

滇西龙陵-瑞丽断裂带早白垩世火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年和地球化学特征

白宪洲^{1,2}, 贾小川², 杨学俊², 熊昌利², 梁 斌³, 黄柏鑫^{1,2}, 罗 改²

BAI Xian-zhou^{1,2}, JIA Xiao-chuan², YANG Xue-jun², XIONG Chang-li²,

LIANG Bin³, HUANG Bai-xin^{1,2}, LUO Gai²

1. 成都理工大学核技术与自动化工程学院, 四川 成都 610059;

2. 四川省地质调查院, 四川 成都 610081; 3. 西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621000

1. College of Applied Nuclear Technology and Automation Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

2. Sichuan Institute of Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China;

3. Faculty of Resource and Environment, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000, Sichuan, China

摘要:通过对龙陵-瑞丽断裂与主高黎贡断裂夹持区内构造混杂岩进行地质填图和剖面研究,在原划的三叠纪扎多组中发现沿龙陵-瑞丽断裂带呈透镜状断续分布的中酸性火山岩,并获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 $130.0\text{Ma} \pm 1.7\text{Ma}$,首次证实滇西龙陵-瑞丽断裂带存在早白垩世火山岩。结合岩石学特征和地球化学特征判断该火山岩形成于岛弧环境,可能是早白垩世怒江洋闭合过程中岩浆活动的产物。

关键词:滇西;龙陵-瑞丽断裂带;火山岩;早白垩世;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年

中图分类号: P597+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2012)02/03-0297-09

Bai X Z, Jia X C, Yang X J, Xiong C L, Liang B, Huang B X, Luo G. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of Early Cretaceous volcanic rocks in Longling-Ruili fault belt, western Yunnan Province. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(2/3):297-305

Abstract: Based on a study of the tectonic mélange between the Longling-Ruili fault and the main Gaoligong fault with the help of geological mapping and sections, the authors found the lentoid and intermittent medium-acidic volcanic rocks, which belong to the Triassic Zhaduo Formation and lie in Longling-Ruili fault. The zircon U-Pb dating age of $130.0 \pm 1.7\text{Ma}$ of the volcanic rocks was obtained. It is confirmed for the first time that there exist early Cretaceous volcanic rocks in the Longling-Ruili fault of western Yunnan Province. The geochemical characteristics of the volcanic rocks suggest that they were island arc tholeiites (IAT) and should be the response to the closure of the Nujiang ocean in the Early Cretaceous, related to westward subduction of Bangong Co-Nujiang oceanic crust and eastward subduction of Neo-Tethys oceanic crust.

Key words: western Yunnan Province; Longling-Ruili fault belt; volcanic rock; Early Cretaceous; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating

滇西地区是东特提斯构造带的重要组成部分之一。高黎贡山作为三江断褶带的西边界,是协调印度和欧亚板块相互作用的一个重要构造带。其大地构

造格局和在全球特提斯演化过程中的角色长期以来是众多研究者的关注热点^①。

近年来,不少专家学者^[1-4]对滇西地区的构造区

收稿日期:2011-11-04;修订日期:2011-12-23

资助项目:中国地质调查局国土资源大调查项目《1:5 万清江河幅等 4 幅区调联测》(编号:1212010784006)、《泛亚铁路大理至瑞丽沿线地质构造综合研究》(编号:1212010814054)和基本科研业务费项目《成果集成与战略研究》(编号:DZLXJK201113)

作者简介:白宪洲(1975-),男,在读博士,工程师,从事区域地质调查和地球化学研究工作。E-mail:9793136@qq.com

划进行了研究,提出了多种划分方案。尽管提法不尽相同,但总体上可以得出如下认识:滇西特提斯构造带是由多个地块和地块之间的造山带组成的^[5],如腾冲地块、保山地体、思茅地体,以及它们之间的属新特提斯带的高黎贡碰撞带和属古特提斯带的昌宁-孟连缝合带等。高黎贡山碰撞带的东、西两侧分别为保山地块和腾冲地块,其主体是一套遭受强烈变形的变质岩系,被认为是新元古界变质基底^[5],其中的龙陵-瑞丽断裂是联系保山地块和腾冲微地块之间的重要分界断裂。

龙陵-瑞丽断裂(即怒江断裂西支)是滇西地区一条重要的断裂带。前人基于高黎贡山岩群变质程度达角闪岩相^{②③④},区域上高黎贡山岩群西延入缅甸称 Mogok 片麻岩系,且 Mogok 片麻岩系被 Chaung Magyi 群不整合覆盖(Chaung Magyi 群的时代为新元古代—寒武纪)等而将高黎贡山岩群的原岩生成时代置于古元古代。但最近的研究工作证实高黎贡山岩群中解体出来的侵入岩的时代多为白垩纪^[6-7]。

在龙陵-瑞丽断裂的南东侧分布有一条混杂岩带,以往多认为其可能代表了三叠纪的海槽沉积,表现为碎屑岩夹少量碳酸盐岩。本次对龙陵县北西侧大荒地—两交水一带的混杂岩带进行了剖面测制,认为该带应为一构造混杂岩带,其中发育着大量的中酸性火山岩。笔者对其中的火山岩(样号为 PM301-19-U-Pb1,采样位置为:北纬 24°35'54"、东经 98°40'37")进行了锆石 U-Pb 定年,获得了 128.4Ma±2.7Ma 的早白垩世年龄,并结合其岩石地球化学性质分析了构造环境,从而为研究该构造带和特提斯构造带的演化提供基础证据。

1 地质背景和实测剖面描述

龙陵-瑞丽(龙瑞)断裂是腾冲地块和保山地块之间的分区断裂(图 1)。断裂的北西侧为腾冲地块,主要表现为原高黎贡山岩群分解出来的中元古代烂泥坝岩组(Pt₂l)、新元古代九渡河岩组(Pt₂j)、新近系火山岩及白垩纪、古近纪的一些侵入岩体。断裂的南东侧为保山地块,主要表现为下奥陶统大东厂组(O₁d)、中泥盆统回贤组(D₂h)及奥陶纪、白垩纪、古

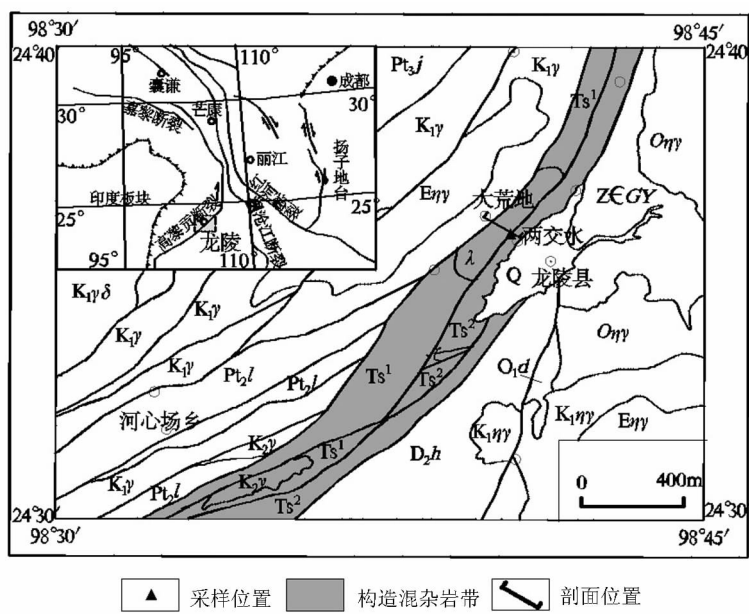


图 1 滇西龙陵地区地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of Longling area in western Yunnan Province

Pt₂l—中元古代烂泥坝岩组;Pt₂j—新元古代九渡河岩组;ZεGY—震旦系—寒武系公养河组;O₁d—下奥陶统大东厂组;D₂h—中泥盆统回贤组;
Ts¹、Ts²—三叠纪三台山岩组下段、上段;O₁ηγ—奥陶纪二长花岗岩;K₁γ—早白垩世花岗岩;K₁γδ—早白垩世花岗岩闪长岩;
K₂γ—晚白垩世花岗岩;Eηγ—古近纪二长花岗岩;λ—流纹岩

近纪的一些侵入岩体。该断裂带是高黎贡山断裂带的重要组成部分,在龙瑞断裂与主高黎贡断裂的夹持区内,主要为一系列断层带及其间夹持着的若干岩片。其中的地层以前曾被划归为三叠纪扎多组(Tz)和伙马组(Th),最近的研究认为其应为构造混杂岩带,因此划归为三台山岩组(Ts),主要表现为一些火山岩和碎屑岩沉积,岩性主要为流纹岩(λ)、英安岩(ζ)等。受断裂带的影响,岩石破碎强烈,角砾岩、糜棱岩化和片理化带发育,可见宽窄不一的糜棱岩、混合糜棱岩、蚀变糜棱岩、片岩、混合片麻岩等组成的动力变质带。现将剖面(图 2)列述如下。

- | | |
|--------------------------------------|--------|
| 22.灰色、灰黄色板岩(未见顶) | 17.92m |
| ===== 断 层 ===== | |
| 21.灰色流纹岩夹板岩,岩石破碎。流纹岩呈透镜体状,一般厚 3~10cm | 17.36m |
| ===== 断 层 ===== | |
| 20.灰色、灰黄色块状流纹质熔结角砾岩 | 9.46m |
| ===== 断 层 ===== | |
| 19.灰褐色流纹岩夹少量板岩,流纹岩具布丁体化、透镜体化 | |

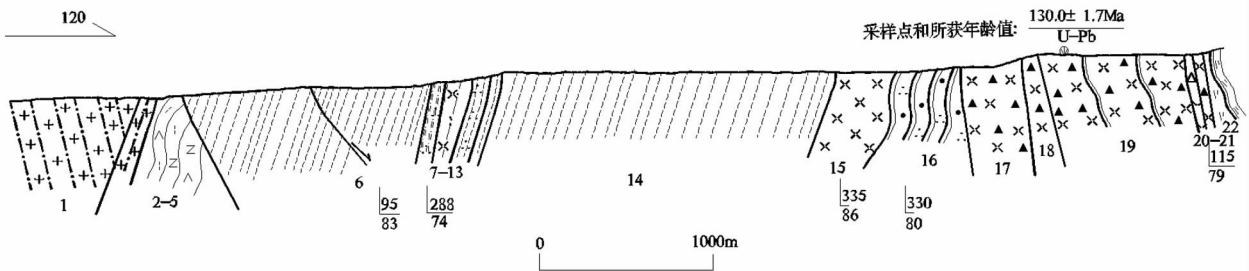


图 2 龙陵地区大荒地-两交水构造地质剖面

Fig. 2 Geological section from Dahuangdi to Liangjiaoshui in Longling County

和碎裂岩化, 锆石 U-Pb 年龄 $130.0\text{Ma} \pm 1.7\text{Ma}$	206.93m
===== 断 层 =====	
18. 灰白、浅灰色流纹质角砾岩, 节理发育	18.82m
===== 断 层 =====	
17. 浅灰—灰白色强劈理化流纹岩, 较破碎	92.33m
===== 断 层 =====	
16. 浅灰、灰白色块状变石英砂岩夹板岩	62.99m
15. 浅灰色碎裂流纹岩, 面理发育, 局部具条纹构造	57.22m
===== 断 层 =====	
9~14. 浅灰、灰黄色千糜岩、白云母长英质千糜岩、含黑云母石英千糜岩	525.37m
8. 酸性凝灰质糜棱岩	38.86m
7. 浅灰色含云母石英质超糜棱岩	13.18m
6. 灰绿色千糜岩, 顺面理发育同构造石英脉(0.5mm×2~3cm)	349.32m
2~5. 灰色、浅灰色长英质片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩、角闪二长石英片岩、石榴子石黑云母糜棱片岩	77.49m
===== 断 层 =====	
1. 灰白—灰黑色花岗质糜棱岩	163.21m

由此可见,剖面控制了一个大型的韧性剪切带,岩性主要为片麻状花岗岩(花岗质糜棱岩)、石榴黑云糜棱片岩、千糜岩、含黑云母石英千糜岩、白云母长英质千糜岩、含黑云母石英千糜岩等组成的强应变带和黑云角闪斜长片麻岩、角闪二长石英片岩组成的弱应变域。在剖面的东部发育大量的酸性火山岩(图版 I-A),岩性主要为流纹岩、流纹质溶结角砾岩、碎裂流纹岩等。

流纹岩:具斑状结构,基质具霏细结构、流动构造。斑晶由石英(6%)和绢云母化长石组成,粒度一般为 0.5~1mm,石英呈溶蚀状,均受力的作用,有一定错碎,长石均强烈绢云母化。基质由绢云母鳞片(25%)、霏细状长英物集合体(65%)及褐铁矿(1%)组成,呈鳞片霏细结构,残余流动构造,不均匀分布。

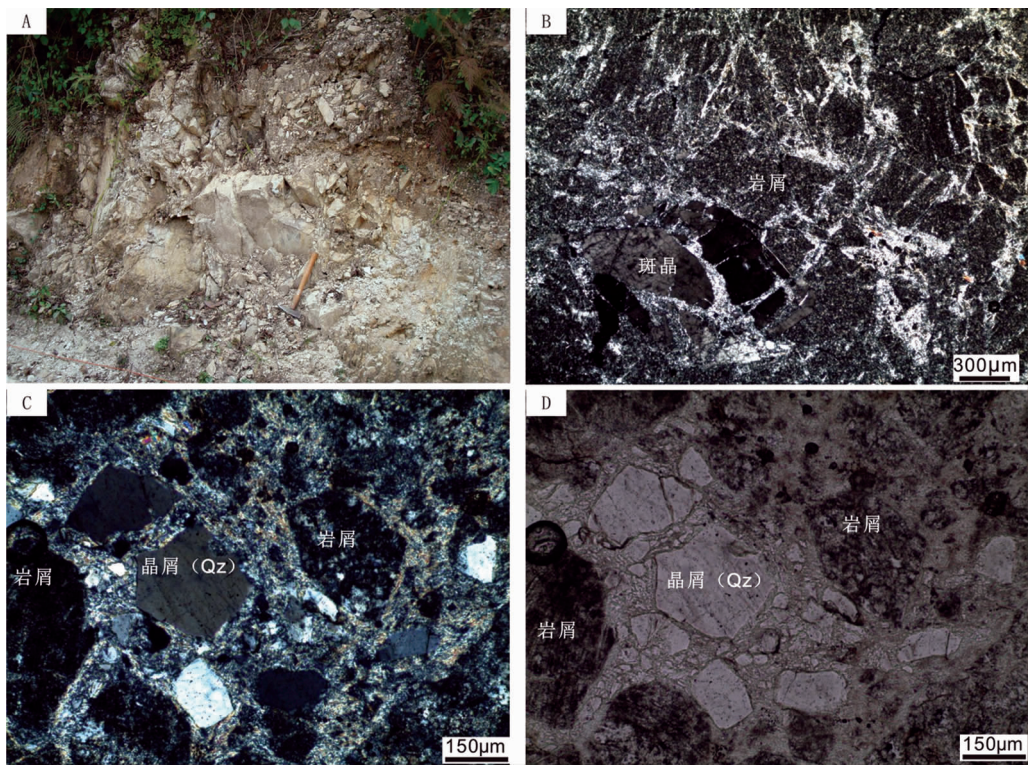
流纹质熔结角砾岩:具残余斑状结构,基质霏细结构,角砾状构造(图版 I-B、C、D)。残余斑晶:石英(8%)、绢云母化斜长石(3%);基质:霏细状长英物集合体(70%)、绢云母鳞片(15%)、白云母鳞片(0.5%)、褐铁矿(1%)。斑晶由粒度为 1~2mm 的石英、斜长石组成。石英多呈熔蚀状,有一定程度错碎,斜长石全部蚀变为绢云母鳞片集合体。基质由霏细状的长英物集合体、绢云母鳞片等矿物组成,呈鳞片霏细结构。

碎裂流纹岩:流纹岩受力的作用,错碎呈角砾状。岩石主要由粒度 0.5~8mm 的酸性火山岩角砾、石英和绢云母鳞片集合体充填胶结物组成。酸性火山岩角砾多呈次棱角状、不规则状,均由霏细状长英物集合体组成,具残余流动构造,石英多数应为原岩的斑晶。

2 样品处理和测试

本次工作对剖面上第 19 层流纹岩中的锆石进行了 U-Pb 年龄测定。将原岩样品破碎成粉末,再经过淘洗和磁选,得到含有一定纯度的锆石重砂样品,然后在双目镜下挑选出锆石晶体,将其制备成用于测定用的样品靶。打磨至锆石的中心部位暴露出来,然后进行可见光和阴极发光照相。锆石的阴极发光图像(CL)研究表明:在所有观察的锆石样品中大部分都具有清晰的岩浆型振荡环带结构,少数有核一边结构(图 3)。其 Th/U 值总体在 0.24~1.98 之间,大多数都大于 0.4,表明这些锆石为岩浆结晶成因。由于所测定的岩石形成于显生宙(<500Ma),故锆石的年龄取 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄(误差为 σ)。LA-ICP-MS(激光剥蚀等离子体质谱)锆石微区 U-Pb 年龄测定在西北大学大陆动力学重点实验室完成,采用 Agi-

图版 I Plate I



A—野外露头;B、C—镜下显微照片(正交偏光);D—镜下显微照片(单偏光)

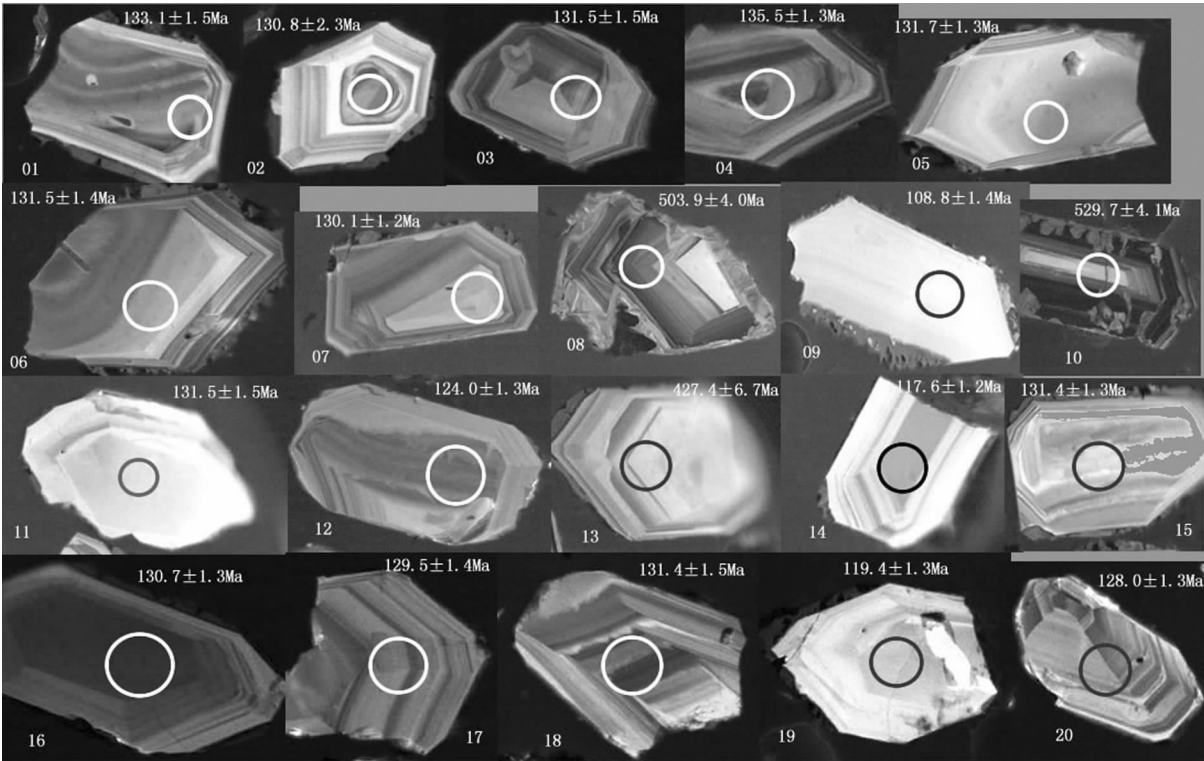


图 3 龙陵-瑞丽断裂带火山岩典型锆石的 CL 图像及年龄
Fig. 3 CL images of zircons from volcanic rocks in Longling-Ruili fault zone

lent 7500 型 ICP-MS 和 ComPex 102 ArF 准分子激光器,工作物质 ArF 波长 193nm,与 GeoLas 200M 光学系统联机进行。锆石年龄采用标准锆石 91500 为外标标准物质,元素含量采用 NIST SRM 610 为外标, ^{29}Si 为内标。数据用 Ludwig SQUID 1.0 和 ISOPLOT 程序处理。

岩石化学分析样品送国土资源部武汉矿产资源监督检测中心(武汉综合岩矿测试中心)进行测试分析。用 Thermoel emental X7 型质谱仪和 Magix-pro 2440 型 X 射线荧光光谱仪测定样品的常量和微量元素的质量分数。其中全岩分析 13 项,为 Na_2O 、 MgO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 P_2O_5 、 K_2O 、 CaO 、 TiO_2 、 MnO 、 Fe_2O_3 、 FeO (化学法测定)、 H_2O^+ 、 CO_2 ,以“%”形式给出;微量元素共分析 25 项,为 Ba、Co、Cu、Ni、Sr、V、Zn、Sc、Nb、Cs、Ta、Th、U、W、B、Sn、Cr、Pb、Rb、Zr、Hf、Ag、Bi、Sb、Au,计量单位为 10^{-6} 。稀土元素共分析 15 项,为 La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Y,计量单位为 10^{-6} 。

3 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

锆石 LA-ICP-MS U-Pb 分析结果见表 1,U-Pb 谐和图见图 4。样品中锆石多具有清晰的振荡型环带,并多呈长柱状或短柱状晶形,粒度在 $60\sim 140\mu\text{m}$ 之间,长宽比在 $1:1\sim 1:2.5$ 之间,基本上无色透明。研究表明:锆石 Th/U 比值变化于 $0.1\sim 1.8$ 之间,绝大多数大于 0.4,对于花岗质岩石可以解释为岩浆锆石^[8]。继承性锆石 Th/U 比值为 0.56,无明显的振荡环带。本次测试的 20 个锆石分析点 Th 的变化范围为 $50.26\times 10^{-6}\sim 776.29\times 10^{-6}$,U 的变化范围为 $52.61\times 10^{-6}\sim 1053.81\times 10^{-6}$ 。其中有 3 颗锆石(8、10、13 号)年龄在 $427\sim 530\text{Ma}$ 之间,其振荡型环带性较弱、颜色呈深灰色,应为继承性锆石;有 2 颗锆石(3、9 号)的测年结果偏离谐和线,可能为岩浆上升时捕获的早期岩浆锆石。其余 15 个测点均位于谐和线上, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $130.0\text{Ma}\pm 1.7\text{Ma}$ (1σ , MSWD=4.0),应代表岩浆结晶的年龄。

4 岩石地球化学

对剖面上的火山岩进行了岩石化学分析,其主量元素、微量元素和稀土元素的分析结果见表 2~表 4。

该区火山岩的主量元素及其含量(表 2): SiO_2 为 $62.23\%\sim 74.73\%$,平均 66.01% ,属酸性火山岩;全碱

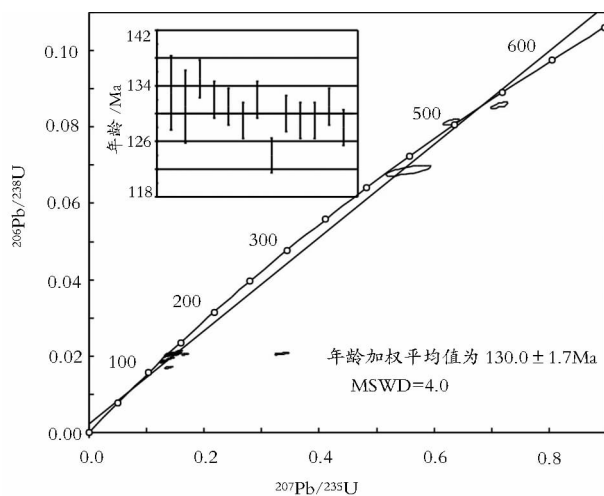


图 4 龙陵-瑞丽断裂带火山岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 U-Pb concordia diagram of zircons from volcanic rocks in Longling-Ruilu fault zone

($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$)含量在 $3.76\%\sim 5.59\%$,显示为富碱的特征; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值为 $1.09\sim 23.95$,平均为 11.88。在 SiO_2 - K_2O 图解中样品点落入高钾钙碱性系列。在 TAS 图解(图 5)中,大部分样品点落入英安岩区,属亚碱性系列,在 FAM 图解(图 6)中,所有样品点都落入钙碱性系列。 Al_2O_3 含量较高,且变化不大,在 $14.05\%\sim 18.65\%$ 之间。 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ 比值为 $4.08\sim 113.79$,平均为 63.40,明显高于地幔岩和球粒陨石的比值($1.1\sim 1.2$)^[11]。 TiO_2 含量在 $0.21\%\sim 0.89\%$ 之间,平均为 0.68% ,低于大陆裂谷碱性玄武岩的平均值(2.2%)和钙碱性岩系安山岩的平均值(1.16%),近于岛弧区钙碱性火山岩($0.58\%\sim 0.85\%$)。该火山岩的 CaO 、 TFeO 与 MgO 显示较好的正相关性,表明橄榄石、辉石、角闪石等可能是控制这些岩浆主量元素变化的分离矿物相。存在 CaO 、 MgO 和 TFeO 随 SiO_2 含量增加而递减之势,显示了同源岩浆演化的特点。

早白垩世火山岩的微量元素分析结果如表 3 所示。该火山岩强烈富集大离子亲石元素,如 Rb、K、Th、Pb 等,相对于原始地幔,其富集程度可达 1000 倍左右。总体上略呈右倾型,出现了 Rb、Th、U、Pb、Hf 的峰值和 Ba、La、Ce、Zr、Ti 的谷值,具有类似的不相容元素的分配型式,只是元素的富集和亏损程度略有差异,反映同源岩浆的特点和岩浆源区可能有地壳物质加入。

表 1 龙陵地区白垩纪火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results of Cretaceous volcanic rocks in Longling area

样号	同位素含量/ μB10^6				^{232}Th		同位素比值				年 龄 /Ma											
	^{206}Pb	^{207}Pb	^{208}Pb	^{232}Th	^{238}U	^{207}Pb ^{206}Pb	1 σ	^{207}Pb ^{235}U	1 σ	^{206}Pb ^{238}U	^{206}Pb ^{232}Th	1 σ	^{207}Pb ^{235}U	1 σ	^{206}Pb ^{238}U	^{208}Pb ^{232}Th	1 σ					
01	17.89	1.23	3.82	265.3	179.5	1.48	0.0528	0.002	0.15178	0.0055	0.02086	0.00024	0.00672	0.00016	318	61	143	5	133	2	135	3
02	16.03	0.866	2.87	236.6	196.4	1.20	0.0513	0.0037	0.14495	0.01007	0.02049	0.00036	0.00734	0.00023	254	127	137	9	131	2	148	5
03	18.81	2.15	4.26	246.6	217.7	1.13	0.11178	0.0039	0.33472	0.01047	0.0206	0.00024	0.00992	0.00025	1923	39	293	8	131	2	200	5
04	15.92	0.832	2.269	155.5	158.6	0.98	0.0534	0.0017	0.15657	0.00471	0.02125	0.0002	0.00694	0.00011	147	119	135	7	135	1	134.7	0.9
05	23.19	1.852	5.85	513.9	259.1	1.98	0.0488	0.0018	0.13898	0.00486	0.02063	0.00021	0.00603	0.00011	140	63	132	4	132	1	122	2
06	12.98	0.701	1.64	121.3	144.3	0.84	0.0526	0.0021	0.14956	0.00569	0.0206	0.00022	0.00678	0.00013	313	67	142	5	131	1	137	3
07	22.15	1.225	3.63	264.3	248.3	1.06	0.0535	0.0017	0.15034	0.00443	0.02039	0.0002	0.00683	0.00011	-	91	123	5	129	1	130	2
08	241.1	15.32	11.84	170.8	546.1	0.31	0.0562	0.0011	0.62983	0.01149	0.08131	0.00067	0.0254	0.00042	459	26	496	7	504	4	507	8
09	8.51	3.35	4.09	50.26	52.61	0.96	0.0592	0.0028	0.13888	0.00622	0.01702	0.00022	0.00492	0.00008	573	75	132	6	109	1	99	2
10	129.5	8.04	19.59	420.3	335.7	1.25	0.0604	0.0011	0.71315	0.01208	0.08565	0.00069	0.02364	0.00033	617	23	547	7	530	4	472	7
11	25.89	1.385	3.64	281.6	311.8	0.90	0.0542	0.0021	0.15416	0.00584	0.02061	0.00023	0.0065	0.00013	381	65	146	5	132	1	131	3
12	20.65	1.165	3.76	327.6	256	1.28	0.0529	0.002	0.14177	0.00513	0.01943	0.00021	0.00621	0.00012	325	62	135	5	124	1	125	2
13	243.3	15.29	9.11	256	1054	0.24	0.0586	0.0035	0.55417	0.03199	0.06855	0.00111	0.0351	0.00193	553	98	448	21	427	7	697	38
14	39.22	2.02	8.51	776.3	494.4	1.57	0.0502	0.0016	0.12741	0.0038	0.01841	0.00018	0.00561	0.0001	204	51	122	3	118	1	113	2
15	18.53	1.036	3.12	233.9	211.3	1.11	0.0542	0.0019	0.15379	0.00514	0.02059	0.00021	0.00696	0.00013	-	83	124	4	130	1	132	2
16	28.52	2.86	6.18	484.3	338.2	1.43	0.0592	0.0019	0.16709	0.00497	0.02048	0.00021	0.00699	0.00013	-	89	122	5	129	1	131	2
17	15.76	0.837	3.29	215	187.1	1.15	0.0500	0.0021	0.13985	0.00556	0.02029	0.00023	0.00653	0.00014	194	71	133	5	129	1	132	3
18	17.76	0.917	4.3	340	201	1.69	0.0492	0.0021	0.13971	0.0056	0.0206	0.00023	0.0067	0.00014	156	73	133	5	131	1	135	3
19	24.77	1.361	3.5	293	310.2	0.94	0.0506	0.002	0.13043	0.00469	0.0187	0.00021	0.00627	0.00014	221	62	124	4	119	1	126	3
20	38.86	1.97	5.01	416.8	463.1	0.90	0.0487	0.0017	0.13482	0.0044	0.02006	0.00021	0.0062	0.00013	135	57	128	4	128	1	125	3

表 2 龙陵-瑞丽断裂带早白垩世火山岩主量元素分析结果

Table 2 Analyses of major elements in Early Cretaceous volcanic rocks of Longling-Ruili fault zone %

样号	岩 性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	CO ₂	烧失量
ZD1	蚀变英安岩	74.73	0.21	14.64	1.55	0.23	0.09	0.28	0.17	0.22	5.27	0.02	2.39	0.02	2.26
D3952	英安质糜棱岩	65.70	0.76	15.51	2.04	4.25	0.05	3.39	0.23	0.27	3.49	0.09	4.00	0.04	3.50
D3950	糜棱岩化英安岩	65.52	0.75	15.93	3.88	2.90	0.09	2.22	0.14	0.21	3.91	0.12	4.12	0.02	3.74
G3952	英安岩	64.77	0.68	14.05	1.39	3.75	0.08	3.55	3.44	0.44	3.72	0.15	2.93	0.83	3.36
D3955	英安质糜棱岩	62.23	0.89	18.65	3.15	2.75	0.11	2.02	0.36	2.68	2.91	0.15	3.89	0.02	3.57
D3984	糜棱岩化英安岩	63.11	0.79	17.15	6.54	0.73	0.10	2.11	0.30	0.59	3.67	0.08	4.63	0.02	4.61

表 3 龙陵-瑞丽断裂带早白垩世火山岩微量元素分析结果

Table 3 Analyses of trace elements in Early Cretaceous volcanic rocks of Longling-Ruili fault zone 10⁻⁶

样号	岩 性	Ba	Co	Cu	Ni	Sr	V	Zn	Sc	Nb	Cs	Ta	Th
ZD1	蚀变英安岩	640	4.50	6.16	2.24	19.9	9.68	51.0	5.07	29.4	11.0	2.82	38.4
D3952	英安质糜棱岩	531	13.6	6.31	32.1	26.5	95.7	59.5	15.2	19.7	8.18	1.67	23.5
D3950	糜棱岩化英安岩	507	21.2	30.6	41.9	8.72	96.5	96.3	13.0	19.7	8.83	1.79	16.8
G3952	英安岩	743	20.0	16.7	36.3	89.0	93.1	109	13.7	17.0	16.1	1.44	21.5
D3955	英安质糜棱岩	535	11.6	8.46	9.15	183	95.7	90.2	18.6	17.3	11.2	1.46	15.5
D3984	糜棱岩化英安岩	495	23.0	30.2	46.7	36.8	102	96.3	15.1	20.7	9.01	1.94	19.0
样号	岩性	U	W	Sn	Cr	Pb	Rb	Zr	Hf	Ag	Bi	Sb	Au
ZD1	蚀变英安岩	5.40	40.1	4.44	3.88	35.0	286	212	7.14	0.375	0.03	1.95	3.0
D3952	英安质糜棱岩	1.99	15.8	3.75	92.1	8.08	167	170	5.43	0.026	0.25	5.49	1.6
D3950	糜棱岩化英安岩	1.90	36.1	3.96	98.4	39.3	89.1	184	5.76	0.045	0.29	4.35	0.5
G3952	英安岩	1.25	42.4	9.24	85.7	30.6	155	180	5.52	0.088	0.39	4.07	1.5
D3955	英安质糜棱岩	2.07	8.49	2.53	29.1	26.4	146	237	6.66	0.044	0.47	3.18	0.9
D3984	糜棱岩化英安岩	1.91	11.6	4.90	112	32.3	110	184	5.71	0.056	0.25	2.46	1.0

表 4 龙陵-瑞丽断裂带早白垩世火山岩稀土元素分析结果

Table 4 Analyses of rare earth elements in Early Cretaceous volcanic rocks of Longling-Ruili fault zone 10⁻⁶

样 号	岩 性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	总量
ZD1	蚀变英安岩	58.8	115	13.5	46.7	9.90	1.02	9.00	1.35	7.97	1.59	4.59	0.74	4.96	0.73	46.5	322
D3952	英安质糜棱岩	61.5	114	13.7	48.9	9.47	1.76	8.14	1.17	6.53	1.25	3.37	0.51	3.29	0.47	31.8	305
D3950	糜棱岩化英安岩	58.9	108	12.7	45.4	8.89	1.65	7.57	1.10	6.28	1.24	3.51	0.53	3.50	0.50	35.3	295
G3952	英安岩	51.5	98.2	11.0	39.8	7.59	1.42	6.36	0.90	5.07	0.99	2.83	0.42	2.71	0.38	28.2	257
D3955	英安质糜棱岩	45.3	81.6	9.93	35.8	6.95	1.81	5.78	0.86	4.89	0.96	2.80	0.43	2.86	0.42	26.2	227
D3984	糜棱岩化英安岩	62.1	117	13.2	48.1	9.05	1.72	7.62	1.12	6.31	1.25	3.55	0.53	3.43	0.49	34.9	310

稀土元素分析结果如表 4 所示。稀土总量 $\Sigma\text{REE}=227\times10^{-6}\sim322\times10^{-6}$ ，平均为 286×10^{-6} 。 $\text{LREE}=181.39\times10^{-6}\sim251.17\times10^{-6}$ ， $\text{HREE}=19\times10^{-6}\sim30.93\times10^{-6}$ ， $\text{LREE}/\text{HREE}=7.92\sim10.66$ ，平均为 9.71。轻稀土元素相对富集。研究表明,通常火山岩^[12]的 $\Sigma\text{REE}=154.79\times10^{-6}\sim484.19\times10^{-6}$ ，平均为 311.09×10^{-6} ，陆壳物质重熔产生的岩石可能具有较高的稀土元素总量。本区火山岩稀土元素总量较高,反映其可能

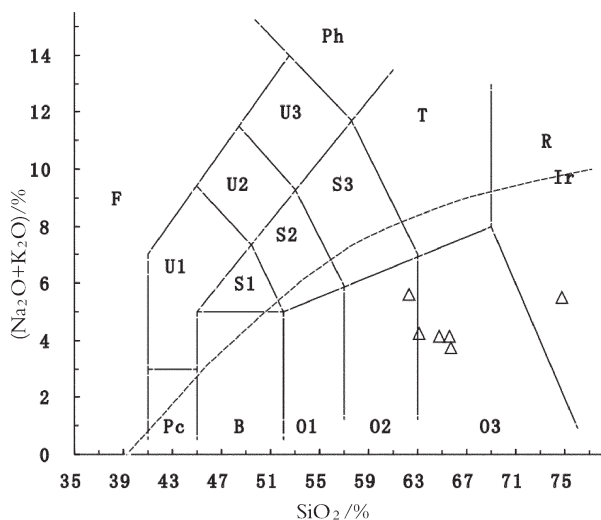
图 5 早白垩世火山岩 TAS 图解^[9]

Fig. 5 TAS diagram of Early Cretaceous volcanic rocks in Longling area

Pc—苦橄玄武岩;B—玄武岩;O1—玄武安山岩;O2—安山岩;O3—英安岩;R—流纹岩;S1—粗面玄武岩;S2—玄武质粗面安山岩;S3—粗面安山岩;T—粗面岩、粗面英安岩;F—副长石岩;U1—碱玄岩、碧玄岩;U2—响岩质碱玄岩;U3—碱玄质响岩;Ph—响岩;Ir—Irvine 分界线,上方为碱性,下方为亚碱性

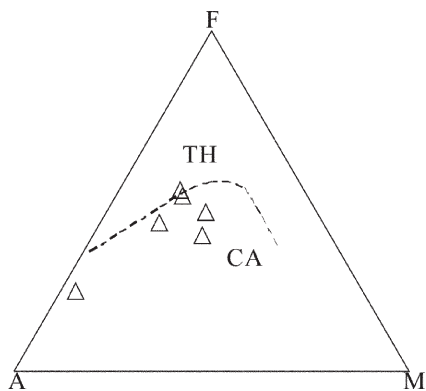
图 6 龙陵地区早白垩世火山岩 FAM 图解^[10]

Fig. 6 FAM diagram of Early Cretaceous volcanic rocks in Longling area

TH—拉斑玄武岩系列;CA—钙碱性系列

具有壳源岩浆的特征。

5 构造环境判别

通过对岩石组合和以其为基础的岩石地球化学特征研究,可以有效地判断岩石形成时的构造环境^[13]。由前面的分析可知,本区的火成岩岩石类型以流纹岩、英安岩、流纹质熔结角砾岩等酸性岩

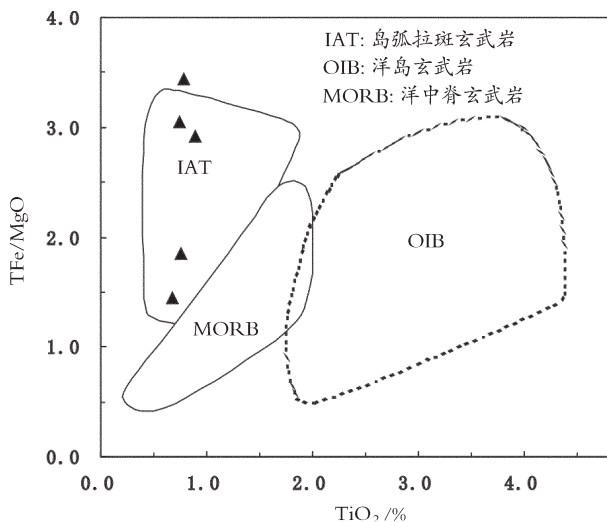


图 7 龙陵地区早白垩世火山岩

TiO₂-TFe/MgO 判别图解Fig. 7 TiO₂-TFe/MgO diagram

of Early Cretaceous volcanic rocks in Longling area

为主,岩石化学表现为富 SiO₂、富碱,属高钾钙碱性系列和亚碱性系列的钙碱性系列。TiO₂ 含量近于岛弧区钙碱性火山岩(0.58%~0.85%)。微量元素中强烈富集大离子亲石元素,如 Rb、K、Th、Pb 等,相对于原始地幔,其富集程度可达 1000 倍左右,反映岩浆源区可能有地壳物质加入。轻稀土元素相对富集,稀土元素总量较高,显示其具有壳源岩浆的特征。

本次对龙陵—瑞丽断裂带的样品进行了构造环境判别图投影。在 TiO₂-TFe/MgO 判别图解(图7)中,有 1 件样品点投出图外,有 4 件样品点投在岛弧拉斑玄武岩(IAT)区域中,证明龙陵—瑞丽断裂带中的早白垩世火山岩的构造环境可能为岛弧环境。与位于怒江带的西藏八宿地区的朱村组火山岩的构造环境为火山弧^[14]较为相近。

6 讨论与结论

研究表明:新特提斯大洋的班公湖—怒江洋俯冲开始时间为 170Ma 左右(双向俯冲),其闭合时间可能自晚侏罗世(约 159Ma)开始,到早白垩世末(约 99Ma)完成,使拉萨地块与羌塘地块碰撞拼合。班公湖—怒江洋壳岩石圈南向俯冲(在滇西表现为西向俯冲)诱导的幔源岩浆提供了足够的热量,使板块的古老基底物质发生重熔。本次测试的 3 颗古老锆石

的年龄为 $(427.4 \pm 6.71) \sim (529.7 \pm 4.1)$ Ma, 说明怒江洋板块存在早古生代的物质。在岛弧演化晚期由挤压转换为伸展的过程中, 不稳定的应力场和构造减压熔融完全可能造成上地幔不同程度的熔融, 形成基性至酸性火山岩。

龙陵-瑞丽断裂带中的火山岩的锆石 U-Pb 年龄为 $130.0 \text{ Ma} \pm 1.7 \text{ Ma}$, 该年龄与拉萨地体同羌塘地块的碰撞拼合时间 $(159 \sim 99 \text{ Ma})$ 相近^[15], 而且与同位于怒江带上的八宿地区朱村组火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 $(128 \text{ Ma} \pm 2 \text{ Ma})$ ^[14] 比较接近。岩石地球化学特征反映其构造背景为岛弧环境, 也与藏东八宿地区朱村组的中酸性火山岩岩性相近, 其形成环境被认为是洋壳向陆壳俯冲、消减的火山弧环境。西藏墨竹工卡的洞中拉辉绿玢岩的锆石 SHRIMP U-Pb 为 $117.1 \text{ Ma} \pm 1.0 \text{ Ma}$ ^[16]。这些岩浆活动的时间与中冈底斯向南俯冲的班公湖-怒江洋壳岩石圈的断离造成幔源物质显著增加的带状岩浆大爆发的时限 (110 Ma) 相一致^[17], 也与冈底斯弧后裂谷拉张作用的时限一致^[18]。因此, 结合区域资料笔者认为: 龙陵-瑞丽断裂带火山岩应该是在早白垩世怒江洋闭合过程岩浆活动的产物。

致谢: 锆石 U-Pb 年代学分析测试工作得到西北大学柳小明老师的指导和帮助, 在此表示感谢。

参考文献

- [1] 任纪舜. 论中国南部的大地构造[J]. 地质学报, 1990, (4): 275-288.
- [2] 姜朝松, 周瑞琦, 周真恒, 等. 滇西地区及邻区构造单元划分及其特征[J]. 地震研究, 2000, (1): 21-29.
- [3] 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 等. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. 地质通报, 2002, (11): 701-707.
- [4] 胡斌, 戴塔根, 胡瑞忠, 等. 滇西地区壳体大地构造单元的划分及其演化与运动特征[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(4): 537-544.
- [5] 樊春, 王二七. 滇西高黎贡山南段左行剪切构造形迹的发现及其大地构造意义[J]. 自然科学进展, 2004, 14(10): 1189-1193.
- [6] 丛峰, 林仕良, 李再会, 等. 滇西腾冲地块片麻状花岗岩的锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质学报, 2009, 83(5): 651-658.
- [7] 杨启军, 徐义刚, 黄小龙, 等. 高黎贡构造带花岗岩的年代学和地球化学及其构造意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(4): 817-834.
- [8] 吴元保, 郑永飞. 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, 2004, 49(16): 1589-1604.
- [9] Maitre R W Le. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms[M]. Blackwell Scientific Publications, 1989.
- [10] Irvine T N, Barager W R A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1971, 8: 523-548.
- [11] 林金辉. 藏北高原新生代高钾钙碱性系列火山岩与壳-幔相互作用[D]. 成都理工大学博士学位论文, 2003.
- [12] 赖绍聪, 隆平. 北祁连山岛弧型火山岩地球化学特征[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1996, 26(5): 445-449.
- [13] Rollison R H 著. 杨学明, 等译. 岩石地球化学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000.
- [14] 谢尧武, 李林庆, 强巴扎西, 等. 藏东八宿地区朱村组火山岩地球化学、同位素年代学及其构造意义[J]. 地质通报, 2009, 28(9): 1244-1252.
- [15] 莫宣学, 潘桂棠. 从特提斯到青藏高原形成: 构造-岩浆事件的约束[J]. 地学前缘, 2006, 13(6): 43-51.
- [16] 费光春, 温春齐, 王成松, 等. 西藏冈底斯东段墨竹工卡地区洞中拉辉绿玢岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及意义[J]. 地质通报, 2010, 29(8): 1138-1142.
- [17] 朱弟成, 莫宣学, 赵志丹, 等. 西藏南部二叠纪和早白垩世构造岩浆作用与特提斯演化: 新观点[J]. 地学前缘, 2009, 16(2): 1-20.
- [18] 张开均, 夏斌, 夏邦栋, 等. 冈底斯弧后早白垩世裂谷作用的沉积学证据[J]. 沉积学报, 2003, 21(1): 31-37.
- ① 陈福坤, 李秋立, 王秀丽, 等. 云南特提斯带保山-腾冲地块早古生代岩浆岩. 北京: 第八届全国同位素地质年代学 and 同位素地球化学学术讨论会, 2005.
- ② 云南省地质局区域地质调查队. 1:20 万腾冲幅、盈江幅区域地质调查报告. 昆明: 云南省地质局, 1982.
- ③ 云南省地质局第一区测队. 1:20 万潞西幅、瑞丽幅、弄岛幅地质报告书. 云南省地质局, 1966.
- ④ 云南省地质调查院. 1:25 万腾冲县幅、潞西市幅区域地质报告. 云南省地质调查院, 2009.