

https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.593



# 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

李 勇, 张士贞, 李奋其, 秦雅东, 巩小栋

中国地质调查局成都地质调查中心, 四川成都 610081

**摘要:**林子宗群火山岩是在青藏高原南部广泛发育的新生代火山岩,形成于新特斯洋闭合向印度—亚洲大陆碰撞过渡的背景下,其底部典中组火山岩的年龄对限定印度—亚洲大陆的碰撞时限具有重要意义.然而林子宗群火山岩的研究主要集中在拉萨地块东部林周盆地及其附近,其中部和西部的火山岩研究较少,系统的年代学研究则更少.对拉萨地块中段查孜地区的一条林子宗群典中组火山岩剖面进行了系统的锆石 U-Pb 年代学研究,获得了火山岩锆石 U-Pb 年龄分别为  $70.7 \pm 1.4$  Ma、 $69.9 \pm 1.5$  Ma、 $68.3 \pm 1.2$  Ma.结合前人资料,对拉萨地块林子宗群火山岩年代学进行了区域对比,结果显示其底部火山岩的年龄沿东西走向存在一定的差别,中段年龄略早于东段和西段,表明印度—亚洲大陆碰撞中段略早于东部和西部.

**关键词:**拉萨地块中段;林子宗群;火山岩;典中组;锆石 U-Pb 年龄;地球化学;地质年代学.

中图分类号: P597

文章编号: 1000-2383(2018)08-2755-12

收稿日期: 2018-04-16

## Zircon U-Pb Ages and Implications of the Dianzhong Formation in Chazi Area, Middle Lhasa Block, Tibet

Li Yong, Zhang Shizhen, Li Fenqi, Qin Yadong, Gong Xiaodong

Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610083, China

**Abstract:** The Cenozoic volcanic rocks in Linzizong Group are widely exposed in southern Tibet Plateau and it is considered to have been formed in the transitional process from the end of subduction of Neo-Tethyan oceanic plate to India-Asia continent collision. The age of Dianzhong Formation is significant to constrain the time of collision between India and Asia. However, research on the Linzizong Group volcanic rocks is mainly concentrated on the Linzhou basin and its vicinity in the eastern part of the Lhasa block. There are few studies on volcanic rocks in the central and western parts of the Lhasa block, and very few systematic chronology studies. After the stratigraphic and petrological study, we conducted systematic U-Pb zircon dating on 3 selected samples taken from the geological section of Dianzhong Formation in Chazi area. The results show the ages of Dianzhong Formation are  $70.7 \pm 1.4$  Ma,  $69.9 \pm 1.5$  Ma and  $68.3 \pm 1.2$  Ma, respectively. Combining with previously reported chronological data, it is revealed that there were certain differences of the ages from bottom layer of the Linzizong volcanic rocks in Lhasa block. The initial collision between India and Asia continent took place earlier in middle Lhasa block but later in eastern and western parts.

**Key words:** middle Lhasa block; Linzizong Group; volcanic rocks; Dianzhong Formation; zircon U-Pb age; geochemistry; geochronology.

**基金项目:**国家自然科学基金项目(No.41773026);中国地质调查项目(No.DD20160015-31).

**作者简介:**李勇(1984-),男,工程师,主要从事青藏高原区域地质调查和研究工作. ORCID:0000-0003-2511-2669. E-mail:liy9907@126.com

**引用格式:**李勇,张士贞,李奋其,等,2018.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.地球科学,43(8):2755-2766.

林子宗群火山岩是拉萨地块典型的新生代火山岩,其在南拉萨地块沿巨型区域性不整合面展布达 1 500 km 以上,整个火山岩系厚度超过 5 000 m(莫宣学等,2003;莫宣学,2011)。林子宗群火山岩自下而上分为 3 个岩组:典中组、年波组和帕那组。因为林子宗群火山岩的形成时代、岩石学特征及其与下伏地层之间的区域不整合等特征,包含着新特斯洋闭合与印度—亚洲大陆碰撞过程的诸多信息,因而一直受到国内外学者的关注(莫宣学等,2003,2009a,2009b,2011; He *et al.*, 2007; Mo *et al.*, 2007,2008; Lee *et al.*, 2009; Zhu *et al.*, 2015)。研究表明,林子宗群火山岩是对印度—亚洲大陆碰撞的响应(莫宣学等,2003;赵志丹等,2006; Mo *et al.*, 2008; Zhu *et al.*, 2013)。林子宗群火山岩具有从中钾钙碱性火山岩向酸性、高钾火山岩演化的地球化学特征(莫宣学等,2003;赵志丹等,2006)。大多数学者认为林子宗群火山岩形成于新特斯洋闭合向印度—欧亚大陆碰撞过渡的背景下,初期具有陆缘弧火山岩的特征,中期陆内火山岩特征增强、以出现钾玄岩为特征,晚期更多地显示了加厚陆壳条件下的火山岩特征,并认为林子宗群火山岩是对印度—欧亚大陆碰撞的响应(Mo *et al.*, 2008; Zhu *et al.*, 2013)。林子宗群火山岩地层不整合覆盖于白垩统设兴组或更老的地层之上,不整合面上、下的地层无论在岩性、岩相、化石还是变形样式与变形程度上均截然不同,表明该不整合代表着一次重大的地质事件(莫宣学等,2003;周肃等,2004;莫宣学,2011)。因此,通过对林子宗群底部火山岩进行准确定年来确定该不整合的形成时间,具有重要的意义。

前人对林子宗群火山岩进行了详细的年代学研究,取得了较多的同位素年代学数据,周肃等(2004)在详细地层层序研究的基础上,利用 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 方法限定了林周盆地林子宗群火山岩的年代格架(64.43~43.93 Ma)。莫宣学等(2003,2009a,2009b)认为林子宗群火山岩可以揭示出印度—欧亚大陆的初始碰撞时间约为 65 Ma,之后的锆石 U-Pb 年代学研究结果也支持这一观点(He *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2009; Zhu *et al.*, 2015)。目前存在的争议是:林子宗群火山岩的底界年龄是晚白垩世还是古近纪,印度—欧亚大陆碰撞是否存在穿时性。林子宗群火山岩的研究主要集中在拉萨地块东部林周盆地及其附近,而关于拉萨地块中部和西部的林子宗群火山岩研究较少,系统的年代学研究则更少。本文依托正在实施的西藏阿木雄地区 1:5 万区域地质调查,

选择拉萨地块中段查孜地区 1 条林子宗群典中组火山岩剖面,进行了系统的地质研究、采样、镜下观察和锆石 U-Pb 定年,获得典中组底部火山岩的形成时代,并结合近年来获得的相关年龄,与拉萨地块东部林子宗群火山岩年龄进行对比,为探讨印度—亚洲大陆的碰撞时限提供新的证据。

## 1 地质背景与林子宗群火山岩特征

本文以东经 85°和 90°为界,将拉萨地块分为西、中、东 3 段(侯增谦等,2006)。研究区位于西藏中西部昂仁县查孜乡和阿木雄乡,冈底斯山脉中段,大地构造位置属于冈底斯—下察隅晚燕山—喜马拉雅期岩浆弧带。地层区划属冈底斯—腾冲地层区,隆格尔—南木林地层分区(图 1),研究区内南北向断陷盆地较发育。区内出露地层主要为:晚古生代永珠组、拉嘎组,古近纪林子宗群典中组、年波组,新近纪布嘎寺组、洁居纳卓组及第四系。研究区内林子宗群火山岩主要为典中组和年波组,未见帕那组,整个火山岩系直接与永珠组、拉嘎组角度不整合接触,其上被布嘎寺组不整合覆盖。典中组火山岩在研究区的地层结构类型以中酸性—中性火山碎屑岩、熔岩为主,主要岩性岩相有喷溢相的安山岩及英安岩、爆溢相的晶屑凝灰熔岩、空落亚相的晶屑岩屑凝灰岩、热碎屑流亚相的熔结凝灰岩、涌流相的火山角砾岩。年波组火山地层结构类型以火山碎屑岩为主,主要岩性岩相有空落亚相晶屑岩屑凝灰岩、热碎屑流亚相熔结凝灰岩、爆溢相晶屑凝灰熔岩、涌流相火山角砾岩、喷溢相英安岩及流纹岩等。林子宗群火山岩多呈块状,冷却单元厚度大,以熔结凝灰岩、熔岩为主,火山岩产状变化大,围绕火山喷发中心围斜内倾或外倾,形成破火山及层状火山,反映火山活动以爆发作用、喷溢作用为主。

研究区林子宗群火山岩的岩石类型和火山旋回特征与林周盆地不完全一致,典中组岩性组合下部以流纹质、英安质岩屑晶屑(熔结)凝灰岩为主,上部为安山质(含角砾)晶屑凝灰岩、安山岩、玄武岩,夹少量流纹质(含角砾)晶屑熔结凝灰岩,局部见安山质火山角砾岩和火山集块岩,底部可见河湖相砾岩。年波组岩性组合下部为一套酸性火山碎屑岩组合,局部见沉凝灰岩夹层,上部以安山质(含角砾)晶屑凝灰岩、晶屑熔结凝灰岩、岩屑晶屑熔结凝灰岩为主。地球化学特征显示,典中组火山岩属于钙碱性系

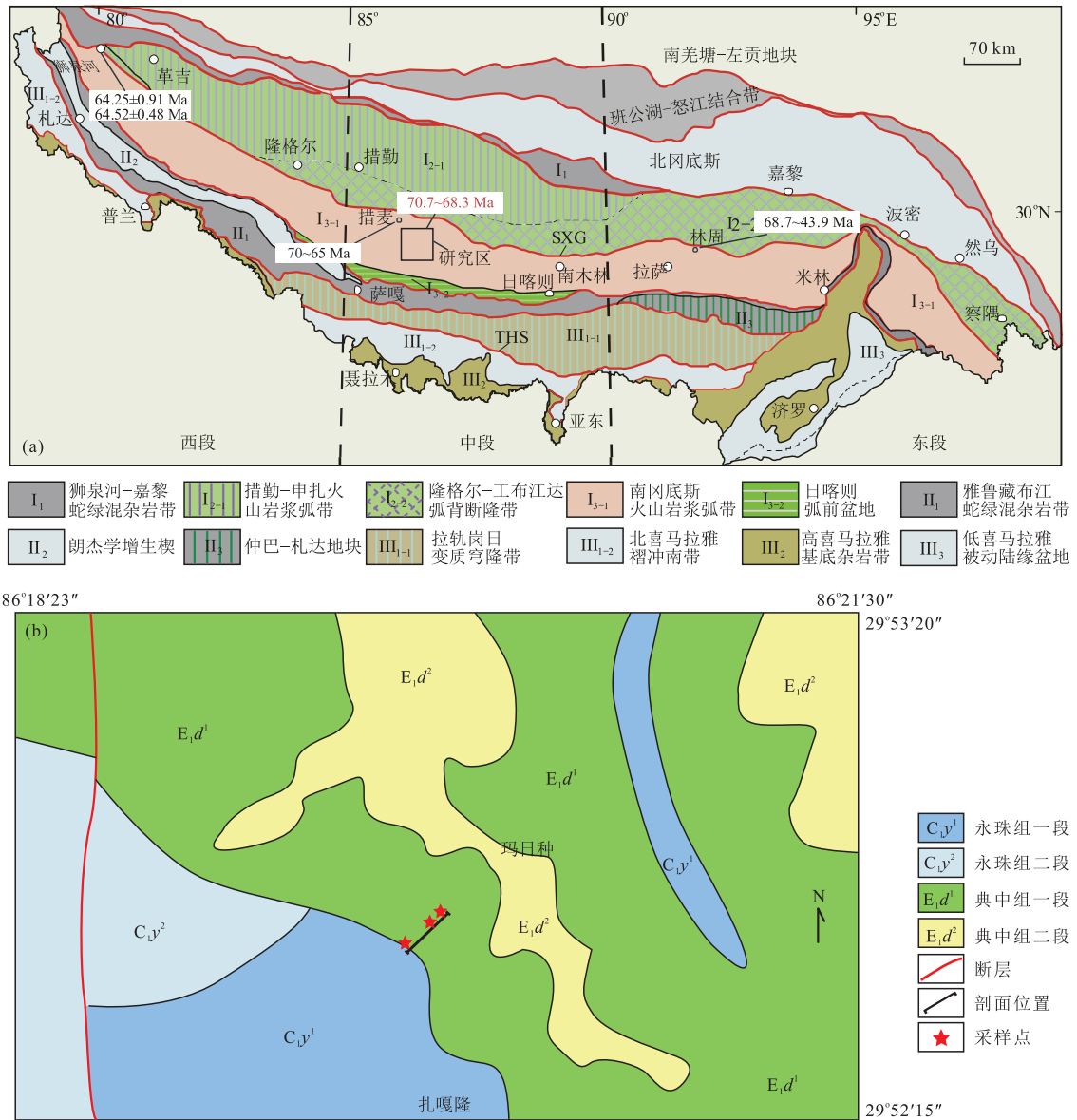


图 1 青藏高原南部构造单元划分(a)和研究区地质简图(b)

Fig.1 The structural units division of southern Tibetan Plateau (a) and the simplified geological map of Chazi area (b) 图 a 修改自朱弟成等(2006);70.7~68.3 Ma 为本次测试年龄,其他年龄均为前人资料.SXG.狮泉河-许如错-工布江达断裂;THS.吉隆-定日-岗巴-措那断裂

列,形成于火山弧环境,具有陆缘弧火山岩特征;年波组火山岩主要属于钙碱性-高钾钙碱性系列,具有陆缘弧火山岩与陆内火山岩的双重特征.上述地球化学特征与前人对林子宗群火山岩研究相似(莫宣学等, 2003;侯增谦等,2006;梁银平等,2010;丁枫等,2017).

### 2 典中组火山岩特征

剖面 PM022 位于昂仁县查孜乡扎嘎隆地区,剖面起点坐标为 N29° 52' 44"、E86° 19' 36",海拔为

5 336 m,剖面方向为 40°(图 2),剖面列述如下:

#### 典中组一段(K<sub>2</sub>E<sub>1</sub>d<sup>1</sup>) 未见顶

- 17 层:灰白色、浅灰黄白色流纹质岩屑晶屑凝灰岩 19.20 m
- 16 层:灰绿色含角砾安山岩 32.10 m
- 15 层:灰绿色、灰黑色致密块状玄武安山岩 17.40 m
- 14 层:灰白色流纹质岩屑晶屑熔结凝灰岩 30.40 m
- 13 层:灰黑色、灰绿色致密块状安山岩 8.90 m
- 12 层:砾岩 4.50 m
- 11 层:灰白色英安质含角砾岩屑晶屑凝灰岩 19.70 m
- 10 层:深灰黑色致密块状玄武质安山岩 36.60 m
- 9 层:灰黄色流纹质岩屑晶屑熔结凝灰岩 19.70 m

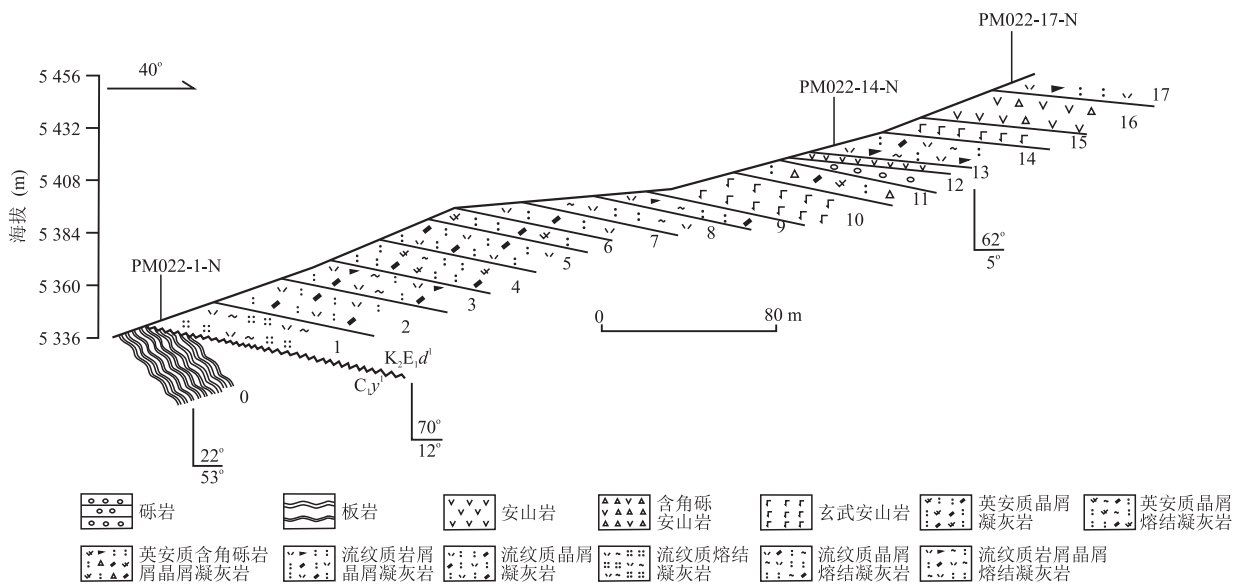


图 2 昂仁县扎嘎隆地区典中组实测剖面

Fig.2 Measured geological section of Dianzhong Formation in Zhagalong area, Angren Country

8 层: 灰色、灰白色流纹质晶屑熔结凝灰岩	26.30 m
7 层: 灰白色流纹质晶屑凝灰岩	25.40 m
6 层: 灰色、灰白色英安质晶屑凝灰岩	11.90 m
5 层: 灰色、灰白色流纹质晶屑凝灰岩	22.80 m
4 层: 灰色英安质晶屑熔结凝灰岩	21.00 m
3 层: 浅灰色、灰色流纹质岩屑晶屑熔结凝灰岩	21.10 m
2 层: 浅灰白色流纹质晶屑凝灰岩	29.50 m
1 层: 灰白色、浅灰白色流纹质熔结凝灰岩	28.70 m
~~~~~角度不整合~~~~~	
永珠组一段 (C <sub>1</sub> y <sup>1</sup> )	
0 层: 灰黑色板岩	13.90 m

典中组剖面下部(1~9层)主要为酸性火山碎屑岩、熔结火山碎屑岩,显示弱熔结凝灰结构特征,主要以含晶屑和(或)岩屑的流纹质凝灰岩和流纹质熔结凝灰岩为特征,中间夹有英安质晶屑(熔结)凝灰岩;剖面上部(10~17层)主要为一套中基性的火山岩组合,其岩性主要为中基性玄武质安山岩、安山岩、安山角砾岩等,中间夹一层河流相砾岩、流纹质岩屑晶屑熔结凝灰岩和英安质晶屑凝灰岩,其顶部为流纹质岩屑晶屑凝灰岩.典中组下部火山相属于爆发相的热碎屑流亚相和空落亚相,上部火山相主要属于喷溢相下部亚相,向上过渡为爆发相的空落亚相.

用于典中组火山岩锆石 U-Pb 测年的样品是在剖面第 1 层、14 层和 17 层上采集的,样品新鲜.样品 PM022-1-N 为流纹质熔结凝灰岩,新鲜面为灰白色、浅灰白色,具块状构造,熔结凝灰结构.岩石主要

由晶屑和火山灰组成,晶屑含量为 30%,主要由石英和少量斜长石组成,粒径为 0.2~4.0 mm;火山灰含量为 70%,起胶结作用.样品 PM022-14-N 为流纹质岩屑晶屑熔结凝灰岩,新鲜面为灰白色、浅灰白色,具有块状构造,熔结凝灰结构.岩石由晶屑(35%)、岩屑(5%)和火山灰(60%)组成,晶屑成分主要为石英、斜长石,粒径为 0.2~3.0 mm;岩屑为酸性熔岩,约占总体的 5%,粒径为 0.5~2.0 mm;火山灰起胶结作用,粒度细小,不易辨认.样品 PM022-17-N 为流纹质岩屑晶屑凝灰岩,新鲜面为浅灰白色,具有块状构造,凝灰结构.岩石成分为晶屑(40%)、岩屑(5%)和火山灰(55%),晶屑主要由石英、斜长石组成,粒径为 0.2~3.5 mm;岩屑为酸性熔岩,约占总体的 5%,粒径为 0.5~5.0 mm;火山灰的粒度细小,总体颜色较深,不易辨认.

### 3 测试方法

样品处理和锆石挑选在河北省廊坊区调队实验室完成,经碎样后挑选单颗粒锆石制靶、摄制 CL 图,利用 LA-ICP-MS 技术测定其 U-Pb 同位素组成和年龄.锆石呈淡黄色或无色透明长柱状、柱状的自形晶,结晶形态较好.锆石的阴极发光图像(图 3)显示锆石晶形完好,部分锆石发育规则的震荡环带结构.锆石晶体的粒度较细,粒径多为 100 μm 左右,长宽比为 2:1~3:1.

锆石 U-Pb 同位素定年在国土资源部沉积盆地

与油气资源重点实验室高分辨电感耦合等离子体质谱仪 ELEMENT2 上完成,激光剥蚀系统为 Geo-LasPro 193nm,实验采用高纯 He 作为剥蚀物质的载气,激光波长为 193 nm、束斑为 32 μm、脉冲频率为 6 Hz、激光能量为 6 J/cm<sup>2</sup>,测试前先采用 NIST610 标准调谐仪器将质谱仪调至最佳状态,使得<sup>139</sup>La、<sup>232</sup>Th 信号达到最强,并使氧化物产率<sup>232</sup>Th/<sup>16</sup>O/<sup>232</sup>Th < 0.3%。实验采用锆石标样 GJ-1 作为外标进行 U-Pb 同位素分馏效应和质量歧视的校正计算,Plěšovice 锆石标样作为监控盲样来监视测试过程的稳定性;测试时每 5 个样品点插一组标样。每个样品激光取样过程包括 20 s 的背景采集时间、50 s 的剥蚀取样时间和 10 s 的样品池冲洗时间。对分析数据的离线处理采用软件 ICPMSDataCal。U-Pb 谐和图、年龄分布频率图以及年龄权重平均计算采用 Isoplot 软件完成。

### 4 分析结果

3 件典中组火山岩样品的锆石 U-Pb 年龄测试结果见表 1~3。如表 1 所示,样品 PM022-1-N 锆石 Th、U 含量分别为 78 × 10<sup>-6</sup> ~ 460 × 10<sup>-6</sup>、87.1 × 10<sup>-6</sup> ~ 608.0 × 10<sup>-6</sup>,Th/U 比值介于 0.67 ~ 1.47,

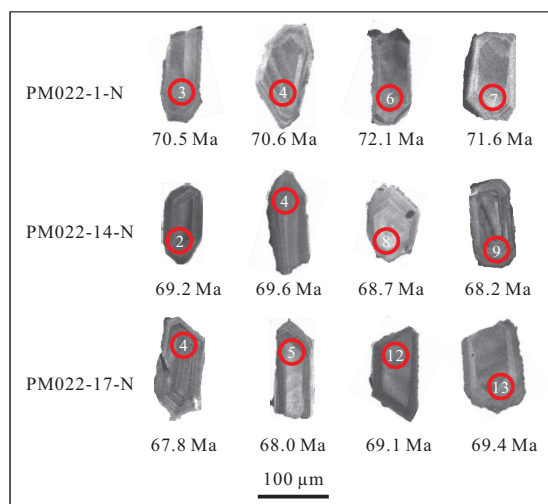


图 3 典中组火山岩典型样品的锆石阴极发光图像  
Fig.3 CL images of zircons in typical samples from Dianzhong Formation volcanic rocks

Th 和 U 之间具有正相关关系,表明锆石具有岩浆成因的特点。其中 1 颗锆石年龄较老,为 82.4 ± 6.5 Ma,可能为岩浆侵位过程中捕获的先成岩石中的锆石。在剔除异常较大的分析点后,剩下 20 个测点的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄分布在 67.8 ~ 73.0 Ma 之间,在图 4a 中所有样品点都落在谐和线上或附近,其年龄

表 1 样品 PM022-1-N 锆石 U-Pb 定年结果

Table 1 Zircon U-Pb dating results for sample PM022-1-N

分析点	含量(10 <sup>-6</sup> )		同位素比值				年龄(Ma)				
	Th	U	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1σ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1σ
1	210	212	0.99	0.084 2	0.020 7	0.010 6	0.000 6	82.1	19.4	68.0	4.1
2	135	171	0.79	0.040 6	0.021 5	0.011 3	0.000 6	40.5	21.0	72.2	4.0
3	192	188	1.02	0.071 4	0.013 9	0.011 0	0.000 6	70.0	13.2	70.5	3.9
4	122	147	0.83	0.078 9	0.023 6	0.011 0	0.000 5	77.1	22.2	70.6	3.4
5	460	313	1.47	0.092 4	0.014 3	0.010 1	0.000 5	89.8	13.3	64.9	3.0
6	165	217	0.76	0.072 3	0.011 5	0.011 2	0.000 5	70.8	10.9	72.1	3.4
7	339	300	1.13	0.073 8	0.010 9	0.011 2	0.000 5	72.3	10.3	71.6	3.5
8	162	193	0.84	0.077 2	0.014 1	0.010 8	0.000 6	75.5	13.3	69.0	3.8
9	447	336	1.33	0.068 7	0.014 4	0.011 2	0.000 5	67.4	13.7	72.1	3.1
10	224	279	0.80	0.078 8	0.010 3	0.011 4	0.000 5	77.0	9.7	73.0	2.9
11	266	282	0.94	0.079 7	0.012 9	0.011 0	0.000 5	77.8	12.1	70.7	3.2
12	331	430	0.77	0.064 2	0.009 5	0.010 8	0.000 4	63.1	9.0	69.3	2.3
13	306	393	0.78	0.072 9	0.012 5	0.010 9	0.000 5	71.5	11.8	70.2	3.0
14	171	250	0.69	0.076 1	0.011 5	0.010 8	0.000 6	74.5	10.9	69.6	3.9
15	368	450	0.82	0.064 9	0.012 1	0.010 6	0.000 5	63.8	11.5	67.8	3.1
16	186	266	0.70	0.069 2	0.015 5	0.010 8	0.000 5	67.9	14.7	69.5	3.2
17	410	608	0.67	0.063 6	0.008 9	0.010 7	0.000 4	62.6	8.5	68.3	2.7
18	78.0	87.1	0.90	0.080 8	0.027 5	0.012 9	0.001 0	78.9	25.8	82.4	6.5
19	517	526	0.98	0.076 3	0.009 7	0.011 1	0.000 4	74.6	9.2	71.4	2.5
20	104	144	0.72	0.077 2	0.012 8	0.011 4	0.000 7	75.5	12.1	73.0	4.7
21	111	129	0.86	0.068 6	0.015 8	0.011 3	0.000 7	67.4	15.0	72.4	4.6
22	155	186	0.83	0.076 5	0.010 6	0.011 1	0.000 7	74.9	10.0	71.4	4.7
23	121	141	0.86	0.077 9	0.016 3	0.011 2	0.000 6	76.2	15.3	72.0	3.6
24	254	302	0.84	0.071 1	0.010 8	0.011 3	0.000 5	69.8	10.2	72.7	3.0

表 2 样品 PM022-14-N 锆石 U-Pb 定年结果

Table 2 Zircon U-Pb dating results for sample PM022-14-N

分析点	含量( $10^{-6}$ )			同位素比值				年龄(Ma)			
	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$
1	297	232	1.28	0.044 3	0.008 6	0.010 2	0.000 4	44.1	8.3	65.6	2.8
2	343	337	1.02	0.066 0	0.008 5	0.010 8	0.000 4	64.9	8.1	69.2	2.3
3	97.4	135	0.72	0.040 6	0.008 5	0.010 6	0.000 6	40.4	8.3	68.0	3.7
4	277	251	1.10	0.069 3	0.010 7	0.010 9	0.000 4	68.0	10.2	69.6	2.8
5	72.7	150	0.48	0.905 0	0.059 0	0.102 2	0.002 4	654.4	31.5	627.2	13.9
6	490	487	1.01	0.099 8	0.009 1	0.014 7	0.000 4	96.6	8.4	94.2	2.8
7	839	929	0.90	0.066 7	0.006 5	0.013 1	0.000 3	65.6	6.1	84.2	2.0
8	155	226	0.69	0.070 0	0.008 4	0.010 7	0.000 6	68.7	7.9	68.7	3.8
9	762	503	1.52	0.063 4	0.007 3	0.010 6	0.000 3	62.4	6.9	68.2	2.0
10	587	543	1.08	0.081 5	0.010 0	0.010 3	0.000 6	79.5	9.4	65.9	3.8
11	479	415	1.15	0.076 4	0.011 3	0.011 2	0.000 4	74.7	10.7	71.8	2.4
12	223	452	0.49	0.107 1	0.012 9	0.015 5	0.001 0	103.3	11.8	99.1	6.3
13	165	215	0.77	0.066 7	0.016 0	0.010 9	0.000 8	65.5	15.2	69.7	4.8
14	1 170	672	1.74	0.067 4	0.009 0	0.011 2	0.000 4	66.2	8.6	71.6	2.4
15	187	231	0.81	0.072 4	0.013 2	0.011 0	0.000 7	71.0	12.5	70.8	4.3
16	1 025	738	1.39	0.020 9	0.004 3	0.002 0	0.000 1	21.1	4.3	12.8	0.8
17	438	1 035	0.42	0.231 4	0.014 5	0.034 0	0.000 7	211.3	12.0	215.8	4.3
18	320	248	1.29	0.655 1	0.041 6	0.082 1	0.001 7	511.6	25.5	508.5	9.9
19	178	207	0.86	0.640 1	0.057 4	0.087 5	0.002 1	502.4	35.6	540.7	12.5
20	1 072	746	1.44	0.078 2	0.006 6	0.010 9	0.000 3	76.4	6.2	69.9	2.1
21	756	622	1.22	0.079 7	0.014 1	0.011 1	0.000 5	77.8	13.3	71.1	3.4
22	765	590	1.30	0.076 6	0.010 6	0.010 8	0.000 4	74.9	10.0	69.3	2.5
23	153	210	0.73	0.065 7	0.010 5	0.011 0	0.000 6	64.6	10.0	70.5	4.0
24	617	426	1.45	0.076 5	0.014 5	0.011 0	0.000 5	74.8	13.7	70.6	3.4

加权平均值为  $70.7 \pm 1.4$  Ma (MSWD=0.24,  $n=20$ ), 代表了该流纹质晶屑熔结凝灰岩的形成时代。

如表 2 所示, 样品 PM022-14-N 锆石 Th、U 含量分别为  $72.7 \times 10^{-6} \sim 1\ 170.0 \times 10^{-6}$ 、 $135 \times 10^{-6} \sim 1\ 035 \times 10^{-6}$ , Th/U 比值介于 0.42~1.74, Th 和 U 之间具有正相关关系, 表明锆石具有岩浆成因的特点。其中 7 颗锆石年龄较老, 年龄范围为  $84.2 \pm 2.0 \sim 627.2 \pm 13.9$  Ma, 可能为岩浆侵位过程中捕获的先成岩石中的锆石或继承锆石; 1 颗锆石年龄较年轻, 为  $12.8 \pm 0.8$  Ma, 可能是受后期构造—热事件影响形成的。在剔除异常较大的分析点后, 剩下 13 个测点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄分布在 68.2~71.8 Ma 之间, 在图 4b 中所有样品点都落在谐和线上或附近, 其年龄加权平均值为  $69.9 \pm 1.5$  Ma

(MSWD=0.20,  $n=13$ ), 代表了该流纹质岩屑晶屑熔结凝灰岩的形成时代。

如表 3 所示, 样品 PM022-17-N 锆石 Th、U 含量分别为  $30.3 \times 10^{-6} \sim 1\ 163.0 \times 10^{-6}$ 、 $40.3 \times 10^{-6} \sim 1\ 482.0 \times 10^{-6}$ , Th/U 比值介于 0.36~1.01, Th 和 U 之间具有正相关关系, 表明锆石具有岩浆成因的特点。其中 8 颗锆石年龄较老, 年龄范围为  $86.6 \pm 3.0 \sim 1\ 190.5 \pm 20.6$  Ma, 可能为岩浆侵位过程中捕获的先成岩石中的锆石或继承锆石。在剔除异常较大的分析点后, 剩下 16 个测点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄分布在 66.2~70.8 Ma 之间, 在图 4c 中所有样品点都落在谐和线上或附近, 其年龄加权平均值为  $68.3 \pm 1.2$  Ma (MSWD=0.51,  $n=16$ ), 代表了该流纹质岩屑晶屑熔结凝灰岩的形成时代。

表 3 样品 PM022-17-N 锆石 U-Pb 同位素定年结果  
Table 3 Zircon U-Pb dating results for sample PM022-17-N

分析点	含量( $10^{-6}$ )			同位素比值				年龄(Ma)			
	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$
1	481	474	1.01	0.093 5	0.011 4	0.013 5	0.000 5	90.8	10.6	86.6	3.0
2	30.3	40.3	0.75	0.090 0	0.028 7	0.014 9	0.001 4	87.5	26.8	95.5	9.0
3	137	160	0.85	2.285 5	0.127 0	0.202 8	0.003 8	1 207.8	39.2	1 190.5	20.6
4	350	373	0.94	0.092 5	0.012 7	0.015 3	0.000 5	89.9	11.8	98.1	3.5
5	225	548	0.41	0.065 8	0.008 0	0.010 6	0.000 4	64.7	7.6	67.8	2.5
6	321	890	0.36	0.071 0	0.012 4	0.010 6	0.000 7	69.7	11.7	68.0	4.5
7	122	191	0.64	0.112 4	0.016 5	0.016 2	0.000 7	108.2	15.1	103.8	4.6
8	163	285	0.57	0.125 7	0.017 4	0.011 1	0.000 5	120.2	15.7	71.1	3.0
9	390	905	0.43	0.073 5	0.007 0	0.010 6	0.000 4	72.0	6.6	67.9	2.5
10	833	1 482	0.56	0.073 7	0.012 2	0.010 5	0.000 7	72.2	11.6	67.0	4.6
11	267	182	1.46	0.065 2	0.006 4	0.010 4	0.000 6	64.2	6.1	66.5	3.7
12	414	733	0.56	0.064 2	0.008 7	0.010 8	0.000 4	63.2	8.3	69.1	2.3
13	147	154	0.96	0.077 4	0.008 5	0.010 8	0.000 9	75.7	8.0	69.4	5.7
14	461	496	0.93	0.071 6	0.013 3	0.010 9	0.000 6	70.2	12.6	70.1	3.9
15	349	412	0.85	0.076 8	0.012 1	0.010 9	0.000 5	75.1	11.4	69.7	3.4
16	669	1 142	0.59	0.066 7	0.005 5	0.010 7	0.000 2	65.5	5.2	68.7	1.6
17	273	355	0.77	0.068 7	0.009 0	0.010 8	0.000 5	67.5	8.5	69.2	3.0
18	161	163	0.99	0.076 8	0.011 7	0.010 8	0.000 6	75.1	11.0	69.5	4.1
19	170	267	0.64	0.372 2	0.029 0	0.046 6	0.000 9	321.3	21.4	293.9	5.7
20	79.9	114	0.70	0.064 9	0.003 4	0.010 5	0.000 6	63.9	3.3	67.5	4.1
21	1 163	1 781	0.65	0.074 7	0.005 6	0.010 3	0.000 2	73.2	5.3	66.2	1.1
22	852	1 222	0.70	0.076 6	0.005 5	0.011 0	0.000 3	74.9	5.2	70.8	1.7
23	170	290	0.59	0.158 8	0.012 1	0.023 5	0.000 7	149.7	10.6	149.7	4.2
24	335	499	0.67	0.072 8	0.013 1	0.010 6	0.000 4	71.4	12.4	67.8	2.9
25	515	607	0.85	0.066 3	0.011 4	0.011 0	0.000 4	65.2	10.9	70.6	2.5
26	206	280	0.74	0.103 0	0.010 6	0.014 9	0.000 5	99.6	9.7	95.4	3.3
27	290	342	0.85	0.105 0	0.008 5	0.010 7	0.000 4	101.4	7.8	68.6	2.3

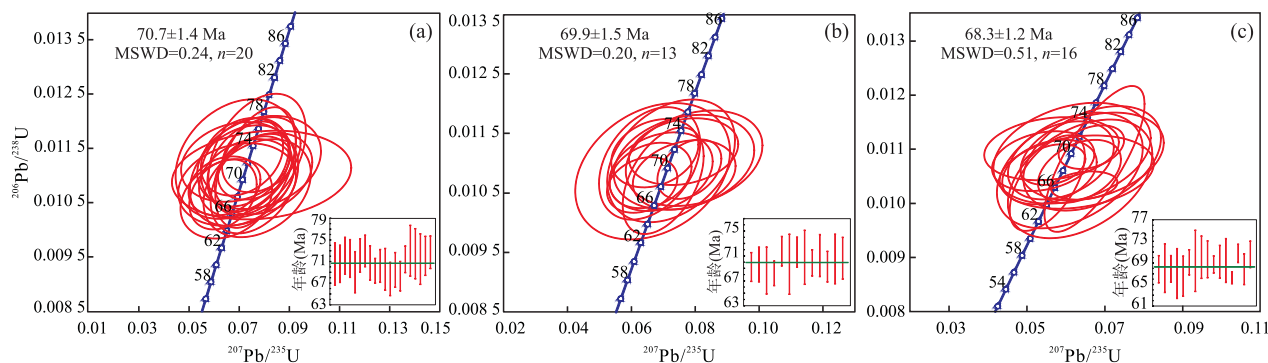


图 4 典中组火山岩样品锆石 U-Pb 谐和图

Fig.4 Zircon U-Pb concordia diagrams of Dianzhong Formation volcanic rocks samples

a. 样品 PM022-1-N ; b. 样品 PM022-14-N ; c. 样品 PM022-17-N

### 5 查孜地区典中组火山岩形成时代及意义

样品 PM022-1-N 流纹质熔结凝灰岩采自剖面第 1 层, 该层直接上覆于石炭系永珠组, 呈角度不整

合接触, 是典中组底部火山岩. 此次测试获得其年龄为  $70.7 \pm 1.4$  Ma, 可代表研究区典中组火山岩最底部的年龄.

研究区林子宗群火山岩不整合覆盖于永珠组、拉嘎组之上, 火山岩系岩相为陆相, 产状近水平. 不

整合面之下的永珠组、拉嘎组为海相,且具有强烈的褶皱.这一特征与拉萨地块其他地区所发现的现象一致,说明该角度不整合是区域性的巨大角度不整合,暗示其代表着一个重大的地质事件.林子宗群火山岩底部的年龄具有限定该区域性不整合的最晚时限的作用(莫宣学等,2003;莫宣学,2011).

林子宗群火山岩年代归属问题争议较大,早期李璞(1955)在林周盆地一带命名“林子宗火山岩”时,将其时代归于白垩纪.后续的相关研究表明,林子宗群火山岩系不整合覆盖的最上部层位是上白垩统设兴组,其上又被渐新统日贡拉组不整合覆盖,因此其形成时代应晚于晚白垩世而早于渐新世(Maluski, *et al.*, 1982; Coulon *et al.*, 1986; 莫宣学等, 2003; 周肃等, 2004; 董国臣等, 2005; He *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2014; Huang *et al.*, 2015; Zhu *et al.*, 2015).周肃等(2004)对林子宗群火山岩进行了系统的 Ar-Ar 同位素测年,提出了林子宗群火山岩年代格架,得到典中组的年龄为

64.43~60.63 Ma,其底部年龄限定了林子宗群火山岩与下伏地层间不整合形成的最晚时限在 65 Ma 左右(莫宣学等,2003;董国臣等,2005).近年来锆石 U-Pb 测年技术被广泛应用,积累了一批高精度的年龄数据,丰富了林子宗群火山岩的年代学资料(表 4).He *et al.*(2007)依据岩性特征以及岩性组合之间的接触关系,将林周盆地林子宗群火山岩系分为 4 个单元,应用锆石 U-Pb 定年的方法,获得典中组的年龄为 68.7~62.6 Ma;Huang *et al.*(2015)采用锆石 U-Pb 定年方法,将典中组年龄范围限定在 64~62 Ma;陈贝贝等(2016)对林周盆地 2 条经典的林子宗群火山岩剖面进行了锆石 U-Pb 年代学研究,将典中组的年龄范围限定在 66~59 Ma.综合这些数据,拉萨地块东段林子宗群火山岩最早年龄可以限定在 68.7 Ma.

拉萨地块中段和西段林子宗群火山岩的年龄数据,特别是典中组底部火山岩年龄数据相对较少.王乔林(2011)对拉萨地块西段狮泉河亚热地区林子宗

表 4 林子宗群火山岩锆石 U-Pb 年龄结果

Table 4 Zircon U-Pb dating results of Linzizong Group volcanic rocks

分带	采样点	岩性	岩组	年龄(Ma)	测试方法	参考文献
	林周盆地	流纹岩	典中组	68.7±2.4	锆石 U-Pb	He <i>et al.</i> (2007)
	林周盆地	英安质凝灰岩	帕那组	43.9±1.4	锆石 U-Pb	He <i>et al.</i> (2007)
	林周盆地	中钾玄武安山岩	典中组	64.43±0.57	<sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	周肃等(2004)
	林周盆地	玄武安山岩	年波组	56.51±0.34	<sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	周肃等(2004)
	林周盆地	高钾流纹岩	帕那组	43.93±0.37	<sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	周肃等(2004)
	林周盆地	辉石安山岩	典中组	64.9±0.8	锆石 U-Pb	陈贝贝等(2016)
拉萨地块	林周盆地	黑云母安山岩	典中组	65.8±1.7	锆石 U-Pb	陈贝贝等(2016)
东段	林周盆地	辉石安山岩	典中组	66.0±0.9	锆石 U-Pb	陈贝贝等(2016)
	林周盆地	沉凝灰岩	年波组	54.6±1.2	锆石 U-Pb	陈贝贝等(2016)
	林周盆地	玻屑凝灰岩	年波组	55.7±0.8	锆石 U-Pb	陈贝贝等(2016)
	林周盆地	安山玢岩	帕那组	53.5±0.8	锆石 U-Pb	陈贝贝等(2016)
	林周盆地		典中组	63.9±0.7	锆石 U-Pb	Huang <i>et al.</i> (2015)
	林周盆地	凝灰岩	帕那组	50.5±2.4	锆石 U-Pb	Ding <i>et al.</i> (2014)
	林周盆地	凝灰岩	帕那组	48.4±1.0	锆石 U-Pb	Ding <i>et al.</i> (2014)
	措麦地区	凝灰岩	年波组	70~65	锆石 U-Pb	于枫等(2010)
	朱诺地区	流纹质岩屑晶屑凝灰岩	典中组	64.8±1.6	锆石 U-Pb	梁银平等(2010)
拉萨地块	朱诺地区	英安质岩屑晶屑凝灰岩	年波组	59.7±1.8	锆石 U-Pb	梁银平等(2010)
中段	朱诺地区	流纹质玻屑晶屑凝灰岩	帕那组	48.9±0.8	锆石 U-Pb	梁银平等(2010)
	丁仁勒地区	安山质晶屑凝灰岩	典中组	69.97±0.72	锆石 SHRIMP	谢冰晶等(2013)
	孔隆地区	英安质熔结凝灰岩	年波组	59.64±0.72	锆石 SHRIMP	谢冰晶等(2013)
	赤马地区	英安质晶屑岩屑角砾岩	年波组	64.58±0.66	锆石 U-Pb	丁枫等(2017)
拉萨地块	狮泉河	流纹岩	典中组	64.25±0.91	锆石 U-Pb	王乔林(2011)
西段	狮泉河	流纹岩	典中组	64.52±0.48	锆石 U-Pb	王乔林(2011)
	狮泉河	流纹岩	帕那组	53.9±0.5	锆石 U-Pb	付文春等(2014)



群典中组底部的流纹岩进行了锆石 SHRIMP U-Pb 测试,得到年龄为 64.5 Ma 和 64.3 Ma.梁银平等(2010)对拉萨地块中段朱诺地区林子宗群典中组顶部的流纹质凝灰岩进行锆石 U-Pb 定年,获得的年龄为  $64.8 \pm 1.6$  Ma;于枫等(2010)对措麦地区大量出露的林子宗群火山岩进行锆石 U-Pb 定年,将其形成时间限定为 70~65 Ma;谢冰晶等(2013)对桑桑地区典中组底部火山岩进行锆石 SHRIMP U-Pb 定年,获得的年龄为  $69.97 \pm 0.72$  Ma.这些拉萨地块中段典中组火山岩测年数据与本次工作获得的结果(70~69 Ma)一致.

研究表明,整个拉萨地块林子宗群火山岩的年龄范围为 70~40 Ma,底部火山岩的年龄沿不整合带东西走向存在一定的差别,中段年龄略早于东段和西段.印度—亚洲大陆碰撞的时限一直是青藏高原基础研究中一个非常重要的问题,众多学者从不同角度和方法进行研究,得到的结果存在一定的差异,至今仍有分歧(Garzanti *et al.*, 1987; Searle *et al.*, 1987; Dewey *et al.*, 1989; Jaeger *et al.*, 1989; Liu and Einsele, 1994; Rage *et al.*, 1995; Yin and Harrison, 2000; Aitchison *et al.*, 2002, 2007; Wan *et al.*, 2002; Chung *et al.*, 2005; Ding *et al.*, 2005; Chen *et al.*, 2010; Sun *et al.*, 2010; Tan *et al.*, 2010).林子宗群火山岩包括典中组、年波组和帕那组,每个组都是以酸性岩浆活动开始,以基性岩浆—钾玄岩或双峰式岩浆活动结束,组与组之间都有一个短暂的喷发间断(莫宣学等, 2003).地球化学特征上,早期典中组以钙碱性和高钾钙碱性系列为主,年波组过渡为高钾钙碱性和钾玄岩系列,帕那组以高钾钙碱性和钾玄岩系列为主,整体显示了林子宗群火山岩向着更加酸性、更加富碱的方向演化(于枫等, 2010; 谢冰晶等, 2013).典中组火山岩具有陆缘弧火山岩的特点,年波组和帕那组火山岩 Ba 和 Sr 含量明显偏低,与陆缘弧环境火山岩有较大差别(侯增谦等, 2006),而显示了碰撞—后碰撞火山岩的特点,特别是年波组中钾玄岩的出现,是陆内岩浆作用的重要标志(莫宣学等, 2003; 侯增谦等, 2006).林子宗群火山岩 Sr-Nd-Pb 同位素特征显示新特提斯俯冲洋壳及大洋岩石圈地幔与大陆地壳同位素组成上呈混合趋势.这些特征反映出林子宗群火山岩产于印度—欧亚大陆碰撞环境,火山活动记录了新特提斯俯冲末期向印度—欧亚大陆碰撞转化的重要信息(莫宣学等, 2003).林子宗群火山岩形成于新特提斯洋闭合向印度—亚洲大陆碰撞过渡的背景下,其

与下伏地层之间的不整合,应当是印度—亚洲大陆开始碰撞的结果,其底部火山岩年龄可以指示碰撞开始的时间(莫宣学等, 2003, 2009b; 莫宣学, 2011).地层、古生物及沉积学的研究也支持这一观点(Wan *et al.*, 2002; 万晓樵等, 2002; 万晓樵和丁林, 2002; Ding *et al.*, 2005).本次研究结果显示,拉萨地块中段发生碰撞的时间为 70 Ma 左右,略早于东段和西段.

## 6 结论

(1)研究区内林子宗群火山岩主要为典中组和年波组,未见帕那组.整个火山岩系直接与石炭系—二叠系永珠组、拉嘎组角度不整合接触,其上被布嘎寺组不整合覆盖.

(2)查孜地区林子宗群典中组底部火山岩的锆石 U-Pb 年龄分别为  $70.7 \pm 1.4$  Ma、 $69.9 \pm 1.5$  Ma、 $68.3 \pm 1.2$  Ma、 $70.7 \pm 1.4$  Ma 可代表研究区典中组火山岩最底部的年龄.

(3)结合前人资料,拉萨地块中段与其东部、西部林子宗群火山岩的年龄对比结果表明,底部火山岩的年龄沿东西走向存在一定的差别,中段年龄略早于东段和西段,揭示印度—亚洲大陆碰撞不是东、中、西部同时发生的,中段略早于东部和西部.

致谢:国土资源部沉积盆地与油气资源重点实验室胡志中工程师在锆石 U-Pb 测年和数据处理中给予了帮助,审稿专家和编辑部老师对本文提出了宝贵的修改意见,在此一并表示感谢!

## References

- Aitchison, J.C., Ali, J.R., Davis, A.M., 2007. When and Where did India and Asia Collide? *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112(B5): B05423. <https://doi.org/10.1029/2006jb004706>
- Aitchison, J.C., Davis, A.M., Badengzhu, B., et al., 2002. New Constraints on the India-Asia Collision: The Lower Miocene Gangrinboche Conglomerates, Yarlung Tsangpo Suture Zone, SE Tibet. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(3): 251—263. [https://doi.org/10.1016/s1367-9120\(02\)00037-8](https://doi.org/10.1016/s1367-9120(02)00037-8)
- Chen, B.B., Ding, L., Xu, Q., et al., 2016. U-Pb Age Framework of the Linzizong Volcanic Rocks from the Linzhou Basin, Tibet. *Quaternary Sciences*, 36(5): 1037—1054 (in Chinese with English abstract).
- Chen, J.S., Huang, B.C., Sun, L.S., 2010. New Constraints to

- the Onset of the India-Asia Collision; Paleomagnetic Reconnaissance on the Linzizong Group in the Lhasa Block, China. *Tectonophysics*, 489 (1): 189 – 209. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2010.04.024>
- Chen, J. S., Huang, B. C., Yi, Z. Y., et al., 2014. Paleomagnetic and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Geochronological Results from the Linzizong Group, Linzhou Basin, Lhasa Terrane, Tibet: Implications to Paleogene Paleolatitude and Onset of the India-Asia Collision. *Journal of Asian Earth Sciences*, 96 (15): 162 – 177. <https://doi.org/10.13039/501100002367>
- Chung, S. L., Chu, M. F., Zhang, Y. Q., et al., 2005. Tibetan Tectonic Evolution Inferred from Spatial and Temporal Variations in Post-Collisional Magmatism. *Earth-Science Reviews*, 68(3–4): 173 – 196. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.05.001>
- Coulon, C., Maluski, H., Bollinger, C., et al., 1986. Mesozoic and Cenozoic Volcanic Rocks from Central and Southern Tibet:  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  Dating, Petrological Characteristics and Geodynamical Significance. *Earth and Planetary Science Letters*, 79(3–4): 281 – 302. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(86\)90186-x](https://doi.org/10.1016/0012-821x(86)90186-x)
- Dewey, J. F., Cande, S., Pitman, W. C., 1989. Tectonic Evolution of the India/Eurasia Collision Zone. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 82(3): 717 – 734. <https://doi.org/10.1177/053331647600900219>
- Ding, F., Xu, Z. B., Liu, S. H., et al., 2017. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Ages, Petrochemical Characteristics and Petrogenesis of the Volcanic Rocks from the Palaeocene-Eocene Nianbo Formation in Chima Area, Coqen County, Xizang (Tibet). *Geological Review*, 63(4): 1102 – 1116 (in Chinese with English abstract).
- Ding, L., Kapp, P., Wan, X. Q., 2005. Paleocene-Eocene Record of Ophiolite Obduction and Initial India-Asia Collision, South Central Tibet. *Tectonics*, 24(3): TC3001. <https://doi.org/10.1029/2004tc001729>
- Ding, L., Kapp, P., Zhong, D. L., et al., 2003. Cenozoic Volcanism in Tibet: Evidence for a Transition from Oceanic to Continental Subduction. *Journal of Petrology*, 44(10): 1833 – 1865. <https://doi.org/10.1093/petrology/egg061>
- Ding, L., Xu, Q., Yue, Y. H., et al., 2014. The Andean-Type Gangdese Mountains: Paleoelevation Record from the Paleocene-Eocene Linzhou Basin. *Earth and Planetary Science Letters*, 392: 250 – 264. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.01.045>
- Dong, G. C., Mo, X. X., Zhao, Z. D., et al., 2005. A New Understanding of the Stratigraphic Successions of the Linzizong Volcanic Rocks in the Lhunzhub Basin, Northern Lhasa, Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 24(6): 549 – 557 (in Chinese with English abstract).
- Fu, W. C., Kang, Z. Q., Pan, H. B., 2014. Geochemistry, Zircon U-Pb Age and Implications of the Linzizong Group Volcanic Rocks in Shiquan River Area, Western Gangdise Belt, Tibet. *Geological Bulletin of China*, 33(6): 850 – 859 (in Chinese with English abstract).
- Garzanti, E., Baud, A., Mascle, G., 1987. Sedimentary Record of the Northward Flight of India and Its Collision with Eurasia (Ladakh Himalaya, India). *Geodynamica Acta*, 1(4–5): 297 – 312. <https://doi.org/10.1080/09853111.1987.11105147>
- He, S. D., Kapp, P., DeCelles, P. G., et al., 2007. Cretaceous-Tertiary Geology of the Gangdese Arc in the Linzhou Area, Southern Tibet. *Tectonophysics*, 433(1): 15 – 37. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.01.005>
- Hou, Z. Q., Zhao, Z. D., Gao, Y. F., et al., 2006. Tearing and Dischronal Subduction of the Indian Continental Slab: Evidence from Cenozoic Gangdese Volcano-Magmatic Rocks in South Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 761 – 774 (in Chinese with English abstract).
- Huang, W. T., Dupont-Nivet, G., Lippert, P. C., et al., 2015. What was the Paleogene Latitude of the Lhasa Terrane? A Reassessment of the Geochronology and Paleomagnetism of Linzizong Volcanic Rocks (Linzhou Basin, Tibet). *Tectonics*, 34(3): 594 – 622. <https://doi.org/10.1002/2014tc003787>
- Jaeger, J. J., Courtillot, V., Tapponnier, P., 1989. Paleontological View of the Ages of the Deccan Traps, the Cretaceous/Tertiary Boundary, and the India-Asia Collision. *Geology*, 17(4): 316 – 319. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1989\)017<0316:pvtotao>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1989)017<0316:pvtotao>2.3.co;2)
- Lee, H. Y., Chung, S. L., Lo, C. H., et al., 2009. Eocene-Neotethyan Slab Breakoff in Southern Tibet Inferred from the Linzizong Volcanic Record. *Tectonophysics*, 477(1–2): 20 – 35. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.02.031>
- Leech, M. L., Singh, S., Jain, A. K., et al., 2005. The Onset of India-Asia Continental Collision: Early, Steep Subduction Required by the Timing of UHP Metamorphism in the Western Himalaya. *Earth and Planetary Science Letters*, 234(1): 83 – 97. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.02.038>
- Li, P., 1955. A Preliminary Understanding of the Eastern Tibet Geology. *Chinese Science Bulletin*, (7): 62 – 71 (in Chinese).
- Li, Z. H., Zheng, L. L., Li, J. M., et al., 2008. Petrological and Geochemical Characteristics of the Linzizong Volcanic Rocks in the Central Gangdise Area. *Bulletin of Miner-*

- ology, *Petrology and Geochemistry*, 27(1): 20–27 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z. H., Zheng, L. L., Li, J. M., et al., 2009. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar Dating of Linzizong Volcanic Rocks in the Central Gangdise Area and Its Geological Implication. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 28(3): 223–227 (in Chinese with English abstract).
- Liang, Y. P., Zhu, J., Ci, Q., et al., 2010. Zircon U-Pb Ages and Geochemistry of Volcanic Rock from Lingzizong Group in Zhunuo Area in Middle Gangdise Belt, Tibet Plateau. *Earth Science*, 35(2): 211–223 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2010.021>
- Liu, G. H., Einsele, G., 1994. Sedimentary History of the Tethyan Basin in the Tibetan Himalayas. *Geologische Rundschau*, 83(1): 32–61. <https://doi.org/10.1007/bf00211893>
- Maluski, H., Proust, F., Xiao, X. C., 1982. <sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar Dating of the Trans-Himalayan Calc-Alkaline Magmatism of Southern Tibet. *Nature*, 298(5870): 152–154. <https://doi.org/10.1038/298152a0>
- Mo, X. X., 2011. Magmatism and Evolution of the Tibetan Plateau. *Geological Journal of China Universities*, 17(3): 351–367 (in Chinese with English abstract).
- Mo, X. X., Hou, Z. Q., Niu, Y. L., et al., 2007. Mantle Contributions to Crustal Thickening during Continental Collision: Evidence from Cenozoic Igneous Rocks in Southern Tibet. *Lithos*, 96(1–2): 225–242. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2006.10.005>
- Mo, X. X., Niu, Y. L., Dong, G. C., et al., 2008. Contribution of Syncollisional Felsic Magmatism to Continental Crust Growth: A Case Study of the Paleogene Linzizong Volcanic Succession in Southern Tibet. *Chemical Geology*, 250(1): 49–67. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.02.003>
- Mo, X. X., Zhao, Z. D., Deng, J. F., et al., 2003. Response of Volcanism to the India-Asia Collision. *Earth Science Frontiers*, 10(3): 135–148 (in Chinese with English abstract).
- Mo, X. X., Zhao, Z. D., Yu, X. H., et al., 2009a. Cenozoic Collisional-Post-Collisional Igneous Rocks in the Tibetan Plateau. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Mo, X. X., Zhao, Z. D., Zhou, S., et al., 2002. Evidence for Timing of the Initiation of India-Asia Collision from Igneous Rocks in Tibet. AGU Fall Meeting, San Francisco.
- Mo, X. X., Zhao, Z. D., Zhou, S., et al., 2007. On the Timing of India-Asia Continental Collision. *Geological Bulletin of China*, 26(10): 1240–1244 (in Chinese with English abstract).
- Mo, X. X., Zhao, Z. D., Zhu, D. C., et al., 2009b. On the Lithosphere of Indo-Asia Collision Zone in Southern Tibet: Petrological and Geochemical Constraints. *Earth Science*, 34(1): 17–27 (in Chinese with English abstract).
- Rage, J. C., Cappetta, H., Hartenberger, J. L., et al., 1995. Collision Age. *Nature*, 375(6529): 286. <https://doi.org/10.1038/375286c0>
- Searle, M. P., Windley, B. F., Coward, M. P., et al., 1987. The Closing of Tethys and the Tectonics of the Himalaya. *Geological Society of America Bulletin*, 98(6): 678–701. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1987\)98<678:tcotat>2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1987)98<678:tcotat>2.0.co;2)
- Sun, Z. M., Jiang, W., Li, H. B., et al., 2010. New Paleomagnetic Results of Paleocene Volcanic Rocks from the Lhasa Block: Tectonic Implications for the Collision of India and Asia. *Tectonophysics*, 490(3): 257–266. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2010.05.011>
- Tan, X. D., Gilder, S., Kodama, K. P., et al., 2010. New Paleomagnetic Results from the Lhasa Block: Revised Estimation of Latitudinal Shortening across Tibet and Implications for Dating the India-Asia Collision. *Earth and Planetary Science Letters*, 293(3–4): 396–404. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.03.013>
- Wan, X. Q., Ding, L., 2002. Discovery of the Latest Cretaceous Planktonic Foraminifera from Gyirong of Southern Tibet and Its Chronostratigraphic Significance. *Acta Palaeontologica Sinica*, 41(1): 89–95 (in Chinese with English abstract).
- Wan, X. Q., Jansa, L. F., Sarti, M., 2002. Cretaceous and Paleogene Boundary Strata in Southern Tibet and Their Implication for the India-Eurasia Collision. *Lethaia*, 35(2): 131–146. <https://doi.org/10.1080/002411602320183999>
- Wan, X. Q., Liang, D. Y., Li, G. B., 2002. Palaeocene Strata in Gamba, Tibet and Influence of Tectonism. *Acta Geologica Sinica*, 76(2): 155–162 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Q. L., 2011. Geochemistry and Zircon U-Pb Chronology of Linzizong Group Volcanic Rocks in Western Gangdise, Tibet (Dissertation). China University of Geosciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Xie, B. J., Zhou, S., Xie, G. G., et al., 2013. Zircon SHRIMP U-Pb Data and Regional Contrasts of Geochemical Characteristics of Linzizong Volcanic Rocks from Konglong and Dinerle Region, Middle Gangdise Belt. *Acta Petrologica Sinica*, 29(11): 3803–3814 (in Chinese with English abstract).
- Yin, A., Harrison, T. M., 2000. Geologic Evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen. *Annual Review of Earth and*

- Planetary Sciences*, 28(1): 211–280. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.28.1.211>
- Yu, F., Li, Z. G., Zhao, Z. D., et al., 2010. Geochemistry and Implication of the Linzizong Volcanic Succession in Cuomai Area, Central-Western Gangdese, Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 26(7): 2217–2225 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z. D., Mo, X. X., Sebastien, N., et al., 2006. Post-Collisional Ultrapotassic Rocks in Lhasa Block, Tibetan Plateau: Spatial and Temporal Distribution and Its Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 787–794 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, S., Mo, X. X., Dong, G. C., et al., 2004.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Chronostratigraphic Framework for Linzizong Volcanic in Linzhou Basin, Tibet. *Chinese Science Bulletin*, 49(20): 2095–2103 (in Chinese).
- Zhu, D. C., Pan, G. T., Mo, X. X., et al., 2006. Late Jurassic–Early Cretaceous Geodynamic Setting in Middle-Northern Gangdese; New Insights from Volcanic Rocks. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 534–546 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, D. C., Wang, Q., Zhao, Z. D., et al., 2015. Magmatic Record of India-Asia Collision. *Scientific Reports*, 5: 14289. <https://doi.org/10.1038/srep14289>
- Zhu, D. C., Zhao, Z. D., Niu, Y. L., et al., 2013. The Origin and Pre-Cenozoic Evolution of the Tibetan Plateau. *Gondwana Research*, 23(4): 1429–1454. <https://doi.org/10.13039/501100001809>
- ### 附中文参考文献
- 陈贝贝, 丁林, 许强, 等, 2016. 西藏林周盆地林子宗群火山岩的精细年代框架. 第四纪研究, 36(5): 1037–1054.
- 丁枫, 徐忠彪, 刘寿航, 等, 2017. 西藏措勤赤马地区古近系年波组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其成因. 地质论评, 63(4): 1102–1116.
- 董国臣, 莫宣学, 赵志丹, 等, 2005. 拉萨北部林周盆地林子宗火山岩层序新议. 地质通报, 24(6): 549–557.
- 付文春, 康志强, 潘会彬, 2014. 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. 地质通报, 33(6): 850–859.
- 侯增谦, 赵志丹, 高永丰, 等, 2006. 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. 岩石学报, 22(4): 761–774.
- 李璞, 1955. 西藏东部地质的初步认识. 科学通报, (7): 62–71.
- 李再会, 郑来林, 李军敏, 等, 2008. 冈底斯中段林子宗火山岩岩石地球化学特征. 矿物岩石地球化学通报, 27(1): 20–27.
- 李再会, 郑来林, 李军敏, 等, 2009. 冈底斯中段林子宗火山岩  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年龄及其意义. 矿物岩石地球化学通报, 28(3): 223–227.
- 梁银平, 朱杰, 次邛, 等, 2010. 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. 地球科学, 35(2): 211–223. <https://doi.org/10.3799/dqkx.2010.021>
- 莫宣学, 2011. 岩浆作用与青藏高原演化. 高校地质学报, 17(3): 351–367.
- 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 等, 2003. 印度—亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应. 地学前缘, 10(3): 135–148.
- 莫宣学, 赵志丹, 喻学惠, 等, 2009a. 青藏高原新生代碰撞—后碰撞火成岩. 北京: 地质出版社.
- 莫宣学, 赵志丹, 朱弟成, 等, 2009b. 西藏南部印度—亚洲碰撞带岩石圈: 岩石学—地球化学约束. 地球科学, 34(1): 17–27.
- 莫宣学, 赵志丹, 周肃, 等, 2007. 印度—亚洲大陆碰撞的时限. 地质通报, 26(10): 1240–1244.
- 万晓樵, 丁林, 2002. 西藏吉隆白垩纪末期浮游有孔虫的发现及其年代意义. 古生物学报, 41(1): 89–95.
- 万晓樵, 梁定益, 李国彪, 2002. 西藏岗巴古新世地层及构造作用的影响. 地质学报, 76(2): 155–162.
- 王乔林, 2011. 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(硕士学位论文). 北京: 中国地质大学.
- 谢冰晶, 周肃, 谢国刚, 等, 2013. 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. 岩石学报, 29(11): 3803–3814.
- 于枫, 李志国, 赵志丹, 等, 2010. 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. 岩石学报, 26(7): 2217–2225.
- 赵志丹, 莫宣学, Sebastien, N., 等, 2006. 青藏高原拉萨地块碰撞后超钾质岩石的时空分布及其意义. 岩石学报, 22(4): 787–794.
- 周肃, 莫宣学, 董国臣, 等, 2004. 西藏林周盆地林子宗火山岩  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年代格架. 科学通报, 49(20): 2095–2103.
- 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 等, 2006. 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. 岩石学报, 22(3): 534–546.