

雅鲁藏布结合带中段混杂岩带内玄武岩的地球化学特征

孙立新¹, 万晓樵¹, 吴新国², 贾建称¹, 高莲凤¹

SUN Lixin¹, WAN Xiaoqiao¹, WU Xinguo², JIA Jiancheng¹, GAO Lianfeng¹

1. 中国地质大学, 北京 100083;

2. 石家庄经济学院, 河北 石家庄 050031

1. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Shijiazhuang Institute of Economics, Shijiazhuang 050031, Hebei, China*

摘要: 将雅鲁藏布结合带中段混杂岩内的玄武岩分为北带玄武岩和南带玄武岩。北带白垩纪玄武岩的SiO₂含量多为44.86%~50.96%, TiO₂均在3%以上, Na₂O+K₂O为3.78%~6.10%, Na₂O>K₂O; 南带中晚三叠世玄武岩的SiO₂含量为46.94%~49.58%, TiO₂为1.17%~2.04%, Na₂O+K₂O为3.79%~7.15%, Na₂O>K₂O。北带玄武岩属碱性玄武岩系列, 南带玄武岩属拉斑玄武岩系列; 北带玄武岩富集Rb、Th、Ta、Nb, 与洋岛碱性玄武岩稀土曲线一致; 南带玄武岩除Y、Yb、Sc、Cr外, 其他均富集, 显示与大洋拉斑玄武岩曲线一致。构造背景判别和分析显示, 北带碱性玄武岩形成于大洋板内洋岛环境, 南带拉斑玄武岩形成于洋盆海山环境。

关键词: 雅鲁藏布结合带中段; 混杂岩带; 玄武岩; 构造背景

中图分类号: P588.14⁺; P595

文献标识码: A

文章编号: 1671-2552(2005)01-0065-07

Sun LX, Wan XQ, Wu XG, Jia JC, Gao LF. Geochemical characteristics of basalt in a mélange zone in the central segment of the Yarlung Zangbo juncture. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(1): 65-71

Abstract: On the basis of 1:250000 regional geological survey, the authors have studied basalt in a mélange zone in the central segment of the Yarlung Zangbo juncture and divided it into basalt in the north zone and basalt in the south zone. The Cretaceous basalt in the north zone has the following chemical composition: SiO₂ mostly 44.86-50.96%, TiO₂ >3% and Na₂O+K₂O 3.78-6.10% with Na₂O>K₂O; and the Middle-Late Triassic basalt in the south zone has the following chemical composition: SiO₂ 46.94-49.58%, TiO₂ 1.17-2.04% and Na₂O+K₂O 3.79-7.15% with Na₂O>K₂O. The basalt in the north zone belongs to the alkaline basalt series, enriched in Rb, Th, Ta and Nb, showing that its characteristics are consistent with those of oceanic island basalt. The basalt in the south zone belongs to tholeiite series, enriched in all the trace elements and REE except Y, Yb, Sc and Cr, showing its characteristics are consistent with those of oceanic tholeiite. Discrimination and analysis of its tectonic setting made by using the results of the geochemical analysis show that the alkaline basalt in the north zone formed in an ocean island environment within the oceanic plate, while the tholeiite in the south zone formed in an oceanic basin seamount environment.

Key words: central segment of the Yarlung Zangbo juncture; mélange zone; basalt; tectonic setting

雅鲁藏布结合带是古近纪早期印度板块与欧亚板块碰撞的结合部位, 它记录了新特提斯洋盆开裂-闭合的完整过程。以往对雅鲁藏布结合带火成岩的研究主要见于20世纪80

年代以来对蛇绿岩和蛇绿混杂岩带的研究^[1-9], 近来的主要有王成善^[10]对雅鲁藏布江缝合带的系统总结、丁林^[11]对缝合带古新世深水沉积和放射虫的研究等。然而对分布于构造混杂

收稿日期: 2004-03-16; 修订日期: 2004-11-08

基金项目: 中国地质调查局1:25万区域地质调查项目(20001300009181)和国家自然科学基金项目(40272007)联合资助。

作者简介: 孙立新(1964-), 男, 高级工程师, 在读博士, 从事区域地质调查与地层古生物研究。E-mail: 1964sunlixin@163.com

带内的玄武岩则较少研究和探讨。本文从1:25万区域地质调查入手,对结合带内的混杂岩进行了详细填图,发现了多处基性火山岩,系统采集了样品,进行了主量元素、微量元素和稀土元素分析测试,同时对与火山岩伴生的硅质岩进行了放射虫分离,运用地球化学分析结果对其构造背景进行了判别和分析,确定北带碱性玄武岩形成于洋岛环境,南带拉斑玄武岩形成于洋盆板内环境。

1 火山岩产出地质背景

研究区位于雅鲁藏布结合带中段,长度超过300 km,呈东西向的狭长带状,大致沿雅鲁藏布江谷地展布于冈底斯地块与喜马拉雅地块之间(图1)。该带自北而南可分为蛇绿岩带和混杂岩带。蛇绿岩带位于结合带北部,主要由超镁铁岩、少量堆积岩、席状岩墙杂岩和枕状熔岩等组成,并含放射虫硅质岩,其中放射虫的年代被鉴定为阿尔布期—赛诺曼早期^[12,13]。混杂岩带沿蛇绿岩带南侧呈带状分布,自昂仁向西至仲巴一带均有断续分布,该带为一套厚度达万米的砂泥质复理石沉积和中基性火山岩、枕状熔岩。复理石地层中产菊石、双壳等化石,时代为三叠纪、侏罗纪和白垩纪。

火山岩主要产自蛇绿岩南侧的混杂带中,根据火山岩分布规律可分为2个带。

北带玄武岩分布于昂仁县列定—杰多—萨嘎县达吉岭(嘎学)—仲巴县穷果贡有一线,与蛇绿岩紧邻(图1),由块状粒玄岩、球颗玄武岩、枕状熔岩、气孔杏仁玄武岩夹硅质岩、灰岩、页岩、泥质粉砂岩组成,呈构造岩片产于蛇绿岩带与修康群之间,前人称嘎学群^①。本次在枕状熔岩所夹的硅质岩中分离出一些放射虫;*Holocryptocanium barbui* Dumitrica,

Orbicaliforma sp., *Dorypyle* cf. *oviudea* (Squinabol), *Hsuum feliformis* Jud, *Obesacapsula rusconensis* Jud及*Spongopyle ecleptos* Renz。玄武岩形成时代为早白垩世早期贝里阿斯期(由中国科学院地质与地球物理研究所李红生鉴定)。列定玄武岩样品P43TW1的K-Ar全岩同位素年龄为85.85 Ma±3.08 Ma, P43TW2为101.42 Ma±4.31 Ma, P43TW5为157.96 Ma±32.03 Ma。据此认为该火山岩形成时代为晚侏罗世—早白垩世。

南带玄武岩分布在昂仁县多白乡称根、萨嘎县且嘎乡、萨嘎县加加乡24道班、仲巴县39道班等地(图1)。岩性为灰黑色块状玄武岩、紫红色枕状熔岩、灰色气孔杏仁玄武岩及其共同成分的火山碎屑岩。玄武岩多呈巨型混杂岩块形式分布于晚三叠世修康群泥砂质板岩中,在多白乡称根村见晚三叠纪砂板岩不整合在火山岩之上。该火山岩中捕虏有灰岩岩块,在多白乡称根、加加乡24道班玄武岩捕虏的灰岩岩块中,含有海百合茎*Pentagonocylicus* sp., 珊瑚*Lopogpyllidium chazeensis*,腕足*Athyric?* sp., *Athyric* cf. *excavate*, *Dielasma dieneri*, *Dielasma truncate*, *Composita tangchiensis*, *Locyella*, *Locyeia nankingensis*, *Coseinarina squamularia inaequilateralis*等二叠纪化石(由中国地质大学杨式溥教授鉴定),据此笔者认为火山岩形成时代为中晚三叠世。

2 岩石学特征

北带玄武岩主要有块状粒玄岩、球颗玄武岩、枕状熔岩、蚀变气孔杏仁玄武岩。粒玄岩主要分布在列定一带,岩石呈灰黑色,斑状结构,块状构造,斑晶有单斜辉石和斜方辉石,含量约25%,自形一半自形,晶粒0.5~1.0 mm。基质间粒结构

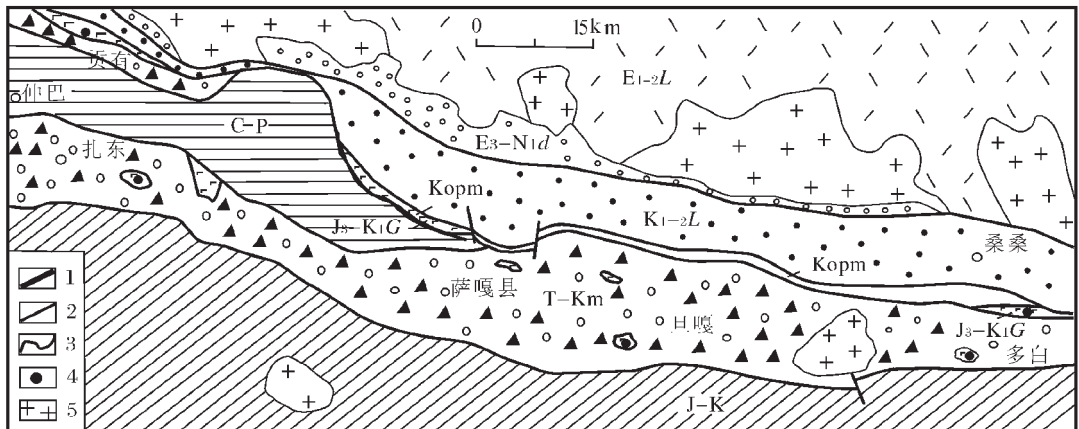


图1 雅鲁藏布结合带中段混杂岩中火山岩分布简图

Fig.1 Schematic map showing the distribution of volcanic rocks in mélanges of the central segment of the Yarlung Zangbo suture

E₃-N_{1d}—大竹卡组; E₁₋₂L—林子宗群; K₁₋₂R—日喀则群; Kopm—白垩纪蛇绿混杂岩;
J₃-K₁G—嘎学群; J-K—侏罗系—白垩系; T-Km—三叠纪—白垩纪构造混杂岩;
C-P—石炭系—二叠系; 1—主干断裂; 2—断裂; 3—地质界线; 4—采样点; 5—花岗岩

① 西藏自治区区域地质调查大队, 1:100万日喀则幅、亚东幅区域地质调查报告, 1983.324-458.

或粒玄结构,0.1~0.25 mm大小的齿状边缘半形斜长石中间充填有单斜辉石和磁铁矿等粒状矿物,基质中有少量皮壳状构造的玉髓,为小杏仁体,岩石具绿泥石化和绿帘石化。球状玄武岩常发育在枕状熔岩中,球状由束状、扇状的斜长石集合体、单斜辉石锥晶和玄武玻璃组成,球状间的基质为显微晶质—玻璃质结构,有少量束状斜长石和玻璃质。枕状玄武岩灰绿色、灰黑色,枕状构造,枕状体大小15~45 cm,边部具灰绿色冷凝边,内部有气孔和方解石杏仁体,具斑状结构,斑晶为斜长石和少量单斜辉石,基质呈填间结构,在板条状斜长石格架中充填单斜辉石、磁铁矿和玻璃质,绢云母化、绿泥石化较强。蚀变杏仁状玄武岩具斑状结构,斑晶为斜长石和少量单斜辉石,粒径为1.25~5.0 mm,基质呈填间结构,在板条状斜长石格架中充填单斜辉石、磁铁矿和玻璃质,主要矿物被绢云母、绿帘石和绿泥石取代。

南带玄武岩主要为灰黑色块状玄武岩、紫红色枕状熔岩、灰色气孔杏仁玄武岩及其同成分的火山碎屑岩。块状玄武岩灰黑色,多呈隐晶结构或间粒间隐结构,块状构造,基性斜长石中充填隐晶质,辉石多蚀变,岩石常有碳酸盐化、绿泥石化。紫红色枕状熔岩,枕状体大小10~45 cm,枕状体间被淬碎火山角砾充填,呈间隐结构。气孔杏仁玄武岩基本与北带气孔杏仁玄武岩特征相同。

3 地球化学特征

3.1 岩石化学

从玄武岩的岩石化学成分(表1)可以看出,北带玄武岩的SiO₂含量除3个样品小于45%,属超基性岩外,其余皆介于46.52%~50.94%之间; TiO₂含量在3.04%~4.34%之间,多在3.0%以上,属高Ti型;Al₂O₃为12.24%~15.55%;MgO在3.1%~7.01%之间;Na₂O+K₂O为3.78%~6.10%,Na₂O-2>K₂O,Na₂O/

K₂O为2.13~5.48,属典型富钠玄武岩;CaO为6.88%~9.56%,可能与次生碳酸盐杂质有关,MgO/(MgO+TFeO)为0.202~0.443,FeO>Fe₂O₃。南带玄武岩的SiO₂含量为46.94%~49.58%;TiO₂含量为1.17%~2.04%,均小于3%;Al₂O₃为13.36%~19.68%;MgO为1.74%~7.33%;Na₂O+K₂O为3.79%~7.15%,K₂O<Na₂O,具低钾富钠特点,区内玄武岩均显示K₂O含量远远低于Na₂O含量,细碧岩化作用可能是Na₂O含量增加的主要因素;CaO为5.52%~8.85%,与北带基本一致;MgO/(MgO+TFeO)为0.128~0.387,Fe₂O₃>FeO。在火成岩岩石化学分类TAS图(图2-a)中,本区火山岩均位于玄武岩区,为粗面玄武岩、碧玄岩和玄武岩。区内玄武岩普遍受到蚀变作用(包括岩石形成期间海水—岩石成分交换的细碧岩化作用),使部分岩石SiO₂、CaO含量发生明显变化,因此,利用主要氧化物成分进行岩石分类、系列划分容易产生偏差。为此,采用岩石中较稳定的微量元素进行岩石系列的判别,在Zr/TiO₂-Nb/Y图解中(图2-b),北带玄武岩均位于碱性玄武岩区,南带玄武岩多位于板内亚碱性玄武岩区。

3.2 微量元素

北带玄武岩(La/Ce)_n为1.09~1.76,(La/Yb)_n为5.56~8.49,与OIB接近,La/Sm比值为2.95~3.92,Ce/Zr为0.22~0.48,Zr/Y为4.54~10.0,Th/Ta为0.69~1.69,Ta/Hf为0.36~0.58,La/Nb、Y/Nb、Zr/Nb均与OIB相近。南带玄武岩La/Sm比值为1.32~2.91,Ce/Zr为0.12~0.20,Zr/Y为3.0~5.52,Th/Ta为0.66~1.48,Ta/Hf除1个样品外多为0.20~0.266,La/Nb、Y/Nb、Zr/Nb比值多与E-MORB相近(表2)。

从MORB标准分配曲线(图3)可以看出:北带碱性玄武岩多数具有协调一致的微量元素曲线分布特征,除个别样品的Rb、Cr配分模式有所变化外,其余火山岩样品总体特征相似,相对富集大离子亲石元素(LIL),Th、Ta、Rb明显富

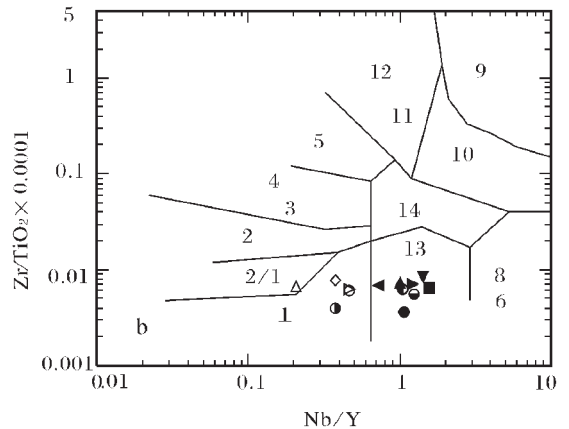
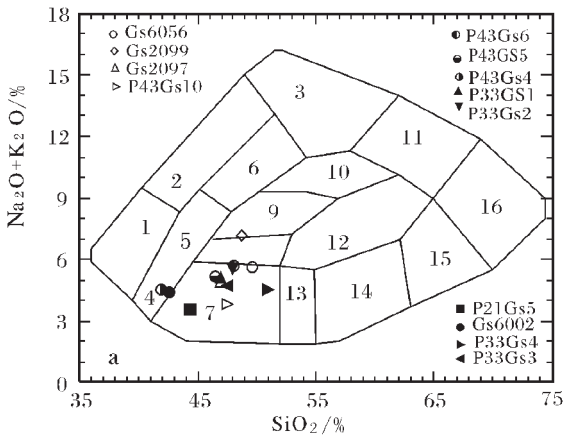


图2 混杂带内玄武岩的TAS图 (a)和Zr/TiO₂-Nb/Y图解(b)

Fig.2 TAS diagram (a) and Zr/TiO₂-Nb/Y diagram (b) of basaltic rocks in the mélange zone

- 图a:1—霞石岩;2—响岩质霞石岩;3—响岩;4—碧玄岩;5—碱玄岩;6—响岩质碱玄岩;7—玄武岩和苦橄玄武岩;8—夏威夷岩;9—橄辉粗安岩;10—粗安岩;11—粗面岩;12—粗面安山岩;13—玄武安山岩;14—安山岩;15—英安岩;16—流纹岩。
- 图b:1—亚碱性玄武岩;2—安山岩;3—英安岩;4—英安流纹岩;5—流纹岩;6—霞石岩;7—粗面玄武岩;8—碧玄岩;9—响岩;10—粗面岩;11—碱流岩;12—钠闪碱流岩;13—碱性玄武岩;14—粗面安山岩

表1 玄武岩主元素、微量元素、稀土元素化学分析数据

Table 1 Major element, trace element and REE analyses of basaltic rocks

样品	南带玄武岩				北带玄武岩												OIB*	N-MORB*	E-MORB*
	Gs 2097	Gs 2099	P43 Gs10	Gs 6056	P21 Gs5	P33 Gs1	P33 Gs2	P33 Gs3	P33 Gs4	P43 Gs4	P43 Gs5	P43 6002	P43 Gs6						
SiO ₂	46.94	48.68	47.46	49.58	44.34	46.94	48	47.48	50.94	48.1	46.52	42.6	41.86	50.13					
TiO ₂	1.31	2.04	1.84	1.17	3.6	3.06	3.56	3.04	3.2	2.54	3.58	4.34	4.240	1.83		1.50			
Al ₂ O ₃	15.13	18.1	13.36	19.68	14.04	14.32	13.54	14.25	14.75	15.55	14.36	12.89	12.24	15.18		16.0			
Fe ₂ O ₃	6.97	12.25	2	5.44	6.38	6.72	8.45	11.42	4.61	3.94	6.79	5.37	5.29						
FeO	3.32	0.84	9.32	2.04	6.68	4.57	4.67	2.32	1.54	6.59	6.99	6.9	6.13	12.12		10.0			
MnO	0.22	0.14	0.16	0.081	0.18	0.18	0.16	0.19	0.18	0.16	0.17	0.16	0.16	0.18					
MgO	6.06	1.74	7.33	1.81	6.26	5.55	3.1	4.08	4.54	3.28	4.68	7.01	6.15	6.26		7.5			
CaO	8.51	5.65	5.52	8.85	9.08	9.56	7.64	7.84	6.88	7.76	7.36	7.45	9.48	10.58		11.2			
Na ₂ O	4.1	4.89	3.45	4.79	2.85	3.78	4.65	4.55	4.35	4.82	4.17	3.22	3.08	2.83		2.75			
K ₂ O	0.8	2.26	0.34	0.82	0.72	1.3	0.88	0.19	0.18	0.88	1	1.19	1.44	0.57		0.14			
P ₂ O ₅	0.12	0.59	0.13	0.12	0.33	0.33	0.44	1.01	0.35	0.2	0.27	1.02	0.95	0.24		0.14			
LOI	6.70	2.53	7.61	5.33	5.70	3.59	4.24	3.26	3.92	5.35	3.34	7.7	9.94						
Σ	99.91	99.63	99.21	99.71	100.16	100.01	99.33	99.63	100.44	99.15	99.23	99.77	99.96	99.92		99.03			
Rb	2	52	1.88	19.8	20.9	31	25	5	5	27.5	32.3	22.9	23.3	31	1.322	7.86			
Sr	515	134	167	241	314	264	370	155	216	412	334	215	240	660	122.9	229.9			
Y	29	29	22.4	12.7	25.1	31	30	48	31	22.8	26	35	36	29.0	33.28	31.61			
Zr	87	160	116	70.1	234	222	300	211	227	160	197	159	166	280	107.8	149.5			
Nb	6	11	10.4	5.96	39.1	31	43	35	38	23.7	32.3	37.1	38.3	48.0	3.333	14.51			
Th	0.8	1.1	0.73	0.61	2.93	6.1	5.5	3.9	3.9	2.28	2.49	3.22	3.35	4.0	0.201	0.970			
Ga	15.9	17.7	14.6	15.3	20.6	21.9	22.8	24.3	23.2	18	20.4	16.4	15.8						
Cu	50.6	53.5	113	45.4	104	45.6	75.2	37	44.8	97.7	141	46.1	51.8						
Ni	64.6	48.8	55.9	47.1	53.1	70.1	35.4	165.9	61.9	67.8	88.8	40.1	40.5						
Os	309	174	244	130	298	279	332	272	370	225	306	241	240						
Cr	301.9	179.3	59.2	43.2	54.6	103.2	28.1	373.5	44.2	46	56.2	32.1	25.0						
Hf	2.2	4.5	3.52	2.04	6.21	4.9	8.3	4.9	5.2	4.38	5.5	4.67	4.76	7.80	2.856	3.450			
Cs	1.3	3.7	1.72	2.42	1.24	3.3	14.6	2.4	1	2.06	3.81	0.894	0.74						
Sc	40.9	40.9	21.4	11.3	17.2	28.7	24.1	39.5	32	13	15.6	14.01	13.6						
Ta	1.2	1.2	0.72	0.41	2.45	2.33	3.25	2.63	2.68	1.59	2.13	3.06	2.77	2.70	0.227	0.843			
Co	39.6	33.7	43.5	20.5	51.6	43.9	36	68.1	66.7	32.8	44.5	35.5	32.2						
U	0.21	0.5	0.21	0.14	0.93	1.37	0.74	0.7	1.63	0.48	0.47	0.84	0.93	1.02	0.083	0.370			
La	4	11	7.42	6.08	28.1	31	32	42	29	21.1	22.3	33	36.2	37.0	4.125	11.14			
Ce	11	20.5	19.3	14.3	62.9	62.3	68.7	58.5	57.2	44.8	53.3	74.3	80.3	80	12.90	26.69			
Pr	1.7	2.97	2.83	1.98	8.04	8.5	9.1	10.9	7.8	5.71	7.13	10.3	10.7	9.70	2.252	3.829			
Nd	8.9	13.6	13.9	9.36	34.9	36	38	45.9	32.3	23.6	30.5	46.7	49.4	38.5	11.32	16.59			
Sm	3.01	4	4.26	2.69	8.02	7.9	8.6	9.5	7.2	5.72	7.25	11.2	11.3	10.0	3.752	4.452			
Eu	1.04	1.28	1.52	1.12	2.73	2.58	2.69	3.11	2.45	1.95	2.44	3.94	3.93	3.00	1.361	1.547			
Gd	3.96	4.69	4.83	3.03	7.75	7.5	8.18	9.51	6.86	5.85	7.35	11.1	11.4	7.62	5.034	5.251			
Tb	0.76	0.87	0.77	0.48	1.09	1.29	1.4	1.65	1.19	0.87	1.05	1.53	1.52	1.05	0.868	0.860			
Dy	5.11	5.43	4.73	2.9	6.02	6.81	7.3	9.3	6.3	4.9	5.87	7.96	8.27	5.60	5.78	5.49			
Ho	1.1	1.13	0.95	0.55	1.11	1.17	1.23	1.7	1.12	0.92	1.07	1.51	1.52	1.06	1.244	1.161			
Er	3.15	3.3	2.66	1.46	2.77	3.15	3.11	4.57	2.79	2.46	2.82	3.76	3.9	2.62	3.595	3.309			
Tm	0.45	0.45	0.39	0.2	0.37	0.4	0.38	0.67	0.4	0.33	0.38	0.48	0.49	0.35	0.516	0.469			
Yb	2.81	3.01	2.38	1.25	2.21	2.3	2.2	3.9	2.4	2.08	2.33	2.82	2.9	2.16	3.42	3.097			
Lu	0.39	0.41	0.33	0.17	0.31	0.31	0.28	0.57	0.34	0.29	0.31	0.41	0.42	0.30	0.508	0.468			

注:常量元素由河北省区调研究所用湿化学法测定,微量、稀土元素由中国科学院地质与地球物理研究所采用仪器MAT ELEMENT等离子体质谱法(ICP-MS)分析,检测限优于 0.5×10^{-9} ,相对标准偏差优于5%。其中5件由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所采用等离子体质谱法(ICP-MS)和荧光光谱法(XRF)分析。主元素含量%,其他元素含量 10^{-6} 。OIB*平均值据Sun et al(1989),N-MORB*,E-MORB*平均值据Niu et al(2002)

集,Hf,Zr,Sm有一致的相似性,显示出板内洋岛玄武岩特点。南带玄武岩为拉斑玄武岩,除Rb,Sr,Th,Cr配分模式有变化外,其他元素配分模式总体特征较为相似,Zr,Y,Yb、Sc,Cr亏损,其他元素均富集,与大洋拉斑玄武岩和板内拉斑玄武岩的特征相似。

3.3 稀土元素

稀土元素分析结果见表1,其标准化分布曲线见图4。

从表1可以看出,北带玄武岩稀土元素总量为 $120.58 \times 10^{-6} \sim 248.83 \times 10^{-6}$,轻稀土明显比重稀土富集。轻重稀土元素分异明显,La/Sm比值为2.95~3.92,(La/Yb)_n为5.56~8.49,铈

表2 研究区玄武岩的微量元素比值

Table 2 Trace element ratios for basalts in the study area

样品	南带玄武岩				北带玄武岩											
	Gs 2097	Gs 2099	P43 Gs10	Gs 6056	P21 Gs5	P33 Gs1	P33 Gs2	P33 Gs3	P33 Gs4	P43 Gs4	P43 Gs5	Gs 6002	P43 Gs6	OIB*	N-MORB*	E-MORB*
La/Sm	1.32	2.75	1.74	2.91	3.50	3.92	3.72	4.42	4.03	3.69	3.08	2.95	3.20	3.70	1.099	2.50
La/Nb	0.67	1.0	0.71	1.02	0.71	1.0	0.74	1.20	0.76	0.89	0.69	0.89	0.95	0.77	1.237	0.767
Ce/Zr	0.126	0.128	0.166	0.203	0.268	0.281	0.229	0.277	0.252	0.28	0.271	0.467	0.484	0.286	0.12	0.178
Zr/Y	3.0	5.52	5.18	5.52	9.32	7.16	10.0	4.48	7.32	7.02	7.58	4.54	4.61	9.66	3.239	4.729
Y/Nb	4.83	2.64	2.15	2.13	0.642	1.0	0.698	1.37	0.816	0.962	0.805	0.943	0.94	0.604	9.98	2.178
Zr/Nb	14.5	14.55	11.15	11.76	5.98	7.16	6.98	6.03	5.97	6.75	6.10	4.29	4.33	5.83	32.34	10.30
Th/Ta	0.666	0.916	1.014	1.488	1.196	2.618	1.692	1.483	1.455	1.433	1.169	1.052	1.209	1.481	0.885	1.151
Ta/Hf	0.545	0.266	0.205	0.201	0.39	0.48	0.39	0.54	0.52	0.367	0.387	0.73	0.66	0.35	0.077	0.243
(La/Ce) _n	0.894	1.32	0.95	1.05	1.098	1.224	1.145	1.765	1.247	1.16	1.029	1.09	1.109	1.137	0.786	1.026
(La/Yb) _n	0.827	2.12	1.81	2.83	6.97	7.83	8.453	6.26	7.024	5.897	5.56	6.802	7.26	9.956	0.701	2.091

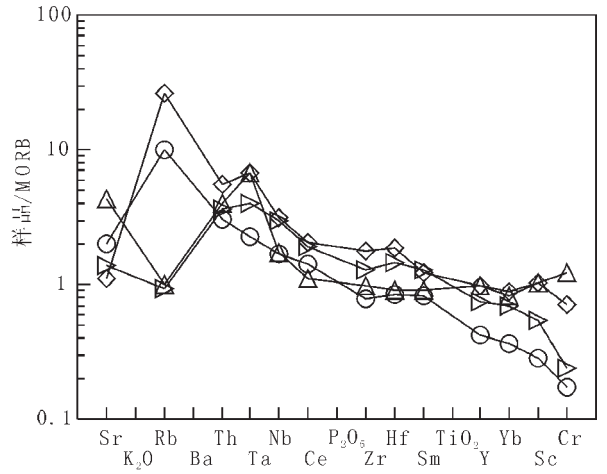
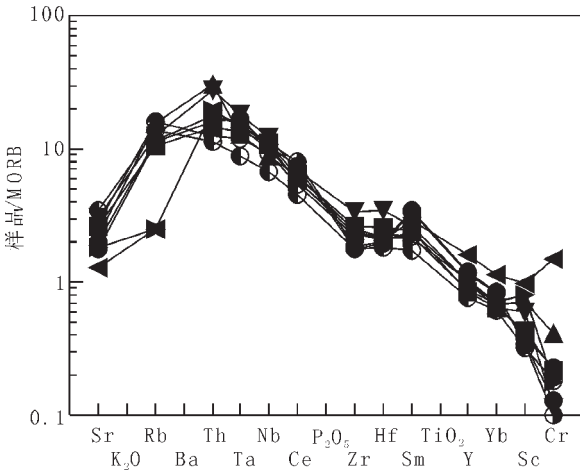


图3 火山岩微量元素MORB配分模式(图例同图2)

Fig.3 MORB-normalized trace element distribution patterns of volcanic rocks (MORB引自Perace 1983)

的异常不明显, Eu/Eu* 在 0.94~1.07 之间, 稀土元素分配曲线呈陡倾型(图4), 与洋岛碱性玄武岩相当。

南带玄武岩稀土元素总量较低, ΣREE 在 45.57×10⁻⁶~66.27×10⁻⁶ 之间, 轻重稀土分异较弱, La/Sm 比值为 1.32~2.91, (La/Yb)_n 为 0.827~2.83, 呈平坦型或弱亏损的分配曲线, 轻稀土无明显亏损, 个别样品有铈的负异常, 这种分配曲线型式与正常大洋拉斑玄武岩或板内拉斑玄武岩的特征基本相似。

4 构造环境讨论与结论

玄武岩在各种不同构造环境和构造演化阶段均有分布, 不同时代、不同背景下形成的玄武岩具有独特的地球化学特征, 因此它可以用来确定板块构造环境。20世纪70年代以来, 玄武岩构造环境判别的地球化学图解得到了较大发展^[4]。雅鲁藏布结合带混杂带内的玄武岩常有2种产出背景, 一种是平行于蛇绿岩带或构成蛇绿混杂岩块的北带玄武岩, 常与放射虫硅质岩伴生, 形成时间为白垩纪, 宏观上以枕状熔岩、块

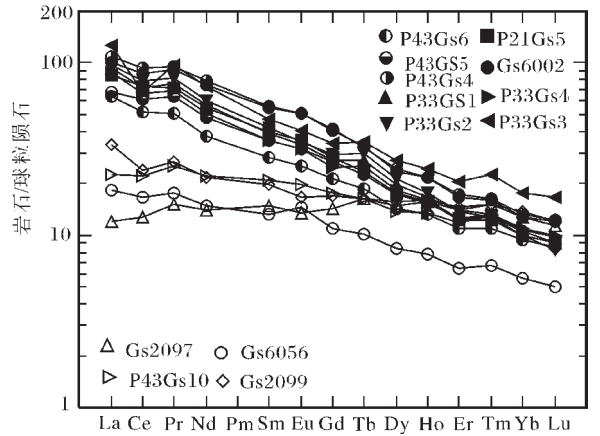


图4 火山岩稀土元素配分模式

Fig.4 REE distribution patterns of volcanic rocks

状熔岩、气孔-杏仁玄武岩为主, 具有高Ti特征, 它不是蛇绿岩的组成部分^[5], 属于板内玄武岩^[1-2]; 另一种是南带玄武岩, 形

成时间为三叠纪,分布局限,常呈岩块分布在泥砂质混杂岩内,以火山碎屑岩和枕状熔岩为主,南带中的玄武岩内包含大量二叠纪灰岩,其形成的构造背景不清,因此,探讨其形成环境对于认识特提斯洋盆的演化具有重要意义。

由于玄武岩经受较为强烈的海底变质和后期构造混杂,其中活泼性元素(如Na、K、Ca、Mg、Fe)大多数发生迁移,因而不能代表其原始组成,需要利用惰性不活泼元素对构造环境进行判别。Th、Ta、Zr、Y、P和Ti在构造改造和变质过程中

保持稳定, MnO-P₂O₅-TiO₂、Ti/100-Zr-Y×3、Zr-Zr/Y和Th/Yb-Ta/Yb图解等一直是较有效的玄武岩构造判别图解^[4]。在MnO-TiO₂-P₂O₅图解中,本区玄武岩多投在大洋岛拉斑玄武岩区和大洋岛碱性玄武岩区(图5)。在Ti/100-Zr-Y×3构造判别图中大部分样品落入板内玄武岩D区(图5)。在Zr/Y-Zr图中部分样品落入板内玄武岩区(图5)。在Th/Yb-Ta/Yb图解中北带玄武岩样品的投影点均落在OIB范围内,南带玄武岩样品的投影点均落在MORB区(图5)。

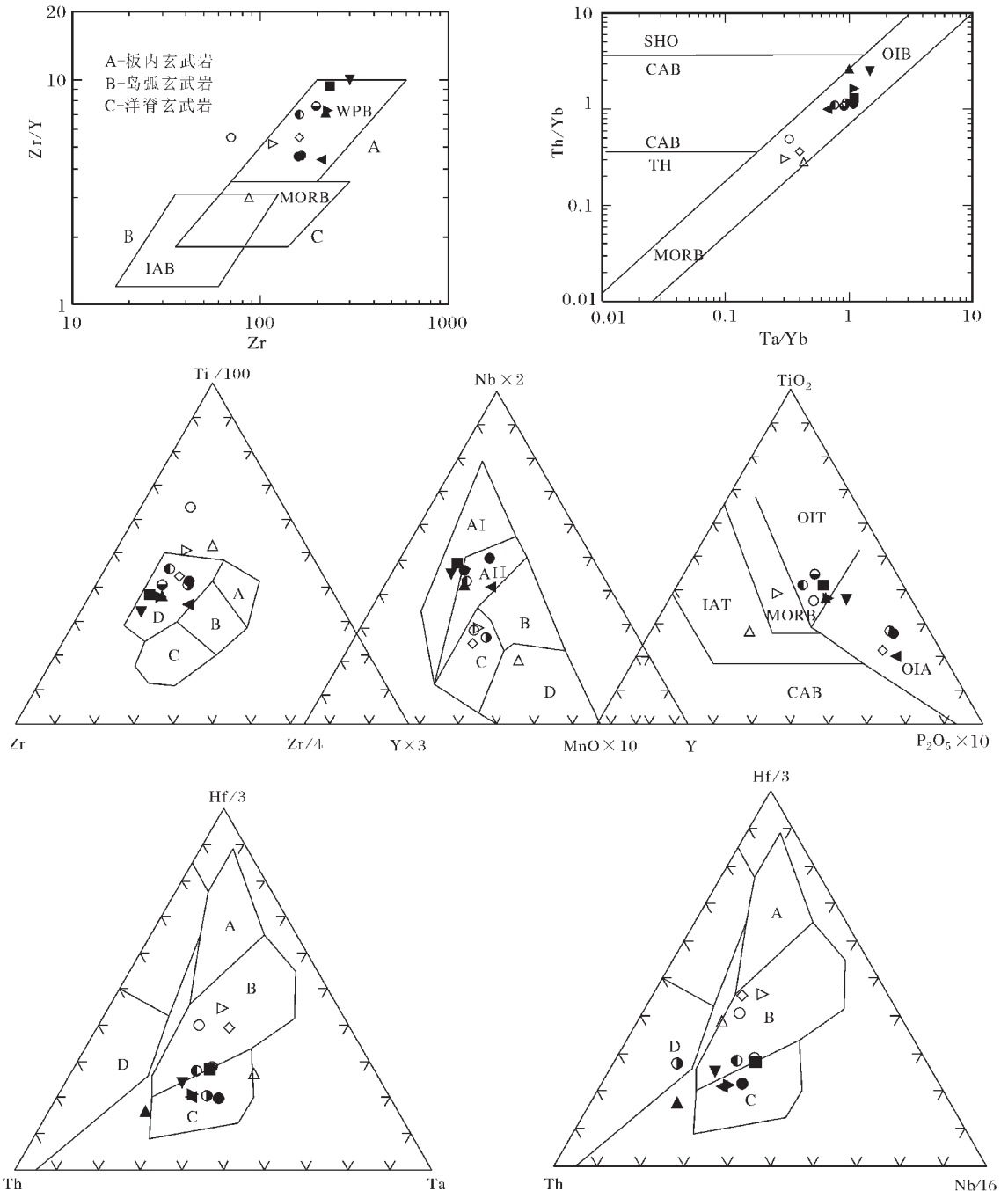


图5 混杂岩内玄武岩构造环境判别图解(图例同图2)

Fig.5 Tectonic environment discrimination diagram for basalts in mélanges

此外,Wood^[6]提出的Th-Ta-Hf、Th-Nb-Hf判别图利用非迁移的高场强元素(HFS)Th、Ta、Nb和Hf的相对含量来区分板块构造环境,具有较好的效果。在Hf/3-Th-Nb/16和Hf/3-Th-Ta图解中(图5),北带玄武岩样品的投影点均落入C区,为板内碱性玄武岩;南带玄武岩样品投入B区,为板内拉斑玄武岩和富集型洋脊玄武岩。在Zr/4-Nb/2-Y图解中(图5),北带玄武岩样品的投影点均落入AII区,为板内碱性玄武岩和板内拉斑玄武岩;南带玄武岩样品投入C区,为板内拉斑玄武岩和火山弧玄武岩。上述图解判别结果与微量元素、稀土元素所得结论一致。

Th/Ta是一个重要的与俯冲带有关的板块会聚边缘大地构造环境判别指标(Mckenzie et al, 1991)。由于Th、Ta都是强不相容元素,亲岩浆性的变化是同步的,在软流圈地幔中具有相似的丰度,并在熔体与结晶矿物间具有基本相同的分配系数,因而原始地幔的Th/Ta近于1。一般来说,大陆板内玄武岩LIL含量高而HFS含量低,岩浆源区相对较浅,因此岩浆穿过陆壳与陆壳的混染作用会使岩石的Th/Ta普遍较大(Th/Ta>1.6)。因此原始地幔的(Taylor, 1985)Th/Ta=1.6可以将大陆和大洋环境分开,大陆板内和岛弧玄武岩的Th/Ta比值高于原始地幔值,MORB和OIB的Th/Ta比值低于原始地幔值^[7]。研究区北带、南带玄武岩Th/Ta值多小于或近于1.6,应形成于洋内环境。

综合上述玄武岩的主量元素、微量元素和稀土元素分析结果可以得出下述结论。

(1)混杂带内北带晚侏罗世—早白垩世的玄武岩高Ti、富集LREE、轻重稀土分离明显、稀土总量高,其成分属碱性玄武岩。北带碱性玄武岩具有板内玄武岩的特征,而各种构造背景判别图解所得出的结果也证明其形成于大洋板内环境。然而北带玄武岩的产出环境究竟是板内大洋还是板内大陆环境?图解和地球化学特征均有重叠,从岩石组合上看,枕状玄武岩与放射虫硅质岩、灰岩等深海相伴生,据此笔者认为,北带玄武岩形成的构造背景应为板内洋岛环境。北带玄武岩具洋岛玄武岩的典型特征,轻稀土强烈富集分布形式可能是地幔柱活动造成的。

(2)南带三叠纪玄武岩低Ti、贫LREE、轻重稀土分离不明显、稀土总量低,其成分属亚碱性系列,具有正常大洋或板内拉斑玄武岩的特征,各种构造判别图解表明南带玄武岩多位于拉斑玄武岩区。Th/Ta和Th/Yb-Ta/Yb图解指示南带玄武岩位于洋内环境,可能为E-MORB或海山拉斑玄武岩。但是,南带玄武岩常与灰岩、复理石等沉积伴生,且呈串珠状岛链分布于混杂带内,推测可能为海山拉斑玄武岩,或富集型洋脊玄武岩(E-MORB),而不是大陆溢流玄武岩(CFB)。洋岛玄武岩和海山拉斑玄武岩及板内玄武岩都与地幔柱岩浆

活动有关,因此笔者认为,本区可能存在地幔柱的岩浆活动。南带玄武岩分布在修康群泥砂质板岩、砂板岩构成的复理石内,其形成时代尚有待进一步查明。

致谢:参加野外地质工作的还有河北省区域地质矿产调查研究所西藏项目部全体同志,放射虫分离鉴定由中国科学院地质与地球物理研究所李红生完成,本文承蒙张旗研究员审阅并提出修改意见,在此一并深表谢意。

参考文献:

- [1]鲍佩声,王希斌.西藏日喀则蛇绿岩成因的地球化学证据[A].见:喜马拉雅地质文集编辑委员会主编.喜马拉雅地质Ⅱ[C].北京:地质出版社,1984.59-82.
- [2]王希斌,鲍佩声,邓万明,等.西藏蛇绿岩[M].北京:地质出版社,1987.1-137.
- [3]夏斌,等.西藏西南部蛇绿岩及地体构造[M].广州:中山大学出版社,1998.4-30.
- [4]陈国铭,李光岑,曲景川.西藏南部混杂堆积及其地质意义[A].见:喜马拉雅地质文集编辑委员会主编.喜马拉雅地质Ⅱ[C].北京:地质出版社,1984.19-26.
- [5]高延林,汤耀庆.西藏南部的构造混杂体[A].见:喜马拉雅地质文集编辑委员会主编.喜马拉雅地质Ⅱ[C].北京:地质出版社,1984.27-44.
- [6]王连城.西藏南部的滑塌堆积[J].地质科学,1982,(2):201-206.
- [7]钱定宇.西藏札拉发现混杂堆积[J].地质科学,1982,(2):166-168.
- [8]吴浩若,王东安.西藏南部江孜地区的混杂堆积[A].见:沉积岩石学研究[M].北京:科学出版社,1977.120-127.
- [9]吴浩若.西藏南部雅鲁藏布蛇绿岩带下鲁硅岩中的侏罗白垩纪放射虫化石及其地质意义[J].中国科学院地质研究所集刊,1988,(3):191-212.
- [10]王成善,等.西藏日喀则弧前盆地与雅鲁藏布缝合带[M].北京:地质出版社,2000.1-237.
- [11]丁林.西藏雅鲁藏布江缝合带古新世深水沉积和放射虫动物群的出现及对前陆盆地演化的制约[J].中国科学(D辑),2003,33(1):47-58.
- [12]西藏地质矿产局.西藏自治区岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997.
- [13]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.
- [14]Rollinson Hugh R. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation[M]. New York: Longman Scientific & Technical, 1993. 1-213.
- [15]Wood D A. A variably veined subvolcanic upper mantle-gentic significance for mid-ocean ridge basalts from geochemical evidence[J]. Geology, 1979, 7: 499-503.
- [16]张旗,周国庆.中国蛇绿岩[M].北京:科学出版社,2001.1-15.
- [17]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.