

# 祁连山扎麻什基性杂岩体岩石地球化学特征及其大地构造意义\*

刘传周<sup>1,3</sup> 肖文交<sup>1</sup> 袁超<sup>2</sup> 闫臻<sup>1</sup>

LIU ChuanZhou<sup>1,3</sup>, XIAO WenJiao<sup>1</sup>, YUAN Chao<sup>2</sup>, and YAN Zhen<sup>1</sup>

1. 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈构造演化国家重点实验室, 北京 100029

2. 中国科学院广州地球化学所, 广州 510640

3. 中国科学院研究生院地球科学学院, 北京 100039

1. State Key Laboratory of Lithosphere Tectonic Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

3. Earth Sciences College, Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

2004-09-23 收稿, 2005-01-24 改回.

Liu CZ, Xiao WJ, Yuan C and Yan Z. 2005. The petrological and geochemical characteristics of the Zhamashi mafic complex, Qilian Mountain and their tectonic implications. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1):57-64

**Abstract** The Zhamashi mafic complex in Qilian County, Qinghai province, intruded into Cambrian-Ordovician strata, is mainly composed of gabbro with ultramafic rock, pyroxenite, hornblendite and diorite. Petrological and geochemical studies suggest that the complex is derived from a calc-alkalic magma by crystallization with different degree. The rocks are enriched in LILE and depleted in HFSE, with clearly Nb and Ta negative anomalies. Combined with the spatial relationship between the complex and the northerly Qingshuigou-Baijinshi subduction complex, we conclude that the Zhamashi complex formed in an island arc setting, and may be as product of southward subduction of North Qilian ocean crust to the north.

**Key words** North Qilian orogenic belt, Zhamashi, Mafic complex, Fractionational crystallization, Island arc setting

**摘要** 青海省祁连县扎麻什基性杂岩体侵位于寒武-奥陶纪地层中。岩体以辉长岩为主,并伴有超基性岩,辉石岩,角闪岩与闪长岩出露。岩石地球化学研究表明,该岩体是由钙碱性岩浆经不同程度的分离结晶作用形成的。岩石具富集大离子亲石元素(LILE)而亏损高场强元素(HFSE),并具有明显Nb和Ta负异常。结合该岩体与北侧清水沟-百经寺俯冲杂岩的空间分布关系,表明该杂岩体是形成于北祁连洋壳向南俯冲形成的岛弧环境。

**关键词** 北祁连造山带;扎麻什;基性杂岩体;分离结晶作用;岛弧环境

**中图分类号** P588.124; P588.113; P594.1

## 1 引言

祁连造山带位于阿拉善地块与柴达木板块之间(图1;冯益民,1997),由南往北依次划分为北祁连、中祁连与南祁连等大地构造单元,而这些单元内部发育有形成于不同构造环境中的蛇绿岩、岛弧杂岩及俯冲杂岩带(宋述光,1997),因此受到众多研究者的关注(Wu *et al.*, 1993; 许志琴等, 1994; 冯益民和何世平, 1996; 夏令圻等, 1996; 冯益民,

1997; 左国朝和吴汉泉, 1997; 张旗等, 1997; 宋述光, 1997; Xia *et al.*, 2003; Yang *et al.*, 2002; Song *et al.*, 2003)。

然而,在北祁连造山带构造演化方面的认识存在较大分歧。目前主要有两种截然不同的观点(吴才来等, 2004): (1)北祁连曾是古特提斯洋的一部分,其构造演化应属于古特提斯构造带的范畴之内; (2)北祁连曾经是华北大陆板块(或中朝克拉通)南缘的一个洋盆,由陆缘拉张开始逐渐形成大洋,然后大洋闭合形成造山带。这两种看法的根本分歧之一在于洋壳的俯冲方向。北祁连中段早古生代板块俯冲方

\* 中国科学院知识创新工程(KZCX2-SW-119)、国家自然科学基金委员会(40172080)和国家973项目(2001CB409801)资助项目

第一作者简介:刘传周,男,1981年生,博士研究生,构造地质专业, E-mail: chzliu@mail.igcas.ac.cn

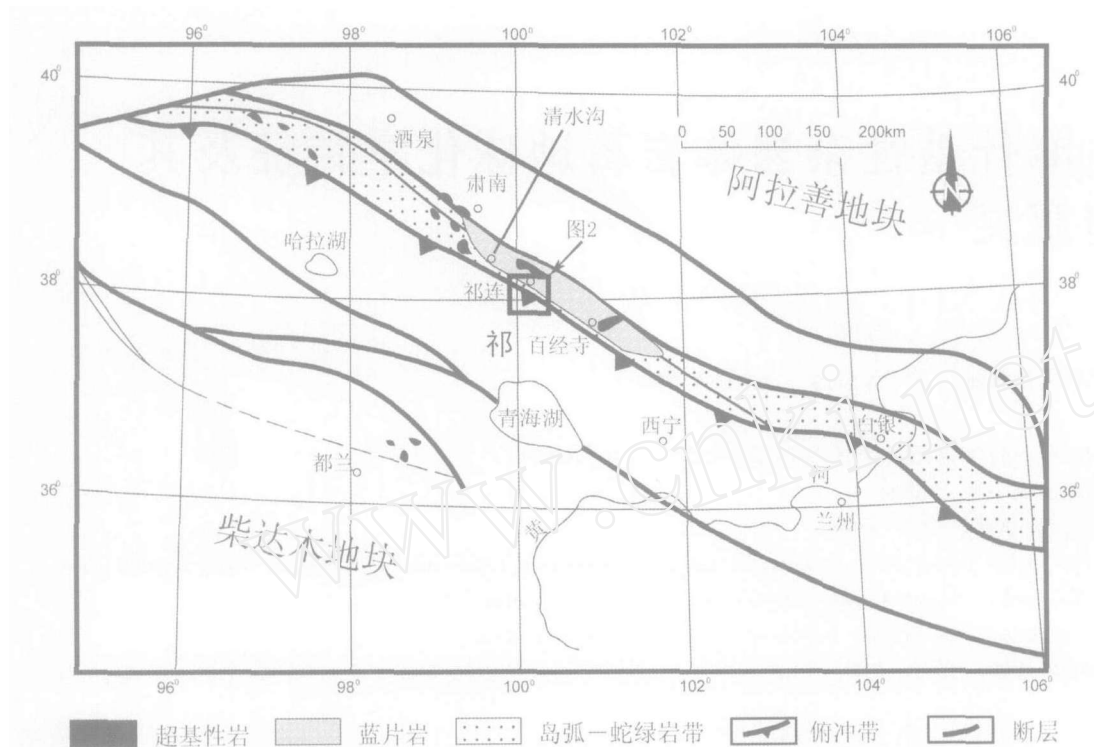


图1 北祁连造山带及其邻区大地构造简图(据冯益民,1997)

Fig. 1 Tectonic sketch map of North Qilian orogenic belt and its adjacent area (after Feng, 1997)

向一直是国内研究者所争议的关键问题之一(宋述光,1997)。前人的研究大多通过蛇绿岩及其与俯冲杂岩的关系来推测板块的俯冲方向,概括而论有以下四种观点:①向南俯冲(王荃等,1981;宋述光,1997;周德进等,1997);②向北俯冲(许志琴等,1994;张建新等,1997,1998;夏令圻等,1996);③双向俯冲(左国朝等1987;左国朝和吴汉泉,1997);④先向南俯冲,发生俯冲极性倒转后又向北(肖序常等,1988)。

在祁连县油葫芦大山经扎麻什沟、冰沟南至甘肃天祝县大滩,断续分布多个阿拉斯加型基性-超基性杂岩体(张旗,1997),而扎麻什岩体是其中规模较大岩体之一(周德进等,1997)。在该岩体北侧,出露有玉石沟、边马沟与白泉门等蛇绿岩和清水沟-百经寺俯冲杂岩。因此,研究该岩体的地质与岩石地球化学特征,确定其形成环境,对于北祁连古洋壳板块俯冲方向以及北祁连造山带的构造演化具有重要意义。周德进等(1997)的研究表明扎麻什和冰沟南两个岩体形成受到俯冲作用的影响,属于阿拉斯加型岩体。并认为这两个岩体形成于活动大陆边缘环境,属于北祁连洋壳向南的消减时形成的陆缘火山岩带的一部分。然而近年来的研究表明,主火山弧位于清水沟-百经寺俯冲杂岩的北侧,同时清水沟-百经寺一带的俯冲杂岩所指示的是北祁连洋壳向北消减而非向南的消减(许志琴等,1994;张建新等,1997,1998)。因此,扎麻什岩体形成环境的确定对于确定北祁连洋壳的俯冲方向和揭示北祁连造山带的构造演化过程具有

重要的作用。

## 2 岩体概况、样品描述与分析方法

样品采自于青海省祁连县西南侧约20公里处的扎麻什杂岩体。岩体侵入于寒武系(图2),以辉长岩为主,闪长岩次之,内部有一些规模较小的辉石岩,并有闪长玢岩脉侵入(周德进等,1997)。

据镜下观察,辉石岩和角闪石岩具片理化定向排列,部分辉石蚀变为绿泥石。辉石岩和角闪石岩由于片理化,矿物颗粒明显变得很细小。辉长岩由辉石和斜长石组成,辉石以单斜辉石为主,自形程度较好,具有辉长结构。闪长岩由角闪石和斜长石组成,角闪石和斜长石为自形至半自形,为自形半自形粒状结构。

常量元素和微量元素测试由中国科学院地质与地球物理研究所矿产资源重点实验室完成。常量元素测试使用XRF法测定。用0.6g样品制好的玻璃片在Shimadzu XRF-1700/1500上测定氧化物的含量,精度优于5%。利用酸溶法将样品溶液制备好后,在ICP-MS Element II仪器上测定微量元素的含量,按国家标准(GSR-1和GSR-2)微量元素含量 $>10\mu\text{g/g}$ 的精度优于5%, $<10\mu\text{g/g}$ 的元素优于10%。分析结果列于表1。

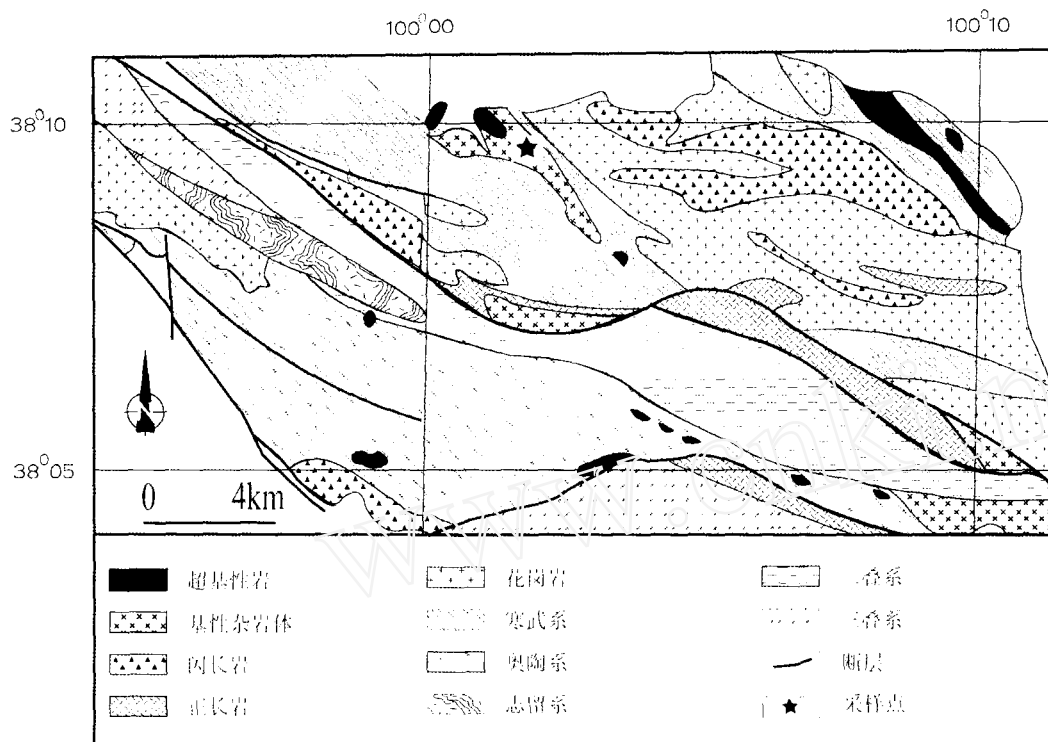


图2 扎麻什杂岩体地质略图(据青海省地质矿产图)

Fig.2 Geological sketch map of the Zhamashi complex (after the Geological and Mineral Map of Qinghai Province)

表1 扎麻什杂岩体主量、微量元素地球化学成分

Table 1 Major element and trace element data of the Zhamashi complex

样品号	闪长岩		角闪石岩			辉长岩				辉石岩			
	ZMS-29	ZMS-33	ZMS-23	ZMS-24	ZMS-4	ZMS-9	ZMS-32	ZMS-5	ZMS-8	ZMS-22	ZMS-26	ZMS-12	ZMS-17
SiO <sub>2</sub>	57.33	56.56	56.85	57.37	52.57	49.76	51.76	51.01	49.71	54.11	55.17	54.41	54.31
TiO <sub>2</sub>	0.60	0.61	0.70	0.69	0.16	0.28	0.20	0.22	0.19	0.29	0.15	0.13	0.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.88	15.72	15.41	15.28	14.45	15.73	12.58	15.71	13.92	7.65	2.90	3.03	3.85
Total Fe	9.26	9.28	8.86	8.63	8.88	8.36	9.05	6.92	8.39	9.23	8.63	7.90	8.06
MnO	0.09	0.10	0.10	0.10	0.15	0.14	0.14	0.12	0.15	0.17	0.17	0.18	0.16
MgO	4.52	4.79	5.25	5.22	9.95	9.41	11.18	9.03	11.32	14.21	18.52	19.73	19.57
CaO	9.92	10.19	8.91	9.01	11.74	11.81	11.97	11.91	11.77	10.87	12.45	11.83	12.05
Na <sub>2</sub> O	1.58	1.52	2.71	2.61	1.06	1.74	1.05	1.71	1.87	0.98	0.23	0.26	0.27
K <sub>2</sub> O	0.08	0.08	0.14	0.14	0.12	0.15	0.15	0.31	0.16	0.17	0.07	0.06	0.04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	0.09	0.08	0.07	0.01	0.04	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
LOI	0.68	0.58	0.50	0.50	1.58	2.22	1.43	2.77	2.37	1.82	1.50	2.01	2.28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	100.04	99.52	99.50	99.62	100.67	99.65	99.52	99.72	99.87	99.53	99.80	99.55	100.72
Mg <sup>#</sup>	0.49	0.51	0.54	0.54	0.69	0.69	0.71	0.72	0.73	0.75	0.81	0.83	0.83
Sc	29.349	22.635	32.699	32.557	43.765	39.667	48.594	38.579	46.094	59.885	58.740	49.459	50.608
V	286.133	299.048	256.089	249.907	187.936	217.092	240.901	168.137	193.008	272.679	185.365	141.028	159.673
Cr	73.375	70.019	56.970	57.186	366.207	417.340	435.826	287.397	507.402	991.959	1540.937	1780.126	1954.494
Co	28.380	26.107	29.610	27.437	42.679	41.131	46.539	32.140	44.953	48.672	52.976	47.530	50.883
Ni	37.146	39.521	63.053	52.915	105.372	122.947	120.975	111.136	158.700	179.970	140.366	165.332	161.375
Cu	77.029	9.541	39.971	32.453	2.948	11.947	34.334	3.288	23.121	17.847	22.602	21.543	9.691
Zn	63.158	55.307	30.666	28.086	37.068	66.275	37.906	59.660	39.372	64.227	40.706	32.044	35.250
Ga	15.191	15.433	15.559	15.141	10.296	11.749	10.137	12.080	9.963	7.162	3.757	3.329	3.792

样品号	闪长岩		角闪石岩		辉长岩				辉石岩				
	ZMS-29	ZMS-33	ZMS-23	ZMS-24	ZMS-4	ZMS-9	ZMS-32	ZMS-5	ZMS-8	ZMS-22	ZMS-26	ZMS-12	ZMS-17
Rb	2.635	1.673	1.754	1.373	4.382	5.032	3.212	16.773	3.865	6.947	0.546	0.565	0.399
Sr	149.898	152.727	120.212	120.676	65.226	143.615	80.335	119.102	114.779	35.257	5.717	4.698	3.951
Y	14.707	13.610	22.724	22.418	3.777	6.097	6.897	6.639	5.313	10.361	4.734	3.222	2.857
Zr	36.000	34.811	48.108	47.495	7.863	16.546	16.794	22.471	9.225	24.858	19.935	9.364	6.169
Nb	1.304	1.254	1.880	1.832	0.561	0.661	0.438	0.756	0.403	1.425	0.345	0.206	0.201
Cs	1.343	0.839	0.452	0.470	2.645	3.649	1.907	4.541	7.486	0.887	0.076	0.076	0.096
Ba	24.84	21.70	56.60	78.59	56.79	51.06	63.51	76.72	70.47	30.97	10.81	19.27	25.33
La	3.826	3.577	3.266	3.403	0.668	1.523	1.342	1.413	1.063	2.125	1.095	0.714	0.314
Ce	8.602	7.964	8.302	8.875	1.542	3.415	2.910	3.342	2.400	5.303	2.627	1.647	0.862
Pr	1.125	1.081	1.283	1.317	0.210	0.479	0.406	0.466	0.332	0.762	0.364	0.219	0.131
Nd	5.159	4.754	6.370	6.435	0.952	2.165	1.887	2.149	1.588	3.392	1.664	0.964	0.684
Sm	1.584	1.436	2.127	2.140	0.315	0.660	0.620	0.638	0.485	1.066	0.492	0.310	0.230
Eu	0.511	0.501	0.627	0.601	0.14	0.239	0.223	0.234	0.203	0.226	0.13	0.095	0.095
Gd	1.860	1.793	2.941	2.815	0.416	0.790	0.824	0.795	0.632	1.256	0.604	0.397	0.348
Tb	0.344	0.338	0.536	0.525	0.082	0.142	0.159	0.153	0.121	0.238	0.112	0.079	0.068
Dy	2.295	2.242	3.62	3.58	0.572	0.971	1.12	1.043	0.853	1.615	0.78	0.549	0.486
Ho	0.518	0.492	0.797	0.794	0.136	0.219	0.253	0.231	0.197	0.366	0.182	0.125	0.116
Er	1.568	1.508	2.362	2.385	0.424	0.670	0.766	0.700	0.593	1.102	0.559	0.378	0.353
Tm	0.234	0.234	0.363	0.356	0.067	0.103	0.121	0.108	0.092	0.172	0.088	0.061	0.056
Yb	1.550	1.532	2.373	2.343	0.455	0.671	0.793	0.700	0.584	1.121	0.607	0.395	0.367
Lu	0.250	0.243	0.357	0.354	0.073	0.104	0.124	0.109	0.091	0.172	0.096	0.063	0.057
Hf	1.229	1.195	1.637	1.589	0.268	0.578	0.541	0.708	0.355	0.914	0.608	0.319	0.206
Ta	0.176	0.163	0.351	0.279	0.424	0.229	0.122	0.312	0.219	0.160	0.060	0.072	0.067
Pb	2.330	1.679	1.637	1.661	1.584	2.213	2.472	3.384	4.898	1.871	1.36	1.104	0.115
Th	0.998	0.858	0.907	0.933	0.186	0.440	0.427	0.350	0.294	0.647	0.326	0.388	0.149
U	0.340	0.373	0.561	0.503	0.085	0.131	0.141	0.096	0.105	0.299	0.150	0.166	0.082
ΣREE	29.43	27.70	35.32	35.93	6.05	12.15	11.55	12.08	9.23	18.92	9.40	6.00	4.17
(La/Yb) <sub>N</sub>	1.71	1.62	0.95	1.01	1.02	1.57	1.17	1.40	1.26	1.31	1.25	1.25	0.59
Eu*	0.90	0.95	0.76	0.75	1.17	1.00	0.95	1.00	1.11	0.59	0.72	0.82	1.02

### 3 岩石地球化学特征

#### 3.1 常量元素

样品的常量元素含量变化如下:  $\text{SiO}_2 = 49.71\% \sim 57.33\%$ ,  $\text{MgO} = 19.73 \sim 4.52\%$ ,  $\text{CaO} = 8.91 \sim 12.45\%$ ,  $\text{TiO}_2 = 0.11 \sim 0.84\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 2.9 \sim 15.88\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 0.04 \sim 0.31\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O} = 0.23 \sim 2.71\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3(t) = 6.92 \sim 13.82\%$ 。在  $\text{SiO}_2$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3(t)/\text{MgO}$  图解中(图3), 样品全部落入钙碱系列区域。在  $\text{Mg}^\#$  与其它主量元素含量的图解中(图4, a-c), 14 个样品明显地分为两组: 第一组  $\text{Mg}^\#$  值较小(变化范围为 54~42), 为闪长岩和角闪石岩。第二组  $\text{Mg}^\#$  值较大(变化范围为 83~69), 为辉石岩和辉长岩。随着  $\text{Mg}^\#$  值的减小,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和  $\text{TiO}_2$  明显增加, 而  $\text{CaO}$  减小, 这可能反映了单斜辉石和斜长石的分离结晶作用。另外,  $\text{Mg}^\#$  与 Ni 的正相关, 与 La 和 Sr 的负相关也支持这一结论, 因为 Ni 可能会进入辉石中, 而 Sr 则主要存在于长石中(图4, d-f)。

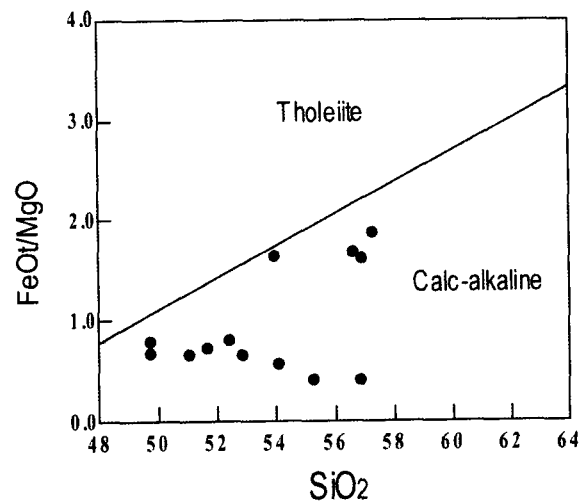


图3  $\text{Fe}_2\text{O}_3(t) - \text{SiO}_2$  图解

Fig. 3  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$  plot of the Zhamashi complex

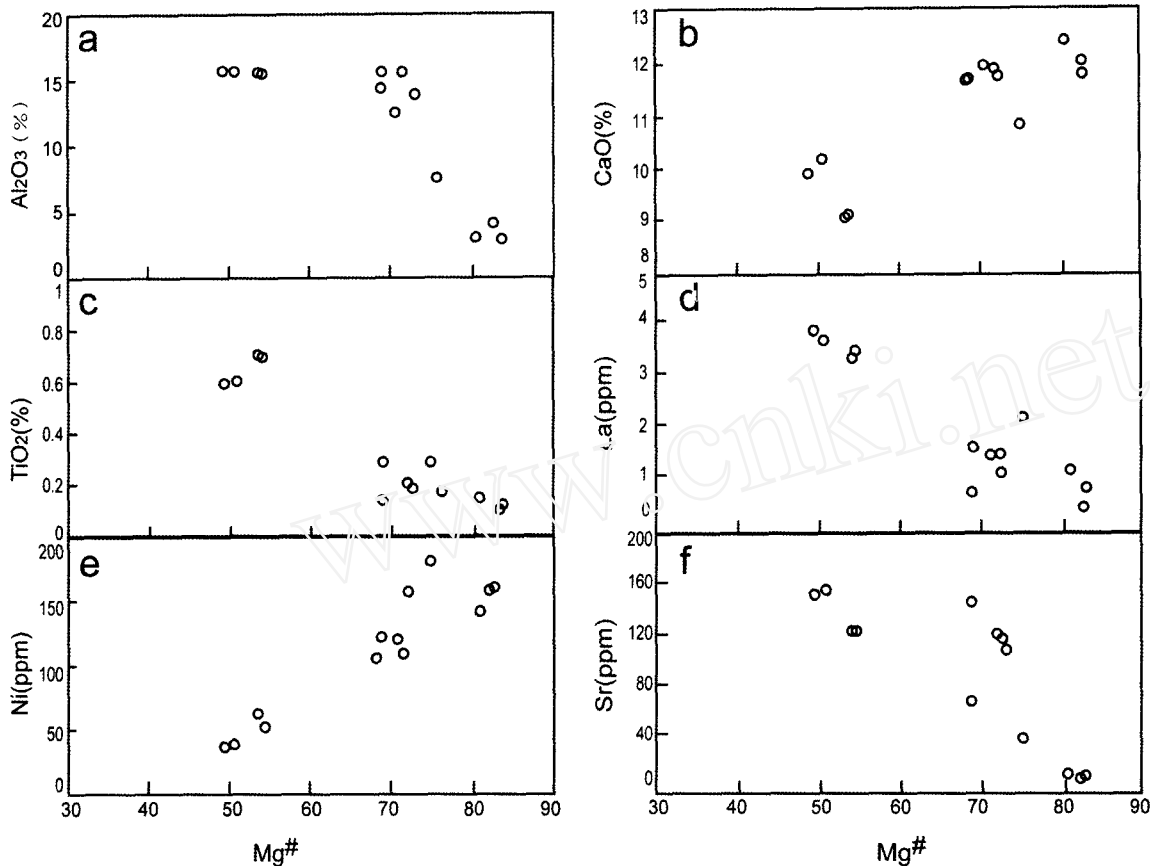
图4  $Mg^{\#}$ 与部分氧化物( $Al_2O_3$ 、 $CaO$ 、 $TiO_2$ )和微量元素(La、Sr、Ni)的二元相关图

Fig. 4  $Mg^{\#}$  vs. oxides ( $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $TiO_2$ ) and trace elements (La, Sr, Ni) binary correlation diagrams for the Zhamashi complex

### 3.2 微量元素

样品的微量元素含量较低,  $\Sigma REE$  的变化范围为 4.11 ~ 35.57。在稀土元素球粒陨石标准化图解中, 样品可以分成两类, 其中一类具有明显的负 Eu 异常(图 5a), 岩石类型有辉石岩(ZMS-12, ZMS-22 和 ZMS-26)和角闪石岩(ZMS-23 和 ZMS-24)。稀土配分型式为平坦型或 LREE 弱富集型,  $(La/Yb)_N = 0.95-1.31$ 。另一类无 Eu 的负异常或者不明显(图 5b), 部分样品因含较多的斜长石而显示弱的 Eu 正异常(ZMS-4, ZMS-8)。除了  $Mg^{\#}$  最大(83)的样品 ZMS-17 呈 LREE 亏损型以外( $(La/Yb)_N$  为 0.59), 其它的样品均呈弱的 LREE 富集型( $(La/Yb)_N$  变化范围为 1.02-1.71)。在两组样品中,  $\Sigma REE$  均随  $Mg^{\#}$  值的增大而减小。

镜下辉石岩和角闪石岩具有堆晶结构, 这表明这些岩石是岩浆分离结晶的产物。样品中 Ni 的含量 ( $< 180 ppm$ ) 低于原始岩浆中 Ni 的含量(一般为 250 ~ 300 ppm)(Wilson, 1989), 且  $Mg^{\#}$  值呈正相关, 这表明这些岩石是通过分离结晶作用形成的产物。在  $Mg^{\#}$ - $Al_2O_3$ 、 $CaO$  和  $TiO_2$  图解中(图 4, a-c), 第二组样品(辉石岩和辉长岩)随着  $Mg^{\#}$  的减小,  $CaO$

降低,  $Al_2O_3$  和  $TiO_2$  增加, 这是由于单斜辉石和斜长石发生分离结晶后堆晶所致。而在第一组样品(角闪石岩和闪长岩)中, 随着  $Mg^{\#}$  的减小,  $Al_2O_3$  和  $CaO$  增加,  $TiO_2$  降低, 表明这些样品中角闪石含量不断降低, 而斜长石含量逐渐升高。此外,  $Mg^{\#}$  与 La, Sr 等不相容元素的负相关关系以及  $Mg^{\#}$  与相容元素 Ni 的正相关关系都反映了结晶分异作用(图 4, d-f)。

## 4 讨论

### 4.1 岩石成因

相对于闪长岩和辉长岩样品而言, 两个角闪石岩样品和两个辉石岩样品都具有明显 Eu 的负异常, 而辉长岩和闪长岩的 Eu 的负异常较弱或者呈较弱的正异常。这说明通过分离结晶作用形成辉石岩和角闪石岩时, 长石仍保留在原来的体系中。在除了两个角闪石岩样品外, 其它样品的  $(La/Yb)_N$  均随  $Mg^{\#}$  的降低而增大, 这暗示样品可能受到结晶分异作用的影响。此外, 在蛛网图上(图 6)可以清楚看到辉石岩相对其它岩性亏损 Sr 而呈明显的负异常。

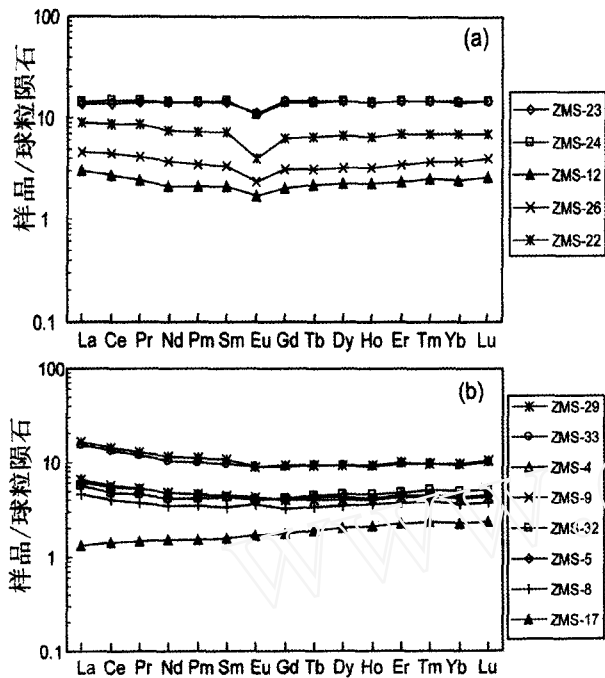


图5 稀土元素球粒陨石标准化配分图(球粒陨石值引自 Anders & Grevesse, 1989)

(a) 具有明显的负 Eu 异常;(b) 不具有明显的负 Eu 异常

Fig. 5 Chondrite-normalized rare earth elements (REE) diagrams of the complex (Chondrite REE values from Anders & Grevesse, 1989)

(a) Samples with the clearly negative Eu anomaly; (b) Samples not with clearly negative Eu anomaly

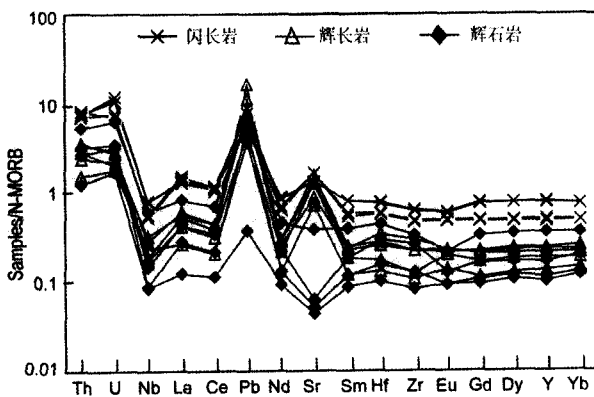


图6 微量元素蛛网图(标准化值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 6 Trace elements spider-diagram for the Zhamashi complex (Normalization values from Sun & McDonough, 1989)

4.2 岩体的形成环境

根据扎麻什岩体的岩石地球化学特征,并结合其与北祁连山俯冲杂岩带的空间分布关系,我们认为该岩体形成于洋内俯

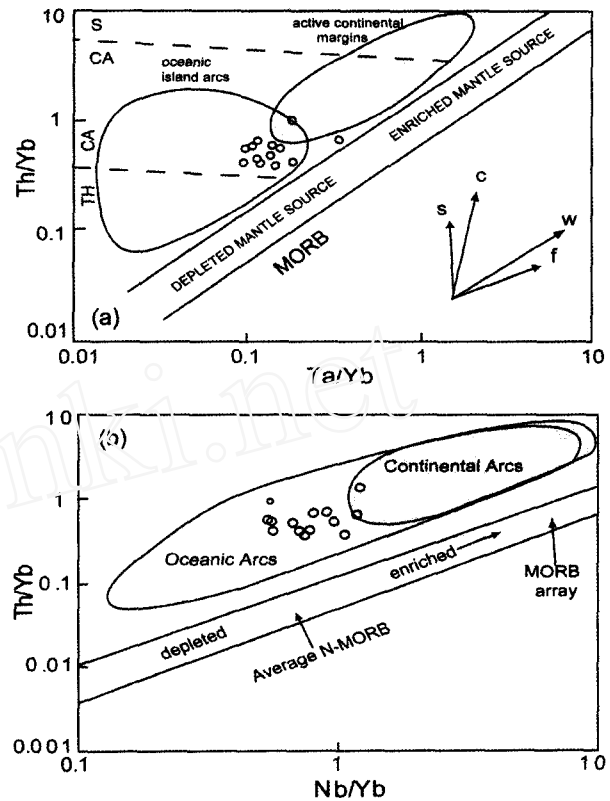


图7 (a) Th/Yb - Ta/Yb(据 Pearce, 1983)及(b) Th/Yb - Nb/Yb(Pearce and Peate, 1995)构造环境判别图解可以看出除个别样品外,大部分样品都落在大洋岛弧范围内注:图 a 中箭头所代表的意义为:s-俯冲作用的影响;w-板内富集作用;c-地壳混染;f-结晶分异作用

Fig. 7 Th/Yb - Ta/Yb (after Pearce, 1983) and Th/Yb - Nb/Yb tectonic discrimination diagrams (Pearce and Peate, 1995).

The diagrams show that most of the samples fall into the oceanic island arc field

Vectors shown indicate the influence of subduction components (S), within-plate enrichment (W), crustal contamination (C) and fractionation crystallization (F)

冲的增生岛弧环境,是北祁连山洋壳向南俯冲的产物。

(1) 该岩体富集大离子亲石元素(LILE)而亏损高场强元素(HFSE)以及 Nb 和 Ta 呈明显的亏损(Pearce 和 Peate, 1995),是形成于消减带之上的火山弧岩浆最明显的特征。

在蛛网图(图6)上,相对于 Nb、Ta、Zr 和 Hf 等高场强元素(HFSE),Rb、Ba、Th、U 等大离子亲石元素(LILE)呈明显富集的趋势,而 Nb、Ta 则为负异常。这表明样品受到俯冲作用的影响,是形成于消减带之上的火山弧环境。

元素的含量经常受分离结晶作用、流体作用的影响,相对而言,元素比值受这些作用的影响较小,尤其是相容程度接近的元素的比值。在 Th/Yb-Nb/Yb 和 Th/Yb-Ta/Yb 构造判别图解上(图7a 和 b),样品大部分都落在大洋岛弧的范

围中。这表明样品可能形成于岛弧环境而不是活动大陆边缘。周德进等(1997)发表了两个辉长岩和两个闪长岩样品的 Sr 和 Nd 同位素的数据,其中  $\epsilon_{Nd}(t)$  值接近于 0,而初始锶比值( $^{87}Sr/^{86}Sr$ )<sub>i</sub> 较高(0.7067~0.7095)。这恰与岛弧地区 Sr 和 Nd 同位素的变化特征相符,而不同于活动大陆边缘的同位素特征,一般认为活动大陆边缘具有比岛弧地区更低的 Nd 同位素比值和更高的 Sr 同位素比值(Wilson, 1989)。因此微量元素和同位素证据都支持该岩体形成于岛弧环境的结论。

(2) 扎麻什岩体北部与一套俯冲-增生杂岩及弧火山岩相接,在清水沟-百经寺一带有榴辉岩和蓝片岩等高压岩石出露(宋述光,1997)。前人的研究表明这是一套典型的与古板块俯冲作用有关的俯冲-增生杂岩,代表俯冲形成的增生楔(许志琴等,1994; 张建新等,1998,1997; 宋述光等,1997)。对于这条俯冲杂岩带的岩石组成、变质变形以及年代学研究表明这套俯冲杂岩形成于早、中奥陶世祁连山向北的俯冲作用(许志琴等,1994; 张建新等,1998)。而扎麻什岩体的大致时代为晚奥陶世至早志留世(左国朝,1997)。

一般认为阿拉斯加型杂岩体是产出于岛弧或者活动大陆边缘(Moores, 1973)。其形成与俯冲作用有关,通常产于岛弧或活动大陆边缘环境,如美国阿拉斯加东南的杜克岛岩体(Tistl *et al.*, 1994; Whalen 1985; Snoko *et al.*, 1981; Murry 1972)。周德进等(1997)认为扎麻什岩体属于阿拉斯加型岩体且认为其形成于活动大陆边缘。然而,阿拉斯加型岩体除了可以形成于活动大陆边缘外,也可能形成于岛弧环境(Moores, 1973)。

扎麻什岩体北侧的清水沟-百经寺的俯冲杂岩的构造和变形特征都指示向北的古俯冲作用和向南的增生(许志琴等,1994; 张建新等,1997; 张建新等,1998)。因此,扎麻什岩体更有可能形成于发育在北祁连山向南俯冲形成的岛弧环境。

在增生楔发育的俯冲带部位,俯冲板块不断地远离海沟向后撤退,增生楔则不断地向前发育和生长。同时,由于俯冲板块的后撤,在增生楔之上可能形成新的岛弧而导致岛弧火山带也向前迁移。扎麻什岩体可能是在增生楔之上发育的增生岛弧环境下形成的一套基性杂岩体。

## 5 初步结论

扎麻什岩体辉石岩-闪长岩系列的岩石地球化学特征表明是由同一岩浆经过分离结晶作用后形成的产物,其中辉石岩和角闪岩是早期堆晶的产物,辉长岩和闪长岩为晚期形成的。岩石地球化学证据支持扎麻什岩体形成于岛弧环境。结合其与北侧清水沟-百经寺俯冲杂岩带与主火山弧的空间分布关系,表明该岩体可能形成于北祁连山向南俯冲形成的增生火山弧。

**致谢** 主量元素测试得到了李禾、王红月和曹杰老师的大力帮助,微量元素测试得到了靳新娣与李红艳教师的支持和帮助。叶凯研究员、刘景波博士和刘兵高级工程师参加了野外考察并对研究工作给予了指导。研究工作还得到了郭敬辉研究员的指导。在此一并表示感谢。

## References

- Anders E, Grevesse N. 1989. Abundances of the elements: meteoritic and solar. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53: 197-214
- Feng Y M, He S P. 1996. *Tectonics and Orogeny of Qilian Mountain*. Beijing: Geological Publishing House
- Feng Y M. 1997. Investigatory summary of the Qilian orogenic belt, China: history, presence and prospect. *Advance in Earth Sciences*, 12 (4): 301-312 (In Chinese with English abstract)
- Moores E M. 1973. Geotectonic significance of ultramafic rocks. *Earth-Science Reviews*, 9: 241-258
- Murry C G. 1972. Zoned ultramafic complexes of the Alaska type: Feeder pipes of andesitic volcanics. *Geological Society of America Bulletin*, 132: 313-335
- Pearce J A. 1983. The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins. In: Hawkesworth C J and Norry M J (eds.). *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Nantwich. Shiva, 230-249
- Pearce J A, Peate D W. 1995. Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Annual Review of Earth and Planetary Science*, 23: 251-285
- Snoko A W, Quick J E, Bowman H R. 1981. Bear Mountain igneous complex, Klamath Mountains, California: An ultrabasic to silicic calc-alkaline suite. *Journal of Petrology*, 22: 501-552
- Song S G. 1997. Tectonic evolution of subductive complex belts in the North Qilian Mountains. *Advance in Earth Sciences*, 12 (4): 351-365. (In Chinese with English abstract)
- Song S G, Yang J S, Liou J G and Shi R D. 2003. Metamorphic evolution of the coesite-bearing ultrahigh-pressure terrane in the North Qaidam, Northern Tibet, NW China. *Journal of Metamorphic Geology*, 21: 1-14
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalt: implication for mantle composition and processes. In Saunders AD& Norry M J eds. *Magmatism in the oceanic basins*, Special publication of Geological Society of London, 42: 313-346
- Tistl M, Burgath K P, Hohndorf A, *et al.* 1994. Origin and emplacement of Tertiary ultramafic complexes in northwest Colombia: Evidence from geochemistry and K-Ar, Sm-Nd and Rb-Sr isotopes. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 126: 41-59
- Wang Q, Liu X Y. 1976. The paleo-oceanic crust of Qilian Mountain, Western China, and its tectonic implications. *Scientia Geologica Sinica*, (1): 42-55. (In Chinese with English abstract)
- Whalen J B. 1985. Geochemistry of an island-arc Plutonic suite: the Uasilau-yau intrusion complex, New Britain, P. N. G. *Journal of Petrology*, 26: 603-632
- Wilson M. 1989. *Igneous Petrogenesis*. London. Unwin Hyman, 214-217
- Wu C L, Yang J S, Yang H Y *et al.* 2004. Dating of two types of granite from north Qilian, China. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3): 425-432. (In Chinese with English abstract)
- Wu H Q, Feng Y M, Song S G. 1993. Metamorphism and deformation of blueschist belts and their tectonic implications, North Qilian Mountains, China. *Journal of Metamorphic Geology*, 11: 523-536
- Xia L Q, Xia Z C, Xu X Y. 1996. Petrogenesis of the marine volcanic

- rocks from North Qilian. Beijing: Geological Publishing House. (In Chinese)
- Xia L Q, Xia Z C, Xu X Y. 1998. Early-Paleozoic mid-ocean ridge-ocean island and back-arc basin volcanism in the North Qilian Mountains. *Acta Geologica Sinica*, 72 (4): 301 - 312. (In Chinese with English abstract)
- Xia L Q, Xia Z C, Xu X Y. 2003. Magmagenesis in the Ordovician backarc basins of the North Qilian Mountains, China. *Geological Society of America Bulletin*, 115: 1510 - 1522
- Xiao X C, Chen G M, Zhu, Z C. 1978. The tectonic implications of ancient ophiolites, Qilian Mountains. *Acta Geologica Sinica*, 54 (1): 287 - 295. (In Chinese with English abstract)
- Xiao X C, Li T D, Li G C, *et al.* 1988. The lithosphere tectonic evolution of Himalaya. Beijing: Geological Publish House (In Chinese)
- Xu Z Q, Xu H F, Zhang J X, *et al.* 1994. The Zhoulang Nanshan Caledonian subduction complex in the Northern Qilian Mountains and its dynamics. *Acta Geologica Sinica*, 68 (1): 1 - 15. (In Chinese with English abstract)
- Yang J S, Xu Z Q, Zhang J X, Song S G., Wu C L, Shi R D, Li H B, and Brunel M. 2002. Early Palaeozoic North Qaidam UHP metamorphic belt on the north-eastern Tibetan plateau and a paired subduction model. *Terra Nova*, 14 (5): 397 - 404
- Zhang J X, Xu Z Q, Chen W, Xu H F. 1997. A tentative discussion on the ages of the subduction-accretionary complex/volcanic arcs in the middle sector of North Qilian Mountain. *Acta Petrologica Mineralogica*, 16: 112 - 119. (In Chinese with English abstract)
- Zhang J X, Xu Z Q, Xu H F, Li H B. 1998. Framework of North Qilian Caledonian subduction-accretionary wedge and its deformation dynamics. *Scientia Geologica Sinica*, 33: 290 - 299. (In Chinese with English abstract)
- Zhang Q, Guo Y S, Wang Y M *et al.* 1997. The diversity of mafic-ultramafic rocks in Qilian Mountains. *Advance in Earth Sciences*, 12 (4): 324 - 330. (In Chinese with English abstract)
- Zhang Q, Sun X M, Zhou, *et al.* 1997. The characteristics of North Qilian ophiolites, forming settings and their tectonic significance. *Advance in Earth Sciences*, 12 (4): 366 - 393. (In Chinese with English abstract)
- Zhou D J, Chen Y, Zhang Q, Li X Y. 1997. The founding of Alaska-type mafic-ultramafic complex from Qilian county and constraints on Qilian Mt. Tectonic evolution. *Scientia Geologica Sinica*, 32: 122 - 127. (In Chinese with English abstract)
- Zuo G C, Liu J C. 1987. Early Paleozoic tectonic evolution of North Qilian. *Scientia Geologica Sinica*, (1): 14 - 24. (In Chinese with English abstract)
- Zuo G C, Wu H Q. 1997. A bisubduction-collision orogenic model of early-Paleozoic in the middle part of North Qilian area. *Advance in Earth Sciences*, 12 (4): 307 - 314. (In Chinese with English abstract)

#### 附中文参考文献

- 冯益民. 1997. 祁连山造山带研究概况—历史、现状及展望. *地球科学进展*, 12 (4): 307 - 314
- 冯益民,何世平. 1996. 祁连山大地构造与造山作用. 北京:地质出版社
- 宋述光. 1997. 北祁连山俯冲杂岩带的构造演化. *地球科学进展*, 12 (4): 351 - 365
- 王荃,刘雪亚. 1976. 我国西部祁连山地区的古海洋地壳及大地构造意义. *地质科学*, (1): 42 - 55
- 吴才来,杨经纬,杨宏伟等. 2004. 北祁连东部两类I型花岗岩定年及其地质意义. *岩石学报*, 20(3): 425 - 432
- 许志琴,徐惠芬,张建新,等. 1994. 北祁连走廊南山加里东俯冲杂岩增生地体及其动力学. *地质学报*, 68 (1): 1 - 15
- 肖序常,陈国铭,朱志直. 1978. 祁连山古蛇绿岩的地质构造意义. *地质学报*, 54 (1): 287 - 295
- 肖序常,李廷栋,李光岑,等. 1988. 喜马拉雅岩石圈构造演化总论. 北京:地质出版社
- 夏令圻,夏祖春,徐学义. 1998. 北祁连洋脊-洋岛和弧后盆地火山作用. *地质学报*, 72 (4): 301 - 312
- 夏令圻,夏祖春,徐学义. 1996. 北祁连山海相火山岩岩石成因. 北京:地质出版社
- 左国朝,吴汉泉. 1997. 北祁连中段早古生代双向俯冲-碰撞造山模式剖析. *地球科学进展*, 12 (4): 315 - 330
- 左国朝,刘奇陈. 1987. 北祁连早古生代大地构造演化. *地质科学*, (1): 14 - 24
- 周德进,陈雨,张旗,李秀云. 1997. 北祁连山南侧阿拉斯加型岩体的发现及其地质意义. *地质科学*, 31(1): 122 - 127
- 张旗,孙晓猛,周德进,等. 1997. 祁连山蛇绿岩的特征、形成环境及构造意义. *地球科学进展*, 12 (4): 366 - 393
- 张旗,郭原生,王岳明等. 1997. 祁连山地区镁铁-超镁铁岩的多样性. *地球科学进展*, 12(4): 324 - 330
- 张建新,许志琴,徐惠芬,李海兵. 1998. 北祁连加里东期俯冲-增生楔结构及动力学. *地质科学*, 33: 290 - 299
- 张建新,许志琴,陈文,徐惠芬. 1997. 北祁连中段俯冲-增生杂岩/火山弧的时代探讨. *岩石矿物杂志*, 16: 112 - 119