

# 新疆库鲁克塔格斜长角闪岩岩石 地球化学特征及其地质意义

张志诚 刘树文 郭召杰 郑海飞

(北京大学地质学系, 北京 100871)

**主题词** 斜长角闪岩 岩石地球化学 库鲁克塔格地区 新疆

**提 要** 库鲁克塔格地区位于塔里木盆地东北缘, 在片麻岩中出露较多斜长角闪岩类包体, 其走向大致与片麻理的方向一致。通过岩石化学、稀土元素地球化学和 Sm-Nd 同位素研究, 确定该斜长角闪岩的原岩为基性火山岩, 并形成于两种构造环境。北部托格地区斜长角闪岩球粒陨石标准化配分曲线呈近平坦型 [ $(La/Yb)_N = 0.66 - 4.23$ , 一般在  $0.91 - 1.69$  之间;  $\delta Eu = 0.82 - 1.15$ , 平均值为  $1.02$ ], 与洋脊玄武岩类非常相似; 南部阔克苏地区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 [ $(La/Yb)_N = 2.71 - 10.84$ ;  $\delta Eu = 0.81 - 1.07$ , 平均值为  $0.95$ ], 具有类似现代岛弧或弧后盆地火山岩特有的稀土元素组成特征。它们的原岩岩浆来自长期亏损的地幔, 基本未受到大陆地壳物质混染。

新疆库鲁克塔格地区前寒武纪构造演化问题长期以来为中外地质学家瞩目, 对本区该时段的构造格架及地质演化历史的认识一直存在较大的分歧<sup>[1-3]</sup>。自从胡蔼琴等<sup>[4]</sup>报导了本区发现 33 亿年的岩石以来, 更是引起了大家的重视。本文着重从岩石地球化学角度对库鲁克塔格地区变质杂岩中斜长角闪岩包体进行系统讨论, 试图为该区早前寒武纪地质演化研究提供岩石地球化学约束条件。

## 1 研究区的地质背景

库鲁克塔格地区位于塔里木板块东北部, 属塔里木地块边缘隆起带<sup>[5]</sup>。广泛出露的变质杂岩长久以来被称为托格拉克布拉克群和达格拉格布拉克群, 并且认为它是该区最古老的前寒武纪变质岩系<sup>[5]</sup>(图 1)。以兴地断裂为界可以划分为南北两部分, 北部的托格拉克布拉克群简称托格杂岩, 变质程度达到角闪岩相, 其原岩主要是一套中-酸性火成岩, 它们的成分相当于 TTG 系列<sup>[6]</sup>; 南部的达格拉格布拉克群的原岩属于英云闪长岩-花岗闪长岩类, 受到了不同程度蚀变的影响, 在阔克苏地区沿着近南北向的冲沟可以观察到比较完整的剖面, 剖面长 800m 左右, 片麻理产状为  $20^\circ \angle 61^\circ$ , 南侧被第四系覆盖, 北部被砖红色钾长花岗岩侵入。

暗灰色斜长角闪岩以包体形式产出于上述片麻岩中, 其出露面积大小不一, 小的仅有几

国家“九五”科技攻关资助项目。

第一作者简介 张志诚, 男, 1963 年生, 讲师, 博士, 从事构造地质专业研究。

收稿日期 1997-12-05, 改回日期 1998-02



斜长角闪岩的主要氧化物含量: ① $\text{SiO}_2$  含量为 44.28%—55.16%, 平均 47.07%, 总体属于基性岩类。②全铁的含量为 7.31%—16.83%, 平均 12.51%, 除个别样品外, 富铁特征明显。 $\text{CaO}$  含量 6.42%—11.7%, 平均 9.77%,  $\text{MgO}$  含量 3.04%—13.74%, 平均 6.84%。③全碱的含量为 2.14%—6.60%, 平均 4.24%, 其中  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  (除个别样品外) 介于 0.28—0.50 之间。④ $\text{TiO}_2$  的变化范围在 0.63%—1.73% 间, 一般在 1.10%—1.60% 之间。所研究的斜长角闪岩样品新鲜, 无混合岩化现象。在  $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{FeO}^*$  图解上, 数据点全部位于正斜长角闪岩区域内(图 2)。此外, 在 ACM 图解上, 斜长角闪岩的数据点都落在玄武岩区内。在  $\text{SiO}_2-(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$  图解上数据点多位于紧靠碱性和亚碱性系列的分界线附近(图 3)。3 个样品属亚碱性系列, 11 个属于碱性系列。细究落入碱性系列的样品, 可以看出它们具有弱碱性, 且多数样品  $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ 。因此, 本区斜长角闪岩原岩为偏碱性的玄武岩系列。库鲁克塔格北部托格地区和南部阔克苏地区的斜长角闪岩主要元素总体含量没有明显差异。

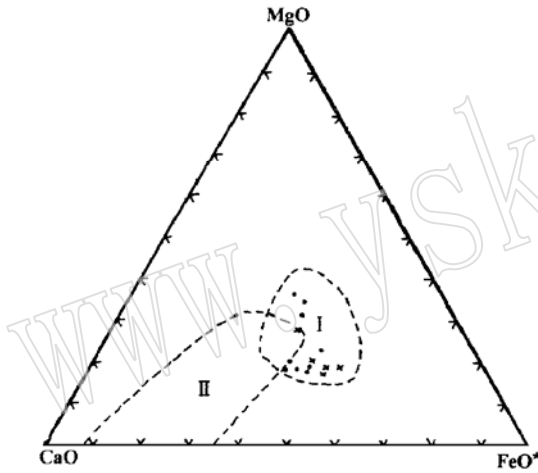


图 2 库鲁克塔格地区斜长角闪岩的  $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{FeO}^*$  图解<sup>[7]</sup>

Fig. 2  $\text{MgO}-\text{CaO}-\text{FeO}^*$  diagram of plagioclase amphibolites in Kuluketage area

I—正斜长角闪岩; II—副斜长角闪岩; ×—托格地区样品; ●—阔克苏地区样品

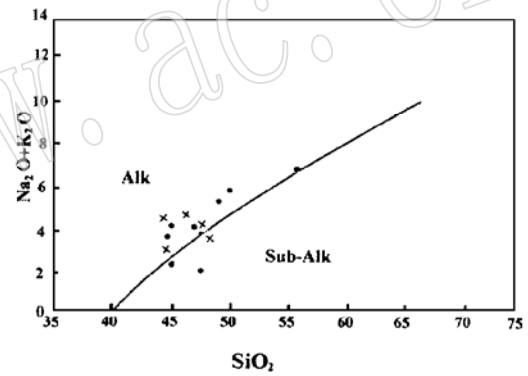


图 3 库鲁克塔格地区斜长角闪岩的  $\text{SiO}_2-(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$  图解<sup>[8]</sup>

Fig. 3  $\text{SiO}_2-(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$  diagram of plagioclase amphibolites in Kuluketage area

Alk—碱性系列; Sub-Alk—亚碱性系列; ×—托格地区样品; ●—阔克苏地区样品

## 2.2 微量元素和稀土元素

库鲁克塔格地区斜长角闪岩的微量元素和稀土元素分析结果列于表 2。由分析结果可知, 南部阔克苏地区 Sr、K、Ba、Ce、Sm 等元素相对于球粒陨石<sup>[9]</sup>和 N 型 MORB<sup>[10]</sup> 均较富集, 而 P、Ti、Y、Sc 等相对于 N 型 MORB 略高或略低, Zr、Cr 等相对亏损, 尤其是 Cr 的亏损非常明显, 与火山(岛)弧玄武岩微量元素地球化学特征相似<sup>[11]</sup>。北部托格地区斜长角闪岩的 P、Y、Sc、Ce、Sm 等特征表明其与过渡类玄武岩相似<sup>[11]</sup>。

表2 库鲁克塔格地区斜长角闪岩的微量和稀土元素组成( $10^{-6}$ )

Table 2 Trace and REE element compositions of plagioclase amphibolites in Kuluketage area

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
样品号	TG04 _4	TG04 _5	TG04 _6	TG04 _7	TG04 _8	TG04 _10	TG04 _11	TG04 _12	TG05 _4	S501 _1	S501 _2	S501 _7	S501 _10	S501 _12
Sr	815.8	281.3	223.3	211.1	807.1	633.5	799.9	495.3	693.4	-	-	-	-	-
Ba	846.7	281.3	149	152.8	251	2443	448.4	424.3	594.2	-	-	-	-	-
Zr	32.87	26.33	30.19	30.62	9.85	29.17	23.53	39.09	26.37	-	-	-	-	-
Y	29.79	20.18	18.88	22.93	23.25	20.35	32.29	24.97	30.89	40.13	49.54	28.34	21.59	27.02
Sc	16.91	31.51	39.26	37.33	16.02	12.7	21.42	16.47	17.35	-	-	-	-	-
Cr	38.79	135.7	356.4	196.9	22.03	29.63	14.42	23.81	30.54	-	-	-	-	-
La	35.21	15.88	7.22	11.00	17.20	31.59	25.80	16.42	36.15	9.33	16.18	5.22	15.88	3.41
Ce	76.00	32.64	17.44	27.13	41.55	63.69	63.68	38.87	76.24	22.98	39.49	12.63	38.25	9.59
Pr	11.01	4.85	2.66	4.22	5.98	8.46	9.65	5.86	10.12	2.97	5.05	1.97	4.48	1.71
Nd	47.96	22.72	15.44	21.23	28.00	33.13	44.23	28.10	41.47	16.35	24.73	10.26	19.88	8.75
Sm	10.10	5.42	4.23	5.59	6.38	6.58	10.33	6.63	8.95	4.43	6.01	3.13	3.89	2.7
Eu	2.39	1.51	1.35	1.66	1.93	1.84	2.48	2.02	2.21	1.53	1.86	1.21	0.95	1.07
Gd	9.32	4.86	4.18	4.82	5.74	6.47	8.87	6.61	9.37	5.74	7.19	4.11	3.82	3.78
Tb	1.16	0.70	0.63	0.75	0.78	0.68	1.25	0.87	1.16	1	1.28	0.75	0.64	0.7
Dy	6.29	4.20	3.90	4.78	4.68	4.20	6.70	5.07	6.05	7.16	8.77	5.21	3.89	4.84
Ho	1.30	0.84	0.83	0.88	0.92	0.84	1.37	0.99	1.23	1.52	1.85	1.1	0.79	1.03
Er	3.07	2.05	2.01	2.52	2.55	2.23	3.37	2.68	3.38	4.46	5.45	3.22	2.29	3
Tm	0.38	0.26	0.28	0.32	0.34	0.28	0.43	0.35	0.43	0.72	0.9	0.54	0.39	0.5
Yb	2.33	1.65	1.58	1.83	2.00	1.73	2.58	2.18	2.54	4.56	5.68	3.4	2.23	3.08
Lu	0.30	0.24	0.28	0.21	0.44	0.18	0.28	0.29	0.33	0.71	0.87	0.5	0.35	0.49
REE	206.82	97.82	62.03	86.94	118.49	161.90	181.02	116.94	199.63	83.46	125.3	53.25	97.73	44.65
(La/Yb) <sub>N</sub>	8.97	5.71	2.71	3.57	5.11	10.84	5.94	4.47	8.45	1.21	1.69	0.91	4.23	0.66
δEu	0.81	0.97	1.07	1.05	1.05	0.94	0.85	1.02	0.81	1.03	0.96	1.15	0.82	1.14
δCe	0.80	0.77	0.83	0.83	0.85	0.80	0.84	0.83	0.82	0.91	0.91	0.82	0.94	0.82
Sm/Nd	0.21	0.24	0.27	0.26	0.23	0.20	0.23	0.24	0.22	0.27	0.24	0.31	0.20	0.31
ΣCe/ΣY	3.39	2.37	1.48	1.81	2.48	3.93	2.73	2.22	3.16	0.87	1.14	0.73	2.32	0.61

测试单位: 地质矿产部国家地质实验测试中心。样品1—9采于阔克苏地区; 10—14取自托格地区, 数据引自文献[6], 湖北省地质实验研究所测试。ΣCe = LREE, ΣY = HREE + Y

库鲁克塔格地区斜长角闪岩的球粒陨石标准化配分曲线示于图4和图5。由表2所列的数据可知, 它们的稀土元素总量变化于44.65—206.82( $10^{-6}$ )之间, 平均值为113.94( $10^{-6}$ ), 其球粒陨石标准化配分曲线型式在库鲁克塔格北部和南部地区具有明显的差异。北部托格地区斜长角闪岩球粒陨石标准化配分曲线呈近平坦型( $(La/Yb)_N = 0.66—4.23$ ), 一般在0.91—1.69之间;  $\delta Eu = 0.82—1.15$ , 平均值为1.02(表2, 图4), 与现今典型的MORB式平坦配分型式类似。这种型式很容易令人将其与洋脊玄武岩对比, 但究其主要元素性质, 它们都不具有洋脊低钾玄武岩的特征。南部阔克苏地区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[ $(La/Yb)_N = 2.71—10.84$ ;  $\delta Eu = 0.81—1.07$ , 平均值为0.95](表2, 图5), 表现出典型的碱性或钙碱性玄武岩的稀土元素配分特点, 具有类似现代岛弧或弧后盆地火山岩特有的稀土元素组成特征<sup>[12]</sup>。值得注意的是, 所有样品经受了一定程度的Ce亏损,  $\delta Ce = 0.77—0.94$ , 这种亏损可能主要归因于形成过程中玄武岩与贫Ce海水之间的物质交换作用<sup>[13]</sup>。

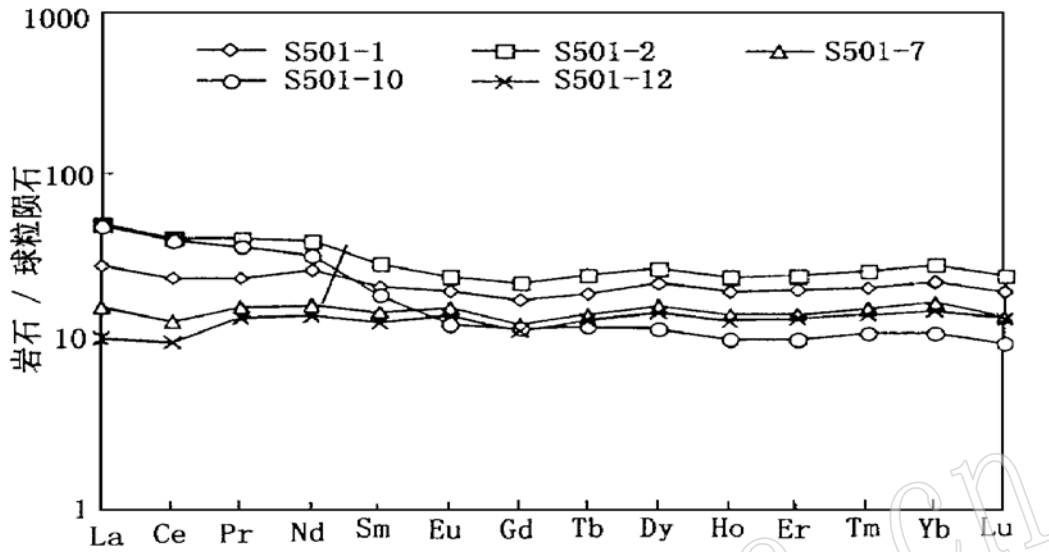


图4 托格地区斜长角闪岩稀土元素球粒陨石标准化分配型式图

Fig. 4 Chondrite- normalized REE patterns of plagioclase amphibolites in Tuoge area

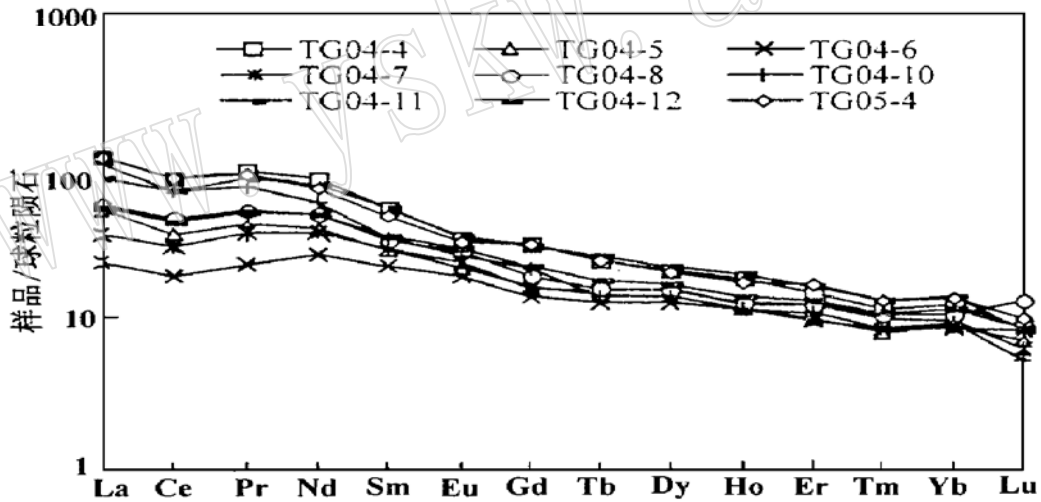


图5 阔克苏地区斜长角闪岩稀土元素球粒陨石标准化分配型式图

Fig. 5 Chondrite- normalized REE patterns of plagioclase amphibolites in Kuokesu area

### 2.3 Sm- Nd 同位素特征

对阔克苏地区 TG04- 4 和 TG04- 8 斜长角闪岩作了 Sm- Nd 同位素分析, 其测定结果为  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1305$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511687$  和  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1374$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511726$ , 由此计算的模式年龄为 2669Ma 和 2832Ma。虽然模式年龄不可能给出确切的年龄数据, 但是表明有晚太古代铁镁质地壳的存在。托格地区斜长角闪岩的 Sm- Nd 等时线年龄为  $3263 \pm 129\text{Ma}$ , Nd 同位素初始比值  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.50856$ , 除个别样品外, 多数样品的  $T_{\text{DM}}$  值在 3163—3366Ma 之间, 与等时线年龄大体一致<sup>[6]</sup>, 反映本区存在早中太古代铁镁质地壳。

对于阔克苏地区的斜长角闪岩采用模式年龄计算 $\epsilon_{Nd}$ 值, 两个样品的 $\epsilon_{Nd}(0)$ 分别为 $-18.55$ 和 $-17.79$ ,  $\epsilon_{Nd}(T)$ 则分别为 $+3.99$ 和 $+3.63$ 。而托格地区斜长角闪岩 $\epsilon_{Nd}(t) = +3.2$ ,  $\epsilon_{Nd}(0)$ 值变化较大, 为 $+1.4$ — $-26.5$ ,  $\epsilon_{Nd}(T)$ 则为 $+1.5$ — $+4.1$ <sup>[6]</sup>。斜长角闪岩 Nd 同位素组成暗示其玄武岩质母岩来源于一个经过长期亏损的太古宙地幔源, 几乎未受到壳源物质的混染<sup>[14]</sup>。在 $\epsilon_{Nd}-T$ 图解上, 斜长角闪岩的 $\epsilon_{Nd}(T)$ 基本上位于亏损地幔演化线上, 这也反映它们主要衍生于亏损地幔源区, 未受到或仅受到地壳物质极轻微混染。

### 3 构造环境讨论

由于库鲁克塔格地区的斜长角闪岩形成时代久远, 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。

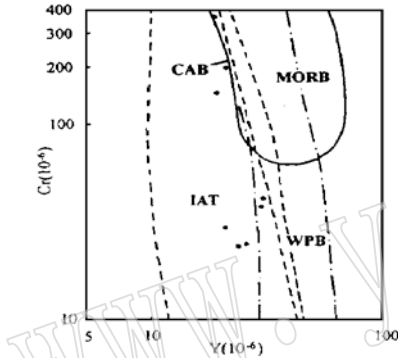


图 6 阔克苏地区斜长角闪岩的 Cr - Y 图解<sup>[16]</sup>

Fig. 6 Cr-Y diagram of plagioclase amphibolites in Kuluketage area  
MORB—大洋中脊玄武岩; IAT—岛弧拉斑玄武岩; CAB—钙碱性玄武岩; WPB—板内玄武岩

对稳定的微量元素和稀土元素探讨其形成时的构造环境。

图 6—图 8 所示的地球化学图解对于判别斜长角闪岩原岩形成时的大地构造环境是十分有效的。图 6 中, 南部地区的斜长角闪岩数据点几乎都落入岛弧拉斑玄武岩的区域内, 反映其最初可能在类似现代大陆边缘的弧后环境中形成。图 7 和图 8 中, 北部托格地区和南部阔克苏地区斜长角闪岩的投影点具有明显的差异, 前一图解中北部地区样品落入大洋拉斑玄武岩范围内, 南部地区投入大陆拉斑玄武岩范围内; 而后一图解中北部地区的数据点几乎都落在与洋中脊环境有关的区域内, 南部地区的数据点则几乎都落入与岛弧(弧后)环境有关的区域内。

事实上, 不仅南北斜长角闪岩的原岩形成环境存在差异, 其围岩也具有明显的不同。以兴地断裂为界, 北部地区斜长角闪岩的围岩为 TTG 系列的变质杂岩, 形成时代为太古宙中晚期<sup>[18]</sup>; 而南部地区斜长角闪岩的围岩为英云闪长岩—花岗闪长岩类岩石的变质岩, 可能经历了后期多次的构造热事件的影响。总之, 兴地断裂的南北地区不仅斜长角闪岩的原岩成因具有明显差异, 而且在岩石组成、

形成时代及构造演化等方面均不同, 其总体差异的原因有待进一步深入研究查明。

### 4 主要结论

(1) 库鲁克塔格地区的斜长角闪岩属于正变质岩, 其原岩为玄武质火山岩, 且主要属于偏碱性玄武岩至拉斑玄武岩系列。

(2) 库鲁克塔格地区存在两种类型斜长角闪岩, 北部托格地区斜长角闪岩球粒陨石标准化配分曲线呈近平坦型 $[(La/Yb)_N = 0.66-4.23]$ , 一般在 $0.91-1.69$ 之间;  $\delta Eu = 0.82-1.15$ , 平均值为 $1.02$ , 表现出典型的现代 MORB 式平坦配分型式, 可能形成于类似现代洋脊环境。南部阔克苏地区样品的球粒陨石标准化配分曲线 LREE 明显富集

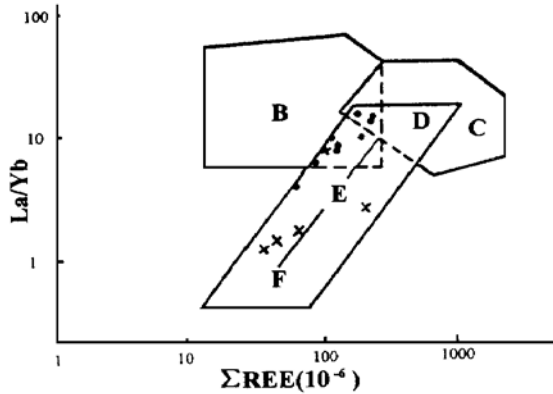


图7 库鲁克塔格地区斜长角闪岩的 La/Yb — ΣREE 图解<sup>[15]</sup>

Fig. 7 The total REE —La/Yb diagram of plagioclase amphibolite in Kuluketage area

B—钙质泥质沉积岩; C—花岗岩区; D—碱性玄武岩; E—大陆拉斑玄武岩; F—大洋拉斑玄武岩; ×—托格地区样品; ●—阔克苏地区样品

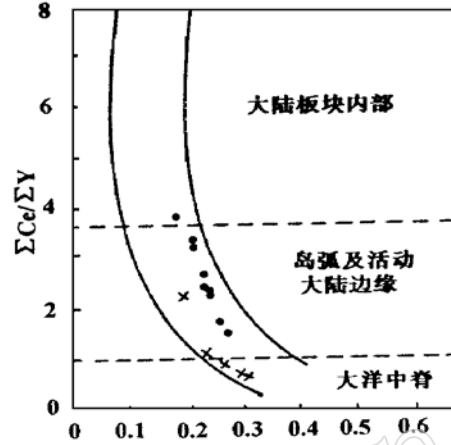


图8 库鲁克塔格地区斜长角闪岩的 ΣCe/ΣY —ΣSm/Nd 图解<sup>[17]</sup>

Fig. 8 The ΣCe/ΣY —ΣSm/Nd diagram of plagioclase amphibolite in Kuluketage area

×—托格地区样品; ●—阔克苏地区样品

$[(La/Yb)_N = 2.71 - 10.84; \delta Eu = 0.81 - 1.07, \text{平均值为 } 0.95]$ , 表现出典型的碱性或钙碱性玄武岩的稀土元素配分特点, 可能形成于类似现代岛弧—陆缘过渡环境。

(3) 斜长角闪岩的  $\epsilon_{Nd}$  为 + 1.5 —+ 4.1, 表明玄武质岩浆来自长期亏损的太古宙地幔, 几乎未受到壳源物质的混染。

(4) 岩石化学(微量元素和稀土元素)的古构造环境恢复显示库鲁克塔格地区北部托格斜长角闪岩的原岩与现代洋脊玄武岩类似, 而南部阔克苏斜长角闪岩的原岩与现代岛弧玄武岩类似, 表明以兴地断裂为界, 南北地区存在明显的差异。

参考文献

- 1 冯本智, 周裕文, 迟仕福等. 新疆库鲁克塔格地区前震旦纪地质与贵重、有色金属矿床. 北京: 地质出版社, 1995, 30—133.
- 2 高振家, 陈晋镛, 陆松年等. 新疆北部前寒武系. 前寒武纪地质, 第6号. 北京: 地质出版社, 1993, 1—82.
- 3 胡嵩琴, 张国新, 李启新等. 新疆北部同位素地球化学与地壳演化. 见: 涂光炽主编. 新疆北部固体地球科学进展. 北京: 科学出版社, 1992.
- 4 胡嵩琴, 格雷姆·罗杰斯. 新疆塔里木北缘首次发现 33 亿年的岩石. 科学通报, 1992, 37(7): 627—630.
- 5 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. 北京: 地质出版社, 1993, 8—14.
- 6 胡嵩琴, 王中刚, 涂光炽等. 新疆北部地质演化及成矿规律. 北京: 科学出版社, 1997, 9—35.
- 7 Walker K B, Joplin G A, Lovering J F et al. Metamorphic and metasomatic convergence of basic igneous rocks and limonite sediments of the precambrian of northwestern Queensland. Geol. Soc. Australia, 1960, (6): 149—178.
- 8 Irvine T N and Baragar W R N. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can. J. Earth Sci. ,

- 1971, 8: 523—548.
- 9 Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson P (ed). Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier, 1984, 91.
- 10 Pearce J A. 玄武岩判别图“使用指南”. 国外地质, 1984, (11): 1—12.
- 11 王仁民、贺高品、陈珍珠等. 变质岩原岩图解判别法. 北京: 地质出版社, 1987, 52—118.
- 12 Cullis R L, Graf J L. Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: predominately basic and ultrabasic rocks. In: Henderson P (ed). Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier, 1984, 237—267.
- 13 Woodhead J D, Harmon R S, Frasier D G O S. Sr and Pb isotope variation in volcanic rocks from the Northern Mariana Islands: implications for crustal recycling in intra-oceanic arcs. Earth Planet. Sci. Lett., 1987, 83: 39—52.
- 14 Depaolo D J. Neodymium isotope geochemistry. Berlin, Springer-Verlag, 1981.
- 15 章邦桐、凌洪飞、沈渭洲等. 浙西陈蔡群斜长角闪岩的岩石学和地球化学特征及其地质意义. 南京大学学报(地球科学版), 1994, 6(1): 19—28.
- 16 Pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe R S (ed), Andsite. New York: Wiley and sons, 1982, 525—548.
- 17 刘寿和、夏邦栋. 皖南晚元古代火山岩及其构造背景. 南京大学学报(地球科学版), 1990, (4): 43—52.
- 18 胡嵩琴、张国新、李启新等. 新疆北部主要地质事件同位素年表. 地球化学, 1995, 24(3): 20—31.

## Geochemical Characteristics and Geological Implications of Plagioclase Amphibolites in Kuluketage Area, Xinjiang

Zhang Zhicheng, Liu Shuwen, Cuo Zhaojie, Zheng Haifei

(Department of Geology, Peking University, Beijing 100871)

**Key words:** plagioclase amphibolites; geochemistry; Kuluketage area; Xinjiang

### Abstract

Kuluketage area is located in the northeastern margin of the Tarim basin. There are a lot of plagioclase amphibolites in the form of lens in the TTG series, with their long axis consistent with the strike of gneissic schistosity. On the basis of detailed researches on petrology, geochemistry of REE and trace elements and Sm, Nd isotopic compositions, two types of plagioclase amphibolites have been recognized in Kuluketage area. The protolith of the plagioclase amphibolites in Tuogelakebulake area in the northern part of Kuluketage region was basalt which might have been formed in the mid-ocean ridges. The amphibolites have the flat REE pattern similar to that of MORB with  $(La/Yb)_N$  being 0.66—4.23 and  $\delta Eu$  0.82—1.15. The samples in Kuokesu area located in the southern part of Kuluketage region are characterized by the light REE-enriched pattern with  $(La/Yb)_N$  being 2.71—10.84 and  $\delta Eu$  0.81—1.07. This may indicate that plagioclase amphibolites are similar to island arc basalt. The magma of all the plagioclase amphibolites was derived from the mantle, with no crustal contamination in the process of uplifting.