

滇西腾冲地区龙川江河谷上新世火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地球化学特征

石玉若^{1,2}, 吴中海¹, 范桃园¹, 仝亚博¹, 杨振宇¹

SHI Yu-ruo^{1,2}, WU Zhong-hai¹, FAN Tao-yuan¹, TONG Ya-bo¹, YANG Zhen-yu¹

1. 中国地质科学院力学研究所, 北京 100081;

2. 北京离子探针中心/中国地质科学院地质研究所, 北京 100037

1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

2. *Beijing SHRIMP Center/ Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*

摘要:报道了应用 SHRIMP 技术测定云南腾冲地区龙川江河谷附近上新世粗面安山岩和粗面岩的年龄结果。该区粗面安山岩与粗面岩的喷发时代接近, 形成时代为 $2.81\text{Ma} \pm 0.11\text{Ma}$, 属上新世。该区火山岩具高钾钙碱性的特点, 富集大离子亲石元素、稀土元素和高场强元素(如 Zr、Th、Hf)的特征明显不同于典型的岛弧钙碱性火山岩, 而与遭受地壳混染的软流圈源大陆玄武岩相类似, 是在板内拉张环境下地幔岩浆混染了大量下地壳物质的产物。

关键词:SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄; 火山岩; 上新世; 腾冲地区

中图分类号: P597^{+.3}; P595

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2012)02/03-0241-09

Shi Y R, Wu Z H, Fan T Y, Tong Y B, Yang Z Y. SHRIMP zircon U-Pb dating and geochemical analysis of the Pliocene volcanic rocks from Longchuanjiang valley, Tengchong area, western Yunnan Province. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31 (2/3): 241-249

Abstract: In this paper, Pliocene ages (ca. 2.8 Ma) of trachyandesite and trachyte from Longchuanjiang valley in Tengchong area were yielded using SHRIMP II in Beijing SHRIMP Laboratory. The ages of trachyandesite and trachyte correspond with each other within uncertainties and are taken to represent the time of eruption ($2.81\text{ Ma} \pm 0.11\text{ Ma}$). The volcanic rocks are rich in alkalis ($\text{Na}_2\text{O} = 3.53 - 3.66\text{ wt\%}$, $\text{K}_2\text{O} = 3.33 - 3.64\text{ wt\%}$) and calcium ($\text{CaO} = 4.04 - 5.05\text{ wt\%}$). They contain high Ba ($1057 \times 10^{-6} \sim 1145 \times 10^{-6}$), Sr ($502.0 \times 10^{-6} \sim 650.7 \times 10^{-6}$), REE ($\Sigma\text{REE} = 315.53 \times 10^{-6} \sim 365.16 \times 10^{-6}$), and Zr ($308.8 \times 10^{-6} \sim 382.2 \times 10^{-6}$). These geochemical features are different from those of typical island arc volcanic rocks but show an affinity with contaminated asthenosphere-generated continental basaltic rocks. The Pliocene volcanic rocks from Longchuanjiang valley in Tengchong area were derived from partial melting of an enriched mantle source, contaminated by large crustal materials in an intraplate extensional environment.

Key words: SHRIMP zircon U-Pb age; volcanic rock; Pliocene; Tengchong area

腾冲火山岩广泛分布于云南西部, 分布面积在 750km^2 以上^[1], 构造上位于印度与欧亚板块的东部碰撞边界, 离缅甸弧板块缝合线约 300km ^[2]。火山岩为钙

碱性系列玄武岩-安山岩-英安岩组合^[3]。穆治国等^[4]对该区的火山岩进行了较为系统的 K-Ar 法定年, 其年龄域在 $0.09 \sim 17.84\text{Ma}$ 之间, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} - ^{40}\text{K}/^{36}\text{Ar}$ 等时

收稿日期: 2011-05-10; 修订日期: 2011-12-12

资助项目: 中国地质调查局地质调查项目《泛亚铁路大理至瑞丽沿线地质构造综合研究》(编号: 1212010814054)、《西南地区活动构造域应力场模拟》(编号: 1212010911049)、《青藏高原东南缘重要活动断裂厘定与活动构造体系综合研究》(编号: 1212011120163)和《云南 1:5 万马厂幅、道街坝幅区域地质调查》(编号: 1212010784004)

作者简介: 石玉若(1975-), 男, 副研究员, 从事同位素年代学与地球化学研究。E-mail: shiyuruo@bjshrmp.cn

线年龄分别为 2.93、0.81、0.31、0.13(Ma)。本文应用 SHRIMP 测试技术对分布于腾冲龙川江河谷附近的粗面安山岩和粗面岩中的锆石进行了 U-Pb 测定,试图对腾冲火山活动的时代作进一步的限定。

1 地质背景与样品描述

腾冲火山岩分布在腾冲-梁河断陷的北部,以腾冲盆地为中心展布^[3]。区内广泛分布新生代火山岩和中生代花岗岩,还出露高黎贡群变质岩(原来一直被认为属元古宙变质岩,笔者所在项目组最近研究发现其中大部分为古生代—中生代岩体),古生代泥岩、板岩、含砾砂岩、白云岩组合和新生代陆相碎屑岩^[3]。腾冲火山岩主要以玄武岩、玄武安山岩、粗面安山岩和安山岩为主,也有橄榄玄武岩、辉石玄武岩、英安岩等^[1,3]。

样品采自腾冲团田地区(图 1)龙川江河谷附近的采石场,样品新鲜,岩性为粗面安山岩及粗面岩。岩石特征如下。

粗面岩(样品编号:SD018,采样位置:E98°38'44.5"、N24°43'12.4")为斑状结构,杏仁状构造。斑晶主要为斜长石(10%±)、钾长石(10%~15%)、角闪石(10%~15%),还有少量的黑云母、单斜辉石、斜方辉石。斑晶均为半自形晶,大小一般 0.5~2mm,杂乱分布;单斜辉石、斜方辉石局部绿泥石化。基质为斜长石(40%±)、钾长石(25%±)。斜长石半自形板状,大小一般 0.01~0.05mm,定向分布;钾长石半自形—它形粒状,大小一般 0.01~0.05mm,填隙状定向分布。杏仁体(5%±)呈不规则状、云朵状,大小一般 0.5~1mm,略定向分布,成分为硅质、绿泥石、沸石。

粗面安山岩(样品编号:SD024-2,采样位置:E98°38'34.0"、N24°43'06.2")为斑状结构,块状构造。斑晶为斜长石(10%±)、单斜辉石(1%~5%)、斜方辉石(1%±),均为半自形晶,大小一般 0.5~1mm,部分 1~2mm,定向分布。斜长石半自形板状,局部带状熔蚀;单斜辉石可见环带;斜方辉石局部被滑石交代。基质为斜长石(35%~40%)、钾长石(20%~25%)、单斜辉石(10%~15%)。斜长石半自形板状,大小一般 0.05~0.1mm,定向—半定向分布;钾长石填隙状分布;单斜辉石半自形粒状,大小一般 0.001~0.05mm,呈星散状、填隙状分布于斜长石间。

岩石的野外照片和镜下显微照片见图版 I。

2 地球化学特征

主量元素、微量元素、稀土元素分别在加拿大 Acme Analytical Lab 用 XRF 法和 ICP-MS 法分析,分析结果列于表 1。

样品的 SiO₂ 含量为 60.77%~62.93%;Na₂O、K₂O 的含量较高,分别为 3.53%~3.66%和 3.33%~3.64%;CaO 含量也较高(4.04%~5.05%),为粗面安山岩和粗面英安岩(图 2)。在 AFM 图解(图 3)上为钙碱性系列。稀土元素分析结果显示其稀土元素含量高($315.53 \times 10^{-6} \sim 365.16 \times 10^{-6}$),富集 LREE, (La/Yb)_N 为 21.09~22.00,并具弱的负 Eu 异常(图 4)。微量元素分析结果显示其 Ba($1057 \times 10^{-6} \sim 1145 \times 10^{-6}$)、Sr($502.0 \times 10^{-6} \sim 650.7 \times 10^{-6}$)和 Zr($308.8 \times 10^{-6} \sim 382.2 \times 10^{-6}$)含量高,具高的 Th/Yb 值(8.8~9.8)、Zr/Y 值(11.2~12.1),在原始地幔标准化的微量元素蛛网图(图 5)上具 Nb、P 和 Ti 的负异常。这些特征明显不同于典型的岛弧钙碱性火山岩^[4],而与遭受地壳混染的软流圈源大陆玄武岩相类似^[5-6]。

3 分析方法

用约 5kg 岩石大样,清洗干净后,按照岩石中锆

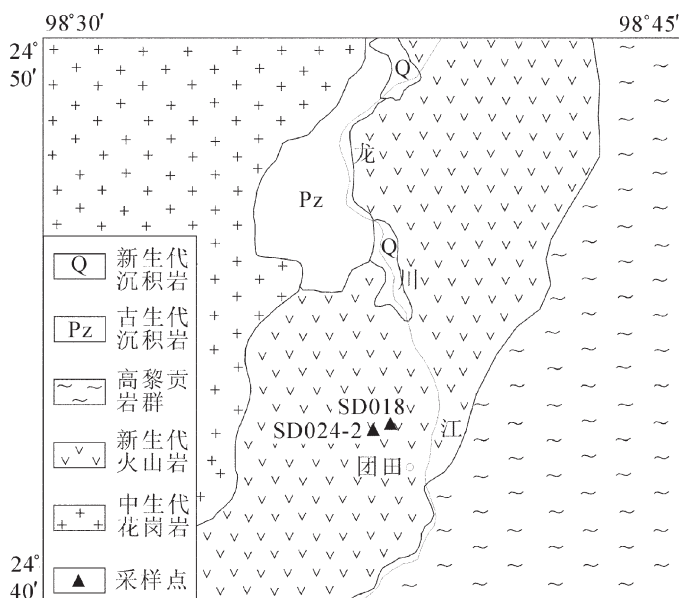


图 1 腾冲龙川江河谷附近团田地区地质简图(据参考文献①改绘)

Fig. 1 Geological sketch map of Tuan Tian area near Longchuanjiang valley, Tengchong County

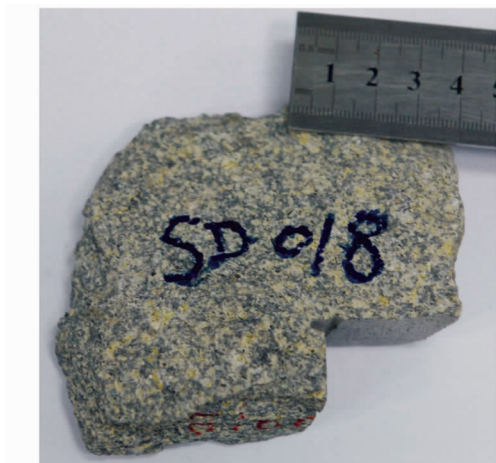
图版 I Plate I



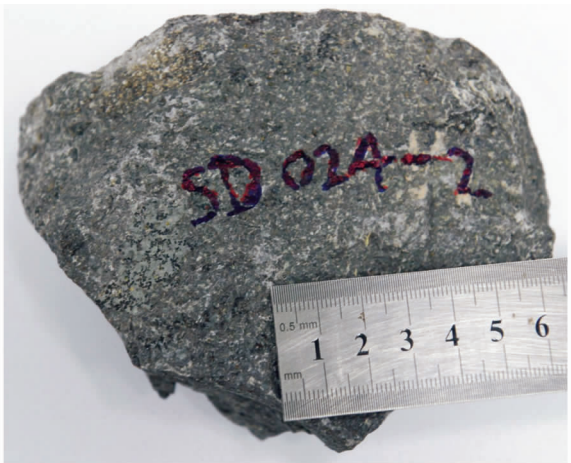
1.粗面岩(SD018)野外采样点照片



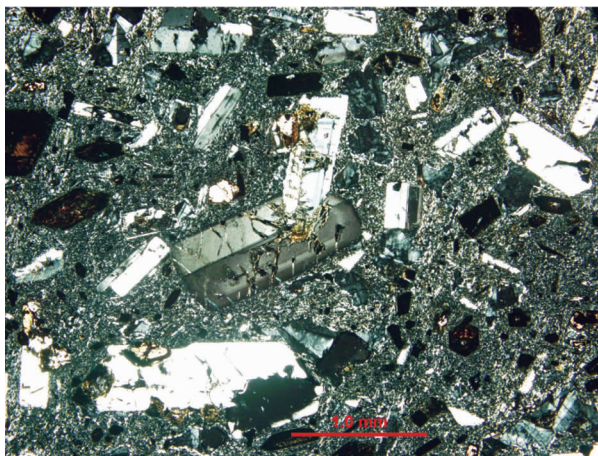
2.粗面安山岩(SD024-2)野外采样点照片



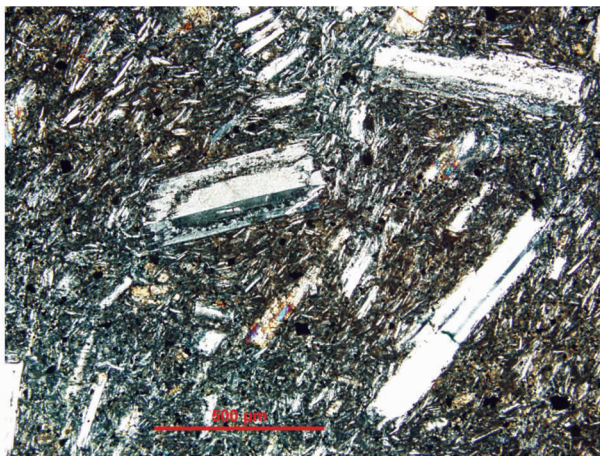
3.粗面岩(SD018)手标本照片



4.粗面安山岩(SD024-2)手标本照片



5.粗面岩(SD018)显微照片(正交偏光)



6.粗面安山岩(SD024-2)显微照片(正交偏光)

石的粒度,将样品粉碎至相应大小,然后反复手工淘洗,以富集重矿物组分中的锆石,接着进行电磁选分

离,最后把样品分成不同磁性组分。被挑选用于分析的锆石组分再经双目镜下检查,进行矿物性分离并

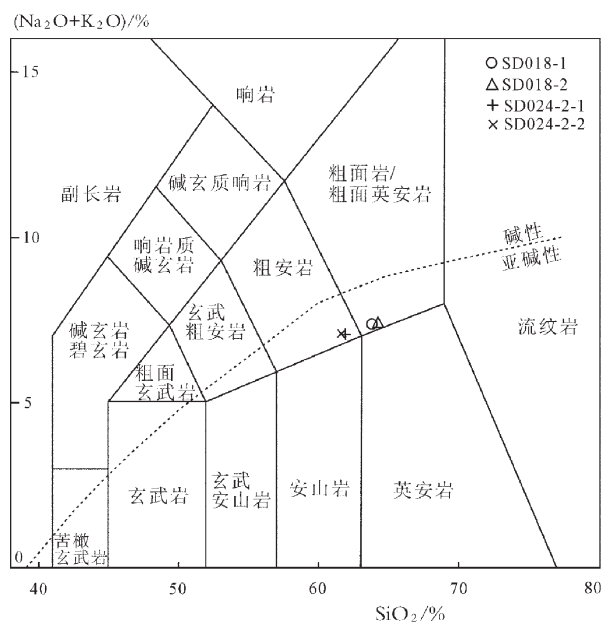


图2 TAS图解
Fig. 2 TAS diagram

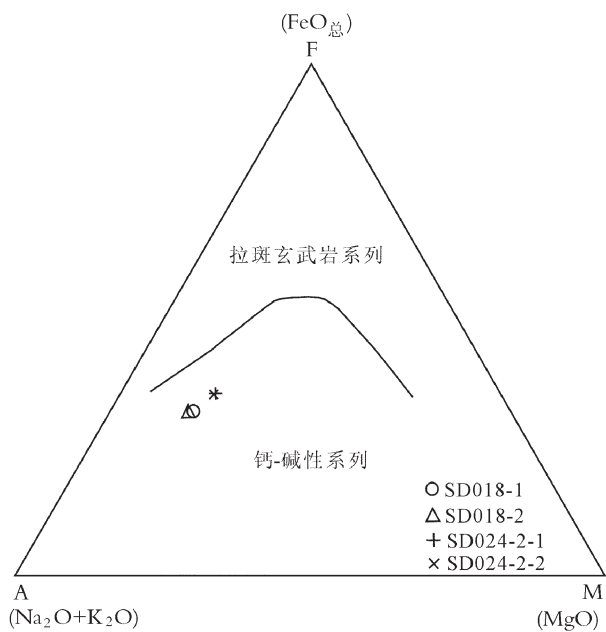


图3 AFM图解
Fig. 3 AFM diagram

除去其它残留矿物。

将锆石与数粒标准锆石 TEM 置于环氧树脂中,然后磨至约一半,使锆石内部暴露,用于反射光、透射光照相、拍摄锆石阴极发光图像和随后的 SHRIMP U-Pb 分析。阴极发光图像在北京探针中心的电子探针研究室完成。

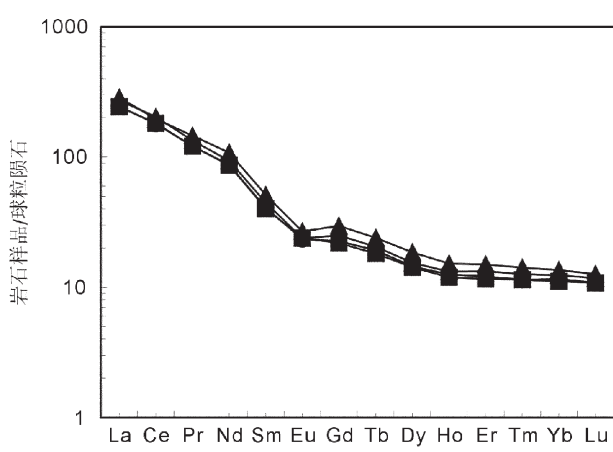


图4 腾冲龙川江河谷火山岩稀土元素配分模式
(球粒陨石标准化值引自文献[7])
Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns
of volcanic rocks from Longchuanjiang valley, Tengchong area

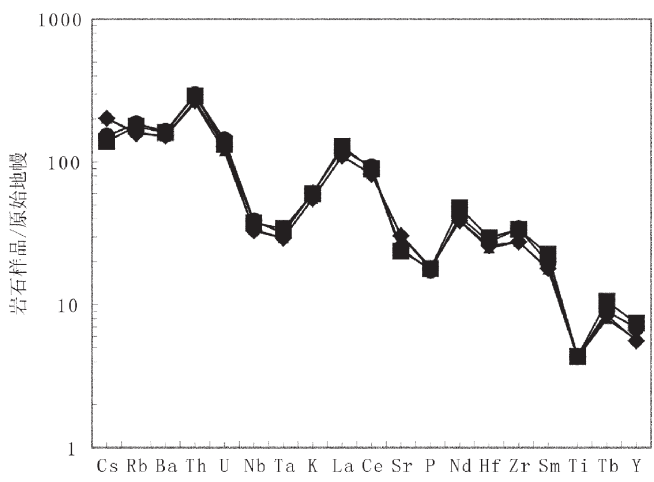


图5 腾冲龙川江河谷火山岩微量元素蛛网图
(原始地幔标准化值引自文献[8])
Fig. 5 Trace elements spidergrams of volcanic rocks
from Longchuanjiang valley, Tengchong area

锆石 SHRIMP U-Pb 分析在北京离子探针中心的 SHRIMP II 上完成,详细分析流程和原理详见文献[9]。测定时仪器质量分辨率约为 5000(1%峰高)。一次离子流 O_2^+ 强度为 6nA,一次离子流束斑直径为 30 μ m 左右。样品点清洗时间为 180s(即 3min)。测定质量峰为 $^{90}Zr^{16}O^+$ 、 $^{204}Pb^+$ 、背景值、 $^{206}Pb^+$ 、 $^{207}Pb^+$ 、 $^{208}Pb^+$ 、 $^{238}U^+$ 、 $^{232}Th^{16}O^+$ 、 $^{238}U^{16}O^+$ 。由于样品十分年轻,放射性成因铅含量低,增加 $^{206}Pb^+$ 、 $^{207}Pb^+$ 的计数积分时间为 30s(一般为 10s、20s)。应用标准锆石

表 1 腾冲龙川江河谷火山岩的主量元素、微量元素和稀土元素分析结果

Table 1 Whole rock analyses of major, trace and rare earth elements of volcanic rocks from Longchuanjiang valley, Tengchong area

样号	SD018-1	SD018-2	SD024-2-1	SD024-2-2
SiO ₂	62.93	62.85	60.84	60.77
TiO ₂	0.94	0.94	0.93	0.94
Al ₂ O ₃	15.88	15.81	16.17	16.47
Fe ₂ O ₃	4.76	4.69	5.66	5.63
MnO	0.07	0.07	0.08	0.09
MgO	1.88	1.77	2.36	2.32
CaO	4.16	4.04	4.93	5.05
Na ₂ O	3.54	3.53	3.62	3.66
K ₂ O	3.64	3.62	3.33	3.34
P ₂ O ₅	0.38	0.39	0.4	0.39
烧失量	1.5	2	1.4	1
合计	99.69	99.71	99.7	99.67
Ba	1145	1123	1057	1065
Be	3	3	3	3
Co	11.8	12.1	13.7	14.0
Cs	1.2	1.1	1.6	1.6
Ga	19.6	19.5	19.2	18.5
Hf	8.5	9.1	7.7	8.0
Nb	27.6	26.7	23.8	23.5
Rb	117.8	112.9	102.1	100.2
Sr	520.5	502.0	650.7	642.9
Ta	1.3	1.4	1.2	1.2
Th	25.2	24.8	22	22.8
U	3.0	2.8	2.5	2.7
V	91	88	92	92
W	1.2	1.0	0.9	1.2
Zr	382.2	377.4	310.2	308.8
Y	31.5	33.8	26.0	25.5
La	84.2	88.9	75.3	75.7
Ce	164.5	159.0	146.3	145.5
Pr	16.34	17.83	14.75	14.80
Nd	56.1	64.7	52.1	52.5
Sm	8.75	10.03	7.86	7.97
Eu	1.75	1.98	1.76	1.72
Gd	6.47	7.66	5.65	5.88
Tb	0.97	1.14	0.86	0.91
Dy	4.98	5.97	4.59	4.65
Ho	0.95	1.09	0.86	0.9
Er	2.79	3.15	2.44	2.54
Tm	0.41	0.46	0.37	0.37
Yb	2.58	2.83	2.33	2.42
Lu	0.39	0.42	0.36	0.36
Mo	0.7	0.9	0.9	0.9
Cu	13.5	13	12.4	12.4
Pb	9.0	3.0	6.3	7.8
Zn	47	56	50	50
Ni	7.9	9.4	14.3	13.4

注:主量元素单位为%,微量元素单位为 10⁻⁶

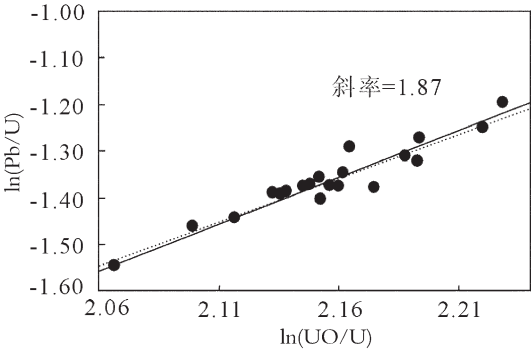


图 6 TEM 标准锆石的 ln(Pb/U)-ln(UO/U)图
Fig. 6 ln(Pb/U)-ln(UO/U) diagram of standard TEM

91500(年龄为 1062Ma、U 含量为 81.2×10⁻⁶)标定所测锆石的 U 含量。应用标准锆石 TEM(417Ma)进行样品年龄校正,Pb/U 校正公式采用 Pb/U=A(UO/U)²¹⁰。数据处理采用 SQUID 1.03^[11]和 ISOPLLOT^[12]。本次实验中共完成 20 个标准测定,其 ln(Pb/U)-ln(UO/U)拟合直线斜率为 1.87(图 6)。测点年龄值采用 ²⁰⁷Pb 校正的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄值,因为对于年轻样品,用 ²⁰⁷Pb 作普通铅年龄校正更为恰当^[9],数据结果见表 2,单个数据点的误差为 1σ。

4 火山岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄

4.1 粗面岩(SD018)锆石 SHRIMP U-Pb 测年结果

粗面岩中的锆石无色或浅黄色,透明,呈板状或柱状,长 100~200μm,长宽比为 2:1~5:1,无蜕晶质化现象。阴极发光图像显示其具有条带状或均一的火山岩锆石特征(图 7-a)。

锆石 SHRIMP U-Pb 测定结果见表 2。11 个数据点的 U、Th 含量和 Th/U 比值分别为 82×10⁻⁶~497×10⁻⁶、180×10⁻⁶~1908×10⁻⁶和 2.26~4.17。11 个数据点的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值为 2.74Ma±0.15Ma,MSWD 为 1.3(图 8-a)。在 Tera-Wasserberg 图(图 8-b)上,用未经普通铅校正的实测数据作图,数据点呈线性分布构成混合线,左上方指向普通铅组成,右下方与谐和线相交,交点年龄为 2.87Ma±0.34Ma,MSWD 为 1.4,该交点年龄具有较大的误差。锆石普通铅比例高(大多为 15.8%~37.2%),原因是岩石样品年龄十分年轻,放射性成因铅含量太低^[13]。

表 2 腾冲龙川江河谷火山岩锆石 SHRIMP U–Pb 同位素分析结果
Table 2 SHRIMP zircon U–Pb dating of volcanic rocks
from Longchuanjiang valley, Tengchong area

Spot	²⁰⁶ Pb _c /%	U /10 ⁻⁶	Th /10 ⁻⁶	Th/U	Pb* /10 ⁻⁶	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U 年龄/Ma	²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	±%	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±%
SD018										
1.1	34.8	245	755	3.18	0.117	2.68±0.21	1800	5.4	0.245	13.9
2.1	18.0	82	180	2.26	0.0775	3.46±0.62	913	6.0	0.449	14.6
3.1	--	399	1608	4.17	0.199	2.75±0.16	1720	4.5	0.255	8.7
4.1	20.9	497	1908	3.97	0.264	3.13±0.17	1614	4.0	0.216	10.4
5.1	15.8	205	606	3.05	0.135	2.28±0.65	1302	5.9	0.471	21.4
6.1	32.9	199	586	3.04	0.123	2.76±0.31	1388	5.4	0.366	12.5
7.1	33.4	106	248	2.41	0.0514	2.25±0.28	1779	7.6	0.345	13.7
8.1	18.6	161	497	3.19	0.101	2.50±0.44	1363	5.3	0.418	16.7
9.1	16.6	152	462	3.15	0.0828	2.37±0.28	1573	6.2	0.379	11.8
10.1	37.2	204	558	2.83	0.119	2.83±0.24	1478	5.5	0.323	9.9
11.1	17.0	361	1233	3.53	0.244	2.59±0.21	1273	4.2	0.431	6.4
SD024-2										
1.1	11.7	44	41	0.95	0.206	33.5±1.5	185	4.5	0.076	9.9
2.1	16.5	287	643	2.31	0.128	2.61±0.26	1919	5.1	0.223	23.6
3.1	31.9	250	773	3.19	0.122	2.77±0.17	1757	4.8	0.239	9.3
4.1	28.8	476	1537	3.33	0.219	2.86±0.15	1904	4.2	0.370	6.8
5.1	35.8	340	1434	4.36	0.166	2.75±0.16	1865	4.3	0.183	11.3
6.1	43.0	339	1436	4.37	0.168	2.77±0.18	1762	4.7	0.242	8.9
7.1	21.5	234	553	2.45	0.120	2.62±0.17	1735	4.6	0.247	10.5
8.1	45.3	253	636	2.60	0.124	2.91±0.16	1676	4.7	0.297	8.4
9.1	66.2	258	754	3.02	0.223	2.16±0.25	1758	4.6	0.209	9.5
10.1	7.4	827	2994	3.74	0.307	2.52±0.11	961	4.4	0.604	7.0
11.1	43.2	262	770	3.04	0.169	3.12±0.26	995	4.1	0.572	4.9
12.1	34.3	553	1599	2.99	0.235	2.81±0.13	2318	3.8	0.119	10.5
13.1	30.0	553	1597	2.98	0.230	2.78±0.11	1331	4.7	0.326	11.0
14.1	44.5	500	1559	3.22	0.351	2.85±0.18	2017	4.1	0.140	9.5
15.1	64.7	142	325	2.36	0.0972	2.10±0.31	2066	3.7	0.132	8.0
16.1	9.8	575	1565	2.81	0.251	2.79±0.13	1222	3.5	0.409	5.4
17.1	9.7	582	1589	2.82	0.258	2.80±0.13	1257	5.5	0.513	8.6

注：误差为 1σ；Pb_c 和 Pb* 分别为普通铅和放射成因铅；²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为普通铅校正时假设
²⁰⁶Pb/²³⁸U—²⁰⁷Pb/²³⁵U 年龄谐合

4.2 粗面安山岩(SD024-2)锆石 SHRIMP U–Pb 测年结果

粗面安山岩中的锆石分为 2 类。一类无色或浅黄色,透明,呈板状或柱状,长 150~300μm,长宽比为 3:1~5:1,无明显蛻晶质化现象,阴极发光图像

显示其具有条带状的火山岩锆石的特征(图 7-b 中的 2.1、3.1、4.1、5.1 点);另一类黄或黄褐色,不透明,呈次圆状,显示了残留锆石或者捕获锆石的特征。
锆石 SHRIMP U–Pb 测定结果见表 2。1 个数

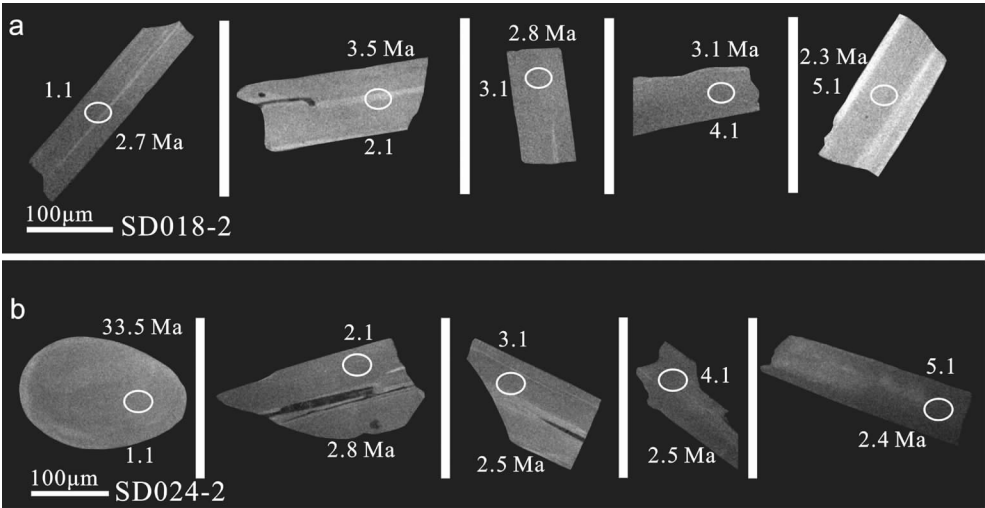


图 7 腾冲龙川江河谷火山岩部分锆石阴极发光图像及其 SHRIMP U-Pb 年龄
Fig. 7 Cathodoluminescence images and SHRIMP U-Pb ages of some zircons
of volcanic rocks from Longchuanjiang valley, Tengchong area

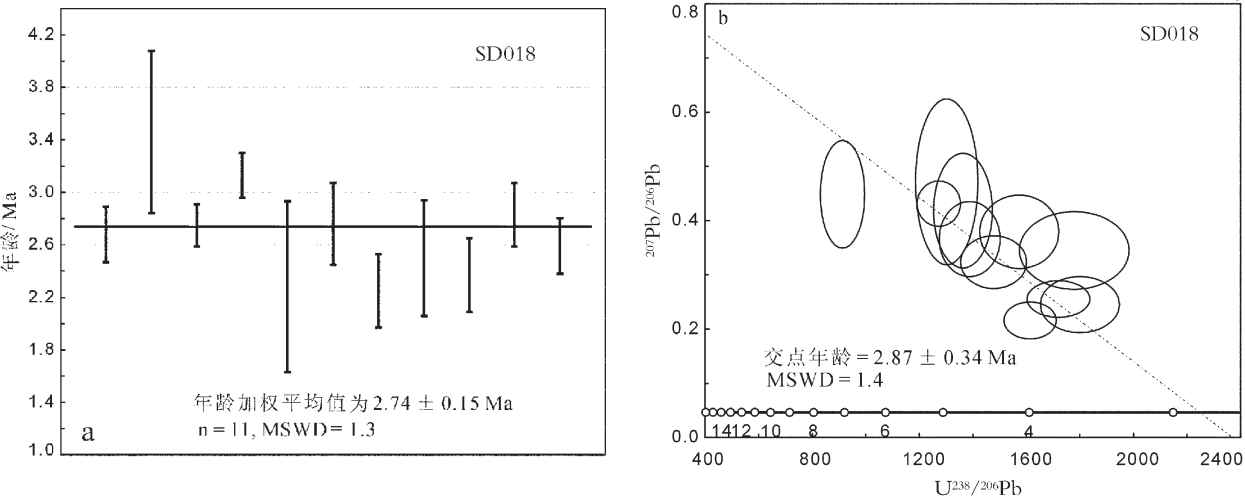


图 8 腾冲龙川江河谷粗面岩(样品 SD018)锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化图(a)和 Tera-Wasserberg 图解(b)
Fig. 8 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age variation and Tera-Wasserberg concordia diagram of zircons
from trachyte in Longchuanjiang valley, Tengchong area

据点年龄值为 33.5 Ma, 锆石阴极发光图像显示其为残留锆石或捕获锆石(图 7-b 中的 1.1)。其余 16 个数据点的 U、Th 含量和 Th/U 比值分别为 $142\times 10^{-6}\sim 827\times 10^{-6}$ 、 $325\times 10^{-6}\sim 2994\times 10^{-6}$ 和 2.31~4.37。其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $2.74\text{Ma}\pm 0.08\text{Ma}$, MSWD 为 1.3(图 9-a)。在 Tera-Wasserberg 图(图 9-b)上,交点年龄为 $2.80\text{Ma}\pm 0.11\text{Ma}$,MSWD 为 1.2。该样品同样具有较高的普通铅比例(7.4%~66.2%)。

5 讨 论

5.1 龙川江河谷火山岩的形成时代

腾冲龙川江河谷附近的粗面安山岩与粗面岩的年龄在误差范围内一致,将其数据合并处理,结果显示 27 个数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $2.74\text{Ma}\pm 0.07\text{Ma}$,MSWD 为 1.2(图 10-a),在 Tera-Wasserberg 图(图 10-b)上,交点年龄为 $2.81\text{Ma}\pm 0.11\text{Ma}$,MSWD 为 1.2。笔者将交点年龄($2.81\text{Ma}\pm$

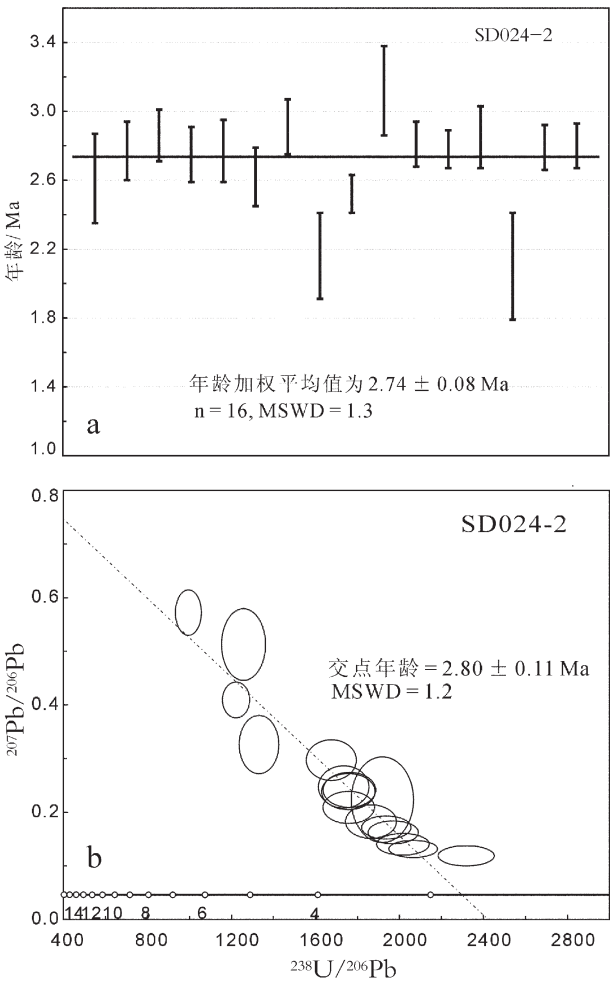


图 9 腾冲龙川江河谷粗面安岩锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化图和 Tera-Wasserberg 图解

Fig. 9 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age variation and Tera-Wasserberg concordia diagram of zircons from trachy andesite in Longchuanjiang valley, Tengchong area

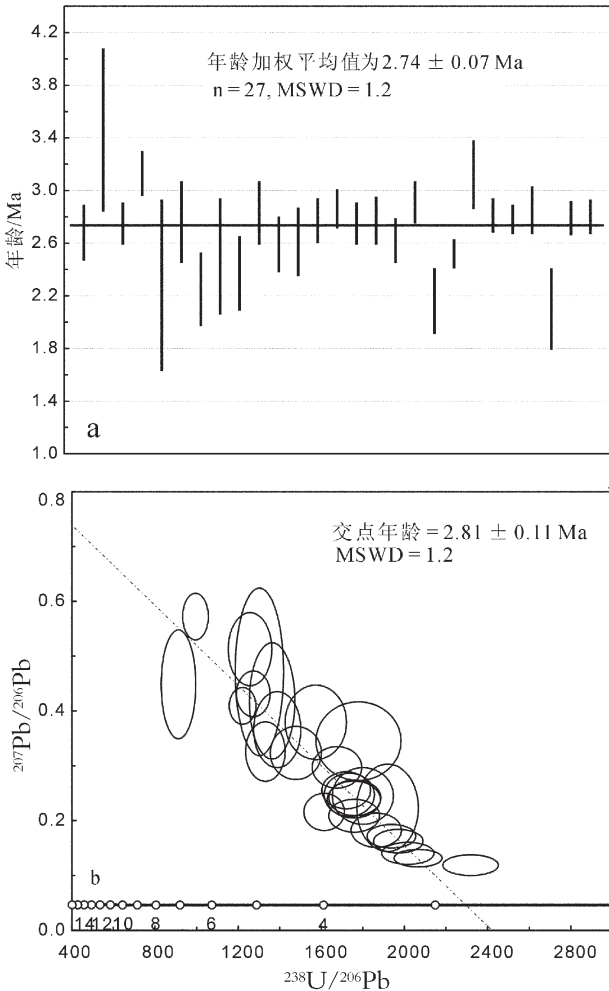


图 10 腾冲龙川江河谷火山岩锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化图和 Tera-Wasserberg 图解

Fig. 10 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age variation and Tera-Wasserberg concordia diagram of zircons from volcanic rocks in Longchuanjiang valley, Tengchong area

0.11Ma)作为锆石的形成年龄,属上新世,代表了该区火山岩的形成时代。该年龄与前人报道的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}-^{40}\text{K}/^{36}\text{Ar}$ 等时线年龄 (2.93Ma)^[1]、K-Ar 表面年龄 (2.728Ma)^[14]接近。

2.8Ma 高精度 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄的获得,进一步证明了离子探针技术不但在太古宙地质体锆石测年方面的优势^[15-16],在新生代地质体方面也有广阔的应用前景^[13]。

5.2 成因探讨

腾冲地区广泛分布的新生代火山岩共分为 4 期:第一期 of 上新世喷发的钙碱性玄武岩、钾玄岩和

钾粗安岩;第二期是早一中更新世喷发的钙碱性英安质熔岩和火山碎屑岩;第三期为早一中更新世喷发的钾玄粗安质熔岩;第四期是全新世喷发的钾玄粗安岩、钾粗安岩及少量粗面质熔岩、火山碎屑岩^[17]。这些火山岩具高钾钙碱性的特点,以富集大离子亲石元素和轻稀土元素为特征^[1,17-18]。其稀土元素含量及一些高场强元素(如 Zr、Th、Hf)含量远远高于典型的岛弧钙碱性火山岩^[4]。这些地球化学特征明显不同于典型的岛弧钙碱性火山岩,而与遭受地壳混染的软流圈源大陆玄武岩相类似^[5-6]。

腾冲火山岩同位素研究表明^[2,19],其源区为同位

素不平衡的富集地幔(古俯冲带再循环富集地幔),该区出露的安山-英安岩类为地幔岩浆混染了大量下地壳物质的产物。

总之,该区的火山活动是板内拉张作用的产物,火山岩是地幔物质混染大量地壳物质的产物,表明该区的拉张作用与深部地幔活动有关,而不仅仅是地壳内部变形的反映。

6 结 论

(1)腾冲龙川江河谷附近的粗面安山岩与粗面岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄结果表明,粗面安山岩与粗面岩的喷发时代接近,形成时代为 $2.81\text{Ma} \pm 0.11\text{Ma}$,属上新世。

(2)该区火山岩具高钾钙碱性的特点,富集大离子亲石元素、稀土元素及高场强元素(如 Zr、Th、Hf)的特征明显不同于典型的岛弧钙碱性火山岩,而与遭受地壳混染的软流圈源大陆玄武岩相类似,是地幔岩浆混染了大量下地壳物质的产物。该区的板内拉张作用与深部地幔活动有关,而不仅仅是地壳内部变形的反映。

致谢:刘敦一研究员对本项目给予关心和支持,万渝生研究员在数据处理过程中提出有益的意见,北京离子探针中心其他同仁给予帮助和支持,在此一并致谢。

参考文献

- [1]穆治国,佟伟, Curtis G H. 腾冲火山活动的时代和岩浆来源问题[J]. 地球物理学报, 1987, 30(3): 261-270.
- [2]朱炳泉,毛存孝.印度与欧亚板块东部碰撞边界——腾冲火山岩的 Nd-Sr 同位素与微量元素研究[J]. 地球化学, 1983, 12(1):1-14.
- [3]陈廷方. 云南腾冲火山岩岩石学特征[J]. 沉积与特提斯地质, 2003, 23(4): 56-61.
- [4]Gill J B. Geochemistry of Viti Levu, Fiji, and its evolution as an island arc [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1970, 27: 179-203.
- [5]Ewart A, Milner S C, Armstrong R A, et al. Etendeka volcanism of the Goboboseb mountains and Messum igneous complex, Namibia. Part I: geochemical evidence of Early Cretaceous Tristan plume melts and the role of crustal contamination in the Parana-Etendeka CFB et al[J]. Journal of Petrology, 1998, 39(2): 191-225.
- [6]夏林圻,夏祖春,徐学义,等. 利用地球化学方法判别大陆玄武岩和岛弧玄武岩[J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26(1): 77-89.
- [7]Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies[C]//Henderson P. Rare earth element geochemistry. Elsevier, 1984: 63-114.
- [8]Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotope systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [J]. Geological Society of London, Special Publication, 1989, 42: 313-345.
- [9]Williams I S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe [C]//McKibben M A, Shanks III W C, Ridley W I. Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes. Reviews in Economic Geology, 1998:1-35.
- [10]Claoue-Long J C, Compston W, Roberts J, et al. Two Carboniferous ages: a comparison of SHRIMP zircon dating with conventional zircon ages and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ analysis [C]//Berggren W A, Kent D V, Aubry M P, et al. Geochronology, time scales and global stratigraphic correlation. SEPM special publication, 1995, 5(4): 3-21.
- [11]Ludwig K R. Squid 1.02: A User's Manual [M]. Berkeley Geochronology Center, Special Publication No.2, 2001: 1-19.
- [12]Ludwig K R. User's Manual for Isoplot 3.00, a Geochronological Toolkit for Microsoft excel [M]. Berkeley Geochronology Center, 2003:70.
- [13]万渝生,罗照华,李莉. 3.8Ma: 青藏高原年轻碱性玄武岩锆石离子探针 U-Pb 年龄测定[J]. 地球化学, 2004, 33(5): 442-446.
- [14]李大明,李齐,陈文寄. 腾冲火山区上新世以来的火山活动[J]. 岩石学报, 2000, 16(3): 362-370.
- [15]Liu D Y, Nutman A P, Compston W, et al. Remnants of ≥ 3800 Ma crust in the Chinese part of the Sino-Korean Craton [J]. Geology, 1992, 20(4): 339-342.
- [16]Wilde S A, Valley J W, Peck W H, et al. Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago [J]. Nature, 2001, 409:175-178.
- [17]丛柏林,陈秋媛,张儒媛,等. 中国滇西腾冲新生代火山岩的成因[J]. 中国科学(B 辑), 1994, 24(4): 441-448.
- [18]周真恒,向才英,杨海林. 腾冲火山岩同位素地球化学研究[J]. 地震研究, 2000, 23(2): 194-200.
- [19]周真恒,姜朝松,李波. 腾冲、长白山、五大连池新生代火山岩 Sr、Nd、Pb 同位素地球化学特征[J]. 地震研究, 1998, 21(4): 380-386.
- ① 云南省地质调查院. 1:250000 泸西市-滚龙幅地质图. 2006.