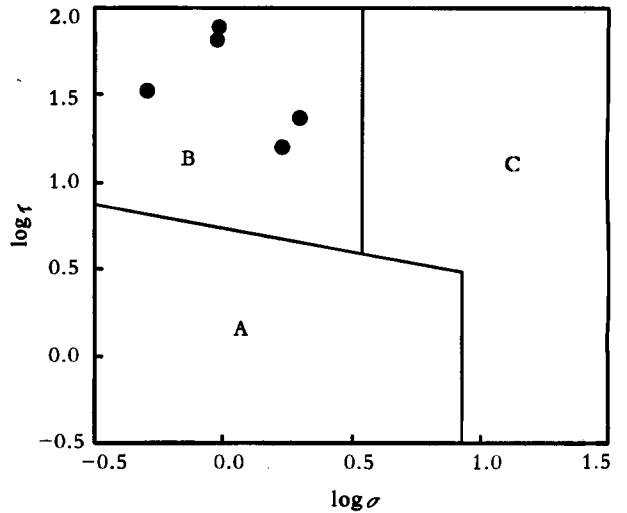


图8 当江荣火山岩的 $\log\tau$ - $\log\sigma$ 图解

Fig. 8 $\log\tau$ - $\log\sigma$ diagram of Dangjiangrong volcanic rocks

A—非造山火山岩; B—造山带和岛弧火山岩;
C—由 A、B 派生的偏碱性岩和碱性岩

中,样品投影点全部落在B区,即造山带和岛弧火山岩区域;稀土元素, $(La/Yb)_N$ 值与典型岛弧钙碱性火山岩相似^[45];微量元素,低 Ta/Yb 值,而高 Th/Ta 、 La/Nb 、 Ba/Nb 值,与岛弧火山岩的特征相符^[46], Th/Ta 值和汇聚板块火山岩系 $Th/Ta > 10$ 一致^[47],高场强元素 Nb 、 Ta 和 Ti 、 P 均呈现负异常,是因为其岩浆源区受到了古俯冲带流体的交代,也反映的是岛弧岩浆岩的特点^[48];在 $Hf/3-Th-Ta$ 微量元素构造环境判别图^[49](图9)中样品落入岛弧钙碱性火山岩区(CAB)。因此,可以进一步判定当江荣二叠纪-中三叠世火山岩形成于活动大陆边缘岛弧环境。

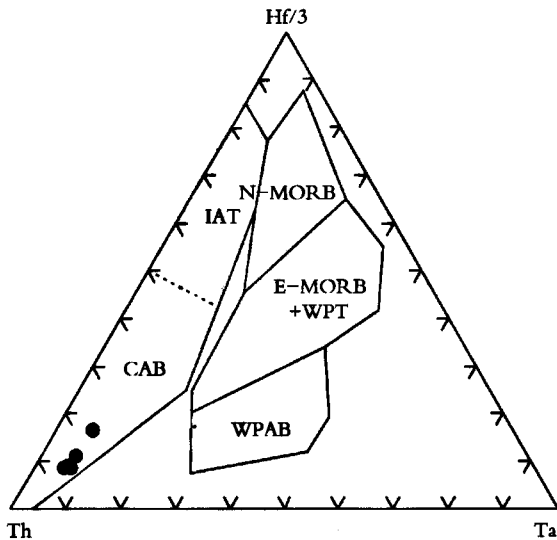


图 9 当江荣火山岩的 Hf/3-Th-Ta 图解

Fig. 9 Hf/3-Th-Ta diagram of

Dangjiangrong volcanic rocks

IAT—岛弧拉斑玄武岩; CAB—岛弧钙碱性玄武岩;

N-MORB—N 型洋脊玄武岩; E-MORB—E 型洋脊玄武岩;

WPT—板内拉斑玄武岩; WPAB—板内碱性玄武岩

5 结论

钙碱性系列火山岩可作为岛弧或活动大陆边缘环境的特征性岩石^[5]。多彩蛇绿混杂岩南部当江荣火山岩岩性组合以流纹岩—英安岩—安山岩为主,含少量火山碎屑岩,是一套典型的高 Si、低 Ti、富 Na 的钙碱性岩石组合,具有富集大离子亲石元素(Rb、Ba 等),亏损高场强元素(Nb、Ta 等和 P、Ti 等),稀土元素总量较低但明显富集,轻重稀土元素分馏较强,轻度的 Eu 负异常等特点,指示其形成于与活动大陆边缘有关的岛弧构造环境,为火山弧演化晚期的产物^[5]。

研究表明,早二叠世金沙江带和澜沧江洋相继向昌都—思茅中央陆块下相向俯冲,并于早、中三叠世古特提斯洋闭合^[26]。而莫宣学等^[52]研究认为,三江造山带碰撞型火山岩的时代为早三叠世到晚三叠世,代表了三江古特提斯洋封闭、陆陆碰撞事件。当江荣火山岩形成于二叠纪—中三叠世的岛弧构造环境,说明金沙江—可可西里洋在治多县一带于二叠纪或之前开始向南俯冲于北羌塘—昌都地块之下,俯冲作用在中三叠世仍在继续。当江荣

火山岩在空间上北西西向延伸,与其北侧属于金沙江缝合带的多彩蛇绿岩相伴产出,二者很可能具有成对性^[53]关系。

致谢:野外工作期间司机文耀学、李金皋师傅给予大力协助,室内研究期间叶芳、张汉文老师在镜下鉴定中给予帮助和指导,西安地质矿产研究所岩矿测试中心协助样品测试,审稿专家对本文提出了宝贵的修改意见,谨致谢忱。

参考文献

- [1]张之孟,金蒙.川西南乡城—得荣地区的二种混杂岩及其构造意义[J].地球科学,1979,3:205-213.
- [2]刘宝田,江耀明,曲景川.四川理塘—甘孜一带古洋壳的发现及其对板块构造的意义[C]//青藏高原地质文集(12).北京:地质出版社,1983:119-128.
- [3]许志琴,侯立玮.中国西南部松潘—甘孜中生代碰撞型造山带的薄壳构造及前陆逆冲系[J].中国地质科学院报,1990,20:126-129.
- [4]侯增谦,莫宣学.义敦岛弧的形成演化及其对“三江”地区块状硫化物矿床的控制作用[J].地球科学,1991,16(2):153-163.
- [5]杨开辉,莫宣学.滇西南晚古生代火山岩与裂谷作用及区域构造演化[J].岩石矿物学杂志,1993,12(4):207-309.
- [6]许志琴,侯立玮.松潘—甘孜造山带构造研究新进展[J].中国地质,1991,12:14-15.
- [7]李康,钟大赉.滇西高黎贡断裂带糜棱岩的显微变形特征及其构造意义[J].岩石学报,1991,3:65-71.
- [8]侯增谦,莫宣学,谭劲,等.“三江”义敦岛弧带玄武岩喷发序列与裂谷—岛弧转化[J].地球科学,1993,26:49-65.
- [9]尹显科.甘孜—理塘断裂带北段玄武岩地球化学特征及构造意义[J].四川地质学报,1993,13(3):201-207.
- [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):366-372.
- [11]汪啸风,简平,何龙清,等.金沙江缝合带元古宙残留基底的发现——来自同位素地质年龄的证据[J].华南地质与矿产,1999,2:53-57.
- [12]简平,刘敦一,孙晓猛.滇西古岳阿拉斯加型辉长岩 SHRIMP 测年:早二叠世俯冲事件的证据[J].地质学报,2004,78(2):166-169.
- [13]王立全,潘桂棠,李定谋,等.金沙江弧—盆系时空结构及地史演化[J].地质学报,1999,73(3):206-218.
- [14]汪啸风,Jan Metcalfe,简平,等.金沙江缝合带构造地层划分及时代厘定[J].中国科学(D 辑),1999,29(4):289-297.
- [15]陈健,李建放,安勇胜,等.风火山地区西金乌兰湖—金沙江蛇绿构造混杂带的物质组成及发展演化特征[J].西北地质,2007,40(3):36-41.
- [16]任纪舜,肖黎薇.1:25 万地质填图进一步揭开了青藏高原大地构造的神秘面纱[J].地质通报,2004,23(1):1-11.
- [17]孙晓猛,简平.滇川西部金沙江古特提斯洋的威尔逊旋回[J].地质评论,2004,50(4):343-350.
- [18]潘桂棠,丁俊,王立全,等.青藏高原区域地质调查重要新进展[J].地

- 质通报,2002,21(6):787-793.
- [19]李善平,马海州,陈有顺,等.青藏高原北羌塘盆地治多地区松赛弄一带火山岩的特征及构造意义[J].中国地质,2009,36(1):85-91.
- [20]朱迎堂,伊海生,杨延兴,等.青海西金乌兰湖地区移山湖晚泥盆世辉绿岩墙群-西金乌兰洋初始裂解的重要证据[J].沉积与特提斯地质,2004,24(3):38-41.
- [21]陈文,张彦,陈克龙,等.青海玉树哈秀岩体成因 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究[J].岩石矿物学杂志,2005,24(5):393-396.
- [22]吴功建,肖序常,李廷栋.青藏高原亚东-格尔木地学断面[J].地质学报,1989,(4):285-295.
- [23]王永文,王玉德,李善平,等.西金乌兰构造混杂岩带特征[J].西北地质,2004,37(3):15-20.
- [24]许志琴,杨经绥,姜枚,等.青藏高原北部东昆仑-羌塘地区的岩石圈结构及岩石圈剪切断层[J].中国科学,2001,31:1-6.
- [25]莫宣学,路凤香,沈上越,等.三江特提斯火山作用与成矿[M].北京:地质出版社,1993:1-267.
- [26]侯增谦,卢记仁,李红阳,等.中国西南特提斯构造演化——幔柱构造控制[J].地球学报,1996,17(4):339-451.
- [27]邹光富,侯立玮,尹显科.甘孜-理塘蛇绿混杂岩带特征及其构造意义[J].四川地质学报,1994,14(1):17-24.
- [28]李兴振,徐效松,潘桂棠.泛华夏大陆群与东特提斯构造域演化[J].岩相古地理,1995,15(4):1-12.
- [29]潘桂棠,陈智樾,李兴振,等.东特提斯多弧-盆系统演化模式[J].岩相古地理,1996,16(2):52-64.
- [30]侯增谦,莫宣学,朱勤文,等.“三江”古特提斯地幔热柱——洋中脊玄武岩证据[J].地球学报,1996,17(4):362-374.
- [31]邓万明,黄莹,钟大赉.滇西金沙江带北段的富碱斑岩及其与板内变形的关系[J].中国科学,1998,28(2):111-117.
- [32]张世涛,冯庆来,王义昭.甘孜-理塘构造带泥盆系的深水沉积[J].地质科技情报,2003,19(3):17-20.
- [33]冯庆来,葛孟春,谢德凡.滇西北金沙江带被动陆缘地层层序和构造演化[J].地球科学,1999,24(6):553-557.
- [34]杨文强,冯庆来,刘桂春.滇西北甘孜-理塘构造带放射虫地层、硅质岩地球化学及其构造古地理意义[J].地质学报,2010,84(1):78-85.
- [35]侯增谦,杨岳清,曲晓明,等.三江地区义敦岛弧造山带演化和成矿系统[J].地质学报,2004,78(1):109-120.
- [36]戴宗明,孙传敏.松潘-甘孜造山带西部碰撞结合带古生代裂解史初探[J].四川地质学报,2009,29:1-7.
- [37]侯增谦,莫宣学.“三江”地区义敦岛弧的构造-岩浆演化特征[C]//青藏高原地质文集(21).1991:153-163.
- [38]戴宗明,孙传敏.松潘-甘孜造山带义敦岛弧中段三叠纪火山-沉积盆地的演化[J].地质通报,2008,27(6):799-813.
- [39]白云山,李莉,牛志军,等.羌塘中部各拉丹冬一带鄂尔脱巴组火山岩特征及其构造环境[J].地球学报,2005,26(2):113-120.
- [40]侯增谦,侯立玮,叶庆同,等.三江地区义敦岛弧构造-岩浆演化与火山成因块状硫化物矿床[M].北京:地质出版社,1995.
- [41]侯增谦,曲晓明,周继荣,等.三江地区义敦岛弧碰撞造山过程:花岗岩记录[J].地质学报,2001,75(4):484-497.
- [42]李莉,白云山,马丽艳,等.羌塘东部治多县索加一带甲丕拉组火山岩特征及其构造环境[J].地质调查与研究,2009,32(1):8-14.
- [43]李善平,马海州,陈有顺,等.青藏高原北羌塘盆地治多地区松赛弄一带火山岩的特征及构造意义[J].中国地质,2009,36(1):85-92.
- [44]Sun S S, Nesbitt R W. Geochemical regularities and genetic significance of ophiolitic basalts[J]. Geology, 1978, 6:689-693.
- [45]王中刚,于学元,赵振华,等.稀土元素地球化学[M].北京:科学出版社,1989:190-210.
- [46]Pearce J A. The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins[C]//Hawkesworth. Continental basalts and mantle xenoliths. Nantwich: Shiva Press, 1983: 230-249.
- [47]Treuil M A. Global geochemical model of uranium distribution and concentration in volcanic rock series[C]//Uranium deposits in volcanic rock. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1985:53-67.
- [48]Müller D, Rock N M S, Groves D L. Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks in different tectonic settings: a pilot study[J]. Mineralogy and Petrology, 1992,46:259-289.
- [49]Pearce J A, Cann J R. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1973,19:290-300.
- [50]赵伦山,张本仁.地球化学[M].北京:地质出版社,1988:11-165.
- [51]侯广顺,杨贺杰.俯冲带环境下的火成岩岩石组合及其意义[J].科技信息,2009,18:21-23.
- [52]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):121-137.
- [53]邓晋福,罗照华,苏尚国,等.岩石成因、构造环境与成矿作用[M].北京:地质出版社,2004:231-236.
- ① 青海省地质调查研究院. 1:25万治多县幅区域地质调查报告. 2006.