

# 新疆博格达—哈尔里克山地区石炭纪火山岩 地质地球化学特征及其构造意义

赵同阳<sup>1)</sup>, 徐仕琪<sup>1)</sup>, 朱志新<sup>1)</sup>, 刘鑫<sup>2)</sup>, 陈川<sup>2)</sup>

1) 新疆地质调查院, 乌鲁木齐, 830000; 2) 新疆大学地质系, 乌鲁木齐, 830046

**内容提要:**对博格达—哈尔里克山地区不同地段石炭纪火山岩自然岩石组合、岩石地球化学特征研究, 结果表明研究区火山岩组合为玄武岩—玄武安山岩—安山岩—英安岩—流纹岩组合, 不同于大陆裂谷环境或伸展环境下的碱性双峰式火山岩构造组合。岩石地球化学特征显示, 研究区火山岩大多数为钙碱系列, 富Al高Ti, 微弱富集大离子亲石元素, 亏损高场强元素, 表现为火山弧环境。且认为研究区石炭纪火山活动可能与其南侧康古尔洋盆的演化相关。

**关键词:**博格达—哈尔里克山; 火山岩; 岩石组合; 洋盆演化

博格达—哈尔里克山位于新疆准噶尔盆地和吐哈盆地之间, 东西长约700 km, 南北宽40至100 km不等, 主要由古生代的地质体组成。北侧与卡拉麦里—塔克札勒蛇绿岩带毗邻, 区内矿产资源丰富, 以铜、金、钨、钼、稀有金属为主, 发现有乌鲁木齐达坂城铜矿、哈密铜山铜多金属矿、哈密小石头泉金矿、哈密琼塔什多金属矿、哈密顶盖克铜矿、哈密小铺稀有金属矿、哈密琼洛克钨矿等一大批极具成矿潜力的矿床。近年来, 随着新一轮区域地质调查工作的完成, 基础地质方面取得了一些新的成果和认识, 如在乌鲁木齐达坂城区白杨沟东发现存在下石炭统地层; 沁城东侧小铺一带发现了前寒武系变质基底——小铺岩群(新疆地矿局第一区域地质调查大队<sup>①</sup>), 塔水河一带存在早古生代(447~462 Ma)俯冲型侵入岩浆构造组合(石英闪长岩—花岗闪长岩—正长花岗岩组合)等(曹福根等, 2006)。但到目前为止, 关于博格达—哈尔里克造山带晚古生代的构造属性仍有分歧, 博格达造山带有裂谷(吴庆福, 1986; 何国琦等, 1994; 顾连兴等, 2000, 2001; 舒良树等, 2005; 王银喜等, 2006; 潘桂棠等, 2009)和岛弧(成守德等, 1986; Coleman et al., 1989; 方国庆, 1993; 马瑞士等, 1997; 王宗秀等, 2003; Xiao Wenjiao et al., 2004)之争; 哈尔里克造山带, 一部分

学者认为其与吐哈盆地以南, 大草滩—大南湖断裂以北大南湖地区的早古生代地质体相连接, 构造上同属岛弧性质的活动陆缘(成守德等, 2000; 赵明等, 1997), 但是该岛弧的形成是卡拉麦里洋盆向南俯冲形成的(刘德权等, 1992; 马瑞士等, 1993; 王赐银等, 1996; 王宗秀等, 2003; )还是康古尔洋盆向北俯冲形成的(周济元等, 1994, 2001), 至今尚无定论; 也有学者认为哈尔里克山与博格达山相连, 构造上属于北天山洋盆向北俯冲形成的博格达—哈尔里克弧后盆地(李锦轶, 2004)。

本文通过对博格达—哈尔里克山地区石炭纪火山岩岩性岩相、岩石地球化学特征的对比分析, 厘定研究区火山喷发旋回, 确定研究区主要岩浆—构造事件及与其相对应的岩石构造组合, 探讨火山活动时的大地构造环境, 进而为火山岩区域构造属性的判别提供一些佐证。

## 1 研究区地质概况

研究区隶属博格达—哈尔里克构造带, 物质组成以上古生界火山—沉积岩系为主, 哈尔里克山发育大量古生代侵入岩基, 博格达山则广泛发育石炭纪—二叠纪基性岩墙(图1)。其中哈尔里克山阿尔通盖南侧分布有奥陶系绿灰色千枚岩、千枚岩化粉

注: 本文为“十二五”科技支撑计划重点项目博格达—哈尔里克成矿带铜—金成矿条件研究及靶区评价(编号2011BAB06B04-2)和新疆中亚造山带大陆动力学与成矿预测实验室开放课题(编号XJDX1102-2012-05)的成果。

收稿日期: 2013-03-08; 2013-11-18。责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 赵同阳, 男, 1983年生。硕士研究生, 地质矿产工程师。主要从事区域地质矿产调查工作。通讯地址: 830000, 新疆地质调查院; Email: 120334602@qq.com。

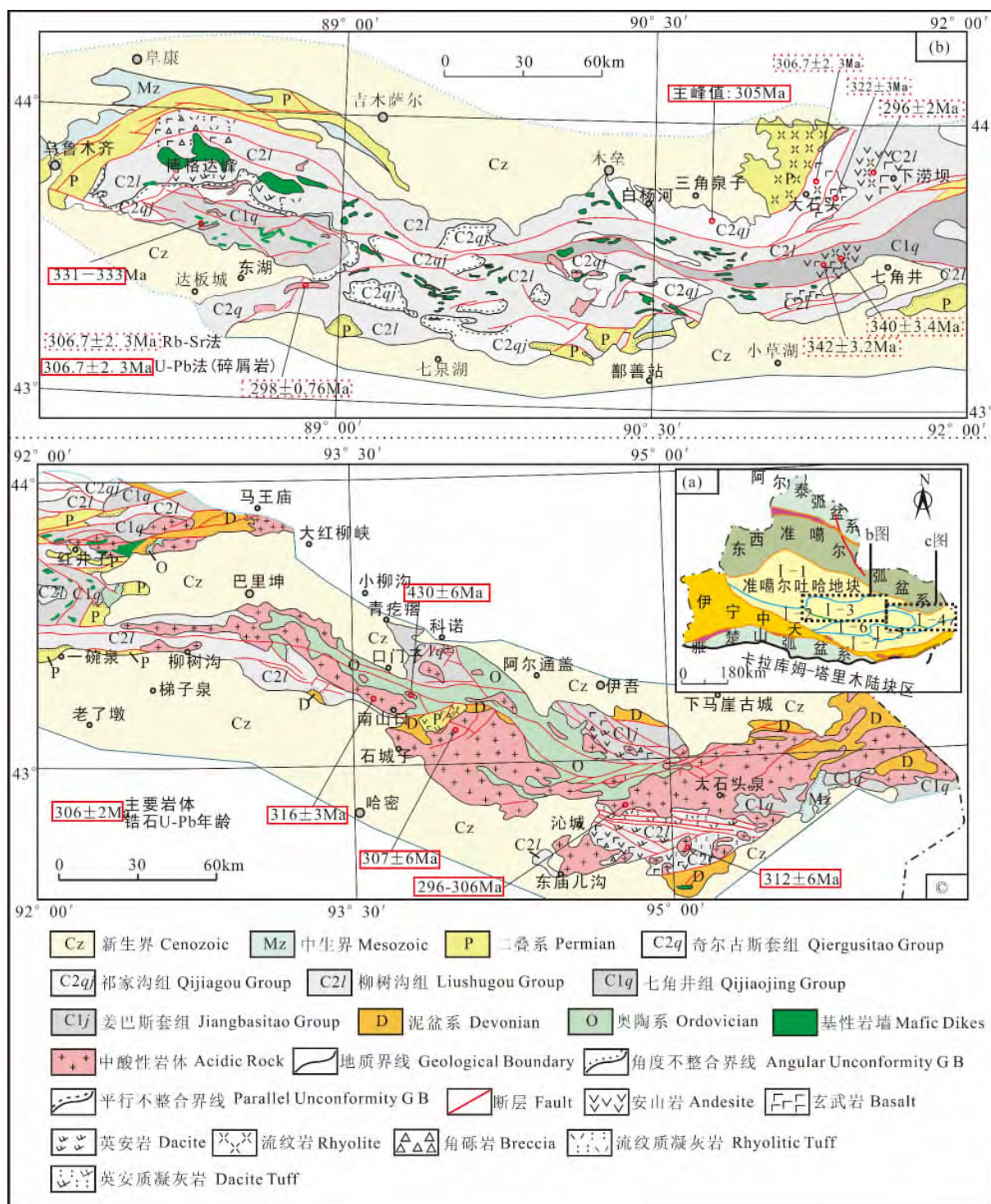


图 1 新疆博格达—哈尔里克山地区大地构造位置图(a)和石炭纪火山岩地层分布略图(b,c)

Fig. 1 Tectonic location map(a) and the sketch map of the Carboniferous volcanic rock strata distribution(b ,c) of the Bogda Harlik mountains area in Xinjiang

(a) 据成守德, 张良臣等(2012)修改; I-1—准噶尔吐哈地块; I-2—依连哈比尔裂谷盆地; I-3—博格达构造带; I-4—哈尔里克构造带; I-5—大南湖古生代岛弧; I-6—吐哈盆地; I-7—觉罗塔格裂陷槽。(b)、(c) 图据相关 1: 20 万和 1: 5 万地质图修改  
(a) Modified from Chen Shoude, Zhang Liangchen et al., 2012; I-1—Junggar Hami block; I-2—Yilianhabierga rift basin; I-3—Bogda tectonic belt; I-4—Harlik tectonic belt; I-5—Dananhu Palaeozoic island arc; I-6—Turpan Hami Basin; I-7—Jueluotage taphrogenic trough. (b) ,(c) Modified from 1: 200000 and 1: 50000 geological maps

砂岩、凝灰质砂岩夹大理岩、玄武玢岩。下石炭统七角井组( $C_{1q}$ )广泛分布于博格达—哈尔里克构造带中,其上部为灰绿色、紫红色、灰色安山玢岩、凝灰角砾岩、英安斑岩,下部为灰黑色、灰绿色凝灰质砂岩、炭质页岩、凝灰岩夹安山玢岩、砂砾岩。姜巴斯套组( $C_{1j}$ )为一套黑灰色、灰色中厚层状火山碎屑沉积岩,杂色火山角砾岩、安山玢岩、安山质英安斑岩。上石炭统柳树沟组( $C_{2l}$ )广泛分布于达坂城—柳树沟—沁城一带,达坂城地区主要岩性为深灰绿色凝灰岩、灰绿色晶屑凝灰岩、火山角砾熔岩、玄武岩、火山角砾凝灰岩、含火山角砾晶屑岩屑凝灰岩、杏仁状玄武岩、灰褐色安山岩、灰绿色英安岩、局部夹薄层凝灰质细砂岩、岩屑砂岩、粉砂岩;柳树沟地区主要岩性为灰绿色玄武玢岩、辉绿玢岩、霏细岩、凝灰角砾岩夹砂岩、灰岩透镜体;沁城东一带主要为一套原岩为火山—碎屑岩系的变质岩,主要岩性为二云母片岩、黑云母片岩、石英片岩、变质英安玢岩、辉绿岩夹凝灰角砾岩、千枚岩、凝灰质粉砂岩。祁家沟组( $C_{2qj}$ )主要分布于博格达山地区平行不整合覆盖于柳树沟组之上,为一套岩性为紫红色岩屑砂岩、细砂岩、含砾粗砂岩、砾岩、灰白色生物碎屑灰岩夹少量灰绿色凝灰岩、夹玄武岩。奇尔古斯套组为暗绿灰色、灰黑色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、炭质泥岩夹长石砂岩、霏细岩、硅质岩等,偶见凝灰质砂岩。研究区内石炭纪火山—沉积地层主要岩性对比特征见图2。

## 2 火山岩岩性岩相学特征

根据近年来该地区开展的1:5万区域地质调查成果(新疆地矿局第一区域地质调查大队<sup>②③④</sup>),结合我们野外地质调查,研究区除流纹岩和玄武岩外,在哈萨坟沟、下涝坝和天池地区还发现安山岩、粗安岩及英安岩,及部分玄武安山岩和粗面岩(图2),有别于前人认识的双峰式火山岩组合(顾连兴等,2000;王金荣等,2010)。

流纹岩:灰绿色,斑状结构,流纹构造。斑晶主要为石英、斜长石,占岩石总量15%~20%,粒径0.25~0.8mm。其中,斜长石占斑晶总量30%~40%,半自形—它形,石英占40%~50%,半自形。基质以隐晶长英质矿物为主,流动构造明显。

安山岩:紫色至灰绿色,斑状结构,块状构造,斑晶约占岩石总量30%,主要为斜长石,约占斑晶的70%,半自形,以及角闪石和辉石,总占斑晶的30%,自形—半自形,基质主要为细粒斜长石和辉

石,可见流动构造。

英安岩:灰绿色,斑状结构,块状构造,斑晶主要为斜长石,自形—半自形,约占斑晶的60%,另有石英(20%)和角闪石。基质主要为微晶斜长石。

粗安岩:斑状结构,块状构造,斑晶主要由斜长石、辉石组成。

玄武岩:灰色至紫红色,呈斑状结构,块状构造,少数为气孔构造,斑晶约占30%~35%,粒径多0.1~1.0mm,主要为斜长石,自形—半自形,另有少量辉石、石英,半自形。基质粒度多小于0.1mm,由长条状斜长石、微粒石英及辉石、角闪石组成。

除上述火山岩外,在博格达—哈尔里克造山带还发现多处侵位于火山地层中的辉长—闪长—花岗岩体及晚期岩脉。侵入岩有两种赋存状态:部分岩基没有变质变形改造,穿切经过褶皱变形的火山岩,并被晚期的辉绿岩脉穿插;另外一些岩体经历过变质变形,矿物呈现明显的定向结构。在两类岩体中均发现了大量的基性暗色包体。这种具有变质变形特征和没有变质变形的从中酸性至基性的侵入岩,记录了造山带从弧岩浆作用到碰撞后岩浆活动的演化过程,对恢复造山带演化过程和探讨地球动力学机制的演变具有重要意义。

## 3 地球化学特征

### 3.1 主元素

研究区火山岩地球化学分析数据见表1。样品大多数落在玄武岩—玄武安山岩—安山岩—英安岩—流纹岩区内(图3),且主体位于Irvine分界线下,属亚碱性岩石系列。达坂城地区火山岩里特曼指数为1.61~3.71,其中14件样品属钙碱性岩石系列;下涝坝地区火山岩里特曼指数为1.24~3.64,其中15件属于钙碱性岩石系列;沁城地区火山岩里特曼指数为1.09~4.88,其中落入钙碱性系列内的有12件样品。区内火山岩 $[n(K_2O) + n(Na_2O)] < n(Al_2O_3) < [n(K_2O) + n(Na_2O) + n(CaO)]$ ,A/CNK为0.78~1.25,属偏铝质火山岩系列。研究区内火山岩,由达坂城—下涝坝—沁城,固结指数(SI)从22.48—20.03—16.65,表现为岩浆由西向东分离结晶程度愈高,分异愈好;分异指数(DI)从44.78—56.40—57.82,表现为岩浆自西向东分异程度愈高。在Harker图解中(图4),MgO、FeOT、CaO、TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与SiO<sub>2</sub>显示出较好的负相关性,暗示玄武质岩浆经历了橄榄石、辉石等矿物的分离结晶过程。



玄武岩:  $\text{SiO}_2$  含量的变化于 46.86% ~ 48.75%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量较高, 14.68% ~ 16.46%,  $\text{TiO}_2$  含量介于 1.10% ~ 1.75% 之间, 可与典型的大洋玄武岩和弧后盆地玄武岩的平均值(1.5%)相比, 与活动大陆边缘及岛弧区火山岩平均值(0.84%)相差较大。

安山岩:  $\text{SiO}_2$  含量的变化于 54.37% ~ 57.10%; 里特曼指数 1.4 ~ 2.3,  $n(\text{Na}_2\text{O})/n(\text{K}_2\text{O})$  小于 1, 属低钾钙碱性系列。

流纹岩: 主要分布于研究区中东部下涝坝至沁城一带,  $\text{SiO}_2$  含量 66.99% ~ 71.53%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量较高, 12.77% ~ 13.78%,  $\text{MgO}$  含量低, 为 0.56% ~

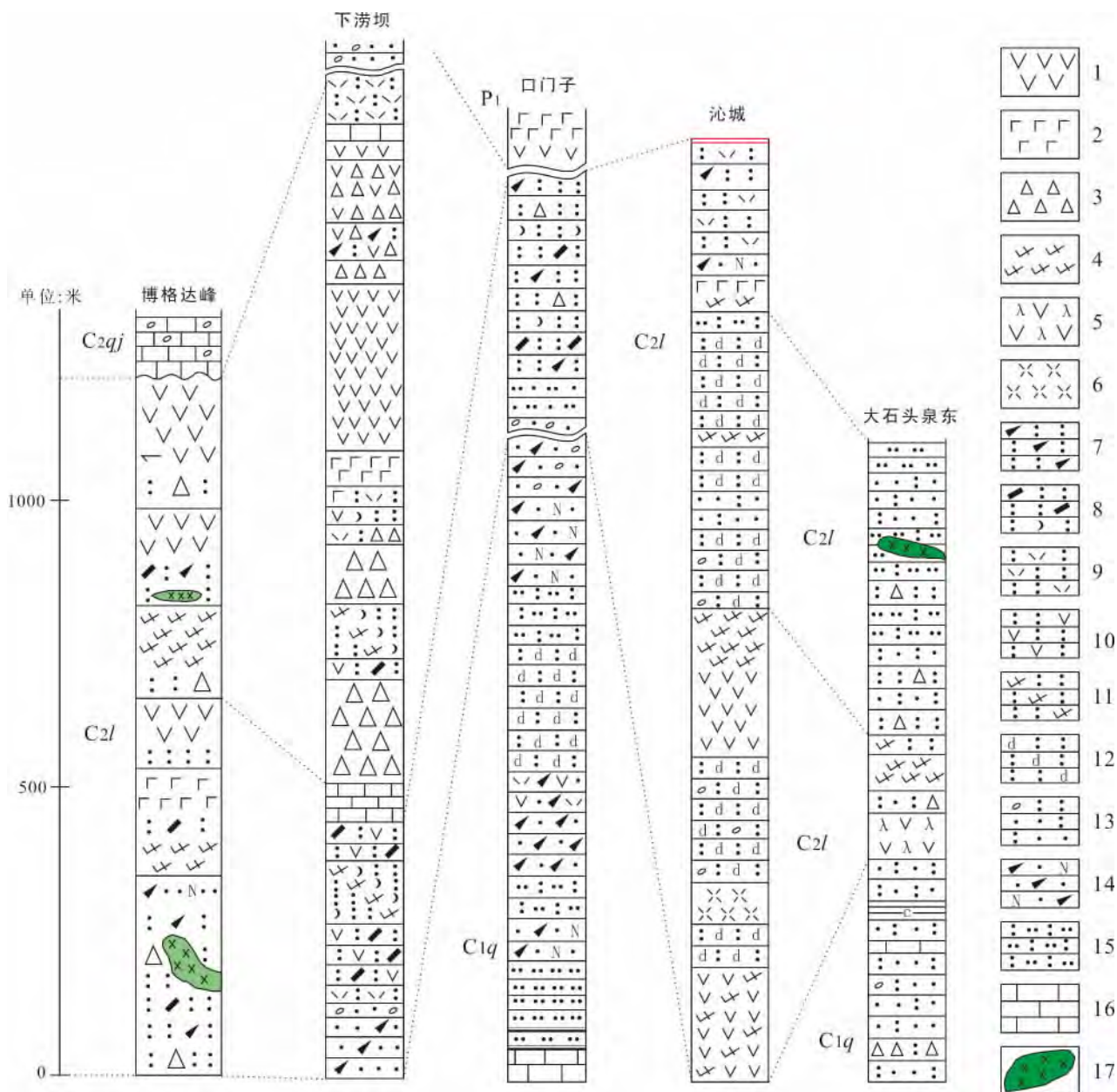


图2 新疆博格达—哈尔里克山地区石炭纪火山—沉积地层主要剖面综合柱状图

Fig. 2 The main section column of Carboniferous volcano — sedimentary strata in the Bogda Harlik mountains area in Xinjiang

1—安山岩; 2—玄武岩; 3—角砾岩; 4—英安岩; 5—安山玢岩; 6—流纹岩; 7—岩屑凝灰岩; 8—晶屑玻屑凝灰岩; 9—流纹质凝灰岩; 10—安山质凝灰岩; 11—英安质凝灰岩; 12—沉凝灰岩; 13—凝灰质砂岩夹凝灰角砾岩; 14—岩屑长石砂岩; 15—凝灰质粉砂岩; 16—灰岩; 17—辉绿辉长岩

1—andesite; 2—basalt; 3—breccia; 4—dacite; 5—andesitic porphyrite; 6—rhyolite; 7—lithic tuff; 8—crystal vitric tuff; 9—rhyolitic tuff; 10—andesitic tuff; 11—dacitic tuff; 12—tuff; 13—tuffaceous sandstone pinch tuff breccia; 14—lithic sandstone; 15—tuffaceous siltstone; 16—limestone; 17—diabase gabbro

1.45% 之间;相比玄武岩、安山岩、流纹岩的钾含量明显升高,反映出岩浆由基性向中酸性演化的正常序列。

3.2 稀土元素

达坂城地区玄武岩稀土总量较小,介于 67.39  $\times 10^{-6}$  ~ 92.77  $\times 10^{-6}$  之间, LREE/HREE1.40 ~ 1.55,分馏极不明显,  $(La/Yb)_N$  为 2.34 ~ 2.76,大于 1,玄武岩稀土元素球粒陨石标准化配分图(图 5)表现为轻度的轻稀土富集,未发育 Eu 异常,说明岩浆结晶分离过程中无明显斜长石的参与。下涝坝地区

表 1 新疆博格达—哈尔里克山地区火山岩主量元素(%)、微量元素( $\times 10^{-6}$ )和稀土元素( $\times 10^{-6}$ )含量均值数据表

Table 1 Average contents of major elements(%), trace elements( $\times 10^{-6}$ ) and rare earth elements( $\times 10^{-6}$ ) of volcanic rocks in the Bogda Harlik Mountains area, Xinjiang

| 序号                             | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 样品数                            | 10     | 5      | 6      | 9      | 5      | 3      | 1      | 6      | 6      | 3      | 7      |
| 产地                             | 达坂城    |        |        | 下涝坝    |        |        |        | 沁城     |        |        |        |
| 岩石名称                           | 玄武岩    | 玄武安山岩  | 英安岩    | 玄武岩    | 安山岩    | 英安岩    | 流纹岩    | 玄武岩    | 安山岩    | 英安岩    | 流纹岩    |
| SiO <sub>2</sub>               | 46.86  | 51.14  | 69.11  | 47.88  | 57.10  | 68.38  | 66.99  | 48.75  | 54.37  | 64.13  | 71.53  |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.18   | 1.73   | 0.65   | 1.75   | 0.87   | 0.60   | 0.65   | 1.10   | 1.47   | 0.92   | 0.35   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 14.68  | 15.70  | 14.19  | 15.70  | 16.29  | 14.35  | 13.78  | 16.46  | 17.10  | 15.00  | 12.77  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 10.60  | 11.62  | 3.35   | 3.92   | 2.69   | 1.90   | 1.46   | 4.62   | 2.61   | 1.25   | 4.58   |
| FeO                            | 6.94   | 7.05   | 1.76   | 5.92   | 3.79   | 1.68   | 2.65   | 5.58   | 6.32   | 4.07   | 0.98   |
| MnO                            | 0.16   | 0.19   | 0.06   | 0.20   | 0.13   | 0.11   | 0.13   | 0.20   | 0.17   | 0.14   | 0.28   |
| MgO                            | 11.91  | 4.91   | 1.34   | 5.55   | 2.86   | 1.37   | 1.45   | 6.42   | 3.21   | 3.41   | 0.56   |
| CaO                            | 8.44   | 7.07   | 2.15   | 8.70   | 4.14   | 2.28   | 1.34   | 9.73   | 6.03   | 3.35   | 1.17   |
| Na <sub>2</sub> O              | 2.49   | 3.83   | 5.93   | 3.68   | 5.80   | 5.48   | 5.11   | 3.48   | 4.44   | 3.88   | 3.68   |
| K <sub>2</sub> O               | 0.58   | 1.23   | 1.24   | 0.76   | 1.50   | 1.40   | 3.57   | 1.14   | 1.51   | 1.11   | 3.83   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.21   | 0.39   | 0.13   | 0.33   | 0.28   | 0.13   | 0.10   | 0.25   | 0.57   | 0.20   | 0.09   |
| 烧失量                            | 2.80   | 2.34   | 1.21   | 5.05   | 3.98   | 2.08   | 1.97   | 1.98   | 2.06   | 2.41   | 1.28   |
| Cs                             | 2.29   | 0.72   | 0.58   |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Rb                             | 10.68  | 34.88  | 23.47  | 14.94  | 24.64  | 29.90  | 49.40  | 34.08  | 47.67  | 45.00  | 84.00  |
| Sr                             | 317.30 | 423.80 | 224.50 | 298.11 | 439.80 | 250.00 | 99.20  | 218.00 | 220.83 | 118.33 | 146.16 |
| Ba                             | 104.12 | 275.20 | 161.33 | 208.01 | 628.00 | 421.33 | 513.00 | 333.33 | 497.67 | 265.67 | 405.45 |
| Nb                             | 3.89   | 5.71   | 14.61  | 6.37   | 6.23   | 10.60  | 19.20  | 6.53   | 8.00   | 8.80   | 11.04  |
| Ta                             | 0.30   | 0.41   | 1.17   | 0.43   | 0.61   | 0.70   | 1.32   | 0.47   | 0.64   | 0.73   | 1.00   |
| Zr                             | 95.06  | 142.60 | 401.17 | 143.97 | 148.80 | 252.67 | 579.00 | 117.17 | 185.50 | 240.33 | 348.03 |
| Hf                             | 2.68   | 3.98   | 12.35  | 3.88   | 3.78   | 7.67   | 16.40  | 2.20   | 3.78   | 6.77   | 8.83   |
| Th                             | 0.62   | 1.26   | 4.74   | 1.46   | 2.83   | 5.74   | 3.66   | 4.27   | 4.48   | 6.90   | 9.58   |
| U                              | 0.26   | 0.43   | 1.23   | 0.68   | 1.18   | 1.77   | 1.51   | 0.78   | 1.21   | 2.11   | 2.63   |
| K                              | 1477   | 4348   | 4619   | 6334   | 12430  | 11645  | 29623  |        |        |        | 19752  |
| Ti                             | 7001   | 9267   | 5925   | 10487  | 5220   | 4005   | 3900   | 5854   | 7256   | 4506   | 689    |
| P                              | 1102   | 1554   | 840    | 1613   | 1223   | 745    | 437    | 1144   | 1473   | 746    | 84     |
| La                             | 6.63   | 14.28  | 28.92  | 12.85  | 18.90  | 36.67  | 39.80  | 22.27  | 21.65  | 21.85  | 35.17  |
| Ce                             | 16.04  | 32.90  | 74.95  | 31.40  | 38.82  | 81.23  | 95.00  | 43.97  | 46.13  | 45.22  | 73.57  |
| Pr                             | 2.31   | 4.50   | 10.57  | 4.61   | 4.60   | 10.14  | 13.20  | 5.90   | 6.26   | 6.46   | 9.76   |
| Nd                             | 10.96  | 20.84  | 46.30  | 20.84  | 20.90  | 38.93  | 55.60  | 24.63  | 26.94  | 26.43  | 39.38  |
| Sm                             | 2.96   | 5.22   | 11.93  | 5.35   | 4.55   | 7.76   | 13.00  | 5.72   | 6.36   | 6.28   | 8.54   |
| Eu                             | 1.06   | 1.70   | 1.82   | 1.84   | 1.37   | 1.84   | 2.52   | 1.75   | 2.04   | 1.26   | 1.26   |
| Gd                             | 2.95   | 4.96   | 11.90  | 5.50   | 3.38   | 6.45   | 12.40  | 5.62   | 6.62   | 6.43   | 7.99   |
| Tb                             | 0.56   | 0.88   | 2.45   | 0.91   | 0.65   | 1.03   | 2.23   | 0.89   | 1.09   | 1.10   | 1.40   |
| Dy                             | 3.36   | 5.12   | 15.57  | 5.55   | 3.54   | 5.52   | 14.30  | 5.23   | 6.52   | 6.75   | 8.49   |
| Ho                             | 0.72   | 1.11   | 3.52   | 1.05   | 0.66   | 1.02   | 2.78   | 1.04   | 1.33   | 1.36   | 1.78   |
| Er                             | 1.95   | 3.04   | 10.35  | 3.08   | 1.96   | 3.08   | 8.82   | 2.85   | 3.63   | 3.73   | 5.03   |
| Tm                             | 0.31   | 0.47   | 1.73   | 0.47   | 0.31   | 0.50   | 1.41   | 0.44   | 0.57   | 0.56   | 0.78   |
| Yb                             | 2.00   | 3.14   | 11.45  | 2.98   | 1.73   | 3.21   | 9.68   | 2.61   | 3.48   | 3.37   | 5.01   |
| Lu                             | 0.32   | 0.47   | 1.73   | 0.43   | 0.49   | 0.47   | 1.40   | 0.41   | 0.53   | 0.50   | 0.77   |
| Y                              | 17.60  | 27.66  | 89.92  | 31.74  | 20.96  | 33.80  | 24.70  | 25.77  | 32.15  | 37.56  | 46.13  |

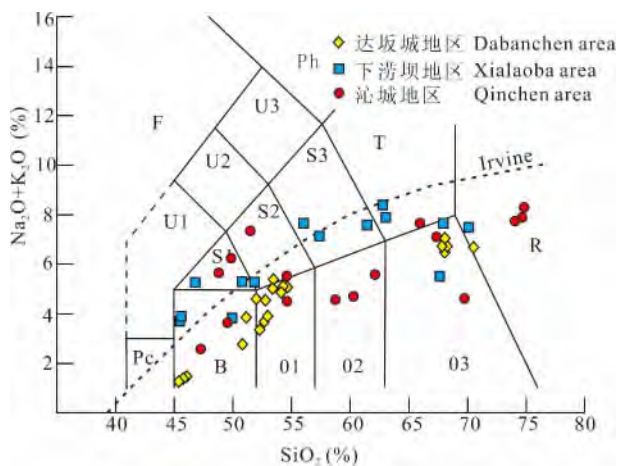


图3 新疆博格达—哈尔里克山地区火山岩 TAS 图解  
(据 Le Bas, 1986)

Fig. 3 TAS diagram of volcanic rocks of the Bogda Harlik mountains area in Xinjiang (after Le Bas, 1986)

F—副长石岩; Ph—响岩; U1—碱玄岩; U2—响质碱玄岩; U3—碱玄岩; Pc—苦橄玄武岩; S1—粗面玄武岩; S2—玄武粗面安山岩; S3—粗面安山岩; T—粗面岩, 粗面英安岩; B—玄武岩; 01—玄武安山岩; 02—安山岩; 03—英安岩; R—流纹岩; 图中曲线为 Irvine 分界线, 上方为碱性系列, 下方为亚碱性系列

玄武岩稀土总量比达坂城地区略高, 为  $82.08 \times 10^{-6} \sim 168.34 \times 10^{-6}$ , 平均为  $122.12 \times 10^{-6}$ ; LREE/HREE 为  $1.40 \sim 1.55$ , 平均为  $1.51$ ;  $(La/Yb)_N$  为  $1.88 \sim 4.27$ , 均值  $2.92$ ; 说明岩浆分馏程度与达坂城地区相似, 分馏不明显;  $\delta Eu$   $0.90 \sim 1.13$ , 均值为  $0.97$ , 表现为铕元素极不明显的弱亏损。沁城地区玄武岩稀土总量  $121.43 \times 10^{-6} \sim 162.49 \times 10^{-6}$ , 均值为  $142.46 \times 10^{-6}$ ; LREE/HREE  $1.57 \sim 2.96$ , 略大于其他 2 处;  $(La/Yb)_N$  为  $3.02 \sim 7.53$ , 均值  $4.44$ ;  $\delta Eu$   $0.89 \sim 1.00$ , 均值为  $0.94$ 。

综上所述, 由达坂城—下涝坝—沁城地区, 稀土总量、轻重稀土比值逐渐增大,  $\delta Eu$  值和  $(La/Yb)_N$  亦逐渐升高。玄武岩整体稀土含量较低, 分馏不明显, 但由西向东稀土元素逐渐富集, 分馏程度逐渐升高, 铕元素虽无明显负异常, 但是  $\delta Eu$  值逐渐升高。稀土元素配分模式图 (图 5) 与大陆玄武岩差异明显, 但可与大洋玄武岩类比 (李昌年, 1992)。

### 3.3 微量元素

研究区不同地区玄武岩类岩石微量元素含量见表 1 所示。其原始地幔标准化蛛网图如图 6 所示, 与典型的岛弧类玄武岩蛛网图可类比。整体特征为: 大离子亲石元素 (LILE) 微弱富集, 主要表现为 Sr、Rb、Ba 的正异常, Ta、Nb 的负异常。由达坂城

—下涝坝—沁城地区,  $Rb_N/Yb_N$  值分别为  $1.68 \sim 7.07$ ,  $1.72 \sim 5.91$ ,  $2.60 \sim 10.70$ , 均大于 1, 表现为高场强元素 (HFS) 丰度低, 低场强元素 (LFS) 丰度高的特征, 与典型的弧后盆地 (Parece Vela 盆地) 玄武岩类似, 岩浆源区形成于富集型地幔 (造山带);  $Rb/Sr$  值均小于 0.05, 表现为岛弧拉斑玄武岩系列或深海拉斑玄武岩系列;  $Nb^*$  值分别为  $0.24 \sim 0.65$ ,  $0.18 \sim 0.36$ ,  $0.22 \sim 0.58$ , 均小于 1, 为铌元素亏损, 说明岩浆结晶分离过程中, 有大陆物质或花岗岩岩石的参与。另外铈元素的富集, 说明了岩石的形成可能与消减作用密切相关。综上, 通过对岩石微量元素特征分析, 认为研究区火山岩形成于俯冲消减带的火山弧 (弧后盆地) 环境。

### 3.4 构造环境判别

众所周知, 火成岩构造岩石组合可表征大地构造环境与板块或大陆块体边界的性质 (Cindie et al., 1982; Pitcher, 1982; 邓晋福等 2004, 2007; )。研究区火山岩组合为玄武岩—玄武安山岩—安山岩—英安岩—流纹岩组合, 不同于大陆裂谷环境或伸展环境有关的碱性双峰式火山岩构造组合 (叶天竺等 2010)。岩石地球化学特征显示, 研究区火山岩大多数为钙碱性岩石系列, 富铝高钛, 微弱富集大离子亲石元素, Ta、Nb 的负异常,  $Rb/Sr$  值均小于 0.05, 表现为火山弧环境。另外, 在火山岩 (Hf/3)—Th—Ta 图解 (图 7) 中, 样品大多数落入 D 区 (岛弧玄武岩), 少量落入 B 区 (异常洋中脊拉斑玄武岩和板内拉斑玄武岩); 在  $(Ti/100)$ —Zr—(3Y) 图解 (图 8) 中, 样品多数落入 C 和 D 过渡区, 为岛弧钙碱性玄武岩区。

## 4 火山岩形成时代

研究区火山岩分布广泛, 且其沉积夹层中发育大量化石, 如下石炭统七角井组 ( $C_{1q}$ ) 产孢粉化石: *Trachytriletes* sp., *Leiotriletes* sp., *Stenozonotrilites* sp., 珊瑚: *Barrandeophyllum* sp., *Dictyoclostus* sp. (新疆地矿局区域地质测量大队<sup>⑤</sup>); 上石炭统柳树沟组 ( $C_{2l}$ ) 在博格达山北坡甘沟中游灰岩透镜体中产蠕科: *Fusulina* sp., *Fusulinella* sp., 藻类: *Komia abundans* Korde; 祁家沟组 ( $C_{2qj}$ ) 在祁家沟石灰窑南产腕足: *Pseudosiaffella* cf. *minutissima*, *Eostaffella* sp., 珊瑚: *Multithecopora penchiensis* Yoh., *Caninia* cf. *vigilans* (新疆地矿局区域地质测量大队<sup>⑥</sup>)。在沁城东一带上石炭统柳树沟组 ( $C_{2l}$ ) 细砂岩和凝灰质砂砾岩中产腕足、珊瑚等化石碎片及海百合茎



*Cyclocylus* sp. 等 (新疆地矿局区域地质测量大队<sup>①</sup>)。

另外,随着同位素测年技术的发展,获取了一大批可靠的同位素年龄值(342~293Ma)(图1)。

如在博格达山东段七角井附近获取玄武岩和流纹岩的 Rb-Sr 同位素等时线年龄分别为  $342.0 \pm 3.2$  Ma 和  $340.3 \pm 3.4$  Ma,在博格达大石头色皮口地

区获取流纹岩的 Rb-Sr 同位素年龄为  $307.1 \pm 1.3$  Ma(王银喜等,2005,2006);在博格达山东段北麓下涝坝一带获取上石炭统柳树沟组流纹岩的 Rb-Sr 同位素等时线年龄为  $296 \pm 2$  Ma(王金荣等,2010);在博格达山南侧白杨沟、红山口、七角井等地区获取火山岩中流纹岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为  $293.3 \pm 1.7$  Ma、 $294.6 \pm 2$  Ma、 $293.6 \pm$

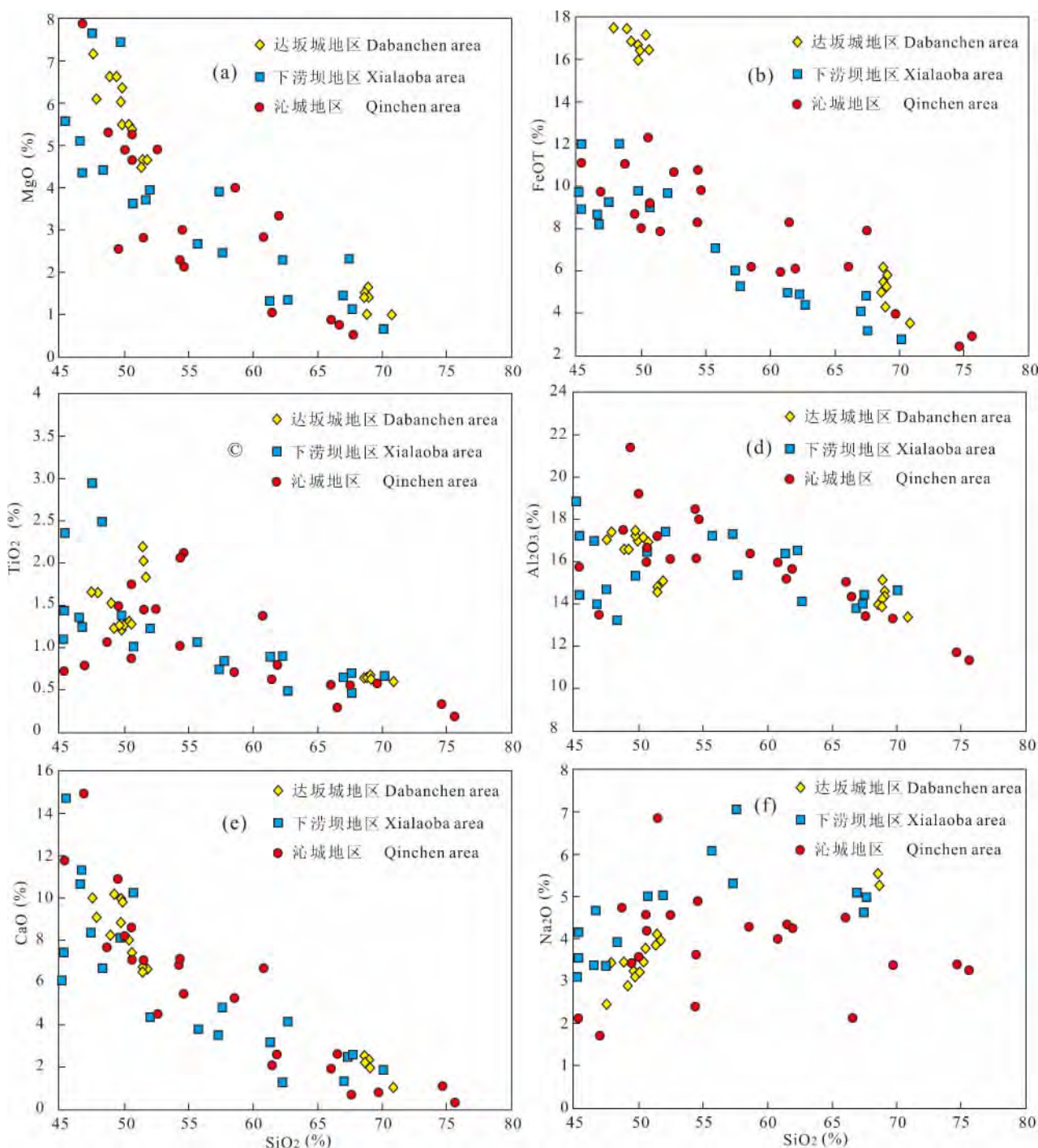


图4 新疆博格达—哈尔里克山地区火山岩主量元素 Harker 图解(据 Harker,1909)

Fig. 4 Harker diagrams of volcano rock's major elements of the Bogda Harlik mountains area, Xinjiang (after Harker,1909)

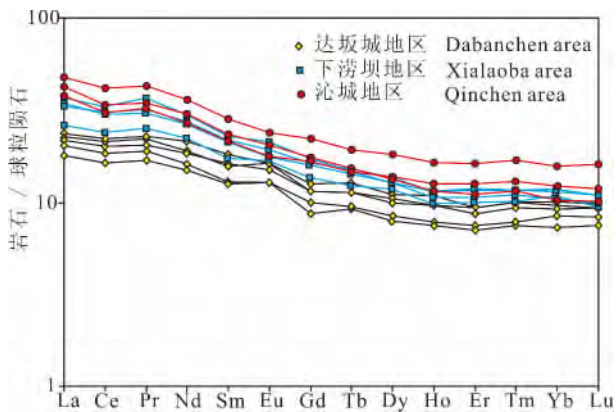


图5 新疆博格达—哈尔里克山地区玄武岩稀土元素球粒陨石标准化配分图(标准化值据 Masuda ,1973)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns for basalts of the Bogda Harlik mountains area, Xinjiang ( values for normalization from Masuda ,1973)

2.3Ma 基性岩墙年龄分别为  $295.8 \pm 2.8\text{Ma}$ 、 $294.5 \pm 3.6\text{Ma}$  (Chen Xijie et al. 2010)。

## 5 讨论

火成岩作为地球深部各圈层间相互作用的产物,反映了特定大地构造环境下的地球动力学过程。因此,火成岩的地球化学性质不仅决定于源区物质,还与生成当时的大地构造环境有着密切联系。

博格达山和哈尔里克山地区石炭纪火山岩在岩石组合和岩石地球化学特征上均一致性地反映出火山岩形成于火山弧环境而非裂谷环境,那么与之相配套的沟弧盆体系在哪?是卡拉麦里有限洋盆向南

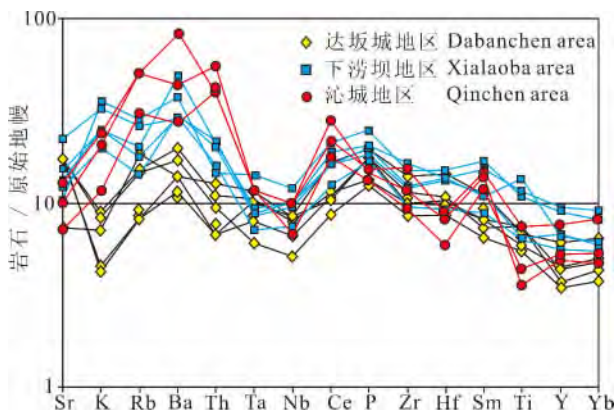


图6 新疆博格达—哈尔里克山地区玄武岩微量元素原始地幔标准化蛛网图(标准值据 Sun and McDonough ,1989)

Fig. 6 PM-normalized trace element patterns of basalts of the Bogda Harlik mountains area, Xinjiang ( values for normalization from Sun and McDonough ,1989)

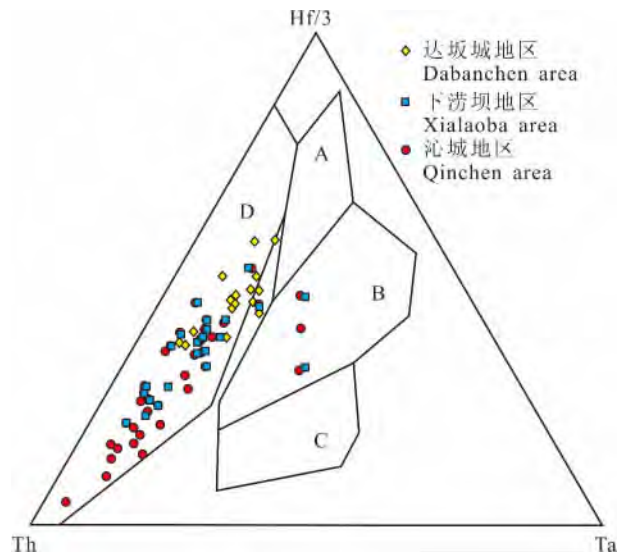


图7 新疆博格达—哈尔里克山地区火山岩 Hf/3—Th—Ta 图解

Fig. 7 Hf/3—Th—Ta diagram of the Bogda Harlik mountains area, Xinjiang (after Wood ,1980)

A—正常洋中脊拉斑玄武岩;B—异常洋中脊拉斑玄武岩和板内拉斑玄武岩;C—板内碱性玄武岩;D—岛弧玄武岩

俯冲还是康古尔洋盆向北俯冲?我们偏向于后者,其主要原因如下。

一是卡拉麦里洋盆的单向俯冲。卡拉麦里缝合

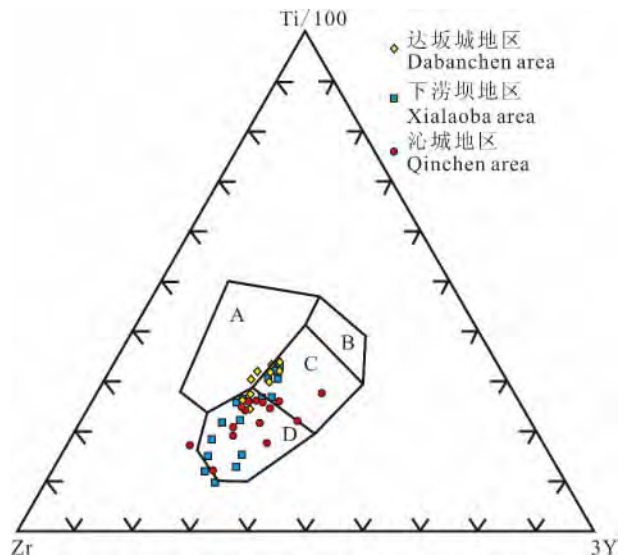


图8 新疆博格达—哈尔里克山地区火山岩 Ti/100—Zr—3Y 图解

Fig. 8 Ti/100—Zr—3Y diagram of the Bogda Harlik mountains area, Xinjiang (after Pearce and Cann ,1973)

A—板内玄武岩;B,C—岛弧拉斑玄武岩;C,D—岛弧钙碱性玄武岩



带北侧存在发育在志留纪陆表海沉积岩系之上由泥盆纪—石炭纪中酸性火山岩和火山碎屑岩组成的火山弧,其中熔岩主要为安山岩和英安岩,其次为流纹岩,且岩石多富钾,属钙碱性岩石系列。侵入上述火山沉积地层中的中酸性岩体,见斑岩型铜钼矿化,总体上反映出活动大陆边缘的性质。与之相反在卡拉麦里缝合带南侧表现为整合覆盖在志留系之上的泥盆系和下石炭统陆源碎屑岩,具有被动陆缘沉积岩系的特征(李锦轶等,2004),说明卡拉麦里残余洋壳所代表的有限洋盆仅存在南向北的单向俯冲,而博格达—哈尔里克石炭纪火山弧位于其南侧,不可能同属一个沟弧盆体系。另外,Han Baofu等(2010)和郭召杰(2012)通过对新疆北部卡拉麦里构造带、达拉布特构造带和巴音沟构造带的分析,认为新疆北部地区洋盆俯冲和地体拼贴碰撞造山过程在晚石炭世之前就已完成,从而佐证了研究区火山弧不可能是由卡拉麦里洋盆俯冲形成。

二是康古尔洋盆的厘定。其位于小热泉子—大南湖火山盆地和雅满苏火山盆地之间,地表残留的洋壳残片主要分布在色儿特能、恰特尔力、康南等地(郭新成等,2008),主要出露岩性有蛇纹岩、辉长岩、斜长花岗岩、玄武岩、红色放射虫硅质岩和复理石。其中硅质岩中产晚志留世—早石炭世 *Stylosphaera* (?) 放射虫化石(李锦轶,2004);康南蛇绿岩中的斜长花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 329~308Ma(姬金生,1994);因此,认为研究区南侧康古尔塔格地区存在石炭纪的洋盆,而且吐哈盆地南缘自北向南存在奥陶纪—志留纪、泥盆纪、石炭纪活动陆缘残片,这些不同时代岩浆岩的时空分布揭示出该区弧岩浆前锋带的演化具有逐步向南迁移的特点(李锦轶等,2006),说明康古尔洋盆存在由南向北的俯冲。另外,夏芳等(2012)通过对哈尔里克山地区侵入岩研究,认为该区在泥盆纪发育英云闪长岩—奥长花岗岩—花岗岩( $T_1T_2G_2$ )岩石组合,石炭纪发育石英闪长岩—花岗岩( $G_1—G_2$ )岩石组合,其岩石组合的空间分布特征显示,与哈尔里克岩浆弧相配套的洋盆位于其南侧,从而佐证了康古尔洋盆与博格达—哈尔里克火山弧构造意义上的相关性。

## 6 结论

通过对研究区不同地段火山岩自然岩石组合和岩石地球化学特征的研究,取得以下两点认识。

(1) 博格达山和哈尔里克山地区石炭纪火山岩在岩石组合、岩石地球化学特征上均一致性地反映

出其形成于活动大陆边缘火山弧环境。

(2) 经初步区域对比分析,认为博格达—哈尔里克石炭纪火山活动可能与其南侧的康古尔洋盆演化密切相关。

## 注 释 / Notes

- ① 新疆地矿局第一区域地质调查大队. 2005. 新疆哈密市沁城一带 1: 5 万区域地质矿产调查报告 (K46E008019、K46E008020、K46E008021、K46E009021). 乌鲁木齐:新疆维吾尔自治区 1: 5 万项目管理办公室, 9~18.
- ② 新疆地矿局第一区域地质调查大队. 2006. 新疆哈密市口门子南一带 1: 5 万区域地质矿产调查报告 (K46E005015、K46E005016、K46E005017、K46E006016、K46E006017). 乌鲁木齐:新疆维吾尔自治区 1: 5 万项目管理办公室, 136~214.
- ③ 新疆地矿局第一区域地质调查大队. 2005. 新疆伊吾县伊吾河上游一带 1: 5 万区域地质矿产调查报告 (K46E006019、K46E006020、K46E007020). 乌鲁木齐:新疆维吾尔自治区 1: 5 万项目管理办公室, 94~146.
- ④ 新疆地矿局第一区域地质调查大队. 2011. 新疆巴里坤县下涝坝一带 1: 5 万区域地质矿产调查报告 (K46E002007、K46E003007、K46E003008). 乌鲁木齐:新疆维吾尔自治区 1: 5 万项目管理办公室, 152~215.
- ⑤ 新疆地矿局区域地质测量大队. 1971. 中华人民共和国地质图及说明书 (1: 20 万七角井幅). 新疆地矿局内部资料.
- ⑥ 新疆地矿局区域地质测量大队. 1965. 中华人民共和国地质图及说明书 (1: 20 万乌鲁木齐幅). 新疆地矿局内部资料.
- ⑦ 新疆地矿局区域地质测量大队. 1967. 中华人民共和国地质图及说明书 (1: 20 万伊吾幅). 新疆地矿局内部资料.

## 参 考 文 献 / References

- 曹福根, 涂其军, 张晓梅, 任燕, 李高岭, 董富荣. 2006. 哈尔里克山早古生代岩浆弧的初步确定——来自塔水河一带花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 侧年的证据. 地质通报, 25(8): 923~927.
- 成守德, 王广瑞, 杨树德. 1986. 新疆古板块构造. 新疆地质, 4(2): 1~26.
- 成守德, 张湘江. 2000. 新疆大地构造基本格架. 新疆地质, 18(4): 293~296.
- 邓晋福, 罗照华, 苏尚国. 2004. 岩石成因、构造环境与成矿作用. 北京:地质出版社, 1~381.
- 邓晋福, 肖庆辉, 苏尚国, 刘翠, 赵国春, 吴宗絮, 刘勇. 2007. 火成岩组合与构造环境. 高校地质学报, 13(3): 392~402.
- 方国庆. 1993. 博格达晚古生代岛弧的沉积岩石学证据. 沉积学报, 11(3): 31~36.
- 顾连兴, 胡受奚, 于春水, 吴昌志, 严正富. 2001. 论博格达俯冲撕裂型裂谷的形成与演化. 岩石学报, 17(4): 585~597.
- 顾连兴, 胡受奚, 于春水, 李宏宇, 肖新建, 严正富. 2010. 东天山博格达造山带石炭纪火山岩及其形成地质环境. 岩石学报, 16(3): 305~316.
- 郭新成, 余元军, 徐晟. 2008. 新疆鄯善色儿特能蛇绿岩及构造意义. 新疆地质, 26(3): 225~230.
- 郭召杰. 2012. 新疆北部大地构造研究中几个问题的评述——兼论地质图在区域构造研究中的重要意义. 地质通报, 31(7): 1054~1060.
- 何国琦, 李茂松, 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿. 乌鲁木齐:新疆人民出版社, 1~437.

- 姬金生. 1994. 东天山康古尔塔格金矿带地质与成矿. 北京:地质出版社 90~92.
- 李昌年. 1992. 火成岩微量元素岩石学. 武汉:中国地质大学出版社, 74~93.
- 李锦轶. 2004. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变. 地质论评 50(3):304~322.
- 李锦轶, 王克卓, 孙桂华, 莫申国, 李文铅, 杨天南, 高立明. 2006. 东天山吐哈盆地南缘古生代活动陆缘残片:中亚地区古亚洲洋板块俯冲的地质记录. 岩石学报 22(05):1087~1102.
- 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 1992. 新疆北部古生代地壳演化及成矿系列. 矿床地质 11(4):307~314.
- 马瑞士, 王赐银, 叶尚夫. 1993. 东天山构造格架及地壳演化. 南京:南京大学出版社 1~225.
- 马瑞士, 舒良树, 孙家齐. 1997. 东天山构造演化与成矿. 北京:地质出版社 1~202.
- 潘桂堂, 肖庆辉, 陆松年, 邓晋福, 冯益民, 张克信, 张智勇, 王方国, 邢光福, 郝国杰, 冯艳芳. 2009. 中国大地构造单元划分. 中国地质, 36(1):1~28.
- 舒良树, 朱文斌, 王博, Faure M, Charvet J, Cluzel D. 2005. 新疆博格达南缘后碰撞期陆内裂谷和下水滑塌构造. 岩石学报 21(01):25~36.
- 王赐银, 舒良树, 赵明, 马瑞士. 1996. 东天山北部哈尔里克晚古生代推覆构造与岩浆作用研究. 高校地质学报 2(2):198~206.
- 王金荣, 李泰德, 田黎萍, 于漫, 王怀涛, 赵志雄, 汤中立. 2010. 新疆博格达山带晚古生代构造—岩浆演化过程:火山岩组合及地球化学证据. 岩石学报 26(4):1103~1115.
- 王银喜, 顾连兴, 张遵忠, 张开均, 李惠民, 吴昌志, 杨杰东. 2005. 博格达裂谷闭合和区域隆起的同位素年代学证据及地质意义. 地球学报 26(增刊):102~104.
- 王银喜, 顾连兴, 张遵忠, 吴昌志, 张开均, 李惠民, 杨杰东. 2006. 博格达裂谷双峰式火山岩地质年代学与 Nd—Sr—Pb 同位素地球化学特征. 岩石学报 22(5):1215~1224.
- 王宗秀, 李涛, 周高志, 卢苗安, 柳永清, 李寅. 2003. 博格达山晚石炭世造山活动的变形地质记录. 地学前缘 10(1):63~69.
- 王宗秀, 周高志, 李涛. 2003. 对新疆北部蛇绿岩及相关问题的思考和认识. 岩石学报 19(4):683~691.
- 吴庆福. 1986. 准噶尔盆地构造演化及含油气远景. 新疆地质 4(3):1~19.
- 夏芳, 赵同阳, 徐仕琪, 朱志新, 王克卓, 屈迅, 陈帮学. 2012. 新疆哈尔里克地区侵入岩浆构造序列的确定及构造意义. 新疆地质, 30(4):392~398.
- 叶天竺, 张智勇, 肖庆辉, 潘桂堂, 冯艳芳. 2010. 全国矿产资源潜力评价技术要求系列丛书——成矿地质背景研究技术要求. 北京:地质出版社 431~434.
- 赵明, 舒良树, 王赐银. 1997. 东疆哈尔里克变质地带变质作用特征及形成构造环境研究. 高校地质学报 3(1):40~50.
- 周济元, 茅燕石, 黄志勋, 何大伦, 王道永, 肖渊甫. 1994. 东天山古大陆边缘火山地质. 成都:成都科技大学出版社 1~280.
- 周济元, 崔炳芳, 肖惠良, 陈世忠, 朱德茂. 2001. 新疆康古尔—黄山对接碰撞带的存在、成矿模式及成矿预测. 火山地质与矿产 22(4):252~263.
- Cindie K C. 1982. Plate tectonics and crustal evolution. London:Pergamon Press 1~310.
- Coleman R G. 1989. Continental growth of North China. Tectonics 8(1):621~625.
- Han Baofu, Guo Zhaojie, Zhang Zhicheng, Zhang Lei, Chen Jiafu Song Biao. 2010. Age, geochemistry, and tectonic implications of a late Paleozoic stitching pluton in the North Tian Shan suture zone, western China. Geological Society of America Bulletin, 122: 627~640.
- Pitcher W S. 1982. Granite Types and Tectonic Environment. Mountain Building Processes. London:Acad. Press 19~40.
- Shu Liangshu, Wang Bo, Zhu Wenbin, Guo Zhaojie, Zhang Yueqiao. 2011. Timing of initiation of extension in the Tianshan, based on structural, geochemical and geochronological analyses of bimodal volcanism and olistostrome in the Bogda Shan (NW China). Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch), 100:1647~1663.
- Xiao Wenjiao, Zhang Lianchang, Qin Kezhong, Sun Shu, Li Jiliang. 2004. Paleozoic accretionary and collisional tectonics of the Eastern Tianshan(China): implications for the continental growth of central Asia. American Journal of Science 304:370~395.
- Chen Xijie, Shu Liangshu, Santosh M. 2011. Late Paleozoic post-collisional magmatism in the Eastern Tianshan belt northwest China: new insights from geochemistry, geochronology and petrology of bimodal volcanic rocks. Lithos 127:581~598.

## Geological and Geochemical Features of Carboniferous Volcanic Rocks in Bogda—Harlik Mountains, Xinjiang and Thire Tectonic Significances

ZHAO Tongyang<sup>1)</sup>, XU Shiqi<sup>1)</sup>, ZHU Zhixin<sup>1)</sup>, LIU Xin<sup>2)</sup>, CHEN Chuan<sup>2)</sup>

1) Xinjiang Institute of Geological Survey, Urumqi, 830000;

2) Xinjiang University Department of Geology, Urumqi, 830046

**Abstract:** Research on the natural rock combination and petrochemistry of different sections in Bogda—Harlik mountain, results show that the rock combination is basalt, basaltic andesite andesite and dacite and rhyolite composition, different from the continental rift environment or extended alkalin bimodal volcanic rocks. Geochemical characteristics show that the study area volcano rock mostly belong to calc-alkaline series, enriched in Al high Ti, and HFSE depletion, performance for the volcano arc environment. And consider that the evolution of the carboniferous volcano activity may be associated with the Kanggurtag basin.

**Key words:** Bogda—Harlik; volcanic rocks; rock associations; evolution of the oceanic basin