

西藏冈底斯带东段石炭纪构造环境讨论

冉明佳, 钟康惠, 罗明非, 刘肇昌
成都理工大学, 成都, 610059

内容提要: 冈底斯带东段石炭纪构造环境存有争议。本文通过岩石地球化学分析, 发现石炭纪诺错组 and 来姑组火山岩具有碱性系列向拉斑系列过渡的特征, 具有双峰火山岩特点; 石炭纪玄武岩样品的平均化学成分与大陆拉斑玄武岩的平均值较为接近; 微量元素除 Ti、Yb、Y 之外, 其他元素都富集, 其中 Rb、Th、Ce 富集程度相对较高; 稀土元素特征表现为轻稀土富集, 铈、铈异常不明显。显示出石炭纪玄武岩的地球化学特征均与大陆拉斑玄武岩相似。构造环境判别图解显示, 石炭纪玄武岩样品主要落入板内环境的大陆拉张带(或初始裂谷)玄武岩区。因而认为冈底斯东段在石炭纪属于陆内裂谷或被动陆缘裂谷环境。

关键词: 冈底斯带东段; 石炭纪; 构造环境; 岩石地球化学

西藏冈底斯带, 也称“冈念地块”、“拉萨地体”、“冈底斯—念青唐古拉微板块”、“冈底斯—念青唐古拉板片”、“西藏群岛”等(王立全等, 2008), 位于班公湖—怒江结合带与雅鲁藏布江结合带之间, 东西长约 2000km, 南北宽 100~300km(图 1), 是青藏高原白垩纪以来岩浆活动期次最多、规模最大、岩浆类型最复杂的构造—岩浆带(莫宣学等, 2003, 2005)。前人研究主要集中在中生代以来岛弧岩浆活动特征和沉积盆地演化方面, 认为白垩纪以来规模宏大的冈底斯岩浆岩带活动, 是雅鲁藏布江新特提斯洋向北俯冲、消减的响应(常承法等, 1973; 金成伟等, 1978; 耿全如等, 2007b)。

晚古生代是西藏冈底斯带形成演化的一个重要阶段, 但相对于中—新生代而言, 地质工作和研究程度较低, 尤其有关晚古生代火山岩性质及其构造环境的认识分歧较大。Hsu 等(1995)认为, 晚古生代时期冈瓦纳大陆北缘发生日本海式裂离。李光明等(2002)认为, 冈底斯带具活动大陆边缘构造背景的弧火山活动始于石炭纪, 代表了冈瓦纳大陆群的印度陆块北缘的构造体制从被动大陆边缘向活动大陆边缘的重大转变。晚石炭世到二叠纪, 由于班公湖—怒江洋为代表的特提斯大洋向南俯冲, 大致在甲岗—雷拉普冈日一线以东的冈底斯构造带形成来

姑—洛巴堆陆缘岛弧。潘桂棠等(2006)认为冈底斯带在石炭纪—二叠纪为活动大陆边缘的岛弧构造环境。耿全如等(2007a, b)认为, 冈底斯带石炭纪火山岩形成于陆缘裂陷环境, 二叠纪火山岩形成于初始岛弧环境。王立全等(2008)认为, 冈底斯石炭纪—二叠纪火山岩形成于活动大陆边缘的岛弧构造环境。

鉴于耿全如等(2007a, b)与王立全等(2008)在讨论石炭纪构造环境时所采用的火山岩样品数据基本一致, 相同率达 80%, 结论却大相径庭。因此, 笔者认为有必要进行更全面地探究, 以准确判明冈底斯石炭纪构造环境。为此, 本文利用耿全如等(2007a, b)和王立全等(2008)在然乌雅则剖面和林周勒青拉剖面中采集的玄武岩样品测试数据, 并结合 1: 25 万区域地质调查资料, 从岩石地球化学特征入手, 对冈底斯石炭纪构造环境作如下探讨。

1 冈底斯东段石炭纪沉积地层学特征

羊八井—当雄—那曲断裂以东的冈底斯东段地区, 大致涉及 1: 25 万申扎、日喀则、当雄、拉萨、门巴、泽当等 21 个图幅(见图 1), 发育下石炭统、上石炭统—下二叠统。冈底斯带石炭系与下伏泥盆系为不整合或层序不整合接触, 由泥盆纪的碳酸盐台地

注: 本文为国家科技支撑项目“冈底斯东段铜多金属矿床时空关系和叠加改造研究”(编号 2006BAB01A04-4)、中国西部大型矿产基地综合勘查技术与示范项目(编号 2006BAB01A01-05~06)、西藏矿产资源潜力评价项目(编号 1212010813025)以及四川省级重点学科矿物学、岩石学、矿床学建设基金资助项目(编号 SZD0407)的成果。

收稿日期: 2010-10-23; 改回日期: 2011-12-06; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 冉明佳, 女, 1987 年生。硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。通讯地址: 610059, 成都市成华区二仙桥东三路 1 号; 电话: 028-84076821; Email: ranmingjia@163.com。

突变为石炭纪陆缘碎屑岩,部分地区(如然乌、波密、当雄)出现冰海相含砾板岩;沉积环境存在两次滨海—深海或深水斜坡—滨海的转变(耿全如等, 2007b)。

下石炭统包括诺错组 and 永珠组。诺错组主要分布在松宗—波密—然乌一带,为以陆棚相为主的板岩、砂岩、千枚岩及灰岩,厚 684.6 ~ 2924m,含腕足类 *Fusella—Eochoristites* 组合、珊瑚 *Hunboldtia—Bordenia—Zaphriphyllum* 组合,时代属于早石炭世早期 *Tournaisian—Visean* 阶段(西藏自治区地质调查院^①)。永珠组主要分布在申扎、日喀则幅内,为浅海相砂岩、粉砂岩、页岩及砂砾岩为主,夹砂屑结晶灰岩和生物碎屑灰岩,厚 1757.12 ~ 2346.1m,含珊瑚类化石 *Caninophrentis xizangensis*, *C. sp.*, *Amplexocarinia zangbeiensis* (*sp. nov.*), *A. cf. weiningensis* Wu et Zhao 等;腕足类化石 *Spiriferella salteri* Tschernyschew, *Phricodothyris sp.*, *Spiqiferellina sp.*, *S. cf. fastigata* (Schellwiler) 等,时代为早石炭世

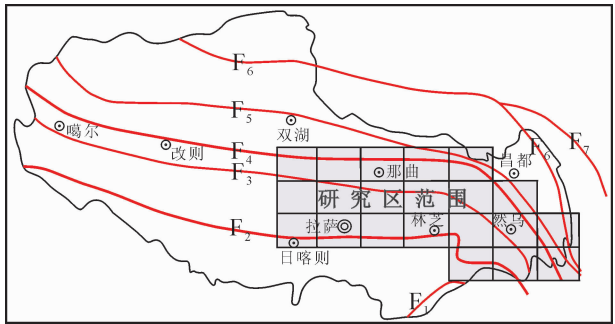


图 1 西藏冈底斯带东段大地构造略图
Fig. 1 Tectonic sketch of the Eastern Sector of the Gangdise Belt, Xizang(Tibet)
F₁—西瓦里克 A 型俯冲带;F₂—雅鲁藏布江结合带;F₃—狮泉河—嘉黎构造带(结合带);F₄—班公湖—怒江结合带;F₅—双湖—澜沧江结合带;F₆—洋湖—金沙江结合带;F₇—甘孜—理塘结合带;I—冈瓦纳大陆;II—泛华夏大陆;I₁—印度陆块;I₂—喜马拉雅陆块;I₃—冈底斯—念青唐古拉陆块;II₁—南羌塘—左贡陆块;II₂—昌都—思茅陆块;II₃—巴彦喀拉陆块;II₄—德格—中甸陆块
F₁—Siwalik A-type subduction zone; F₂—Yarlung Zangbo suture zone; F₃—Shiquan river—Jiali tectonic belt; F₄—Bangong Co—Nujiang suture zone; F₅—Shuanghu—Lancang suture zone; F₆—Yanghu—Jinsha suture zone; F₇—Garze—Litang suture zone; I—Gondwanaland; II—Pan-Cathaysian landmass; I₁—India continents; I₂—Himalayas continents; I₃—Gangdise—Nyainqntanglha continents; II₁—southern Qiangtang—Zuogong continents; II₂—Chamdo—Simao continental block; II₃—Bayankela continents; II₄—Dege—Zhongdian continents

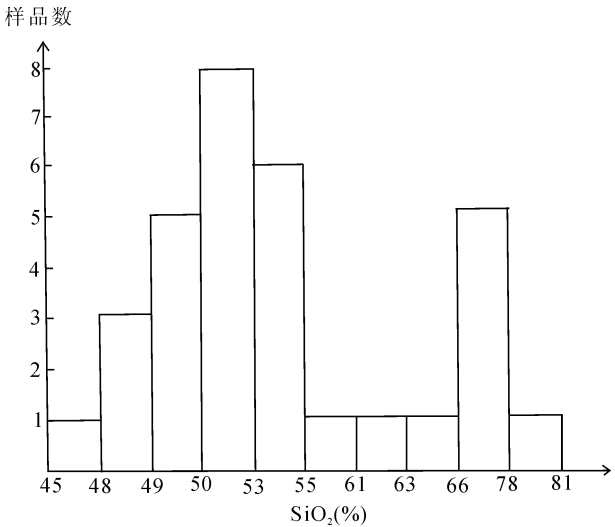


图 2 冈底斯东段石炭纪双峰火山岩
Fig. 2 Carboniferous bimodal volcanic rocks in eastern sector of the Gangdise

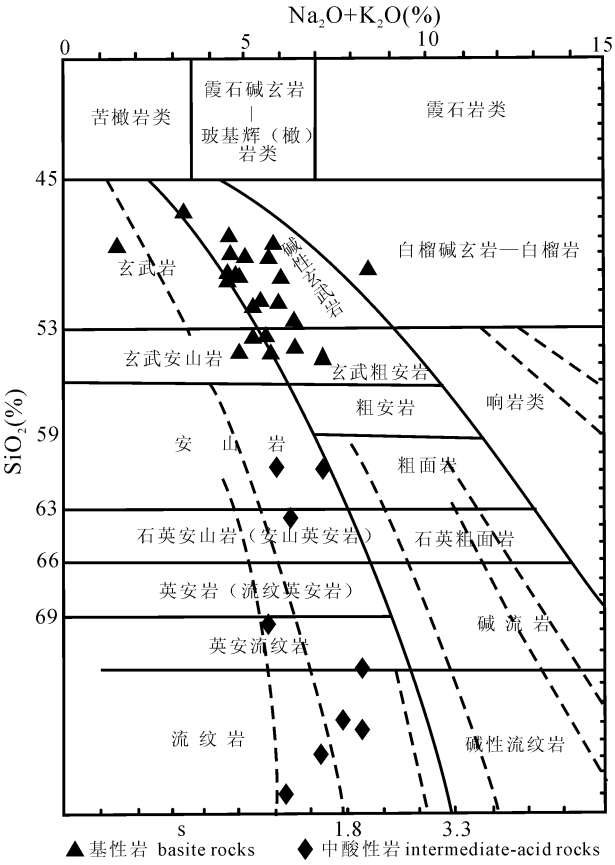


图 3 冈底斯东段石炭纪火山岩硅碱图
(底图引自邱家骧^②)
Fig. 3 SiO₂—(K₂O + Na₂O) diagram for carboniferous volcanic rocks in eastern sector of the Gangdise (base map from Qiu Jiaxiang^②)

至晚石炭世初期(西藏自治区地质调查院^③;吉林大

上石炭统一下二叠统来姑组,分布于松宗一波

学地质调查研究院^④)。

密—然乌一带,主要为以滨浅海—浅海相为主的含

表 1 冈底斯东段石炭纪中酸性岩常量元素分析数据(%)

Table 1 Major element analyses(%) of carboniferous intermediate—acid intrusive rocks in eastern sector of the Gangdise

层位	样品号	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	数据来源
C ₂ P ₁ l	SL411-7	玄武质角砾熔岩	61	1.35	15.08	0.82	4.4	0.14	1.66	3.46	5.07	2.08	0.42	1.83	①
	QGP10-b1	安山岩	60.92	0.63	17.62	1.26	4.02	0.095	1.38	4.28	3.35	2.55	0.157	3.17	④
	QGP15-b1	英安岩	75.26	0.22	12.11	1.56	0.58	0.012	0.37	0.27	2.59	5.58	0.061	0.8	
	QGP16-b1	英安岩	75.38	0.24	11.93	1.63	0.64	0.013	0.21	0.34	2.77	5.62	0.046	0.67	
	QGP18-b1	英安岩	77.18	0.21	11.32	1.9	0.46	0.004	0.31	0.1	1.91	5.25	0.058	0.95	
	S-4	变流纹英安岩	80.64	0.08	10.92	0.9	0.45	0.04	0.47	0.10	4.81	0.98	0.06	0.68	
	S-44	变流纹英安岩	72.26	0.15	10.56	1.88	0.47	—	0.7	0.30	2.58	5.55	0.05	0.55	
	YZ-5	英安岩	69.43	0.56	14.2	2.26	0.8	0.059	0.47	2.33	2.87	2.77	0.1	4.03	耿全如等, 2007b; 王立全等,2008
	YZ-1	英安岩	63.66	0.62	15.92	1.3	4.03	0.11	1.15	3.68	4.16	2.03	0.17	2.35	王立全等,2008

表 2 冈底斯东段石炭纪玄武岩常量元素分析数据(%)

Table 2 Major element analyses(%) of carboniferous basalts in eastern sector of the Gangdise

层位	样品号	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	数据来源
C ₂ P ₁ l	SL411-6	安山玄武岩	53.27	1.47	15.61	2.64	5.09	0.13	3.22	6.16	3.85	1.56	0.43	3.87	①
	SL411-12	①	54.02	1.77	15.15	4.56	4.46	0.08	2.54	5.74	2.91	2.1	0.42	3.48	
	SL411-13	钠质玄武岩	51.7	1.44	16.15	1.91	5.92	0.13	4.76	4.95	3.91	1.53	0.4	2.66	
	ZW2805-14	玄武岩	50.29	1.91	15.29	5.24	4.45	0.13	5.34	5.06	3.56	1.16	0.3	2.44	
	YZ-2	玄武岩	49.78	0.82	15.07	1.83	3.18	0.13	2.23	6.95	6.71	1.7	0.38	11.13	耿全如等, 2007b; 王立全等,2008
	YZ-4	玄武岩	48.56	1.59	14.87	1.65	5.67	0.098	2.85	6.3	1.74	4.08	0.5	11.55	
	YZ-7	玄武岩	50.34	1.69	16.7	4.54	4.05	0.088	3.62	6.24	4.93	1.03	0.42	5.41	
	YZ-8	玄武岩	51.53	1.5	15.73	1.65	5.46	0.11	3.2	6.9	5.5	0.43	0.4	6.67	
	YZ-9	玄武岩	49.02	1.59	16.19	3.29	5.56	0.13	4.02	6.49	2.26	2.78	0.4	7.42	
	YZ-11	玄武岩	51.74	1.5	16.76	2.99	5.72	0.14	4.6	7.55	4.14	0.98	0.37	3.1	
	YZ-12	玄武安山岩	53.81	1.38	14.67	3.7	4.5	0.12	3.31	5	5.75	0.65	0.34	6.1	
	YZ-13	玄武安山岩	54.84	1.41	16.18	2.84	4.21	0.12	2.49	5.12	4.21	3.1	0.48	4.43	
	YZ-14	玄武岩	49.18	1.56	15.66	3.11	5.07	0.14	3.86	6.84	3.97	1.76	0.38	7.5	
	YZ-16	玄武岩	52.56	1.41	16.15	2.54	4.65	0.13	2.59	5.31	3.39	2.83	0.44	7.06	
	QD-3-2	玄武岩	49.08	1.21	16.35	1.85	6.84	0.14	4.74	6.8	3.62	1.15	0.19	7.06	
	QD-4	安山玄武岩	50.12	1.21	16.65	1.38	7.15	0.14	4.22	6.42	3.99	0.86	0.37	6.8	
C ₂ P ₁ l	QD-5	安山玄武岩	49.82	1.15	16.47	0.58	7.85	0.14	4.64	6.57	3.67	0.89	0.14	7.25	耿全如等,2007b; 王立全等,2008
	QD-9	安山玄武岩	54.42	1.76	13.59	7.79	5.99	0.19	4.77	2.44	4.24	1.52	0.5	2.63	
	QD-6	安山玄武岩	46.98	1.03	15.22	6.35	6.59	0.21	7.91	9.18	2.63	0.68	0.14	2.41	
	QD-7	安山玄武岩	48.64	0.84	14.27	7.43	4.25	0.24	6.01	13.45	0.8	0.43	0.2	2.93	
C ₁ n	QGP5-b1	玄武岩	48.1	1.16	15.39	1.23	6.37	0.16	3.93	8.12	3.28	1.16	0.18	10.15	④
	S-45	安山玄武岩	50.02	0.68	15.74	0.12	7.06	0.16	4.79	7.62	3.24	1.38	0.15	8.65	④
C ₂ P ₁ l	S-59	变玄武岩	53.38	3.57	11.71	3.16	9.44	0.16	3.68	6.02	3.29	2.03	0.68	3.45	
平均			50.92	1.46	15.46	3.15	5.63	0.14	4.06	6.58	3.72	1.56	0.36	5.31	
洋脊拉斑玄武岩			49.8	1.5	16	—	10	—	7.5	11.2	2.75	0.14	—	—	武平,2005
岛弧拉斑玄武岩			51.1	0.83	16.1	—	11.8	—	5.1	10.8	1.96	0.4	—	—	
大洋碱性玄武岩			47.4	2.9	18	—	10.6	—	4.8	8.7	3.99	1.66	—	—	付建明,1997
大陆裂谷拉斑玄武岩			50.3	2.2	14.3	—	13.5	—	5.9	9.7	2.5	0.66	—	—	Condie, 1982
大陆裂谷碱性玄武岩			47.8	2.2	15.3	—	12.4	—	7	9	2.85	1.31	—	—	
大陆拉斑玄武岩			51.5	1.2	16.3	2.8	7.9	0.17	5.9	9.8	2.5	0.86	0.21	—	林建英,1985
峨眉山玄武岩			48.02	3.86	13.57	4.16	9.21	0.15	4.71	8.43	2.69	1.35	0.33	—	熊舜华等,1984
中国东部裂谷玄武岩			47.56	2.19	14.94	4.75	6.62	0.14	7	8.5	3.6	2.44	0.67	—	赵宗溥,1956

注：①—玄武质熔岩凝灰岩。

表 3 冈底斯东段石炭纪玄武岩微量元素分析数据(%)

Table 3 Trace element analyses(%) of carboniferous basalts in eastern sector of the Gangdisé

层位	样品号	岩石名称	Rb	Ba	Pb	Th	V	Cr	Ta	Nb	Sr	Zr	Hf	Co	Ni	数据来源
C ₂ P ₁ l	SL411-6	安山玄武岩	49.3	165	16.4	6.2	148	66.5	1.42	17.9	268.4	274	1.21	22.8	32.9	①
	SL411-12	玄武质熔岩凝灰岩	126.8	139	10.6	11.6	181.1	54.3	1.59	18	128.5	290	0.72	26.4	27	
	SL411-13	钠质玄武岩	31.5	174	12.2	11.6	173.2	80.3	1.46	16.9	235.1	270	1.21	29.9	47.8	
	YZ-2	玄武岩	60.5	152	21.3	10.4	28.4	7.28	1.77	23.2	233	429	9.98	7.78	4.96	耿全如等, 2007b; 王立全等, 2008
	YZ-4	玄武岩	149	271	10.2	6.13	171	50.1	1.12	14.6	203	226	5.7	18.5	18.8	
	YZ-7	玄武岩	149	271	10.2	6.13	171	50.1	1.12	14.6	203	226	5.7	18.5	18.8	
	YZ-8	玄武岩	20.1	76.6	8.22	4.5	153	84.1	0.83	10.8	212	189	4.85	36.8	31	
	YZ-9	玄武岩	144	246	13	4.86	202	46	1.11	14.6	291	237	5.98	30.6	33.7	
	YZ-11	玄武岩	35.5	228	10.2	4.34	191	89.5	0.95	12	411	204	5.23	31.2	33.9	
	YZ-12	玄武岩	34.9	75.1	9.12	4.78	79.7	80.9	0.85	10.6	225	182	4.8	25.7	29.5	
	YZ-13	玄武岩	119	355	21.4	12.9	121	28.3	1.6	20.4	287	394	9.5	20.5	17.5	
	YZ-14	玄武岩	87	110	8.28	4.56	196	86.3	0.9	11.6	172	195	5.05	29	46	
	YZ-16	玄武岩	123	192	16.3	12.6	132	28.1	1.56	19.7	239	364	8.58	21.4	18.1	
C ₁ n	QD-3-2	安山玄武岩	63.5	89.4	12.6	1.95	142	14.5	0.36	4.4	279	161	4.01	38.4	54.9	④
	QD-4	安山玄武岩	46.1	82.5	10.6	1.92	131	11.3	0.37	4.56	262	170	4.22	28.7	41.5	
	QD-5	玄武安山岩	55.7	74.5	11.3	2.01	143	15.4	0.14	2.01	269	152	3.79	37.9	54.9	
C ₂ P ₁ l	QD-9	玄武安山岩	132	139	8.76	11.9	210	8.18	1.26	13.3	70.5	225	6.59	44.6	2.79	
	QD-6	安山玄武岩	55	133	59.2	1.67	315	136	0.22	2.5	225	81.9	2.39	61.8	116	
	QD-7	安山玄武岩	37	61.2	41	1.4	317	98.2	0.19	2.3	163	64.9	1.97	45.1	84.4	
C ₁ n	QGP5-b1	玄武岩	30	111	26.9	2.8	127	21.6	0.5	8.7	265	171	3.7	25.8	42.8	

砾砂岩、长石石英砂岩、粉砂岩,厚 471.8 ~ 4669.10m。来姑组含丰富的腕足及双壳类化石,下部为 *Dictyoclostus*—*Athyris* 组合带;上部发育

Striatifera—*Chaetetes*、*Schizodus*—*Stutchburia*、*Fenestella*—*Polypora* 组合带;顶部为 *Martinia*—*Neocypricardina* 组合带,显示其时代属晚石炭世—

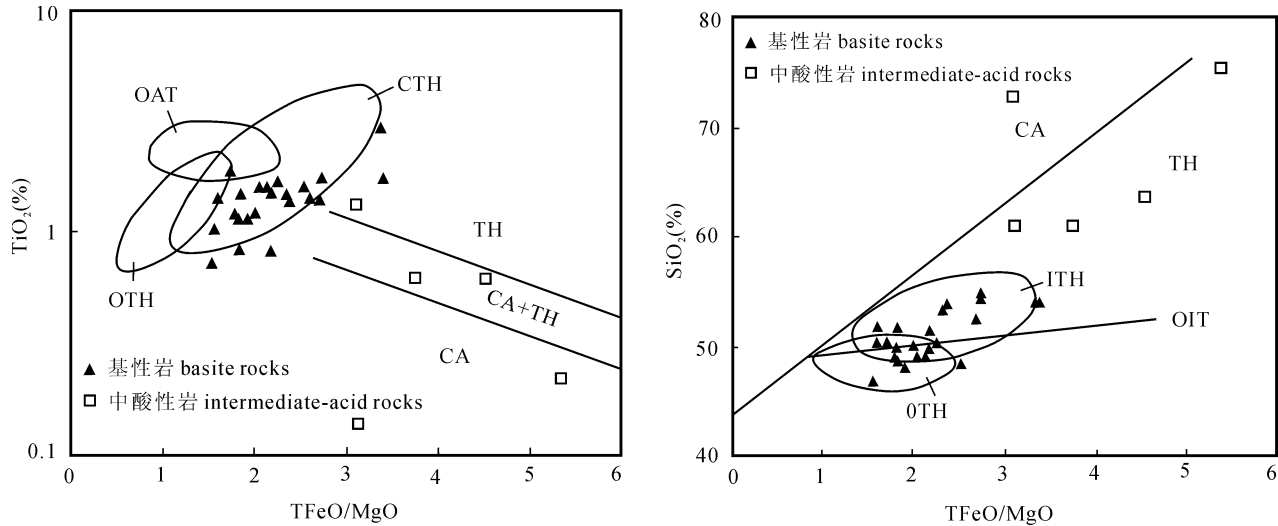


图 4 冈底斯东段火山岩 TiO₂、SiO₂、TFeO/MgO 变异图(底图引自刘肇昌,1996)

Fig. 4 TiO₂、SiO₂、TFeO/MgO diagram for volcanic rocks in eastern sector of the Gangdisé(base map from Liu Zhaochang,1996)

TH—拉斑系列;CA—钙碱系列;OAT—洋岛拉斑玄武岩;CTH—大陆拉斑玄武岩;OTH—洋脊拉斑玄武岩;
ITH—岛弧拉斑玄武岩;OIT—洋岛碱性玄武岩
TH— tholeiitic series;CA—calc-alkaline series;OAT—ocean island tholeiites basalts;CTH—continent tholeiites basalts;
OTH—ocean ridge tholeiites basalts;ITH— island arc tholeiites basalts; OIT—ocean island tholeiites basalts

早二叠世(西藏自治区地质调查院^①)。

2 冈底斯东段石炭纪火山岩地层学特征

据耿全如等(2007b)研究,冈底斯石炭纪火山活动大致有两期,均与沉积盆地裂陷作用伴生。火山岩主要分布在然乌—波密一带。

第一期火山活动发生于早石炭世,表现为夹于诺错组(C_1n)中的火山岩。该期火山岩出露于波密县倾多区林穷乡牧场一带,向 SE 延入墨脱县幅,与砂岩、粉砂岩、板岩及大理岩等呈夹层形式出现,岩性以玄武岩、玄武安山岩等熔岩和火山碎屑岩为主,厚 294 ~ 785. 3m。

第二期火山活动发生于晚石炭世—早二叠世,表现为来姑组(C_2P_1l)的火山岩夹层。该期火山岩出露于波密县倾多区珠西沟—夜同一—丁纳卡和然乌

雅则一带,岩性以玄武岩、玄武安山岩、安山岩、英安岩等熔岩为主,次为角砾熔岩和凝灰岩,厚 40 ~ 854m。

冈底斯带在泥盆纪的稳定被动大陆边缘碳酸盐台地环境,石炭纪发育陆缘碎屑岩伴火山岩沉积,并且火山岩均与深水斜坡或冰海相含砾板岩等共生(耿全如等,2007b),表明石炭纪已转变为伸展背景下的裂陷火山—沉积盆地。

3 石炭纪火山岩岩石地球化学特征

32 件石炭纪火山岩样品(表 1,表 2)中,基性岩类有 23 件,主要为玄武岩类, SiO_2 含量介于 46. 98% ~ 54. 84% 之间,平均 50. 92%;中酸性岩类有 9 件(含中性岩 2 件),主要为安山岩、英安岩和流纹岩类, SiO_2 含量介于 60. 92% ~ 80. 64% 之间,平均 70. 64%。总体而言,石炭纪火山岩的 SiO_2 含量在

表 4 冈底斯东段石炭纪玄武岩稀土元素分析数据($\times 10^{-6}$)

Table 4 REE element analyses (×10 ⁻⁶) of carboniferous basalts in eastern sector of the Gangdise																		
层位	样品号	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	数据来源
C ₂ P ₁ l	ZW2805-14	玄武岩	26.7	47.5	5.38	23.5	5.78	1.77	5.42	0.844	5.18	1.2	3.41	0.526	3.41	0.494		耿全如等， 2007b； 王立全等， 2008
	YZ-2	玄武岩	48.2	97.8	11.7	43.8	8.16	1.77	8.45	1.34	7.1	1.38	4.41	0.61	4.24	0.66	41.5	
	YZ-4	玄武岩	28	59.5	7.6	30.7	6.26	1.92	6.15	1.06	5.79	1.14	3.44	0.46	3.03	0.44	32.5	
	YZ-7	玄武岩	28	59.2	7.53	30	5.98	1.74	5.94	1.01	5.52	1.09	3.36	0.45	3.04	0.46	32	
	YZ-8	玄武岩	23.1	47.5	6.16	24.6	5.04	1.51	5.05	0.88	4.77	0.94	2.87	0.38	2.54	0.37	27	
	YZ-9	玄武岩	28.2	59.8	7.53	29.9	6.08	1.84	6.29	1.03	5.72	1.11	3.38	0.46	3.04	0.45	32	
	YZ-11	玄武岩	24.1	50.8	6.57	27	5.57	1.68	5.6	0.96	5.36	1.04	3.19	0.43	2.77	0.42	30	
	YZ-14	玄武岩	23.1	49	6.34	25.8	5.37	1.58	5.34	0.92	5.16	1.01	3.04	0.41	2.64	0.4	28.7	
	YZ-16	玄武岩	38.4	78.3	9.59	36.8	7.16	1.79	7.38	1.22	6.62	1.31	4.04	0.55	3.65	0.55	38.7	
C ₁ n	QD-3-2	玄武岩	12.3	27	3.62	15.2	3.52	1.26	3.55	0.69	4.14	0.82	2.54	0.34	2.26	0.34	24.6	
	QD-4	安山玄武岩	13.6	28.8	3.9	16.5	3.73	1.37	3.87	0.75	4.44	0.9	2.69	0.38	2.43	0.38	26.3	
	QD-5	安山玄武岩	12.5	26.5	3.59	14.9	3.35	1.26	3.53	0.69	3.94	0.78	2.4	0.33	2.21	0.34	23.1	
C ₂ P ₁ l	QD-9	安山玄武岩	32.4	66.2	8.45	34.5	7.68	2.15	8.18	1.57	9.27	1.89	5.84	0.82	5.49	0.82	55	
	QD-6	安山玄武岩	6.52	14.8	2.19	10.3	2.97	1.16	3.14	0.71	4.62	0.99	3	0.42	2.8	0.43	28	
	QD-7	安山玄武岩	6.52	14.2	2.08	9.91	2.83	1.23	3.09	0.67	4.43	0.93	2.82	0.39	2.61	0.4	28.4	
C ₁ n	QGP5-bl	玄武岩	12.1	28.36	4.05	15.17	3.86	1.31	4.02	0.72	4.11	0.84	2.45	0.39	2.41	0.35	24.02	
C ₂ P ₁ l	YZ-12	玄武安山岩	23.3	48.2	6.02	23.4	4.86	1.42	4.97	0.86	4.8	0.93	2.83	0.38	2.48	0.37	27	
	YZ-13	玄武安山岩	41.2	84.7	10.3	39.3	7.57	2	7.88	1.3	7.09	1.39	4.36	0.58	3.93	0.59	41	
	Xt-59	安山玄武岩	63.2	132	15.2	59.3	16.7	2.84	15.31	2.27	13.8	2.95	7.9	1.3	7.97	1.28	59.4	⑤

48%~55%、66%~78% 两个区间存在样品频数峰值,具有双峰火山岩的特点(图 2)。

在邱家骧的火山岩的硅—碱图上(图 3),石炭纪火山岩主要投影于碱性系列区,部分为钙碱性系列,少量为拉斑系列。但在都城秋穗的 $\text{TiO}_2\text{—TFeO/MgO}$ 变异图解上(图 4a),石炭纪火山岩主要落入 CTH(大陆拉斑玄武岩)范围内,极少数落入钙碱系列范围;在 $\text{SiO}_2\text{—TFeO/MgO}$ 变异图解上(图 4b),石炭纪火山岩主要落在拉斑系列玄武岩区的 ITH(岛弧拉斑玄武岩)和 OTH(洋脊拉斑玄武岩)范围内。上述表明,石炭纪火山岩具有碱性系列向拉斑系列过渡的特征。

3.1 常量元素地球化学特征

对倾多—古同和雅则两条剖面以及区调报告中的石炭纪火山岩共 23 件玄武岩类样品(诺错组 5 件,来姑组 18 件)的常量元素测试数据(见表 2)重新分析发现,石炭纪玄武岩样品的平均化学成分与洋脊和岛弧拉斑玄武岩明显不同,与大洋碱性玄武岩也有差别,相比之下与大陆拉斑玄武岩的平均值较为接近,但 Na_2O 、 K_2O 偏高, FeO 、 MgO 、 CaO 偏低。这可能是由于石炭纪玄武岩样品具碱性系列向拉斑系列过渡的特征,因而显示出与大陆拉斑玄武岩有一定差别。

3.2 微量元素地球化学特征

将 20 件玄武岩样品的微量元素分析数据及其平均值(表 3),用 N—洋中脊玄武岩标准化后投图

发现,各样品曲线特征相似,故只保留极值和平均值曲线(图 5 左)。从微量元素配分型式来看,石炭纪玄武岩样品整体呈右倾趋势,存在一个隆起,除 Ti、Yb、Y 之外,其他元素都富集,其中 Rb、Th、Ce 富集程度相对较高,与典型大陆拉斑玄武岩微量元素特征(王仁民等,1987;赵振华,1997)相似。

3.3 稀土元素地球化学特征

将 19 件玄武岩样品的稀土元素分析数据及其平均值(表 4),用里德球粒陨石标准化投图发现,各样品曲线特征相似,故也只保留极值及平均值的曲线。从石炭纪玄武岩样品稀土配分图(图 5 右)可看出,石炭纪稀土配分曲线整体呈右倾型,且斜率较大,说明其轻稀土富集,且分馏程度较好;从 19 件样品平均值的稀土配分曲线可看出 Eu 异常和 Ce 异常均不明显,与大陆拉斑玄武岩稀土元素特征(李昌年^①,1985;王仁民等,1987)相似。

石炭纪火山岩 19 件样品稀土元素的 ΣREE 在 $52.11 \times 10^{-6} \sim 342.02 \times 10^{-6}$ 之间,平均 142.70×10^{-6} ; LREE/HREE 在 2.36~7.50 之间,平均 5.32; $(\text{La/Yb})_N$ 在 1.54~7.51 之间,平均 5.01,均显示为轻稀土富集型。Eu/Sm 在 0.17~0.43 之间,平均 0.31; δEu 在 0.54~1.28 之间,平均 0.93,亦显示铕异常不明显。 δCe 在 0.89~0.98,平均 0.93,显示铈异常也不明显,与大陆拉斑玄武岩稀土元素分布特征相似。

3.4 石炭纪构造环境讨论

由路远发研发的 geokit 软件对冈底斯石炭纪 20

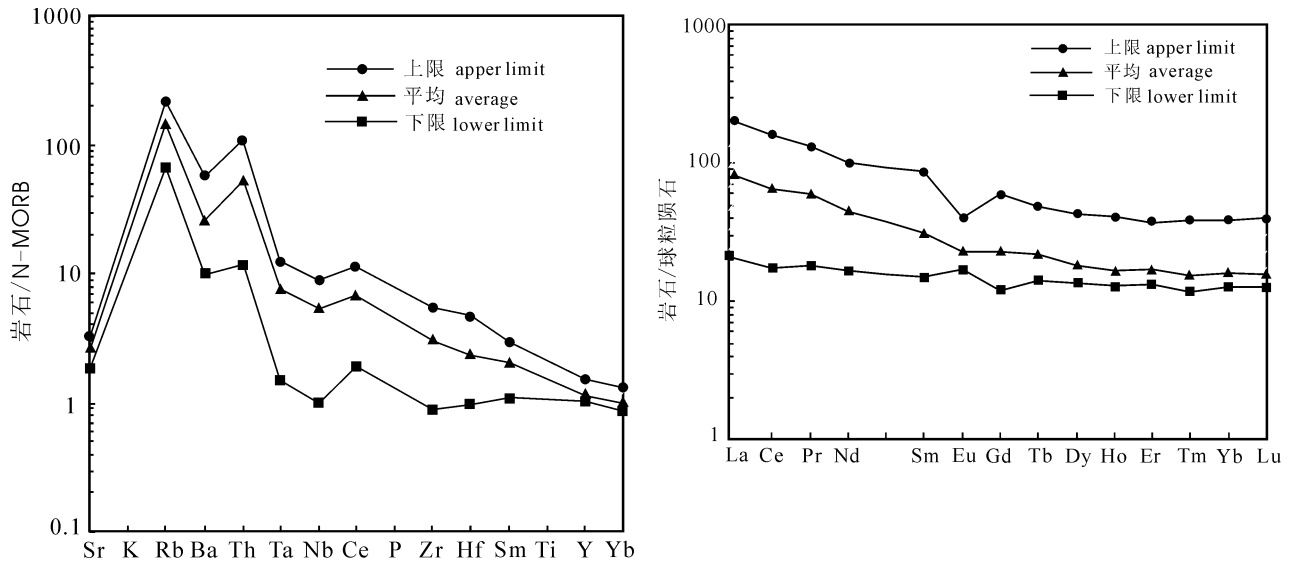


图 5 冈底斯东段石炭纪玄武岩类微量元素、稀土元素配分图
Fig. 5 Trace element patterns and chondrite-normalized REE patterns for carboniferous basalts in eastern sector of the Gangdise

件玄武岩样品进行构造环境判别图解投图发现,在 Zr—Zr/Y 图中(图 6),石炭纪玄武岩 18 件样品落在板内玄武岩(WPB)区内,仅 2 件样品(QD-6,QD-7)落在洋中脊玄武岩(MORB)与岛弧玄武岩(IAB)的公共部分,说明石炭纪安山玄武岩应属板内玄武岩。在 2Nb—Zr/4—Y 三角判别图中(图 7),石炭纪玄武岩样品主要落在 A1—A2 及 A2—C 区域内,即板内玄武岩的区域,仅 2 件样品落入火山弧和洋中脊区域内,同样说明石炭纪玄武岩属板内玄武岩。

在汪云亮等(2001)提出的 Ta/Hf—Th/Hf 图解(图 8)中,石炭纪玄武岩 20 件样品大部分落入大陆板内,其中落入大陆拉张带(或初始裂谷)玄武岩区(Ⅳ₃区)有 14 件,落入陆内裂谷及陆缘裂谷拉斑玄武岩区(Ⅳ₁区)有 1 件。另外,落入板块汇聚边缘的陆缘岛弧及陆缘火山弧玄武岩区(Ⅱ₂)有 4 件,洋岛弧玄武岩区(Ⅱ₁)有 1 件。

在孙书勤等(2003)提出的 Nb/Zr—Th/Zr 图解(图 9)中,石炭纪玄武岩 23 件样品大部分也落入大陆板内的区域内,其中落入大陆拉张带(或初始裂谷)玄武岩区(Ⅳ₂区)有 16 件,落入陆—陆碰撞带玄武岩区(Ⅳ₃区)有 3 件,落入陆内裂谷及陆缘裂谷拉斑玄武岩区(Ⅳ₁区)有 1 件。另外,落入大洋岛弧玄武岩区(Ⅱ₁)有 2 件,落入陆缘岛弧及陆缘火山弧玄武岩区(Ⅱ₂)有 1 件。

从投图结果分析来看,石炭纪玄武岩的形成环

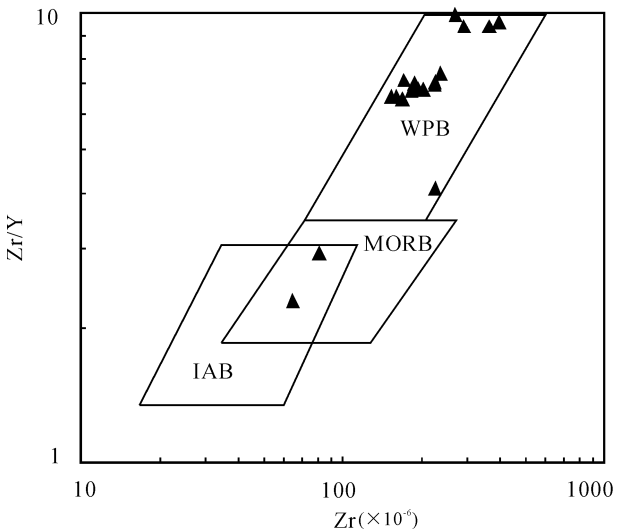


图 6 冈底斯东段玄武岩 Zr—Zr/Y 图解
Fig. 6 Zr—Zr/Y diagram for basalts in eastern sector of the Gangdise

IAB—岛弧玄武岩;MORB—洋中脊玄武岩;WPB—板内玄武岩
IAB— island arc basalts;MORB—mid-ocean ridge basalts;WPB—within plate basalts

境与大陆伸展环境具有密切的亲缘关系,但伸展程度存在差异。少量 MORB 型玄武岩(图 8,9)的出现表明局部可能已经出现洋壳。近年在松多一带发现有原岩为石炭纪—二叠纪 MORB 型玄武岩的高压变质榴辉岩,Sm-Nd 等时线年龄为 305Ma,锆石 Shrimp U-Pb 年龄 $242.4 \pm 15.2 \sim 291.9 \pm 12.8\text{Ma}$,加权平均为 $261.7 \pm 5.3\text{Ma}$ (杨经绥等,2007;李天福等,2007;徐向珍等,2007),表明强烈的伸展裂陷作用确已导致洋壳形成,进一步说明石炭纪—早二叠世为火山裂陷型被动陆缘。

火山岩样品中,主要是来姑组火山岩样品中,少数样品属钙碱系列,或某些微量元素具岛弧火山岩的地球化学特征,表明伸展裂陷作用晚期向挤压、俯冲作用转变,并最终在中二叠世形成洛巴堆组岛弧火山岩(李光明等,2002;潘桂堂等,2006;耿全如等,2007a;王立全等,2008)。体现了由石炭纪强烈伸展裂陷作用的陆内裂谷或被动大陆边缘裂谷转变为二叠纪以挤压、俯冲作用为主的活动大陆边缘。

4 结论

(1)冈底斯带东段石炭纪火山岩主要呈夹层状分布在诺错组和来姑组中,以玄武岩、玄武安山岩、英安岩、流纹岩为主,具双峰火山岩特点。

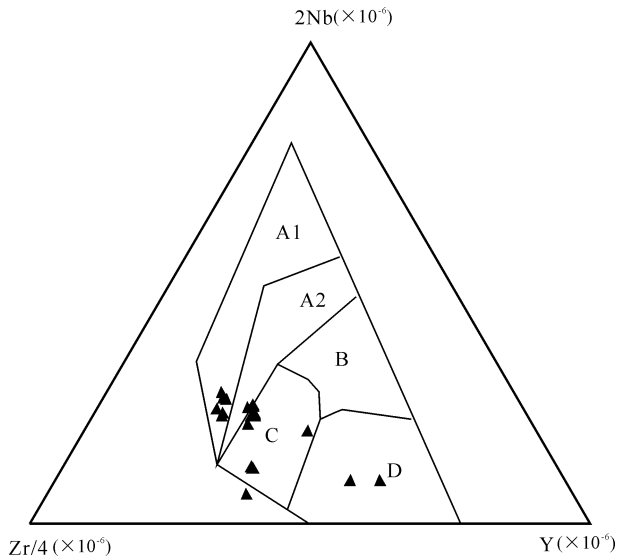


图 7 冈底斯东段玄武岩 2Nb—Zr/4—Y 图解
Fig. 7 2Nb—Zr/4—Y diagram for basalts in eastern sector of the Gangdise

A1 + A2—板内碱性玄武岩;A2 + C—板内拉斑玄武岩;B—P 型 MORB;D—N 型 MORB;C + D—火山弧玄武岩
A1 + A2— within plate alkaline basalts; A2 + C— within plate thleites; B—P—mid-ocean ridge basalts; D—N—mid-ocean ridge basalts; C + D—volcanic arc basalts

(2) 石炭纪火山岩具碱性系列向拉斑系列过渡的特征,岩石地球化学特征与大陆拉斑玄武岩特征相似。

(3) 石炭纪玄武岩构造环境判别图解显示,玄武岩样品主要落入板内环境的大陆拉张带(或初始裂谷)玄武岩范围。

综上所述,笔者等认为冈底斯带东段石炭纪为陆内裂谷或被动陆缘裂谷环境。随后,在二叠纪(主要是中二叠世)转变为活动大陆边缘。

致谢:本文得到刘清双教授和西藏地质调查院

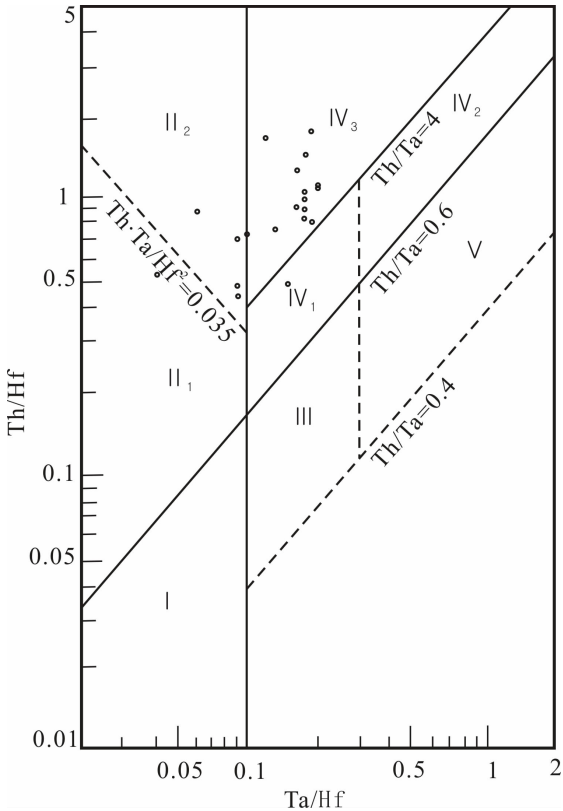


图 8 冈底斯东段玄武岩 Ta/Hf—Th/Hf 图解

Fig . 8 Ta/Hf—Th/Hf diagram for basalts in eastern sector of the Gangdise

I—板块发散边缘 MORB 区; II—板块汇聚边缘 (II₁—大洋岛弧玄武岩区; II₂—陆缘岛弧及陆缘火山弧玄武岩区); III—大洋板内(洋岛、海山玄武岩区及 T—MORB、E—MORB 区); IV—大陆板内 (IV₁—陆内裂谷及陆缘裂谷拉斑玄武岩区; IV₂—陆内裂谷碱性玄武岩区; IV₃—大陆拉张带(或初始裂谷)玄武岩区; V—地幔热柱玄武岩区

I—the margin of divergent oceanic plate; II—the margin of convergent plate (II₁—oceanic island arc; II₂— island arc and volcanic arc of continental margin); III—the oceanic intra plate (the oceanic island and seamount, T—MORB, E—MORB); IV— within continental plate (IV₁—continental rift; IV₂— continental rift alkali; IV₃— continental extension or initial rift); V— mantle plume

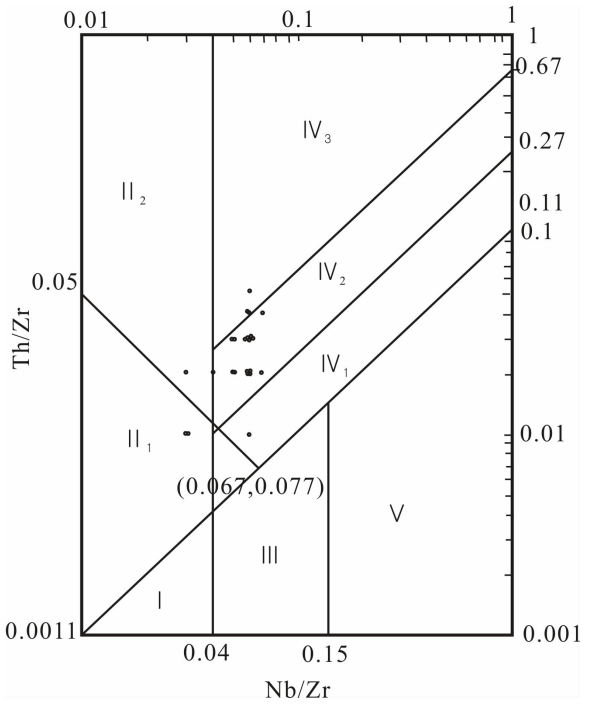


图 9 冈底斯东段玄武岩 Nb/Zr—Th/Zr 图解

Fig. 9 Nb/Zr—Th/Zr diagram for basalts in eastern sector of the Gangdise

I—大洋板块发散边缘 N—MORB 区; II—板块汇聚边缘 (II₁—大洋岛弧玄武岩区; II₂—陆缘岛弧及陆缘火山弧玄武岩区); III—大洋板内(洋岛、海山玄武板区、T—MORB、E—MORB 区); IV—大陆板内 (IV₁—陆内裂谷及陆缘裂谷拉斑玄武岩区; IV₂—大陆拉张带(或初始裂谷)玄武岩区; IV₃—陆—陆碰撞带玄武岩区; V—地幔热柱玄武岩区

I—the margin of divergent oceanic plate; II—the margin of convergent plate (II₁—oceanic island arc; II₂— island arc and volcanic arc of continental margin); III—the oceanic intra plate (the oceanic island and seamount, T—MORB, E—MORB); IV— within continental plate (IV₁—continental rift; IV₂—continental rift alkali; IV₃— continental extension or initial rift); V— mantle plume

李金高高工、潘凤雏高工的全力支持和帮助,在此一并表示感谢。

注 释 / Notes

①西藏自治区地质调查院. 2007. 中华人民共和国区域地质调查报告 (1: 25 万八宿县幅、贡觉县幅、然乌区幅、芒康县幅). 北京:中国地质调查局,183 ~ 193.

②西藏自治区地质调查院. 2002. 中华人民共和国区域地质调查报告 (1: 25 万日喀则幅). 北京:中国地质调查局,23 ~ 25.

③吉林大学地质调查研究院. 2003. 中华人民共和国区域地质调查报告 (1: 25 万申扎县幅). 北京:中国地质调查局,29 ~ 37.

④成都地质矿产研究所. 2003. 中华人民共和国区域地质调查报告 (1: 25 万墨脱县幅). 北京:中国地质调查局,116 ~ 122.

⑤西藏自治区地质调查院. 2005. 中华人民共和国区域地质调查报告

(1: 25 万边坝县幅). 北京:中国地质调查局,90~92.

⑥邱家骧. 2007. 岩浆岩岩石学. 成都理工大学内部教材,207~208.

⑦李昌年. 1985. 微量元素及其在岩石学中的应用. 武汉:武汉地质学院岩石教研室,84~86.

参 考 文 献 / References

常承法,郑锡澜. 1973. 中国西藏南部珠穆朗玛地区地质构造特征及青藏高原东西向诸山系形成的探讨. 中国科学(A 辑), (2):190~201.

付建明. 1997. 琼北新生代火山作用与构造环境. 桂林工学院学报,17(1):26~33.

耿全如,王立全,潘桂棠,金振民,朱弟成,廖忠礼,李光明,李奋其. 2007a. 西藏冈底斯带洛巴堆组火山岩地球化学及构造意义. 岩石学报,23(11):2700~2714.

耿全如,王立全,潘桂棠,金振民,朱弟成,廖忠礼,李光明,李奋其. 2007b. 西藏冈底斯带石炭纪陆缘裂陷作用:火山岩和地层学证据. 地质学报,81(9):1260~1276.

金成伟,周云生. 1978. 喜马拉雅和冈底斯山弧形山系中的岩浆岩带及其形成模式. 地质科学, (4):297~312.

李光明,高大发,黄志英. 2002. 西藏当雄纳龙晚古生代裂谷盆地的识别及其意义. 沉积与特提斯地质,22(1):83~87.

林建英. 1985. 中国西南三省二叠纪玄武岩系的时空分布及其地质特征. 科学通报, (12):929~932.

李天福,杨经绥,李兆丽,徐向珍,任玉峰,王汝成,张文兰. 2007. 青藏高原拉萨地块松多榴辉岩的岩相学特征和变质演化过程. 地质通报,26(10):1310~1326.

路远发. 2004. Geokit:一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包. 地球化学,33(5):459~464.

刘肇昌,李凡友,钟康惠,李伟,文绍先. 1996. 扬子地台西缘构造演化与成矿. 成都:电子科技大学出版社,72.

莫宣学,赵志丹,邓晋福,董国臣,周肃,郭铁鹰,张双全,王亮亮. 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,董国臣,赵志丹,周肃,王亮亮,邱瑞照,张风琴. 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.

潘桂棠,莫宣学,侯增谦,朱弟成,王立全,李光明,赵志丹,耿全如,廖忠礼. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化. 岩石学报,22(3):521~533.

孙书勤,汪云亮,张成江. 2003. 玄武岩类岩石大地构造环境的 Th、Nb、Zr 判别. 地质论评,49(1):41~45.

王立全,潘桂棠,朱弟成,周长勇,袁四化,张万平. 2008. 西藏冈底斯带石炭纪—二叠纪岛弧造山作用:火山岩和地球化学证据. 地质通报,27(9):1510~1534.

武平. 2005. 物质成分对岛弧拉斑玄武岩成因的指示意义. 新疆有色金属, (4):12~13.

王仁民,贺高品,陈珍珍. 1987. 变质岩原岩图解判别法. 北京:地质出版社,52~63.

汪云亮,张成江,修淑芝. 2001. 玄武岩类形成的大地构造环境的 Th/Hf~Ta/Hf 图解判别. 岩石学报,17(3):413~421.

熊舜华,李建林. 1984. 峨眉山区晚二叠世大陆裂谷边缘玄武岩系的特征. 成都理工大学学报(自然科学版), (03):43~63.

徐向珍,杨经绥,李天福,陈松永,任玉峰,李兆丽,李玉若. 2007. 青藏高原拉萨地块松多榴辉岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及锆石中的包裹体. 地质通报,26(10):1340~1355.

杨经绥,许志琴,李天福,李化启,李兆丽,任玉峰,徐向珍,陈松永. 2007. 青藏高原拉萨地块中的大洋俯冲型榴辉岩:古特提斯洋盆的残留? 地质通报,26(10):1277~1287.

赵宗溥. 1956. 中国东部新生代玄武岩类岩石化学的研究. 地质学报,36(3):315~363.

赵振华. 1997. 微量元素地球化学原理. 北京:科学出版社,114~120.

Condie K C. 1982. Plate Tectonic and Crustal Evolution. New York: Pergamon Press,80.

Hsu K J, Pan C T, Sengor A M C. 1995. Tectonic evolution of the Tibet plateau: a working hypothesis based on the archipelago model of orogenesis. International Geological Publishing House,1~86.

A Discussion on Carboniferous Tectonic Settings in the Eastern Sector of Gangdise Belt, Xizang(Tibet)

RAN Mingjia, ZHONG Kanghui, LUO Mingfei, LIU Zhaochang
Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059

Abstract: There has been controversial in eastern sector of the Gangdise belt. Through the analysis on geochemistry of rock, this paper found out the Nuocuo Fm. and Laigu Fm. possess transitional characteristics from the alkalis series and own bimodal igneous tectonic features. The average chemical composition of the basalt in the Gangdise belt is closer to continent tholeiite; all the microelements are enriched except Ti, Yb and Y; of them Rb, Th, Ce are more obviously high; rare earth elements showed LREE enrichment, Eu, Ce anomaly not observable. These data showed that the characteristics of Carboniferous tholeiite are similar to continental tholeiite. On the tectonic discrimination diagrams, the tholeiite samples of the basalt from the eastern sector of the Ganddise are focused on the intraplate continental stretching belt or beginning rift. So it is considered that the eastern sector of the Gangdise belt in Carboniferous belongs to an intracontinental rift or a rift on passive continental margin.

Key words: Eastern Gangdise; Carboniferous; tectonic environment; geochemistry