

东昆仑山木孜塔格蛇绿混杂岩中火山岩的地球化学特征及构造环境

吴 峻¹, 兰朝利², 李继亮³

WU Jun¹, LAN Chaoli², LI Jiliang³

1. 中国地质调查局资源评价部, 北京 100011; 2. 石油大学石油天然气工程学院, 北京 102249;

3. 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈开放实验室, 北京 100029

1. *Department of Mineral Resources Assessment, China Geological Survey, Beijing 100011, China;*

2. *School of Oil and Gas Engineering, University of Petroleum, Beijing 102249, China;*

3. *Open Laboratory of Lithosphere Tectonic Evolution, Institute of Geology and Geophysics,*

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

摘要:木孜塔格蛇绿混杂岩沿东西走向的木孜塔格-鲸鱼湖断裂断续出露有变质橄榄岩、堆晶岩、火山岩及其上覆的硅质岩,彼此呈构造接触关系。其中,火山岩由玄武岩、玄武安山岩和安山岩构成。野外观察曾认为火山岩属于蛇绿岩的一部分,但火山岩的微量和稀土元素分析表明,其富集LREE、Cs、Ba、Th、Pb,贫Nb、Ba/Nb、Ce/Pb、Cs/Rb、Ba/La和Nb/Ta分别为18.59~102.82、1.42~8.13、0.10~0.49、11.76~51.79和6.22~13.58, TiO₂含量1.64%~2.09%。这些特征表明该火山岩为形成于较成熟岛弧环境的火山岩而非蛇绿岩成员,也指示木孜塔格地区曾经历了与今西太平洋边缘近似的演化过程,可能形成了较成熟的沟-弧-盆体系。

关键词:东昆仑山;木孜塔格蛇绿混杂岩;火山岩;岛弧;地球化学

中图分类号:P588.14;P595

文献标识码:A

文章编号:1671-2552(2005)12-1157-05

Wu J, Lan C L, Li J L. Geochemical characteristics and tectonic setting of volcanic rocks in the Muztag ophiolitic mélange, East Kunlun Mountains, Xinjiang, China. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(12):1157-1161

Abstract: Metaperidotites, cumulates, volcanic rocks and their overlying cherts in the Muztag ophiolitic mélange are exposed discontinuously along the E-W-trending Muztag-Jingyuhu fault. These rocks show tectonic contact relationships. Of these, volcanic rocks consist of basalt, basaltic andesite and andesite. Field observations show that the volcanic rocks are a part of the ophiolites. However, the trace element and REE analyses of volcanic rocks indicate that they are enriched in LREE, Cs, Ba, Th and Pb and depleted in Nb, with Ba/Nb, Ce/Pb, Cs/Rb, Ba/La and Nb/Ta ratios of 18.59-102.82, 1.42-8.13, 0.10-0.49, 11.76-51.79 and 6.22-13.58 respectively and TiO₂=1.64-2.09%. These features suggest that the volcanic rocks are those that formed in a relatively mature island-arc environment rather than a member of the ophiolites and also indicate that the Muztag area underwent an evolutionary process that resembles that on the margins of the Western Pacific Ocean, in which a relatively mature trench-arc-basin regime might form.

Key words: East Kunlun; Muztag mélange; volcanic rock; island-arc; geochemistry

新疆东昆仑木孜塔格地区地处青藏高原西北缘,是研究青藏高原晚古生代构造演化的关键地区。然而,自然地理条件恶劣,制约了该地区地质资料的获取,因此木孜塔格目

前仍是青藏高原北部研究程度最低的几个地区之一。

自中-法木孜塔格一线联合考察以来,有关新疆东昆仑地区的地质资料报道逐渐增多,尤其是关于蛇绿岩的报道。

收稿日期:2005-03-10;修订日期:2005-04-14

基金项目:国家“九五”科技攻关“305”项目96-915-06-03专题资助成果。

作者简介:吴峻(1973-),女,博士,构造地质学专业。E-mail:wjun@cgs.gov.cn

截至目前,已相继在新疆东昆仑的木孜塔格、祁漫塔格和阿其克库勒湖等地区的多处发现了蛇绿岩^[1-8]。其中,木孜塔格蛇绿岩大致沿木孜塔格-鲸鱼湖断裂带分布,阿其克库勒湖蛇绿岩沿昆中断裂带顶部分布,而祁漫塔格蛇绿岩分布在更北侧,靠近茫崖蛇绿岩带。本文研究的木孜塔格蛇绿岩曾被认为是代表古特提斯在二叠纪末消亡和陆-弧碰撞的产物^[9,10],但缺少相关的岛弧岩石学与地球化学证据。

由于东昆仑地区构造历史复杂,本文研究的木孜塔格蛇绿岩具强烈的构造混杂,因此根据地球化学特征来判断蛇绿混杂带中岩石的类型及构造环境是研究本区构造演化的重要手段。笔者利用该方法,已经对木孜塔格蛇绿岩中地幔橄辉岩及硅质岩作了初步研究,取得一定进展^[4,5]。本文沿袭地球化学分析方法,继续对木孜塔格蛇绿混杂岩中的中基性火山岩进行分析研究,结合已有研究成果,进一步对东昆仑地区的构造演化进行探讨。

1 地质概况

木孜塔格地区在大地构造区划上位于习称的东昆仑南带西段。本文研究的木孜塔格蛇绿混杂岩分布在木孜塔格北侧的月牙河边,沿东西走向的木孜塔格-鲸鱼湖断裂带断续分布(图1),为李卫东等^[6]和马华东等^[7,8]所称的向阳泉-流畅沟蛇绿岩的东段。木孜塔格-鲸鱼湖断裂带向西与麻扎-康西瓦断裂带相连,向东与西大滩断裂带相连,被认为代表了

青藏高原内的第四缝合带^[9,10]。

2 蛇绿混杂岩野外地质特征

在区域上,该蛇绿混杂岩夹持于三叠纪复理石(和/或第四系粗碎屑沉积)与石炭纪灰岩夹板岩、火山碎屑岩之间,与石炭纪和三叠纪地层呈断层接触。笔者对该蛇绿混杂岩测量了地质剖面(图1)。在该剖面上,蛇绿混杂岩呈构造透镜体出露,以近东西走向延伸,岩体被强烈构造肢解并发生强烈的构造混杂,使得不同岩性的岩石在空间上比邻出露;岩体内部断层和片理发育,断层向南逆冲,而片理方向近于平行断层走向,强烈的构造肢解和构造混杂使得在野外很难恢复蛇绿混杂岩的原始层序。

据野外观察,该蛇绿混杂岩包含变质橄辉岩、堆晶岩和火山岩3个单元,上覆含放射虫的灰黑或紫红色硅质岩。变质橄辉岩、堆晶岩和火山岩之间以断层接触,接触关系复杂。

3 火山岩岩石学特征

本文的研究重点是蛇绿混杂岩中的火山岩组分。根据野外和薄片观察,木孜塔格蛇绿混杂岩的火山岩包括玄武岩、玄武安山岩、安山岩等类型。玄武岩呈灰褐色,斑状结构,基质由细粒隐晶颗粒组成,致密块状构造或见流动线理。玄武安山岩呈褐绿、灰黑或黑绿色,具辉绿结构、隐晶质或斑状结构,斑晶为斜长石(55%~70%)和单斜辉石(12%~20%),斜长

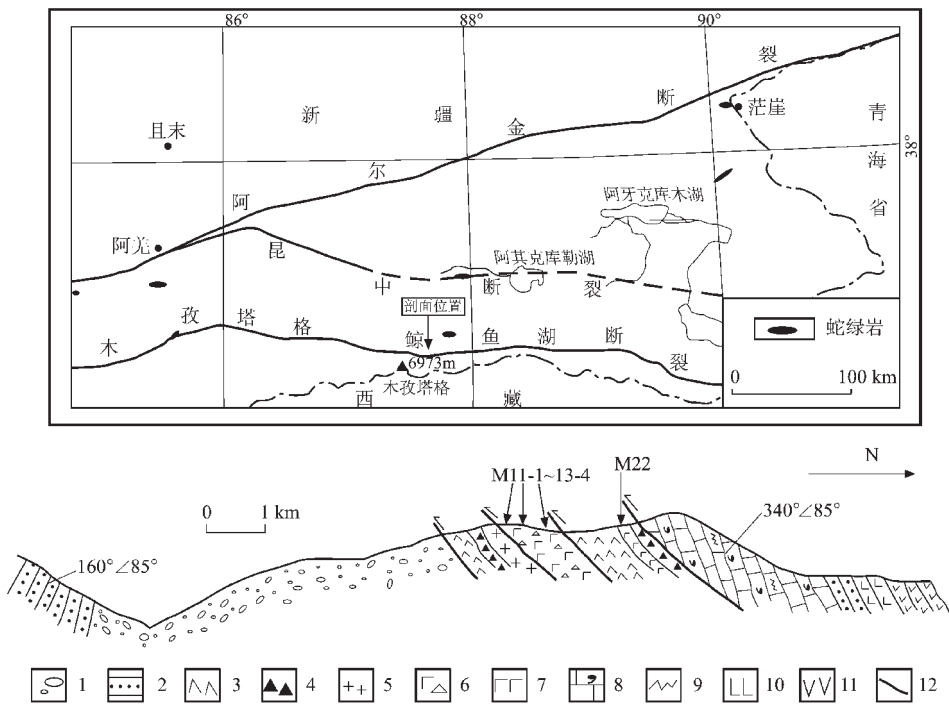


图1 木孜塔格蛇绿混杂岩地质剖面

Fig.1 Geological section of the Muztag ophiolitic mélange

- 1—第四纪沉积;2—三叠纪复理石;3—超基性岩;4—硅质岩;5—斜长花岗岩;6—玄武安山岩和玄武岩;7—玄武岩;8—石炭纪含生屑灰岩;9—波状层理;10—细碧岩;11—火山碎屑岩;12—断层

石高岭石化,辉石绿泥石化,致密块状构造。安山岩呈灰黑色或黑绿色,块状构造,隐晶质或斑状结构。

4 火山岩地球化学特征

对采集的火山岩样品进行了主量、微量和稀土元素的测试。样品的采集位置见图1,测试结果见表1。

4.1 主量元素特征

从表1可知,火山岩样品的SiO₂含量为52.65%~60.37%,在SiO₂-Zr/TiO₂图中这些火山岩样品投影在安山岩-亚碱性玄武岩区域(图2)^[1]。样品的Al₂O₃含量较高,为13.68%~15.70%。TiO₂含量为1.64%~2.09%,明显高于MORB的TiO₂含量(1.5%)^[12],表现出岛弧(洋岛?)的特征。

4.2 微量元素和稀土元素特征

火山岩样品的稀土元素配分模式均为LREE略富集型(图3)^[13], (La)_N和(La/Yb)_N分别为38.02~61.73和1.75~2.55,稀土含量变化范围为74.76×10⁻⁶~118.62×10⁻⁶。火山岩的Th和La含量分别为1.88×10⁻⁶~2.80×10⁻⁶和14.63×10⁻⁶~9.01×10⁻⁶,La/

Yb、Zr/Y和Hf/Yb分别为2.62~3.81、3.34~4.86和0.92~1.07。

在MORB标准化的微量元素蛛网图上(图4)^[14],以大离子亲石元素(LILE),如Cs、Ba、Th等富集和高场强元素(如Nb)亏损为特征,显示了火山岩与俯冲环境相关。

与N-MORB^[14]相比,木孜塔格火山岩具较高的Ba/Nb、Cs/Rb、Ba/La比值和低的Ce/Pb比值,Ba/Nb、Cs/Rb和Ba/La比值分别为18.59~102.82、0.10~0.49和11.76~51.79;Ce/Pb为1.42~8.13(M11-1除外)。这样的特点也反映木孜塔格火山岩具有岛弧特征,指示它们来源于与俯冲相关的环境,来自俯冲洋壳或俯冲沉积物的脱水流体参与了它们的形成。

此外,木孜塔格火山岩样品的Nb/Ta为6.22~13.58,大致可以同西南太平洋的Vanuatu弧(9.8~23.4)和Taupo弧(2.8~16)的火山岩对比^[15,16],这些岛弧被认为是代表了典型的成熟大洋岛弧。在Th-Ta-Hf/3图^[17]中,这些火山岩的样品点多数都投影在岛弧的范围内(图5),La/Yb-Th图解^[18]也表明它们形成于较成熟的大洋岛弧环境(图6)。

5 构造环境探讨

已有研究表明,石炭纪早期,古特提斯洋沿多处发生扩张,形成了所谓的多岛洋格局;石炭纪晚期,这些大洋的边缘开始发生俯冲,大洋逐渐倾没、消亡,至二叠纪,形成了昆仑山第二期岛弧^[9,10]。然而,在东昆仑的木孜塔格地区,上述观点尚未得到证实。本文探讨的木孜塔格蛇绿混杂岩中火山岩的地球化学特征对此提供了证据,并且表明在大洋的消失过程中,邻近的大陆边缘表现出了与今西太平洋边缘近似的演化过程,可能形成了较成熟的沟-弧-盆体系,这种认识与根据比邻出露的橄榄岩矿物成分分析^[17]和硅质岩的岩石化学分析^[18]得出的结论一致,均表明东昆仑木孜塔格蛇绿混杂岩形成于俯冲带环境。这一认识对探讨东昆仑地区的构造演化乃至青藏高原的演化过程都具有特殊意义。

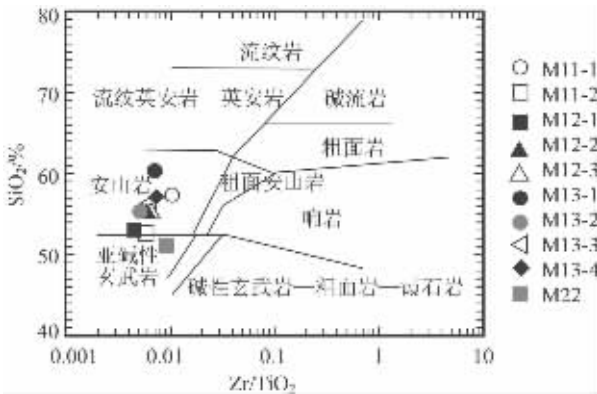


图2 火山岩的SiO₂-Zr/TiO₂图^[1]

Fig.2 SiO₂-Zr/TiO₂ diagram of volcanic rocks

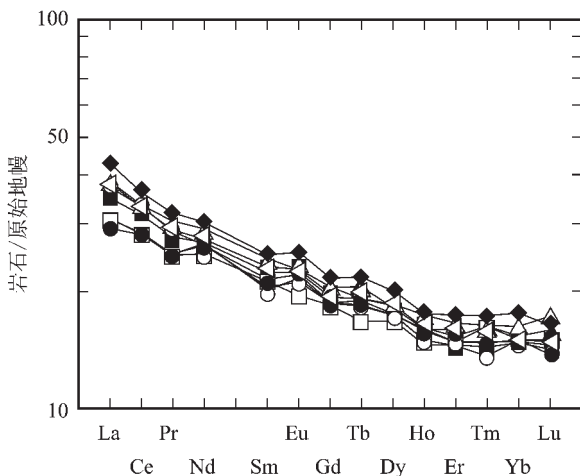


图3 火山岩的稀土元素配分型式(图例同图2)^[13]

Fig.3 REE distribution patterns of volcanic rocks

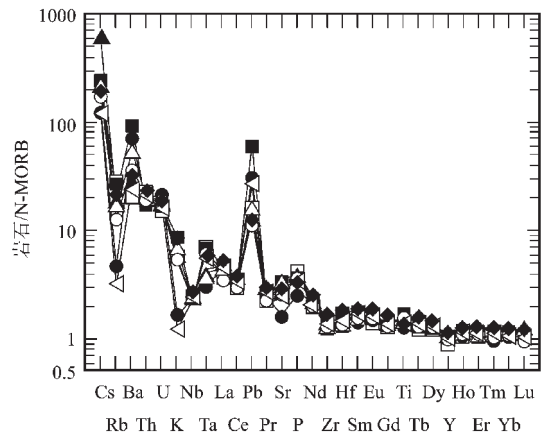


图4 火山岩N-MORB标准化微量元素蛛网图^[14]

(图例同图2)

Fig.4 N-MORB normalized trace element spidergram of volcanic rocks

表1 火山岩主量元素、微量元素和稀土元素分析结果

Table 1 Analysis of major, trace and rare element for volcanic rocks

| 样品号 岩性 | M11-1 A | M11-2 BA | M12-1 BA | M12-2 BA | M12-3 BA | M13-1 A | M13-2 BA | M13-3 A | M13-4 A |
|--------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| SiO ₂ | 57.34 | 52.65 | 53.10 | 55.26 | 55.24 | 60.37 | 55.22 | 56.36 | 57.05 |
| TiO ₂ | 2.09 | 1.92 | 2.09 | 1.75 | 1.84 | 1.64 | 1.87 | 1.76 | 1.72 |
| Al ₂ O ₃ | 15.70 | 15.20 | 15.20 | 14.21 | 14.46 | 13.68 | 14.47 | 15.09 | 14.40 |
| FeO | 6.89 | 7.16 | 9.18 | 10.28 | 8.65 | 5.28 | 8.47 | 9.13 | 8.01 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.17 | 5.59 | 2.64 | 0.21 | 2.11 | 4.07 | 2.53 | 1.11 | 1.98 |
| MnO | 0.20 | 0.26 | 0.26 | 0.30 | 0.20 | 0.19 | 0.22 | 0.23 | 0.21 |
| CaO | 2.92 | 3.00 | 5.96 | 4.12 | 5.12 | 2.84 | 4.27 | 3.19 | 4.66 |
| MgO | 2.26 | 2.91 | 3.54 | 2.54 | 2.75 | 2.17 | 2.59 | 2.68 | 2.89 |
| K ₂ O | 0.24 | 0.41 | 0.62 | 0.42 | 0.54 | 0.12 | 0.40 | 0.09 | 0.63 |
| Na ₂ O | 6.90 | 5.55 | 3.36 | 4.98 | 3.63 | 5.43 | 4.96 | 5.60 | 3.57 |
| P ₂ O ₅ | 0.35 | 0.48 | 0.43 | 0.44 | 0.41 | 0.29 | 0.42 | 0.41 | 0.38 |
| 烧失量 | 3.41 | 4.71 | 3.34 | 5.42 | 4.77 | 3.66 | 3.97 | 3.86 | 4.21 |
| 总量 | 99.47 | 99.84 | 99.75 | 99.93 | 99.72 | 99.74 | 99.39 | 99.51 | 99.71 |
| Co | 13.99 | 22.88 | 23.20 | 19.30 | 20.44 | 18.10 | 19.52 | 17.56 | 18.85 |
| Ni | 13.69 | 11.59 | 9.06 | 6.62 | 6.73 | 8.46 | 5.06 | 0.56 | 1.16 |
| Cu | 20.38 | 39.52 | 76.94 | 66.42 | 52.28 | 42.32 | 69.04 | 50.54 | 53.18 |
| Zn | 124.25 | 153.67 | 135.71 | 84.53 | 111.24 | 91.95 | 67.14 | 134.39 | 109.09 |
| Rb | 2.69 | 15.20 | 14.48 | 10.88 | 10.06 | 2.61 | 7.15 | 1.73 | 12.32 |
| Sr | 196.93 | 276.58 | 296.22 | 243.63 | 302.22 | 142.74 | 263.37 | 213.26 | 256.99 |
| Y | 44.93 | 24.90 | 27.97 | 28.17 | 30.03 | 27.13 | 26.95 | 29.13 | 30.63 |
| Zr | 218.24 | 110.74 | 93.29 | 100.89 | 113.34 | 116.55 | 100.13 | 106.04 | 122.81 |
| Nb | 9.25 | 5.60 | 5.44 | 5.48 | 5.77 | 5.43 | 5.67 | 5.49 | 5.94 |
| Sn | 2.67 | 1.30 | 0.82 | 0.91 | 1.22 | 0.74 | 1.28 | 1.28 | 0.87 |
| Cs | 0.63 | 1.55 | 1.67 | 4.40 | 1.58 | 0.86 | 1.19 | 0.85 | 1.32 |
| Ba | 172.00 | 132.40 | 559.35 | 180.19 | 353.05 | 434.49 | 215.63 | 168.17 | 229.36 |
| La | 14.63 | 9.47 | 10.80 | 11.66 | 11.92 | 11.52 | 9.01 | 11.62 | 13.16 |
| Ce | 36.21 | 22.52 | 25.62 | 26.51 | 27.16 | 26.71 | 22.55 | 26.68 | 29.36 |
| Pr | 4.98 | 3.02 | 3.33 | 3.48 | 3.68 | 3.43 | 3.04 | 3.55 | 3.88 |
| Nd | 22.10 | 14.95 | 15.98 | 15.82 | 17.25 | 16.39 | 15.73 | 16.13 | 18.04 |
| Sm | 6.53 | 4.07 | 4.50 | 4.33 | 4.72 | 3.86 | 4.12 | 4.42 | 4.85 |
| Eu | 2.07 | 1.44 | 1.70 | 1.65 | 1.63 | 1.56 | 1.63 | 1.70 | 1.85 |
| Gd | 7.23 | 4.77 | 4.94 | 5.25 | 5.39 | 5.03 | 4.77 | 5.02 | 5.57 |
| Tb | 1.37 | 0.80 | 0.87 | 0.86 | 0.91 | 0.88 | 0.90 | 0.91 | 1.03 |
| Dy | 8.85 | 5.43 | 5.70 | 5.83 | 5.97 | 5.61 | 5.57 | 5.95 | 6.49 |
| Ho | 1.95 | 1.07 | 1.17 | 1.19 | 1.26 | 1.09 | 1.16 | 1.15 | 1.26 |
| Er | 5.47 | 3.06 | 3.06 | 3.21 | 3.47 | 3.05 | 3.13 | 3.37 | 3.64 |
| Tm | 0.84 | 0.52 | 0.47 | 0.53 | 0.53 | 0.44 | 0.48 | 0.54 | 0.56 |
| Yb | 5.58 | 3.16 | 3.10 | 3.19 | 3.41 | 3.14 | 3.20 | 3.05 | 3.69 |
| Lu | 0.81 | 0.48 | 0.46 | 0.51 | 0.56 | 0.45 | 0.44 | 0.48 | 0.53 |
| Hf | 5.91 | 3.38 | 2.84 | 3.07 | 3.36 | 3.32 | 2.92 | 3.09 | 3.65 |
| Ta | 0.78 | 0.90 | 0.87 | 0.54 | 0.49 | 0.40 | 0.74 | 0.69 | 0.70 |
| Pb | 2.36 | 4.76 | 18.02 | 3.38 | 4.90 | 9.13 | 3.25 | 8.08 | 3.61 |
| Th | 1.88 | 2.65 | 2.16 | 2.37 | 2.53 | 2.64 | 2.53 | 2.55 | 2.80 |
| U | 1.66 | 0.74 | 0.90 | 0.81 | 0.80 | 0.97 | 0.85 | 0.74 | 0.89 |

注:BA为玄武安山岩,A为安山岩;主量元素用XRF法分析,分析者为中国科学院地质与地球物理研究所XRF室曹杰和陈键;微量和稀土元素用ICP-MS法分析,分析者为闫欣、王秀丽;氧化物含量%,微量和稀土元素含量 10^{-6}

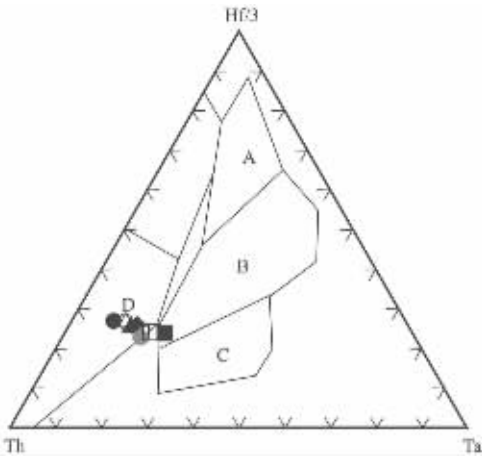


图5 火山岩Th-Ta-Hf/3图(图例同图2)^[17]
Fig.5 Th-Ta-Hf/3 diagram of volcanic rocks

A—N型洋中脊玄武岩;B—E型洋中脊玄武岩和拉斑质板内玄武岩及其分异物;C—碱性板内玄武岩及其分异物;D—岛弧玄武岩及其分异物

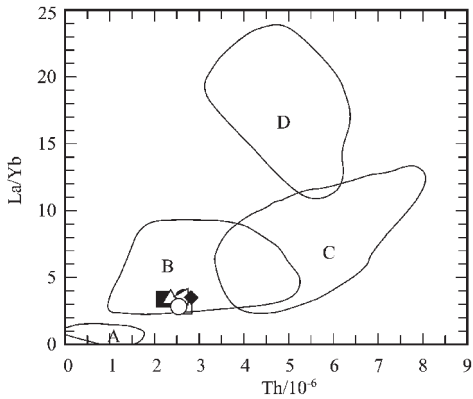


图6 火山岩La/Yb-Th图(图例同图2)

Fig.6 La/Yb-Th diagram of volcanic rocks

A—原始大洋弧;B—成熟的大洋弧;
C—大陆边缘弧;D—安山弧

致谢:中国科学院地质与地球物理研究所余良军等参加了野外工作,中国科学院新疆分院穆桂金等在野外工作中给予大力帮助,谨致谢忱。

参考文献:

[1]Molnar P, Burchfiel B C, Zhao Z Y, et al. Geologic evolution of northern Tibet: results of an expedition to Ulugh Muztagh[J]. Science, 1987, 235: 299-305.
[2]杨金中,沈远超,李光明,等.新疆东昆仑鸭子泉蛇绿岩的基本特征及其大地构造意义[J].现代地质,1999,11(3):309-314.

[3]吴峻,兰朝利,李继亮,等.新疆东昆仑阿其克库勒湖西缘地区蛇绿岩的确证[J].地质科技情报,2001,20(3):6-10.
[4]兰朝利,李继亮,何顺利,等.新疆东昆仑木孜塔格俯冲带蛇绿岩——地幔橄辉岩尖晶石证据[J].矿物岩石,2002,22(3):1-4.
[5]兰朝利,李继亮,何顺利,等.新疆东昆仑木孜塔格蛇绿混杂岩中硅质岩的地球化学特征及其构造环境探讨[J].地球科学,2002,(增刊):302-306.
[6]李卫东,彭湘萍,康正文,等.东昆仑木孜塔格地区畅流沟蛇绿岩岩石地球化学特征及其构造意义[J].新疆地质,2001,21(3):263-268.
[7]孙巧缙,马华东.新疆东昆仑木孜塔格一带首次发现单通道(Monodiexodina)动物群[J].地质通报,2002,21(1):48-52. 篋
[8]马华东,杨子江,魏新昌,等.木孜塔格幅、鲸鱼湖幅地质调查新成果及主要进展[J].地质通报,2004,23(5-6):570-578.
[9]潘裕生.昆仑山区构造区划初探[J].自然资源学报,1989,4(3):193-206.
[10]潘裕生,文世宣,孙东立,等.喀喇昆仑山—昆仑山地区地质演化[M].北京:科学出版社,2000.525.
[11]Winchester J A, Floyd P A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements[J]. Chemical Geology, 1977, 20: 325-343.
[12]Pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries[A]. In: Thorpe R S ed. Andesites[M]. New York: John Wiley and Sons, 1982. 525-548.
[13]Boynnton W V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies[A]. In: Henderson P ed. Rare earth element geochemistry[C]. Elsevier, 1984.63-114.
[14]Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[A]. In: Saunders A D, Norry M J eds. Magmatism in ocean basins[C]. Geol. Soc. London. Spec. Pub., 1989. 42, 313-345.
[15]Gamble J A, Smith I E M, McCulloch M T, et al. The geochemistry and petrogenesis of basalts from the Taupo volcanic zone and Kermadec island arc, S. W. Pacific[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 1993, 54: 265-290.
[16]Peate D W, Pearce J A, Hawkesworth C J, et al. Geochemical variations in Vanuatu arc lavas: the role of subducted material and a variable mantle wedge composition[J]. Journal of Petrology, 1997, 38: 1331-1358.
[17]Wood D A. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province[J]. Earth Planetary Science Letter, 1980, 50:11-30.
[18]Condie K C. Geochemistry and tectonic setting of early Proterozoic supracrustal rocks in the southwestern United States[J]. Journal of Geology, 1986, 94: 845-861.