

东昆仑早石炭世火山岩的地球化学 特征及其构造背景

袁万明

(中国科学院高能物理研究所, 北京 100080)

莫宣学 喻学惠 罗照华

(中国地质大学, 北京 100083)

王晓红

(青海省地球化学勘查技术研究院, 西宁 810008)

主题词 构造背景 构造地球化学 火山岩 构造-岩浆作用 东昆仑

提 要 东昆仑早石炭世火山岩主要沿昆中缝合带及其旁侧分布, 岩性以玄武岩为主, 之后亦有安山岩和英安岩产出, 先后形成于洋脊、洋岛和岛弧构造环境。洋脊玄武岩 K_2O 、 P_2O_5 、 SiO_2 、REE 含量和 FeO^*/MgO 比值低, 钙、铁、镁高, 轻重稀土元素分馏差。岛弧玄武岩硅、碱、铝和 REE 含量以及 LREE/HREE 比值高, 镁、铁质低。洋岛玄武岩 TiO_2 和 P_2O_5 高, K_2O 低, REE 和 LREE/HREE 介于前二者之间。火山岩的构造背景表明, 早石炭世昆中断裂带以“开”为主, 形成洋脊玄武岩和洋岛玄武岩; 早石炭世末转为“合”, 形成岛弧型玄武岩、安山岩和英安岩。洋脊玄武岩的识别, 对于研究区域构造及其演化甚为重要。

华力西期东昆仑地区构造-岩浆作用十分活跃, 特别是昆南断裂带, 经历较为完整的开合过程, 并形成阿尼玛卿蛇绿岩带, 因而十分引人注目, 其研究程度亦相对较高, 基本认识分歧甚小。而关于昆中断裂在华力西期特别是石炭纪的活动状况, 目前尚无一致看法, 例如, 认为石炭纪处于闭合平静状态^①; 认为泥盆-石炭纪为伸展垮塌阶段^[1, 2]; 郑健康^[3]认为昆中缝合带南北两侧的石炭系属于同一大地构造背景, 不同古地理环境的产物, 即均是发育在已经碰撞拼合为一体的晚古生代中国板块之上的盖层沉积。本文将基于对区内构造-火山活动的研究, 探讨区域构造背景。

1 火山岩的分布与岩石系列

早石炭世有较强烈的火山喷发活动, 是构成哈拉郭勒群的重要组成部分。区域上呈东西向展布, 出露于昆中断裂南侧附近, 在红石山、大干沟、海德乌拉、可可晒尔、下日一带均有分布, 断续延伸 130 km, 宽 1.6~9.0 km。岩性以玄武岩为主, 晚期有安山岩、英安岩、流纹岩及火山碎屑岩覆于其上, 总体上由基性向酸性演化, 间夹硅质岩、凝灰岩、碳酸岩、

第一作者简介 袁万明, 男, 1956年生, 副教授, 博士学位。现在中国科学院高能物理研究所核分析技术开放实验室从事博士后研究工作。

收稿日期 1998-05-04, 改回日期 1998-07-28

① 青海省区调综合地质大队。青海省东昆仑山缝合带及基底构造对比研究, 1993。

千枚岩、板岩和砂岩类。哈拉郭勒群下岩组由火山岩组成，上岩组亦夹有火山岩。火山岩系厚度可达 2800 m 以上。由下向上，火山岩厚度变小，反映喷发强度减弱。在诺木洪河一带火山岩所占比例大，碳酸盐岩和碎屑岩较少。向东火山岩相对较少。在埃肯雅玛托、阿不哈打等地，火山岩厚度达 530 m。玄武岩普遍发育枕状构造。火山岩内灰岩夹层中产有时为早石炭世维宪期的腕足类和珊瑚等化石，生物组合可与柴达木盆地北缘晚石炭世怀头他拉组以及我国南方大塘阶对比^①。火山岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 340Ma^[3]，亦属早石炭世。哈拉郭勒群是昆中断裂带裂陷接受沉积的结果，主要由火山岩、碳酸盐岩、硅质岩和碎屑岩组成，早石炭世末开始挤压隆升，形成早石炭世与晚石炭世地层间的假整合接触。但目前尚未发现与之相应的蛇绿岩套。

早石炭世火山岩岩石化学成分主要依据赵懋廉等的成果^[4]，个别点为本文所测试。据 $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 图解 (Irvine et al., 1971) 鉴别，除个别样品为碱性系列外，主体样品被判为亚碱性系列。由 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{FeO}^* - \text{MgO}$ 三角图解可知，亚碱性系列分属拉斑玄武岩系列和钙碱性系列。在 Miyashiro (1974) $\text{FeO}^* / \text{MgO}$ 对 SiO_2 、 TiO_2 和 FeO^* 图解上，亦投于拉斑玄武岩系列和钙碱性系列(包括二者的过渡区)，与上述判别结果吻合。岩石类型从低钾 → 中钾 → 高钾均有。

2 玄武岩的构造背景

关于哈拉郭勒群玄武岩，前人认为明显不同于万宝沟群玄武岩和纳赤台群玄武岩，而是属于火山弧玄武岩或大陆岛弧玄武岩^[2,4]。本文所得认识与之有所不同。玄武岩含 Ti、Cr 较高，在 Ti-Cr 关系图 (Pearce et al., 1975) $\text{Zr} - \text{Ti}$ 和 $\text{Zr} - \text{Ti}/100 - 3\text{Y}$ 图解 (图 1) 上，

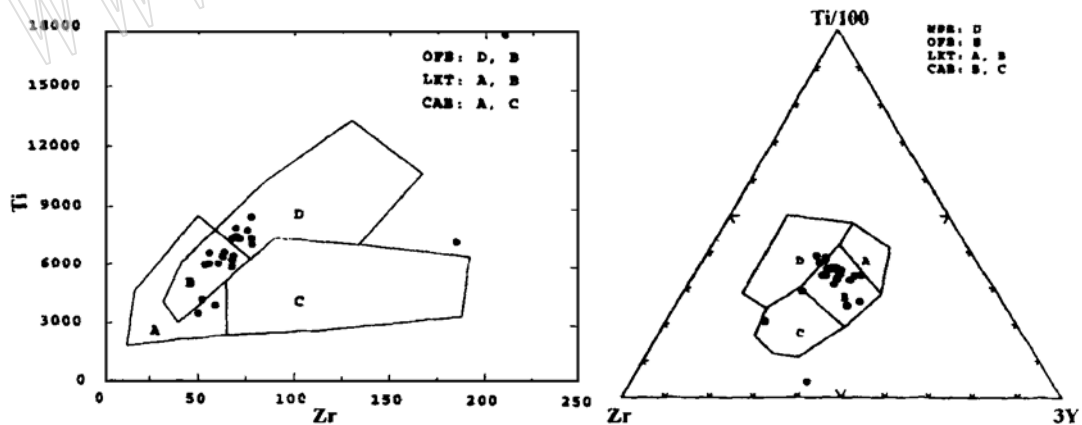


图 1 东昆仑早石炭世玄武岩的 $\text{Zr} - \text{Ti}$ 和 $\text{Zr} - \text{Ti}/100 - 3\text{Y}$ 图解(据 Pearce, Cann, 1973)

Fig. 1 $\text{Zr} - \text{Ti}$ and $\text{Zr} - \text{Ti}/100 - 3\text{Y}$ diagrams of Early Carboniferous basalts from eastern Kunlun Mountains

OFB—洋底玄武岩; LKT—低钾拉斑玄武岩; CAB—钙碱性玄武岩; WPB—板内玄武岩

① 青海省地质局。埃坑德勒斯特 1:20 万区域地质调查报告。1982。

分析数据的样点主要投入大洋环境玄武岩区, 部分落在低钾拉斑玄武岩区, 表明区内玄武

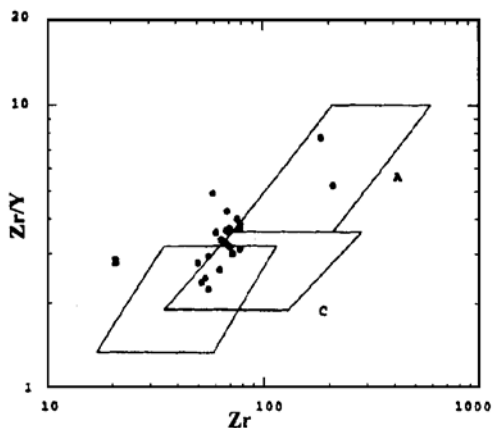


图2 东昆仑早石炭世玄武岩的 Zr-Zr/Y 图解
(据 Pearce and Norry, 1979)

Fig. 2 Zr-Zr/Y diagram of Early Carboniferous basalts from eastern Kunlun Mountains
A-板内玄武岩; B-岛弧玄武岩; C-洋脊玄武岩

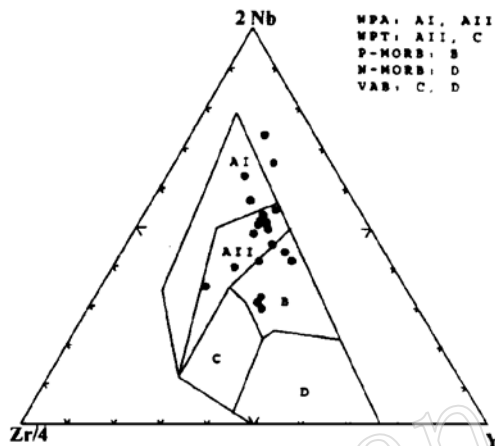


图3 早石炭世玄武岩的 Zr/4-2Nb-Y 图解
(据 Meschede, 1986)

Fig. 3 Zr/4-2Nb-Y diagram of Early Carboniferous basalts from eastern Kunlun Mountains
WPA-板内碱性玄武岩; WPT-板内拉斑玄武岩;
VAB-火山弧玄武岩; P- MORB, N- MORB-洋脊玄武岩

岩以大洋环境为主。在 Zr-Zr/Y 图解(图2)上, 多数点落于洋脊玄武岩和岛弧玄武岩区,

少数落于板内区。对 $SiO_2 = 51\% \sim 56\%$ 的岩石, 由

$MgO-FeO^*-Al_2O_3$ 图

(Pearce et al., 1977) 亦知, 属于洋脊型和造山带(岛

弧)型。在 Zr/4-2Nb-Y 图上, 判为洋脊玄武岩和板

内玄武岩(图3)。由 TiO_2-FeO^*/MgO 图(图4)知, 绝

大多数样点判为洋脊型和岛弧型, 个别为洋岛型。据

Zr-Ti/100-Sr/2 图解^[6]和 $10MnO-TiO_2-10P_2O_5$

图解^[5]判读, 仍以洋脊型和岛弧型为主。各样品在上述不同图解中判别结果相

一致。据仅有6个样品的测试结果, 稀土元素配分模式

(图5)可分为四类: 第一、

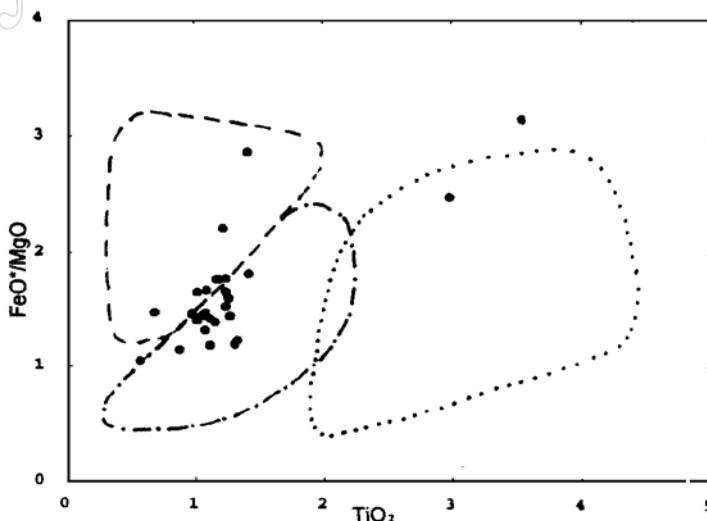


图4 东昆仑早石炭世玄武岩的 TiO_2-FeO^*/MgO 图解

Fig. 4 TiO_2-FeO^*/MgO diagram of early Carboniferous basalts from eastern Kunlun Mountains
点虚线区: 洋脊玄武岩区; 虚线区: 岛弧玄武岩区; 点线区: 洋岛玄武岩区

二类轻重稀土元素分馏程度低, 曲线平缓, 均为洋脊玄武岩特征, 其中第一类稀土元素总量最小, 曲线位置低且平缓, Eu 异常不明显, 与 Bryan et al^[7] 和 Schilling^[8] 所划分 T-MORB 和 E-MORB 类似,

图 3 亦显示不属于 N-MORB; 第二类稀土元素总量较高, 但小于岛弧和洋岛玄武岩, 负 Eu 异常明显; 第三类右倾明显, 稀土元素总量较高, 负 Eu 异常明显, 为岛弧玄武岩特征; 第四类稀土元素总量高, 分馏强, Eu 异常不明显, 为洋岛玄武岩特征。区内拉斑玄武岩系列、钙碱性系列和碱性系列玄武岩的存在, 亦符合所述三类玄武岩的特性。区内所识别出的 2 个洋岛玄武岩, 在图 4 上均投于洋岛区或非造山区。综上所述, 区内玄武岩以大洋中脊型和岛弧型为主, 少量为大洋岛屿型。洋脊玄武岩和洋岛玄武岩的存在, 是早石炭世昆中断裂扩张成洋的证据; 岛弧玄武岩的存在, 是早石炭世末期昆中板片沿昆中断裂带俯冲的结果。

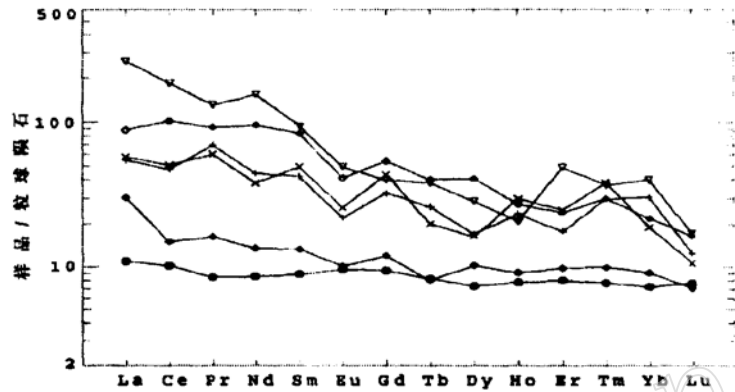


图 5 东昆仑早石炭世不同玄武岩的稀土元素配分模式

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of early Carboniferous basalts from eastern Kunlun Mountains

◇—洋岛玄武岩; ▽—岛弧玄武岩; 其它为洋脊玄武岩

3 各类玄武岩的地质地球化学特征

洋脊玄武岩 主要分布在诺木洪河上游哈拉郭勒地区, 洋脊玄武岩构成所处地层的主体, 间夹硅质岩和粉砂质碎屑岩, 具多个喷发旋回, 向东西两侧玄武岩趋向尖灭, 而碎屑岩和碳酸岩发育。洋脊玄武岩分布于出露剖面的下部。火山活动呈裂隙式喷发, 岩性为细碧岩和拉斑玄武岩, 枕状构造发育, 宏观上呈块层状。岩枕一般平行层面排列, 多呈椭球状、浑圆状、不规则状, 大小不一, 枕体为隐晶质, 外壳为玻璃质。岩石呈深灰色或灰绿色, 细碧岩为细粒结构或间粒结构, 拉斑玄武岩为斑状结构, 基质为间粒结构。多为块状构造, 少数具杏仁状构造。斑晶与基质中辉石均以普通辉石为主, 普遍遭受蚀变作用, 但可见辉石核。岩石 SiO_2 含量低, 14 个样平均为 48.53%, 变化范围为 44.95%~50.74%。 K_2O 低, 为 0.03%~0.61%, 平均 0.31%。 Na_2O 远高于 K_2O , $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 平均为 2.81%。镁铁质较高, $\text{FeO}^* + \text{MgO} = 19.38\%$; $\text{FeO}^* / \text{MgO}$ 比值低, 平均为 1.62。含 P_2O_5 低, 平均 0.10%。 CaO 较高, 平均 10.66%。稀土元素含量低, $\Sigma\text{REE} = 31.48 \sim 139.21 (10^{-6})$; $\text{LREE}/\text{HREE} = 2.14 \sim 3.52$, 其中二个亚类特征分别为: ① $\Sigma\text{REE} = 31.48 \sim 49.78 (10^{-6})$, $\text{LREE}/\text{HREE} = 2.14 \sim 2.92$, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1.17 \sim 0.89$; ② $\Sigma\text{REE} = 135.75 \sim 139.21 (10^{-6})$, $\text{LREE}/\text{HREE} = 3.30 \sim 3.52$, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.72 \sim 0.77$ 。具有不同微量元素分析结果的样品计 7~9 个, 其中 $\text{Rb} = 3 \sim 35 (10^{-6})$, 平均 $20.6 (10^{-6})$; $\text{Sr} = 28 \sim 240 (10^{-6})$, 平均 $171 (10^{-6})$; $\text{Ba} = 50 \sim 491 (10^{-6})$, 平均 $185 (10^{-6})$; $\text{Cr} = 125 \sim 320 (10^{-6})$, 平均 $224 (10^{-6})$;

K/Rb= 74~ 564, 平均 197; K/Ba= 5~ 101, 平均 26; Rb/Sr= 0.04~ 0.27, 平均 0.15。这些特征与大西洋和太平洋某些洋脊玄武岩类似^[9]。不过, 尚未发现稀土元素配分模式向左倾的洋脊玄武岩, 已有微量元素分析数据的岩石中含 Rb 和 Ba 相对较高, 所以, 在此可称为准洋脊玄武岩, 与邻区三江地区过渡型和富集型洋脊玄武岩^[10, 11]以及美国 Alaska 南部 Resurrection 半岛的似弧型(arc_like)洋脊玄武岩^[12]十分相似, 后者被认为是形成于海沟—前弧系的近海侧(Seaward), 亦与本区洋脊玄武岩产出部位一致。

洋岛玄武岩 分布限于洋脊玄武岩范围之内, 剖面上出露于洋脊玄武岩的上部, 岩性为拉斑玄武岩, 呈拉斑玄武岩—英安岩岩石组合, 间夹硅质岩和粉砂岩。与洋脊玄武岩不同的是, 辉石为钛辉石。因此, 最为典型的地球化学特征是高 TiO₂, 2 个样品 TiO₂= 2.96%~ 3.53%, 平均 3.25%。K₂O 很低, 平均为 0.24%, Na₂O= 2.32%, 碱质特征与洋脊型玄武岩类似。镁铁质总量为 20.23%, 与洋脊型相近, 但相对富铁贫镁, FeO^{*}/MgO= 2.04。P₂O₅ 较高, 为 0.33%。稀土元素总量和轻重稀土元素分馏程度均介于洋脊型与岛弧型之间, ΣREE= 254.11(10⁻⁶), LREE/HREE= 4.66, Eu/Eu^{*}= 0.76。

岛弧玄武岩 分布于哈拉郭勒群火山岩组的上部, 出露范围最广, 岩石组合为玄武岩—安山岩—流纹岩, 其中玄武岩属碱质含量较高的拉斑玄武岩, 少量属碱性玄武岩。岩石硅质高, SiO₂= 50.82%。钾高钛低, K₂O= 1.29%, TiO₂= 1.01%。钠亦高, Na₂O= 3.07%。镁铁质低, FeO^{*}+MgO= 15.64%。Al₂O₃ 含量最高, 平均 15.32%。这些均与大洋玄武岩明显有别。是稀土元素总量和分馏程度最高的类型, Eu 异常不明显。ΣREE= 429.78(10⁻⁶), LREE/HREE= 8.35, Eu/Eu^{*}= 0.80。

4 中酸性火山岩的构造背景

前述火山岩主要是基性喷出岩, 个别为安山岩, SiO₂< 60%, 形成于岛弧环境(图 4)。在地层层位上部还分布有 SiO₂> 60% 的中酸性火山岩, 它们主要形成于早石炭世末期, 岩

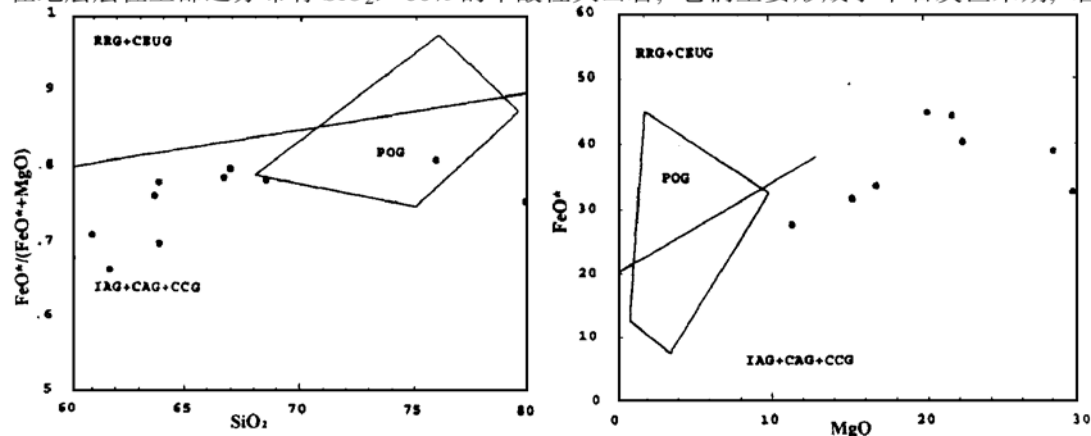


图 6 东昆仑早石炭世中酸性火山岩的

SiO₂—FeO^{*}/(FeO^{*}+MgO) 和 MgO—FeO^{*} 图解(据 Maniar and Piccoli, 1989)

Fig. 6 SiO₂—FeO^{*}/(FeO^{*}+MgO) and MgO—FeO^{*} diagrams of early Carboniferous

intermediate_acid volcanic rocks from eastern Kunlun Mountains

CAG—大陆弧型花岗岩; CCG—大陆碰撞花岗岩; CEUG—大陆造陆上升花岗岩类; IAG—岛弧花岗岩类;

POG—造山期后花岗岩类; RRG—与裂谷有关似花岗岩类

性主要为安山岩和英安岩。据 $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 系列图解, 这些火山岩属亚碱性系列。由 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{FeO}^* - \text{MgO}$ 图进一步判读, 均属于钙碱性系列。

在利用岩石化学成分进行构造判别的方法中, Maniar 等 (1989) 和 Batchelor 等 (1985) 判别法较为可信。本区岩石样点在 Maniar 等^[13] 的 $\text{MgO} - \text{FeO}^*$ 和 $\text{SiO}_2 - \text{FeO}^* / (\text{FeO}^* + \text{MgO})$ 图解 (图 6) 上, 均落于造山带岩类区。Pearce (1996) 认为 $\text{Rb} - (\text{Rb} + \text{Y})$ 图解不仅有效, 而且反映源区特征及其有关的各种作用^[14]。岩石样点在 $(\text{Y} + \text{Rb}) - \text{Rb}$ 图解 (图 7) 中分布于岩浆弧型岩类区与碰撞后岩类区的重叠部位, 并表明其源区主要为上地壳。总之, 产于哈拉郭勒群顶部的中酸性火山岩主要形成于岛弧环境, 是板块俯冲碰撞的产物。据它们的钙碱性系列属性, 其产出部位在靠近大陆一侧。

5 结 论

本区早石炭世火山岩具有洋脊型、洋岛型和岛弧型, 特别是洋脊型玄武岩的识别, 对研究昆中缝合带的“开合”历史甚为重要。早石炭世是昆中断裂带演化中的特殊时期, 它既不同于其后印支期的 A 型俯冲带性质, 又与加里东期 B 型俯冲带状况不尽相同, 而是属于由开到合的准 B 型俯冲带。早石炭世主体上以扩张为主, 昆中洋盆开启, 形成大洋中脊玄武岩和洋岛玄武岩; 早石炭世末转为昆中板块向北的俯冲造山, 相继形成岛弧型玄武岩、安山岩和英安岩。

参 考 文 献

- 1 古风宝. 东昆仑地质特征及晚古生代-中生代构造演化. 青海地质, 1994, 3(1): 4~14.
- 2 古风宝, 吴向农. 东昆仑华力西-印支期花岗岩组合及构造环境. 青海地质, 1996, 5(1): 18~36.
- 3 郑健康. 东昆仑区域构造的发展演化. 青海地质, 1992, 1(1): 15~25.
- 4 赵惇廉, 郑健康. 东昆仑玄武岩地球化学特征与构造环境分析. 青海地质, 1990, (1).
- 5 Mullen E D. $\text{MnO}/\text{TiO}_2/\text{P}_2\text{O}_5$: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. Earth and Planetary Science Letters. 1983, 62: 53~62.
- 6 王仁民, 陈珍珠. 变质岩原岩判别图解. 地质出版社, 1982.
- 7 Bryan W B et al. Inferred geological settings and differentiation in basalts from the Deep Sea Drilling project. Jour. Geophys. Res. 1976, 81: 4285~4304.
- 8 Schilling J G. Rear- earth variations across normal segments of the Regkjanes Ridge; $60^\circ \sim 53^\circ$, Mid-Atlantic Ridge, 29°S ,

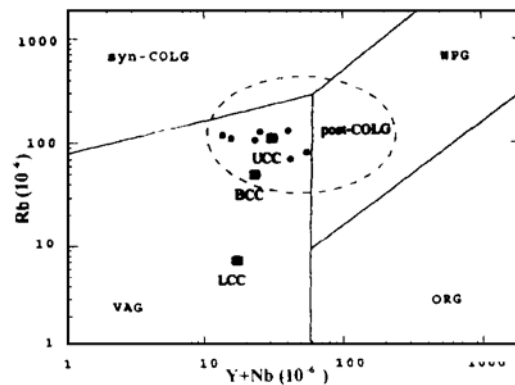


图 7 东昆仑早石炭世中酸性火山岩的 $(\text{Y} + \text{Nb}) - \text{Rb}$ 图解 (据 Pearce, 1996)

Fig. 7 $(\text{Y} + \text{Nb}) - \text{Rb}$ diagram of early Carboniferous intermediate-acid volcanic rocks from eastern Kunlun Mountains
syn-COLG 一同碰撞花岗岩; VAG 一火山弧花岗岩;
WPG 一板内花岗岩; ORG 一洋脊花岗岩;
UCC 一上部陆壳; LCC 一下部陆壳; BCC 一总体陆壳

- and East Pacific Ridge, 2°~ 19°S and evidence on the underlying low velocity layer. *Jour. Geophys. Res.* 1975, 80: 1459~ 1473.
- 9 Charmichael I S E, Turner F G and Verhoogen J. *Igneous Petrology*. New York: McGraw-Hill. 1974.
- 10 莫宣学等. 三江特提斯火山作用与成矿. 北京: 地质出版社, 1993.
- 11 侯增谦, 莫宣学等. “三江”古特提斯地幔热柱. *地球学报*, 1996, 17(4): 362~ 375.
- 12 Lytwyn J N. Arc-like mid_ocean ridge basalt formed seaward of a trench-forearc system just prior to ridge subduction: An example from subducted ophiolites in southern Alaska. *J. Geophys. Res.* 1997, 102(B5): 10225~ 10243.
- 13 Maniar P D and Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Am. Bull.* 1989, 101: 635~ 643.
- 14 Pearce. Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, 1996, 19(4): 120~ 125.

Geochemical Characteristics and Tectonic Setting of the Early Carboniferous Volcanic Rocks in East Kunlun Mountains

Yuan Wanming

(Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Mo Xuanxue Yu Xuehui Luo Zhaohua

(Chinese University of Geosciences, Beijing 100083)

Wang Xiaohong

(Qinghai Institute of Geochemical Exploration Technology, Xining 810008)

Key words: tectonic setting; tectonic geochemistry; volcanic rocks; tectonomagmatism; Eastern Kunlun Mountains.

Abstract

Early Carboniferous volcanic rocks in East Kunlun Mountains are distributed along Mid_Kunlun deep fault zone and consist mainly of basalts overlain by andesites and dacite. They were formed sequentially in setting of mid_ocean ridge, ocean island and island arc. The mid_ocean ridge basalt has lower K_2O , P_2O_5 , SiO_2 , REE, FeO^*/MgO and LREE/HREE values, and higher CaO , FeO^* and MgO contents than the island_arc basalt. The ocean island basalt is characterized by highest TiO_2 and lowest K_2O contents, but its REE and LREE/HREE values are between values of the other two sorts of basalts. The study on the tectonic setting of the volcanic rocks shows that the Mid_Kunlun suture was dominantly in “spreading” state in Early Carboniferous, resulting in the formation of mid_ocean ridge basalt and ocean island basalt, and then evolved into “closing” state, giving birth to island_arc basalt, andesite and dacite at the end of Early Carboniferous. The identification of the ocean_ridge basalt is important to the understanding regional tectonics and its evolution.