

# 阿尔金南缘构造带西段早古生代绿片岩的地球化学特征及构造环境

覃小锋<sup>1,2</sup> 夏 斌<sup>1</sup> 李 江<sup>2</sup> 陆济璞<sup>2</sup> 许 华<sup>2</sup>  
周府生<sup>2</sup> 胡贵昂<sup>2</sup> 李 乾<sup>2</sup>

(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:**阿尔金南缘构造带西段混杂岩伴生有大量较为新鲜的绿片岩构造岩块。对绿片岩的岩石学和地球化学的详细信息表明,其原岩属于基性火山岩类(拉斑玄武岩类),并存在洋岛(板内)型(OIB)、洋中脊型(E-MORB)和火山弧型(IAT)三类玄武岩。E-MORB 型具有大体类似的地球化学性质,它们的  $\text{TiO}_2$  含量均较低,为 0.93%~1.75%,平均 1.34%;  $\text{P}_2\text{O}_5$  含量为 0.09%~0.15%, 平均 0.13%; 高场强元素 Zr 为  $79 \times 10^{-6}$ ~ $146 \times 10^{-6}$ , Hf 为  $2.6 \times 10^{-6}$ ~ $3.5 \times 10^{-6}$ , Nb 为  $6.6 \times 10^{-6}$ ~ $15.3 \times 10^{-6}$ , 轻稀土呈亏损~略富集型,具洋中脊玄武岩特征。IAT 型  $\text{TiO}_2$  含量比 E-MORB 型更低,为 0.4%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  为 0.08%; 高场强元素 Zr 为  $56 \times 10^{-6}$ , Hf 为  $1.6 \times 10^{-6}$ , Nb 为  $5.9 \times 10^{-6}$ , 轻稀土呈略富集型,具岛弧型玄武岩特征。而 OIB 型均富集  $\text{TiO}_2$ , 含量为 1.96%~3.08%, 平均 2.49%;  $\text{P}_2\text{O}_5$  为 0.23%~0.34%, 平均值 0.26%; 高场强元素 Zr 为  $204 \times 10^{-6}$ ~ $237 \times 10^{-6}$ , Hf 为  $4.2 \times 10^{-6}$ ~ $7.2 \times 10^{-6}$ , Nb 为  $14.6 \times 10^{-6}$ ~ $22.1 \times 10^{-6}$ , 轻稀土呈富集型,具洋岛(板内)玄武岩特征。OIB、E-MORB 和 IAT 组合的出现说明在早古生代阿尔金南缘可能存在过洋盆。

**关键词:**绿片岩;地球化学;构造环境;阿尔金南缘构造带西段

**中图分类号:** P588.34      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2007)05-0799-09

阿尔金南缘构造带(阿尔金南缘断裂带)位于西藏、新疆、青海、甘肃四省区之间,西起西藏拉竹龙,东至甘肃金塔,主体呈北东方向延伸,全长约 1600 km。尽管大多数学者<sup>[1-9]</sup>认为阿尔金南缘构造带的性质、构造意义是确定阿尔金造山带乃至中国西北部大地构造形成演化的关键,但对于新元古代—早古生代阿尔金造山作用的性质、区域构造属性、演化时限与过程、构造样式与基本格局等重大问题,仍有较大争议。阿尔金南缘构造带中广泛发育有一系列新元古代—早古生代的变质基性—超基性岩类,前人<sup>[9-13]</sup>根据对构造带东段茫崖一带的研究结果,认为该套岩石具有蛇绿岩特征,时代为早古生代<sup>[14]</sup>。但由于构造带西段特殊的地理位置和恶劣的气候条件,加之该套岩石多已发生强烈的构造混杂和退变质作用,常呈大小不等的岩片体产出,岩性为绿片岩类。因而,前人对出露于构造带西段的这套绿片岩组合的研究相对较少。由于分布于阿尔金南缘构造带中的这些变质基性(火山)岩的特征、成因与大地构造背景反映了阿尔金南缘的地壳和岩

石圈结构状态与演化特点,笔者着重对出露于构造带西段长沙沟一带绿片岩组合的地质特征、岩石化学和地球化学等进行系统研究,并对其形成的构造背景进行探讨,这对于深入研究阿尔金南缘构造带的形成与演化具有重要的意义。

## 1 地质概况

阿尔金构造带西段可进一步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<sup>[14]</sup>。其中南阿尔金地块主要由新元古代—早古生代变质岩系、呈残块状分布的新太古界—古元古界、中新生界及元古代、加里东期和海西期花岗岩组成(图 1)。南阿尔金地块北部主要为青白口系索尔库里群,岩性主要为碳酸盐岩、变质碎屑岩和变质火山(碎屑)岩等。岩石总体上尚保持着成层有序状态,局部可见原始水平层理和水平微层理,且索尔库里群的灰岩中产有层形叠层石,反映索尔库里群可能形成于构造活动趋于稳定的滨海至碳酸盐台地环境;而南阿尔金地块南部沿着阿尔金南

收稿日期:2007-03-05;改回日期:2007-05-25

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(19991300008091)资助。

作者简介:覃小锋,男,1969年生,博士生,高级工程师,从事区域地质、矿产调查及研究工作;E-Mail: qinxiaofeng@263.net。

① 广西壮族自治区地质调查研究院. 新疆 1:25 万瓦石峡幅、阿尔金山幅区域地质调查报告, 2003.

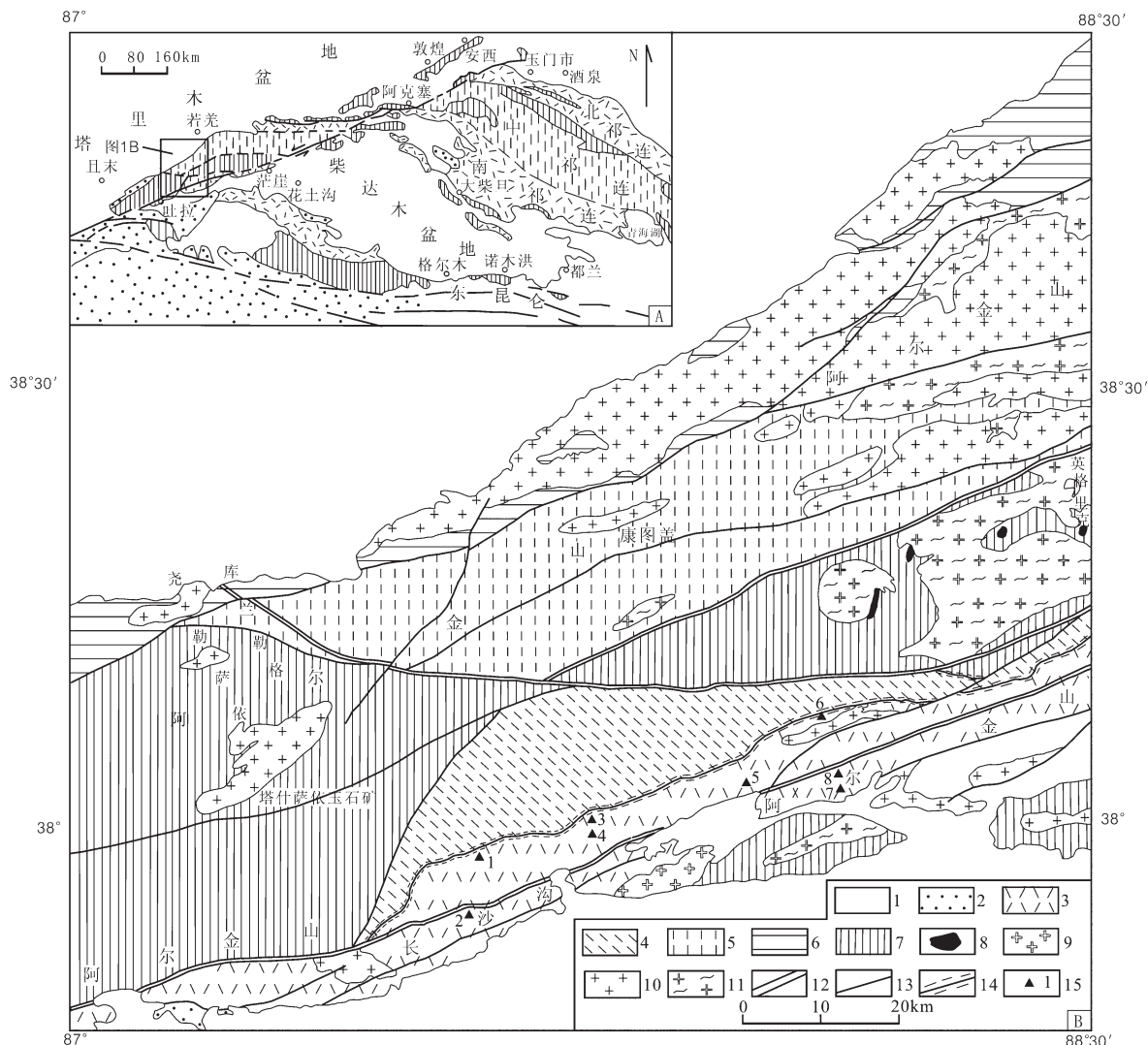


图1 阿尔金构造带西段地质略图

- 1—新生界;2—中生界;3—下古生界;4—青白口系索尔库里群;5—蓟县系塔昔达坂群;6—长城系巴什库尔干群;
- 7—新太古界—古元古界;8—超基性岩;9—海西期岩体;10—加里东期岩体;11—新元古代花岗质片麻岩;
- 12—复合型深大断裂;13—一般断层;14—韧性断层;15—采样位置及序号

Fig.1 Geological sketch map of the western segment of the Altyn Tagh tectonic belt

- 1—Cenozoic;2—Mesozoic;3—Early Paleozoic;4—Qingbaikouan Xorkol Group;5—Jixianian Taxidaban Group;6—Changchengian Baxkorgan Group;7—Neoproterozoic granitic gneiss;8—Ultrabasic rocks;9—Variscan intrusion;10—Caledonian intrusion;11—Neoproterozoic granitic gneiss;12—Compound deep fault;13—General fault;14—Ductile fault;15—Sample location and number

缘断裂分布的早古生代变质岩系的岩石类型异常复杂,主要由变质基性—超基性岩、变质碎屑岩、绿片岩、变质基性岩墙、板岩、千枚岩、片岩、石英岩、大理岩、钙镁硅酸盐岩及少量的角闪质岩石等岩石类型组成,岩石遭受了强烈的构造混杂作用,整个岩系均已显示出长程(长距离)无序,而短程(短距离)部分有序的非史密斯地层特点,总体以岩片的形式出露(图2)。其中的变质基性岩类多已变为绿片岩类,其围岩出现绿帘

石、绿泥石、黑云母、(多硅)白云母及石榴石、硬绿泥石等变质矿物,一些多硅白云母的  $b_0$  值达  $9.0414\sim 9.062^{\text{①}}$ ,说明岩石经历了绿片岩相中高压低温变质作用的改造。

## 2 岩石学特征

绿片岩类是南阿尔金地块的一类重要岩石类型,在阿尔金山南缘主断裂附近及南侧均见有广泛分布,往往呈构造岩块

① 广西壮族自治区地质调查研究院. 新疆 1:25 万瓦石峡幅、阿尔金山幅区域地质调查报告, 2003.

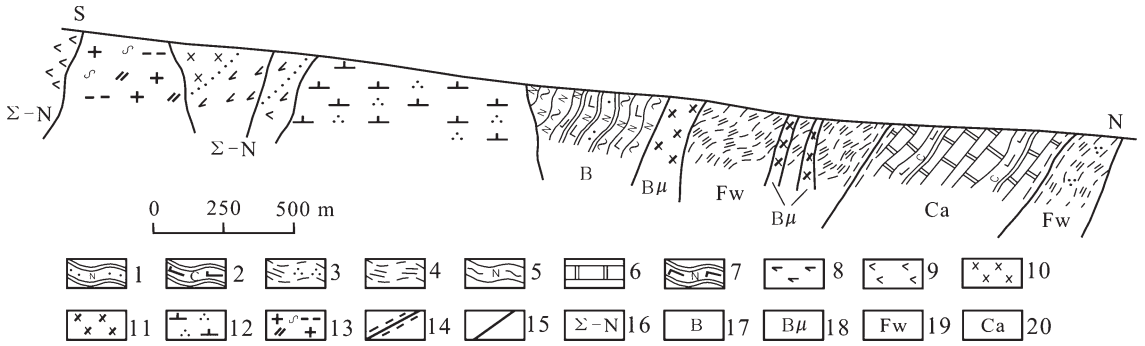


图 2 阿尔金南缘构造带西段构造混杂岩实测剖面图

- 1—变质长石砂岩; 2—含炭钙质板岩; 3—绢云石英千枚岩; 4—绢云千枚岩; 5—钠长绿泥片岩;
- 6—重结晶灰岩; 7—斜长阳起石片岩; 8—变辉石岩; 9—角闪石岩; 10—变辉长岩; 11—变辉绿岩;
- 12—石英闪长岩; 13—片麻状黑云二长花岗岩; 14—韧性断层; 15—断层; 16—基性—超基性岩岩片;
- 17—基性火山岩岩片; 18—辉绿岩墙; 19—复理石岩片; 20—碳酸盐岩岩片

Fig.2 Stratigraphic section of tectonic mélanges in the western segment of the southern Altyn Tagh marginal tectonic belt

- 1—Meta-arkose; 2—Carbonaceous-calcareous slate; 3—Sericite-quartz phyllite; 4—Sericite phyllite;
- 5—Albite-chlorite schist; 6—Crystalline limestone; 7—Plagioclase-actinolite schist; 8—Metapyroxenite;
- 9—Hornblendite; 10—Metagabbro; 11—Metadiabase; 12—Quartz diorite; 13—Gneissic biotite monzogranite;
- 14—Ductile fault; 15—Fault; 16—Basic-ultrabasic rock fragment; 17—Basic volcanic rock fragment;
- 18—Diabase dyke; 19—Flysch fragment; 20—Carbonate rock fragment

混杂分布于碎屑岩系中。代表性岩石有阳起石片岩、绿泥片岩和少量的斜黝帘透闪绿帘片岩、白云母硬绿泥片岩等。

阳起石片岩:岩石具片状构造,细粒纤柱状变晶结构、细粒柱粒状变晶结构及束状交代变晶结构、变余斑状结构等,常见的变质矿物有阳起石、斜长石、绿泥石、黑云母、绿帘石、透闪石、石英及少量的斜黝帘石等,局部岩石中偶见有石榴石、蛇纹石、白云母和钾长石。阳起石多呈短柱状或纤柱状,少数为粒状,粒度多在 0.1~0.6 mm,个别粒度达 0.8~2.0 mm,其往往单独或聚集成束状平行片理分布,局部见其定向排列构成线理。斜长石常呈细小的椭圆状、透镜状或长条状晶形不均匀地分布于阳起石间,有时见其相对聚集呈不规则的条带状分布,内部往往包裹有许多绿泥石、绿帘石、石英等包裹体,形成残缕状结构。包裹体定向性明显,与基质片理方向基本一致,但二者不相连,局部见呈小角度相交,有的还发生轻微的旋转现象,说明为同构造或构造前形成的产物。绿泥石、透闪石、斜黝帘石和黑云母等变质矿物仅在局部岩石中有较多分布,其往往不均匀地聚集分布于阳起石间。

绿泥片岩:岩石具片状构造,鳞片粒状变晶结构,常见的变质矿物有绿泥石、钠长石、绿帘石、斜黝帘石、透闪石、黑云母和石英等。变质矿物在岩石中分布很不均匀,在阿尔金南缘主断裂附近的岩石中常含有较多的钠长石,且以变斑晶的形式出现,斑晶内含有许多绿帘石、绿泥石等矿物包裹体,形成残缕状结构,包裹体呈定向排列,方向与晶体外片理方向一致,说明其为同构造形成的产物。而在阿尔金南缘主断裂以南的岩石中一般含较少或不含钠长石,但相对北部常含有较多的透闪石等矿物。

白云母硬绿泥片岩和斜黝帘透闪绿帘片岩:在阿尔金南缘主断裂附近偶尔见有分布。前者具片状构造,显微鳞片粒状变晶结构及束状变晶结构,主要由硬绿泥石(55%~60%)、石英(25%~27%)和白云母(14%~18%)等矿物组成,硬绿泥石呈细长柱状,粒度为 0.05~0.2 mm,常聚集成束状定向分布,微粒石英和细小鳞片白云母不均匀地定向分布于其间;后者具片状构造,细粒柱粒状变晶结构,主要由绿帘石(44%)、斜黝帘石(8%)、透闪石(10%)、石英(18%)和少量钠长石、黑云母、绿泥石等矿物组成,绿帘石呈细小的柱、粒状,粒度为 0.05~0.2 mm,斜黝帘石、透闪石则呈不规则粒状,并与绿帘石分别聚集定向分布,石英、斜长石等矿物不均匀地分布于绿帘石、斜黝帘石和透闪石之间。

### 3 地球化学特征

#### 3.1 主量元素特征

该套绿片岩的主要化学成分(表 1)SiO<sub>2</sub> 含量为 45.64%~52.25%,平均 48.67%,和玄武岩的含量相一致;全铁含量为 8.74%~16.15%,平均 12.60%;CaO 含量为 6.35%~12.93%,平均 9.00%;MgO 含量为 3.70%~7.75%,平均 5.96%,大多数岩石的镁(Mg<sup>#</sup>)值较低,在 20~44,说明它们为岩浆高度演化后的产物;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为 11.33%~14.27%,平均 12.91%。CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为 0.47~0.91,表明这些样品均经历过较低程度的部分熔融;全碱化学成分含量为 1.46%~3.74%,平均 2.72%;TiO<sub>2</sub> 为 0.4%~3.08%,其中 1、5、7 号样品 TiO<sub>2</sub>(为 0.93%~1.75%,平均值为 1.34%)和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(为 0.09%~0.15%,平均值为 0.13%)的含量都较低,与世界上洋中脊型拉斑玄武岩的含量类似<sup>[9]</sup>;而

表 1 绿片岩的化学成分

Table 1 Chemical composition of greenschist

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
样品号	3165-1	8158-1	0044-6	0045-4	3182-2	0097-2-3	6116-2	6116-3
岩石名称	斜黝帘透闪 绿帘片岩	绿帘阳 起片岩	阳起 片岩	斜长黑云 阳起片岩	钠长绿泥 片岩	钠长绿泥 片岩	钠长阳起 石片岩	斜黝帘阳 起片岩
SiO <sub>2</sub>	46.23	45.64	51.07	49.11	47.64	48.32	49.13	52.25
TiO <sub>2</sub>	1.33	3.08	2.52	2.38	1.75	1.96	0.93	0.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.27	12.37	12.17	11.34	12.22	13.52	13.96	13.42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.45	6.11	5.82	3.17	2.67	5.87	3.63	1.97
FeO	7.27	8.77	10.92	11.52	9.65	9.38	6.07	6.97
CaO	12.93	8.83	7.31	8.13	8.38	6.35	9.94	10.12
MgO	7.75	6.14	4.13	3.7	4.79	4.6	7.55	8.99
MnO	0.2	0.22	0.2	0.23	0.22	0.17	0.17	0.21
K <sub>2</sub> O	0.26	0.05	0.56	0.78	0.05	0.05	0.2	0.43
Na <sub>2</sub> O	1.51	1.41	3.18	2.83	2.69	2.98	2.98	1.81
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.34	0.25	0.23	0.15	0.23	0.09	0.08
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	3.23	4.53	1.28	2.19	4	3.7	3.06	2.76
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.27	0.38	0.25	0.39	0.42	0.32	0.64	0.36
CO <sub>2</sub>	0.2	2.14	0.26	4.08	5.51	2.59	2.04	0.29
合计	100.02	100.01	99.92	100.08	100.14	100.04	100.39	100.06

注:主量元素用 X 荧光光谱法(XRF)在武汉综合岩矿测试中心分析;单位为 10<sup>-2</sup>。

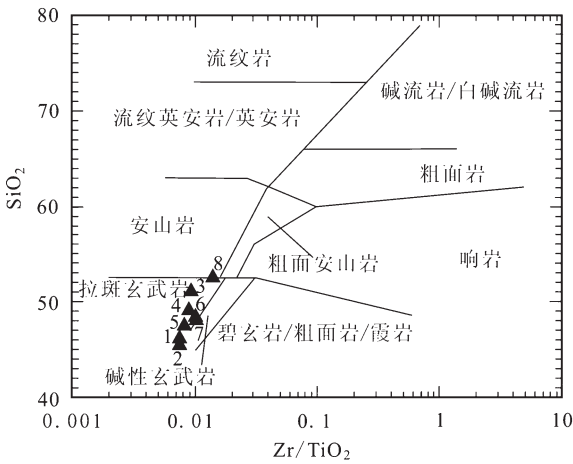


图 3 Zr/TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> 分类图解  
Fig.3 Zr/TiO<sub>2</sub> vs. SiO<sub>2</sub> diagram

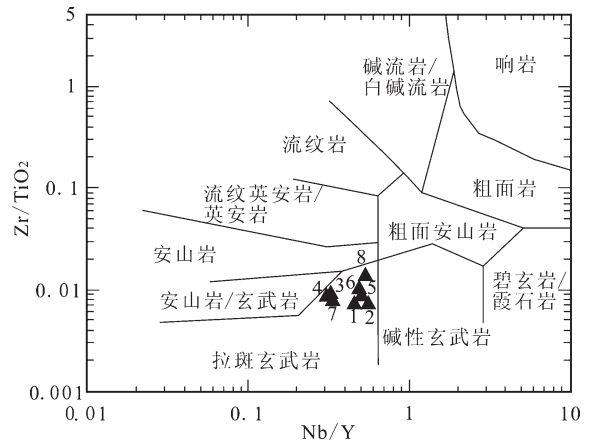


图 4 Nb/Y-Zr/TiO<sub>2</sub> 分类图解  
Fig.4 Nb/Y vs. Zr/TiO<sub>2</sub> diagram

2、3、4、6 号样品的 TiO<sub>2</sub> (为 1.96%~3.08%, 平均值为 2.49%) 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (在 0.23%~0.34%, 平均值为 0.26%) 的含量明显高于 MORB 的含量, 其与世界上岛弧拉斑玄武岩和板内玄武岩的含量类似<sup>[9]</sup>; 而 8 号样品的 TiO<sub>2</sub> (0.4%) 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.08%) 的含量均低于 MORB 的含量, 其与世界上岛弧型拉斑玄武岩的含量类似<sup>[7]</sup>。

在 (al+fm)-(c+alk)-Si 图解<sup>[8]</sup>中, 所有样品均落入火山岩区或其界线附近; 在 (Al+ΣFe+Ti)-(Ca+Mg) 图解<sup>[9]</sup>中, 序号 1、2 样品落入基性火成岩区 (I), 序号 3、7 样品落入基性

火成岩及其变种区 (II), 序号 4、5、6、8 样品落入中性火山岩、基性火山杂砂岩和含有粘土质的沉凝灰岩和凝灰岩区 (III); 在 Zr/TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> 分类图解<sup>[10]</sup>(图 3) 和 Nb/Y-Zr/TiO<sub>2</sub> 分类图解<sup>[10]</sup>(图 4) 中均落入拉斑玄武岩区; 在 (K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)-MgO-FeO\* 图解<sup>[21]</sup>上皆落在拉斑玄武岩区(图 5)。由此表明, 该套岩石其原岩均属于基性火山(碎屑)岩类。

3.2 微量元素特征

高场强元素 Zr、Hf 和 Nb 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。从表 2

表 2 绿片岩的微量元素和稀土元素分析结果

Table 2 Trace element and REE analysis of greenschist

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
样品编号	3165-1	8158-1	0044-6	0045-4	3182-2	0097-2-3	6116-2	6116-3
岩石名称	斜黦帘透闪 绿帘片岩	绿帘阳起 片岩	阳起 片岩	斜长黑云阳 起片岩	钠长绿泥 片岩	钠长绿泥 片岩	钠长阳起 石片岩	斜黦帘阳 起片岩
Li	22.2	27.5	13.7	15.8	80.7	22.3	11	8.1
Be	1.2	4.2	2.9	2.6	2.7	2	0.7	0.6
Nb	9.5	22.1	15	14.6	15.3	21.6	6.6	5.9
Sc	41.5	38.1	35.8	32.2	39.1	29.8	39.5	32.6
Zr	102	233	237	216	146	204	79	56
Th	<1.0	2.1	5.1	4.3	2.2	3.5	<1.0	1.6
Sr	306	341	175	250	186	162	314	180
Ba	56	456	246	285	36	27	45	285
V	290.7	482.9	506.6	476.7	333.1	366.4	239.8	220.5
Co	35.9	63.2	56.5	47.5	42.4	42	41.6	37.3
Cr	206.2	158	70.8	54.2	62.3	79.2	253.7	700.8
Ni	95.3	82.9	50.3	40.1	51.2	43.6	80.3	142.9
Cu	72.4	138.3	133.3	119.5	78.4	54.9	107.9	24.9
Pb	29.5	21	43.5	31.4	34.6	17.5	17	31.4
Zn	86	135	147	137	117	133	64	73
W	0.7	0.6	0.9	0.9	0.7	0.6	0.7	0.6
Mo	0.19	0.47	0.64	0.52	0.17	0.52	0.32	0.36
As	9.37	2.48	0.42	2.56	6.04	2.46	0.8	0.83
Sb	1.64	2.06	0.23	0.36	1.85	0.63	0.15	0.26
Hg	0.012	<0.005	0.016	0.015	0.03	0.022	0.008	0.007
Bit	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.09	<0.05	<0.05	<0.05
F	390	635	575	475	791	702	324	284
Rb	<3.0	<3.0	13	19.5	<3.0	<3.0	<3.0	3.2
Hf	2.8	5.9	7.2	5.3	3.5	4.2	2.6	1.6
Te	0.1	0.09	0.17	0.16	0.1	0.06	0.06	0.08
Cl	0.012	0.013	0.022	0.005	0.026	0.013	0.008	0.008
Au	0.8	2	1.3	1.5	1	0.9	1.8	1.4
Ga	18	18.2	13.7	11.9	21	16.8	13.9	17.2
Ag	0.031	0.426	0.062	0.087	0.041	0.031	0.03	0.032
Sn	1.2	1.4	2.1	1.6	0.7	1.1	0.6	0.9
B	9	13	5	5	5	5	40	7
U	<0.5	1.1	1.6	1.2	0.9	1.6	0.6	0.9
Ta	<0.5	1.5	<0.5	1.5	1.7	0.78	<0.5	<0.5
La	7.06	19.63	17.88	19.32	13.42	21.5	3.31	5.69
Ce	19.1	48.4	36.01	44.04	32.85	47.95	8.27	12.45
Pr	2.66	6.21	6.17	5.53	4.42	5.92	1.45	1.66
Nd	11.05	28	25.39	25.67	18.19	24.41	7.09	6.92
Sm	3.14	6.81	6.63	6.54	4.68	6.2	2.18	1.7
Eu	1.16	2.2	2.02	2.18	1.51	1.99	0.85	0.5
Gd	3.66	7.05	8.05	7.36	5.15	6.76	3.08	1.75
Tb	0.64	1.17	1.43	1.29	0.89	1.19	0.58	0.31
Dy	3.93	7.15	8.31	8.62	5.41	7.59	3.49	1.93
Ho	0.76	1.23	1.69	1.57	1.05	1.4	0.76	0.43
Er	2.19	3.61	4.97	4.43	3.07	4.24	2.31	1.3
Tm	0.35	0.53	0.81	0.72	0.47	0.65	0.39	0.23
Yb	2.13	3.3	5.26	4.81	2.98	4.08	2.4	1.47
Lu	0.31	0.47	0.74	0.69	0.45	0.58	0.37	0.24
Y	20.94	39.76	45.73	47.77	29.32	44.35	20.12	10.99
总量	79.08	175.52	171.09	180.54	123.86	178.81	56.65	47.57
$\Sigma$ LREE/ $\Sigma$ HREE	1.27	1.73	1.22	1.34	1.54	1.52	0.69	1.55
$\delta$ Eu	1.04	0.96	0.84	0.96	0.94	0.94	1	0.88
$\delta$ Ce	1.06	1.05	0.82	1.01	1.02	1.01	0.91	0.96
(La/Yb) <sub>N</sub>	2.23	4.01	2.29	2.71	3.04	3.55	0.93	2.61
(La/Sm) <sub>N</sub>	1.41	1.81	1.7	1.86	1.8	2.18	0.96	2.11

注:微量元素和稀土元素用 ICP-AES 方法在武汉综合岩矿测试中心分析;单位为  $10^{-6}$ 。



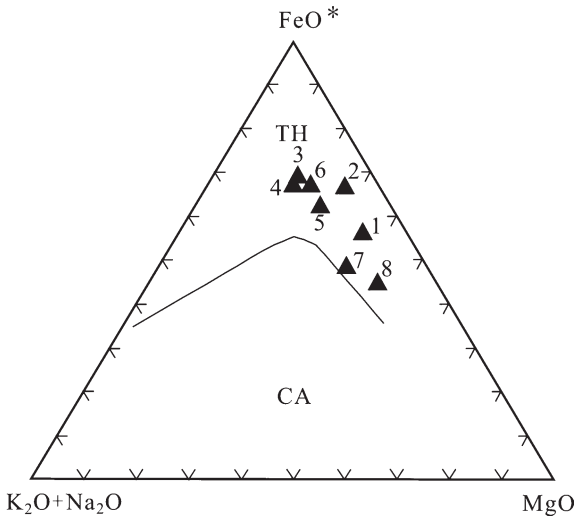


图5 (K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)-MgO-FeO\* 图解

Fig. 5 (K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)vs. MgO vs. FeO\* diagram

中可以看出,序号8样品 Zr、Hf 和 Nb 丰度较低,分别为  $56 \times 10^{-6}$ 、 $1.6 \times 10^{-6}$  和  $5.9 \times 10^{-6}$ ,序号1、5、7样品 Zr、Hf 和 Nb 的丰度中等,分别为  $79 \times 10^{-6} \sim 146 \times 10^{-6}$ 、 $2.6 \times 10^{-6} \sim 3.5 \times 10^{-6}$  和  $6.6 \times 10^{-6} \sim 15.3 \times 10^{-6}$ ,而序号2、3、4、6样品 Zr、Hf 和 Nb 的丰度较高分别为  $204 \times 10^{-6} \sim 237 \times 10^{-6}$ 、 $4.2 \times 10^{-6} \sim 7.2 \times 10^{-6}$  和  $14.6 \times 10^{-6} \sim 22.1 \times 10^{-6}$ ,分别与低 Zr、Hf 和 Nb 丰度的岛弧型玄武岩,中等 Zr、Hf 和 Nb 丰度的洋中脊型玄武岩以及高 Zr、Hf 和 Nb 丰度的洋岛型玄武岩相似<sup>[15-16,22-23]</sup>。

微量元素比值蛛网图能够深刻地揭示岩浆成因、演化及其构造背景。从表2和图6中可以看出,本区绿片岩的微量元素较复杂,其中序号1、5、7样品较为类似,均表现为P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,相对丰度多数小于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,均以大离子亲石元素(Ba, Th, Ta, Nb)较富集、高场强元素(Zr, Hf, Sm, Y, Yb)不分异并贴近于MORB为特征,显示其与E-MORB型或过渡型玄武岩的配分模式相似<sup>[24]</sup>;序号2、3、4、6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Yb、Sc和Cr之外,所有的元素都富集,而且总体上富集程度由Sr到Ba逐渐增强及由Th到Cr逐渐减弱,其模式曲线与板内玄武岩相同<sup>[24]</sup>;序号8样品在以MORB为标准的微量元素比值蛛网图上则表现为“先隆后凹”的型式,与火山岛弧玄武岩元素分配特点相似<sup>[24]</sup>。

### 3.3 稀土元素特征

根据稀土元素分析结果(表2),本区绿片岩可分为3种类型:一种为稀土总量较高,为  $171.09 \times 10^{-6} \sim 180.54 \times 10^{-6}$ ,

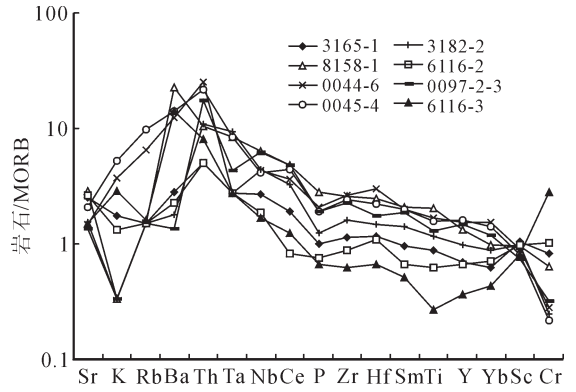


图6 绿片岩微量元素比值蛛网图解

Fig.6 MORB-normalized incompatible element spidergram of greenschist

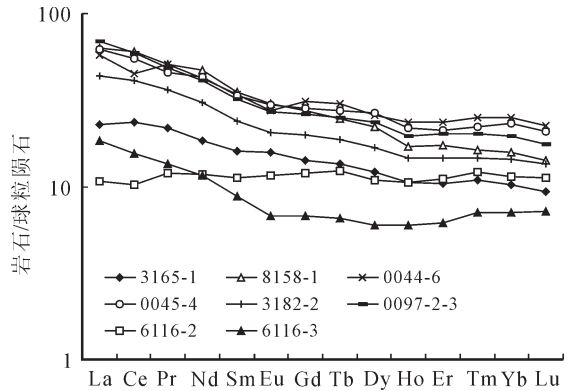


图7 绿片岩稀土配分模式图

Fig.7 Chondrite-normalized REE patterns for greenschist

(La/Yb)<sub>N</sub> 为 2.29~4.01,  $\sum LREE / \sum HREE = 1.22 \sim 1.73$ , 具微弱的Eu负异常,  $\delta(Eu) = 0.84 \sim 0.96$ , 在球粒陨石标准化配分模式图(图7)上,显示为富集型分布模式(序号2、3、4、6样品);另一种为稀土总量相对较低,为  $56.65 \times 10^{-6} \sim 123.86 \times 10^{-6}$ , (La/Yb)<sub>N</sub> 为 0.93~3.04,  $\sum LREE / \sum HREE = 0.69 \sim 1.54$ , Eu异常不明显,  $\delta(Eu) = 0.94 \sim 1.04$ , 在球粒陨石标准化配分模式图(图7)上,显示为亏损-略富集型分布模式(序号1、5、7样品),类似于E型MORB稀土元素地球化学特征;第三种为稀土总量较低,  $\sum LREE = 47.57 \times 10^{-6}$ , (La/Yb)<sub>N</sub> = 2.61,  $\sum LREE / \sum HREE = 1.55$ , 具微弱的Eu负异常( $\delta(Eu) = 0.88$ ), 在球粒陨石标准化配分模式图(图7)上亦显示为轻稀土富集型(序号8样品)。

## 4 构造环境判别

由于绿片岩是由基性火山(碎屑)岩类(拉斑玄武岩)经历了多次构造-热事件和变质作用改造形成的产物,其主量

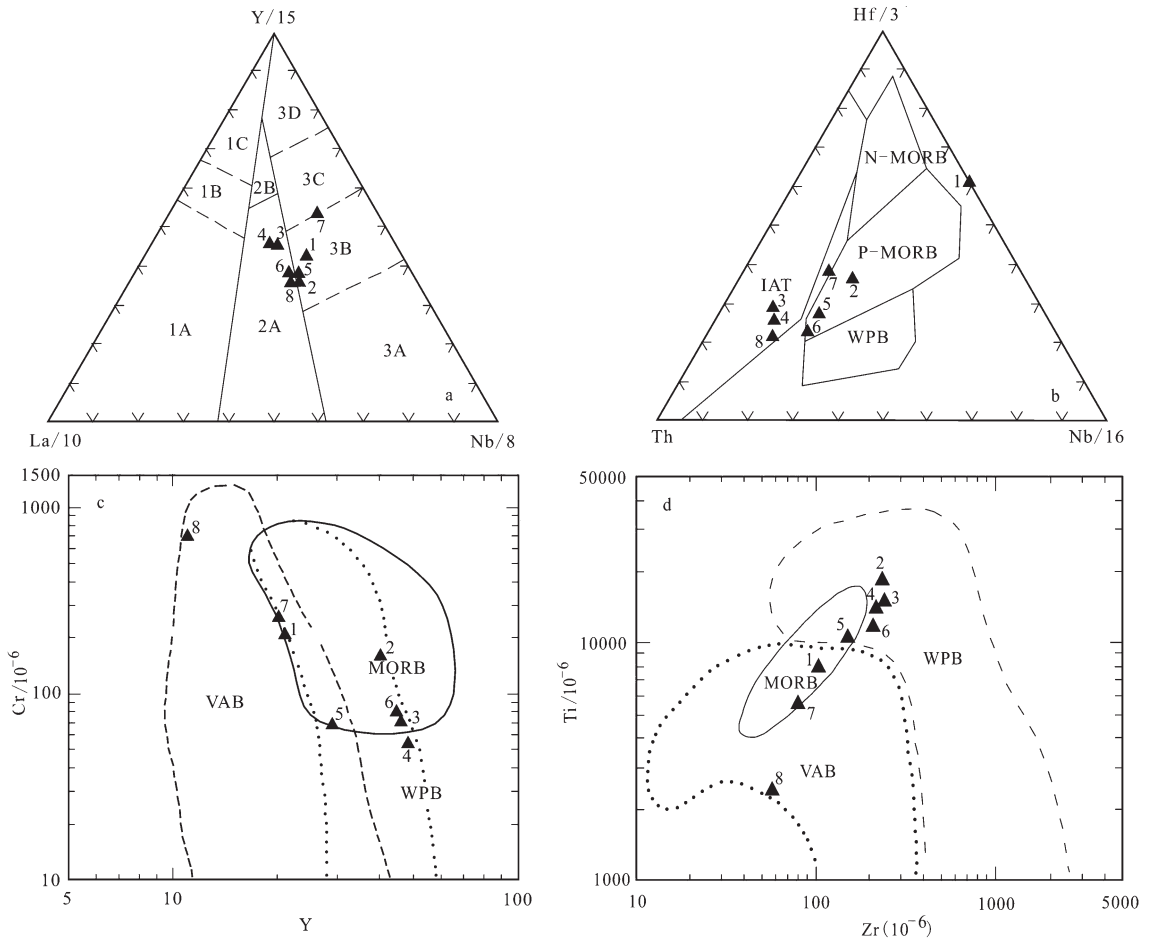


图 8 绿片岩构造环境判别图解

a—Y/15—La/10—Nb/8 图解<sup>[25]</sup>:1A—钙碱性玄武岩,1B—过渡区,1C—火山弧玄武岩;2A—大陆玄武岩,2B—弧后盆地玄武岩;3A—陆内裂谷碱性玄武岩,3B,3C—E—MORB(3B 富集,3C 略富集),3D—N—型 MORB;b—Th—Hf/3—Nb/16 图解<sup>[26]</sup>:MORB—洋中脊玄武岩,IAT—火山弧玄武岩,WPB—为板内玄武岩;c—Cr—Y 图解;d—Ti—Zr 图解<sup>[27]</sup>:VAB—为火山弧玄武岩,WPB—为板内玄武岩,MORB—洋中脊玄武岩

Fig.8 Tectonic discrimination diagrams of greenschist

a—Y/15 vs. La/10 vs. Nb/8 diagram<sup>[25]</sup>:1A—calc-alkaline basalt;1B—transition region;1C—volcanic arc basalt;2A—continental basalt;2B—back-arc basin basalt;3A—continental rift alkaline basalt;3B,3C—E-type MORB (3B—enrichment,3C—slight enrichment);3D—N-type MORB;b—Th vs. Hf/3 vs. Nb/16 diagram<sup>[26]</sup>:MORB—mid-ocean ridge basalt;IAT—volcanic arc basalt;WPB—within-plate basalt;c—Cr vs. Y diagram;d—Ti vs. Zr diagram<sup>[27]</sup>:VAB—volcanic arc basalt;WPB—within-plate basalt;MORB—mid-ocean ridge basalt

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的分析表明,序号 1、5、7 样品具过渡型玄武岩或 E-MORB 型拉斑玄武岩特征;序号 2、3、4、6 样品具板内玄武岩特征;而序号 8 样品则具火山岛玄武岩特征。在各种微量元素的构造环境判别图解(图 8)上亦表明,序号 1、5、7 样品在各种图解中几乎都落入洋中脊型(MORB)玄武岩区;序号 2、3、4、6 样品多落入大陆(板内)玄武岩区;而序号 8 样品则多落入火山弧玄武岩区。

### 5 讨论及结论

前述对阿尔金南缘构造带西段长沙沟一带绿片岩组合的地质特征、岩石化学和地球化学等进行系统的研究结果表明,其原岩属于基性火山(碎屑)岩类(拉斑玄武岩类),并可分为 3 种类型:一种为过渡型或洋中脊型玄武岩(E-MORB);另一种为洋岛(板内)型玄武岩(OIB);而第三种为火山弧型玄武岩(IAT),三者空间上紧密共生。其中过渡型或洋中脊型玄武岩(E-MORB)是蛇绿岩的基性组份成员,说明阿尔金南缘构造带西段在早古生代存在过洋盆环

境;而洋岛(板内)型玄武岩(OIB)和火山弧型玄武岩(IAT)不属于蛇绿岩的成员,是喷发于大洋板内(洋岛)或岛弧之上的火山岩,可能与地幔柱(热点)岩浆活动有关。此外,对绿片岩系围岩的研究结果表明<sup>①[3]</sup>,其保存的沉积方面的信息反映出浊积岩特征,在恢复构造环境的各种图解中,大多数样品落入大陆岛弧杂砂岩区,个别样品落入大洋岛弧杂砂岩区和活动大陆边缘杂砂岩区,说明这套早古生代变质砂岩、泥岩的成分总体上介于大陆岛弧、大洋岛弧和活动大陆边缘杂砂岩的成分特点,应属于过渡型的沉积碎屑岩类。

这些代表不同构造环境的岩块的厘定,共同揭示了阿尔金山南缘构造带西段是一个由陆缘-岛弧沉积建造、洋壳残片(蛇绿岩)和与地幔柱(热点)岩浆活动有关的大洋板内(洋岛)玄武岩、火山弧玄武岩系等不同构造环境下形成的岩石组合组成的拼合体,其原始环境可能为多岛洋盆环境。发育于各岩石组合之间及内部、倾向南东的一系列逆冲型韧性剪切带的存在以及岩石经受了绿片岩相高压变质作用的特征亦表明,这几种不同构造环境下形成的岩石是多岛洋盆通过洋壳消减、弧-陆碰撞、构造混杂以及漫长复杂的构造折返过程拼合在一起的。

**致谢:**参加野外调查和室内研究的还有黄宏伟、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,还得到王汉荣教授级高级工程师的指导和中国地质调查局区调处及西北项目办的支持,在此一并表示感谢。

#### 参考文献(References):

- [1] 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.  
Zheng Jiandong. Tectonics and evolution of the Altun Tagh Mountain [J]. Geoscience, 1991, 5 (4): 347-354 (in Chinese with English abstract).
- [2] 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, 1993:1-841.  
Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 1-841(in Chinese).
- [3] 程裕淇. 中国区域地质概论[M]. 北京:地质出版社, 1994:215-217.  
Cheng Yuqi. An Introduction of Regional Geology of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 215-217(in Chinese).
- [4] 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, 1994:43-47.  
He Guoqi, Li Maosong, Liu Dequan, et al. Crustal Evolution and Mineralization in Paleozoic of Xinjiang, China [M]. Urumchi: Xinjiang People Publishing House, 1994: 43-47(in Chinese).
- [5] 潘桂棠, 陈智良, 李兴振, 等. 东特提斯地质构造形成演化[M]. 北京:地质出版社, 1997:30-32.  
Pan Guitang, Chen Zhiliang, Li Xingzhen, et al. Tectonic Evolution of east Tethys [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997: 30-32

- (in Chinese).
- [6] 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.  
Ge Xiaohong, Zhang Meisheng, Liu Yongjiang, et al. Scientific problems and thought for research of the Altun fault [J]. Geoscience, 1998, 12(3): 295-301(in Chinese with English abstract).
- [7] 葛肖虹, 刘永江, 任收麦. 青藏高原隆升动力学与阿尔金断裂[J]. 中国地质, 2002, 29(4): 346-350.  
Ge Xiaohong, Liu Yongjiang, Ren Shoumai. Uplift dynamics of the Qinghai-Tibet Plateau and Altun fault [J]. Geology in China, 2002, 29(4): 346-350(in Chinese with English abstract).
- [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.  
Yu Haifeng, Lu Songnian, Mei Hualin, et al. Characteristics of Neoproterozoic eclogite-granite zones and deep level ductile shear zone in western China and their significance for continental reconstruction [J]. Acta Petrologica Sinica, 1998, 15 (4): 532-538(in Chinese with English abstract).
- [9] 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, 邱小平主编. 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: 28-41.  
Cui Junwen, Lai Shaocong, Tang Zhemin, et al. Early Paleozoic plate-tectonic regime in the Altun Mountains[C]//Xu Zhiqin, Ren Yufeng, Qiu Xiaoping (eds). Proceedings of 30th International Geological Congress. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 28-41(in Chinese).
- [10] 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.  
Cui Junwen, Tang Zhemin, Deng Jinfu, et al. Altun Fault System [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999(in Chinese).
- [11] 王焰, 刘良, 车自成, 等. 阿尔金茫崖地区早古生代蛇绿岩的地球化学特征[J]. 地质论评, 1999, 45(增刊): 1010-1014.  
Wang Yan, Liu Liang, Che Zicheng, et al. Geochemical characteristics of early Paleozoic ophiolite in Mangya area, Altun Mountains [J]. Geological Review, 1999, 45(supp.): 1010-1014(in Chinese with English abstract).
- [12] 刘良, 车自成, 王焰, 等. 阿尔金茫崖地区早古生代蛇绿岩的Sm-Nd等时线年龄证据[J]. 科学通报, 1998, 43(8): 880-883.  
Liu Liang, Che Zicheng, Wang Yan, et al. The evidence of Sm-Nd isochron age for the early Paleozoic ophiolite in Mangya area, Altun Mountains [J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43 (8): 880-883(in Chinese).
- [13] 张旗, 周国庆. 中国蛇绿岩[M]. 北京:科学出版社, 2001: 46-48.  
Zhang Qi, Zhou Guoqing. Ophiolite of China [M]. Beijing: Science Press, 2001: 46-48(in Chinese).
- [14] 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.  
Qin Xiaofeng, Li Jiang, Lu Jipu, et al. Tectonic evolution of the western segment of the Altyn Tagh collisional orogen, Northwest China [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(1/2): 104-112(in

① 广西壮族自治区地质调查研究院. 新疆 1:25 万瓦石峡幅、阿尔金山幅区域地质调查报告, 2003.



Chinese with English abstract).

- [15] Melson W G, Vallier T L, Wright T L. Chemical diversity of abyssal volcanic glass erupted along Pacific, Atlantic and Indian Ocean sea floor, spreading centers [C]//The Geophysics of the Pacific Ocean Basin and Its Margin. Washington D C:Am Geophys Union,1976:351-367.
- [16] Wilson M. Igneous Petrogenesis. London:Unwin Hyman,1989:1-466.
- [17] Jakes P, White A J R. Major and trace element abundances in volcanic rocks of orogenic areas [J]. Bull Geol Soc Am,1972, 83: 29-40.
- [18] Simonen A. Stratigraphy and sedimentation of the Svecofennidic, early Archean supracrustal rocks in southwestern Finland [J]. Bull. Commm.Geol. Finland, 1953, 160:1-64.
- [19] Кременецкий А А. Метаморфизм основных пород докембрия [J]. М. Наука,1979:68-102.
- [20] Winchester J A,Floyd P A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements[J]. Chem. Geol., 1977, 20:325-343.
- [21] Irvine T N, Baragar W R A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. Cand. J. Earth Sci,1971, 8:523-548.
- [22] Sun S, Nesbin R W, Sharaskin A Y. Geochemical characteristics of mid-ocean basalts[J]. Earth Planet Sci Letters, 1979, 44:119-138.
- [23] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts:Implications for mantle composition and processes[C]//Saunders A D, Norry M J, et al (eds.). Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society Special Publication, 1989, 42:313-345.
- [24] 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, 1987:52-58.
- Wang Renmini, He Gaopin, Chen Zhenzhen, et al. Diagrammatic Discriminance of Originality Rocks of Metamorphic Rocks [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987:52-58(in Chinese).
- [25] Cabanis B, Lecolle M. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8:unoutil pour la discrimination de series volcaniques et la mise en evidence des processus de melange et/ou de contamination crustale [J]. C.R. Acad.Sci, Ser. II, 1989, 309:2023-2029.
- [26] Wood D A, Joron J L, Treuil M. A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings[J]. Earth Planet Sci Let, 1979, 45:326-336.
- [27] Pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries[C]//Thorpe R S(ed.). Andesite. Chichester:Wiley, 1982:525-548.

## Geochemical characteristics and tectonic setting of the Early Paleozoic greenschist in the western segment of the southern Altyn Tagh marginal tectonic belt

QIN Xiao-feng<sup>1,2</sup>, XIA Bin<sup>1</sup>, LI Jiang<sup>2</sup>, LU Ji-pu<sup>2</sup>, XU Hua<sup>2</sup>,  
ZHOU Fu-sheng<sup>2</sup>, HU Gui'ang<sup>2</sup>, LI Qian<sup>2</sup>

(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:** There outcrop many fresh greenschist tectonic blocks in the western segment of the southern Altyn Tagh marginal tectonic belt. Intensive petrological and geochemical studies show that: the protoliths of the greenschist are basic volcanic rocks (tholeiites), and in addition three types of basalt are also recognized, namely, oceanic island (within plate) basalt (OIB), mid-oceanic ridge basalt (E-MORB) and island arc basalt (IAT). The E-MORB have similar geochemical characteristics, with low Ti ( $\text{TiO}_2=0.93\%-1.75\%$ , average 1.34%) and P ( $\text{P}_2\text{O}_5=0.09\%-0.15\%$ , average 0.13%) and the high field strength elements  $\text{Zr}=(79-146)\times 10^{-6}$ ,  $\text{Hf}=(2.6-3.5)\times 10^{-6}$  and  $\text{Nb}=(6.6-15.3)\times 10^{-6}$ , being LREE-depleted or slightly enriched. IAT have lower Ti ( $\text{TiO}_2=0.4\%$ ) and P ( $\text{P}_2\text{O}_5=0.08\%$ ) than those of MORB and the high field strength elements  $\text{Zr}=56\times 10^{-6}$ ,  $\text{Hf}=1.6\times 10^{-6}$  and  $\text{Nb}=5.9\times 10^{-6}$ , being LREE-slightly enriched. OIB have high Ti ( $\text{TiO}_2=1.96\%-3.08\%$ , average 2.49%) and P ( $\text{P}_2\text{O}_5=0.23\%-0.34\%$ , average 0.26%), with the high field strength elements  $\text{Zr}=(204-237)\times 10^{-6}$ ,  $\text{Hf}=(4.2-7.2)\times 10^{-6}$  and  $\text{Nb}=(14.6-22.1)\times 10^{-6}$ , being LREE-enriched. The presence of the OIB, E-MORB and IAT assemblage suggests the existence of an ocean basin in the southern Altyn Tagh marginal tectonic belt during the Early Paleozoic.

**Key words:** greenschist; geochemistry; tectonic settings; western segment of the southern Altyn Tagh marginal tectonic belt

**About the first author:** QIN Xiao-feng, born in 1969, Ph.D student and senior engineer, engages in regional geological and mineral resource survey and research; E-Mail: qinxiaofeng@263.net.