第 57 卷 第 1 期 2024 年 (总 231 期)

西 北 地 质 NORTHWESTERN GEOLOGY

Vol. 57 No. 1 2024(Sum231)



引文格式:廖驾,戴亮亮,陈澍民,等.西藏孔隆乡地区典中组火山岩年代学、地球化学特征及构造意义[J].西北地质,2024,57(1):83-94.DOI:10.12401/j.nwg.2023048

Citation: LIAO Jia, DAI Liangliang, CHEN Shumin, et al. Chronology, Geochemistry and Geological Significance of Volcanic Rocks of Dianzhong Formation in Konglong Township Area, Xizang[J]. Northwestern Geology, 2024, 57(1): 83–94. DOI: 10.12401/j.nwg.2023048

西藏孔隆乡地区典中组火山岩年代学、 地球化学特征及构造意义

廖驾,戴亮亮*,陈澍民,罗敏玄,李新,张涛,吴丰,聂小力

(中国地质调查局长沙自然资源综合调查中心,湖南长沙 410600)

摘 要:笔者对冈底斯中段孔隆乡地区典中组火山岩进行了年代学与地球化学研究。西藏孔隆 乡地区典中组火山岩为一套酸性、弱铝质的高钾钙碱性岩石,富集大离子亲石元素 Rb、K、U等, 亏损高场强元素 Nb、P和Ti,具有明显的壳源岩浆的特征,可能是地壳不同程度重熔作用的产物。 根据该火山岩地球化学特征,推测其形成于火山弧构造环境,并且有向同碰撞及板内环境过渡 的趋势。笔者获得流纹质凝灰岩样品的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为(62.70±0.83)Ma,指示其形 成时代为古近纪古新世。通过对比分析,该套火山岩喷发在冈底斯中西部要早于东部,印证了 印度-亚洲大陆碰撞的穿时性这一观点。

关键词:火山岩;孔隆乡地区;典中组;锆石 U-Pb 年龄;地球化学

中图分类号: P597.3 文献标志码: A 文章编号: 1009-6248(2024)01-0083-12

Chronology, Geochemistry and Geological Significance of Volcanic Rocks of Dianzhong Formation in Konglong Township Area, Xizang

LIAO Jia, DAI Liangliang*, CHEN Shumin, LUO Minxuan, LI Xin, ZHANG Tao, WU Feng, NIE Xiaoli

(Changsha General Survey of Natural Resources Center, Changsha 410600, Hunan, China)

Abstract: In this paper, the chronology and geochemistry of the volcanic rocks of the Dianzhong Formation in the Konglong Township area of the central Gangdise are studied. The volcanic rocks of the Dianzhong Formation in Konglong Township Xizang are is a set of acidic, peraluminous, high-potassium, calcium-alkaline rocks, which are rich in large ion lithophile elements(e.g., Rb, K, U), and are depleted of high field strength elements (e.g., Nb, P, Ti), showing obvious characteristics of crust-derived magma, which may be the product of different degrees of remelting of the earth's crust. According to the geochemical characteristics of this volcanic rock, it is speculated that it was formed in a volcanic arc structural environment and has a tendency to transition to syn-col-

收稿日期: 2022-09-17; 修回日期: 2023-02-14; 责任编辑: 曹佰迪

基金项目:中国地质调查局项目"西藏昂仁县北西H45E009009等4幅1:5万区域地质矿产调查"(DD2016008003),"江南造 山带中段幕阜山重点远景区金多金属矿产资源调查评价"(ZD20220309)联合资助。

作者简介:廖驾(1987-),男,高级工程师,从事基础地质、矿产勘查工作。E-mail:liaojia2143@163.com。

^{*} 通讯作者: 戴亮亮(1993-), 男, 工程师, 从事基础地质、生态地质工作。E-mail: 416396230@qq.com。

lision and intraplate environment. The study samples are all rhyolite tuffs, and one sample obtained LA-ICP-MS zircon U-Pb age of 62.70±0.83 Ma, indicating that its formation age is the Paleogene Paleocene. Through comparative analysis, this set of volcanic rocks erupted earlier in the central and western Gangdise than in the east, confirming the view that the India-Asian collision is time-lapse.

Keywords: volcanic rocks; Konglong Township; Dianzhong Formation; zircon U-Pb age; geochemistry

林子宗群火山岩自从 1953 年被李璞命名以来 (李璞, 1955),一直都是西藏冈底斯岩浆带的研究热 点,因为其成因蕴含着新特提斯洋的俯冲和印度亚洲 大陆碰撞的关键信息(王天武等, 1999; 莫宣学等, 2003; 周肃等, 2004; 李皓扬等, 2007; 李俊等, 2023)。 林子宗群火山岩在冈底斯岩浆岩带广泛分布,主要以 中酸性火山岩为主,被分为典中组、年波组以及帕那 组(董国臣等, 2005)。近年来,研究显示林子宗火山岩 在冈底斯东部、中部和西部的年龄并不一致(梁银平 等,2010;于枫等,2010;付文春等,2014)。早期对林 子宗群火山岩的研究主要集中在冈底斯东部的林周 地区(周肃等, 2004; 黄映聪等, 2005; Mo et al., 2007; 李 皓扬等, 2007; 莫宣学, 2009; Lee et al., 2009), 而后中 西部地区也开展了许多研究工作,得到了许多准确的 年龄数据,进一步丰富和完善了冈底斯岩浆带构造演 化的基础资料(朱弟成等, 2006; 付文春等, 2014; 刘安 琳等, 2015; 李强等, 2017; 唐攀等, 2018; 李洪梁等, 2019;潘亮等,2021)。笔者根据昂仁县北西孔隆乡地 区1:5万区域地质矿产调查的研究基础上,对典中 组火山岩进行年代学与岩石地球化学研究,了解研究 区林子宗群火山岩岩浆源区与构造成因,再结合区域 特征,认识区域性变化规律,为进一步揭示印度-欧亚 大陆碰撞的穿时性提供支撑。

1 区域地质背景

研究区位于西藏中西部昂仁县孔隆乡地区,属于 冈底斯火山岩浆弧中段(侯增谦等,2006),大地构造 单元位于拉达克-冈底斯-察隅湖盆系内,隆格尔-工 布江达复合岛弧带(C-K)三级构造单元北部(图 1a)。 隆格尔-工布江达复合岛弧带在整个冈底斯呈 NWW 向延展,与冈底斯弧背断隆带位置一致。

研究区林子宗群火山活动强烈(占研究区面积 30%以上),分布的地层单元有:典中组(E₁d)、年波组 (E₂n)、帕那组(E₂p),布噶寺组(N₁b)。其中,笔者研究 的典中组(E₁d),呈条带状展布,主要分布在孔隆乡中 东部地区。典中组为一套中酸性火山岩组合,主要岩 性组合为灰紫色晶屑浆屑熔结凝灰岩、灰绿色含砾凝 灰岩、紫色含砾晶屑熔结凝灰岩、紫色含砾凝灰岩等。 研究区内构造主要以正断层、平移断层为主,局部地 区也发育一些逆断层,构造线的方向主要为 NW 向, 局部也有 SN 向(图 1b)。

2 样品采集及测试方法

文中 6 件典中组凝灰岩样品(均为)采集于孔隆 乡东南部的申拉日古近系古新统典中组实测剖面 PM13上。样品风化面呈土黄色,新鲜面浅紫红色,凝 灰结构,块状构造。镜下特征显示火山碎屑主要为流 纹岩岩屑,呈不规则状,大小为 0.1~0.6 mm,含量约 为 1%,晶屑为石英、钾长石(透长石),斜长石,呈棱角 状,少量石英有熔蚀港湾状、次圆状、孔状,晶屑大小 为 0.05~1.2 mm,石英含量为 7%,长石含量为 14%,黑 云母少量。胶结物为<0.05 mm 的火山灰(泥),多数 呈隐晶质-显微晶质状,压结式胶结,胶结物中有点状、 不规则团状的方解石、绿泥石蚀变,含量为 71%(图 2)。 在全岩主微量分析的基础上,选取其中 1 件典型凝灰 岩样品进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb定年,用于 U-Pb 定年的样品 PM13DH6 接近帕那组火山岩地层, 坐标为 N 30°22'26″, W 85°59'17″(图 1b)。

锆石 U-Pb 定年在南京宏创地质勘查技术服务有 限公司完成,测试仪器为 LA-ICP-MS,激光剥蚀系统 为 Photon Machines Excite, ICP-MS 为 Agilent 7700x, 激光剥蚀深度为 20~40 μm,剥蚀斑束直径为 32 μm。 分析数据采用软件 ICPMSDataCal 进行离线处理,使 用 Isoplot3.0 软件对同位素数据结果处理(钟玉芳等, 2006; Liu et al., 2010;李艳广等, 2023)。

主微量和稀土元素分析在核工业二三〇研究所进行,主量元素分析方法采用 XRF法,使用仪器为 X 射线荧光光谱仪,分析精度优于 1%,微量和稀土元素 分析方法采用 ICP-MS 法(刘颖等, 1996),使用仪器 为等离子体质谱仪,分析精度优于 5%。

84



1.第四系; 2.布嘎寺组; 3.帕那组; 4.年波组; 5.典中组; 6.昂杰组; 7.永珠组; 8.二长花岗岩; 9.石英脉; 10.整合界线; 11.角度不整合界线; 12.断层; 13.工作区范围; 14.采样点位

图1 西藏孔隆乡地区地质简图(据朱弟成等, 2006)



3 分析结果

3.1 锆石 U-Pb 年代学

所有锆石具有类似的外形特征,呈自形长柱状, 长为 100~200 μm,长宽比为 1:1~2.5:1。阴极发 光图像中(图 3),普遍具有明显的振荡环带。17 个 测试点位的 Th/U 值为 0.38~1.07(表 1),指示岩浆成 因特点(王梓桐等, 2022;柳永正等, 2023;熊万字康等, 2023)。所有样品²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 60.2~68.5 Ma,在谐



图2 西藏孔隆乡地区典中组凝灰岩野外及镜下特征
Fig. 2 Field and microscopic characteristics of tuff of Dianzhong Formation in Konglong Township, Tibet
和图中(图 4)均落在谐和线上或附近,其年龄加权平均值为(62.70±0.83) Ma(MSWD=1.7, n=17),指示为古



图3 西藏孔隆乡地区典中组凝灰岩锆石阴极发光图

Fig. 3 Cathodoluminescence map of zircon from tuff of Dianzhong Formation in Konglong Township, Tibet

TT 1 1	IA LOD MO . II DI	1 / D 1/ CD 1	Γ ℓ
Tap 1	$\perp A - I \subseteq P - M S Z I C O D = P D O$	dating Results of Dianzhong	$\mathbf{r} = \mathbf{r} \mathbf{r} \mathbf{r} \mathbf{r} \mathbf{r} \mathbf{r} \mathbf{r} \mathbf{r}$
140.1		during recourts of Drunzhong	SI Olimation tan (115D110)

ĿП	含量 (10 ⁻⁶)			同位素比值					年龄 (Ma)							
点	Pb	Th	U	Th/U ·	207Pb/206Pb	$(\pm 1 \sigma)$	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	$(\pm 1 \sigma)$	206Pb/238U	$(\pm 1 \sigma)$	207Pb/206Pb	$(\pm 1 \sigma)$	207Pb/235U	$(\pm 1 \sigma)$	206Pb/238U	$(\pm 1 \sigma)$
P13DH6-01	4.6	287.2	372.7	0.77	0.046 7	0.002 2	0.061 0	0.002 8	0.009 5	0.000 2	31.6	111.1	60.1	2.7	61.2	1.0
P13DH6-02	5.4	307.2	429.7	0.71	0.0506	0.002 2	0.0694	0.002 8	0.0100	0.000 1	220.4	98.1	68.1	2.7	64.2	0.9
P13DH6-03	1.9	129.9	145.8	0.89	0.048 4	0.002 7	0.066 8	0.004 2	0.0100	0.000 2	116.8	125.9	65.7	4.0	63.9	1.5
P13DH6-04	4.9	241.6	426.8	0.57	0.0509	0.001 8	0.065 6	0.002 3	0.009 4	0.000 2	239.0	81.5	64.5	2.2	60.3	1.1
P13DH6-06	2.7	189.8	204.0	0.93	0.0513	0.002 7	0.070 1	0.003 5	0.0100	0.000 2	257.5	120.4	68.8	3.3	64.2	1.2
P13DH6-07	7.5	240.2	630.3	0.38	0.047 0	0.001 5	0.069 1	0.002 4	0.0107	0.000 2	50.1	77.8	67.9	2.3	68.6	1.3
P13DH6-08	1.3	86.4	103.9	0.83	0.049 7	0.004 0	0.0672	0.005 2	0.009 9	0.000 2	189.0	177.8	66.0	5.0	63.5	1.4
P13DH6-09	3.6	211.8	291.0	0.73	0.048 1	0.002 3	0.064 7	0.003 3	0.009 8	0.000 2	105.6	107.4	63.7	3.1	63.2	1.5
P13DH6-10	5.0	240.5	424.6	0.57	0.047 2	0.002 0	0.063 1	0.002 8	0.009 7	0.000 2	57.5	96.3	62.2	2.6	62.3	1.1
P13DH6-11	2.9	187.4	212.2	0.88	0.0517	0.003 1	0.071 1	0.003 9	0.010 1	0.000 2	272.3	169.4	69.7	3.7	64.6	1.3
P13DH6-12	2.4	113.9	195.9	0.58	0.052 8	0.004 0	0.073 8	0.006 0	0.0102	0.000 2	320.4	143.5	72.3	5.6	65.3	1.4
P13DH6-13	2.8	202.4	223.9	0.90	0.052 5	0.002 2	0.0693	0.002 8	0.009 7	0.000 2	305.6	130.5	68.0	2.6	62.0	1.1
P13DH6-14	4.7	261.7	401.5	0.65	0.0504	0.002 0	0.064 9	0.002 8	0.0094	0.000 2	213.0	92.6	63.9	2.7	60.2	1.1
P13DH6-15	2.9	161.5	238.8	0.68	0.051 5	0.002 4	0.0678	0.002 8	0.009 7	0.000 2	264.9	107.4	66.6	2.7	62.0	1.4
P13DH6-16	2.2	120.8	165.4	0.73	0.0522	0.002 5	0.0707	0.003 4	0.009 9	0.000 2	300.1	145.4	69.3	3.3	63.3	1.1
P13DH6-17	4.9	238.6	417.2	0.57	0.051 0	0.002 1	0.067 0	0.003 0	0.009 5	0.000 2	239.0	100.9	65.8	2.8	61.2	1.3
P13DH6-18	2.2	164.8	153.5	1.07	0.052 5	0.004 2	0.071 5	0.005 7	0.009 9	0.000 2	305.6	185.2	70.1	5.4	63.7	1.3

注:测试单位为南京宏创地质勘查技术服务有限公司;测试时间为2017年。

近纪古新世喷发。

3.2 岩石地球化学特征

本次在研究区共采集6件典中组火山岩样品,原始数据在去掉烧矢量的基础上重新换算成100%,得

到校正后的氧化物含量,测试结果如表2所示。样品 SiO₂含量为74.81%~78.14%,平均值为75.93%,全碱 (K₂O+Na₂O)含量为8.05%~8.32%,平均值为8%,其 中Na₂O平均为4.11%,K₂O平均为3.9%。在TAS图



样品 P13DH6 锆石 U-Pb 谐和图 图4



9.37

Pr

8.64

解中(图 5),样品均落入流纹岩区域内,属酸性火山 岩范畴。在SiO2-K2O图解(图 6a)中,样品全部 位于高钾钙碱性系列区域中。样品的里特曼指数δ 值为 1.53~2.17, 小于 3.3, 为钙碱性岩。样品的 A/CNK>1.1,在A/CNK-A/NK图解(图6b)中位于弱 铝质岩石系列区域,表明岩浆具有壳源特征,总体上 与冈底斯带中西部地区的典中组火山岩较为相似(胡 新伟等,2007;谢克家等,2011;岳相元,2012,鲍春辉, **2014;**) °

样品稀土元素含量及相关特征值见表2。在微量 元素原始地幔标准化蛛网图(图 7a)中,呈多峰多谷的 右倾型分布,样品普遍富集大离子亲石元素 Rb、K、

编号	P13DH1	P13DH2	P13DH3	P13DH4	P13DH5	P13DH6
岩性	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩
SiO ₂	76.26	75.34	75.22	75.78	74.81	78.14
TiO ₂	0.25	0.35	0.34	0.26	0.15	0.11
Al_2O_3	11.83	12.28	12.28	11.94	12.53	11.92
Fe ₂ O ₃	2.10	2.29	2.35	2.09	2.65	1.52
MnO	0.04	0.03	0.02	0.05	0.07	0.03
MgO	0.14	0.16	0.15	0.20	0.12	0.17
CaO	0.32	0.40	0.39	0.35	0.32	0.16
Na ₂ O	4.23	4.35	4.40	4.42	4.45	2.81
K_2O	3.86	3.71	3.77	3.68	3.87	4.52
P_2O_5	0.05	0.04	0.04	0.06	0.05	0.03
LOI	0.47	0.57	0.55	0.50	0.52	1.01
Total	100.09	100.19	100.13	99.91	100.13	100.42
K+Na	8.09	8.05	8.16	8.10	8.32	7.33
K/Na	0.91	0.85	0.86	0.83	0.87	1.61
Ti	1 491	2 086	2027	1 550	894	677
K	32 057	30 787	31 289	30 561	32 124	37 513
Р	221	177	177	273	199	122
A/CNK	1.01	1.03	1.02	1.00	1.04	1.61
A/NK	1.06	1.10	1.09	1.06	1.09	1.21
AR	4.99	4.48	4.62	4.87	4.67	2.74
SI	1.33	1.48	1.38	1.89	1.06	1.9
δ43	1.97	2.01	2.07	2.00	2.17	1.53
La	41.00	35.20	36.50	38.00	35.60	28.93
Ce	88.40	76.60	76.30	84.80	74.90	54.68

8.63

8.50

8.51

6.64

2024	匥
202-	

						续表2
编号	P13DH1	P13DH2	P13DH3	P13DH4	P13DH5	P13DH6
岩性	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩	凝灰岩
Nd	33.40	33.80	30.30	30.60	34.90	24.04
Sm	5.60	5.88	5.61	5.57	5.91	5.29
Eu	0.92	1.01	0.90	0.97	0.94	0.52
Gd	4.68	5.32	5.24	4.90	5.26	4.90
Tb	0.57	0.71	0.75	0.66	0.70	0.84
Dy	2.75	3.90	3.95	3.37	4.03	5.01
Но	0.46	0.75	0.78	0.61	0.79	1.06
Er	1.30	2.34	2.48	1.78	2.42	3.13
Tm	0.22	0.40	0.43	0.29	0.42	0.48
Yb	1.36	2.29	2.24	1.64	2.46	3.08
Lu	0.25	0.44	0.44	0.30	0.43	0.46
ΣREE	190	177	174	181	177	139
LREE	178	161	158	168	160	120
HREE	11.59	16.15	16.31	13.55	16.51	18.96
LREE/HREE	15.42	9.98	9.70	12.44	9.74	6.34
δΕυ	0.53	0.54	0.50	0.56	0.51	0.31
δCe	1.06	1.05	1.02	1.11	1.02	0.93
(La/Yb) _N	21.62	11.03	11.69	16.62	10.38	6.74
Sc	5.15	5.87	5.27	5.28	6.34	3.79
V	8.42	7.33	5.38	6.66	5.71	9.94
Cr	< 5	< 5	8.50	< 5	5.90	16.21
Co	10.90	11.80	8.80	14.00	9.28	0.83
Ni	4.99	4.48	4.62	4.87	4.67	1.18
Rb	80.10	87.10	88.90	78.10	81.60	166.37
Sr	94.40	118.00	118.00	97.40	119.00	50.91
Y	13.00	21.20	22.20	18.40	21.10	29.96
Zr	198	208	197	203	200	106
Nb	6.65	8.80	9.15	7.02	8.70	9.54
Ba	871	852	888	842	922	396
Hf	1.77	2.38	2.44	1.98	2.36	3.58
Та	0.69	0.84	0.86	0.64	0.87	0.92
Pb	11.80	12.90	11.60	22.20	13.80	23.47
Th	14.70	14.50	15.20	13.50	14.70	18.90
U	1.48	2.01	2.16	1.54	2.07	3.12
Li	16.30	20.50	21.00	15.20	20.60	20.80
Cu	2.48	2.62	3.11	2.05	3.87	1.13
Zn	31.30	21.60	19.80	104.00	20.10	39.86
W	110	120	90	134	93.8	1.44
Sb	0.34	0.42	0.44	0.17	0.38	1.03

注:测试单位为核工业二三〇研究所;测试时间为2017年。





U等,亏损高场强元素 Nb、P和 Ti。稀土元素总量 (ΣREE)为139.06×10⁻⁶~190.28×10⁻⁶,平均值为173.41× 10⁻⁶,ΣLREE/ΣHREE 值为6.34~15.42,平均值为10.60。 在稀土元素球粒陨石标准化模式分配模式图中(图7b), 配分曲线呈右倾,轻重稀土元素分馏明显((La/Yb)_N= 6.74~21.62)。样品δEu平均值为0.49,具有明显Eu、 Sr 负异常,说明岩浆源区可能存在斜长石的结晶分离

Fig. 6

或残留, \deltaCe平均值为 1.03, 具有弱的 Ce 异常。

4 讨论

4.1 年代学

林子宗群火山岩的年代学研究一直是冈底斯带研究的热点,前人在这方面做了大量的实质性的工作。区域上林子宗群火山岩不整合接触于设兴组(K₂sh)及更老的地层之上(李洪梁等,2019),表示该不整合面是由于发生了重大的地质事件所导致的,而典中组的最早年龄是该地质事件的最晚时限(莫宣学等,2006a; Mo et al.,2008)。但典中组的成岩时代一直有较大的争议,在冈底斯带东部的林周盆地,前人对林周盆地的典中组火山岩进行⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素测年,测得典中组的顶底年龄为60.6~64.4 Ma(Zhou et al.,2004;莫宣学等,2006b); 锆石U-Pb测年方法测得冈底斯带东部典中组火山岩年龄范围在 62.6~68.7 Ma(He et al.,2007); 林周盆地典中组火山岩的年龄分别为 62~64 Ma 和 59~66 Ma(Huang et al.,2015; 陈贝贝等,2016), 故冈底斯带东段典中组火山岩最早年龄目前被限定约为 68.7 Ma。





(a) K₂O-SiO₂ diagram and (b) A/NK-A/CNK diagram



Fig. 7 (a) Primitive mantle–normalized trace element spiderdiagram and (b) Chondrite–normalized REE patterns for the Dianzhong Formation volcanic rock

冈底斯带中段典中组年代学研究相对较少。梁 银平等测得朱诺地区典中组顶部火山岩的锆石 U-Pb 年龄为 64.8 Ma(梁银平等, 2010);冈底斯带中段的措 麦地区典中组锆石 U-Pb 年龄为 65~70 Ma(于枫等, 2010);冈底斯带中段桑桑地区典中组底部火山岩年 龄为 69.9 Ma(谢冰晶等, 2013);查孜地区的典中组锆 石 U-Pb 年龄为 70.7 Ma,是目前报道的冈底斯带中部 最老年龄(李勇等, 2018)。

冈底斯带西段狮泉河地区典中组底部火山岩年 龄分别为 64.2 Ma 和 64.5 Ma(王乔林, 2011);冈底斯 带西段达若地区典中组火山岩年龄为 61.9 Ma(李洪 梁等, 2019);冈底斯带西段狮泉河地区典中组火山岩 年龄为 67.1~70.8 Ma(曹延等, 2020),该年龄为冈底 斯带西段林子宗典中组火山岩最老的年龄。

印度和欧亚大陆碰撞的时限一直是区域研究的 热点,前人研究表明林子宗群火山岩是印度--欧亚大

陆碰撞的结果,并且典中组底部的火山岩年龄可以代 表碰撞的开始时间(莫宣学等, 2003; 李皓扬等, 2007; Mo X X et al., 2008), 所以典中组底部的年龄对限定碰 撞时限,进一步解释碰撞方式具有重要意义。冈底斯 东、中、西段典中组火山岩年龄如图8所示,典中组火 山岩的成岩年龄大致为 60~70 Ma, 并且典中组底部 火山岩的年龄在冈底斯带表现得并不一致,具体为中 西段比东段要略早(Barth et al., 2000)。笔者用于锆 石 U-Pb 测年得样品采自于昂仁县孔隆乡地区林子宗 群火山岩典中组顶部,测得凝灰岩的锆石 U-Pb 年龄 为(62.70±0.83) Ma,由于采样位置比较接近于上覆的 年波组火山岩,故该样品年龄可以代表比较新的典中 组火山岩年龄,这也说明底部典中组火山岩年龄要比 62.7 Ma 更老, 通过以上对比并结合前人的研究成果, 间接支持了印度-亚洲大陆碰撞的穿时性这一观点, 说明中西部要早于东部。





Fig. 8 A simplified diagram of the distribution of volcanic rocks in the Linzizong Group

4.2 岩浆源区及构造背景

酸性火山岩一般有两种成因,一种是由幔源基性 岩浆分异而来;另一种是地壳重熔作用的产物。文中 酸性岩更可能为地壳重熔而来,包括以下5点原因: ①研究区中基性岩浆岩出露较少,主要出露一套中酸 性火山碎屑熔岩和火山碎屑岩(1:5万孔隆乡幅),幔 源基性岩浆的结晶分异不太可能形成如此大规模的 酸性火山岩喷发。②文中样品的SiO2含量较高(平均 值75.93%),富碱(K2O+Na2O平均值为8.01%),稀土 元素含量高,轻、重稀土分馏明显,普遍富集大离子亲 石元素 Rb、K、U等,亏损高场强元素 Nb、P和Ti,具 有明显的壳源岩浆的特征。③样品 Nb/Ta值为 9.6~11(平均值为10.3),接近地壳平均值(12~13) (Barth et al., 2000),与原始地幔平均值17.8 差距较大 (Mcdonough et al., 1995)。④在稀土元素 La-La/Sm 比值图解(图 9)中,样品具有部分熔融趋势,并且样品



图9 典中组火山岩部分熔融与分离结晶作用图解Fig. 9 Diagram of partial melting and separation crystallization of volcanic rocks of the Dianzhong Formation

微量元素 Nb/La 值为 0.16~0.33, 均小于 1, 显示岩浆 在上升过程中受到了地壳的混染(Bruno et al., 2004; 陈宁等, 2023)。⑤样品的 Cr、Ni 等相容元素含量较 低, Mg[#]值(平均值 为 12.7)低于大陆地壳的值(44.8~ 55.3), 且明显偏离玄武质岩浆(68~75)(Green, 1976), 表明岩浆源区有下地壳部分熔融作用并经历过铁镁 质矿物的分异作用。综上所述, 西藏孔隆乡地区典中 组火山岩岩浆可能是壳源物质经不同程度的部分熔 融形成。

研究区的典中组火山岩整体为一套酸性、过铝质 的高钾钙碱性--钙碱性岩石,表现为碰撞造山的特点。 且地壳物质对岩浆有明显影响;样品固结指数 SI 值 为1.06~1.9,均值为1.5,属于非常低的范畴,说明研 究区典中组火山岩分异很彻底,酸性程度高。一般认 为,火山岩的碱度指数低且变化区间小指示该火山岩 一般形成于岛弧和活动大陆边缘环境(鲍春辉,2014), 样品碱度指数 AR 值为2.74~4.99,碱度指数低,变化 区间小,显示岛弧和活动大陆边缘环境特征。在 Y+Nb-Rb构造判别图解上(图 10),样品全部落入火 山端环境,且靠近同碰撞区和板内区,说明典中组火 山岩构造环境较复杂,形成于火山弧型构造环境,并 且向同碰撞及板内环境过渡,与冈底斯带中西部桑桑 地区和措勤地区特征一致(谢克家等,2011)。



图10 典中组火山岩 Y+Nb-Rb 构造图解 Fig. 10 Diagram of Y+Nb-Rb structure of volcanic rocks of Dianzhong Formation

5 结论

(1)西藏孔隆乡地区典中组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为(62.70±0.83)Ma, 指示其形成时代 为古近纪古新世, 通过对比分析, 暗示印度-亚洲大陆 碰撞的穿时性这一观点, 说明中西部要早于东部。 (2)西藏孔隆乡地区典中组火山岩为一套酸性、 弱铝质的高钾钙碱性--钙碱性岩石,具有高 Si、富碱, 且稀土元素含量高,轻、重稀土分馏明显,富集大离子 亲石元素 Rb、K、U等,亏损高场强元素 Nb、P 和 Ti, 具有明显的壳源岩浆的特征,可能是壳源物质不同程 度重熔作用的产物。

(3)西藏孔隆乡地区典中组火山岩形成于火山弧 型构造环境,并且有同碰撞及板内环境过渡的趋势。

参考文献(References):

- 鲍春辉. 西藏措勤地区林子宗群典中组火山岩地球化学特征及成因研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2014.
- BAO Chunhui. Geochemical characteristics and genesis of volcanic rocks in the Dianzhong Formation of the Linzizong Group in Cuoqin, Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2014.
- 陈贝贝,丁林,许强,等.西藏林周盆地林子宗群火山岩的精细 年代框架[J]. 第四纪研究, 2016, 36(5): 1037-1054.
- CHEN Beibei, DING Lin, XU Qiang, et al. Fine Chronological Framework of Volcanic Rocks in Linzizong Group, Linzhou Basin, Tibet[J]. Quaternary Research, 2016, 36(5): 1037–1054.
- 陈宁,曾忠诚,赵端昌,等.阿尔金造山带南缘晚奥陶世碱性辉 长岩成因及其大地构造意义[J].西北地质,2023,56(4): 91-102.
- CHEN Ning, ZENG Zhongcheng, ZHAO Duanchang, et al. Petrogenesis and Tectonic Implications of Late Ordovician Alkaline Gabbro in the South Altyn Orogenic Belt[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(4): 91–102.
- 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 Yan, KANG Zhiqiang, XU Jifeng, et al. Chronological, geochemical characteristics and tectonic significance of volcanic rocks of the Dianzhong Formation in Shiquanhe area, western Lhasa block[J]. Earth Science, 2020, 45(5): 1573–1592.
- 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 Guochen, MO Xuanxue, ZHAO Zhidan, et al. A new understanding of the stratigraphic successions of the Linzizong volcanic rocks in the Linzhou Basin, northern Lhasa, China[J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(6): 549–557.
- 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 Wenchun, KANG Zhiqiang, PAN Huibin. Geochemical, zircon U-Pb age and implications of the Linzizong Group volcanic rocks in the Shiquan River area, western Gangdise belt, Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 2014, 33(6): 850–859.
- 黄映聪,杨德明,郑常青,等.西藏林周县扎雪地区林子宗群帕 那组火山岩的地球化学特征及其地质意义[J].吉林大学 学报(地球科学版),2005,35(5):576-580.
- HUANG Yingcong, YANG Deming, ZHENG Changqing, et al. Geochemical characteristics and geological significance of volcanic rocks in the Pana Formation of Linzizong Group, Zhaxue District, Linzhou County, Tibet[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2005, 35(5): 576–580.
- 侯增谦,赵志丹,高永丰,等.印度大陆板片前缘撕裂与分段俯冲:来自冈底斯新生代火山-岩浆作用证据[J].岩石学报,2006,22(4):761-774.
- HOU Zengqian, ZHAO Zhidan, GAO Yongfeng, et al. Tearing and segmented subduction of the Indian continental slab front: evidence from the Gangdese Cenozoic volcano-magmatism[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(4): 761–774.
- 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 Xinwei, MA Runze, TAO Xiaofeng, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of the volcanic rocks of the Dianzhong Formation in the Cuoqin area, Tibet[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Natural Science Edition), 2007, 34(1): 15–22.
- 李俊,刘函,黄金元,等.西藏昂仁县孔隆地区下拉组时代修订 及其对冈底斯中晚二叠世沉积演化的制约[J].地质通报, 2023,42(2-3):252-259.
- LI Jun, LIU Han, HUANG Jinyuan, et al. Age revision of the Xiala Formation in Konglong area, Nangren County, Tibet, and its constraints on the sedimentary evolution of the Gangdese belt in the Middle and Late Permian[J]. Geological Bulletin of China, 2023, 42(2–3): 252–259.
- 李璞. 西藏东部地质的初步认识[J]. 科学通报, 1955, (7): 62-71.
- LI Pu. A preliminary understanding of the geology of eastern Tibet[J]. Chinese Science Bulletin, 1955, (7): 62–71.
- 李皓扬,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 Haoyang, ZHONG Sunlin, WANG Yanbin, et al. Age, petrogenesis and geological significance of the Linzizong volcanic successions in the Linzhou Basin, southern Tibet: Evidence from zir-

con U-Pb dates and Hf Isotopes[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(2): 493-500.

- 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, 30(3):334-344.
- LI Hongliang, LI Guangming, DING Jun, et al. U-Pb dating and Hf isotopes of volcanic rocks from the Dianzhong Formation of Linzizong Group in the Daluo area, western Gangdise[J]. Acta Mineralogy, 2019, 30(3): 334–344.
- 梁银平,朱杰,次邛,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 Yinping, ZHU Jie, CI Qiong, et al. Zircon U-Pb Ages and Geochemistry of Volcanic Rocks from Linzizong Group in Zhunuo Area in Middle Gangdise Belt, Tibet Plateau[J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 2010, 35(2): 211–223.
- 刘安琳,朱弟成,王青,等.藏南米拉山地区林子宗火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和起源[J].地质通报,2015,34(5): 826-833.
- LIU Anlin, ZHU Dicheng, WANG Qing, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and origin of the Linzizong volcanic rock in the Mila Mountain area, southern Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34(5): 826–833.
- 柳永正,张海平,张永清,等.内蒙古中东部玛尼吐组火山岩形成时代及其大地构造环境[J].西北地质,2023,56(2): 46-60.
- LIU Yongzheng, ZHANG Haiping, ZHANG Yongqing, et al. Zircon U–Pb Age and Tectonic Setting of the Manitu Formation in the Middle–East Inner Mongolia, China[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(2): 46–60.
- 李强, 冉孟兰, 康志强, 等. 拉萨地块西部亚热区则弄群火山岩 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 桂林理工大学学报, 2017, 37(4): 561-569.
- LI Qiang, RAN Menglan, KANG Zhiqiang, et al. Zircon U-Pb ages of the volcanic rocks of the Zenong Group in the sub-hot area of the western Lhasa block and their geological significance[J]. Journal of Guilin University of Technology, 2017, 37(4): 561–569.
- 李艳广, 靳梦琪, 汪双双, 等. LA-ICP-MS U-Pb 定年技术相关 问题探讨[J]. 西北地质, 2023, 56(4): 274-282.
- LI Yanguang, JIN Mengqi, WANG Shuangshuang, et al. Exploration of Issues Related to the LA –ICP –MS U –Pb Dating Technique[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(4): 274–282.
- 刘颖,刘海臣,李献华.用 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余

种微量元素[J]. 地球化学, 1996, 25(6): 7.

- LIU Yin, LIU Haicheng, LI Xianhua. Accurate determination of more than 40 trace elements in rock samples by ICP-MS[J]. Geochemistry, 1996, 25(6): 7.
- 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,(8): 2755-2766.
- LI Yong, ZHANG Shizhen, LI Fenqi, et al. Zircon U-Pb ages and geological significance of the volcanic rocks of the Dianzhong Formation in the Chazi area of the central Lhasa block[J]. Earth Science, 2018, (8): 2755–2766.
- 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 Xuanxue, ZHAO Zhidan, DENG Jinfu, et al. response of volcanism to the india-asia collision[J]. Frontiers of Earth Science, 2003, 10(3): 135–148.
- 莫宣学.青藏高原岩浆岩成因研究:成果与展望[J].地质通报, 2009,28(12):1693-1703.
- MO Xuanxue. A review of genesis study on magmatic rocks of the Qinghai-Tibet Plateau: Achievements and remaining problems[J]. Geological Bulletin of china, 2009, 28(12): 1693–1703.
- 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, 2006a, 13(6): 43-51.
- MO Xuanxue, PAN Guitang. From Tethys to the formation of the Qinghai-Tibet Plateau: Constraints of tectonic-magmatic events [J]. Earth Science Frontiers, 2006a, 13(6): 43–51.
- 莫宣学,赵志丹, Depaolo Don-J,等. 青藏高原拉萨地块碰撞-后碰撞岩浆作用的三种类型及其对大陆俯冲和成矿作用的启示: Sr-Nd 同位素证据[J]. 岩石学报,2006b,22(4):795-803.
- MO Xuanxue, ZHAO Zhidan, Depaolo Don-J, et al. Three types of collision-post-collision magmatism in the Lhasa block of the Qinghai-Tibet Plateau and their implications for continental subduction and mineralization: Sr-Nd isotope evidence[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006b, 22(4): 795–803.
- 潘亮,周斌,鲁麟,等.冈底斯带东段日多地区航木多岩体地球 化学、锆石 U-Pb 年代学、Lu-Hf 同位素特征及其地质意 义[J].西北地质,2021,54(4):59-81.
- PAN Liang, ZHOU Bin, LU Lin, et al. Geochemistry, Zircon U-Pb Chronology, Lu-Hf Isotopic Compositions and Geological Significance of the Hangmuduo Granite in Riduo Area of Eastern Gangdise Belt[J]. Northwestern Geology, 2021, 54(4): 59–81.

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 Pan, TANG Juxing, ZHENG Wenbao, et al. Chronology, Hf isotope and geochemical characteristics of volcanic rocks of Dianzhong Formation in Xingaguo area, Tibet[J]. Journal of Rock and Mineralogy, 2018, 37(1): 47–60.
- 王天武,李才,杨德明.西藏冈底斯地区早第三纪林子宗群火山 岩地球化学特征及成因[J].地质论评,1999,45(7): 966-971.
- WANG Tianwu, LI Cai, YANG Deming. Geochemical features and genesis of the Linzizong Group volcanic rocks of the Early Tertiary in the Gangdise, Tibet[J]. Geological Review, 1999, 45(7): 966–971.
- 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 Qiaolin. Geochemical characteristics and zircon dating of the volcanic rocks of the Linzizong Group in the western section of Gangdise[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2011.
- 王梓桐, 王根厚, 张维杰, 等. 阿拉善地块南缘志留纪花岗闪长 岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征[J]. 成都理 工大学学报 (自然科学版), 2022, 49(5): 586-600.
- WANG Zitong, WANG Genhou, ZHANG Weijie, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of the Silurian granodiorite in the southern margin of Alxa Block, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2022, 49(5): 586–600.
- 谢克家,曾令森,刘静,等.藏南昂仁县桑桑地区林子宗群火山 岩的形成时代和地球化学特征[J].地质通报,2011,30(9): 1339-1352.
- XIE Kejia, ZENG Lingsen, LIU Jing, et al. Formation age and geochemical characteristics of volcanic rocks of Linzizong Group in Sangsang area, Angren County, southern Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(9): 1339–1352.
- 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 Bingjing, ZHOU Su, XIE Guogang, et al. Regional comparison of zircon SHRIMP ages and geochemical characteristics of volcanic rocks from the Linzizong Group in the Konglong to Dingrenle area of the central Gangdise, Tibet[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(11): 3803–3814.
- 熊万宇康,赵梦琪,于森,等.造山带洋陆转换过程与岩浆作用: 以东昆仑都兰地区古生代花岗岩为例[J].西北地质,2023, 56(6):113-139.

- XIONG Wanyukang, ZHAO Mengqi, YU Miao, et al. Ocean–Continent Transition Process and Magmatism in Orogenic Belts: A Case Study of Paleozoic Granites in the Dulan Area of East Kunlun[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(6): 113–139.
- 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 Feng, Li Zhiguo, ZHAO Zhidan, et al. Geochemistry and implication of the Linzizong volcanic succession in Cuomai area, central and western Gangdise Tibet[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(7): 2217–2225.
- 岳相元.西藏措勤地区典中组火山岩地球化学特征及其地质意义[D].成都:成都理工大学,2012.
- YUE Xiangyuan. Geochemical characteristics and geological significance of volcanic rocks of Dianzhong Formation in Cuoqin area, Tibet[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2012.
- 周肃,莫宣学,董国臣,等.西藏林周盆地林子宗火山岩⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代格架[J].科学通报,2004,49(20):2095-2103.
- ZHOU Su, MO Xuanxue, DONG Guochen, et al. The ⁴⁰Ar/³⁹Ar age framework of the Linzizong volcanic rocks in the Linzhou Basin, Tibet[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(20): 2095–2103.
- 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 Dicheng, PAN Guitang, MO Xuanxue, et al. Late Jurassic-Early Cretaceous geodynamic environment in the north-central Gangdise: volcanic rock constraints[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(3): 534–546.
- 钟玉芳,马昌前,佘振兵.锆石地球化学特征及地质应用研究综述[J].地质科技情报,2006,25(1):27-34.
- ZHONG Yufang, MA Changqian, SHE Zhenbing. A review of zircon geochemical characteristics and geological applications[J]. Geological Science and Technology Information, 2006, 25(1): 27–34.

- Barth M G, Mcdonough W F, Rudnick R L. Tracking the Budget of Nb and Ta in the Continental Crust[J]. Chemical Geology, 2000, 165(3): 197–213.
- Bruno K, Nicholas A, Henriette L, et al. Flood and Shield Basalts from Ethiopia: Magmas from the African Superswell[J]. Journal of Petrology, 2004, (4): 793–834.
- Green D H. Experimental testing of 'equilibrium' partial melting of peidotite under water-saturated, high pressure conditions[J]. The Canadian Mineralogist, 1976, 14(3): 255–268.
- He S, Kapp P, Decelles PG, et al. Cretaceous-tertiary Geology of the Gangdese Arc in the Linzhou Area, Southern Tibet[J]. Tectonophysics, 2007, 433(1): 15–37.
- Huang W, Dupont Nivet, Guillaume, et al. What was the Paleogene latitude of the Lhasa terrane? A reassessment of the geochronology and paleomagnetism of Linzizong volcanic rocks (Linzhou Basin, Tibet)[J]. Tectonics, 2015, 34(3): 594–622.
- Lee HY, Chung SL, Lo CH, et al. Eocene Neotethyan slab breakoff in southern Tibet inferred from the Linzizong volcanic record[J]. Tectonophysics, 2009, 477(1-2): 20–35.
- Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, et al. Reappraisement and Refinement of Zircon U-pb Isotope and Trace Element Analyses By La-icpms[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(15): 1535–1546.
- Mo X X, Hou Z Q, Niu Y L, et al. Mantle contributions to crustal thickening during continental collision: Evidence from Cenozoic igneous rocks in southern Tibet[J]. Lithos, 2007, 96(1-2): 225-242.
- Mo X X, Niu Y L, Dong G C, et al. Contribution of syncollisional felsic magmatism to continental crust growth: A case study of the Paleogene Linzizong volcanic Succession in southern Tibet[J]. Chemical Geology, 2008, 250(1): 49–67.
- Mcdonough W F, Sun S S. The Composition of the Earth[J]. Chemical Geology, 1995, 120(3): 223–253.
- Zhou S, Mo X X, Dong G C, et al. ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of Cenozoic Linzizong volcanic rocks from Linzhou Basin, Tibet, China, and their geological implications[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(18): 1970–1979.