文章编号:1009-3850(2016)03-0016-09

# 藏南马扎拉地区玄武岩地球化学特征、成因及其地质意义

# 董 磊<sup>1</sup>,李光明<sup>1</sup>,李应栩<sup>1</sup>,代作文<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 2. 成都理工大学地球科学学院,

四川 成都 610059)

摘要: 西藏东南部特提斯喜马拉雅带东段的遮拉组( $J_2z$ )中出露有大量的玄武岩,其地球化学特征对了解该地区中侏 罗世的构造背景具有重要意义。本文在详细的野外工作基础上,对发现于马扎拉地区遮拉组的玄武岩进行了地球 化学研究。全岩主量元素及微量元素地球化学特征显示,玄武岩属钙碱性系列,SiO<sub>2</sub>含量为47.50%~50.61%,具有 高钾( $K_2$ O平均为0.61%)、高钛(TiO<sub>2</sub>平均为4.02%)、高磷( $P_2O_5$ 平均为0.52%)等特点;轻、重稀土元素分馏较为 明显( $\sum LREE / \sum HREE = 7.30 ~ 7.58$ ),(La/Yb)<sub>N</sub>比值平均为7.94,富集大离子亲石元素(LILE)如Ba、Th和高场强 元素(HFSE)如Nb、Ta、Zr、Hf,呈现出典型洋岛玄武岩(OIB)的地球化学特性。岩浆源于主要由石榴石橄榄岩组成 的富集地幔发生10%左右部分熔融的产物,岩浆上升过程中未受到明显的地壳混染。结合区域地质资料,初步认为 马扎拉玄武岩应为被动大陆边缘地幔柱或热点的产物。

关 键 词:玄武岩;地球化学;被动大陆边缘;地幔热柱;马扎拉;藏南

中图分类号: P588.14<sup>+</sup>5 文献标识码: A

# 引言

玄武质岩浆多直接来源于上地幔,并可产于多 种构造环境中,研究玄武岩对于反演地幔物质成 分、分析构造环境和地球的深部动力学均具有重大 意义<sup>[1]</sup>。对特提斯喜马拉雅南部玄武岩地球化学 特征方面的研究主要集中在羊卓雍错及哲古错附 近<sup>[2-5]</sup>,其余地段研究程度相对较低。本次研究的 马扎拉地区玄武岩位于藏南拆离系(STDS)以北的 北喜马拉雅构造带(或称特提斯喜马拉雅)南部,该 区域在古堆和哲古错地区发现的辉绿岩等基性岩 脉的锆石 SHRIMP 年龄为 133~140.9Ma<sup>[6-7]</sup>,辉绿 岩脉的地球化学特征显示其可能为早白垩世新特 提斯洋扩张引起喜马拉雅被动大陆边缘一侧裂解 的产物。本文试图在详细的地质调查基础上,通过 对出露在马扎拉地区的玄武岩进行系统的岩石学 和地球化学研究,探讨火山岩形成、演化过程及其 形成的大地构造背景,从岩浆岩方面为特提斯喜马 拉雅南部的地质构造历史研究提供一些佐证。

1 区域地质特征

马扎拉地区处于西藏扎西康整装勘查区西北 角,大地构造位置属北喜马拉雅构造带(或称特提 斯喜马拉雅)东南部,地层分区属于康马-隆子地层 分区(\III4-1)(图1)。

区域上,出露的地层以侏罗系为主,其次为三

收稿日期: 2015-12-30; 改回日期: 2016-03-08

作者简介: 董磊(1988-), 男 助理工程师 研究方向为成矿规律与成矿预测方向。E-mail:donglei890712@126.com

通讯作者: 李光明(1965-) 男 研究员 从事青藏高原区域地质与矿产地质研究。E-mail: edlguangming@ egs. gov. en

资助项目: 国家重点基础发展计划项目(2011CB403105)、中国地质调查局地质调查项目(1212010918033、 12120114050701、12120113036000、12120114068501、12120115022701、12120115022801)和中国地质调查局成 都地质调查中心青年科学基金(所控基 2015-03)联合资助



图 1 西藏措美马扎拉地区大地构造位置图(图 a 据卿成实 $^{[8]}$ ;图  $\mathrm{b}$  据潘桂棠等 $^{[9]}$ *.*修改)

Fig. 1 Tectonic setting of the Mazhala area in Comai, southern Xizang (after Ji Chengshi 2015; modified from Pan Guitang et al. 2013)

叠系和白垩系(图1),由老到新包括:上三叠统涅 如组( $T_3n$ ),为一套浅灰色变质岩屑石英砂岩夹粉 砂质板岩、板岩,局部见薄层泥晶灰岩;下侏罗统日 当组( $J_1r$ ),为一套灰黑色含炭质板岩、深灰色粉砂 质绢云板岩、粉砂岩夹少量浅灰色薄层状泥灰岩, 局部见岩屑石英砂岩;中 - 下侏罗统陆热组( $J_{12}$ l),为深灰色中层状泥晶灰岩夹粉砂岩、粉砂质板 岩,灰岩与板岩常呈互层状产出;中侏罗统遮拉组 ( $J_2z$ ),上部为一套致密块状、杏仁状玄武岩、块状英 安岩,底部为玄武岩、英安岩与变质粉砂岩、板岩成 互层状;上侏罗统维美组( $J_3w$ ),顶部为一套变质细 粒石英砂岩、粉砂质板岩夹粉砂岩,底部为砾岩及 含砾石英砂岩;上侏罗统一下白垩统桑秀组(J<sub>3</sub>K<sub>1</sub> s),以岩屑石英砂岩,粉砂质绢云板岩为主。

在马扎拉地区出露的遮拉组主要为灰黑色粉 砂质板岩,其间夹有规模不等的火山岩。火山岩包 括安山岩、英安岩、英安质凝灰岩、凝灰岩、火山角 砾岩、气孔状玄武岩、熔结凝灰岩等。其中,安山质 火山岩主要发育于遮拉组下部,呈透镜状产出;玄 武质火山岩主要发育于遮拉组上部,在部分地段可 见砾岩、含砾石英砂岩,以及中薄层状砂岩和粉砂 岩互层的维美组底部地层覆盖于玄武岩之上。



图 2 马扎拉玄武岩单偏光(a)及正交偏光(b)显微照片 Fig. 2 Photomicrographs of the basalts from the Mazhala area in Comai, southern Xizang

表1	马扎拉地区玄武岩主量元素分析数据	(wt%)	及相关系数
----	------------------	-------	-------

Table 1 Major element analyses( wt%) for the basalts from the Mazhala area in Comai, southern Xizang

编号	MZL 11	MZL 12	MZL 13	MZL 14	MZL 15	MZL 16
SiO <sub>2</sub>	49.24	48.47	47.5	47.67	50. 61	49.77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.16	12.9	12.92	13.09	13. 52	13.4
$\operatorname{Fe}_2 \operatorname{O}_3$	0. 81	0. 82	0.78	0. 82	0. 87	1.3
FeO	9.64	10. 55	10. 7	10.95	10.06	9.89
CaO	8. 69	8.11	8.46	7. 87	6. 82	7.09
MgO	3. 39	3. 65	3. 93	3. 94	4. 82	4. 97
K2 0	0. 59	0. 47	0.44	0. 48	0. 87	0. 82
Na <sub>2</sub> O	2. 25	2.1	2.08	2. 12	2.03	2.04
TiO <sub>2</sub>	3. 98	3. 94	3.9	3. 98	4. 16	4. 15
$P_2O_5$	0. 52	0. 51	0. 51	0. 52	0. 52	0. 51
MnO	0.11	0.081	0.098	0.094	0.12	0.13
烧失	6. 37	7.06	7.3	7.08	4. 25	4. 63
Total	98.75	98.66	98.62	98.61	98.65	98.70
TFeO	10. 37	11. 29	11.40	11.69	10. 84	11.06
Mg#	36. 82	36. 56	38.06	37. 54	44. 21	44. 48
A. R.	1. 30	1. 28	1. 27	1. 28	1. 33	1. 32

注:TFeO = FeO + 0. 8998\* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;Mg# = molar MgO/(MgO + TFeO); A. R. 一莱特碱度率

## 2 样品采集及测试

样品取自马扎拉地区的玄武岩,采样过程中注 意避开了岩石变质程度较高的地带。主要组成矿 物为斜长石和普通辉石,在显微镜下可见玄武岩呈 间隐结构(图2)。组分以板条状斜长石为主,含量 约60%左右,玻璃质成分约30%左右,普通辉石含 量约5%左右,褐铁矿等金属矿物含量为3%~5%。

常量、微量及稀土元素分析测试在国土资源部 西南矿产资源监督检测中心完成,常量元素分析采 用 AXIOS-X 荧光光谱仪测定,微量、稀土元素分析 采用等离子质谱(Icap Q)完成。分析结果分别列于 表1 及表2 中。

# 3 岩石地球化学特征

## 3.1 主量元素特征

马扎拉矿区玄武岩的主量元素具备以下特征: SiO<sub>2</sub>含量 47.50% ~50.61% ,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量 12.90% ~ 13.52% ,TFeO 含量 10.36% ~11.69% ,CaO 含量 6.82% ~8.69% ,MgO 含量 3.39% ~4.97% ,全碱 (K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)含量 2.52% ~2.90% ,K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 为 0.21 ~0.42 ,TiO<sub>2</sub>和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量含量较为稳定 ,分别为 3.90% ~4.16% 和 0.51% ~0.52% ,MnO 含量为 0.081% ~0.13%。玄武岩碱度率(A.R.)为1.27 ~1.33 ,平均为 1.30; Mg<sup>#</sup>为 36.56 ~44.48 ,平均 为 39.61。 在哈克图解(图 3)上,马扎拉玄武岩的  $P_2O_5$ 、 Na<sub>2</sub>O、MgO、TFeO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与 SiO<sub>2</sub>没有呈明显的线性 关系 SiO<sub>2</sub>只与 K<sub>2</sub>O 有相对明显的线性相关性,这表 明玄武岩在形成过程中岩浆的结晶分异演化并不 明显。

在 TAS 岩石分类(图4a)上,本次研究的样品投 点均落在 Ir 线下的玄武岩区域内;在 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 图 (图4b)上 均落在钙碱性系列中。本次研究的马扎 拉玄武岩应为钙碱性玄武岩。

## 3.2 稀土和微量元素特征

本次研究的马扎拉玄武岩样品的球粒陨石标 准化稀土元素分布模式曲线均向右倾斜(图 5a)。 样品稀土总量为  $\Sigma$ REE = (234. 39 ~ 253. 61) × 10<sup>6</sup>, 稀土总量变化较小,其中  $\Sigma$ LREE = (206. 78 ~ 224. 05) × 10<sup>6</sup>;  $\Sigma$ HREE = (27. 61 ~ 29. 86) × 10<sup>6</sup>, LREE/HREE = 7. 3 ~ 7. 6 ,表明轻重稀土元素分异明 显。玄武岩具有较弱的 Eu 负异常( $\delta$ Eu = 0. 79 ~ 1. 00)。所有不相容元素的含量均高于原始地幔 值,多数高出 10 倍以上。稀土元素球粒陨石标准化 和微量元素原始地幔标准化特征与典型的洋岛玄 武岩<sup>[10]</sup>特征极为相似(图 5a、b),重稀土和高场强 元素 Zr、Hf 等元素显得更为富集。

在微量元素原始地幔标准化图上(图 5b),马扎 拉玄武岩总体具有富集 Rb、Ba、Th 及 Nb,相对亏损 K、Sr 及 P 等元素,这与弧火山岩所具有的 TNT(Nb、 Ta 和 Ti)亏损的微量元素分配特征截然不同。结合 常量元素高 TFeO (平均 11.11%)、高 TiO<sub>2</sub> (平均 示出与洋岛型玄武岩的地球化学特征相近<sup>[11-12]</sup>。 4.02%)、高 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(平均 0.52%)的特征,总体也显

衣2 与扎拉地区幺武石僦里及怖工兀系刀机数据	(*10)及伯大参数
主? 卫礼拉地区大我岩衡县乃绕十元表公托粉氓	( ~10-6) 乃相关会粉

	te element and KEI	E analyses( ×10	) for the basants	from the Maznala	area in Colliar, s	Southern Aizang			
编号	MZL 11	MZL 12	MZL 13	MZL 14	MZL 15	MZL 16			
La	38.5	39.5	40. 7	38.9	43.4	40. 4			
Се	87.5	87.3	92. 5	88	93.8	86.3			
Pr	12.7	12.6	13.4	12.7	13.3	12. 3			
Nd	54.6	53.6	57	54.4	56.3	51.8			
Sm	13.3	13.1	13.9	13.3	13.5	12. 5			
Eu	3. 28	2. 88	3.08	2. 97	3.75	3.48			
Gd	8.4	8.32	8.68	8. 27	8. 57	7.99			
Tb	1.56	1.54	1.62	1.56	1.62	1.5			
Dy	8.34	8.22	8.68	8.38	8. 58	8.05			
Но	1. 59	1.58	1.67	1.6	1.65	1.55			
Er	4. 12	4. 02	4. 27	4. 08	4. 22	3.95			
Tm	0. 65	0. 65	0. 68	0. 65	0. 68	0. 63			
Yb	3. 63	3. 54	3.78	3.6	3.76	3.5			
Lu	0. 47	0.46	0.48	0.46	0. 48	0.44			
Y	43.5	42. 7	44. 9	43.1	44	40.4			
Ba	231	160	165	154	197	162			
Sc	24.4	23.4	24. 2	23.2	24. 1	22.4			
V	262	263	275	264	269	252			
Cr	36.6	36.6	37.4	36.6	39.5	25.2			
Со	27.7	31.5	33. 5	32.8	30.9	31			
Ni	19.6	20	21	20.4	19.5	19.7			
Ga	29.2	29.4	30. 2	29.2	29.9	29			
Rb	13. 1	12.4	11. 3	12.3	13.2	9.86			
Sr	697	624	691	606	709	685			
U	0. 87	0. 84	0. 91	0.86	0. 9	0.85			
Th	4. 41	3. 91	4. 2	4. 04	4. 15	3.76			
Nb	34.8	34.4	33. 4	35.7	37.1	32. 5			
Та	2.46	2. 54	2. 39	2. 58	2. 68	2.4			
Zr	403	400	420	405	421	381			
Hf	10. 1	9. 99	10. 6	10. 2	10. 7	9.84			
Cs	2. 27	3.06	2. 87	2. 79	1.34	1.18			
$\Sigma$ REE	238.64	237. 31	250. 44	238. 87	253.61	234. 39			
LREE	209.88	208. 98	220. 58	210. 27	224.05	206. 78			
HREE	28.76	28. 33	29.86	28.60	29.56	27.61			
LREE/HREE	7.30	7.38	7.39	7.35	7. 58	7.49			
(La/Yb) <sub>N</sub>	7.61	8.00	7.72	7.75	8.28	8.28			
δEu	0. 88	0. 79	0.80	0. 81	1.00	1.00			

注:δEu = 2\* ω(Eu)<sub>N</sub>/[w(Sm)<sub>N</sub> + w(Gd)<sub>N</sub>];N 代表球粒陨石

#### 讨论 4

## 4.1 马扎拉玄武岩形成的构造背景

马扎拉地区玄武岩发育于遮拉组(J<sub>2</sub>z)上部,现

有研究表明,遮拉组玄武岩活动时限在160Ma 左 右<sup>[11]</sup>。其上覆地层维美组(J<sub>3</sub>w)以石英砂岩为主, 夹深灰色泥岩,含有浅水波痕和浅水相遗迹化石, 属典型的滨浅海相沉积<sup>[12]</sup>,为被动大陆边缘环境的

表<sup>[15]</sup>,直到早白垩世特提斯喜马拉雅仍处于被动大陆边缘环境<sup>[3,6-7]</sup>。因此,马扎拉地区遮拉组玄武岩应产于被动大陆边缘环境。



图 3 马扎拉玄武岩 Harker 图解

Fig. 3 Harker diagram for the basalts from the Mazhala area in Comai , southern Xizang





Fig. 4 TAS diagram(a) and SiO2 vs. K2O diagram(b) for the basalts from the Mazhala area in Comai , southern Xizang

本次研究样品的地球化学特征显示,马扎拉玄 武岩与典型的洋岛玄武岩<sup>[11,16]</sup>相似;在 Zr/Y-Zr 图 解上(图 6a)及 Ti/100-Zr-3Y 图解上(图 6b),马扎 拉玄武岩投点均位于板内玄武岩区域中;在 Nb/ThNb 和 Ba/Nb-Ba 图解上(图 6c、d) 投点位于洋岛玄 武岩范围中。因此,马扎拉玄武岩应产于与洋岛玄 武岩类似的构造背景。



图 5 马扎拉玄武岩稀土元素蛛网图(a)及微量元素蛛网图(b)(原始地幔标准化值及球粒陨石标准化值据<sup>[10]</sup>) N-MORB.正常洋中脊玄武岩;E-MORB.富集型洋中脊玄武岩;OIB.洋岛玄武岩;其数据均引自文献[10]

Fig. 5 Chondrite-normalized REE distribution patterns (a) and PM-normalized trace element distribution patterns (b) of the basalts from the Mazhala area in Comai, southern Xizang (after Sun et al., 1989)



图6 马扎拉玄武岩不活动微量元素的构造判别图解

## WPB. 板内玄武岩; MORB. 洋中脊玄武岩; IAB. 岛弧玄武岩; CAB. 钙碱性玄武岩; IAT. 岛弧拉斑玄武岩; OIB. 洋岛玄武岩

Fig. 6 Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of the basalts from the Mazhala area in Comai, southern Xizang

洋岛玄武岩多为热点的产物,并与地幔柱活动 形成的玄武岩具有很多共同点。马扎拉玄武岩地 球化学特征与具有地幔热柱成因的峨眉山高 Ti 玄 武岩、仲巴玄武岩<sup>[17]</sup>和江孜玄武岩<sup>[11]</sup>相似,均具有 较高的 TiO<sub>2</sub>含量、低 SiO<sub>2</sub>含量和 Mg<sup>#</sup>值以及相似的 稀土元素特征(峨眉山高 Ti 玄武岩 TiO<sub>2</sub> > 2.5%, SiO<sub>2</sub> = 45% ~ 51%, Mg<sup>#</sup> = 30~45, 右倾的 LREE 富 集型<sup>[18]</sup>)。这些特征暗示马扎拉玄武岩可能与峨眉 山高 Ti 玄武岩、仲巴玄武岩和江孜玄武岩一样,均 为地幔热柱或热点成因。

综上所述 本文认为马扎拉玄武岩是一套形成 于被动大陆边缘构造环境 ,具有洋岛玄武岩地球化 学特征的玄武岩 ,可能为地幔热柱的产物。

4.2 岩石成因

洋岛玄武岩的源区可能与来自核幔边界的地 幔柱物质、古老大洋洋壳及深海沉积物、古老大陆 地壳和大陆岩石圈等混合有关<sup>[10]</sup>。因此,判断马扎 拉地区洋岛玄武岩是否受到混染,对于了解其源区 性质和构造演化具有重要意义。

使用不相容元素比值可以鉴别地壳物质的混 染<sup>[10,19-20]</sup>。如有下部地壳物质混入,其(Th/Ta)<sub>PM</sub> 值约等于1,而(La/Nb)<sub>PM</sub>值则大于1;如有上部地 壳物质混入,这两个比值一般均大于 2,尤其是前者 值要高得多<sup>[21]</sup>。马扎拉地区玄武岩(Th/Ta)<sub>PM</sub>平均 值为 0.79,(La/Nb)<sub>PM</sub>平均值为 1.17,显示出马扎 拉玄武质岩浆没有受到地壳物质的混染。Nb 和 Th 等易受到地壳混染,在海水蚀变及变质中较为稳定 的元素可用来反映地壳混染<sup>[3]</sup>。马扎拉地区玄武 岩 Nb 含量( $32.5 \sim 37.1 \mu g/g$ )远高于上部、中部和 下部地壳,而 Th 的含量( $3.76 \sim 4.41 u g/g$ )却明显 低于中、上地壳<sup>[10]</sup>,也显示出玄武岩没有遭受地壳 物质的混染。

Nb、La、Ba、Th 在海水蚀变及变质过程中是稳 定或比较稳定的元素,其比值可反映岩浆源区的特 征<sup>[22]</sup>。马扎拉地区玄武岩各元素的平均比值 Ba/ Nb = 5.14、Ba/Th = 43.54、Rb/Nb = 0.35 和 Ba/La = 4.44,明显低于地壳比值 Ba/Nb = 54、Ba/Th = 124、Rb/Nb = 4.7 和 Ba/La = 25。La/Nb、Th/Nb 和 Th/La 比值分别为 1.16、0.12 和 0.10,与典型洋岛 玄武岩的比值非常接近,多数位于 EM I 型和 EM II 型洋岛玄武岩的比值范围内(表 3),说明马扎拉地区 玄武岩具有典型洋岛玄武岩的特征,其源区来自富集 地幔。

表 3 不同地幔储库不相容元素比值 Table 3 Incompatible trace element ratios for different mantle reservoirs

样品	La/Nb	Ba/Nb	Ba/Th	Rb/Nb	Th/Nb	Th/La	Ba/La
MZL 11	1.11	6. 64	52.38	0. 38	0. 13	0.115	6.00
MZL 12	1.15	4.65	40. 92	0.36	0.11	0. 099	4.05
MZL 13	1. 22	4. 94	39. 29	0. 34	0. 13	0. 103	4.05
MZL 14	1.09	4. 31	38.12	0. 34	0.11	0. 104	3.96
MZL 15	1.17	5.31	47.47	0.36	0. 11	0.096	4. 54
MZL 16	1. 24	4. 98	43.09	0.30	0. 12	0. 093	4.01
平均值	1.16	5.14	43. 54	0.35	0.12	0. 102	4.44
大陆地壳	2. 2	54	124	4. 7	0. 44	0. 204	25
EM I -OIB	0.86-1.19	11.4-17.8	103-154	0.88-1.17	0. 105-0. 122	0. 107-0. 128	13. 2-16. 9
EM II -OIB	0.89-1.09	7.3-13.3	67-84	0. 59-0. 85	0. 111-0. 157	0. 122-0. 163	8.3-11.3
OIB	0. 77	7. 29	87.50	0. 65	0. 08	0. 108	9.46

注:大陆地壳、EM [、EM ]] 数据引自文献 [23]; OIB 数据引自文献 [10]

在 La/Sm-Sm/Yb 图解上(图 7a),本次研究的 马扎拉玄武岩样品投影于原始地幔右上方的富集 区域,靠近洋岛玄武岩,属于石榴石二辉橄榄岩约 10%部分熔融产物的范围。在 La/Yb-Sm/Yb 图解 (图 7b)中,本次研究的马扎拉玄武岩样品投影于远 离尖晶石橄榄岩熔融曲线而靠近石榴石橄榄岩熔 融曲线区域,显示其为石榴石橄榄岩熔融 10% 左右 的部分熔融的产物。同时,马扎拉玄武岩样品 LREE、 $P_2O_5$ 含量和 La/Yb 比值(10.61~11.54)较 高,暗示源区可能有富含 HREE 的石榴子石 残留<sup>[17]</sup>。

因此,马扎拉玄武岩源于主要由石榴石橄榄岩 组成并发生了10%左右部分熔融的富集地幔。



图 7 马扎拉玄武岩 La/Sm-Sm/Yb 图解(a)<sup>[24]</sup>和 La/Yb-Sm/Yb 图解(b)<sup>[25]</sup>

Fig. 7 La/Sm vs. Sm/Yb(a) and La/Yb vs. Sm/Yb diagrams for the basalts from the Mazhala area in Comai , southern Xizang

## 5 结论

(1)马扎拉玄武岩具有典型的洋岛玄武岩地球 化学特征,形成于被动大陆边缘环境,可能为地幔 热柱或热点的产物。

(2)马扎拉玄武岩源区为主要由石榴石橄榄岩 组成的富集地幔,发生了10%左右的部分熔融,成 岩过程中没有遭受地壳混染。

### 参考文献:

- [1] 杨斌 周邦国 郭阳等. 云南东川奚家坪玄武岩的地球化学特征、成因及其地质意义[J]. 矿物岩石 2012 32(2):74-80.
- [2] 钟华明,童劲松,夏军,等.藏南羊卓雍错南部桑秀组火山岩的特征及构造环境[J].2005 24(1):72-79.
- [3] 朱弟成 潘桂棠 莫宣学 等.特提斯喜马拉雅带中段桑秀组
  玄武岩的地球化学和岩石成因 [J].地质通报 2005 34(1):7
   19.
- [4] 朱弟成 夏瑛 
  [4] 朱弟成 夏瑛 
   [4] 朱弟成 夏瑛 
   [4] 朱弟成 
   [4] 朱子成 
   [4] 朱子成
- [5] 夏瑛 朱弟成 赵志丹 等.藏东南措美大火成岩省中 OIB 型 镁铁质岩的全岩地球化学和锆石 Hf 同位素[J].岩石学报, 2012 28(5):1588-1602.
- [6] 任冲,刘顺,朱立东,等.藏南古堆地区中基性脉岩 SHRIMP
  锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及构造意义[J].四川地质学报 2014 34(4):496-500.
- [7] 任冲,马飞宙,朱振华,等. 藏南哲古基性岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 中国地质 2015 42(4):881-890.
- [8] 卿成实.西藏隆子县扎西康铅锌多金属矿床成矿物质迁移及 成矿过程研究[D].四川:成都理工大学 2015.
- [9] 潘桂棠,王立全,张万平,等.青藏高原及邻区大地构造图及 说明书(1:150000) [M].北京:地质出版社 2013.
- [10] SUN S-S , MCDONOUGH W F. Chemical and isotopic systematics

of oceanic basalts: Implications for mantle composition and process [J]. Geological Society, 1989, 42(1):313-345.

- [11] 朱弟成 王立全 潘桂棠 等. 藏南特提斯喜马拉雅带中段中 侏罗统遮拉组 OIB 型玄武岩浆的识别及其意义[J]. 地质科 技情报 2004 23(3):15 - 24.
- [12] 江新胜 颜仰基 潘桂棠 等. 藏南特提斯晚侏罗世维美组的 沉积环境[J]. 地质通报 2003 22(11-12):900-907.
- [13] 陈曦,王成善胡修棉,等.西藏南部江孜盆地上侏罗统至古近系沉积岩石学特征与盆地演化[J].岩石学报,2008,24 (3):616-624.
- [14] 余光明,王成善. 西藏特提斯沉积地质[M]. 北京: 地质出版 社 2009. 10-49.
- [15] 王根厚 梁定益 刘文灿 等. 藏南海西期以来伸展运动及伸展作用[J]. 现代地质 2000, 14(2):133-139.
- [16] 张旗,周国庆.中国蛇绿岩[M].北京:科学出版社,2001. 109-110.
- [17] 张新毅 魏玉帅,王成善,等.藏南仲巴地区混杂岩内玄武岩 地球化学特征及其成因探讨[J].中国地质 2014 41(3):866 - 878.
- [18] XU YIGANG, CHUNG SUNLIN, JAHN BORMING, et al. Petrologic and geochemical constraints on the petrogenesis of Permian – Triassic Emeishan flood basalts in southwestern China [J]. Lithos, 2001 58(3):145 – 168.
- [19] PLANK T. Constraints from Thorium/Lanthanum on sediment recycling at subduction zones and the evolution of the continents
   [J]. Journal of Petrology , 2005 , 46 (5) :921 - 944.
- [20] 刘飞 杨经绥 陈松永 / 等. 雅鲁藏布江缝合带西段东波蛇绿 岩 OIB 型玄武岩的厘定及其形成环境[J]. 岩石学报 ,2013 , 29[6]:1909-1932.
- [21] PENG ZX ,MAHONEY J ,HOOPER P , et al. A role for lower continental crust in flood basalt genesis? Isotopic and incompatible element study of the lower six formations of the western Deccan Trap [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta , 1994 58(1):267-288.
- [22] 李曙光. 蛇绿岩生成构造环境的 Ba-Th-Nb-La 判别图 [J].

岩石学报,1993 9(2):146-157.

- [23] 杨学明 杨晓勇 陈双喜 等.岩石地球化学[M].合肥:中国 科学技术大学出版社 2000.187-189.
- [24] ALDANMA Z E , PEARCE J A , THIRLWALL M F , et al. Petrogenetic evolution of Late Cenozoic ,post-collision volcanism in western Anatolia , Turkey [J]. Journal of Volcanology and

Geothermal Research 2000 ,102 (1 -2 ) :67 -95.

[25] XU Y G , MA J L , FREY F A , et al. Role of lithosphere– asthenosphere interaction in the genesis of Quaternary alkali and tholeiitic basalts from Datong , western North China Craton [J]. Chemical Geology , 2005 224(4):247 – 271.

# Basalts from the Mazhala area in southern Xizang: Geochemistry, petrogenesis and geological implications

DONG Lei<sup>1</sup>, LI Guang-ming<sup>1</sup>, LI Ying-xu<sup>1</sup>, DAI Zuo-wen<sup>2</sup>

(1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

**Abstract**: The basalts from the Mazhala area are widespread in the Middle Jurassic Zhela Formation  $(J_2z)$  in the eastern part of the Tethyan Himalayas in southern Xizang. The present paper focuses on the geochemical signatures of the basalts aiming at improving our knowledge of tectonic settings of the study area during the Jurassic. The geochemical signatures of major and trace elements have disclosed that the basalts are characterized by SiO<sub>2</sub> contents ranging between 47.50% and 50.61% , high K (an average 0.61% for K<sub>2</sub>O) , high Ti ( (an average 4.02% for TiO<sub>2</sub> , high P (an average 0.52% for P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> , highly differentiated light/heavy REE ratios ( $\Sigma$ LREE/ $\Sigma$ HREE = 7.30–7.58) , and an average 7.94 for (La/Yb)<sub>N</sub> ratios , enriched large-ion lithophile elements such as Ba and Th and high field strength elements Nb , Ta , Zr and Hf , indicating the geochemical signatures of the oceanic-island basalts. The basaltic magmas were originated from the partial (10%) melting of the garnet peridotite-dominated enriched mantle , and were not subjected to noticeable crustal contamination during the ascending of the magmas. The Mazhala basalts are interpreted to be generated on the Himalayan passive continental margin or derived from the mantle plume.

Key words: basalt; geochemistry; passive continental margin; mantle plume; Mazhala; southern Xizang