



# 东昆仑东段坑德地区侵入岩岩石地球化学特征及其构造意义

刘卫东

(山东省第七地质矿产勘查院, 山东 临沂 276006)

**摘要:**对东昆仑造山带东段坑德地区出露的侵入岩进行了详细的岩石地球化学研究。结果表明,东昆仑造山带东段坑德地区岩体为一套高钾钙碱性花岗闪长岩,岩石由准铝质向过铝质过渡。岩石稀土元素具 LREE 元素富集、HREE 元素亏损,有弱的负 Eu 异常的特征,微量元素明显富集大离子亲石元素 (Rb, Ba, K) 和活泼的不相容元素 Th, U 等;相对亏损高场强元素 Nb, Ti, P; Rb/Sr, Nb/Ta, Zr/Hf 等特征显示岩石具壳幔混合特征。岩石具有板块俯冲碰撞前活动大陆边缘构造环境特征,应该为阿尼玛卿洋向北俯冲碰撞过程中壳幔岩浆混合作用形成。

**关键词:**东昆仑;侵入岩;坑德地区;早三叠世

**中图分类号:**P595 **文献标识码:**A

**引文格式:**刘卫东.东昆仑东段坑德地区侵入岩岩石地球化学特征及其构造意义[J].山东国土资源,2016,32(8):1-7. LIU Weidong. Geochemical Characteristics and Tectonic Significance of Intrusive Rocks in Kengde Area in Eastern Kunlun Orogenic Belt[J]. Shandong Land and Resources, 2016,32(8):1-7.

东昆仑造山带东段发育大面积的侵入岩岩体,大多侵位于前寒武纪变质岩结晶基地。不同的学者对东昆仑造山带大面积分布的侵入岩开展过一定的工作,并对侵入岩的成因及构造背景进行了研究。如刘成东等(2004)对东昆仑造山带东部约格鲁地区的侵入岩进行岩相学及同位素年龄学研究证明了岩浆壳幔混合作用的存在<sup>[1]</sup>。孙雨等(2009)对东昆仑南哈拉苏吐岩体进行了研究,认为岩体中的暗色闪长质包体代表了幔源基性岩浆在与壳源酸性岩浆混合、反应后经过动力学和热力学平衡后的残余物质<sup>[2]</sup>。陈宣华等(2011)对柴达木盆地东部基底进行研究后认为,东昆仑造山带二叠纪—三叠纪花岗岩源岩可能是变质沉积岩<sup>[3]</sup>。陈国超等(2013)年对东昆南发育的晚三叠世花岗岩研究,表明岩体的源区可能为变角闪岩为主,同时表明岩石具有杂砂岩或火成变质岩熔融形成的特征<sup>[4]</sup>。罗明非等(2014)认为香日德晚三叠世花岗岩的源区为前寒武纪基底岩石,且花岗岩体的形成受幔源岩浆底侵

作用的影响<sup>[5]</sup>。陈广俊等(2014)对沟里地区花岗闪长岩研究认为,研究可能起源于大陆下地壳的花岗质岩浆并经历了幔源岩浆的混合<sup>[6]</sup>。综合前人成果及该次最新收集的数据,该文对东昆仑坑德地区侵入岩的岩石学、岩石地球化学特征进行了分析,探讨了坑德地区侵入岩的成因以及构造环境,对认识东昆仑地区的岩浆活动规律和大地构造演化有一定的指导意义。

## 1 地质背景

东昆仑坑德地区属青海省都兰县香日德镇管辖,属东昆仑造山带东段,其在大地构造位置上属东昆仑弧盆系北昆仑岩弧<sup>[7]</sup>。研究区构造线为 NNW 向,整体受 NW 向东昆中断裂、NNW 及 NE 向走滑断裂和近 EW 向断层控制。区内出露的地质体有前寒武纪变质基底、古元古代超基性—基性岩、古生代—中生代火成岩等(图 1)。其中,前寒武纪变质基底为高角闪岩相—麻粒岩相变质岩系古元古代

收稿日期:2016-02-24;修订日期:2016-03-25;编辑:王敏

基金项目:青海省国土资源厅,青海省金星矿业公司有限公司公益性区域地质矿产调查基金项目(青国土资矿[2008]33号)

作者简介:刘卫东(1981—),男,山东临沂人,工程师,主要从事区域地质调查与找矿工作;E-mail:wolf1210@sina.com

金水口岩群(形成时代为 1.9 Ga)和角闪岩相变质岩系中元古代长城纪小庙组(形成时代为 1.6~1.0 Ga)<sup>[4,8-11]</sup>。古元古代超基性—基性岩呈孤岛状、线状分布于东昆中断裂带内。晚古生代—中生代(晚华力西—印支期)花岗岩多呈大型线状复式岩基产出,其内部可以解体出若干岩性单元,岩石由中性向

酸性变化,岩性主要为(石英)闪长岩、石英二长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩等,多含一定量中性暗色微粒包体。晚中生代火成岩主要为正长花岗岩,暗色矿物含量较少,几乎不含包体。研究区还发育三叠纪火山岩组合,主要为流纹质火山岩、集块岩、凝灰岩等,不整合于三叠纪花岗岩之上<sup>[12-14]</sup>。

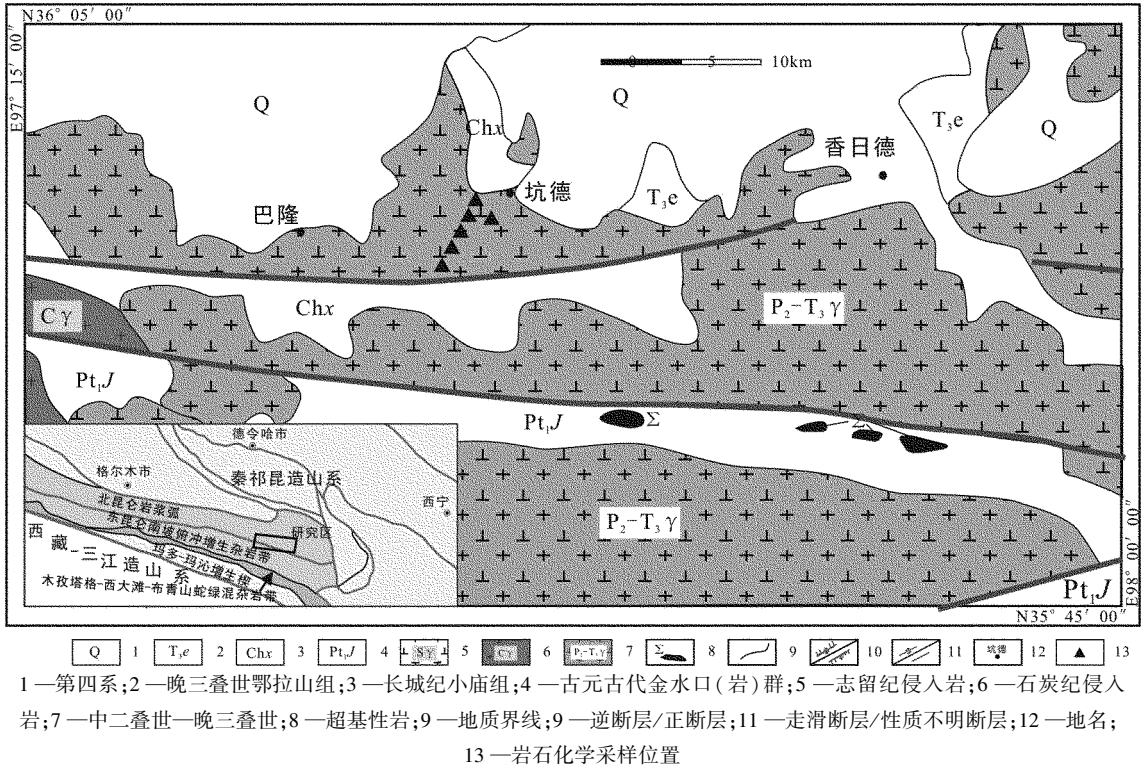


图 1 东昆仑坑德地区地质简图

(地质图综合本次成果及青海省 1:100 万地质图,大地构造图取自潘桂堂,2009)

## 2 岩体地质及岩石学特征

坑德地区岩体主要出露于东昆北岩浆弧内,呈不规则状,NW 向展布。主要岩性为灰白色中细粒花岗闪长岩,其主要侵位于长城纪小庙组,且小庙组已被侵蚀呈残块出露于坑德岩体内部或周边,并且岩体周边矽卡岩化、硅化现象发育,在岩体内部还可见大小不等,不规则状似定向的暗色细粒闪长岩包体及伟晶岩脉发育。暗色细粒包体直径一般为 0.1~0.5 m,岩性单一,主要为灰色细粒闪长岩,呈不定向,无规则排列。

岩体主体为灰白色中细粒花岗闪长岩,中细粒花岗结构,块状构造。主要矿物为斜长石(60%±)、钾长石(10%~15%)、石英(20%±)、黑云母(5%~10%)、角闪石(2%~5%);副矿物有不透明矿物、磷

灰石、锆石、榍石等;次生矿物有高岭土、绢云母、黝帘石、绿泥石。花岗闪长岩岩体中包体为灰黑色细粒黑云闪长岩,细粒结构,块状构造。主要矿物为斜长石(40%~45%)、钾长石(<5%)、石英(5%~10%)、黑云母(20%±)和角闪石(30%)。副矿物有不透明矿物、榍石、磷灰石等;次生矿物有绢云母、高岭土和绿泥石等。

## 3 岩石地球化学特征

### 3.1 样品描述及测试方法

该次研究所采集的各类样品主要来源于实测地质剖面,个别样品为路线地质填图中采集(图 1)。岩性为灰色中细粒花岗闪长岩,岩石新鲜无蚀变,中细粒花岗岩结构,块状构造。共采集岩石地球化学样品 5 件,编号为 DP13-4-1,DP13-10-1,DP13

-12-1, DP13-12-3 和 D1483-1。岩石化学分析由国土资源部济南矿产资源监督检测中心实验室完成,采用 XRF 方法测定,分析误差优于 5%,常量元素用 3080E 型 X 荧光光谱仪测定,微量、稀土元素使用 X-series 型等离子质谱仪测定。

### 3.2 主量元素特征

坑德花岗闪长岩主量、微量及稀土元素分析数据见表 1。坑德岩体的  $\text{SiO}_2$  在 67.06%~67.57% 之间,变化范围不大; $\text{Na}_2\text{O}$  在 3.26%~3.64% 之间,平均 3.43%; $\text{K}_2\text{O}$  在 2.93%~3.64% 之间,平均 3.16%。

表 1 东昆仑坑德地区花岗闪长岩主量元素 (wt%)、微量元素及稀土元素 ( $10^{-6}$ ) 测试结果

| 样品编号      | $\text{SiO}_2$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | FeO   | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | MnO                 | MgO                 | CaO   | $\text{Na}_2\text{O}$           | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{P}_2\text{O}_5$ | LiO     | Total  | $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ | $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ |
|-----------|----------------|----------------|-------------------------|-------|-------------------------|---------------------|---------------------|---|---------------------------------|----------------------|------------------------|---------|--------|--|--|
| DP13-12-3 | 67.45          | 0.48           | 15.44                   | 1.10  | 2.45                    | 0.08                | 1.72                | 3.85  | 3.51                            | 3.01                 | 0.12                   | 0.54    | 99.77  | 6.53                                       | 1.17                                     |
| DP13-10-1 | 67.06          | 0.49           | 15.32                   | 1.55  | 2.30                    | 0.08                | 1.89                | 3.63  | 3.38                            | 3.34                 | 0.11                   | 0.76    | 99.92  | 6.72                                       | 1.01                                     |
| D1483-1   | 67.32          | 0.55           | 14.85                   | 2.62  | 2.01                    | 0.10                | 1.46                | 3.07  | 3.64                            | 2.93                 | 0.13                   | 1.40    | 100.08 | 6.57                                       | 1.24                                     |
| DP13-4-1  | 67.13          | 0.48           | 15.32                   | 1.18  | 2.28                    | 0.08                | 1.69                | 3.61  | 3.26                            | 3.23                 | 0.11                   | 1.40    | 99.76  | 6.48                                       | 1.01                                     |
| DP13-12-1 | 67.57          | 0.48           | 15.42                   | 1.39  | 1.81                    | 0.07                | 1.49                | 3.37  | 3.38                            | 3.30                 | 0.12                   | 1.47    | 99.86  | 6.68                                       | 1.02                                     |
| 样品编号      | A/CNK          | A/NK           | DI                      | SI    | Ba                      | Rb                  | Th                  | U   | Nb                              | Ta                   | Sr                     | Zr      | Hf     | Ti   | Ga                                       |
| DP13-12-3 | 0.96           | 1.71           | 72.67                   | 14.9  | 509.900                 | 113.800             | 15.966              | 1.857   | 11.943                          | 1.061                | 393.900                | 163.300 | 6.095  | 2883.773                                   | 20.150                                   |
| DP13-10-1 | 0.97           | 1.67           | 72.56                   | 15.46 | 562.800                 | 138.100             | 11.034              | 1.155   | 11.808                          | 1.139                | 334.100                | 139.500 | 5.344  | 2957.455                                   | 18.190                                   |
| D1483-1   | 1.01           | 1.62           | 73.46                   | 11.71 | 539.900                 | 138.000             | 11.930              | 6.554   | 11.690                          | 2.059                | 281.600                | 75.430  | 12.860 | 2969.000                                   | 15.320                                   |
| DP13-4-1  | 0.99           | 1.73           | 72.42                   | 14.82 | 541.300                 | 130.600             | 13.788              | 2.387   | 10.737                          | 1.049                | 346.400                | 130.500 | 5.157  | 2865.446                                   | 18.560                                   |
| DP13-12-1 | 1.01           | 1.69           | 74.01                   | 13.27 | 580.700                 | 141.300             | 17.676              | 2.517   | 12.159                          | 1.501                | 352.500                | 147.100 | 5.294  | 2856.925                                   | 19.940                                   |
| 样品编号      | Cr             | Co             | Ni                      | Sc    | Y                       | La                  | Ce                  | Pr  | Nd                              | Sm                   | Eu                     | Gd      | Tb     | Dy   | Ho                                       |
| DP13-12-3 | 22.500         | 9.493          | 7.648                   | 8.802 | 16.605                  | 34.759              | 61.081              | 6.810   | 23.454                          | 4.081                | 0.907                  | 3.257   | 0.540  | 3.044                                      | 0.554                                    |
| DP13-10-1 | 26.200         | 9.295          | 9.306                   | 7.984 | 16.857                  | 26.526              | 47.786              | 5.468   | 19.242                          | 3.435                | 0.835                  | 3.134   | 0.520  | 3.045                                      | 0.583                                    |
| D1483-1   | 16.940         | 8.947          | 5.086                   | 6.275 | 14.360                  | 26.460              | 48.000              | 5.220   | 18.810                          | 3.320                | 0.830                  | 2.920   | 0.460  | 2.520                                      | 0.530                                    |
| DP13-4-1  | 20.800         | 8.550          | 7.945                   | 7.486 | 13.770                  | 29.463              | 50.454              | 5.671   | 19.584                          | 3.370                | 0.787                  | 2.771   | 0.427  | 2.504                                      | 0.453                                    |
| DP13-12-1 | 18.600         | 8.017          | 6.846                   | 6.901 | 14.022                  | 31.187              | 52.976              | 5.992   | 20.259                          | 3.470                | 0.842                  | 2.804   | 0.440  | 2.450                                      | 0.458                                    |
| 样品编号      | Er             | Tm             | Yb                      | Lu    | $\Sigma\text{REE}$      | $\Sigma\text{LREE}$ | $\Sigma\text{HREE}$ | $\frac{\Sigma\text{LREE}}{\Sigma\text{HREE}}$ | $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}$ | $\delta\text{Eu}$    | Rb/Sr                  | Nb/Ta   | Zr/Hf  | La/Nb                                      | Zr/Y                                     |
| DP13-12-3 | 1.548          | 0.252          | 1.599                   | 0.264 | 142.150                 | 103.293             | 11.289              | 9.15  | 14.65                           | 0.76                 | 0.29                   | 11.26   | 26.79  | 2.91                                       | 9.83                                     |
| DP13-10-1 | 1.630          | 0.262          | 1.826                   | 0.290 | 114.583                 | 109.328             | 9.149               | 11.95   | 9.77                            | 0.78                 | 0.41                   | 10.37   | 26.10  | 2.25                                       | 8.28                                     |
| D1483-1   | 1.560          | 0.250          | 1.650                   | 0.250 | 112.780                 | 102.640             | 10.140              | 10.12   | 10.81                           | 0.82                 | 0.49                   | 5.68    | 5.87   | 2.26                                       | 5.25                                     |
| DP13-4-1  | 1.252          | 0.204          | 1.318                   | 0.220 | 118.476                 | 131.092             | 11.058              | 11.86   | 15.05                           | 0.79                 | 0.38                   | 10.24   | 25.31  | 2.74                                       | 9.48                                     |
| DP13-12-1 | 1.343          | 0.225          | 1.481                   | 0.255 | 124.180                 | 114.725             | 9.455               | 12.13   | 14.21                           | 0.82                 | 0.40                   | 8.10    | 27.78  | 2.56                                       | 10.49                                    |

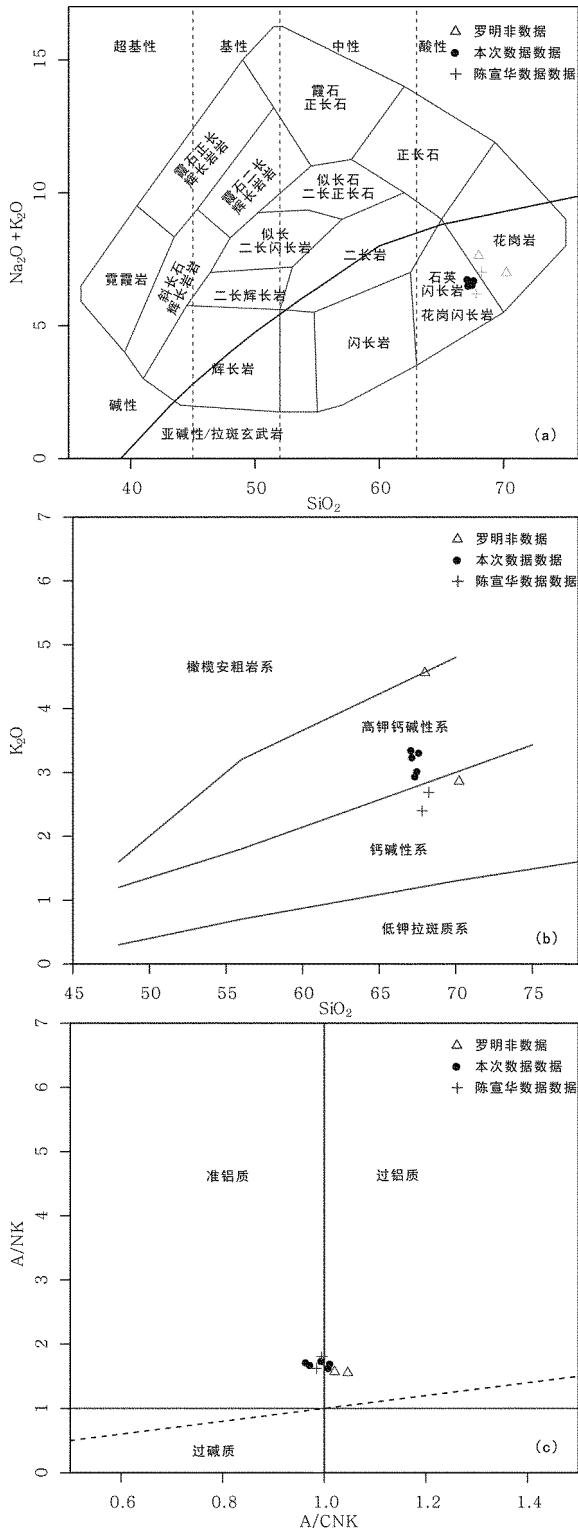
### 3.3 稀土、微量元素特征

东昆仑坑德地区花岗闪长岩稀土元素  $\Sigma\text{REE}$  为  $(112.78 \sim 142.15) \times 10^{-6}$ , 平均为  $122.43 \times 10^{-6}$ , 质量分数相对较低。LREE/HREE 稀土元素比值在 9.15~12.13 之间, 平均为 11.04。在球粒陨石标准化稀土元素蛛网图中(图 3a), 各样品配分曲线趋势几乎一致, 显示同源岩浆演化的特点, 配分曲线明显右倾, 即体现了 LREE 元素富集、HREE 元素亏损的特征。LREE 的种类与  $\Sigma\text{REE}$  呈同消长, 且所占比重大, 而重稀土总量变化小, 表明坑德岩体稀土元素的

$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  在 6.48%~6.72% 之间, 平均 6.60%;  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  在 1.01~1.24 之间, 平均 1.09; 属于高钾钙碱性系列岩石。在  $\text{SiO}_2 - \text{ALK}$  图中(图 2a), 坑德岩体数据全部落入酸性—亚碱性/拉斑玄武岩—花岗闪长岩范围内。在  $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$  图中(图 2b), 数据全部落入高钾钙碱性范围内。坑德岩体的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  在 14.85%~15.44% 之间, A/CNK 在 0.96~1.01 之间, 在 A/CNK - A/NK 图解中(图 2c), 数据点由准铝质向过铝质过渡。

差别主要由轻稀土元素引起。 $(\text{La}/\text{Yb})\text{N}$  比值在 9.77~15.05 之间, 平均为 12.90, 指示轻重稀土元素分馏较强, 岩浆分异强烈。岩体  $\delta\text{Eu}$  在 0.76~0.82 之间, 平均 0.79, 为弱的负 Eu 异常, 表明区内存在斜长石的残留或岩体内的斜长石经历了一定的分离结晶作用。各样品的 Eu 负异常特征相似, 与主量元素  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量的高低似乎并没有很大的相关性; 表明岩浆稀土元素的演化过程与地壳的混染没有相关性。

东昆仑坑德地区花岗闪长岩原始地幔标准化微



(a) 花岗岩 TAS 分类图 (Cox et al., 1979); (b)  $SiO_2 - K_2O$  (Pecerill and Taylor, 1976); (c)  $A/NK - A/NK$  (Schand, 1943)

图 2 东昆仑坑德地区花岗岩及东昆仑东段周边花岗岩岩石分类图解

量元素蛛网图(图 3b)显示,各样品配分曲线基本一

致。相对于原始地幔,岩石明显富集大离子亲石元素(Rb, Ba, K)和活泼的不相容元素 Th, U 等;相对亏损高场强元素 Nb, Ti, P; Ti 和 P 的亏损应该是受到钛铁矿和磷灰石分离结晶作用的影响。Rb/Sr 在 0.29~0.49 之间,平均 0.39; Nb/Ta 在 5.68~11.26 之间,平均 9.13; Zr/Hf 在 5.87~27.78 之间,平均 22.37。

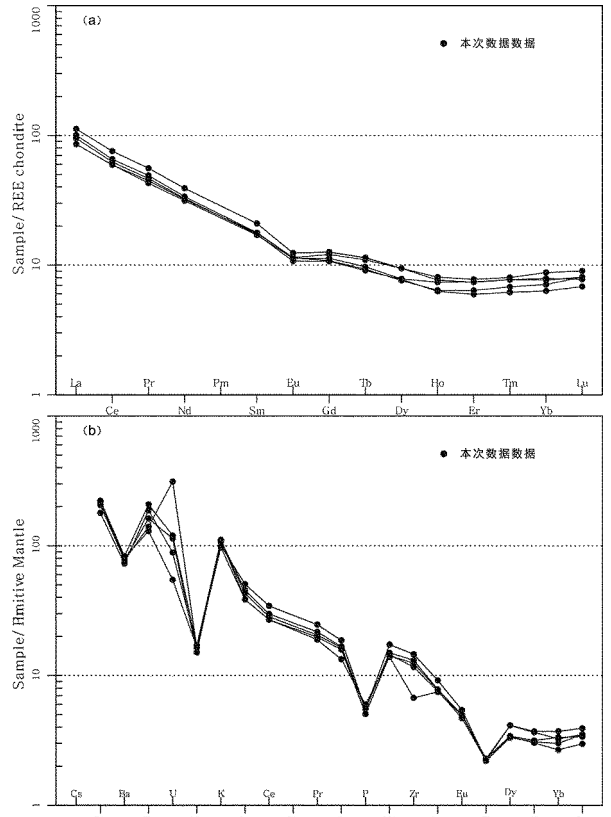


图 3 东昆仑坑德地区花岗闪长岩稀土元素球粒陨石标准化配分图 (Boynton, 1984) 及微量元素原始地幔标准化蛛网图 (Sun et al., 1984)

### 4 岩石成因

坑德花岗岩 Nb/Ta 比值介于 5.68~11.26, 平均 9.3, 总体低于上地幔平均值 17.5 (Sun and McDough et al., 1989) [15], 但是相对接近于大陆地壳比值 10~14 (赵振华 2007) [16], 表明该套岩体可能存在壳幔混合成因。坑德花岗岩在原始地幔标准化微量元素蛛网图中(图 3b), 岩石明显的 Nb, Ti 亏损; McKenzie (1989) [17] 认为是岩浆受到地壳物质的混染或者岩浆源区残留富含 Nb 和 Ti 等矿物造成的, Sun and McDough (1989) [15] 则认为是显示了俯冲带岩浆侵入过程中幔源岩石的特征。岩石 Rb/Sr 比值为 0.29

~0.49, 平均 0.39, 高于上地幔值 0.034 和地壳值 0.35, 说明地壳占比重要大一些。岩石 Zr/Hf 比值为 5.87~27.78, 平均 22.37, 小于地壳和地幔岩石比值 (22~36.3, Taylor and McLennan, 1985<sup>[18]</sup>), 表明地幔的作用相对较大。根据坑德花岗岩本身的岩石地球化学特征及野外在岩体内部存在不规则状似定向的暗色细粒闪长岩包体, 结合前人研究成果, 该文认为坑德花岗岩具有壳幔混合作用成因特征。

### 5 构造背景

坑德花岗岩 Zr/Y 比值在 5.25~10.49 之间, 平均 8.67, 介于活动大陆边缘安山岩的比值范围 4~12 (Condie, 1990<sup>[19]</sup>)。La/Nb 比值在 2.25~2.91, 平均 2.55, 相对较高, 一般在活动大陆边缘区 La/Nb 比值大于 2 比较常见 (Salter, 2004<sup>[20]</sup>)。上述特征表明坑德岩体构造环境可能与活动大陆边缘有关。

应用岩石化学特征进行构造环境判断, 该文采用 Batchelor (1985) 等<sup>[21]</sup>的  $R_1 - R_2$  图解、Schandl and Gorton 等 (2002)<sup>[22]</sup>的 Ta/Yb - Th/Yb, Ta - Th, Yb - Th/Ta 图解以及 Pearce 等 (1984)<sup>[23]</sup>的 (Y + Nb) - Yb, Y - Nb, (Ta + Yb) - Rb 图解; 对坑德花岗岩构造环境进行综合判断。在  $R_1 - R_2$  图解中 (图 4), 样品全部落入板块碰撞前区域 (相当于活动大陆板块边缘区域), 且已开始向同碰撞花岗岩转变。在

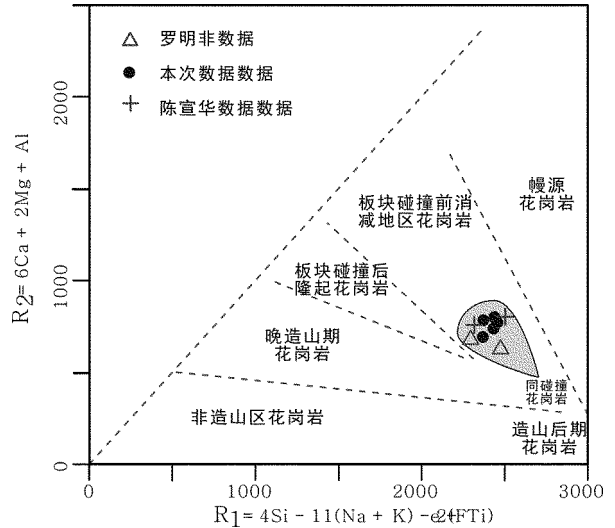


图 4 东昆仑坑德地区花岗岩  $R_1 - R_2$  构造判别图解 (Batchelor et al., 1985)

Schandl 的图解中 (图 5) 样品除 1 个点在 Ta/Yb - Th/Yb (图 5a) 和 Yb - Th/Ta (图 5c) 落入板内火山岩带外, 其他点均落入活动大陆边缘区。在 Pearce 的 Y - Nb 图解中 (图 6b), 样品落入火山弧和同碰撞花岗岩区域, 在 (Y + Nb) - Yb (图 6a) 和 (Ta + Yb) - Rb (图 6c) 已把样品区分为火山弧类型。根据坑德花岗岩的岩石地球化学特征, 该文判定坑德地区花岗岩构造环境应该为活动大陆边缘, 同时岩石的高钾钙碱性系列岩石暗示俯冲碰撞以进入晚期阶段, 钾的高含量可能与地壳作用的加强有关。

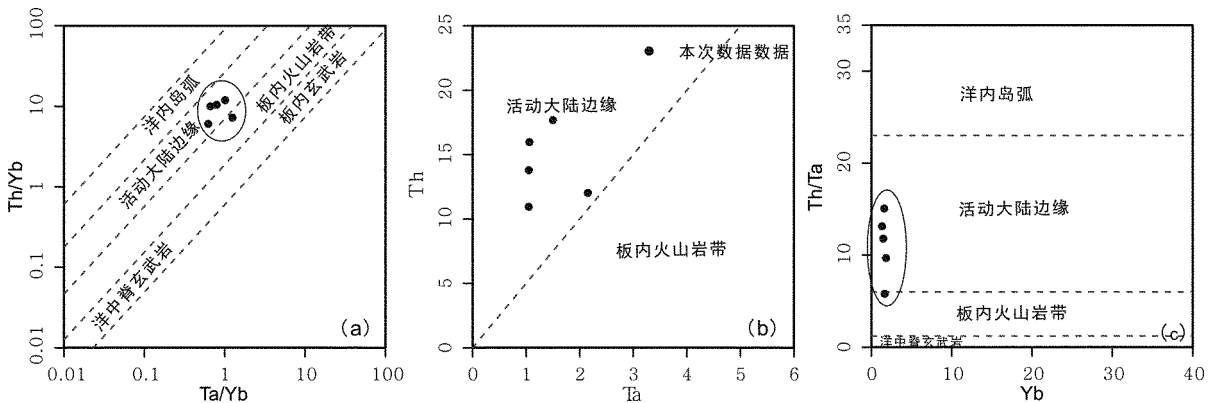


图 5 东昆仑坑德地区花岗岩 Ta/Yb - Th/Yb, Ta - Th 和 Yb - Th/Ta 构造判别图解 (Schandl and Gorton, 2002)

前人及该次成果共同表明, 东昆仑东段坑德地区早三叠世花岗岩应该产于阿尼玛卿洋俯冲减弱到结束的活动大陆边缘构造环境之下。对于东昆仑东段而言, 开始于晚华力西期的阿尼玛卿洋的俯冲作用持续至印支早期, 阿尼玛卿洋板块沿当前的东昆

南断裂带附近向北俯冲, 俯冲带内流体交代地幔, 使其部分熔融形成岩浆源区。该区处于东昆中断裂以北地区, 由于受阿尼玛卿洋板持续俯冲的作用, 使东昆北地区地壳熔融形成基性岩浆。同时, 俯冲作用导致深俯冲带之上、活动大陆边缘一侧的东昆北地

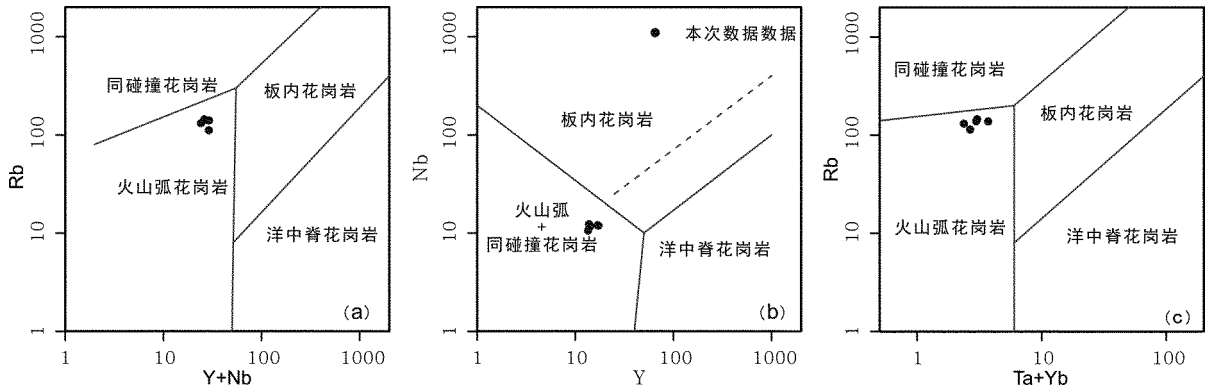


图 6 东昆仑坑德地区花岗岩(Y+Nb)-Yb、Y-Nb 和(Ta+Yb)-Rb 构造判别图解(Pearce et al.1984)

壳发生强烈伸展和岩石圈减薄(海沟处强烈的正面俯冲挤压导致后缘的伸展<sup>[24]</sup>),引发大规模的底侵作用。由底侵作用带来巨量的热能,导致地壳物质熔融,形成大规模的花岗质岩浆。酸性岩浆与基性岩浆发生混合,形成大面积分布的中酸性侵入岩,区域上构成了规模宏伟的东昆仑巨型岩浆岩带,而现存的暗色包体则为中基性岩浆的残留体。

## 6 结论

(1)东昆仑造山带东段坑德地区岩体为一套高钾钙碱性侵入岩,在化学成分上属花岗岩闪长岩,岩石由准铝质岩石向过铝质岩石过渡。

(2)岩石稀土元素具 LREE 元素富集、HREE 元素亏损,有弱的负 Eu 异常的特征,微量元素明显富集大离子亲石元素(Rb, Ba, K)和活泼的不相容元素 Th, U 等;相对亏损高场强元素 Nb, Ti, P; Rb/Sr, Nb/Ta, Zr/Hf 等特征显示岩石具壳幔混合特征。

(3)岩石具有板块俯冲碰撞前活动大陆边缘构造环境特征,为俯冲碰撞过程中壳幔岩浆混合作用形成。

## 参考文献:

[1] 刘成东,莫宣学,罗照华,等.东昆仑壳-幔岩浆混合作用:来自锆石 SHRIMP 年代学的证据[J].科学通报,2004,49(6):596-602.

[2] 孙雨,裴先治.东昆仑哈拉杂吐岩浆混合花岗岩:来自锆石 U-Pb 年代学的证据[J].地质学报,2009,83(7):1000-1010.

[3] 陈宣华,尹安.柴达木盆地东部基底花岗岩类岩浆活动的化学地球动力学[J].地质学报,2011,85(2):157-171.

[4] 陈国超,裴先治.东昆仑造山带晚三叠世岩浆混合作用:以和勒冈希里克特花岗岩闪长岩体为例[J].中国地质,2013,40(4):

1044-1065.

[5] 罗明非,莫宣学.东昆仑香日德地区晚三叠花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、岩石成因和构造意义[J].岩石学报,2014,30(11):3229-3241.

[6] 陈广俊,孙丰月.东昆仑沟里地区暗色包体及其寄主岩石地球化学特征及成因[J].吉林大学学报(地球科学版),2014,44(3):892-904.

[7] 潘桂堂,肖庆辉.中国大地构造单元划分[J].中国地质,2009,36(1):1-28.

[8] 陈能松,李晓彦.东昆仑山香日德南部白沙河组的岩石组合特征和形成年代的锆石 Pb-Pb 定年启示[J].地质科技情报,2006,25(6):1-7.

[9] 陈能松,孙敏.东昆仑造山带中带的锆石 U-Pb 定年与构造演化启示[J].中国科学(D 辑):地球科学,2008,38(6):657-666.

[10] 陈有妍,裴先治.东昆仑东段中元古代小庙岩组岩石组合、地球化学特征及构造环境分析[J].地质学报,2014,88(6):1038-1054.

[11] 王国灿,魏启荣.关于东昆仑地区前寒武纪地质的几点认识[J].地质通报,2007,26(8):929-937.

[12] 刘同,李兆营,刘卫东,等.青海鄂拉山地区水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J].山东国土资源,2015,31(9):12-17.

[13] 路晓平,李兆营,刘卫东,等.东昆仑乌妥一带超镁铁质岩-镁铁质岩地质特征及构造环境[J].山东国土资源,2014,30(9):16-21.

[14] 路晓平,王仁善,刘卫东,等.青海省都兰县江各早一中三叠世火山岩岩石学特征及构造环境[J].山东国土资源,2014,30(8):16-20.

[15] Sun, S.S. and McDonough, W.F.. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In: Magmatism in the ocean basins. Saunders, A.D. and Norry, M.J. (Editors) [J]. Geological Society of London, London. 1989, 42:313-345.

[16] 赵振华.关于岩石微量元素构造环境判别图解使用的有关问题[J].大地构造与成矿学,2007,31(1):92-103.

[17] J. Jackson & Dan McKenzie. Relations Between Seismicity and

- Paleomagnetic Rotations in Zones of Distributed Continental Deformation[J].Paleomagnetic Rotations and Continental Deformation, 1989, 254(NATO ASI Series): 33-42.
- [18] Taylor SR, McLennan SM. The continental crust: its composition and evolution [M]. Blackwell Scientific Publication, Carlton, 1985: 312.
- [19] K. C. Condie. Plate Tectonics & Crustal Evolution[J].Geological Magazine, 1990, 127(4): 372-373.
- [20] Vincent J. M. Salters and Andreas Stracke. Composition of the depleted mantle [J]. Geochemistry geophysics geosystems, 2004, 5(5): 1525-2027.
- [21] Batchelor, R. A. & Bowden, P et al. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters[J]. Chemical Geology, 1985, 48: 43-55.
- [22] Schandl, E. S. & Gorton, M. P. Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments. Economic Geology 2002, 97: 629-642.
- [23] Pearce, J. A., Harris, N. W. & Tindle, A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Journal of Petrology, 1984, 25: 956-983.
- [24] 王涛, 童英, 吴才来, 等. 中国及亚洲重要造山带花岗岩浆时空演化及成矿背景对比研究[J]. 中国地质调查, 2014, 1(2): 58-64.

## Geochemical Characteristics and Tectonic Significance of Intrusive Rocks in Kengde Area in Eastern Kunlun Orogenic Belt

LIU Weidong

(No.7 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Linyi 276006, China)

**Abstract:** Detailed geochemical study has been carried out on intrusive rocks outcropped in Kengde area in eastern Kunlun orogenic belt. It is showed that intrusive rocks in Kengde area is high potassium alkaline granodiorite. The rocks are transferred from metaluminous to weak peraluminous. Rare earth elements have the characteristics of rich LREE, low HREE and weak negative Eu anomaly. Trace elements are obviously enriched in large ion lithophile elements (Rb, Ba, K) and lively incompatible elements (Th, U); As showed by relatively depleted in high field strength elements, such as Nb, Ti, P, Rb / Sr and Nb / Ta, Zr / HF, rocks have the characteristics of mixed crust and mantle. Rocks have the characteristics of active continental margin tectonic environment before plate subduction and collision. It should be formed by crust mantle magma mixing during the period of Animaqing ocean northward subduction and collision.

**Key words:** Eastern Kunlun; intrusive rocks; Kengde area; early period of Triassic