

①9

445-449

北祁连山岛弧型火山岩地球化学特征

P588.14

赖绍聪 隆平

(西北大学地质学系, 710069, 西安; 第一作者 33岁, 男, 博士)

A 摘要 火山岩系列及组合表明, 晚元古至寒武纪期间, 北祁连岛弧具有较低的成熟度, 自 $O_1 \rightarrow O_2 \rightarrow O_3$ 岛弧火山岩具有成熟度连续升高的演化规律; 中晚奥陶世, 岛弧钾玄岩系列火山岩的出现, 标志着北祁连岛弧达到较高的成熟度; 奥陶纪晚期, 北祁连洋盆已基本闭合; 至早志留世, 仅在局部地区还有弧火山活动, 且以钙碱系列火山岩为主, 其成因与残余洋盆的活动有关。

关键词 地球化学; 火山岩; 岛弧演化; 北祁连山
分类号 P313.7

地质分布. 微量元素

1 地质分布与岩石类型

岛弧火山岩在北祁连海相火山岩中占有较大的比例, 具有广泛的分布范围, 岩石类型多样, 基性—中性—酸性岩均有, 且时间跨度大。元古代(Pt_2)弧火山岩以基性火山岩为主体, 代表一种成熟度较低的岛弧类型; 中寒武统(ϵ_2)弧火山岩以中基性岩为主, 奥陶系($O_1 \rightarrow O_3$)火山岩在北祁连地区出露很广, 除岛弧型火山岩外, 还存在有洋脊及洋岛型火山岩; 早志留(S_1)是北祁连地区火山活动的衰退时期, 仅沿北侧有零星而微弱的间歇性火山活动, 弧火山岩仅见于甘肃南泥沟, 以中性火山岩为主, 以弧火山岩为特征, 不发育洋脊型及洋岛型火山岩。北祁连洋盆至奥陶纪末期已基本关闭, 因此, 早志留弧火山岩代表一种残余洋盆弧火山活动。由此看来北祁连地区至少具有二类弧火山岩: ①扩张俯冲同步型弧火山岩; ②俯冲同步型(无扩张作用)弧火山岩。

2 常量元素地球化学特征

根据 115 组化学分析资料(转引自夏林圻等, 1991)^[1], 北祁连岛弧火山岩主要为亚碱性系列火山岩, 并可进一步区分为钙碱和拉斑两个火山岩系列(图 1)。钙碱系列火山岩富碱特点明显, 而拉斑系列火山岩演化趋势不清晰, 仅少数样品为岛弧钾玄岩系列火山岩。

与现代火山弧玄武岩(Lofgren, 1981)^[2]相比, 北祁连基性弧火山岩具有以下岩石化学特点: ① SiO_2 变化较大, 在 46%~55% 之间, 最高可达 55.87%, 平均为 50.61%, 高于北祁连洋脊型玄武岩 SiO_2 平均值(47.97)^[3]; ② Al_2O_3 明显偏低, 大多数变化在 12%~18% 之间, 平均为 15.29%, 低于现代火山弧玄武岩 Al_2O_3 的下限值, 但高于北祁连洋脊型火山岩 Al_2O_3 平均值(13.86%); ③ TiO_2 变化大, 大多低于 1.2%, 最低为 0.26%, 但少数样品可达 1.7% 或 2.71%, 平均为 0.98%, 与现代火山弧玄武岩接近; ④ K_2O 含量大多低于 1.5%, 但明显高于北祁连洋脊型火山岩 K_2O 含量, 前者 K_2O 平均为 0.63%, 后者仅为 0.35%; ⑤ P_2O_5 含量低, 大多低于 0.26%, 而 Na_2O/K_2O 比值变化很大, 这可能与细碧岩化作用有

• 国家自然科学基金及地质矿产部地学断面基金联合资助课题

收稿日期: 1995-04-18

关。

北祁连岛弧火山岩中中性岩类(安山岩、角斑岩)具有以下岩石化学特征:①SiO₂含量高,绝大多数样品>57%,按 Gill (1981)^[4]的划分,属高硅安山岩类,平均值为 61.51%;②K₂O 含量较低,按 K₂O—SiO₂ 图解,大多数样品属低钾安山岩,部分位于中钾安山岩区,极少数落入高钾区内;③与现代岛弧安山岩类相比,本区中性岩类 Na₂O 明显偏高,而 CaO 显著偏低。这可能与北祁连岛弧火山岩所经受的细碧岩化蚀变作用和低级变质作用有关。

酸性岩类是北祁连岛弧火山岩的重要组成部分,其化学成分特点是:①高硅、低钛, SiO₂ 均>70%,最高可达 79%,平均为 74.09%,TiO₂ 平均值仅为 0.26%;②富铝、贫钙, Al₂O₃ 大多在 10%~13%之间变化,平均为 12.30%,CaO 含量低,平均为 1.37%;③铁镁含量低, K₂O, Na₂O 含量变化大,尤其是 K₂O 变化大,大多以 Na₂O>K₂O 为主,这显然与蚀变过程中 Na₂O 的带入有一定关系。

北祁连岛弧火山岩 σ 指数变化不大,大多在 1~3 之间,岩石具有共同的演化趋势,大致按 σ=1.8 的曲线方向演化,反映了北祁连主体岛弧火山岩具有同源的分异演化趋势。

3 稀土元素地球化学特征

3.1 基性岩类(细碧岩、玄武岩)稀土元素特征

基性岩类火山岩(La/Yb)_N 比值低,在 0.7~3 之间变化,La/Sm 比值与(La/Yb)_N 比值类似,介于 1~3 之间,说明岩石轻重稀土分异不明显,轻稀土略有富集,但富集度不高。与北祁连洋脊型及洋岛型火山岩比较,本区基性岛弧型火山岩 La/Sm 及(La/Yb)_N 比值略高。从稀土元素配分图解(图 2, A)可看出,配分曲线较为平直,斜率小。除面碱尚细碧岩略有负铈异常外,其他地区细碧岩基本无铈异常。

3.2 中性岩类(角斑岩、安山岩)稀土元素特征

北祁连中性岛弧火山岩(La/Yb)_N 比值大多在 3~11 之间变化,平均为 6.84,说明岩石存在明显的轻重稀土分异,轻稀土中等富集。稀土元素配分曲线(图 2, B)反映了同样的特征,具有中—强负铈异常,说明岩石已产生过一定程度的斜长石分离结晶。

3.3 酸性岩类(石英角斑岩)稀土元素特征

与中、基性岩类相比,酸性岩具有更强的负铈异常和更为明显的轻重稀土分异,轻稀土强烈富集。配分曲线(图 2, C)轻稀土部分较陡,负斜率大,而重稀土部分曲线较为平直。

从上述稀土元素特征可以看出,北祁连岛弧火山岩由基性→中性→酸性岩,稀土元素具有连续递进的演化规律,轻稀土富集度逐渐增高,铈亏损逐渐增强。这表明北祁连岛弧火山岩可能具有同源性,是由共同的原生岩浆分异演化而成。

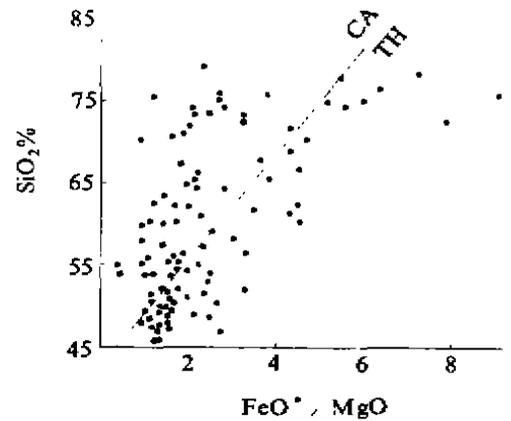


图 1 北祁连岛弧火山岩 SiO₂-FeO*/MgO 图解

Fig. 1 SiO₂-FeO*/MgO Diagram for the Island-arc Volcanic Rock in Northern Qilian

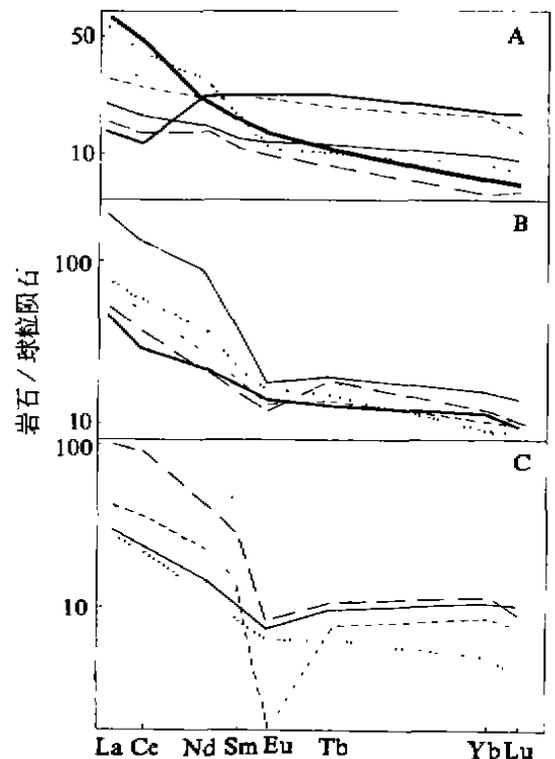


图 2 北祁连岛弧火山岩稀土配分型式

Fig. 2 Chondrite-normalized REE Patterns for the Island-arc Volcanic Rock in Northern Qilian

A 基性岛弧火山岩; B 中性岛弧火山岩; C 酸性岛弧火山岩

4 微量元素地球化学特征

(1) 北祁连岛弧火山岩自基性向酸性演化, 配分曲线由平缓型逐渐上升成为右倾型式(图 3, A, B, C)。

(2) 有 Rb, Th, K 峰, 但以 Th 峰最为明显, 在大多数岩石中都具有 Rb, Th, K 的正异常, 反映了钾族元素呈富集状态。同时, 随着岩浆分异程度的增大, 由基性岩→中性岩→酸性岩, Rb, Th, K 的含量也有增高的趋势, 说明它们在分异过程中的不相容元素性质。

(3) 有 Nb 谷。Nb 的负异常普遍存在, 但随着岩浆分异程度的增加, 由基性→中性→酸性岩, Nb 谷的深度基本不变或变化不大。这说明 Nb 谷的存在可能在很大程度上继承了初始岩浆中微量元素的特点, 而与岩浆分异作用关系不大。

(4) 有 Ba, Sr 谷。在基性岩中 Ba, Sr 的负异常并不明显, 而随岩浆分异程度的增大, Ba, Sr 谷逐渐加深, 在酸性岩中 Ba, Sr 已呈强负异常, 说明它们是在岩浆分异过程中形成的。

(5) 有 Ti 谷, 且随岩浆分异, Ti 谷的深度逐渐加大。这可能与钛铁氧化物的分离结晶有关。

可见, 北祁连岛弧火山岩以富集大离子半径元素和贫化高场强元素为特征。

5 构造背景的地球化学判别

$\log\tau - \log\sigma$ 图解中(图 4), 北祁连岛弧火山岩大多位于 B 区(造山带及岛弧火山岩区)。部分样品点落入 C 区。这可能有两种原因: ①是由拉斑和钙碱系列火山岩分异演化派生的碱性火山岩类; ②由于细碧岩化和变质作用过程中 Na_2O 的带入, 造成投影点向 σ 增大的方向偏移。

北祁连岛弧火山岩在 $\text{TiO}_2 - \text{MnO}_2 \times 10 - \text{P}_2\text{O}_5 \times 10$ 图解(图 5)中均位于 IAT 和 CAB 区, 说明该图解对于低度变质和经受过一定细碧岩化作用的变质火山岩仍然有一定的判别效果。

在 Hf—Th—Ta 图解中(图 6), 北祁连岛弧火山岩绝大多数投影点位于岛弧区内或十分接近 Th 角的位置, 个别投影点进入了 MORB 和 WPB+MORB 区内。

微量元素组合特征是反映火山岩形成构造背景的有效途径, 北祁连岛弧火山岩微量元素 N 型 MORB 标准化分布型式(图 7)表明, 曲线大多具有典型的岛弧火山岩的分布型式, 可细分为两种类型: ①以 Sr, K, Rb, Ba 和 Th 的较强富集并伴有 Ce, P 和 Sm 的低度富集为特征, 代表钙碱系列岛弧火山岩的分布特征; ②以 K, Rb, Ba, Th 的选择性富集, 以及由 Ta 至 Yb 的低丰度值为特征。它们代表一套拉斑玄武质岛弧火山岩组合, 从而说明北祁连岛弧火山岩以拉斑系列和钙碱系列为主。

6 北祁连岛弧钾玄岩系列火山岩

北祁连山石灰沟一带存在岛弧钾玄岩系列火山岩(夏林圻等, 1991), 它们位于火山岩层位的最上部, 形成最晚, 在整个火山岩系中所占比例不到 10%。除石灰沟外, 在白银厂一带可能也存在少量钾玄

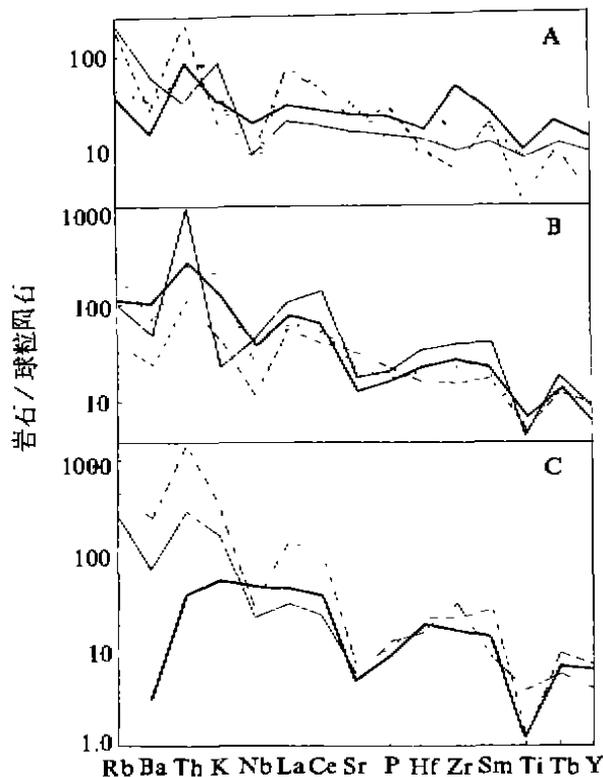


图 3 北祁连岛弧火山岩微量元素球粒陨石标准化型式

Fig. 3 Chondrite-normalized Trace Element Patterns for the Island-arc Volcanic Rock in Northern Qilian

A 基性岛弧火山岩; B 中性岛弧火山岩; C 酸性岛弧火山岩

岩(粗面玄武岩、橄榄玄粗岩等)。

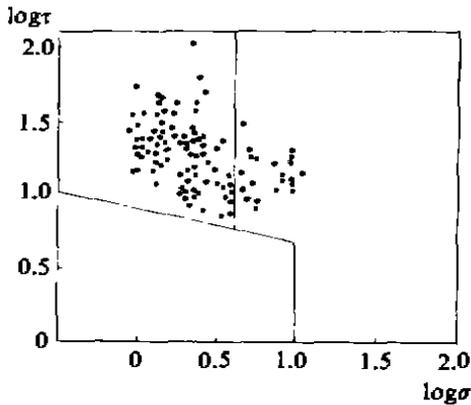


图 4 北祁连岛弧火山岩 $\log r - \log \sigma$ 图解
Fig. 4 $\log r - \log \sigma$ Diagram for the Island-arc Volcanic Rock in Northern Qilian

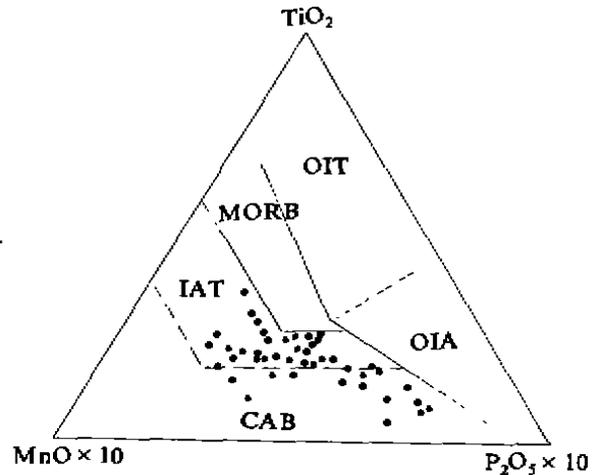


图 5 北祁连岛弧火山岩 $TiO_2/MnO/P_2O_5$ 图解
Fig. 5 $TiO_2/MnO/P_2O_5$ Diagram for the Island-arc Volcanic Rock in Northern Qilian

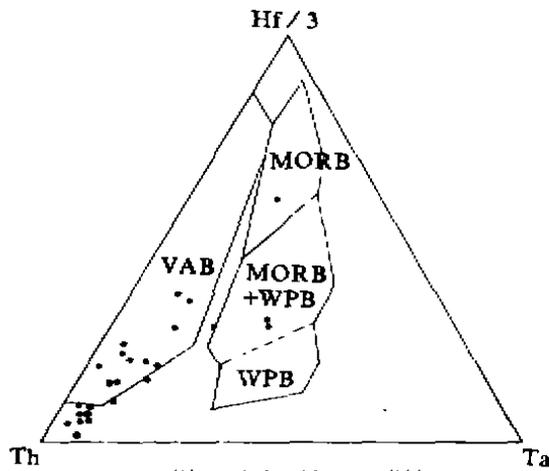


图 6 Hf-Th-Ta 图解
Fig. 6 Hf-Th-Ta Diagram

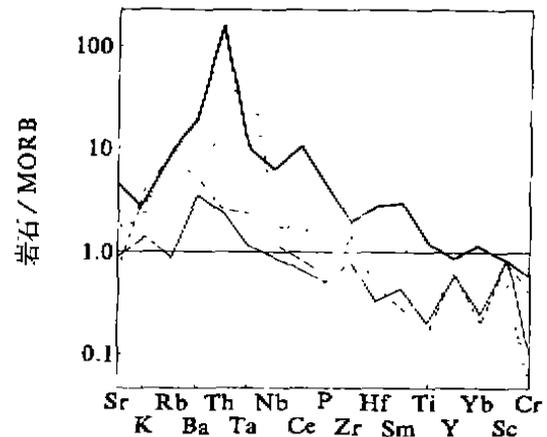


图 7 微量元素 N 型 MORB 标准化型式
Fig. 7 N-type MORB-normalized Trace Element Patterns

北祁连岛弧钾玄岩系列火山岩具有以下特征:①全碱含量高, $K_2O + Na_2O$ 均大于 5%, 大多在 5.7~9 之间变化, 最高可达 11.6%;② K_2O/Na_2O 高, 大多在 0.66~1.44 之间;③ TiO_2 含量低, 均小于 1.04%;④ Al_2O_3 含量高, 且变化大, 在 13.6%~18% 之间变化。岩石在 $SiO_2 - K_2O$ 图解中(图 8)均位于钾玄岩区内。

稀土元素以强烈富集轻稀土为特征, $(La/Yb)_N = 15.57 - 16.53$; $La/Sm = 6.89 - 8.72$ 。微量元素则以富集 Rb, Sr, Ba, K 等元素为特征。微量元素 N 型 MORB 标准化曲线具有典型的岛弧火山岩的分布型式, K, Rb, Ba, Th 强烈富集, 而 Ce, P, Sm 等为中等富集。北祁连岛弧钾玄岩系列火山岩的出现是岛弧演化达到成熟阶段的重要标志。

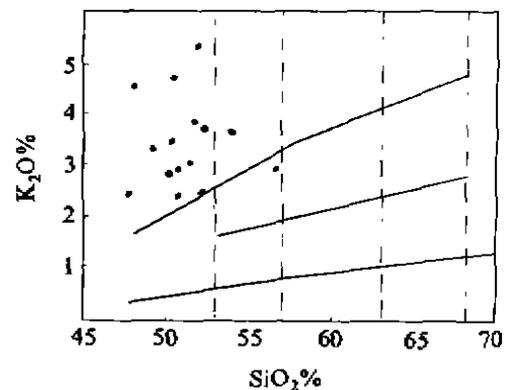


图 8 北祁连岛弧钾玄岩 $SiO_2 - K_2O$ 图解
Fig. 8 $SiO_2 - K_2O$ Diagram for the Shoshonite Series

7 北祁连岛弧的发展与演化

弧火山活动是洋壳板块俯冲的结果。随着俯冲作用的发生、发展与演化,岛弧也将经历一个由不成熟→半成熟→成熟的演化过程。不成熟岛弧地壳是薄且铁镁质的,或者可以认为是一种大洋型地壳;而成熟岛弧的地壳则是厚且相对偏长英质的,可称为大陆型地壳;大陆边缘火山岩弧(如 Andes)常具有大陆型地壳,与成熟岛弧大陆型地壳类似或更厚。从这个角度而言,它们可以近似地看作成熟的岛弧或代表比成熟岛弧更高的演化阶段。

随着岛弧的产生与演化,火山岩逐渐堆积并达地壳厚度,火山岩的平均成分逐渐向长英质的和富钾方向演化,火山岩逐渐由拉斑系列为主演化为钙碱系列为主。随着岛弧的进一步演化,花岗质岩石开始产出,花岗质岩石与蛇绿质岩石的比例增加。同时,钙碱系列岩石/拉斑系列岩石的比例也增加。当岛弧成熟度很高时,蛇绿岩消失,而钙碱系列岩石/拉斑系列岩石比值接近1或更高,并可能出现高钾系列(钾玄岩)岩石。

因此,考察不同时期弧火山岩的岩石组合和系列变化,将是判别岛弧成熟度及其演化的重要途径。

(1)分布在青海熬油沟一带的元古代岛弧火山岩均为基性岩类,属拉斑系列火山岩,不具有明显的富铁趋势,代表一种建立在洋壳基础上的成熟度很低的初始岛弧类型。

(2)北祁连寒武系岛弧火山岩可区分为两个系列,一是岛弧拉斑系列,在已有的分析数据中,它占的比例并不高,且富硅趋势不明显;二是岛弧钙碱系列,在 AFM 图上无富铁趋势,表现为单一的富碱趋势。总体而言,岩系中 SiO_2 介于 55%~65% 之间的中性岩类占有较高的比例,表明寒武系岛弧具有中等的成熟度,应属半成熟—成熟岛弧类型。

(3)奥陶系海相火山岩在北祁连地区分布最为广泛,自 $\text{O}_1 \rightarrow \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$ 岛弧火山岩具有连续的演化规律。中、晚奥陶系拉斑系列岛弧火山岩均具有较为明显的富硅趋势, SiO_2 与 FeO^+/MgO 同步增长。从岩石组合看,早、中奥陶基性岩占有较大比例,晚奥陶中酸性岩占的比例较高。至中晚奥陶,石灰沟、白银厂一带出现岛弧钾玄岩系列火山岩,标志着北祁连岛弧已具有较高的成熟度,属成熟期岛弧类型。

(4)奥陶纪末期,北祁连洋盆已基本闭合,至早志留世,仅在局部地区还有弧火山活动,且以钙碱系列火山岩为主,其成因机制可能与残余洋盆的活动有关。

本文承蒙邓晋福、赵海玲教授精心指导,在此深表谢意!

参 考 文 献

- 1 夏林圻,夏祖春,任有祥等. 祁连、秦岭山系海相火山岩. 武汉:中国地质大学出版社,1991
- 2 Lofgren G E. Petrology and chemistry of terrestrial, Lunar and Meteoritic Basalts. In: Members of the Basaltic Volcanism Study Project eds. Basaltic Volcanism on the Terrestrial Planets. New York: Pergamon Press, 1981
- 3 赖绍聪,邓晋福,赵海玲. 青藏高原北缘火山作用与构造演化. 西安:陕西科学技术出版社,1996
- 4 Gill J B. Orogenic Andesites and Plate Tectonics. New York: Springer-verlag, 1981

责任编辑 张银玲

Geochemical Features of the Island-arc Volcanic Rock in the Northern Qilian Area

Lai Shaocong Long Ping

(Department of Geology, Northwest University, 710069, Xi'an)

Abstract The island-arc volcanic rock from Northern Qilian area and the ancient tectonic setting of volcano activity as well as the tectonic evolution of the island-arc are discussed. Finally a new concept about the tectonic evolution of the island-arc in Northern Qilian area is set up.

Key words geochemistry; volcanic rock; evolution of the island-arc; Northern Qilian area