

doi:10.3799/dqkx.2010.021

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

梁银平^{1,2}, 朱杰³, 次邛⁴, 何卫红^{1,2}, 张克信^{1,2*}

1. 中国地质大学生物与环境地质教育部重点实验室, 湖北武汉 430074
2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074
3. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074
4. 西藏地勘局第二地质大队, 西藏拉萨 850000

摘要: 林子宗火山岩是发育在青藏高原南部冈底斯带的古近纪火山岩, 被认为代表了新特提斯洋俯冲消减结束过渡到印度—亚洲大陆碰撞过程的产物, 其确切的时代对于限制印度—亚洲大陆的碰撞时限具有重要意义。对冈底斯带中部朱诺地区的林子宗火山岩进行了系统的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学、元素和 Sr-Nd 同位素地球化学研究, 获得的林子宗火山岩的典中组、年波组和帕那组 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 64.8 ± 1.6 Ma, 59.7 ± 1.8 Ma 和 48.9 ± 0.8 Ma。元素和同位素地球化学结果表明, 朱诺地区各组特征与区域上特征相似, 其中典中组和年波组火山岩属于钙碱性和高钾钙碱性系列, 具有岛弧火山岩特点; 帕那组出现大量的钾玄岩, 属于同碰撞火山岩。证明前人提出的雅鲁藏布江地区洋盆闭合和印度—亚洲大陆碰撞开始时间为 50 Ma 左右的观点。

关键词: 锆石 U-Pb 年龄; 地球化学; 林子宗群火山岩; 冈底斯中部。

中图分类号: P597

文章编号: 1000-2383(2010)02-0211-13

收稿日期: 2009-04-26

Zircon U-Pb Ages and Geochemistry of Volcanic Rock from Linzizong Group in Zhunuo Area in Middle Gangdise Belt, Tibet Plateau

LIANG Yin-ping^{1,2}, ZHU Jie³, CI Qiong⁴, HE Wei-hong^{1,2}, ZHANG Ke-xin^{1,2*}

1. Key Laboratory of Geobiology and Environmental Geology, Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
3. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
4. No. 2 Geological Party, Tibet Bureau of Geology and Exploration and Exploitation of Mineral Resources, Lhasa 850000, China

Abstract: The Paleogene volcanic rock in Linzizong Group is developed in the Gangdise belt, southern Tibet plateau and it is deemed to represent the result of Neo-Tethys from its subduction to the India-Asia collision. Its precise age is significant to constrain the time of the India-Asia collision. Herein a systematic study, including zircon U-Pb ages, major and trace elements and Sr-Nd isotopic geochemistry, has been done to volcanic rock from Linzizong Group in Zhunuo area in middle Gangdise belt. We obtain Linzizong Group volcanic rock LA-ICP-MS zircon U-Pb data showing the following ages: the Dianzhong Formation, 64.8 ± 1.6 Ma, the Nianbo Formation, 59.7 ± 1.8 Ma, the Pana Formation, 48.9 ± 0.8 Ma. The data of elementary and isotopic geochemistry suggest that the characteristics of these formations in Zhunuo area are similar to regional characteristics. Among them, Dianzhong and Nianbo formations are calc-alkalic and high-K calc-alkalic rocks with characteristics of arc-island volcanic rocks. Pana Formation contains shoshonite and is syn-collision volcanic rock. It is proved that suture of the Yarlung Zangbo oceanic basin and the beginning of collision between India and Asia were about 50 Ma.

Key words: zircon U-Pb age; geochemistry; Linzizong Group volcanic rock; middle Gangdise belt.

基金项目: 中国地质调查局项目 (Nos. 矿调[2004]1-1, 1212010610103, 1212010733802); 国家自然科学基金 (Nos. 40921062, 40830212); 国家博士后科学基金 (No. 20070410971).

作者简介: 梁银平 (1982-), 女, 博士研究生, 主要从事古生物学与地层学研究。* 通讯作者: 张克信, E-mail: kx_zhang@cug.edu.cn

古近纪林子宗群中酸性火山岩系广泛分布于青藏高原冈底斯岩浆岩带南部,构成冈底斯火山岩带的主体岩系,其岩石学特征及其与下伏地层之间的区域不整合包含着新特提斯洋俯冲向印度与亚洲大陆碰撞转变的丰富信息.前人对其进行了大量的地层学、岩石学、地球化学和年代学研究(刘鸿飞,1993;潘桂棠等,2004;周肃等,2004;董国臣等,2005;贾建称等,2005;张克信等,2007;莫宣学等,2007,2009;Mo *et al.*,2008).对林子宗群火山岩的详细研究主要集中在拉萨东北部的林周盆地.该地区是林子宗火山岩出露最完整、自下而上划分的典中组、年波组和帕那组为最清楚的剖面,也是最早建立层序和命名的剖面,并且在 1:20 万拉萨幅填图中进行了较好的研究(刘鸿飞,1993).近年来,在年代学框架和地球化学方面取得了较多进展,周肃等(2001,2004)利用 Ar-Ar 法确定了典中组、年波组和帕那组火山岩的形成时代,李皓扬等(2007)进行了林子宗火山岩的锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素地球化学研究,莫宣学等(2007,2009)、Mo *et al.*(2008)在年代学格架研究基础上,结合各组元素和 Sr-Nd-Pb 同位素地球化学研究,提出林子宗群火山

活动时限为 65~45 Ma 或 40 Ma,并认为 65 Ma 可以代表印度-亚洲大陆碰撞作用的起始时间.上述研究主要集中在拉萨以东的林周盆地,而在拉萨以西的广大地区,对于广泛分布的林子宗火山岩依然缺少精确的年代学研究.

笔者在近年来开展的“西藏朱诺地区战略性矿产远景调查”项目基础上,对冈底斯南部朱诺地区林子宗群中酸性火山岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年代学、岩石地球化学和 Sr-Nd 同位素研究,试图揭示林子宗火山岩在区域上的变化规律,进一步探讨该地区林子宗群火山岩喷发的时限、岩石成因及其形成背景.

1 区域地质背景

冈底斯陆块近东西向展布于青藏高原南部,北侧以班公-怒江缝合带与羌塘陆块毗邻,南侧以日喀则弧前盆地与雅鲁藏布江结合带相隔.研究区位于冈底斯陆块南部的朱诺地区(图 1b)、日喀则市北西约 140 km.该区出露桑日群和林子宗群两套火山-沉积岩石组合,古近纪花岗岩和新近纪花岗岩侵

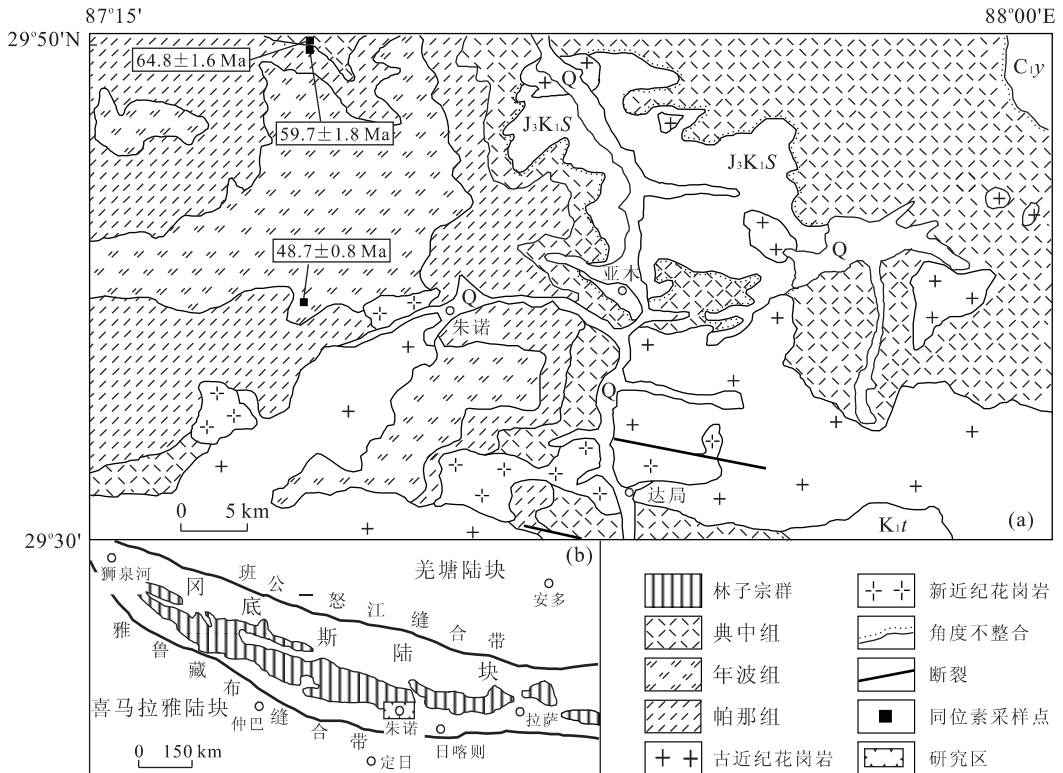


图 1 朱诺地区地质简图(a)及研究区构造位置图(b)(原图引自贾建称等,2005)

Fig. 1 Simplified geological map of Zhunuo area (a) and the location of the study area

C_{1y}, 永珠组; J₃K₁S, 桑日群; K_{1t}, 塔克那组; Q, 第四系

入于火山岩系中(图 1a)。桑日群为晚侏罗世—早白垩世形成的岛弧钙碱性—拉斑系列火山—沉积岩组合,为俯冲型火山岩系(莫宣学和潘桂棠,2006)。林子宗群为一套陆相火山岩系,与特提斯洋壳俯冲和印度—亚洲板块碰撞作用的火山活动有关(Ding, 2003),与下伏新生代地层呈角度不整合接触。古近纪花岗岩和新近纪花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 $65.7 \pm 1.8 \text{ Ma}$ ~ $47.0 \pm 1.8 \text{ Ma}$ 和 $23.7 \pm 0.5 \text{ Ma}$ ~ $15.2 \pm 0.8 \text{ Ma}$ (作者资料,另刊),前者与林子宗群火山岩同源异相,后者属于后碰撞埃达克岩类型,与斑岩铜矿形成有关,如区内朱诺大型斑岩铜矿(郑有业等,2007)。

研究区林子宗群包括典中组、年波组和帕那组(表 1),其中,典中组出露于东部,包括安山岩、英安岩和流纹岩,以及相对应的火山碎屑岩,即安山质火山角砾岩、安山质晶屑岩屑凝灰岩、英安质晶屑凝灰岩和流纹质晶屑凝灰岩等,角度不整合于永珠组、桑日群和塔克那组之上,厚度为 498.2 m。年波组出露于研究区西北部,为火山—沉积岩系,火山岩为英安质—流纹质晶屑岩屑凝灰岩,英安质—流纹质火山角砾岩,沉积岩含复成分砾岩、不等粒长石岩屑砂岩、粉砂岩等,与下伏典中组呈小角度不整合接触,厚度为 960.5 m。帕那组主要分布于研究区西部海拔 4 500 m 以上高山,主要由紫红色流纹岩、熔结凝

表 1 研究区林子宗群火山岩样品概况

Table 1 Petrography of studied samples from Linzizong Group in Zhunuo area, southern Tibet

样品号	岩石名称	组	采样位置	岩性描述
D0988/1	流纹岩	帕那组	29°44′03″N 87°57′36″E	斑晶由石英(8%)、斜长石(10%)和黑云母(2%)组成,粒径 0.5~1.5 mm;基质包括石英(22%)、正长石(3%)、绢云母(5%)和长英颗粒(50%),粒径 0.05~0.4 mm
D1039/1	晶屑玻屑凝灰岩	帕那组	29°48′45″N 87°25′15″E	晶屑 15%、粒径 0.3~1.5 mm,见石英(6%)、正长石(4%)和隕石(5%)等;基质约 85%。其中含有弱重结晶微细玻屑(30%)、未结晶玻璃质和微细粒状铁质(55%)
D1195/1	流纹质玻屑晶屑凝灰岩	帕那组	29°39′02″N 87°24′40″E	斜长石晶屑 8%、石英晶屑 12%,粒径 0.1~1.2 mm;流纹岩和安山岩岩屑<3%,粒径 1~1.7 mm;隐晶状长英质集合体 60%~68%,粒径 0.01~0.2 mm;粒状方解石和斜状黑云母<5%。锆石为无色透明颗粒,少数为棕红色颗粒
D1250/1-1	流纹质晶屑玻屑凝灰岩	帕那组	29°48′59″N 87°25′15″E	斜长石晶屑 10%、粒径 0.2~2 mm,石英晶屑 10%、黑云母晶屑 3%、脱玻化粘土化玻屑 80%~85%
D1240/1	晶屑岩屑凝灰岩	年波组	29°49′07″N 87°28′57″E	晶屑为石英(2%)和长石(3%),粒径 0.15~1.5 mm;岩屑为流纹岩岩屑(5%)和安山岩岩屑(5%),粒径 0.2~1 mm;基质包括微晶隕石(75%)、伊利石和绢云母(10%)
D1251/12-1	流纹质玻屑熔结凝灰岩	年波组	29°49′14″N 87°25′19″E	斜长石晶屑和正长石晶屑<2%,粒径 0.5~1.2 mm;玻屑粒径<0.15 mm,见隐晶纤维状长英矿物(85%)和云雾状铁质玻屑(10%)、微粒状碳酸盐和石英(<3%)
D1253/38-1	英安质岩屑晶屑凝灰岩	年波组	29°50′05″N 87°25′44″E	流纹岩 2%~3%、安山岩岩屑 10%,粒径 1~1.7 mm;斜长石晶屑 8%和石英晶屑 10%,粒径 0.1~1.2 mm;隐晶状长英质集合体 60%~65%,粒径 0.01~0.2 mm;粒状方解石和斜状黑云母<5%;锆石为无色透明颗粒
D1253/39-1	流纹质含岩屑晶屑凝灰岩	典中组	29°50′05″N 87°25′44″E	晶屑含石英(6%)、正长石(2%)和斜长石(2%),粒径 0.15~1.5 mm;岩屑为流纹岩和安山岩(5%),粒径 0.2~1 mm;基质为隕石(75%)、伊利石和绢云母(10%)。锆石为无色透明颗粒,少数为棕红色颗粒
D1032/1	流纹质含岩屑晶屑玻屑凝灰岩	典中组	29°48′41″N 87°27′19″E	岩屑 10%、粒径为 0.5~7 mm;石英晶屑 35%、粒径为 0.05~4 mm;黑云母晶屑粒径为 0.2~0.5 mm;基质(50%)主要由隐晶长英矿物集合体组成
L02/1G	中酸性晶屑岩屑凝灰岩	典中组	29°41′16″N 87°39′10″E	晶屑粒径 0.2~2.5 mm,含石英(5%)和斜长石(5%);岩屑粒径 2~5 mm,含细砂岩屑(5%)、凝灰岩屑(5%)和流纹岩屑(10%);基质 60%,由微粒硅质组成
L01/1G	蚀变微晶安山岩	典中组	29°41′22″N 87°39′06″E	斑晶 15%、粒径 0.3~1.5 mm,有斜长石(3%)、绿泥石(3%)和绿帘石(9%);基质 85%、粒径 0.05~0.3 mm,包括斜长石(40%)、绢云母(5%)和钾长石(40%)

灰岩和酸性火山凝灰岩组成, 未见顶, 厚度大于 684.7 m^①.

2 样品特征及测试方法

本文分析的 3 件 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年样品(D1253/39-1、D1253/38-1 和 D1195/1)分别采自研究区北部的典中组上部、年波组底部和研究区中部帕那组下部. 3 件 Sr-Nd 同位素样品分别采自

年波组(2 件, D1253/38-1 和 D1251/12-1)和帕那组(1 件, D1195/1). 本文共对 11 件林子宗群火山岩样品进行了常量元素和微量元素分析, 以及室内薄片鉴定. 各类测试样品的岩石名称、岩性特征及采样位置见表 1.

锆石激光剥蚀等离子体质谱仪同位素分析在中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室完成, 分析结果见表 2. 实验所采用的激光束斑直径 32 μm , 采用 He 作为剥蚀物质的载气, 锆石 91500

表 2 研究区林子宗群火山岩锆石分析结果

Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb data of Linzizong Group volcanic rocks in the study area

样品号及 分析点号	含量(10^{-6})			Th/U	同位素比值			$t(\text{Ma})$
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}\pm 1\sigma$	
D1253/39-1 (典中组)								
01	8	275	290	0.95	0.046 05 \pm 0.003 23	0.056 29 \pm 0.003 88	0.008 87 \pm 0.000 12	56.9 \pm 0.7
02	24	2 129	1 612	1.32	0.046 95 \pm 0.001 24	0.066 20 \pm 0.001 71	0.010 23 \pm 0.000 12	65.6 \pm 0.8
03	5	443	375	1.18	0.045 54 \pm 0.002 47	0.060 88 \pm 0.003 24	0.009 70 \pm 0.000 14	62.2 \pm 0.9
04	3	257	170	1.51	0.049 55 \pm 0.005 23	0.064 58 \pm 0.006 73	0.009 45 \pm 0.000 19	61.0 \pm 1.0
05	8	511	556	0.92	0.063 57 \pm 0.003 32	0.082 78 \pm 0.004 22	0.009 45 \pm 0.000 15	60.6 \pm 1.0
06	3	269	222	1.21	0.047 52 \pm 0.003 81	0.064 53 \pm 0.005 11	0.009 85 \pm 0.000 16	63.0 \pm 1.0
07	6	529	412	1.28	0.048 30 \pm 0.002 82	0.067 11 \pm 0.003 86	0.010 08 \pm 0.000 25	64.7 \pm 1.0
08	8	345	505	0.68	0.050 13 \pm 0.002 55	0.078 87 \pm 0.003 92	0.011 41 \pm 0.000 27	73.0 \pm 1.0
09	18	1 204	1 313	0.92	0.049 34 \pm 0.001 59	0.069 09 \pm 0.002 18	0.010 15 \pm 0.000 12	65.1 \pm 0.8
10	5	345	367	0.94	0.047 79 \pm 0.003 50	0.068 25 \pm 0.004 92	0.010 36 \pm 0.000 18	66.0 \pm 1.0
11	4	171	282	0.61	0.050 93 \pm 0.003 58	0.075 55 \pm 0.005 23	0.010 76 \pm 0.000 17	69.0 \pm 1.0
12	10	1 053	452	2.33	0.091 76 \pm 0.003 21	0.134 30 \pm 0.004 55	0.010 61 \pm 0.000 15	68.0 \pm 1.0
13	4	274	248	1.10	0.049 30 \pm 0.003 68	0.072 63 \pm 0.005 33	0.010 68 \pm 0.000 18	68.0 \pm 1.0
14	8	979	405	2.42	0.055 84 \pm 0.002 78	0.077 67 \pm 0.003 78	0.010 09 \pm 0.000 15	64.7 \pm 1.0
15	2	150	84	1.79	0.043 55 \pm 0.008 27	0.061 92 \pm 0.011 68	0.010 31 \pm 0.000 16	66.0 \pm 2.0
D1253/38-1 (年波组)								
01	4	298	245	1.22	0.048 97 \pm 0.002 50	0.067 65 \pm 0.003 38	0.010 02 \pm 0.000 14	64.3 \pm 0.9
02	40	3 200	2 974	1.08	0.053 98 \pm 0.001 31	0.067 85 \pm 0.001 60	0.009 12 \pm 0.000 10	58.5 \pm 0.6
03	8	998	562	1.78	0.047 71 \pm 0.001 97	0.059 03 \pm 0.002 38	0.008 97 \pm 0.000 12	57.6 \pm 0.8
04	16	1 206	1 161	1.04	0.048 39 \pm 0.002 89	0.064 62 \pm 0.003 76	0.009 68 \pm 0.000 13	62.1 \pm 0.8
05	173	12 630	7 953	1.59	0.089 93 \pm 0.013 71	0.088 61 \pm 0.013 39	0.007 15 \pm 0.000 14	45.9 \pm 0.9
06	4	138	141	0.98	0.058 91 \pm 0.011 80	0.076 65 \pm 0.015 25	0.009 44 \pm 0.000 22	60.1 \pm 1.0
07	5	415	243	1.71	0.078 65 \pm 0.007 68	0.101 86 \pm 0.009 75	0.009 79 \pm 0.000 18	60.1 \pm 1.0
08	3	275	184	1.49	0.046 05 \pm 0.004 30	0.057 12 \pm 0.005 26	0.009 00 \pm 0.000 14	57.7 \pm 0.9
09	6	523	344	1.52	0.046 34 \pm 0.003 54	0.061 85 \pm 0.004 64	0.009 68 \pm 0.000 13	62.1 \pm 0.8
D1195/1 (帕那组)								
01	2	122	132	0.92	0.056 67 \pm 0.005 09	0.060 49 \pm 0.005 34	0.007 74 \pm 0.000 13	49.7 \pm 0.8
02	18	1 113	1 732	0.64	0.075 60 \pm 0.004 54	0.048 16 \pm 0.001 74	0.007 55 \pm 0.000 09	48.5 \pm 0.6
03	13	896	1 441	0.62	0.050 11 \pm 0.003 14	0.050 50 \pm 0.001 06	0.007 51 \pm 0.000 08	48.2 \pm 0.5
04	15	866	1 401	0.62	0.052 12 \pm 0.001 29	0.048 50 \pm 0.001 62	0.007 64 \pm 0.000 09	49.0 \pm 0.6
05	3	343	239	1.44	0.048 65 \pm 0.002 10	0.047 46 \pm 0.003 53	0.007 40 \pm 0.000 10	47.5 \pm 0.6
06	3	295	226	1.31	0.050 90 \pm 0.002 91	0.052 23 \pm 0.005 47	0.007 46 \pm 0.000 11	47.9 \pm 0.7
07	5	307	279	1.10	0.078 76 \pm 0.018 03	0.046 02 \pm 0.002 27	0.007 25 \pm 0.000 10	46.6 \pm 0.6
08	9	786	803	0.98	0.046 25 \pm 0.001 75	0.049 04 \pm 0.002 27	0.007 47 \pm 0.000 08	48.0 \pm 0.5
09	11	649	1 109	0.59	0.048 77 \pm 0.001 05	0.054 61 \pm 0.001 21	0.007 91 \pm 0.000 09	50.8 \pm 0.6
10	26	1 668	1 946	0.86	0.046 05 \pm 0.001 62	0.079 28 \pm 0.004 65	0.007 61 \pm 0.000 10	48.8 \pm 0.6
11	27	1 432	1 700	0.84	0.046 55 \pm 0.003 52	0.051 14 \pm 0.003 14	0.007 40 \pm 0.000 09	47.5 \pm 0.6
12	11	716	1 073	0.67	0.050 75 \pm 0.005 37	0.058 19 \pm 0.001 40	0.008 10 \pm 0.000 09	52.0 \pm 0.6
13	3	209	251	0.83	0.056 67 \pm 0.005 09	0.052 41 \pm 0.002 22	0.007 81 \pm 0.000 10	50.2 \pm 0.6
14	21	1 043	1 487	0.70	0.075 60 \pm 0.004 54	0.055 25 \pm 0.003 08	0.007 87 \pm 0.000 10	50.5 \pm 0.7
15	5	148	155	0.95	0.050 11 \pm 0.003 14	0.084 83 \pm 0.019 29	0.007 81 \pm 0.000 21	50.0 \pm 1.0

① 湖北省地质调查院, 2003. 1: 250000 拉孜幅(H45(003003))区域地质调查报告.

作为外标, NIST610 作为内标, 分析方法及仪器参数类似于 Yuan *et al.* (2004), 数据处理采用 ICP-MS DataCa (Liu *et al.*, 2008). 采用 Andersen (2002) 方法对普通 Pb 进行校正, 并采用 ISOPLOT 程序 (Ludwig, 2001) 进行锆石加权平均年龄计算及谐和图的绘制. 在国土资源部武汉矿产资源监督检查中心采用 XRF 方法测定主量元素, 分析精度优于 5%. 微量元素和 Sr-Nd 同位素的测试单位为中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 其中微量元素用 ICP-MS 方法测定, 所用仪器为日本 Agilent 公司生产的 Agilent7500a 型等离子体质谱仪, 分析精度优于 5%. Sr-Nd 同位素测试方法及数据处理见张永清等 (2008).

3 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

对 3 件林子宗群火山岩样品进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析 (表 2), 采样点分布见图 1a 和表 1. 根据这些数据所作的锆石 U-Pb 谐和图如图 2 所示.

在典中组火山岩样品 D1253/39-1 中共有 15 颗锆石进行了激光剥蚀等离子体质谱仪同位素分析, 每个锆石各分析一个测点, 共计 15 个测值 (表 2), 其中 13 个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分布在 60.6 ~ 69.0 Ma 之间. 图 2a 显示, 13 个点均落在谐和线上或者附近, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值为 $64.8 \pm 1.6 \text{ Ma}$ (2σ ; MSWD=1.8), 代表岩浆岩锆石结晶年龄或母岩成岩年龄. 锆石的 CL 图像 (图 3a) 显示大部分锆石具有岩浆振荡环带, 表明为岩浆锆石 (Rowley *et al.*, 1997; Hacker *et al.*, 1998; Crofu *et al.*, 2003), 而这些锆石的 Th/U 比值在

0.68 ~ 2.33 之间, 应属于岩浆成因 (吴元保和郑永飞, 2004). 另外 2 颗锆石显示 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 73.0 Ma 和 56.9 Ma, 推测前者为岩浆上升或就位过程中捕获围岩 (桑日群) 的锆石, 后者可能与后期构造岩浆活动有关.

年波组样品 D1253/38-1 共测定 6 颗锆石 9 个数据点, 从阴极发光图像 (图 3b) 可见, 所有锆石均显示岩浆振荡环带, Th/U 比值为 0.98 ~ 1.78 之间, 反映岩浆锆石成因特征. 除测点 01 (锆石核部) 年龄较大 (64.3 Ma) 和测点 05 (锆石边缘) 年龄较小 (45.9 Ma) 外, 7 个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分布在 57.6 ~ 62.1 Ma 之间, 投点均落在谐和线上或附近, 其加权平均值为 $59.7 \pm 1.8 \text{ Ma}$ (2σ ; MSWD=1.5), 代表母岩成岩年龄.

帕那组样品 D1195/1 的锆石颗粒的 Th/U 比值在 0.59 ~ 1.44 之间, 结合锆石晶体构造特征 (图 3c), 应为典型岩浆成因. 13 颗锆石 15 个数据点的分析结果显示, 其测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分布在 46.6 ~ 52.0 Ma 之间, 其中 14 个点落在谐和线上及其附近, 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的加权平均年龄为 $48.9 \pm 0.8 \text{ Ma}$ (2σ ; MSWD=1.5), 代表火山岩的成岩年龄.

4 地球化学

笔者对林子宗群火山岩 11 件样品进行主量元素分析, 9 件样品进行微量元素分析, 3 件同时进行了 Sr-Nd 同位素测试, 结果见表 3.

4.1 主量元素地球化学特征

典中组样品的 SiO_2 含量为 61.31% ~ 76.92%, 平均为 72.36%; Al_2O_3 平均含量为

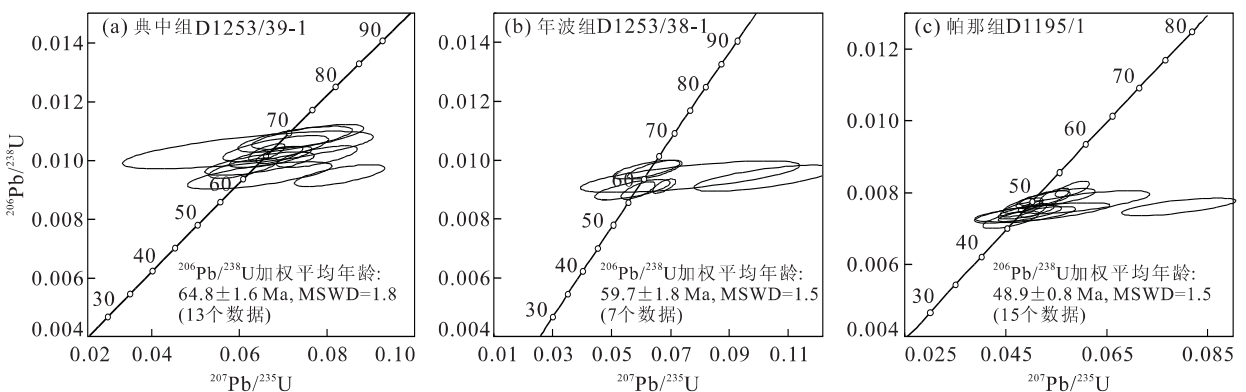


图 2 研究区林子宗群火山岩锆石 U-Pb 谐和图解

Fig. 2 Zircon U-Pb concordian diagrams of Linzizong Group volcanic rocks in the study area

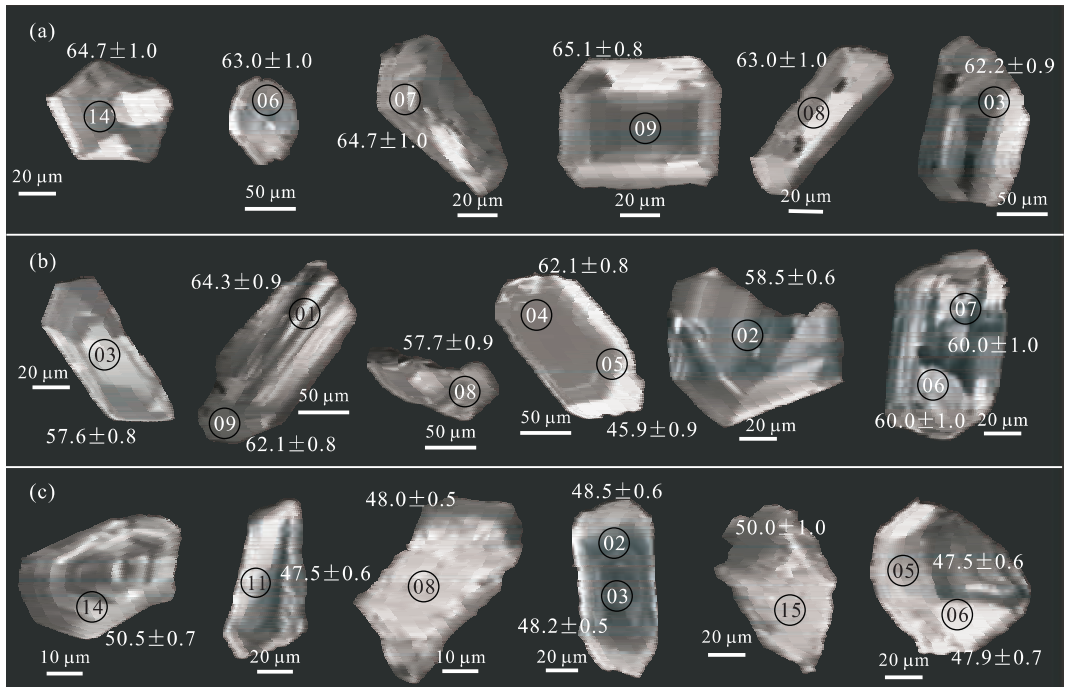


图 3 研究区林子宗群火山岩锆石阴极发光图像

Fig. 3 Cathodoluminescence images of zircons from Linzizong Group volcanic rocks in the study area
a. 典中组样品 D1253/39-1; b. 年波组样品 D1253/38-1; c. 帕那组样品 D1195/1; 图中年龄值单位为 Ma

13.58%; 全碱 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 平均含量为 6.35%; K_2O 平均含量为 2.95%; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 平均比值为 0.95, 铝饱和指数 A/CNK 为 0.92~1.36, 具有偏铝质—过铝质岩石特点。在 $\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 图中(图 4a), 岩石成分主要落在流纹岩区域, 仅样品 L01/1G 落在安山岩与粗面安山岩界线上。在 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ 图中(图 4b), 样品投点落在钙碱性岩区及钙碱性岩和高钾钙碱性界线上, 总体类似大陆边缘弧火山岩特征。

年波组样品 SiO_2 含量 72.09%~76.17%, 平均为 74.21%; Al_2O_3 平均含量 12.74%, 全碱 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 和 K_2O 平均含量较高, 分别为 7.79%、4.44%; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值平均 1.32。岩石成分投点属于流纹岩类(图 4a)和高钾钙碱性岩系列(图 4b)。 A/CNK 为 1.02~1.18, 具有过铝质—强过铝质岩石特点, 说明地壳物质对岩浆作用影响强烈。

帕那组样品 SiO_2 含量 69.58%~77.63%, 平均为 73.72%; Al_2O_3 平均含量 13.13%; 全碱 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 和 K_2O 最高, 平均含量分别为 8.60% 和 5.51%; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 平均比值达 1.81。 A/CNK 为 0.94~1.23, 具有偏铝质—强过铝质岩石特点。在 $\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 图中(图 4a), 岩石成分落在流纹岩区域; 在 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ 图中(图 4b), 分别落在高

钾钙碱性岩区和钾玄岩区。钾玄岩的出现是陆内岩浆作用的重要标志。

4.2 稀土和微量元素地球化学特征

样品稀土和微量元素测试结果见表 3。

林子宗群火山岩的稀土元素含量总体偏高 ($\Sigma\text{REE} = 158.9 \sim 308.4 \mu\text{g/g}$), 变化范围大; 轻稀土富集, 分馏明显; 重稀土亏损, 分馏不明显 ($\text{LREE}/\text{HREE} = 2.69 \sim 6.49$), $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 6.69 \sim 18.69$ 。典中组的 $\Sigma\text{REE} = 169.0 \sim 177.1$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 7.92 \sim 10.31$, $\text{LREE}/\text{HREE} = 3.14 \sim 3.47$, 利用球粒陨石标准化(Sun and McDonough, 1989)获得稀土配分曲线(图 4c)向右倾斜, 具中等负 Eu 异常, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.42$ 。年波组的 $\Sigma\text{REE} = 158.9 \sim 308.4$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 6.69 \sim 12.15$, $\text{LREE}/\text{HREE} = 2.69 \sim 4.03$, 稀土配分曲线向右倾斜, 具中等—强烈的负 Eu 异常, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.13 \sim 0.54$ 。帕那组的 $\Sigma\text{REE} = 166.9 \sim 253.5$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 和 LREE/HREE 比前两组要高, 平均比值分别为 13.46 和 4.77; 稀土配分曲线向右倾斜, 以 Eu 为界左陡右缓, 具中等的负 Eu 异常($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.23 \sim 0.63$)。

林子宗群 3 组火山岩样品微量元素原始地幔标准化(Sun and McDonough, 1989)蛛网图(图 4d)总体特征较为相似, 显示“多峰多谷(槽)”的形态。与原

表 3 研究区林子宗群火山岩样品主量元素(%)、微量元素($\mu\text{g/g}$)含量和 Sr-Nd 同位素组成

Table 3 Major, trace element and Sr-Nd isotope compositions of samples from Linzizong group volcanic rocks in the study area

组名样号	典中组				年波组				帕那组			
	D1032/1	D1253/39-1	L01/1G	L02/1G	D1253/38-1	D1240/1	D1251/12-1	D1250/1-1	D0988/1	D1039/1	D1195/1	
SiO ₂	76.92	76.73	61.31	72.52	76.17	72.09	74.36	69.58	71.72	75.95	77.63	
TiO ₂	0.16	0.14	1.05	0.31	0.13	0.23	0.11	0.37	0.26	0.15	0.11	
Al ₂ O ₃	12.70	11.67	15.89	14.06	12.35	13.15	12.72	14.69	13.76	12.27	11.81	
MnO	0.02	0.04	0.16	0.12	0.02	0.07	0.02	0.04	0.06	0.03	0.07	
MgO	0.31	0.25	0.64	0.35	0.19	0.67	0.08	0.63	0.29	0.21	0.13	
CaO	0.32	1.04	4.23	2.47	0.29	1.21	0.43	0.57	1.07	0.89	0.20	
Fe ₂ O ₃	0.57	1.37	5.58	1.47	1.27	0.57	1.48	3.13	1.93	0.66	0.78	
FeO	0.92	0.37	2.75	0.68	0.43	1.73	0.42	0.22	0.25	0.33	0.18	
Na ₂ O	3.54	2.43	4.47	3.14	3.22	3.31	3.51	2.62	3.02	3.27	3.46	
K ₂ O	2.68	3.74	2.04	3.35	4.26	3.60	5.46	6.11	5.57	5.54	4.80	
P ₂ O ₅	0.04	0.03	0.36	0.07	0.03	0.06	0.02	0.08	0.07	0.03	0.03	
H ₂ O ⁺	1.49	1.37	1.23	1.10	1.30	1.56	1.11	1.64	1.14	0.32	0.54	
CO ₂	0.14	0.64	0.10	0.12	0.10	0.73	0.14	0.08	0.69	0.20	0.12	
Total	99.81	99.82	99.81	99.76	99.76	99.79	99.86	99.76	99.83	99.85	99.86	
Na+K	6.22	7.48	7.69	6.51	6.49	6.91	8.97	8.73	8.59	8.81	8.26	
K/Na	0.76	1.54	0.46	1.07	1.32	1.09	1.56	2.33	1.84	1.69	1.39	
A/CNK	1.36	1.17	0.92	1.06	1.18	1.14	1.02	1.23	1.06	0.94	1.05	
La	29.60	30.49			26.66	35.35	61.98	48.49	56.34	50.02	30.25	
Ce	58.77	61.90			52.03	63.73	113.1	88.05	99.54	82.47	60.16	
Pr	7.70	7.59			6.57	7.85	13.86	11.07	11.37	9.13	7.52	
Nd	28.35	27.83			24.52	29.52	48.34	39.00	37.89	29.02	24.84	
Sm	6.04	5.72			5.34	5.62	9.43	7.45	6.67	4.56	4.87	
Eu	0.78	0.76			0.67	0.97	0.38	1.46	0.87	0.60	0.34	
Gd	5.08	5.21			5.12	5.09	7.83	6.34	5.19	3.36	4.15	
Tb	0.84	0.88			0.86	0.84	1.27	0.99	0.84	0.54	0.71	
Dy	4.80	4.95			5.02	4.93	7.22	5.46	4.65	2.96	4.24	
Ho	0.91	0.98			0.97	0.99	1.39	1.06	0.94	0.60	0.85	
Er	2.44	2.77			2.77	2.86	3.91	3.05	2.63	1.75	2.55	
Tm	0.36	0.44			0.43	0.46	0.59	0.48	0.41	0.30	0.42	
Yb	2.06	2.76			2.86	2.92	3.66	3.11	2.50	1.92	2.79	
Lu	0.28	0.39			0.38	0.43	0.52	0.46	0.36	0.29	0.42	
Y	21.02	24.41			24.67	25.10	34.93	26.91	23.33	15.37	22.81	
ΣREE	169.0	177.1			158.9	186.7	308.4	243.4	253.5	202.9	166.9	
Eu/Eu*	0.42	0.42			0.39	0.54	0.13	0.63	0.44	0.45	0.23	
LREE/HREE	3.47	3.14			2.69	3.28	4.03	4.09	5.21	6.49	3.29	
(La/Yb) _N	10.31	7.92			6.69	8.68	12.15	11.18	16.17	18.69	7.78	
Sc	8.4	7.0			6.1	7.4	5.0	7.0	3.8	3.0	3.2	
V	16.4	15.9			13.8	29.6	13.7	32.6	18.4	10.1	5.3	
Cr	2.2	3.6			5.5	8.0	2.9	3.0	3.0	2.2	2.4	
Co	1.8	2.6			2.7	3.2	1.5	4.4	3.4	2.2	0.76	
Rb	132	163			162	176	184	137	226	182	183	
Sr	145	82.7			80.7	150	65.8	147	149	72.9	55.2	
Zr	131	116			130	156	255	284	202	102	189	
Nb	8.9	7.6			8.6	8.1	16.8	13.0	16.1	11.0	18.0	
Ba	591	620			740	724	107	1035	561	370	173	
Hf	4.1	3.1			4.7	4.9	7.1	6.7	6.1	3.1	4.7	
Ta	0.72	0.68			0.75	0.74	1.4	1.1	1.5	1.0	1.5	
Pb	22.0	19.1			105	18.3	34.8	33.3	24.7	29.2	41.2	
Th	16.3	14.6			12.2	13.5	18.7	22.1	28.7	20.8	18.4	
U	1.7	1.6			1.8	1.0	3.7	2.7	3.1	2.7	3.5	
Rb/Sr	0.91	1.99			2.01	1.17	2.80	0.93	1.52	2.50	3.32	
I _{Sr}					0.709 33			0.704 87			0.705 43	
I _{Nd}					0.512 14			0.512 34			0.512 51	
ε _{Nd} (t)					-8.14			-4.39			-1.19	

始地幔相比,富集强不相容元素 Rb、Th、U,具有明显的高场强元素 Nb-Ta 槽和 Ti、Sr、Ba 谷特点。晚期帕那组与早期典中组相比,高场强元素 Sr、Ba 谷

不断加深,蛛网曲线的总体斜率和峰谷反差逐渐加大。Rb/Sr 比值,典中组(0.91~1.99,平均1.45)、年波组(1.17~2.80,平均1.99)和帕那组(0.93~

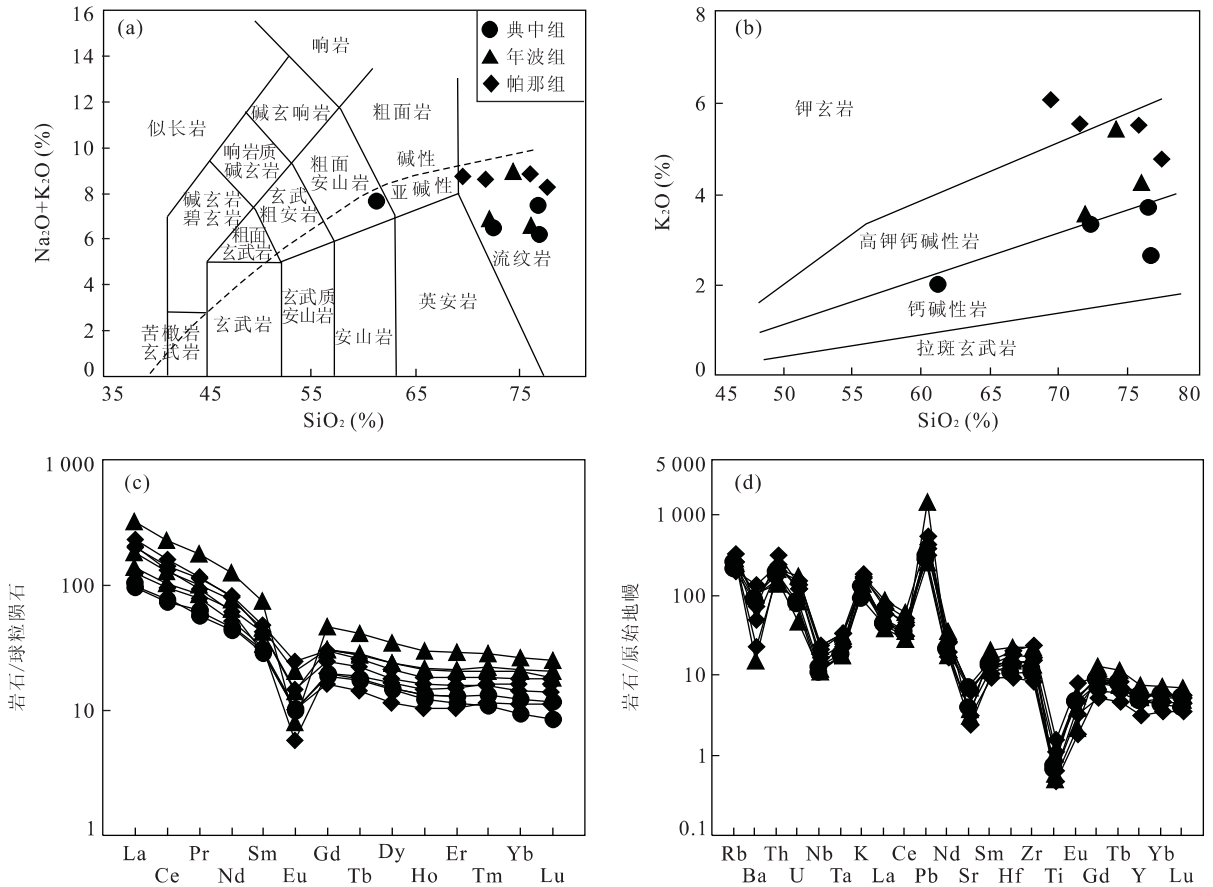


图 4 研究区林子宗群火山岩地球化学图解(a 据 Le Bas *et al.*, 1986; b 据 Rickwood, 1989; c,d 据 Sun and McDonough, 1989)
Fig. 4 Classification of Linzizong Group volcanic rocks in the study area

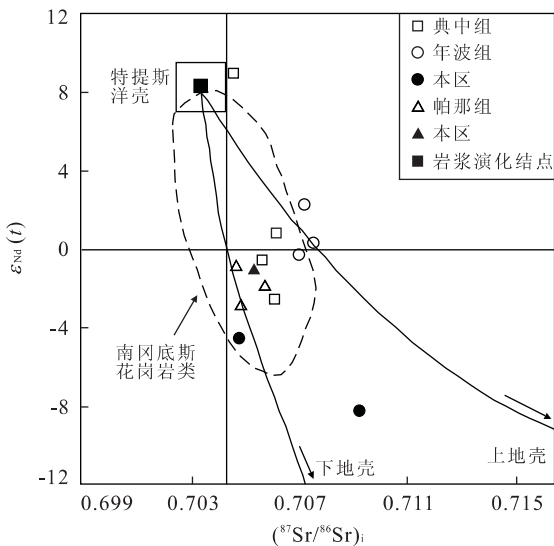


图 5 林子宗群火山岩 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i - \epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 图

Fig. 5 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i - \epsilon_{\text{Nd}}(t)$ plot of Linzizong Group volcanic rocks
空心图例引自 Mo *et al.*, 2008; 实心图例为本次研究数据

4.3 Sr-Nd 同位素地球化学特征

本次研究测试了 2 件年波组样品(D1253/38-1, D1251/12-1)和 1 件帕那组样品(D1195/1), 其 Sr-Nd 同位素分析结果列于表 3. 初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (I_{Sr}) 分别以 59.6 Ma (年波组) 和 48.8 Ma (帕那组) 计算. Sr 的含量 $55.2 \times 10^{-6} \sim 80.7 \times 10^{-6}$, 初始比值 $0.70487 \sim 0.70933$; Nd 的含量 $24.52 \times 10^{-6} \sim 48.34 \times 10^{-6}$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 变化大, 介于 $-8.14 \sim -1.19$ 之间, 岩浆代表以地壳有关物质来源. 在 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i - \epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 图中(图 5), 年波组样品 D1251/12-1 投入南冈底斯花岗岩区, 样品 D1253/38-1 投点在该区域外右下方, 帕那组的 D1195/1 的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i - \epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值与林周盆地同位素结果接近.

5 讨论

5.1 火山岩的形成时代

对于冈底斯岩浆岩带的林子宗群火山岩时代, 前人进行了大量的研究, 确定火山岩活动时代均为

3.32, 平均 2.07) 依次增大, 表明陆壳岩浆物源逐渐增多和陆壳重熔作用影响逐渐加强的特征.

古新世—始新世 (Coulon *et al.*, 1986; 周肃等, 2001, 2004; 董国臣等, 2005; 李皓扬等, 2007), 包含 3 个旋回, 即早期典中旋回、中期年波旋回和晚期帕那旋回 (莫宣学等, 2003). 周肃等 (2004) 利用 Ar-Ar 法对冈底斯东部林周盆地林子宗群火山岩进行了系统测年, 提出了林子宗群火山岩年代格架, 即典中组为 64.4~60.5 Ma、年波组为 54.1 Ma, 帕那组为 48.9~43.9 Ma.

本文所分析的 3 件样品中, 样品 D1253/39-1 来自与年波组接触带附近的典中组内含岩屑晶屑凝灰岩中, 其 U-Pb 年龄为 64.8 ± 1.6 Ma, 代表该火山岩的形成时代, 与冈底斯东段相比较, 样品 D1253/39-1 的 U-Pb 年龄与林周盆地典中组底部玄武安山岩最老的 Ar-Ar 坪年龄 64.43 ± 0.57 Ma (周肃等, 2004) 近一致, 接近于 K/T 界线年龄 (65.5 Ma; Gradstein *et al.*, 2004), 大于李皓扬等 (2007) 报道的典中组底部不整合面上火山岩锆石 U-Pb 年龄 62.5 ± 1.1 Ma. 样品 D1253/38-1 的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 59.7 ± 1.8 Ma, 代表了年波组底部英安质晶屑玻屑凝灰岩成岩年龄, 大于林周盆地年波组下段流纹质熔结凝灰岩 U-Pb 年龄 56.4 ± 1.2 Ma (李皓扬等, 2007) 和年波组上段玄武安山岩 Ar-Ar 等时线年龄 54.07 ± 0.49 Ma (周肃等, 2004), 因此代表中期帕那火山旋回起始时间. 该样品采自实测昂仁县烈巴乡剖面 (图略) 第 38 层, 与下伏典中组 (第 39 层) 呈小角度不整合接触, 为年波组底部层位. 因此, 我们认为这个年龄可代表本地区年波火山旋回的起始时间. 采自帕那组下部的样品 D1195/1 的锆石 U-Pb 年龄为 48.9 ± 0.8 Ma, 与林周盆地帕那组的下限年龄 48.9 Ma 相当, 指示母岩流纹质玻屑晶屑凝灰岩形成于帕那火山旋回早期.

对于同位素定年来讲, 锆石的年龄一般早于 Ar-Ar 测定的年龄, 因为含 K 矿物或者全岩的 K-Ar 或者 Ar-Ar 封闭时间要晚于锆石, 应有 1~2 Ma 以上的时间差距. 本次定年与前人资料对比, 所得出的林子宗群火山岩的锆石 U-Pb 年龄, 比相邻的谢通门地区典中组、年波组和帕那组同位素 K-Ar 年龄^② (分别为 60~51 Ma、51 Ma 和 39.5~44.4 Ma) 要早 3~7 Ma. 中期年波火山旋回的起始时间应为古新世晚期 (59.6 Ma).

5.2 物源分析及构造环境

林子宗群火山岩早期 (典中组) 以偏基性火山岩

为主, 夹少量流纹质火山岩, 晚期 (帕那组) 以长英质火山岩为主. 本次分析 11 件样品, 除 L01/1G 为安山岩外, 其他均为流纹岩或相应火山碎屑岩 (图 4a). 地球化学分析表明, 林子宗群火山岩样品的轻稀土富集, 分馏明显; 重稀土亏损, 分馏不明显, 在稀土元素分配曲线上都不同程度出现负 Eu 异常 ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.13 \sim 0.66$), 说明基性岩浆的结晶分异作用在火山岩中起到一定作用 (莫宣学等, 2003; 贾建称等, 2005; 李再会等, 2008). 该火山岩具有的钾质 (高钾钙碱性或钾玄岩质)、铝过饱和—铝强过饱和, 以及较高同位素 Sr 初始值和负的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值, 则反映了陆壳重熔的源岩特点. 在 Othman *et al.* (1989) 提出 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} - (\text{Ba}/\text{La})_{\text{N}}$ 图解中, 样品的成分投点均落在深海沉积物区域或附近 (图 6a), 反映了岩浆中有深海沉积物参与. 因此, 火山岩物源应是以俯冲带地幔源区基性分异岩浆和陆壳重熔的酸性岩浆按不同比例混合而成, 同时有深海沉积物存在. 从 3 组的 Rb/Sr (平均为 1.45, 1.99, 2.07)、 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ (平均为 9.12, 9.17, 13.40) 和 LREE/HREE (平均 3.31, 3.33, 4.77) 依次增大, 以及图 6a 的投点分布来看, 典中组、年波组到帕那组, 火山岩物源陆壳重熔岩浆比例逐渐增大, 基性分异岩浆和深海沉积物组分比例相对减小.

花岗岩地球化学特征主要反映其源区性质, 也可提供构造环境方面的信息. 一般造山带环境 (包括岛弧、活动大陆边缘等挤压构造环境) 以钙碱性系列火山岩常见. 而稳定区 (包括大陆、大洋及洋中脊等拉张构造环境) 主要发育拉斑玄武岩、碱性玄武岩系列岩石. 俯冲带内钾玄岩的出现是大洋岩石圈俯冲结束、陆内汇聚开始的岩石学标志 (邓晋福等, 1996). 强过铝质岩石常反映出地壳增厚特点, Nb、Ta 和 Ti 元素亏损在一定程度上显示出与俯冲作用有关的火成岩地球化学特点 (Zhao *et al.*, 2001), 也是碰撞—后碰撞火山岩的特点 (Turner *et al.*, 1996; Miller *et al.*, 1999; Ding, 2003; 赵志丹等, 2006).

地球化学分析表明, 本区早中期典中组和年波组由偏基性火山岩与酸性火山岩组成, 属钙碱性—高钾钙碱性岩石 (图 4b). 铝饱和度较高 ($\text{A}/\text{CNK} = 0.92 \sim 1.36$, 平均 1.12), Nb、Ta 和 Ti 元素亏损, 在微量元素 (Y+Nb)-Rb 图解上, 全部落入火山弧区域, 这些反映它们形成于俯冲作用的岛弧环境. 帕那组主要由紫红色流纹岩、熔结凝灰岩和酸性火山凝

^② 西藏自治区区域地质调查大队, 1998. 1: 200000 谢通门幅、南木林幅区域地质调查报告.

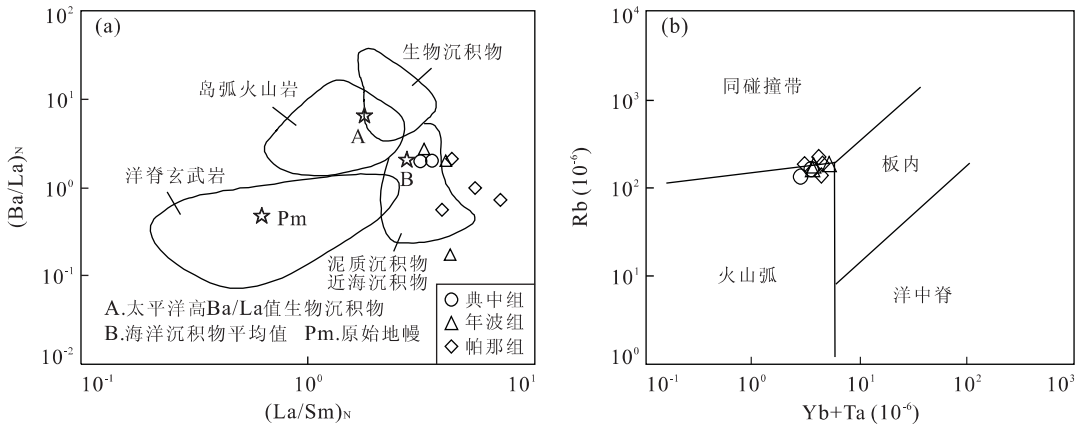


图 6 研究区林子宗群火山岩 $(La/Sm)_N$ - $(Ba/La)_N$ 和 $(Yb+Ta)$ - Rb 图解(a 据 Othman *et al.*, 1989; b 据 Pearce *et al.*, 1984)

Fig. 6 $(La/Sm)_N$ - $(Ba/La)_N$ and $(Yb+Ta)$ - Rb diagrams for Linzizong Group volcanic rocks in the study area

灰岩组成, K_2O 含量(平均 5.51%)、 K_2O/Na_2O (平均 1.81)均比典中组、年波组高,在图 6b 中,除样品 D1250/1-1 投在近同碰撞带的火山弧区外,其他投点均在同碰撞带区域,显示同碰撞火山岩属性,表明它们的形成与碰撞构造环境有关。

5.3 构造意义

从上述讨论可知,林子宗群早期火山岩活动时代不应代表印—亚陆块主碰撞时间。事实上,典中组以钙碱性系列偏基性的火山岩为主,其地球化学特征与岛弧火山岩相似(莫宣学等 2005;李再会等, 2008),也和附近的桑日群火山岩类似,可解释为特提斯洋壳俯冲作用的产物。年波组火山活动减弱,沉积夹层增多,出现大量高钾钙碱性岩系列火山岩为主,可反映特提斯洋板块逐渐消失殆尽,岛弧火山活动减弱的过程。帕那组厚度大,火山活动强烈,以单一的钾玄岩质过铝酸性火山岩组合为主,显示同碰撞带火山岩属性(图 6b),反映板块碰撞过程。因此,新特提斯完全消亡,印—亚陆块主碰撞时间应在 48.9 Ma 之前和年波火山旋回之后,大约 50 Ma。区域上,雅鲁藏布缝合带登岗组含蛇绿质混杂岩组合^③(张克信等, 2007; Zhang *et al.*, 2008)表明古近纪早期洋壳依然存在;Phillippe and Jose(1984)提出古地磁记录在 50 Ma 左右,印度板块向欧亚板块运动的速率由 15~25 cm/a 突然降低至 36 Ma,形成新的恒定速度约 4 cm/a;在萨嘎地区发现古新世和始新世早期深水相放射虫动物群(Ding, 2003),以及其他方面证据(Beck *et al.*, 1995;贾建称等, 2005;李皓扬等, 2007; Royden *et al.*, 2008;夏斌

等, 2008)也都证明了雅鲁藏布缝合带闭合以及板块碰撞的时间为 50 Ma 左右。

另一些地质现象则表明印度与亚洲大陆碰撞开始时间为 65 Ma,如林子宗群火山岩底部与晚白垩世设兴组(K_2sh)及其他老地层间存在区域性角度不整合,林子宗群火山岩的 3 个组之间尚未发现明显的区域不整合,岩浆作用与构造作用间的“滞后性”(莫宣学等, 2001),碰撞后 10~15 Ma 可能继续出现岛弧型岩浆作用等。但是,如果把林子宗火山活动开始时间仅看作藏南某些地段陆陆碰撞开始时间,仍然存在残余洋盆和洋壳俯冲,而 50 Ma 左右的主碰撞看作洋壳消失和大规模陆块间的对接,50~40 Ma 的海相记录可能类似现在的地中海沉积环境,也是可以接受的。

6 结论

(1)朱诺地区林子宗群典中组上部、年波组底部和帕那组下部的火山岩锆石 U-Pb 年龄分别为 64.8 ± 1.6 Ma、 59.7 ± 1.8 Ma 和 48.9 ± 0.8 Ma,证实了这些火山岩形成时代属于古新世—始新世,同时为火山活动的典中旋回、年波旋回和帕那旋回的时限提供了新的年龄资料。

(2)地球化学特征表明,本区典中组和年波组由偏基性火山岩与酸性火山岩组成,属钙碱性—高钾钙碱性岩石,以过铝质为主,形成于特提斯洋壳俯冲作用下的岛弧环境。帕那组出现大量钾玄岩质火山岩,形成于印—亚大陆碰撞构造环境,属于同碰撞火山岩。

(3)本文所研究帕那组下部火山岩锆石 U-Pb

^③ 河北省地质调查院, 2002. 1: 250000 萨嘎(H45C003001)、桑桑区(H45C003001)、吉隆县幅(H45C003001)区域地质调查报告。

年龄为 48.9 Ma, 根据一般碰撞开始时间略早于同碰撞火山岩活动时间, 结合区域地质资料, 我们认为新特提斯洋最终关闭及印度—亚洲陆块主碰撞的时间应该为 50 Ma 左右。

致谢: 参加野外工作的还有西藏第二地质大队的刘晓峰工程师、巴桑工程师、加措工程师和中国地质大学(武汉)魏启荣教授等, 岩石薄片由中国地质大学(武汉)黄思骥教授鉴定, 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室凌文黎教授、刘勇胜教授等专家给予了指导, 在此作者对他们表示感谢。

References

- Andersen, T., 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192 (1-2): 59-79.
- Beck, R. A., Burbank, D. W., Sercombe, W. J., et al., 1995. Stratigraphic evidence for an early collision between Northwest India and Asia. *Nature*, 373(6509): 55-58.
- 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.
- Crofu, F., Hanchar, J. M., Hoskin, P. W. O., et al., 2003. Atlas of zircon textures. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53: 469-500.
- Deng, J. F., Zhao, H. L., Mo, X. X., et al., 1996. Continental root-plume tectonics of China—key to the continental dynamics. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Ding, L., 2003. Paleocene deep-water sediments and radiolarian faunas: implications for evolution of Yarlung-Zangbo foreland basin, southern Tibet. *Science in China (Series D)*, 46(1): 84-96.
- 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 Lhünzhub basin, northern Lhasa, Tibet, China. *Geological Bulletin of China*, 24 (6): 549-557 (in Chinese with English abstract).
- Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Smith, A. G., 2004. A geologic time scale 2004. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 384.
- Hacker, B. R., Ratsbacher, L., Webb, L., et al., 1998. U/Th zircon ages constrain the architecture of the ultra-high-pressure Qinling-Dabie orogen, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 161(1-4): 215-230.
- Jia, J. C., Wen, C. S., Wang, G. S., et al., 2005. Geochemical characteristics and geodynamic significance of the Linzizong Group volcanic rocks in the Gangdise area. *Geology in China*, 32(3): 396-404 (in Chinese with English abstract).
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., et al., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27(3): 745-750.
- Lee, H. Y., Chung, S. L., Wang, Y. B., et al., 2007. 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. *Acta Petrologica Sinica*, 23(2): 493-500 (in Chinese with English abstract).
- 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 Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 27(1): 20-27 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H. F., 1993. Division of Linzizong volcanic rock system and belong to time in Lhasa area. *Tibet Geology*, 2: 59-69 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. S., Hu, Z. C., Zong, K. Q., et al., 2008. Simultaneous determinations of U-Pb age and trace element compositions of zircon by LA-ICP-MS at small spot sizes. *Geostandards and Geoanalytical Research*, (in Press).
- Ludwig, K. R., 2001. Users manual for Isoplot/Ex (rev. 2.49): a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication, La, 55p.
- Maniar, P. D., Piccoli, P. M., 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of the America Bulletin*, 101: (5)635-643.
- Miller, C., Schuster, R., Klotzli, U., et al., 1999. Post-collisional potassic and ultrapotassic magmatism in SW Tibet: geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis. *Journal of Petrology*, 40(9): 1399-1424.
- Mo, X. X., Deng, J. F., Dong, F. L., et al., 2001. Volcanic petrotectonic assemblages in Sanjiang orogenic belt, SW China and implication for tectonics. *Geological Journal of China Universities*, 7(2): 121-138 (in Chinese with English abstract).
- Mo, X. X., Dong, G. C., Zhao, Z. D., et al., 2005. Spatial and temporal distribution and characteristics of granitoids in the Gangdise, Tibet and implication for crustal growth and evolution. *Geological Journal of China Universities*, 11(3): 281-290 (in Chinese with English abstract).

- stract).
- 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(1–4): 49–67.
- Mo, X. X., Pan, G. T., 2006. From the Tethys to the formation of the Qinghai-Tibet plateau; constrained by tectonic-magmatic events. *Earth Science Frontiers*, 13(6): 43–51 (in Chinese with English abstract).
- 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., 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., 2009. On the lithosphere of Indo-Asia collision zone in southern Tibet; petrological and geochemical constraints. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 34(1): 17–27 (in Chinese with English abstract).
- Othman, D. B., White, W. M., Patchett, J., 1989. The geochemistry of marine sediment, island arc magma genesis and crust-mantle recycling. *Earth and Planetary Science Letters*, 94(1–2): 1–21.
- Pan, G. T., Ding, J., Yao, D. S., et al., 2004. Geological map of Qinghai-Xizang (Tibetan) plateau and adjacent areas (1 : 1500000). Chengdu Ariographic Publishing House, Chengdu (in Chinese).
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W., Tindle, A. G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25(4): 956–983.
- Phillippe, P., Jose, A., 1984. India-Eurasia collision chronology has implications for crustal shortening and driving-mechanism of plates. *Nature*, 311(5987): 615–621.
- Rickwood, P. C., 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos*, 22(4): 247–263.
- Rowley, D. B., Xue, F., Tucker, R. D., et al., 1997. Ages of ultra-high pressure metamorphic and source orthogneisses from the eastern Dabie Shan; U/Th zircon geochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 151(3): 191–203.
- Royden, L. H., Buchfiel, B. C., vander Hilst, R. D., 2008. The geological evolution of the Tibetan plateau. *Science*, 321(5892): 1054–1058.
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. *Geological Society Special Publications*, 42: 313–345.
- Turner, S., Arnaud, N., Liu, J., et al., 1996. Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan plateau; implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts. *Journal of Petrology*, 37(1): 45–71.
- Wu, Y. B., Zheng, Y. F., 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589–1604 (in Chinese).
- Xia, B., Li, J. F., Zhang, Y. Q., et al., 2008. SHRIMP zircon U-Pb dating of granites in Maila, west of the Gangdise belt, southern Tibet and its geological implication. *Geotectonica et Metallogenia*, 32(2): 243–246 (in Chinese with English abstract).
- Xiong, X., Wang, J. Y., Teng, J. W., 2007. Deep mechanical background for the Cenozoic volcanism in the Tibetan plateau. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(1): 1–6 (in Chinese with English abstract).
- Yuan, H. L., Gao, S., Liu, X. M., et al., 2004. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28(3): 353–370.
- Zhang, K. X., Wang, G. C., Cao, K., et al., 2008. Cenozoic sedimentary records and geochronological constraints of differential uplift of the Qinghai-Tibet plateau. *Science in China (Series D)*, 51(11): 1658–1672.
- Zhang, K. X., Wang, G. C., Chen, F. N., et al., 2007. Coupling between the uplift of Qinghai-Tibet plateau and distribution of basins of Paleogene-Neogene. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(5): 583–597 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. Q., Ling, W. L., Li, F. L., 2008. Element and Sr-Nd isotopic mobility during weathering process of the Nanhuaian-Cambrian sedimentary strata in the eastern Three Gorges and its geochemical implication. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 33(3): 301–312 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z. D., Mo, X. X., Nomand, S., 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).

- Zhao, Z. D., Mo, X. X., Zhang, S., et al., 2001. Post-collisional magmatism in Wuyu basin, central Tibet: evidence for recycling of subducted Tethyan oceanic crust. *Science in China (Series D)*, 44 (Suppl.): 27-34.
- Zheng, Y. Y., Zhang, G. Y., Xu, R. K., et al., 2007. Rock-forming and ore-forming age of Gangdise porphyry copper deposit in Zhunuo, Tibet. *Chinese Science Bulletin*, 52(21): 2542-2548 (in Chinese).
- Zhou, S., Fang, N. Q., Dong, G. C., et al., 2001. Argon dating on the volcanic rocks of the Linzizong Group, Tibet. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 20(4): 317-319 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, S., Mo, X. X., Dong, G. C., et al., 2004. ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology of Cenozoic Linzizong volcanic rocks from Linzhou basin, Tibet, China, and their geological implications. *Chinese Science Bulletin*, 49(20): 2095-2103 (in Chinese).

附中文参考文献

- 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等, 1996. 中国大陆根—柱构造——大陆动力学的钥匙. 北京: 地质出版社.
- 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.
- 贾建称, 温长顺, 王根厚, 等, 2005. 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. *中国地质*, 32(3): 396-404.
- 李皓扬, 钟孙霖, 王彦斌, 等, 2007. 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. *岩石学报*, 23(2): 493-500.
- 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.
- 刘鸿飞, 1993. 拉萨地区林子宗火山岩系的划分和时代归属. *西藏地质*, 2: 59-69.
- 莫宣学, 邓晋福, 董方浏, 等, 2001. 西南三江造山带火山岩—构造组合及其意义. *高校地质学报*, 7(2): 121-138.
- 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 等, 2005. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息. *高校地质学报*, 11

(3): 281-290.

- 莫宣学, 潘桂棠, 2006. 从特提斯到青藏高原形成: 构造—岩浆事件的约束. *地学前缘*, 13(6): 43-51.
- 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, 周肃, 等, 2007. 印度—亚洲大陆碰撞的时限. *地质通报*, 26(10): 1240-1244.
- 莫宣学, 赵志丹, 朱弟成, 等, 2009. 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—中国地质大学学报*, 34(1): 17-27.
- 潘桂棠, 丁俊, 姚冬生, 2004. 青藏高原及邻区地质图(1: 1500000)及说明书. 成都: 成都地图出版社.
- 吴元保, 郑永飞, 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. *科学通报*, 49(16): 1589-1604.
- 夏斌, 李建峰, 张玉泉, 等, 2008. 藏南冈底斯带西段麦拉花岗岩锆石 SHRIMP 定年及地质意义. *大地构造与成矿学*, 32(2): 243-246.
- 熊熊, 王继业, 滕吉文, 2007. 青藏高原新生代火山活动的深部力学背景. *地球科学—中国地质大学学报*, 32(1): 1-6.
- 张克信, 王国灿, 陈奋宁, 等, 2007. 青藏高原古近纪—新近纪隆升与沉积盆地分布耦合. *地球科学—中国地质大学学报*, 32(5): 583-597.
- 张永清, 凌文黎, 李方林, 2008. 峡东地区南华纪—寒武纪地层风化过程元素及 Sr-Nd 同位素演化特征及其地球化学意义. *地球科学—中国地质大学学报*, 33(3): 301-312.
- 赵志丹, 莫宣学, Nomand, S., 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.
- 郑有业, 张刚阳, 许荣科, 等, 2007. 西藏冈底斯朱诺斑岩铜矿床成岩成矿时代约束. *科学通报*, 52(21): 2542-2548.
- 周肃, 方念乔, 董国臣, 等, 2001. 西藏林子宗群火山岩的氩—氩年代学研究. *矿物岩石学地球化学通报*, 20: 317-319.
- 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.