

# 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

刘安琳, 朱弟成, 王青, 张立雪, 李世民, 张亮亮, 赵志丹

LIU Anlin, ZHU Dicheng, WANG Qing, ZHANG Lixue, LI Shimin,  
ZHANG Liangliang, ZHAO Zhidan

中国地质大学地球科学与资源学院/地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources/School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

**摘要:**大规模的林子宗火山岩呈带状展布于拉萨地体中南部地区, 记录了新特提斯洋壳晚期俯冲和随后印度—欧亚大陆碰撞的重要信息, 因而受到广泛关注, 但迄今对区域性的林子宗火山岩仍然缺乏可靠的年龄数据约束。为此, 本文对南部拉萨地体东部米拉山地区林子宗火山岩中的含角砾流纹岩样品进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素、全岩地球化学测试。获得了  $60.1 \pm 0.9$  Ma 的锆石  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄, 与林周盆地典中组底部安山质岩浆活动的时代相当。测试样品以亏损中稀土元素和低的重稀土元素丰度为特征, 锆石  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  为正值 (+8.5 ~ +18.8), 可能来源于较厚新生下地壳物质在角闪岩相/榴辉岩相过渡条件下的部分熔融。目前还很难论证呈带状分布的约 60 Ma 林子宗火山岩稀土元素含量差异的构造含义。

**关键词:** LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; Hf 同位素; 岩浆起源; 林子宗火山岩; 西藏米拉山

**中图分类号:** P588.14; P597.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2015)05-0826-08

Liu A L, Zhu D C, Wang Q, Zhang L X, Li S M, Zhang L L, Zhao Z D. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and origin of the Linzizong volcanic rocks from Milashan, southern Tibet. *Geological Bulletin of China*, 2015, 34(5): 826-833

**Abstract:** Much attention has been paid to the Linzizong volcanic rocks which are extensively developed along the strike of southern and central Lhasa Terrane because these rocks are generally considered to document the history of late subduction of the Neo-Tethyan ocean lithosphere and subsequent India-Asia collision. However, reliable age data for the Linzizong volcanic in a regional scale rocks remain very insufficient. In this paper, the authors performed zircon U-Pb dating, zircon Hf isotope determination, and whole-rock element geochemical study of a volcanic breccia-bearing rhyolite sample collected from the Linzizong volcanic rocks in Milashan, eastern segment of the southern Lhasa Terrane. Eighteen analyses of zircons from this sample yielded a zircon  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  age of  $60.1 \pm 0.9$  Ma, coeval with the andesitic volcanism documented in the lowerest Dianzhong Formation in Linzhou Basin. This sample is characterized by significant depletion of middle rare earth element (MREE) and low abundances of heavy REE, with positive zircon  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  values ranging from +8.5 to +18.8. Such geochemical characteristics indicate that this sample probably originated from partial melting of thick and juvenile lower crust materials under a transitional condition from amphibolite to eclogite facies. At present, it is still difficult to explore the tectonic implications of the differences in REE abundances observed from the ca. 60 Ma Linzizong volcanic rocks along the strike of the Lhasa Terrane.

**Key words:** LA-ICP-MS zircon U-Pb age; Hf isotope; magmatic origin; Linzizong volcanic rocks; Milashan, Tibet

收稿日期: 2015-02-06; 修订日期: 2015-03-23

资助项目: 中国科学院青藏高原专项(B类)(编号: XDB03010301)、国家973项目(编号: 2011CB403102)、国家自然科学基金杰出青年基金项目(批准号: 41225006)和地质过程与矿产资源国家重点实验室科技部专项

作者简介: 刘安琳(1992-), 女, 在读硕士生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: liualcugb@163.com

通讯作者: 朱弟成(1972-), 男, 博士, 教授, 从事岩浆作用与特提斯演化研究。E-mail: dchengzhu@163.com

拉萨地体中南部广泛出露林子宗火山岩,因其岩浆活动时代跨越了印度—欧亚大陆初始碰撞的时代(70~34Ma)<sup>[1-3]</sup>,长期以来一直是地质学界关注的热点<sup>[6-21]</sup>。分析已有研究发现,早期针对林子宗火山岩的研究工作,主要集中在林周盆地<sup>[9-14,19,21]</sup>、日喀则<sup>[18]</sup>和桑桑<sup>[15]</sup>一带,对南部拉萨地体其他地区的林子宗火山岩,研究程度仍然很低。一个最显著的例子是,位于川藏公路上的日多乡—米拉山一带的火山岩,1:20万下巴淌(沃卡)幅区域地质调查报告将其作为晚白垩世—古近纪(K<sub>2</sub>—E)处理<sup>①</sup>,而重新修编的1:25万泽当镇幅区域地质调查报告<sup>②</sup>,则将其归属于新生代林子宗火山岩,并通过岩性对比,划分为典中组、年波组和帕那组,但尚无可靠的年龄数据约束其岩浆活动的时代。为此,本文在1:25万区域地质调查资料的基础上,对米拉山地区所谓的林子宗火山岩进行了锆石U-Pb定年和全岩地球化学测试。新获得的数据不但限定了米拉山地区林子宗火山岩的时代和起源,还为探讨林子宗火山岩区域性的岩浆活动格架和岩浆起源提供了新的资料。

## 1 地质背景和样品

青藏高原南部的拉萨地体位于班公湖—怒江缝合带(BNSZ)和印度河—雅鲁藏布缝合带(YZSZ)之间,被狮泉河—纳木错蛇绿混杂岩带(SNMZ)和洛巴堆—米拉山断裂带(LMF)由北到南分为北部、中部和南部拉萨地体3个部分<sup>[23]</sup>(图1-a)。南部和北部拉萨地体为新生地壳,中部拉萨地体为具有前寒武纪甚至太古宙结晶基底的古老微陆块<sup>[23]</sup>。在南部拉萨地体和中部拉萨地体南缘,发育东西向延伸超过1200km的林子宗火山岩。这些火山岩呈角度不整合覆盖于上白垩统设兴组或更老的沉积地层之上。林子宗火山岩在南部拉萨地体的林周盆地一带出露最为完整,从下到上可分为典中组、年波组和帕那组<sup>[6,13]</sup>,其中典中组厚度大于3400m,主要为一套安山质熔岩和火山碎屑岩夹少量英安岩;年波组厚度约为850m,主要为安山岩、火山角砾岩和凝灰岩;帕那组厚度约为2400m,主要由流纹质强结凝灰岩和流纹岩组成<sup>[13]</sup>。

研究区位于南部拉萨地体日多乡—米拉山一带(图1-b)。据1:25万泽当镇幅区域地质调查资

料<sup>②</sup>,该区的林子宗火山岩包括典中组、年波组和帕那组。其中典中组与下伏中生界林布宗组、楚木龙组、塔克那组和设兴组呈角度不整合接触关系,出露面积约200km<sup>2</sup>,厚度为785~1162m,以安山岩为主夹英安质火山角砾岩、集块岩及凝灰岩;年波组呈喷发不整合覆盖于典中组之上,出露面积约为250km<sup>2</sup>,厚度为120~716m,主要岩性为安山质熔岩、英安流纹岩、英安岩、凝灰岩夹多层砂岩、砾岩;帕那组主要为紫红色流纹质熔结凝灰岩、火山角砾岩夹流纹英安岩,上部为紫红色岩屑砂岩,呈喷发不整合覆盖于年波组之上,未见顶,厚度为262~1851m,出露面积约250km<sup>2</sup>。

本文样品(12RD05-1)采自日多乡北东约9km处,在1:25万地质图上位于年波组(图1-b)。该地区的火山岩发生了强烈蚀变,风化面呈黄灰色,见大量石英斑晶和少量火山岩角砾(图1-c)。岩石具斑状结构,斑晶为石英(10%~15%)和钾长石(10%~15%);基质为长英质,隐晶结构。石英呈他形粒状,粒径0.2~1.5mm,表面干净。钾长石为板柱状,表面高岭土化严重,粒径0.2~2mm,但仍可见卡式双晶。角砾呈棱角状,主要成分为长英质,粒径0.2~0.5mm(图1-d、e)。

## 2 分析方法

本次对1件林子宗火山岩样品进行了锆石U-Pb定年、Hf同位素和全岩地球化学分析。锆石由河北廊坊区调所实验室利用常规方法分选,阴极发光(CL)显微照相在北京奥金顿科技有限公司完成。

LA-ICP-MS锆石U-Th-Pb同位素年龄分析在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室进行。分析仪器为Agilent7700a型四极杆质谱仪及Geolas2005型激光剥蚀系统,激光器为193nmArF准分子激光器。激光剥蚀斑束直径为32μm,每个分析数据包括20~30s的空白信号和50s的样品信号,激光剥蚀深度为20~40μm。锆石年龄计算采用标准锆石91500作为外标,元素含量采用美国国家标准物质局人工合成硅酸盐玻璃NIST610作为外标,<sup>29</sup>Si作为内标元素进行校正。样品的同位素比值和元素含量数据处理采用ICPMSDataCal软件<sup>[24]</sup>,并采用软件<sup>[25]</sup>对测试数据进行普通铅校正,年龄计算及谐和图采用Isoplot(2.49版)<sup>[26]</sup>软件完成。

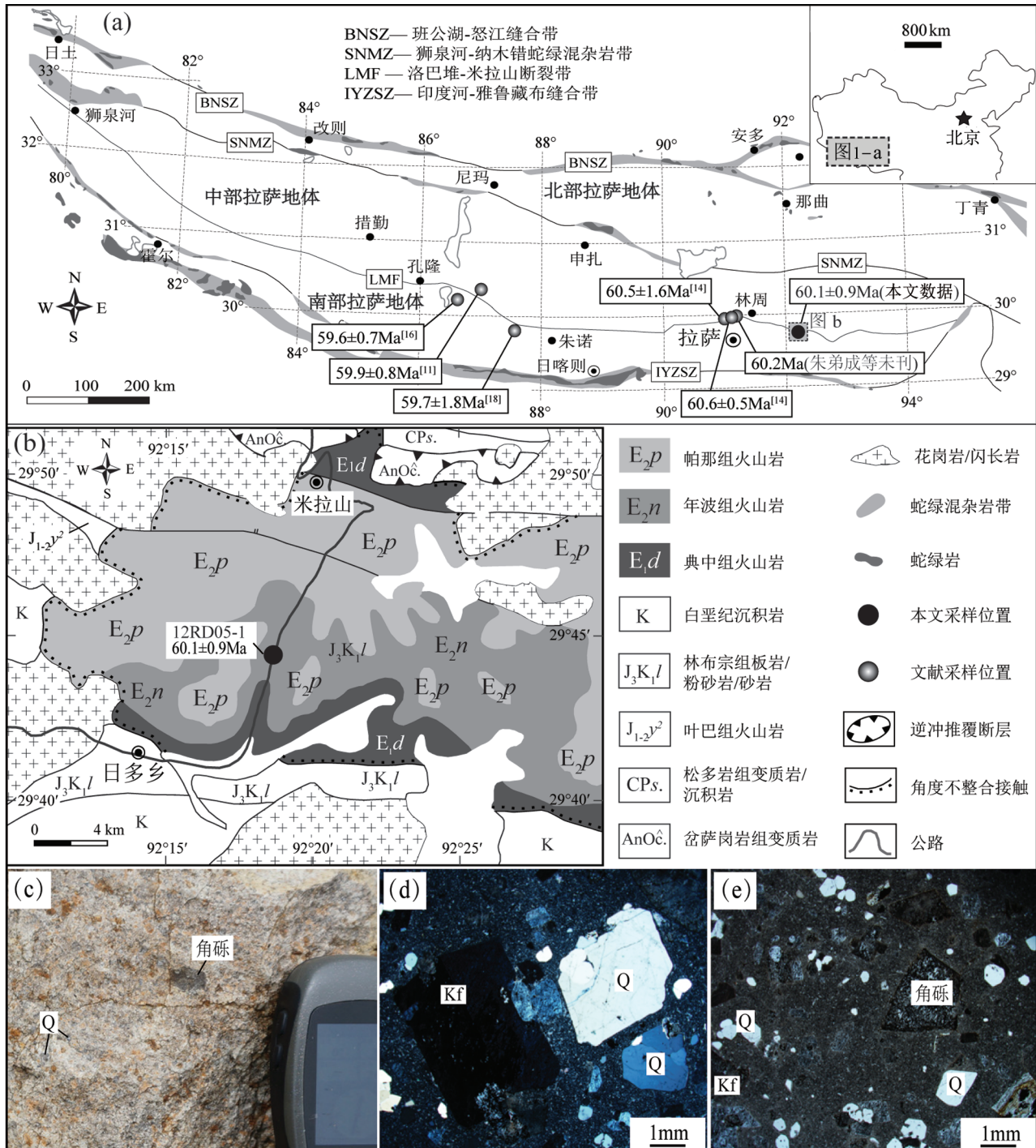


图1 西藏拉萨地体构造单元划分(a,据参考文献[22]修改,林子宗火山岩数据据参考文献[11,14,16,18])、研究区地质简图及本文采样位置(b,据参考文献[2]修改)和样品野外及镜下岩相学照片(c~e,d为正交偏光,e为单偏光)

Fig. 1 Tectonic framework of the Lhasa Terrane (a), simplified geological map of the study area (b), showing sampling sites and field and petrographical photos of the sample (c~e)  
 Q—石英;Kf—钾长石



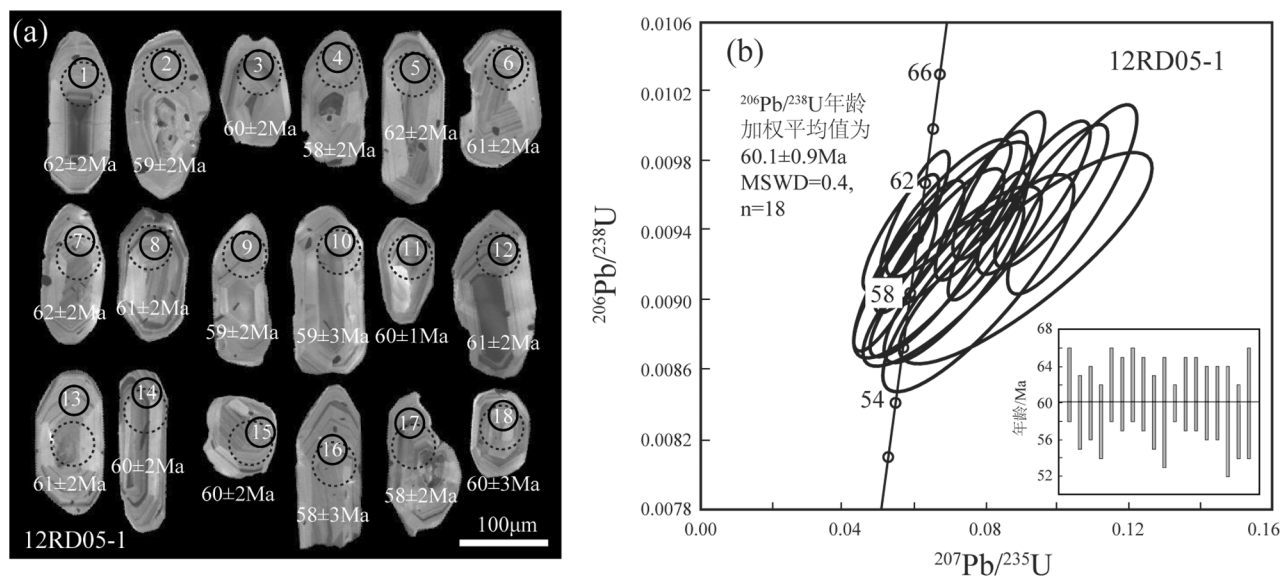


图 2 西藏米拉山地区林子宗火山岩样品中锆石颗粒阴极发光图像(a)、测点及年龄和锆石 U-Pb 谐和图(b)

Fig. 2 CL images, analytical spots, ages of zircons (a) and zircon U-Pb concordia diagram (b) of a sample of the Linzizong volcanic rocks from Milashan, Tibet

锆石 Hf 同位素分析在台湾大学地质系实验室完成。锆石原位 Hf 同位素测试在 U-Th-Pb 同位素测试完成后进行,选取的测试位置尽量与 U-Th-Pb 的位置重合。实验时使用 Nu Plasma II 型多接收杯电感耦合等离子体质谱仪(MC-ICP-MS)和与之配套的 New Wave UP193FX 准分子激光发生系统。每个测点的激光剥蚀时间约为 120s,激光束斑直径为  $50\ \mu\text{m}$ ,激光脉冲频率为 4~6Hz,激光剥蚀能量为  $12\sim 13\text{J}/\text{cm}^2$ 。实验过程中采用氦气作为剥蚀物质的载气,能防止或大幅度地减少被剥蚀的物质沉降到样品表面,从而极大地提高运输效率,并提高信号强度。测定时,使用标准锆石 Mud Tank 作为外标进行校正, Mud Tank 锆石的  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  加权平均值是  $0.282537\pm 45$  ( $n=515$ )。仪器分析条件和数据获取方法见参考文献[27]。

样品的主量、微量元素测试均在台湾大学地质系实验室完成。主量元素用 XRF 法在 RIX-2000 型 X 光荧光分析仪上测试完成,详细的分析步骤及实验条件、精确度和准确度估计见参考文献[12]。微量元素测试在 7500 型感应耦合电浆质谱仪上采用 ICP-MS 法完成。

### 3 分析结果

锆石呈长柱状或短柱状,自形一半自形,发育清晰的振荡环带。18 个测点的 Th、U 丰度分别为  $192\times 10^{-6}\sim 786\times 10^{-6}$  和  $328\times 10^{-6}\sim 914\times 10^{-6}$ , Th/U 值均介于 0.50~0.86 之间(表 1),为典型的岩浆成因锆石<sup>[28]</sup>。18 个测点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄范围变化于 58~62Ma 之间,年龄加权平均值为  $60.1\pm 0.9\text{Ma}$  (MSWD=0.4),该年龄代表了样品的形成时代。

样品 12RD05-1 共获得了 18 个测点的锆石 Hf 同位素数据(表 2),在剔除了点 03、06 和 08 三个  $\varepsilon_{\text{Hf}(t)}$  值异常偏高的数据后,其  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  值为  $0.282977\sim 0.283155$ ,  $\varepsilon_{\text{Hf}(t)}$  值为  $+8.5\sim +18.8$ ,地壳模式年龄 ( $T_{\text{DM}^c}$ ) 为 181~590Ma。

根据表 3 可知,样品 12RD05-1 具有较高的  $\text{SiO}_2$  含量(77.59%) (扣除烧失量重新计算到 100%)。在 Zr/TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> 分类图解上位于流纹岩区域(图 3-a),对蚀变火山岩敏感的 Co-Th 图解指示其属于高钾钙碱性或钾玄质系列岩石(图 3-b)。该样品以富集轻稀土元素、亏损中稀土元素为特征(图 3-c),并具有较低的重稀土元素丰度(如  $\text{Yb}=0.56\times 10^{-6}$ )。在原始地幔标准化蜘蛛图解

表1 西藏米拉山地区林子宗火山岩(12RD05-1)LA-ICP-MS 锆石U-Th-Pb分析结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb isotopic data of the Linzizong volcanic rocks (12RD05-1) from Milashan, Tibet

分析 点号	U 含量/10 <sup>6</sup>	Th 含量/10 <sup>6</sup>	Pb 含量/10 <sup>6</sup>	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb*		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U*		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U*		<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th*		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	
					比值	(±1σ)	比值	(±1σ)	比值	(±1σ)	比值	(±1σ)	年龄	(±1σ)	年龄	(±1σ)	年龄	(±1σ)	年龄	(±1σ)
01	672	339	21	0.50	0.0712	0.0076	0.0886	0.0089	0.0097	0.0003	0.0032	0.0002	962	160	86	8	62	2	65	5
02	422	222	17	0.53	0.0594	0.0140	0.0748	0.0174	0.0091	0.0003	0.0028	0.0002	581	476	73	16	59	2	57	3
03	890	677	37	0.76	0.0692	0.0066	0.0854	0.0078	0.0094	0.0002	0.0029	0.0002	906	148	83	7	60	2	58	3
04	463	286	19	0.62	0.0601	0.0111	0.0755	0.0137	0.0091	0.0003	0.0028	0.0001	608	398	74	13	58	2	57	2
05	566	410	24	0.72	0.0898	0.0135	0.0991	0.0110	0.0096	0.0003	0.0032	0.0002	1420	168	96	10	62	2	64	5
06	535	336	21	0.63	0.0561	0.0095	0.0738	0.0123	0.0095	0.0003	0.0030	0.0001	457	363	72	12	61	2	60	2
07	480	320	18	0.67	0.0875	0.0103	0.1042	0.0111	0.0096	0.0003	0.0032	0.0003	1371	163	101	10	62	2	65	5
08	443	225	13	0.51	0.0911	0.0125	0.1105	0.0127	0.0096	0.0004	0.0034	0.0004	1448	162	106	12	61	2	68	8
09	407	241	19	0.59	0.0461	0.0066	0.0579	0.0081	0.0091	0.0003	0.0032	0.0004	/	261	57	8	59	2	64	7
10	328	192	16	0.59	0.0759	0.0197	0.0967	0.0247	0.0092	0.0004	0.0028	0.0001	1093	560	94	23	59	3	56	2
11	678	429	30	0.63	0.0461	0.0059	0.0596	0.0075	0.0094	0.0002	0.0031	0.0002	/	241	59	7	60	1	62	5
12	658	349	24	0.53	0.0501	0.0056	0.0639	0.0067	0.0095	0.0002	0.0035	0.0002	200	190	63	6	61	2	70	5
13	583	440	24	0.76	0.0680	0.0077	0.0836	0.0092	0.0095	0.0003	0.0031	0.0002	869	181	82	9	61	2	63	4
14	914	786	48	0.86	0.0508	0.0070	0.0652	0.0087	0.0093	0.0003	0.0029	0.0001	231	292	64	8	60	2	59	2
15	640	446	27	0.70	0.0566	0.0090	0.0730	0.0114	0.0094	0.0003	0.0029	0.0001	475	355	72	11	60	2	59	1
16	490	332	19	0.68	0.0657	0.0152	0.0825	0.0187	0.0091	0.0004	0.0028	0.0001	798	490	80	18	58	3	56	2
17	508	308	21	0.61	0.0540	0.0091	0.0675	0.0113	0.0091	0.0003	0.0028	0.0001	370	351	66	11	58	2	57	2
18	383	211	14	0.55	0.0563	0.0138	0.0721	0.0174	0.0093	0.0004	0.0029	0.0002	464	473	71	16	60	3	58	4

表2 西藏米拉山地区林子宗火山岩(12RD05-1)锆石Hf同位素数据

Table 2 Zircon Hf isotopic data of the Linzizong volcanic rocks (12RD05-1) from Milashan, Tibet

编号	年龄/Ma	<sup>176</sup> Yb/ <sup>177</sup> Hf	<sup>176</sup> Lu/ <sup>177</sup> Hf	<sup>176</sup> Hf/ <sup>177</sup> Hf	±2σ	( <sup>176</sup> Hf/ <sup>177</sup> Hf) <sub>i</sub>	ε <sub>Hf</sub> (0)	ε <sub>Hf</sub> (t)	T <sub>DM</sub> /Ma	T <sub>DM</sub> <sup>c</sup> /Ma	f <sub>LwHf</sub>
01	60	0.067763	0.002277	0.283098	0.000033	0.283095	11.5	12.8	225	315	-0.93
02	60	0.027092	0.001030	0.283155	0.000035	0.283154	13.5	14.8	136	181	-0.97
03	60	0.049256	0.001675	0.283197	0.000032	0.283195	15.0	16.3	77	87	-0.95
04	60	0.028112	0.001018	0.283015	0.000051	0.283014	8.6	9.9	336	500	-0.97
05	60	0.061737	0.002108	0.283110	0.000043	0.283108	12.0	13.2	206	287	-0.94
06	60	0.043295	0.001505	0.283240	0.000038	0.283238	16.6	17.8	15	-12	-0.95
07	60	0.036085	0.001306	0.283009	0.000041	0.283008	8.4	9.6	347	515	-0.96
08	60	0.056705	0.001982	0.283268	0.000054	0.283266	17.5	18.8	-26	-75	-0.94
09	60	0.028923	0.001039	0.283079	0.000035	0.283078	10.9	12.1	245	355	-0.97
10	60	0.043226	0.001405	0.283077	0.000022	0.283075	10.8	12.0	250	360	-0.96
11	60	0.041476	0.001297	0.283091	0.000050	0.283090	11.3	12.5	229	328	-0.96
12	60	0.062080	0.002138	0.283151	0.000028	0.283149	13.4	14.6	146	193	-0.94
13	60	0.027403	0.001056	0.283064	0.000036	0.283063	10.3	11.6	266	389	-0.97
14	60	0.042899	0.001572	0.283072	0.000036	0.283070	10.6	11.9	258	372	-0.95
15	60	0.036897	0.001399	0.283023	0.000053	0.283021	8.9	10.1	328	483	-0.96
16	60	0.056579	0.002134	0.282977	0.000048	0.282975	7.2	8.5	402	590	-0.94
17	60	0.037729	0.001395	0.283072	0.000034	0.283070	10.6	11.9	257	372	-0.96
18	60	0.040574	0.001537	0.283123	0.000033	0.283121	12.4	13.7	184	256	-0.95

上,该样品明显富集大离子亲石元素 Rb、Th、U、Pb 等元素,亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素(图 3-d)。

## 4 讨论

### 4.1 米拉山地区林子宗火山作用的时间与区域对比

在 1:25 万泽当镇幅地质图<sup>②</sup>上,本文含角砾流纹岩位于年波组之内。但 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果表明,该样品(12RD05-1)形成于  $60.1 \pm 0.9$ Ma,与林周盆地典中组最底部安山岩中获得的 Cameca 锆石 U-Pb 年龄一致(60.2Ma,朱弟成等未刊数据)。区域上,最近几年在朱诺和许如错地区的英安质岩石中也获得了约 60Ma 的锆石 U-Pb 年龄<sup>[11,14,16,18]</sup>(图 1-a)。从目前已有的数据看,从米拉山到许如错东西向延伸近 600km 的南部拉萨地体,在约 60Ma 发生了成分不同的火山岩浆活动。

### 4.2 米拉山地区典中组火山岩的岩浆起源和区域对比

在米拉山地区林子宗火山岩中获得的 1 件含

角砾流纹岩样品,显示了中稀土元素明显亏损、重稀土元素丰度低的独特地球化学特征(图 3-c)。中稀土元素的亏损可能暗示其源区残留有角闪石,而低的重稀土元素丰度则暗示石榴子石对其岩浆成分的控制<sup>[32]</sup>。因此,将米拉山地区流纹岩解释为来源于源区物质在角闪岩相/榴辉岩相过渡条件下的部分熔融。高且正的锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值(+8.5~+18.8)暗示,其源区有可能是俯冲洋壳。但考虑到本文样品属于高钾钙碱性或钾玄质系列岩石(图 3-b),对这种富钾特征更合理的解释是来源于下地壳的熔融<sup>[33]</sup>。这意味着米拉山地区的下地壳为新生地壳,且在约 60Ma 已具有较大的地壳厚度。

虽然米拉山地区含角砾流纹岩的时代和岩性均类似于朱诺和许如错地区,但却具有不同的地球化学特征,如朱诺和许如错地区的同期流纹岩具有更高的重稀土元素丰度,并且未显示中稀土元素亏损等特征(图 3-c、d)。米拉山地区含角砾流纹岩与

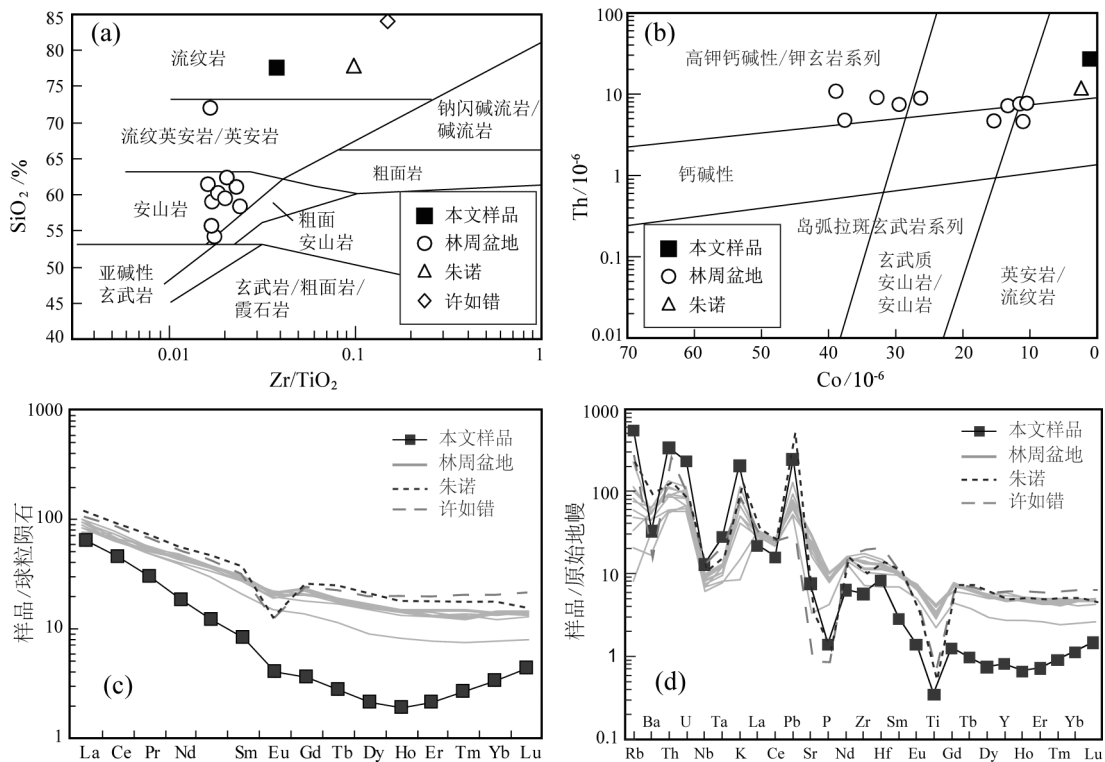


图 3 西藏米拉山地区林子宗火山岩的地球化学图解  
(林周盆地、许如错、朱诺地区数据据参考文献[14,16,18])

Fig. 3 Geochemical diagrams of the Linzizong volcanic rocks from Milashan, Tibet  
a—Zr/TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>分类图解(底图据参考文献[29]); b—Co-Th图解(底图据参考文献[30]);  
c—稀土元素球粒陨石标准化配分图(球粒陨石标准化数据据参考文献[31]);  
d—微量元素原始地幔标准化蜘蛛图(原始地幔标准化数据据参考文献[31])

表3 西藏米拉山地区林子宗火山岩(12RD05-1)的主量、微量和稀土元素数据

Table 3 Whole-rock major, trace, and rare earth elements data of the Linzizong volcanic rocks (12RD05-1) from Milashan, Tibet

主量元素/%		微量元素 /10 <sup>-6</sup>					
SiO <sub>2</sub>	77.59	Sc	4	Nb	9.2	Ho	0.11
TiO <sub>2</sub>	0.17	V	5	Cs	25.7	Er	0.35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.46	Cr	2	Ba	227	Tm	0.07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.56	Co	1	La	14.9	Yb	0.56
MnO	0.01	Ni	1.9	Ce	28.1	Lu	0.11
MgO	0.09	Cu	3	Pr	2.8	Hf	2.58
CaO	0.18	Zn	8	Nd	8.5	Ta	1.13
Na <sub>2</sub> O	1.90	Ga	13	Sm	1.3	Pb	43.9
K <sub>2</sub> O	5.98	Rb	334	Eu	0.2	Th	27.7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	Sr	160	Gd	0.8	U	4.7
烧失量	1.69	Y	4	Tb	0.11		
总量	100.40	Zr	64	Dy	0.55		

林周盆地约60Ma的林子宗火山岩相比,二者不但岩性不同(林周盆地主要为安山质岩石)(图3-a),地球化学特征也明显不一样(图3-c、d)。由此表明,沿南部拉萨地体约60Ma发生的同期岩浆活动,很可能具有不同的起源并经历了不同的岩浆作用过程,目前有限的资料还难以对这种地球化学差异的构造含义做出合理的解释。

## 5 结论

(1)锆石U-Pb定年结果表明,米拉山地区林子宗年波组火山岩在时代上可比于林周盆地的典中组,二者均发生在60Ma左右。

(2)米拉山林子宗火山岩中的含角砾流纹岩很可能来源于新生下地壳物质在角闪岩相/榴辉岩相过渡条件下的部分熔融,指示约60Ma米拉山地区的地壳厚度较大。

(3)南部拉萨地体约60Ma发生的同期火山活动,可能具有不同的起源,目前还很难对这种差异性起源的构造含义做出合理解释。

**致谢:**感谢河北省廊坊市区域地质调查研究所实验室在样品分离和挑选过程中给予的支持,同时感谢中国地质大学(武汉)刘勇胜教授、胡兆初和宗克清老师在锆石LA-ICP-MS定年,以及台湾大学李皓扬博士在锆石Hf同位素分析过程中的帮助,审

稿专家对论文提出了宝贵的意见和建议,在此一并表示感谢。

## 参考文献

- [1] Donaldson D G, Webb A A G, Menold C A, et al. Petrochronology of Himalayan ultrahigh-pressure eclogite[J]. *Geology*, 2013, 41(8): 835-838.
- [2] Rowley D B. Age of initiation of collision between India and Asia: A review of stratigraphic data[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1996, 145(1): 1-13.
- [3] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2000, 28(1): 211-280.
- [4] Guillot S, Garzanti E, Baratoux D, et al. Reconstructing the total shortening history of the NW Himalaya[J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2003, 4(7): 1-22.
- [5] Najman Y. The detrital record of orogenesis: a review of approaches and techniques used in the Himalayan sedimentary basins[J]. *Earth-Science Reviews*, 2006, 74(1): 1-72.
- [6] 刘鸿飞. 拉萨地区林子宗火山岩系的划分和时代归属[J]. *西藏地质*, 1993, (2): 59-69.
- [7] 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*, 2004, 10(3): 135-148.
- [8] Mo X, Hou Z, Niu Y, et al. Mantle contributions to crustal thickening during continental collision: evidence from Cenozoic igneous rocks in southern Tibet[J]. *Lithos*, 2007, 96(1): 225-242.
- [9] Mo X, Niu Y, Dong G, 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.
- [10] 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.
- [11] Lee H Y, Chung S L, Lo C H, et al. Eocene Neotethyan slab breakoff in southern Tibet inferred from the Linzizong volcanic record[J]. *Tectonophysics*, 2009, 477(1): 20-35.
- [12] Lee H Y, Chung S L, Ji J, et al. Geochemical and Sr-Nd isotopic constraints on the genesis of the Cenozoic Linzizong volcanic successions, southern Tibet[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 53: 96-114.
- [13] 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.
- [14] 周肃, 莫宣学, 董国臣, 等. 西藏林周盆地林子宗火山<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年代格架[J]. *科学通报*, 2005, 49(20): 2095-2103.
- [15] 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, 31(9): 1339-1352.
- [16] 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



- [ ]]. 岩石学报, 2013, 29(11): 3803-3814.
- [17]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: 中国地质大学硕士学位论文, 2011.
- [18]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, 2010, (2): 211-223.
- [19]He S, 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): 15-37.
- [20]付文春, 康志强, 潘会彬, 等. 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.
- [21]贾黎黎, 王青, 朱弟成, 等. 重新认识西藏林周盆地基性岩石的地球动力学含义[J]. 岩石学报, 2013, 29(11): 3671-3680.
- [22]Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y, et al. The origin and pre-Cenozoic evolution of the Tibetan Plateau[J]. Gondwana Research, 2013, 23(4): 1429-1454.
- [23]Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y, et al. The Lhasa Terrane: Record of a microcontinent and its histories of drift and growth[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2011, 301(1): 241-255.
- [24]Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. Chemical Geology, 2008, 257: 34-43.
- [25]Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report  $^{204}\text{Pb}$ [J]. Chemical Geology, 2002, 192(1): 59-79.
- [26]Ludwig K R. User's manual for Isoplot 3.00: a geochronological toolkit for Microsoft Excel[M]. Kenneth R. Ludwig, 2003.
- [27]Wu F Y, Yang Y H, Xie L W, et al. Hf isotopic compositions of the standard zircons and baddeleyites used in U-Pb geochronology [J]. Chemical Geology, 2006, 234(1): 105-126.
- [28]Hoskin P W O, Black L P. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. Journal of Metamorphic Geology, 2000, 18(4): 423-439.
- [29]Winchester J A, Floyd P A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements[J]. Chemical Geology, 1977,(20): 325-343.
- [30]Hastie A R, Kerr A C, Pearce J A, et al. Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th-Co discrimination diagram[J]. Journal of Petrology, 2007, 48(12): 2341-2357.
- [31]Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [J]. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42(1): 313-345.
- [32]Zhu D C, Pan G T, Chung S L, et al. SHRIMP zircon age and geochemical constraints on the origin of Lower Jurassic volcanic rocks from the Yeba Formation, southern Gangdese, South Tibet [J]. International Geology Review, 2008, 50(5): 442-471.
- [33]Wang Q, Wyman D A, Xu J, et al. Early Cretaceous adakitic granites in the Northern Dabie Complex, central China: implications for partial melting and delamination of thickened lower crust[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2007, 71(10): 2609-2636.
- ①吴向农, 古凤宝, 陈方本, 等. 中华人民共和国区域地质调查报告. 比例尺 1:200000 下巴满(沃卡)幅. 西藏地质矿产局. 1994.
- ②谢尧武, 彭兴阶, 段国玺, 等. 中华人民共和国区域地质调查报告. 比例尺 1:250000 泽当镇幅. 西藏自治区地质调查院. 2006.