

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^{*}

王硕¹ 董国臣^{1**} 莫宣学^{1,2} 赵志丹^{1,2} 朱弟成^{1,2} 孔会磊¹ 王霞¹ 聂飞¹

WANG Shuo¹, DONG GuoChen^{1**}, MO XuanXue^{1,2}, ZHAO ZhiDan^{1,2}, ZHU DiCheng^{1,2}, KONG HuiLei¹, WANG Xia¹ and NIE Fei¹

1. 中国地质大学, 北京 100083

2. 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, Beijing 100083, China

2011-04-20 收稿, 2011-07-10 改回.

Wang S, Dong GC, Mo XX, Zhao ZD, Zhu DC, Kong HL, Wang X and Nie F. 2012. Petrological and geochemical characteristics, Ar-Ar geochronology study and their tectonic significance of Triassic volcanic rocks in southern Lancangjiang zone. *Acta Petrologica Sinica*, 28(4):1148–1162

Abstract Triassic volcanic rocks are widespread in southern Lancangjiang zone of Sanjiang area. Middle-Late Triassic volcanic sequences exposed in full in Yunxian area in the north of southern Lancangjiang zone, can be divided into three formations as Middle Triassic Manghuai Formation (T_2m), Late Triassic Xiaodingxi Formation (T_3x) and Late Triassic Manghuihe Formation (T_3mh) from the bottom to up. Acid volcanics mainly erupted in Manghuai Formation, formed a rhyolite and pyroclastic rock assemblage. Xiaodingxi Formation developed basic-intermediate lavas mixed with pyroclastic rocks. Rhyolite pyroclastic rocks and basalt coexist in Manghuihe Formation, showed “bimodal” volcanic features. Geochemical characteristics indicate that Triassic volcanic rocks from southern Lancangjiang zone have dual characteristics of arc volcanic rocks and continental intraplate volcanic rocks, suggesting that their formation environment is transition-type continental margin orogenic belts. Ar-Ar dating is carried on quartz andesite collected from Jinghong in the south of southern Lancangjiang zone and yields the plateau age of 236.7 ± 2.2 Ma, which belong to Middle Triassic. With the dating results, the main collision stage of Lancang River is inferred in Early Triassic. Middle Triassic and early Late Triassic are respectively the stress relaxation stage after collision and continued subduction stage of oceanic basin. Until the end of Late Triassic, subduction ended, Lancang River Ocean closed.

Key words Triassic; Arc volcanic rocks; Geochemistry; Ar-Ar plateau age; Southern Lancangjiang zone

摘 要 滇西三江地区澜沧江南带广泛发育三叠纪火山岩。在北部云县一带,中晚三叠世火山岩出露齐全,自下而上可划分为中三叠统忙怀组(T_2m),上三叠统小定西组(T_3x)和上三叠统芒汇河组(T_3mh)。忙怀组以酸性火山岩为主,为一套流纹岩夹火山碎屑岩组合;小定西组发育为中基性火山熔岩夹火山碎屑岩;芒汇河组具有流纹质火山碎屑岩与玄武岩共存的“双峰式”火山岩特征。地球化学特征表明,南澜沧江带三叠纪火山岩具有弧火山岩与大陆板内火山岩的双重属性,推测其形成环境为过渡型的大陆边缘造山带环境。对南澜沧江带南部景洪附近采集到的石英安山岩样品进行 Ar-Ar 年龄测试,得到的坪年龄为 236.7 ± 2.2 Ma,为中三叠世。结合火山岩年代学结果,推测澜沧江洋主碰撞期为早三叠世,中三叠世与晚三叠世早期分别为碰撞后的应力松弛阶段与洋盆继续俯冲期,到晚三叠世末期,俯冲作用结束,澜沧江洋关闭。

关键词 三叠纪;弧火山岩;地球化学;Ar-Ar 坪年龄;澜沧江南带

中图法分类号 P588.14; P597.3

^{*} 本文受国家重点基础研究发展规划项目(2009CB421002)、111 计划项目(B07011)、长江学者和创新团队发展计划(IRT1083)及中国地质调查局研究项目(1212011220920)联合资助。

第一作者简介: 王硕,女,1984 年生,硕士生,矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: sure4322@163.com

**** 通讯作者:** 董国臣,男,1962 年生,博士,教授,主要从事岩石学及矿床学研究, E-mail: donggc@cugb.edu.cn

1 引言

西南“三江”地区地跨滇西、川西、藏东及青海南部,包括青藏高原东部和云贵高原西部,面积约 50 万平方千米(李文昌等,2010)。在构造上,位于古特提斯构造域东段,冈瓦纳大陆与劳亚大陆(扬子陆块)的结合部(李兴振等,1999)。特提斯的形成演化、印度-欧亚大陆的碰撞及青藏高原的隆升过程使这一地区形成了极其复杂的地质环境。

澜沧江南带位于我国三江地区中南段,带内广泛发育二叠-三叠纪岩浆岩,主要由临沧花岗岩体和三叠纪火山岩系组成(图 1a)。关于澜沧江南带的火山岩系,前人做过大量研究,较为集中的观点是澜沧江南带火山岩系西侧的昌宁-孟连蛇绿混杂岩带代表了古特提斯主支——澜沧江洋的遗迹,而澜沧江南带火山岩系正是与其相配置的火山弧,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)。对于带内大规模出露的三叠纪火山岩,前人的研究主要集中于地层接触关系、岩石(相)学、地球化学等,对火山岩的年代学研究不够。个别地区(邦沙一带)的火山岩形成时代也有分歧。针对以上问题,本文对澜沧江南带的三叠纪火山岩进行归纳及研究。

2 区域地质背景

三江地区地质构造复杂,岩浆活动强烈。莫宣学等(1998)根据三江地区岩浆活动与大地构造演化及其时空分布与各大构造单元之间的关系,将三江地区划分为 12 个构造岩浆带(刘增乾等,1993),澜沧江南带位于其中的杂多-景洪构造岩浆带的南段,西侧毗邻澜沧江洋脊-准洋脊型火山岩-蛇绿岩带(图 1b)。

澜沧江南带的地质背景较为复杂。以断裂构造最为发育,其中规模较大的是澜沧江和酒房两个断裂带。在澜沧江断裂西侧,出露了规模巨大的临沧复式花岗岩基及一些规模较小的岩体。

带内火山岩分布极其广泛,形成时代漫长,元古代、晚古生代到中生代火山岩均有出露。元古代火山岩仅见于澜沧江断裂西侧的中元古界大勐龙群与澜沧群,已不同程度地变质。晚古生代火山岩分为石炭纪与二叠纪两个时期。上石炭统火山岩主要出露于酒房断裂以东的大凹子和龙洞河一带,为一套细碧-角斑岩系。区内未见中石炭统。二叠纪火山岩在澜沧江南段零星出露,如云县东侧的小定西-崧里一带,景谷岔河、茂密河等地(沈上越等,2006;张保民等,2004a, b),常与三叠纪火山岩相伴出现,具有石英拉斑玄武岩-玄武安山岩-安山岩-英安岩-流纹岩及其火山碎屑岩的岩石组合。中生代火山岩在澜沧江南带分布非常广泛,由北至南贯通全区,主要发育中、上三叠统。

3 三叠纪火山岩及其岩石学特征

三叠纪火山岩在研究区内广泛发育,从云县-民乐到景洪-勐腊,由北向南贯穿整个南澜沧江带。火山岩系的厚度自北而南呈波浪起伏式变化,北部云县一带厚度最大,向南呈减小、增加再减小的趋势(朱勤文和何昌祥,1990^①)。带内早三叠世火山岩普遍缺失。中三叠世火山岩在云县大村、景谷民乐、思澜公路沿澜沧江两岸均表现为一套酸性火山岩,但民乐剖面顶、底的中性火山岩较为特殊。晚三叠世火山岩以基性、中基性占绝对优势,但北段(文玉及其以北)富钾,为高钾钙碱性系列和钾玄岩系列(朱勤文,1999),中南段则富钠,为低-中钾钙碱性系列,从而构成一个复合弧火山岩带(莫宣学等,1998)。

在南澜沧江带北部云县一带,发育最大厚度可达 8000m 的三叠纪火山岩(莫宣学等,1998;云南省地质矿产局,1990)。早三叠世火山岩缺失,中晚三叠世火山岩出露较为齐全,构成一个完整的火山岩地层层序,自下而上可划分为中三叠统忙怀组(T_2m),上三叠统小定西组(T_3x)和上三叠统芒汇河组(T_3mh)。本次工作在原有云县剖面(云南省地质矿产局,1990)基础上,对忙怀-小定西一带三叠纪火山岩进行了剖面修测(图 2),并依据剖面绘制了岩性柱状图(图 3)。

云县三叠纪火山岩系与下伏前三叠系地层呈不整合接触,又被下、中侏罗统复成分砾岩和紫红色泥岩不整合上覆(云南省地质矿产局,1990;赵大升等,1994),火山岩系内各组之间呈整合或假整合接触。中三叠统忙怀组以酸性火山岩为主,为一套总厚度约 2000m 的流纹岩夹火山碎屑岩组合,火山碎屑岩的比例约占 20%。岩石类型有高钾流纹岩、英安岩、石英斑岩、流纹质火山角砾岩、流纹质凝灰岩、流纹质凝灰熔岩、流纹质熔结凝灰岩等。

忙怀组流纹岩均为高钾流纹岩,岩石颜色为灰绿和灰白相间出现,主要为块状构造,斑状结构,斑晶为石英,个别含少量黑云母,基质为隐晶质。石英斑晶含量 40% ~ 50%,粒度变化范围较大,小的 0.1 ~ 0.2mm,大者可达 2.5mm,熔蚀现象明显(图 4a)。部分流纹岩绿泥石化现象明显(图 4b)。

上三叠统小定西组为一套灰绿色、黑绿色的中基性火山熔岩夹火山碎屑岩,总厚度 2000 余米,其中火山碎屑岩的比例约为 20%。岩性主要为玄武岩、玄武粗安岩、玄武安山岩、安山岩、粗安岩、玄武质凝灰岩、玄武质角砾凝灰岩、变质晶岩屑火山碎屑岩等。

云县小定西组的玄武安山岩为块状构造,斑状结构,斑晶主要为斜长石,粒度可达 0.5 ~ 1mm,含量约 10%,发生绢

① 朱勤文,何昌祥. 1990. 滇西南澜沧江带三叠纪火山岩系及其大地构造意义. “七五”地矿部重点科技攻关项目研究成果报告. 中国地质大学(武汉)岩石教研室和云南省地矿局区调队

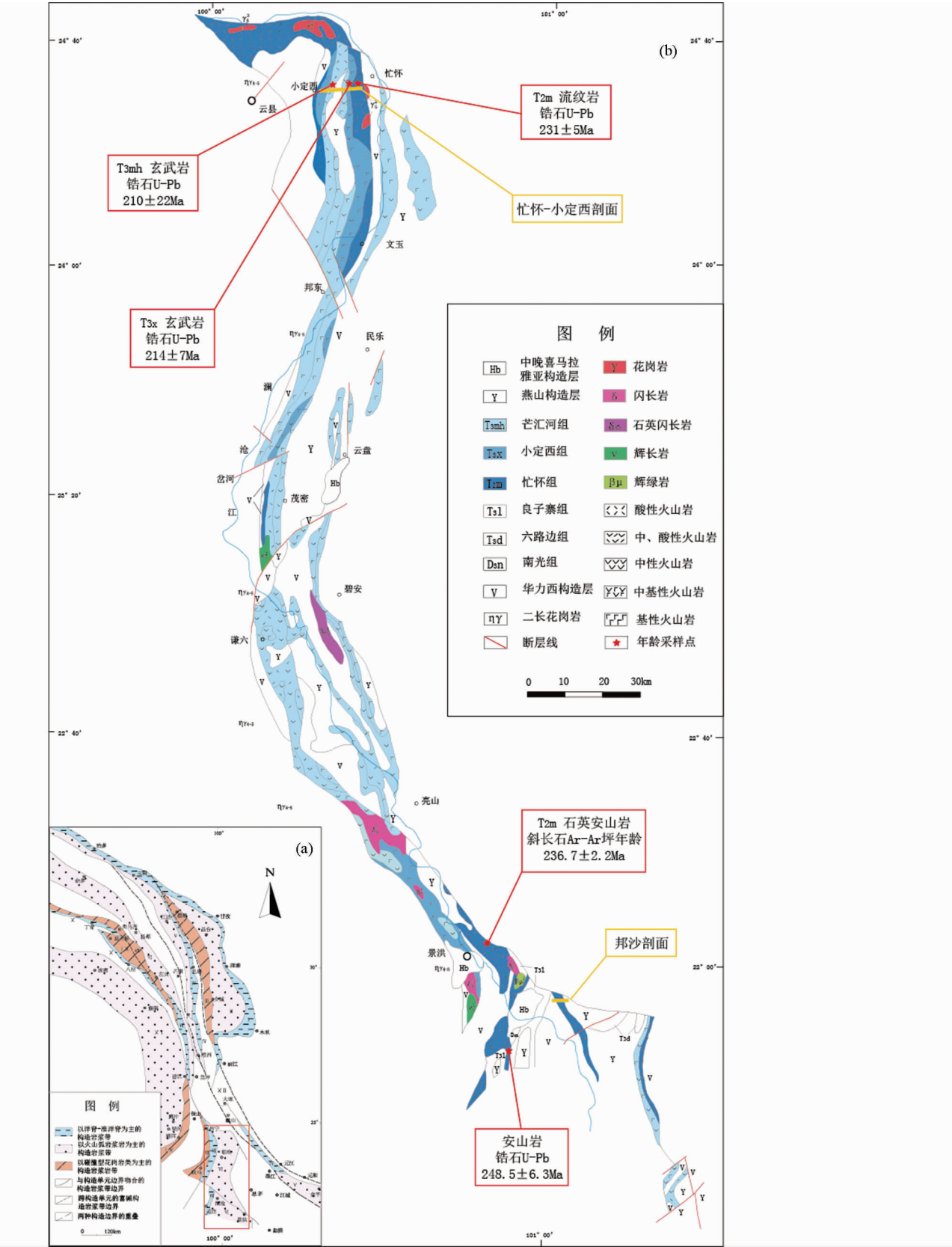


图1 三江地区构造-岩浆岩带划分图(a,据刘增乾等,1993)和澜沧江南带三叠纪火山岩分布简图(b)
Fig.1 Division of tectono-magmatic zones in the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang area (a, after Liu *et al.* , 1993) and sketch geological map showing the distribution of Triassic volcanic rocks in southern Lancangjiang zone (b)

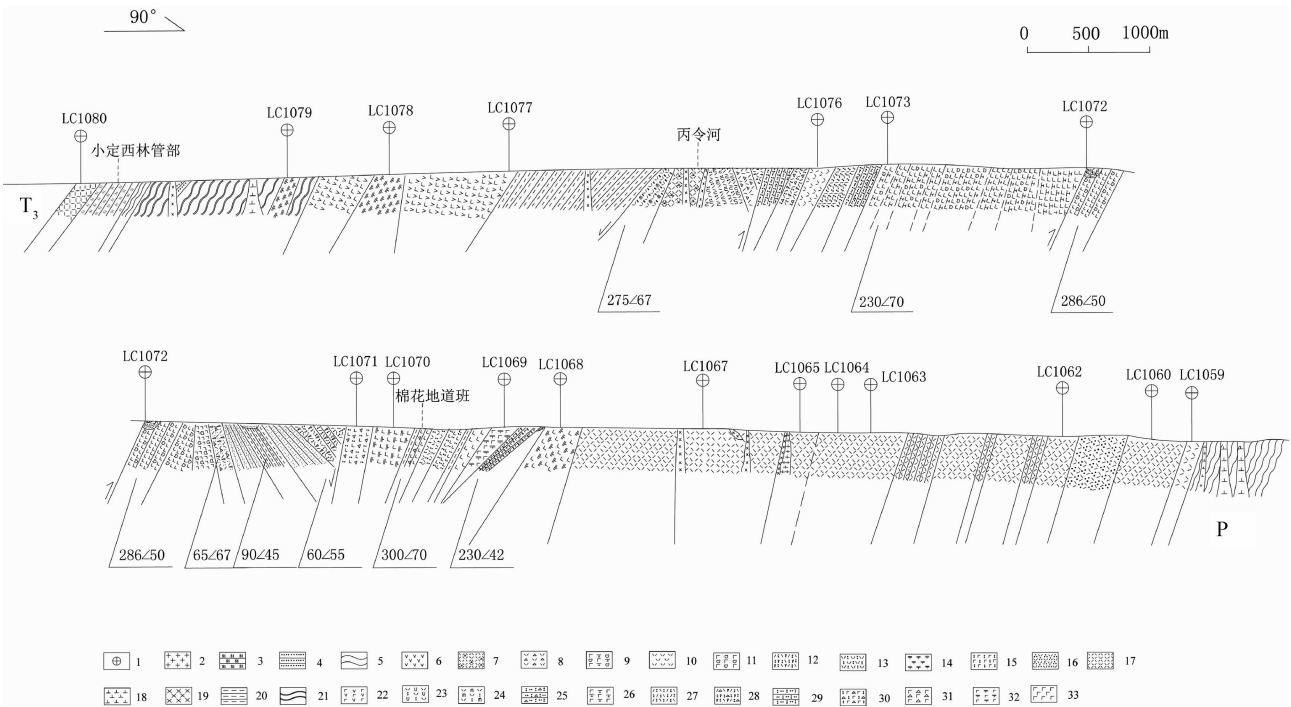


图2 云县三叠纪火山岩剖面图

1-采样点;2-花岗岩;3-硅质岩;4-砂岩;5-片岩;6-安山岩;7-高钾流纹岩;8-流纹质火山角砾岩;9-杏仁粗面玄武岩;10-英安岩;11-杏仁玄武岩;12-流纹质晶屑岩屑凝灰岩;13-英安质凝灰岩;14-粗安岩;15-玄武质凝灰岩;16-石英斑岩;17-流纹岩;18-闪长岩;19-辉绿岩;20-页岩;21-板岩;22-玄武安山岩;23-流纹质凝灰熔岩;24-流纹质熔结凝灰岩;25-含砾凝灰质粉砂岩;26-粗面玄武岩;27-流纹质凝灰岩;28-角砾流纹质晶岩屑凝灰岩;29-凝灰质砂岩;30-玄武质角砾凝灰岩;31-玄武质角砾熔岩;32-玄武粗安岩;33-玄武岩

Fig.2 Section profile of Triassic volcanic rocks in Yunxian

云母化蚀变。基质为间粒结构,条状斜长石格架中充填金属矿物,基质中斜长石粒度在0.2mm左右。绿泥石化现象普遍,充填于缝隙间,含量约30%。可见后期充填的碳酸盐矿物(图4c)。

上三叠统芒汇河组最大厚度可达3500余米,分为下、中、上三段,下段主要为紫红色流纹质凝灰岩、流纹质晶屑岩屑凝灰岩与紫色凝灰质砂岩互层,中段为灰色、灰绿色粗面玄武岩与紫灰色杏仁粗面玄武岩互层,上段以紫红色流纹质凝灰岩、紫红色英安岩、紫灰色含砾凝灰质砂岩为主。芒汇河组火山岩显示出“双峰式”特征。

芒汇河组中段的粗面玄武岩总厚度一千余米,包含至少六次韵律。岩石呈斑状结构,斑晶为斜长石和橄榄石,基质为间粒结构,斜长石格架间充填细小橄榄石颗粒。斜长石斑晶含量5%~10%,板状,长轴0.5~1.5mm。橄榄石斑晶含量约为5%,多数发生伊丁石化(图4d)。

4 地球化学特征

云县地区火山岩的主量元素分析结果(表1)表明,样品SiO₂含量集中于46.05%~54.50%和67.85%~77.34%两个区域,缺乏中性火山岩,总体上显示出“双峰式”特征。云

县火山岩样品的Al₂O₃含量较高,集中在11.60%~18.26%,平均值为14.79%。TiO₂含量偏低,为0.17%~2.23%,平均值为0.87%。云县火山岩样品这种低TiO₂、高Al₂O₃含量的特点也显示出弧火山岩的特性(邓晋福等,2004)。

从火山岩样品的TAS图解(图5a)中可以看到,云县忙怀组火山岩绝大多数集中在流纹岩区域,其中一个样品落在英安岩区域;小定西组样品主要落在玄武粗安岩、玄武岩及玄武安山岩区域内;芒汇河组火山岩样品分为基性和酸性两个区域,基性岩样品落在粗面玄武岩和玄武岩区域,酸性岩样品落在流纹岩与英安岩区域。

在岩浆K₂O-SiO₂系列图解(图5b)中,火山岩样品分布较为分散,从低钾拉斑-钙碱性-高钾钙碱性到钾玄岩系列均有分布,这种火山岩组合与碰撞后产生的岩浆组合特征相似(Harris *et al.*, 1986)。

在Harker图解(图6)中,火山岩具有较好的同源岩浆演化分异趋势。TiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃^T、Na₂O、CaO、MgO、P₂O₅均与SiO₂呈负相关关系,只有K₂O与SiO₂呈正相关关系。其中,TiO₂、Fe₂O₃^T、MgO与SiO₂的样品较集中且线性关系非常良好。这些趋势表明,橄榄石、斜长石和铁钛氧化物等的分离结晶作用对岩浆演化可能起了重要作用,这与岩石中含橄

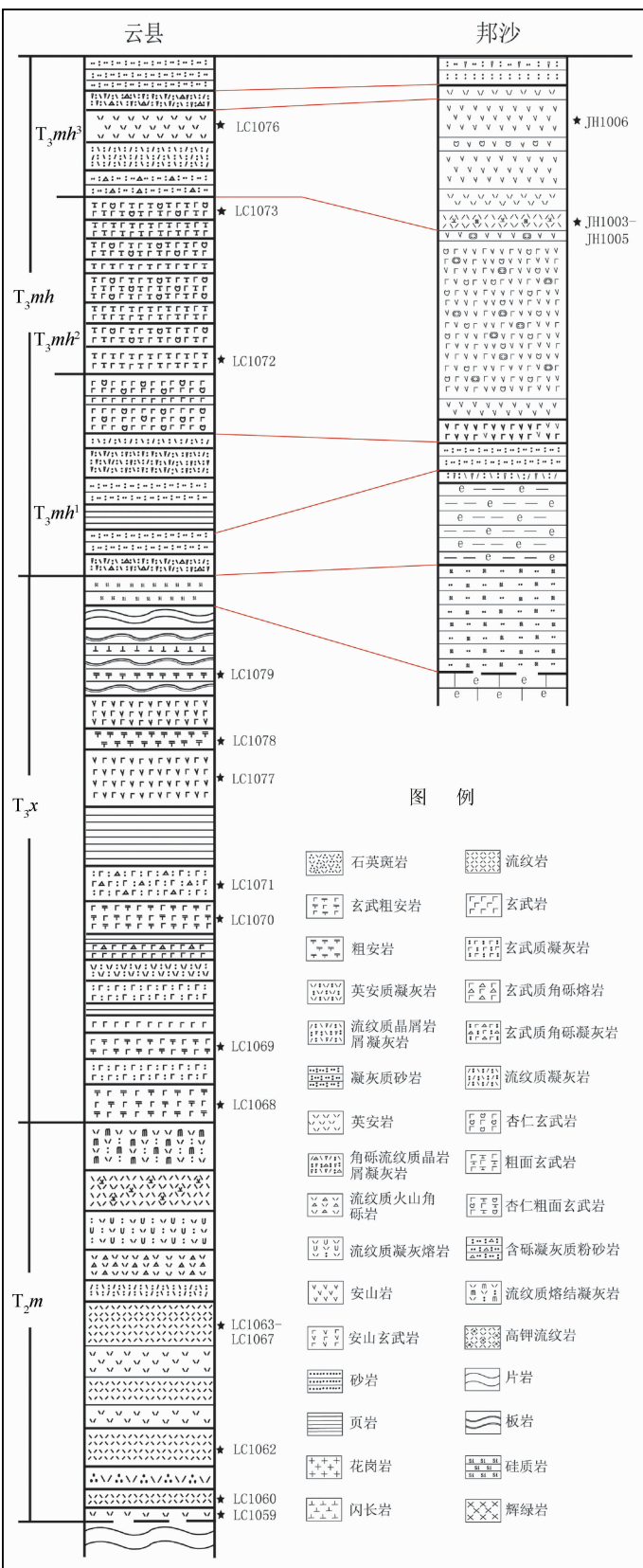


图3 云县三叠纪火山岩剖面与邦沙剖面对比图
Fig.3 Contrast between Yunxian Triassic volcanic section and Bangsha section

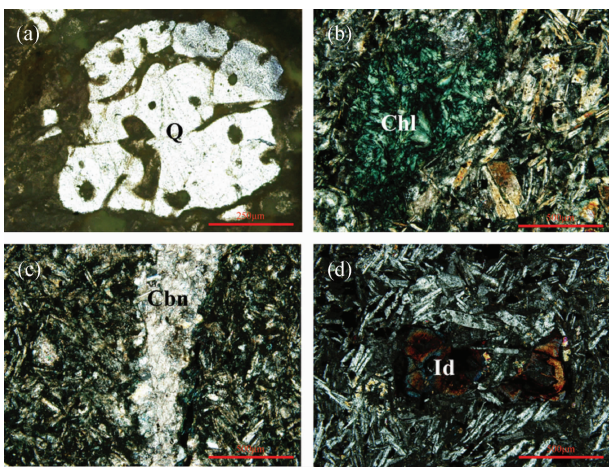


图4 云县三叠纪火山岩镜下特征
(a)-流纹岩中石英斑晶的溶蚀现象;(b)-流纹岩的绿泥石化;
(c)-玄武安山岩中后期充填的碳酸盐岩矿物;(d)-粗面玄武岩中橄榄石的伊丁石化。Q-石英;Chl-绿泥石;Cbn-碳酸盐岩矿物;Id-伊丁石
Fig. 4 Photomicrographs of Triassic volcanic rocks in Yunxian
(a)-corrosion of quartz spot brilliant in rhyolite; (b)-chloritization of rhyolite; (c)-carbonatite minerals filled late in basaltic andesite; (d)-iddingsitization of olivine in trachybasalt. Q-quartz; Chl-chlorite; Cbn-carbonate minerals; Id-iddingsite

榄石、斜长石等主要斑晶,磁铁矿、磷灰石为副矿物的岩相学观察一致。

火山岩的微量元素分析(表1)表明,样品稀土总量在 $80.20 \times 10^{-6} \sim 264.0 \times 10^{-6}$ 之间, $(La/Yb)_N$ 为 5.23 ~ 22.00,平均为 11.46。球粒陨石标准化稀土配分模式图(图7a)中,该区火山岩轻稀土中等富集,重稀土相对亏损;轻重稀土之间有较为明显的分异,其中轻稀土之间的分异较强($(La/Sm)_N = 3.84$),重稀土之间的分异不明显($(Gd/Yb)_N = 1.97$);具有Eu负异常($\delta Eu = 0.71$)。

原始地幔标准化的微量元素蛛网图(图7b)显示,元素Pb强烈富集,丰度约为原始地幔的10000倍。高场强元素Nb、Ta相对亏损,元素Sr明显亏损,仅为原始地幔丰度的1~10倍。

5 Ar-Ar 年代学

5.1 分析方法

将本次野外工作在景洪东北约5km处(见图1)采集的中三叠统忙怀组石英安山岩样品(JH1001)进行Ar-Ar年龄测试。将样品破碎至40~60目,挑选出斜长石单矿物。选纯的矿物(纯度>99%)用超声波清洗。清洗后样品被封进石英瓶中送核反应堆中接受中子照射。照射工作是在中国原子能科学研究所的“游泳池堆”中进行的,使用B4孔道,中

表 1 澜沧江南带三叠纪火山岩常量元素 (wt%)、稀土和微量元素 (×10⁻⁶) 数据表

Table 1 Major (wt%) and trace element (×10 ⁻⁶) analytical data for Triassic volcanic rocks from southern Lancangjiang zone										
样品号	YX1059	YX1060	YX1061	YX1062	YX1063	YX1064	YX1065	YX1066	YX1067	YX1080
岩性	流纹岩									
地层	T ₂ m									
SiO ₂	69.11	70.43	76.51	67.85	68.76	71.70	69.73	72.97	68.84	77.34
TiO ₂	0.68	0.36	0.29	0.45	0.52	0.39	0.44	0.45	0.38	0.17
Al ₂ O ₃	12.73	12.95	13.31	14.37	14.74	13.62	13.88	14.67	13.66	11.60
Fe ₂ O ₃ ^T	5.87	2.92	2.50	3.58	3.87	3.40	3.45	3.25	3.45	1.64
MnO	0.07	0.07	0.05	0.08	0.08	0.03	0.08	0.10	0.08	0.02
MgO	2.41	0.87	0.62	1.11	1.03	0.67	1.02	0.75	1.69	0.66
CaO	2.48	1.73	0.20	1.46	1.91	0.39	1.83	0.39	1.72	1.15
Na ₂ O	2.05	3.40	0.06	3.95	4.75	3.83	4.08	0.05	3.23	2.81
K ₂ O	1.41	3.41	2.72	4.07	3.13	3.32	3.41	3.37	3.49	2.64
P ₂ O ₅	0.15	0.07	0.03	0.11	0.19	0.07	0.09	0.08	0.07	0.07
LOI	2.10	3.09	3.72	3.12	1.53	1.78	1.26	3.87	2.53	1.17
Total	99.06	99.30	100.01	100.16	100.51	99.20	99.27	99.95	99.14	99.28
La	25.4	55.9	45.1	53.9	62.0	45.0	56.6	39.8	36.7	27.5
Ce	53.7	97.8	87.1	99.0	112	87.0	103	81.5	74.0	53.2
Pr	6.30	10.8	9.79	10.9	12.3	9.26	11.4	8.48	8.30	5.86
Nd	24.8	39.7	36.5	40.4	45.5	33.7	42.6	32.0	31.4	21.1
Sm	5.15	7.23	7.21	7.31	8.14	6.11	7.50	5.61	6.12	4.09
Eu	1.08	1.36	0.96	1.69	1.77	1.18	1.68	1.00	0.95	0.76
Gd	5.02	5.93	6.36	6.57	7.11	5.05	6.52	5.00	5.83	3.40
Tb	0.78	0.83	0.98	0.96	1.03	0.73	0.94	0.75	0.91	0.44
Dy	4.79	4.60	5.73	5.36	5.95	4.21	5.74	4.42	5.71	2.20
Ho	0.98	0.88	1.15	1.09	1.10	0.80	1.07	0.87	1.12	0.34
Er	2.74	2.66	3.33	3.12	3.21	2.41	3.15	2.70	3.29	0.88
Tm	0.41	0.41	0.52	0.47	0.47	0.38	0.49	0.43	0.49	0.13
Yb	2.65	2.60	3.41	2.84	2.93	2.32	2.92	2.77	3.09	0.90
Lu	0.39	0.42	0.50	0.44	0.45	0.38	0.44	0.45	0.47	0.15
Be	1.34	2.00	2.14	2.72	2.15	2.09	2.08	3.13	3.03	3.23
Sc	13.5	7.48	7.24	8.86	9.05	7.39	8.39	8.98	6.46	3.97
V	96.7	17.7	18.0	30.7	30.2	23.0	26.8	27.7	26.3	12.6
Cr	67.9	6.62	7.01	10.4	15.3	14.9	17.1	11.3	82.1	19.5
Co	14.4	6.97	5.85	11.5	14.2	8.97	13.4	10.2	11.2	12.4
Ni	32.3	3.51	5.60	4.92	6.08	12.6	12.5	11.6	75.3	15.0
Cu	29.5	3.66	23.6	8.00	4.04	9.86	6.20	3.51	4.55	16.5
Zn	209	68.9	53.2	65.8	81.8	127	97.0	71.0	79.9	90.2
Ga	15.1	16.3	17.5	18.2	19.2	17.7	17.6	20.5	16.9	14.6
Rb	72.7	141	133	151	103	127	119	168	149	117
Sr	103	129	12.2	256	234	198	295	15.2	119	132
Y	28.1	24.7	32.6	30.1	31.4	21.4	30.6	24.3	31.3	9.49
Zr	190	222	190	222	236	216	242	226	165	150
Nb	10.7	23.6	24.4	22.5	25.4	22.3	23.1	24.6	22.0	9.23
Mo	0.32	1.54	1.81	1.63	1.26	2.47	0.50	3.66	0.58	0.27
Cs	5.41	4.58	4.67	3.14	2.37	3.17	2.37	8.58	5.29	3.11
Ba	184	758	127	928	840	868	900	497	618	440
Hf	5.04	6.31	5.69	5.98	6.44	6.04	6.63	6.44	4.95	4.75
Ta	0.83	1.73	1.91	1.52	1.75	1.75	1.68	1.81	1.78	1.91
Pb	263	59.9	29.7	56.8	47.2	874	69.5	68.8	33.9	625
Th	9.75	16.2	17.1	13.9	15.5	15.0	14.9	16.1	16.5	14.6
U	2.26	4.17	4.39	3.56	3.83	3.80	3.61	4.33	4.00	9.38
ΣREE	134.2	231.1	208.7	234.0	264.0	198.6	243.8	185.8	178.4	120.9
(La/Yb) _N	6.89	15.43	9.48	13.63	15.18	13.92	13.91	10.32	8.52	22.00
δEu	0.65	0.63	0.43	0.74	0.71	0.65	0.73	0.57	0.49	0.62

续表 1

Continued Table 1

样品号	YX1068	YX1069	YX1070	YX1077	YX1078	YX1079	YX1072	YX1076	JH1003	JH1005	JH1006
岩性	玄武粗安岩			玄武安山岩		粗安岩	粗面玄武岩	英安岩	流纹岩		安山岩
地层	T ₃ x						T ₃ mh				
SiO ₂	50.13	49.54	51.23	51.77	54.50	53.49	46.05	68.05	86.56	79.38	55.44
TiO ₂	1.43	1.82	1.68	1.16	0.91	1.31	2.23	0.97	0.14	0.39	2.85
Al ₂ O ₃	16.73	16.36	17.26	16.03	18.26	17.77	15.71	12.58	4.92	12.57	14.57
Fe ₂ O ₃ ^T	9.85	11.21	10.43	8.42	10.74	11.27	13.28	6.67	3.9	1.42	13.38
MnO	0.19	0.18	0.21	0.15	0.06	0.07	0.24	0.10	0.01	0.01	0.09
MgO	3.51	4.67	4.63	3.95	4.12	3.03	6.95	1.77	0.76	0.3	2.54
CaO	4.82	5.17	3.39	5.64	0.79	1.71	4.92	1.88	0.23	0.09	1.8
Na ₂ O	4.96	5.03	3.19	3.91	6.25	6.84	4.76	2.27	0.32	0.08	5.32
K ₂ O	2.48	0.46	4.42	1.18	0.94	0.32	0.62	2.01	0.09	2.02	0.23
P ₂ O ₅	0.48	0.52	0.78	0.54	0.34	0.67	0.75	0.39	0.01	0.04	0.33
LOI	5.21	4.94	2.74	6.29	2.99	3.02	4.12	2.37	2.63	3.63	3.39
Total	99.79	99.91	99.95	99.03	99.90	99.53	99.64	99.06	99.57	99.92	99.93
La	17.8	36.9	65.7	55.1	13.3	31.5	31.3	45.7	11.4	42.6	14.9
Ce	44.7	77.3	124	106	29.0	74.4	70.0	80.4	21.4	88.8	34.4
Pr	5.96	9.05	14.3	12.5	3.91	8.92	8.74	9.83	3.39	12.5	5.56
Nd	26.9	37.6	57.0	49.1	16.6	35.1	37.2	39.2	14.8	56.1	26.9
Sm	6.20	7.29	10.3	9.08	3.76	6.56	7.97	7.88	3.74	15.7	7.74
Eu	1.65	2.47	2.56	2.05	0.94	1.29	2.32	1.80	0.7	3.19	2.33
Gd	5.83	6.71	9.34	7.95	3.76	5.69	7.62	7.19	4.74	18.6	8.93
Tb	0.87	0.95	1.34	1.15	0.56	0.81	1.11	1.05	0.89	3.19	1.54
Dy	5.05	5.48	7.69	6.41	3.39	4.41	6.75	6.04	5.93	19.1	9.62
Ho	0.98	1.02	1.38	1.18	0.66	0.81	1.27	1.14	1.24	4.08	1.97
Er	2.65	2.87	4.06	3.25	1.98	2.39	3.54	3.28	3.55	12.1	5.36
Tm	0.36	0.41	0.56	0.42	0.28	0.34	0.51	0.48	0.53	1.85	0.75
Yb	2.21	2.56	3.64	2.73	1.82	2.18	3.16	3.04	3.68	12.2	4.98
Lu	0.33	0.36	0.53	0.41	0.28	0.32	0.46	0.44	0.58	1.87	0.77
Be	2.03	1.43	2.16	2.39	1.28	1.44	2.90	1.99	0.63	1.94	1.48
Sc	19.6	23.4	21.4	17.5	15.2	16.3	28.4	15.1	2.33	5.43	39.3
V	152	165	166	155	123	135	235	59.4	8.79	5.14	423
Cr	97.1	62.6	65.5	33.4	38.4	42.2	240	57.0	36.7	4.03	11.2
Co	24.4	22.2	25.3	20.5	20.2	21.3	42.8	17.5	9.17	3.84	33.5
Ni	49.4	15.5	25.6	18.1	31.9	23.3	109	26.0	40.8	5.7	17.6
Cu	19.5	27.5	20.2	5.78	4.09	70.7	13.2	6.34	12	2.44	17.1
Zn	345	159	520	163	53.5	86.4	215	98.2	43.3	82.9	153
Ga	18.9	19.6	19.7	19.4	21.7	20.8	19.3	15.9	5.18	24.8	21.1
Rb	94.4	11.1	128	61.1	38.1	11.5	12.7	119	3.23	41.5	5.8
Sr	155	344	311	386	66.9	228	192	233	11.4	14.4	233
Y	28.5	28.6	42.6	33.7	19.9	23.6	34.8	33.5	38.5	111	56.4
Zr	162	241	389	287	276	271	249	206	163	695	234
Nb	15.3	20.8	37.1	20.6	19.0	25.1	22.3	17.3	5.49	22.7	7.02
Mo	0.40	0.89	1.39	0.38	0.34	0.43	0.50	0.45	9.05	0.63	0.56
Cs	4.56	1.92	1.95	4.08	1.02	0.90	3.27	10.8	0.84	3.09	0.55
Ba	463	138	1572	239	63.4	79.6	97.3	396	696	131	108
Hf	3.95	5.32	8.48	6.47	6.55	5.98	5.44	4.84	3.92	16.9	5.97
Ta	0.84	1.26	2.16	1.19	1.25	1.40	1.28	1.10	0.33	1.44	0.46
Pb	111	810	497	304	71.7	71.3	103	86.1	657	77.2	113
Th	2.52	5.29	8.98	14.1	18.1	5.82	3.08	9.08	2.05	8.13	2.55
U	0.57	1.40	2.33	2.83	3.49	1.40	0.89	3.59	2.63	2.77	0.57
ΣREE	121.5	191.0	302.1	257.3	80.20	174.7	181.9	207.4	76.60	292.0	125.7
(La/Yb) _N	5.77	10.34	12.93	14.46	5.23	10.38	7.11	10.79	2.23	2.50	2.14
δEu	0.84	1.08	0.80	0.74	0.76	0.65	0.91	0.73	0.51	0.57	0.85

注:主量元素分析是在中国地质大学(北京)由 XRF 法测试,分析精度好于 5%;全岩微量元素含量在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资
源国家重点实验室(GPMR)利用 Agilent 7500a ICP-MS 分析完成

表 2 石英安山岩 (JH1001) 的斜长石⁴⁰Ar/³⁹Ar 测年结果

Table 2 ⁴⁰Ar/³⁹Ar data for plagioclase of quartz andesite (JH1001)

<i>T</i> (℃)	$\left(\frac{^{40}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}\right)_{\text{m}}$	$\left(\frac{^{28}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}\right)_{\text{m}}$	$\left(\frac{^{27}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}\right)_{\text{m}}$	$\left(\frac{^{28}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}\right)_{\text{m}}$	<i>F</i>	³⁹ Ar (×10 ⁻¹⁴ mol)	表面年龄 (Ma)	±2σ (Ma)
<i>J</i> = 0.005745, <i>W</i> = 83.75mg; 总气体年龄 = 227.5Ma; <i>t</i> _p = 236.7 ± 2.2Ma; <i>t</i> _i = 228 ± 19Ma								
700	61.4563	0.1602	0.3470	0.0590	14.1425	0.52	140.9	3.8
800	31.2716	0.0228	1.2010	0.0170	24.6310	1.89	238.8	2.3
860	28.2027	0.0138	0.2994	0.0157	24.1546	1.74	234.4	2.3
920	28.7547	0.0154	0.1791	0.0164	24.2266	1.86	235.1	2.2
980	30.0939	0.0185	0.2712	0.0173	24.6331	2.41	238.8	2.3
1040	31.0346	0.0272	0.4581	0.0203	23.0412	1.17	224.3	2.2
1100	31.3499	0.0329	0.7084	0.0226	21.6817	1.11	211.8	2.2
1160	29.9108	0.0325	0.7790	0.0265	20.3778	0.48	199.7	2.4
1260	32.4521	0.0335	0.7141	0.0316	22.6120	2.37	220.3	2.1
1320	38.1271	0.0458	0.5365	0.0373	24.6514	0.44	238.9	5.5
1400	44.4127	0.0546	0.5663	0.0401	28.3300	0.36	272.0	3.8

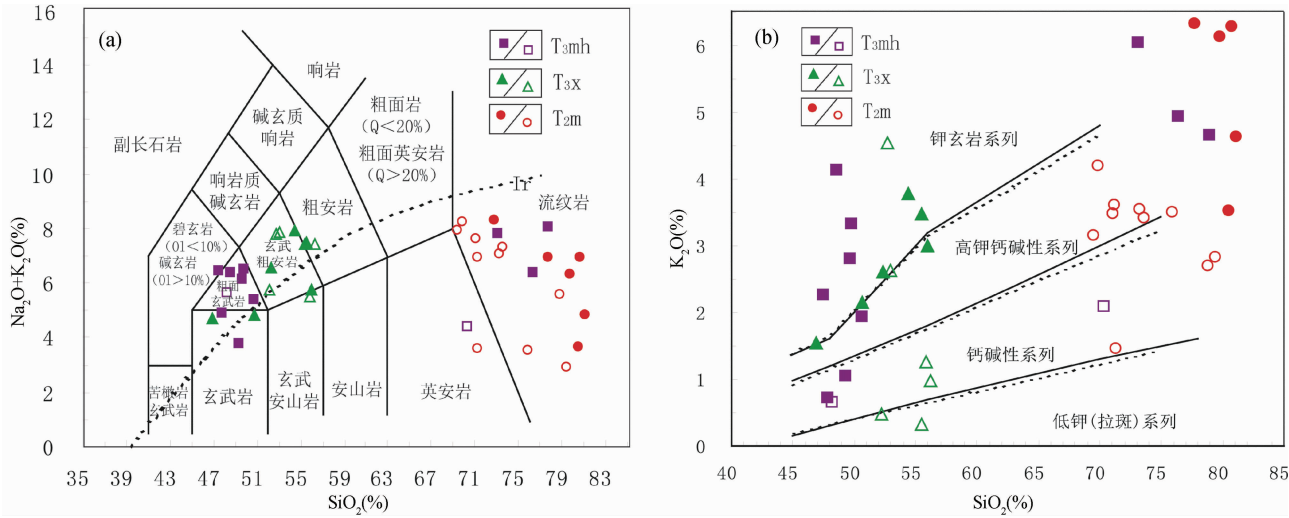


图 5 云县火山岩 TAS 图解(a)和 K₂O-SiO₂ 系列图解(b)
空心图案为本文数据,实心图案数据据朱勤文和何昌祥,1990
Fig. 5 TAS (a) and K₂O- SiO₂ (b) plots for Triassic volcanic rocks in Yunxian
Hollow design data is from this paper, solid design data after Zhu and He, 1990

子流密度约为 $2.60 \times 10^{13} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。照射总时间为 2880min,积分中子通量为 $4.49 \times 10^{18} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$;同期接受中子照射的还有用做监控样的标准样:ZBH-25 黑云母标样,其标准年龄为 $132.7 \pm 1.2\text{Ma}$,K 含量为 7.6%。

样品测试由中国地质科学院地质研究所国土资源部同位素地质重点实验室完成。样品的阶段升温加热使用石墨炉,每一个阶段加热 30min,净化 30min。质谱分析是在多接收稀有气体质谱仪 Helix MC 上进行的,每个峰值均采集 20 组数据。所有的数据在回归到时间零点值后再进行质量歧

视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。中子照射过程中所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的 K_2SO_4 和 CaF_2 来获得,其值为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.0002389$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$, $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.000806$ 。³⁷Ar 经过放射性衰变校正;⁴⁰K 衰变常数 $\lambda = 5.543 \times 10^{-10} \text{ 年}^{-1}$ (Steiger and Jager, 1977);用 Isoplot 程序计算坪年龄及正、反等时线 (Ludwig, v2.49, 2001)。坪年龄误差以 2σ 给出。详细实验流程见有关文章 (陈文等, 2006; 张彦等, 2006)。

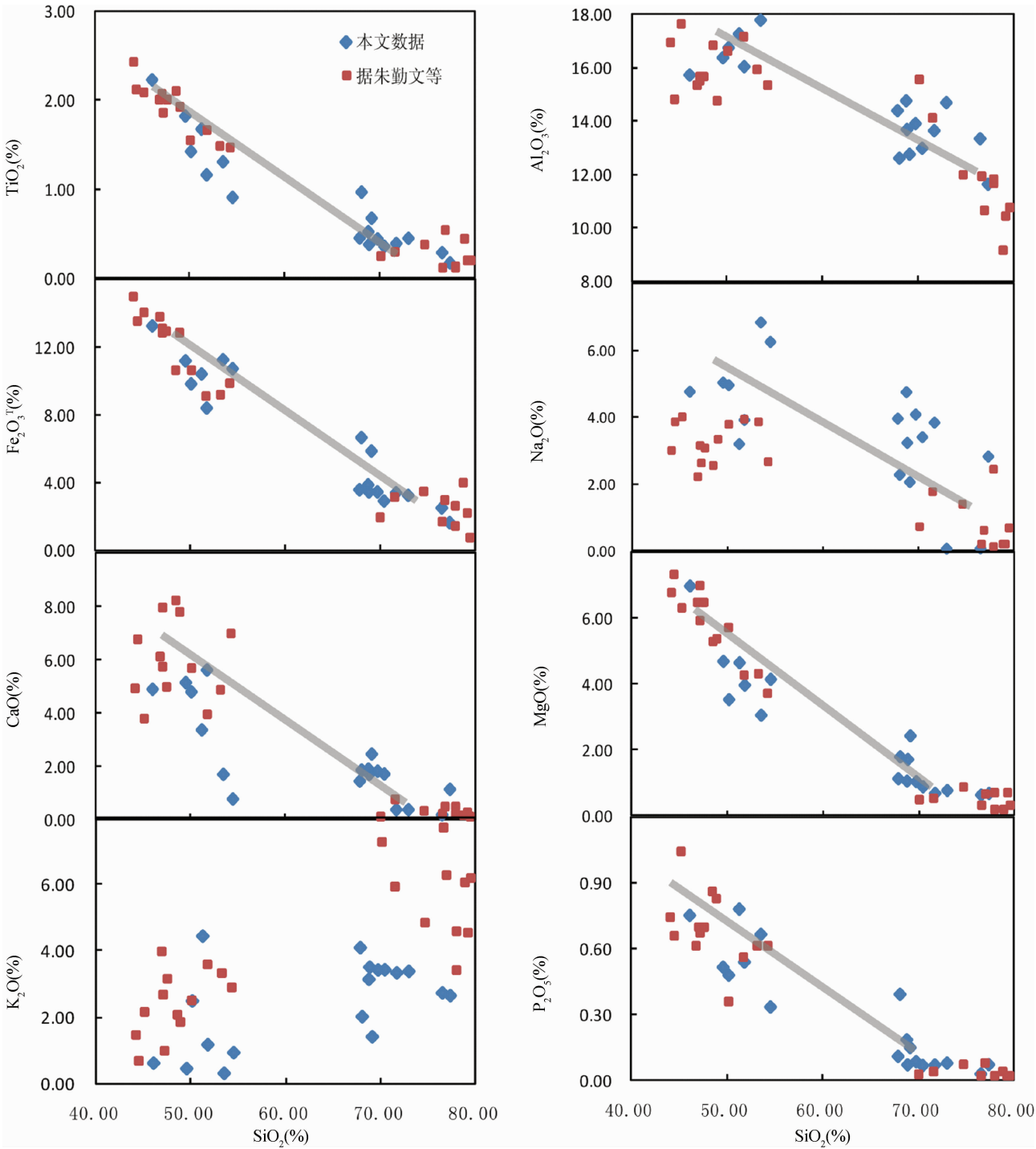


图6 云县三叠纪火山岩主量元素 Harker 图解

Fig. 6 Variations of major element with SiO₂ for Triassic volcanic rocks in Yunxian

5.2 火山岩年代学

对石英安山岩中斜长石进行 Ar-Ar 阶段升温测年分析 (表 2、图 8) 可知,样品的总气体年龄 (Total age) 为 227.5Ma。其中 800 ~ 980℃ 四个中低温阶段组成了一个年龄坪,坪年龄 t_p 为 $236.7 \pm 2.2\text{Ma}$, 对应了 55.1% ^{39}Ar 释放量。相应的

$^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 等时线年龄 t_i 为 $228 \pm 19\text{Ma}$, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值为 350 ± 110 (MSWD = 15)。 $236.7 \pm 2.2\text{Ma}$ 的坪年龄解释为斜长石的形成年龄,也是岩浆冷却穿过 265℃ (斜长石的 Ar 同位素封闭温度,据桑海清等,1996) 左右温度点的年龄。

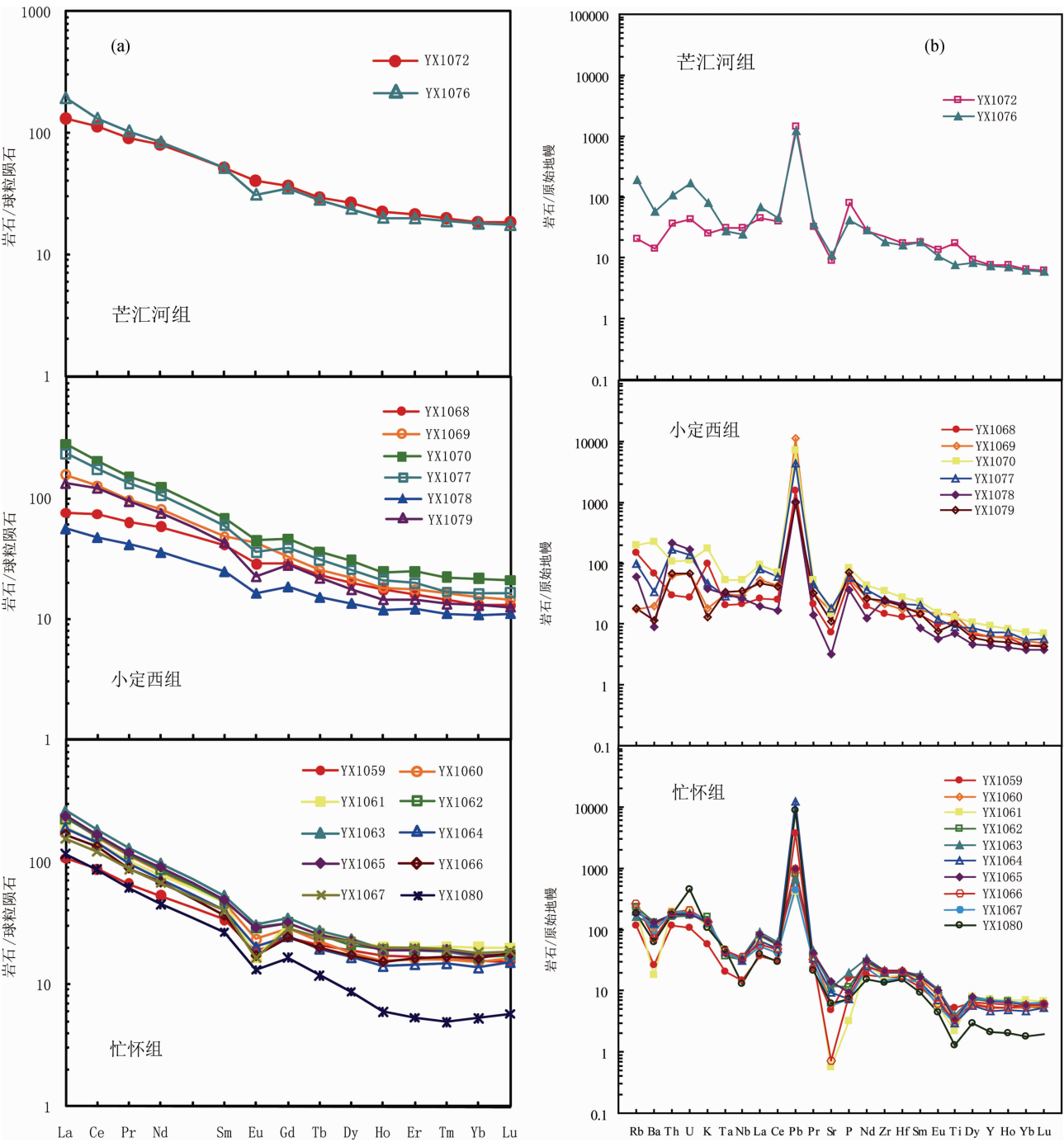


图 7 云县火山岩的稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图 (a) 及微量元素原始地幔标准化蛛网图 (b) (标准化数值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element patterns (b) for Triassic volcanic rocks in Yunxian (normalized data after Sun and McDonough, 1989)

6 讨论

6.1 南澜沧江带三叠纪火山岩的形成年代

关于南澜沧江带火山岩的年龄,前人已做过一些研究。

南澜沧江带北段,云县棉花地忙怀组上段流纹岩样品测得 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $231.0 \pm 5.0\text{Ma}$ (彭头平等, 2006), 为中三叠世晚期;棉花地-丙令剖面小定西组玄武安山岩和芒汇河组安山岩样品的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 $214 \pm 7\text{Ma}$ 和 $210 \pm 22\text{Ma}$ (Wang *et al.*, 2010), 均为晚三叠世

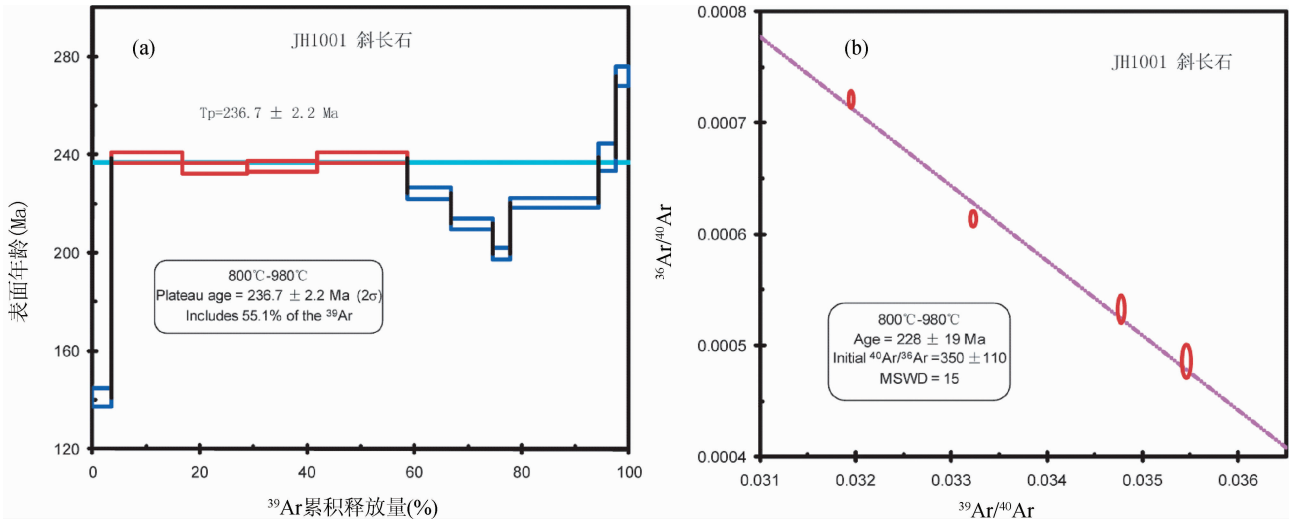


图 8 石英安山岩(JH1001)的斜长石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄(a)及等时线年龄(b)
Fig. 8 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plateau age (a) and isochron ages (b) for plagioclase of quartz andesite(JH1001)

中期。

南澜沧江带南段,在位于景洪东南约 20km 的景哈剖面采集到的安山岩样品测得的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $248.5 \pm 6.3\text{ Ma}$ (Peng *et al.*, 2008),划归为早三叠世晚期。

本文获得忙怀组石英安山岩样品 (JH1001) Ar-Ar 坪年龄 $236.7 \pm 2.2\text{ Ma}$,属中三叠世晚期。

综合以上分析结果,南澜沧江带三叠纪火山岩的形成时代主要集中在早三叠世晚期到晚三叠世末期之间。纵观整个三叠纪火山岩带,可看到南北方向上具有一定的时空分布规律。相对于北部火山岩而言,南部火山岩的形成年龄偏老。早、中三叠统的分布以南部为主,北部仅在云县附近有出露。晚三叠统则在南澜沧江带中北部大量出露 (图 1)。

6.2 邦沙剖面火山岩形成时代探讨

关于景洪邦沙剖面火山岩的形成时代,前人的研究存在一定争议。在 1 : 20 万勐腊幅 (云南省地质局区域地质调查队,1976^①)和云南地质矿产局 (1990)中,该剖面火山岩被定为中三叠世。冯庆来等 (1993)在该套火山岩底部的硅质粉砂岩中发现时代为晚二叠世晚期的放射虫化石,推测该套火山岩时代或为晚二叠世。

本次工作对邦沙地区火山岩进行采样,在邦沙实测剖面的基础上绘制了岩性柱状图 (图 3)。将邦沙地区岩性柱状图与云县忙怀小定西剖面的岩性柱状图进行对比,发现邦沙火山岩剖面与云县火山岩剖面顶部芒汇河组可以很好的对应 (图 3)。南澜沧江带火山岩在南北方向上具有良好的对应关系。

另外,邦沙火山岩在元素地球化学特征方面也与云县芒汇河组火山岩具有相似点,同具有“双峰式”火山岩特征,主量元素均显示出高 Al_2O_3 、低 TiO_2 含量,微量元素均具有元素 Pb 的强烈富集和元素 Sr 的亏损,酸性岩负 Eu 异常明显,

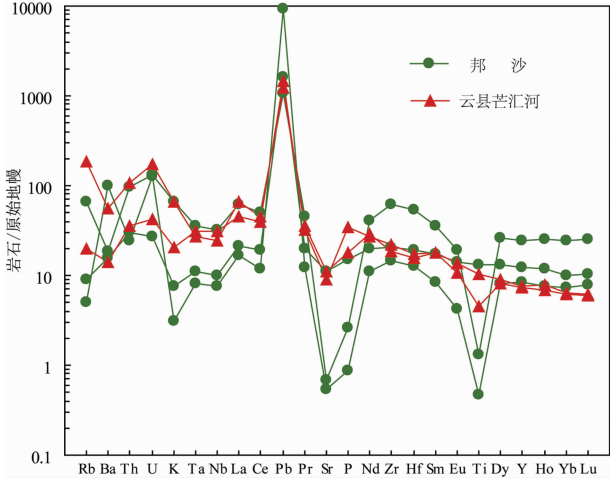


图 9 邦沙、云县芒汇河火山岩微量元素蛛网图 (原始地幔标准化数值据 Sun and McDonough, 1989)
Fig. 9 Primitive mantle-normalized trace element patterns for volcanic rocks in Bangsha and Manghuihe, Yunxian (normalized data after Sun and McDonough, 1989)

基性岩负 Eu 异常弱或无 (图 9、图 10)。

鉴于以上分析,关于邦沙剖面火山岩的形成时代,本文倾向于晚三叠世。

6.3 构造意义及古特提斯演化

岩浆岩组合和岩石成分与大地构造环境有着密切的关系,这一点被大多数地质学家所认可 (Maniar and Piccoli, 1989; Pitcher *et al.*, 1983; 涂绍雄等, 2002; Barbarin, 1990)。

① 云南省地质局区域地质调查队. 1976. 1 : 20 万勐腊幅区域地质图

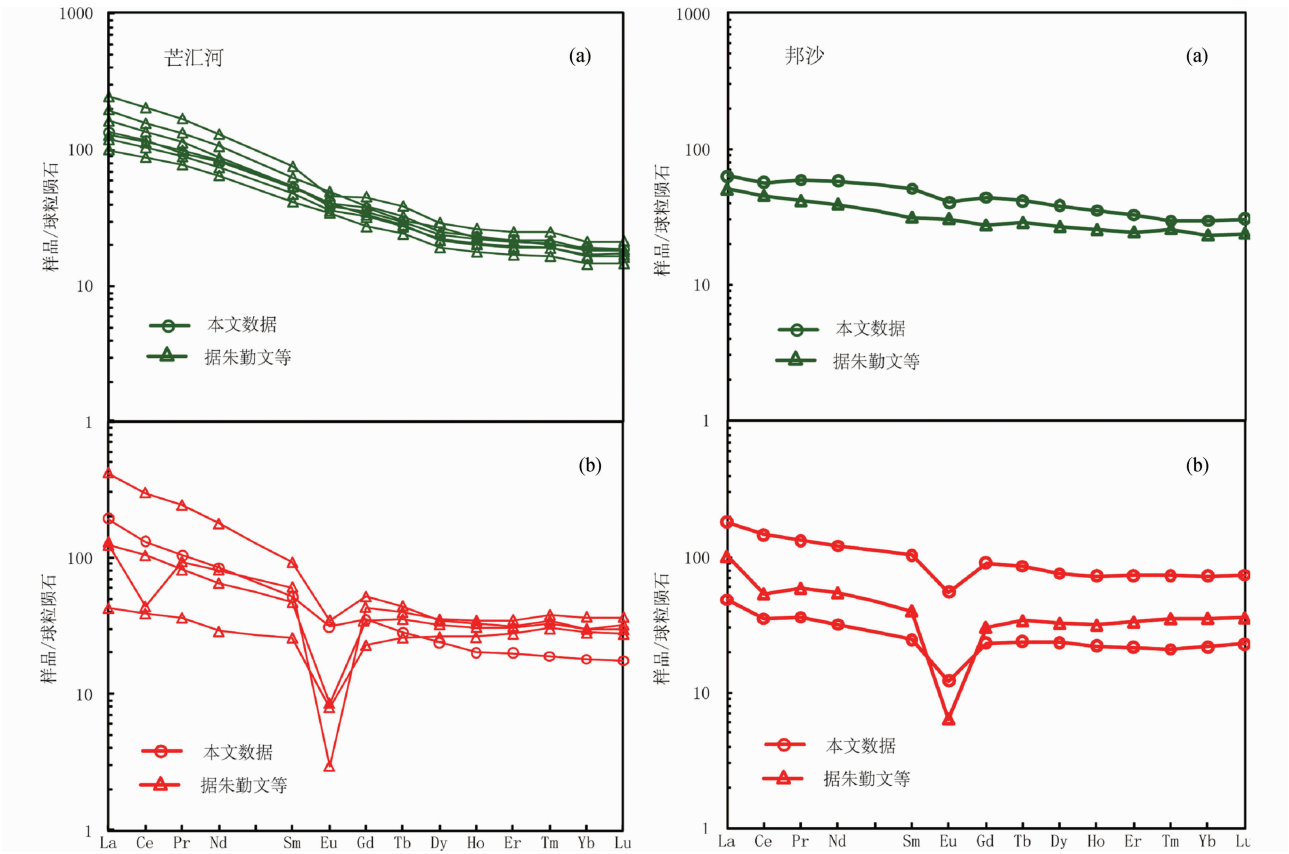


图 10 芒汇河组与邦沙火山岩稀土元素配分曲线(标准化数值据 Sun 和 McDonough,1989)
(a)-中基性岩样品; (b)-酸性岩样品
Fig. 10 Chondrite-normalized REE patterns for the Bangsha and Yunxian Manghuihe volcanic rocks (normalized data after Sun and McDonough, 1989)
(a)-intermediate-basic volcanic rocks; (b)-acid volcanic rocks

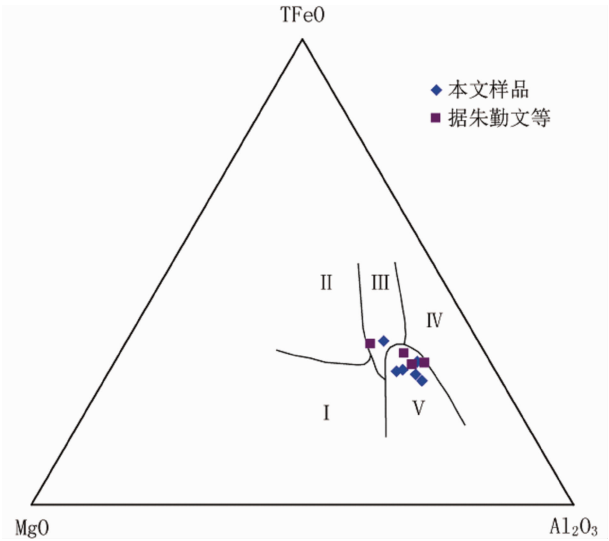


图 11 云县玄武岩 $MgO-FeO^T-Al_2O_3$ 图解(据 Pearce *et al.*, 1977)
I -洋脊和洋底; II -洋岛; III -大陆; IV -扩张中心岛; V -岛弧及活动大陆边缘
Fig. 11 Discrimination diagrams of tectonic setting for basalts in Yunxian (after Pearce *et al.*, 1977)
I -oceanic ridge and oceanic floor; II -oceanic island; III -continent; IV -spreading central island; V -arc and active continental margin

许多学者从不同角度提出了大量有效的构造环境判别图解。在 $MgO-FeO-Al_2O_3$ 图解(图 11)中(Pearce *et al.*, 1977),云县小定西组及芒汇河组玄武岩样品绝大多数落在岛弧及活动大陆边缘区域,有两个样品落在大陆区域。在 $Nb-Y-Ta-Yb$ 、 $Rb-(Y+Nb)$ 和 $Rb-(Yb+Ta)$ 花岗岩判别图解(图 12)中,云县芒怀组流纹岩样品大部分落在火山弧花岗岩区。

南澜沧江带三叠纪火山岩具有弧火山岩的特点,前人已经做过大量阐述(刘增乾等,1993;朱勤文,1999;朱勤文等 1999;沈上越等,2006;彭头平等,2006)。本文结合岩石学、地球化学及构造判别图解的综合分析,南澜沧江带三叠纪火山岩具有弧火山岩与大陆板内火山岩的双重属性,因此推断其形成环境为过渡型的大陆边缘造山带环境。

结合对南澜沧江带火山岩形成年代的确定,澜沧江洋古特提斯演化过程的具体时代得到了更好的约束。澜沧江洋的主碰撞期为早三叠世,碰撞作用使地壳增厚、缓慢隆起,导致南澜沧江带普遍缺失下三叠统,仅在最南端出露少量早三叠世晚期火山岩;中三叠世为碰撞后的应力松弛阶段,滞后于主碰撞期的增温效应使增厚的陆壳部分熔融,形成芒怀组后碰撞型酸性弧火山岩(231 ~ 236Ma);晚三叠世早、中期,洋盆继续俯冲,导致上三叠统小定西组中基性滞后型弧火山

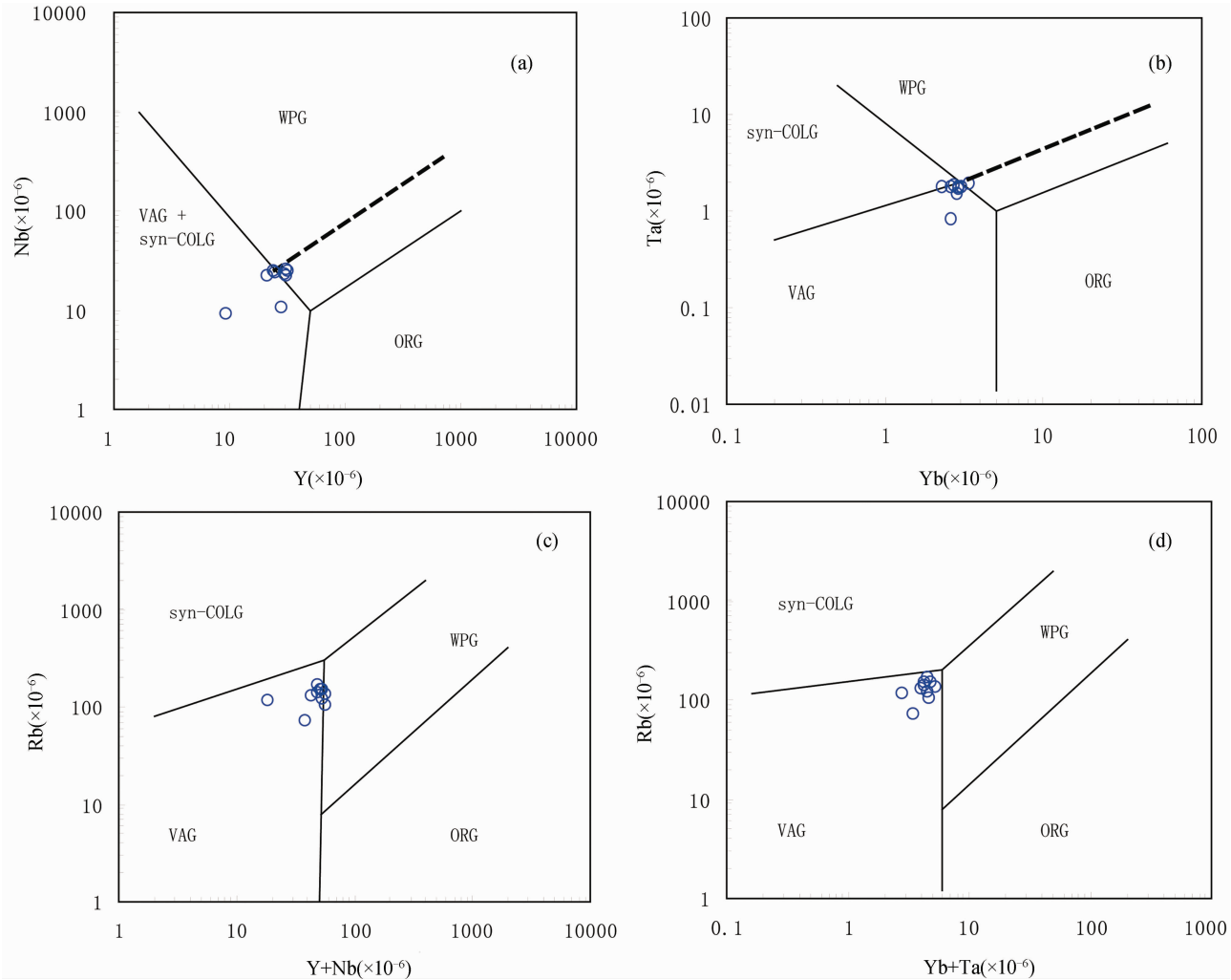


图 12 云县忙怀组流纹岩构造环境判别图解(据 Pearce *et al.* , 1984)
Syn-COLG-同碰撞花岗岩; VAG-火山弧花岗岩; WPG-板内花岗岩; ORG-洋中脊花岗岩

Fig. 12 Discrimination diagrams of tectonic setting for the Yunxian rhyolite (after Pearce *et al.* , 1984)

岩的形成(214Ma);晚三叠世中、晚期,俯冲作用基本结束,澜沧江洋已最后关闭,区域进入碰撞后的裂谷作用阶段,形成芒汇河组“双峰式”火山岩。

7 结论

通过研究,本文得到以下结论:

(1)澜沧江南带三叠纪火山岩自下而上可划分为中三叠统忙怀组(T_2m),上三叠统小定西组(T_3x)和上三叠统芒汇河组(T_3mh)。忙怀组以酸性火山岩为主,小定西组发育为中基性火山岩熔夹火山碎屑岩,芒汇河组具有流纹质火山碎屑岩与玄武岩共存的“双峰式”火山岩特征。

(2)对南澜沧江带南部景洪附近采集到的石英安山岩样品进行 Ar-Ar 年龄测试,得到的坪年龄为 $236.7 \pm 2.2\text{Ma}$,为中三叠世。

(3)地球化学特征表明,南澜沧江带三叠纪火山岩具有

弧火山岩与大陆板内火山岩的双重属性,推测其形成环境为过渡型的大陆边缘造山带环境。

(4)结合火山岩年代学结果,推测澜沧江洋主碰撞期为早三叠世,中三叠世与晚三叠世早期分别为碰撞后的应力松弛阶段与洋盆继续俯冲期,到晚三叠世末期,俯冲作用结束。

致谢 微量元素测定得到中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室刘硕老师的帮助;Ar-Ar 年龄测试得到中国地质科学院陈文老师的帮助;在资料搜集过程中得到中国地质大学(武汉)朱勤文教授、沈上越教授的大力支持和帮助;在此表示感谢。

References

Barbarin B. 1990. Main petrogenetic classifications in relation to origin and tectonic setting. *Geol. J.* , 25: 227–238

- Bureau of Geology and Resources of Yunnan Province. 1990. Regional Geology of Yunnan Province. Beijing: Geological Publishing House, 291–301 (in Chinese)
- Chen W, Zhang Y, Jin GS and Zhang YQ. 2006. Late Cenozoic episodic uplifting in southeastern part of the Tibetan plateau: Evidence from Ar-Ar thermochronology. *Acta Petrologica Sinica*, 22 (4): 867–872 (in Chinese with English abstract)
- Cong BL, Wu GY and Zhang Q. 1993. Petrological records of the Paleo-Tethys evolution in western Yunnan, China. In: IGCP-321 China Working Group. Asia's Hyperplasia. Beijing: Seismological Press, 65–68 (in Chinese)
- Deng JF, Luo ZH, Shu SG *et al.* 2004. Lithogenesis, Tectonic Settings and Metallogenesis. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract)
- Fan WM, Peng TP and Wang YJ. 2009. Triassic magmatism in the southern Lancangjiang zone, southwestern China and its constraints on the tectonic evolution of Paleo-Tethys. *Earth Science Frontiers*, 16 (6): 291–302 (in Chinese with English abstract)
- Fang ZJ, Zhou ZC and Lin MJ. 1990. Some new views on the geological characteristics in the western Yunnan. *Chinese Science Bulletin*, 35 (5): 363–365 (in Chinese)
- Fang ZJ, Zhou ZC and Lin MJ. 1992. Discussions on Changning-Menglian suture zone from the angle of stratigraphy. *Journal of Stratigraphy*, 16 (4): 292–303 (in Chinese)
- Feng QL and Liu BP. 1993. Permian radiolarians on southwest Yunnan. *Earth Science*, 18 (5): 553–564 (in Chinese with English abstract)
- Harris NBW, Marzouki FMH and Ali S. 1986. The Jabel Sayd Complex, Arabian shield geochemical constrains on the origin of peralkaline and related granites. *Journal of the Geological Society-London*, 143: 287–295
- Li DZ, Zhang Q and Zhang KW. 1986. The characteristics of petrochemistry and geochemistry and geological significance of the volcanic rocks in Menglian area, Yunnan Province. In: Team of Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau, CAS. Research on Tibetan Plateau, Hengduan Mountains Investigation Album (2). Beijing: Science and Technology Press (in Chinese)
- Li WC, Pan GT, Hou ZQ, Mo XX, Wang LQ *et al.* 2010. The Archipelagic Arc Basin-collision Orogeny Metallogenic Theory and Exploration Technology in Sanjiang Area of Western China. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract)
- Li XZ, Liu WJ, Wang YZ, Zhu QW *et al.* 1999. The Tectonic Evolution and Metallogenesis in the Tethys of the Sanjiang Area, Southwestern China. Beijing: Geological Publishing House, 23–167 (in Chinese with English abstract)
- Liu BP, Feng QL, Fang NQ *et al.* 1993. Tectonic evolution of Palaeo-Tethys poly-island-ocean in Changning-Menglian and Lancangjiang belts, southwestern Yunnan, China. *Journal of China University of Geosciences*, 18 (5): 529–539 (in Chinese with English abstract)
- Liu ZQ, Li XZ, Ye QT *et al.* 1993. Division of Tectono-magmatic Zone and the Distribution of Deposits in the Nuijiang-Lancangjiang-Jinshajiang Area. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract)
- Ludwig KR. 2001. ISOPLOT 3.00. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, California
- Maniar PD and Piccoli PM. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 101: 635–643
- Mo XX, Shen SY and Zhu QW. 1998. Volcanics-Ophiolite and Mineralization of Mindlle and Southern Part in Sanjiang area of Southwestern China. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract)
- Pearce JA, Harris NBW and Tindle AG. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granite rock. *J. Petrol.*, 25: 956–983
- Pearce TH, Gorman BE and Birkett TC. 1977. The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36: 121–132
- Peng TP, Wang YJ, Fan WM, Liu DY, Shi YM and Miao LC. 2006. The SHRIMP zircon U-Pb dating of the felsic igneous rocks from southern Lancangjiang and its tectonic implications. *Science in China (Series D)*, 36 (2): 123–132 (in Chinese)
- Peng TP, Wang YJ, Zhao GC, Fan WM and Peng BX. 2008. Arc-like volcanic rocks from the southern Lancangjiang zone, SW China: Geochronological and geochemical constraints on their petrogenesis and tectonic implications. *Lithos*, 102: 358–373
- Pitcher WS. 1983. Granite type and tectonic environment. In: Hsü KJ (ed.). *Mountain Building Processes*. London: Academic Press, 19–40
- Sang HQ, Wang SS and Qiu J. 1996. ⁴⁰Ar-³⁹Ar pyroxene, amphibole, plagioclase dating of granulite in Taipingzhai, eastern Hebei Province and geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 12 (3): 390–400 (in Chinese with English abstract)
- Shen SY, Feng QL, Wei QR, Zhang ZB and Zhang H. 2006. Determination of epicontinental arc volcanic rock of late Permian in north part of south Lancangjiang belt, southwestern China. *Mineral. Petrol.*, 26 (2): 35–39 (in Chinese with English abstract)
- Steiger RH and Jager E. 1977. Subcommission on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36: 359–362
- Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: Implications for mantle composition and process. In: Saunders AD and Norry MJ (eds.). *Magmatism in the Ocean Basins*. Spec. Publ. Geol. Soc. Lond., 42: 313–345
- Tu SX and Wang XW. 2002. Some significant advances in granitoid researches aboard in 1980s. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21 (2): 107–118 (in Chinese with English abstract)
- Wang YJ, Zhang AM, Fan WM, Peng TP, Zhang FF, Zhang YH and Bi XW. 2010. Petrogenesis of late Triassic post-collisional basaltic rocks of the Lancangjiang tectonic zone, southwest China, and tectonic implications for the evolution of the eastern Paleotethys: Geochronological and geochemical constraints. *Lithos*. x09.012
- Zhang BM, Shen SY, Mo XX, Wei QR, Zhang ZB and Zhang H. 2004a. Characteristics and tectonic environment of the volcanic rocks of Chahe area in Jinggu, Yunnan Province. *Geological Science and Technology Information*, 23 (1): 5–10 (in Chinese)
- Zhang BM, Shen SY, Mo XX, Zhang ZB, Zhang H, Zhang QY and Tian YG. 2004b. Characteristics and tectonic environment of the volcanic rocks of Chahe and Maomihe in Jinggu, Yunnan Province. *Mineral. Petrol.*, 24 (2): 19–24 (in Chinese)
- Zhang Y, Chen W, Chen KL and Liu XY. 2006. Study on the Ar-Ar age spectrum of diagenetic I/S and the mechanism of ³⁹Ar recoil loss: Example from the clay minerals of P-T boundary in Changxing, Zhejiang Province. *Geological Review*, 52 (4): 556–561 (in Chinese with English abstract)
- Zhao DS and Liu XP. 1994. Geochemical characteristics of collision type volcanic rocks from northwestern Yunnan. *Geochimica*, 33: 235–244 (in Chinese)
- Zhu QW. 1990. Tectonic setting of Triassic volcanic rocks along Langcangjiang belt in Southwest Yunnan. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 12 (2): 134–143 (in Chinese with English abstract)
- Zhu QW, Mo XX and Zhang SQ. 1999. The evolution of the Palaeo-Tethys in the South Lancangjiang Zone, western Yunnan: Evidences from magmatic rocks. *Tethyan Geology*, 23, 16–30 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 陈文, 张彦, 金贵善, 张岳桥. 2006. 青藏高原东南缘晚新生代幕式抬升作用的 Ar-Ar 热年代学证据. *岩石学报*, 22 (4): 867–872
- 从柏林, 吴根耀, 张旗. 1993. 中国滇西地区古特提斯演化的岩石记录. 见: IGCP 第 321 项中国工作组编. 亚洲的增生. 北京: 地震出

- 版社, 65 – 68
- 邓晋福, 罗照华, 苏尚国等. 2004. 岩石成因、构造环境与成矿作用. 北京: 地质出版社
- 范蔚茗, 彭头平, 王岳军. 2009. 滇西古特提斯俯冲-碰撞过程的岩浆作用记录. 地学前缘, 16(6): 291 – 302
- 方宗杰, 周志澄, 林敏基. 1990. 关于滇西地质的若干新认识. 科学通报, 35(5): 363 – 365
- 方宗杰, 周志澄, 林敏基. 1992. 从地层学的角度探讨昌宁-孟连缝合带的若干问题. 地层学杂志, 16(4): 292 – 303
- 冯庆来, 刘本培. 1993. 滇西南二叠纪放射虫化石. 地球科学, 18(5): 553 – 564
- 李达周, 张旗, 张魁武. 1986. 云南孟连地区火山岩的岩石化学和地球化学特征及其地质意义. 见: 中国科学院青藏高原综合科学考察队编. 青藏高原研究-横断山考察专集(2). 北京: 科学技术出版社
- 李文昌, 潘桂棠, 侯增谦, 莫宣学, 王立全等. 2010. 西南三江多岛弧盆-碰撞造山成矿理论与勘察技术. 北京: 地质出版社
- 李兴振, 刘文均, 王义昭等. 1999. 西南三江地区特提斯构造演化与成矿(总论). 北京: 地质出版社, 23 – 167
- 刘本陪, 冯庆来, 方念乔等. 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. 地球科学, 18(5): 529 – 539
- 刘增乾, 李兴振, 叶庆同等. 1993. 三江地区构造岩浆岩带的划分与矿产分布规律. 北京: 地质出版社
- 莫宣学, 沈上越, 朱勤文. 1998. 三江中南段火山岩-蛇绿岩与成矿. 北京: 地质出版社
- 彭头平, 王岳军, 范蔚茗, 刘敦一, 石玉若, 苗来成. 2006. 澜沧江南段早中生代酸性火成岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及构造意义. 中国科学(D 辑), 36(2): 123 – 132
- 桑海清, 王松山, 裘冀. 1996. 冀东太平寨麻粒岩中的辉石、角闪石、斜长石的⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄及其地质意义. 岩石学报, 12(3): 390 – 400
- 沈上越, 冯庆来, 魏启荣, 张志斌, 张虎. 2006. 南澜沧江带北段上二叠统陆源弧火山岩的厘定. 矿物岩石, 26(2): 35 – 39
- 涂绍雄, 汪雄武. 2002. 20 世纪 90 年代国外花岗岩类研究的某些重大进展. 岩石矿物学杂志, 21(2): 107 – 118
- 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志. 1990. 北京: 地质出版社, 291 – 301
- 张保民, 沈上越, 莫宣学, 魏启荣, 张志斌, 张虎. 2004a. 云南省景谷盆河地区火山岩及其构造环境. 地质科技情报, 23(1): 5 – 10
- 张保民, 沈上越, 莫宣学, 张志斌, 张虎, 张启跃, 田应贵. 2004b. 云南景谷盆河、茂密河火山岩及其构造环境. 矿物岩石, 24(2): 19 – 24
- 张彦, 陈文, 陈克龙, 刘新宇. 2006. 成岩混层(I/S)Ar-Ar 年龄谱型及³⁹Ar 核反冲丢失机理研究——以浙江长兴地区 P-T 界线粘土岩为例. 地质论评, 52(4): 556 – 561
- 赵大升, 刘祥品. 1994. 滇西北碰撞型火山岩的地球化学特征. 地球化学, 33: 235 – 244
- 朱勤文. 1999. 滇西南澜沧江带三叠纪火山岩大地构造环境. 岩石矿物学杂志, 12(2): 134 – 143
- 朱勤文, 莫宣学, 张双全. 1999. 南澜沧江古特提斯演化的岩浆岩证据. 特提斯地质, 23: 16 – 30