

西昆仑造山带东段中新元古代洋内 弧火山岩地球化学特征

郭坤一^{1,3} 张传林^{2,3} 赵宇³ 董永观³ 王爱国³ 解亚平³

(1. 吉林大学地球科学系, 吉林 长春 100026 ;

2. 中国科学院贵阳地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002

3. 南京地质矿产研究所, 江苏 南京 210016)

摘要:分布于新疆西昆仑东段北缘(策勒—于田—民丰—一线以南)的中新元古代火山岩主要为一套浅变质的(玄武)安山岩, 夹有极少量的流纹岩。安山岩的 SiO_2 在52.36%~58.30%之间, 平均为54.55%, TiO_2 均低于0.3%, 平均为0.22%。 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 为1.70%~3.75%, Na_2O 均高于 K_2O , $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 在2.44~4.61之间, M/F 为0.62~0.78, $\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{TFe})$ 在0.36~0.45之间。岩石硅碱成分显示以钙碱性为主。稀土元素研究表明, 安山岩的稀土总量低, 在 15.52×10^{-6} ~ 17.92×10^{-6} 之间, 接近大洋拉斑玄武岩。安山岩的 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为0.69~1.33, $(\text{Ce}/\text{Yb})_N$ 为0.75~1.17, 轻重稀土分异不明显。除1028-13号样的 δEu 为0.6之外, 其余样品的 δEu 在0.91~1.13之间, 基本没有Eu异常。在稀土元素的球粒陨石配分曲线上, 所有安山岩形成一个群体, 稀土配分模式接近大洋拉斑玄武岩。岩石的微量元素安山岩的 Th/Yb 为0.04~0.10, $\text{Th}/\text{Ta}=5.92\sim 11.22$, $\text{Zr}/\text{Hf}=20.46\sim 29.40$, Th/Y 之比为0.04~0.08。微量元素的N—MORB配分模式显示岩石富集Sr、Ba、Rb、K、Th等大离子亲石元素, Cr亏损, 与拉斑质的火山弧玄武岩相似。综合分析火山岩的岩石学、岩石地球化学特征, 结合区域构造背景, 认为该套火山岩产于洋内弧环境。

关键词:西昆仑东段(玄武)安山岩, 构造背景

中图分类号: P595 文献标识码: A 文章编号: 1000-3657(2002)02-0161-06

本文所涉及的西昆仑东段系指策勒—于田—民丰—一线以南至西昆仑康西瓦断裂以北, 其东段为阿尔金大型左行走滑断裂截切。在区域构造上, 属于西昆仑造山带(以康西瓦断裂为界, 以北为西昆仑造山带, 以南为喀喇昆仑造山带)东段。在本研究区内, 出露了大量变质火山岩, 前人将其厘定为中元古代长城系^[1-3]。但对于火山岩的岩石组成、地质地球化学特征等, 均没有做过研究。笔者首次查明了火山岩的区域分布、岩石组合、变质特征, 并系统地研究了火山岩的地球化学特征。

1 火山岩岩石学特征

该区火山岩出露广泛, 东至阿尔金断裂, 向西延伸至墨玉以西, 南至康西瓦断裂与古生界地层以断

裂接触(图1)。火山岩岩石组合主要为一套浅变质的安山岩、玄武安山岩系, 其中夹有少量的流纹岩及大理岩, 上部层位夹有成熟度较低的变质碎屑沉积岩(变杂砂岩、片岩等), 出露厚度在数千米以上(在所测制的剖面上, 厚度大于2000 m)。火山岩变质程度较低, 为低绿片岩相, 部分地段岩石普遍受到强烈的热液蚀变, 表现为绿帘石化、碳酸盐岩化、青磐岩化。岩石的蚀变与本区印支期及燕山期花岗岩的侵入密切相关, 在岩体的外接触带往往是蚀变发育强烈地段, 部分地区火山岩呈顶垂体分布于花岗岩或花岗闪长岩的顶部(如皮西盖村以南地区)。变质玄武岩、(玄武)安山岩一般呈青灰黑色、块状或厚层状构造、隐晶或微晶结构, 在少量变玄武岩薄片见到细碧结构。依据岩石的野外产状及镜下结构分析, 结合岩

收稿日期: 2001-03-10; 改回日期: 2001-11-19

基金项目: 中国地质调查局“西昆仑矿产资源综合评价”课题(K-1-3-33)部分成果。

作者简介: 郭坤一, 男, 1956年生, 在职博士生, 研究员, 主要从事区域构造方面的研究工作。

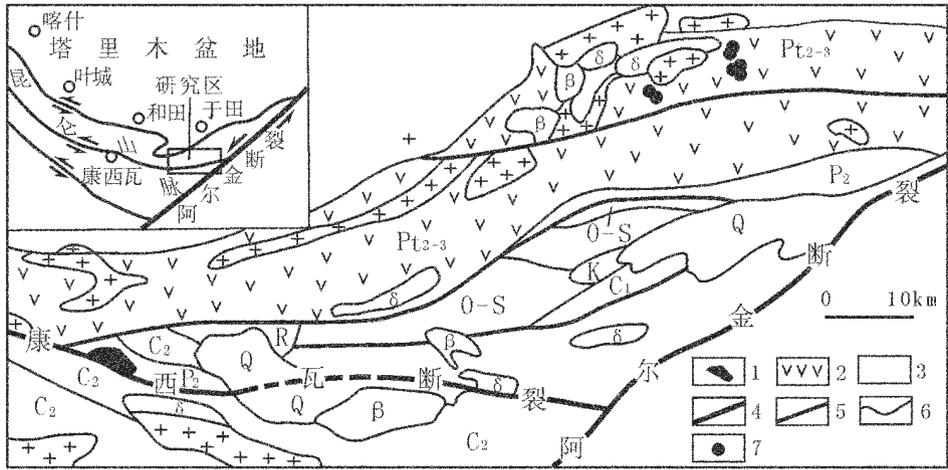


图1 西昆仑东段中新元古代火山岩分布略图

Fig. 1 Schematic map of the distribution of Meso- and Neoproterozoic volcanic rocks in the eastern segment of the West Kunlun Mountains

Q—第四系 R—新近系和古近系 K—白垩系 P₂—上二叠统 C₁—下石炭统 C₂—上石炭统；
 O—S—奥陶—志留系 P_{t2-3}—中新元古宇 δ—闪长岩 β—辉绿岩 1—超镁铁岩；
 2—火山岩 3—花岗岩 A—主干断裂 S—断裂 δ—地质界线 7—采样点

石地球化学进行原岩恢复，确定该套浅变质岩原岩以中基性火山岩为主。

2 岩石化学特征

从岩石化学成分(表1)可以看出,除样品1028-13号外,其余样品的SiO₂含量都在52.36%~58.30%之间,平均为54.55%,岩石的Ti含量低,TiO₂均低于0.3%,平均为0.22%,与洋内弧低Ti的(玄武)安山岩相似^[3-4]。Na₂O+K₂O为1.70%~3.75%,Na₂O均高于K₂O,Na₂O/K₂O在2.44~4.61之间,岩石的富Na与火山岩的源区特征有关,也可能和岩石的绿泥石化等蚀变过程中Na的带入有关。火山岩的M/F为0.62~0.78,MgO/(MgO+TFe)在0.36~0.45之间。在火山岩

硅碱分类图解上^[5],样品1028-13处于英安流纹岩区,其余样品位于玄武岩或玄武安山岩区。在火山岩的(Na₂O+K₂O)—SiO₂图解上,所有样品均为亚碱性。在AFM图解上,3个样品位于拉斑系列,其余为钙碱系列。在MnO₂—P₂O₅×10—MgO图解上,所有样品均处于钙碱性火山岩区。根据上述分析可以看出,火山岩以钙碱性为主,结合其岩石组成,以玄武岩或玄武安山岩为主,夹有少量的钙碱性的英安流纹岩,与岛弧环境的火山岩一致^[6]。

3 稀土及微量元素地球化学

3.1 稀土元素地球化学

稀土元素分析见表2。6件(玄武)安山岩稀土总

表1 火山岩岩石化学成分

Table 1 Chemical composition of volcanic rocks

样号	采样地点	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	LOI	总量
1028-11	塔木其南	变玄武安山岩	53.61	0.22	15.13	0.96	7.80	8.66	6.54	1.00	2.75	0.16	0.20	2.69	99.72
1028-12	塔木其南	变安山岩	58.30	0.23	14.87	0.37	6.90	7.19	5.48	0.96	2.42	0.14	0.15	2.64	99.65
1028-13	奥依且克东	变流纹岩	71.28	0.25	14.05	0.68	3.13	3.58	1.98	0.50	2.30	0.10	0.05	2.32	100.22
1028-14	塔木其南	变细碧岩	52.53	0.24	17.98	2.25	7.28	7.52	6.00	0.60	2.04	0.15	0.35	2.80	99.74
1028-15	塔木其南	变玄武安山岩	56.50	0.19	16.24	1.20	7.10	8.58	4.84	0.88	2.15	0.12	0.07	1.77	99.64
1028-16	塔木其南	变玄武岩	52.36	0.20	17.31	1.80	8.30	8.84	6.03	0.64	1.40	0.18	0.03	2.68	99.77
1028-17	塔木其南	变玄武安山岩	54.00	0.25	17.80	1.46	6.40	9.50	5.45	0.40	1.30	0.15	0.18	2.76	99.65

注 样品由中国科学院地球化学研究所彭少松采用湿法分析,氧化物含量为重量百分比(%)。

表 2 火山岩稀土元素化学分析
Table 2 REE chemical analysis of volcanic rocks

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Y	Lu	ΔEu
1028-11	1.40	3.41	0.44	1.87	0.54	0.24	0.80	0.14	1.02	0.25	0.74	0.10	0.85	6.07	0.15	1.13
1028-12	0.95	2.65	0.32	1.78	0.50	0.18	0.74	0.16	1.11	0.29	0.81	0.14	0.98	7.20	0.16	0.91
1028-13	7.32	17.15	2.14	9.73	2.52	0.52	2.82	0.48	2.97	0.67	2.16	0.32	2.46	18.47	0.40	0.60
1028-14	1.06	2.84	0.34	1.64	0.54	0.21	0.70	0.17	1.05	0.23	0.72	0.13	0.80	5.80	0.16	1.08
1028-15	1.57	3.56	0.43	2.00	0.61	0.20	0.73	0.15	0.88	0.20	0.75	0.11	0.84	5.82	0.13	0.94
1028-16	1.35	3.23	0.42	1.96	0.53	0.24	0.81	0.14	1.04	0.23	0.70	0.10	0.76	5.97	0.15	1.13
1028-17	1.17	3.06	0.37	1.70	0.48	0.16	0.65	0.13	0.92	0.19	0.68	0.10	0.79	5.06	0.12	0.87

注:岩性和采样地点同表1,样品由中国科学院地球化学研究所彭少松采用ICP-MS分析。

量低,在 $15.52 \times 10^{-6} \sim 17.92 \times 10^{-6}$ 之间,且差异小,接近大洋拉斑玄武岩,与大陆边缘岛弧富集LREE的火山岩不同,表明(玄武)安山岩应来自地幔源区^[7]。流纹岩的稀土总量相对高于(玄武)安山岩,为 69.78×10^{-6} 。(玄武)安山岩的 $(La/Yb)_N$ 为0.69~1.33, $(Ce/Yb)_N$ 为0.75~1.17,表明(玄武)安山岩的轻重稀土分异不明显。而英安流纹岩的 $(La/Yb)_N$ 为2.13, $(Ce/Yb)_N$ 为1.93,轻重稀土出现明显分异。(玄武)安山岩

的 δEu 在0.87~1.13之间,基本没有Eu异常,英安流纹岩的 δEu 为0.60,具中等的Eu异常。在稀土元素的球粒陨石配分曲线上(图2),所有安山岩形成一个群体,轻、重稀土没有明显的分异,稀土配分模式接近大洋拉斑玄武岩,这表明玄武岩、安山岩来自同一源区,为亏损的地幔,且没有受到陆壳的明显混染,与洋内弧火山岩相似。一件流纹岩样品则与安山岩形成差异,表现为左倾具明显Eu负异常的配分形式,具有明显Eu异常,但其轻重稀土的分异不是很显著,考虑到这一地区安山岩或玄武安山岩在数量上远远大于流纹岩,推测流纹岩可能来自与(玄武)安山岩同一源区,属于早期分异的产物。

3.2 微量元素地球化学

微量元素分析成果见表3。 Th/Yb 为0.04~0.10,与岛弧玄武岩一致^[8]。 $Th/Ta=5.92 \sim 11.22$, $Zr/Hf=20.46 \sim 29.40$, Th/Y 之比为0.04~0.08,一件安山岩的Ti/V比值4.33~5.10,一件流纹岩的Ti/V比值22.28,与来自亏损岩石圈地幔的MORB玄武岩有明显差异。在N-MORB配分模式上(图3)^[8](玄武)安山岩的Rb、Ba、Th、K等大离子亲石元素(LILE)富集,

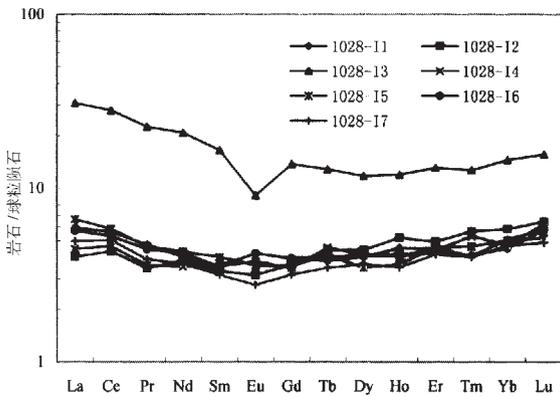


图2 火山岩稀土元素配分模式

Fig. 2 REE distribution patterns of volcanic rocks

表 3 火山岩微量元素化学分析
Table 3 Trace element chemical analysis of volcanic rocks

样号	Sr	K	Rb	Ba	Th	Ta	Nb	Ce	P	Zr	Hf	Sm	Ti	Y	Yb	Se	Cr
1028-11	191.29	0.82	26.17	161.12	0.34	0.04	0.37	3.41	0.087	9.84	0.40	0.54	0.132	6.07	0.85	43.83	91.47
1028-12	191.68	0.79	14.77	112.55	0.45	0.04	0.43	2.65	0.065	12.53	0.49	0.50	0.138	7.20	0.98	45.25	34.73
1028-13	140.38	0.41	17.55	82.96	1.48	0.25	3.89	17.15	0.023	80.55	2.28	2.52	0.150	18.47	2.46	17.66	7.36
1028-14	177.61	0.49	19.26	79.19	0.35	0.04	0.57	2.84	0.153	13.08	0.51	0.54	0.144	5.80	0.80	49.80	29.34
1028-15	181.79	0.72	16.71	121.15	0.42	0.04	0.39	3.56	0.031	10.99	0.37	0.61	0.114	5.82	0.84	41.81	52.82
1028-16	189.71	0.53	24.97	147.22	0.26	0.03	0.33	3.23	0.012	8.57	0.42	0.53	0.120	5.97	0.76	42.54	64.37
1028-17	173.97	0.33	25.62	122.96	0.35	0.05	0.62	3.06	0.078	13.58	0.51	0.48	0.150	5.06	0.79	48.62	31.01

注:岩性和采样地点同表1,样品由中国科学院地球化学研究所彭少松采用ICP-MS测定,K、Ti、P为重量百分数(%),其他单位为 10^{-6} 。

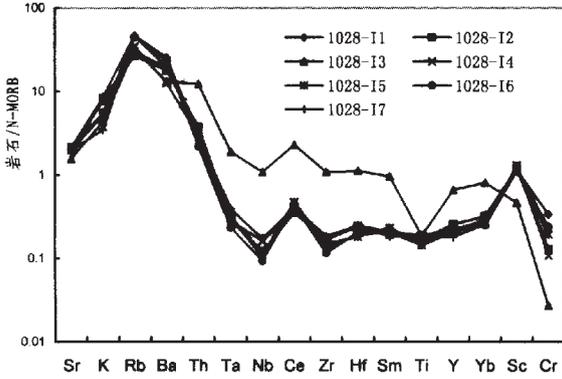


图3 火山岩微量元素N—MORB配分模式

Fig. 3 Trace element N—MORB distribution patterns of volcanic rocks

而贫高场强元素(HFSE)具有明显的Nb负异常及中等的Zr负异常,Ce、Sm、Sc出现正异常,这与岛弧火山岩一致^[8]。岩石的Th/Ta、Ce/Yb、La/Nb比值较高,显示岛弧火山岩特征。另外大离子亲石元素K、Ba、Rb、Sr的富集与火山岩源区性质有关,也可能与岩石后期的蚀变作用如绢云母化、绿泥石化、青磐岩化等有关,由于富含大离子元素的流体交代作用,使岩石的微量元素特征显示出与稀土元素不一致的结果,这与岩石露头上所观察到的现象是一致的。尽管

在配分模式图上出现Ce峰,但Th、Ce的值仍然与N—MORB相似,这表明几乎没有消减带物质的带入^[9]。在Ti—Ti/Zr图解上^[10](玄武)安山岩处于MORB和亏损地幔区,由于岩石相对N—MORB亏损HFSE,表明来自亏损地幔的可能性较大。一件英安流纹岩的微量元素尽管在元素含量上与(玄武)安山岩有差异,但元素配分模式具有完全相同的演化趋势,表明它们来自同一源区。

火山岩的微量元素尤其是一些重元素是判断岩石产出构造背景的有利指示。在Th—Hf/3—Nb/16三角图解中(图4)^[11],所有(玄武)安山岩均位于CAB区,在Zr/4—Nb×2—Y三角图解中(图5)^[11],所有样品均位于VAB和N—MORB重叠区。由于火山岩相对N—MORB具有明显的Nb亏损,应属岛弧环境,这与火山岩的岩石化学及微量元素特征一致,但与岩石的低ΣREE及近水平REE配分模式不一致。

4 结论

综上所述,出露于西昆仑东段的火山岩以钙碱性(玄武)安山岩为主,夹有极少量的钙碱性流纹岩,岩石组合显示岛弧火山岩特征。在岩石化学分类上,以(玄武)安山岩为主,岩石化学显示的构造环境与

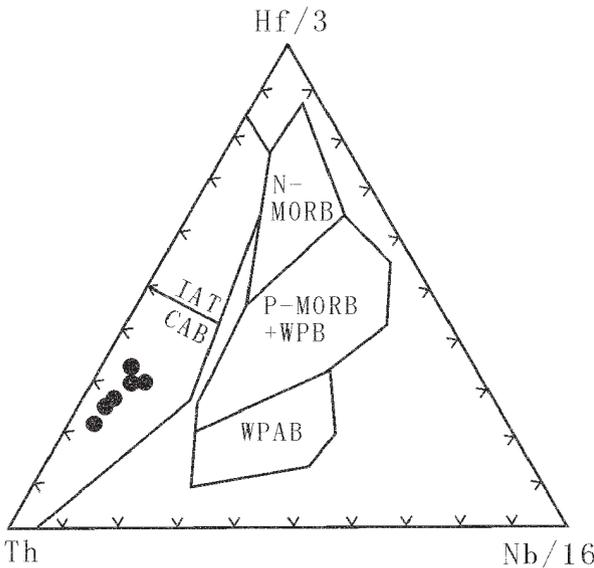


图4 火山岩Th—Hf/3—Nb/16三角图解

Fig. 4 Triangle diagram of Th—Hf/3—Nb/16 of volcanic rocks

N—MORB—正常洋中脊玄武岩;P—MORB—富集型洋中脊玄武岩;WPB—板内玄武岩;WPAB—板内碱性玄武岩;CAB—钙碱性玄武岩;IAT—岛弧拉斑玄武岩

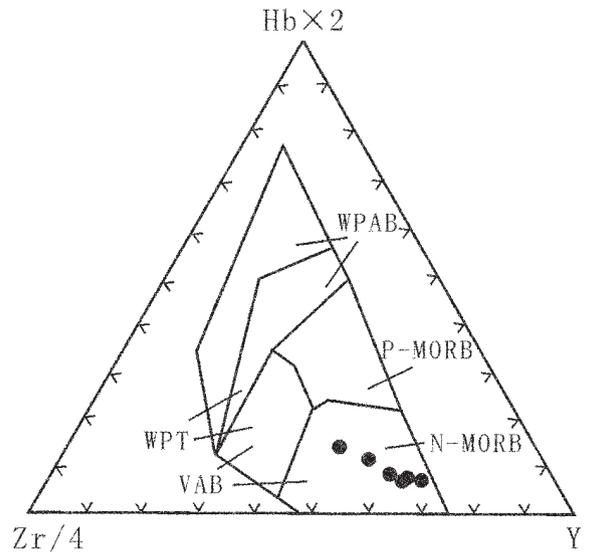


图5 火山岩Zr/4—Nb×2—Y三角图解

Fig. 5 Triangle diagram of Zr/4—Nb×2—Y of volcanic rocks

N—MORB—正常洋中脊玄武岩;P—MORB—富集型洋中脊玄武岩;WPAB—板内碱性玄武岩;WPT—板内拉斑玄武岩;VAB—火山弧玄武岩

岩石组成分析结果一致。基性火山岩具有低的 Σ REE,基本没有Eu异常,配分曲线显示了拉斑玄武岩特征,表明火山岩来自亏损地幔的部分熔融,且没有受到消减带成分的污染,推测岩浆可能来自俯冲洋壳及地幔的相互作用^[12]。岩石的微量元素显示大离子亲石元素如Th、Ba、K、Rb等明显相对N—MORB富集,而高场强元素(HFSE)贫化,与岛弧火山岩一致。综上分析,笔者认为火山岩形成于洋内弧环境。

在该套火山岩中尚没有同位素年龄报道。由于震旦系在西段直接不整合覆盖于这套火山岩之上^[13],因此该套火山岩为前震旦纪火山岩。在阿尔金山北缘的蛇绿岩中获得829 Ma年龄值,在阿尔金山主干断裂上的蛇绿岩中获得1 449 Ma的年龄值^[14],在北祁连及北秦岭地区出现大量的8~10亿年构造事件的同位素年代学证据^[15-17]充分表明,在中央造山带北缘,晋宁期发生过强烈的造山事件。西昆仑作为中央造山带的西延部分,笔者推测研究区内的火山岩为塔里木古板块南缘在中新元古代洋壳板块发生洋内俯冲过程中形成。以阿尔金山北缘蛇绿岩及沿阿尔金山断裂分布的蛇绿岩代表了8~10亿年洋盆关闭事件。在西昆仑地区,考虑到康西瓦断裂两侧前寒武系的组成差异^[2,18-20],这一时期的主缝合线位于现今的康西瓦断裂。塔里木板块南缘在中新元古代经历了从陆缘拉张到洋盆形成及沟—弧—盆演化的威尔逊旋回。出露于西昆仑东段的洋内弧火山岩,表明在康西瓦主俯冲带形成后,弧后拉张作用形成新的洋盆,且发生过洋内俯冲。

承蒙周济元教授、谢舜克教授的指导,在此谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 新疆地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1991. 22~31.
- [2] 姜春发. 昆仑地质构造轮廓[J]. 中国地质科学院地质研究所所刊,1986,15号,70~80.
- [3] 何国琦,韩宝福,岳永军,等. 中国阿勒泰造山带的构造分区与地壳演化[J]. 新疆地质科学,1990,第二辑,9~20.
- [4] 何国琦,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. 43~129.
- [5] 邱家骧. 岩浆岩岩石学[M]. 北京:地质出版社,1985. 207~209.
- [6] 舒良树,施央申,郭令智,等. 江南中段板块—地体构造与碰撞造山运动学[M]. 南京:南京大学出版社,1995. 140~145.
- [7] Yogodzinski G M, Kelemen P B. Slab melting in the Aleutians: Implications of an ion probe study of clinopyroxene in primitive adakite and basalt[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1998, 158: 53~65.
- [8] Pearce J A. The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins[A]. In: Hawkesworth et al eds, Continental Basalts and Mantle Xenoliths[C]. Nantwich, Shiva, 1983. 230~249.
- [9] 张旗,张宗清,孙勇,等. 陕西商县—丹凤地区丹凤群变质玄武岩的微量元素和同位素地球化学[J]. 岩石学报,1995,11(1),43~54.
- [10] McDonough W. F. Partial melting of subducted oceanic crust and isolation of its residual eclogitic lithology[J]. Royal Society of London Philosophical Transactions. ser. A, 1991, 335: 407~418.
- [11] Wood D A. A variably veined subvolcanic upper mantle—genetic significance for mid-ocean ridge basalts from geochemical evidence[J]. Geology, 1979, 7: 499~503.
- [12] Matthew I L, Nancy V W, Lorne D A. Partial melting of a refractory subducted slab in a Paleoproterozoic island arc: Implication for global chemical cycles[J]. Geology, 1999, 27(8): 731~734.
- [13] 马世鹏,汪玉珍,方锡廉. 西昆仑山北坡的震旦系[J]. 新疆地质,1989,7(10):68~79.
- [14] 郭召杰,张志诚. 塔里木基底构造格架与演化[J]. 地学前缘,1999,(3)94.
- [15] 姜常义,魏合明,赵太平,等. 北秦岭侵入岩带与晋宁运动[M]. 北京:地质出版社,1998. 77~91.
- [16] 张传林,董永观,杨志华. 秦岭晋宁期两条蛇绿岩带及其对秦岭—大别构造演化的制约[J]. 地质学报,2000,76(4),313~324.
- [17] 于海峰,陆松年,梅华林,等. 中国西部新元古代榴辉岩—花岗岩带和深层次韧性剪切带特征及其大陆再造意义[J]. 岩石学报,1999,15(4).
- [18] Mattern F, et al. A traverse through the western Kunlun (Xinjiang, China): Tentative geodynamic implications for the Paleozoic and Mesozoic[J]. Geol Rundsh, 1996, 85: 705~722.
- [19] 张志德,李嵩龄,杨德朴. 康西瓦断裂的地质特征及其形成和发展[J]. 新疆地质,1987,15(3):50~57.
- [20] Pan Yusheng. Geological evolution of the Karakorum and Kunlun Mountain[M]. Beijing: Seismological Press, 1996, 94~136.

Geochemistry of Meso- and Neoproterozoic intra-oceanic arc volcanic rocks in the eastern segment of the western Kunlun orogenic belt

GUO Kun-yi^{1,3}, ZHANG Chuan-lin^{1,3}, ZHAO Yu³, DONG Yong-guan³,
WANG Ai-guo³, XIE Ya-ping³

(1. Department of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130026, Jilin, China;

2. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China;

3. Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

Abstract Study shows that the Meso- and Neoproterozoic volcanic rocks distributed south of the line of Cele-Mingfeng-Yutian on the northern margin of the eastern segment of the West Kunlun Mountains, Xinjiang, consist dominantly of a suite of low-grade (basaltic) andesite with very small amount of rhyolite. Andesite contains 52.36%–58.30% (mean 54.55%) SiO₂, <0.3% (mean 0.22%) TiO₂ and 1.70%–3.75% Na₂O+K₂O, with Na₂O>K₂O and Na₂O/K₂O=2.44–4.61, M/F=0.62–0.78 and MgO/(MgO+TFe)=0.36–0.45. The alkali-silica composition shows that the rock is mainly calc-alkaline. REE study indicates that the ΣREE content of andesite is low, exhibiting a narrow range between 15.52 and 17.92 ppm, close to that of oceanic tholeiite. The (La/Yb)_N of andesite is 0.69–1.33 and the (Ce/Yb)_N is 0.75–1.17, the fractionation between HREE and HREE being not pronounced. Except for the δEu of sample 1028-13 that is 0.6, the δEu values of other samples are in the range of 0.91–1.17, basically no Eu anomaly being present. On the chondrite-normalized REE distribution patterns all the andesite forms a colony. The REE distribution patterns are close to that of oceanic tholeiite. Study of trace elements in andesite indicates the following: Th/Yb=0.04–0.10, Th/Ta=5.92–11.22, Zr/Hf=20.46–29.40 and Th/Y=0.04–0.08. The N-MORB distribution patterns of trace elements show that the rock is enriched in such large-ion lithophile elements as Sr, Ba, Rb, K and Th and depleted in Cr, as is similar to tholeiitic volcanic arc basalt. An integrated petrologic and geochemical analysis of the volcanic rocks, combined with the tectonic setting, suggests that this suite of volcanic rock occurred in an intra-oceanic arc environment.

Key words eastern segment of the West Kunlun; (basaltic) andesite; tectonic setting