·基础地质·

阿尔金山米兰红柳沟的席状岩墙群：海底扩张的重要证据

杨经绥　吴才来　史仁灯

（中国地质科学院地质研究所　北京　100037）

摘要：米兰红柳沟一带的蛇绿岩位于青藏高原的北部边缘，属于北阿尔金蛇绿岩带的西段，由变质橄榄岩、辉长岩、辉绿岩和基性熔岩组成。野外调查发现约50m厚的均由岩墙组成的岩墙群，其产状近直立，单个岩墙厚约30~40 cm。岩墙和与其相伴的熔岩成分相同，属拉斑玄武岩系列，可与典型的洋底玄武岩对比。成分特点：SiO_2含量为45wt%~49wt%，TiO_2为~1wt%，K_2O小于0.3wt%，P_2O_5为0.1wt%）；LREE轻微富集到平坦型，$(La/Sm)_N$ 0.86~1.74；Cr、Ni、Co和V等过渡金属元素含量高。岩墙群的发现为古海底扩张形成洋壳提供了关键性证据，并可进一步研究洋壳的形成过程和构造背景。

关　键　词：蛇绿岩；岩墙群；海底扩张；阿尔金山；青藏高原

中图分类号：P588.12$^+$4　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1671-2552(2002)-02-0069-06

阿尔金地区以巨大的阿尔金走滑断裂而著称于世。长期以来，人们一直试图通过该断裂的研究以深入探讨青藏高原的形成与演变。有关该地区构造背景的研究近几年相继取得一些进展：已证实阿尔金地区存在两条蛇绿岩带，即阿尔金北缘蛇绿岩带和阿尔金南缘蛇绿岩带[1~3]。然而两带蛇绿岩的证据、空间展布、产出，以及蛇绿岩组合、岩石学特征，都还不十分清楚，至于形成时代、构造背景及地质意义的探究，则更是刚刚起步。本文将介绍笔者在北阿尔金蛇绿岩带中的一个重要发现。

1　北阿尔金蛇绿岩的产出特征

蛇绿岩带沿阿尔金山脉北段出露，从西至东由米兰红柳沟经阿克赛至肃北半鄂博，全长大于600 km，走向近东西，主要产在新元古代的以片麻岩为主的阿尔金群中（图1）。郭召杰等[4]取得的阿尔金北缘半鄂博辉长岩Sm-Nd等时线年龄为829 Ma，认为代表北阿尔金蛇绿岩的时代。张旗[5]认为郭召杰所测并非蛇绿岩，而认为刘良[6]取得米兰红柳沟火山岩的Sm-Nd等时线年龄（508±41）Ma则应代表蛇绿岩的年龄。

米兰红柳沟一带出露大量基性超基性岩，岩石类型包括变质橄榄岩、辉长岩、辉绿岩和基性火山熔岩。它们多以构造岩块产出，未见完整洋壳层序，可称为蛇绿混杂岩带。在野外一个出露较好的剖面中发现了席状岩墙群（图2、图3）。该剖面岩性单元以基性熔岩和变质橄榄岩为主。变质橄榄岩宽者百米以上，多数仅宽数十米或几米。变质橄榄岩与熔岩为断层接触。基性熔岩为暗绿色、块状，未见枕状构造。发现与熔岩相伴的约50 m厚的岩墙群，与基性熔岩为断层接触。此外，在剖面附近的火山熔岩中见辉长岩块呈透镜体产出。

岩墙产状近直立，单个岩墙厚约30~40 cm，有冷凝边，但已不十分明显。众所周知，海底扩张形成的岩墙群通常是有冷凝边的，原因是岩浆骤然降温引起的，有些侵位到洋壳浅层（Layer Ⅰ）的岩墙淬火边

收稿日期：2001-11-19；修订日期：2002-01-04

地调项目：中国地质调查局基础项目（DKD2001003）和国土资源部科技司项目（20010201）资助。

作者简介：杨经绥，1950年生，男，博士，研究员，博士研究生导师，从事构造岩石学研究。

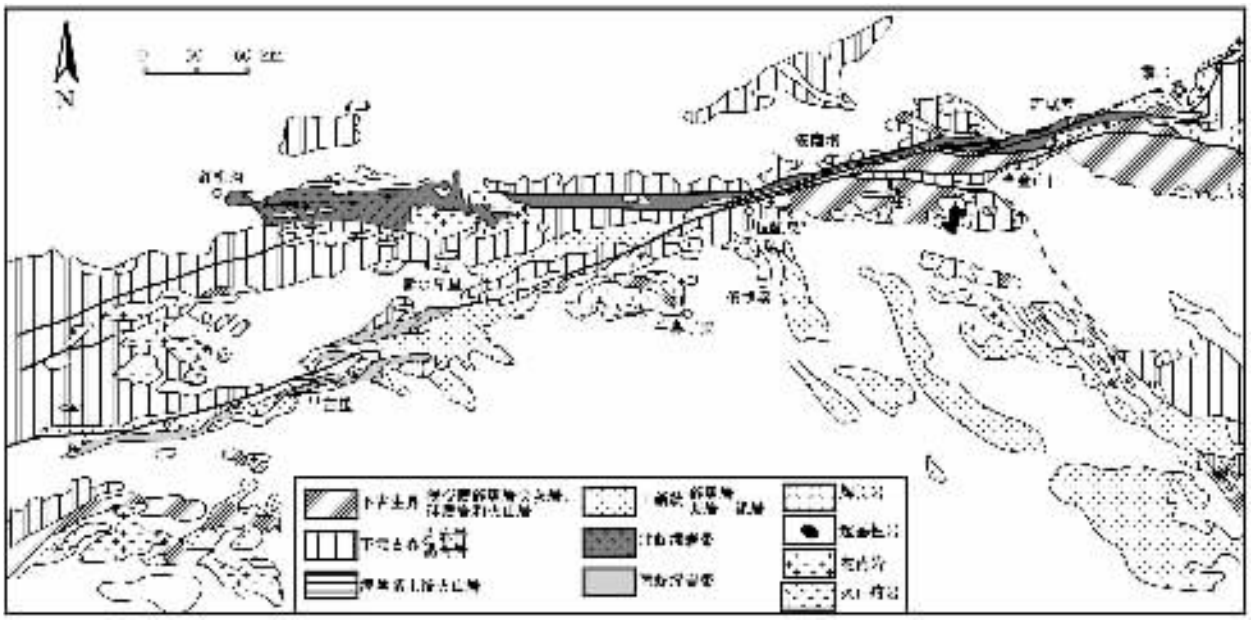


图1 阿尔金蛇绿岩分布地质简图

Fig. 1 Geological sketch map showing the distribution of ophiolites in the Altun region

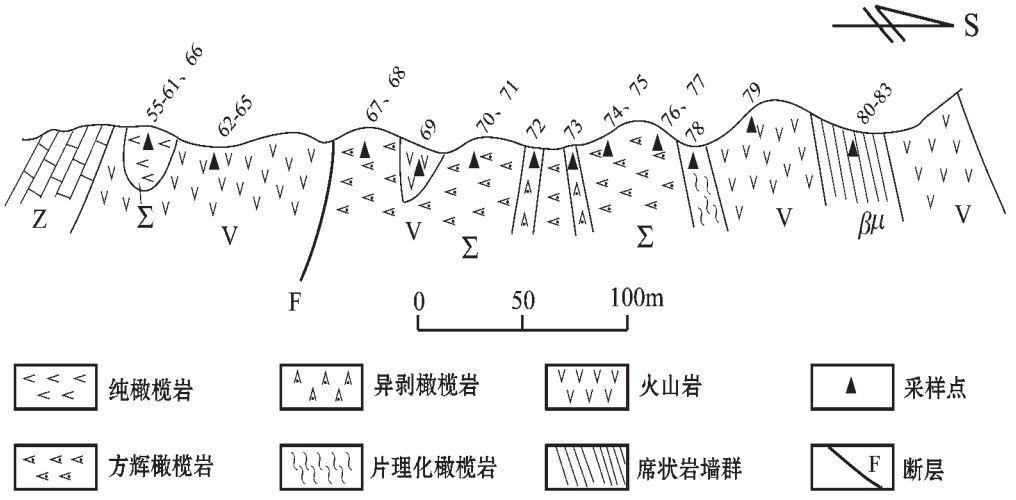


图2 阿尔金米兰红柳沟蛇绿岩剖面

Fig. 2 Section of the Hongliugou ophiolite in Milan, Altun

部甚至会出现玻璃；但如果岩墙侵位时不具备骤然降温条件，此时冷凝边自然也就不发育了，这类岩墙表现特征往往是厚度较大、粒度较粗。相反，同样也可以理解，具有冷凝边的岩墙不一定是在海底扩张环境中形成的，如河湖的水下环境，此时岩墙的成分是判断问题的关键。米兰红柳沟岩墙群中冷凝边不十分发育究竟与形成环境有关，还是岩墙侵位后在其边部发生的重结晶或脱玻作用所造成，有待进一步研究。

此外，在米兰红柳沟岩墙群中也没有观察到不对称冷凝边。海底扩张形成的岩墙群可以有不对称冷凝边，通常认为其是在海底扩张特殊环境下形成的，即后侵位的岩墙穿入先期尚未冷凝的岩墙，造成不对称冷凝，如塞浦路斯Troodos蛇绿岩。但需明确指出的是，不对称冷凝边往往是在局部观察到的现象，同一蛇绿岩中及其他多数没有不对称冷凝边的岩墙群，仍然是海底扩张的重要证据。米兰红柳沟岩墙群中究竟有无具不对称冷



图3　阿尔金米兰红柳沟席状岩墙群

Fig. 3　Sheeted dike swarm at Hongliugou, Milan, Altun

凝边的岩墙,需在今后野外调查中发现更多露头,注意寻找。

米兰红柳沟变质橄榄岩主要由方辉橄榄岩和少量纯橄岩组成,未见二辉橄榄岩。岩石有较强蛇纹石化,但部分岩石中保留橄榄石、辉石及尖晶石类新鲜矿物。方辉橄榄岩中斜方辉石含量一般20%左右,多者达30%,粒度较粗,大者1 cm以上。

米兰红柳沟辉长岩的辉长结构保存十分好,矿物粒度均匀,通常1~2 mm,可见辉石和斜长石紧密镶嵌,含量约各占50%,辉石粒度较粗,其中可嵌入斜长石。岩石多较新鲜,仅少量辉石退变成角闪石。

辉绿岩或以岩墙群,或呈侵入体出现。两者均显示较好的辉绿结构,斜长石搭格架,辉石充填其中(图4)。岩石中有大量新鲜矿物被保留。斜长石总量略高于辉石, An 60~70, 属拉长石。粒度一般变化于1~0.5 mm之间,与辉长岩的区别是辉石粒度较细。

米兰红柳沟基性熔岩与辉绿岩相伴。熔岩为拉斑结构,矿物粒度细小,斜长石格架中充填物以细粒辉石为主,有些为玻璃质。熔岩蚀变程度略高些,主要为绿泥石化;但仍可见较新鲜的玄武岩被保留,说明该区岩石未经历过区域变质,绿片岩相的变质系海底热液作用所致。

此外,在米兰红柳沟也发现一套辉石岩类,呈单一岩性块体产出,大者厚约200余米,与相邻角闪岩块为断层接触。辉石岩岩石新鲜, 显示岩浆堆积结构,矿物粒度均匀,一般1~2 mm,未见后期构造事件造成的变形和变质。根据这套辉石岩的成分判断(见

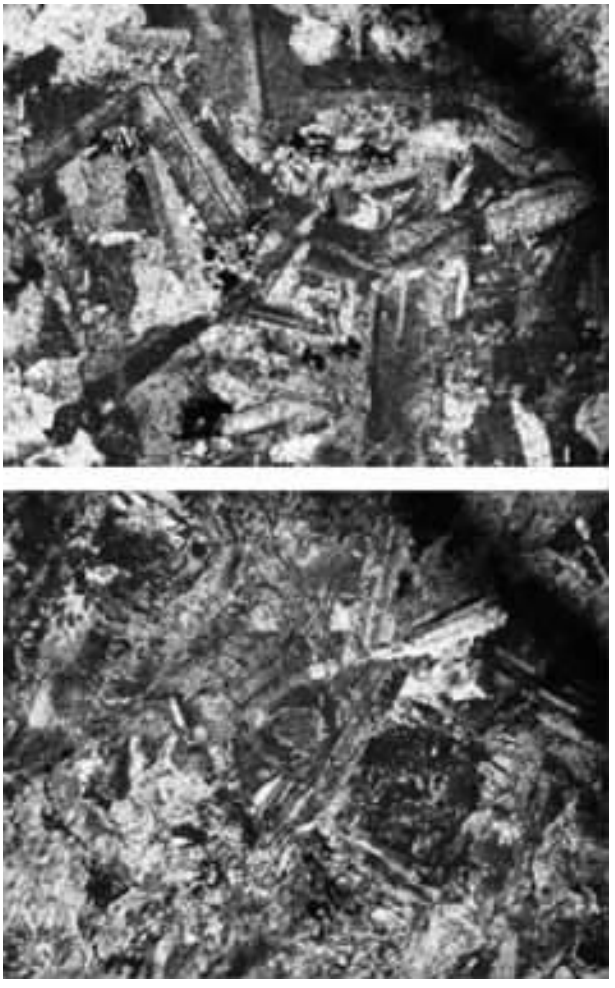


图4　岩墙的辉绿结构

Fig. 4　Diabasic texture of dikes

表 1 阿尔金北带米兰红柳沟和半鄂博一带基性岩岩石化学成分

Table 1 Petrochemincal composition of basic rocks in Hongliugou and Ban Obo, Milan, Altun

	阿尔金米兰红柳沟											阿尔金半鄂博			
编号	K28-2	K28-6	K28-64	K28-65	K29-11	K28-22	K28-23A	K28-24A	K29-22	K29-23	K29-25	17-12	17-16	17-20	17-21
岩石	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	辉绿岩	辉绿岩	辉绿岩	辉石岩	辉石岩	辉石岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩
SiO_2	47.83 49	48.71	48.58	45.52	47.92	49.12	48.54	43.69	41.74	42.65	43.52	43.16	40.83	46.91	
TiO_2	1.5	1.16	1.12	1.22	1.07	1.38	1.04	1.08	1.86	2.06	1.88	4.44	1.03	2.74	3.24
Al_2O_3	14.03	15.06	15	14.8	13.89	14.23	15.51	15.32	8	7.69	8.24	8.5	13.05	11.87	14.71
TFe_2O_3	12.74	10.9	10.85	11.41	10.05	11.96	10.13	10.42	9.36	10.27	11.79	15.27	11.45	10.23	14.85
FeO	9.6	8.53	8.47	9.07	7.96	9.07	7.72	7.96	6.77	6.68	4.24	9.02	4.62	5.89	8.06
MnO	0.21	0.18	0.2	0.2	0.18	0.16	0.16	0.16	0.13	0.15	0.15	0.25	0.14	0.17	0.17
MgO	7.67	7.73	7.74	7.7	7.28	8.2	8.25	8.39	14.86	15.59	14.21	10.48	5.09	3.1	4.85
CaO	11.35	11.68	10.87	11.31	18.41	11.55	11.73	11.28	14.24	13.28	13.03	9.95	14.04	15.7	6.03
Na_2O	3.04	3.01	3.25	2.87	0.28	3	2.71	2.91	0.25	0.44	0.24	2.04	3.74	3.52	4
K_2O	0.26	0.16	0.33	0.26	0.081	0.19	0.15	0.16	4.45	4.62	3.68	0.72	0.27	1.09	1.75
P_2O_5	0.091	0.11	0.089	0.1	0.07	0.11	0.1	0.089	2.19	2.29	2.11	0.54	0.19	0.5	0.49
LOI	1.06	1.57	1.58	1.23	2.99	1.29	1.18	1.68	0.96	1.13	1.17	3.86	7.85	10.97	2.47
Total	99.78	100.56	99.74	99.68	99.82	99.99	100.08	100.03	100.15	99.44	99.28	99.57	100.01	100.72	99.47
Rb	2.1	1.77	17.3	9.42	1.6	1.15	1.67	2.23	213	233.8	233.5	15	3.24	14.7	25.6
Sr	128.4	135	137.5	150.4	32.5	160.3	144.5	157.1	443	580.7	620	325	71	156	122
Ba	215.4	198.7	232.7	211.2	202.4	201.2	198.9	204.7	160	180	130	281	198	299	359
Cr	270	388.1	328.1	37	237.5	241	410.6	415.3	289.4	398.5	274.1	270	34		45
Ni	57.03	80.5	90	86.4	76.4	56.8	110.7	113.6	112.5	156.4	131.9	140	94.9		18.6
Co	37	44.2	50	52.7	44.8	40	39.3	40.5	63	59.7	64.5	58.1	33	32.8	38.7
V	299	318.4	331.7	301.7	348.3	310	258.4	259.2	296	274.3	362.7	450	264	358	447
Zr	78.4	63.7	74.8	70.7	60.8	66	54.3	62.2	58.7	51.5	143.8	312	74	193	231
Hf	2.2	1.83	1.02	1.77	1.97	1.78	1.35	1.48	4.33	3.07	5.92	4.84	1.9	4.36	5.01
Nb	5.8	5.43	6.17	4.83	4.32	5.82	5.25	5.1	13.7	28.8	24.3	42.6	13.5	30.4	38.4
Ta	0.3	1.68	1.12	0.3	<0.01	0.5	0.3	0.4	0.83	1.08	1.45	1.91	1.29	2.08	3.06
U	0.22	0.25	<0.01		<0.01	0.75	0.068	0.057	0.2	1.32	0.73	0.15	0.61	0.52	9.16	1.53
Th	0.8	0.77	0.33	0.68	0.95	0.47	0.52	1.13	3.52	5.3	5.07	2.26	1.7	3.59	4.14
Sc	38.3	38.3	41.5	40.3	32	42.6	36	40	47.3	42	51.6	26.9	26.8	26.2	31.2
Y	10.1	9.67	17.8	13.3	21.75	14.07	10.43	6.77	29.49	35.2	38.7	5.26	8.1	16.7	19.4
La	5.97	3.2	4.67	4	10.39	8.17	4	10.39	95.1	133.5	139.5	25	13.9	30.2	34.2
Ce	15.3	9.13	12.53	11.87	22.09	17.43	11.87	22.09	236.2	276.2	297.8	44.6	23.1	53.9	61.7
Pr	2.1	1.33	1.74	1.6	3	2.78	1.6	3	34.93	44.67	48.9	5.21	2.78	6.42	7.14
Nd	9.9	6.77	7.37	7.4	12.17	10.12	7.4	12.17	137.5	167.6	180.4	21	9.93	26.1	29.7
Sm	2.8	2.22	2.7	2.1	3.67	2.97	2.1	3.67	23.27	27.7	31.13	4.65	2.55	6.16	7.17
Eu	1.17	1.06	0.74	1.03	1.15	1.13	1.03	1.15	5.23	6.17	7.2	1.2	0.71	1.52	1.94
Gd	3.93	2.88	2.92	2.9	3.88	4	2.9	3.88	13.67	17.87	19.33	2.92	2.54	5.36	6.28
Tb	0.67	0.59	0.54	0.51	0.7	0.73	0.51	0.7	1.45	1.89	1.99	0.36	0.41	0.87	1.02
Dy	4.76	3.73	3.67	4.15	4.13	4.3	4.15	4.13	5.62	6.26	8.27	1.54	1.62	3.6	4.24
Ho	1.33	1.1	1.13	1.16	1.14	1.27	1.16	1.14	0.98	1.35	1.56	0.28	0.36	0.78	0.83
Er	2.45	2.07	2.02	2.13	2.15	2.3	2.13	2.15	1.57	1.84	2.59	0.57	0.52	1.56	1.8
Tm	0.46	0.39	0.31	0.37	0.38	0.43	0.37	0.38	0.21	0.27	0.3	0.3		0.14	0.2
Yb	3.28	2.67	2.86	2.45	2.49	2.83	2.45	2.49	1.3	1.59	1.83	0.34	0.65	1.37	1.57
Lu	0.47	0.4	0.38	0.41	0.37	0.45	0.41	0.37	0.14	0.27	0.26	0.11	0.089	0.33	0.31
[La/Ce]N	1.01	0.91	0.97	0.88	1.22	1.22	0.88	1.22	1.05	1.26	1.22	1.46	1.56	1.46	1.44
[La/Sm]N	1.31	0.89	1.07	1.17	1.74	1.69	1.17	1.74	2.52	2.97	2.76	3.31	3.36	3.02	2.94
[Sm/Yb]N	1.20	0.79	1.08	1.08	2.76	1.91	1.08	2.76	48.38	55.53	50.41	48.63	14.14	14.58	14.41

注：测试由国土资源部岩矿测试中心李蓉华等完成，主量元素(wt%)采用 XRF，稀土(10^{-6})和微量元素(10^{-6})采用 ICP-AES、ICP 和 ICP-MS。

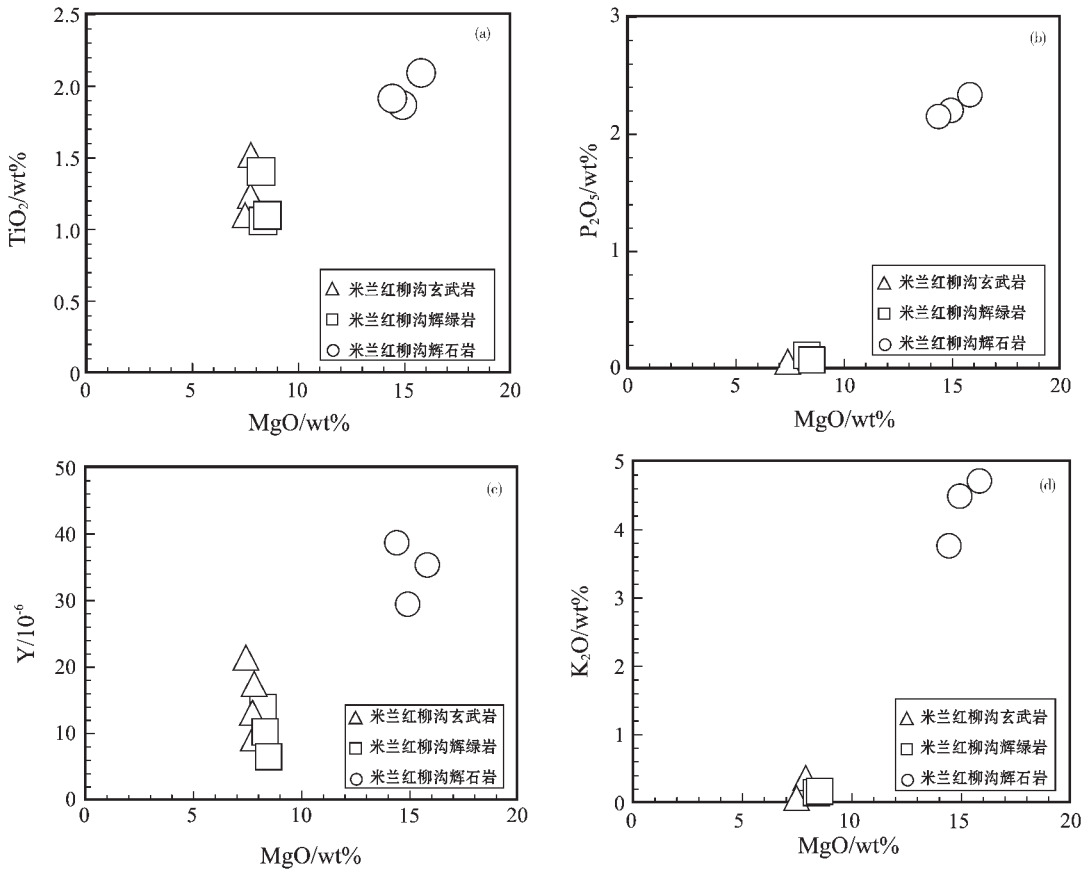


图5　阿尔金米兰岩墙+熔岩成分特征

Fig. 5　Compositional features of dikes lavas in Milan, Altun

下文)，认为其不属于蛇绿岩的基性岩。

2　辉绿岩墙的岩石成分特征

席状岩墙群代表了岩浆在运移过程中所固结的样品。因此，在某种意义上，它要较喷出岩更接近原岩浆的成分。米兰红柳沟辉绿岩墙的成分列入表1，为便于讨论和对比，同时表中还给出与其伴随的熔岩成分及我们认为不属蛇绿岩的辉石岩成分。岩石成分主要有以下几个特点：

(1)岩墙和与其相伴的熔岩成分含量相同，且变化区间小。岩石主要为亚碱性系列，属拉斑玄武岩系列，可与典型的洋底玄武岩对比[7]，特点为SiO_2含量45 wt%~49 wt%，为中等含量TiO_2(~1 wt%)，低含量K_2O(<0.3 wt%)，P_2O_5(0.1wt%)(图5a-d)。

(2)稀土元素表现为LREE轻微富集到平坦型，$(La/Sm)_N$ 0.86~1.74，微量元素则以Cr、Ni、Co和V等过渡金属元素高为特征。在Ti-V变异图上，也是落于洋底玄武岩区间(图5e)。

(3) 米兰红柳沟的辉石岩 (表1中K29-22，23，25)属高Ti类型，其特点是高K_2O(3.7 wt%~4.6 wt%)和P_2O_5 (2 wt%)，与典型的洋岛玄武岩也存在较大差别[7]，认为不属蛇绿岩成员。通常，判断蛇绿岩形成时的构造环境，野外观察资料往往应该是第一位的，在此基础上，岩石地球化学特征的讨论才有其意义，而且，在利用岩石地球化学图解判别岩石形成环

境时通常只有采用不活泼元素和统计学原理也才有可能取得较好的效果。为此,笔者还选择了Cr-Y变异图、Ti/Cr-Ni变异图、Ti-V判别图、Ti/100-Zr-Sr/2三角图解和微量元素的蛛网图用于此项研究,得出的判断几乎都是相同的,结论是米兰红柳沟的基性岩类为MORB型,这里不再赘述。

3 地质意义

辉绿岩墙群是海底扩张、形成洋壳的重要证据,是判定蛇绿岩的一个主要标志。世界上典型的蛇绿岩,如塞浦路斯的Troodos蛇绿岩和阿曼的Semail蛇绿岩都有十分发育的席状岩墙[8~9],并且在著名的ODP太平洋脊上的504B钻孔中也已打到岩墙群[10]。然而,在已发现的中国众多蛇绿岩剖面中,能够见及保存较好岩墙群的例子微乎其微。例如,在著名的西藏日喀则蛇绿岩中仅见岩席(Sill),而且是穿入熔岩中属上部喷出岩程序(即洋壳中的Layer I);同样著名的北祁连蛇绿岩中虽有部分岩墙,但研究表明已经强烈变质和变形。笔者曾报道过的柴北缘的岩墙群[11],也已被构造肢解并经过角闪岩相变质,无法与阿尔金米兰红柳沟的岩墙群相提并论。

岩墙群的发现首先为古海底扩张形成洋壳提供了关键性证据,同时,也可以由此进一步研究洋壳形成的构造环境、形成过程,以及海底扩张的速率,等等。

致谢:感谢张旗研究员对本文提出的重要建议。

参考文献:

[1] 新疆地矿局. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1993. 1~841.

[2] 何国琦,李茂松,刘德权,等. 中国新疆古生代地壳演化及成矿[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,1994. 1~437.

[3] 崔军文,唐哲民,邓晋福,等. 阿尔金断裂系[M]. 北京:地质出版社,2000. 1~249.

[4] 郭召杰,张志诚,王建群. 阿尔金北缘蛇绿岩带的Sm-Nd等时线年龄及其地质意义[J]. 科学通报,1998,43:1981~1984.

[5] 张旗,周国庆. 中国蛇绿岩[M]. 北京:科学出版社,2001. 1~182.

[6] 刘良. 阿尔金高压变质岩与蛇绿岩及其大地构造意义[D]. 中国科学院地质研究所,1999.

[7] Basaltic Volcanism Study Project. Basaltic Volcanism on the Terrestrial Planets[M]. Pergamon Press,Inc., New York, 1981.1286.

[8] Baragar W R A, Lambert M B, Baglow N,et al. The sheeted dyke zone in the Troodos ophiolite[A].In:Ophiolite-Oceanic Crustal Analogues,Proceedings of the Symposium"Troodos 1987"[M]. Ed. By J Malpas, E Moores,A Panayiotou, et al. SOGEK Printers, Cyprus.,1990. 37~52.

[9] Lippard S J, Shelton A W and Gass I G. The Ophiolite of Northern Oman[J]. Geological Society of London,Memoir, 1986,(11):178.

[10] Shipboard Scientific Party. Site 504B. Proc. Ocean Drill. Program Initial Report[R]. 1993.(148):27~84.

[11] Yang J S,Xu Z Q,Li H B,et al. A convergent border at the southern margin of the Qilian terrain, NW China:Evidence from eclogite,garnet-peridotite,ophiolite and S-type granite [J]. Journal of the Geological Society of China(Taiwan), 2000,43(1):142~160.

Sheeted dike swarm in Hongliugou, northwest of the Altun region: Evidence for seafloor spreading

Yang Jingsui Wu Cailai Shi Rendeng

(*Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037)

Abstract: The Hongliugou ophiolite is located in the western part of the North Altun ophiolite belt on the northern margin of the Qinghai-Tibet plateau, and consists of meta-peridotite, gabbro, diabase and basaltic lava. An about 50m thick sheeted dike swarm was found in a recent field investigation in the region. The dikes are nearly vertical and each individual dike is about 30~40cm in thickness. The dikes consist of tholeiites with the same composition as their lavas in the ophiolite. Their chemical composition is given as follows: SiO_2 45~49wt%; TiO_2~1wt%, K_2O <0.3wt% and P_2O_5 0.1wt%; flat or slightly enriched LREE patterns with $[La/Sm]_N$=0.86~1.74; and high contents of Cr, Ni, Co and V. The sheeted dike swarm is key evidence for the formation of oceanic crust by seafloor spreading and may be used to further study the formation process of oceanic crust and its tectonic setting as well.

Key words: ophiolite; sheeted dikes; seafloor spreading; Altun Mountains; Tibet