1000-0569/2005/021(01)-0037-44 *Acta Petrologica Sinica* 岩石学报

中天山南缘乌瓦门蛇绿岩形成构造环境*

董云鹏[1,2] 周鼎武[1,2] 张国伟[1,2] 张成立[1,2] 夏林圻[3] 徐学义[3] 李向民[3]

DONG YunPeng[1,2], ZHOU DingWu[1,2], ZHANG GuoWei[1,2], ZHANG ChengLi[1,2], XIA LinQi[3], XU XueYi[3] and LI XiangMin[3]

1. 西北大学大陆动力学教育部重点实验室，西安 710069
2. 西北大学地质学系，西安 710069
3. 中国地质调查局西安地质矿产研究所，西安 710054

1. *The Key Laboratory of Continental Dynamics, Ministry of Education, Northwest University, Xi'an* 710069, *China*
2. *Department of Geology, Northwest University, Xi'an* 710069, *China*
3. *Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Xi'an* 710054, *China*

2004-02-05 收稿，2005-01-20 改回.

Dong YP, Zhou DW, Zhang GW, Zhang CL, Xia LQ, Xu XY and Li XM. 2005. Tectonic setting of the Wuwamen ophiolite at the southern margin of Middle Tianshan Belt. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1):37 – 44

Abstract On the basis of synthetic studies of geology and geochemistry, an ophiolitic m lange in Wuwamen area was discovered that emplaced in the boundary fault separating the Southern Tianshan and Middle Tianshan belt. It is composed of different tectonic blocks with different lithological features and ages, and chaotic matrixes. The blocks contacting each other by a shear zone or chaotic matrix mainly include ophiolite slices, amphibolite and gneiss blocks of metamorphic basement of Middle Tianshan belt, and Devonian marble blocks from Southern Tianshan Belt. The ophiolite is composed of meta-peridotites, gabbros and basalts slices. Geochemical analysis suggests that the composition of these peridotites being similar to that of the lherzolite in a mid-ocean ridge with high SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, CaO contents, and low MgO content. Additionally, it is characterized by low $\sum$REE, and depleted in LREE intensively. Meanwhile, the basalts from the Wuwamen ophiolitic mélange show high TiO_2 and MgO content, low Al_2O_3, K_2O, P_2O_5 content, and $Na_2O > K_2O$ compositional features. In addition to, the geochemical characteristic of low $\sum$REE, depleted in LREE and unfractionated in most HSF elements (Zr, Hf, Sm, Y and Yb) indicates that the basalts are similar to a normal mid-ocean basalt (N-MORB). Above all, some samples are showing distinguishable enrichment in large-ion lithophile (LIL) elements, Th and Pb contents, and depletion in Nb and Ta contents. It is suggest that the magma source was influenced by input of the subduction components. Base on all above evidences and regional geological data, it is reasonable suggest that the Wuwamen ophiolite was formed in a back-arc basin setting which have been existed along the southern margin of the Middle Tianshan Belt.

Key words Ophiolitic mélange, Geochemistry, Back-arc basin, Tianshan orogenic belt

摘 要 中天山南缘乌瓦门蛇绿混杂岩主要由构造岩块和混杂基质两部分组成，构造岩块主要包括：由变质橄榄岩、辉长岩、玄武岩组成的蛇绿岩残块、中天山基底变质岩系的斜长角闪岩和片麻岩构造块体以及来源于南天山泥盆系的大理岩残块；混杂基质主要为强烈剪切变形的绿泥石英片岩、绢云石英片岩、二云母石英片岩、千枚岩和变砂岩。变质橄榄岩主要为蛇纹石化的橄榄岩，SiO_2、TiO_2、Al_2O_3和CaO含量相对较高，而MgO含量相对较低。总体特征类似于二辉橄榄岩 稀土元素总量低，是球粒陨石稀土元素总量的0.3～0.5倍。以强烈亏损LREE为特征。乌瓦门玄武岩属于拉斑系列，主量元素显示低Al_2O_3、高TiO_2、MgO，贫K_2O、P_2O_5，$Na_2O > K_2O$性状，并以低ΣREE、LREE亏损、高场强元素不分异为特征，类似于N-MORB。同时，部分岩石样品在高场强元素地球化学性状类似的基础上，具有不同程度的LILE、Th富集和Nb、Ta亏损，以及Pb富集特征，并有Zr的轻度低谷，显示岩浆源区曾遭受不同程度的俯冲带流体交代作用的影响。综合分析认为，乌瓦门蛇绿岩形成于弧后盆地环境。

* 国家重点基础研究发展规划(973)(2001CB409801)、国家自然科学基金(40472115)和中国地质调查局(200113000022)项目联合资助。

第一作者简介：董云鹏，男，1967年11月生，博士，教授，构造地质学和地球化学专业，E-mail：dongyp@nwu.edu.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

关键词 蛇绿混杂岩; 地球化学; 弧后盆地; 天山造山带
中图法分类号 P588.125

中国天山是由于准噶尔地块、塔里木地块及其间的伊犁地块长期相互作用而成的复合型造山带,现今以中天山北缘边界断裂带和中天山南缘边界断裂带为界,分为北天山、中天山和南天山(图1a)。中天山南缘边界断裂带西延接尼古拉耶夫线、汗腾格里、经哈尔克山北坡、乌瓦门、榆树沟、达铜花山和硫磺山以东。以断续出露蛇绿混杂岩和蓝片岩而显示其具有古板块缝合带性质,代表了伊犁板块(中天山)与南天山地块拼接的缝合带,并因此受到地球科学家的广泛关注(王作勋等,1990; 肖序常等,1992; 马瑞士等,1993; 郝杰和刘小汉,1993; 郭召杰等,1993; 高俊等,1993,1994; 汤耀庆等,1995; 董云鹏等,2001)。沿该带出露的大量超镁铁-镁铁质岩块,是区域构造格局及其演化过程的客观记录。这些超镁铁-镁铁质岩块的性质与时空关系成为制约天山造山带形成演化研究的关键之一。

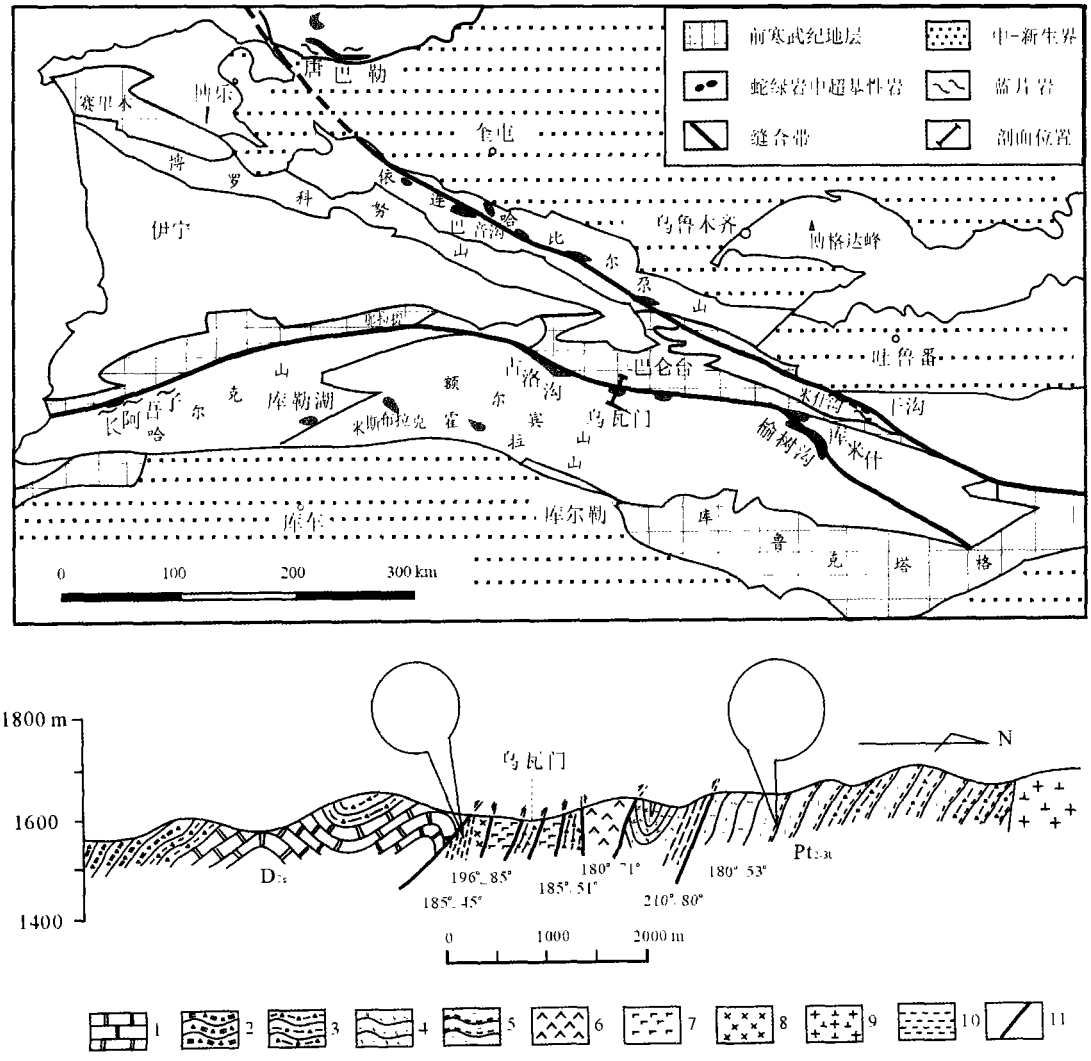


图1 (a)天山造山带构造单元区划简图和(b)乌瓦门蛇绿混杂岩地质剖面图

1. 大理岩; 2. 绿泥石英片岩; 3. 黑云石英片岩; 4. 斜长角闪岩; 5. 片麻岩; 6. 超基性岩; 7. 玄武岩; 8. 辉长岩; 9. 花岗闪长岩; 10. 韧性剪切带; 11. 断层; D_2s. 中泥盆统萨阿尔明组; $Pt_{2-3}b$. 中新元古界巴仑台群

Fig. 1 (a) Simplified tectonic map of the Tianshan orogenic belt and (b) geological section of the ophiolitic melange in Wuwamen.

已有的研究表明,在中天山南侧自东而西沿甘肃北山的红柳河(周国庆,1988)、硫磺山-铜花山(吴文奎等,1992)、榆树沟(董云鹏等,2001)一带分布有志留纪-泥盆纪的蛇绿构造混杂岩。向西经古洛沟-乌瓦门,连接哈尔克山北缘长阿

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

吾子蛇绿岩(汤耀庆等,1995)。在巴仑台之南约 10km 的古洛沟-乌瓦门地区出露乌瓦门蛇绿构造混杂岩,呈带状展布于中天山与南天山之间,主要由镁铁-超镁铁岩残块和强烈剪切变形的混杂基质组成。本次在野外地质研究基础上,重点对乌瓦门镁铁-超镁铁岩进行地球化学研究,探讨其形成环境与构造意义。

1 乌瓦门蛇绿混杂岩地质特征

乌瓦门蛇绿混杂岩出露于和静县巴仑台镇南侧乌瓦门地区,以构造岩片逆冲侵位于中天山南缘边界断裂带中段,出露宽度约 2 km,呈北西向展布于中天山基底岩系和南天山上古生界之间,南北侧分别以断裂或韧性剪切带为界,与南天山上古生界和中天山前寒武系相分隔(图 1b)。混杂岩带南侧为南天山中泥盆统萨阿尔明组大理岩、结晶灰岩夹绿泥石英片岩、黑云绿泥石英片岩,结晶灰岩中产丰富的中泥盆世珊瑚和腕足类化石。蛇绿混杂岩带北侧为中天山中新元古界巴仑台群变质杂岩,主要为斜长角闪岩和片麻岩等。

乌瓦门蛇绿混杂岩主要由构造岩块和混杂基质两部分组成,构造岩块主要包括由变质橄榄岩、辉长岩、玄武岩组成的蛇绿岩残块、中天山基底的斜长角闪岩和片麻岩构造块体、以及来源于南天山的大理岩残块。均呈构造岩块状相互逆冲叠置或以强变形的混杂基质相分隔,共同侵位于强烈变形的混杂基质中;混杂基质主要为强烈剪切变形的绿泥石英片岩、绢云石英片岩、二云母石英片岩、千枚岩和变砂岩。片理面优势产状为 190° ~ 210° ∠50° ~ 86°。与构造岩块接触部位的混杂基质构造变形明显加强,片理呈现包绕岩块展布的趋势。

蛇绿混杂岩与南侧中泥盆统萨阿尔明组之间为逆冲断层接触,断面产状 185° ∠45°。萨阿尔明组大理岩夹变砂岩呈现为由南向北逆冲推覆的不对称褶皱,南翼缓北翼陡。该逆冲断裂明显改造先期韧性剪切带,表现在逆冲断裂北侧以宽约 100 米的韧性剪切带为界与蛇绿混杂岩带相分隔,剪切带可分为强应变带和弱应变域。弱应变域显示原岩为大理岩,强应变带以钙质糜棱岩为标志,因韧性变形而成的成分条带呈现为颜色深浅不同的缎带状定向展布。浅色条带主要为重结晶的方解石,深色条带主要为韧性变形的糜棱基质。糜棱面理挠曲褶皱明显,包络面产状与糜棱面理产状一致,多为 195° ∠85°。各种不对称构造共同指示由南向北的逆冲推覆。混杂岩带北为宽约 200 ~ 300 米构造片岩带和韧性剪切带,主要为强烈构造变形的中天山基底中新元古界巴仑台群斜长角闪片岩和片麻岩,斜长角闪片岩强烈褶皱变形,形成紧闭同斜褶皱,枢纽产状为 176° ∠51°,其中发育长英质脉体,并已糜棱岩化,以长石、石英、云母矿物的强烈定向拉长为特征,糜棱面理产状为 180° ∠53°。石英和云母则多为条带状集合体,平行于糜棱面理展布。长石矿物多呈定向展布的透镜状或眼球状,与糜棱面理小角度相交,构成 S-C 组构,指示由南向北的逆冲运动。

本研究样品采自乌瓦门-巴仑台公路剖面,包括变质橄榄岩 2 件和玄武岩 6 件。主、微量元素分析在西北大学大陆动力学教育部重点实验室完成,主元素采用 XRF 在 RIX-2100 仪器上分析,微量元素用 ELAN6100DRC 等离子体质谱仪(ICP-MS)测定。用标样 BHVO-1、AGV-1 和 G-2 作分析样品元素浓度的校正标准。所有元素分析精度优于 5%,分析结果列于表 1。

2 变质橄榄岩地球化学

变质橄榄岩主要为蛇纹石化的含辉纯橄岩,主要组成矿物有橄榄石、辉石、蛇纹石和铬尖晶石。2 件变质橄榄岩样品(Bt-11 和 Bt-12)的 SiO_2(43.83% ~44.28%)、TiO_2(0.07% ~0.08%)、Al_2O_3(3.15% ~ 3.27%)和 CaO(2.75% ~ 2.79%)含量相对较高,而 MgO(38.2% ~38.68%)含量相对较低。总体特征类似于大洋中脊二辉橄榄岩(69 件样品平均值:SiO_2 = 45.99%、TiO_2 = 0.16%、Al_2O_3 = 3.47%、CaO = 2.26%、MgO = 38.63%, Dmitriev, 1975)的化学组成。乌瓦门变质橄榄岩稀土元素总量低,大约是球粒陨石稀土元素总量的 0.3 ~ 0.5 倍。在球粒陨石标准化的稀土元素配分图解(图 2)中,乌瓦门变质橄榄岩以强烈亏损轻稀土元素(LREE)为特征。两样品的 LREE 亏损程度有明显差异,而重稀土元素(HREE)丰度较高,接近原始地幔的 HREE 丰度(球粒陨石的 1 ~ 2 倍),表明本区地幔橄榄岩的亏损程度较弱,为部分熔融萃取出 MORB 之后的残留物。而 LREE 亏损程度的差异可能与蛇纹石化有关。Bt-12 样品明显具有 Ce 亏损特征,反映海水蚀变的影响。乌瓦门变质橄榄岩具有富集相容元素 Cr(2766×10^{-6} ~ 1959×10^{-6})、Co(69×10^{-6} ~ 107×10^{-6})Ni(1391×10^{-6} ~ 2246×10^{-6}),贫不相容元素的特征,与世界典型蛇绿岩超镁铁单元岩石一致。

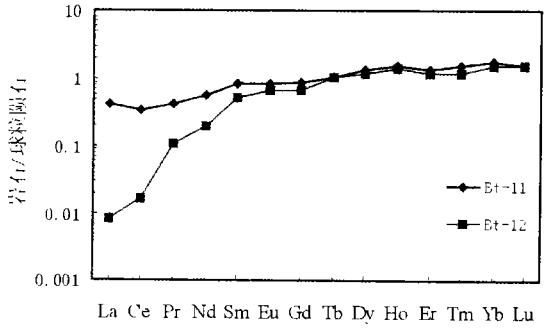


图 2 变质橄榄岩球粒陨石标准化稀土配分图解

Fig. 2 The REE distribution patterns of meta-peridotites from Wuwamen

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 乌瓦门蛇绿岩主微量元素化学分析数据表

Table 1 Major element (%) and trace element (10^{-6}) compositions of the basalts and peridotites from Wuwamen area

岩石名称	玄武岩						变质橄榄岩	
样号	Bt-1	Bt-2	Bt-3	Bt-5	Bt-6	Bt-7	Bt-11	Bt-12
SiO_2	48.23	49.55	48.55	49.06	49.20	49.10	43.83	44.28
TiO_2	1.30	2.11	1.88	1.44	1.45	1.66	0.08	0.07
Al_2O_3	16.30	13.79	14.35	13.23	13.31	13.42	3.27	3.15
Fe_2O_3	10.47	13.63	12.86	13.27	13.28	13.82	8.72	9.00
FeO	7.55	7.08	7.32	7.88	7.88	8.68	6.12	6.80
MnO	0.16	0.15	0.15	0.22	0.22	0.28	0.12	0.12
MgO	7.48	6.54	7.24	8.46	8.55	7.59	38.20	38.68
CaO	9.75	8.71	9.55	8.91	8.98	8.92	2.75	2.79
Na_2O	2.50	4.05	3.52	3.44	3.56	3.54	0.33	0.19
K_2O	1.07	0.72	0.69	0.29	0.29	0.28	0.02	0.01
P_2O_5	0.15	0.17	0.18	0.12	0.13	0.16	0.01	0.01
烧失量	2.31	0.71	0.74	1.50	1.50	1.00	2.26	1.20
总量	99.72	100.13	99.71	99.94	100.47	99.77	99.59	99.50
Li	9.8	5.8	7.8	9.9	9.7	5.9	4.9	1.5
Be	0.67	0.93	1.20	0.53	0.56	0.56	0.01	0.00
Sc	36.2	41.4	40.5	47.8	47.4	44.3	14.9	10.0
V	225	339	325	311	313	318	62	41
Cr	116	173	246	171	170	114	2766	1959
Co	43.2	43.6	47.7	54.8	55.5	44.7	107	69.1
Ni	38	103	130	77	76	64	2246	1391
Cu	25	16	16	90	88	92	10	10
Zn	78	69	68	122	120	119	42	29
Ga	19	17	17	17	17	17	3	2
Ge	1.45	1.53	1.49	1.48	1.55	1.56	0.98	0.56
Rb	27.1	19.5	17.9	3.9	3.9	4.3	0.3	0.2
Sr	305	170	180	198	177	200	21.4	2.2
Y	24.7	37.4	34.9	32.3	32.2	34.1	2.2	2.0
Zr	101	113	99.4	78.7	79.0	91.5	1.5	0.3
Nb	3.6	2.5	2.0	3.2	3.3	4.0	0.0	0.0
Cs	0.64	3.73	4.07	0.26	0.26	0.23	0.28	0.18
Ba	263	109	75.9	49.6	49.9	40.6	0.98	0.48
Hf	3.03	3.41	3.18	2.66	2.71	2.97	0.31	0.26
Ta	0.26	0.19	0.19	0.27	0.28	0.32	0.04	0.04
Pb	4.11	3.15	3.20	2.19	2.85	1.91	0.55	0.57
Th	1.31	0.46	0.54	0.54	0.58	0.33	0.00	0.00
U	0.34	0.20	0.31	0.51	0.51	0.21	0.04	0.00
La	10.6	4.5	5.4	3.6	3.7	4.5	0.1	0.002
Ce	23	14	15	11	11	12	0.21	0.01
Pr	3.52	2.56	2.71	1.95	1.97	2.23	0.04	0.01
Nd	15.9	14.0	14.4	10.4	10.4	11.9	0.27	0.09
Sm	3.93	4.37	4.38	3.41	3.39	3.83	0.13	0.08
Eu	1.26	1.47	1.46	1.17	1.17	1.30	0.05	0.04
Gd	3.66	4.52	4.46	3.71	3.73	4.05	0.18	0.14
Tb	0.69	0.94	0.91	0.79	0.80	0.86	0.04	0.04
Dy	4.44	6.32	6.09	5.40	5.47	5.86	0.35	0.30
Ho	0.96	1.45	1.39	1.26	1.27	1.35	0.09	0.08
Er	2.34	3.60	3.40	3.14	3.22	3.41	0.23	0.20
Tm	0.35	0.56	0.52	0.49	0.50	0.53	0.04	0.03
Yb	2.52	4.08	3.79	3.61	3.70	3.90	0.30	0.26
Lu	0.38	0.61	0.56	0.53	0.55	0.58	0.04	0.04

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 玄武岩岩石地球化学

3.1 岩石特征及分类

乌瓦门蛇绿岩中的玄武岩呈无根岩块状逆冲侵位于混杂岩带中，以断层或强剪切变形基质为界与变质橄榄岩或其它岩块相接触。岩石总体呈块状构造，局部有片理化。绿色-墨绿色，镜下可见岩石主要为斑状结构，斑晶主要为斜长石、辉石和橄榄石。基质主要为玻璃质和细粒的长石、辉石及其蚀变产物绿泥石、绿帘石和绢云母等。在全碱-SiO_2(TAS)图(3a)上，乌瓦门玄武岩样品均落在亚碱系列玄武质岩石区域，AFM 图解(图 3b)进一步分类，显示其属于拉斑系列。

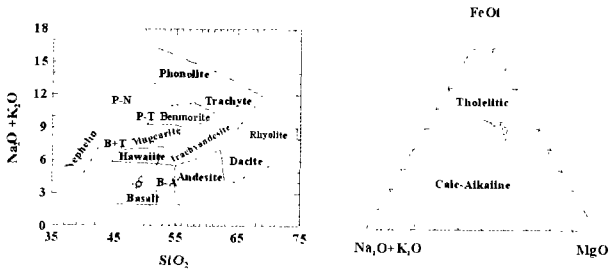


图 3 镁铁质岩石分类图解

(a. 在全碱-SiO_2(TAS)图；b. AFM 图解)

Fig. 3 Classification of the mafic rocks from Wuwamen

3.2 主元素地球化学

乌瓦门玄武岩 SiO_2 含量稳定在 48.23% ~49.55% 之间，富 MgO(6.54% ~8.55%)，$Mg^{\#}$ 值变化在 0.61 ~0.80 之间，显示其为原始岩浆。除 Bt-1 样品的 Al_2O_3 含量(16.30%)较高外，其余样品均具有低 Al_2O_3(13.23% ~14.35%)特征，相近于大西洋、太平洋和印度洋中脊拉斑玄武岩的 Al_2O_3 平均含量(分别为 15.6%、14.86%、15.15%，Melson, 1976)，明显不同于岛弧拉斑玄武岩和板内溢流拉斑玄武岩的高 Al_2O_3 含量特征，后两者分别为 16%(Jakes and White, 1972)和 17.08%(Wilson, 1989)。一般地，洋岛拉斑玄武岩和大陆溢流玄武岩 TiO_2 含量平均分别为 2.63% 和 1.0%(Wilson, 1989)，岛弧拉斑玄武岩以低 TiO_2(0.8%)为特征(Jakes and White, 1972)。乌瓦门玄武岩 TiO_2 变化在 1.30% ~2.11% 之间，平均为 1.64%。这种高 TiO_2 特征明显区别于岛弧和活动大陆边缘玄武岩低 TiO_2(<1.25%，Condie, 1989)特征，较接近 MORB 平均值 1.5%，与东太平洋洋隆的 TiO_2 值(1.77%，Melson, 1976)相当。总之，乌瓦门玄武岩样品总体以相对高 TiO_2(1.30% ~2.11%)和 MgO(6.54% ~8.55%)，贫 Al_2O_3(13.23% ~14.35%)、K_2O(0.28% ~1.07%)、P_2O_5(0.12% ~0.18%)和 $Na_2O > K_2O$ 为特征，类似于 MORB 型岩石，明显区别于岛弧拉斑玄武岩、洋岛拉斑玄武岩和板内玄武岩。

3.3 稀土和微量元素地球化学

乌瓦门玄武岩样品的 ΣREE 较低，变化在 50.46×10^{-6} ~73.56×10^{-6} 之间，是球粒陨石的 13 ~18 倍。除 Bt-1 样品的 $(La/Yb)_N$ 为 2.8 外，其余玄武岩样品的 $(La/Yb)_N$ 介于 0.67 ~0.96 之间，LREE 分异明显，$(La/Sm)_N$ 介于 0.44 ~0.51 之间。在球粒陨石标准化的稀土元素配分图解(图 4)上，除 Bt-1 样品显示为富集型的 REE 分配型式外，其余玄武岩样品均具有轻度 LREE 亏损型稀土分配型式，具 N-MORB 型岩石的 REE 地球化学性状。而 Bt-1 样品与 MORB 型岩石相比较，表现为高的 LREE 和低的 HREE 丰度，两者 REE 谱线相交，可能与俯冲带岩浆混染有关。

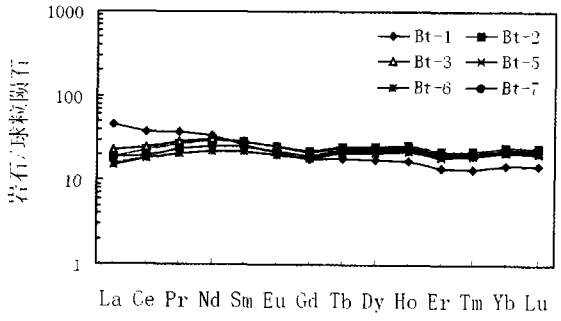


图 4 玄武岩的球粒陨石标准化 REE 配分图解

Fig. 4 The REE distribution patterns of the basalts from Wuwamen area

高场强元素 Zr、Hf、Nb、Ta 在蚀变和变质作用过程中具有良好稳定性，是岩石成因和源区性质的良好示踪剂。一般地，N-MORB 和 E-MORB 的 Zr、Hf 平均丰度分别为 90×10^{-6} ~96×10^{-6} 和 2.4×10^{-6} ~2.93×10^{-6}；板内拉斑玄武岩和碱性玄武岩的 Zr、Hf 平均丰度分别为 149×10^{-6} ~213×10^{-6} 和 3.44×10^{-6} ~6.36×10^{-6}；火山弧拉斑玄武岩、钙碱性玄武岩和钾玄岩的 Zr 平均丰度分别为 40×10^{-6}、71×10^{-6} 和 87×10^{-6}，Hf 平均丰度分别为 1.17×10^{-6}、2.23×10^{-6} 和 2.24×10^{-6}(Pearce, 1982)。乌瓦门玄武岩 Zr、Hf 丰度分别变化在 78.3×10^{-6} ~113×10^{-6} 和 2.66×10^{-6} ~3.41×10^{-6} 之间，相当于洋中脊玄武岩(MORB)。玄武岩的 Nb、Ta 丰度分别变化在 2.0×10^{-6} ~4.0×10^{-6} 和 0.19×10^{-6} ~0.32×10^{-6}，相当于 Sun & McDonough (1989) 给出的 N-MORB($Nb = 2.33 \times 10^{-6}$，$Ta = 0.132 \times 10^{-6}$)，并有向 E-MORB($Nb = 8.3 \times 10^{-6}$，$Ta = 0.47 \times 10^{-6}$)演化趋势，与 Pearce(1982)给出洋脊拉斑玄武岩($Nb = 4.6 \times 10^{-6}$，$Ta = 0.29 \times 10^{-6}$)特征一致。明显低于板内拉斑玄武岩和碱性玄武岩的 Nb、Ta 丰度(分别变化在 13×10^{-6} ~84×10^{-6} 和 0.73×10^{-6} ~5.9×10^{-6}，Pearce, 1982)，高于岛弧拉斑玄武岩和钙碱性玄武岩的 Nb、Ta 丰度(分别变化在 1.7×10^{-6} ~2.7×10^{-6} 和 0.1×10^{-6} ~0.18×10^{-6}，Pearce, 1982)。高场强元

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

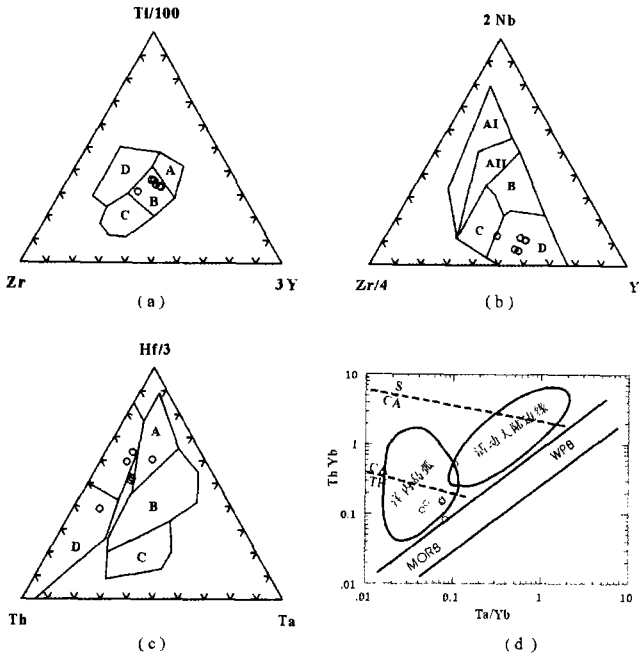


图5 玄武岩构造环境判别图解

a Ti－Zr－Y 图解(Pearce and Cann,1973),A-岛弧拉斑玄武岩,B-岛弧拉斑、钙碱性玄武岩和 MORB,C-岛弧钙碱性玄武岩,D-板内玄武岩; b. Nb－Zr－Y 图解(Meschede, 1986), AI-板内碱性玄武岩, AII-板内碱性玄武岩和板内拉斑玄武岩,B-E-MORB,C-板内拉斑玄武岩和火山弧玄武岩,D-N-MORB 和火山弧玄武岩; c. Hf－Th－Ta 图解(Wood, 1980),A-N-MORB, B-E-MORB 和板内拉斑玄武岩, C-板内碱性玄武岩, D-岛弧玄武岩; d. Th/Yb－Ta/Yb 图解(Pearce,1982)

Fig. 5 Tectonic discrimination diagrams for basalts from Wuwamen area

素比值 Zr/Nb、Nb/La 和 Hf/Ta 是有效的环境判别指标,N-MORB的 Zr/Nb 值多大于 30,P-MORB 和洋岛拉斑玄武岩的 Zr/Nb 值约为 10(Wilson,1989),乌瓦门的玄武岩的 Zr/Nb 值变化在 23～50 之间,平均为 32。Nb/La 比值(0.34～0.89)和 Hf/Ta(9.3～18)比值,均类似于 N-MORB(Nb/La<1、Hf/Ta>5,Condie,1989)。

不活动元素协变关系是构造环境判别的有效方法。在 Ti/100－Zr－3Y(图 5a)、2Nb－Zr/4－Y 图解(图 5b)中,巴仑台玄武岩样品均投在洋中脊玄武岩和火山弧玄武岩区;利用 Hf/3－Th－Ta 图解(图 5c)判别,结果显示巴仑台玄武岩均落入 N-MORB 区邻近,但明显有向岛弧拉斑玄武岩区漂移趋势; 而且 Th/Yb－Ta/Yb 图解(图 5d)同样显示乌瓦门玄武岩从 MORB 源区向洋内岛弧区迁移。这种特征预示乌瓦门玄武岩岩浆源区可能受到过俯冲带流体交代作用的影响。

在 MORB 标准化的微量元素比值蛛网图(图 6)上,除 Bt-1 样品外,其它玄武岩样品以高场强元素(HFSE)不分异,并贴近于 MORB 参考线(=1)为特征,显示其源区性质和成因与 MORB 相当。另外,Bt-2、Bt-3 样品和上述 Bt-1 样品则呈现出明显的 Nb、Ta 亏损,大离子亲石元素(LILE)和 Th 富集特征,并有 Zr 的轻度低谷,显示岩浆源区可能受到消减带流体交代。将具有富集大离子亲石元素(LILE)特征的 Bt-2、Bt-3 样品与 Bt-5、Bt-6、Bt-7 样品相比较可见,两组样品的 Zr、Hf、Sr、Pb 和 REE 组成特征几乎完全一致,不同的只是 Bt-2、Bt-3 样品具有 LILE、Th 富集和 Nb、Ta 亏损特征。据此推断,乌瓦门玄武岩均源于亏损地幔源区,但是源区曾遭受不同程度的俯冲带流体交代。这种地球化学性状与上述构造环境判别图解给出的信息完全一致,暗示乌瓦门玄武岩特殊的成因和构造背景,这种构造环境应与板块俯冲消减作用密切相关。在原始地幔标准化的微量元素比值蛛网图上,除 Bt-1 外,乌瓦门玄武岩显示明显的亏损 Th、Nb、La、Ce 的左倾型谱线特征(图 7),显示岩浆源于亏损地幔,类似于 Sun(1989)所标定 N-MORB 的地球化学特征。在该图中 Bt-1、Bt-2、Bt-3 样品仍然显示不同程度的 LILE 富集和 Nb、Ta 亏损,以及 Pb 富集特征,被认为是岛弧火山岩特性(Sun and McDonough, 1989)。

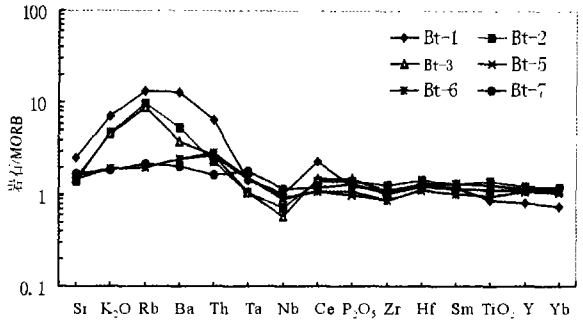


图6 玄武岩的 MORB 标准化微量元素配分图解

Fig. 6 MORB-normalized incompatible element spidergram for basalts from Wuwamen area

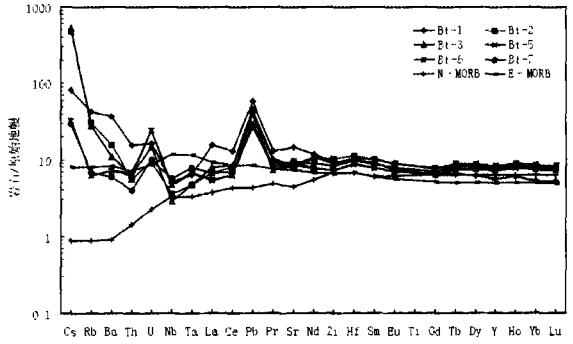


图7 玄武岩的原始地幔标准化微量元素配分图解

Fig. 7 Primitive mantle normalized incompatible element spidergram for basalts from Wuwamen area

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

综上所述，乌瓦门玄武岩主量元素具有低 Al_2O_3、高 TiO_2、MgO 性状，并以 LREE 亏损、高场强元素不分异为特征，尤其是 MORB 和原始地幔标准化微量元素配分特征，共同揭示乌瓦门玄武岩应形成于类似 MORB 的构造环境，岩浆源于亏损地幔源区。然而，部分岩石在高场强元素地球化学性状类似的基础上，具有不同程度的 LILE、Th 富集和 Nb、Ta 亏损，以及 Pb 富集特征，显示岩浆源区曾遭受不同程度的俯冲带流体交代作用。综合上述分析，推断乌瓦门蛇绿岩形成于消减带之上的弧后盆地构造环境。

4 乌瓦门蛇绿岩构造意义

区域地质研究表明，中天山南缘边界断裂带不是单一的断层，而是以不同时期、不同性质的多条断裂为骨架，剪切包容有不同时代、不同性质的构造岩块或岩石构造组合，并遭受后期构造变形叠加、改造而成的复合型断裂带。其中断续出露大量包含基性-超基性岩和其它性质构造岩块的混杂岩，大部分基性-超基性岩石组合具有蛇绿岩性质。该带西延接吉尔吉斯的尼古拉耶夫线，向东经哈尔克山北坡的长阿吾子、巴仑台乌瓦门、库米什榆树沟、直至于东天山南部被北东向阿尔金断裂系截切。现有的研究表明，中天山南缘边界断裂带既是重要的构造变形带，又是重要的岩相古地理界限，也是明显的变质作用和岩浆活动的分界线。该断裂带北侧主要出露中天山基底岩系和下古生界盖层建造，南侧则主要出露上古生界被动陆缘型沉积建造；北侧主要为区域热流变质，南侧为区域动力变质，并有双变质带（汤耀庆等，1995）；北侧加里东、海西期岩浆活动均极为发育，而南侧则主要为较微弱的海西期岩浆活动。综合分析认为中天山南缘断裂构造带代表了中天山南缘古洋盆闭合后的缝合带。

乌瓦门蛇绿岩的玄武岩单元多数以 LREE 亏损、HFSE 不分异为主要特征，总体类似于 N-MORB，但是具有不同程度的 Nb、Ta 亏损和 LILE 富集特征，显示源区受到消减带流体交代作用的影响，指示乌瓦门蛇绿岩形成于弧后盆地构造环境。乌瓦门弧后盆地蛇绿岩的确定表明中天山南缘曾演化为完整的板块俯冲消减的沟-弧-盆体系，暗示中天山南缘古洋盆具有相当大的规模。

乌瓦门的蛇绿混杂岩带向西可与古洛沟和长阿吾子蛇绿混杂岩带相对比。古洛沟蛇绿岩分布于额尔宾山北坡，主要由变质橄榄岩、堆晶辉长岩、辉绿岩墙、基性火山岩和放射虫硅质岩组成（汤耀庆等，1995）。长阿吾子蛇绿岩出露于北木扎尔特河长阿吾子沟，蛇绿岩构造肢解严重，遭受蓝片岩相变质作用改造，超基性岩主要为斜辉橄榄岩、蛇纹石化纯橄岩，呈透镜状构造岩块剪切侵位于蓝闪片岩和绿片岩之中；辉长岩变质形成阳起钠长片岩和蓝闪钠长片岩，基性熔岩变质成绿片岩（汤耀庆等，1995）。变质基性火山岩地球化学研究表明其原岩主要为 E-MORB，少数为 N-MORB（高俊等，1994），并被认为形成于小洋盆或弧后盆地环境（汤耀庆等，1995）。

以前的多数研究者认为，中天山南缘断裂从西南天山东延过和静县巴仑台南部的乌瓦门后，应通过库米什北侧的桑树园子断裂。但是越来越多的研究表明，在库米什南侧的榆树沟、铜花山、硫磺山带存在有蛇绿混杂岩（高长林等，1995；汤耀庆等，1995；董云鹏等，2001）、主要包括蛇绿岩、洋岛火山岩及相关火山-沉积岩，并有麻粒岩发现（王润三等，1999），显示中天山南缘断裂带应从库米什南侧的榆树沟-硫磺山通过。

榆树沟蛇绿岩锆石 U-Pb 上交点年龄为 440 ± 18Ma（王润三等，1998），长阿吾子蛇绿岩的辉石^{39}Ar-^{40}Ar 坪年龄 439Ma（郝杰等，1993），近似代表了中天山南缘蛇绿岩的形成年龄。同一构造带的哈尔克山北坡特克斯县蓝片岩中多硅白云母^{39}Ar-^{40}Ar 坪年龄 415.37 ± 2.17 Ma、等时线年龄 419.62 ± 3.92 Ma，代表峰期变质年龄（高俊等，1994；汤耀庆等，1995）。榆树沟蛇绿岩锆石 U-Pb 下交点年龄为 364 ± 5 Ma 与变质角闪石^{39}Ar-^{40}Ar 坪年龄 360 ± 10 Ma 完全一致（王润三等，1998）。库米什地区晚泥盆世蛇绿混杂岩带内黑云母片麻岩中黑云母的 K-Ar 年龄为 350Ma。长阿吾子蓝闪石英片岩的蓝闪石$^{40}Ar/^{39}Ar$ 坪年龄为 350.89 ± 1.96Ma（肖序常等，1990；汤耀庆等，1995）。科克苏河上游白云母蓝闪钠长片岩中的蓝闪石$^{40}Ar/^{39}Ar$ 坪年龄为 314.87 ± 1.93Ma，多硅白云母$^{40}Ar/^{39}Ar$ 坪年龄为 345.39 ± 6.51Ma（高俊等，1994），代表蓝片岩退变质年龄。南天山北缘那拉提-额尔宾山长达 600 余公里的碰撞花岗岩的形成时间为 378 ~ 327Ma（李文铅等，2000）。综合上述同位素年代学资料和区域地质资料表明，中天山南缘蛇绿岩形成时代主体应为志留纪，洋壳俯冲消减及其导致的蓝片岩带、榆树沟麻粒岩地体以及大量的碰撞型花岗岩时代（420 ~ 350 Ma），限定中天山南缘的板块俯冲事件应发生于中志留世，碰撞作用发生于泥盆纪，并于石炭纪转入碰撞后的陆内造山演化阶段。

References

Condie K C. 1989. Geochemical changes in basalts and andsites across the Archaean-Proterozoic boundary: identification and significance, Lithos, 23: 1 - 18

Dong Yunpeng, Wang Runsan, Zhou Dingwu. 2001. Geochemistry and genesis of meta-mafic-ultramafic rocks from Yushugou region, north margin of the South Tianshan tectonic belt, western China. Geochemica, 30(6):559 - 568

Gao Changlin, Cui Kerui, Qian Yixiong, Liu Bin, Ding Daogui, Yin Yong. 1995. Macroplate Tectonics in the Tianshan and the Northern Tarim Basin. Bejing: Geological Publishing House, 1 - 284

Gao Jun, Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Zhao Min, Wang Jun, Wu Hanquan. 1993. The discovery of blueschist in Kumux of the south Tianshan Mountains and its tectonic significance. Regional Geology of China, (4):344 - 347

Gao Jun, Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Zhao Min, Wang Jun. 1994. The metamorphic PTDt path of blueschists and tectonic evolution in the southwestern Tianshan Mountains, Xinjiang. Geological Review,

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

40(6):544 - 553
Guo Zhaojie, Ma Ruishi, Guo Lingzhi, Shi Yangshen. 1993. A comparative study on three ophiolitic m lange belts in Eastern Xinjiang. Geological Review,39(3):236 - 247
Hao Jie, Liu Xiaohan. 1993. Ophiolite mélange time and tectonic evolutional model in South Tianshan area. Chinese Journal of Geology, 28(1):93 - 95
Jakes P., White A J R. 1972. Major and trace element abundances in volcanic rocks of orogenic areas. Bull. Geol. Soc. Am., 83:29 - 40
Li Wenqian, 2000, Ophiolite discovery in Kangurtag region and its characteristics. Xinjiang Geology, 18(2):121 - 128
Ma Ruishi, Wang Xiyin, Ye Shangfu. 1993. Tectonic Framework and Crustal Evolution of Eastern Tianshan Mountains. Nanjing: Publishing House of Nanjing University, 1 - 225
Melson W G., Vallier T L., Wright T L. 1976. Chemical diversity of abyssal volcanic glass erupted along Pacific, Atlantic and Indian Ocean sea-floor spreading centers. In The geophysics of the Pacific Ocean Basin and its Margin. Washington D C: Am. Geophys. Union. 351 - 367
Meschede M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. Chem. Geol., 56:207 - 218
Pearce J A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks, R S Thorpe (ed), Chichester: Willy, 525 - 548
Pearce J A., Cann J R. 1973. Tectonic setting of basaltic volcanic rocks determined using trace element analysis. Earth Planet. Sci. Lett., 19:290 - 300
Sun S S., McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In Magmatism in the Ocean Basins, Saunders A D and Norry M J (eds), Geological Society Special Publication, 42:313 - 345
Tang Yaoqing, Gao Jun, Zhao Min, Li Jinyi, Wang Jun. 1995. The ophiolites and blueschists in the Southwestern Tianshan orogenic belt Xinjiang, Northwestern China, Beijing: Geological Publishing House, 1 - 133
Wang Runsan, Wang Yan, Li Huimin, Zhou Dingwu, Wang Juli. 1998, Zircon U-Pb age and its geological significance of high-pressure terrane of granulite facies in Yushugou area, Southern Tianshan mountain, Geochimica, 27(6):517 - 522
Wang Runsan, Zhou Dingwu, Wang Juli, Wang Yan, Liu Yangjie. 1999. Variscan terrane of deep-crustal granulite facies in Yushugou area, southern Tianshan, Science in China (D), 29(4):306 - 313
Wang Zuoxun, Wu Jiyi, Lu Xichao, Zhang Jingguo, Liu Chengde. 1990. Polycyclic Tectonic evolution and Metallogeny of the Tianshan Mountains. Beijing: Science Press, 1 - 218
Wilson M. 1989. Igneous petrogenesis. London: Unwin Hyman, 1 - 466
Wood D A., Joron J L., Treuil M. 1979. A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic setting. Earth Planet. Sci. Lett., 45: 326 - 336
Wu Wenkui, Jang Changyi, Yang Fu, Li Liangchen. 1992. The Yushugou-Tonghuashan structural mixtite in Xinjiang. Journal of Xi'an College of Geology, 14(1):8 - 13
Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Li Jinyi, Zhao Min, Feng Yimin, Zhua Baoqing. 1990. On the tectonic evolution of northern Xinjiang, Northwest China. Geoscience in Xinjiang, 1:47 - 68
Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Feng Yimin, Zhu Baoqing, Li Jinyi, Zhao Min. 1992. Tectonic Evolution of Northern Xinjiang and its Adjacent Regions. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 171
Zhou Guoqing. 1988. A discovery of the ophiolite suite on the northeastern margin of Tarim paleo-continent in the Caledonian stage and its significance in tectonics. Journal of Nanjing University, 24 (1):39 - 54

附中文参考文献

董云鹏, 王润三, 周鼎武. 2001. 南天山北缘榆树沟变质基性-超基性岩的地球化学及其成因机制. 地球化学,30(6):559 - 568
高长林, 崔可锐, 钱一雄, 刘 斌, 丁道桂, 殷勇. 1995. 天山微板块构造与塔北盆地. 北京:地质出版社. 1 - 284
高俊, 肖序常, 汤耀庆, 赵民, 王军, 吴汉泉. 1993. 南天山库米什蓝片岩的发现及其大地构造意义. 中国区域地质,(4):344 - 347
高俊, 肖序常, 汤耀庆, 赵民, 王军. 1994. 南天山蓝片岩的变质作用 *PTDt* 轨迹及构造演化. 地质论评,40(6):544 - 553
郭召杰, 马瑞士, 郭令智, 施央申. 1993. 新疆东部三条蛇绿混杂岩带的比较研究. 地质论评,39(3):236 - 247
郝杰, 刘小汉. 1993. 南天山蛇绿混杂岩形成时代及大地构造意义. 地质科学,28(1):93 - 95
李文铅. 2000. 新疆鄯善康古尔塔格蛇绿杂岩的发现及其特征, 新疆地质,18(2):121 - 128
马瑞士, 王赐银, 叶尚夫. 1993. 东天山构造格架及其演化. 南京:南京大学出版社. 1 - 225
汤耀庆, 高俊, 赵民, 李锦轶, 王军. 1995. 西南天山蛇绿岩和蓝片岩. 北京:地质出版社, 1 - 133
王润三, 王焰, 李惠民, 周鼎武, 王居里. 1998. 南天山榆树沟高压麻粒岩地体锆石 U-Pb 定年及其地质意义, 地球化学,27(6):517 - 522
王润三, 周鼎武, 王居里, 王焰, 刘养杰. 1999. 南天山榆树沟华力西期深地壳麻粒岩地体研究, 中国科学(D),29(4):306 - 313
王作勋, 乌继易, 吕喜朝, 张经国, 刘成德. 1990. 天山多旋回构造演化与成矿. 北京:科学出版社, 1 - 218
吴文奎, 姜常义, 杨 复, 李良辰. 1992. 南天山榆树沟-铜花山构造混杂体雏议. 西安地质学院学报, 14(1):8 ~ 13
肖序常, 汤耀庆, 李锦轶, 赵民, 冯益民, 朱宝清. 1990. 试论新疆北部大地构造演化. 新疆地质科学, 1:47 - 68
肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 朱宝清, 李锦轶, 赵民. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造, 北京:地质出版社, 1 - 171
周国庆. 1988. 古塔里木大陆东北缘加里东蛇绿岩套的发现及其构造意义. 南京大学学报, 24(1):39 - 54

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net