

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.
Zhang Xinyi, Wei Yushuai, Wang Chengshan, et al. Geochemical characteristics of genesis of the basalts in Zhongba Mélange of southern Tibet[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 866-878(in Chinese with English abstract).

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

张新毅^{1,2} 魏玉帅^{1,2} 王成善^{1,2} 商咏梅^{1,2} 梁维新^{1,2}

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质大学青藏高原地质研究中心, 北京 100083)

摘要:藏南仲巴地区混杂岩隶属雅鲁藏布江缝合带西段增生楔构造单元,其中玄武岩与放射虫硅质岩、硅质页岩及泥岩伴生产出,多呈枕状构造,玄武岩时代由伴生硅质岩中放射虫组合约束为早白垩世。仲巴地区混杂岩内玄武岩具有高 P_2O_5 (0.34%~0.87%),低 Al_2O_3 (13.48%~15.38%)和 $Mg^\#$ 值(15~35),高Fe(全 $Fe_2O_3=7.62\%\sim 13.16\%$)、Ti($TiO_2=1.76\%\sim 3.11\%$)和贫Si($SiO_2=43.57\%\sim 51.99\%$)特征,为一套Fe-Ti玄武岩,且呈碱性,是玄武岩浆依高铁贫硅趋势发生较高程度结晶分异演化的产物。轻重稀土元素分馏较为明显($(La/Yb)_n=8.48\sim 32.04$),无明显Ce、Eu异常,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),无明显Nb、Ta异常,呈现典型OIB型地球化学特征。地球化学特征指示仲巴玄武岩形成于洋岛环境,且处于一个拉张的构造背景下,其岩浆源区为主要由石榴石橄榄岩组成的富集地幔,发生了6%~10%部分熔融,岩浆上升过程中没有或很少受到地壳混染。本文认为仲巴玄武岩可能为地幔热柱成因,指示新特提斯洋洋盆早白垩世可能存在热点。

关键词:混杂岩; Fe-Ti玄武岩; 构造环境; 热点; 藏南

中图分类号: P588.14⁵; P595 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)03-0866-13

雅鲁藏布江缝合带是印度大陆与欧亚大陆碰撞的缝合线,由于其构造位置的特殊性及重要性,一直受到国内外学者的广泛关注,并发表了大量的研究成果^[1-18]。藏南仲巴地区位于印度-欧亚大陆碰撞结合带西藏境内西段(萨嘎以西)(图1),是缝合带研究最为薄弱的地区之一,该地区对缝合带的研究主要集中在蛇绿岩^[13,19-24]和弧前盆地^[25]等方面,而对增生楔的研究相对欠缺^[24]。本文研究对象仲巴地区混杂岩属于增生楔构造单元,该套地质体表现为局部有序整体无序的构造混杂岩特点,基质主要为硅质岩、玄武岩、硅质页岩,岩块主要有硅质岩、玄武岩、灰岩。该地质单元在1:25万区域地质调查中被划入盐多组(E_2y)中,盐多组硅质岩中富含始新

世晚期放射虫,灰岩中含始新世早期至晚期有孔虫和始新世圆片虫^[26]。玄武岩全岩K-Ar法显示原盐多组中基质玄武岩形成时代为始新世中期(52.85 ± 1.38) Ma^[26])。因此,对于原盐多组的认识仅限于已有的区域地质调查资料,缺乏系统的岩石学、年代学、地球化学研究。笔者在野外地质调查过程中,于原盐多组“基质”中发现一套早白垩世玄武岩。本文主要是在对研究区进行大比例尺填图、对这套早白垩世玄武岩进行剖面实测控制及系统采样测试的基础上,通过仲巴地区混杂岩中该套玄武岩岩石学及全岩地球化学特征的研究,分析其形成环境及源区岩浆性质,探讨印度被动大陆边缘早白垩世火山事件成因机制。

收稿日期:2013-12-02; 改回日期:2014-03-10

基金项目: 中国地质调查局项目西藏1:5万仲巴县城西地区6幅区调(1212011121229)、西藏1:5万仲巴县城北地区4幅区调(1212011086037)及国家重点基础研究发展规划项目(2012CB822000)联合资助。

作者简介: 张新毅,男,1989年生,硕士生,古生物学与地层学专业; E-mail: xinyiz0117@163.com。

1 地质背景

雅鲁藏布江缝合带是青藏高原最南缘的一条缝合带,位于喜马拉雅与拉萨地体之间(图1-a),是印度板块与欧亚板块的碰撞结合带,也是新特提斯洋闭合的遗迹。雅鲁藏布江缝合带主要由4个构造单元组成,由北向南依次为冈底斯岩浆弧(GMA,由Tv和K-Tgr组成)、日喀则弧前盆地(XFB)、蛇绿岩带(Oph)及增生楔(AcP)(图1-b)^[16]。

蛇绿岩带主要由代表新特提斯洋洋壳岩石圈残留的无序蛇绿质岩块组成^[14],其主要岩石组合为超基性岩(如斜方辉橄岩)、辉长岩、席状岩墙、枕状玄武岩和硅质岩^[2,8-9],蛇绿岩带与南部增生楔以江孜地区的仁布—泽当逆冲断层为界^[6]。

增生楔主要由三叠纪至始新世沉积物组成^[14],以基质中含有岩块为特征,主要以与组成上三叠统一白垩系修康群相同的发生破裂变形的复理石砂岩、页岩及硅质岩为基质,其中侵位不同大小(大

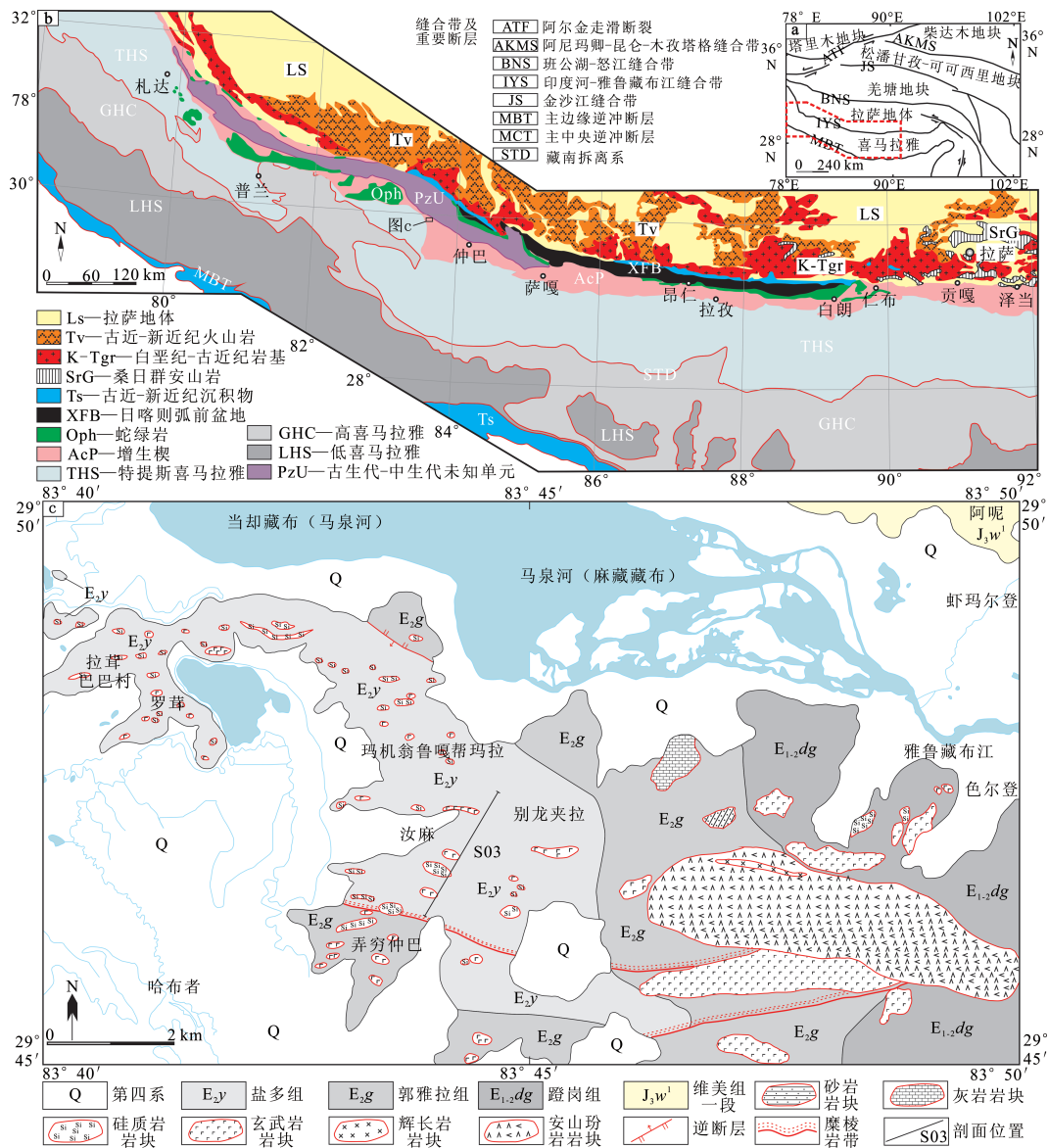


图1 喜马拉雅位置(a)、藏南构造分区图(b)^[16]和研究区地质简图及剖面位置(c)[●]
 Fig.1 Location of the Himalayas (a), simplified tectonic map of southern Tibet (b)^[16] and geological sketch map of the study area and measured profile spot (c)[●]

●河北省地质调查院区域地质调查所. 西藏 1:25 万亚热幅与普兰县幅、霍尔巴幅与巴巴扎东幅区域地质调查报告, 2006.

者可达数千米)的滑动岩体^[16],岩体岩石组成为来源于高度变形且蛇纹石化的蛇绿混杂岩^[1,3]。研究区表现为局部有序整体无序的构造混杂岩特征,基质主要为硅质岩、玄武岩及硅质页岩,岩块主要为玄武岩、硅质岩及灰岩(图1-c)。

2 方法

本次研究对西藏仲巴县巴巴扎东地区混杂岩进行了大比例尺填图(图1-c)及细致野外地质观察,对岩块和基质的岩性、颜色、结构、构造、产出形态、变形特征及接触关系进行了详细的描述和剖面实测控制(S03)(图1-c),对典型样品进行系统采集及薄片显微镜下鉴定,最终对研究区混杂岩内玄武岩的岩石学特征进行剖析。

全岩地球化学分析样品共9件,均来自实测剖面S03。主量元素测定在南京大学现代分析中心完成,采用美国热电ARL9800XP+型X射线荧光光谱仪,分析精度优于5%,分析测试方法详见Gao et al.^[27]。微量元素在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室ICP-MS分室完成,利用ICP-MS法测试,采用高分辨电感耦合等离子质谱仪,仪器型号ELEMENT 2,分析精度总体优于10%,分析测试方法详见高剑峰等^[28]。

3 结果

3.1 岩石学特征

本文在藏南仲巴县城西对该套混杂岩进行了实

测剖面(S03)控制(图2),剖面起点为29°45'55"N、83°44'06"E。该剖面中混杂岩基质以硅质岩、玄武岩及硅质页岩为主,夹薄层硅质角砾岩或泥岩;岩块以灰岩、玄武岩为主,含少量硅质岩和角砾熔岩。玄武岩多与硅质岩互层伴生产出,少数以岩块形式存在于硅质岩或硅质页岩基质之中。

混杂岩基质中的玄武岩,风化面为深紫色,新鲜面呈灰绿色-灰黑色,多呈枕状体产出。岩石具间隐结构或斑状结构,气孔、杏仁及枕状构造,主要组成矿物为斜长石和普通辉石。间隐结构玄武岩(图3-a),组分以板条状斜长石为主,含量约55%,玻璃质成分约20%,普通辉石含量约5%,褐铁矿等金属矿物含量3%~5%,其他为方解石或方柱石脉,含量约15%;斑状结构玄武岩(图3-b),斑晶为普通辉石,含量约5%,基质中主要矿物为斜长石(含量约83%)和普通辉石(含量约7%),含金属矿物(如褐铁矿)约5%,基质具间粒结构。气孔构造玄武岩,气孔多呈圆形、椭圆形或不规则椭圆形,直径一般在0.8~1.5 mm;杏仁构造玄武岩,杏仁体大小一般为2~4 mm,灰白色,含量约为5%,多以方解石充填;枕状构造玄武岩,单个岩枕大小20 cm×80 cm,堆叠呈近似层状。

3.2 主量元素

本文选取研究的9件样品均有不同程度的蚀变,测试结果显示其烧失量为3.68%~9.51%(表1)。样品的SiO₂含量变化于43.57%~51.99%,除1件(S03-10H1)SiO₂含量较高,其他样品SiO₂含量均

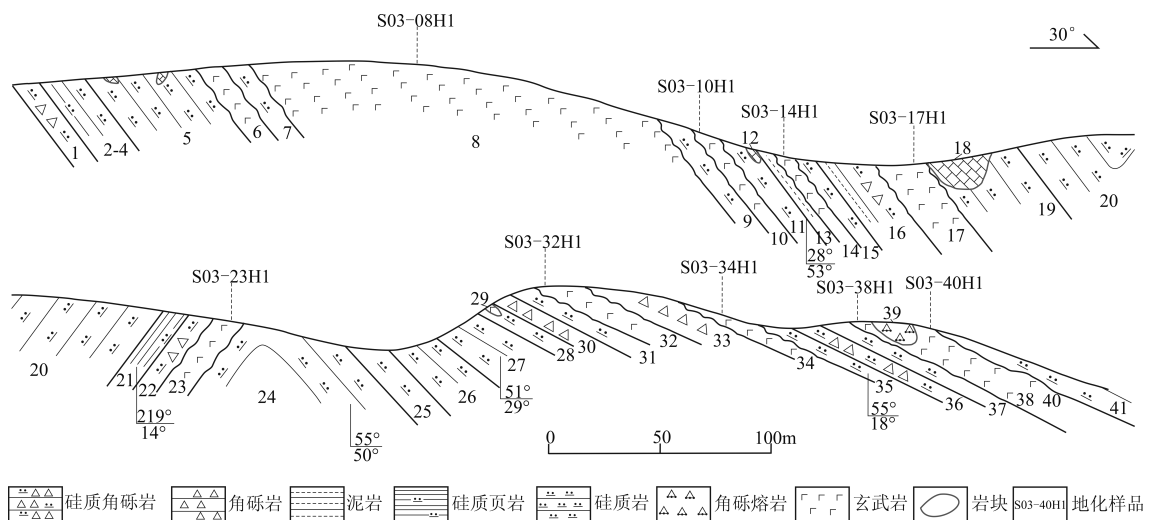


图2 藏南仲巴地区混杂岩实测剖面图
Fig.2 Profile of mélangé in Zhongba area, southern Tibet

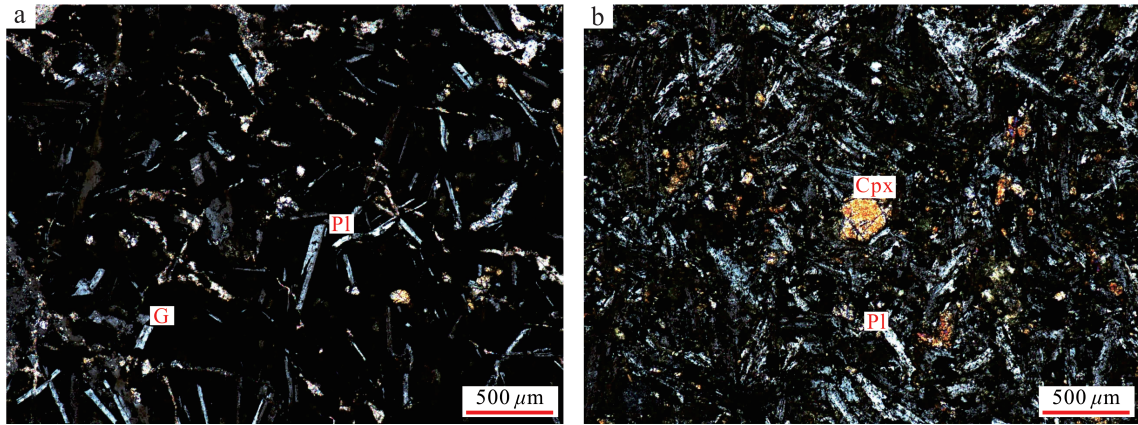


图3 仲巴玄武岩正交偏光显微照片
a—板条状斜长石(Pl)及玄武玻璃(G),间隐结构;b—普通辉石斑晶(Cpx)及板条状斜长石基质(Pl)

Fig.3 Photomicrographs of Zhongba basalts

a—Lathy plagioclase (Pl) and tachylite (G), intersertal texture; b—Augite phenocrysts (Cpx) and lathy plagioclase matrix (Pl)

低于50%,表现为贫硅特征;TiO₂含量较高,变化于1.76%~3.11%,一般大于2%(除S03-08H1和S03-14H1),高于MORB(1.5%)和加拿大Flin Flon带的Long Bay的洋岛玄武岩(1.35%~2.29%)^[29],与代表性洋岛玄武岩(OIB)接近(TiO₂=2.87%^[30]);Fe₂O₃含量总体较高,变化于7.62%~13.16%;MgO变化范围较大(2.44%~7.60%),Mg[#]变化于15.22~35.08,远低于原生岩浆(Mg[#]=68~75),表明岩浆经历了较高级别的结晶分异作用;Al₂O₃含量较低,变化于13.48%~15.38%;CaO和P₂O₅含量分别变化于5.23%~13.73%和0.34%~0.87%。在不活动高场强元素分类图解(Nb/Y-Zr/TiO₂×0.0001^[31])(图4)中,大部分样品落于碱性玄武岩区,个别样品落在碧玄岩和粗面安山岩。

玄武岩样品中S03-34H1(TiO₂=2.86%、FeO^T=12.05%、FeO^T/MgO=4.04且SiO₂<50%,校正后数据)属于一种特殊类型的玄武岩:Fe-Ti玄武岩。Fe-Ti玄武岩是一种特殊的富Fe和Ti(FeO^T>12%、TiO₂>2%,且FeO^T/MgO>1.75)、贫Si的基性岩浆岩^[32],其形成条件较为苛刻,在低的氧逸度(和水含量)且较封闭稳定的小规模岩浆房中,玄武岩浆依Fenner趋势(富铁、贫硅趋势)发生较高级别的结晶分异演化,才能形成Fe-Ti玄武岩^[32-34]。其他样品也普遍表现出富Fe、Ti及贫硅特征,仅有个别样品的Fe₂O₃<10%、TiO₂<2%、FeO^T/MgO<1.75或SiO₂>50%,且所有样品均具有较低的MgO(2.44%~

7.60%)、Ni(13.22×10⁻⁶~104.19×10⁻⁶)、Cr(4.37×10⁻⁶~55.69×10⁻⁶)含量和Mg[#](15~35)值,这些特征表明本文所有样品均属于Fe-Ti玄武岩系列。

仲巴玄武岩样品在以Mg[#]为横坐标的Harker图解上,显示出低SiO₂(多数低于50%)(图5-a)、高TiO₂(>1.76%)(图5-b)和高P₂O₅(>0.3%)(图5-f)特征。随Mg[#]的降低,其FeO^T含量升高(图5-c),表明其可能经历了磁铁矿或钛铁矿等富铁矿物的堆晶作用。随Mg[#]的降低,Al₂O₃含量升高(图5-d),且Eu也不具有负异常,指示未发生斜长石的结晶分异

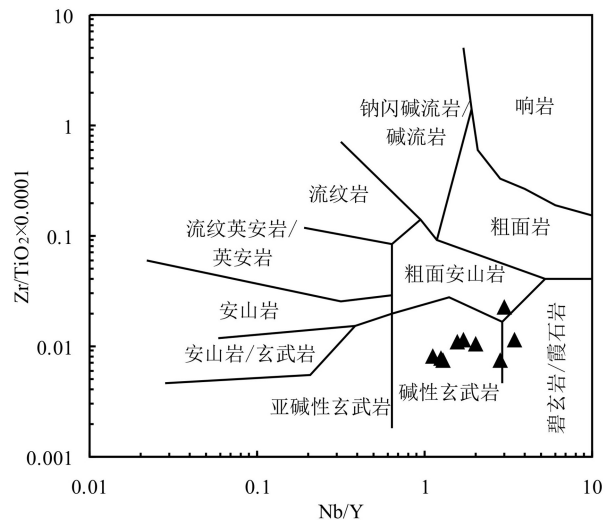


图4 仲巴玄武岩Nb/Y-Zr/TiO₂×0.0001分类图解^[31]
Fig.4 Nb/Y-Zr/TiO₂×0.0001 diagram for Zhongba basalts^[31]

表1 藏南仲巴地区混杂岩内玄武岩主量元素(%)和微量元素(10^{-6})分析结果Table 1 Major (%) and trace element (10^{-6}) components of Zhongba basalts from mélangé, southern Tibet

样品号	S03-08H1	S03-10H1	S03-14H1	S03-17H1	S03-23H1	S03-32H1	S03-34H1	S03-38H1	S03-40H1
SiO ₂	43.57	51.99	47.58	44.56	45.71	47.22	46.47	44.89	46.83
TiO ₂	1.91	2.41	1.76	2.66	3.02	3.11	2.69	2.98	2.03
Al ₂ O ₃	13.48	15.14	14.54	14.26	15.33	15.38	14.41	14.34	13.67
MgO	5.84	2.91	2.44	4.75	3.32	4.45	2.80	7.60	4.62
MnO	0.25	0.38	0.09	0.15	0.15	0.16	0.10	0.16	0.12
Fe ₂ O ₃	8.34	10.98	7.62	12.08	11.83	10.22	12.58	13.16	9.07
CaO	11.43	5.23	9.55	10.03	8.68	7.52	7.97	7.80	13.73
Na ₂ O	4.71	6.99	7.91	4.92	4.81	5.60	5.17	2.18	1.94
K ₂ O	0.11	0.09	0.10	0.16	1.17	0.20	1.12	1.48	1.36
P ₂ O ₅	0.39	0.59	0.66	0.36	0.87	0.56	0.64	0.34	0.34
LOI	9.51	3.68	7.83	6.24	5.28	5.75	6.27	5.60	4.08
SUM	99.54	100.39	100.07	100.18	100.17	100.18	100.23	100.54	97.79
Mg [#]	35.08	18.00	20.22	24.05	18.57	26.04	15.22	31.96	29.05
Li	36.04	16.53	17.34	17.23	22.55	35.58	13.71	29.48	6.43
Be	1.01	1.80	1.23	0.84	1.82	0.91	1.33	1.13	1.03
Sc	21.13	7.83	6.39	2.63	19.53	19.41	1.56	31.67	23.73
V	303.36	317.92	163.50	263.06	276.17	281.77	275.23	371.16	313.15
Cr	28.29	4.37	30.02	46.84	176.62	55.69	291.13	34.98	24.47
Mn	2141.90	3020.53	710.09	735.61	1137.46	1344.79	595.76	1233.62	1029.32
Co	50.35	29.27	23.49	39.17	38.92	35.89	20.45	45.99	31.03
Ni	87.35	13.22	53.30	77.21	99.31	50.38	104.19	73.43	46.90
Cu	64.73	35.10	18.28	32.92	48.21	38.68	47.01	91.93	65.09
Zn	112.36	102.84	138.97	98.81	123.20	192.60	119.07	100.17	79.90
Ga	20.32	22.15	14.85	20.28	25.26	25.79	15.05	24.17	27.51
Rb	1.69	1.07	1.65	1.85	27.83	3.12	18.97	35.28	10.45
Sr	424.55	220.89	180.00	212.65	801.07	1151.68	168.43	541.47	142.68
Zr	158.62	256.18	420.32	205.74	354.60	354.47	327.45	243.94	174.20
Nb	27.42	52.97	60.75	22.03	50.20	50.57	31.73	33.10	22.22
Mo	0.63	0.66	0.90	1.45	1.95	0.85	1.43	0.55	0.99
Cd	0.36	0.24	0.34	0.35	0.48	0.40	0.32	0.29	0.21
Sn	1.32	1.95	2.69	0.73	2.07	2.75	0.35	1.89	1.60
Cs	0.30	0.12	0.31	0.03	1.93	0.32	0.69	0.98	0.20
Ba	1257.18	127.24	99.44	71.32	180.64	101.67	189.36	502.34	251.16
Hf	3.91	5.46	9.91	5.08	7.36	9.17	7.69	5.99	4.22
Ta	1.70	3.25	3.82	1.42	2.84	3.58	1.91	2.08	1.46
W	0.59	1.61	0.90	0.75	0.58	1.26	1.20	0.38	0.52
Pb	2.11	3.55	7.04	3.56	3.56	3.14	10.19	2.28	2.30
Bi	0.01	0.03	0.05	0.03	0.02	0.02	0.05	0.02	0.01
Th	2.92	6.18	7.33	1.04	5.77	6.53	1.46	3.67	2.72
U	0.91	1.44	1.96	0.37	0.78	1.02	0.89	0.86	0.71
La	20.69	33.18	51.37	13.53	45.20	45.39	21.25	27.15	21.28
Ce	43.86	76.32	109.27	40.94	96.15	97.76	49.90	63.89	49.05
Pr	5.62	8.46	14.56	4.24	11.82	11.70	4.62	7.83	5.77
Nd	25.03	35.89	56.99	18.99	47.20	49.70	20.52	33.34	24.58
Sm	5.22	6.98	9.65	4.25	8.79	9.33	4.29	7.00	5.40
Eu	1.89	2.42	3.05	1.46	3.00	3.00	1.44	2.64	1.96
Gd	5.22	6.81	8.82	3.85	7.96	9.49	3.97	7.00	5.05
Tb	0.72	0.84	1.08	0.49	1.03	1.31	0.48	0.89	0.69
Dy	4.55	5.61	5.69	3.33	6.38	7.39	3.06	5.78	4.40
Ho	0.95	1.06	0.96	0.66	1.23	1.51	0.56	1.11	0.91
Er	2.47	2.88	1.99	1.73	3.07	3.54	1.41	3.05	2.49
Tm	0.34	0.39	0.22	0.23	0.42	0.48	0.18	0.41	0.33
Yb	1.75	2.07	1.15	1.13	2.22	2.81	0.90	2.39	1.78
Lu	0.27	0.30	0.15	0.16	0.34	0.45	0.13	0.33	0.25
Y	21.59	26.25	20.45	7.86	29.37	32.55	9.35	26.09	20.09
ΣREE	140.17	209.47	285.42	102.86	264.18	276.41	122.05	188.90	144.03
(La/Yb) _N	8.48	11.50	32.04	8.59	14.60	11.59	16.94	8.15	8.58

注: LOI—烧失量; SUM—总和; Mg[#]=摩尔数 $100*(Mg^{2+}/(Mg^{2+}+Fe^{2+}))$ 。

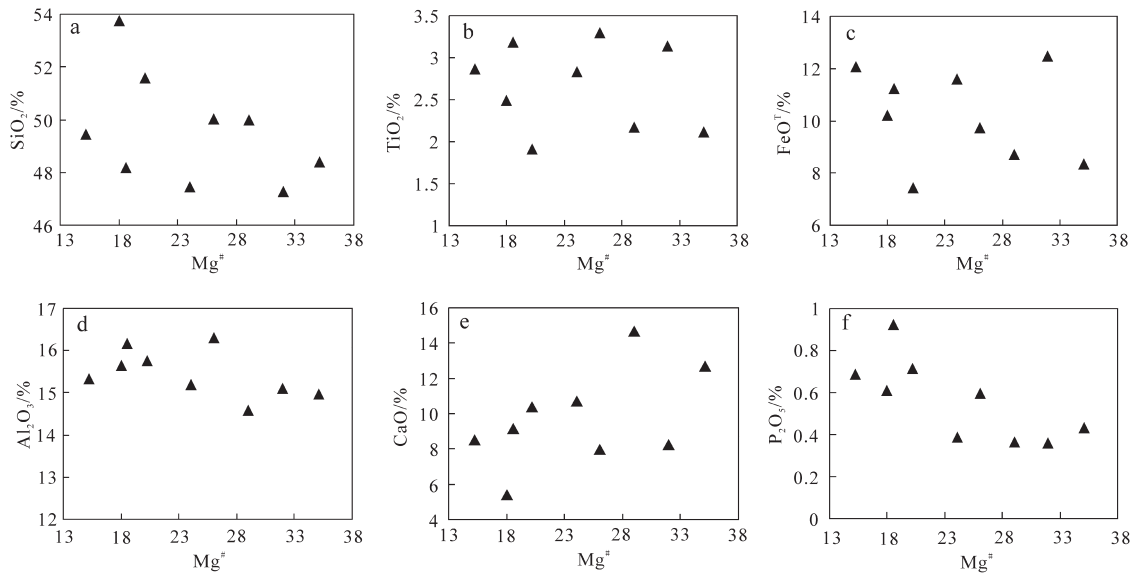


图5 仲巴玄武岩Harker图解
Fig.5 Harker diagrams of Zhongba basalts

作用。从图中可以看出, $Mg^{\#}$ 与CaO呈正相关关系(图5-e), 而与 P_2O_5 呈负相关关系(图5-f)。此外, $Mg^{\#}$ 与Ni的含量显示为正相关关系, 也指示仲巴玄武岩经历了铁镁质矿物(如橄榄石、辉石等)的分离结晶作用。

3.3 稀土元素

仲巴玄武岩稀土元素球粒陨石标准化配分曲线(图6-a)表现为右倾的LREE富集特征, $LREE/HREE=6.29\sim 12.21$, 轻重稀土元素分馏较为明显($(La/Yb)_N=8.48\sim 32.04$)。各样品稀土元素配分曲线相互平行, 显示分异程度相当, 具有同源岩浆演

化特征。 $\delta Ce=0.98\sim 1.33$, 多数样品没有Ce异常, 个别样品表现为微弱的Ce正异常; $\delta Eu=0.97\sim 1.15$, 表现出微弱的Eu正异常。仲巴玄武岩稀土元素配分模式与典型的OIB模式相似, 而与洋中脊玄武岩(E-MORB及N-MORB)模式明显不同(图6-a)。

3.4 微量元素

仲巴玄武岩相容元素Ni、Cr含量较低(分别为 $13.22\times 10^{-6}\sim 104.19\times 10^{-6}$ 和 $4.37\times 10^{-6}\sim 55.69\times 10^{-6}$, 样品S03-23H1和S03-34H1的Cr含量略高, 分别为 176.62×10^{-6} 和 291.13×10^{-6}), 低于原生玄武岩岩浆($Ni=300\times 10^{-6}\sim 400\times 10^{-6}$, $Cr=300\times 10^{-6}\sim 500\times 10^{-6}$)^[35-36],

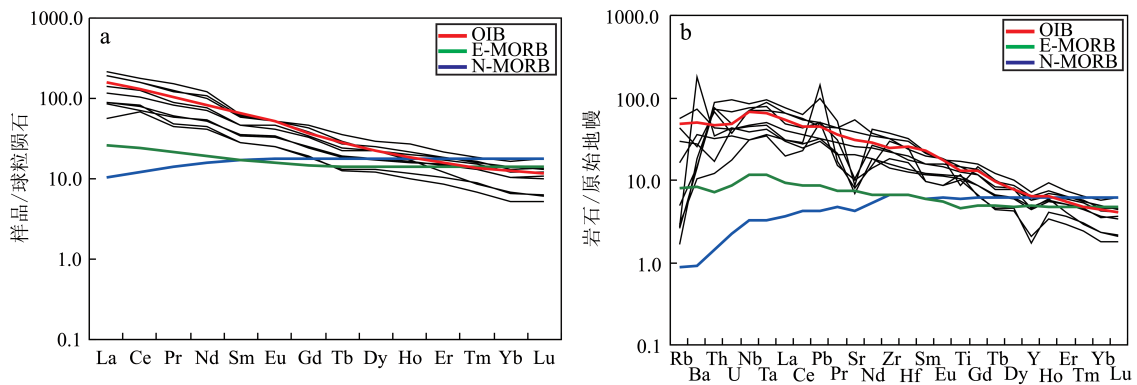


图6 仲巴玄武岩的球粒陨石标准化稀土元素配分模式图(a)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)^[30]

Fig.6 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle normalized trace elements spider diagram (b) for Zhongba basalts^[30]

表明该玄武岩浆经历了显著的橄榄石、单斜辉石等铁镁质矿物的分离结晶。仲巴玄武岩 Nb、Ta 含量较高, $Nb=22.03 \times 10^{-6} \sim 60.75 \times 10^{-6}$, $Ta=1.42 \times 10^{-6} \sim 3.82 \times 10^{-6}$, 指示该玄武岩经历了明显的分异作用。在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 6-b)中, 大离子亲石元素(LILE)Ba、Th 相对富集, 但含量变化较大; 高场强元素(HFSE)Nb、Ta、Zr、Hf 相对富集, Nb 无明显异常, Ta 略显正异常。玄武岩高场强元素 Nb/Ta 比值为 14.14~17.68, 平均为 15.94, 略低于 OIB ($Nb/Ta=17.78^{[30]}$), 而接近于原始地幔 (17.5 ± 2.0), Zr/Hf 比值为 38.65~46.93, 平均为 42.43, 略高于 OIB 和原始地幔 ($Nb/Ta=35.9$, $Zr/Hf=36.27$), 但均远高于大陆地壳值 ($Nb/Ta=12 \sim 13$, $Zr/Hf=11$), 表明岩浆在源区和上升过程中几乎没有受到地壳混染作用。总体上, 仲巴玄武岩微量元素特征与典型 OIB 玄武岩特征类似, 而与洋中脊玄武岩(E-MORB 及 N-MORB)有明显区别(图 6-b), 后者的微量元素含量明显偏低。

4 讨论

4.1 构造环境判别

一般情况下, 岛弧玄武岩和部分普通洋中脊玄武岩(N-MORB)的 Nb、Ta 丰度分别不大于 12×10^{-6} 和 0.7×10^{-6} , $Nb/La < 1$, $Hf/Ta > 5$, $La/Ta > 15$, $Ti/Y < 350$, 而板内玄武岩(WPB)、过渡型洋中脊玄武岩

(T-MORB)和富集型洋中脊玄武岩(E-MORB)则正好相反^[37]。本文仲巴玄武岩样品的 Nb 丰度为 $22.03 \times 10^{-6} \sim 60.75 \times 10^{-6}$, Ta 丰度为 $1.42 \times 10^{-6} \sim 3.82 \times 10^{-6}$, 均较高, Nb/La 比值为 1.04~1.63, Hf/Ta 比值为 1.68~4.02, La/Ta 比值为 9.54~15.92, Ti/Y 比值为 553.25~1892.82, 表明仲巴玄武岩的形成环境可能与板内玄武岩(WPB)、过渡型洋中脊玄武岩(T-MORB)或富集型洋中脊玄武岩(E-MORB)类似。

本文 Fe-Ti 玄武岩为玄武岩浆按照 Fenner 趋势演化到后期的产物, 其不相容元素高度富集, 本文选用 Ta、Yb、Th 等元素比值进行构造环境判别。Ta/Yb-Th/Yb 图解(图 7-a)显示仲巴玄武岩 Th/Yb 值不但高于亏损地幔源区, 而且还高于富集地幔源区, 其演化趋势符合板内富集的演化趋势, 且样品集中在洋岛玄武岩和板内玄武岩范围内, 指示仲巴玄武岩形成于板内环境的可能性较大。在 Ti/1000-V 图解(图 7-b)中, 仲巴玄武岩落到洋岛玄武岩和碱性玄武岩区域, 呈现出与 Hawaii 和 East Pacific Rise 碱性玄武岩相同的 Ti/V 比值特征^[39]。此外, 稀土元素呈现出 OIB 型地球化学特征, 且考虑到玄武岩伴生有放射虫硅质岩、硅质页岩及泥岩岩石组合, 明显缺乏灰岩, 因此, 对于这套岩石最合理的解释是其形成于洋岛环境。

此外, 本文仲巴玄武岩属于 Fe-Ti 玄武岩, 具有特定的构造环境指向。一般认为, Fe-Ti 玄武岩形

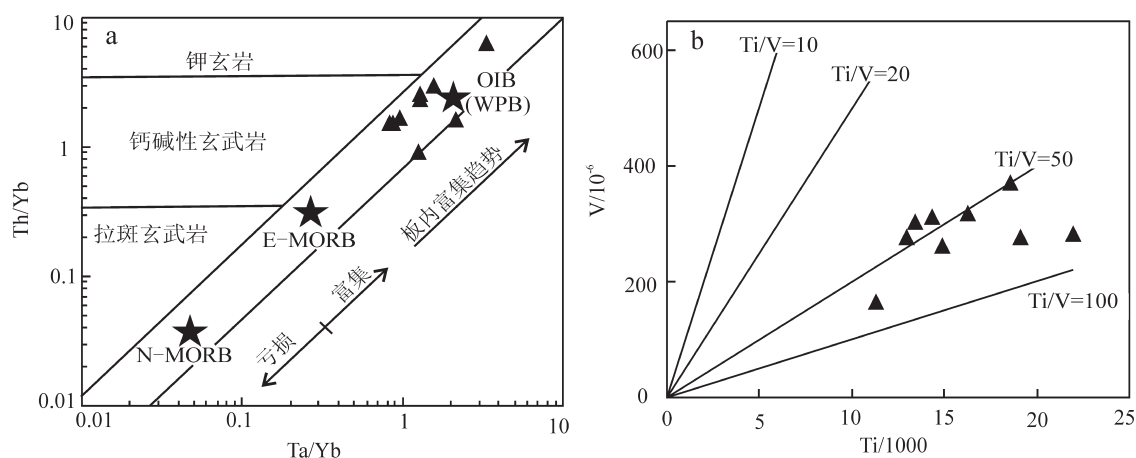


图7 仲巴玄武岩构造环境判别图

a—Ta/Yb—Th/Yb图解^[38]; b—Ti/1000—V图解^[39]

Fig.7 Discrimination diagrams for tectonic settings of Zhongba basalts

a—Ta/Yb—Th/Yb diagram^[38]; b—Ti/1000—V diagram^[39]

成于扩展型裂谷(propagating rift)环境(指离散型板块边界岩石圈发生渐次裂离的前缘位置^[34]^[32]。Propagating rift 常见于大洋中脊环境^[32,34,40-41],也见于弧后盆地^[42]和陆内拉张环境^[43]。因此,典型Fe-Ti玄武岩的发育指示仲巴玄武岩可能形成于一个拉张的构造环境。

4.2 岩石成因探讨

仲巴玄武岩大多数样品 $Zr/Nb=4.84\sim 7.84$, $Th/Nb=0.11\sim 0.13$, 较 OIB ($Zr/Nb=4.2$, $Th/Nb=0.06$ ^[44])高; $Nb/U=30.04\sim 64.28$, 平均值 41.88, 略低于 OIB ($Nb/U=47$), 但远高于原始地幔($Nb/U=30$)和陆壳($Nb/U=10$)^[44-46]; $Ce/Pb=15.52\sim 31.13$, 平均值 23.61, 略低于 OIB($Ce/Pb=25\pm 5$ ^[47]); 微量元素蛛网图上存在 Pb 正异常。以上这些特征说明岩浆在上升过程中仅遭受了轻微的地壳混染作用。

在部分熔融过程中,一些微量元素的熔体/矿物分配系数存在较大的差异,因此根据玄武岩中这些元素成分可以判断发生熔融的地幔源区矿物组合^[48]。在 La/Sm-Sm/Yb 图解(图 8-a)中,仲巴玄武岩靠近富集趋势的洋岛玄武岩区域,并主要介于石榴石橄榄岩和石榴石+尖晶石二辉橄榄岩演化曲线之间,少数样品直接落入石榴石二辉橄榄岩区域,暗示地幔源区组成主要为石榴石二辉橄榄岩,可能含有少量尖晶石二辉橄榄岩,并发生了 1%~10%的部分熔融。仲巴玄武岩的 La/Yb-Sm/Yb 系统特征

(图 8-b)说明该区玄武质熔体主要是由石榴石橄榄岩不同程度(6%~12%)的熔融产生的,而尖晶石橄榄岩的部分熔融不可能产生仲巴玄武岩的 La/Yb 和 Sm/Yb 组成。同时,样品具有较高的 LREE、 P_2O_5 含量和 La/Yb 比值(11.34~44.55),而 HREE 丰度则较低,也佐证了源区有富含 HREE 的石榴子石残留。因此,仲巴玄武岩的必要源区为主要由石榴石橄榄岩组成且发生了 6%~10%部分熔融的富集地幔,而仲巴玄武岩的碱性特征则是由石榴石橄榄岩依 Fenner 趋势较高程度分离结晶造成的。

仲巴玄武岩多与紫红色放射虫硅质岩互层(图 2),以伴生的形式产出,利用伴生硅质岩中放射虫时代可以很好地约束玄武岩的形成时代。硅质岩中富含放射虫 *Dictyomitra pseudoscalaris*、*Holocryptocanium barbui*、*Pseudodictyomitra lodogaensis*、*Stichomitra communis*、*Pseudodictyomitra lanceoloti*、*Pseudodictyomitra carpatica* 及 *Wrangellium puga*, 时代为晚侏罗世 Tithonian 期至早白垩世 Aptian 期,主要集中于早白垩世 Berriasian 期至 Hauterivian 期^①,指示仲巴玄武岩主要形成于早白垩世。冈瓦纳古陆的古地理重建结果显示早白垩世印度大陆与澳大利亚-南极大陆裂解,印度被动大陆边缘处于海相环境,由陆向海方向由印度克拉通依次过渡为陆棚和大陆斜坡环境,外侧毗邻开放的新特提斯洋洋盆^[51]。

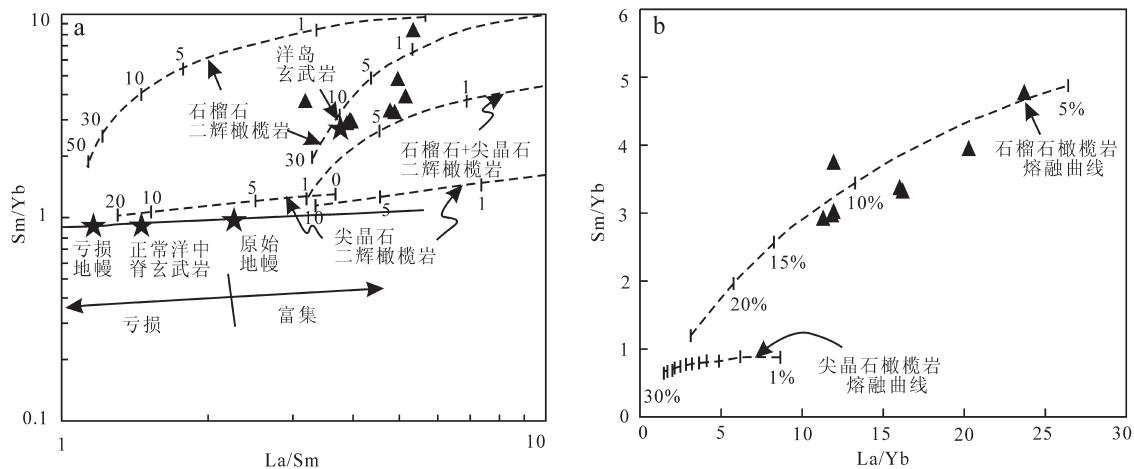


图 8 仲巴玄武岩 La/Sm-Sm/Yb 图解(a)^[49]和 La/Yb-Sm/Yb 图解(b)^[50]
Fig. 8 La/Sm-Sm/Yb diagram (a)^[49] and La/Yb-Sm/Yb diagram (b)^[50] for Zhongba basalts

①李鑫. 西藏仲巴地区雅鲁藏布江缝合带放射虫生物地层学研究[D]. 中国地质大学(北京), 2013.

构造环境判别结果显示仲巴玄武岩形成于洋岛环境,且处于一个拉张的构造背景。仲巴玄武岩微量元素特征: Ta/Hf=0.35~0.60、La/Ta=9.54~15.92、La/Sm=3.18~5.32、无Nb和Ta异常,与地幔热柱成因玄武岩(Ta/Hf > 0.3, La/Ta=8~15, La/Sm < 5, 无Nb和Ta异常^[52-53])相同。此外,仲巴玄武岩地球化学特征与具有地幔热柱成因的峨眉山高钛玄武岩相似,二者均具有较高的TiO₂和Fe₂O₃含量、低SiO₂含量和Mg[#]值及相似的稀土元素特征(峨眉山高钛玄武岩: TiO₂ > 2.5%, Fe₂O₃ > 12%, SiO₂=45%~51%, Mg[#]=30~45, 右倾的LREE富集型^[54])。因此,仲巴玄武岩可能为地幔热柱成因,可以用朱弟成等^[55]提出的热点成因模型来解释。热点成因模型指出早白垩世在自东向西延伸1500 km的新特提斯洋洋盆及临近大陆边缘可能存在大量的热点或地幔热柱(即Kerguelen地幔柱,其在东特提斯喜马拉雅表现为措美大火成岩省)岩浆活动,为地幔热柱或热点与洋脊相互作用的产物^[55]。已有对雅鲁藏布江缝合带蛇绿混杂岩的研究成果显示:晚侏罗世至早白垩世,东西延伸约1500 km的雅鲁藏布蛇绿混杂岩带内不同部位均存在OIB型岩浆作用^[55],地幔柱型He同位素^[56-57]及超高压地幔柱矿物群的发现^[58]指示其为地幔热柱成因。蛇绿混杂岩及东部措美大火成岩省的研究成果均佐证了新特提斯洋早白垩世存在地幔柱活动,也证明了热点成因模型的合理性。

热点成因模型可以解释仲巴玄武岩的所有特征:早白垩世Kerguelen地幔柱活动在新特提斯洋洋盆中形成热点,深部地幔物质上涌,玄武岩浆在上升过程中按高铁贫硅趋势发生较高分离结晶作用,因减压发生低程度部分熔融,在拉张的构造背景下热点岩浆快速喷发,保存于新特提斯洋洋盆洋岛环境,形成了具有OIB型地球化学特征的仲巴玄武岩,由于洋壳总体较薄,岩浆在穿越洋壳岩石圈的过程中仅遭受了轻微的地壳混染作用。仲巴玄武岩玄武岩的地球化学特征,与已有的雅鲁藏布蛇绿混杂岩及措美大火成岩省的研究成果一样,指示新特提斯洋洋盆早白垩世存在地幔柱或热点活动。

5 结 论

(1)仲巴玄武岩呈现出明显的富Fe、Ti和贫Si

特征,为一套Fe-Ti玄武岩,是玄武岩浆依Fenner趋势发生较高分离结晶分异演化的产物。

(2)仲巴玄武岩具有典型的OIB型地球化学特征,且呈碱性,形成于洋岛环境,且处于一个拉张的构造背景下。

(3)仲巴玄武岩的浆源区为主要由石榴石橄榄岩组成的富集地幔,发生了6%~10%部分熔融,形成过程中仅遭受了轻微的地壳混染作用。

(4)本文认为仲巴玄武岩可能为地幔热柱成因,指示了新特提斯洋洋盆早白垩世存在地幔柱或热点活动。

致谢:野外工作得到中国地质大学(北京)李亚林教授和陈曦老师的帮助,全岩地球化学分析得到南京大学现代分析中心及南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室老师的支持与帮助,成文得到夏瑛博士的帮助,在此一并表示感谢。

参考文献(References):

- [1] 高延林, 汤耀庆. 西藏南部的构造混杂体[C]//喜马拉雅地质文集编辑委员会. 喜马拉雅地质 II, 1984: 27-44.
Gao Yanlin, Tang Yaoqing. Melanges in the southern Xizang (Tibet) [C]//Himalaya Geology Editing Commission ed. Himalaya Geology(II), 1984: 27-44(in Chinese with English abstract).
- [2] Girardeau J, Mercier J C C, Xibin W. Petrology of the mafic rocks of the Xigaze ophiolite, Tibet[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1985, 90(4): 309-321.
- [3] 高延林. 雅鲁藏布江缝合带中段的板块构造证据及演化特征[J]. 中国区域地质, 1988, 4: 53-59.
Gao Yanlin. Evidence for plate tectonics and evolution of the middle segment of the Yarlung Zangbo suture zone, Tibet[J]. Regional Geology of China, 1988, 4: 53-59(in Chinese with English abstract).
- [4] 刘成杰, 尹集祥, 孙晓兴, 等. 西藏南部日喀则弧前盆地非复理石型海相上白垩统一下第三系[J]. 中国科学院地质研究所集刊, 1988, 3: 130-130.
Liu Chengjie, Yin Jixiang, Sun Xiaoxing, et al. Marine late Cretaceous-Early Tertiary sequences: The non-flysch deposits of the Xigaze Forearc Basin in the south Xizang[J]. Memoirs of Institute of Geology, Academia Sinica, 1988, 3: 130-130(in Chinese).
- [5] Searle M, Corfield R I, Stephenson B, et al. Structure of the North Indian continental margin in the Ladakh-Zaskar Himalayas:

- Implications for the timing of obduction of the Spontang ophiolite, India-Asia collision and deformation events in the Himalaya[J]. Geological Magazine, 1997, 134(3): 297-316.
- [6] 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.
- [7] Yin A. Cenozoic tectonic evolution of the Himalayan orogen as constrained by along-strike variation of structural geometry, exhumation history, and foreland sedimentation[J]. Earth-Science Reviews, 2006, 76(1): 1-131.
- [8] Hébert R, Huot F, Wang C, et al. Yarlung Zangbo ophiolites (Southern Tibet) revisited: Geodynamic implications from the mineral record[J]. Geological Society, London, Special Publications, 2003, 218(1): 165-190.
- [9] Miller C, Thöni M, Frank W, et al. Geochemistry and tectonomagmatic affinity of the Yungbwa ophiolite, SW Tibet[J]. Lithos, 2003, 66(3): 155-172.
- [10] Dupuis C, Hébert R, Dubois-Côté V, et al. Petrology and geochemistry of mafic rocks from melange and flysch units adjacent to the Yarlung Zangbo Suture Zone, southern Tibet[J]. Chemical Geology, 2005, 214(3): 287-308.
- [11] Dai J G, Yin A, Liu W C, et al. Nd isotopic compositions of the Tethyan Himalayan Sequence in southeastern Tibet[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2008, 51(9): 1306-1316.
- [12] Dai J, Wang C, Hébert R, et al. Late Devonian OIB alkaline gabbro in the Yarlung Zangbo Suture Zone: Remnants of the Paleo-Tethys?[J]. Gondwana Research, 2011, 19(1): 232-243.
- [13] Dai J G, Wang C S, Hébert R, et al. Petrology and geochemistry of peridotites in the Zhongba ophiolite, Yarlung Zangbo Suture Zone: Implications for the Early Cretaceous intra-oceanic subduction zone within the Neo-Tethys[J]. Chemical Geology, 2011, 288: 133-148.
- [14] Dai J, Wang C, Li Y. Relicts of the Early Cretaceous seamounts in the central-western Yarlung Zangbo Suture Zone, southern, Tibet[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 53: 25-37.
- [15] Wu F Y, Ji W Q, Liu C Z, et al. Detrital zircon U-Pb and Hf isotopic data from the Xigaze fore-arc basin: Constraints on Transhimalayan magmatic evolution in southern Tibet[J]. Chemical Geology, 2010, 271(1): 13-25.
- [16] Wang C, Li X, Liu Z, et al. Revision of the Cretaceous-Paleogene stratigraphic framework, facies architecture and provenance of the Xigaze forearc basin along the Yarlung Zangbo suture zone[J]. Gondwana Research, 2012, 22(2): 415-433.
- [17] 姜枚, 杨经绥, 张聿文, 等. 西藏泽当岩体含铬超镁铁岩体的深部构造特征与找矿前景探讨[J]. 中国地质, 2013, 40(3): 780-789.
- Jiang Mei, Yang Jingsui, Zhang Yuwen, et al. Deep tectonic characteristics and ore-prospecting potential of the Zetang Cr-bearing ultramafic rock mass in Tibet[J]. Geology in China, 2013, 40(3): 780-789(in Chinese with English abstract).
- [18] 牛晓露, 杨经绥, 陈松永, 等. 雅鲁藏布江西段东波超镁铁岩体经历了俯冲带流体的改造: 来自铅族元素的证据[J]. 中国地质, 2013, 40(3): 756-766.
- Niu Xiaolu, Yang Jingsui, Chen Songyong, et al. The reformation of the Dongbo ultramafic rock mass in the western part of the Yarlung Zangbo suture zone by subduction-related fluids: Evidence from the platinum-group elements(PGE)[J]. Geology in China, 2013, 40(3): 756-766(in Chinese with English abstract).
- [19] 郭铁鹰, 梁定益, 张宜智, 等. 西藏阿里地质[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991: 201-261.
- Guo Tiejing, Liang Dingyi, Zhang Yizhi, et al. Geology of Ngari, Tibet[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1991: 201-261(in Chinese with English abstract).
- [20] 刘飞, 杨经绥, 陈松永, 等. 雅鲁藏布江缝合带西段基性岩地球化学和Sr-Nd-Pb同位素特征: 新特提斯洋内俯冲的证据[J]. 中国地质, 2013, 40(3): 742-755.
- Liu Fei, Yang Jingsui, Chen Songyong, et al. Geochemistry and Sr-Nd-Pb isotopic composition of mafic rocks in the western part of Yarlung Zangbo suture zone: Evidence for intra-oceanic supra-subduction within the Neo-Tethys[J]. Geology in China, 2013, 40(3): 742-755(in Chinese with English abstract).
- [21] 王行军, 王根厚, 李广栋, 等. 西藏西部札达县东北部帮果日一波库蛇绿岩带的发现及其地质意义[J]. 中国地质, 2013, 40(6): 1749-1761.
- Wang Xingjun, Wang Genghou, Li Guangdong, et al. The discovery of Banguori-Boku ophiolite belt in northeastern Zanda County of west Tibet and its geological significance[J]. Geology in China, 2013, 40(6): 1749-1761(in Chinese with English abstract).
- [22] 夏斌, 王国庆, 钟富泰, 等. 喜马拉雅及邻区蛇绿岩和地体构造图说明书(1: 250万)[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993: 4-26.
- Xia Bin, Wang Guoqing, Zhong Futai, et al. Map of the Ophiolites and Terrain Structure in Himalaya and the Adjacent Areas(1: 2500000) [M]. Lanzhou: Gansu Science & Technology Press, 1993: 4-26(in Chinese with English abstract).
- [23] 夏斌, 郭令智, 施央申. 西藏西南部蛇绿岩及其地体构造[M]. 中山大学出版社, 1998: 4-30.

- Xia Bin, Guo Lingzhi, Shi Yangshen. Ophiolite and its Structure in Southwestern Tibet[M]. Sun Yat-sen University Press, 1998: 4-30(in Chinese with English abstract).
- [24] Liang Y, Zhang K, Xu Y, et al. Late Paleocene radiolarian fauna from Tibet and its geological implications[J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 2012, 49(11): 1364-1371.
- [25] 贾建称, 温长顺, 王根厚, 等. 西藏仲巴县穷果北部日喀则弧前盆地地层再认识[J]. *西北地质*, 2005, 38(2): 33-39.
- Jia Jiancheng, Wen Changshun, Wang Genhou, et al. New understanding of stratum of Xigaze forearc basin in the north of Qiongguo area, Zhongba, Tibet[J]. *Northwestern Geology*, 2005, 38(2): 33-39(in Chinese with English abstract).
- [26] 河北省地质调查院区调所. 1: 25万亚热幅、普兰县幅、霍尔巴幅、巴巴扎东幅(国内部分)地质调查成果与进展[J]. *沉积与特提斯地质*, 2005, 25(1/2): 80-86.
- Hebei Institute of Geological Survey. 1: 250 000 Yagra, Burang, Horba and Babazhadong sheets in Xizang[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2005, 25(1/2): 80-86(in Chinese with English abstract).
- [27] Gao S, Liu X, Yuan H, et al. Determination of Forty-two Major and Trace Elements in USGS and NIST SRM Glasses by Laser Ablation- Inductively Coupled Plasma- Mass Spectrometry[J]. *Geostandards Newsletter*, 2002, 26(2): 181-196.
- [28] 高剑峰, 陆建军, 赖鸣远, 等. 岩石样品中微量元素的高分辨率等离子质谱分析[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 2003, 39(6): 844-850.
- Gao Jianfeng, Lu Jianjun, Lai Mingyuan, et al. Analysis of trace elements in rock samples using HR- ICPMS[J]. *Journal of Nanjing University(Natural Sciences)*, 2003, 39(6): 844- 850(in Chinese with English abstract).
- [29] Stern R A, Syme E C, Lucas S B. Geochemistry of 1. 9 Ga MORB- and OIB- like basalts from the Amisk collage, Flin Flon Belt, Canada: Evidence for an intra- oceanic origin[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59(15): 3131-3154.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] Sinton J M, Wilson D S, Christie D M, et al. Petrologic consequences of rift propagation on oceanic spreading ridges[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1983, 62(2): 193-207.
- [33] Brooks C K, Larsen L M, Nielsen T F D. Importance of iron-rich tholeiitic magmas at divergent plate margins: A reappraisal[J]. *Geology*, 1991, 19(3): 269-272.
- [34] Harper G D. Fe-Ti basalts and propagating-rift tectonics in the Josephine Ophiolite[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2003, 115(7): 771-787.
- [35] Frey F A, Green D H, Roy S D. Integrated models of basalt petrogenesis: A study of quartz tholeiites to olivine melilitites from south eastern Australia utilizing geochemical and experimental petrological data[J]. *Journal of petrology*, 1978, 19(3): 463-513.
- [36] Hess P C. Phase equilibria constraints on the origin of ocean floor basalts[J]. *Mantle Flow and Melt Generation at Mid- ocean Ridges*, 1993: 67-102.
- [37] Condie K C. Geochemical changes in basalts and andesites across the Archean- Proterozoic boundary: Identification and significance[J]. *Lithos*, 1989, 23(1): 1-18.
- [38] Pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries[J]. *Orogenic andesites and related rocks*, 1982: 528-548.
- [39] Shervais J W. Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1982, 59(1): 101-118.
- [40] Le Roex A P, Dick H J B, Reid A M, et al. Ferrobasalts from the Spiess Ridge segment of the southwest Indian Ridge[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1982, 60(3): 437-451.
- [41] 钱青, 徐守礼, 何国琦, 等. 那拉提山北缘寒武纪玄武岩的元素地球化学特征及构造意义[J]. *岩石学报*, 2007, 23(7): 1708-1720.
- Qian Qing, Xu Shouli, He Guoqi, et al. Elemental geochemistry and tectonic significance of Cambrian basalts from the northern side of the Nalati Mountain[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(7): 1708-1720(in Chinese with English abstract).
- [42] Pearce J A, Ernewein M, Bloomer S H, et al. Geochemistry of Lau Basin volcanic rocks: Influence of ridge segmentation and arc proximity[J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 1994, 81(1): 53-75.
- [43] 钱青, 高俊, 熊贤明, 等. 西天山昭苏北部石炭纪火山岩的岩石地球化学特征、成因及形成环境[J]. *岩石学报*, 2006, 22(5): 1307-1323.
- Qian Qing, Gao Jun, Xiong Xianming, et al. Petrogenesis and tectonic settings of Carboniferous volcanic rocks from north Zhaosu, western Tianshan Mountains: Constraints from petrology and geochemistry[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(5): 1307-

- 1323(in Chinese with English abstract).
- [44] Hofmann A W. Mantle geochemistry: The message from oceanic volcanism[J]. *Nature*, 1997, 385(6613): 219–229.
- [45] Hofmann A W. Early evolution of continents[J]. *Science*, 1997, 275(5299): 498–499.
- [46] Sylvester P J, Campbell I H, Bowyer D A. Niobium/uranium evidence for early formation of the continental crust[J]. *Science*, 1997, 275(5299): 521–523.
- [47] Hofmann A W, Jochum K P, Seufert M, et al. Nb and Pb in oceanic basalts: New constraints on mantle evolution[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1986, 79(1): 33–45.
- [48] 韩江伟, 熊小林, 朱照宇. 雷琼地区晚新生代玄武岩地球化学: EM2 成分来源及大陆岩石圈地幔的贡献[J]. *岩石学报*, 2009, 25(12): 3208–3220.
- Han Jiangwei, Xiong Xiaolin, Zhu Zhaoyu. Geochemistry of Late–Cenozoic basalts from Leiqiong area: The origin of EM2 and the contribution from sub–continental lithosphere mantle[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(12): 3208–3220(in Chinese with English abstract).
- [49] Shaw D M. Trace element fractionation during anatexis[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1970, 34(2): 237–243.
- [50] 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.
- [51] Ali J R, Aitchison J C. Gondwana to Asia: Plate tectonics, paleogeography and the biological connectivity of the Indian sub–continent from the Middle Jurassic through latest Eocene(166–35 Ma)[J]. *Earth–Science Reviews*, 2008, 88(3): 145–166.
- [52] Lassiter J C, DePaolo D J. Plume/lithosphere interaction in the generation of continental and oceanic flood basalts: Chemical and isotopic constraints[J]. *Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism*, 1997: 335–355.
- [53] 汪云亮, 张成江, 修淑芝. 玄武岩类形成的大地构造环境的 Th/Hf–Ta/Hf 图解判别[J]. *岩石学报*, 2001, 17(3): 413–421.
- Wang Yunliang, Zhang Chengjiang, Xiu Shuzhi. Th/Hf–Ta/Hf identification of tectonic setting of basalts[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17(3): 413–421(in Chinese with English abstract).
- [54] 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.
- [55] 朱弟成, 莫宣学, 王立全, 等. 新特提斯演化的热点与洋脊相互作用: 西藏南部晚侏罗世–早白垩世岩浆作用推论[J]. *岩石学报*, 2008, 24(2): 225–237.
- Zhu Dicheng, Mo Xuanxue, Wang Liquan, et al. Hotspot–ridge interaction for the evolution of Neo–Tethys: Insights from the Late Jurassic–Early Cretaceous magmatism in southern Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(2): 225–237(in Chinese with English abstract).
- [56] 吴茂炳, 叶先仁, 刘春燕, 等. 雅鲁藏布江蛇绿岩中地幔柱型岩浆作用——来自氦、氩同位素的证据[J]. *地质通报*, 2003, 22(9): 670–674.
- Wu Maobing, Ye Xianren, Liu Chunyan, et al. Plume–type magmatism in the Yarlung Zangbo ophiolites, Tibet: Evidence from the helium and argon isotopic compositions[J]. *Geological Bulletin of China*, 2003, 22(9): 670–674(in Chinese with English abstract).
- [57] 叶先仁, 陶明信, 余传鳌, 等. 用分段加热法测定的雅鲁藏布江蛇绿岩的 He 和 Ne 同位素组成: 来自深部地幔的信息[J]. *中国科学(D辑)*, 2007, 37(5): 573–583.
- Ye Xianren, Tao Mingxin, Yu Chuanao, et al. Helium and neon isotopic compositions in the ophiolites from the Yarlung Zangbo River, southeastern China: The information from deep mantle[J]. *Science in China(Series D)*, 2007, 37(5): 573–583(in Chinese).
- [58] Yang Jingsui, Dobrzhinetskaya Larissa, Bai Wenji, et al. Diamond– and coesite–bearing chromitites from the Luobusa ophiolite, Tibet[J]. *Geology*, 2007, 35(10): 875–878.

Geochemical characteristics of genesis of the basalts in Zhongba Mélange of southern Tibet

ZHANG Xin-yi^{1,2}, WEI Yu-shuai^{1,2}, WANG Cheng-shan^{1,2},
SHANG Yong-mei^{1,2}, LIANG Wei-xin^{1,2}

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Research Center for Tibetan Plateau Geology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Zhongba Mélange in southern Tibet belongs to the accretionary wedge in the western segment of the Yarlung Zangbo suture zone. The basalts from Zhongba Mélange are in coexistence with radiolarian chert, siliceous shale and mudstone, showing a pillow structure. The age of basalts is constrained to the early Cretaceous by radiolarian assemblage in its companion chert. The basalts have relatively high P_2O_5 (0.34%–0.87%), lower Al_2O_3 (13.48%–15.38%) and $Mg^\#$ (15–35). The samples are characterized by high iron ($Fe_2O_3=7.62\%–13.16\%$) and titanium ($TiO_2=1.76\%–3.11\%$), and poor silicon ($SiO_2=43.57\%–51.99\%$), and can be classified as Fe–Ti basalts (ferrobasalts). And the basalts are alkaline. The Fe–Ti basalts were produced through a high degree of high iron and poor silicon trend differentiation. The REE patterns are similar to those of OIB, with LREE enrichment ($(La/Yb)_N=8.48–32.04$) and no obvious Ce and Eu anomaly. The basalts have typical geochemical characteristics similar to those of OIB, with the enrichment of large ion lithophile elements (LILE) (Ba, Th) and high field–strength elements (HFSE) (Nb, Ta, Zr, Hf), and no obvious Nb and Ta anomalies. The geochemical characteristics suggest that the basalts were formed in an ocean island within an extensional tectonic setting, and the magma originated from enriched mantle composed mainly of garnet peridotite with 6%–10% partial melting. Geological signatures of whole–rock trace elements indicate little or no appreciable crustal contamination for the samples. The Zhongba basalts might have been derived from the mantle plume, which suggests that there probably existed a hotspot in the Neo–Tethys.

Key words: mélange; Fe–Ti basalts; tectonic setting; hotspot; southern Tibet

About the first author: ZHANG Xin-yi, male, born in 1989, master candidate, majors in paleontology and stratigraphy; E-mail: xinyiz0117@163.com.