

doi: 10.12029/gc20190603

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[J]. 中国地质, 46(6): 1270–1283.

Lü Liuyan, Li Jing, Zeng Wentao, Yu Saiying, Sun Zaibo, 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[J]. Geology in China, 46(6): 1270–1283(in Chinese with English abstract).

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

吕留彦^{1,2}, 李静^{1,3}, 曾文涛³, 俞赛赢³, 孙载波³, 王晓峰³

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南昆明 650093;

2. 贵州省地质调查院, 贵州 贵阳 550081; 3. 云南省地质调查院, 云南昆明 650216)

摘要: 采用锆石激光剥蚀法(LA-ICP-MS)对滇西南南澜沧江火山岩带普洱市江桥—那澜一带的流纹岩进行了年代测定, 获得了(196.7±2.3)Ma、(198.1±3.5)Ma 的同位素年龄; 表明该地区的流纹岩形成于早侏罗世, 而非前人划分的晚三叠世, 填补了该地区早侏罗世的火山—沉积记录。从岩石的主元素、稀土元素及微量元素资料分析, 南澜沧江构造岩浆岩带早侏罗世的火山岩形成于碰撞后的伸展构造背景, 可能与西侧昌宁—孟连古特提斯洋盆关闭后, 俯冲岩石圈板片或造山带山根的拆沉作用相关, 属后碰撞—后造山阶段岩浆活动的产物。具有典型后造山花岗岩或“A”型花岗岩的特征, 其指示了印支构造旋回在滇西南地区最终结束的时间上限。

关键词: 滇西; 南澜沧江带; 流纹岩; U-Pb 年龄; 地球化学; 构造环境

中图分类号: P542 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2019) 06-1270-14

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

LÜ Liuyan^{1,2}, LI Jing^{1,3}, ZENG Wentao³, YU Saiying³, SUN Zaibo³, WANG Xiaofeng³

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China; 2. Guizhou Institute of Geological Survey, Guiyang 550081, Guizhou, China; 3. Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming 650216, Yunnan, China)

Abstract: The ages of rhyodacite in Jiangqiao—Nalan area of Pu'er City was determined by utilization of zircon-LA-ICP-MS in south Lancangjiang zone, and the result of U-Pb dating yielded (196.7±2.3)Ma and (198.1±3.5)Ma, which indicates that rhyolite in this area was formed in early Jurassic instead of in Late Triassic. The data fill in the record of volcanic-sedimentary activity in Jurassic's geological history. The analysis of the major elements, REE and trace elements of rocks shows that the volcanic rocks of lower Jurassic in South Lancangjiang zone were formed under the extensional tectonic background after collision, and were probably related to the subducted lithosphere plates or orogenic belt of Yamane delamination, and that they occurred after the closure

收稿日期: 2017-01-22; 改回日期: 2018-05-16

基金项目: 中国地质调查局项目(1212011120593、1212011120595)资助。

作者简介: 吕留彦, 男, 1987年生, 工程师, 主要从事构造地质和区域地质调查研究; E-mail: Lvliuyan@126.com。

of the western side of the Changning – Menglian Paleo–Tethyan oceanic basin, thus belonging to the products of lava. The features of lower Cretaceous in this area were typically associated with the POG (post–orogenic granite) or A₂ granite. These data constrain the final time of Indosinian cycle. The granite has the feature of post–orogenic granite or "A" type granite, and it indicates the termination time of Indo–Chinese cycle in southwestern Yunnan.

Key words: southwestern Yunnan; South Lancangjiang zone; rhyolite; U–Pb age; geochemistry; tectonic environment; geological survey engineering

About the first author: LÜ Liuyan, male, born in 1987, engineer, mainly engages in structural geology and regional geological survey; E-mail:lvliuyan@126.com.

Fund support: Supported by China Geology Survey Project (No. 1212011120593;N1212011120595).

1 引言

西南“三江”构造带位于喜马拉雅—特提斯构造域东部,是环太平洋造山带与特提斯造山带的结

合部,古欧亚大陆与冈瓦纳大陆的碰撞汇聚地带(图1a),具有独特的构造条件和相对完整的特提斯演化历程。一直以来备受中外地质研究者的青睐,成为研究特提斯演化的首选之地(黄汲清和陈炳

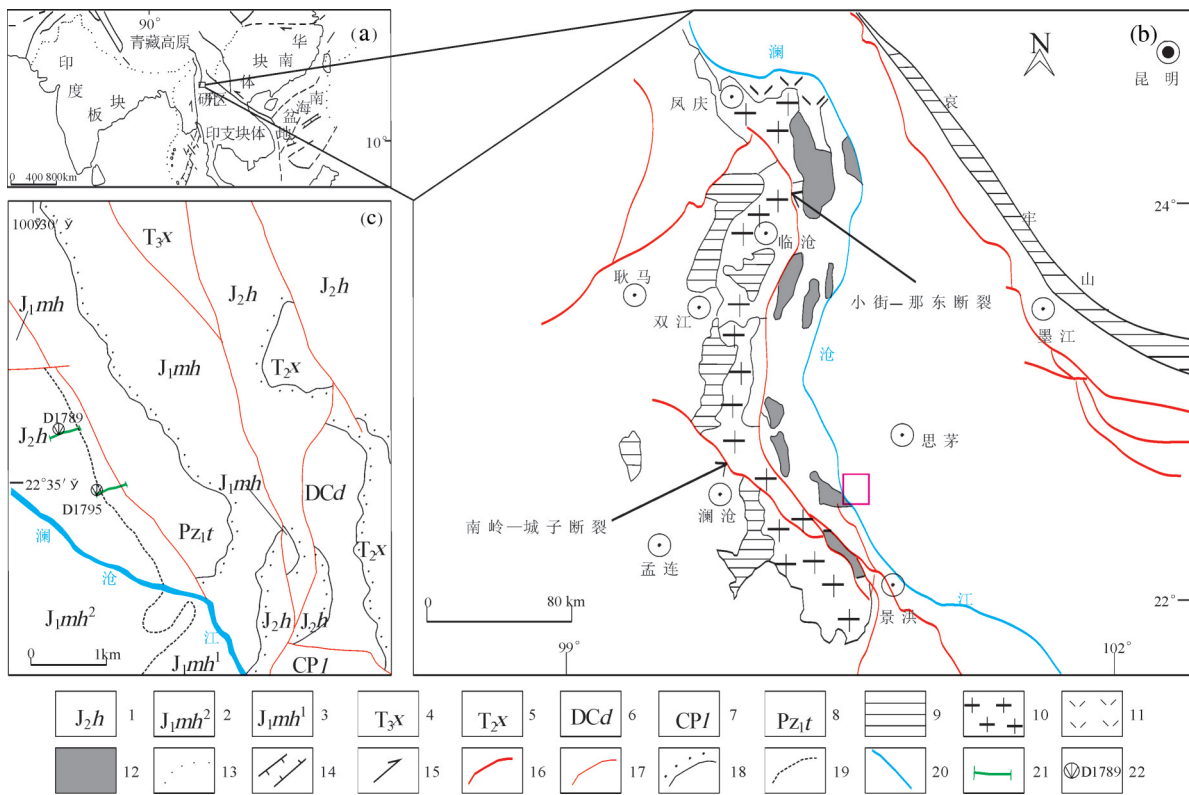


图1 大地构造简图(a)、滇西三江地区中生代火成岩分布图(b)、调查区地质简图及采样位置图(c)
 1—花开左组; 2—芒汇河组二段; 3—芒汇河组一段; 4—小定西组; 5—下坡头组; 6—大凹子组; 7—龙洞河组; 8—团梁子组; 9—变质带;
 10—花岗岩; 11—T2火山岩; 12—T3火山岩; 13—块体间大型逆冲断裂带; 14—拉张盆地内的正断层; 15—块体旋转方向; 16—断裂带;
 17—断层; 18—角度不整合; 19—平行不整合; 20—澜沧江; 21—剖面位置; 22—采样位置及编号

Fig.1 The tectonic location (a), Mesozoic igneous rock distribution in Sanjiang area, western Yunnan (b), simplified geological map and sampling position (c)

1—Huakaizuo Group; 2—Manghuihe Group second member; 3—Manghuihe Group first member; 4—Xiaodingxi Group; 5—Xiapotou Group;
 6—Dawazi Group; 7—Longdonghe Group; 8—Tuanliangzi Group; 9—Metamorphic zone; 10—granite; 11—T2 Volcanic rock; 12—T3 Volcanic rock;
 13—Large thrust fault zone between blocks; 14—Normal faults in tensioned basins; 15—Block rotation direction; 16—Fault zone; 17—Fault;
 18—Angular misalignment; 19—Parallel unconformity; 20—Lancang River;
 21—Profile position; 22—Sampling position and number

蔚, 1987; 张旗等, 1996; 潘桂棠等, 1997; 沈上越等, 2002; 李峰等, 2010)。南澜沧江构造火山岩带是西南“三江”构造火山岩带的重要组成部分, 从而成为研究特提斯构造演化的重要窗口。因此, 该地区岩浆岩的研究, 对建立区域岩浆作用的时空架构, 探讨南澜沧江构造火山岩带, 乃至整个“三江”地区的构造演化历程均具有重要意义(朱勤文等, 1991, 1998, 1999; 张虎, 2005)。自20世纪末和21世纪初莫宣学(1998)、朱勤文(1991, 1998, 1999)、彭头平(2006)等对三江地区火山岩工作相对薄弱区做了进一步研究, 主要以南澜沧江带北段到中段的二叠—三叠纪火山岩和云县一带的火山岩等为重点, 从年代学、岩石学特征、地球化学特征、构造环境及物质来源等方面进行研究。对于澜沧江南带火山岩系的研究, 前人较为集中的观点是: 昌宁—孟连蛇绿混杂岩带代表了古特提斯主支——澜沧江洋的残迹, 而澜沧江南带火山岩系正是与其相对应的火山弧, 是澜沧江洋向东俯冲消减的产物(李达周等, 1986; 刘本培等, 1993; 从柏林等, 1993; 方宗杰等, 1990, 1992)。

云南省地质矿产局在编著《云南省岩石地层》(1996年)笼统地将澜沧江带的三叠系火山岩进行了归并, 以酸性岩为主的一套火山岩划为中三叠统忙怀组, 以中基性火山岩为主的一套火山岩划为上三叠统小定西组。21世纪初前人在研究区北部1:5万那许、弯手寨等幅区域调查中将酒房断裂以西出露的芒汇河组地层按沉积—喷发韵律划分为二段: 一段为浅灰、灰白、紫红色中厚层状复成分(砂)砾岩、石英质砾岩、细砾岩、长石石英砂岩; 岩石中含介形类 *Darwinula*—*Metacypris* 组合带、叶肢介 *Palaeolimnadia* 组合带、*Euestheria minuta* 带及双壳类 *Modiolus*—*Mytilus*—*Pseudocorbula* 组合带(?) 主要分子, 将年代地层暂定为上三叠统瑞替阶, 但不排除已进入下侏罗统的可能^①; 二段为浅灰紫、紫红色流纹岩、流纹英安岩及火山角砾岩, 以喷发不整合覆于芒汇河组一段灰白色石英质细砾岩、灰红色砂岩之上, 与上覆中侏罗统花开左组(J_2h)呈假整合接触。随着区调工作的进一步开展, 研究人员对该区域芒汇河组火山岩提出了新的时代认识: 该区域芒汇河组火山岩系为早期弧火山岩浆在侏罗纪红盆形成早期拉张作用下喷发的产物, 并且横向上岩性、厚度变化较大。虽然前人对南澜沧江构造火山岩带做过较

多年代学、岩石学、岩石地球化学工作, 但针对芒汇河组火山岩的相关研究相对较为缺乏。为此, 笔者在1:5万区域地质调查的基础上, 对普洱市江桥—那澜一带芒汇河组火山岩的岩石学、同位素年代学、岩石地球化学等进行了深入的分析研究, 在此基础上对该火山岩的成因、物源、构造环境等特征进行探讨, 为建立南澜沧江地区造山活动的完整时空格架提供新的依据, 进而为印支构造旋回在该区域的演化过程提供相应的时间约束。

2 区域地质背景及岩石学特征

研究区位于昌宁—孟连褶皱带和思茅地块两个大地构造单元结合部(云南省区域地质志, 1990), 即临沧花岗岩基以东, 兰坪—思茅中生代红层盆地以西的南澜沧江构造火山岩带(图1b)。区内构造复杂, 出露最老地层为中元古界团梁子岩组, 岩性主要为灰绿、灰色(石英)绢云千枚岩、绢云石英千枚岩, 中部夹绿泥绢云千枚岩、绿泥石英钠长千枚岩, 上部夹阳起绿泥绿帘千枚岩、钠长绿泥绿帘千枚岩; 该岩组岩石变形强烈, 发育三期面理。古生界大凹子组二段(DCd^2), 龙洞河组($CP1$), 中生界下坡头组(T_2x), 大水井山组(T_2d), 芒汇河组(J_1mh), 花开左组(J_2h)等。区内的断裂构造主要为NW—近NS, 少有东西或近东西向断层, 其均为南澜沧江构造的次级构造。

芒汇河组火山岩在澜沧江构造带南段横向上岩性、厚度变化较大, 由就康向北、向南英安岩迅速变薄、甚至尖灭, 在北侧文乃、南侧永平为一套中基性火山碎屑岩、中基性熔岩夹少量中酸性岩、(凝灰质)砾岩、岩屑砂岩、(凝灰质)泥岩; 岔河—崴里一带, 以浅灰、灰白、紫红色英安岩、英安质火山角砾岩、英安质集块岩为主, 次为紫红、灰绿、紫色安山岩、安山质集块岩、安山质火山角砾岩及少量玄武岩、中基性凝灰岩、紫红色泥岩, 其中的英安岩、英安质火山碎屑岩主要集中于上部。

本文的研究对象为分布于滇西普洱市江桥一带澜沧江两岸的芒汇河组(J_1mh)二段火山岩。该套火山岩具斑状结构, 基质具玻璃质结构, 流纹构造斑晶主要有半自形板柱状斜长石(10%~15%)、他形粒状钾长石(5%~10%)、少量蚀变角闪石、石英等, 不均匀分布。基质主要由玻璃质(45%~50%)和微

粒状长英质(30%~35%)相间呈条纹围绕斑晶构成典型的流纹构造,应为流纹岩与英安岩的过渡类型。本文在岩矿鉴定的基础上结合野外露头(图2)及地球化学特征将其定名为流纹岩。

3 样品采集及测试

本次用于锆石U-Pb年代学测试的2件样品分别采自那澜西约700 m,思(茅)一澜(沧)公路沿线新开挖人工露头,即D1795号样品(图1c);和江桥北西约2.5 km南爬河芒汇河组(J₁mh)二段剖面(图2),即D1789号样品。岩石类型为新鲜、无风化的流纹岩,具有十分发育的流纹构造,每件约5 kg。用于主量元素、微量元素和稀土元素测定的样品取自出露较全且连续的南爬河芒汇河组二段地层剖面上,共14件样品(图2)。

样品岩矿薄片鉴定由云南省地质矿产勘查开发局张伟明研究员完成。主量元素测试由云南省国土资源测试中心的光光光度计和原子吸收测试仪测定,微量元素和稀土元素在国土资源部中南矿产资源监督检测中心用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)进行测定,测试的相对标准偏差(RSD)一般小于10%。

锆石单矿物挑选由河北省廊坊市诚信地质服务有限公司实验室利用标准技术完成。其分选流程为:经人工破碎、清水淘洗富集,按常规重力和磁

选方法分选出锆石,再在双目镜下挑选出无裂隙、无包裹体、透明干净的自行锆石颗粒。将待测样品锆石颗粒置于环氧树脂中制靶,打磨剖光后送中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,进行反射光和透射光照相,阴极发光扫描电镜进行图像分析,检查锆石内部结构。并利用LA-ICP-MS方法进行锆石U-Pb年龄测定,激光束斑直径为32 μm,采用He作为剥蚀物质的载气。锆石年龄采用国际标准锆石91500作为外标标准物质,含量采用NIST SRM610作为外标。锆石测定点的同位素比值、含量计算采用GLITTER程序,用Anderson et al. (2002)方法对普通Pb进行校正,并采用Isoplot程序(Ludwig, 1991)进行锆石加权平均年龄计算及谐和图的绘制。2件样品(编号D1789和D1795)分别获得17个和16个、共计33个有效测试数据。

4 锆石U-Pb定年结果

目前普遍认为锆石中的Th/U比值可以在一定程度上指示锆石的成因环境,岩浆锆石的Th、U含量较高,且Th/U比一般大于0.4,而变质锆石的Th/U比值一般小于0.1(简平等,2002;吴元保等,2004)。由测试数据(表1)可见本样品的锆石U、Th含量较高,D1789样品的Th/U比值为0.71~1.13,D1795样品的Th/U比值在0.62~1.11,两地样品的Th/U比值比较接近,且均大于0.4,具有典型的岩浆

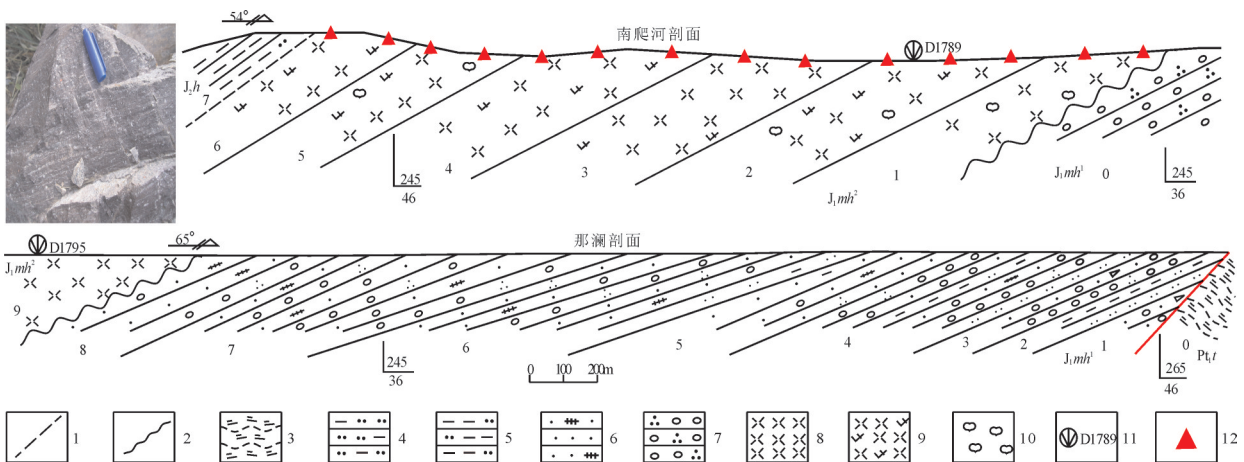


图2 江桥地区流纹岩野外照片及剖面示意图

1—平行不整合;2—角度不整合;3—绢云千枚岩;4—泥质粉砂岩;5—粉砂质泥岩;6—杂砂岩;7—石英细粒岩;
8—流纹岩;9—英安质流纹岩;10—气孔杏仁;11—年代样品位置及标号;12—采样位置

Fig.2 Field photo and geological schematic section for rhyolite in Jiangqiao area

1-Parallel unconformity; 2-Angular misalignment; 3-Serenite phyllite; 4-Argillaceous siltstone; 5-Silty mudstone; 6-Graywacke; 7-Quartz fine-grained rock; 8-Rhyolite; 9-Dacite rhyolite; 10-Stomata; 11-Age sample position and label; 12-Sampling position

表1 锆石U-Pb定年测试数据及结果
Table 1 The data and results of zircon U-Pb dating

| 样品号及 测点编号 | Th/ 10^{-6} | U/ 10^{-6} | 同位素比值 | | | | | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/ Ma | Th/U | | |
|--------------|---------------|--------------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------------------------------|--|---------|-----------|------|
| | | | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | 1σ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | 1σ | $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ | | | 1σ | |
| D1789 | 01 | 211 | 226 | 0.23001 | 0.02308 | 0.03260 | 0.00150 | 0.01167 | 0.00072 | 207±9 | 0.93 |
| | 02 | 320 | 282 | 0.22806 | 0.01709 | 0.03238 | 0.00067 | 0.01048 | 0.00047 | 205±4 | 1.13 |
| | 03 | 197 | 210 | 0.19694 | 0.03339 | 0.03102 | 0.00065 | 0.01003 | 0.00086 | 197±4 | 0.94 |
| | 04 | 162 | 188 | 0.22201 | 0.02092 | 0.03085 | 0.00078 | 0.00945 | 0.00048 | 196±5 | 0.86 |
| | 05 | 159 | 175 | 0.20366 | 0.01710 | 0.03026 | 0.00063 | 0.01006 | 0.00045 | 192±4 | 0.91 |
| | 06 | 101 | 137 | 0.22121 | 0.01900 | 0.03175 | 0.00095 | 0.00988 | 0.00068 | 201±6 | 0.74 |
| | 07 | 209 | 228 | 0.21279 | 0.01536 | 0.03063 | 0.00056 | 0.01013 | 0.00039 | 194±4 | 0.92 |
| | 08 | 252 | 238 | 0.26897 | 0.01494 | 0.03166 | 0.00044 | 0.00978 | 0.00035 | 201±3 | 1.06 |
| | 09 | 228 | 234 | 0.23079 | 0.02152 | 0.03141 | 0.00073 | 0.00965 | 0.00050 | 199±5 | 0.97 |
| | 10 | 130 | 156 | 0.25252 | 0.02377 | 0.03148 | 0.00082 | 0.01116 | 0.00070 | 200±5 | 0.83 |
| | 11 | 123 | 174 | 0.18576 | 0.01910 | 0.02774 | 0.00098 | 0.00986 | 0.00071 | 176±6 | 0.71 |
| | 12 | 231 | 251 | 0.23761 | 0.01831 | 0.02974 | 0.00075 | 0.01075 | 0.00046 | 189±5 | 0.92 |
| | 13 | 218 | 215 | 0.21186 | 0.01138 | 0.03014 | 0.00056 | 0.00943 | 0.00035 | 191±3 | 1.01 |
| | 14 | 192 | 202 | 0.22395 | 0.01569 | 0.03227 | 0.00058 | 0.00963 | 0.00039 | 205±4 | 0.95 |
| | 15 | 100 | 130 | 0.24979 | 0.02076 | 0.03492 | 0.00111 | 0.01033 | 0.00077 | 221±7 | 0.77 |
| | 16 | 185 | 205 | 0.20576 | 0.01349 | 0.03027 | 0.00049 | 0.01017 | 0.00032 | 192±3 | 0.90 |
| | 17 | 204 | 210 | 0.23876 | 0.01251 | 0.03093 | 0.00047 | 0.00942 | 0.00032 | 196±3 | 0.97 |
| D1795 | 01 | 237 | 215 | 0.25381 | 0.03776 | 0.03228 | 0.00108 | 0.00988 | 0.00073 | 205±7 | 1.11 |
| | 02 | 109 | 132 | 0.29060 | 0.01966 | 0.03150 | 0.00066 | 0.01037 | 0.00056 | 200±4 | 0.82 |
| | 03 | 108 | 123 | 0.24663 | 0.03933 | 0.03419 | 0.00148 | 0.01073 | 0.00059 | 217±9 | 0.88 |
| | 04 | 191 | 219 | 0.25394 | 0.02928 | 0.03152 | 0.00060 | 0.00977 | 0.00022 | 200±4 | 0.87 |
| | 05 | 119 | 143 | 0.20340 | 0.03468 | 0.02803 | 0.00099 | 0.01060 | 0.00092 | 178±6 | 0.83 |
| | 06 | 384 | 371 | 0.22319 | 0.02710 | 0.03122 | 0.00093 | 0.01034 | 0.00066 | 198±6 | 1.03 |
| | 07 | 139 | 161 | 0.20624 | 0.02426 | 0.03001 | 0.00144 | 0.00984 | 0.00084 | 191±9 | 0.86 |
| | 08 | 97.6 | 116 | 0.33794 | 0.02595 | 0.03048 | 0.00070 | 0.01061 | 0.00059 | 194±4 | 0.84 |
| | 09 | 77.9 | 105 | 0.23862 | 0.04391 | 0.03020 | 0.00113 | 0.00938 | 0.00055 | 192±7 | 0.74 |
| | 10 | 68.0 | 94.8 | 0.31530 | 0.02649 | 0.03174 | 0.00081 | 0.00970 | 0.00068 | 201±5 | 0.72 |
| | 11 | 111 | 139 | 0.29009 | 0.01961 | 0.03217 | 0.00068 | 0.01015 | 0.00058 | 204±4 | 0.80 |
| | 13 | 170 | 277 | 0.23970 | 0.01582 | 0.03246 | 0.00073 | 0.01060 | 0.00046 | 206±5 | 0.62 |
| | 14 | 135 | 154 | 0.18359 | 0.03399 | 0.02774 | 0.00075 | 0.00880 | 0.00074 | 176±5 | 0.87 |
| | 15 | 337 | 308 | 0.21190 | 0.03824 | 0.02921 | 0.00126 | 0.00983 | 0.00085 | 186±8 | 1.09 |
| | 16 | 107 | 117 | 0.29300 | 0.06700 | 0.02966 | 0.00114 | 0.00898 | 0.00045 | 188±7 | 0.91 |

锆石特征。

由两地流纹岩样品中的锆石CL图像(图3)可以看出,该岩相锆石颗粒较小,大多在50 μm 左右,呈短柱状或近椭圆形,均发育较清晰的典型岩浆型锆石的振荡环带和扇形分带,无包裹体,可以确定两地样品中的锆石后期改造作用较弱,为单一岩浆成因。所有测点都打在了锆石的韵律环带上,所测年龄能代表火山岩浆冷凝的时间(周剑雄和陈建宇,2007)。因此,也可以界定该火山岩的时空分布,为厘定该区域地层的时空架构提供准确的时间依据。

在锆石U-Pb年龄谐和图中(图4),除D1789中两个数据点和D1795中一个数据点偏离谐和曲线外,其他的数据点均落在谐和曲线及其附近,表明2件样品在后期的构造事件中受到的影响较小,

保留下较多的原始地质历史信息。D1789中17个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化在221~176 Ma, D1795中15个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化在217~176 Ma, 两件样品的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值分别为(196.7±2.3)Ma(95%置信度, $n=15$, MSWD=1.7)、(198.1±3.5)Ma(95%置信度, $n=14$, MSWD=2.2),属于早侏罗世。这进一步证明了南澜沧江火山岩带的岩浆喷发活动可上延至早侏罗世。

5 地球化学分析结果

5.1 主量元素

本次工作将南爬河芒汇河组二段剖面的14件样品进行主量元素分析(表2)。芒汇河组流纹岩的 SiO_2 含量为72.12%~73.51%,平均含量为72.53%,略

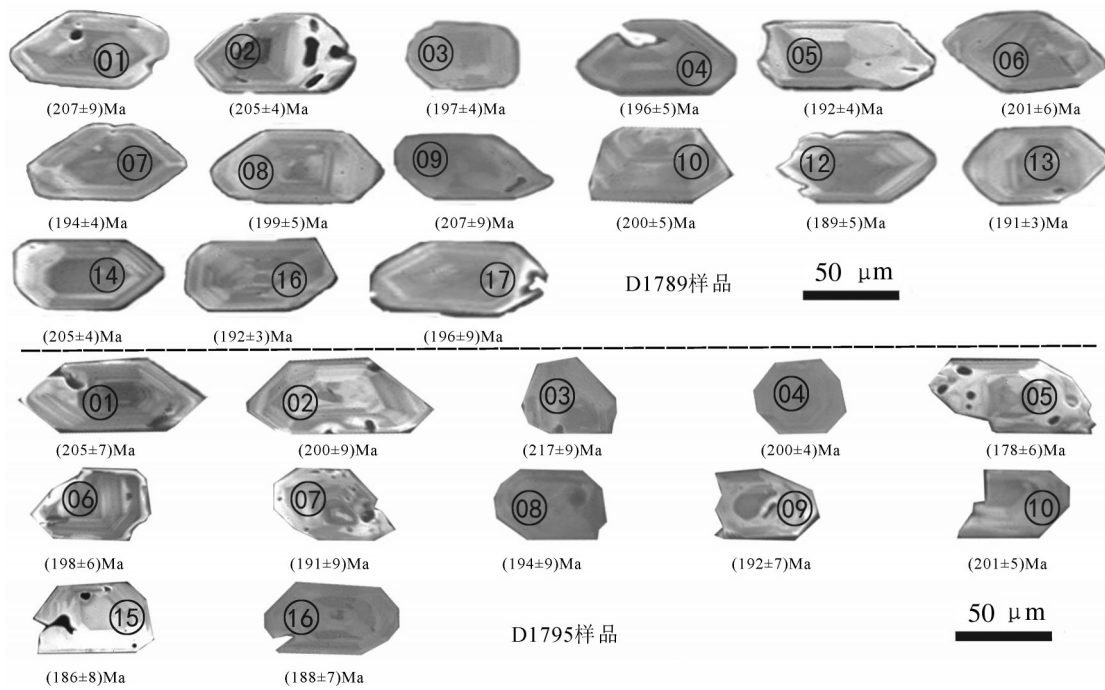


图3 江桥地区流纹岩中锆石CL图像
Fig.3 CL images of the zircon from rhyolite in Jiangqiao area

高于中国花岗岩平均值 71.63% (黎彤和倪守斌, 1997)。Al₂O₃=13.08%~14.55%，MgO=0.11%~0.69%，CaO=0.33%~0.48%，Na₂O=2.49%~5.00%，K₂O=2.74%~5.70%。该火山岩全碱的含量ALK (Na₂O+K₂O) 在 7.53%~9.04%；K₂O/Na₂O 比值为 0.55~2.29, 平均为 1.12, 属富碱性岩石；TiO₂ 含量低, 为 0.46%~0.38%, 平均 0.41%；MgO 和 CaO 含量较

低, 分别为 0.11%~0.69% 和 0.33%~0.48%, 平均为 0.22% 和 0.37%, 低于世界花岗岩的平均值 0.71% 和 1.84%；在 CIPW 标准矿物中刚玉分子含量在 0.88%~2.35%；铝饱和度 A/CNK 值在 1.06~1.31, 平均为 1.15, 大于 1.1, 属典型的强过铝质岩石, NK/A 在 0.54~0.66, 平均为 0.6, 表明该岩石属铝和硅过饱和型；具有陆壳重熔型花岗岩的特点。

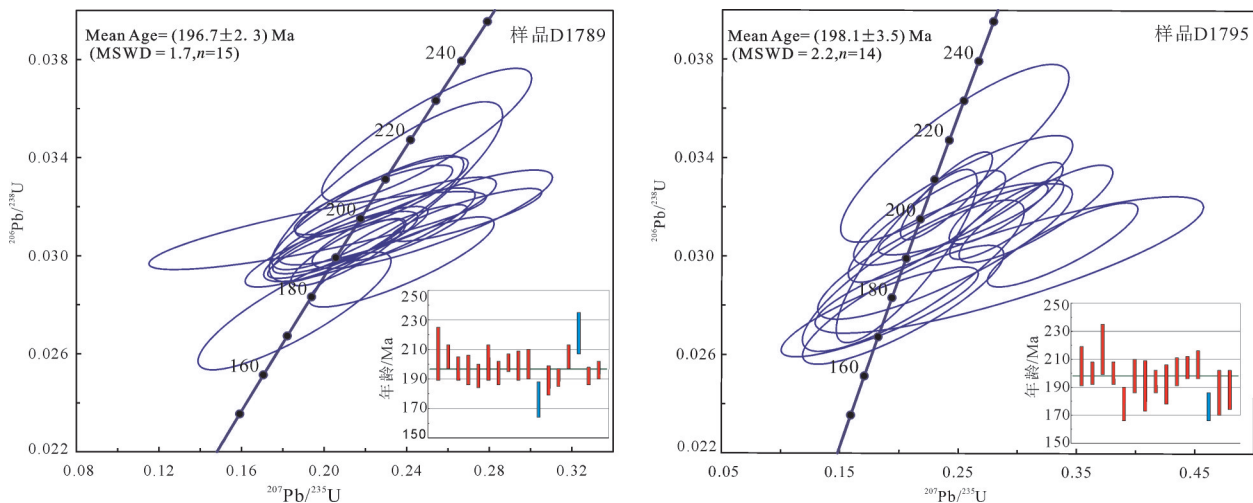


图4 江桥地区流纹岩锆石U-Pb谱和图
Fig.4 U-Pb concordia diagram of rhyolite in Jiangqiao area

表2 江桥地区流纹岩主量元素成分(%)

Table 2 Major element (%) content of rhyodacite in Jiangqiao area

| 样品 编号 | D0600 -2-2 | D0600 -3-1 | D0600 -4-1 | D0600 -5-2 | D0600 -6-1 | D0600 -7-1 | D0600 -8-1 | D0600 -10-1 | D0600 -12-1 | D0600 -13-1 | D0600 -17-1 | D0600 -19-1 | D0600 -21-1 | D0600 -25-2 |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| SiO ₂ | 73.40 | 73.02 | 73.51 | 73.01 | 73.50 | 70.16 | 72.31 | 71.66 | 72.12 | 71.95 | 72.77 | 73.45 | 72.48 | 72.02 |
| TiO ₂ | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.40 | 0.38 | 0.43 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.41 | 0.40 | 0.45 | 0.42 |
| Al ₂ O ₃ | 13.08 | 13.61 | 13.54 | 13.70 | 13.80 | 14.49 | 13.74 | 14.20 | 13.73 | 13.75 | 13.58 | 13.34 | 13.33 | 14.55 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.44 | 2.99 | 2.76 | 2.91 | 2.85 | 3.76 | 3.48 | 3.58 | 3.36 | 3.58 | 3.36 | 3.22 | 3.33 | 3.15 |
| FeO | 0.53 | 0.37 | 0.74 | 0.10 | 0.10 | 0.21 | 0.25 | 0.11 | 0.14 | 0.18 | 0.21 | 0.14 | 0.13 | 0.11 |
| MnO | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 |
| MgO | 0.25 | 0.29 | 0.14 | 0.24 | 0.20 | 0.69 | 0.11 | 0.18 | 0.16 | 0.17 | 0.13 | 0.15 | 0.19 | 0.15 |
| CaO | 0.48 | 0.42 | 0.37 | 0.37 | 0.36 | 0.39 | 0.34 | 0.33 | 0.38 | 0.36 | 0.35 | 0.34 | 0.37 | 0.33 |
| Na ₂ O | 4.79 | 4.06 | 5.00 | 3.66 | 4.37 | 2.49 | 4.78 | 4.51 | 4.40 | 4.14 | 4.58 | 4.55 | 4.01 | 3.77 |
| K ₂ O | 2.74 | 4.02 | 2.75 | 4.46 | 3.18 | 5.7 | 4.05 | 4.29 | 4.64 | 4.61 | 4.06 | 3.73 | 4.63 | 4.09 |
| P ₂ O ₅ | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.06 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 |
| H ₂ O ⁺ | 0.66 | 0.72 | 0.63 | 0.87 | 0.89 | 0.86 | 0.52 | 0.55 | 0.42 | 0.69 | 0.49 | 0.46 | 0.67 | 1.04 |
| H ₂ O ⁻ | 0.20 | 0.19 | 0.24 | 0.39 | 0.40 | 0.21 | 0.17 | 0.27 | 0.23 | 0.28 | 0.23 | 0.20 | 0.24 | 0.34 |
| CO ₂ | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.06 | 0.06 | 0.18 | 0.06 | 0.06 | 0.12 | 0.12 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| 烧失量 | 0.73 | 0.69 | 0.63 | 1.03 | 1.14 | 1.49 | 0.44 | 0.61 | 0.54 | 0.71 | 0.45 | 0.57 | 0.86 | 1.29 |
| Σ | 99.91 | 99.93 | 99.90 | 99.95 | 99.94 | 99.92 | 99.99 | 99.96 | 99.97 | 99.96 | 99.97 | 99.96 | 99.84 | 99.94 |
| ALK | 7.53 | 8.08 | 7.75 | 8.12 | 7.55 | 8.19 | 8.83 | 8.80 | 9.04 | 8.75 | 8.64 | 8.28 | 8.64 | 7.86 |
| A/CNK | 1.63 | 1.60 | 1.67 | 1.61 | 1.74 | 1.69 | 1.50 | 1.56 | 1.46 | 1.51 | 1.51 | 1.55 | 1.48 | 1.78 |
| NK/A | 0.58 | 0.59 | 0.57 | 0.59 | 0.55 | 0.57 | 0.64 | 0.62 | 0.66 | 0.64 | 0.64 | 0.62 | 0.65 | 0.54 |

在火山岩 TAS 图解(图 5a)上投点全部落入流纹岩(花岗岩)区域;在 SiO₂-K₂O 分类图解上除 2 个样点落于钙碱性系列区和一个落入钾玄岩系列区域外,其余样点落入高钾钙碱性系列区域,总体上属于高钾钙碱性系列(图 5b)。在主量元素哈克图解上(图 6),芒汇河组流纹岩 TiO₂、Al₂O₃、K₂O、P₂O₅ 的含量与 SiO₂ 含量呈负相关,Na₂O 含量与 SiO₂ 含量

呈正相关关系。综上所述,芒汇河组流纹岩具有“高硅、富碱、贫镁、强过铝质”的特征。

5.2 稀土元素与微量元素

江桥地区流纹岩的稀土元素、微量元素数据如表 3 所示。 Σ REE 在 $103.4 \times 10^{-6} \sim 254.9 \times 10^{-6}$, 平均为 177.6×10^{-6} , 稀土元素总量较高, LREE 介于 $80.7 \times 10^{-6} \sim 206.9 \times 10^{-6}$, HREE 介于 $18.1 \times 10^{-6} \sim 62.8 \times 10^{-6}$,

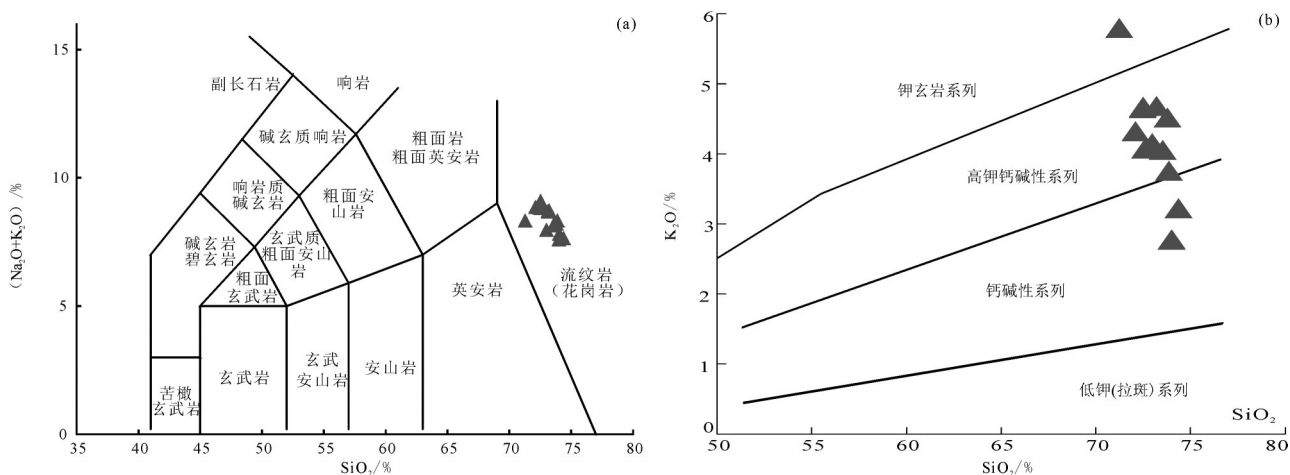


图5 江桥地区流纹岩 (a)TAS 图解(据 Irvine et al.,1971; Middlemost,1994)和(b)SiO₂-K₂O 图解(底图据 Rickwood,1989)
Fig.5 TAS diagram (after Irvine et al., 1971; Middlemost, 1994) and SiO₂-K₂O diagram (after Rickwood, 1989) for Trhyolite in Jiangqiao area

表3 江桥地区流纹岩微量和稀土元素成分(10⁻⁶)
Table 3 Trace and rare element (10⁻⁶) content of rhyodacite in Jiangqiao area

| 样品 编号 | D0600 -2-2 | D0600 -3-1 | D0600 -4-1 | D0600 -5-2 | D0600 -6-1 | D0600 -7-1 | D0600 -8-1 | D0600 -10-1 | D0600 -12-1 | D0600 -13-1 | D0600 -17-1 | D0600 -19-1 | D0600 -21-1 | D0600 -25-2 |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| La | 34.89 | 41.24 | 44.46 | 48.02 | 22.25 | 19.41 | 16.30 | 30.78 | 34.42 | 23.78 | 30.62 | 23.07 | 34.76 | 43.55 |
| Ce | 66.12 | 79.60 | 86.33 | 97.75 | 44.08 | 43.10 | 33.30 | 56.66 | 66.01 | 47.61 | 60.34 | 50.26 | 68.47 | 87.59 |
| Pr | 9.44 | 10.64 | 11.75 | 11.46 | 6.16 | 4.83 | 5.08 | 9.39 | 9.40 | 6.58 | 8.11 | 5.76 | 8.38 | 10.93 |
| Nd | 36.10 | 38.03 | 43.49 | 40.89 | 23.42 | 18.01 | 20.60 | 35.81 | 35.83 | 24.42 | 30.37 | 21.62 | 31.02 | 40.11 |
| Sm | 7.63 | 7.59 | 8.48 | 7.75 | 4.71 | 4.30 | 4.85 | 6.61 | 7.02 | 5.08 | 5.40 | 4.13 | 5.54 | 7.19 |
| Eu | 1.16 | 1.22 | 1.04 | 0.98 | 0.63 | 0.74 | 0.57 | 0.74 | 0.76 | 0.74 | 0.63 | 0.49 | 0.62 | 0.76 |
| Gd | 6.51 | 6.00 | 6.79 | 5.88 | 3.18 | 4.19 | 3.03 | 4.82 | 5.42 | 3.93 | 4.00 | 3.01 | 4.33 | 5.31 |
| Tb | 1.00 | 0.91 | 0.96 | 0.88 | 0.44 | 0.89 | 0.43 | 0.62 | 0.80 | 0.59 | 0.49 | 0.37 | 0.53 | 0.65 |
| Dy | 5.68 | 4.92 | 4.93 | 5.19 | 2.43 | 6.60 | 2.36 | 3.09 | 3.84 | 3.17 | 2.27 | 1.84 | 2.59 | 3.29 |
| Ho | 1.14 | 0.97 | 0.97 | 1.00 | 0.54 | 1.40 | 0.46 | 0.60 | 0.77 | 0.63 | 0.44 | 0.34 | 0.49 | 0.60 |
| Er | 3.60 | 3.14 | 3.08 | 3.28 | 1.87 | 4.08 | 1.53 | 1.93 | 2.41 | 1.95 | 1.50 | 1.14 | 1.60 | 1.94 |
| Tm | 0.60 | 0.51 | 0.51 | 0.57 | 0.34 | 0.67 | 0.28 | 0.32 | 0.37 | 0.31 | 0.23 | 0.19 | 0.26 | 0.32 |
| Yb | 4.24 | 3.72 | 3.32 | 3.65 | 2.44 | 4.32 | 1.92 | 2.11 | 2.62 | 2.12 | 1.73 | 1.35 | 1.84 | 2.18 |
| Lu | 0.68 | 0.58 | 0.55 | 0.55 | 0.39 | 0.66 | 0.29 | 0.35 | 0.42 | 0.31 | 0.29 | 0.24 | 0.28 | 0.34 |
| Y | 28.73 | 25.77 | 23.94 | 27.03 | 14.86 | 40.04 | 12.00 | 15.44 | 21.12 | 16.82 | 11.34 | 9.64 | 13.11 | 16.12 |
| ΣREE | 207.51 | 224.83 | 240.61 | 254.87 | 127.73 | 153.24 | 103.00 | 169.27 | 191.20 | 138.03 | 157.77 | 123.45 | 173.82 | 220.88 |
| ΣLREE | 155.33 | 178.32 | 195.55 | 206.85 | 101.25 | 90.39 | 80.70 | 139.99 | 153.44 | 108.20 | 135.47 | 105.33 | 148.80 | 190.12 |
| ΣHREE | 52.18 | 46.51 | 45.06 | 48.02 | 26.49 | 62.85 | 22.30 | 29.28 | 37.76 | 29.82 | 22.29 | 18.12 | 25.02 | 30.76 |
| ΣLREE/ΣHREE | 2.98 | 3.83 | 4.34 | 4.31 | 3.82 | 1.44 | 3.62 | 4.78 | 4.06 | 3.63 | 6.08 | 5.81 | 5.95 | 6.18 |
| δEu | 0.49 | 0.53 | 0.41 | 0.43 | 0.47 | 0.53 | 0.42 | 0.38 | 0.37 | 0.49 | 0.40 | 0.41 | 0.38 | 0.36 |
| δCe | 0.86 | 0.89 | 0.89 | 0.97 | 0.89 | 1.04 | 0.87 | 0.80 | 0.87 | 0.90 | 0.90 | 1.02 | 0.94 | 0.94 |
| (La/Yb) _N | 5.55 | 7.47 | 9.02 | 8.88 | 6.14 | 3.03 | 5.72 | 9.85 | 8.86 | 7.58 | 11.93 | 11.50 | 12.77 | 13.50 |
| (La/Sm) _N | 2.88 | 3.42 | 3.30 | 3.90 | 2.97 | 2.84 | 2.12 | 2.93 | 3.08 | 2.95 | 3.57 | 3.52 | 3.95 | 3.81 |
| (Gd/Yb) _N | 1.24 | 1.30 | 1.65 | 1.30 | 1.05 | 0.78 | 1.27 | 1.85 | 1.67 | 1.50 | 1.86 | 1.79 | 1.91 | 1.97 |
| Zr | 404 | 419 | 418 | 417 | 405 | 466 | 440 | 432 | 437 | 445 | 433 | 420 | 429 | 459 |
| Zn | 58.6 | 59.0 | 36.2 | 51.1 | 34.9 | 47.7 | 44.3 | 34.6 | 34.1 | 44.7 | 31.1 | 35.5 | 35.4 | 30.0 |
| V | 14.8 | 16.5 | 5.9 | 13.6 | 11.5 | 17.4 | 9.9 | 9.9 | 9.5 | 11.8 | 8.7 | 12.6 | 8.8 | 7.5 |
| Th | 7.05 | 9.25 | 7.05 | 9.25 | 9.00 | 7.52 | 4.80 | 6.17 | 8.64 | 7.07 | 5.34 | 3.73 | 4.34 | 10.6 |
| Sc | 4.90 | 3.10 | 4.30 | 3.40 | 4.50 | 4.20 | 3.90 | 4.70 | 5.10 | 4.10 | 3.80 | 3.70 | 3.20 | 3.90 |
| Sr | 133 | 93.9 | 115 | 109 | 100 | 118 | 112 | 117 | 145 | 128 | 97.2 | 89.8 | 101 | 111 |
| Rb | 83.0 | 111 | 74.2 | 134 | 81.9 | 189 | 97.6 | 123 | 137 | 146 | 103 | 92.7 | 118 | 106 |
| Ni | 5.00 | 4.10 | 3.30 | 2.90 | 3.20 | 4.50 | 3.90 | 4.30 | 4.20 | 4.00 | 3.40 | 3.50 | 2.80 | 4.10 |
| Nb | 16.9 | 16.2 | 16.6 | 15.7 | 15.3 | 18.5 | 15.8 | 16.1 | 15.5 | 16.3 | 15.5 | 15.5 | 15.5 | 16.6 |
| Cu | 9.7 | 9.0 | 8.0 | 6.8 | 6.6 | 6.4 | 7.2 | 6.9 | 10.1 | 8.2 | 8.6 | 8.4 | 5.6 | 7.8 |
| Cr | 19.8 | 15.6 | 9.00 | 8.60 | 13.6 | 7.30 | 10.4 | 16.5 | 18.9 | 13.4 | 15.3 | 24.2 | 12.0 | 13.3 |
| Co | 4.60 | 5.90 | 5.60 | 5.20 | 4.20 | 5.70 | 4.80 | 5.20 | 4.60 | 5.60 | 5.10 | 4.80 | 4.10 | 3.90 |
| Ba | 872 | 1200 | 492 | 558 | 428 | 576 | 498 | 361 | 324 | 689 | 337 | 478 | 324 | 285 |
| Hf | 24.1 | 20.9 | 20.1 | 15.3 | 12.6 | 12.3 | 13.8 | 11.9 | 9.9 | 11.7 | 12.1 | 12.4 | 14.4 | 12.3 |
| Ta | <0.002 | <0.002 | <0.002 | <0.002 | <0.002 | <0.002 | <0.002 | <0.002 | <0.002 | <0.002 | <0.002 | <0.002 | <0.002 | <0.002 |
| Cs | 4.90 | 3.10 | 4.30 | 3.40 | 4.50 | 4.20 | 3.90 | 4.70 | 5.10 | 4.10 | 3.80 | 3.70 | 3.20 | 3.90 |
| U | 2.67 | 2.68 | 1.66 | 2.91 | 2.35 | 2.39 | 1.65 | 1.84 | 1.75 | 2.31 | 0.87 | 0.95 | 1.27 | 2.41 |

LREE/HREE 介于 1.44~6.18。(La/Yb)_N 为 3.03~13.5, 平均为 8.7。岩球粒陨石标准化稀土元素配分模式图(图 7a)呈明显的右倾斜模式,重稀土相对亏损,轻稀土较为富集;轻重稀土分异较为明显,其中重稀土分异较弱(Gd/Yb)_N 为 0.78~1.91,轻稀土之间的分异比较明显 (La/Sm)_N 为 2.12~3.95, Σ REE/Σ HREE=2.98~4.34,重稀土的分馏程度较轻稀土低;

δEu 在 0.36~0.53,平均为 0.43,具有中等的 Eu 负异常,属壳型花岗岩。在原始地幔标准化的微量元素蛛网图(图 7b)上显示,Rb、Th、La、Ce、Zr 等大离子亲石元素相对富集,Sr、P、Ti 相对亏损,Rb 含量为 74.2×10⁻⁶~189×10⁻⁶,Sr 为 89.8×10⁻⁶~145×10⁻⁶,Y 为 11.34×10⁻⁶~40.04×10⁻⁶,Rb/Sr 比值为 0.62~1.23,高于中国上地壳平均值(黎彤和倪守斌,1997)。综上所述,岩石

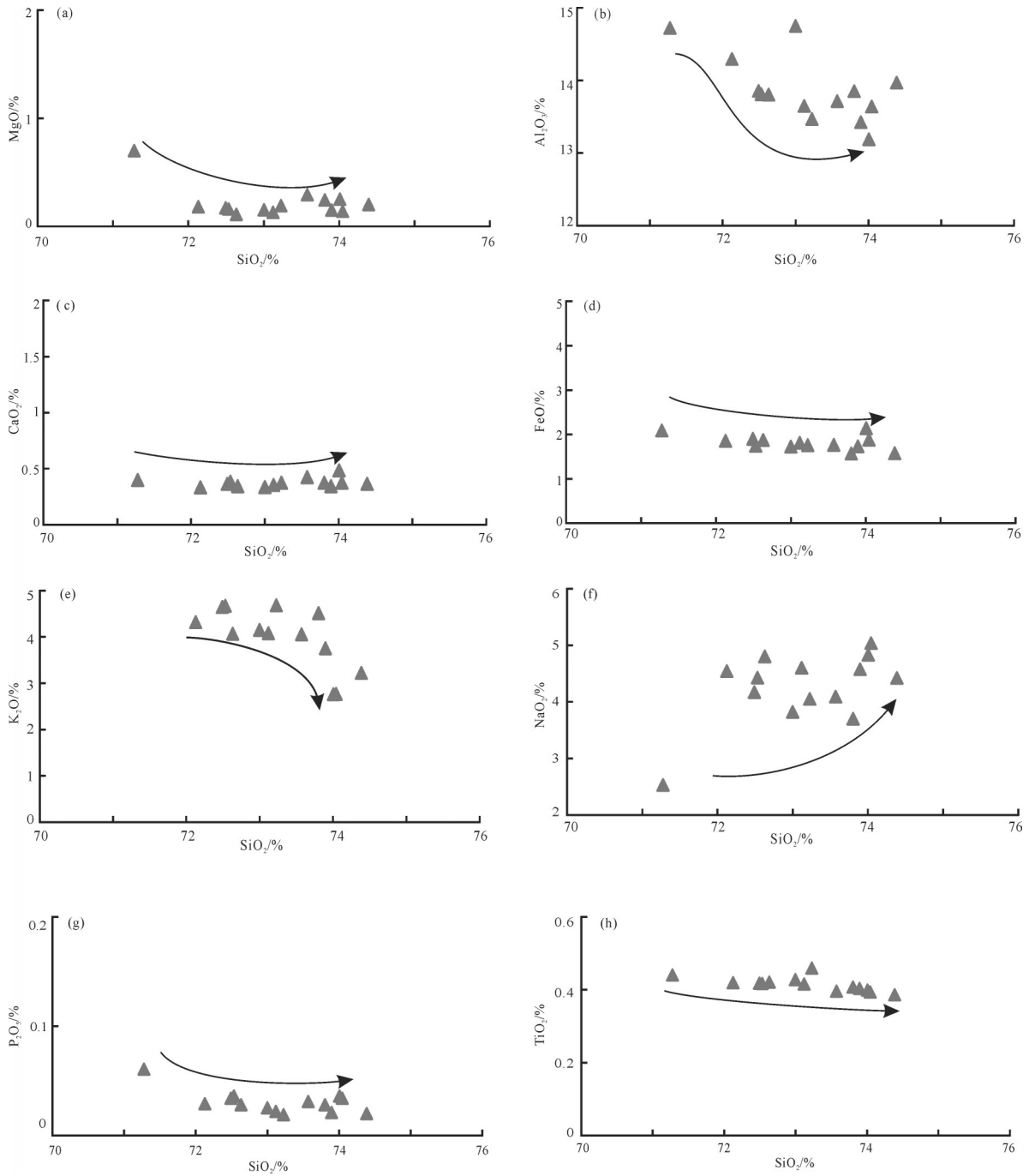


图6 江桥地区流纹岩主要元素Harker图解(底图据Harker,1909)

Fig.6 Harker diagrams of major elements for rhyolite in Jiangqiao area (after Harker, 1909)

样品富集大离子亲石元素,亏损高场强元素。

6 讨论

6.1 岩石成因

从火山岩源区分析,与碰撞有关的强过铝质花岗岩源区主要为地壳中的碎屑沉积岩类(如砂岩、

泥质岩等)和变质沉积岩类,当CaO/Na₂O < 0.3时,为泥质岩生成,当CaO/Na₂O > 0.3时,为砂屑岩、正片麻岩生成。Sylvester(1998)实验岩石学研究也表明地壳中碎屑沉积岩类部分熔融形成偏酸性的过铝质花岗岩类,而强过铝质酸性岩浆岩主要是由泥砂质沉积岩类部分熔融形成的。江桥地区芒汇河

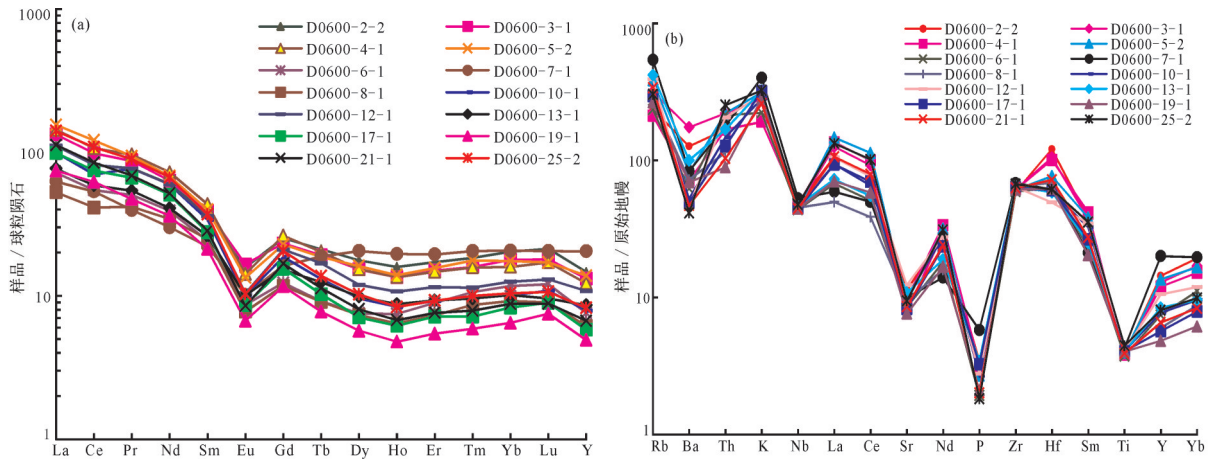


图7 江桥地区流纹岩岩石稀土元素球粒陨石标准化配分图(a)(球粒陨石数据值据 Boynton,1984)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)(原始地幔数据值据 Sun et al.,1989)

Fig.7 Chondrite-normalized REE patterns (a) (chondrite data after Boynton,1984) and primitive mantle-normalized multi-element diagrams (b) (primitive mantle data after Sun et al., 1989) for rhyolite in Jiangqiao area

组流纹岩样品 CaO/Na_2O 在 0.07~0.1 均小于 0.3, 表明该火山岩岩浆源区岩石成分主要为泥质岩。研究表明 Al_2O_3/TiO_2 比值可以作为源区岩石部分熔融温度的指示剂, 当岩石的 Al_2O_3/TiO_2 比值 > 100 时, 源区部分熔融温度 < 875°C; 当岩石的 Al_2O_3/TiO_2 比值 < 100 时, 源区部分熔融温度 > 875°C。本次研究的 14 件样品的 Al_2O_3/TiO_2 比值为 29~36, 小于 100, 所以源区部分熔融温度超过 875°C。

芒汇河组流纹岩样点在 $CaO/(MgO+TFeO) - Al_2O_3/(MgO+TFeO)$ 图上全部落入变泥质岩部分熔融区(图 8), Nb/La 在 0.33~0.48, 平均为 0.41, 小于 1, 表明火山岩源区为陆壳物质; 另外其特征参数 $Nb^*(0.59 \sim 0.88)$ 、 $Sr^*(0.13 \sim 0.24)$ 、和 $Ti^*(0.13 \sim 0.17)$ 均 < 1, 为负异常, 及 $Zr^*(2.72 \sim 3.36) > 1$, 为正异常, 同样表明该火山岩为地壳物质不同程度熔融的产物; 里特曼指数(σ)值在 1.87~2.81, 平均 2.34, 小于 3.3, 属钙碱性岩。 Zr/Y 在 14.07~20.69, 平均为 16.78; Nb/La 在 0.33~0.48, 平均为 0.41, 其中 Sr、Ba、Ti、P 相对亏损的特征表明岩浆经历了斜长石、钛铁矿和磷灰石的分离结晶作用, 分异指数 DI 介于 87.28~92.84, 平均为 91.4, 以上特征显示该火山岩起源于下地壳的重融, 并且随后发生一系列的分离结晶作用, 岩浆演化程度较高。

6.2 构造环境

前人研究表明强过铝质花岗岩主要形成于后碰撞构造环境下。是在造山作用所引起地壳增厚

之后的构造拉张减压过程中, 岩石圈伸展引起下地壳升温, 底侵地壳部分熔融形成的, 与陆-陆碰撞和板块深俯冲作用密切相关 (Pearce et al., 1984; Harria et al., 1986; Harris and Inger, 1992; Pearce, 1996; Barbarin, 1999; 邓晋福等, 2004; 寇林林等, 2009; 李峰等, 2010)。在 $SiO_2 - Al_2O_3$ 图解(图 9a)中样品点全部落入后碰撞花岗岩类区域, 芒汇河组流纹岩的微量元素和稀土元素表现为富集大离子亲石元素和轻稀土元素, 相对亏损高场强元素和重稀土元素, 也具后碰撞花岗岩的特征。在 $(Y + Nb) -$

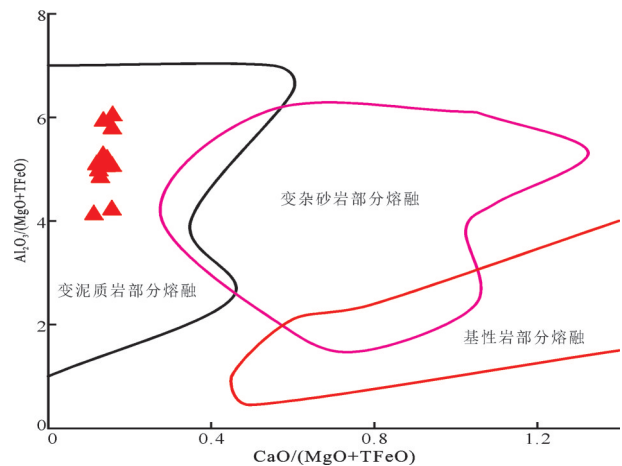


图8 江桥地区流纹岩 $CaO/(MgO+TFeO) - Al_2O_3/(MgO+TFeO)$ 图解(底图据 Altherr et al.,2000)

Fig.8 C/MF-A/MF diagrams for rhyolite in Jiangqiao area (after Altherr et al.,2000)

Rb 图解(图9b)上,数据点落入后碰撞花岗岩重叠区域内,在 R_1-R_2 图上(图10)数据点除一个点落入造山晚期—晚造山期其他均落入非造山期花岗岩区内,表明该火山岩形成于后碰撞—非造山的构造环境下,即处于造山后的伸展拉张环境下。

A型花岗岩的构造环境除早期认为的非造山外,现今大多数已认为还有另一类后造山A型花岗岩(吴元保和郑永飞,2004;任飞等,2017)。江桥地区芒汇河组流纹岩的地球化学特征,与后造山A型花岗岩低 Al_2O_3 、CaO,高NK/A、 TiO_2/MgO 等特征相似。张旗等认为A型花岗岩是一类富碱、贫水的花岗岩,化学成分上以贫Al、Sr、Eu、Ba、Ti、P为特征,对原岩没有选择,形成于低压条件下,产于地壳伸展减薄的构造背景,是花岗岩中形成深度最浅的(张旗等,2006,2010,2012,2013;汪洋等,2013)。依据Sr—Yb花岗岩分类(张旗等,2006),芒汇河组火山岩原岩属于非常低Sr高Yb型花岗岩类,该类型花岗岩具有中等的钫异常和A型花岗岩的特征,可能形成于地壳厚度较小的位置,属低压类型的花岗岩。

区域岩浆研究显示:在早二叠世—早三叠世昌宁—孟连洋关闭和随之的陆陆(弧)碰撞(莫宣学等,1998;钟大赉,1998;张彩华等,2006;邹光富等,2011;王硕等,2012),形成一系列俯冲型岩浆岩,如临沧花岗闪长岩270 Ma(俞赛赢,2007);早—中三叠世发生俯冲板片断裂,导致岩石圈抬升,使该区域普遍缺失早三叠世地层,同时形成一系列中基性

—中酸性的岩浆岩,如中三叠世临沧花岗岩,233~231 Ma和223~228 Ma(Peng et al., 2013;王舫等,2014),忙怀组下段安山岩锆石SHRIMP U—Pb年龄(241±4.9) Ma和忙怀组顶部流纹岩锆石SHRIMP U—Pb年龄(231±5) Ma;晚三叠世俯冲作用基本结束,古特提斯洋最终关闭,形成小定西组及相当层位火山岩以及晚三叠世—早侏罗世一碗水组类前陆盆地沉积(彭头平,2006;张彩华等,2006),如具有后碰撞特征的云县小定西组火山岩锆石SHRIMP U—Pb年龄(213.5±7.7) Ma。早侏罗世—晚侏罗世,该地区处于后碰撞的伸展构造背景下,形成一系列后碰撞火山岩,如本文所研究的芒汇河组流纹岩和老毛村花岗岩岩体,Rb—Sr同位素年龄(169±5) Ma(廖世勇等,2014)。同时研究区江桥一带芒汇河组沉积—火山组合也反映了前陆盆地的沉积特征。

以上研究表明,芒汇河组流纹岩的原岩在构造阶段上形成于大洋闭合—挤压造山之后的伸展引张背景下。由西侧昌宁—孟连古特提斯洋盆关闭后碰撞造山环境下,泥质地壳在较浅的地壳厚度及较小的压力环境下经过部分熔融形成的。同时在下伏热地幔中经置换作用而具有了A型花岗岩的特点。揭示了南澜沧江构造带在早侏罗世存在一次重要的从挤压构造环境向伸展构造环境的转换,而芒汇河组二段早侏罗世流纹岩正是形成于地壳伸展减薄的构造背景下,是南澜沧江构造带印支末期构造—岩浆事件的产物,标志着该区域古特提斯

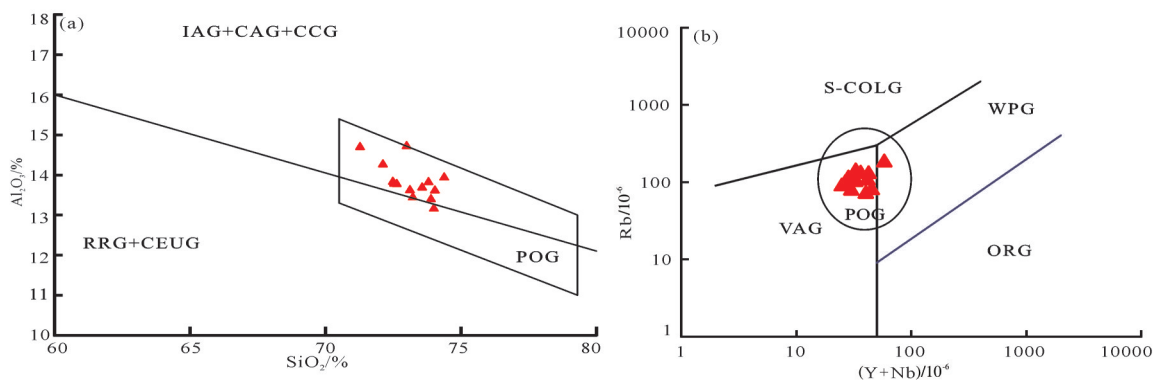


图9 江桥地区流纹岩主量元素与微量元素构造环境判别图(底图据 Maniar et al., 1989; Pearce, 1996)

IAG—岛弧花岗岩类; CAG—大陆弧花岗岩类; CCG—大陆碰撞花岗岩类; POG—后碰撞花岗岩类; RRG—与裂谷有关的花岗岩类; CEUG—与大陆抬升有关的花岗岩类; S—COLG—同碰撞花岗岩; VAG—火山弧花岗岩; WPG—板内花岗岩; ORG—洋脊花岗岩

Fig.9 Major element tectonic setting discrimination diagrams and trace element tectonic environment discrimination diagrams for rhyolite in Jiangqiao area (after Maniar et al., 1989; Pearce, 1996)

IAG—Island arc granite; CAG—Continental Arc Granite; CCG—continent collision granite; POG—Post—orogeny granite; RRG—Granitoids related to rifts; CEUG—Granites related to continental uplift; S—COLG—Syn—collisional; VAG—Volcanic arc granite; WPG—Within plate; ORG—Ocean ridge granite

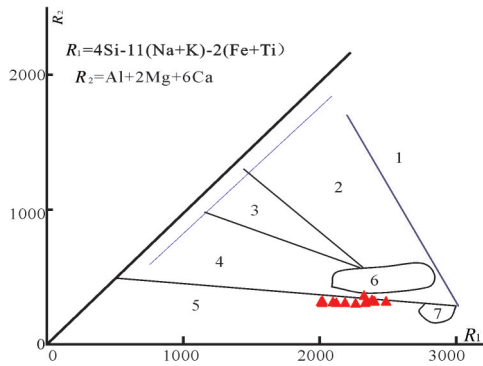


图10 江桥地区流纹岩 R_1 - R_2 构造环境判别图解(据 Batchelor et al., 1985)

1—地幔分异的花岗岩;2—板块碰撞前花岗岩;3—板块后隆起的花岗岩;4—造山晚期花岗岩;

5—非造山期花岗岩;6—同碰撞花岗岩;7—造山后期花岗岩
Fig.10 R_1 - R_2 discrimination diagrams showing the tectonic settings of rhyolite in Jiangqiao area (after Batchelor et al., 1985)

1—Mantle departure granite;2—Pre-collision granite;3—Post-plate uplift granite;4—Late orogeny granite;5—Nonorogenic granite;6—Syn-collision granite;7—Post-orogeny granite

洋演化的完成,也指示了印支构造旋回在滇西南澜沧江地区的最终结束。

7 结 论

(1)滇西江桥地区芒汇河组流纹岩锆石U-Pb同位素年龄为196~198 Ma,表明该火山岩形成时代为早侏罗世,而非前人所划分的晚三叠世,填补了该地区侏罗纪地史时期的火山-沉积记录。

(2)滇西江桥地区芒汇河组流纹岩具有A型花岗岩的特征,是南澜沧江构造缝合带进入构造伸展减压环境下泥质岩系地壳部分熔融的产物。

(3)滇西普洱市江桥一带早侏罗世后碰撞岩浆岩的发现,丰富了南澜沧江构造-岩浆带岩浆岩类的同位素年龄资料,为南澜沧江地区古特提斯演化的时空序列及滇西南澜沧江地区印支构造旋回最终结束的时间提供了新的依据,推断印支构造旋回在该地区最终结束的时间可能为早侏罗世。

致谢:野外工作得到了云南省地质调查研究院区域地质调查所孙载波、黄亮、刘桂春等的帮助,文章撰写中得到了云南省地质调查研究院李静教授高级工程师的指导,评审专家审阅论文并提出宝贵修改意见,在此一并表示衷心的感谢!

注释

①周存会,熊家镛,张志斌,张伟明,张虎,曾庆荣. 2000. 云南1:50000那许幅、黄竹林福、弯手寨幅、黄草坝幅区域地质调查报告.

References

- Altherr R, Holl A, Hegner E, Langer C, Kreuzer H. 2000. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the Euro-pean Variscides: Northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany) [J]. *Lithos*, 50:51-73.
- Batchelor R A, Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters [J]. *Chemical Geology*, 48(1): 43-55.
- Boynnton W V. 1984. Rare earth element geochemistry Volume 2 || Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies [J]. *Developments in Geochemistry*, 63-114.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. 1990. *Yunnan Regional Geology* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 80-200.
- Deng Jinfu, Luo Zhaohua, Su Shangguo. 2004. *Petrogenesis, Tectonic Setting and Mineralization* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 40-120.
- Gu Yuchao, Chen Renyi, Jia Bin, Song Wanbing, Yu Changtao, Ju Nan. 2017. Zircon U-Pb dating and geochemistry of the syenogranite from the Bianjiadayuan Pb-Zn-Ag deposit of Inner Mongolia and its tectonic implications [J]. *Geology in China*, 44(1): 101-117 (in Chinese with English abstract).
- Harker A. 1909. *The Nature History of Igneous Rocks* [M]. London: Methuen, 783-968.
- He Keshao, He Haosheng, Cai Hongbiao. 1996. Formation and Evolution of the Western Yunnan Orogenic Belt [J]. *Geological Review*, 42(2): 97-106 (in Chinese with English abstract).
- He Keshao, Zhao Chonghe, He Haosheng. 1996. *Continental Rift and Orogenic Processes West of Yunnan* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 10-114.
- Irvine T N, Baragar W R A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks [J]. *Canad. J. Earth Sci.*, 8(5): 523-548.
- Kou Linlin, Zhong Kanghui, Tang Juxing, Liu Zhaochang, Dong Shuyi, Xie Bo. 2009. Geochemistry discrimination of Late Triassic volcanic rocks in Changdu-Simao tectonic zone [J]. *Northwestern Geology*, 42(1): 79-87 (in Chinese with English abstract).
- Li Xingzhen, Liu Wenjun, Wang Yizhao. 1999. *Tethys Tectonic Evolution and Mineralization in the Sanjiang area of Southwest China* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-276.
- Liu Benpen, Feng Qinglai, Fang Nianjiao, Jia Jinhua, He Fuxiang. 1993. *Tectonic evolution of Palaeo-Tethys Poly-Island-Ocean in Changning-Menglian and Lancangjiang Belts, southwestern*

- Yunnan,China[J]. Earth Science— Journal of China University of Geosciences, (5):529–539 (in Chinese with English abstract).
- Liu Zengqian, Li Xingzhen, Ye Tongqing. 1993. Division and Distribution of Tectonic Magmatic Belts in Sanjiang Area of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–246.
- Maniar P D, Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Bulletin of the Geological Society of America, 101: 635–643.
- Middlemost E A K. 1994. Naming materials in magma–igneous rock system[J]. Earth Sci. Rev., 37:215–224.
- Mo Xunxue, Lu Fengxiang, Shen Shangyue, Zhu Qinwan, Hou Zengqian. 1993. Sanjiang Tethyan Volcano and Mineralization[M]. Beijing: Geological Publishing House, 7–177.
- Mo Xuanxue, Shen Shangyue, Zhu Qinwen. 1998. Ophiolite and Metallogeny in Sanjiang South Section of Volcano Rock[M]. Beijing: Geological Publishing House, 5–46.
- Pearce J A. 1996. Sources and setting of granitic rocks[J]. Episodes, 19 (4):120–125.
- Peng Touping. 2006. The Triassic Post–collisional Magmatism for the Southern Lancangjiang Tectonic Zone, Southwestern China: Petrogenesis and its Tectonic Implications[D]. Beijing:the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 20–40 (in Chinese with English abstract).
- Richwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diaframs which use oxides of major and minor elements[J]. Lithos, 22:247–263.
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[J]. Geological Society London Special Publications, 42 (1):313–345.
- Sun Zhuanrong, Dong Guochen, Zhao Zuoxin, Wang Weiqing, Liu Shengqiang. 2017. Petrological, geochemical and geochronological features of Lailishan ganitoids in western Yunnan and their genesis of partial melting of crustal soure[J]. Geology in China, 44(6): 1140–1158(in Chinese with English abstract).
- Sylvester P J . 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites [J]. Lithos, 45:39–44.
- Tan Fuwen, Pan Guitang, Wang Jian. 2001. Devonian–Triassic Basin–Range Transformation and The Tectonic Evlution of Paleo–Tethys in Western Yunnan. China[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 21(3):179–185(in Chinese with English abstract).
- Tian Yinggui, Hu Peng, Wang Chengping. 2006. The establishment of lower Jurassic Jiukang Formation in South Lancangjiang Tectonicmagmatic zone[J]. Yunnan Geology, 25(1):63– 69 (in Chinese with English abstract).
- Wang Shuo. 2011. Petrological, Geochemical, Geochronological Characteristics and their Tectonic Significance of Triassic Volcanic Rocks in Southern Lancangjiang Zone[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 12– 33(in Chinese with English abstract).
- Wang Shuo, Dong Guochen, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Zhu Dicheng, Kong Huilei, Wang Xia, Nie Fei. 2012. Petrological and geochemical characteristics, Ar–Ar geochronology study and their tectonic significance of Triassic volcanic rocks in southern Lancangjiang zone[J]. Acta Petrologica Sinica, 28(4):1148– 1162 (in Chinese with English abstract).
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. 2004. Genetic mineralogy of zircon and its constraints on the interpretation of U– Pb age[J]. Chinese Science Bulletin, 16:179–185.
- Yan Shengwu, Bai Xianzhou, Wu Wenxiang, Zhu Bing, Zhan Qiongyao, Wen Long, Yang Hui, Wang Yuting. 2017. Genesis and geological implications of the Neoproterozoic A–type granite from the Lugu area, western Yangtze block[J]. Geology in China, 44(1): 136–150(in Chinese with English abstract).
- Zhang Hu. 2005. Yunnan South Lancangjiang Tectonic Magmatic Belt of Early Jurassic Volcano Rock after Collision[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 1–50.
- Zhang Caihua, Liu Jishun, Liu Deli, Yang Song. 2006a. Geological, geochemical characteristics, age and tectonic setting of Laomaocun small rockbody in south Lancangjiang Zone, western Yunnan Province[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 26(3):317– 324 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Caihua, Liu Jishun, Liu Deli. 2006b. Geological and geochemical characteristics and tectonic setting of Triassic volcanic suite in Guanfang area along South Lancangjiang belt[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 25(5):377– 387 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Wang Yan, Li Chengdong, Wang Yuanlong, Jin Weijun, Jia Xiuqin. 2006. Granite classification on the basis of Sr and Yb contents and its implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(9): 2249–2269(in Chinese with English abstract).
- ZhangQi,Jin Weijun,Li Chengdong,Wang Yuanlong. 2010a. Revisiting the new classification of granitic rocks based on whole– rock Sr and Yb contents: Index [J]. Acta Petrologica Sinica, 26(4):985– 1015(in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Jin Weijun, Li Chengdong,Wang Yuanlong. 2010b. On the classification of granitic rocks based on whole– rock Sr and Yb concentrations III: Practice [J]. Acta Petrologica Sinica, 26(12): 3431–3455 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Ran Gao, Li Chengdong. 2012. A–type granite: What is the essence?[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 31(4):621– 626(in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi. 2013. The criteria and discrimination for A–type granites:A reply to the question put forward by Wang Yang and some other persons for “A– type granite:What is the essence?”[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 32(2):267– 274(in Chinese with English abstract).
- Zhou Jianxiong, Chen Jianyu. 2007. Study on Cathodoluminescence of Zircon by Electron Probe[M]. Chengdu: University of Electronic

- Science and Technology Press, 32-38.
- Zhong Daben. 1998. Palaeo-Tethys Orogenic Belt West of Yunnan and Sichuan [M]. Beijing: Science Press, 56-167.
- Zhu Qinwen, Shen Shangyue, Yang Kaihui, Xu Yingxi. 1991. Tectono-Magmatic types of volcanic rock in Lancangjiang belt, and evolution of tethys[C]//Contribution to The Geology of The Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau. Beijing: Geological Publishing House, 125-140 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Qinwen, Zhang Shuangquan, Tan Jin. 1998. Geochemical evidence of volcanic rocks for determining the south Lancangjiang Suture Zone[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 17(4):298-307 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Qinwen, Zhang Shuangquan, Tan Jin. 1999. Magmatic genesis of volcanic rocks of southern Lancangjiang convergent margin—magmatism about ocean ridge, ocean island and island arc[J]. Geoscience, 13(2):137-142 (in Chinese with English abstract).
- Zou Guangfu, Lin Shiliang, Li Zaihui, Cong Feng, Xie Tao. 2011. Geochronology and geochemistry of the Longtong in the Lianghe area, western Yunnan and its tectonic implications[J]. Geotectonica et Metallogenia, 35(3):439-451 (in Chinese with English abstract).
- 邓晋福, 罗照华, 苏尚国. 2004. 岩石成因、构造环境与成矿作用[M]. 北京:地质出版社, 40-120.
- 顾玉超, 陈仁义, 贾斌, 宋万兵, 余昌涛, 鞠楠. 2017. 内蒙古边家大院铅锌银矿床深部正长花岗岩年代学与形成环境研究[J]. 中国地质, 44(1): 101-117.
- 何科昭, 何浩生, 蔡红斌. 1996. 滇西造山带的形成与演化[J]. 地质评论, 42(2):97-106.
- 何科昭, 赵崇贺, 何浩生. 1996. 滇西陆内裂谷与造山作用[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 10-114.
- 寇林林, 钟康惠, 唐菊兴, 刘肇昌, 董树义, 解波. 2009. 昌都—思茅构造带晚三叠世构造环境的火山岩地球化学判别[J]. 西北地质, 42(1):79-87.
- 李兴振, 刘文均, 王义昭. 1999. 西南三江地区特提斯构造演化与成矿[M]. 北京:地质出版社, 1-276.
- 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[J]. 地球科学, (5):529-539.
- 刘增乾, 李兴振, 叶同庆. 1993. 三江地区构造岩浆带的划分与成矿分布规律[M]. 北京:地质出版社, 1-246.
- 莫宣学, 路凤香, 沈上越, 朱勤文, 侯增谦. 1993. 三江特提斯火山作用与成矿[M]. 北京:地质出版社, 7-177.
- 莫宣学, 沈上越, 朱勤文. 1998. 三江中南段火山岩—蛇绿岩与成矿[M]. 北京:地质出版社, 5-46.
- 彭头平. 2006. 澜沧江南带三叠纪碰撞后岩浆作用、岩石成因及其构造意义[D]. 北京:中国科学院研究生院, 20-40.
- 孙转荣, 董国臣, 赵作新, 王伟清, 刘圣强. 2017. 滇西来利山花岗岩年代学、地球化学特征及其壳源部分熔融成因[J]. 中国地质, 44(6):1140-1158.
- 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[J]. 矿物岩石, 21(3):179-185.
- 田应贵, 胡鹏, 王承平. 2006. 南澜沧江构造岩浆带下侏罗统就康组的建立[J]. 云南地质, 25(1):63-69.
- 王硕. 2011. 澜沧江南带三叠纪火山岩岩石学、地球化学、年代学特征及其构造意义[D]. 北京:中国地质大学(北京), 12-33.
- 王硕, 董国臣, 莫宣学, 赵志丹, 朱弟成, 孔会磊, 王霞, 聂飞. 2012. 澜沧江南带三叠纪火山岩岩石学、地球化学特征、Ar-Ar年代学研究及其构造意义[J]. 岩石学报, 28(4):1148-1162.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对U-Pb年龄解释的制约[J]. 科学通报, 16:179-185.
- 汪洋, 焦永玲, 全立华, 姚瑶. 2013. 再论A型花岗岩的实质——与张旗先生等商榷[J]. 岩石矿物学杂志, 32(2):261-266.
- 鄢圣武, 白宪洲, 伍文湘, 朱兵, 詹琼窑, 文龙, 杨辉, 王玉婷. 2017. 扬子地块西缘新元古代泸沽A型花岗岩成因与变泥质岩熔融[J]. 中国地质, 44(1):136-150.
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 80-200.
- 张虎. 2005. 云南山澜沧江构造岩浆带早侏罗世后碰撞火山岩研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 1-50.
- 张彩华, 刘继顺, 刘德利, 杨松. 2006a. 滇西南澜沧江带老毛村小岩体的地球化学特征、形成时代与构造意义[J]. 矿物学报, 26(3):317-324.
- 张彩华, 刘继顺, 刘德利. 2006b. 滇西南澜沧江带官房地区三叠纪火山岩地质地球化学特征及其构造环境[J]. 矿物学报, 25(5):377-387.
- 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[J]. 岩石学报, 22(9):2249-2269.
- 张旗, 金惟俊, 李承东, 王元龙. 2010a. 再论花岗岩按照Sr-Yb的分类:标志[J]. 岩石学报, 26(4):985-1015.
- 张旗, 金惟俊, 李承东, 王元龙. 2010b. 三论花岗岩按照Sr-Yb的分类:应用[J]. 岩石学报, 26(12):3431-3455.
- 张旗, 冉焱, 李承东. 2012. A型花岗岩的实质是什么?[J]. 岩石矿物学杂志, 31(4): 621-626.
- 张旗. 2013. A型花岗岩的标志和判别——兼答汪洋等对“A型花岗岩的实质是什么”的质疑[J]. 岩石矿物学杂志, 32(2):267-274.
- 周剑雄, 陈建宇. 2007. 电子探针下锆石阴极发光的研究[M]. 成都:电子科技大学出版社, 32-38.
- 钟大赉. 1998. 滇川西部古特提斯造山带[M]. 北京:科学出版社, 56-167.
- 朱勤文, 沈上越, 杨开辉, 薛迎喜. 1991. 澜沧江带火山岩构造—岩浆类型与特提斯演化[C]//青藏高原地质文集. 北京:地质出版社, 125-140.
- 朱勤文, 张双全, 谭劲. 1998. 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, 17(4):298-307.
- 朱勤文, 张双全, 谭劲. 1999. 南澜沧江结合带火山岩岩浆成因——洋脊—洋岛与弧岩浆作用的性质[J]. 现代地质, 13(2):137-142.
- 邹光富, 林仕良, 李再会, 丛峰, 谢涛. 2011. 滇西梁河龙塘花岗岩体LA-ICP-MS锆石U-Pb年代学及其构造意义[J]. 大地构造与成矿学, 35(3):439-451.

附中文参考文献