

# 西天山阿吾拉勒阔尔库岩基解体的地球化学证据及意义

杨高学<sup>1</sup>,周继兵<sup>2</sup>,栾新东<sup>2</sup>,郭文杰<sup>2</sup>,毕明波<sup>1</sup>,李宏<sup>2</sup>,佟黎明<sup>2</sup>,李永军<sup>1</sup>

(1.长安大学地球科学与资源学院,陕西 西安 710054;

2.新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第九地质大队,新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘 要:**西天山阿吾拉勒阔尔库岩基被解体为早石炭世赛肯都鲁序列和早二叠世阔尔库序列。稀土微量元素研究表明,赛肯都鲁序列低 Ba,高 Sr,低稀土总量,贫 LREE,类似埃达克岩。LREE/HREE=2.5, $\delta\text{Eu}=0.89$ ,为幔源岛弧花岗岩,与研究区早石炭世大哈拉军山组钙碱性火山岩共同构成了岛弧火成岩组合。阔尔库序列高 Ba,低 Sr,高稀土总量,富集 LREE,LREE/HREE=6.3, $\delta\text{Eu}=0.67$ ,为壳源后造山花岗岩,与晚石炭—早二叠世大陆裂谷环境双峰式火山岩共同构成碰撞后火成岩组合。地球化学特征为该岩基解体提供了有力的证据。

**关键词:**西天山;阿吾拉勒;阔尔库岩基;解体;地球化学

阿吾拉勒山脉近 EW 向展布于伊宁地块东段。区内构造活动强烈,岩浆活动频繁,火成岩出露面积约占主要地质体的 70%,是研究伊宁地块乃至西天山构造带火山-岩浆事件和区域构造演化的理想地区。前人对区内沉积建造有较多研究,已初步证实本区早石炭世为岛弧火山-沉积建造,晚石炭世随着依连哈比尔尕碰撞带的缝合,中北天山焊结进入统一板内演化阶段<sup>[1~13]</sup>。本区侵入岩研究程度较低,尤其对复杂岩基的调查研究较少。笔者最新研究表明,该岩基是由两种截然不同大地构造背景下形成的不同时代、不同岩石类型、不同成因特征岩体构成的复式杂岩体,被解体为早石炭世赛肯都鲁序列和早二叠世阔尔库序列。该岩基的主要岩石学、岩石化学、接触关系和形成时代等特征,作者已有另文讨论<sup>[14,15]</sup>,在此进一步讨论两个序列解体的元素地球化学依据。

## 1 地质概况及岩基分布

区内主要沉积建造从早到晚依次为:早石炭世早期大哈拉军山组岛弧型钙碱性火山→早石炭世晚期阿克萨克组浅海相生物灰岩+碎屑岩→晚石炭世伊什基里克组板内裂谷型碱性双峰式火山岩→早二叠世早期乌朗组板内裂谷型碱性双峰式火山岩→早二叠世中期铁木里克组陆相磨拉石→中侏罗世陆相含煤沉积<sup>[7~11,13,16,17]</sup>。上述各地层间均为角度不整合,后期构

造作用导致部分为断裂接触。阔尔库岩基呈带状出露于阿吾拉勒山脊及北坡<sup>[14]</sup>。岩基长 25 km,宽 5.5 km,前人将其作为一个简单的深成岩体,时代定为二叠纪<sup>[17]</sup>。经笔者等详细调查确认,该岩基是以(石英)闪长岩-花岗闪长岩为主要岩石组合的赛肯都鲁序列和以二长花岗岩-正长花岗岩组合的阔尔库序列组成的复式杂岩体,序列间为超动接触关系,赛肯都鲁序列石英闪长岩中获得锆石 U-Pb 年龄为(331±6) Ma,阔尔库序列二长花岗岩中获得锆石 U-Pb 年龄为(281±9) Ma<sup>[14]</sup>。赛肯都鲁序列是岩基的主体,呈宽岩带状侵入于早石炭世阿克萨克组;阔尔库序列呈岩株、岩瘤状分别侵入于赛肯都鲁序列和晚石炭世伊什基里克组中。

## 2 微量元素地球化学特征

阔尔库岩基的微量元素含量见表 1,赛肯都鲁序列微量元素分析值见文献<sup>[14]</sup>。该序列经脊花岗岩标准化后微量元素分布型式呈较陡倾的右倾式,形态与岛弧玄武岩的分布型式一致(图 1-a),表明该序列与火山弧地球化学特征相近。阔尔库序列中大离子亲石元素,如 Y,Li,Be,Nb 含量偏低,与洋脊花岗岩对比,明显的富集 K<sub>2</sub>O,Rb,Ba,Th。亲铁元素 Sc,Ni,Co 含量低,不相容元素 Hf 含量偏低。与赛肯都鲁序列大离子亲石元素蛛网图相比,K<sub>2</sub>O-Rb-Ba-Th 段各元素变化曲线明显上拱,

项目资助:新疆新源县托库兹库拉克一带 1:5 万区域地质矿产调查(XJQDW-2003-07)资助

收稿日期:2007-11-16;修订日期:2008-04-15;作者 E-mail:mllygx@126.com

第一作者简介:杨高学(1980-),男,宁夏固原人,2005年毕业于长安大学,长安大学构造地质学专业在读硕士研究生,从事造山带与盆地分析研究

表 1 阔尔库序列微量元素含量一览表  
Table 1 The contrast of Trace elements content in Kuoerku series

序号	样号	Ba	Rb	Sr	Nb	Th	Ni	Cr	Hf	Sc	Ta	Co	Li	Be
1	VIII02	697.00	138.00	272.00	43.40	12.80	25.30	4.15	6.00	10.70	16.20	1.07	7.30	11.00
2	VI-01	563.00	107.00	171.00	14.00	10.30	10.70	9.75	14.30	3.76	13.30	1.09	9.20	13.00
3	D2444	940.00	97.90	216.00	19.00	8.54	13.00	7.35	4.20	3.29	6.74	1.08	4.50	5.70
4	VIII01	618.00	198.00	138.00	46.10	12.30	33.90	8.15	3.60	6.48	5.80	1.79	1.30	6.00
5	VI-02	730.00	178.00	78.70	9.50	9.91	13.00	8.95	4.15	1.96	1.86	1.47	<1.00	4.05

注:样品由宜昌地质研究所岩矿测试室用 ICP 原子光谱等方法分析,质量符合 DZ-0130-94 标准

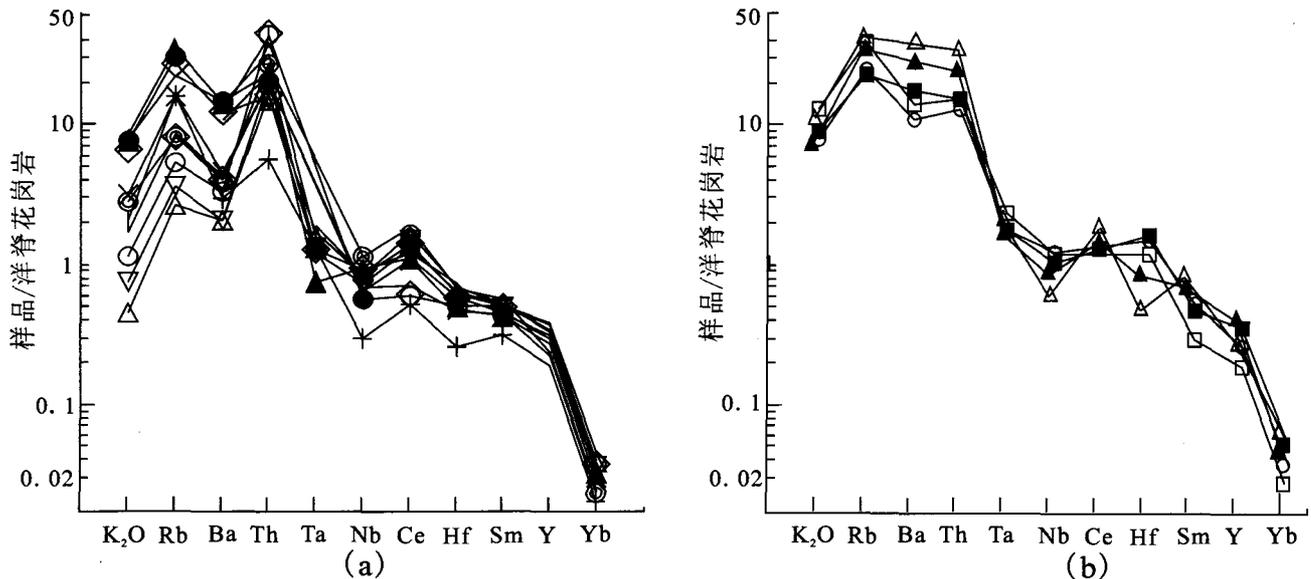


图 1 阔尔库岩基大离子亲石元素图解  
Fig.1 The trace lithophile element distribution patterns of The Kuoerku Granitic Batholith

a——赛肯都鲁序列;b——阔尔库序列  
图 1-a 中的样品序号和文献[14]中的一致,○——1;□——2;+——3;×——4;◇——5;△——6;●——7;▽——8;◎——9;▲——10;  
图 1-b 中:○——VIII02;■——VI-01;□——D2444;△——VIII01;▲——VI-02

其形成环境与后造山花岗岩无明显差异(图 1-b)<sup>[18]</sup>。对比看出,赛肯都鲁序列具岛弧花岗岩特征,而阔尔库序列与后造山花岗岩有一定的相似性。

### 3 稀土元素地球化学特征

阔尔库岩基稀土含量见表 2。

**稀土总量** 赛肯都鲁序列稀土总量为  $69.85 \times 10^6 \sim 236.15 \times 10^6$ , 平均  $138.20 \times 10^6$ 。阔尔库序列稀土总量变化范围较大,为  $82.64 \times 10^6 \sim 307.53 \times 10^6$ , 平均  $174.31 \times 10^6$ 。对比表明,阔尔库序列比赛肯都鲁序列明显富集稀土元素。

**LREE/HREE 比值** 赛肯都鲁序列的 LREE/HREE 比值介于 1.24~4.67 之间,平均为 2.50。而阔尔库序列的比值介于 2.08~10.29 之间,平均为 6.30。后者比前者更富集轻稀土元素,显示赛肯都鲁序列源岩基性程度明显高于阔尔库序列。

**轻稀土元素分馏度  $(La/Sm)_N$**   $(La/Sm)_N$  值大于 1, 指示分馏程度较好,比值越大其分馏程度越好,轻稀土越富集。赛肯都鲁序列  $(La/Sm)_N$  为 1.43~5.35, 平均 3.17, 即轻稀土富集程度相对较高;阔尔库序列  $(La/Sm)_N$  为 2.52~7.23, 平均 4.60, 轻稀土富集程度明显高于前者。对比说明赛肯都鲁序列主要来自幔源物质,很可能有壳源的混合作用。

**重稀土元素分馏度  $(Gd/Yb)_N$**  赛肯都鲁序列  $(Gd/Yb)_N$  值为 1.11~1.61, 平均 1.32, 而阔尔库序列  $(Gd/Yb)_N$  值为 1.08~1.32, 平均 1.18, 接近于一般壳型花岗岩  $(Gd/Yb)_N \approx 1$ , 重稀土分馏程度明显偏低,具有壳源花岗岩特点。

**稀土分布曲线斜率  $(La/Yb)_N$  比值** 赛肯都鲁序列的  $(La/Yb)_N$  比值为 2.38~12.40, 平均 5.94, 比值小于 20, 形成环境与岛弧相似,其源岩与地幔作用有关或为地壳成熟度较低的下地壳岩石。而阔尔库序列该比值为

表2 赛肯都鲁序列和阔尔库序列稀土元素含量对比一览表  
Table 2 The contrast of REE elements content in Saikendulu series and Kuoerku series

单位:×10<sup>-6</sup>

序号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	LREE	HREE	LREE/HREE	Σ总量	σEu	(La/Yb) <sub>N</sub>	(La/Sm) <sub>N</sub>	(Gd/Yb) <sub>N</sub>
1	10.30	21.10	3.76	16.70	4.52	1.62	5.22	0.96	6.44	1.27	3.42	0.50	2.92	0.38	25.60	58.00	46.71	1.24	104.71	1.02	2.38	1.43	1.44
2	11.90	24.40	3.75	16.10	3.93	1.49	4.51	0.83	5.23	1.03	2.96	0.45	2.59	0.34	21.90	61.57	39.84	1.55	101.41	1.08	3.10	1.90	1.41
3	8.950	18.10	2.58	12.10	2.79	0.94	2.88	0.51	3.19	0.62	1.88	0.27	1.62	0.22	13.20	45.46	24.39	1.86	69.85	1.01	3.72	2.02	1.43
4	19.70	37.40	4.37	17.30	3.84	1.29	3.71	0.59	4.24	0.86	2.59	0.40	2.27	0.30	18.90	83.90	33.86	2.48	117.76	1.03	5.85	3.23	1.32
5	21.20	38.90	4.78	19.20	4.09	1.00	3.91	0.71	4.69	0.88	2.74	0.42	2.60	0.32	20.90	89.17	37.17	2.40	126.34	0.75	5.50	3.26	1.21
6	23.10	42.00	4.57	18.60	3.91	1.08	3.34	0.57	3.53	0.68	2.21	0.30	1.87	0.25	15.50	93.26	28.25	3.30	121.51	0.89	8.33	3.72	1.44
7	34.60	66.60	8.80	38.40	8.64	2.32	8.29	1.47	9.45	1.94	5.54	0.84	5.17	0.69	23.00	159.36	76.79	2.08	236.15	0.83	4.51	2.52	1.29
8	39.40	57.40	6.53	24.30	4.63	0.79	4.27	0.80	5.04	1.05	3.22	0.49	3.11	0.41	23.80	133.05	42.19	3.15	175.24	0.53	8.54	5.35	1.11
9	36.20	64.60	7.21	28.90	5.11	1.42	3.93	0.62	3.94	0.80	2.38	0.34	1.97	0.25	16.50	143.44	30.73	4.67	174.17	0.93	12.40	4.46	1.61
10	27.40	47.70	5.58	21.40	4.49	1.21	4.37	0.84	5.51	1.23	3.73	0.56	3.66	0.50	26.70	107.78	47.10	2.29	154.88	0.83	5.05	3.84	0.96
11	34.60	66.60	8.80	38.40	8.64	2.32	8.29	1.47	9.45	1.94	5.54	0.84	5.17	0.69	13.20	159.36	76.79	2.08	236.15	0.83	4.51	2.52	1.29
12	27.00	45.00	4.40	19.00	3.80	0.90	3.10	0.50	3.10	0.60	1.80	0.30	1.90	0.30	24.30	99.37	11.51	8.63	110.88	0.78	9.58	4.47	1.32
13	35.00	50.00	5.60	24.00	4.40	1.00	3.50	0.60	4.30	0.80	2.70	0.4	2.60	0.40	20.40	119.00	15.36	7.75	134.36	0.71	9.08	5.00	1.09
14	56.00	101.00	11.50	46.70	9.36	1.06	8.16	1.47	9.93	2.05	6.18	0.96	6.07	0.79	18.20	225.82	81.71	2.76	307.53	0.36	6.22	3.76	1.08
15	23.00	35.00	3.40	12.00	2.00	0.40	1.80	0.30	1.90	0.40	1.20	0.20	1.30	0.20	13.70	75.32	7.30	10.29	82.64	0.59	12.00	7.23	1.12

注:序号和表1一致

4.51~12.00,平均 8.26,明显高于前者.阔尔库序列轻稀土间分馏程度比赛肯都鲁序列明显,源岩是地壳成熟度较高的大陆上地壳岩石<sup>[19-21]</sup>.

**岩浆分异度 δEu 值** 岩浆分异程度愈高则 δEu 值愈小, Eu 亏损愈强烈.赛肯都鲁序列的 δEu 值为 0.53~1.08,平均 0.89.阔尔库序列的 δEu 值为 0.36~0.83,平均 0.67,明显低于前者.在稀土分布曲线图中(图 2),阔尔库序列“V”谷较明显<sup>[20]</sup>.对比可知,前者接近于华

南幔型花岗岩(0.84),后者除个别外接近于华南壳型花岗岩(0.46)<sup>[19]</sup>,阔尔库序列岩浆分异程度高于赛肯都鲁序列.稀土元素含量及分布模式表明,赛肯都鲁序列具幔源花岗岩特征,很可能为幔源岩浆演化的产物,而阔尔库序列具壳源花岗岩特征.

### 4 构造环境分析

在大离子亲石元素蛛网图上,前者分布曲线总体与岛

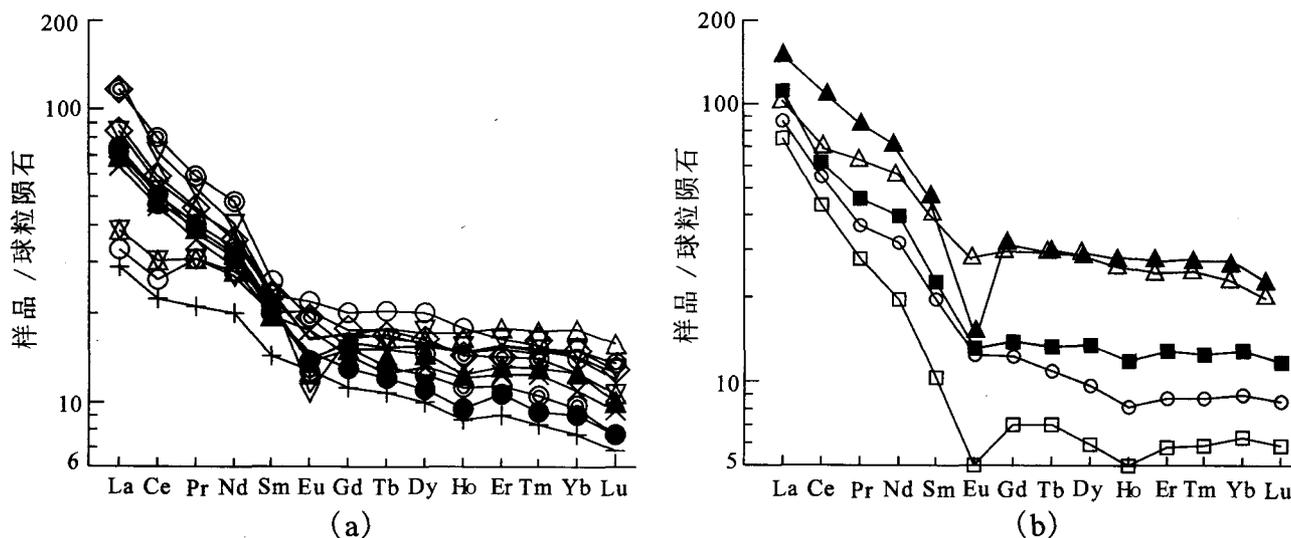


图2 阔尔库岩基稀土分布曲线图  
Fig.2 REE distribution pattern of The Kuoerku Granitic Batholith  
a——赛肯都鲁序列;b——阔尔库序列  
(图例同图1)

弧花岗岩相似(图 1-a),后者与后造山花岗岩相似(图 1-b)。微量元素地球化学图解上,赛肯都鲁序列多位于岛弧花岗岩区,而阔尔库序列的样品投点主要落入同碰撞花岗岩区(图 3,4)<sup>[18,21,22]</sup>。结合上述各类图解和有

岗岩,其源岩为幔源,部分元素地球化学接近埃达克岩特征,与同时期大哈拉军山组在岩石化学、元素地球化学及所显示的构造环境极为相似<sup>[7-9,12]</sup>;而阔尔库序列为碱性过铝质低 Sr 同碰撞型或后造山型花岗岩,其源岩为壳源,与埃达克岩差异明显,与同时期伊什基里克组及时代稍晚的乌朗组火山岩,在岩石化学、元素地球化学及所显示的构造环境有一定相似性<sup>[9,13]</sup>。两个构造岩石组合主要对比特征见表 3。

### 5 结论

通过多种方法的地球化学资料统计分析、图解等研究证实,早石炭世赛肯都鲁序列与早二叠世阔尔库序列具有显著的差异。表明赛肯都鲁序列具有幔源钙碱性岛弧花岗岩的特征,与研究区的早石炭世大哈拉军山组钙碱性火山岩共同构成了岛弧火成岩组合。而阔尔库序列具有壳源碱性后造山花岗岩的特征,与晚石炭—早二叠世大陆裂谷环境双峰式火山岩共同构成了碰撞后火成岩组合。地球化学特征为这一岩基的解体提供了有力的支持证据。赛肯都鲁序列和阔尔库序列,分别与同一构造旋回的火山-沉积地层共同构成大地构造背景显著有别的两个构造岩石组合。阔尔库岩基记录了西天山岛弧带在石炭纪完成俯冲碰撞,进入早二叠世早期后造山阶段的重要演化信息,因而这一解体,为丰富区内构造岩石组合及其构造演化提供了重要的佐证。

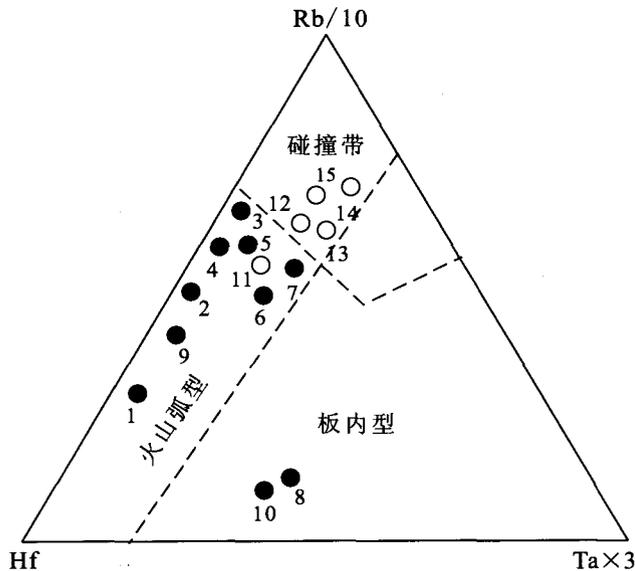


图 3 阔尔库岩基 Rb/10-Hf-3Ta 图解  
 Fig. 3 Rb/10-Hf-3Ta diagram of the Kuoerku Granitic Batholith  
 ●——赛肯都鲁序列;○——阔尔库序列  
 (序号和表 1 一致)

关参数综合分析,认为赛肯都鲁序列为岛弧花岗岩,而阔尔库序列为后造山花岗岩类。结合阔尔库岩基中已获得的大量岩石化学和元素地球化学分析数据研究确认,赛肯都鲁序列为钙碱性次铝质高 Sr 岛弧型花

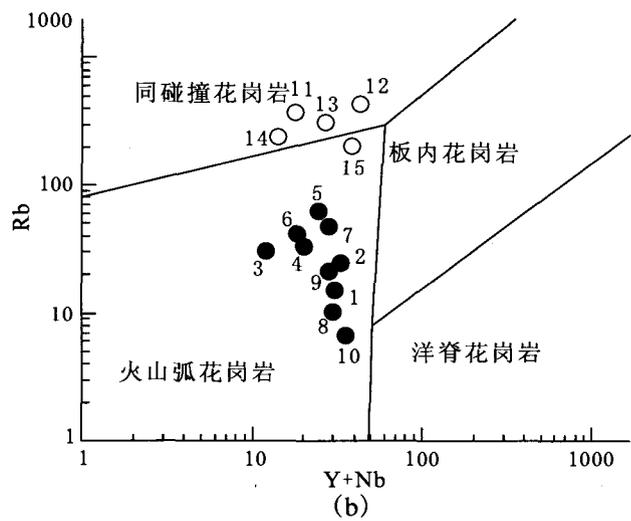
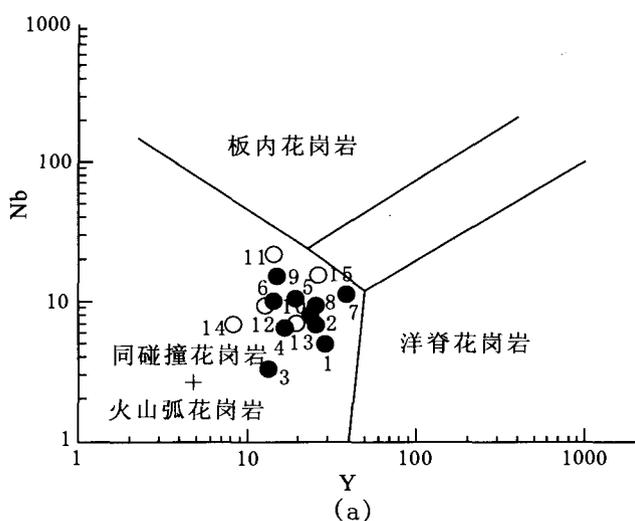


图 4 阔尔库岩基 Rb-(Y+Nb)及 Nb-Y 图解  
 Fig. 4 Rb-(Y+Nb) and Nb-Y diagram of the Kuoerku Granitic Batholith  
 (图例同图 3)

表3 阔尔库岩基与阿吾拉勒地区同构造旋回火山-沉积地层主要特征对比表  
Table 3 The contrast of Kuoerku batholith and stratum of the syn-tectonic gyration volcano-sediment in Awulale region, Western Tianshan

构造岩石组合	地质体	岩石组合	地球化学特征	构造环境信息	物源	
晚石炭世—早二叠世板内裂谷碱性双峰式火成岩组合	侵入岩	阔尔库序列	二长花岗岩-正长花岗岩	碱性,过铝,高 Ba,低 Sr,高稀土总量,富集 LREE,LREE/HREE=6.3, $\delta$ Eu=0.67	后造山	
	火山岩	乌朗组	玄武岩-流纹岩及同质火山角砾岩组成的韵律	碱性,富 K,Rb,Ba,Th 和 LREE,亏损 Y,Yb,Cr 和 HREE,LREE/HREE=7.07, $\delta$ Eu=0.84	板内裂谷	壳源
		伊什基里克组	玄武岩-流纹岩	碱性,岩石富 Hf,Th,Y,Ba,Sc 和 LREE,亏损 Mg,Cr 和 Nb,HREE,LREE/HREE=5.5, $\delta$ Eu=0.75	板内裂谷	
早石炭世岛弧钙碱性火成岩组合	侵入岩	赛肯都鲁序列	(石英)闪长岩-花岗闪长岩	钙碱性,次铝,低 Ba,高 Sr,低稀土总量,似埃达克岩,LREE/HREE=2.5, $\delta$ Eu=0.89	岛弧	
	火山岩	大哈拉军山组	安山岩-英安岩-流纹岩及同质火山碎屑岩	钙碱性,高 K,Rb,Si,富集 HREE,低 Ba,Ti 和 LREE,似埃达克岩,LREE/HREE=2.61, $\delta$ Eu=0.86	岛弧	幔源

### 参 考 文 献

- [1] 李锦轶,王克卓,李亚萍,等.天山山脉地貌特征、地壳组成与地质演化[J].地质通报,2006,25(8):895-909.
- [2] 张国伟,李三忠,刘俊霞,等.新疆伊犁盆地的构造特征与形成演化[J].地质学报,1999,6(4):203-214.
- [3] 张良臣,吴乃元.天山地质构造及演化史[J].新疆地质,1985,3(3):1-14.
- [4] 成守德,王元龙.新疆大地构造演化基本特征[J].新疆地质,1998,16(2):97-107.
- [5] 成守德,王广瑞,杨树德,等.新疆古板块构造[J].新疆地质,1986,4(2):1-26.
- [6] 陈哲夫,梁云海.新疆多旋回构造与板块运动[J].新疆地质,1991,9(2):95-107.
- [7] 邵铁全,石莹,靳红,等.新疆西天山阿吾拉勒山组火山岩岩石化学特征及地质意义[J].新疆地质,2006,24(3):218-222.
- [8] 李注苍,李永军,李景宏,等.西天山阿吾拉勒一带大哈拉军山组火山岩地球化学特征及构造环境分析[J].新疆地质,2006,24(2):120-124.
- [9] 朱永峰,周晶,宋彪,等.新疆“大哈拉军山组”火山岩的形成时代问题及其解体方案[J].中国地质,2006,33(3):487-497.
- [10] 崔尚森,吴文奎,姜常义,等.阿吾拉勒山区中石炭统含矿地层的沉积环境分析[J].西安地质学院学报,1997,19(1):1-6.
- [11] 高永利,李永军,孔德义,等.西天山阿吾拉勒一带阿克沙克组的厘定[J].新疆地质,2006,24(3):215-218.
- [12] 姜常义,吴文奎,张学仁,等.从岛弧向裂谷的变迁—来自阿吾拉勒地区火山岩的证据[J].岩石矿物学杂志,1995,14(4):294-295.
- [13] 刘静,李永军,王小刚,等.西天山阿吾拉勒一带伊什基里克组火山岩地球化学特征及其构造环境[J].新疆地质,2006,24(2):105-108.
- [14] 李永军,杨高学,郭文杰,等.西天山阿吾拉勒阔尔库岩基的解体及地质意义[J].新疆地质,2007,25(3):233-236.
- [15] 杨高学,李永军,郭文杰,等.西天山阿吾拉勒阔尔库岩基解体的岩石化学证据及意义[J].地球科学与环境学报,2008(待刊).
- [16] 新疆维吾尔自治区地质矿产局.新疆维吾尔自治区岩石地层[M].北京:中国地质大学出版社,1999.
- [17] 新疆维吾尔自治区地质矿产局.新疆区域地质志[M].北京:地质出版社,1999.
- [18] Pearce A.J. etc. Trace element discrimination diagram for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Journal of petrology, 1984,25(4):956-983.
- [19] 赵振华.微量元素地球化学原理[M].北京:科学出版社,1997,71-73.
- [20] 亨德森 P. 稀土元素地球化学[M].北京:地质出版社,1989,20-178.
- [21] 肖庆辉,邓晋福,马大铨.花岗岩研究思维与方法[M].北京:地质出版社,2002,53-63.
- [22] 高秉章,洪大为,郑基俭,等.花岗岩类区 1:5 万区域地质填图方法指南[M].武汉:中国地质大学出版社,1991.

## THE GEOCHEMICAL EVIDENCE AND ITS SIGNIFICANCE OF THE “DISINTEGRATION” OF THE KUOERKU GRANITE BATHOLITH IN AWULALE, WESTERN TIANSHAN

YANG Gao-xue<sup>1</sup>, ZHOU Ji-bing<sup>2</sup>, LUAN Xin-dong<sup>2</sup>, GUO Wen-jie<sup>2</sup>, BI Ming-bo<sup>1</sup>, LI Hong<sup>2</sup>,  
TONG Li-ming<sup>2</sup>, LI Yong-jun<sup>1</sup>

(1. Earth Science & Resources College of Chang'an University, xi'an, Shanxi, 710054, China;  
2. No.9. Geological party, BGEMERD of xinjiang, Urumqi, Xinjiang, 830000, China)

**Abstract:** The Kuoerku batholith of the Awulale in western Tianshan is disintegrated into two intrusive series, one is early Carboniferous Saikendulu series, another is early Permian Kuoerku series, they are obvious different studied by trace element and REE. The former is characterized by rich Sr, poor Ba and LREE, LREE/HREE=2.5,  $\delta$ Eu=0.89, similar to Adakite, be derived from mantle, belongs to island arc granite, the one and calc-alkaline volcanic rock of the early Carboniferous Dahalajunshan Formation constitutes island arc igneous group in research area; The later is characterized by poor Sr, rich Ba and LREE, LREE/HREE=6.3,  $\delta$ Eu=0.65, be derived from crust, belongs to post-orogenic granite, the one and alkline bimodal volcanic rock of the later Carboniferous-early Permian in continent-rift surroundings constitutes post-collision igneous group. The characteristics of geochemistry evident the disintegration of the Kuoerku batholith.

**Key words:** Kuoerku batholith; Disintegration; Geochemistry; Awulale; Western Tianshan