

新疆西准噶尔地区两类蛇绿岩的地质特征及其成因研究

郝梓国 王希斌 鲍佩声 彭根永 金远新

(中国地质科学院地质研究所)

主题词: 西准噶尔; 两类蛇绿岩; 岩石学特征; 成因讨论

提 要: 本文将西准噶尔地区蛇绿岩分为两类: 一类是变质橄榄岩+橄长岩+辉长岩 岩石组合(简称PTG系列); 另一类则是变质橄榄岩+辉石岩+辉长岩岩石组合(简称PPG系列)。前者以达拉布特、和布克赛尔蛇绿岩带为代表, 后者以唐巴勒、玛依勒山蛇绿岩带为代表。PTG系列遵循富Al的演化趋势, 而PPG系列则遵循富Ca的演化趋势, 从而造成两类蛇绿岩之间在岩石组合、矿物学、岩石化学、稀土元素等地球化学以及所含铬铁矿床的种属上均有明显的差异。

两类蛇绿岩中变质橄榄岩的成因机制是上地幔岩部分熔融, 两者之间的差异 则是由部分熔融程度决定的。而壳层岩石(指堆积杂岩、岩墙杂岩、熔岩)则是由岩浆结晶作用形成的; 堆积杂岩中出现辉石岩+辉长岩和橄长岩+辉长岩的不同岩石组合则与堆积岩岩浆房出露的深度和氧化状态有关。

新疆西准噶尔地区广泛发育有古生代蛇绿岩, 前人已做过大量的研究工作^[1,2]; 本文是在前人工作的基础上, 经过详细工作取得了一些不同于前人的新成果和认识, 现就其岩石特征及成因机制介绍论述如下。

一、西准噶尔蛇绿岩的分布与剖面类型

西准噶尔地区共有六条蛇绿岩带, 从南到北依次为: (1) 唐巴勒蛇绿岩带; (2) 玛依勒山蛇绿岩带; (3) 巴尔雷克蛇绿岩带; (4) 达拉布特蛇绿岩带; (5) 和布克赛尔蛇绿岩带; (6) 科克森它乌蛇绿岩带^[1,3]。由于巴尔雷克和科克森它乌蛇绿岩带的蛇绿岩

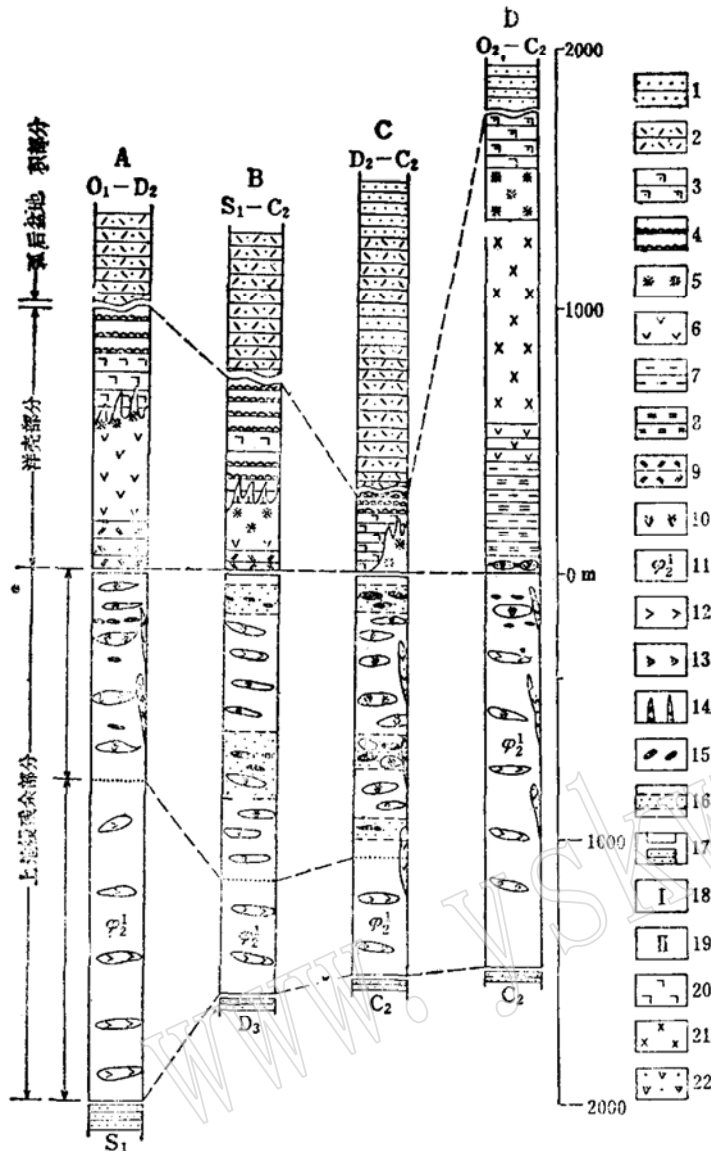


图 1 西准噶尔两类蛇绿岩的综合柱状图

Fig.1 Synthetic columnar sections of two type ophiolites in the western Zhungeer

A—唐巴勒蛇绿岩带；B—玛依勒山蛇绿岩带；C—达拉布特蛇绿岩带；D—和布克赛尔蛇绿岩带；A、B—PPG系列；C、D—PTG系列

1—砂岩粉砂岩；2—凝灰质砂岩；3—玄武安山岩；4—枕状玄武岩；5—辉绿辉长岩；6—橄辉长岩；7—橄长岩；8—长橄岩；9—辉石岩；10—纯橄岩；11—斜辉辉橄岩；12—斜辉橄橄岩；13—二辉橄橄岩；14—镁铁质脉岩；15—铬铁矿矿体；16—矿带；17—构造接触；18—上部杂岩带；19—下部杂岩带；20—块状玄武岩；21—均质辉长岩；22—含长纯橄岩

发育较差，规模较小，故本文的主要讨论对象是其它四条蛇绿岩带的特征。

由于西准噶尔蛇绿岩遭受过强烈的构造解体，没有一条岩带中的蛇绿岩保持有完整的层序，大多以混杂岩的形式出现，并常和复理石及类复理石建造一起形成叠瓦状构造^[3]。变质橄辉岩常以构造岩片的形式产出，厚度变化大，最厚者约2000m左右；堆积杂岩（除洪古勒楞岩块外）及岩墙杂岩均不发育，厚度变化大，一般仅200—300m，极少超过500m；火山熔岩常与火山碎屑岩互层产出，变化范围大，其中一部分应为洋盆沉积的产物，在本文中仅把那些靠近蛇绿岩其它构造单元的熔岩看作是蛇绿岩的组成部分，厚度小于500m。西准噶尔蛇绿岩的层序从下向上依次是：（1）变质橄辉岩；（2）堆积杂岩；（3）岩墙杂岩（极不发育）；（4）火山（枕状+块状）熔岩。与标准的蛇绿岩（如塞浦路斯、阿曼等）^[4]相比，西准噶尔蛇绿岩缺失标准的岩墙杂岩。依据西准噶尔蛇绿岩中岩石组合的不同，可分为两类：一类是变质橄辉岩+辉石岩+辉长岩岩石组合（简称PPG系列），以产于唐巴勒、玛依勒山的蛇绿岩为代表；另一类是变质橄辉岩+橄长岩+辉长岩岩石组合（简称PTG系列），以产于达

达拉布特、和布克赛尔岩带的蛇绿岩为代表^①（图1）。两类蛇绿岩的基本特征如下所述。

① 关于四条蛇绿岩带中两类蛇绿岩的实测剖面资料，可以参阅郝梓国（1988）博士论文。

二、西准噶尔两类蛇绿岩的基本地质特征

(一) 岩石学及岩石组合特征

西准噶尔两类蛇绿岩中的变质橄榄岩主要由纯橄岩、斜辉辉橄岩、斜辉橄橄岩和二辉橄橄岩组成。它们广泛发育熔融残余结构^[6], 如尖晶石的后成合晶结构, 辉石的蚕食破布状结构等; 上述结构在西准噶尔任一蛇绿岩块中的变质橄榄岩中均能见到。依据变质橄榄岩中各亚类岩石的含量不同, 可划分出两个杂岩带: 上部杂岩带和下部杂岩带(图1)。上部杂岩带的岩石组合是纯橄岩+斜辉辉橄岩, 并含有铬铁矿床和矿化; 下部杂岩带由斜辉辉橄岩+斜辉橄橄岩(或二辉橄橄岩)组成, 不含或含少量的铬铁矿化。上部杂岩带代表的是原始地幔岩的高熔残余组合; 而下部杂岩带代表的则是低熔残余组合^[6]。除和布克赛尔岩带中蛇绿岩难以划分出上、下杂岩带外, 其它岩带均能划出(图1)。变质橄榄岩中岩石类型的主要区别是: PPG系列中含少量的二辉橄橄岩, 而PTG系列中则含较多的二辉橄橄岩。

堆积杂岩中的主要岩石类型是辉石岩、橄长岩和辉长岩及少量的橄橄辉长岩。广泛发育堆晶结构、包含结构等, 这在变质橄榄岩中是难以见到的。堆积杂岩的岩石组合在两类蛇绿岩中是不同的, 在PPG系列中是辉石岩+辉长岩组合, 在PTG系列中是橄长岩+辉长岩组合。

两类蛇绿岩中岩墙杂岩均不发育, 多以残留在熔岩下部或穿插熔岩的辉绿岩及辉长辉绿岩岩块的形式出现, 在岩石组合上两类蛇绿岩的岩墙杂岩一致。

熔岩主要是拉斑玄武岩和钙碱性玄武岩及少量的安山岩。广泛发育枕状、块状构造, 常与放射虫硅质岩共生^[2]。在两类蛇绿岩中, 其熔岩组合稍有差异, 在PPG系列中以拉斑玄武岩为主; 在PTG系列中有两种, 在达拉布特带以拉斑玄武岩为主, 但在和布克赛尔带则有大量的安山岩出现。熔岩种属的差异可能与其形成的环境有关。

(二) 矿物学特征

蛇绿岩中的原生矿物组合比较简单, 主要是由橄榄石、斜方辉石、单斜辉石、斜长石和铬尖晶石组成。为了便于讨论, 可把蛇绿岩分为壳、幔两部分来讨论。

1. 地幔岩部分

指蛇绿岩层序下部的变质橄榄岩部分。主要由橄榄石、斜方辉石、单斜辉石和铬尖晶石构成。其中造岩矿物的成分比较均一, 橄榄石主要是镁—贵橄榄石, 斜方辉石为顽火辉石和古铜辉石, 单斜辉石为透辉石和顽透辉石; 上述矿物在变质橄榄岩中, 以二辉橄橄岩到矿石中的包体(脉石)的 $[Mg/(Mg+Fe)]$ 依次增大(表1), 两类蛇绿岩之间显示出相似的演化趋势。同时副矿物铬尖晶石亦表现出相似的规律, 即从二辉橄橄岩到纯橄岩其 $Cr/(Cr+Al)$ 比值依次升高(表1)。

但是, PPG系列中的造岩矿物橄榄石、辉石的 $MgO/(MgO+FeO)$ 总比PTG系列的相应矿物高2—4个号码, 副矿物铬尖晶石成分差别更大, 前者多为高 Cr 的, 后者多为低 Cr 的(表1, 2)。显示了两类蛇绿岩在变质橄榄岩中的差别。

2. 壳层岩石

指蛇绿岩层序上部的堆积杂岩、岩墙杂岩和火山熔岩三部分。岩石中以单斜辉石和斜长石为主, 橄榄石、斜方辉石仅见于含PTG系列的蛇绿岩中。

表 1 两类蛇绿岩中变质橄榄岩的成分演化特征

Table 1 Evolutional characteristics of compositions for the metamorphic peridotite in two type ophiolites

			系列	二辉橄榄岩	斜辉橄榄岩	斜辉辉橄岩	纯 橄 岩	矿石中包体
1	矿 物 成 分	橄榄石(Fo)	PPG	89.81(9)	90.58(14)	92.95(11)	92.43(23)	94.37(5)
			PTG	85.48(16)	89.98(14)	90.95(21)	90.43(3)	95.65(8)
		斜方辉石(En)	PPG	—	89.08(8)	90.31(8)	—	—
			PTG	85.47(11)	87.43(9)	90.39(13)	—	92.78(2)
		单斜辉石(En)	PPG	42.10(5)	46.96(17)	50.41(2)	—	47.37(1)
			PTG	47.31(17)	52.15(17)	—	—	50.93(9)
		铬尖晶石(Cr')	PPG	0.33(10)	0.44(7)	0.68(14)	0.77(28)	0.84(65)
			PTG	0.25(10)	0.47(15)	0.54(25)	0.56(19)	0.55(110)
2	岩 石 化 学	M'	PPG	0.28(11)	0.85(11)	0.85(36)	0.87(20)	
			PTG	0.81(11)	0.84(11)	0.84(190)	0.83(137)	
		Al'	PPG	0.70(9)	0.66(8)	0.66(32)	0.53(20)	
			PTG	0.44(11)	3.25(44)	1.12(190)	1.76(137)	
3	稀 土 元 素 总 量 (Σ REE)		PPG	—	2.06(3)	0.62(9)	0.23(3)	
			PTG	2.67(2)	1.22(1)	1.51(7)	0.74(4)	

表中, Fo, En为橄榄石和辉石中 Mg_2SiO_4 和 $MgSiO_3$ 分子; $Cr' = Cr / (Cr + Al)$; $M' = MgO / (MgO + FeO^*)$; $Al' = Al / (2Ca + Na + K)$ 。括号中数字为样品个数。

单斜辉石在两类蛇绿岩的壳层岩石中广泛出现, 其主成分(Mg、Ca)变化不大, 均为透辉石和次透辉石种属(表2), 但其 Al_2O_3 含量则有较大的差别, PPG系列的单斜辉石呈现出富Ca的演化趋势, 而PTG系列的单斜辉石则呈现富Al的演化趋势, 且壳、幔岩石的单斜辉石的特点是一致的。

斜长石成分主要是钠长石, 少量未完全解体的堆积杂岩(如洪古勒楞岩块)含有培一钙长石(表2), 这一成分特征的出现, 与岩石强烈的细碧岩化作用有关, 该作用提高了矿物中的钠含量。从解体的堆积杂岩中斜长石也含很高的 Na_2O 看, 似乎细碧岩化不限于中脊热水循环系统^[4], 而在解体后亦可发生。

其它矿物如橄榄石、斜方辉石多见于PTG系列中, 其成分(矿物牌号)低于变质橄榄岩中的相应矿物的成分, 显示了两者成因的差异。

通过上述讨论可知, 壳、幔岩石中矿物的主要特点是: (1) 变质橄榄岩中普遍含铬尖晶石, 而壳层岩石中普遍含斜长石; 即使同种矿物在壳、幔岩石中其 $[Mg / (Mg + Fe)]$ 亦不相同。(2) 矿物的主要成分(Mg、Fe)演化趋势不同, 变质橄榄岩中, 是从富Fe(二辉橄榄岩)向富Mg(纯橄岩)演化; 壳层岩石中是从富Mg向富Fe方向演化。前者代表的是地幔岩熔化残余的顺序, 后者代表的是岩浆结晶作用的顺序(见后成因讨论)。(3) 矿物中次要成分(Al、Ca)在壳、幔岩石中的演化规律是: PPG系列向富Ca的方向演化, 而PTG系列则向富Al的方向演化。

表 2 两类蛇绿岩的主要区分标志

Table 2 Major distinction between two type ophiolites

1 蛇绿岩岩石组合				PPG系列 (变质橄榄岩+辉石岩+辉长岩)	PTG系列 (变质橄榄岩+橄长岩+辉长岩)
2 变质橄榄岩岩石组合				$\varphi_1^I + \varphi_2^I + \varphi_3^I$ (φ_3^I 极少)	$\varphi_1^I + \varphi_2^I + \varphi_3^I$ (φ_3^I 较多)
造 岩 矿 物	变 质 橄 榄 岩	橄榄石	Fo	88—94	86—92
			Al ₂ O ₃	0.08	0.17
		斜方辉石	En	88—92	82—90
			Al ₂ O ₃	2.45	2.76
		单斜辉石	Wo	40—65	40—55
			Al ₂ O ₃	2.47	4.34
	壳 层 岩 石	单斜辉石	Wo	41—48	30.5—48.4
			Al ₂ O ₃	3.40	35.1
		斜长石	An	0.94—11.96(3.32)	0.86—82.91(29.44)
4	岩 石 化 学	变质橄榄岩	M'	0.83—0.88	0.82—0.84
			Al'	0.10—0.87	1.02—2.85
		壳层岩石	富SiO ₂ (>45%)		贫SiO ₂ (>30%)
			富CaO贫Al ₂ O ₃		贫Al ₂ O ₃ 富CaO
5	稀 土 元 素	变质橄榄岩	(ΣREE)	亏损程度高(0.23—2.06)	亏损程度低(0.74—2.67)
		壳层岩石		辉石岩: 亏损型 其它岩类富集程度高	橄长岩: 富集型 其它岩类富集程度低
6	铬铁矿床类型			冶金类	耐火型
7	铬铁矿石成分		Cr ₂ O ₃	52.0	39.9
			Al ₂ O ₃	7.7	22.6
8	尖晶石成分(Cr')		造矿	0.65—0.90	0.35—0.66
			副矿物	0.55—0.92	0.20—0.63

表中: φ_1^1 —纯橄岩; φ_2^1 —斜辉辉橄岩; φ_3^1 —斜辉橄橄岩; φ_3^2 —二辉橄橄岩。其它符号意义同表1。

(三) 岩石化学成分

1. 变质橄榄岩

变质橄榄岩中的各类岩石以其MgO/(MgO + FeO*)变化稳定为特征,95%以上的样品集中在0.82—0.85之间(表1);但在PPG系列中该值多在0.83—0.88之间,而在PTG系列中多在0.82—0.84之间,前者的基性程度高于后者。但无论在何种类型的蛇绿岩中,变质橄榄岩中各亚类岩石的MgO/(MgO + FeO*)的变化规律是:从二辉橄橄岩至纯橄岩其值依次升高(表1)。但在具体岩块中,往往由于岩石已强烈蚀变,该规律已被破坏,同类岩石近矿者与远矿者差别较大。例如在萨尔托海岩块中,近矿纯橄岩表现为MgO、NiO高而SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃低,远矿纯橄岩则显示出与之相反的规律。

同时,利用铝饱和系数 $[Al' = Al/(2Ca + Na + K)]$ 可以把变质橄榄岩中的纯橄岩、斜辉辉橄岩和斜辉辉橄岩划分成高铝型($Al' > 1$)和低铝型($Al' < 1$)两类(表1、2);高铝型岩块对应的标型蛇绿岩组合是含有PTG系列的蛇绿岩,发育耐火型铬铁矿床,以洪古勒楞、萨尔托海岩块为代表。低Al型岩石对应的标型蛇绿岩组合是含有PPG系列的蛇绿岩,以唐巴勒、萨雷诺海岩块为代表。这种差异实际上继承了它们矿物学上的差别,特别是单斜辉石和铬尖晶石中 Al_2O_3 含量的不同,是造成岩石中高铝与低铝的主因。

2. 壳层岩石

由于西准噶尔蛇绿岩的标型岩石组合不同,它们显示出不同的演化规律。在PTG系列的堆积杂岩中,岩石呈现出富Al的演化趋势(图2—A),并相对贫 $SiO_2 (< 30wt\%)$ 而富碱质,与之对应的变质橄榄岩为高Al型。在PPG系列中,堆积杂岩表现为富Ca的演化趋势(图2—B),相对富 $SiO_2 (> 45wt\%)$ 而贫碱质,与之对应的变质橄榄岩为低Al型;体现了壳、幔岩石演化的一致性。而造成堆积杂岩中富Al或富Ca的不同演化趋势的成因机制则与当时岩浆房所处的状态有关(见成因讨论部分)。

岩墙杂岩极不发育,但从零星的代表岩墙杂岩的成分看,它横过堆积杂岩和火山熔岩的成因范围(图3—A、B),有“承前启后”的分布特点,这与它作为“岩浆通道”中固结的岩石的地质特征是一致的。由于资料的限制,无法区分两类蛇绿岩中岩墙杂岩的差别。

西准噶尔两类蛇绿岩中的熔岩具相似的化学性质,绝大多数为拉斑玄武岩系列,个别为钙碱性系列。在图2中,PPG系列的熔岩表现出较高的CaO含量和较低的 Al_2O_3 含量,但不如熔岩中单斜辉石表现的规律强。熔岩中另一个特点是钠质含量高($Na_2O > 4wt\%$),造成钠质升高的原因是岩石的细碧岩化作用^[4],这与矿物斜长石所表现出的特征一致。

从以上的讨论可知:变质橄榄岩和堆积杂岩的岩石化学成分在两类蛇绿岩中有明显的区别标志,而在熔岩及少量的岩墙杂岩中则不易区分,这主要由于海水的热液循环及外来物质

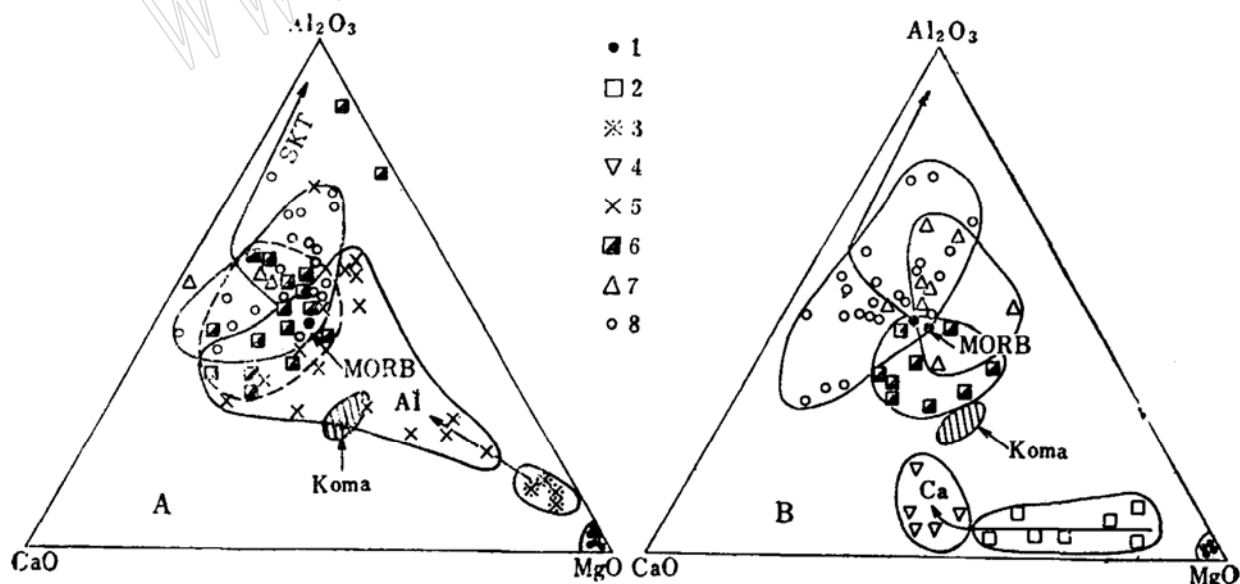


图2 西准噶尔两类蛇绿岩的 $CaO-Al_2O_3-MgO$ 图解

Fig.2 $CaO-Al_2O_3-MgO$ diagram of two type ophiolites in the Western Zhungeer

1—变质橄榄岩; 2—异剥橄榄岩; 3—含长橄岩; 4—辉石岩; 5—橄长岩; 6—辉长岩;
7—辉绿辉长岩; 8—玄武岩

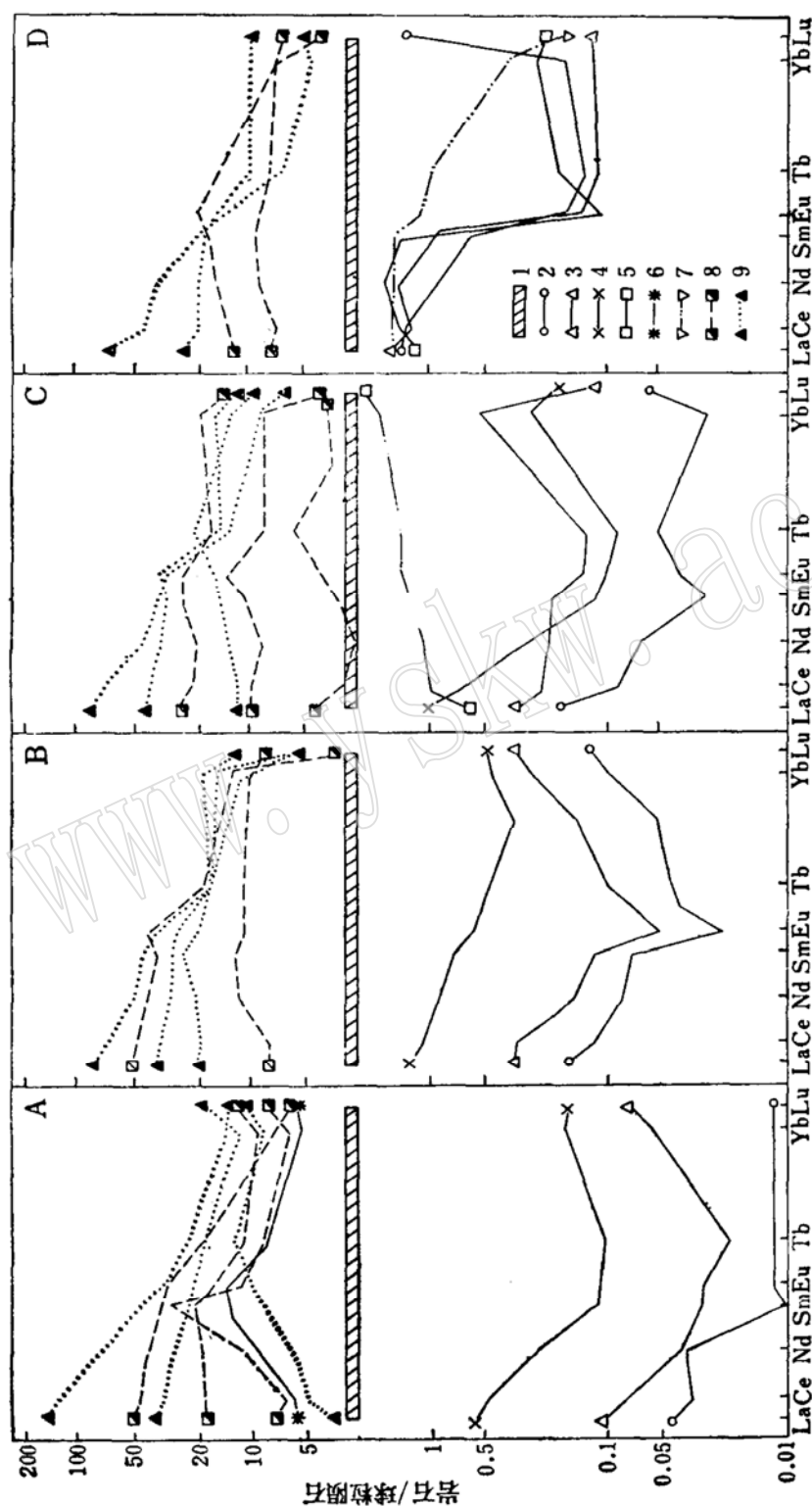


图3 西准噶尔两类蛇绿岩中各类岩石的稀土元素分配模式

Fig.3 REE patterns of rocks from two type ophiolites in the Western Zhunggar

A—唐巴勒岩带; B—玛依勒山岩带; C—达拉布特岩带; D—和布克赛尔岩带

1—原始地幔的稀土组成 (Frey, 1985); 2—纯辉橄岩; 3—斜辉辉橄岩; 4—斜辉辉橄岩; 5—二辉辉橄岩; 6—辉石岩; 7—橄长岩; 8—辉长岩; 9—熔岩 (拉班玄武岩及少量的玄武安山岩)

的加入^[4]使两者之间的区分标志消失所致。

(四) 稀土元素(REE)的特征

西准噶尔两类蛇绿岩中REE的分配型式如图3所示。下面仍按照变质橄榄岩、堆积杂岩、岩墙杂岩及熔岩的顺序讨论如下:

在西准噶尔蛇绿岩中,无论是在PPG还是在PTG系列的变质橄榄岩中,纯橄岩、斜辉辉橄岩以及斜辉橄岩的REE分配型式的共同特征是:轻稀土呈富集的“U”字型(图3),这一特征与世界各地蛇绿岩中的变质橄榄岩的REE分配型式一致^[6]。解释“U”字型分配模式较为困难,笔者认为它是多种地质作用的结果。首先随着原始地幔岩部分熔融程度的升高,岩石从二辉橄岩类转化为斜辉辉橄岩和纯橄岩,后两者的橄岩、辉石富集了轻稀土^[6],这种富集作用是依靠矿物中的岩浆包裹体来实现的,因为岩浆包裹体中富含碱质和不相容元素,从而引起岩石中轻稀土的富集^[7]。西准噶尔蛇绿岩的变质橄榄岩的矿物中含有大量的碱质岩浆包裹体^[8],显然这是造成岩石中轻稀土富集的原因之一。造成岩石中轻稀土富集的一个重要的原因是上地幔的交代作用(亦即富集型地幔的存在)^[9],目前在西准噶尔已有充分的证据证明富集型地幔的存在^①。

变质橄榄岩中REE的分配模式除了上述的共性外,还有不同的一面,从图3中可知,唐巴勒、玛依勒山的变质橄榄岩的REE亏损程度大于达拉布特及和布克赛尔的亏损程度(表1)。依据封闭体系下部分熔融的定律,残余物中亏损程度越大部分熔融程度越高,反之则小。可见PPG系列的岩石熔融程度高于PTG系列的岩石,这与前者具有较高的Mg值,而后者具较低的Mg值是一致的。

堆积杂岩中REE的分配模式复杂。在PPG系列中,辉石岩为LREE亏损的倒“V”字型(图3),REE的总量高;而其中的辉长岩有三种分配型式:I型,LREE强富集型;II型,LREE弱富集型;IV型,LREE亏损型(图3—A、B),三种类型的REE总量依次降低。而在PTG系列中的橄长岩与辉石岩不同,为LREE富集型,但丰度低,接近于变质橄榄岩的REE丰度(图3—C、D);而且,该系列中的辉长岩的REE为平坦型分布,明显不同于PPG系列的岩石(图3)。

熔岩的REE分配型式有四种:强富集型(I型),弱富集型(II型),平坦型(III型),亏损类(IV型);相当于Schilling(1975)提出的E型(I+II),T型(III),N型(IV)拉斑玄武岩。但PPG系列中熔岩的REE丰度高于PTG系列,显示了两类蛇绿岩之间的差别。

造成壳层岩石中REE多种分配型式的主要原因是:(1)原始地幔岩熔融程度的差异,因为熔融程度的高低直接控制了岩浆中不相容元素的含量^[8];(2)岩浆分异结晶作用的影响,蛇绿岩中的拉斑玄武岩,由于具有较高的Fe/Mg比值和较低的Ni、Cr含量,认为它们不能完全反映与上地幔成分平衡的原始岩浆^[11],它们可能在次洋脊的岩浆房中发生了分离结晶作用,在低压分异过程中,LREE/HREE的比值受橄岩+斜长石比例的控制;高压情况下则受单斜辉石+石榴石比例的控制,造成了HREE的强烈分异,从而产生了N、T、E型玄武岩^[12]。

① 有关富集型地幔的特点见郝粹国(1988)博士论文。

(五) 铬铁矿床的特征

依据发育在西准噶尔两类蛇绿岩中的铬铁矿矿石的 Cr_2O_3 和 Al_2O_3 含量,铬铁矿床可分两类:一类是高Cr低Al的冶金级矿石,其 Cr_2O_3 在45.0—60.0wt%之间(平均51.8wt%), Al_2O_3 为6.95—26.82wt%(平均7.65wt%),造矿尖晶石成分 $\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$ 变化于0.65—0.90之间(表1、2),这类矿床发育于含PPG系列的蛇绿岩中,以唐巴勒、萨雷诺海岩块中的铬矿床为代表;另一类是低Cr高Al的耐火级矿石,其 Cr_2O_3 为8.02—43.2wt%(平均39.9wt%), Al_2O_3 为9.64—26.82wt%(平均22.63wt%),造矿铬尖晶石的 $\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$ 变化于0.35—0.66之间,以发育在含PTG系列的蛇绿岩块中的矿床(如萨尔托海、鲸鱼、洪古勒楞)为代表。上述矿石成分特征充分显示了两类蛇绿岩之间的差异。

三、两类蛇绿岩的成因讨论

1. 变质橄榄岩——熔融残余成因

关于蛇绿岩底部的变质橄榄岩是原始上地幔岩熔融残余的认识已得到广泛接受^[4,5,13]。但针对西准噶尔地区而言,仍有少数研究者认为是岩浆结晶分异的产物^[14],对此,笔者认为下述的证据有利于澄清这一问题。

首先,野外的宏观观察表明:各类岩石之间相互包容,其边界难以确定;常见以二辉橄榄岩为中心,向边部依次是斜辉橄榄岩—斜辉辉橄岩—纯橄岩,或者与之相反的顺序出现,这样的一个顺序与实验确定的原始地幔岩的熔化残余的结果一致(图4)。同时在岩相上,往往可划分出上部偏基性的纯橄岩+斜辉辉橄岩杂岩带,下部偏酸性的斜辉橄榄岩+二辉橄榄岩杂岩带(图1),与岩浆分异形成的上酸下基的分异相带截然相反,它代表的正是原始地幔岩部分熔融残余的结构状态,而且这种特性具全球性^[5]。

其次,室内的微观观察发现,变质橄榄岩的各类岩石中广泛发育熔融残余结构^[5],如尖晶石的后成合晶结构,辉石的蚕食状结构;以及高温高压下的塑性变形结构,如矿物的三连点、重结晶结构,扭断带和碎斑结构等;而正常的岩浆结晶岩石不存在上述结构(堆积杂岩中最常见的是包含、镶嵌,反应边结构等形态)。同时,变质橄榄岩的各类矿物中常见硅酸盐熔融包裹体^[8,15],它们代表矿物局部熔化后未迁出岩浆的固结产物。董显扬(1987)对上述包裹体的温、压测定表明:其均一化温度为1200—1325℃,压力 11×10^8 — 13×10^8 Pa(相当于33—42km),实际上反映的是上地幔环境;它代表沿扩张脊原始地幔岩上涌近地表时,熔融即将终结,洋壳开始向两侧扩张时的状态。

最后, Mysen 等人(1977)所做的石榴石二辉橄

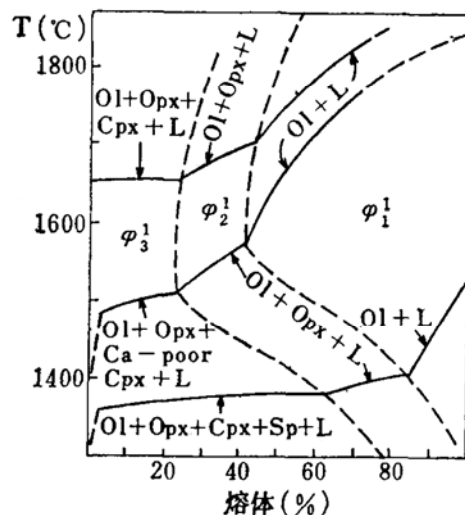


图4 20×10^8 Pa(无水)条件下石榴石二辉橄榄岩的熔化曲线(据Mysen et al., 1977)
Fig.4 Melting curve of garnet-lherzolite at 20×10^8 Pa(dry)

Ol—橄榄石; Opx—斜方辉石; Cpx—单斜辉石; Sp—尖晶石; L—液相; Ca—Poor Cpx—贫钙单斜辉石; ϕ_3 —橄榄岩; ϕ_2 —斜辉辉橄岩; ϕ_1 —纯橄岩

榄岩的熔化实验(图4)表明:随着融化程度的升高,从石榴石二辉橄榄岩可依次转化为斜辉橄榄岩→斜辉辉橄榄岩→纯橄岩;对应的液相组成大体相当于碱性橄榄玄武岩浆→橄榄拉斑玄武岩浆→苦橄质拉斑玄武岩浆^[16];在此过程中,矿物消失的顺序是:石榴石→单斜辉石→斜方辉石→橄榄石,化学成分向富Mg贫Fe的方向演化。上述特征和实验支持了蛇绿岩中的变质橄榄岩是原始上地幔岩部分熔融残余的认识。

2. 壳层岩石——岩浆结晶成因

壳层岩石作为岩浆结晶分异作用的产物目前已无太大的争论。笔者在此着重讨论是在什么条件下形成了辉石岩和辉长岩两类不同的堆积杂岩的。

首先表现为压力(岩浆房出露的深度)的控制作用。Thompson (1972)所做的橄榄拉斑玄武岩的熔化实验(图5-a)清楚地阐明了这一问题。对于橄榄拉斑玄武岩浆而言,在不同的压力下结晶将出现不同岩石组合。在高压($>17.5 \times 10^8 \text{ Pa}$)下,出现的是榴辉岩矿物组合;中压($7.5-17.5 \times 10^8 \text{ Pa}$)下,出现辉石岩+辉长岩组合;低压($0-7.5 \times 10^8 \text{ Pa}$)下为橄长岩+辉长岩组合。据此组合可知,在西准噶尔地区蛇绿岩中,构成PPG系列的堆积岩岩浆房出露深度大于PTG系列的岩浆房出露深度。

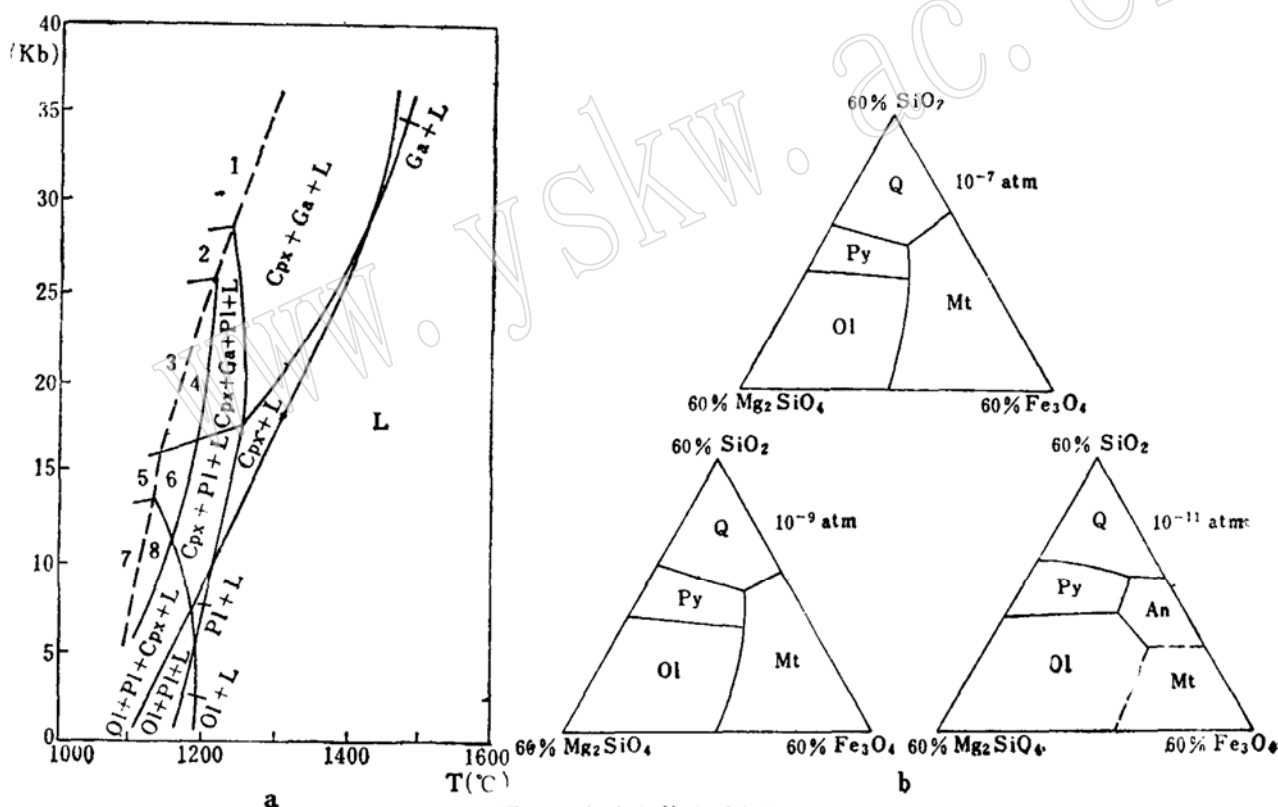


图5 玄武岩的实验相图

Fig.5 Experiment phase map of the basalt

a—橄榄拉斑玄武岩浆的熔融相图

(据 Thompson, 1972)

b—不同氧逸度下 $\text{Mg}_2\text{SiO}_4-\text{FeO}-\text{Fe}_3\text{O}_4-\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8-\text{SiO}_2$ 系统中具有40wt% $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 时液相线矿物的关系(据Roder et al., 1966) 1— $\text{Cpx} + \text{Ga} + \text{Q} + \text{Sd}$; 2— $\text{Cpx} + \text{Ga} + \text{Pl}$; 3— $\text{Cpx} + \text{Ga} + \text{Pl} + \text{Ilm}$; 4— $\text{Cpx} + \text{Ga} + \text{Pl} + \text{Ilm}$; 5— $\text{Cpx} + \text{Pl} + \text{Ilm}$; 6— $\text{Cpx} + \text{Pl} + \text{Ilm} + \text{L}$; 7— $\text{Ol} + \text{Pl} + \text{Cpx} + \text{Ilm}$; 8— $\text{Ol} + \text{Pl} + \text{Cpx} + \text{Ilm} + \text{L}$

Ga—石榴石, Cpx—单斜辉石, Py—辉石, Ol—橄榄石, Pl—斜长石, Q—石英, Ilm—钛铁矿, Mt—磁铁矿, L—液相

其次是岩浆房中氧逸度的控制作用。Roder 等人(1966)所做的不同氧逸度下玄武岩浆的液相线矿物的关系(图5—b)表明:在氧逸度大于 10^{-9} 大气压的岩浆房中,将出现辉石岩组合;而氧逸度小于或等于 10^{-11} 大气压时,将出现橄长岩和辉长岩组合,显示了岩浆房中自身条件的变化对成岩的控制。

综观西准噶尔两类堆积杂岩的特征后认为:深度的控制似乎更重要。因为,若氧逸度起主导作用,则会出现辉石岩与橄长岩交替出现的堆积杂岩,事实上目前在西准噶尔还未发现该堆积杂岩;加之同一个蛇绿岩带中的堆积杂岩的岩石组合近似,因此可以说岩浆房出露的深度决定了堆积岩的岩石组合的不同。

综上所述,西准噶尔蛇绿岩下部的变质橄榄岩是原始地幔岩部分熔融的残余,两类蛇绿岩中变质橄榄岩之间的差异则是由部分熔融程度不同造成的。其上部的壳层岩石(特别是堆积杂岩)是岩浆结晶分异的产物,辉石岩与橄长岩不同组合的出现则与扩张脊的岩浆房结晶时所处的深度及状态有关。

本文是在王恒升教授的指导下完成的,野外工作期间得到新疆地质七大队和杨延辉工程师的大力帮助,在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] 冯益民, 1986, 西准噶尔蛇绿岩生成环境及其成因类型, 西安地质矿产研究所所刊, 第10期, 第29—34页。
- [2] 朱宝清, 1987, 西准噶尔西南地区古生代蛇绿岩, 西安地质矿产研究所所刊, 第17期, 第3—64页。
- [3] 张弛, 1981, 新疆蛇绿岩某些地质特征, 地质论评, 第27卷, 第4期, 第307—314页。
- [4] Coleman, R. G., 1977, *Ophiolites*, Springer-Verlag Heidelberg New York, 0-229.
- [5] 王希斌, 鲍佩声, 1987, 豆荚型铬铁矿床的成因, 地质学报, 第2期, 第166—181页。
- [6] Allegre, C. J., et al., 1980, Trace element geochemistry and the origin of ophiolite complexes Colloq. Int. C. N. R. S., Vol. 272, 125-133.
- [7] Prinzhofer, A., et al., 1985, Residual peridotite and the mechanisms of partial melting. *Earth, Plant. Sci. Lett.*, Vol. 74, 251-265.
- [8] 彭礼贵, 1985, 新疆玛依勒山地区铁镁质超基性岩特征及硅酸盐熔体包裹体, 西安地质矿产研究所所刊, 第11期, 第9—14页。
- [9] Frey, F. A., et al., 1978, Integrated models of basalt petrogenesis. *J. petrol.*, Vol. 19, 463—513.
- [10] Schilling, J. G., 1975, REE variation across normal segments of the Reykjanes Ridge 60—53°N, Mid-Atlantic Ridge 29°S, and East Pacific Rise 2—19°S, and evidence of the composition of the underlying low-velocity layer. *J. Geophys. Res.*, Vol. 80, 1459-1473.
- [11] O'Hara, M. J., 1981, Are ocean floor basaltic primary magma? *Nature (London)*, Vol. 220, 683-686.
- [12] Pankhurst, R. J., 1977, Open system crystal fractionation and incompatible element variation in basalts. *Nature (London)*, Vol. 268, 36-38.
- [13] Mysen, B. O., et al., 1977, Compositional variations of coexisting Phase with degree of melting of Peridotite in the upper mantle. *Am. Mineral.*, vol. 62, 834-865.
- [14] 高纪璞, 1987, 我国西北某些阿尔卑斯型超基性岩体的岩浆结晶演化特征初探, 西安地质矿产研究所所刊, 第15期, 第69—86页。
- [15] 董显扬, 1987年, 西准噶尔超基性岩、蛇绿岩及铬铁矿(3), 西安地质矿产研究所所刊, 第18期, 第46—82页。
- [16] Ringwood, A. E., 1975, *Composition and Petrology of the earth's mantle*, McGraw-Hill Inc. USA.

0-618.

[17] Thompson, R. N., 1972, The oxygen fugacity within graphite capsules in piston-cylinder apparatus at high pressures, Carnegie Institute, Wash. Year Book, Vol. 71, 615—616.

[18] Roder, P. L., et al., 1966, Experimental data for the system $\text{MgO}-\text{FeO}^*-\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ and their Petrologic implications, Am. J. Sci., Vol. 264, 423—480.

Geological Characteristics and Genetic Study on Ophiolites of the Two Types in the Western Zhungeer, Xinjiang Uygur Autonomous Region

Hao Ziguo

Wang Xibin

Bao Peisheng

Peng Genyong

Jin Yuanxin

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences)

Key words: the Western Zhungeer; two type ophiolites; petrologic characteristics; genetic discuss

Abstract

In this paper ophiolites in the Western Zhungeer are divided into two types; One of them is assemblage of metamorphic peridotite + troctolite + gabbro (abbreviated to PTG series); another is that of metamorphic peridotite + pyroxenite + gabbro (abbreviated to PPG series). The former is represented by the Dalabute and Hebukesaiier belt; the latter is represented by the Tangbale and Mayileshan belt. The PTG and PPG series follow Al-rich and Ca-rich evolutionary trend respectively. Therefore, two types ophiolites are very different in rock associations, mineralogy, rock chemistry, REE geochemistry and types of chromite deposits.

Genetic mechanism of metamorphic peridotite in the ophiolites is partial melting of the upper mantle peridotite. Difference between two types ophiolites is decided by degree of the partial melting. But, the crust rocks (included to accumulating complex, sheeted sill complex and lava) is formed by crystallization of the magma. The different rock associations of pyroxenite + gabbro and troctolite + gabbro in the accumulating complex are related to depth of formation of magmatic chambers and oxidation state of magma in the spreading ridge.