

孙崇波, 李忠权, 王道永, 等. 哀牢山构造带南段扭只二长花岗斑岩地球化学特征及其锆石 U-Pb 年代学研究[J]. 中国地质, 2016, 43(1): 111-119.

Sun Chongbo, Li Zhongquan, Wang Daoyong, et al. Petrogeochemistry and zircon U-Pb chronology of the Niuzhi monzonitic porphyry in southern segment of Ailao Mountain tectonic belt[J]. Geology in China, 2016, 43(1): 111-119(in Chinese with English abstract).

哀牢山构造带南段扭只二长花岗斑岩地球化学特征及其锆石 U-Pb 年代学研究

孙崇波^{1,2} 李忠权¹ 王道永¹ 许远平² 李友余³

(1. 成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 2. 四川冶金地质勘查局水文工程大队, 四川 成都 611730;
3. 四川冶金地质勘查局 606 大队, 四川 成都 611730)

摘要: 本文对云南墨江县扭只二长花岗斑岩进行了锆石 U-Pb 年代学、岩石地球化学分析。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年显示扭只二长花岗斑岩年龄为 (263.5 ± 1.7) Ma, 形成于晚二叠世。岩石地球化学分析显示: 扭只二长花岗斑岩 SiO_2 含量为 55.30%~74.37%, 全碱 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 含量 2.56%~7.57%, 且 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$; 岩石富集轻稀土, 负铕异常明显 ($\delta\text{Eu}: 0.74 \sim 1.06$), 相对富集 Sc、Co、Cs、As 等元素, 亏损 Cr、Ni、Zn、Rb、Sr、Ba、Zr、Ta、Th、U、W 等元素。根据图解显示扭只二长花岗斑岩形成于岛弧向陆碰撞或者陆弧碰撞的构造环境, 表明哀牢山构造带的古特提斯支洋或弧后盆地在晚二叠世 ((263.5 ± 1.7) Ma) 可能已经闭合。

关键词: 二长花岗斑岩; 锆石 U-Pb 年代学; 岩石地球化学; 同碰撞期花岗岩

中图分类号: P597.3; P588.13 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2016)01-0111-09

Petrogeochemistry and zircon U-Pb chronology of the Niuzhi monzonitic porphyry in southern segment of Ailao Mountain tectonic belt

SUN Chong-bo^{1,2}, LI Zhong-quan¹, WANG Dao-yong¹, XU Yuan-ping², LI You-yu³

(1. *Research Institute of sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;*
2. *Hydro-Engineering Party, Sichuan Bureau of Metallurgical Geology and Exploration, Chengdu 611730, Sichuan, China;*
3. *No. 606 Exploration Party, Sichuan Bureau of Metallurgical Geology and Exploration, Chengdu 611730, Sichuan, China*)

Abstract: This study presents bulk petrogeochemistry and zircon U-Pb dating results for the Niuzhi monzonitic porphyry in Mojiang, Yunnan. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results show that the Niuzhi monzonitic porphyry formed in the Late Permian (263.5 ± 1.7 Ma). The Niuzhi monzonitic porphyry is characterized by SiO_2 content of 55.30%–74.37%, alkali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 2.56%–7.57%, and Na_2O higher than K_2O . It is enriched in LREE and Sc, Co, Cs, As, and depleted in Cr, Ni, Zn, Rb, Sr, Ba, Zr, Ta, Th, U, W, with negative Eu anomalies ($\delta\text{Eu} 0.74 \sim 1.06$). According to the diagrams, the Niuzhi monzonitic porphyry formed in the tectonic environment of island arc-continent or continental-arc collision, indicating that the branch of Paleo-Tethys Ocean or arc basin in

收稿日期: 2014-11-15; 改回日期: 2015-01-20

基金项目: 中国地质调查局项目 (1212010880406、1212011120582) 资助。

作者简介: 孙崇波, 男, 1985 年生, 博士生, 构造地质学专业; E-mail: 1315333036@qq.com。

Ailaoshan tectonic belt may have been closed in the Late Permian ($263.5 \pm 1.7\text{Ma}$).

Key words: monzonitic porphyry; zircon U-Pb chronology; petrogeochemistry; syn-collisional granite

About the first author: SUN Chong-bo, male, born in 1985, doctor, majors in structural geology; E-mail: 1315333036@qq.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program (No. 1212010880406, No. 1212011120582).

哀牢山造山带位于特提斯—喜马拉雅构造区与滨太平洋构造区的介乎额部位,兼具印支思茅地块和扬子板块两大构造单元的属性^[1-3],而特提斯造山带是研究多个岩石圈块体相互作用过程与动力学机制的经典地区,以发育线延伸的构造行迹和岩浆岩带为特征^[1,4]。位于亲扬子的思茅地块和亲冈瓦纳的缅甸马地块之间的昌宁—孟连带是古特提斯多岛洋格局的主洋盆遗迹分布区,代表了古特提斯的缝合线^[5-7],对此认识,目前科学界比较一致,然而,金沙江—哀牢山构造带在晚古生代是否存在古特提斯支洋盆还存在争论,目前主要有两种观点:一种观点认为在金沙江—哀牢山—松马构造带发育了支洋盆^[8,9];而另一种则认为思茅地块和扬子地块在泥盆纪前是一体的,晚古生代两者之间发育了古特提斯洋东缘弧后盆地^[3,6]。

基于以上争论及现有对哀牢山构造带火山岩的研究主要集中在中—基性岩石,关于该区花岗岩的研究报道较少^[10-11],而花岗岩是大陆地壳的组成部分,是地质学研究的重要课题,是研究地壳演化和古构造的一个有效手段^[12-17],本文在前人的研究基础上,对位于哀牢山南段的扭只二长花岗斑岩(图1)进行了主微量元素地球化学分析及LA-ICP-MS 锆石U-Pb定年,进而讨论其形成环境及形成时代以期对认识哀牢山—李仙江—松马构造带的演化提供新的证据。

1 区域地质背景及样品岩石学特征

哀牢山构造带整体呈NW-SE向,北西窄、南东宽,呈“扫帚”形展布于云南省中南部,向东南经元阳和金平县延伸进入越南境内与松马构造带连接,向西北经点苍山与金沙江构造带对应^[1,18]。该构造带主要由四条主断裂及其夹持的三套不同性质的岩石建造组成,断裂自南西向北东依次为李仙江断裂、九甲—安定断裂、哀牢山断裂及红河断裂^[4]。哀牢山变质岩系是本区最古老的地层^[1],其成了哀牢

山的主体^[1]。哀牢山断裂带东侧为扬子板块,西侧为思茅地块。

本次研究的扭只二长花岗斑岩位于云南普洱市墨江哈尼族自治县扭只新寨梁子—克施梁子—咪那复向斜内,总面积 6.4 km^2 ,岩体呈似透镜状,长宽比大于3:1,其分布受构造控制明显,呈近SN向延伸,侵入中—上二叠统岩层中。岩石呈浅灰白色、灰白色,蚀变后略带浅黄褐色,表面铁质浸染较强。岩石以斑状结构为主,基质细粒结构为主,可见隐晶—微晶结构;斑晶无序,不均匀分布,主要成分中长石(含量 ≤ 30 , An=30~35、环带内核 An=60~63)、暗色矿物、石英及少量钾长石。基质由斜长石(含量25%~70%, An=27~30、个别 An=40~60),石英(含量20%~30%)、钾长石(含量20%~25%)及少量绿泥石组成,副矿物为褐铁矿、磁铁矿、榍石、黄铁矿及钛铁矿。

2 样品分析方法

对新鲜的样品通过人工重砂法选出锆石,在双目显微镜下挑选出晶形好、无裂隙、无包体、干净透明的自形锆石颗粒,在玻璃板上将其用环氧树脂固定、抛光,然后进行反射光和透射光照相,并进行CL图像分析来检验锆石内部的结构,以选择最佳分析点。锆石U-Pb同位素分析在中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室的ICP-MS Elan6100DRC激光探针上完成,²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb和²⁰⁶Pb/²³⁸U结果的计算采用GLITER4.0程序^[19],普通Pb校正采用Andersen^[20]介绍的方法,样品的U-Pb年龄计算及谐和图的绘制用Isoplot(ver2.49)^[21]程序。

全岩的主量和微量元素分析在四川省冶金地质岩矿测试中心的国家重点实验室完成。主量元素分析用Rigaku RIX 2000型荧光光谱仪(XRF)分析,分析精度优于1%~5%,具体实验流程见文献[22]。微量元素分析用Perkin-Elmer Sciex ELAN 6000型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-

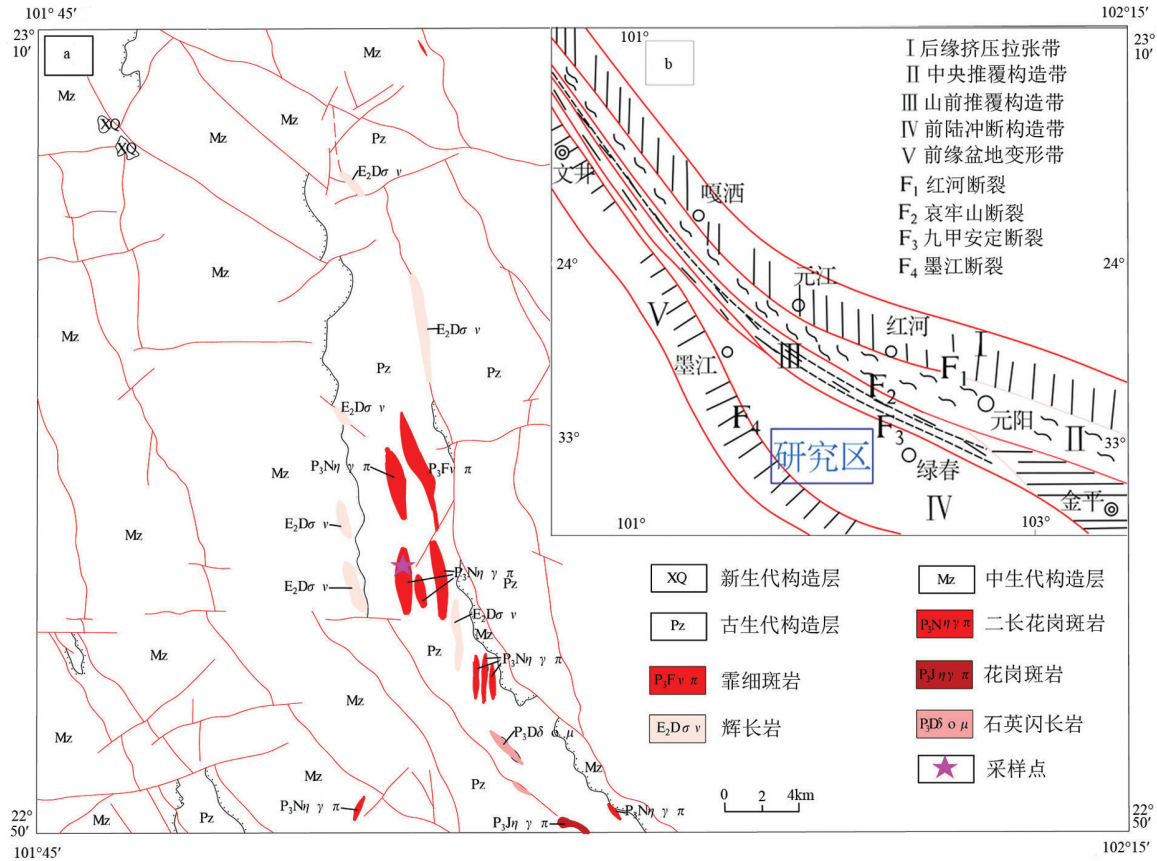


图1 区域构造图(b)及扭只地区地质略图(a)
Fig.1 Regional structure (b) and geological sketch map of Niuzhi (a)

Ms),分析精度优于2%~5%,详细实验方法见文献[23]。

3 锆石U-Pb年代学

扭只二长花岗斑岩样品PM3308Z中锆石呈无色至淡黄色,核部色略深;自形短柱状为主,少数长柱状或近粒状(图2);CL图像中柱状者多具清晰的震荡环带,部分具边-核内部结构。29个测点中的1、4、6及13为核部,9、19震荡环带不太明显,其余测点均在震荡环带上。28个测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄值范围为(255.7~272.2)Ma(表1),测点24的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄值为286.8 Ma。28个测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄值经加权平均计算,获得锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U加权平均年龄为(263.5±1.7)Ma,置信度为95%(图3),代表二长花岗斑岩形成年龄,以此确定该岩体为晚二叠世岩浆作用的产物。

4 岩石地球化学特征

扭只二长花岗斑岩的主量元素含量、CIPW标

准矿物分子及主要参数见表2。由表可知:SiO₂含量为55.30%~74.37%、平均69.38%,全碱(Na₂O+K₂O)含量2.56%~7.57%、平均6.13%、且Na₂O>K₂O。与中国花岗岩^[24]比较,具有贫硅钾、富铝铁钙的特点。其CIPW标准矿物分子中多含C;A/NCK多>1,为铝过饱和型;σ<3.3,属钙碱性系列,AR数值特征也表现为这一特点。根据阳离子参数特征(图4),岩石投点落于同碰撞(S型)花岗岩及其附近,在Pearce图解(图5)上,投点全部落入火山弧花岗岩区,因此认为形成于碰撞期陆弧环境。

岩石的微量元素含量与世界相应岩类比较,具有Au、Hf相对富集,Sc、Co、Cs、As趋于富集,而Cr、Ni、Zn、Rb、Sr、Ba、Zr、Ta、Th、U、W相对贫化的特点。

岩石中大离子亲石元素丰度及稀土元素含量(表3)变化特点,反映了元素的迁移活动特征。岩石的地球化学型式(图6)显示出岩石具有Cr强烈亏损的特点,可能暗示源区经历强烈分异或属非下地壳-地幔源区。Sr负异常表明Sr主要进入斜长石

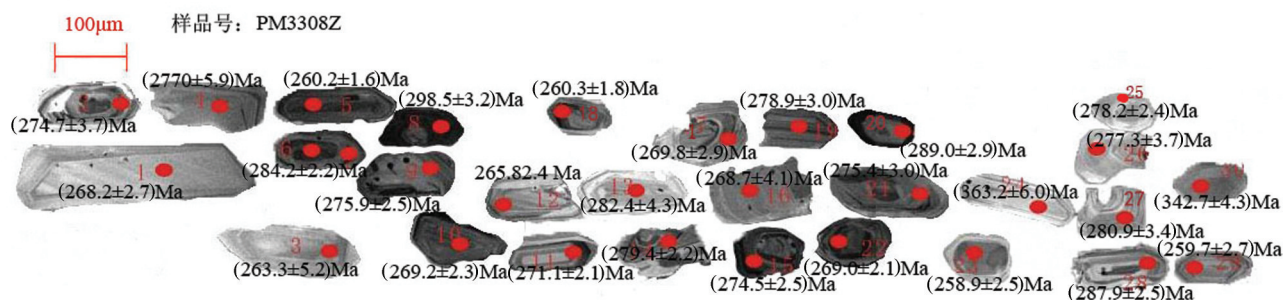


图2 锆石颗粒CL图像
Fig.2 CL images of zircons

表1 扭只二长花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U/Pb 同位素测试结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb analyses of the Niuzhi monzogranite porphyry

样品号	含量/ 10^{-6}		同位素比值						表面年龄/Ma					
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ
PM33Z1	352	679	0.042 3	0.000 4	0.30	0.003 1	0.050 7	0.000 3	267.0	2.6	268.2	2.7	225.4	15.3
PM33Z2	318	381	0.042 5	0.000 4	0.31	0.004 2	0.051 8	0.000 6	268.4	2.3	274.7	3.7	275.2	26.1
PM33Z31	124	248	0.042 2	0.000 4	0.30	0.005 8	0.050 0	0.000 9	266.3	2.3	263.3	5.2	192.4	41.2
PM33Z32	307	467	0.040 8	0.000 4	0.31	0.006 7	0.055 7	0.000 9	257.8	2.3	277.0	5.9	442.3	37.5
PM33Z4	1033	127	0.040 9	0.000 3	0.29	0.001 8	0.051 8	0.000 2	258.5	2.0	260.2	1.6	276.2	10.7
PM33Z5	951	1087	0.040 5	0.000 3	0.33	0.002 5	0.057 8	0.000 4	256.1	1.9	284.2	2.2	521.4	15.5
PM33Z6	432	281 1	0.041 4	0.000 4	0.34	0.003 6	0.059 8	0.000 3	261.8	2.3	298.5	3.2	596.3	12.5
PM33Z7	840	680	0.042 9	0.000 3	0.31	0.002 9	0.052 8	0.000 5	270.8	2.1	275.9	2.5	319.6	22.2
PM33Z8	309	574	0.041 5	0.000 3	0.30	0.002 6	0.053 0	0.000 4	262.3	2.0	269.2	2.3	329.6	17.9
PM33Z9	385	616	0.042 2	0.000 4	0.31	0.002 4	0.052 7	0.000 4	266.8	2.2	271.7	2.1	314.7	15.2
PM33Z10	427	650	0.041 5	0.000 4	0.30	0.002 7	0.052 2	0.000 3	262.4	2.3	265.8	2.4	296.0	15.1
PM33Z11	228	321	0.041 8	0.000 3	0.32	0.004 9	0.055 6	0.000 7	263.9	2.1	282.4	4.3	438.1	29.4
PM33Z12	299	553	0.041 9	0.000 3	0.32	0.002 5	0.054 8	0.000 4	264.6	2.1	279.4	2.2	405.0	16.8
PM33Z13	386	793	0.042 5	0.000 4	0.31	0.002 8	0.053 0	0.000 3	268.3	2.5	274.5	2.5	327.6	13.9
PM33Z14	124	262	0.041 5	0.000 3	0.30	0.004 6	0.053 0	0.000 8	261.9	2.0	268.7	4.1	328.0	32.7
PM33Z15	148	467	0.041 9	0.000 3	0.30	0.003 3	0.052 7	0.000 5	264.4	2.2	269.8	2.9	316.6	19.6
PM33Z16	628	865	0.042 0	0.000 4	0.29	0.002 0	0.050 4	0.000 3	265.3	2.2	260.3	1.8	215.6	12.1
PM33Z17	313	429	0.041 4	0.000 3	0.32	0.003 4	0.055 4	0.000 6	261.5	2.1	278.9	3	426.9	24.2
PM33Z18	360	570	0.040 7	0.000 3	0.33	0.003 3	0.058 7	0.000 5	256.9	1.9	289.0	2.9	557.2	20.1
PM33Z19	411	512	0.042 5	0.000 4	0.31	0.003 4	0.053 2	0.000 4	268.3	2.6	275.4	3	336.6	17.7
PM33Z20	729	983	0.041 2	0.000 3	0.30	0.002 4	0.053 3	0.000 3	260.6	2.0	269.0	2.1	343.3	12.3
PM33Z21	543	485	0.041 5	0.000 3	0.29	0.002 8	0.050 8	0.000 4	262.0	2.2	258.9	2.5	230.5	18.7
PM33Z22	164	222	0.041 4	0.000 3	0.43	0.007 1	0.075 3	0.001 2	261.6	2.0	363.2	6	1076.7	32.6
PM33Z23	172	191	0.045 5	0.000 4	0.32	0.002 7	0.050 2	0.000 4	286.8	2.8	278.2	2.4	205.8	17.6
PM33Z24	168	303	0.042 4	0.000 3	0.31	0.004 2	0.053 7	0.000 7	267.6	2.1	277.3	3.7	360.1	28.2
PM33Z25	242	408	0.043 1	0.000 4	0.32	0.003 9	0.052 6	0.000 6	272.2	2.2	280.9	3.4	312.5	25.7
PM33Z26	536	572	0.042 8	0.000 3	0.33	0.002 9	0.055 6	0.000 5	270.0	2.2	287.9	2.5	435.5	19.5
PM33Z27	1826	131 8	0.040 5	0.000 4	0.29	0.003 0	0.052 3	0.000 3	255.7	2.4	259.7	2.7	296.5	13.0
PM33Z28	348	342	0.041 9	0.000 3	0.40	0.005 1	0.069 6	0.000 7	264.3	2.1	342.7	4.3	915.4	348

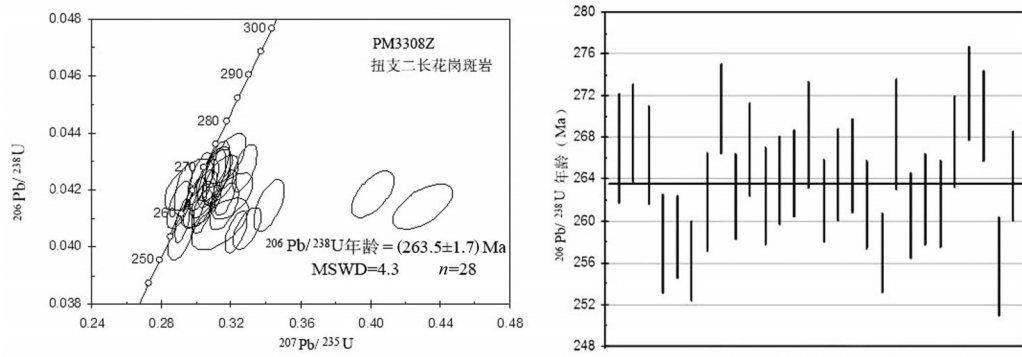


图3 扭只二长花岗斑岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄谐和图

Fig.3 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams of the Niuzhi monzogranite porphyry

表2 扭只二长花岗斑岩主量元素(%)和微量元素(10⁻⁶)分析数据

Table 2 Major (%) and trace element (10⁻⁶) compositions of the Niuzhi monzogranite porphyry

样号	PM3301	PM330	PM3304	PM3305	PM3306	PM3307	PM3308	PM3310	PM3310	PM3312
	H1	2H1	H1	H1	H1	H1	H1	H1	H2	H1
SiO ₂	52.7	72	51.56	71.60	70.96	69.54	70.6	70.98	71.40	70.16
Al ₂ O ₃	19.60	15.10	18.70	15.05	15.10	14.85	15.30	15.10	14.90	14.85
Fe ₂ O ₃	3.39	1.17	6.21	1.63	2.10	0.26	1.27	2.06	1.38	0.59
FeO	4.69	1.19	5.14	1.34	0.89	2.31	1.71	0.89	1.42	2.16
P ₂ O ₅	0.063	0.090	0.161	0.112	0.083	0.087	0.088	0.059	0.054	0.085
K ₂ O	0.26	2.19	0.68	1.45	1.87	1.44	1.89	1.75	1.39	1.39
Na ₂ O	2.18	3.54	4.22	5.09	4.07	5.91	5.23	4.66	4.71	5.47
MgO	2.67	0.76	3.06	0.71	0.69	0.77	0.79	0.67	0.63	0.9
CaO	8.93	0.32	3.34	0.38	0.19	1.49	0.39	0.36	0.09	1.54
TiO ₂	0.66	0.40	1.59	0.39	0.40	0.39	0.40	0.41	0.40	0.39
MnO	0.152	0.051	0.156	0.077	0.048	0.078	0.082	0.057	0.045	0.099
LoI	4.95	2.73	5.67	2.07	2.76	2.56	2.23	2.39	2.67	2.54
总量	100.24	99.54	100.48	99.90	99.16	99.69	99.98	99.38	99.08	100.18
Q	13.25	42.23	9.97	34.90	39.61	24.66	31.16	35.96	38.37	27.91
An	45.11	1.03	16.41	1.18	0.42	7.03	1.39	1.45	0.10	7.26
Ab	19.38	0.95	37.76	44.05	35.76	51.49	45.27	40.69	41.35	47.41
Or	1.61	13.37	4.25	8.76	11.48	8.76	11.43	10.67	8.52	8.41
C	0	6.76	5.64	4.79	6.47	1.10	4.25	5.19	5.82	1.79
Di	0.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hy	15.06	3.29	16.69	3.52	3.56	5.60	3.64	3.37	3.26	5.38
Il	1.31	0.79	3.19	0.75	0.78	0.77	0.78	0.79	0.78	0.77
Mt	3.28	1.36	5.70	1.78	1.72	0.39	1.88	1.74	1.66	0.88
Ap	0.15	0.22	0.39	0.27	0.20	0.21	0.21	0.14	0.13	0.20
DI	34.24	86.55	51.98	87.71	86.85	84.91	87.86	87.32	88.24	83.73
SI	20.43	8.61	16.05	6.98	7.24	7.20	7.25	6.74	6.63	8.56
AR	1.19	2.18	1.57	2.47	2.27	2.64	2.66	2.42	2.37	2.44
σ	0.53	1.12	2.33	0.48	1.40	2.00	0.82	1.45	0.29	11.00
NK	2.44	5.73	4.90	6.54	5.94	7.35	7.12	6.41	6.10	6.86
A/CNK	0.975	1.721	1.360	1.415	1.666	1.061	1.347	1.478	1.582	1.116
Sc	20.86	7.35	31.25	8.46	7.57	8.04	7.98	8.02	7.03	8.34
Cr	12.49	3.42	4.32	4.43	3.62	6.68	2.78	7.90	2.98	2.33
Co	19.11	1.54	24.33	2.74	3.18	4.22	3.04	3.47	3.69	3.32
Ni	7.07	0.13	2.82	0.65	0.31	4.18	0.06	1.83	0.10	1.10
Zn	51.26	30.49	82.03	45.61	52.09	99.99	63.48	47.77	25.92	51.31
Rb	11.80	65.79	27.32	48.37	51.63	37.87	44.62	51.97	33.46	40.82
Sr	226.70	106.10	220.50	119.90	82.77	208.90	191.20	152.40	74.83	208.30
Cs	1.99	4.58	5.20	2.58	3.97	1.34	1.61	3.96	1.97	1.88
Ba	82.79	544.5	216.8	259.6	289.4	504.0	597.0	456.7	273.4	352.4
Zr	54.35	196.3	124.6	192.4	191.8	193.1	199.1	196.7	192.5	191.1
Ta	0.10	0.54	0.33	0.55	0.54	0.53	0.54	0.56	0.53	0.53
Th	1.29	6.95	2.83	6.83	6.82	6.85	7.18	7.21	6.66	6.95
U	0.35	1.63	0.69	1.60	1.61	1.64	1.69	1.68	1.57	1.60
Hf	1.59	4.68	3.29	4.72	4.64	4.73	4.88	5.12	4.69	4.94
Mo	0.60	2.51	0.77	1.43	0.90	0.70	0.46	0.47	0.70	0.87
W	0.17	0.42	0.68	0.52	0.48	0.45	0.51	0.48	0.29	0.48
Sn	1.26	0.99	3.14	1.46	1.50	2.24	1.02	2.44	1.38	2.99
As	4.61	71.34	14.62	20.94	11.38	10.57	30.74	11.00	6.45	4.02
Sb	0.20	0.71	3.05	0.26	0.42	0.28	1.30	0.27	0.24	0.23
Ag	0.044	0.066	0.094	0.042	0.045	0.042	0.055	0.041	0.068	0.042
Au	0.30	0.30	0.74	0.34	0.30	0.30	0.40	0.30	0.30	0.32
Cu	42.03	5.44	46.76	4.28	4.50	5.76	4.12	4.31	2.46	5.55

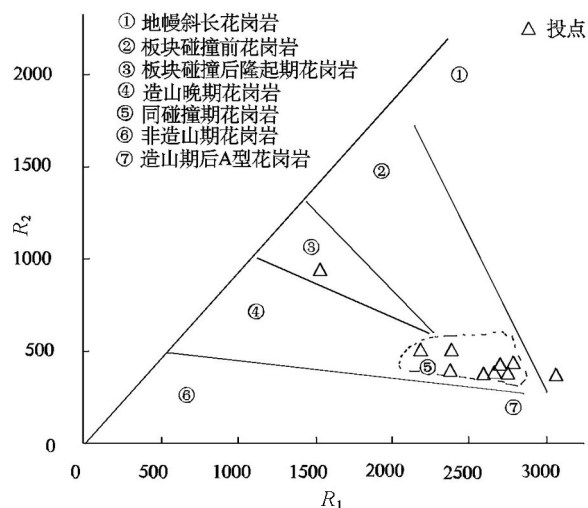


图4 R_1-R_2 图解(底图据文献[25])
Fig. 4 R_1-R_2 diagram (after reference [25])

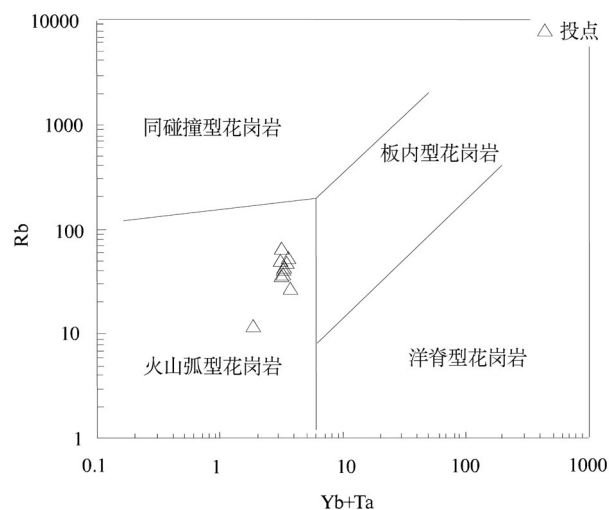


图5 构造环境图解(底图据文献 [26])
Fig. 5 Diagram of tectonic environment (after reference [26])

表3 扭只二长花岗斑岩稀土元素丰度(10^{-6})及主要参数
Table 3 REE analyses of the Niuzhi monzogranite porphyry (10^{-6})

样号	PM330 1H1	PM3302 H1	PM3304 H1	PM3305 H1	PM3306 H1	PM3307 H1	PM3308 H1	PM3310 H1	PM3310 H2	PM3312 H1
La	5.21	20.78	11.84	22.04	23.37	19.54	21.41	22.13	18.97	21.14
Ce	10.77	34	24.43	41.02	36.78	36.59	37.69	37.22	32.74	36.61
Pr	1.46	4.20	3.47	4.29	5.33	4.07	4.60	4.48	4.11	4.35
Nd	6.72	14.94	15.19	14.96	20.53	14.12	17.04	16.38	15.06	15.61
Sm	1.94	3.11	4.23	3.06	4.71	3.2	3.84	3.52	3.07	3.33
Eu	0.6	0.89	1.44	1.08	1.16	0.81	0.98	0.97	0.73	0.88
Gd	2.23	3.06	4.49	3.13	4.74	3.09	3.55	3.35	2.89	3.44
Tb	0.43	0.53	0.88	0.49	0.78	0.56	0.66	0.59	0.49	0.58
Dy	2.74	3.51	5.69	3.19	4.92	3.61	4.16	3.93	3.14	3.95
Ho	0.58	0.75	1.15	0.68	0.98	0.78	0.87	0.83	0.67	0.82
Er	1.69	2.33	3.46	2.11	3.0	2.39	2.60	2.50	2.10	2.48
Tm	0.28	0.39	0.55	0.37	0.47	0.41	0.45	0.43	0.37	0.43
Yb	1.77	2.62	3.33	2.52	3.08	2.63	2.87	2.82	2.48	2.75
Lu	0.29	0.47	0.54	0.43	0.55	0.47	0.51	0.52	0.47	0.49
Y	16.79	21.38	32.2	21.48	27.39	21.62	24.01	23.16	17.75	23.6
Σ REE	36.7	91.56	80.7	99.38	110.38	92.28	101.23	99.69	87.29	96.85
LREE	26.7	77.91	60.61	86.45	91.86	78.33	85.56	84.71	74.68	81.92
HREE	10.0	13.66	20.09	12.92	18.52	13.95	15.67	14.98	12.61	14.92
LREE/HREE	2.67	5.71	3.02	6.69	4.96	5.62	5.46	5.65	5.92	5.49
La_N/Yb_N	2.11	5.69	2.55	6.27	5.44	5.32	5.35	5.63	5.48	5.52
δ Eu	0.87	0.87	1.00	1.06	0.74	0.78	0.80	0.85	0.74	0.79
δ Ce	0.94	0.84	0.92	0.97	0.78	0.95	0.89	0.87	0.87	0.89

中,并经历结晶分异。Rb、Ta、Yb等元素趋于富集,显示出相容性。这些元素的变化不仅符合岩浆一般演化规律,而且也表明了各单元之间存在成因联系和演化关系。

岩石稀土元素含量及参数(表3)表明:ΣREE低于世界花岗岩,反映源区稀土亏损的特点;ΣREE平均值为89.61, HREE平均值为14.73, LREE/HREE平均值为5.12。岩石δCe < 1.0; δEu 大多 < 1, 平均值为0.85, 具负铕异常。稀土配分型式(图6)均为富集右倾型。

5 讨论

5.1 扭只二长花岗斑岩形成时代

目前关于哀牢山构造带南段火山岩形成时代的观点还存在争议。云南地矿局(1990)对巴德轰花岗岩体测得黑云母K-Ar年龄为207 Ma及217 Ma^[4];刘翠等(2011)对绿春地区的流纹岩所测年龄为247.3 Ma^[28];云南地矿局(1990)对新安寨花岗岩体研究,认为其侵位于晚三叠世^[4],而刘汇川等(2013)对其进行了修正,认为其侵位于晚二叠世一早三叠世(251.6 Ma)^[29]。本文对哀牢山构造带南段扭只二长花岗斑岩进行的LA-ICP-MS锆石U-Pb定年结果显示其²⁰⁶Pb/²³⁸U加权平均年龄为(263.5 ± 1.7)Ma,说明其侵位于晚二叠世,与刘翠及刘汇川所得结果相近。

5.2 扭只二长花岗斑岩显示的构造意义

目前学术界对昌宁孟连带作为古特提斯洋主

洋的观点比较一致,对其构造演化的各个阶段也做了大量的研究,如Jian^[30]、Li G^[31]等。但是对位于扬子板块和思茅印支板块之间的金沙江—哀牢山—松马构造带,在古生代到早中生代是古特提斯支洋还是弧后盆地还存在争议。刘翠等^[28]认为绿春地区247.3 Ma的流纹岩形成于成熟岛弧向陆陆碰撞过渡的构造环境;Zi J W等^[32]认为金沙江白马雪山的花岗质侵入体(249Ma)是形成于岛弧向弧陆或陆陆碰撞转化的构造环境;刘汇川等^[29]则认为新安寨花岗岩体(251.6Ma)形成于岛弧向陆陆碰撞转化或者陆陆(陆弧)碰撞环境。本文研究的扭只二长花岗斑岩岩体与上述岩体同处于哀牢山构造带中,其形成时代也与之相近,对扭只花岗斑岩体的主量元素组成在花岗岩构造环境判别图上同样投点于碰撞期陆弧环境,说明该岩体形成于岛弧向陆陆碰撞或者陆弧碰撞的构造环境。

前人对哀牢山构造带的古特提斯支洋或弧后盆地做了大量的研究,但在晚古生代到早中生代其构造演化时限仍然不确定。本文研究表明哀牢山支洋或者弧后盆地在古特提斯主洋向思茅印支板块之下俯冲及扬子板块西缘峨眉山地幔柱上侵的动力下,在晚二叠世((263.5±1.7)Ma)可能已经闭合。

6 结论

(1)扭只二长花岗斑岩样品中锆石U-Pb年龄为(263.5±1.7)Ma,即其形成于晚二叠世。

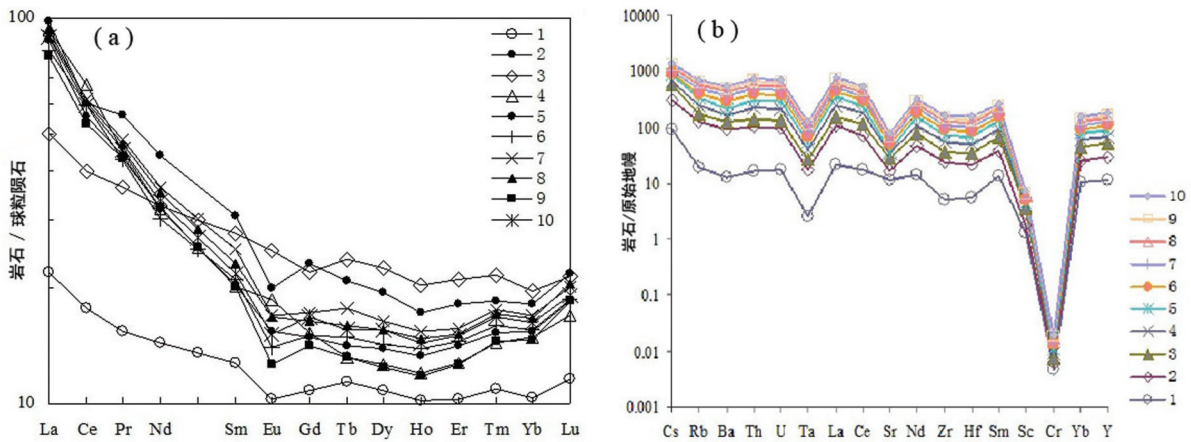


图6 稀土元素配分模式图(a)和原始地幔标准化蛛网图(b)(标准值据文献[27])

Fig.6 Chondrite-normalized REE patterns of Niuzhi monzogranite porphyry (a) and primitive mantle-normalized trace element spider diagram (b)(normalization values after reference[27])

(2) 扭只二长花岗斑岩属过铝饱和型, 形成于岛弧向陆碰撞或者陆弧碰撞的构造环境, 表明哀牢山构造带的古特提斯支洋或弧后盆地在晚二叠世(263.5 ± 1.7 Ma)可能已经闭合。

致谢: 野外工作得到了成都理工大学邓江红、吴德超等教授的大力支持, 论文撰写过程中中国科学院广州地球化学研究所陈新跃博士给予了很多宝贵意见和建议, 在此表示诚挚的感谢。

参考文献(References):

- [1] 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.
Zhong Dalai. The Paleo Tethyan Orogenic Belt in Western Yunnan and Sichuan[M]. Beijing: Science Press, 1998, 1-231(in Chinese with English abstract).
- [2] 方维萱, 胡瑞忠, 谢桂青, 等. 云南哀牢山地区构造岩石地层单元及其构造演化[J]. 大地构造与成矿学, 2002, 26(1): 28-36.
Fang Weixuan, Hu Ruizhong, Xie Guiqing, et al. Tectonolithostratigraphic units of the Ailaoshan area in Yunnan, China and their implications of tectonic evolution[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2002, 26(1): 28-36(in Chinese with English abstract).
- [3] Fan W M, Wang Y J, Zhang F F, et al. Permian arc-back-arc basin development along the Ailaoshan tectonic zone: Geochemical, isotopic and geochronol evidence from the Mojiang volcanic rocks, Southwest china[J]. Lithos, 2010, 119(3/4): 553-568.
- [4] 云南地矿局. 云南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1990: 400-450.
Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Yunnan Province[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1990: 400-450(in Chinese with English abstract).
- [5] 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(D辑), 1993, 23(11): 1201-1207.
Cong Bolin, Wu Genyao, Zhang Qi, et al. Triassic magmatism in the southern Lancangjiang zone, southwestern China and its constraints on the tectonic evolution of Pale-Tethys[J]. Science in China(Series D), 1993, 23(11): 1201-1207(in Chinese).
- [6] Metcalfe I. Paleozoic and Mesozoic tectonic evolution and palaeogeography of East Asia crustal fragments: The Korean Peninsula in context[J]. Gondwana Research, 2006, 9(1/2): 24-46.
- [7] Wang Y J, Zhang A M, Fan W M, et al. Petrogenesis of late Triassic zone, southwest China, and tectonic implications for the evolution of the eastern Paleotethys Geochronological and geochemical constraints[J]. Lithos, 2010, 120(3/4): 529-546.
- [8] Jian P, Liu D Y, Kroner A, Z, et al. Devonian to Permian plate tectonic cycle of the Pale-Tethys Orogen in southwest China(1):

- Geochemistry of ophiolites, arc/back-arc assemblages and within-plate igneous rocks[J]. Lithos, 2009, 113(3/4): 748-766.
- [9] 刘俊来, 唐渊, 宋志杰, 等. 滇西哀牢山构造带: 构造与演化[J]. 吉林大学学报(地球科学报), 2011, 41(5): 1285-1303.
Liu Junlai, Tang Yuan, Song Zhijie, et al. The Ailaoshan belt in western Yunnan: Tectonic framework and tectonic evolution[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2011, 41(5): 1285-1303(in Chinese with English abstract).
- [10] 张玉泉, 夏斌, 梁华英, 等. 云南大平糜棱岩化碱性花岗岩的锆石特征及其地质意义[J]. 高校地质学报, 2004, 10(3): 378-384.
Zhang Yuquan, Xi Bin, Liang Huaying, et al. Characteristics of zircons for dating from Daping mylonitized alkaline granite in Yunnan and their geologic implications[J]. Geological Journal of China Universities, 2004, 10(3): 378-384(in Chinese with English abstract).
- [11] 李宝龙, 季建清, 付孝悦, 等. 滇西点苍山-哀牢山变质岩系锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(10): 207-211.
Li Baolong, Ji Jianqing, Fu Xiaoyue, et al. Zircon SHRIMP dating and its geological implications of the metamorphic rocks in Ailao-Diancang Mountain Ranges, west Yunnan[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(10): 207-211(in Chinese with English abstract).
- [12] 张旗, 潘国强, 李承东, 等. 花岗岩构造环境问题: 关于花岗岩研究的思考之三[J]. 岩石学报, 2007, 23(11): 2683-2698.
Zhang Qi, Pan Guoqiang, Li Chengdong, et al. Are discrimination diagrams always indicative of correct tectonic settings of granites: Some crucial questions on granite study(3)[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(11): 2683-2698(in Chinese with English abstract).
- [13] 吴福元, 李献华, 郑永飞, 等. Lu-Hf 同位素体系及其岩石学应用[J]. 岩石学报, 2007, 23(2): 185-220.
Wu Fuyuan, Li Xianhua, Zheng Yongfei, et al. Lu-Hf isotopic systematics and their applications in petrology[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(2): 185-220(in Chinese with English abstract).
- [14] 王洪亮, 何世平, 陈隽璐, 等. 北秦岭西段胡店片麻状二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其地质意义[J]. 中国地质, 2007, 34(1): 17-25.
Wang Hongliang, He Shiping, Chen Junlu, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Hudian gneissic monzogranite in the western segment of the North Qinling and its geological significance[J]. Geology in China, 2007, 34(1): 17-25(in Chinese with English abstract).
- [15] 赵海杰, 毛景文, 叶会寿, 等. 陕西黄龙铺地区碱性花岗斑岩及辉绿岩的年代学与地球化学: 岩石成因及其构造环境示踪[J]. 中国地质, 2010, 37(1): 12-27.
Zhao Haijie, Mao Jingwen, Ye Huishou, et al. Geochronology and geochemistry of the alkaline granite porphyry and diabase dikes in Huanglongpu area of Shaanxi Province: Petrogenesis and

- implications for tectonic environment[J]. *Geology in China*, 2010, 37(1):12-27(in Chinese with English abstract).
- [16] 费光春, 温春齐, 王成松, 等. 西藏墨竹工卡县洞中拉铅锌矿床花岗斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J]. *中国地质*, 2010, 37(2): 470-476.
- Fei Guangchun, Wen Chunqi, Wang Chengsong, et al. Zircon SHRIMP U-Pb age of porphyry granite in the Dongzhongla lead-zinc deposit, Maizhokungar County, Tibet[J]. *Geology in China*, 2010, 37(2): 470-476(in Chinese with English abstract).
- [17] 邹光富, 林仕良, 李再会, 等. 滇西澜西邦木二长花岗岩 SHRIMP 锆石U-Pb 年龄及其构造意义[J]. *中国地质*, 2011, 38(1): 77-85.
- Zou Guangfu, Lin Shiliang, Li Zaihui, et al. SHRIMP Zircon U-Pb dating of Bangmu admellite in Luxi, western Yunnan, and its tectonic implications[J]. *Geology in China*, 2011, 38(1):77-85(in Chinese with English abstract).
- [18] 董云鹏, 朱炳泉, 常向阳, 等. 哀牢山缝合带中两类火山岩地球化学特征及其构造意义[J]. *地球化学*, 2000, 29(1): 6-13.
- Dong Yunpeng, Zhu Bingquan, Chang Xiangyang, et al. Geochemistry of the tow-type volcanic rocks from Ailaoshan suture zone and their tectonic implication[J]. *Geochimica*, 2000, 29(1) : 6-13(in Chinese with English abstract).
- [19] Jackson S E, Pearson N J, Criffin W L et al. The application of laser ablation of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology[J]. *Chemical Geology*, 2004, 211(1/2):47-69.
- [20] Andersent T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report Pb-204[J]. *Chemical Geology*, 2002, 192(1/2):59-79.
- [21] Ludwig K R. *Sqind 1.02:A user manual*. Berkeley[M]. Berkeley Geochronological Cener Special publication, 2001: 1-219.
- [22] Li X H, Qi C S, Liu Y, et al. Petrogenesis of the Neoproterozoic bimodal volcanic rocks along the western margin of the Yangtze Block: New constraints from Hf isotopes and Fe/Mn rations[J]. *Chinese Science Bull.*, 2005, 50: 2481-2486.
- [23] 刘颖, 刘海臣, 李献华. 用 ICP-MS 准确测量岩石样品中的 40 余种微量元素[J]. *地球化学*, 1996, 25(26): 552-558.
- Liu Ying, Liu Haichen, Li Xianhua. Simultaneous and precise determination of 40 trace elements in rock samples using ICP-MS[J]. *Geochemistry*, 1996, 25(26): 552-558(in Chinese with English abstract).
- [24] 黎彤, 饶纪龙. 论化学元素在地壳及其基本构造单元中的丰度[J]. *地质学报*, 1965, 45(1): 82-97.
- Li Tong, Rao Jilong. The abundance of chemicalelements in the earth's crust and its majpr tectonic units[J]. *Acta Geologica Sinca*, 1965, 45(1): 82-97(in Chinese with English abstract).
- [25] Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters[J]. *Chemistry Geology*, 1985, 50: 63-81.
- [26] Pearce J A, Harris N B L and Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25:956-983.
- [27] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 1989, 42(1): 313-345.
- [28] 刘翠, 邓晋福, 刘俊来, 等. 哀牢山构造岩浆带晚二叠世一早三叠世火山岩特征及其构造环境[J]. *岩石学报*, 2011, 27(12):3599-3602.
- Liu Cui, Deng Jinfu, Liu Junlai, et al. Characteristics of volcanic rocks from Late Permian to Early Traissic in Ailaoshan tectono-magmatic belt and implications for tectonic settings[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(12):3599-3602(in Chinese with English abstract).
- [29] 刘汇川, 王岳军, 蔡永丰, 等. 哀牢山构造带新安寨晚二叠世末期过铝质花岗岩锆石U-Pb 年代学及 Hf 同位素组成研究[J]. *大地构造与成矿学*, 2013, 37(1):87-98.
- Liu Huichuan, Wang Yuejun, Cai Yongfeng, et al. Zircon U-Pb geotectonica and Hf isotopic composition of the Xin'anzhai granite along the Ailaoshan tectonic zone in west Yunnan Province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2013, 37(1): 87-98 (in Chinese with English abstract).
- [30] Jian P, Liu D Y, Kroner A, et al. Devonian to Permian plate tectonic cycle of the Paleo-Tethys Orogen in southwest China (II): Geochemistry of ophiolites, arc/back-arc assemblages and within-plate igneous rocks and generation of the Emeishan CFB province[J]. *Lithos*, 2009, 113(3/4): 767-784.
- [31] Li G Z, Li C S, Ripley M E, et al. Geochronology, petrology and geochemistry of the Nanlinshan and Banpo mafic-ultramafic intrusions: Implications for subduction initiation in the eastern Paleo-Tethys[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2012, 164 (5): 773.
- [32] Zi J W, Cawood P A, Fan W M, et al. Generation of Early Indosinian enriched mantle-derived granitoid pluton in the Sanjiang Orogen(SW China) in response to closure of the Paleo-Tethys[J]. *Lithos*, 2012, 140(5): 166-182.