

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2022.03.08

引用格式: 周鹏, 荣峰, 周连河, 等. 冈底斯中段格达地区典中组火山岩锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征[J]. 中国地质调查, 2022, 9(3): 76-86. (Zhou P, Rong F, Zhou L H, et al. Zircon U-Pb age and geochemical characteristics of the volcanic rocks in the Dianzhong Formation of the Geda area in the middle of the Gangdise[J]. Geological Survey of China, 2022, 9(3): 76-86.)

冈底斯中段格达地区典中组火山岩锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征

周 鹏, 荣 峰, 周连河, 刘恭喜, 范 源, 万忠焱, 尼玛洛卓

(西藏自治区地质矿产勘查开发局地热地质大队, 西藏 拉萨 850000)

摘要: 青藏高原南部广泛发育的林子宗火山岩蕴涵着新特提斯洋俯冲与印度—亚洲大陆碰撞过程的地质信息。为探讨冈底斯中段格达地区典中组火山岩的形成时代、岩浆源区及构造环境等特征, 对其开展了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年和地球化学特征研究。研究表明: 该地区典中组火山岩锆石 U-Pb 年龄为 (61.6 ± 1.0) Ma; 典中组火山岩相对富集 LILE 和 LREE、亏损 HFSE, 具典型岛弧火山岩的特征; 岩浆源区主要来源于地壳物质部分熔融, 是俯冲岛弧构造环境下新特提斯洋北向俯冲消减过程的产物。

关键词: 格达地区; 典中组; 锆石 U-Pb 年龄; 地球化学特征

中图分类号: P588.124; P597.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2022)03-0076-11

0 引言

林子宗火山岩是青藏高原南部广泛发育的新生代火山岩, 其与下伏地层之间发育长达约 1 500 km 的巨大区域性角度不整合, 代表了一次重大的地质事件^[1-4], 被认为蕴含了新特提斯洋北向俯冲到印度与亚洲大陆碰撞造山的地质信息, 备受国内外学者的关注, 尤其是下部典中组火山岩的喷发时限和构造环境一直是研究热点^[5-27]。前人对典中组同位素年代学进行了大量的研究, 获得的年龄主要集中在 70.89~60.2 Ma 之间^[6-8, 10-22, 25-27]。由于研究角度和方法的不同, 部分学者认为这条区域不整合界线在东西方向上存在约 5 Ma 的时间差异, 暗示了碰撞的穿时性^[15-16, 26-27]; 此外, 对典中组形成的构造环境认识仍有争议, 一种观点认为是碰撞型^[1-4], 另一种观点认为是岛弧型^[6-10], 因此, 对典中组开展年代学、地球化学研究具有重要意义。本文在西藏厅宫地区 1:5 万区域地质调查成果基础

上, 对格达地区典中组火山岩的形成时代、地球化学特征等进行了深入剖析, 综合对比了冈底斯带典中组的活动时限, 以期探讨林子宗火山岩提供新的依据。

1 区域地质背景

冈底斯岩浆带又称为南拉萨地体, 北侧以狮泉河—隆格尔—措麦断裂为界, 南侧紧邻雅鲁藏布江缝合带, 东西长约 2 500 km, 南北宽 150~300 km, 面积约 450 000 km², 主要出露有岩基和大岩株构成的大规模花岗岩带及同碰撞中酸性火山岩带, 两者共同占据冈底斯岩浆带总面积的 60% 以上^[28]。冈底斯岩浆岩带被洛巴堆—米拉山断裂带和狮泉河—永珠—嘉黎带进一步细分为南、中和北冈底斯岩浆岩带^[29], 其中南冈底斯带构成了冈底斯岩浆岩带的主体部分, 主要由侏罗世—早白垩世沉积地层、新生代火山岩及花岗岩构成。

研究区位于南冈底斯岩浆岩带上, 发育近 SN、

收稿日期: 2021-01-13; 修订日期: 2021-07-02。

基金项目: 中国地质调查局“冈底斯—喜马拉雅铜矿资源基地调查(编号: DD20160015)”项目资助。

第一作者简介: 周鹏(1987—), 男, 工程师, 从事基础地质调查研究工作。Email: 626501717@qq.com。

通信作者简介: 荣峰(1971—), 男, 高级工程师, 从事基础地质调查研究工作。Email: 839270993@qq.com。

NE 及 NW 向构造,尤以近 SN 向的控盆断裂为代表,为当雄—羊八井—多庆错活动构造带的组成部分;岩浆活动极为强烈,大面积出露始新世、中新

世侵入岩及林子宗火山岩;沉积地层分布范围较小,仅在盆地中部一带发育有中—上新统乌郁群和第四系沉积(图 1)。

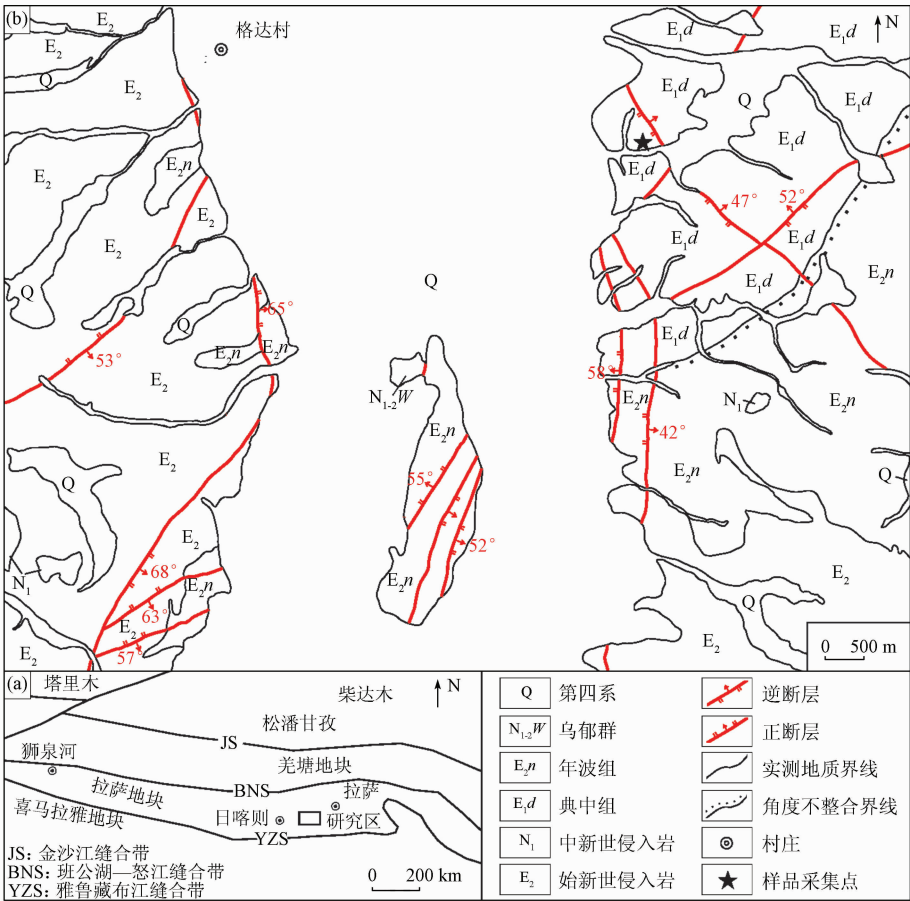


图 1 研究区大地构造位置 (a) 及地质简图 (b) (据西藏厅宫地区 1:5 万区调资料)
Fig. 1 Geotectonic location (a) and geological map (b) of the research area (according to 1:50 000 regional survey from Tinggong area of Tibet)

2 岩石学特征

研究区古近纪火山活动强烈,火山岩岩相、岩性复杂,火山构造发育。典中组火山岩分布在格达村东

部一带,地层厚度大于 1 497 m,其岩石类型主要为火山集块岩、火山角砾岩、流纹岩、安山岩、凝灰角砾熔岩及熔结凝灰岩等,总体呈现出次火山岩相—爆发相—溢流相—火山碎屑流相—空落相的特征(图 2)。

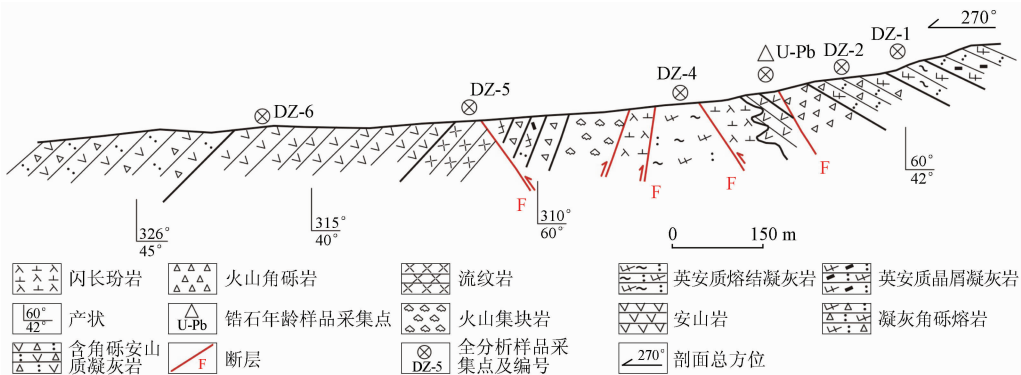


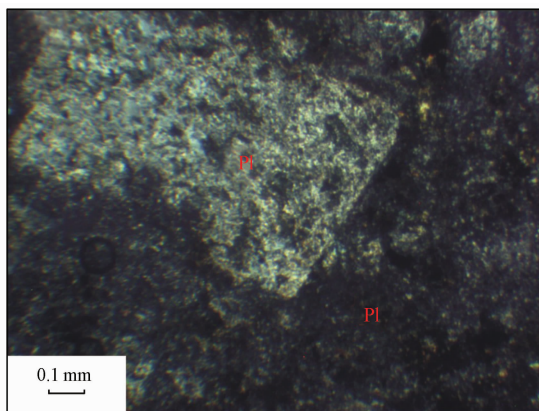
图 2 研究区典中组地质剖面
Fig. 2 Profile of Dianzhong Formation in the research area

用于锆石 U-Pb 定年的样品采自典中组上部的安山岩,用于主量、稀土和微量元素分析的样品共 6 件,分别为安山岩、流纹岩、凝灰角砾熔岩和熔结凝灰岩(图 2)。安山岩呈紫灰色,斑状结构,基质具半自形粒状结构,块状构造。斑晶为斜长石,

含量约 30%,粒径 0.1~3.5 mm,自形板状,可见聚片双晶发育。基质含量约 70%,主要由斜长石、角闪石等组成,其中斜长石无色,粒径 0.01~0.05 mm,部分发生绿泥石化;角闪石含量较少,杂乱分布于岩石中(图 3)。



(a) 安山岩岩石近照



(b) 显微镜下照片(正交偏光)

Pl. 斜长石

图 3 典中组安山岩野外及显微镜下照片

Fig. 3 Field and microscopic photos for the andesite of the Dianzhong Formation

3 样品分析方法

选取格达地区典中组进行锆石 U-Pb 定年,样品采集自该组顶部新鲜且无后期岩脉穿插的安山岩,锆石分选由河北省廊坊区域地质调查所实验室完成,送武汉上谱分析科技有限责任公司进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测定。测试采用相干 193 nm 准分子激光剥蚀系统,激光束斑直径为 32 μm ,设备为安捷伦电感耦合等离子体质谱仪,微量元素和同位素校正标准样品分别为 NIST 610 和 91500。详细测试方法及数据处理见文献[30]。

样品的主、微量及稀土元素测试由原国土资源部成都矿产资源监督检查中心完成,主量元素以 ICP-AES 法、重量法测定为主,其余使用 ICP-MS 法测试。分析精度方面,主量元素(除 H_2O 外)优于 1%,微量和稀土元素优于 5%,测试结果详见表 1、表 2 和表 3。

4 岩石地球化学特征

4.1 主量元素特征

研究区典中组火山岩样品 SiO_2 含量为 59.70%~73.85%,平均值为 67.69%; K_2O 含量为 1.36%~5.46%,平均值为 3.31%; Na_2O 含量为 0.12%~4.53%,平均值为 2.79%; 全碱($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)含量为 3.43%~7.77%,平均值为 6.09%; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值为 0.41~27.6,仅一件样品的 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值明显偏高; Al_2O_3 含量为 12.54%~16.07%,平均值为 14.46%; MgO 含量在 0.32%~4.12%,平均值为 1.42%; 镁值为 21~52,平均为 35,指示幔源组分不高^[31]。样品在火山岩全碱-硅(TAS)分类图中落入安山岩-流纹岩区域(图 4(a)),在 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ 图解中样品主要落入高钾钙碱性系列区域,1 件样品落入钙碱性系列区域(图 4(b)),可能与后期热液活动相关。

表 1 典中组火山岩主量元素分析结果及特征值
Tab. 1 Results and characteristics of major elements of the volcanic rocks in the Dianzhong Formation

样品编号	岩石名称	$w_B/\%$													烧失量	$\frac{A}{NK}$	
		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	CO ₂	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	A	GNK
DZ-1	熔结凝灰岩	73.28	0.26	13.67	2.40	0.29	0.042	0.59	1.05	3.18	3.65	0.10	0.24	0.56	1.21	1.89	1.49
DZ-2	凝灰角砾熔岩	66.80	0.57	15.64	4.21	0.41	0.081	1.00	0.74	4.53	3.13	0.15	0.32	0.79	1.71	3.17	1.44
DZ-3	安山岩	59.76	0.94	15.77	5.15	1.75	0.092	1.75	4.00	3.29	2.92	0.34	0.14	0.97	1.70	4.59	1.84
DZ-4	熔结凝灰岩	73.85	0.26	13.07	1.96	0.35	0.026	0.32	0.54	2.31	5.46	0.048	0.46	0.63	1.13	2.22	1.35
DZ-5	流纹岩	72.79	0.15	12.54	1.30	0.35	0.12	0.74	2.64	0.12	3.31	0.036	2.50	0.93	2.65	6.46	3.31
DZ-6	安山岩	59.70	0.78	16.07	5.72	1.53	0.19	4.12	3.55	3.33	1.36	0.18	0.41	0.54	2.24	3.59	2.31

表 2 典中组火山岩稀土元素分析结果及特征值
Tab. 2 Results and characteristics of rare earth elements of the volcanic rocks in the Dianzhong Formation

样品编号	岩石名称	$w_B/10^{-6}$														Σ REE	LREE	HREE	$\frac{La_N}{Yb_N}$	δEu	δCe		
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu							Y	
DZ-1	熔结凝灰岩	27.6	50.6	5.53	19.1	3.30	0.78	3.03	0.52	2.89	0.62	1.78	0.32	2.23	0.37	15.3	118.6	106.9	11.76	9.09	8.88	0.74	0.95
DZ-2	凝灰角砾熔岩	26.5	52.2	6.05	22.6	4.14	1.15	3.83	0.64	3.49	0.73	2.10	0.36	2.48	0.42	18.2	126.7	112.6	14.05	8.02	7.66	0.87	0.97
DZ-3	安山岩	31.6	66.9	8.37	34.3	6.95	1.75	6.68	1.09	6.14	1.21	3.49	0.54	3.63	0.56	29.5	173.2	149.8	23.34	6.42	6.24	0.77	0.99
DZ-4	熔结凝灰岩	38.6	77.1	9.25	35.0	6.44	1.24	5.96	1.01	5.83	1.19	3.52	0.56	3.74	0.60	29.4	190.0	167.6	22.41	7.48	7.40	0.60	0.97
DZ-5	流纹岩	36.3	66.4	7.62	28.1	4.95	0.95	4.67	0.78	4.37	0.90	2.65	0.45	3.07	0.50	22.2	161.7	144.3	17.39	8.30	8.48	0.59	0.93
DZ-6	安山岩	17.5	37.9	4.73	19.2	4.09	1.16	3.93	0.66	3.92	0.80	2.23	0.37	2.48	0.38	18.4	99.3	84.5	14.77	5.73	5.06	0.87	1.00

表 3 典中组火山岩微量元素分析结果
Tab. 3 Trace elements of the volcanic rocks in the Dianzhong Formation

样品编号	岩石名称	$w_B/10^{-6}$															
		Cr	Hf	Sr	V	Zr	Rb	Pb	Th	U	Li	Nb	Ta	K	P	Ti	
DZ-1	熔结凝灰岩	15.80	3.16	187.31	31.52	130.26	122.00	21.40	12.70	2.75	42.60	7.47	0.84	30 310.67	430.87	1 530.94	
DZ-2	凝灰角砾熔岩	20.83	7.14	353.98	43.09	254.59	94.80	18.00	8.38	2.28	41.20	8.57	0.87	25 972.52	662.16	3 398.74	
DZ-3	安山岩	20.83	5.00	481.61	97.61	220.35	92.60	18.60	9.46	2.33	32.30	10.70	0.94	24 240.21	1 478.2	5 645.53	
DZ-4	熔结凝灰岩	16.86	10.40	117.56	22.46	292.25	165.00	31.30	15.10	3.23	12.10	12.80	1.10	45 345.76	208.64	1 570.45	
DZ-5	流纹岩	14.05	5.78	30.39	20.55	142.51	119.00	11.30	13.10	2.64	32.00	10.80	0.97	27 490.87	157.39	925.37	
DZ-6	安山岩	65.25	5.00	431.38	139.06	171.14	42.10	20.90	5.54	1.58	80.60	7.84	0.64	11 252.96	767.55	4 667.51	

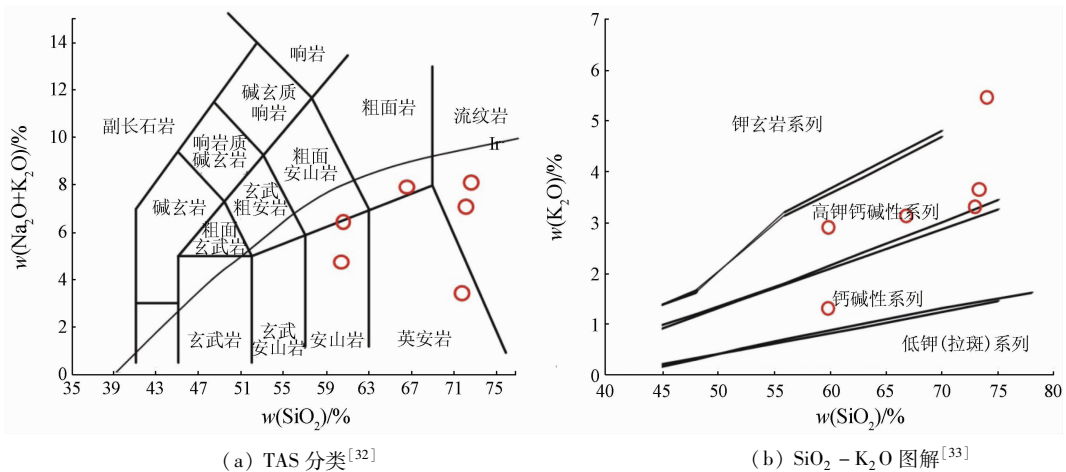


图 4 研究区典中组火山岩 TAS 和 SiO₂ - K₂O 图解

Fig.4 Diagrams of TAS and SiO₂ versus K₂O for volcanic rocks in the Dianzhong Formation of the research area

4.2 稀土和微量元素特征

格达地区典中组火山岩稀土元素总量在 $99.35 \times 10^{-6} \sim 190.04 \times 10^{-6}$, 变化范围较大, 总体在稀土元素分配型式图上表现为轻稀土富集的右倾曲线(图 5(a))。LREE/HREE = 5.73 ~ 9.09, $(La/Yb)_N = 5.06 \sim 8.88$, 说明轻稀土和重稀土元素发生了明显分异; $\delta Eu = 0.60 \sim 0.88$ 之间, 平均为 0.75, 具有较明显的 Eu 异常特征。与朱诺^[14]和措勤地区^[23]典中组火山岩相比, 格达地区的典中组火山岩具有相

似的配分曲线特征, 均显示中等的负铕异常, 这与斜长石在岩浆中的分离结晶或在地壳源区部分熔融过程中作为难熔残余相存在有关。

研究区典中组火山岩在微量元素蛛网图上呈现“多峰多谷”的形态, 相对富集 Rb、Th、U、K 等大离子亲石元素, 亏损 Ta、Nb、Ti 等高场强元素(图 5(b)), 显示出岛弧火山岩特征。在微量元素蛛网图上, 研究区与朱诺和措勤地区相比总体特征相似, 蛛网曲线的峰谷反差呈现逐渐加大趋势。

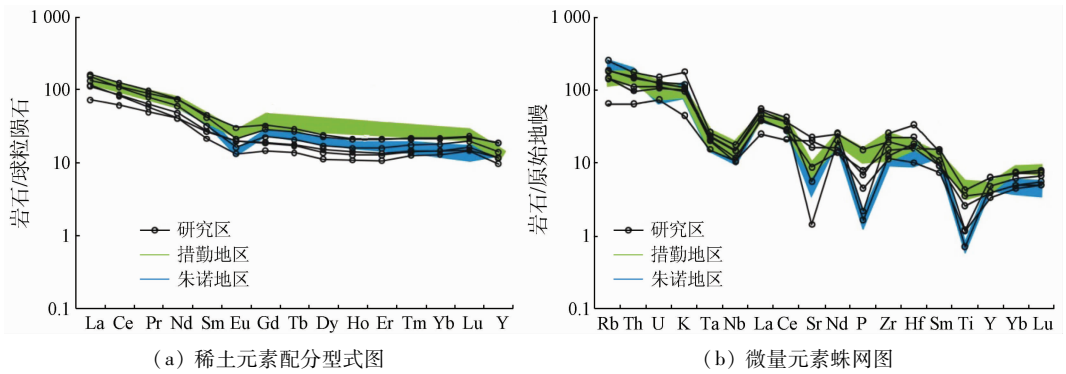


图 5 测区典中组火山岩稀土元素配分型式图和微量元素蛛网图

(标准化值引自文献[36], 朱诺地区数据来源于文献[14], 措勤地区数据来源于文献[23])

Fig.5 Chondrite – normalized rare earth element patterns and primitive mantle – normalized spider diagrams for the volcanic rocks in the Dianzhong Formation of the research area

5 LA – ICP – MS 锆石 U – Pb 年龄

选择格达地区典中组上部安山岩进行 LA –

ICP – MS 锆石 U – Pb 同位素年龄测试。共选择了 12 颗晶形较好、韵律清楚的锆石, 用激光剥蚀等离子体质谱仪进行分析, 每颗锆石各分析一个测点, 分析测试结果及阴极发光图像见表 4 和图 6。

表 4 研究区典中组火山岩 LA - ICP - MS 锆石 U - Pb 测年结果

Tab.4 LA - ICP - MS zircon U - Pb dating results of the volcanic rocks in the Dianzhong Formation

点号	元素含量/ 10^{-6}			Th U	同位素比值			年龄/Ma
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$
01	2	121	206	0.6	$0.046\ 5 \pm 0.006\ 8$	$0.062\ 0 \pm 0.007\ 1$	$0.009\ 6 \pm 0.000\ 3$	(61.7 ± 2.1)
02	4	301	348	0.9	$0.048\ 6 \pm 0.005\ 0$	$0.062\ 2 \pm 0.005\ 0$	$0.009\ 6 \pm 0.000\ 2$	(61.8 ± 1.5)
03	4	225	375	0.6	$0.050\ 5 \pm 0.006\ 5$	$0.061\ 2 \pm 0.005\ 8$	$0.009\ 6 \pm 0.000\ 2$	(61.3 ± 1.5)
04	5	372	438	0.9	$0.051\ 0 \pm 0.004\ 7$	$0.063\ 7 \pm 0.004\ 6$	$0.009\ 7 \pm 0.000\ 2$	(61.9 ± 1.5)
05	2	116	229	0.5	$0.054\ 5 \pm 0.008\ 5$	$0.056\ 7 \pm 0.007\ 1$	$0.008\ 7 \pm 0.000\ 3$	(55.9 ± 1.9)
06	1	106	120	0.9	$0.068\ 3 \pm 0.014\ 8$	$0.076\ 5 \pm 0.016\ 5$	$0.009\ 6 \pm 0.000\ 5$	(61.7 ± 3.1)
07	4	225	330	0.7	$0.047\ 7 \pm 0.006\ 1$	$0.060\ 3 \pm 0.006\ 4$	$0.009\ 6 \pm 0.000\ 3$	(61.3 ± 1.8)
08	3	186	230	0.8	$0.050\ 5 \pm 0.007\ 9$	$0.063\ 8 \pm 0.007\ 8$	$0.009\ 5 \pm 0.000\ 3$	(61.2 ± 1.7)
09	3	181	249	0.7	$0.047\ 8 \pm 0.005\ 8$	$0.058\ 1 \pm 0.004\ 6$	$0.009\ 5 \pm 0.000\ 3$	(61.2 ± 1.7)
10	8	755	564	1.3	$0.047\ 4 \pm 0.004\ 1$	$0.063\ 0 \pm 0.004\ 8$	$0.009\ 6 \pm 0.000\ 2$	(61.9 ± 1.1)
11	2	152	205	0.7	$0.055\ 0 \pm 0.007\ 0$	$0.065\ 9 \pm 0.005\ 7$	$0.008\ 8 \pm 0.000\ 3$	(56.3 ± 1.9)
12	3	247	280	0.9	$0.046\ 4 \pm 0.005\ 5$	$0.061\ 8 \pm 0.005\ 2$	$0.009\ 6 \pm 0.000\ 2$	(61.5 ± 1.5)

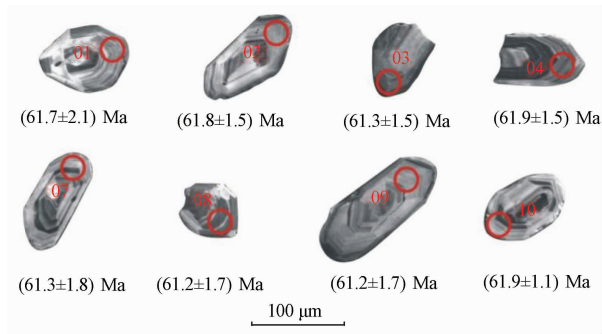
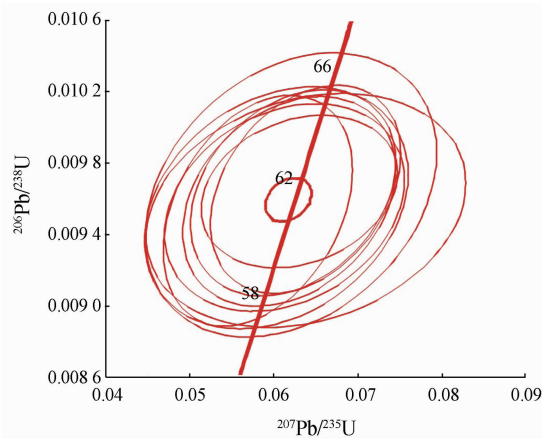
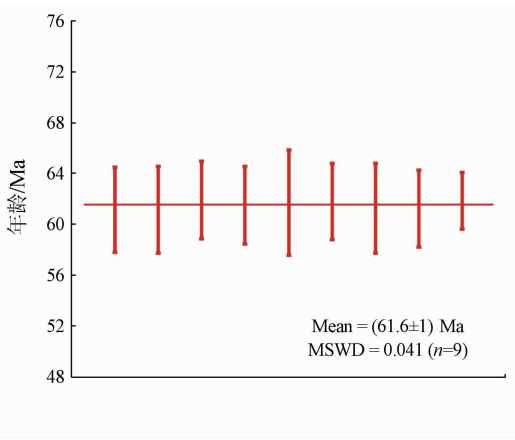


图 6 研究区典中组火山岩锆石阴极发光图像
Fig.6 Cathodoluminescence (CL) images for zircons of the volcanic rocks in the Dianzhong Formation

阴极发光图像显示锆石晶形较好,部分可见被溶蚀现象,呈不规则短柱状,长宽比为 1:1~1:3,具有明显的环带韵律结构特征,Th/U 值为 0.5~1.3,为岩浆成因的锆石^[33]。测点 06 和 11 的谐和度低于 90%,测点 05 的年龄较新(55.9 Ma),因此这 3 个测点被舍弃。剩余 9 个测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 61.2~61.9 Ma,在谐和图上投点均落在谐和线上或附近(图 7),加权平均值为(61.6±1.0) Ma (MSWD = 0.041, n = 9),代表格达地区典中组火山岩的形成时间。



(a) U - Pb 年龄谐和图



(b) 加权平均年龄图

图 7 研究区典中组火山岩锆石 U - Pb 同位素年龄测试结果

Fig.7 U - Pb zircon concordia diagrams and weighted mean age for the volcanic rocks in the Dianzhong Formation

6 讨论

6.1 格达地区典中组形成时代

由于林子宗火山岩具有特殊的地质意义,前人

对其下部典中组开展了较系统的年代学研究,但目前对其形成时代仍存在一定的争议。李璞 1953 年在命名“林子宗火山岩”时,将该套火山岩时代置于白垩纪;其后,根据林子宗火山岩角度不整合于白垩系设兴组之上,其上被渐新统日贡拉组

覆盖,并结合⁴⁰Ar/³⁹Ar 测年成果,相关研究将林子宗火山岩活动时间置于新生代^[5,24]。近年来,广大学者对典中组火山岩开展了更为精确的锆石 U - Pb 测年研究^[6-8,10-22,25-27],大量同位素成果显示:冈底斯东段典中组火山岩年龄在(70.89 ± 0.31) ~ (60.2 ± 0.7) Ma,中段年龄在(70.7 ± 1.4) ~ (64.3 ± 1.5) Ma,西段年龄集中在(70.8 ± 1.1) ~

(61.1 ± 0.6) Ma(表 5),从典中组火山岩的形成时间看,自东部至西部基本一致,无明显差异。本文在格达地区通过 LA - ICP - MS 锆石 U - Pb 同位素测年,获得典中组上部安山岩年龄为(61.6 ± 1.0) Ma,是目前冈底斯中段典中组最年轻的年龄,为该区域典中组火山岩喷发上限提供了新的依据。

表 5 冈底斯典中组火山岩锆石 U - Pb 年龄数据

Tab.5 Zircon U - Pb ages of volcanic rocks in the Dianzhong Formation of Gangdise

分带	采样地点	样品岩性	U - Pb 年龄/Ma	参考文献
东段	林周盆地	英安质火山角砾岩	(62.5 ± 1.1)	李皓扬,等 ^[6]
	林周盆地	流纹质凝灰岩	(62.6 ± 2.4)	He, et al ^[11]
	林周盆地	流纹岩	(68.7 ± 2.4)	He, et al ^[11]
	林周盆地	辉石安山岩	(64.9 ± 0.8)	陈贝贝,等 ^[12]
	林周盆地	黑云母安山岩	(65.8 ± 1.7)	陈贝贝,等 ^[12]
	林周盆地	辉石安山岩	(66.0 ± 0.9)	陈贝贝,等 ^[12]
	林周盆地	安山岩	(60.2 ± 0.7)	朱弟成,等 ^[10]
	新嘎果地区	流纹质晶屑凝灰岩	(70.9 ± 0.31)	唐攀,等 ^[13]
	昌果地区	安山岩	(69.97 ± 0.45)	韦乃韶,等 ^[8]
	昌果地区	安山岩	(66.80 ± 1.1)	韦乃韶,等 ^[8]
中段	朱诺地区	流纹质晶屑凝灰岩	(64.8 ± 1.6)	梁银平,等 ^[14]
	丁仁勒地区	安山质晶屑凝灰岩	(70.0 ± 0.7)	谢冰晶,等 ^[15]
	马乡地区	安山岩	(69.1 ± 2.2)	杨辉,等 ^[17]
	马乡地区	安山岩	(68.4 ± 1.3)	杨辉,等 ^[17]
	马乡地区	英安岩	(67.1 ± 1.6)	杨辉,等 ^[17]
	马乡地区	角砾晶屑凝灰岩	(64.3 ± 1.5)	杨辉,等 ^[17]
	查孜地区	流纹质熔结凝灰岩	(70.7 ± 1.4)	李勇,等 ^[16]
	查孜地区	流纹质晶屑熔结凝灰岩	(69.9 ± 1.5)	李勇,等 ^[16]
	查孜地区	流纹质晶屑凝灰岩	(68.3 ± 1.2)	李勇,等 ^[16]
	神公地区	安山岩	(65.4 ± 0.6)	陈兰朴,等 ^[18]
	厅宫地区	安山岩	(66.4 ± 0.4)	周鹏,等 ^[19]
西段	狮泉河地区	流纹岩	(64.2 ± 0.9)	王乔林 ^[20]
	狮泉河地区	流纹岩	(64.5 ± 0.5)	王乔林 ^[20]
	达若地区	流纹质晶屑凝灰岩	(61.9 ± 0.3)	李洪梁,等 ^[21]
	达若地区	流纹质晶屑凝灰岩	(61.1 ± 0.6)	李洪梁,等 ^[21]
	打加错东地区	安山岩	(67.6 ± 0.4)	火久伟,等 ^[22]
	狮泉河地区	安山岩	(67.1 ± 1.7)	曹延,等 ^[27]
	狮泉河地区	流纹岩	(70.3 ± 0.6)	曹延,等 ^[27]
	狮泉河地区	流纹岩	(70.8 ± 1.1)	曹延,等 ^[27]

6.2 岩浆源区分析

通过大量的 Sr - Nd - Pb 及 Hf 同位素组成特征的研究,林子宗火山岩中酸性源区存在明显的陆壳物质与地幔物质的混合作用,并且在冈底斯东部地区火山岩源区地幔物质贡献较多,而西部地区主要是地壳物质再循环^[1,6,14,25]。格达地区典中组火山岩 Mg 值为 21 ~ 52,平均值为 35,接近大陆地壳的值(44.8 ~ 55.3),但明显低于玄武质岩浆值^[38];微量元素蛛网图中 Nb、Ta 呈现明显负异常,亦具有大陆地壳特征^[39]。Eby^[40]认为地幔成因的岩石 Y/

Nb 值小于 1.2,而壳源成因的岩石值大于 1.2,研究区典中组火山岩 Y/Nb 值为 2.0 ~ 2.7,显示岩浆源区以地壳为主。研究表明:Rb、Sr、Nb 和 Ta 的离子半径相近,地球化学行为相似,Rb/Sr 和 Nb/Ta 值在岩浆分异中不会发生较大的变化,可以反演岩浆的源区特征。格达地区 Rb/Sr 值为 0.1 ~ 3.9,平均为 1.1,显示壳源岩浆的特征^[41],且 Nb/Ta 值为 8.9 ~ 12.2,低于幔源岩浆比值 17.2 ± 2,接近壳源岩浆比值 11 ~ 13^[38],进一步说明具有壳源岩浆的特点。在图 8 的 La - La/Sm 图解中,研究区典中组火

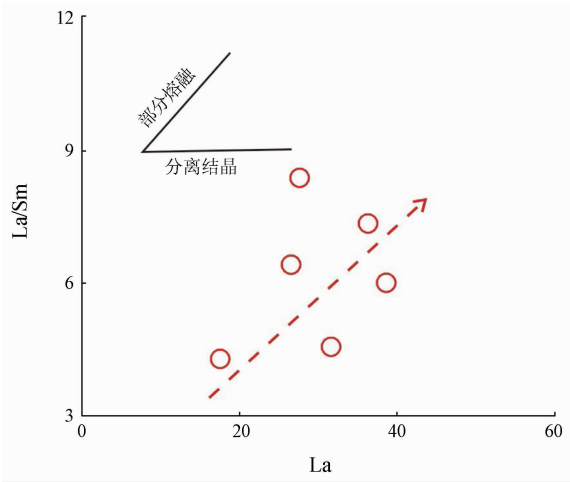


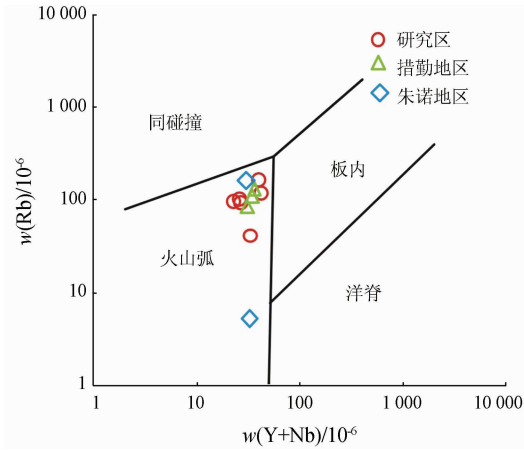
图8 研究区典中组火山岩 La - La/Sm 图解^[42]

Fig.8 Discrimination diagrams of La - La versus Sm for the volcanic rocks in the Dianzhong Formation of the research area

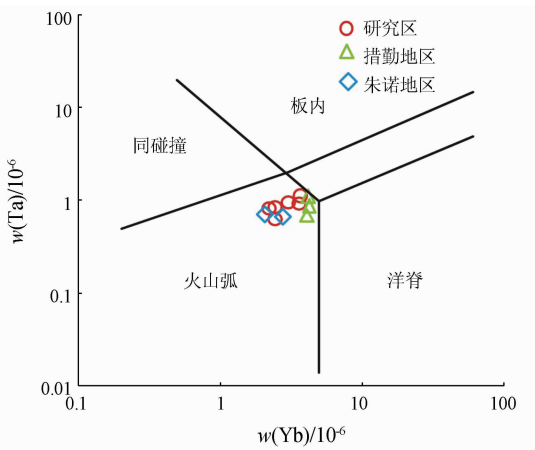
山岩样品的投影点多沿部分熔融曲线分布,反应岩浆演化过程中以部分熔融作用为主。综上所述,格达地区典中组火山岩主要来源于地壳物质的部分熔融。

6.3 构造环境讨论

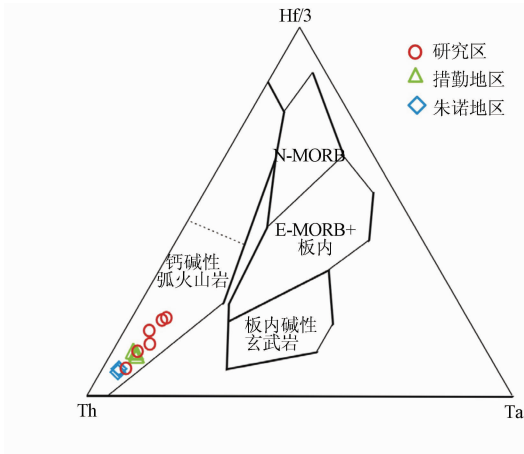
研究认为林子宗火山岩呈现岛弧火山岩特征逐渐减少,陆内岩浆活动渐增的特点^[1]。格达地区典中组火山岩岩石类型以中酸性为主,铝饱和指数 A/CNK 为 1.0 ~ 1.46,具过铝质岩石特点,里特曼指数为 0.39 ~ 2.41,属钙碱性岩石系列,无疑处于造山带环境;微量元素特征表现为相对富集 Rb、Th、U、K 等大离子亲石元素,亏损 Ta、Nb、Ti 等高场强元素,显示出岛弧火山岩特征,暗示该套火山岩的形成可能与俯冲作用有关^[34-35]。将研究区与朱诺、措勤地区的典中组火山岩进行系统的构造环境分析,在 Rb - (Yb + Nb) 和 Ta - Yb 构造环境判别图上(图 9(a),(b)),所有样品投点全部落入火山



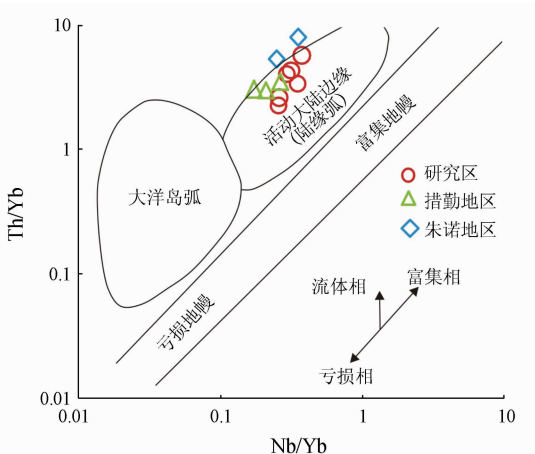
(a) Rb - (Y + Nb) 图解^[33]



(b) Ta - Yb 图解^[33]



(c) Hf/3 - Th - Ta 图解^[43]



(d) Th/Yb - Nb/Yb 图解^[44]

图9 研究区典中组火山岩构造环境判别图

Fig.9 Tectonic discrimination diagrams for the volcanic rocks of the Dianzhong Formation of the research area

弧区域,说明其形成于俯冲的岛弧环境。在 $\text{Hf}/3 - \text{Th} - \text{Ta}$ 构造环境判别图中(图 9(c)),样品均落入钙碱性弧火山岩区域,而在 $\text{Th}/\text{Yb} - \text{Nb}/\text{Yb}$ 构造环境判别图中(图 9(d)),样品基本落入活动大陆边缘区域,进一步表明典中组火山岩具有大陆边缘岛弧火山岩的特征。综上所述,典中组火山岩是新特提斯洋北向俯冲消减过程的产物。

7 结论

(1)通过在格达地区开展 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年,获得典中组上部安山岩年龄为 (61.6 ± 1.0) Ma,时代为古新世,是目前冈底斯中段最年轻的,为该区域典中组火山岩喷发上限提供了新的依据。

(2)冈底斯中段格达地区典中组火山岩具有富集 LILE 和 LREE、亏损 HFSE 的地球化学特征,显示典型岛弧火山岩的特征;其岩浆源区主要来源于地壳物质部分熔融。构造背景处于俯冲岛弧环境,是新特提斯洋北向俯冲消减过程的产物。

参考文献(References):

- [1] 莫宣学,赵志丹,邓晋福,等.印度-亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J].地学前缘,2003,10(3):135-148.
Mo X X, Zhao Z D, Deng J F, et al. Response of volcanism to the India-Asia collision[J]. Earth Sci Front, 2003, 10(3): 135-148.
- [2] 莫宣学,赵志丹,朱弟成,等.西藏南部印度-亚洲碰撞带岩石圈:岩石学-地球化学约束[J].地球科学:中国地质大学学报,2009,34(1):17-27.
Mo X X, Zhao Z D, Zhu D C, et al. On the lithosphere of Indo-Asia collision zone in Southern Tibet: Petrological and geochemical constraints[J]. Earth Sci: J China Univ Geosci, 2009, 34(1): 17-27.
- [3] 莫宣学.岩浆作用与青藏高原演化[J].高校地质学报,2011,17(3):351-367.
Mo X X. Magmatism and evolution of the Tibetan Plateau[J]. Geol J China Univ, 2011, 17(3): 351-367.
- [4] 侯增谦,莫宣学,高永丰,等.印度大陆与亚洲大陆早期碰撞过程与动力学模型——来自西藏冈底斯新生代火成岩证据[J].地质学报,2006,80(9):1233-1248.
Hou Z Q, Mo X X, Gao Y F, et al. Early processes and tectonic model for the Indian-Asian continental collision: Evidence from the Cenozoic Gangdese igneous rocks in Tibet[J]. Acta Geol Sin, 2006, 80(9): 1233-1248.
- [5] 周肃,莫宣学,董国臣,等.西藏林周盆地林子宗火山岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代格架[J].科学通报,2004,49(20):2095-2103.
Zhou S, Mo X X, Dong G C, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronostratigraphic framework for Linzizong volcanic in Linzhou basin, Tibet[J]. Chinese Sci Bull, 2004, 49(20): 2095-2103.
- [6] 李皓杨,钟孙霖,王彦斌,等.藏南林周盆地林子宗火山岩的时代、成因及其地质意义:锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素证据[J].岩石学报,2007,23(2):493-500.
Li H Y, Zhong S L, Wang Y B, et al. Age, petrogenesis and geological significance of the Linzizong volcanic successions in the Linzhou basin, southern Tibet: Evidence from zircon U-Pb dates and Hf isotopes[J]. Acta Petrol Sin, 2007, 23(2): 493-500.
- [7] Zhu D C, Wang Q, Zhao Z D, et al. Magmatic record of India-Asia collision[J]. Sci Rep, 2015, 5: 14289.
- [8] 韦乃韶,康志强,杨锋,等.西藏拉萨地块东部南缘昌果地区典中组火山岩的年代学、地球化学及成因[J].地球化学,2019,48(1):30-42.
Wei N S, Kang Z Q, Yang F, et al. Geochronology, geochemical characteristics, and genesis of the Dianzhong Formation volcanic rocks in Changguo area, southeastern Lhasa Block, Tibet[J]. Geochimica, 2019, 48(1): 30-42.
- [9] 贾建称,温长顺,王根厚,等.冈底斯地区林子宗群火山岩岩石地球化学特征及地球动力学意义[J].中国地质,2005,32(3):396-404.
Jia J C, Wen C S, Wang G H, et al. Geochemical characteristics and geodynamic significance of the Linzizong Group volcanic rocks in the Gangdise area[J]. Geol China, 2005, 32(3): 396-404.
- [10] 朱弟成,王青,赵志丹.岩浆岩定量限定陆-陆碰撞时间和过程的方法和实例[J].中国科学:地球科学,2017,47(6):657-673.
Zhu D C, Wang Q, Zhao Z D. Constraining quantitatively the timing and process of continent-continent collision using magmatic record: Method and examples[J]. Sci China Earth Sci, 2017, 47(6): 657-673.
- [11] He S D, Kapp P, DeCelles P G, et al. Cretaceous-tertiary geology of the Gangdese arc in the Linzhou area, southern Tibet[J]. Tectonophysics, 2007, 433(1/4): 15-37.
- [12] 陈贝贝,丁林,许强,等.西藏林周盆地林子宗群火山岩的精细年代格架[J].第四纪研究,2016,36(5):1037-1054.
Chen B B, Ding L, Xu Q, et al. U-Pb age framework of the Linzizong volcanic rocks from the Linzhou basin, Tibet[J]. Quat Sci, 2016, 36(5): 1037-1054.
- [13] 唐攀,唐菊兴,郑文宝,等.西藏新嘎果地区典中组火山岩年代学、Hf 同位素及地球化学特征[J].岩石矿物学杂志,2018,37(1):47-60.
Tang P, Tang J X, Zheng W B, et al. Zircon U-Pb ages, Hf isotopes and geochemistry of the volcanic rocks in Dianzhong Formation from Xingaguo area, Tibet[J]. Acta Petrol Mineral, 2018, 37(1): 47-60.
- [14] 梁银平,朱杰,次耶,等.青藏高原冈底斯带中部朱诺地区林子宗群火山岩锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征[J].地球科学:中国地质大学学报,2010,35(2):211-223.
Liang Y P, Zhu J, Ci Q, et al. Zircon U-Pb ages and geochemis-

- try of volcanic rock from Linzizong Group in Zhunuo Area in Middle Gangdise Belt, Tibet Plateau [J]. *Earth Sci: J China Univ Geosci*, 2010, 35(2): 211–223.
- [15] 谢冰晶, 周肃, 谢国刚, 等. 西藏冈底斯中段孔隆至丁仁勒地区林子宗群火山岩锆石 SHRIMP 年龄和地球化学特征的区域对比[J]. *岩石学报*, 2013, 29(11): 3803–3814.
- Xie B J, Zhou S, Xie G G, et al. Zircon SHRIMP U-Pb data and regional contrasts of geochemical characteristics of Linzizong volcanic rocks from Konglong and Dinrenle region, middle Gangdise belt [J]. *Acta Petrol Sin*, 2013, 29(11): 3803–3814.
- [16] 李勇, 张士贞, 李奋其, 等. 拉萨地块中段查孜地区典中组火山岩锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *地球科学*, 2018, 43(8): 2755–2766.
- Li Y, Zhang S Z, Li F Q, et al. Zircon U-Pb ages and implications of the Dianzhong formation in Chazi Area, Middle Lhasa Block, Tibet [J]. *Earth Sci*, 2018, 43(8): 2755–2766.
- [17] 杨辉, 向树元, 王欣, 等. 西藏马乡地区典中组年龄厘定及其构造背景[J]. *地质科技情报*, 2013, 32(4): 89–96.
- Yang H, Xiang S Y, Wang X, et al. Age and tectonic setting of Dianzhong formation in the Maxiang Area, Tibet, China [J]. *Geol Sci Technol Inform*, 2013, 32(4): 89–96.
- [18] 陈兰朴, 黄泽森, 江巴多吉, 等. 西藏神公地区典中组火成岩锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征[J]. *地质通报*, 2019, 38(7): 1127–1135.
- Chen L P, Huang Z S, Jiangba D J, et al. Zircon U-Pb age and geochemical characteristics of igneous rocks from the Dianzhong Formation in the Shengong area of Tibet [J]. *Geol Bull China*, 2019, 38(7): 1127–1135.
- [19] 周鹏, 刘恭喜, 李强, 等. 冈底斯中段厅官地区林子宗火山岩锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2019, 38(2): 352–360.
- Zhou P, Liu G X, Li Q, et al. Zircon U-Pb ages and geochemistry of volcanic rocks from the Linzizong Group in the Tingong Area in Middle Gangdise Belt [J]. *Bull Mineral Petrol Geochem*, 2019, 38(2): 352–360.
- [20] 王乔林. 冈底斯西段林子宗群火山岩的地球化学特征及锆石年代学研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2011.
- Wang Q L. Geochemistry and Zircon U-Pb Chronology of Linzizong Group Volcanic Rocks in Western Gangdise, Tibet [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2011.
- [21] 李洪梁, 李光明, 丁俊, 等. 冈底斯西段达若地区林子宗群典中组火山岩锆石 U-Pb 定年与 Hf 同位素[J]. *矿物学报*, 2019, 39(3): 334–344.
- Li H L, Li G M, Ding J, et al. U-Pb dating and Hf isotopes of zircons from volcanic rocks in the Dianzhong Formation of Linzizong Group from the Daruo area, western Gangdise, Tibet Autonomous Region [J]. *Acta Mineral Sin*, 2019, 39(3): 334–344.
- [22] 火久伟, 黄登鹏, 李生宝, 等. 西藏打加错东地区典中组火山岩地球化学特征、年代学特征及地质意义[J]. *矿产勘查*, 2019, 10(6): 1285–1295.
- Huo J W, Huang D P, Li S B, et al. Geochemical, chronological characteristics and geological significance of the volcanic rocks of the Dianzhong Formation in the eastern Dajiacuo area, Tibet [J]. *Min Explor*, 2019, 10(6): 1285–1295.
- [23] 胡新伟, 马润则, 陶晓风, 等. 西藏措勤地区典中组火山岩地球化学特征及构造背景[J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2007, 34(1): 15–22.
- Hu X W, Ma R Z, Tao X F, et al. Lithogeochemical characteristics and tectonic setting of volcanic rocks of Dianzhong Formation in the Coqen area, Tibet, China [J]. *J Chengdu Univ Technol: Sci Technol Ed*, 2007, 34(1): 15–22.
- [24] 董国臣, 莫宣学, 赵志丹, 等. 拉萨北部林周盆地林子宗火山岩层序新议[J]. *地质通报*, 2005, 24(6): 549–557.
- Dong G C, Mo X X, Zhao Z D, et al. A new understanding of the stratigraphic successions of the Linzizong volcanic rocks in the Lhünzhub basin, northern Lhasa, Tibet, China [J]. *Geol Bull China*, 2005, 24(6): 549–557.
- [25] 于枫, 李志国, 赵志丹, 等. 西藏冈底斯带中西部措麦地区林子宗火山岩地球化学特征及意义[J]. *岩石学报*, 2010, 26(7): 2217–2225.
- Yu F, Li Z G, Zhao Z D, et al. Geochemistry and implication of the Linzizong volcanic succession in Cuomai area, central-western Gangdise, Tibet [J]. *Acta Petrol Sin*, 2010, 26(7): 2217–2225.
- [26] 付文春, 康志强, 潘会彬. 西藏冈底斯带西段狮泉河地区林子宗群火山岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *地质通报*, 2014, 33(6): 850–859.
- Fu W C, Kang Z Q, Pan H B. Geochemistry, zircon U-Pb age and implications of the Linzizong Group volcanic rocks in Shiquan River area, western Gangdise belt, Tibet [J]. *Geol Bull China*, 2014, 33(6): 850–859.
- [27] 曹延, 康志强, 许继峰, 等. 拉萨地块西部狮泉河地区典中组火山岩年代学、地球化学特征及其构造意义[J]. *地球科学*, 2020, 45(5): 1573–1592.
- Cao Y, Kang Z Q, Xu J F, et al. Geochronology, geochemistry and geological significance of volcanic rocks of the Dianzhong Formation, Shiquanhe Area, Western Lhasa Block [J]. *Earth Sci*, 2020, 45(5): 1573–1592.
- [28] 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. *岩石学报*, 2006, 22(3): 521–533.
- Pan G T, Mo X X, Hou Z Q, et al. Spatial-temporal framework of the Gangdise Orogenic Belt and its evolution [J]. *Acta Petrol Sin*, 2006, 22(3): 521–533.
- [29] 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 等. 冈底斯中北部晚侏罗世—早白垩世地球动力学环境: 火山岩约束[J]. *岩石学报*, 2006, 22(3): 534–546.
- Zhu D C, Pan G T, Mo X X, et al. Late Jurassic–Early Cretaceous geodynamic setting in middle-northern Gangdise: New insights from volcanic rocks [J]. *Acta Petrol Sin*, 2006, 22(3): 534–546.
- [30] Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS [J]. *Chinese Sci Bull*, 2010, 55(15): 1535–1546.

- [31] Schmidt M W, Vielzeuf D, Auzanneau E. Melting and dissolution of subducting crust at high pressures: The key role of white mica[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 2004, 228(1/2): 65–84.
- [32] Le Bas M J, Le Maitre R W, Streckeisen A, et al. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali – silica diagram[J]. *J Petrol*, 1986, 27(3): 745–750.
- [33] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *J Petrol*, 1984, 25(4): 956–983.
- [34] Davies J H, Stevenson D J. Physical model of source region of subduction zone volcanics [J]. *J Geophys Res: Solid Earth*, 1992, 97(B2): 2037–2070.
- [35] Stolz A J, Jochum K P, Spettel B, et al. Fluid – and melt – related enrichment in the subarc mantle: Evidence from Nb/Ta variations in island – arc basalts [J]. *Geology*, 1996, 24(7): 587–590.
- [36] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[J]. *Geol Soc Lond Spec Publ*, 1989, 42(1): 313–345.
- [37] Corfu F, Hancher J M, Hoskin P W O, et al. Atlas of zircon textures [J]. *Rev Mineral Geochem*, 2003, 53(1): 469–500.
- [38] Green D H. Experimental testing of "equilibrium" partial melting of peridotite under water – saturated, high – pressure conditions [J]. *Can Mineral*, 1976, 14(3): 255–268.
- [39] Rollinson H R. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation [M]. London: Routledge, 1993.
- [40] Eby G N. Chemical subdivision of the A – type granitoids: petrogenetic and tectonic implications [J]. *Geology*, 1992, 20(7): 641–644.
- [41] Taylor S R, McLennan S M. The geochemical evolution of the continental crust [J]. *Rev Geophys*, 1995, 33(2): 241–265.
- [42] Allègre C J, Minster J F. Quantitative models of trace element behavior in magmatic processes [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1978, 38(1): 1–25.
- [43] Wood D A. The application of a Th – Hf – Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British tertiary volcanic province [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1980, 50(1): 11–30.
- [44] Pearce J A, Peate D W. Tectonic implications of the composition of volcanic ARC magmas [J]. *Annu Rev Earth Planet Sci*, 1995, 23(1): 251–285.

Zircon U – Pb age and geochemical characteristics of the volcanic rocks in the Dianzhong Formation of the Geda area in the middle of the Gangdise

ZHOU Peng, RONG Feng, ZHOU Lianhe, LIU Gongxi, FAN Yuan, Wan Zhongyan, NIMA Luozhuo

(*Geothermal and Geological Party, Tibet Bureau of Mineral Resource Exploration and Development, Tibet Lhasa 850000, China*)

Abstract: The Linzizong Group volcanic rocks are widespread in the southern part of the Qinghai – Tibet Plateau and the geological information of the Neo – Tethys subduction and the collision of Indian – Asian plate was recorded in those volcanic rocks. The LA – ICP – MS U – Pb isotope dating of zircon and geochemical characteristics of whole rocks were studied to investigate the formation age, magma source and tectonic environment in the Dianzhong Formation of the Geda area in middle of the Gangdise. The ages of LA – ICP – MS U – Pb dating of zircon from the volcanic rocks of Dianzhong Formation is (61.6 ± 1.0) Ma. These volcanic rocks are characterized by rich LILE and LREE, and poor HFSE, with typical island arc characteristic. These volcanic rocks were mainly derived from the partial melting of crustal material, which were formed in an island arc environment during the northward subduction of the Neo – Tethys ocean.

Keywords: Geda area; Dianzhong Formation; Zircon U – Pb age; geochemical characteristics

(责任编辑: 沈效群)