

文章编号: 1009-3850(2005)01-0101-10

西藏班公湖蛇绿岩组合层序、地球化学及其成因研究

曹圣华, 廖六根, 邓世权, 肖业斌, 徐 平

(江西省地质调查研究院, 江西 南昌 330201)

摘要: 班公湖蛇绿岩带位于班公湖-怒江结合带西段, 蛇绿岩均遭受了强烈挤压构造变形而形成蛇绿混杂岩带。通过对不同类型的蛇绿混杂岩片按正常蛇绿岩层序重新组合排列, 恢复后的蛇绿岩层序综合剖面可与典型洋壳剖面对比, 自下而上层序为: ①变质橄榄岩, 主要为强蛇纹石化斜辉橄榄岩和纯橄岩; ②堆积岩, 由层状辉长岩和层状橄榄岩组成; ③辉长辉绿岩岩墙群; ④镁铁质熔岩, 可分为块状熔岩和枕状熔岩; ⑤深海一半深海沉积, 岩性为放射虫硅质岩、浊积岩、灰岩等。地质构造和地球化学特征对比综合分析表明, 该区蛇绿岩主要形成于中特提斯洋中脊、洋岛环境, 中特提斯洋可能为比较成熟的大洋盆地, 而不是发育不完全的陆间小洋盆或边缘海盆地。

关键词: 蛇绿岩; 地球化学; 班公湖带; 西藏

中图分类号: P542

文献标识码: A

1 概 述

班公湖蛇绿混杂岩带位于班公湖-怒江结合带西段, 该地蛇绿岩及蛇绿混杂岩露头较好, 交通较便利, 前人做了一些工作^[1]。姜春发等(1984)认为班公湖蛇绿岩套的火山岩主要为深海拉斑玄武岩类, 属 P 型洋脊玄武岩, 个别碱性玄武岩可能形成于洋岛环境^[2]。王希斌等(1987)和西藏地质矿产局(1993)^[3,4]认为, 该区蛇绿岩所代表的洋壳具有初始洋盆性质, 发育有彼此孤立的小规模分异岩浆房, 反映出某种不稳定的有限扩张环境, 并具有从离散大陆边缘向活动岛弧转化的特点, 蛇绿岩形成的位置是在边缘海的扩张脊(1:100万日土幅, 1987)。笔者在前人工作基础上, 通过 1:25 万喀纳幅、日土县幅、羌多幅地质填图, 对班公湖蛇绿岩的野外地质特征及蛇绿岩组合层序进行了专题研究, 在室内重点开展了蛇绿岩的常量、微量、稀土元素的系统测定和分析, 并由此对班公湖蛇绿岩成因有了较清晰的认识。

2 蛇绿岩组合层序与岩石学特征

2.1 蛇绿岩组合层序

班公湖蛇绿岩带位于班公湖两岸龙泉山、麦克尔、喀纳、拉木吉雄、查拉木、巴尔穷、斯潘古尔、班公山、日土、茶罗、界哥拉、热邦错一线, 总体呈北西西向展布(图 1)。各地蛇绿岩及蛇绿混杂岩体出露面积大小不一, 蛇绿岩层序组合亦不相同, 归纳起来具如下特征:

(1) 蛇绿岩剖面由于构造肢解而出露不全, 通常由两个以上不同的岩石单元组成。主要有以下几类: 一是由超镁铁岩、镁铁质岩组成的剖面, 如龙泉山剖面 and 斯潘古尔剖面; 二是由辉绿岩墙群、基性熔岩与紫红色硅质岩组成的剖面, 如麦克尔剖面; 三是蛇绿岩层序较完整的剖面, 如柴朱日、嘎公拉钦娃、巴尔穷剖面。

(2) 通过对上述剖面中不同类型的蛇绿混杂岩岩片按正常蛇绿岩层序重新组合排列, 恢复的蛇绿岩层序综合剖面可与典型洋壳剖面岛湾(Newfound-

land)和西藏日喀则对比,且可与具有洋幔-洋壳沉积的现代洋底剖面对比(图2),自下而上层序为:①变

质橄榄岩,岩石类型以强蛇纹石化斜辉橄榄岩为主,少部分纯橄榄岩、二辉橄榄岩、蛇纹岩;②堆积

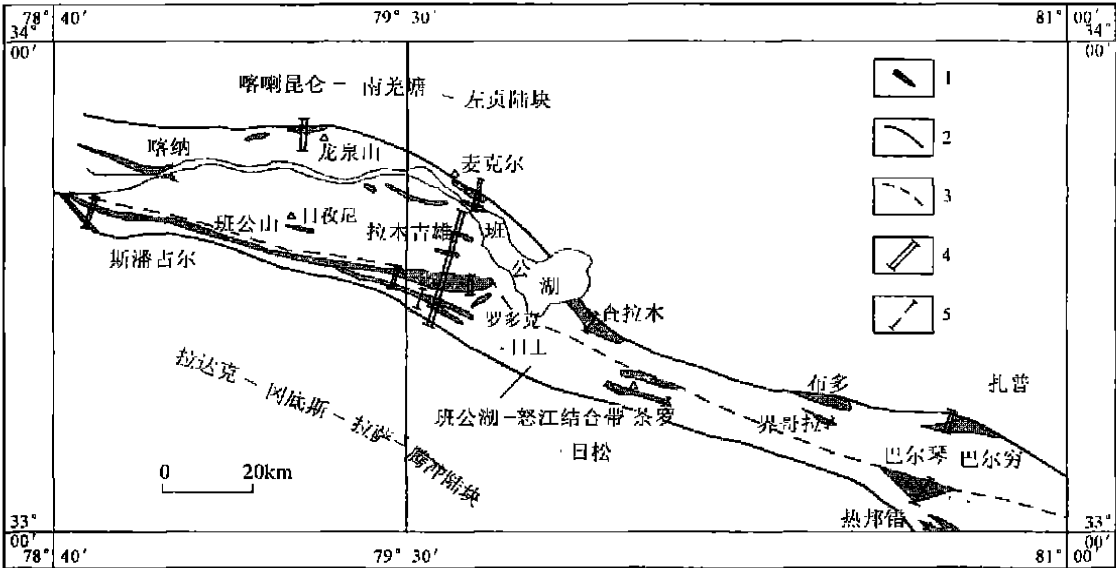


图1 班公湖地区蛇绿岩混杂岩分布及剖面位置图

1. 蛇绿岩及蛇绿混杂岩; 2. 班公湖蛇绿混杂带边界 3. 蛇绿混杂带南北亚带边界; 4. 实测剖面; 5. 路线剖面

Fig. 1 Distribution of the ophiolitic mélanges and location of the studied sections in the Bangong Lake area

1= ophiolite and ophiolitic mélanges; 2= boundary of the ophiolitic mélang zone in the Bangong Lake area; 3= boundary of the northern and southern subzones of the ophiolitic mélang zone; 4= measured section; 5= route section

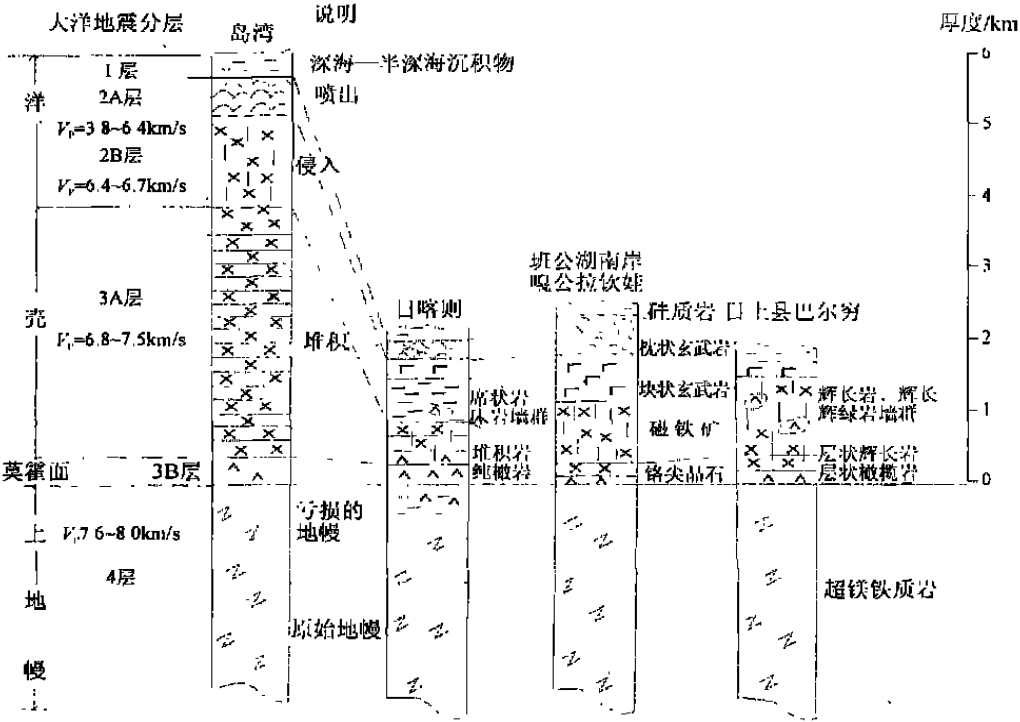


图2 西藏班公湖蛇绿岩综合剖面与典型蛇绿岩剖面及洋壳地震剖面示意对比图

(台湾、日喀则蛇绿岩及洋壳地震剖面资料据王希斌等, 1984)

Fig. 2 Comparison of generalized Bangong Lake ophiolite sections, representative ophiolite sections and oceanic-crust seismic profiles (Newfoundland in Canada and Xigaze ophiolite sections and oceanic-crust profiles seismic profiles after Wang Xibin et al., 1984)

岩,在该区不太发育,嘎公拉钦娃剖面和巴尔穷剖面

出露了宽数十米层状蛇纹石化斜辉橄榄岩和层状角

闪辉长岩; ③席状岩墙群, 在研究区较发育, 出露宽数百米, 单个岩墙一般宽0.8~2.5m, 往往彼此平行, 密集分布, 主要为辉长岩、辉长辉绿岩穿插侵位于超镁铁质岩中, 绝大部分构造剪切变形成长透镜状分布; ④镁铁质熔岩, 可分为块状熔岩和枕状熔岩, 岩石类型有玄武岩、蚀变玄武岩、苦橄玄武岩和玄武质细碧岩等; ⑤深海一半深海沉积, 以复理石浊积岩、紫红色硅质岩为主, 夹多层沉凝灰岩、玻屑凝灰岩。

(3)辉长(辉绿)岩常与超镁铁质岩常共生, 它们可以是一种岩体产出, 呈块状构造, 部分有较好的层状构造; 也可以呈岩墙、岩床产出, 切割橄榄岩体或与其呈夹层关系, 在接触带上无明显的烘烤现象。

(4)岩石蚀变强烈, 大部分变成蛇纹岩, 蚀变类型有蛇纹石化、绢石化、碳酸盐化、滑石化、绿帘石

化、绿泥石化及绢云母化。岩石结构为他形粒状碎裂结构, 部分糜棱结构, 镜下所见矿物颗粒常呈现拉长、扭曲和波状消光现象, 甚至多种成分的混杂现象, 说明蛇绿岩经受过强烈的构造作用。

(5)洋脊型玄武岩一般与超镁铁岩共生, 并多处见到枕状构造, 岩枕产状要素亦大体与区域构造线一致; 洋岛型玄武岩常与灰岩或大理岩共生, 呈互层状或透镜体分布, 有的出露宽近百米。

总之, 该带蛇绿岩层序与前人总结的阿尔卑斯型蛇绿岩共生组合特征基本一致, 可与其它地区典型蛇绿岩进行区域对比。

2.2 岩石学与岩石组构特征

该区蛇绿岩组合中各岩石类型基本特征、组构特征见表1。

表1 研究区蛇绿岩岩石学与岩石组构特征蛇绿岩层序
Table 1 Rook types and fabrics of the ophiolites from the study area

蛇绿岩层序	岩石类型	岩石主要特征	组构特征
深海一半深海沉积	浊积岩	岩性为砂岩、板岩(千枚岩), 可见粒序层理或鲍马序列	多为短程有序的地层断片
	沉凝灰岩	灰色, 沉凝灰结构, 晶屑有Pl、Hb、Prx及玻屑火山尘和海百茎等生物碎屑	呈大小不等的混杂岩块, 短程有序的地层断片夹于蛇纹质混杂岩体中
	千糜岩化玻屑凝灰岩	灰绿色, 凝灰结构, 定向构造, 晶屑有Pl、Hb和大量凝灰物质	
	硅质岩	紫红色、黑色、白色, 含丰富的放射虫化石	呈岩块夹于火山岩中, 一般厚数十厘米到数十米
洋壳上部 镁铁质熔岩	玄武质熔岩(包括玄武岩、细碧岩、枕状熔岩)	杏仁构造、枕状构造, 变余斑状结构、粒玄结构、间隐结构、基质辉绿结构, 主要矿物Pl、Prx	呈大小不等的断块独立出现
	苦橄玄武岩	暗绿色, 斑状结构, 基质间粒结构, 主要矿物Prx、Ol、Pl, 副矿物Il、Mt	断块产出, 绢云母化、绿泥石化
	粗玄岩或辉绿岩	残余斑状结构、辉绿结构、主要矿物:Pl、Q及暗色矿物, 蚀变强烈	碳酸盐化、碎裂岩化、细碧岩化
席状岩墙群	辉长岩、辉长辉绿岩	灰绿色, 辉长结构、辉绿结构, 主要矿物:En、Pl, 每条岩墙宽0.8~2.5m, 局部夕卡岩化	呈大小不等的断块或席状岩墙独立出现, 强烈挤压剪切
堆积岩类 (岩浆房)	糜棱岩化中细粒斜长花岗岩	浅灰色, 变余中细粒花岗结构, 定向构造, 主要矿物:Pl、Q, 副矿物:Gr	糜棱岩化, 局部形成云母石英片岩
	石英(二长)闪长岩	灰色, 半自形粒状结构, 主要矿物:Pl、Q	沿断裂带侵入, 较破碎, 蚀变强烈
	块状角闪辉长岩	深灰色, 半自形粒状结构, 主要矿物Pl、Hb	绿泥石化, 断块产出
	层状辉长岩与层状橄榄岩	前者灰绿色, 辉长结构, 主要矿物:En、Pl; 后者墨绿色、纤状变晶结构主要矿物:Opx、Di、Crt。	蚀变形强烈, 两者局部在露头尺度上呈层状构造, 见角闪石、辉石、斜长石晶形大小、含量变化显示层状构造
	橄榄辉石岩	深灰绿色, 半自形粒状结构, 局部包橄结构, 主要矿物Ol、En、Prx	断块产出, 20~65m宽, 碎裂岩化
超镁铁质岩类(洋壳下部的上地幔)	蛇纹岩	深灰绿色、灰黑色, 叶片—纤维状结构, 主要矿物Atg、Crt	断块产出, 岩石蚀变强烈, 蚀变类型有蛇纹石化、绢石化、碳酸盐化、滑石化、绿帘石化、绿泥石化及绢云母化。岩石结构为他形粒状碎裂结构, 部分糜棱结构、片状构造
	纯橄榄岩	多已蛇纹石化, 局部可见残余的Ol自形晶形态	
	斜辉橄榄岩	灰绿色, 具网状结构和纤状鳞片变晶结构, 主要矿物Ol、Mp、Opx	
	二辉橄榄岩	褐灰色、灰绿色, 具网状结构和纤状鳞片变晶结构, 主要矿物:Mp、Opx、Ol	

Pl. 斜长石, Hb. 角闪石, Prx 辉石, Q. 石英, En. 顽火辉石, Opx. 斜方辉石, Di. 透辉石, Crt. 纤蛇纹石, Ol. 橄榄石, Mp. 单斜辉石, Il. 钛铁矿, Mt. 磁铁矿, Gr. 石榴子石, Sep. 蛇纹石, Atg 叶蛇纹石

3 地球化学特征

笔者对班公湖各地蛇绿岩分别进行了取样分析,样品分析具有代表性,其测试结果和比值见表2、3、4。

3.1 主量元素

从表2 可看出, 变质橄榄岩 SiO₂、K₂O+Na₂O、TiO₂、CaO、Al₂O₃ 的含量均明显偏低, 而 MgO 含量则明显偏高, m/f 比值在7.46~13.605之间, 属镁质超基性岩。具有富铁、贫钙、贫铝及 m/f 比值高的特点, 其特征与典型阿尔卑斯型超镁铁岩体相似。

表2 研究区蛇绿岩主量元素特征表(w _B / %)															
Table 2 Major element contents in the ophiolites from the study area (w _B / %)															
样品号	岩类	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	CO ₂	烧失量	总量
126-6	超镁铁质岩类	39.75	0.02	0.49	6.11	1.5	0.09	39.23	0.16	0.01	0.01	0.01	0.2	12.1	99.64
127-1		40.46	0.02	0.61	5.69	1.55	0.06	38.74	0.2	0.01	0.01	0.01	0.24	11.8	99.41
356-1		39.47	0.05	0.47	7	1.27	0.1	38.75	0.37	0.01	0.01	0.01	0.34	11.9	99.7
1265-0		39.28	0.02	0.83	4.78	2.67	0.08	37.39	0.37	1.07	0.18	0.05	12	13.6	112.3
1330-7		39.62	0.02	0.94	5.13	1.75	0.08	37.56	0.1	0.26	0.15	0.06		14.7	100.4
1354-7		39.66	0.02	1.06	3.12	4.1	0.11	37.52	1.33	0.17	0.16	0.06		12	99.33
2620-11		42.46	0.02	0.95	2.1	3.08	0.06	38.39	0.13	0.11	0.12	0.03		11.9	99.37
2919-3		33.62	0.02	10.32	2.9	4.63	0.09	33.98	0.4	0.08	0.12	0.02		13.2	99.33
2919-5		35.69	0.06	1.27	3.85	2.91	0.08	33.81	5.66	0.06	0.07	0.06		15.8	99.34
2934-6		38.82	0.08	3.33	5.33	3.65	0.06	35.61	0.83	0.26	0.11	0.04		11.6	99.76
3308-2	辉长岩、辉绿(玢)岩	53.36	0.78	16.23	2.12	6.32	0.13	6.18	8.6	2.32	0.8	0.7		2.49	100
3208-5		36.95	0.02	0.79	4.03	2.72	0.11	38.07	0.51	0.13	0.11	0.03		16	99.43
1354-12		49.81	0.82	14.24	0.64	3.63	0.15	7.28	9.7	4.05	0.23	0.13		1.68	99.32
1354-15		49.2	1.58	13.52	1.13	3.97	0.2	6.53	9.78	3.7	0.54	0.15		1.7	99.31
1354-16		48.73	0.8	14.76	0.54	2.78	0.15	8.25	11.3	3.38	0.59	0.11		2.36	99.35
1704		53.91	0.86	15.23	1.67	2.38	0.13	5.55	7.71	2.9	1.41	0.22	0.62	3.84	99.06
3202-12		48.3	0.68	13.17	2.53	2.49	0.25	6.44	8.32	2.39	1.02	0.24		10.1	99.53
3308-3		48.11	0.8	9.13	2.73	2.28	0.15	13.53	15.4	1.22	0.25	0.05		1.13	99.48
124-14	玄武岩类	46.35	0.83	12.61	1.35	9.8	0.23	6.02	10.2	4.39	0.21	0.08	4.5	6.76	98.87
125-13		49.74	1.5	13.06	3.09	7.9	0.17	7.35	9.73	3.13	0.34	0.12	0.39	3	99.13
127-46		47.81	2.13	13.71	1.5	12.75	0.25	7.9	3.68	1.98	0.04	0.2	1.57	6.5	98.45
137-3		53.65	0.58	15.67	0.92	5.23	0.1	5.47	6.03	4.81	0.32	0.12			92.93
1330-17		49.78	1.45	13.74	4.83	4.878	0.13	3.7	11.1	3.68	0.29	0.27		7.34	99.36
11100万		48.04	1.32	16.89	1.11	7.17	0.12	5.38	5.4	5.33	1.4	0.16		6.98	99.3
阿030		49.66	0.91	12.37	2.69	7.61	0.2	9.66	9.01	2.41	1.97	0.13	0.57		97.19
阿062		49.69	0.73	16.94	1.88	7.8	0.17	7.12	5.14	3.73	0.19	0.12	1.89		95.4
阿098		43.9	2	12.07	2.9	4.07	0.12	2.89	13.9	5.58	0.95	0.71	8.84		97.93
啊97		44.94	2.26	12.82	5.21	6.67	0.13	7.26	11.2	2.81	1.47	0.23	2.61		97.59
阿126	泥岩	43	0.76	13.06	2.85	6.36	0.19	8.76	18.6	0.52	0.19	0.1	2.34		96.73
B121-3		60.94	0.66	15.22	4.89	0.56	0.06	5.06	4.93	3.53	1.38	0.12	0.2	1.96	96.73
1330-4		90.3	0.11	2.71	2.39	0.39	0.24	0.47	1.4	0.43	0.56	0.13	0.11	0.96	96.73
B126-33	硅质岩	88.11	0.13	3	0.48	3.32	0.15	0.83	1.5	0.36	0.55	0.09	0.17	1.4	96.73

由武汉综合岩矿测试中心分析测定, 下同。

表 3 研究区蛇绿岩微量元素特征表($w_B/10^{-6}$)

Table 3 Trace element contents in the ophiolites from the study area ($w_B/10^{-6}$)																
样品号	岩类	Rb	Sr	Ba	Nb	Y	Sn	Zr	Hf	Ta	Cr	Th	Li	Cs	Rb/Sr	Zr/Hf
124-3	超镁铁质岩类	9.05	22.5	24	3.1	1.1	1	30	0.31	0.39	2000	0.9	3.06	2.1	0.40	96.77
124-8		4.94	7	24	2.6	< 1.00	1.2	20	0.65	0.32	1000	0.9	6.04	3.6	0.71	30.77
124-13		8.96	5	24	2.9	1.7	1	20	0.52	0.43	1000	0.9	2.23	0.8	1.79	38.46
125-11		1.28	5	24	2.2	2.9	1	20	0.46	0.33	1000	0.8	3.62	0.4	0.26	43.48
126-6		9.14	5	24	2.1	2.1	1	10	0.46	0.34	6000	2.1	1.76	1.6	1.83	21.74
126-30		11.5	5	24	2.7	3.3	1	10	0.49	0.31	1000	2.6	2.42	2.1	2.30	20.41
127-1		1.83	5	24	2.1	1.3	1	10	0.43	0.45	1000	2.4	2.51	1.3	0.37	23.26
1656-1			6		2.3	1.3		10	0.36	12.36	120	5.2				27.78
1711-1			60		2.3	23.2		20	2.36	0.59	10	15.6				8.47
2620-11	辉长岩、辉绿(玢)岩	3.73	5	20	4.3	4.5	0.6	25	0.35	0.56	10000	0.96	1.12	2.36	0.75	71.43
2620-13		8.06	5	20	4	4.2	0.8	20	0.43	0.46	10000	1	0.24	2.16	1.61	46.51
2901-1		0.36	5	20	2.5	0.37		10	0.56	8.33	1000	2.2			0.07	17.86
124-4		9.14	5	24	3.3	1	1	30	0.42	0.43	2000	1.3	4	2.4	1.83	71.43
124-10		6.58	160	24	5.2	21.6	1	20	2.69	0.4	180	4.1	6.88	0.2	0.04	7.43
126-3		11.5	200	76	3.2	19.2	1	25	2.38	0.5	30	12.2	9.2	1.6	0.06	10.50
126-5		61.6	150	240	2.4	5.1	1	20	1.36	0.32	720	14	14.4	0.2	0.41	14.71
126-3		9.88	140	140	5.1	13.6	1	15	2.36	0.64	110	8.7	6.41	1.2	0.07	6.36
126-32		39.3	200	700												0.20
126-36		7.86	115	46	20.7	22.5	1.2	45	5.67	0.79	850	18.9	17.6	0.85	0.07	7.94
1653			8		2.5	0.67		10	0.63	11.75	1000	0.8				15.87
2813-2		31.6	210	820	2.4	10.3	1.25	10	2.01	0.29	1200	14.9	17.6	3.3	0.15	4.98
2919-11		15.4	1000	360	111			90	17	10.6		6.1			0.02	5.29
124-14	玄武岩类	34	160	80	3.2		6	12	1.89	0.45	50	9.8	57.8	5.1	0.21	6.35
1330-2		11.6	600	300	25			71	3.8	1.8	38.1	7.5	6.84	0.52	0.02	18.68
1330-17		9.73	130	300	16			185	4.9	1.8	62.4	5.2	10.3	0.76	0.07	37.76
1262-1		62.5	300	460	12.7			110	6.9	6.37	5.6	10.1			0.21	15.94
1403-1		3.93	140	110	8.4			50	2.5	0.5	41.5	2.9	4.22	0.93	0.03	20.00
1272-1		2.16	130	170	3.7			55	1.9	0.62	4	2	16.7	0.69	0.02	28.95
1476-1		3.8	500	2000	38			150	7.3	5.3	19.4	4.1	5.29	0.64	0.01	20.55
127-46		7.32	160	25	10.8		1.5	30	4.37	1.31	40	9.4	69.6	1.8	0.05	6.86
125-13		6.04	70	20	7.4		2.2	12	3.36	0.65	120	15.1	17.9	2.3	0.09	3.57
3208-20		41.5	300	600	9.8			50	3.26		110	0.9			0.14	15.34
136-10		60.1	1000	1400	152			25	16	14.9	5	19.6			0.06	1.56
137-3		13	250	180	9		1.9	50	2.3	0.8	130	1.2			0.052	21.74
3207-10		38.7	560	200	49.2		1.15	28	6.8	46.5	5	12.2			0.069	4.04

辉长岩或辉绿(玢)岩的主要氧化物含量与雅鲁藏布江带层状辉长岩相比,具有如下特点:SiO₂ 含量为47.31%~53.91%,平均为49.84%,明显偏高;Al₂O₃ 含量为9.13%~16.23%,平均13.69%,较为

接近。Fe₂O₃ 在辉长岩中较低而辉绿岩中较高,而FeO 则正好相反,辉长岩中较高而辉绿岩中较低,但都偏高于雅江带;K₂O + Na₂O 含量为1.47%~4.28%,平均为3.47%,较低。

表 4 研究区蛇绿岩稀土元素特征表($w_B/10^{-6}$)

Table 4 REE contents in the ophiolites from the study area ($w_B/10^{-6}$)

样号	岩类	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Y	La	ΣREE	LREE/HREE	δEu	(La/Yb) _N	Eu/Sm
126-6	超镁铁质岩类	0.38	0.6	0.06	0.25	0.1	0	0.07	0	0.1	0	0.1	0	0	0.6	0.01	2.23	4.31	1.2	3.33	0.38
127-1		0.26	0.5	0.06	0.28	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0	0.9	0.01	2.55	2.84	1.21	2.28	0.4
356-1		0.35	0.6	0.07	0.28	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0	0.8	0.01	2.6	3.67	0.96	3.58	0.33
1330-7		0.48	0.8	0.09	0.44	0.1	0	0.09	0	0.1	0	0.1	0	0	0.8	0.02	3.2	4.69	0.85	3.68	0.25
1354-7		0.41	0.9	0.1	0.4	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0	0	0.8	0.01	3.1	4.24	0.82	3.14	0.25
2620-11		0.53	1.3	0.17	0.57	0.2	0	0.14	0	0.1	0	0.1	0	0	0.9	0.01	4.1	5.41	0.58	3.61	0.18
2919-3		0.41	0.8	0.1	0.43	0.1	0.1	0.16	0	0.2	0	0.1	0	0	0.5	0.01	3	3.27	1.06	3.14	0.39
2919-5		0.45	1.2	0.18	0.87	0.3	0.1	0.4	0.1	0.5	0.1	0.3	0.1	0	2.7	0.05	7.6	1.68	0.78	0.86	0.29
2934-6		0.59	1.1	0.13	0.52	0.2	0	0.23	0.1	0.4	0.1	0.4	0.1	1	2.5	0.09	6.9	1.37	0.6	0.71	0.22
3208-5	辉长岩、辉绿(玢)岩	1.34	2.7	0.35	1.32	0.3	0.1	0.24	0	0.2	0.1	0.1	0	0	1	0.02	7.9	7.43	0.9	7.47	0.28
1354-12		3.74	9.1	1.46	6.89	2.2	0.9	3.13	0.6	3.9	0.9	2.6	0.4	3	21	0.39	59.8	1.67	1.04	0.88	0.41
1354-15		5.93	15	2.42	11.5	3.6	1.4	5.21	0.9	6.2	1.3	3.7	0.6	4	32	0.58	94.5	1.78	0.99	0.94	0.39
1354-16		3.16	7.9	1.27	5.88	2.1	0.8	2.89	0.6	3.6	0.8	2.4	0.4	2	20	0.369	54.9	0.63	0.97	0.81	0.37
3202-12		21.6	40	5.42	19.2	4	0.9	3.66	0.6	3.4	0.7	1.9	0.3	2	17	0.28	120.3	7.21	0.73	7.18	0.23
3308-3		1.7	5.2	0.99	5.78	2.1	0.7	2.88	0.6	3.5	0.7	2	0.3	2	17	0.26	45.2	1.38	0.92	0.59	0.36
b126-36		2.46	6	0.99	4.66	1.7	0.7	2.29	0.4	2.9	0.6	1.8	0.3	2	15	0.29	42.5	1.56	1.14	0.79	0.44
2813-2		11.4	22	2.75	10.4	2.6	0.8	2.63	0.5	2.9	0.6	1.7	0.3	2	15	0.28	76.15	4.69	0.96	3.82	0.32
124-14	玄武岩类	2.42	5.2	0.72	4.2	1.5	0.7	2.45	0.5	3.6	0.8	2.5	0.4	3	21	0.45	49.07	1.07	1.03	0.52	1.59
125-13		5.12	13	1.88	10.6	3.1	1.3	4.02	0.7	4.4	1	2.7	0.4	3	23	0.4	74.37	2.12	1.09	1.16	1.68
127-46		9.65	22	3.38	16.8	4.6	1.6	5.63	1	6.2	1.3	3.6	0.5	4	31	0.52	111.6	2.6	0.96	1.67	2.09
1330-17		22.2	46	5.51	21.3	4.8	1.4	4.8	0.8	4.5	1	2.6	0.4	3	23	0.38	141.1	5.92	0.9	5.21	4.64
136-10		36.3	78	11	43.1	9.1	2.9	8.31	1.2	6.3	1.1	2.6	0.4	2	25	0.25	227.1	8.2	1	12	3.98
137-3		11.3	23	2.94	12.2	2.8	0.8	3.07	0.5	3.1	0.6	1.8	0.3	2	16	0.29	80.6	4.55	0.86	3.66	4.01
3207-10		112	236	28	106	18	5.4	14.4	2	10	1.8	4.4	0.7	3	42	0.49	584.2	13.45	0.99	20.1	6.11
B121-3		23.67	46.8	6	20.3	4.04	0.88	3.71	0.6	3.73	0.8	2.4	0.41	2.5	19.7	0.39	136.1	6.96	0.99	20.1	6.11
1330-4	硅质岩	11.77	13.3	3.04	11.7	2.52	0.6	2.36	0.4	2.19	0.5	1.3	0.2	1.2	11.3	0.18	62.4	5.21	0.99	20.1	6.11
B126-33		15.44	15.2	3.99	15.7	3.27	0.8	3.39	0.5	3.03	0.7	1.8	0.27	1.7	18	0.26	84	4.69	0.99	20.1	6.11

玄武岩类 SiO₂ 为 36.36%~53.65%，大部分为 46.35%~49.78%，属苦橄玄武岩—玄武岩类；TiO₂ 为 0.58%~3.64%，大部分位于大洋拉斑玄武岩的 TiO₂ 含量(0.6%~2.3%)内，少部分略高；m/f 比值在 0.78%~1.28，小于 2，属富铁质基性岩或超基性岩。

3.2 微量元素

在微量元素 MORB 比值蛛网图上(图 3)，变质橄榄岩类显示大离子亲石元素 Th、Nb、Sr、Hf 相对富集，稀土元素 Ce、Sm 较强烈亏损。同标准洋中脊玄武岩相比，除个别样品外，多数样品中的绝大多数亲石元素比值小于 1，显示其物质来源的幔源性质。

辉长岩、辉绿岩与变质橄榄岩相似，但比值多数大于 1 或在 1 附近，因而显示其与变质橄榄岩相似的物质来源，即来源于亏损的上地幔，但分异程度较高。

玄武岩类样品中多数高场强元素与洋中脊玄武岩中的含量较接近，少数元素 Th、Nd、Ta 呈富集特征。(Rb/Yb)_N 比值变化大(0.23~2.34)，反映 Rb 可能与蚀变作用有关，岩石可能受到蚀变作用影响。

3.3 稀土元素

从表 4 和稀土配分模式图(图 4)反映，变质橄榄岩的稀土元素含量总体较低，为(2.23~8.7)×10⁻⁶；分配曲线以轻稀土元素略有富集型(LREE/

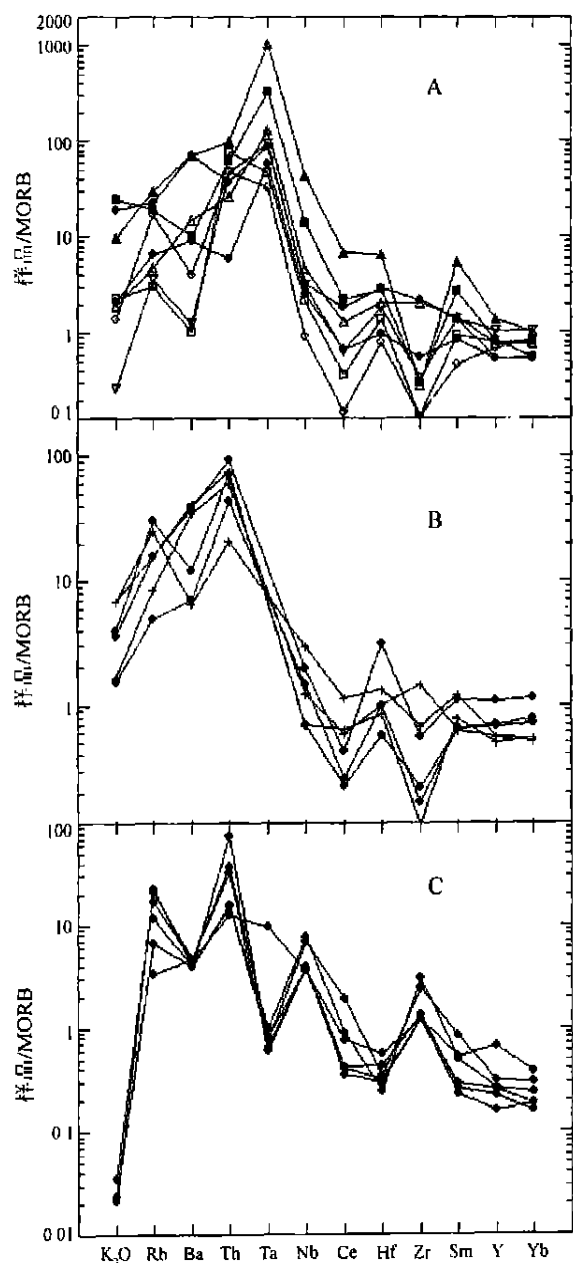


图3 班公湖蛇绿岩微量元素MORB 比值蛛网图

A. 变质橄榄岩; B. 辉长岩、辉绿岩; C. 玄武岩类

Fig. 3 Trace element spidergrams of MORB from the Bangong Lake ophiolites

A. Metamorphic peridotite; B. Gabbro and diabase; C. Basalts

HREE为1.37~7.43)右倾斜为主,个别为平坦型或“U”型,多样化稀土配分式样反映了不同程度的分馏结晶作用。 δ_{Eu} 为0.58~1.21,以弱铕异常至正铕异常为特征。负异常反映了斜长石的分馏结晶而正异常则反映岩石中存在斜长石晶体。

辉长(辉绿)岩的稀土元素含量总体较低,为 $(42.5 \sim 126.43) \times 10^{-6}$;分配曲线以轻稀土元素略

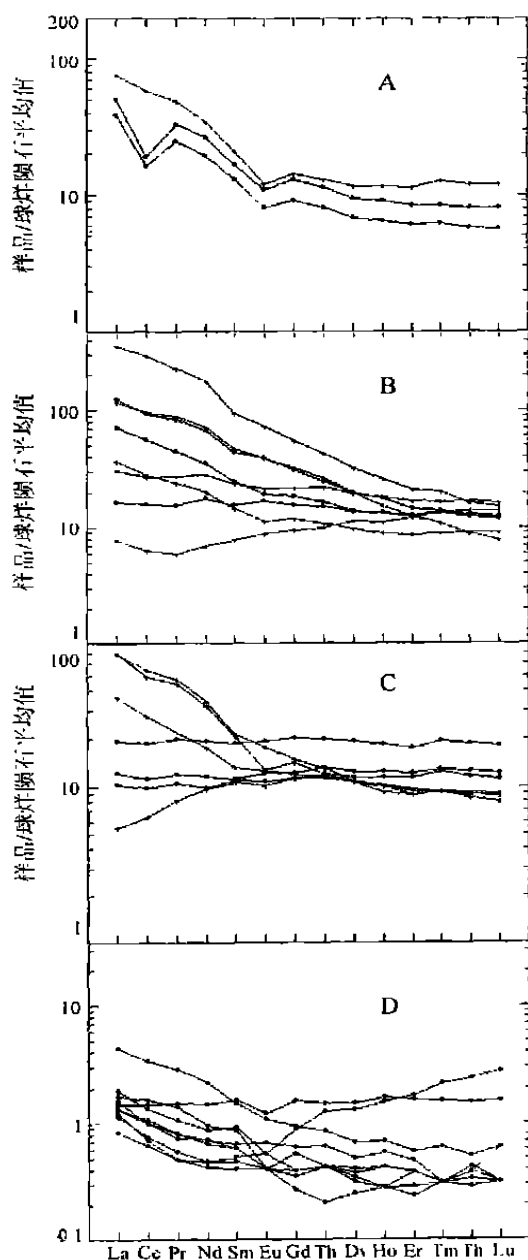


图4 班公湖蛇绿岩 REE 图谱

A. 硅质岩; B. 玄武岩; C. 辉长岩、辉绿岩; D. 变质橄榄岩

Fig. 4 Chondrite-normalized REE distribution patterns for the Bangong Lake ophiolites

A. Siliceous rocks; B. Basalts; C. Gabbro and diabase; D. Metamorphic peridotite

有富集型(LREE/HREE为1.38~1.78)的近平坦型或向右缓倾斜为主,前者与正常洋中脊拉斑玄武岩相似,后者与洋岛拉斑玄武岩的稀土分配曲线型式类似; δ_{Eu} 为0.73~1.4,亦偏高,以铕弱负异常为主,少数铕弱正异常,与超基性岩配分曲线类似。以上说明区内基性岩与超基性岩为同源岩浆产物,但基性岩中稀土元素分馏作用有所增强。

玄武岩类的稀土元素总量变化范围较大,为 $(49.07 \sim 215.88) \times 10^{-6}$, 按稀土配分模式可以分为两类:一类为近平坦型—LREE 中等富集型, $(La/Yb)_N$ 为 $0.52 \sim 5.211$, 无明显 δEu 异常;另一类为 LREE 强烈富集型, $(La/Yb)_N$ 为 $11.965 \sim 19.68$, 无明显 δEu 异常,与碱性玄武岩分布极为相似。

紫红色硅质岩稀土元素, ΣREE 为 $(65.57 \sim 84.01) \times 10^{-6}$, La 为 $(11.77 \sim 15.44) \times 10^{-6}$, Ce 为 $(13.28 \sim 15.24) \times 10^{-6}$, $Eu/\delta Eu$ 为 $0.81 \sim 1.10$, δCe 为 $0.46 \sim 0.52$ 。具有 Ce 负异常,稀土配分曲线为右倾斜型,无明显峰谷,呈轻稀土富集型,说明硅质岩形成于洋盆环境。

4 蛇绿岩成因

4.1 地球化学特征所反映的蛇绿岩成因

蛇绿岩的成因问题除岩石学、矿物学研究外,很重要的一个方向就是它们的地球化学行为研究。对于构造环境的确定,玄武岩可以称为重要的指示剂,图示方法也很多,各有长短,笔者选用多种有关图解,以便更有利地解释构造环境。

在镁铁质熔岩 $TiO_2-10 \times MnO-10 \times P_2O_5$ 图解(图 5)上,样品投点相对分布于大洋中脊玄武岩区(MORB)、岛弧拉斑玄武岩区(IAT)、洋岛碱性玄武岩(OIA)区。

在镁铁质熔岩 $TiO_2-P_2O_5$ 图解(图 6)和 $TFeO/MgO-TiO_2$ (图 7)上,样品投点大部分集中分布于 MORB 区,少部分分布于洋岛碱性玄武岩区。

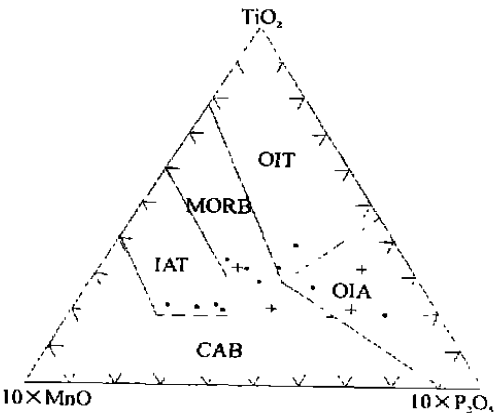


图 5 玄武岩 $TiO_2-10 \times MnO-10 \times P_2O_5$ 图

● 南部玄武岩; + 北部玄武岩

Fig. 5 $TiO_2-10 \times MnO-10 \times P_2O_5$ diagram for the basalts from the study area

● Southern basalt; + Northern basalt

通过 $(La/Yb)_N-(Yb)_N$ 图解(图 8), 可以看出以下规律:玄武岩类样品绝大部分投影在 MORB 区;超镁铁岩投影点多集中在上地幔附近;镁铁岩多投影在 MORB 与大陆壳过渡地带,其形成环境与玄武岩类相同,与主量元素、微量元素所反映的特征是吻合的。

班公湖带玄武岩类稀土元素 REE 图谱、微量元素 MORB 比值网图与雅鲁藏布江带^[4]和昌宁-孟连带火山岩的相关图谱^[9]相似。根据该区主量元素、稀土元素和微量元素特征,区内镁铁质熔岩大致可分为两大构造-岩浆类型:

(1)洋脊-准洋脊型玄武岩:主要分布于班公湖南岸日土,岩石化学特征为中低 TiO_2 (小于 3%)、低 Zr、低 P_2O_5 。其相关成份投图多数位于 MORB。稀土分布型式为近平坦型—LREE 中等富集型, $(La/Yb)_N$ 为 $0.515 \sim 5.211$, 无明显 δEu 异常;其 Thompson 曲线显示大离子亲石元素略富集。

(2)洋岛型玄武岩:主要分布于班公湖北岸麦克尔、龙泉山和班公湖南岸拉木吉雄等地,岩石化学特征为高 TiO_2 (大于 3%), 在有关图解中均独立于 MORB 和 IAV 的分布区,分布于 OIB 和碱性玄武岩区。稀土分布型式为 LREE 强烈富集型, $(La/Yb)_N$ 为 $11.965 \sim 19.68$, 无明显 δEu 异常;其 Thompson 曲线显示大离子亲石元素富集。

4.2 地质构造特征所反映的蛇绿岩形成环境

区内蛇绿岩是班公湖-怒江结合带的重要组成部分,蛇绿混杂岩带是班公湖-怒江中特提斯洋消亡

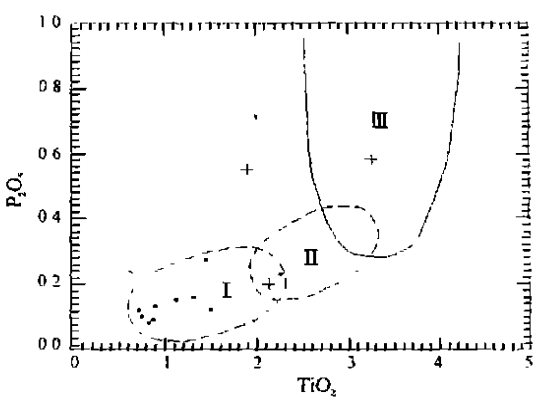


图 6 玄武岩 $TiO_2-P_2O_5$ 图解(据 Bass, 1973)

I. 洋脊玄武岩; II. 洋岛拉斑玄武岩; III. 洋岛碱性玄武岩。● 南部玄武岩; + 北部玄武岩

Fig. 6 $TiO_2-P_2O_5$ diagram for basalts (after Bass, 1973)

I = mid-oceanic ridge basalt; II = oceanic island tholeiite; III = oceanic island alkaline basalt. ● Southern basalt; + Northern basalt

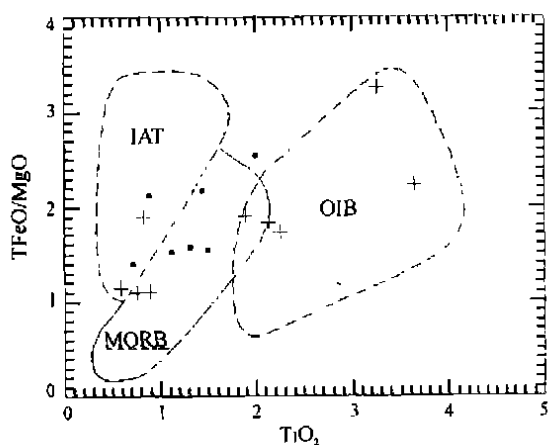


图7 玄武岩 TFeO/MgO-TiO₂ 图解(据 W.Glassiey, 1974)

● 南部玄武岩; + 北部玄武岩

Fig. 7 TFeO/MgO-TiO₂ diagram for basalts (after W. Glassiey, 1974)

● Southern basalt; + Northern basalt

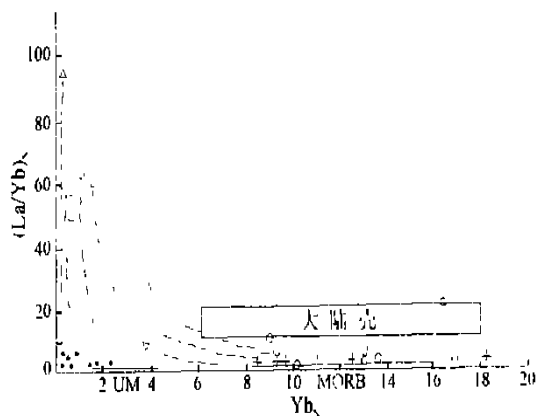


图8 超镁铁岩、辉长(辉绿)岩、玄武岩 $(La/Yb)_N-(Yb)_N$ 图解

● 超镁铁岩; + 辉长岩、辉绿岩; ○ 玄武岩类

Fig. 8 $(La/Yb)_N-(Yb)_N$ diagram for ultramafic rocks gabbro (diabase) and basalts

● Ultramafic rocks; + Gabbro and diabase; ○ Basalts

的遗迹。主要依据如下:

(1)该带内虽然缺乏“三位一体”的完整原始组合层序,但蛇绿岩套的各单元组分在带内不同地段都能找到。因此,这些被强烈破坏和肢解的超镁铁岩、辉长(辉绿)岩以及镁铁质熔岩和硅质岩,仍具有蛇绿岩属性,其恢复的蛇绿岩综合剖面均可与世界典型的蛇绿岩剖面对比。

(2)该带蛇绿岩套中下部成员——变质橄榄岩和堆积岩类,虽然被强烈构造肢解而出露残缺不全,但本次调研均发现了层状橄榄岩和辉长岩以及岩墙群。同时在班公湖南岸,新发现了洋岛型玄武岩与灰岩构成的海山沉积组合。

(3)区内蛇绿岩的分布明显地受区域性边界断裂的控制,地球物理和深部构造资料也证明了班公湖超壳型断裂带的存在。

(4)班公湖-怒江洋盆及其两侧大陆边缘的演化,洋盆俯冲、消减、碰撞过程经过一个较完整的威尔逊旋回。每一阶段都有相应的构造岩石组合系列,在空间上展布相当纷繁,随着时间演化,横向上迁移,垂向上转化。班公湖-怒江主碰撞带两侧地质构造形成演化过程的重大差异,表明该带是冈瓦纳大陆的北界,是晚元古代超大陆解体后显生宙特提斯洋扩张、俯冲消减和最后消亡的遗迹^[7]。

综上所述,本区玄武岩以洋脊型玄武岩和洋岛型玄武岩为主。但是,洋脊型玄武岩可形成于大洋中脊、弧后小洋盆地和边缘海盆等,需要综合分析地

质特征和蛇绿岩上部深海一半深海沉积相特征来确定其构造环境。地质构造、地球化学特征与区域横向、纵向对比综合分析说明,本区蛇绿岩主要形成于中特提斯洋中脊及洋岛环境。

5 结 论

(1)该区蛇绿岩剖面由于构造肢解而出露不全,通常由两个以上不同的岩石单元或岩石成分组成,但恢复的蛇绿岩层序剖面与前人总结的阿尔卑斯型蛇绿岩共生组合特征基本一致,可与其它地区典型蛇绿岩剖面进行区域对比。

(2)蛇绿岩上部镁铁质熔岩按稀土配分模式可以分为两类:一类为近平坦型—LREE 中等富集型,与正常洋中脊拉斑玄武岩分布型极为相似;另一类为 LREE 强烈富集型,与洋岛碱性玄武岩分布极为相似。这两类火山岩反映本区蛇绿岩主要形成于洋中脊、洋岛环境,结合岩石化学、地质构造特征与区域横向、纵向对比综合分析,说明中特提斯洋可能为比较成熟的大洋盆地,而不是发育不完全的陆间小洋盆或边缘海盆地。

参考文献:

- [1] 郑一义,徐开志,杨丙中,等.阿里地区蛇绿岩-混杂岩的地质特征和区域构造的关系[J].长春地质学院学报,1984(4):29-36.
- [2] 姜春发,杨经绥.班公湖蛇绿混杂带特征简介[J].中国地质,

1984, (6): 26—27.

[3] 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.

[4] 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—124.

[5] 沈上越, 冯庆来, 刘本培, 等. 昌宁-孟连带洋脊、洋岛型火山岩研究[J] . 地质科技情报, 2002, 21(3): 13—17.

[6] 潘桂棠, 王立全, 朱弟成. 青藏高原区域地质调查中几个重大科学问题的思考[J] . 地质通报, 2004, 23(1): 12—19.

[7] 李才, 程立人, 胡克, 等. 西藏龙木错-双湖古特提斯缝合带研究[M] . 北京: 地质出版社, 1995.

Sequences geochemistry and genesis of the Bangong Lake ophiolites in Xizang

CAO Sheng-hua, LIAO Liu-gen, DENG Shi-quan, XIAO Ye-bin, XU Ping
(Jiangxi Institute of Geological Survey, Nanchang 330201, Jiangxi, China)

Abstract: The Bangong Lake ophiolite zone is aligned to the western part of the Bangong-Nujiang suture zone, where the ophiolites are subjected to severe compression and tectonic deformation, giving rise to the formation of the ophiolitic mélange zone. The restored generalized section of the ophiolite sequences may be comparable with representative oceanic crust sections, including from the base upwards: ① metamorphic peridotite composed of highly serpentinized orthopyroxene peridotite and dunite; ② cumulates composed of bedded gabbro and peridotite; ③ gabbro-diabase dike swarms; ④ mafic lava including massive and pillow lava; ⑤ abyssal-bathyal sediments composed of radiolarian siliceous rocks, turbidite and limestone. The geological, tectonic and geochemical data show that the ophiolites in the study area were formed in the Meso-Tethyan mid-oceanic ridge and oceanic-island environments. The Meso-Tethyan Ocean may be a mature oceanic basin rather than a small poorly developed intercontinental oceanic basin or marginal sea basin.

Key words: ophiolite; geochemistry; Bangong Lake area; Xizang

《沉积与特提斯地质》
征稿启事

《沉积与特提斯地质》(原《岩相古地理》)系国土资源部主管,成都地质矿产研究主办的综合性地质学术期刊,现为中国科技核心期刊(中国科技论文统计期刊)、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊、维普中文科技期刊数据库统计源期刊,并被国家图书馆、上海图书馆、地学类及部分综合性大专院校、各省(市、自治区)地学类图书馆等馆藏机构收藏。

《沉积与特提斯地质》办刊20余年来,已形成了沉积学的专业特色和青藏高原的地域特色,集中反映最新的沉积学(含岩相古地理)、区域地质调查、石油地质、以及其他基础地质、矿床地质、能源地质、环境地质(含生态地质和灾害地质)等方面的研究成果和信息。

《沉积与特提斯地质》为季刊,大16开本,每期112页,逢季末出版,国内外公开发行。

诚征相关学术性和综述性稿件

电话: (028)83234636; 电子信箱: cdgeo@163.com