

# 西天山阿吾拉勒一带伊什基里克组火山岩 地球化学特征及构造环境

刘静<sup>1</sup>,李永军<sup>1</sup>,王小刚<sup>2</sup>,郭文杰<sup>2</sup>

(1.长安大学地球科学与国土资源学院,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:**西天山阿吾拉勒一带晚石炭世伊什基里克组为一套以钙碱性系列为主、碱性系列次之的双峰式火山岩建造,其中玄武岩类以碱性为主。岩石富含 FeO、Hf、Th、Y、Rb、Ba、Sc、Zr、Cs、V 和 LREE,贫 TiO<sub>2</sub>、MgO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Cr 和 Nb,岩石组合及地球化学各种参数和图解均证实,其形成于大陆板内裂谷环境。伊什基里克组火山岩是证实阿吾拉勒地区晚石炭世演化为大陆板内裂谷环境的重要记录。

**关键词:**西天山;地球化学特征;构造环境;火山岩;伊什基里克组

阿吾拉勒山脉横亘于伊宁地块中部,区内石炭系组火山岩,下石炭统阿克沙克组碎屑岩-碳酸盐岩和最为广布<sup>[1,2]</sup>。自上而下依次为上石炭统伊什基里克组火山岩,下石炭统阿克沙克组碎屑岩-碳酸盐岩和大哈拉军山组火山岩。组间均以角度不整合接触(图 1)。

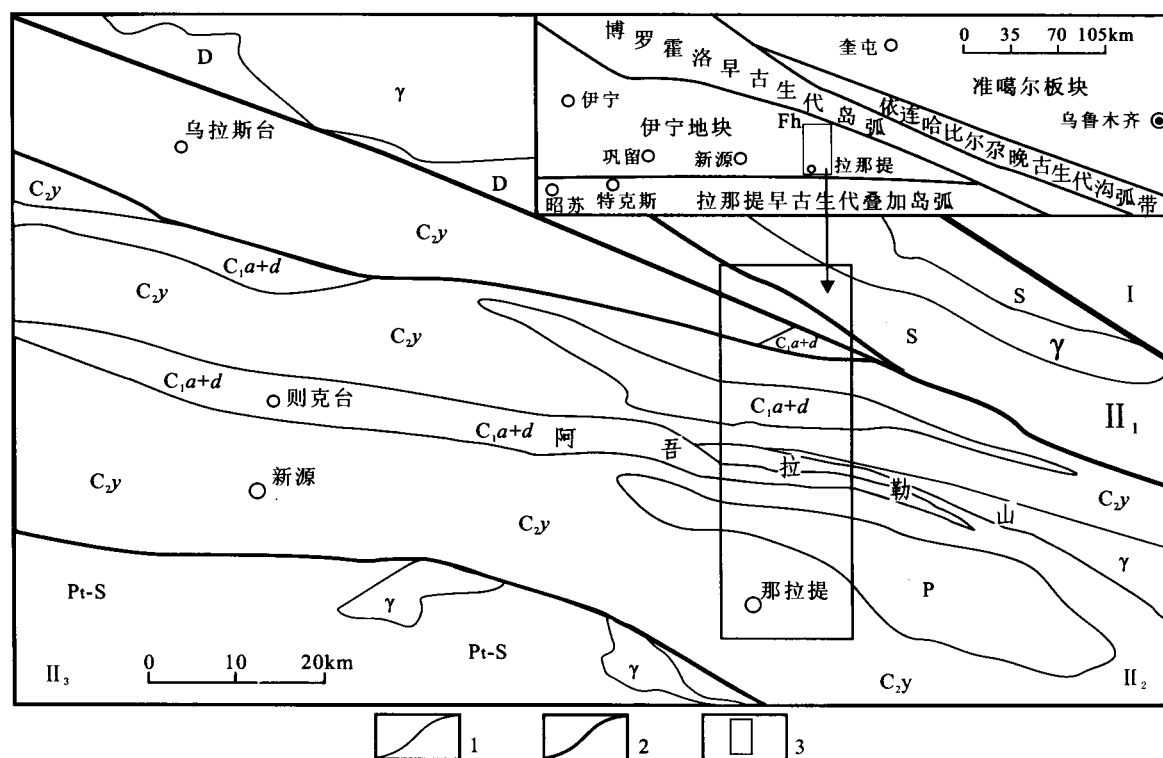


图 1 西天山阿吾拉勒一带地质略图

Fig.1 Diagram of the Awulale area in the Western Tianshan

(据新疆新源县托库孜库拉克一带等 1:5 万区调成果改编,2005)

1.地质界线;2.断层;3.托库孜库拉克一带等 1:5 万调查区

P——二叠系;C<sub>2y</sub>——上石炭统伊什基里克组;C<sub>1a+d</sub>——下石炭统阿克沙克组及大哈拉军山组;D——泥盆系;S——志留系;Pt-S——元古代那拉提群—志留系;γ——花岗岩;I——北天山板块;II<sub>1</sub>——中天山博罗霍洛山地块;II<sub>2</sub>——中天山伊宁地块;II<sub>3</sub>——中天山巴仑台地块

项目资助:新疆新源县托库孜库拉克一带 1:5 万区域地质矿产调查(XJQDW2003—07)资助

收稿日期:2005-12-01;修订日期:2006-01-18;作者 E-mail:liujinglyj@163.com

第一作者简介:刘静(1981-),女,陕西杨凌人,2004 年毕业于长安大学地矿系,现为长安大学构造地质学专业在读硕士研究生,从事构造、火山岩地球化学方向研究

前人对区内大哈拉军山组火山岩研究,认为其形成于岛弧环境,对伊什基里克组火山岩研究较少<sup>[3~11]</sup>。

# 1 伊什基里克组火山岩岩石化学特征

伊什基里克组角度不整合覆于阿克沙克组之上,其上又被二叠纪陆相碎屑岩-双峰式火山岩不整合覆盖。伊什基里克组主要由火山熔岩和火山碎屑岩 2 部分组成。熔岩以玄武岩、流纹岩为主夹有少量安山岩。大量实测剖面 and 地质填图资料显示,本组火山岩具有双峰式分布特色。区内未见与其有关的弧后盆地或弧前盆地建造。在伊什基里克组之后,区内全部为陆相沉积建造。

笔者于伊什基里克组采集了 27 件岩石化学样品(表 1)。根据火山岩最通用的 TAS 图解,4 样投入玄武岩区,7 样投入安山岩区,4 样投入英安岩区,12 样投入流纹岩区。TAS 图解与 SiO<sub>2</sub> 的含量所确定的岩石类型及镜下鉴定基本吻合。与中国相应各类火山岩对比,该组略高 FeO,略低 TiO<sub>2</sub>、MgO 和 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,且从基性岩到酸性岩 K<sub>2</sub>O 含量逐渐升高,在玄武岩和安山岩中 Na<sub>2</sub>O 明显大于 K<sub>2</sub>O,英安岩和流纹岩中 K<sub>2</sub>O 明显大于 Na<sub>2</sub>O。SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>O、MnO 和 CaO 含量与中国对应各类火山岩平均值接近。

伊什基里克组火山岩的主要岩石化学指数呈现出

规律性的变化(表 1、图 2),固结指数 SI 在玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩中依次降低,而碱度值 AR、分异指数 DI、长英指数 FL、镁铁指数 MF 均呈现出依次升高的特征。表明了岩浆分异程度高且结晶演化正常。碱度值(AR)和分异指数(DI)等岩石化学参数及氧化物-SiO<sub>2</sub> 变异图均显示伊什基里克组火山岩双峰式特点(图 2)。

依据里特曼指数及(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)-SiO<sub>2</sub> 图解判别,有 7 个样品投入碱性岩区,20 个样品投入亚碱性区,再根据(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)-<FeO>-MgO 图解(图 3)将亚碱性系列细分为拉斑系列(2 样)和钙碱性系列(18 样)分析,中酸性火山岩以钙碱性系列为主,碱性系列次之,玄武岩以碱性为主。伊什基里克组玄武岩以高、中 K 为特征。用常用的 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O/(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)等图解判别,27 个样品中只有 5 个属低 K 或 Na 质,其余为中、高 K。这与弧后盆地玄武岩、岛弧玄武岩和 MORB 玄武岩有本质区别。

本组 4 个玄武岩样品利用 Pearce J A(1976)的 8 个主要氧化物 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub> 参数计算并用 F<sub>1</sub>-F<sub>2</sub> 图解,其中 3 样品均落入板内玄武岩区,另一样品在板内玄武岩区之 F<sub>1</sub> 的负延长方向,均显示典型板内玄武岩特色。本组中酸性岩样品利用 Maniar 图解判别,约 1/2 样品落入了裂谷区,余者投入后造山区。总体显示出板内裂谷特色,但衬托出后造山的演化信息<sup>[12~15]</sup>。

表 1 伊什基里克组火山岩岩石化学数据及参数表  
Table 1 petrochemical data and index number of Yishijilik formation

岩性(样数)	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	σ	AR	DI	SI	FL	MF
玄武岩(4)	50.50	1.93	16.28	4.07	7.15	0.19	5.23	9.07	3.57	1.53	0.51	4.55	1.55	37.33	24.04	37.46	68.56
安山岩(7)	58.93	1.06	17.08	3.57	4.06	0.24	2.87	3.87	5.18	2.74	0.40	4.34	2.50	65.98	15.76	66.48	73.58
英安岩(4)	67.22	0.61	14.82	2.25	2.41	0.13	1.57	2.01	3.90	4.98	0.12	3.47	5.66	79.10	10.45	81.05	79.10
流纹岩(12)	72.81	0.39	12.92	1.62	2.34	0.08	0.59	1.69	2.60	4.88	0.08	2.04	4.96	83.99	5.30	81.01	86.99
中国玄武岩 <sup>[12]</sup>	48.28	2.21	14.99	4.18	6.95	0.20	7.00	8.07	3.40	2.15	0.60	5.83	1.63	42.06	29.56	40.75	61.39
中国安山岩 <sup>[12]</sup>	56.75	0.76	18.60	3.88	3.26	0.15	3.42	6.97	3.07	2.01	0.49	1.88	1.50	49.9	21.87	42.16	67.61
中国流纹岩 <sup>[12]</sup>	72.06	0.29	13.40	1.81	2.11	0.08	0.28	0.75	3.74	4.55	0.10	2.36	3.83	89.48	2.24	91.70	93.33

注:样品由宜昌地质矿产研究所测试,2004。表中略去 H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>、H<sub>2</sub>O。里特曼指数  $\sigma = (Na_2O + K_2O)^2 / (SiO_2 - 43)$ ;碱度值  $AR = (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O) / (Al_2O_3 + CaO - Na_2O - K_2O)$ ;分异指数  $DI = q + or + ab + ne + lc + kp$ ;固结指数  $SI = MgO \times 100 / (MgO + FeO + Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O)$ ;长英指数  $FL = 100 (Na_2O + K_2O) / (Na_2O + K_2O + CaO)$ ;镁铁指数  $MF = 100 (Fe_2O_3 + FeO) / (Fe_2O_3 + FeO + MgO)$

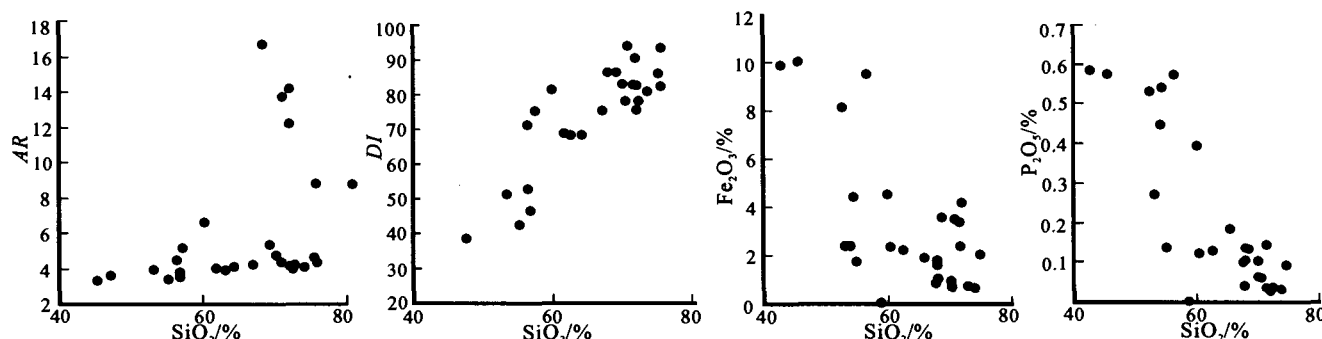


图 2 伊什基里克组火山岩岩石化学指数-SiO<sub>2</sub> 和氧化物-SiO<sub>2</sub> 变异图

Fig.2 Petrochemical index number and oxide-SiO<sub>2</sub> diagram for volcanic rocks of the Yishijilik formation

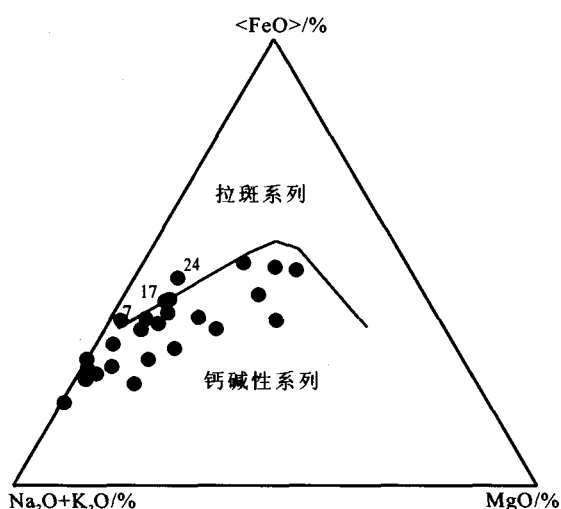


图 3 伊什基里克组火山岩( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ )- $\langle\text{FeO}\rangle$ - $\text{MgO}$  图  
Fig.3 ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ )- $\langle\text{FeO}\rangle$ - $\text{MgO}$  diagram of volcanic rocks of Yishijilik formation  
(据 T.N.Irine, 1971)

## 2 伊什基里克组火山岩稀土及微量元素地球化学特征

稀土及微量元素分析结果和主要特征参数值如表 2。由表 2 看出,本组火山岩总体为轻稀土明显富集,重稀土弱亏损。

各类岩的稀土分布曲线吻合程度较好,反映属同一岩浆房的产物。 $\Sigma\text{REE}$  及  $\text{LREE}/\text{HREE}$  变化范围大,显示火山岩浆的演化长期性和多次性,或是双峰式特征的体现。 $\delta\text{Eu}$  平均 0.749,为 Eu 弱负异常(Eu 弱亏损型),表明岩浆分异程度较高。 $(\text{La}/\text{Sm})_N$  平均 3.02,反映轻稀土之间分馏程度较好。 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$  平均 1.23,其值较小,说明重稀土之间分馏不明显。 $\delta\text{Ce}$  比值在少数样中大于 1,多数小于 1,平均 0.89,显示出地壳岩石特征。 $(\text{La}/\text{Yb})_N$  比值平均

为 11.04,因而稀土分布曲线为右陡倾式<sup>[16,17]</sup>。

$(\text{Rb}/\text{Yb})_N$  比值均大于 1,平均 52.13。这一比值明显区别于不相容元素强亏损( $\text{Rb}/\text{Yb})_N < 1$  的洋中脊玄武岩,而与板内玄武岩相似。玄武岩的  $\text{Ta}/\text{Hf}$  值均大于 0.1(0.13~0.31,平均 0.22),显著有别于洋中脊玄武岩( $< 0.1$ )和岛弧玄武岩( $< 0.1$ )。高 Th 是本区火山岩的重要特征,尤其在伊什基里克组玄武岩中最为显著,这与岛弧玄武岩和洋中脊玄武岩有本质区别,是大陆玄武岩的重要体现,因高 Th,  $\text{Th}/\text{Ta}$  大于 4(16.57~48.50,平均 30.58),显著不同于 E-MORB(平均  $\text{Th}/\text{Ta}=1.64$ )和岛弧玄武岩(平均  $\text{Th}/\text{Ta}=1.6\sim 4$ ),而与板内初始裂谷玄武岩(平均  $\text{Th}/\text{Ta}=10$ )相近<sup>[18,19]</sup>。对比中国对应各类火山岩,伊什基里克组火山岩显著富集 Hf、Th、Y、Rb、Ba、Sc,较富集 Zr、Cs、V,亏损 Cr 和 Nb,这与板内玄武岩特征相似<sup>[18-21]</sup>。

岩石的微量元素地球化学分布图中,K-Nb 段与 Pearce 的过渡性钙碱性-碱性玄武岩的地球化学型式相似<sup>[20]</sup>(图 4),但由于高 Sr、Ti、Y 等有别于岛弧玄武岩,而与板内玄武岩相似。玄武岩样品在  $\text{Zr}/\text{Y}-\text{Zr}$  等构造环境图解中,均投入板内玄武岩区<sup>[21]</sup>(图 5)。

## 3 结论

根据以上分析,伊什基里克组以钙碱性系列为主碱性系列次之为特征,其中玄武岩类以碱性为主。岩石富 FeO、Hf、Th、Y、Rb、Ba、Sc、Zr、Cs、V 和 LREE,贫  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、Cr 和 Nb,这些特征与岛弧火山岩有本质的差异。火山岩岩石组合具有双峰式火山岩的特征,岩石化学及地球化学各种参数和图解均显示大陆板内裂谷火山岩特征<sup>[22,23]</sup>。

伊什基里克组的大陆裂谷环境信息,对于系统分析阿吾拉勒乃至伊宁地块整个石炭纪的构造环境具有重要意义。综合前人成果,阿吾拉勒地区石炭纪的

表 2 伊什基里克组火山岩稀土及微量元素数据及参数值

Table 2 REE and trace element data and the main features of volcanic rocks of the Yishijilik formation														$\times 10^6$
岩性(样数)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
玄武岩(4)	26.08	50.63	6.76	30.58	6.75	1.99	6.22	1.07	6.83	1.30	3.75	0.53	3.10	0.39
安山岩(7)	30.53	50.70	6.73	28.47	6.20	1.68	5.42	0.93	5.95	1.17	3.43	0.50	2.99	0.39
英安岩(4)	31.30	65.03	8.06	33.28	7.11	1.52	6.30	1.15	7.93	1.66	5.24	0.80	5.09	0.69
流纹岩(12)	34.85	63.71	7.53	31.37	6.90	1.32	6.19	1.13	7.79	1.63	5.03	0.76	4.91	0.66
岩性(样数)	$\Sigma\text{REE}$	LREE	HREE	LREE/HREE	$(\text{La}/\text{Yb})_N$	$(\text{La}/\text{Sm})_N$	$(\text{Gd}/\text{Yb})_N$	$\text{La}/\text{Yb}$	$\delta\text{Eu}$	$\delta\text{Ce}$				
玄武岩(4)	145.95	122.77	23.18	5.28	5.75	2.42	1.63	8.53	0.92	0.90				
安山岩(7)	145.07	124.31	20.76	5.92	6.91	3.02	1.47	10.25	0.89	0.83				
英安岩(4)	175.13	146.28	28.85	5.36	5.09	2.93	1.12	7.56	0.71	0.96				
流纹岩(12)	173.77	145.68	28.09	5.39	5.30	3.24	1.08	7.86	0.62	0.91				
岩性(样数)	Cr	Y	Rb	Cs	Sr	Ba	V	Sc	Nb	Ta	Zr	Hf	Th	
玄武岩(4)	116.0	88.28	46.9	3.7	650.5	460.5	280.8	31.7	9.1	0.9	146.6	4.5	25.1	
安山岩(7)	50.1	13.04	91.0	2.7	373.8	584.0	164.7	19.7	10.7	0.9	147.6	4.9	21.2	
英安岩(4)	13.7	37.35	151.4	2.7	340.5	1220.3	48.0	10.0	15.0	0.8	261.5	7.6	17.5	
流纹岩(12)	9.1	35.21	171.4	4.9	139.8	806.1	20.4	8.5	13.2	1.1	222.6	6.7	16.2	
中国玄武岩 <sup>[15]</sup>	200	20	45	1.0	440	300	200	24	20	0.48	100	1	3	
中国安山岩 <sup>[15]</sup>	50.	—	10	—	800	650	100	2.5	20	0.7	260	1	7	
中国流纹岩 <sup>[15]</sup>	25.	34	20	5.0	300	830	40	3	20	3.5	200	1	18	

注:样品由宜昌地质矿产研究所采用 ICP-MS 分析,2004—2005

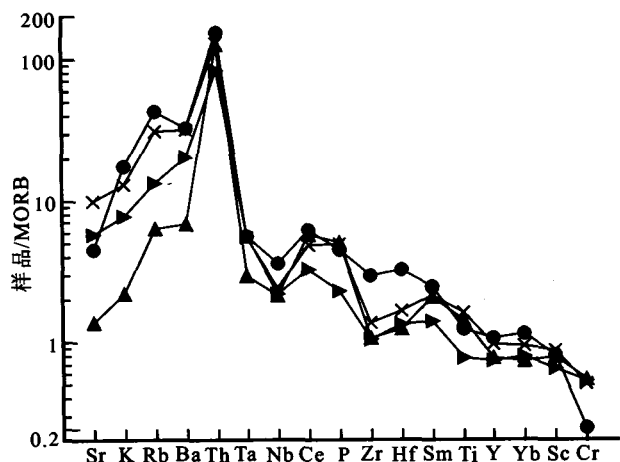


图4 伊什基里克组玄武岩微量元素蛛网图

Fig.4 Trace element spider diagram for basalt rocks of the Yishijilike formation

×——样品 5; ▲——样品 6; ●——样品 12; ▲——样品 26

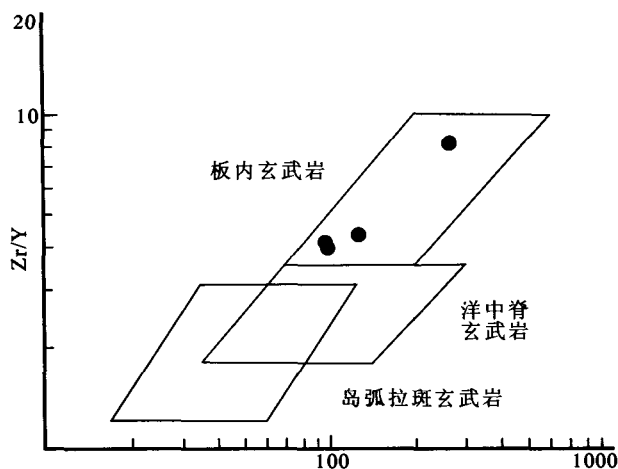


图5 伊什基里克组玄武岩 Zr/Y-Zr 图解

Fig.5 Zr/Y-Zr diagram of basalt of the Yishijilike formation  
(据 Pearce and Norry, 1979)

构造演化是:早石炭世早期(大哈拉军山组沉积期)属于沟-弧-盆构造格局。其后,依连哈比尔尕向北俯冲造山,沟-弧-盆构造格局消亡。早石炭世晚期(阿克沙克组沉积期)进入残余海盆演化阶段,再经鄯善运动造

山,完成伊宁地块与北天山的拼合<sup>[1~11,23,24]</sup>。因此,晚石炭世伊什基里克组火山岩是中天山微板块与相邻地块拼合形成统一大陆后,经大陆裂谷作用而形成的裂谷火山岩。什基里克组火山岩是这一演化进程中,揭示阿吾拉勒地区进入大陆演化阶段的重要记录。

## 参 考 文 献

- [1] 新疆维吾尔自治区地质矿产局.新疆维吾尔自治区区域地质志[M].北京:地质出版社,1993.
- [2] 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].武汉:中国地质大学出版社,1997,223-224.
- [3] 王宝瑜,李强,刘建兵,等.新疆天山中段独库公路地质构造[J].新疆地质,1997,15(2):134-154.
- [4] 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.
- [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.关于多旋回开合构造及区域成矿若干观点的认识[J].新疆地质,1995,13(1):1-12.
- [7] 何国瑞,李茂松,刘德权,等.中国新疆古生代地壳演化及成矿[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,1994.
- [8] 车自成,刘良,刘洪福,等.论伊犁古裂谷[J].岩石学报,1996,12(3):478-490.
- [9] 车自成,刘洪福,刘良,等.中天山造山带的形成与演化[M].北京:地质出版社,1994.
- [10] 姜常义,吴文全,金学仁,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):289-300.
- [11] 姜常义,吴文全,谢广成,等.西天山北部石炭纪火山岩特征与沟弧盆体系[J].岩石矿物学杂志,1993,12(3):2-31.
- [12] 邱家骧.岩浆岩岩石学[M].北京:地质出版社,1985.
- [13] 梅厚钧.火山岩的钾钠并列化学分类及名称[J].地球化学,1988,2:33-36.
- [14] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geol. Soc. Am. Bull. 1989, 101, 635-643.
- [15] 邱家骧,林景仁.岩石化学[M].北京:地质出版社,1991.
- [16] 赵振华.稀土元素地球化学研究方法[M].地质地球化学,1982,(1):26-33.
- [17] 陈德潜,陈刚.实用稀土元素地球化学[M].北京:冶金工业出版社,1990.
- [18] 赵振华.微量元素地球化学原理[M].北京:科学出版社,1997.
- [19] 李昌年.火成岩微量元素岩石学[M].武汉:中国地质大学出版社,1992.
- [20] Pearce J A. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Jour. petrol. 1984, 25: 956-983.
- [21] 张旗.如何正确使用玄武岩判别图[J].岩石学报,1990,2,87-93.
- [22] 从柏林.岩浆活动与火成岩组合[M].北京:地质出版社,1978.
- [23] 李伍平,路凤香.钙碱性火山岩构造背景的研究进展[J].地质科技情报,1999,18(2):15-18.
- [24] 夏林圻,张国伟,夏祖春,等.天山古生代洋盆开启、闭合时限的岩石学约束-来自震旦纪、石炭纪火山岩的证据[J].地质通报,2002,21(2):55-62.

## GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND TECTONIC ENVIRONMENT OF THE YISHIJILIKE FORMATION VOLCANIC ROCKS IN THE AWULALE AREA OF WESTERN TIANSHAN

LIU Jing<sup>1</sup>, LI Yong-jun<sup>1</sup>, WANG Xiao-gang<sup>2</sup>, GUO Wen-jie<sup>2</sup>

(1. Earth Science & Land Resources College of Chang'an University, Xi'an, Shanxi, 710054, China; 2. No. 9 Geological Party, BGMRD of Xinjiang, Urumqi, Xinjiang, 830000, China)

**Abstract:** The Yishijilike formation is a series of Upper Carboniferous bimodal volcanic formations with more alkaline and less calc-alkaline volcanic suites in the Awulale area of the West Tianshan. The rocks are rich in FeO, Hf, Th, Y, Rb, Ba, Sc, Zr, Cs, V and LREE, but poor in TiO<sub>2</sub>, MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cr and Nb. The rock association and many data and diagrams from geochemistry indicate a within plate rift tectonic environment. The volcanic rocks of the Yishijilike formation record the evolution of the tectonic environment in the Upper Carboniferous.

**Key words:** Geochemical characteristics; tectonic environment; volcanic rocks; Yishijilike formation; Western Tianshan.