新疆西准噶尔拉巴西蛇绿混杂岩带地质特征及其意义

杨红宾[1], 靳 松[1,2], 陈志彬[1], 张兆祎[1], 谢汝斌[1], 许肖斌[1], 刘树兴[1]
(1.河北省地质调查院, 石家庄 050081;
2.中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074)

摘 要: 新疆西准噶尔地区是古生代经过俯冲－增生形成的复合造山带。该地区分布有多条蛇绿岩带, 其中的拉巴西蛇绿岩带是比较重要的一条, 通过对该蛇绿混杂岩特征的研究, 认为该区蛇绿岩尽管受到强烈的多期构造肢解, 但根据岩石类型仍能恢复蛇绿岩的原始层序。本文重点讨论了拉巴西蛇绿混杂岩的地球化学特征, 认为其形成时代为晚寒武世－中奥陶世, 就位时代为中晚志留世, 蛇绿混杂岩产于弧前或弧后小洋盆环境。研究发现, 该蛇绿混杂岩具有明显的铬铁矿化, 为下一步找矿指明了方向。

关键词: 西准噶尔; 蛇绿混杂岩; 拉巴西; 地球化学
中图分类号: P588.12+5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672－4135(2011)03－0161－09

西准噶尔蛇绿岩是经过多次构造运动而被肢解的大型复合蛇绿混杂岩带, 其岩石类型多样, 分布复杂, 后期变动强烈, 反映了西准噶尔地壳长期复杂的演化历史。其中, 玛依勒蛇绿岩带中岩石多强烈片理化, 蛇纹石化, 并夹入大量构造岩块, 成为蛇绿混杂岩[1-5]。众多学者也在本区玛依勒山一带的超镁铁质杂岩开展了深入研究[6-7], 从此揭开了对本区蛇绿岩研究新的一页。本次研究主要针对蛇绿岩的野外特征开展了更进一步的野外调查, 基本查明了蛇绿岩的分布情况、岩石组合等特征, 并对其地球化学特征, 时代归属, 构造环境和成矿专属性进一步探讨, 为研究新疆北部西准噶尔地区蛇绿岩带提供了新的资料。

1 地质背景

区域上玛依勒蛇绿混杂岩带分南北两个带, 北带为玛依勒蛇绿混杂岩, 南带为拉巴西蛇绿混杂岩, 本文对南带拉巴西蛇绿混杂岩进行了详细研究。该蛇绿岩带主要分布于拉巴西大断裂北东侧一带(图1), 蛇绿岩呈构造岩片产出, 与志留系地层构成混杂岩带。各岩片与周围地层呈断层接触, 界线清楚。沿拉巴西大断裂北侧次级断裂分布, 特别在岩带转弯处膨大为岩带的主体部分。该带由多个大小不等的岩片组成, 总面积约4.41 km², 在区内断续分布, 长15 km, 宽7 km。单个岩片一般长0.2～5 km, 宽0.1～1.0 km左右, 岩石普遍发生褐铁矿化、阳起石化、蛇纹石化等现象, 呈不规则状岩片分布于志留系中上统玛依勒山组中, 地表产状复杂, 深处产状磁测表明多为陡倾或直立, 该岩片剥蚀深度较浅。岩片与铬铁矿成矿关系密切, 另外镍元素在蛇绿岩中的地化特征明显。

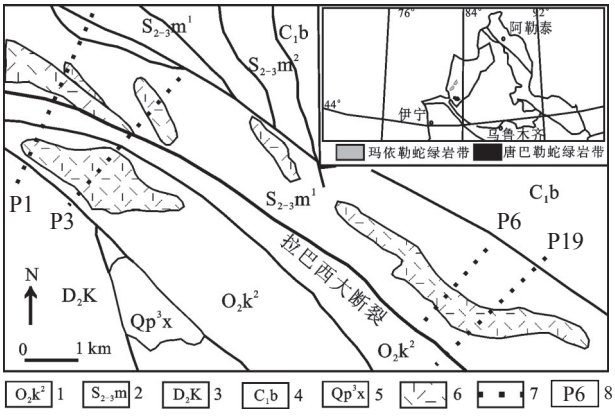

图1 西准噶尔地区玛依勒(拉巴西)蛇绿混杂岩分布图

Fig.1 Distribution of the Mayile(Labaxi) ophiolite and its related rocks in the western Junggar

1.科克萨依组; 2.玛依勒山组; 3.库鲁木迪组; 4.包古图组; 5.新疆组; 6.蛇绿混杂岩; 7.实测剖面; 8.剖面位置

收稿日期: 2011-02-28
基金项目: 新疆自治区地质调查项目(XJQDZ2008-01; XJQDZ2008-03)
作者简介: 杨红宾(1963-), 男, 工程师, 1987年毕业于长春地质学校地质勘查专业, 主要从事区域地质矿产调查研究。E-mail: js521@163.com; 通讯作者简介: 靳松(1982-), 男, 博士, 2008年毕业于中国地质大学(武汉)地球化学专业, 主要从事岩石地球化学和区域地质矿产调查研究, E-mail: js521@163.com。

2 蛇绿混杂岩

拉巴西蛇绿混杂岩的岩石单元较少，主要由辉石橄榄岩(已完全蛇纹岩化)、辉长岩、玄武岩和辉绿岩墙等组成。该带主要由P6、P19、P1号剖面(图1)控制，P6剖面出露岩性比较完整(图2)，其主要岩性为蛇纹岩、辉绿岩、玄武岩、硅质岩等，可作为典型剖面，描述如下：

⑬.灰绿色绢云粉砂质板岩 35.06 m

= = = = = = 断 层 = = = = = =

⑫.灰黑-灰绿色变质辉绿岩 128.90 m

⑪.灰黑色碎裂状砂质硅质岩 4.92 m

⑩.墨绿色蛇纹岩 68.97 m

⑨.深灰色变质玄武岩 31.36 m

⑧.墨绿色蛇纹岩 37.31 m

⑦.深灰色变质玄武岩 69.52 m

⑥.墨绿色蛇纹岩 73.65 m

⑤.青灰色碎裂状含透闪石化硅质岩 22.64 m

④.墨绿色碳酸盐化蛇纹岩 77.57 m

③.灰白色白云石滑石蚀变岩 34.78 m

②.墨绿色碳酸盐化蛇纹岩 102.44 m

= = = = = = 断 层 = = = = = =

①.灰绿色绿帘阳起片岩 32.26 m

图2为控制拉巴西蛇绿混杂岩的剖面，基本反映了拉巴西蛇绿混杂岩的地质特征及岩石组合特征。构成蛇绿混杂岩的岩石单元主要为辉石橄榄岩及少量的纯橄岩(均已蚀变蛇纹岩)、强蚀变基性熔岩夹硅质岩，现已蚀变、变质为滑石、白云石、蛇纹石蚀变岩、绿帘阳起蚀变岩夹石英岩、透闪石岩，与细粒辉长岩等基性杂岩为断层接触。出露于蛇绿岩上部的辉绿岩多呈单个或多个岩墙近直立产出，一般宽4.59～128.90 m。

3 岩石及岩相学特征

本带中蛇绿混杂岩的岩石单元比较齐全，主要由地幔橄榄岩、辉长岩、中酸性－基性熔岩、辉绿岩墙(群)和硅质岩等组成，但在辉长岩中未见堆晶结构。蛇绿混杂岩多已被构造肢解，经过详细地质调查，基本查明了其岩石特征及分布状况。

3.1 地幔橄榄岩

地幔橄榄岩为蛇绿混杂岩的主要构成部分，一般单独产出。本区地幔橄榄岩主要以纯橄榄岩、辉橄岩、斜辉橄榄岩为主，后期蚀变强烈，现在表现为蛇纹岩、碳酸盐化蛇纹岩、白云石滑石蚀变岩、阳起绿帘蚀变岩等。

黑绿色蛇纹岩：纤状变晶结构，块状构造。岩石由蛇纹石组成。蛇纹石呈纤维状结合体分布，无色－浅黄绿色，低正突起，Ⅰ级灰白－黄干涉色，为纤维蛇纹石，99%；少量残留橄榄石、辉石假象。磁铁矿呈粒状，粒径0.6～0.05 mm，少量尘点状，1%；铬尖晶石呈粒状，粒径0.4～0.1 mm，少量。

黑绿色碳酸盐化蛇纹岩：纤维状结构，块状构造。岩石由蛇纹石构成。蛇纹石呈纤维状，大小0.02～0.15 mm，杂乱分别，似条痕状分布，100%。碳酸盐呈他形粒状，大小0.08～0.2 mm，星散或似堆状分布，局部交代蛇纹石，10%～15%。

3.2 基性－中酸性熔岩

基性－中酸性熔岩在该蛇绿混杂岩带中不很发育，其岩石特征描述如下：

黑色变质玄武岩：变质似间粒结构，块状构造。岩石由斜长石及暗色矿物构成。斜长石呈他形粒状，半自形板条状，似格架状分布，大小0.05～0.4 mm，65%；暗色矿物假象：斜长石格架间填隙辉石，均被纤状透闪石(25%)，鳞片状绿泥石(10%)交代，相对似条痕状分布，35%。

3.3 岩墙(群)

主要分布于测区西北部卓勒德巴依巴斯陶－科克开乃然一带，岩性有变质细粒辉长岩、变质辉绿岩等，出露宽度为4～130 m。另外还可见与岩墙相似的暗色闪长岩和浅色斑状斜长花岗岩，与围岩为侵入关系，宽度3～8 m，其形成时代可能较岩墙群相对较晚。

灰色变质细粒辉长岩：变余细粒辉长结构，块状构造。岩石由斜长石、辉石构成。斜长石呈他形粒状－半自形板状，杂乱分布，大小1.5～0.5 mm，局部

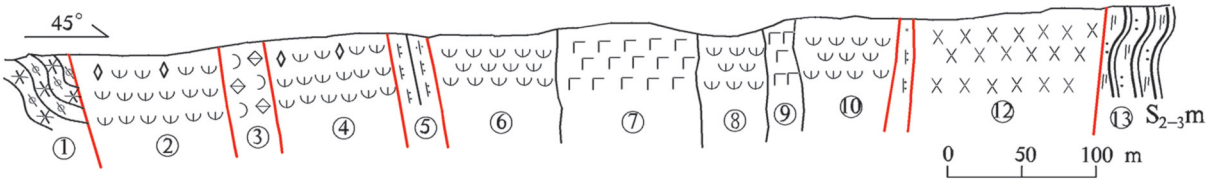

图2 拉巴西蛇绿混杂岩带实测剖面图(P6)

Fig.2 The measured profile of the Labaxi ophiolite melange belt

黝帘石化，60%；辉石呈他形粒、柱状，杂乱分布于斜长石间，略有定向排列的趋势，大小0.3～1.3 mm，多被角闪石交代，并具次闪石化，40%。次生矿物：次闪石、黝帘石。

灰绿色变质辉绿岩：变余辉绿结构，块状构造。岩石由斜长石，暗色矿物构成。斜长石呈他形粒状－半自形板条状，似格架状分布，大小0.3～1 mm，局部绿帘石化，60%；暗色矿物为辉石，杂乱填隙于斜长石间，大小0.2～0.6 mm，均被次闪石，绿帘石及少量绿泥石交代，呈假象，40%。

褐黄色碎裂岩化斑状斜长花岗岩：似斑状结构，基质具他形－半自形细粒结构，块状构造。岩石由斑晶和基质组成。斑晶32%，斜长石：呈半自形板状，粒径2.0×1.2～0.8×0.6 mm^2，聚片双晶发育，30%；石英：呈他形粒状，粒径1.0～0.6 mm^2，具玻状消光，2%。基质68%，具他形－半自形细粒结构，由斜长石，石英组成。斜长石：呈半自形板状，粒径0.4× 0.3～0.2× 0.1 mm^2，聚片双晶发育，48%；石英：呈他形粒状，粒径0.4～0.2 mm，具玻状消光，20%。岩石后期受应力作用，较破碎，沿破碎带分布碾细的岩粉及含铁碳酸盐（氧化后均为褐铁矿），约占岩石的20%。

3.4 硅质岩

西准噶尔地区硅质岩分布较广，有两种不同类型：一类为代表蛇绿混杂岩上覆岩系的硅质岩，另一类为在志留系中发育的硅质岩[8]。代表蛇绿岩上覆岩系的硅质岩，主要分布于该蛇绿岩的近处，与蛇绿岩单元中基性熔岩或岩墙相伴产出，与两侧一般为断层接触，呈岩片产出，厚度不大，一般为5～20 m，颜色为紫红色、灰紫色、青灰色，质地纯净；地层中的硅质岩为地层的组成部分，与上、下岩系整合接触，颜色相对较杂，质地也没有前者纯净，为灰色、青灰色等，厚度一般不大，但单层厚度较大。该蛇绿岩套中硅质岩描述如下：

灰黑色变质（含砂）粘土质硅质岩：变余（含砂）泥质泥晶结构，块状构造。岩石由硅质、粘土质、陆源砂、粉砂构成。硅质：由隐晶、微粒玉髓构成，构成岩石之主体，70%；粘土质：由＜0.005 mm的粘土矿物构成，部分已变为微晶黑云母，25%；陆源砂、粉砂：由石英、长石、硅质岩岩屑构成，星散分布，次圆、次棱角状，大小以0.05～0.3 mm的砂为主，5%。岩内见少量硅质、绿泥石－黑云母充填裂隙。

4 岩石化学及地球化学特征

4.1 岩石化学特征

全岩主量元素在河北省区域地质矿产调查研究所采用可见分光光度计和原子吸收分光光度计测定，分析精度优于5%。蛇绿混杂岩岩石化学成分分析结果、CIPW标准矿物计算结果及特征参数见表1、表2。

（1）橄榄岩类（蛇纹岩）

地幔橄榄岩由于受到板块俯冲作用和大洋热水蚀变作用以及区域低温高压变质作用的影响，岩石均已变质成蛇纹岩，致使原岩在宏观上难以恢复。岩石化学指数特征显示，蛇纹岩SiO_2分别为40.02%、42.96%、40.66%，MgO较高，为37.80%、37.28%、38.25%，Al_2O_3为0.01%、0.56%、1.56%，含量明显偏低。K_2O为0.03%、0.01%、0.01%，TiO_2为1.08%、0.02%、0.04%，与世界其它地区地幔橄榄岩相比，总体上以贫K_2O、TiO_2，富MgO为特征。CIPW标准矿物计算结果无Q，C低，表明SiO_2、Al_2O_3为不饱和状态，出现大量橄榄石分子Ol，含量分别为为60.78%、46.46%、55.10%，以橄榄石、辉石为主，普遍含磁铁矿、钛铁矿、磷灰石，其标

表1　拉巴西蛇绿混杂岩岩石化学成分一览表

Table 1　Schedule of the petrochemical composition for the Labaxi ophiolite

岩相	样号	岩石名称	氧化物含量 W(B)%														
			SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O^+	H_2O^-	Los	总量
橄榄岩	P1YQ2	蛇纹岩	40.02	0.01	1.08	3.61	2.68	1.36	37.80	0.01	0.09	0.03	0.06	11.34	0.44	13.40	100.15
	P6YQ1	蛇纹岩	42.96	0.02	0.56	3.54	3.38	0.07	37.28	0.35	0.02	0.01	0.05	10.50	0.34	12.08	100.31
	P6YQ2	蛇纹岩	40.66	0.04	1.56	4.17	2.42	0.11	38.05	0.13	0.03	0.01	0.04	12.70	0.90	13.04	100.26
岩墙（群）	P1YQ1	辉长辉绿岩	56.38	0.87	17.76	3.39	3.04	4.84	3.42	1.43	0.09	6.45	0.21	1.40	0.19	1.93	99.81
	P1YQ3	辉长辉绿岩	54.78	0.74	15.10	3.23	3.47	7.74	6.65	0.81	0.10	5.08	0.16	1.40	0.20	2.04	99.90
	P6YQ3	变质辉绿岩	48.08	1.11	14.08	3.49	7.16	0.17	8.71	9.29	2.86	0.71	0.12	2.44	0.19	3.66	99.44
火山岩	TP6YQ4	玄武岩	53.93	0.92	15.75	1.09	6.35	0.17	5.16	5.10	2.73	1.75	0.18	2.09	0.13	5.94	101.29
硅质岩	P7YQ1	硅质岩	88.66	0.20	4.13	1.67	0.91	0.06	0.58	0.89	1.68	0.41	0.09	0.29	0.12	0.86	100.14

分析单位：河北省区域地质矿产调查研究所实验室

表2 蛇绿混杂岩CIPW标准矿物计算及有关参数一览表

Table 2 Schedule of the CIPW standard mineral calculation and related parameters for the Labaxi ophiolite

岩相	样号	岩石名称	CIPW标准矿物														
			Q	An	Ab	Or	Ne	C	Di	Hy	Ol	Cs	Il	Mt	Ap	Zr	合计
橄榄岩	P1YQ2	蛇纹岩	0	3.22	0.29	0.07	0	0	3.24	29.79	60.78	0	0.02	2.43	0.16	0	100
	P6YQ1	蛇纹岩	0	1.60	0.19	0.07	0	0	0	48.73	46.46	0	0.04	2.78	0.13	0	100
	P6YQ2	蛇纹岩	0	0.44	0.29	0.07	0	1.56	0	39.80	55.10	0	0.09	2.55	0.11	0	100.01
岩墙（群）	P1YQ1	辉长辉绿岩	0	15.62	55.78	8.64	0	0	6	4.79	2.44	0	1.69	4.55	0.50	0	100.01
	P1YQ3	辉长辉绿岩	0	16.36	43.94	4.89	0	0	17.33	9.03	2.38	0	1.44	4.24	0.38	0	99.99
	P6YQ3	变质辉绿岩	0	24.52	25.27	4.38	0	0	18.34	11.35	8.38	0	2.20	5.28	0.29	0	100
火山岩	TP6YQ4	玄武岩	9.54	25.90	24.8	11.10	0	0.56	0	24.06	0	0	1.88	1.70	0.45	0	100
硅质岩	P7YQ1	硅质岩	75.14	2.54	14.33	2.44	0	0	1.08	2.07	0	0	0.38	1.81	0.21	0	99.99

岩相	样号	岩石名称	岩石化学参数												
			DI	A/CNK	SI	A.R	σ43	σ25	R_1	R_2	F1	F2	F3	A/MF	C/MF	τ
橄榄岩	P1YQ2	蛇纹岩	0.36	0.426	86.08	1.03	0	0	2873	2361	0.37	-2.05	-2.47	0.01	0.02	99.10
	P6YQ1	蛇纹岩	0.26	0.823	84.64	1.07	0	0	3029	2156	0.41	-2.02	-2.44	0.01	0.01	27.00
	P6YQ2	蛇纹岩	0.36	5.261	85.67	1.05	0	0	2899	2223	0.40	-2.04	-2.47	0.01	0	38.25
岩墙（群）	P1YQ1	辉长辉绿岩	64.42	0.847	19.32	2.07	4.44	1.99	960	1059	0.55	-1.5	-2.66	1.03	0.51	20.31
	P1YQ3	辉长辉绿岩	48.83	0.648	34.63	1.69	2.79	1.17	1491	1487	0.48	-1.58	-2.59	0.58	0.54	20.27
	P6YQ3	变质辉绿岩	29.65	0.630	37.99	1.36	1.93	0.55	1781	1777	0.45	-1.57	-2.44	0.38	0.46	10.11
火山岩	TP6YQ4	玄武岩	45.44	1.006	30.21	1.55	1.55	0.70	2132	1193	0.59	-1.38	-2.49	0.67	0.40	14.15
硅质岩	P7YQ1	硅质岩	91.91	0.856	11.14	2.43	0.10	0.07	5178	207	0.80	-1.34	-2.29	0.84	0.33	12.25

准矿物组合为An+Ab+Or+Ol+Hy,这些标准矿物的出现,反映原岩化学成分为超镁铁岩。这些超镁铁岩可能代表了具有高度熔融的地幔熔融残余物质,为镁铁质蛇绿岩。

(2)岩墙(群)

主要为辉绿岩类,SiO_2分别为56.38%、54.78%、48.08%,TiO_2为0.87%、0.74%、1.11%,Al_2O_3为17.76%、15.10%、14.08%,MgO为3.42%、6.65%、8.71%,CaO为1.43%、0.81%、9.29%。K_2O为6.45%、5.08%、0.71%,Na_2O为0.09%、0.10%、2.86%。总体看,岩石高SiO_2、Al_2O_3、TiO_2,Na_2O、MgO中等,CaO较低。CIPW标准矿物计算结果中没有出现石英,说明SiO_2处于不饱和状态,岩石中出现了橄榄石分子Ol、紫苏辉石Hy,从中可以看出其标准矿物组合为An+Ab+Or+Ol+Hy,固结指数SI低于40,分别为19.32、34.63、37.99,里特曼指数(σ)为4.44、2.79、1.93,属于钙碱性系列–碱性系列。

(3)玄武岩类

蛇绿混杂岩中玄武岩SiO_2为53.93%,Al_2O_3为15.75%,MgO为5.16%,CaO为5.10%,K_2O为1.75%,Na_2O为2.73%。岩石中钾小于钠。里特曼指数(σ)为1.55,为钙碱性系列。CIPW标准矿物计算结果中出现少量石英、刚玉,说明SiO_2处于饱和状态,岩石中出现了紫苏辉石Hy。分异指数DI变化于45.44,分异程度中等。固结指数SI低于40,为30.21。碱度率AR在1.55,过铝指数为1.006,显示了岩浆源区为幔源的特点。该岩石在TAS图解中(图3)落入玄武安山岩岩区,亚碱性系列岩区,与岩石矿物定名基本一致。

(4)硅质岩

SiO_2为88.66%,MgO为0.58%,Al_2O_3为4.13%,K_2O为0.41%,TiO_2为0.20%。总体看,岩石SiO_2较高。

4.2 稀土元素特征

微量元素在河北省区域地质矿产调查研究所采用等离子质谱仪(ICP-MS)测定,分析精度优于5%。蛇绿岩稀土元素含量见表3。

(1)橄榄岩(蛇纹岩)

蛇纹岩稀土总量ΣREE极低,分别为0.93×10^{-6}、0.80×10^{-6}、14.17×10^{-6},其轻稀土ΣLREE分别为0.52×10^{-6}、0.33×10^{-6}、13.49×10^{-6},重稀土ΣHREE为0.41×10^{-6}、0.47×10^{-6}、0.68×10^{-6},轻、重稀土比值(ΣLREE/ΣHREE)为1.25、0.71、19.99。样品P1YQ2,P6YQ1的轻、重稀土分馏较弱,而样品P6YQ2的轻、重稀土分馏较强。δEu为2.72、3.18、2.96,Eu正异常明显。其稀土元素球粒陨石标准化型式图

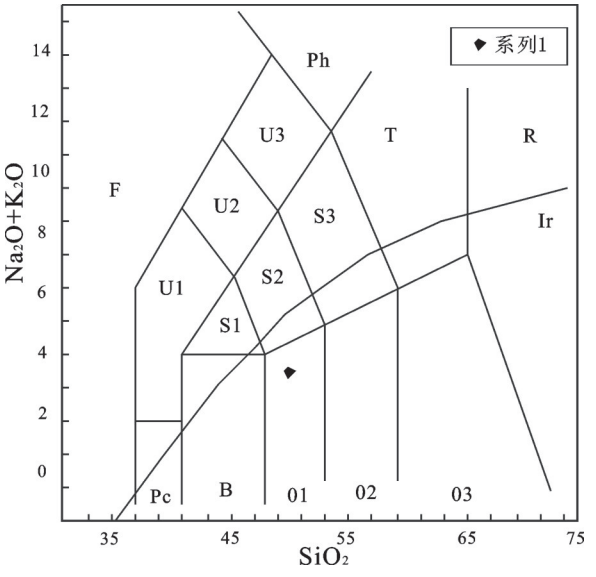

图3 蛇绿混杂岩中玄武岩TAS图解

Fig.3 TAS diagram of the basalt for the Labaxi ophiolite

Pc.苦橄玄武岩;B.玄武岩;O1.玄武安山岩;O2.安山岩;O3.英安岩;R.流纹岩;S1.粗面玄武岩;S2.玄武质粗面安山岩;S3.粗面安山岩;T.粗面岩、粗面英安岩;F.副长石岩;U1.碱玄岩、碧玄岩;U2.响岩质碱玄岩;U3.碱玄质响岩;Ph.响岩;Ir.Irvine 分界线,上方为碱性,下方为亚碱性(Le Maitre R W (ed), 1989);系列1为TP6YQ4

(图4),总体为向右缓倾的曲线,样品P1YQ2和P6YQ1呈现出多峰多谷的形态,特别是重稀土元素明显,这与前人的研究是一致的[9]。

(2)岩墙(群)

辉绿岩的稀土总量ΣREE分别为62.81×10^{-6}、36.74×10^{-6}、39.02×10^{-6},其轻稀土ΣLREE为56.02×10^{-6}、29.27×10^{-6}、22.18×10^{-6},重稀土ΣHREE为6.79×10^{-6}、7.47×10^{-6}、16.84×10^{-6},轻、重稀土比值(ΣLREE/ΣHREE)为8.28、3.92、1.32。样品P1YQ3和P6YQ3的轻、重稀土分馏较弱,而样品P1YQ1的轻、重稀土分馏较强。δEu为1.21、1.11、1.04,微弱的Eu正异常,其稀土元素球粒陨石标准化型式图(图5),表现出两类不同的型式,一种为向右缓倾的曲线(P1YQ1,P1YQ3),另一种为LREE略亏损型平坦型的曲线(P6YQ3),可能为后期变质影响所致。

(3)玄武岩类

玄武岩稀土总量ΣREE为58.41×10^{-6},其轻稀土ΣLREE为47.79×10^{-6},重稀土ΣHREE为10.62×10^{-6},轻、重稀土比值(ΣLREE/ΣHREE)为4.50,轻、重稀土分馏较弱,δEu为0.99,Eu正/负异常不明显,其稀土元素球粒陨石标准化型式图(图6),总体为向右缓倾的曲线。

(4)硅质岩

硅质岩稀土总量ΣREE较低,为25.47×10^{-6},其轻稀土ΣLREE为21.49×10^{-6},重稀土ΣHREE为3.98×10^{-6},轻、重稀土比值(ΣLREE/ΣHREE)为5.40,轻、重稀土分馏较弱,δEu为0.94,Eu负异常不明显,其稀土元素球粒陨石标准化型式图(图6)总体为向右缓倾的曲线。

4.3 微量元素特征

蛇绿岩微量元素含量见表4。

(1)橄榄岩(蛇纹岩)

蛇纹岩微量元素参数Rb/Sr为0.05、0.14、0.18,Ba/Sr为0.65、0.88、0,Zr/Hf为33.63、60.33、21.17,Nb/Ta为16.00、27.72、46.09,Ba/Rb为14.36、6.28、0。其微量元素原始地幔标准化蛛网图(图7),呈多峰多谷形态,放射性能生热元素Th、非活动性元素Ta、不相容大离子亲石元素Rb、Ba富集,但总量较低,由于后期影响,非活动性元素呈现出强烈富集和强烈亏损的峰谷。

(2)岩墙(群)

辉绿岩的微量元素参数Rb/Sr为0.01、0.01、

表3 蛇绿混杂岩稀土元素含量一览表

Table 3 The rare earth content of the ophiolite belt

填图单位	样号	岩石名称	稀土元素含量(×10^{-6})														
			La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
橄榄岩	P1YQ2	蛇纹岩	0.11	0.20	0.03	0.10	0.02	0.02	0.02	0.10	0.02	0.10	0.02	0.10	0.04	0.01	0.20
	P6YQ1	蛇纹岩	0.07	0.10	0.02	0.10	0.02	0.02	0.02	0.10	0.02	0.02	0.10	0.10	0.01	0.10	0.20
	P6YQ2	蛇纹岩	3.65	6.30	0.69	2.30	0.30	0.26	0.23	0.03	0.16	0.03	0.11	0.01	0.09	0.01	1.50
岩墙(群)	P1YQ1	辉长辉绿岩	11.44	22.90	3.17	14.7	2.74	1.03	2.36	0.35	1.87	0.32	0.86	0.12	0.79	0.12	8.70
	P1YQ3	辉长辉绿岩	4.78	11.00	1.72	8.90	2.17	0.79	2.17	0.35	2.16	0.42	1.07	0.15	1.02	0.14	10.20
	P6YQ3	变质辉绿岩	2.71	7.30	1.29	7.40	2.54	1.01	3.44	0.72	5.07	1.02	2.95	0.47	2.78	0.39	26.40
火山岩	TP6YQ4	玄武岩	8.82	19.40	2.79	12.70	3.09	0.99	2.90	0.50	3.06	0.58	1.61	0.24	1.53	0.20	14.80
硅质岩	P7YQ1	硅质岩	4.45	10.10	1.09	4.50	1.01	0.30	0.94	0.18	1.12	0.22	0.67	0.09	0.66	0.10	5.80

分析单位:河北省区域地质矿产调查研究所实验室

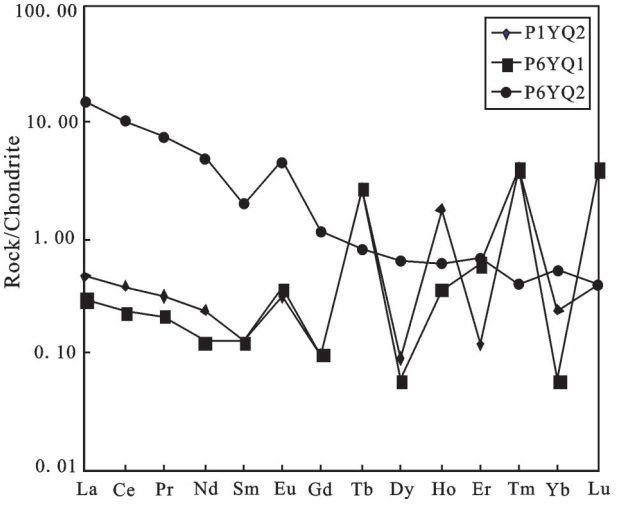

图4 蛇纹岩稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

Fig.4 The chondrite-normalized REE patterns of the ophiolite

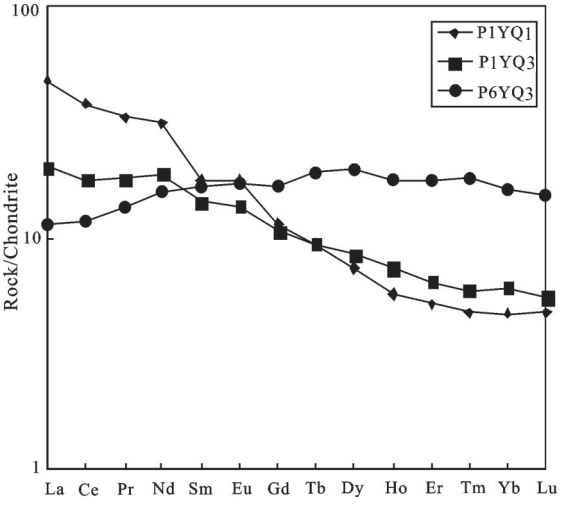

图5 辉绿岩稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

Fig.5 The chondrite-normalized REE patterns of the diabase

表4 蛇绿混杂岩微量元素含量及特征参数一览表

Table 4 The rare earth content and characteristic parameters of the ophiolite

岩相	样号	岩石名称	微量元素含量(×10⁻⁶)													特征参数	
			Rb	Ba	Th	Nb	Ta	Sr	Zr	Hf	Sc	Cr	Co	P	Ti	Rb/Sr	Ba/Sr
橄榄岩	P1YQ2	蛇纹岩	2.2	32	0.3	0.3	0.02	49	9	0.3	8.4	2897	110	73	28	0.05	0.65
	P6YQ1	蛇纹岩	2.5	16	0.2	0.3	0.01	18	10	0.2	5.6	2532	125	31	10	0.14	0.88
	P6YQ2	蛇纹岩	2.1	0	0.2	3.2	0.07	12	10	0.5	8.3	2435	113	55	149	0.18	0.00
岩墙（群）	P1YQ1	辉长辉绿岩	12.5	496	1.5	1.4	0.11	1329	44	1.4	13.1	33	20	948	4717	0.01	0.37
	P1YQ3	辉长辉绿岩	7.1	342	0.8	1.8	0.14	916	59	2.0	19.0	307	32	668	4879	0.01	0.37
	P6YQ3	变质辉绿岩	12.5	99	0.4	2.2	0.18	134	74	3.3	44.1	290	47	361	6570	0.09	0.74
火山岩	TP6YQ4	玄武岩	41.9	244	1.5	3.0	0.27	459	85	2.1	23.1	183	-	751	4619	0.09	0.53

岩相	样号	岩石名称	微量元素含量(×10⁻⁶)												
			Zr/Hf	Nb/Ta	Ba/Rb	∑REE	LREE	HREE	LREE/HREE	δEu	δCe	$(La/Yb)_N$	$(La/Sm)_N$	$(Gd/Yb)_N$	$(Sm/Nd)_N$
橄榄岩	P1YQ2	蛇纹岩	33.63	16.00	14.36	0.93	0.52	0.41	1.25	2.72	0.96	1.97	3.55	0.41	0.55
	P6YQ1	蛇纹岩	60.33	27.72	6.28	0.80	0.33	0.47	0.71	3.18	0.90	5.02	2.26	1.65	1.02
	P6YQ2	蛇纹岩	21.17	46.09	0.00	14.17	13.49	0.68	19.99	2.96	0.91	29.09	7.85	2.11	0.40
岩墙（群）	P1YQ1	辉长辉绿岩	32.24	12.89	39.65	62.81	56.02	6.79	8.25	1.21	0.92	10.39	2.70	2.47	0.57
	P1YQ3	辉长辉绿岩	28.95	12.64	48.20	36.74	29.27	7.47	3.92	1.11	0.94	3.36	1.42	1.76	0.75
	P6YQ3	变质辉绿岩	22.56	12.21	7.95	39.02	22.18	16.84	1.32	1.04	0.95	0.70	0.69	1.02	1.05
火山岩	TP6YQ4	玄武岩	40.52	10.96	5.81	58.41	47.79	10.62	4.50	0.99	0.95	4.13	1.84	1.57	0.74
硅质岩	P7YQ1	硅质岩	33.51	14.91	17.18	25.47	21.49	3.98	5.40	0.94	1.09	4.84	2.84	1.18	0.68

分析单位:河北省区域地质矿产调查研究所实验室

0.09,Ba/Sr 为 0.37、0.37、0.74,Zr/Hf 为 32.24、28.95、22.56,Nb/Ta 为 12.89、12.64、12.21,Ba/Rb 为39.65、48.20、7.95。在微量元素原始地幔标准化蛛网图(图8)中,呈现多峰多谷形态,放射性能生热元素 Th、不相容大离子亲石元素 Ba、Rb 富集,Sr 富集,非活动性元素 Nb、Ta,高场强元素 Ti 相对亏损。Nb 和 Ta 的相对亏损指示其岩浆可能来源于地壳重熔,也可能经历了富 Nb、Ta 矿物的结晶分异作用。Sr 的正异常,指示岩浆没有经过斜长石的分异或源区没有斜长石的残留,岩浆分异程度较低。Ti 的负异常,可能与钛铁氧化物结晶分异有关。

(3)玄武岩类

玄武岩微量元素参数 Rb/Sr 为 0.09,Ba/Sr 为 0.53,Zr/Hf 为 40.52,Nb/Ta 为 10.96,Ba/Rb 为 5.81。在微量元素原始地幔标准化蛛网图(图9)中,不相容大离子亲石元素 Rb、Ba 和放射性能生热元素 Th 富

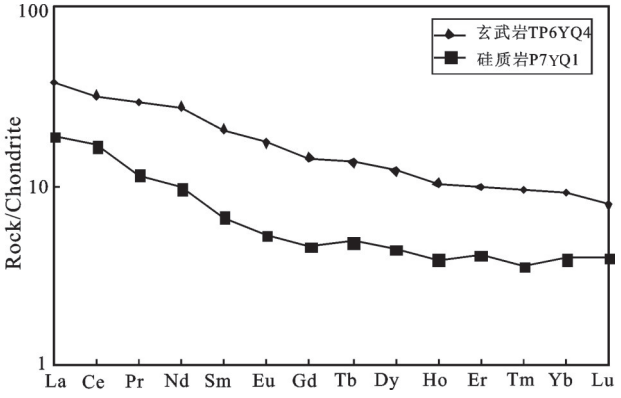

图6 玄武岩和硅质岩稀土元素球粒陨石标准化分布型式图

Fig.6 The chondrite-normalized REE patterns of the basalt and siliceous

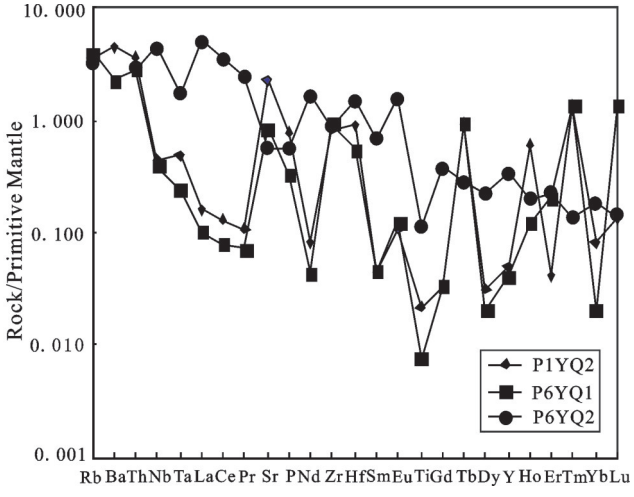

图7 蛇纹岩微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig.7 The primitive mantle-normalized trace element patterns of the ophiolite

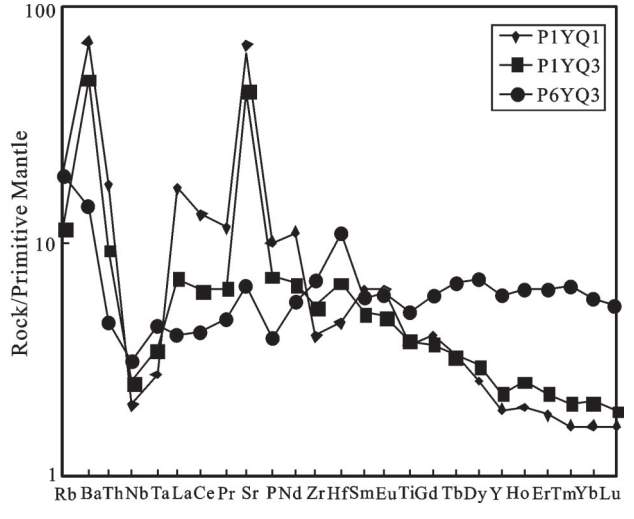

图8 辉绿岩微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig.8 The primitive mantle-normalized trace element patterns of the diabase

集，Sr富集，非活动性元素Nb、Ta，高场强元素Ti相对亏损。非活动性元素Zr亏损，Hf亏损，富集各半。Nb和Ta的相对亏损指示其岩浆可能来源于地壳重熔，也可能经历了富Nb、Ta矿物的结晶分异作用。Sr的正异常，指示岩浆没有经过斜长石的分异或源区没有斜长石的残留，岩浆分异程度较低。Ti的负异常，可能与钛铁氧化物结晶分异有关。

(4)硅质岩

硅质岩微量元素原始地幔标准化蛛网图(图9)所示其微量元素含量总体不高，不相容大离子亲石元素Ba富集，具有Nb，Ta，Ti的负异常，Nb和Ta的相对亏损指示其岩浆可能来源于地壳重熔，也可能经历了富Nb、Ta矿物的结晶分异作用。Ti偏低可能与钛铁氧化物结晶分异有关。

5 形成时代及构造环境

5.1 时代探讨

蛇绿岩是经历了一系列复杂的地质作用形成的最终产物，这就决定了蛇绿岩形成时代的复杂性和长期性，讨论蛇绿岩的时代必然涉及到蛇绿岩的形成时代和侵位时代。由于拉巴西蛇绿岩构造肢解、变质变形强烈，上部陆壳岩石中至今难以发现有直接确定地质时代(如古生物)的依据[10-12]。新疆维吾尔自治区区域地质志认为该蛇绿岩带形成于早古生代，冯益民等测得熔岩、辉绿岩和橄榄岩的Rb-Sr等时线年龄为421±65.7 Ma，斜长花岗岩中榍石的Pb-Pb同位素年龄为508±20 Ma(冯益民1983年在美国加州大学圣巴巴拉分校地质系测定)，斜长石的U-Pb年龄为480-520 Ma[13]，均与奥陶纪年龄接近；本次研究测得蛇绿混杂岩中玄武岩(P7YQ3)的Sm-Nd等

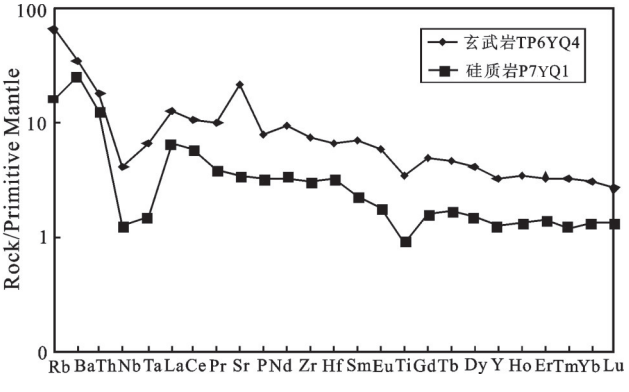

图9 玄武岩和硅质岩微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig.9 The primitive mantle-normalized trace element patterns of the basalt and chert

时线年龄为616±84 Ma(未发表资料),说明区内存在不晚于532 Ma的古亚洲洋洋壳;与之伴生地层为中晚志留世玛依勒山组,综合认为蛇绿岩形成时代为晚寒武世—中奥陶世,而该蛇绿混杂岩的就位时代为中晚志留世[14]。

5.2构造背景

在拉巴西蛇绿混杂岩中玄武岩2*Nb-Zr/4-Y判别图(图10a)和Hf/3-Th-Ta(图10b)中,样品点落入火山弧玄武岩区;玄武岩Ti/100-Zr-Sr/2判别图(图10c)中,样品点落入B区洋中脊玄武岩区和C区钙碱性玄武岩区;在玄武岩TiO_2-MnO*10-P_2O_5*10判别图(图10d)中,样品点全部落入岛弧拉斑玄武岩。玄武岩类的稀土配分曲线与E-MORB类似,即玄武岩仍为洋盆环境产物,即该蛇绿混杂岩带产于弧前或弧后小洋盆环境,蛇绿混杂岩形成于较深且有较强的构造推覆作用的部位[15]。

从区域地质构造背景看,西准噶尔地区出露的最老地层为奥陶系,不存在古老的陆壳基底。奥陶系–石炭系有大量的火山碎屑岩,大多为深海浊流沉积和半远洋沉积,与硅质、泥质、凝灰质远洋沉积共生,其成因与火山岛弧有关[16]。据西准噶尔蛇绿岩形成时代和蛇绿岩套上部不整合沉积接触关系,

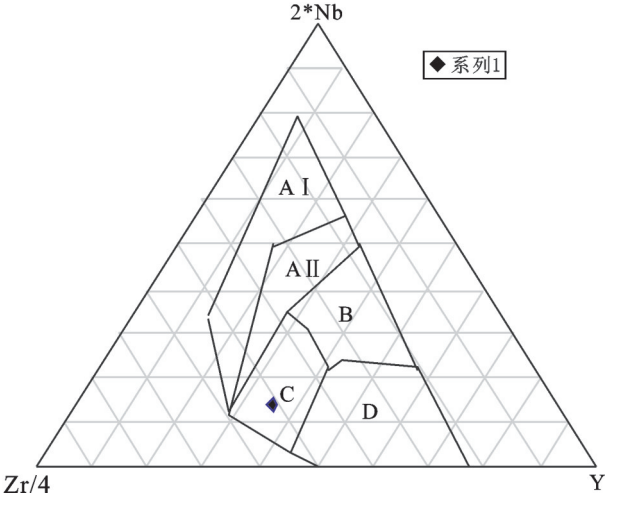

图10a 玄武岩2*Nb–Zr/4–Y判别图

Fig.10a Triangular diagram of 2*Nb–Zr/4–Y for basalt

A Ⅰ+A Ⅱ.板内碱性玄武岩; A Ⅱ+C.板内拉斑玄武岩; B.P型 MORB; D.N型 MORB; C+D.火山弧玄武岩; 系列1.拉巴西蛇绿混杂岩中玄武岩

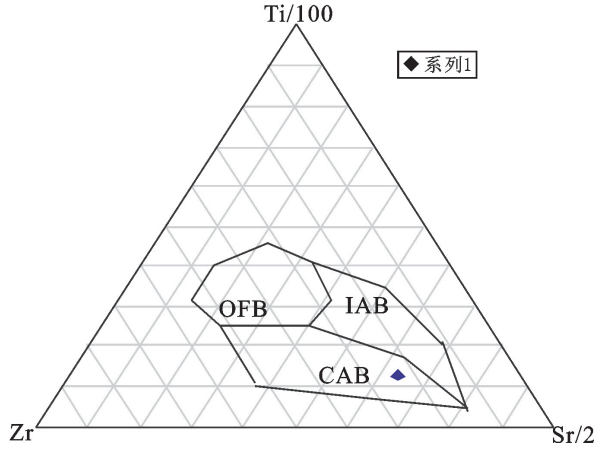

图10c 玄武岩Ti–Zr–Sr判别图

Fig.10c Triangular diagram of Ti–Zr–Sr for basalt

A.IAB岛弧拉斑玄武岩; B.FB洋底玄武岩; C.CAB钙碱性玄武岩; 系列1.拉巴西蛇绿混杂岩中玄武岩

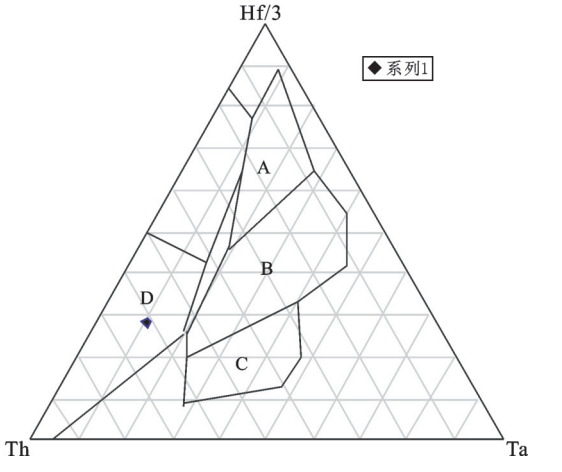

图10b 玄武岩Hf/3–Th–Ta判别图

Fig.10b Triangular diagram of Hf/3–Th–Ta for basalt

A.N型(正常型) 洋中脊玄武岩; B.E型(富集型)洋中脊玄武岩+板内碱性玄武岩; C. 板内大陆拉斑玄武岩; D.火山弧玄武岩(钙碱性玄武岩); 系列1.拉巴西蛇绿混杂岩中玄武岩

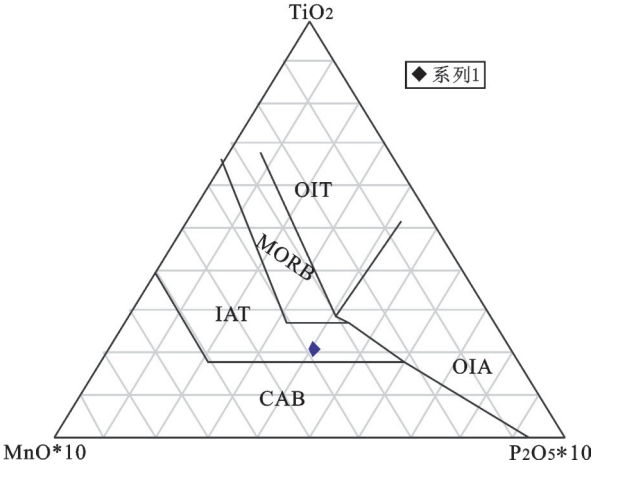

图10d 玄武岩TiO_2–MnO–P_2O_5判别图

Fig.10d Triangular diagram of TiO_2–MnO–P_2O_5 for basalt

OIF.洋岛拉斑玄武岩; OIA.洋岛碱性玄武岩; MORB.洋中脊玄武岩; IAT.岛弧拉斑玄武岩; CAB.钙碱性玄武岩; 系列1.拉巴西蛇绿混杂岩中玄武岩

可确定西准噶尔地区未曾发育过一个从中奥陶世至泥盆纪的统一的大洋，而是先后由众多小洋盆的生生灭灭组成的洋盆活动带，即老的小洋盆受新生的小洋盆挤压侵位，这样延续了古亚洲洋的生命，逐渐增加了褶皱带或大陆的规模。古亚洲洋可能是众多小洋盆导致盆－山运动的表现。

6 与铬铁矿的关系

拉巴西蛇绿混杂岩蛇纹岩铁族元素Cr、Co的含量明显偏高。其中Cr元素的绝对含量在蛇纹岩中可高达$2\,897\times10^{-6}$、$2\,532\times10^{-6}$、$2\,435\times10^{-6}$，这与蛇纹岩中富含铬铁矿有关。另外，含矿岩相化学成分的镁铁比值(m/f)可作为指示不同矿种的标志。m/f为Mg原子数与Fe原子数比。显然，由橄榄岩向辉长岩过渡，岩石的SiO_2含量依次增大，而Mg和Fe等将逐步降低。因此，岩石的m/f值将变小。m/f比值介于6～12(表5)，表明铬矿化与超基性岩有密切关系，介于2～6，表明铜镍矿化与超基性岩关系密切，介于0～2，表明铁矿化与超基性岩有密切关系。样品P1YQ2，P6YQ1和P6YQ2，其m/f值分别为11.48、10.22和11.10，指示铬铁矿化与超基性岩有密切的成因关系。

表5　含矿岩体m/f比值与成矿关系一览表

Table 5　The m/f ratio of the ore-bearing rocks and their relation with mineralization

矿种		铁矿化	铜镍矿化	铬矿化
m/f标准比值		0-2	2-6	6-12
样号	m/f(P1YQ2)			11.48
	m/f(P6YQ1)			10.22
	m/f(P6YQ2)			11.10

注：镁铁比值(m/f)为Mg原子数与Fe原子数之比

7 结论

(1)尽管由于构造肢解，使蛇绿岩原始层序的完整性受到破坏，但仍保存了蛇绿混杂岩的基本层序。本次调查中经过详细填图、剖面测制和岩石类型研究，建立起由下而上依次为变质橄榄岩、辉石橄榄岩(蛇纹岩)－辉长岩－基性岩墙(辉绿岩)－玄武岩为主的火山岩－硅质岩等较为完整的蛇绿岩层序。

(2)拉巴西蛇绿混杂岩玄武岩显示其产于弧前或弧后小洋盆环境，具体地说，蛇绿岩形成于弧后或弧间有限洋盆小扩张脊的构造环境。

(3)铬铁矿化与拉巴西蛇绿混杂岩有密切的成因关系。

参考文献

[1] 白文吉，杨经绥，周美付，等. 西准噶尔不同时代蛇绿岩及其构造演化[J]. 岩石学报，1995，11 (增刊): 62–72.

[2] 霍有光. 西准噶尔唐巴勒地区蛇绿岩套岩石化学和稀土元素特征及其地质意义[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊，1984，7: 82–94.

[3] 王宗秀，周高志，李涛.对新疆北部蛇绿岩及相关问题的思考和认识[J]. 岩石学报，2003，19(4): 683–691.

[4] 冯益民，朱宝清，张亚华.新疆唐巴勒地区断裂构造特征及其与蛇绿岩侵位的关系[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊，1982，5: 45–55.

[5] 郝锌国，王希斌，鲍佩声，等.新疆西准噶尔地区两类蛇绿岩的地质特征及其成因研究[J]. 岩石矿物学杂志，2009，8: 299–311.

[6] 侯世军，叶良和，朱宝清.新疆西准噶尔地区古生代蛇绿岩成因模式[J]. 中国地质科学院院报，1986，14: 21–46.

[7] 韩松，董金泉，于福生，等.新疆西准噶尔玛依拉山–萨雷诺海蛇绿岩岩石地球化学特征[J]. 新疆地质，2004，22(3): 290–295.

[8] 霍有光，冯益民.西准噶尔放射虫硅质岩类型、环境及地质意义[J]. 西北地质，1990，3: 1–7.

[9] 侯世军，叶良和，朱宝清.新疆西准噶尔地区古生代蛇绿岩成因模式[J]. 中国地质科学院院报，1986，14: 21–46.

[10] 周国庆.蛇绿岩研究新进展及其定义和分类的再讨论[J]. 南京大学学报(自然科学)，2008，44(1): 1–24.

[11] 倪志耀，王仁民.蛇绿岩鉴别的关键问题探讨[J]. 火山地质与矿产，1998，19(3): 242–248.

[12] 张弛，黄萱.新疆西准噶尔蛇绿岩形成时代和环境的探讨[J]. 地质论评，1992，38(6): 509–524.

[13] 肖序常，汤耀庆，冯益民，等.新疆北部及其邻区大地构造[M]. 北京：地质出版社：1992，169.

[14] 朱云海，潘元明，张克信，等.蛇绿岩就位机制研究[J]. 地质科技情报，2000，19(1): 15–18.

[15] 柴育成.蛇绿混杂带和弧后盆地形成的新模式[J]. 地学前缘(中国地质大学，北京)，1995，2(3–4): 206–207.

[16] 张旗，钱青，陈雨.蛇绿岩、蛇绿岩上覆岩系及其与洋壳的对比[J]. 地学前缘(中国地质大学，北京)，1998，5(4): 193–199.