

阿尔金山西段巴什库尔干群斜长角闪岩 地球化学特征及构造意义

覃小锋^{1,2}, 夏 斌¹, 李 江², 陆济璞²,
许 华², 周府生², 胡贵昂², 李 乾²

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640; 2. 广西区域地质调查研究院, 广西桂林 541003)

摘要: 长城系巴什库尔干群斜长角闪岩主要分布于阿尔金构造带西段北缘, 一般呈似层状、透镜体状夹于云母石英片岩、变粒岩、石英岩、黑云二长片麻岩、大理岩等中。通过岩石学、岩石化学、微量元素和稀土元素地球化学研究表明, 该斜长角闪岩的原岩为中-基性火山岩类, 并形成于两种构造环境: 一种斜长角闪岩的球粒陨石标准化配分曲线显示出 LREE 明显富集, 具有类似大陆(板内)裂谷火山岩特有的稀土元素组成特征; 另一种斜长角闪岩的球粒陨石标准化配分曲线呈略富集(近平坦)型, 与洋中脊玄武岩类非常相似。表明在长城纪时期, 阿尔金构造带西段北缘主要处于板内大陆裂谷环境, 随着大陆裂谷的进一步扩张, 局部地区已形成初始洋盆环境。

关键词: 斜长角闪岩; 巴什库尔干群; 地球化学; 阿尔金山西段

中图分类号: P588.14; P595 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2007)03-0227-07

Geochemical Characters and Tectonic Significance of Amphibolite of Baxkorgan Group in Western Segment of Altun Mountains

QIN Xiao feng^{1,2}, XIA Bin¹, LI Jiang², LU Ji pu²,
XU Hua², ZHOU Fu sheng², HU Gui ang², LI Qian²

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China;

2. Guangxi Institute of Regional Geological Survey, Guilin 541003, Guangxi, China)

Abstract Amphibolites of Bashenkuergan Group of Changchengian System mainly distribute in the northern margin of the western segment of Altun tectonic belt. They occur in mica quartz schist, granulite, quartzite, biotite feldspathic gneiss, marble and so on in the layer like and lense like shapes. On the basis of detailed researches on petrology, petrochemistry and geochemistry of REE and trace elements, the protolith of amphibolites are neutral basic volcanic rocks, and two types of amphibolites have been recognized from Bashenkuergan Group in the western segment of Altun mountains. The protolith of type 1 rocks is characterized by the light REE enriched pattern with $(La/Yb)_N$ being 3.04~5.68 and ΣEu 0.79~0.93. This may indicate that amphibolites are similar to continental (intraplate) rift basalt. The protolith of type 2 rocks is basalt which might have been formed in the mid ocean ridge. The amphibolites have the flat REE pattern similar to that of E type MORB with $(La/Yb)_N$ being 1.87~1.96 and ΣEu 0.89~0.91. Thus, it is considered that the northern margin of the western segment of Altun tectonic belt was mainly in the tectonic setting of continental (intraplate) rift during the Changchengian Period and a primary ocean basin was formed locally in company with the further spreading of continental rift.

Key words: amphibolite; Baxkorgan group; geochemistry; western segment of Altun mountains

收稿日期: 2006-09-28

基金项目: 中国地质调查局项目(19991300008091)

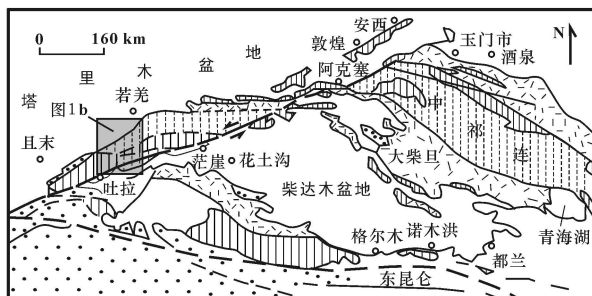
作者简介: 覃小锋(1969), 男, 广西岑溪人, 高级工程师, 博士研究生, 从事区域地质、矿产调查及研究。E-mail: qinxiaofeng@263.net

0 引言

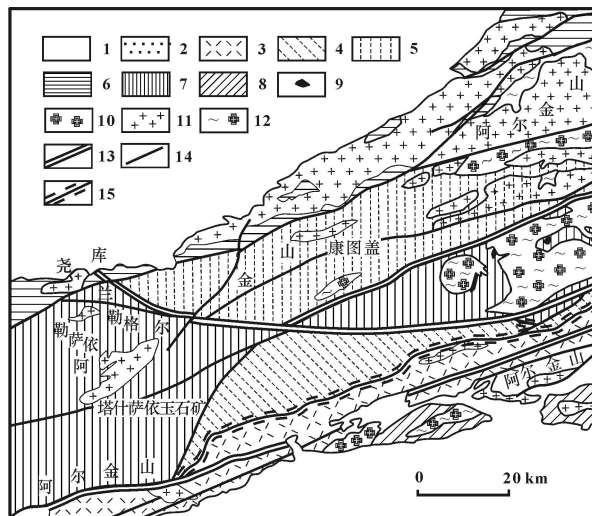
阿尔金山地处青藏高原北缘、塔里木板块与华南扬子板块的交接部位。由于阿尔金山在中国西北部大地构造中所处的关键位置,其两侧构造单元存在巨大差异,一些重要的构造线(如高压变质岩带和蛇绿岩带等)至阿尔金山都突然终止,或者改变方向,因而一直成为中外学者关注的焦点^[1]。由于特殊的地理位置和恶劣的气候条件,阿尔金山仍然是中国西部地质矿产研究程度较低的地区之一,前人对本区前寒武纪地质构造格架、大地构造属性以及岩石组成的认识一直存在较大分歧^[1-17]。近年来,在本区开展区域地质调查中发现,前人认为仅遭受绿片岩相变质作用改造的长城系巴什库尔干群的岩石组成非常复杂,变质程度较深,岩石中普遍出现矽线石、蓝晶石、十字石等特征变质矿物,变质程度达绿片岩-角闪岩相,且岩石受变形作用改造也较强烈。^[18]因此,该套变质岩系的岩石组合特征及其代表的大地构造意义必须进行重新解释。笔者着重从岩石地球化学角度对长城系巴什库尔干群斜长角闪岩进行系统研究,试图为阿尔金山构造带西段北缘早前寒武纪地质演化研究提供岩石地球化学约束条件。

1 地质概况

阿尔金山构造带西段可划分为北阿尔金地块、中阿尔金地块和南阿尔金地块 3 个次级构造单元^[18]。长城系巴什库尔干群主要分布于北阿尔金地块北缘(图 1),是一套遭受强烈变形变质作用改造的云母石英片岩、片麻岩、变粒岩、长石石英岩、浅粒岩、大理岩夹糜棱岩化变质中基性火山岩、火山碎屑岩的变质岩系,其变质程度相当于绿片岩-角闪岩相,与阿尔金山岩群、蓟县系塔普达坂岩群呈断层接触。根据岩性组合特征自下往上可划分为扎斯勒赛河组、红柳泉组和贝克滩组。扎斯勒赛河组主要分布于若羌县阿拉库力萨依-若羌河一带,下部为含石榴矽线长石黑云石英片岩、斜长云母石英片岩、斜长绿泥白云母石英片岩夹斜长角闪岩、糜棱岩化变质中基性-中酸性火山岩和少量白云质大理岩等;中部为黑云斜长糜棱片麻岩、黑云二长片麻岩、石榴黑云斜长片麻岩、黑云变粒岩、石榴黑云斜长变粒岩夹斜长角闪岩、透辉角闪岩、矽线斜长黑云片岩和少量透辉钾长变粒岩、大理



a-阿尔金山构造带西段位置图



b-阿尔金山构造带西段地质图

- 1- 新生界; 2- 中生界; 3- 下古生界; 4- 青白口系索尔库里群; 5- 蓟县系塔普达坂群; 6- 长城系巴什库尔干群; 7- 新太古界-古元古界阿尔金杂岩; 8- 新太古界-古元古界金水口岩群; 9- 超基性岩; 10- 海西期岩体; 11- 加里东期岩体; 12- 新元古代花岗质片麻岩; 13- 复合型深大断裂; 14- 一般断层; 15- 韧性断层

图 1 阿尔金山构造带西段略图

Fig.1 Geological Sketch Map of the Western Segment of Altun Mountains Tectonic Belt

岩,局部夹变质细砂岩、含碳细砂岩、变质火山角砾岩;上部为含矽线石榴斜长黑云石英片岩、含石榴黑云透闪二长变粒岩夹含黑云矽线长石石英岩和少量斜长角闪岩透镜体。红柳泉组主要分布于阿拉库力萨依、若羌河一带,主要由劈理化浅粒岩、白云母长石石英岩夹黑云变粒岩、白云质大理岩及斜长角闪岩、黑云片岩等岩石组成。贝克滩组零星分布于尧勒萨依、塔木其、若羌河一带,主要岩性为石榴斜长黑云石英片岩、含石榴矽线斜长二云片岩、厚层块状大理岩、白云质大理岩、黑云变粒岩。

2 岩石学特征

长城系巴什库尔干群的斜长角闪岩主要分布于扎斯勒赛河组中,一般呈宽窄不一的似层状、透

镜体状夹于云母石英片岩、变粒岩、石英岩、黑云二长片麻岩、大理岩、糜棱片麻岩、石英糜棱岩中(图2)。主要岩石类型有(黑云)斜长角闪岩和透辉斜长角闪岩等。

2.1 (黑云)斜长角闪岩

该岩呈灰-深灰色,具片麻状构造,中-细粒柱粒状变晶结构,主要由斜长石(15%~55%)、角闪石(35%~56%)、黑云母(1%~20%)、石英(1%~20%)和少量普通辉石、绿泥石、斜黧帘石、透闪石等矿物组成。斜长石呈近等轴粒状,少数具板柱状外形,粒度为0.5~2.0 mm,牌号多在An 47~68;普通角闪石呈柱状晶形,粒度为0.5~5.0 mm,多数为1.0~2.5 mm,其长轴略具定向性排列;黑云母往往呈细粒鳞片状,常与普通角闪石相伴定向分布形成片麻状构造;偶尔出现的普通辉石多已被透闪石取代。

2.2 透辉斜长角闪岩

该岩往往与长石石英岩相伴分布。岩石具片麻状构造,中-细粒粒状变晶结构,主要由普通角闪石(40%)、微斜长石(10%)、斜长石(28%)、透辉石(15%)和少量的绿帘石(2%)、榍石(2%~3%)等矿物组成。角闪石外形不规则,粒度为0.2~3.0 mm,以0.5~1.0 mm者居多;长石呈近等轴状,其中斜长石粒度较均匀,多在0.8 mm以下,而部分钾长石粒度可达1.5 mm;透辉石外形上多呈不规则状,粒度多为0.5~1.2 mm,往往在局部岩石中聚集分布,并常与角闪石交生。

2.3 斜黧帘透辉透闪石岩

该岩常呈夹层状夹于斜长黑云石英片岩、变粒岩中,岩石具块状或片麻状构造,它形柱粒状变晶

结构,主要由透闪石(30%~36%)、透辉石(20%~22%)、斜黧帘石(20%~22%)、斜长石(8%~10%)、石英(10%~12%)和少量的绿泥石、黑云母等矿物组成。它形不规则状透闪石和透辉石粒度多为0.2~2.0 mm,二者常紧密共生,较大的晶粒内往往包嵌有细小的钾长石、石英等矿物包裹体;斜黧帘石多呈它形粒状,粒度多为0.2~0.5 mm,其往往与黑云母聚集分布,形成宽0.5~2.0 mm的条带,石英、斜长石等矿物往往不均匀地分布于条带中。在透闪石和斜黧帘石矿物颗粒中有时偶见角闪石矿物残留,说明其可能是由(透辉)斜长角闪岩退变质形成的岩石类型。

3 地球化学特征

在长城系巴什库尔干群中共采集了5个斜长角闪岩样品,送武汉综合岩矿测试中心测试,其中主量元素用X荧光光谱法(XRF)分析,微量元素和稀土元素用ICP-AES方法分析,分析结果见表1~3。

3.1 原岩恢复及分类

在 $(al+fm)-(c+alk)-Si$ 图解^[19](图3)中,除5号样品落入火山岩区边部外,其他样品均落入火山岩区;在 $(Al+\sum Fe+Ti)-(Ca+Mg)$ 图解^[20](图4)中,1、3、5号样品落入基性火成岩区(I),2、4号样品落入中性火山岩、基性火山杂砂岩和含粘土质的沉凝灰岩和凝灰岩区(III);在 $w(K_2O+Na_2O)-w(MgO)-w(FeO^*)$ 图解^[21]上除4号样品落入钙碱性玄武岩区外,其他样品皆落在拉斑玄武岩区(图5)。由此表明,这套样品基本属于拉斑玄武岩系列的演化趋势。在 $w(Nb/Y)-w(Zr/TiO_2)$ 分

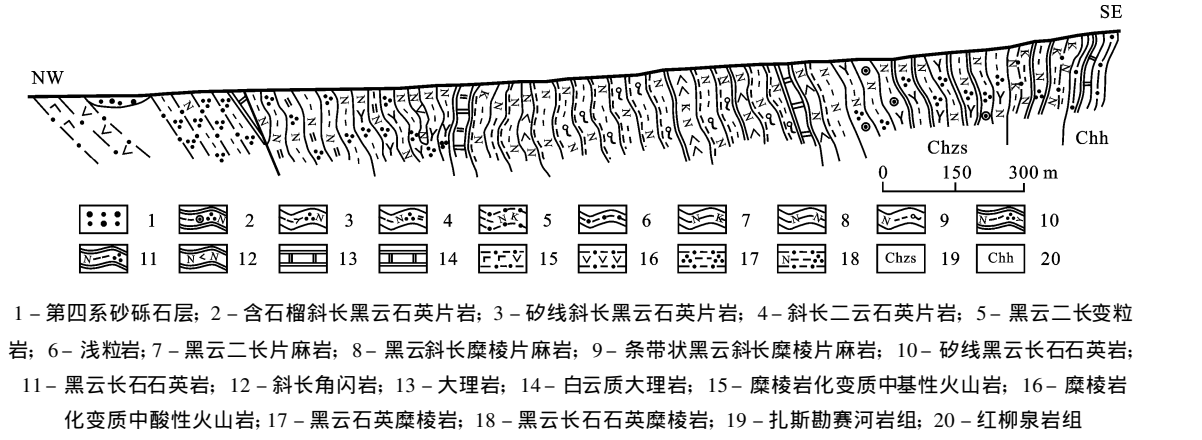


图2 若羌县阿拉库力萨依长城系巴什库尔干群实测剖面

表 1 斜长角闪岩的化学成分分析结果

Tab. 1 Chemical Composition Analytic Data of Amphibolites $w_B/\%$

序号	样品号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	CO ₂	总和
1	3123 2	51.07	1.79	13.99	1.44	12.43	9.06	5.45	0.21	0.94	0.71	0.21	2.01	0.22	0.41	99.94
2	3125 1	55.85	1.01	13.58	3.51	6.90	8.78	4.78	0.34	2.04	0.58	0.12	2.03	0.25	0.10	99.87
3	3127 1	50.09	0.92	16.11	2.01	7.37	10.69	6.92	0.18	0.64	2.64	0.16	1.84	0.21	0.14	99.92
4	7005 1	58.22	0.92	17.05	0.83	4.93	6.26	4.27	0.09	2.09	3.25	0.19	1.42	0.61	0.15	100.3
5	7078 1	48.66	2.07	12.70	1.50	13.70	8.05	5.71	0.23	1.16	1.06	0.19	2.53	0.28	2.14	99.98

表 2 斜长角闪岩的微量元素分析结果

Tab. 2 Microelement Analytic Data of Amphibolites $w_B/10^{-6}$

序号	样品号	Li	Be	Nb	Sc	Zr	Th	Sr	Ba	V	Co	Cr	Ni	Cu	Pb	Zn	Rb	Hf	Ga	U	Ta
1	3123 2	32.7	5.6	12.8	39.8	151	2.7	103	85	404.7	47.4	46.9	52.5	156	35.9	128	53.9	5.1	15.4	0.8	<0.5
2	3125 1	48.5	2.7	16.3	34.2	126	3.8	63	426	235.8	35.3	189	68.9	157.69	1	196	130.9	4.3	7.3	2	<0.5
3	3127 1	40.6	1.4	9.3	32.6	111	1.5	243	213	202.8	30.8	204	42.3	234.53	4	84	31.8	3.1	11	1.8	<0.5
4	7005 1	119.1	1.9	16.8	17	209	5.6	331	495	112.7	18.2	87.3	70.9	35.722		68	103.7	5.9	15.3	2	2.1
5	7078 1	40.3	2.6	12.7	43.4	162	2.7	157	157	443	54.5	99.9	60.7	218	41.4	150	82.4	5.1	19.9	1.4	<0.5

表 3 斜长角闪岩的稀土元素分析结果

Tab. 3 Rare Earth Element Analytic Data of Amphibolites $w_B/10^{-6}$

序号	样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	δEu	δCe	(La/Yb) _N
1	3123 2	9.62	24.39	3.54	16.22	4.72	1.5	5.6	0.97	5.97	1.17	3.6	0.55	3.46	0.52	31.72	113.55	0.89	1.01	1.87
2	3125 1	14.09	30.41	4.29	16.9	4.06	1.08	4.2	0.73	4.45	0.9	2.78	0.46	3.12	0.46	24.1	112.03	0.79	0.93	3.04
3	3127 1	14.7	31.75	4.19	16.75	3.79	1.18	3.91	0.67	3.97	0.78	2.35	0.37	2.43	0.36	21.46	108.66	0.93	0.96	4.08
4	7005 1	17.03	35.21	4.72	19.95	4.91	1.27	4.68	0.73	4.07	0.75	2.15	0.32	2.02	0.3	20.85	118.96	0.8	0.93	5.68
5	7078 1	12.51	28.07	4.15	18.44	4.93	1.65	6.2	1.1	6.78	1.4	4.33	0.68	4.31	0.65	38.42	133.62	0.91	0.93	1.96

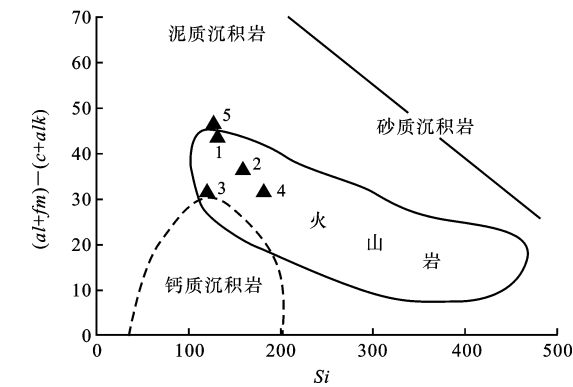


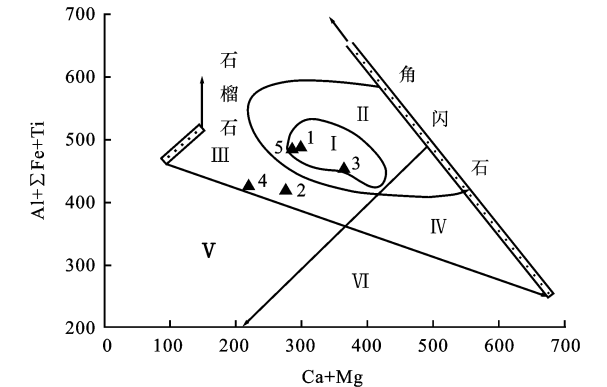
图 3 $(at+fm)-(c+alk)-Si$ 图解

Fig. 3 $(at+fm)-(c+alk)-Si$ Diagram
类图^[22]中 1、3、5 号样品落入亚碱性玄武岩区, 2、4 号样品落入碱性玄武岩区(图 6)。

综上所述, 其原岩属于基性、中基性火山岩类(玄武岩、玄武安山岩等)。

3. 2 主量元素特征

斜长角闪岩的主要氧化物质量分数分别是:

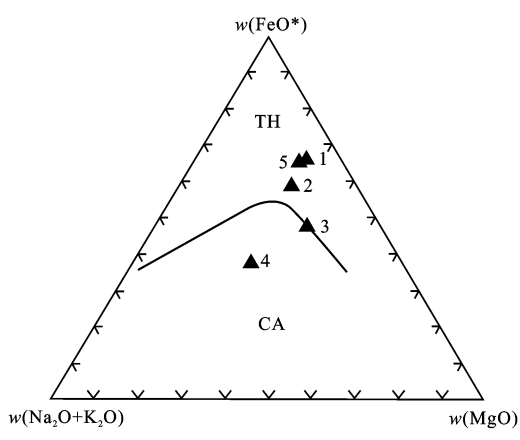


I - 碱性火山岩; II - 碱性火成岩及其变岩区; III- 中性火成岩、碱性火山杂岩和含有粘土质的沉凝灰岩和凝灰岩区; IV - 含有碳酸盐物质的沉凝灰岩和凝灰岩区; V - 粘土、泥岩、粉砂岩、长石砂岩和泥灰质砂岩区; VI - 粘土质、白云质和钙质泥灰岩区

图 4 $(Al+\sum Fe+Ti)-(Ca+Mg)$ 图解

Fig. 4 $(Al+\sum Fe+Ti)-(Ca+Mg)$ Diagram

$w(SiO_2)$ 48.66%~58.22%, 平均 52.78%, 总体属于中基性岩类; 全铁 $w(FeO+0.899\times Fe_2O_3)$ 5.68%~



TH – 拉斑玄武岩区; CA – 钙碱性玄武岩区
图 5 $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - w(\text{MgO}) - w(\text{FeO}^*)$ 图解
Fig. 5 $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - w(\text{MgO}) - w(\text{FeO}^*)$ Diagram

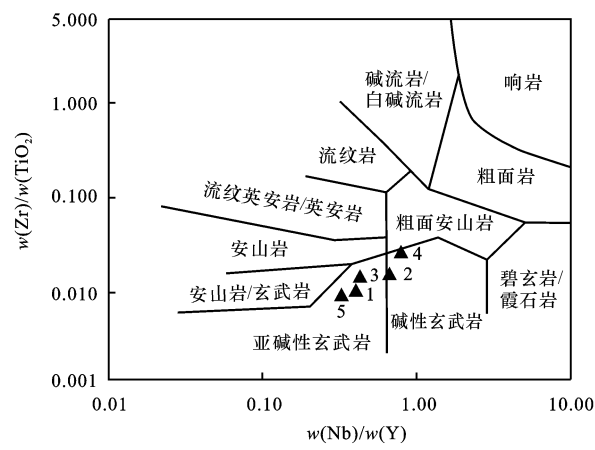


图 6 $w(\text{Nb})/w(\text{Y}) - w(\text{Zr})/w(\text{TiO}_2)$ 分类图
Fig. 6 $w(\text{Nb})/w(\text{Y}) - w(\text{Zr})/w(\text{TiO}_2)$ Diagram

157.05%, 平均 10.74%; $w(\text{CaO})$ 6.26% ~ 10.69%, 平均 8.57%; $w(\text{MgO})$ 4.27% ~ 6.92%, 平均 5.43%, 多数岩石的镁值 ($Mg^\# = 100 \times [w(\text{MgO}) / (w(\text{MgO}) + w(\text{FeO}) + 0.899 \times w(\text{Fe}_2\text{O}_3))]$), 低 (28 ~ 43), 说明它们为岩浆高度演化后的产物; $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 12.70% ~ 17.05%, 平均 14.69%; 全碱的质量分数为 1.62% ~ 5.34%, 平均 3.02%; $w(\text{TiO}_2)$ 0.92% ~ 2.07%, 平均值为 1.34%。岩石均以富 $w(\text{CaO})$ 、 $w(\text{MgO})$ 和 $w(\text{FeO})$ 为特征, 且 $w(\text{FeO}) > w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$, $w(\text{CaO}) > w(\text{MgO})$ 。

3.3 微量元素特征

从表 2 和图 7 中可以看出, 巴什库尔干群斜长角闪岩的微量元素较复杂, 其中 1、5 号样品 (3123-2、7078-1) 十分相似, 均表现为磷以前的大离子亲石元素丰度变化范围相对较宽, 相对丰度多数为 MORB 的 2 ~ 100 倍, 其他微量元素的富集程度不

强, 相对丰度多数不超过 MORB 的 2 倍, 在以 MORB 为标准的微量元素比值蛛网图上可以看出, 其模式曲线具有一定的相似性, 均具有铷、钽异常峰值和钡的亏损槽, 磷以前的元素具有较强的富集性, 而磷以后的元素富集和亏损均不明显, 其相对丰度接近于 1, 具有相对较平坦的分布型式, 与过渡型玄武岩的配分模式相似^[23]; 而其他 3 个样品亦具有一定的相似性, 在以 MORB 为标准的微量元素比值蛛网图上表现为“大隆起”型式, 除钛、钇、镱、铈和铬之外, 所有的元素都富集, 而且总体上富集程度由锶到铷逐渐增强及由铷到铬逐渐减弱, 其模式曲线与板内玄武岩十分相似^[23]。

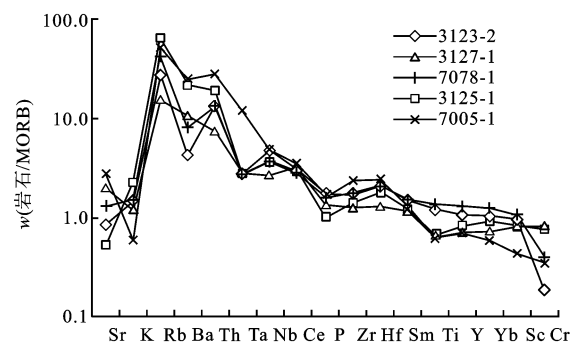


图 7 巴什库尔干群斜长角闪岩微量元素比值蛛网图解
Fig. 7 MORB Normalized Incompatible Element Spide Grams of Amphibolites of the Baxkorgan Group

3.4 稀土元素特征

表 2 表明, 巴什库尔干群斜长角闪岩的稀土总量较高 (108.66 ~ 133.62) $\times 10^{-6}$, 其中 1、5 号样品 $w(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 1.87 ~ 1.96, $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$ 为 1.09 ~ 1.12, 具微弱的 Eu 负异常, δ_{Eu} 为 0.89 ~ 0.91, 在球粒陨石标准化配分模式图上 (图 8), 显示为略富集型分布模式, 类似于 E 型 MORB 稀土

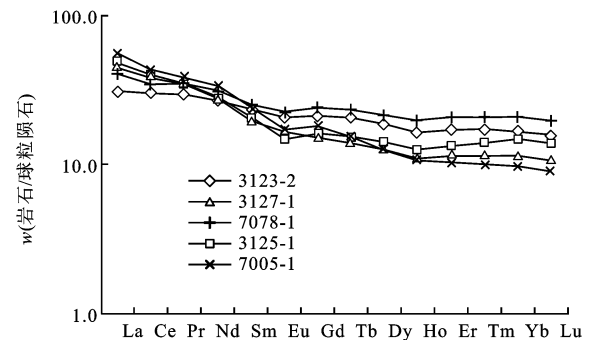


图 8 巴什库尔干群斜长角闪岩稀土配分曲线
Fig. 8 Chondrite Normalized REE Diagrams of Amphibolites of the Baxkorgan Group

元素地球化学特征;而其他 3 个样品岩石轻重稀土分馏相对较明显, $w(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 3.04 \sim 5.68$, $w(\text{LREE})/w(\text{HREE}) = 1.72 \sim 2.32$, 具弱 Eu 负异常($\delta\text{Eu} = 0.79 \sim 0.93$)以及弱 Ce 负异常($\delta\text{Ce} = 0.93 \sim 0.96$), 在图 8 中显示为轻稀土富集型。

4 构造环境判别

由于巴什库尔干群斜长角闪岩后期经历了多次的构造-热事件和变质作用的影响, 其主要元素成分也许不能很好地反映岩石形成时的构造环境, 因此, 笔者选择相对稳定的微量元素和稀土元素探讨其形成时的构造环境。微量元素和稀土元素特征分析结果表明, 1、5 号样品具过渡型玄武岩或 E-MORB 型拉斑玄武岩特征; 2~4 号样品具

板内玄武岩特征。图 9 表明, 1、5 号样品在各种图解中几乎都落入洋中脊或洋底玄武岩区; 2~4 号样品则多落入大陆(板内)玄武岩区或钙碱性玄武岩区。

5 构造意义讨论

综合地球化学分析表明, 阿尔金构造带西段北缘巴什库尔干群斜长角闪岩形成的构造环境较为复杂, 出现类型为大陆(板内)玄武岩和大洋(洋中脊)拉斑玄武岩。结合与斜长角闪岩共生的岩石组合及变形变质特征的分析表明, 在长城纪时期, 阿尔金构造带西段北缘主要处于板内大陆裂谷环境, 随着大陆裂谷的进一步扩张, 局部地区已形成初始洋盆环境。

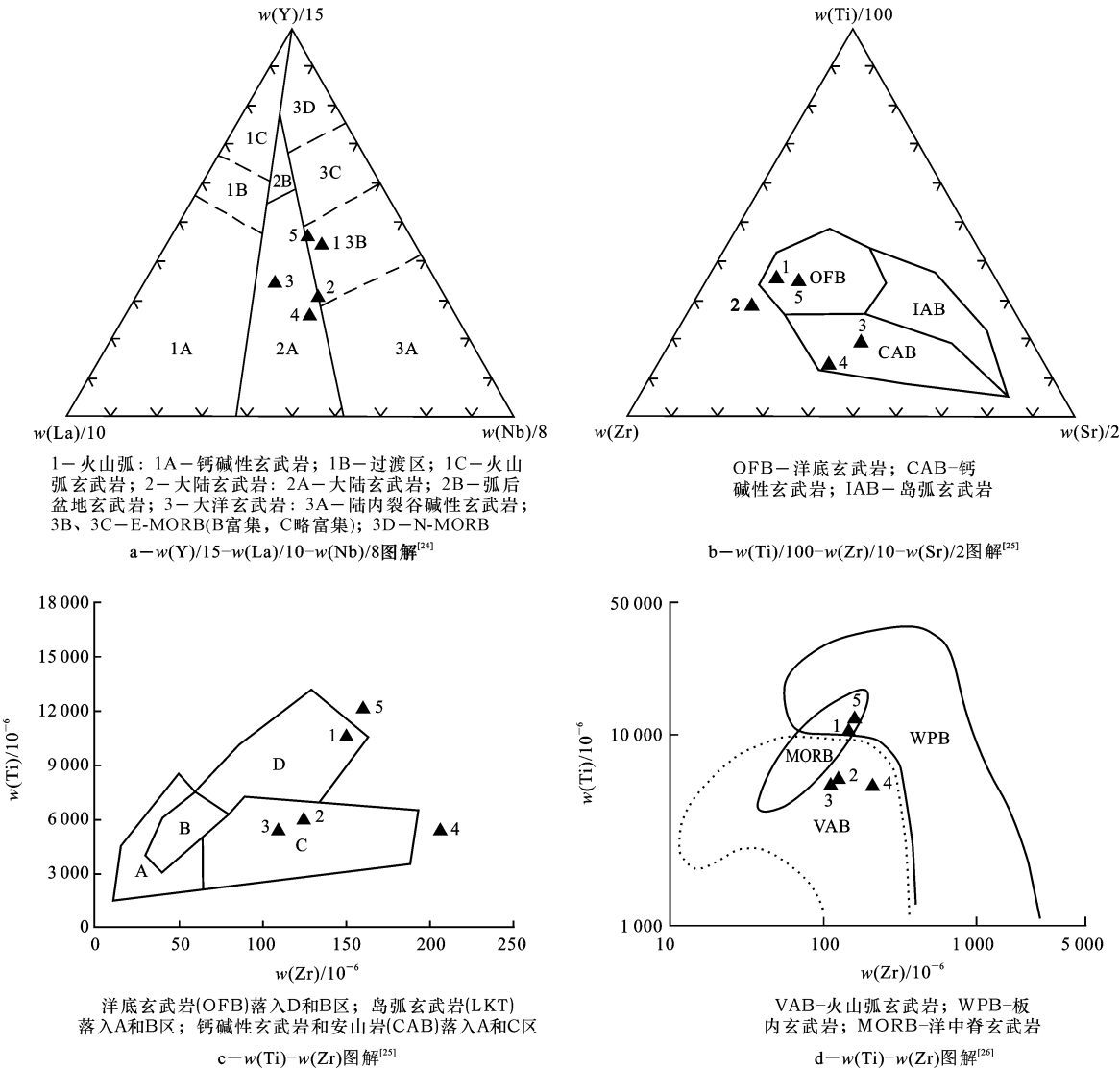


图 9 微量元素的构造环境判别图解

Fig.9 Tectonic Setting of Microelement

参与本项目的有黄宏伟、蒙有言、韦杏杰、周秋娥、龙爱林、韦盛孔、李锦诚、刘武文、赖润宁等,王汉荣教授级高工、康云骥博士以及中国地质调查局区调处与西北项目办给予了指导和支持,谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 许志琴, 杨经绥, 张建新, 等. 阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩石圈剪切机制[J]. 地质学报, 1999, 73(3): 193-204.
- [2] 郑剑东. 阿尔金山大地构造及其演化[J]. 现代地质, 1991, 5(4): 347-354.
- [3] 车自成, 刘洪福, 韩天儒, 等. 阿尔金山大地构造特征兼论塔里木板块东界[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 1992, 22(增刊): 118-124.
- [4] 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [5] 程裕淇. 中国区域地质概论[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [6] 葛肖虹, 段吉业, 李才, 等. 阿尔金断裂与西北大地构造格局的新认识[C] //肖庆辉. 地球科学进展. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996.
- [7] 葛肖虹, 张梅生, 刘永江, 等. 阿尔金断裂研究的科学问题与研究思路[J]. 现代地质, 1998, 12(3): 295-301.
- [8] 于海峰, 陆松年, 梅华林, 等. 中国西部元古代榴辉岩花岗岩带和深层次韧性剪切带特征及其大陆再造意义[J]. 岩石学报, 1998, 15(4): 532-538.
- [9] 刘良, 车自成, 罗金海, 等. 阿尔金山西段榴辉岩的确定及其地质意义[J]. 科学通报, 1996, 41(16): 1485-1488.
- [10] 崔军文, 赖绍聪, 唐哲民, 等. 阿尔金山早古生代板块构造[C] //许志琴, 任玉峰, 邱小平. 第30届国际地质大会论文集(造山带地质填图). 北京: 地质出版社, 1999.
- [11] 刘良, 车自成, 王焰, 等. 阿尔金高压变质岩带的特征及其构造意义[J]. 岩石学报, 1999, 15(1): 57-63.
- [12] 李侠. 阿尔金构造带形成机制探讨[J]. 长安大学学报: 地球科学版, 2003, 25(1): 7-10.
- [13] 崔军文, 唐哲明, 邓晋福, 等. 阿尔金断裂系[M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [14] Zhang J X, Zhang Z M, Xu Z Q, et al. The Ages of U Pb and Sm Nd Zircon from the Western Segment of Altyn Tagh Tectonic Belt[J]. Chinese Sciences Bulletin, 1999, 44(24): 2256-2259.
- [15] Zhang J X, Zhang Z M, Xu Z Q, et al. Petrology and Geochronology of Eclogite from the Western Segment of the Altyn Tagh, Northwestern China[J]. Lithos, 2001, 56: 187-206.
- [16] Liu Liang, Che Zicheng, Wang Yan, et al. A Discussion on the Structure and Tectonic Evolution of the Altyn Tagh Orogenic Zone[J]. Earth Sci Front, 2000, 7(Sup): 206.
- [17] 张建新, 许志琴, 杨经绥, 等. 阿尔金西段榴辉岩岩石学、地球化学和同位素年代学研究及其构造意义[J]. 地质学报, 2001, 75(2): 186-195.
- [18] 覃小锋, 李江, 陆济璞, 等. 阿尔金碰撞造山带西段的构造特征[J]. 地质通报, 2006, 25(1/2): 104-112.
- [19] Simonen A. Stratigraphy and Sedimentation of the Svecofennic, Early Archean Supracrustal Rocks in Southwestern Finland[J]. Bull Comm Geol Finland, 1953, 160: 1-64.
- [20] Кременедкий А. А. Метаморфизм Основных ЛЮрод Дюкембрия[J]. М Наука, 1979, 2: 68-102.
- [21] Irvine T N, Baragar W R A. A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks[J]. Can J Earth Sci, 1971, 8: 523-548.
- [22] Winchester J A, Floyd P A. Geochemical Discrimination of Different Magma Series and their Differentiation Products Using Immobility Elements[J]. Chem Geol, 1977, 20: 325-343.
- [23] 王仁民, 贺高品, 陈珍珍, 等. 变质岩原岩图解判别法[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [24] Cabanis B, Lecolle M. Le Diagramme La/10 Y/15 Nb/8: Unoutil Pour La Discrimination de Series Volcaniques et la Mise En Evidence Desprocessus de Melange et/ou de Contamination Crustale[J]. CR Acad Sci SerII, 1989, 309: 2023-2029.
- [25] Pearce J A, Cann J R. Tectonic Setting of Basic Volcanic Rocks Determined Using Trace Element Analysis[J]. Earth Planet Sci Lett, 1973, 19: 290-300.
- [26] Pearce J A. Traceelement Characteristics of Lavas from Destructive Plate Boundaries[C] //Thorpe R S. Andesites. Chichester: Wiley, 1982.