1000-0569/2002/018(02)-0231-37 *Acta Petrologica Sinica* 岩石学报

甘肃金塔南山斜长角闪岩的地球化学特征及其构造意义*

王金荣 王廷印 高军平 张铭杰

WANG JinRong, WANG TingYin, GAO JunPing and ZHANG MingJie

兰州大学资源环境学院地质系，兰州 730000

Department of Geology, Institute of Resources and Envirenment, Lanzhou University, Lanzhou 730000, *China*

2000-10-26 收稿，2001-11-18 改回.

Wang JR, Wang TY, Gao JP and Zhang MJ. 2002. Geochemistry of the amphibolites from Jinta Nanshan, Gansu province: implications for the tectonic setting. *Acta Petrologica Sinica*, 18(2): 231－237

Abstract The Jinta Nanshan rock zone may be a dividing line between the North China craton and the Tarim craton, and mainly consists of Precambrian metamorphic rocks, in which the different metamorphic bodies contact by thrust-type ductile shear zone. Sm-Nd isochron age for the amphibolite, whose protoliths are basalts, is 745±59 Ma. Nb/Y < 0.7, REE, and AFM plot show that the protoliths are typical of tholeiitic and calc-alkline series. REE patterns for the basalts show a wide spectrum from flat to strongly LREE enriched. Relative to N-MORB, they are enriched in LILE and relatively depleted in HFSE, and have obvious anomaly of Nb, Ta and Ti for the calc-alcaline rocks to no anomaly for the tholeiites with Th/Ta>3; $I_{Nd}(t)=0.51193\pm6$, $^{143}Nd/^{144}Nd=0.512878$, $\varepsilon_{Nd}(t)=+5.05$. That indicates that protoliths of the amphibolites were product of mantle partial melting of different degree in island arc, suggesting the Jinta Nanshan rock zone resulted from the subduction of the ocean between the North China craton and Tarim craton in middle period of Neoproterozoic.

Key words Amphibolites, Geochemistry, Island arc, Neoproterozoic, Jinta Nanshan

摘 要 金塔南山岩带是华北克拉通和塔里木克拉通的分界线。岩带由前寒武纪变质岩系所组成，不同类型的变质地质体之间以逆冲型韧性剪切带接触，主要变质岩斜长角闪岩 Sm-Nd 等时线年龄为 745±59Ma，原岩为玄武岩。Nb/Y<0.7、REE 特征及 AFM 图解显示原岩为拉斑系列和钙碱性系列。稀土元素配分型式为平坦型到富集；相对于 N-MORB，低 Ti，富集 LILE，亏损 HFSE，Nb、Ta、Ti 表现为明显的负异常（钙碱性系列）到无异常（拉斑系列），Th/Ta>3；$I_{Nd}(t)=0.51193\pm6$，$^{143}Nd/^{144}Nd=0.512878$，$\varepsilon_{Nd}(t)=+3.88\sim6.60$，均值为 5.05，推测斜长角闪岩原岩应为不同程度部分熔融的弧岩浆作用的产物，提示金塔南山岩带是新元古代中期华北克拉通与塔里木克拉通之间的古大洋俯冲消减的结果。

关键词 斜长角闪岩；地球化学；岛弧；新元古代；金塔南山

中图法分类号 P588.12；P595；P534.3

1 引言

金塔南山岩带位于甘肃金塔县南约 10km，南邻酒泉盆地、北接金塔凹陷。岩带走向近东西，在本区出露长度约 20km，并在其延伸方向上呈断续分布，其间被中新生界所覆盖。东延进入巴丹吉林沙漠，西延并入阿尔金断裂带，据研究推测其北为塔里木板块，其南为华北板块（王廷印等，1994；汤中立等，2000；Wang *et al.*, 1994）（图 1）。因此，该岩带是理解华北克拉通、塔里木克拉通古陆缘动力学过程的关键区域之一。然而，本研究区研究程度很低，除了 1∶20 万区域地质调查外，尚未作过更深入的研究。笔者在完成对阿拉善地区岩石圈形成与演化的研究过程中，认识到该岩带在大地构造上具有十分重要的意义。本文试图通过南山岩带中主要组分斜长角闪岩的地质、地球化学特征，讨论其原岩形成时的大地构造背景。

* 国家自然科学基金资助项目（49572152）.

第一作者简介：王金荣，男，1958 年出生，教授，岩石大地构造学专业. E-mail: jrwang@lzu.edu.cn

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

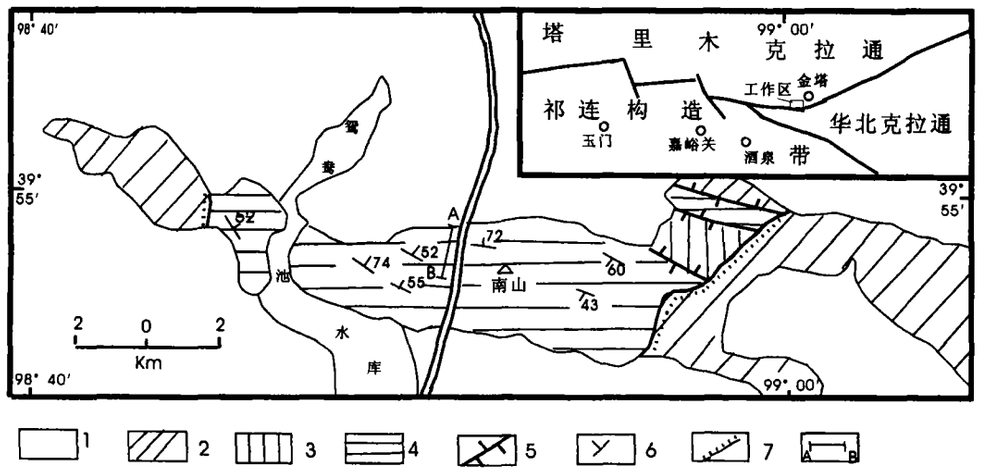


图 1 金塔南山岩带地质略图(据 1∶20 万酒泉幅区域地质图改编)

1-第四系; 2-下白垩统; 3-中、下侏罗统; 4-震旦纪变质岩系; 5-逆冲断层; 6-劈理产状; 7-不整合; 8-剖面线

Fig. 1 Geological sketch of Jinta Nanshan rock zone

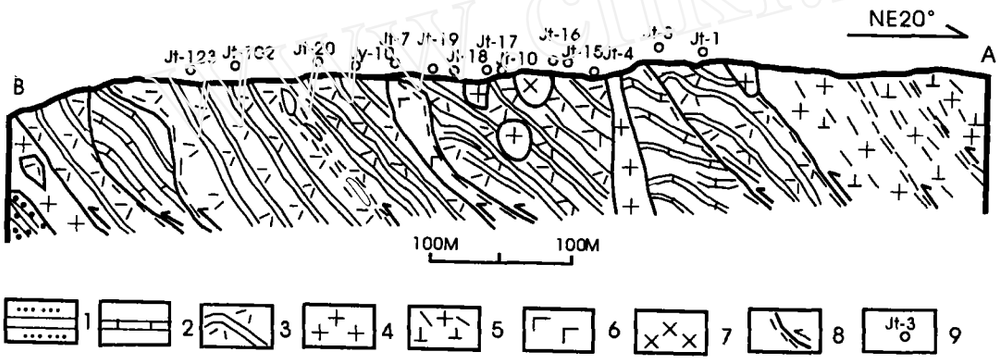


图 2 金塔南山岩带构造剖面图(剖面位置见图 1)

1-变砂岩; 2-大理岩; 3-斜长角闪岩; 4-华力西期花岗岩; 5-片麻状花岗闪长岩(构造岩); 6-变玄武岩; 7-变辉长岩; 8-逆冲型韧性变形带; 9-样品位置

Fig. 2 Cross-section of the Jinta Nanshan rock zone

2 地质特征

金塔南山岩带被认为是由一套前震旦纪变质岩系所组成,但据斜长角闪岩 Sm-Nd 等时线年龄应为 745±59Ma,指示其原岩形成的时代(见后述)。岩石组合主要有斜长角闪岩、变砂岩、大理岩(部分为糜棱岩)、变玄武岩、变安山岩、变流纹岩及少量石英岩、变粒岩、硅质岩和强烈碳酸盐化的超基性岩以及同期侵入的变辉长岩、片麻状花岗闪长岩(构造岩),但主体为斜长角闪岩。在整个岩带中,变质程度差异明显,从绿片岩相到角闪岩相。因此可以认为整个岩带中的不同变质地质体是在变质事件(角闪岩相)之后通过一系列叠瓦状逆冲(韧性)断层作用会聚而成的构造堆叠体(图 2)。长英质岩石如片麻状花岗闪长岩、花岗岩、变砂岩,具明显的石英拉长定向排列,尤其是在大理岩、斜长角闪岩中的逆冲断层面上韧性变形更为强烈,透入性劈理十分发育,已构成典型的构造岩片,大理岩表现为强烈的塑性变形特征,表明其是从较深的部位(可能为原造山带根部)被抽拉至地表的。值得注意的是,在本岩带西段表现为一系列向南西逆冲的韧性断层,倾向 N-NE,倾角 50°～75°之间,而在东段则为向北东方向逆冲,倾向 S-SW,倾角 55°～70°之间(图 1)。在如此短的距离内断层倾向发生逆转表明韧性断层作用的形成应与走

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 金塔南山斜长角闪岩主元素(%)和微量元素(μg/g)含量

Table 1 Major element (%) and trace element (μg/g) composition of the amphibolites from Jinta Nanshan

样品号	Jt-1	Jt-3	Jt-4	Jt-7	Jt-10	Jy-10	Jt-102	Jt-123
SiO_2	46.48	46.42	56.77	52.92	51.03	51.47	49.12	48.47
TiO_2	1.17	1.01	0.77	0.7	1.33	1.04	1.1	1.13
Al_2O_3	11.82	11.88	12.3	12.82	13.96	13.77	12.03	13.09
Fe_2O_3	13.59	13.69	6.33	6.91	8.59	7.9	11.28	11.63
MnO	0.18	0.21	0.13	0.16	0.12	0.11	0.21	0.21
MgO	5.82	5.5	4.2	6.99	4.45	5.74	6.08	7.37
CaO	10.33	10.36	6.93	8.76	6.55	8.19	9.75	11.94
Na_2O	2.3	2.66	3.01	2.12	3.36	3.18	2.49	1.59
K_2O	0.96	1.04	2.34	2.3	2.39	1.16	1.26	1.9
P_2O_5	0.1	0.1	0.17	0.16	0.55	0.25	0.17	0.17
LOI	6.45	6.58	6.31	5.92	6.89	6.35	6.42	2.6
Total	99.2	99.45	99.26	99.76	99.22	99.16	99.91	100.1
La	4.36	3.3	41.05	41.77	57.94	35.4	3.96	5.23
Ce	11.32	9.03	78.62	78.94	116.6	71.96	10.25	12.29
Pr	1.52	1.25	10.11	10.03	14.21	8.57	1.39	1.59
Nd	7.34	6.35	37.17	36.03	52.31	31.72	6.75	7.18
Sm	2.03	2.33	6.65	6.58	8.13	4.99	1.97	2.13
Eu	1.03	1	1.47	1.49	2.13	1.65	0.89	0.81
Tb	0.57	0.6	1.05	1.04	1.16	0.86	0.46	0.49
Dy	3.46	3.82	6.48	6	6.31	4.8	2.86	3.18
Ho	0.85	0.96	1.49	1.36	1.38	1.08	0.62	0.72
Er	2.49	2.85	3.97	3.53	3.45	2.77	1.84	1.99
Tm	0.37	0.44	0.62	0.54	0.48	0.43	0.25	0.29
Yb	2.15	2.52	3.62	2.99	2.75	2.4	1.7	2.01
Lu	0.35	0.39	0.57	0.48	0.46	0.34	0.26	0.3
$(La/Sm)_N$	1.31	0.86	3.78	3.86	4.34	4.21	1.21	1.49
$(La/Yb)_N$	1.34	0.86	7.49	9.2	13.88	9.71	1.54	1.73
$(Gd/Yb)_N$	1.26	1.14	1.41	1.79	2.26	1.89	1.37	1.24
δu	1.2	1.07	0.69	0.68	0.82	0.96	1.15	0.96
Sr	169	246	307	316	550	489	266	326
Rb	63	71	104	200	109	42	88	124
Ba	303	245	1900	2130	795	359	313	373
Th	n	n	n	n	n	n	0.79	0.77
Nb	5.42	4.89	18.59	16.29	18.71	12.71	4.25	3.91
Ta	0.31	0.29	1.09	0.95	1.1	0.75	0.25	0.23
Zr	69	54	192	155	215	133	27	36
Hf	n	n	n	n	n	n	0.94	1.17
Y	22	26	37	35	27	20	17	17
Ni	91	65	37	34	19	36	192	213
Cr	186	86	52	55	54	205	309	309
Nb/Y	0.23	0.19	0.48	0.46	0.68	0.61	0.28	0.22

注：微量元素(Jt-1、Jt-3、Jt-7、Jt-10、Jy-10)由中科院兰州地质所 XRF 分析获得，其中 Ta 据 Ta=Nb/17 求得(Condie，1997)；

主元素、稀土元素和微量元素(Jt-102、Jt-123)由北京大学地质系测试室分别用全岩分析、ICAP 和 ICP 分析获得。n 为未检测。

滑断层作用有关。因为，在走滑断层弯曲处的转换挤压作用可导致相应的逆冲断层产生。从区域构造背景和已有的研究成果(王金荣等，2002，黄华芳等，1994)来看，该走滑断层西延应与阿尔金断裂带相接。此外，电法测深及航磁资料①也表明其南北两侧均以断裂带分别与酒泉盆地和金塔凹陷接触。以上岩石组合及构造特征表明南山岩带是由性质各异、形成于不同环境的岩石单元组成的复杂地质体。

① 1：20 万区域地质调查报告(酒泉幅)

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 斜长角闪岩岩石学

斜长角闪岩是金塔南山岩带的主要岩石类型，基本矿物组合为斜长石(45%～50%)、角闪石(54%～48%)，副矿物有磁铁矿、磷灰石、锆石及榍石。在TiO_2－MnO图解上，样品落入正斜长角闪岩区(图3)，此外，利用过渡元素之间的相关性也可区分正副角闪岩(赵振华，1997)，Cr/Ni比值弱正相关性($R=0.73$)(表1)表明其原岩为火成岩。考虑到岩石在较强的变质变形作用过程中，不稳定元素会发生活化迁移或被地壳流体富集，本文首先选择相对稳定的高场强元素Nb/Y比值来判别岩石系列。Nb/Y比只受碱度影响，不受结晶分异影响，因而它是衡量岩石碱度的理想指标(赵振华，1997)。在所有样品中，Nb/Y比值均小于0.7(0.13～0.68，见表1)，在SiO_2－Nb/Y图解上(Winchester, *et al*. 1977)，样品都投入亚碱性系列的玄武岩类中(Jt-4样品为安山岩)(图未附)。AFM图解显示了样品分属拉斑系列(Jt-1，Jt-3，Jt-102，Jt-123)和钙碱性系列(Jt-7，Jt-4，Jt-10，Jy-10)(图4)。此外，微量元素和稀土元素的差异也是区分拉斑系列与钙碱性系列的一种有效方法，前者通常具有平坦型到略富集的REE配分型式和高的Ba/La比值，后者为LREE富集和更低的Ba/La比值(Macdonald *et al*，2000)。图5显示了样品(Jt-1、Jt-3、Jt-102、Jt-123)为平坦型到略富集的REE配分型式，$(La/Yb)_N=0.86$～1.73，Ba/La比值为70～79，而样品(Jt-4、Jt-7、Jt-10、Jy-10)明显富集LREE，$(La/Yb)_N=7.49$～13.88，Ba/La比值为10～51，均值为30，分别与典型的岛弧拉斑玄武岩和钙碱性玄武岩相当(Wilson，1989)。

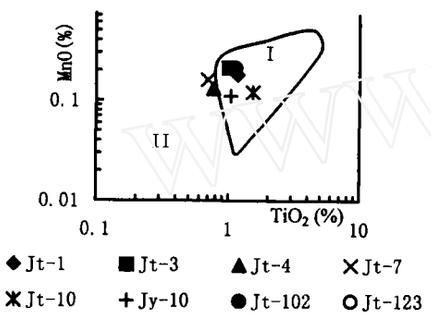


图3 南山岩带斜长角闪岩TiO_2－MnO图

Ⅰ-正斜长角闪岩；Ⅱ-副斜长角闪岩(据Misra，1971)

Fig. 3 TiO_2 vs. MnO plot for amphibolites from Nanshan rock zone

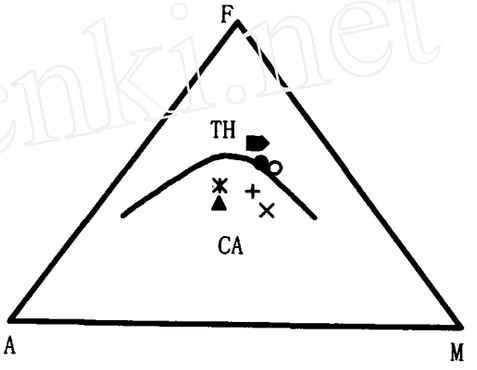


图4 AFM图解(图例同图3)

TH-拉斑系列；CA-钙碱性系列

Fig. 4 AFM plot for the amphibolites

4 斜长角闪岩地球化学

4.1 主元素变化特征

南山岩带斜长角闪岩主要化学成分见表1。SiO_2含量在46%～53%之间，变化范围较为稳定。Al_2O_3含量变化范围在11.82%～13.96%之间，贫Al；CaO含量变化范围较大，碳酸盐岩蚀变及绢云母化程度的差异均可明显引起CaO含量的变化。TiO_2含量介于0.70%～1.17%之间，有一个样品为1.33%(Jt-10)。变化范围最大的应是Na_2O和K_2O，分别从1.59%～3.72%和0.96～2.39%，其原因应归于角闪岩相变质作用使Na_2O和K_2O发生迁移致使浓度降低或发生地壳流体交代而富集。因而，Na_2O和K_2O无法准确反映原岩的化学成分。另外，拉斑系列和钙碱性系列火山岩各自的氧化物含量之间具有明显的相关性，意味着地球化学分析结果是可信的。

4.2 微量元素地球化学

微量元素地球化学特征是分析岩石成因进而推断其形成构造背景的一个重要参数。本区斜长角闪岩微量元素分析结果列于表1。作者在利用微量元素地球化学分析岩石成因时，主要选择在角闪岩相变质作用中相对稳定的元素(HFSE)，兼顾考虑活动的大离子亲石元素(LIL)的变化特征，以求获得最佳的结论。在Ti－Zr－Y图解上(Pearce，1973)，样品分别落入岛弧拉斑玄武岩和钙碱性玄武岩域内(图6)，拉斑系列的Ba/La比值为70～79，钙碱性系列的Ba/La均值为30，分别与典型的岛弧拉斑玄武岩和钙碱性玄武岩相当(Wilson，1989)。利用微量元素蛛网图判别玄武岩

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

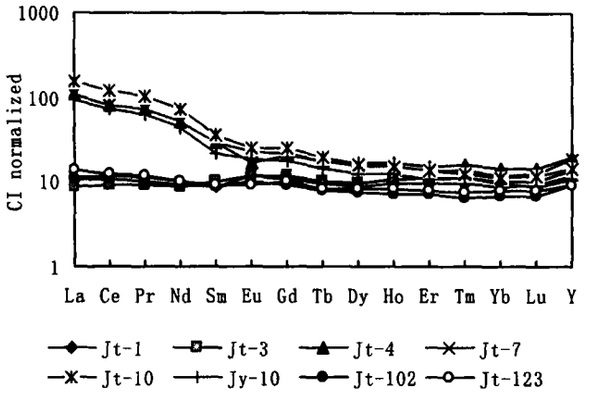


图 5 金塔南山岩带斜长角闪岩稀土元素配分图

Fig. 5 REE element patterns for the amphibolites from Jinta Nanshan rock zone

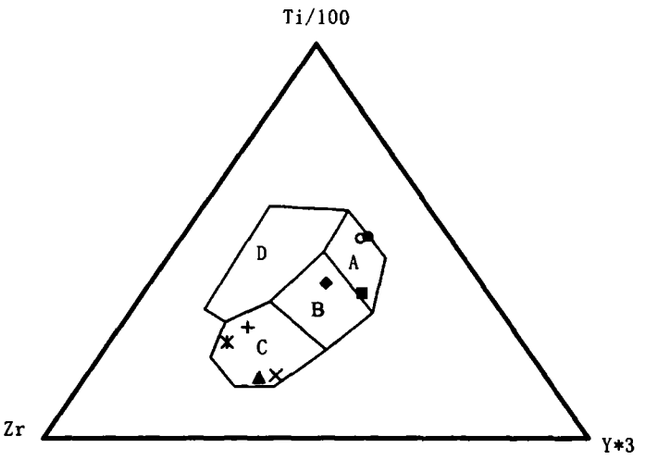


图 6 Ti－Zr－Y 图 （据 Pearce，1973）

板内玄武岩落入 D 域；洋脊玄武岩(MORB)落入 B；岛弧拉斑玄武岩落入 A 和 B；岛弧钙碱性玄武岩落入 B 和 C。

Fig. 6 Ti－Zr－Y plot for the Nanshan volcanic rocks

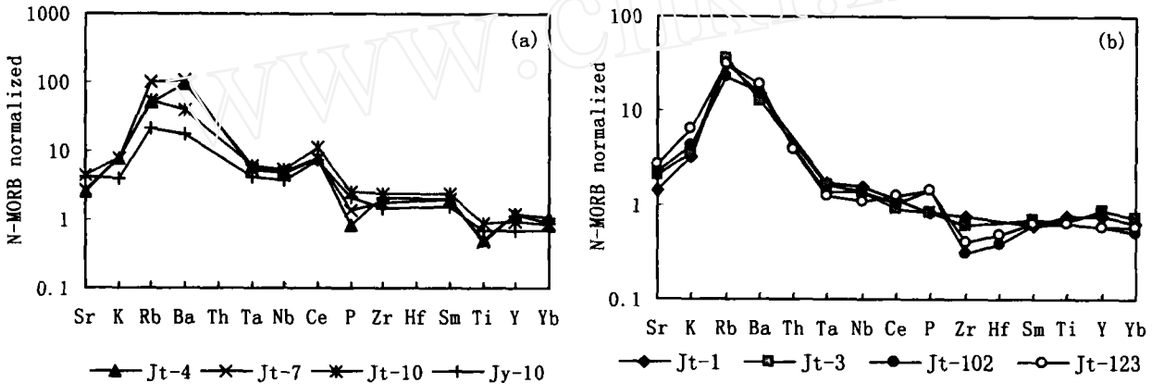


图 7 金塔南山岩带斜长角闪岩微量元素蛛网图

Fig. 7 Spiderdiagrams for the amphibolites from Jinta Nanshan rock zone

形成的大地构造背景，主要是分析其配分曲线的斜率和高场强元素（Nb、Ta、Ti、Zr、Hf 等）异常变化（Pearce，1984，Saunder *et al.* 1984，Condie，1997）所反映的岩浆作用过程。微量元素地球化学分析结果（表 1）及配分曲线特征显示了金塔南山斜长角闪岩均富集强不相容元素，配分曲线整体右倾（图 7）。尽管角闪岩相变质作用及后期的蚀变作用会导致大离子亲石元素浓度的变化，但是，样品（Jt-7，Jt-4）为变质程度较浅的变玄武岩和变安山岩表现为与其它斜长角闪岩雷同的配分趋势。因此，可以认为本区样品是以富集强不相容元素为特征。但在特征元素上，不同的样品存在着差异性：钙碱性玄武岩（图 7a）显示了 Nb、Ta、Ti 明显负异常的特征，这与典型的岛弧钙碱性玄武岩的标志（Condie，1997，Saunder *et al.*，1984，Pearce，1984）相一致；而拉斑系列岩石的配分曲线（图 7b）从 Ta 到 Yb 略显右倾，反映了其原岩为地幔部分熔融程度较高的产物，Nb 为小的负异常到无异常，Zr、Hf 弱负异常到较明显的负异常，Th/Ta＞3，Nb、Ta 无异常，Zr、Hf 相对亏损，这可能是本类原岩源区地幔在部分熔融之前曾发生过交代作用（角闪石，白云母），富集了 Sm、(Nd)、Ti、Ta、Nb（Thirlwall *et al.*，1994，Hofmann，1988），而 Zr、Hf 的浓度相对降低（对角闪石来说，KSm≫KZr≫KHf）（Thirlwall *et al.*，1994）的结果。在整体特征上接近于岛弧拉斑玄武岩的特征。

4.3 稀土元素地球化学

本研究区的斜长角闪岩稀土元素配分型式显平坦型到 LREE 富集，HREE 大多表现为近平行的分布曲线（图 5）。拉斑系列岩石（Jt-1、Jt-3、Jt-102、Jt-123）的轻稀土元素为弱亏损到略富集，$(La/Yb)_N=0.86\sim1.73$，$(La/Sm)_N=0.86\sim$

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.49，较典型的 N-MORB 富集；δEu=0.96～1.20，为轻微的 Eu 正异常，反映其原岩为部分熔融程度较高且未经斜长石分异的玄武质岩浆固结的产物。ΣREE 含量为球粒陨石的 11 倍，HREE 含量与 N-MORB 相当。LREE 较 N-MORB 的富集可能与某些地质流体（如俯冲流体）加入源区有关。上述 REE 配分曲线和 ΣREE 含量与典型的岛弧拉斑玄武岩相当（Wilson，1988，P178）。钙碱性玄武岩（Jt-4、Jt-7、Jt-10、Jy-10）LREE 明显富集，$(La/Yb)_N=7.49\sim13.88$，$(La/Sm)_N=3.78\sim4.34$；HREE 略右倾，$(Gd/Yb)_N=1.41\sim2.26$（图 5），δEu=0.68～0.96，表明在岩浆作用过程中发生过斜长石分离结晶作用。ΣREE 含量为球粒陨石的约 11 倍。稀土元素配分的整体特征基本上与钙碱性岛弧玄武岩雷同（Wilson，1989），与拉斑系列玄武岩相比，则源区地幔的部分熔融程度相对较低。稀土元素地球化学的变化特征反映了岛弧岩浆作用向成熟方向的演化过程。

4.4 同位素地球化学

斜长角闪岩 Sm-Nd 同位素分析结果见表 2。$I_{Nd}(t)=0.51193\pm6$（2σ），$\varepsilon_{Nd}(t)=+3.88\sim6.60$，均值为 5.05，表明原岩来源于亏损的地幔源区。现代大洋中脊玄武岩 ε_{Nd} 值变化范围大约为 +7～+13，平均为 +10；岛弧玄武岩 ε_{Nd} 值 <+10，绝大部分介于 +3.1～+9 之间（Wilson，1989，Depaolo，1988，Morris *et al.* 1983）。结合本区岩石微量元素、稀土元素地球化学特征，可以认为原岩应为火山弧岩浆作用的产物。

表 2 斜长角闪石的 Sm-Nd 同位素分析结果

Table 2 Sm-Nd isotopic composition of the amphibolites

样品号	Sm(μg/g)	Nd(μg/g)	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd\pm2\sigma$	$I_{Nd}(t)$	$\varepsilon_{Nd}(t)$	$\varepsilon_{Nd}(0)$	T_{DM}(Ma)	T(等时线年龄)
Jt-15	2.035	7.075	0.1755	0.512872±5	0.512048	6.6	4.55	1109	
Jt-16	1.789	5.802	0.1865	0.512787±6	0.511876	3.88	2.9	2027	
Jt-17	1.957	6.191	0.1912	0.512871±37	0.511937	5.08	4.54	1884	
									745±59(2σ)Ma
Jt-18	1.793	5.691	0.1906	0.512857±5	0.511926	4.88	4.27	1927	
Jt-19	3.123	11.351	0.1664	0.512748±5	0.511936	5.04	2.14	1294	
Jt-20	8.173	34.031	0.1453	0.512634±6	0.511924	4.83	−0.07	1149	

注：Sm-Nd 同位素分析结果由中国地质科学院地质研究所测定获得。

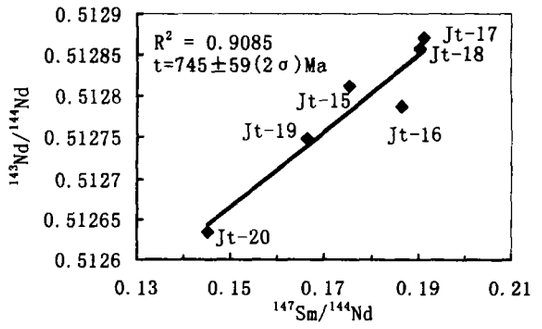


图 8 金塔南山斜长角闪岩全岩 Sm-Nd 等时线年龄图

Fig. 8 Sm-Nd isochron plot for the amphibolites from Jinta Nanshan

由于 Sm、Nd 都是稀土元素，地球化学性质类似，Sm-Nd 同位素系统具有强抗变质和蚀变能力，因此在绝大多数情况下，岩石变质程度达到麻粒岩相时，Sm-Nd 同位素系统也基本保持不变。与本区相邻的小姑山斜长角闪岩 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 等时线年龄为 316.8±0.2Ma，代表其变质年龄（王廷印等，待刊），结合区域地质特征，本区斜长角闪岩全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 749±59 Ma（图 8），可代表斜长角闪岩原岩的形成年龄。

综上所述，本区斜长角闪岩原岩应为新元古代中期岛弧岩浆作用的产物，地幔源区在部分熔融之前曾发生过局部交代富集作用而表现为不均一性。拉斑系列和钙碱性玄武岩的组合反映了金塔南山岛弧不断成熟的演化过程。

5 大地构造意义

金塔南山岩带位于华北克拉通北缘西段，与阿尔金断裂带相连，被认为是华北克拉通和塔里木克拉通之间的分界线（王廷印等，1994；汤中立等，2000；Wang *et al.*，1994）。因此，本岩带构造岩浆属性的确定有助于理解华北地块和塔里木地块之间的关系及其构造演化，对于探索大陆动力学过程无疑是十分重要的。

中国西部主要的前寒武纪地块在经历了中元古代较长的稳定构造状态后，在全球新元古代超大陆旋回的汇聚机制

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

影响下，开始发生突发性变异。阿尔金断裂的岩石构造研究结果表明，华北地块与塔里木地块在新元古代时期逐渐汇聚（于海峰等，1998）。本区斜长角闪岩的原岩为新元古代中期岛弧系统岩浆作用的产物，提示在新元古代中期，塔里木地块与华北地块之间的古大洋继续发生俯冲消减作用形成了一系列相应的弧-沟-盆系统，并孕育了许多重要的成矿带（汤中立等，2000）。因此，被视为岛弧系统岩浆作用的产物——金塔南山岩带与华北地块北缘西段的构造演化史（汤中立等，2000）是一致的。由于本区构造作用十分复杂，目前仍不能确定这些岛弧岩浆作用的产物是原地的还是异地通过（走滑）断层作用移置而来的，但其构造变形及其与阿尔金断裂的比较研究（王金荣等，待刊；黄华芳等，1994；于海峰等，1998）表明，金塔南山岩带向西应并入阿尔金断裂带，两者应具有类似的构造动力学过程，断裂作用是在古洋盆汇聚带的基础上不断演化而来的。

致谢 在本文写作过程中张旗研究员提出许多有益的建议，在此表示诚挚的谢意。

References

Condie K C. 1997. Sources of Proterozoic mafic dyke swarms: constraints from Th/Ta and La/Yb ratios. Precambrian Research. 81:3－14

Depaolo D J. 1988. Neodymium isotope geochemistry. Springer, New York. 183p

Hofmann A W. 1988. Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle and continental crust, and oceanic crust. Earth Planet. Sci. Lett., 90: 297－314

Hole M J, Saunders A D, Marriner G F and Tarney J. 1984. Subduction of pelagic sediments: implications for the origin of Ce-anomalous basalts from the Mariana Islands. J. Geol. Soc. London, 141: 453－473

Huang Huafang, Wang Jinrong. 1994. Tectonic evolution and oil-gas occurrence of orogenic-typed basins. Lanzhou: Lanzhou University Press, 90－125 (in Chinese with English abstract)

Macdonald R, Hawkesworth C J and Heath E. 2000. The Lesser Antilles volcanic chain: a study in arc magmatism. Earth-Science Reviews. 49:1－76

Misra S N. 1971. Chemical distinction of high-grade ortho- and para-metabasite. Norsk Geologisk Tidsskrift. 51: 311－316

Morris J D and Hart S R.. 1983. Isotopic and incompatible element constraints on the genesis of island arc volcanics from Cold Bay and Amak Island, Aleutians, and implication for structure. Geochim. Cosmochim. Acta. 47:2015－2035

Pearce J A, Lippard S J and Roberts S. 1984. Characteristics and tectonic significance of super-subduction zone ophiolites. In: Kokelaar B P and Howells M F (eds.). Marginal Basin Geology. Geol. Soc. Spec. Pub., 16: 77－96

Pearce J A, and Cann J R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. Earth Planet. Sci. Lett., 19:290－300

Saunders A D and Tarney J. 1984. Geochemical characteristics of basaltic volcanism within back-arc basins. In: Kokelaar B P and Howells M F (eds.). Marginal Basin Geology. Geol. Soc. Spec. Pub., 16: 59－76

Tang zhongli and Bai Yunlai. 2000. The geotectonic setting of the large and superlarge mineral deposits in the southwest margin of North China paleoplate. Acta Geologica Gansu. 9: (1): 1－15 (in Chinese with English abstract)

Thirlwall M F, Smith T E, Graham A M, Theodorou N, Holings P, Davidson J P and Arculus R J. 1994. Highfield strength element anomalies in arc lavas: source or process? Journal of Petrology, 35: 819－838

Wang Jinrong, Zhai Minwei, Wang Tingyin and Gao Junping. 2002. Tectonic deformation and its implications of Jinta Nanshan, Gansu Province. Journal of Lanzhou University, 38(1):122－126

Wang Tingyin, Wang Jinrong, Wang Shizhen and Wu Jiahong. 1994. Relationships between the North China Plate and the Tarim Plate. Acta Geologica Sinica, 7: 109－122

Wang Tingyin, Wang Shizhen and Wang Jinrong. 1994. The formation and evolution of the Paleozoic continental crust in Alaxa Region. Lanzhou: Lanzhou University Press, 4－32 (in Chinese with English abstract)

Wilson M. 1989. Igneous petrogenesis. London: The academic division of Unwin Hyman Ltd.

Winchester J A and Floyd P A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chem. Geol., 20:325－343

Yu Haifeng, Lu Songnian, Zhao Fengqing, Zheng Jiankang. 1998. Litho-structural evidences of ancient Altyn Tagh and its significance. Progress in Precambrian Research. 21(4):10－15

Zhao Zhenghua. 1997. Principle of trace element geochemistry. Beijing: Science Press, 65－68 (in Chinese)

附中文参考文献

黄华芳，王金荣. 1994. 造山型盆地构造演化与油气赋存. 兰州：兰州大学出版社，90－125

汤中立，白云来. 2000. 华北板块西南缘大型、超大型矿床的地质构造背景. 甘肃地质学报. 9(1): 1－15

王金荣，翟新伟，王廷印，高军平. 2002. 甘肃金塔南山构造变形及其地质意义. 兰州大学学报，38(1):122～126

王廷印，王士政，王金荣. 1994. 阿拉善地区古生代陆壳的形成和演化. 兰州：兰州大学出版社，4－32

于海峰，陆松年，赵风清，郑健康. 1998. 古阿尔金断裂的岩石构造依据及意义. 前寒武纪研究进展. 21(4):10－15

赵华. 1997. 微量元素地球化学原理. 北京：科学出版社，65－68

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net