

文章编号: 1009-3850(2015)02-0097-07

西藏东巧地区玄武岩地球化学特征及构造环境分析

黄强太^{1,3}, 夏 斌^{1,2}, 李 强², 钟 云², 胡西冲², 郑 浩²

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640, 2. 中山大学海洋学院, 广东 广州 510275, 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 东巧蛇绿岩出露于班公湖-怒江缝合带中段, 是蛇绿岩组合单元出露较完整的地区。微量(稀土)元素分析结果表明, 蛇绿岩中的玄武岩具有轻稀土元素(LREE)显著富集的右倾稀土元素配分模式。 $(La/Yb)_N = 7.05 \sim 12.02$, Th、Nb、Ta、Zr 和 Hf 略具有正异常的微量元素组成特征, 属于典型的洋岛玄武岩(OIB), 与洋中脊玄武岩(MORB)和板块汇聚环境下的岛弧玄武岩(IAB)存在明显差异。通过对其构造环境的判别, 并结合蛇绿岩与相邻地质体的关系分析, 认为东巧蛇绿岩中的玄武岩形成于大洋板内岩石圈上隆减压的洋岛环境, 代表班公湖-怒江洋盆形成和发展阶段洋岛环境的大洋岩石圈残片。

关键词: 地球化学; 构造环境; 玄武岩; 东巧; 西藏

中图分类号: P588.12⁺4

文献标识码: A

引言

蛇绿岩作为分布在大陆岩石圈中的古洋盆岩石圈残片, 对于研究古洋盆重建、古洋盆构造演化等都具有重要意义。东巧蛇绿岩位于西藏班公湖-怒江缝合带的中段, 北侧紧邻羌塘地块, 南侧为拉萨地块北缘, 向东与索县-丁青-嘉玉桥一带的蛇绿岩相连, 向西紧接改则-班公错蛇绿岩带, 是蛇绿岩组合单元出露较完整的地区。从20世纪50年代开始前人在此地区做过较多研究, 包括构造特征^[1-5]、形成环境^[5-10]、油气特征^[11, 12]及蛇绿岩年龄^[13, 14]研究。本文是在前人研究的基础上, 对东巧出露的玄武岩进行详细的野外地质考察、室内岩相学、地球化学分析研究, 进而探讨本区玄武岩的成因以及构造环境, 为本区蛇绿岩带及其构造演化研究提供一些新的资料。

1 区域地质概况及取样位置

西藏东巧蛇绿岩主要分布在东巧东山、东风铁

矿(含铬铁矿体)及兹格唐错等地, 呈NWW-SEE向透镜体、狭长带状、楔状展布, 向北东与安多一带的蛇绿岩相连, 向南东则与那曲等地的蛇绿岩连为一体(图1)。蛇绿岩由于构造作用而肢解破坏, 层序不全。但是组成蛇绿岩的各单元都有出露, 蛇绿岩剖面通常由1~3个单元组成。东巧东山一带蛇绿岩主要由方辉橄榄岩、辉长岩、玄武岩等组成, 也是本次样品采集的地点($N32^{\circ}00.986'$ 、 $E90^{\circ}33.240'$; $N32^{\circ}00.662'$ 、 $E90^{\circ}33.143'$; $N32^{\circ}00.495'$ 、 $E90^{\circ}33.132'$)。该带的蛇绿岩大多数构造侵位于中侏罗统-下侏罗统木嘎岗日岩群复理石建造中^[14], 其上被下白垩统不整合覆盖^[7]。

2 玄武岩的岩石学、岩相学特征

东巧蛇绿岩中玄武岩主要分布在东山附近, 岩石主要为青灰色, 具有球粒结构和杏仁状构造特征(图2a)。在显微镜下鉴定, 主要由辉石和斜长石构成, 斜长石结晶程度较低, 显示快速冷凝的特点。有的斜长石与辉石雏晶在一起呈放射状排列, 属于

收稿日期: 2014-03-08; 改回日期: 2014-08-18

作者简介: 黄强太(1986-), 男, 博士研究生, 主要从事岩石学、构造成矿方面研究。E-mail: huangqiangtai@163.com

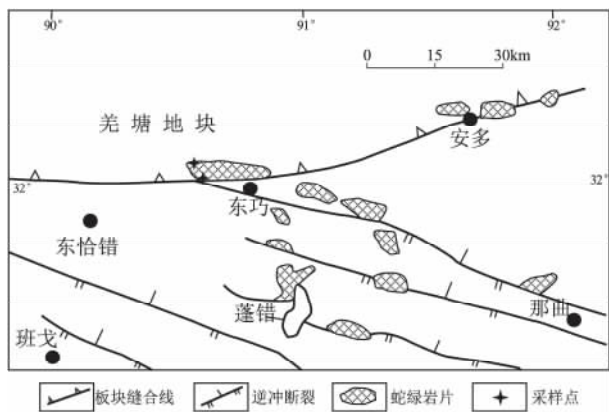


图1 东巧及邻区蛇绿岩分布略图^[10]

Fig. 1 Distribution of the ophiolites in Dongqiao and its adjacent areas (after Ye Peisheng et al., 2004)

球粒结构和辉绿结构的一种过渡结构。另可见棕黄色玻璃质不规则地贯入在斜长石和辉石之间,分布不均匀,故推测为后期贯入熔浆,类似橙玄玻璃(图2b)。

3 玄武岩岩石地球化学特征

3.1 分析方法

选取东巧蛇绿岩中的玄武岩新鲜样品,手工捣碎为1~5mm,用不锈钢钵粉磨至200目,用于地球化学分析。主元素和微量元素分析测试由中国科学院地球化学研究所实验室完成。主元素采用碱熔玻璃XRF法分析完成,微量元素采用酸溶法,用PE Elan6000型ICP-MS仪器测试分析。主元素的分析精度好于5%,微量元素的分析精度优于10%。样品的具体分析流程参阅刘颖等(1996)^[15]。

3.2 主元素地球化学

东巧蛇绿岩中的玄武岩主元素分析结果见表1。 SiO_2 含量变化稍大,为46.57%~51.42%,平均为49.34%,略低于洋中脊玄武岩(MORB)中 SiO_2 的含量(49.80%),较大的低于Upper Troodos枕状熔岩(53.2%)^[16-17]和Semail玄武岩(53.21%)^[18]。 MgO 的含量为3.13%~10.46%,平均为4.95%,极低于大西洋中脊(MAR)玄武岩平均成分的含量(9.40%)。 $\text{Mg\#}$ 为40.25~66.64,平均为48,远低于原生岩浆范围($\text{Mg\#}=68\sim75$)表明东巧蛇绿岩中玄武岩经历了较高分异过程。 TiO_2 的含量为0.95%~2.8%,平均为1.83%,比大洋中脊玄武岩(1%~1.5%)稍高,表面该蛇绿岩不太可能产生于典型的大洋中脊环境,与洋岛玄武岩的数值接近。 Na_2O 的含量为2.44%~5.54%,平均为4.17%,高于洋岛玄武岩(OIB)的平均值(3.2%),说明该玄武岩具有富碱性。 K_2O 的含量为0.04%~1.23%,平均为0.32%,比洋中脊玄武岩平均含量高。 $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 的比值平均为0.69,与洋中脊和洋岛碱性玄武岩相应值0.7相当。样品 P_2O_5 的平均含量为0.21%,远高于正常洋中脊玄武岩的 P_2O_5 含量(0.09%)。在 $\text{TiO}_2\text{-MnO-P}_2\text{O}_5 \times 10$ 判别图(图3)中,样品大部分都落入洋岛玄武岩区,3件落入到岛弧拉斑玄武岩区,1件落入洋中脊玄武岩区。

3.3 微量元素地球化学

东巧蛇绿岩中玄武岩的微量(稀土)元素分析结果见表2。用 K_2O 、 Na_2O 和 SiO_2 等主元素的TAS图划分岩石类型,对于发生较大的交代和蚀变的玄武岩,通常认为存在较多问题^[19]。因此选用高场强元素和在交代过程中稳定的元素进行投图,选

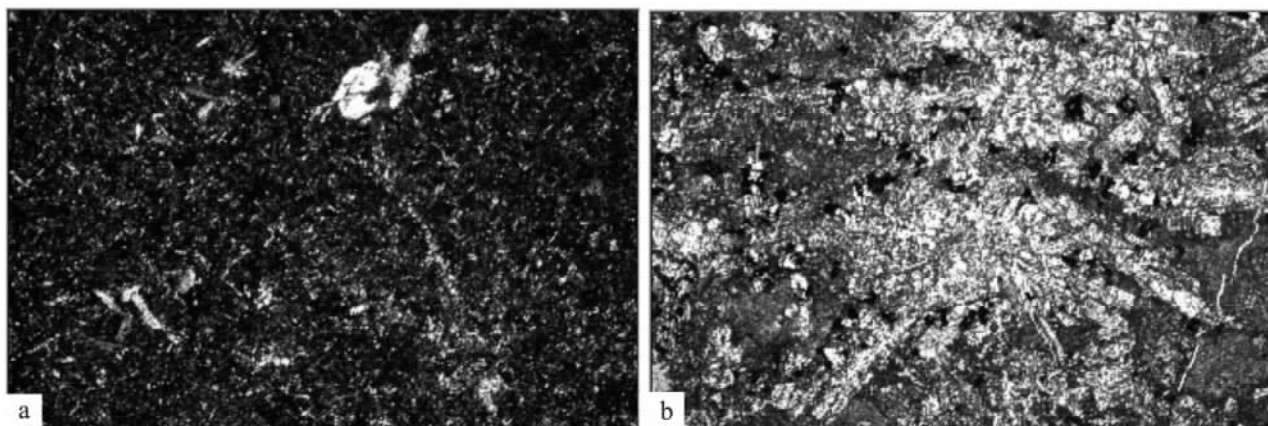


图2 杏仁状玄武玢岩(a)和辉石斜长石放射状球粒结构(b)

Fig. 2 Amygdaloidal basalt porphyrite (a) and radial spherulitic textures of pyroxene and plagioclase (b)

表 1 东巧蛇绿岩玄武岩的主量元素含量表(%)

Table 1 Major element contents (%) in the basalts from the Dongqiao ophiolites

样号	DQD1	DQD2	DQD3	DQD4	DQD5	DQD6	DQD12	DQD19	DQD20	DQD42	DQD44	平均值
SiO ₂	50.37	47.20	51.16	48.39	51.13	48.34	48.43	51.42	51.11	48.48	46.75	49.34
TiO ₂	1.94	2.02	1.92	1.80	1.73	2.21	1.25	0.95	0.97	2.80	2.49	1.83
Al ₂ O ₃	14.61	15.53	15.16	15.19	14.11	15.08	14.89	13.76	13.57	17.25	11.86	14.64
Fe ₂ O ₃	9.91	10.40	10.33	9.75	8.04	8.53	11.22	10.43	10.22	10.29	10.95	10.01
MnO	0.12	0.15	0.09	0.09	0.08	0.11	0.18	0.16	0.16	0.13	0.18	0.13
CaO	8.57	11.81	8.94	10.30	11.38	11.16	9.58	10.73	10.79	8.04	9.67	10.09
MgO	4.25	4.19	3.48	3.77	3.19	3.43	6.90	5.83	5.78	3.13	10.46	4.95
Na ₂ O	5.00	4.22	5.54	4.77	4.74	5.09	3.29	3.08	3.09	4.64	2.44	4.17
K ₂ O	0.15	0.19	0.17	0.19	0.05	0.10	0.48	0.04	0.05	1.23	0.92	0.32
P ₂ O ₅	0.27	0.27	0.25	0.25	0.23	0.30	0.10	0.08	0.08	0.32	0.18	0.21
LOI	3.72	3.78	2.98	3.69	4.06	4.78	3.42	3.44	3.24	2.51	3.28	3.54
全铁	8.92	9.36	9.30	8.78	7.24	7.68	10.10	9.39	9.20	9.26	9.86	9.01
Mg#	46.17	44.62	40.25	43.61	44.24	44.57	55.16	52.78	53.08	37.82	65.64	48.00

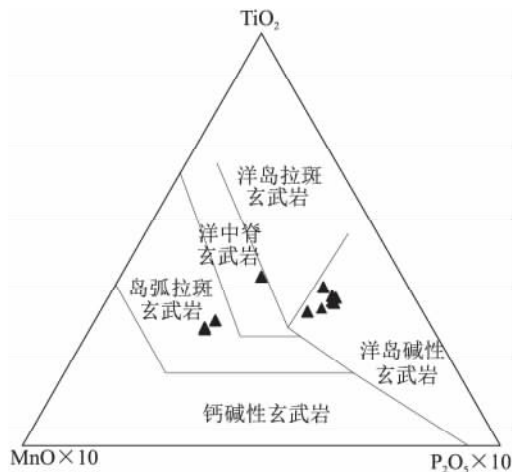


图 3 东巧蛇绿岩玄武岩的 TiO₂-MnO × 10-P₂O₅ × 10 岩石分类图

Fig. 3 TiO₂-MnO × 10-P₂O₅ × 10 diagram for the basalts from the Dongqiao ophiolites

用 Nb/Y-Zr/TiO₂ 图进行岩石类型划分(图 4)。样品大部分落入碱性玄武岩区,只有 3 个样品落入到玄武岩区。

东巧蛇绿岩中玄武岩特征元素丰度: Nb(除样品 DQD12)为 3.86μg/g, DQD19 为 2.09μg/g, DQD20 为 2.10μg/g, 显示为洋中脊玄武岩的特征。其它样品 Nb 为 18.0~24.8μg/g, 均明显高于洋脊玄武岩, 与洋岛玄武岩相接近。Zr(除样品 DQD12)为 66.5μg/g, DQD19 为 50.9μg/g, DQD20 为 50.6μg/g, 与洋脊玄武岩数值接近, 其它样品为 133~154μg/g, 均与洋岛玄武岩接近。在微量元素对原始地幔标准化的蛛网图(图 5)上显示, 东巧玄武岩

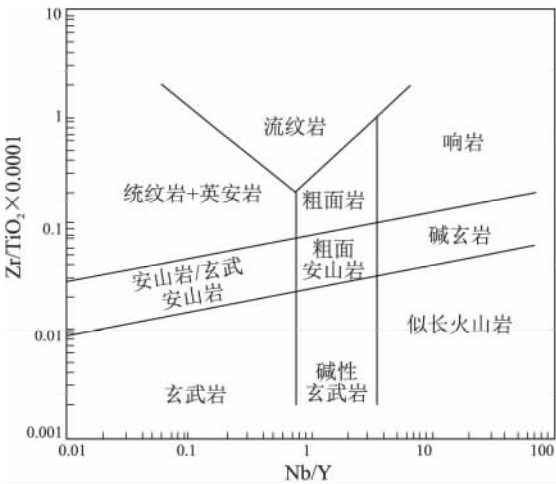


图 4 东巧蛇绿岩玄武岩的 Nb/Y-Zr/TiO₂ × 0.0001 岩石分类图

Fig. 4 Nb/Y-Zr/TiO₂ × 0.0001 diagram for the basalts from the Dongqiao ophiolites

与洋岛玄武岩具有基本一致的微量元素蛛网图。并且东巧玄武岩无 Ta、Nb、Zr、Hf 的亏损, 故也显著区别于岛弧火山岩。综合分析, 东巧玄武岩具有与洋岛玄武岩非常接近的微量元素地球化学特征。

3.4 稀土元素地球化学

东巧蛇绿岩中玄武岩的稀土元素分析结果列于表 2 中。稀土元素总量除 DQD12、DQD19、DQD20 3 个样品值在 33.25~40.33μg/g 之间, 与正常洋中脊玄武岩的稀土总量 39.1μg/g 相接近, 其它样品值在 93.43~121.84μg/g 之间, 平均为 108.31μg/g, 为洋岛玄武岩稀土总量 (79.65μg/g) 的 1.35 倍。样品 DQD12、DQD19、DQD20 的 Σ LREE/Σ HREE 平

表2 东巧蛇绿岩玄武岩的微量(稀土)元素含量表($\mu\text{g/g}$)Table 2 Trace elements (rare elements) contents ($\mu\text{g/g}$) in the basalts from the Dongqiao ophiolites

样号	DQD-1	DQD-2	DQD-3	DQD-4	DQD-5	DQD-6	DQD-12	DQD-19	DQD-20	DQD-42	DQD-44
Li	9.56	4.68	5.71	6.96	3.67	4.76	5.08	4.51	5.69	5.66	7.10
Be	1.12	0.87	0.92	1.02	1.17	0.86	0.49	0.42	0.39	1.06	0.81
Sc	33.30	33.50	34.70	31.70	31.20	31.70	38.80	35.80	38.00	29.00	31.20
V	242.00	244.00	251.00	238.00	226.00	254.00	309.00	280.00	273.00	459.00	315.00
Cr	40.70	41.50	33.60	45.50	32.10	18.90	202.00	134.00	135.00	28.00	563.00
Co	31.60	39.00	26.90	27.60	32.10	33.40	39.00	37.20	37.40	45.70	49.50
Ni	33.00	31.60	28.40	32.10	32.40	13.50	74.30	55.80	55.30	30.40	319.00
Cu	32.20	28.80	32.00	43.90	29.20	24.30	79.10	71.70	69.10	62.50	137.00
Zn	95.90	109.00	97.80	77.60	67.90	121.00	111.00	92.00	103.00	189.00	167.00
Ga	14.90	18.60	16.10	18.20	18.10	18.30	15.40	15.60	15.50	20.70	17.50
Ge	1.48	2.22	1.97	1.78	2.05	1.59	1.52	1.70	1.89	1.55	1.70
Rb	2.30	2.64	2.13	3.26	0.29	0.62	9.65	0.40	0.71	22.70	13.10
Sr	184.00	232.00	234.00	203.00	357.00	122.00	169.00	51.00	54.60	340.00	285.00
Y	19.60	20.70	19.80	19.30	18.50	22.40	22.30	20.00	19.40	19.40	17.40
Zr	150.00	154.00	150.00	148.00	136.00	173.00	66.50	50.90	50.60	142.00	133.00
Nb	21.40	22.00	21.40	22.30	20.10	24.80	3.86	2.09	2.10	28.20	18.00
Mo	0.68	0.65	0.66	0.68	0.64	1.15	0.93	3.39	1.64	1.29	0.78
Sb	0.28	0.20	0.28	0.24	0.34	0.28	0.25	2.15	0.33	0.29	0.20
Cs	0.10	0.36	0.13	0.12	0.04	0.09	0.16	0.06	0.10	0.08	0.06
Ba	58.60	66.70	64.50	61.00	21.80	35.20	43.80	13.30	17.00	290.00	259.00
Hf	4.07	4.23	4.12	4.03	3.55	4.26	1.87	1.50	1.42	3.74	3.46
Ta	1.42	1.55	1.51	1.49	1.39	1.82	0.32	0.17	0.18	2.22	1.27
Pb	4.14	3.88	4.37	3.95	6.08	2.38	1.37	1.25	1.59	2.70	2.36
Th	2.53	2.66	2.48	2.63	2.29	2.66	0.44	0.23	0.27	2.15	1.51
U	0.52	0.39	0.29	0.39	0.75	0.84	0.15	0.09	0.10	0.54	0.42
La	19.90	21.00	20.60	20.70	18.10	21.20	3.95	2.99	3.12	22.60	15.20
Ce	37.80	40.50	38.40	39.20	34.30	41.00	9.50	7.15	7.41	44.50	32.70
Pr	5.09	5.64	5.43	5.37	4.59	5.54	1.52	1.17	1.22	6.12	4.72
Nd	22.80	24.10	23.60	23.00	19.80	24.30	8.08	6.37	6.46	26.30	21.10
Sm	4.65	4.91	4.83	4.53	3.92	4.98	2.27	2.10	2.01	5.23	4.62
Eu	1.60	1.78	1.72	1.54	1.37	1.61	0.84	0.79	0.75	1.90	1.53
Gd	4.75	5.16	5.03	4.74	4.15	5.11	3.06	2.81	2.65	5.20	4.59
Tb	0.73	0.80	0.77	0.71	0.67	0.79	0.60	0.52	0.53	0.76	0.73
Dy	4.08	4.26	4.16	3.98	3.80	4.53	3.98	3.52	3.47	4.19	3.89
Ho	0.78	0.84	0.82	0.81	0.75	0.87	0.88	0.75	0.76	0.81	0.69
Er	2.13	2.32	2.31	2.22	2.03	2.43	2.46	2.24	2.31	2.06	1.82
Tm	0.32	0.34	0.34	0.34	0.33	0.36	0.39	0.35	0.36	0.30	0.25
Yb	1.87	1.94	1.96	1.89	1.84	2.08	2.44	2.18	2.19	1.64	1.40
Lu	0.28	0.28	0.29	0.27	0.27	0.31	0.36	0.31	0.32	0.24	0.19
Ce/Zr	0.25	0.26	0.26	0.26	0.25	0.24	0.14	0.14	0.15	0.31	0.25
Zr/Nb	7.01	7.00	7.01	6.64	6.77	6.98	17.23	24.35	24.10	5.04	7.39
Th/Yb	1.35	1.37	1.27	1.39	1.24	1.28	0.18	0.11	0.12	1.31	1.08
Zr/Y	7.65	7.44	7.58	7.67	7.35	7.72	2.98	2.55	2.61	7.32	7.64
Y/Nb	0.92	0.94	0.93	0.87	0.92	0.90	5.78	9.57	9.24	0.69	0.97
(La/Yb) _N	7.63	7.76	7.54	7.86	7.06	7.31	1.16	0.98	1.02	9.88	7.79
(La/Sm) _N	2.76	2.76	2.75	2.95	2.98	2.75	1.12	0.92	1.00	2.79	2.12
(Ce/Yb) _N	5.61	5.80	5.44	5.76	5.18	5.48	1.08	0.91	0.94	7.54	6.49
ΣREE	106.78	113.86	110.26	109.31	95.92	115.11	40.33	33.25	33.56	121.84	93.43
$\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$	6.15	6.14	6.03	6.30	5.93	5.99	1.85	1.62	1.67	7.02	5.89
δEu	0.96	0.93	0.94	0.98	0.97	1.02	1.03	1.01	0.90	0.98	1.00

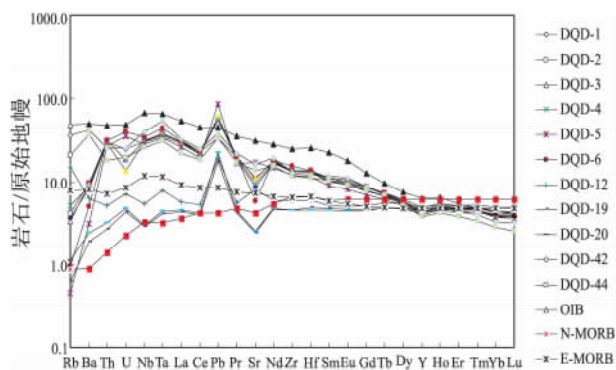


图5 东巧蛇绿岩玄武岩微量元素蛛网图

Fig. 5 Primitive mantle-normalized trace element spidergram for the basalts from the Dongqiao ophiolites

均为 1.71, $(La/Yb)_N = 0.98 \sim 1.16$, $(La/Sm)_N = 0.92 \sim 1.12$, $(Ce/Yb)_N = 0.91 \sim 1.08$, 这些比值均表现出正常洋中脊玄武岩的特征。其它样品的 $\Sigma LREE/\Sigma HREE$ 平均为 6.05, $(La/Yb)_N = 7.05 \sim 12.02$, $(La/Sm)_N = 2.12 \sim 3.60$, $(Ce/Yb)_N = 5.44 \sim 9.04$, 均表现出洋岛玄武岩的稀土元素特征。球粒陨石标准化的稀土模式配分图(图6)显示出明显的轻稀土富集的右倾模式,与洋岛玄武岩的 REE 配分型式基本一致,明显不同于正常洋中脊玄武岩和富集型洋中脊玄武岩的稀土配分模式。

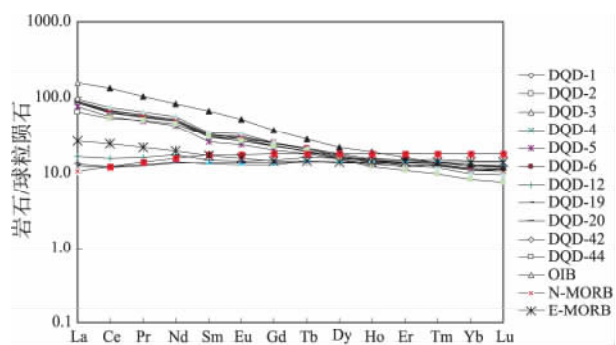


图6 东巧蛇绿岩玄武岩稀土元素配分图

Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution patterns for the basalts from the Dongqiao ophiolites

4 玄武岩构造环境分析

地球化学分析是进行蛇绿岩构造环境判别的重要和普遍的手段^[20]。主量元素有时候也用于判别玄武岩的构造环境,但是存在许多可变因素。因此,本文主要是通过微量元素判别图,采取多图综合法,来探讨本区蛇绿岩中玄武岩的成因环境。

东巧蛇绿岩中玄武岩的元素地球化学特征反映出, HREE、Yb、Sc 显著亏损, La/Sm、La/Yb 和 Th/

Yb 比值都较高,指示其母岩浆和石榴石处于平衡状态^[21],反映出东巧蛇绿岩中玄武质熔浆可能源自石榴二辉橄榄岩为主体的地幔源区。La/Ce 比值具有判别源区性质的指征意义。东巧蛇绿岩中玄武岩的 La/Ce 比值为 0.42~0.53,大于原始地幔岩的比值(0.387),显示其应来自与富集的地幔源区。

东巧蛇绿岩中玄武岩所具有的轻稀土富集的配分模式及 Nb、Zr 和 Ba 含量高的元素地球化学特征都反映其具有典型的洋岛玄武岩的基本属性(除样品 DQD12、DQD19、DQD20)。在 Ti-Zr-Y 判别图中,只有 DQD12、DQD19、DQD20 3 件样品落入洋中脊玄武岩区(MORB),其余样品都落入板内玄武岩(WPB)区。在 Nb-Zr-Y 判别图中,除了 DQD12、DQD19、DQD20 3 件样品落入到正常洋中脊玄武岩区,其余都落入到火山弧玄武岩(VAB)正常洋中脊玄武岩。在 Hf-Th-Ta 判别图中,除了 DQD12、DQD19、DQD20 3 件样品落入到正常洋中脊玄武岩和富集型洋中脊玄武岩区,其余样品都落入到板内碱性玄武岩和富集型洋中脊玄武岩相邻部位。在 La/Y-La 判别图中,除了 DQD12、DQD19、DQD20 3 件样品落入到洋中脊玄武岩区,其余样品都落入到洋岛玄武岩和火山弧玄武岩(VAB)相邻区域。

蛇绿岩的发育和产出的构造背景及其构造演化是一个长时间的、复杂的过程,会维持在相当长的一个时间段内。因此蛇绿岩的形成环境不是一个孤立的问题,而是要综合各种因素来判别,结合野外地质情况以及周围地质体的接触关系和室内的实验分析。综上所述,东巧蛇绿岩中的玄武岩既有正常洋中脊玄武岩的特征,主要是洋岛玄武岩型的特征。东巧蛇绿岩中的玄武岩形成于岩石圈上隆减压、大量富集地幔物质上涌的洋岛环境,地幔柱活动的高热流值使得具有更多放射性成因的同位素的古老岩石圈参与了造浆作用^[22],代表大洋板块内部洋岛环境下形成的洋壳残体。

5 结论

(1) 东巧蛇绿岩中的玄武岩属于碱性玄武岩类型,岩石化学上表现为较高的 Si、Ca、K,低 Mg、P 的特征。

(2) 微量元素蛛网图和稀土元素配分图上显示为右倾的平坦模式,总体与洋岛玄武岩具有一致性。

(3) 东巧蛇绿岩中玄武岩的地球化学特征显示其可能形成于大洋板内岩石圈上隆减压的洋岛环境,代表班公湖-怒江洋盆形成和发展阶段洋岛环境的大洋岩石圈残片。

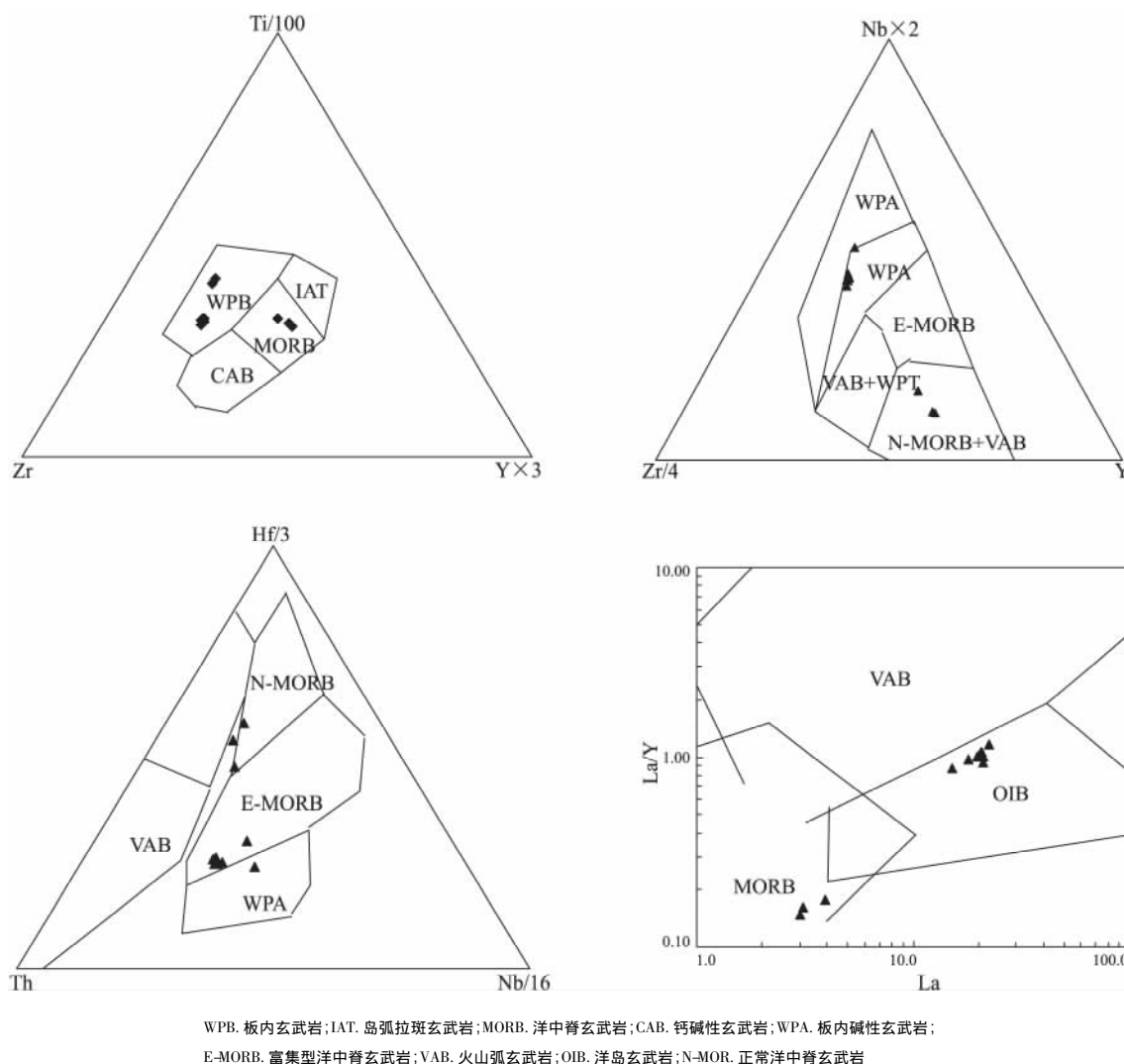


图7 东巧蛇绿岩玄武岩微量元素判别图解

Fig. 7 Trace element discrimination diagrams for the basalts from the Dongqiao ophiolites

致谢:中山大学海洋学院刘维亮老师在野外采样期间,南京大学周国庆老师在显微镜分析期间,中科院广州地球化学研究所的张玉泉老师、李建峰老师,给予了很多的帮助,在此表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1] 邓万明. 藏北东巧-怒江基性,超基性岩带的岩石成因[A]. 喜马拉雅地质 II[C]. 北京:地质出版社,1984. 83-98.
- [2] GIRARDEAU J, MARCOUX J, ALLEGRE C J. Tectonic environment and geodynamic significance of the Neo-Cimmerian Dongqiao ophiolite, Bangong-Nujiang suture zone, Tibet [J]. Nature, 1984, 307: 27-31.
- [3] GIRARDEAU J, MAREOUX J, FOUREADE E et al. Xainxa ultramafic rocks, central Tibet, China: Tectonic environment and geodynamic significance [J]. Geology, 1985, 13(5): 330-333.
- [4] 王永锋, 郑有业, 金振民. 西藏东巧方辉橄榄岩的显微构造特征及其流变学意义[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2005, 30(1): 52-60.
- [5] 夏斌, 徐力峰, 韦振权, 张玉泉, 王冉, 李建峰, 王彦斌. 西藏东巧蛇绿岩中辉长岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 地质学报, 2008, 82(4): 528-531.
- [6] 汤耀庆, 王方国. 藏北湖区蛇绿岩形成环境浅析[A]. 喜马拉雅地质 II[C]. 北京:地质出版社, 1984. 115-139.
- [7] 王希斌, 鲍佩声, 邓万明, 王方国. 西藏蛇绿岩(喜马拉雅岩石圈构造演化) [M]. 北京:地质出版社, 1987.
- [8] 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等. 东特提斯地质构造形成演化 [M]. 北京:地质出版社, 1997. 71-86.
- [9] ZHOU M F, MALPAS J, ROBINSON P T et al. The deynamothermal aureole of the Dongqiao ophiolite, northern Tibet [J]. Can. J. Earth Sci., 1997, 34(1): 59-65.
- [10] 叶培盛, 吴珍汉, 胡道功, 江万, 刘琦胜, 杨欣德. 西藏东巧蛇绿岩的地球化学特征及其形成的构造环境[J]. 现代地质, 2004, 18(3): 309-315.
- [11] 熊波, 李贤庆, 李艺斌, 谭青. 青藏地区岗巴通-亚安乡、东巧-纳木错石油与天然气地表地球化学勘探研究[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学) 2008, 38(增刊 II): 64-70.

- [12] 肖传桃, 夷晓伟, 李梦, 李超. 藏北安多东巧地区晚侏罗世生物礁古生态学研究[J]. 沉积学报, 2011, 29(4): 752–760.
- [13] ALLEGRE C J, COURTILLOT V, et al. Structure and evolution of the Himalaya-Tibet orogenic belt[J]. Nature, 1984, 307: 17–22.
- [14] 西藏地质矿产局. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [15] 刘颖, 刘海臣, 李献华. ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素[J]. 地球化学, 1996, 5(6): 552–558.
- [16] PEARCE J A. Basalt geochemistry used to investigate past tectonic environments on Cyprus [J]. Tectonophysics, 1975, 25(1–2): 41–67.
- [17] THY P, MOORES E M. Crustal accretion and tectonic setting of the Troodos ophiolite, Cyprus [J]. Tectonophysics, 1988, 147(3–4): 221–245.
- [18] ALABASTER T, PEARCE J A, MALPAS J. The volcanic stratigraphy and petrogenesis of the Oman ophiolite complex [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1982, 81(3): 168–183.
- [19] ROLLINSON H R. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation[M]. New York: John Wiley & Sons, 1993. 155.
- [20] 徐力峰, 夏斌, 李建峰, 钟立峰. 藏北湖区拉弄蛇绿岩枕状玄武岩地球化学特征及其成因[J]. 大地构造与成矿学, 2010, 34(1): 105–113.
- [21] FREY F A, CLAGUE D, MAHONEY J J, et al. Volcanism at the edge of the Hawaiian Plume: petrogenesis of submarine alkalic lavas from the North Archvolcanic field [J]. J. Petrol., 2001, 41(5): 667–627.
- [22] NIU Y, BATIZA R. Trace element evidence from seamounts for recycled oceanic crust in the eastern equatorial Pacific mantle [J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1997, 148: 471–484.

Geochemical signatures and tectonic setting of the basalts from the Dongqiao region, Xizang

HUANG Qiang-tai^{1,3}, XIA Bin^{1,2}, LI Qiang², ZHONG Yun², HU Xi-chong², ZHENG Hao²

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China;
2. School of Marine Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The Dongqiao ophiolites crop out mostly in the central part of the Bangong Lake–Nujiang suture zone, in which the ophiolites are well preserved. The trace and rare earth element analyses show that the basalts in the Dongqiao ophiolites display the noticeably LREE-enriched right-leaning REE distribution patterns. $La/Yb_N = 7.05 - 12.02$. The elements Th, Nb, Ta, Zr and Hf exhibit slightly positive anomalies. The geochemical signatures cited above have disclosed that these basalts are assigned to the oceanic-island basalts (OIB), and remarkably vary from the mid-oceanic ridge basalts (MORB) and island-arc basalts (IAB). The basalts in the Dongqiao ophiolites are interpreted to be formed in the oceanic-island environments where the lithospheric uplifting took place in the oceanic plates, and represent the oceanic lithospheric remnants in the oceanic-island environments during the formation and development of the Bangong Lake–Nujiang oceanic basin.

Key words: geochemistry; tectonic setting; basalt; Dongqiao; Xizang