

新疆北山矛头山东早二叠世火山岩喷发活动时代厘定及地球化学特征分析

李煜航^{1,2} 杨兴科³ 王庆良¹ 崔笃信¹ 季灵运¹ 郝 明¹

(1. 中国地震局第二监测中心, 陕西 西安 710054; 2. 中国地震局地质研究所, 北京 100029;
3. 长安大学, 陕西 西安 710054)

摘要: 本文对新疆北山矛头山东一带火山岩野外地质特征、岩石学、岩石地球化学和锆石 U-Pb 年龄进行了系统研究。该区火山岩岩石组合为玄武岩、玄武安山岩、安山岩和同成分的火山碎屑岩。该套火山岩中锆石 SHRIMP U-Pb 年龄表明, 其形成时代为早二叠世。其岩石地球化学特征显示为一套钙碱性火山岩, 富集轻稀土元素, 无明显的负钕异常; 大离子亲石元素 Rb、Th、U 相对富集, Ba、Sr 略有波动, 高场强元素 Nb 略有亏损、Ta 亏损明显。综合分析, 笔者认为该套早二叠世的火山岩形成于已经充分收缩的残余海盆环境; 此时北山的构造属性更与残余海盆的陆缘火山盆地相似, 而不具有裂谷的特征。

关键词: 新疆北山; 早二叠世; 地球化学; SHRIMP 测年; 构造演化

中图分类号: P588.14 **文献标志码:** **文章编号:** 1000-3657(2012)03-0683-12

北山构造带位于塔里木板块的东北缘(图 1), 被库鲁克塔格地块和敦煌地块所夹持^[1]。其经历了元古宙塔里木陆核的形成和演化, 于震旦纪开始裂解形成裂陷槽和裂谷带^[2-4], 该区寒武系和奥陶系主体部分为稳定的浅海-半深海沉积, 志留纪开始“活化”进入裂谷构造活动期。石炭纪—二叠纪是北山地区强烈的岩浆活动期^[5], 地质界普遍认为北山构造带在前寒武时期与塔里木板块具有亲缘性, 即北山构造带是以塔里木地台为基底而形成的华力西期中晚期陆内裂谷带^[1, 6-7]。也有学者认为它与北天山裂谷(或有限洋盆)存在依存关系^[8-9], 对于它在晚古生代晚期的构造属性也有裂谷和有限洋盆两种认识。

新疆北山西南段与死亡之海——罗布泊毗邻, 自然条件恶劣, 地质研究程度较低(仅在 1970 年代末开展过 1:200 000 区域地质调查)。对于该地区石炭纪—二叠纪火山岩研究, 特别是晚石炭世—早二叠世(岩浆强烈活动期)火山岩的研究明显薄弱。最

近笔者在该区进行 1:50 000 区域地质调查研究时, 发现分布于黑山岭东南矛头山南的一套灰褐色玄武岩、玄武安山岩、安山岩和火山角砾岩组合(图 1 中的灰色区域)。该火山岩系在位态关系、构造线方向、变形特征和喷发方式都与以断层接触的晚石炭世地层有较大的差别, 可能说明该套地层的时代不属于晚石炭世。本文试图在详细的野外调研基础上, 用锆石 SHRIMP U-Pb 定年方法精确厘定火山岩的喷发时代。进而结合岩石学和地球化学特征对相关问题进行初步探讨。

1 区域地质背景

黑山岭一带地层区划属塔里木—南疆地层大区、中南山—北山地区层区红柳园地层分区, 主要由石炭系、二叠系及少量志留系和古近—新近系以及部分第四系组成。侵入岩较发育, 以酸性为主, 时代集中于晚石炭世至早二叠世。

收稿日期: 2011-09-23; 改回日期: 2012-01-06

基金项目: 新疆北山黑山岭东南 1:50 000 区域地质矿产调查项目(XJQDZ2006-16)及国家自然科学基金项目(40974062)资助。

作者简介: 李煜航, 男, 1981 年生, 博士生, 主要从事区域地质调查及活动构造研究; E-mail: liyuhangdz@163.com。

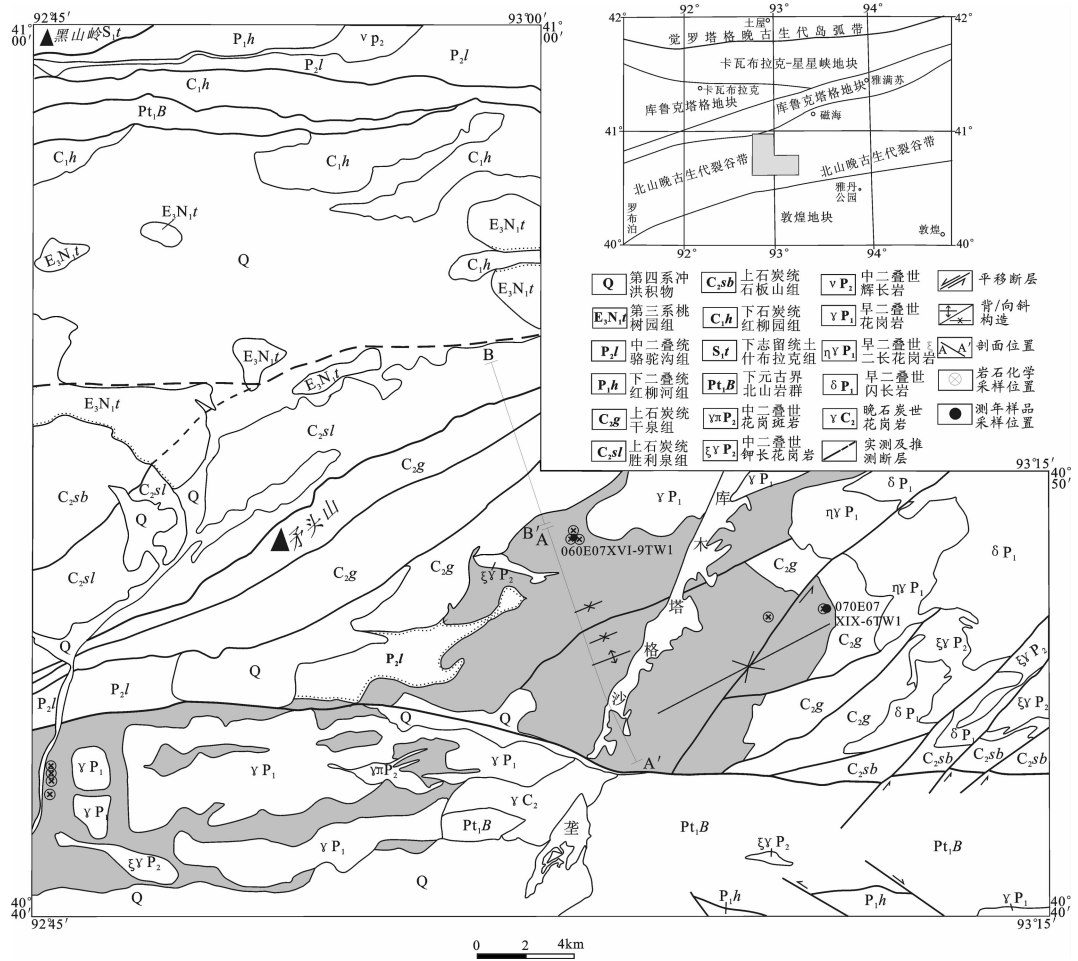


图 1 研究区地质简图

Fig.1 Schematic geological map of the study area in Ruoqiang, Xinjiang

自早石炭世开始研究区受区域伸展作用的控制,火山活动逐渐增强,形成了一套基性火山岩至滨浅海相碎屑岩沉积,分布于研究区的北部。地层自北向南总体有序,近东西向展布,约 4 500 m 厚,经历了强烈的韧性变形。晚石炭世中期,研究区火山活动微弱,形成了一套深海相的复理石建造,呈北东向展布。自晚石炭世晚期火山活动逐渐增强,研究区进入了火山活动的鼎盛时期,在研究区的南部形成了大量的火山岩。

分布于矛头山两侧和矛头山南部的火山岩,是具有特色鲜明的两个系统:其一,是沿矛头山断裂两侧分布的北东向展布的一套火山岩地层;其二,是在这套火山岩南部呈“云朵”状分布的一套灰黑色—灰褐色火山岩。两者的构造线方向有明显差异。通过实测剖面(图 2)剖面线位置(图 1)可见,前者地层变形

强烈,如 B—B' 剖面所示,呈高角度的陡倾,而后者如 A—A' 剖面所示多形成一些宽缓的向背斜。另外前者除有一定规模的中—基性的熔岩外还有相对数量的碎屑岩及浅变质的碳酸盐岩,而后者只在局部发育有少量的海相碎屑沉积(在碎屑岩夹层中富含海百合和腕足海相生物化石),其火山岩岩石组合为安山岩、玄武岩、安山质火山角砾岩、安山质火山集块岩、岩屑凝灰岩。这些特征表明后者火山岩形成时代很可能晚于前者。

在 B—B' 剖面的亮晶灰岩中(图 2)采获筴类化石,据新疆地质调查院第一地质调查所张建东鉴定为: *Pseudoendothyra* sp., *Pseudostaffella antiqua* var. *posterior* 等,时代为晚石炭世晚期。由此推断,分布于其南部的大面积的断块状火山岩应晚于晚石炭世晚期,这与前人将其统一划为晚石炭世于泉组的认识

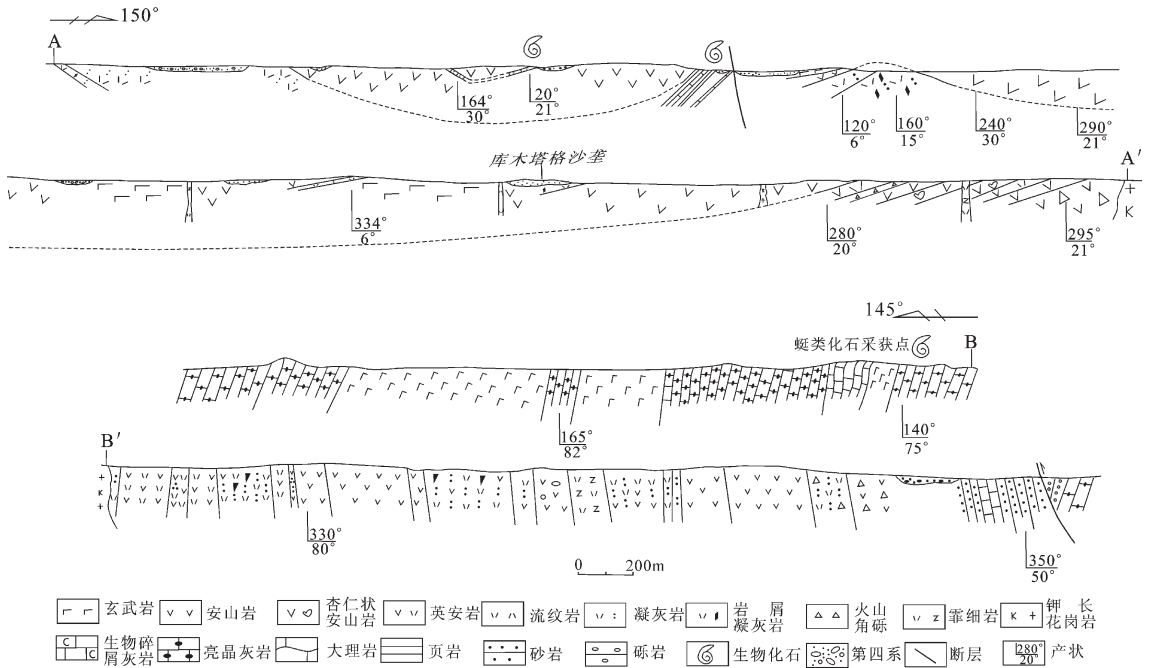


图 2 矛头山东火山岩实测剖面图

Fig.2 Measured geological section of volcanic rocks in eastern Maotoushan

存在偏差。

2 火山岩中锆石 U-Pb 年龄测定

本次工作在该套火山岩的不同位置采集了 2 件火山岩样品:分别为 9TW₁,地理坐标:东经 93°00'53",北纬 40°48'37"(对应的岩石及地球化学样品编号为下文中的 16-9YQ)和 6TW₁,地理坐标:东经 93°08'24",北纬 40°47'02"(对应的岩石及地球化学样品编号为下文中的 19-6YQ),这些样品均采用单颗粒锆石(U-Pb)SHRIMP 测年方法。

锆石按常规方法分选,而后在双目镜下挑纯并选择晶形完好、有代表性的单颗粒锆石与标准锆石一起制靶,详细的制靶过程参阅文献[10]。然后对被测样品靶进行透射光和反射光的显微照相,以及在扫描电镜下进行锆石阴极发光(CL)成像,以观察锆石的晶形及内部结构,从而筛选出最佳的待测锆石及待测部位。本次测年的锆石样品均按照相关规范进行分选和挑选。制靶和扫描电镜均在北京离子探针中心按照相应的规范完成。锆石的 U-Th-Pb 同位素分析在北京离子探针中心的 SHRIMP-II 实验室进行。分析结果用 SQUID 和 ISOPLOT 程序进行数据处理。锆石测年数据见表 1。

2.1 火山岩 9TW₁ 样品

9TW₁ 样品为杏仁状安山岩,灰褐色致密块状结构,杏仁状构造。少斑-多斑状结构,基质具玻晶交织结构或玻璃质结构。斑晶由斜长石组成,轻微黝帘石化、绢云母化、隐晶帘石化;基质由斜长石、普通辉石、玻璃质组成,玻璃质已脱玻化蚀变为隐晶状长英质、绿泥石、帘石集合体。杏仁呈不规则状,大小 0.08~0.9 mm,主要成分为绿泥石、碳酸盐、石英,含量 10%~40%。

9TW₁ 样品锆石颗粒呈长柱状或短柱状,环带清晰,色深,棱角明显(图 3)。其锆石测年数据(表 1),Th/U 比值在 0.14~0.87,应为岩浆成因锆石。9TW₁ 样品共测试分析了 13 个点,其中 5 个点的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄介于 276~294 Ma,²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值为(298±5)Ma,MSWD=1.5(图 4);另有 2 个测试点 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值为(417±9)Ma,MSWD=1.6,这很可能与该区加里东末期的岩浆热事件相关,属于岩浆俘获的早期锆石。

2.2 火山岩 6TW₁ 样品

6TW₁ 样品为橄榄玄武岩,灰色-灰紫红色致密块状。斑状结构,基质具间粒间隐结构。斑晶由斜长石、普通辉石、橄榄石组成;基质由斜长石、普通辉

表 1 矛头山东火山岩中锆石 U-Th-Pb 同位素测定数据
Table 1 U-Th-Pb isotope dating data of single grain zircon from eastern Maotoushan volcanic rocks

样品号	测点	U/10 ⁶	Th/10 ⁶	²³⁸ Th/ ²³⁸ U	同位素比值				年龄/Ma				
					²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±%	²⁰⁷ Pb/ ²³⁸ U	±%	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th		
9TW ₁	1.1	446	97	0.23	0.0798	1.6	1.9700	1.9	0.1797	1.6	1066±15	1191±31	1077±53
	2.1	1373	814	0.61	0.0523	4.9	0.3581	2.3	0.0509	1.5	320±5	297±111	325±16
	3.1	1492	1258	0.87	0.0594	3.5	0.3380	3.5	0.0480	1.6	305±5	584±76	326±7
	4.1	462	198	0.44	0.0510	3.5	0.3360	3.4	0.0507	1.7	320±5	239±81	336±13
	5.1	481	345	0.74	0.0575	3.1	0.4440	3.3	0.0651	1.7	411±7	510±68	443±18
	6.1	712	448	0.65	0.0516	4.8	0.3120	3.3	0.0446	1.6	282±4	269±111	285±11
	7.1	2261	520	0.24	0.0551	1.7	0.4745	1.8	0.0674	1.5	422±6	417±39	479±27
	8.1	985	411	0.43	0.0910	26.0	0.2240	44	0.0356	1.6	239±6	1449±504	423±94
	9.1	117	73	0.64	0.0665	6.8	0.2590	11.0	0.0446	4.1	290±12	823±141	369±21
	10.1	543	306	0.58	0.0575	3.7	0.3230	3.2	0.0467	1.7	297±5	512±81	325±11
	11.1	616	155	0.26	0.0540	2.4	0.3601	2.6	0.0480	1.6	302±5	371±54	297±11
	12.1	199	27	0.14	0.0524	8.0	0.3440	4.1	0.0439	1.9	275±5	305±182	204±63
	13.1	633	144	0.23	0.0533	3.9	0.3460	3.0	0.0463	1.6	291±5	342±88	282±18
6TW ₁	1.1	1736	1044	0.62	0.0504	8.8	0.2910	9.4	0.0425	1.8	268±5	212±203	260±17
	2.1	621	323	0.54	0.0575	8.1	0.3390	8.8	0.0434	2.1	275±6	511±178	289±17
	3.1	510	106	0.21	0.0544	15.0	0.3210	16.0	0.0437	2.0	276±6	386±340	274±87
	4.1	419	137	0.34	0.0652	7.8	0.4260	8.7	0.0479	2.1	303±6	780±165	339±38
	5.1	768	353	0.48	0.0501	4.8	0.4490	5.5	0.0657	1.9	411±8	201±111	414±18
	6.1	150	76	0.52	0.0980	13.0	0.6500	16.0	0.0475	2.9	319±10	1580±237	555±58
	7.1	304	97	0.33	0.0320	57.0	0.1800	61.0	0.0441	3.4	270±11	-1002±1691	
	8.1	678	248	0.38	0.0580	50.0	0.3600	51.0	0.0466	1.9	293±10	513±1097	279±157
9.1	888	302	0.35	0.0586	3.3	0.6460	4.3	0.0803	2.2	499±11	552±73	525±23	

注:数据测试由北京离子探针中心完成;测试人:李煜航、陈虹、张维等。

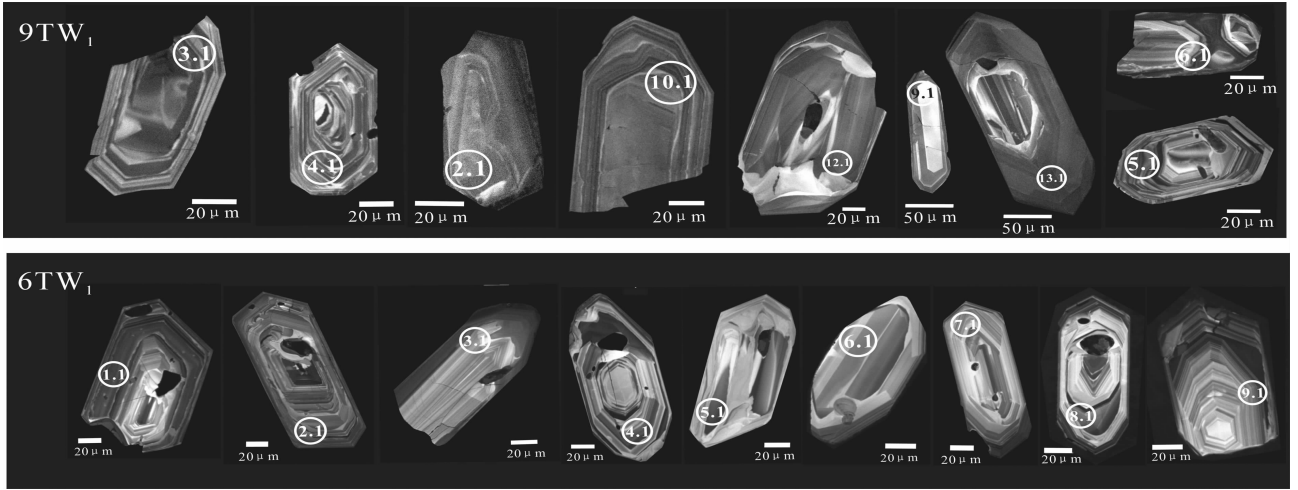


图 3 火山岩样品(9TW₁和 6TW₁)部分单颗粒锆石阴极发光照片

Fig.3 Cathodoluminescence images of single zircon from sample 9TW1 volcanic rocks

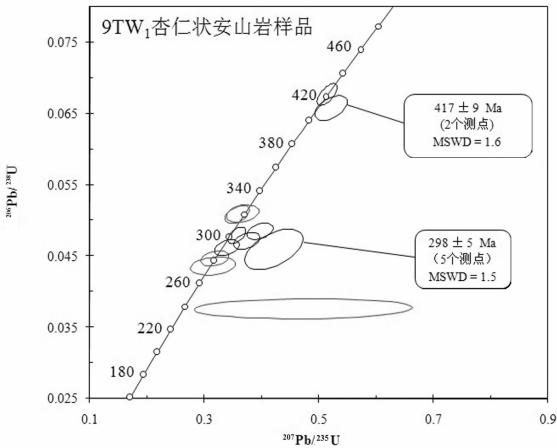


图 4 9TW₁样品锆石 SHRIMP U-Pb 谐和图
Fig.4 U-Pb concordia diagram of zircon sample 9TW₁

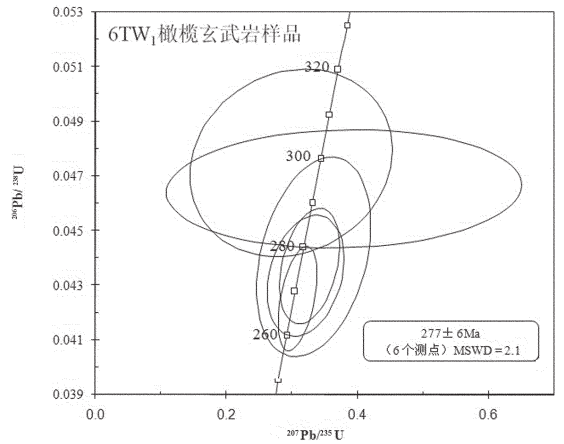


图 5 6TW₁样品锆石 SHRIMP U-Pb 谐和图
Fig.5 U-Pb concordia diagram of zircon sample 6TW₁

石、橄榄石、玻璃质组成。岩石中有少量岩屑分布,粒径 0.6~1.2 mm,呈棱角状,主要为玄武岩。

该样品中的锆石颗粒呈长柱或短柱状,环带清晰,色深,棱角明显(图 3)。其锆石测年数据见表 1, Th/U 比值为 0.21~0.62,为岩浆锆石。6TW₁ 样品共测试分析了 9 个点,有 6 个测试点年龄集中,在 268~299 Ma,用此 6 个测试点得到 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值为(277±6) Ma,MSWD=2.1(图 5)。

2 件火山岩样品锆石年龄值分别为(298±5)Ma 和(277±6)Ma。这一结果也印证了通过化石资料结合层位特点所得判断,并精确给定了该套火山岩形

成的时代为早二叠世。并据此将该套火山岩从晚石炭世干泉组中解体出来。

3 火山岩主量元素地球化学特征

本次研究中在该火山岩中共采集 9 件样品用于岩石地球化学分析(表 2),主量元素采用原子吸收分光光度计测定。本文的主要元素相关投点均为去除烧失量后再换算成百分之百后进行。火山岩 Al₂O₃ 含量普遍较高,平均值为 16.80%。玄武岩-玄武安山岩样品 TiO₂ 含量变化范围为 0.80%~1.41%,平均值为 1.11%,这与 VAB 的 TiO₂ 含量(0.8%)接近;多数

表 2 矛头山东火山岩地球化学分析结果(单位: 主量元素 10^{-2} ; 微量元素 10^{-6})
 Table 2 Major, trace element content of volcanic rocks distributed in southern
 Maotoushan (unit: major element 10^{-2} ; trace element 10^{-6})

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
样号	19-6YQ	16-12YQ	15-11YQ	16-9YQ	19-47YQ	8-56YQ	8-57YQ	8-52YQ	8-80YQ
岩性	玄武岩	玄武安山岩	玄武安山岩	玄武安山岩	玄武安山岩	玄武安山岩	安山岩	安山岩	安山岩
SiO ₂	48.36	52.30	52.76	53.53	53.54	56.74	57.69	58.20	61.22
TiO ₂	1.41	0.99	1.02	1.09	1.36	0.80	0.87	0.72	1.00
Al ₂ O ₃	16.41	15.31	17.53	18.02	16.33	17.25	17.42	17.08	15.83
Fe ₂ O ₃	2.98	2.78	2.27	3.63	2.86	3.94	3.30	2.99	1.93
FeO	6.50	5.60	5.70	4.20	4.94	2.30	2.70	2.30	4.20
MnO	0.19	0.22	0.12	0.14	0.20	0.09	0.08	0.08	0.11
MgO	7.90	7.58	5.40	4.72	6.13	3.71	3.51	2.90	2.42
CaO	10.77	8.52	7.74	7.29	8.52	6.84	7.18	4.94	4.60
Na ₂ O	2.27	2.11	2.41	2.77	2.96	3.87	3.78	4.24	5.15
K ₂ O	0.23	0.23	0.72	0.22	0.57	0.95	1.19	1.12	1.60
P ₂ O ₅	0.21	0.18	0.53	0.17	0.13	0.24	0.26	0.15	0.21
LOI	6.65	1.99	3.82	3.29	4.20	2.03	2.44	1.74	3.07
∑	98.69	99.19	99.88	99.59	99.5	99.42	99.22	99.93	100.01
La	4.96	8.99	10.20	10.18	10.85	12.18	12.26	9.54	14.74
Ce	12.50	20.57	22.60	21.99	24.80	27.07	27.01	20.11	32.93
Pr	1.98	3.06	3.43	3.33	3.61	3.89	3.81	2.92	4.61
Nd	9.96	12.96	13.61	13.81	14.94	15.36	15.28	11.24	19.03
Sm	2.94	3.20	3.38	3.43	3.68	3.38	3.49	2.66	4.53
Eu	1.16	1.06	1.12	1.14	1.34	1.10	1.14	0.86	1.31
Gd	3.47	3.59	3.70	3.69	3.98	3.42	3.54	2.64	4.75
Tb	0.62	0.63	0.64	0.64	0.68	0.56	0.58	0.45	0.81
Dy	3.91	3.87	3.96	4.00	4.08	3.42	3.53	2.76	4.97
Ho	0.81	0.80	0.81	0.82	0.83	0.69	0.70	0.55	1.01
Er	2.20	2.27	2.29	2.40	2.37	1.95	1.98	1.57	2.87
Tm	0.34	0.36	0.37	0.37	0.37	0.31	0.31	0.25	0.46
Yb	2.17	2.23	2.21	2.37	2.28	1.91	1.93	1.57	2.9
Lu	0.31	0.34	0.36	0.36	0.33	0.32	0.32	0.25	0.48
Y	19.35	19.03	19.76	20.15	19.01	16.80	17.00	13.43	25.05
∑REE	66.68	82.96	88.44	88.68	93.15	92.36	92.88	70.80	120.45
(La/Yb) _n	1.54	2.72	3.11	2.90	3.21	4.30	4.28	4.10	3.43
δ Eu	1.11	0.95	0.96	0.97	1.06	0.98	0.98	0.98	0.86
Ba	54.0	153.0	87.8	95.4	88.9	159.0	147.0	187.0	130.0
Hf	2.37	3.00	2.80	3.10	3.65	3.60	4.00	3.00	5.40
Nb	8.96	11.46	11.61	11.81	12.54	13.36	14.28	10.24	17.03
Zr	85.8	105.0	112.0	115.0	144.0	140.0	141.0	112.0	177.0
Rb	6.65	25.10	7.60	25.40	10.10	24.30	25.50	48.20	30.80
Sr	253	396	611	531	409	550	563	410	557
Ta	0.30	0.24	0.32	0.29	0.39	0.32	0.30	0.26	0.36
Th	1.18	2.40	3.20	2.80	2.59	2.10	1.90	2.10	2.80
U	0.21	0.60	0.69	0.56	0.58	0.49	0.48	0.49	0.67
Y	19.35	19.03	19.76	20.15	19.01	16.80	17.00	13.43	25.05
Zr/Y	4.43	5.52	5.67	5.71	7.57	8.33	8.29	8.34	7.07
Rb/Sr	0.03	0.06	0.01	0.05	0.02	0.04	0.05	0.12	0.06

注: 主量元素分析由新疆第一区调所实验室完成, 微量及稀土元素分析由武汉综合岩矿测试中心承担。

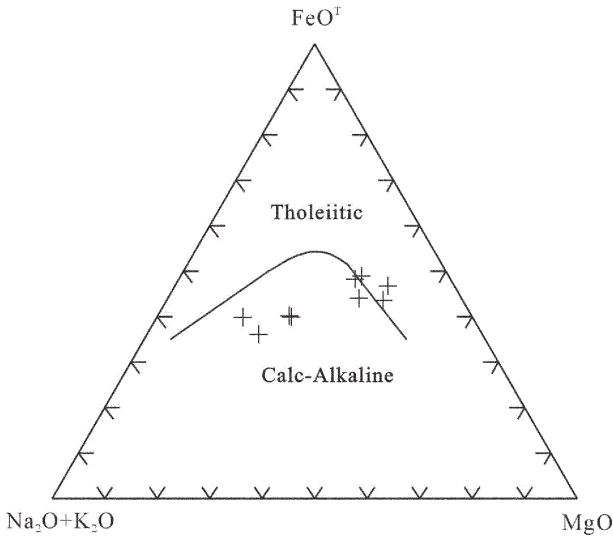


图 8 火山岩样品 AFM 图解

Fig.8 AFM diagram of volcanic rocks

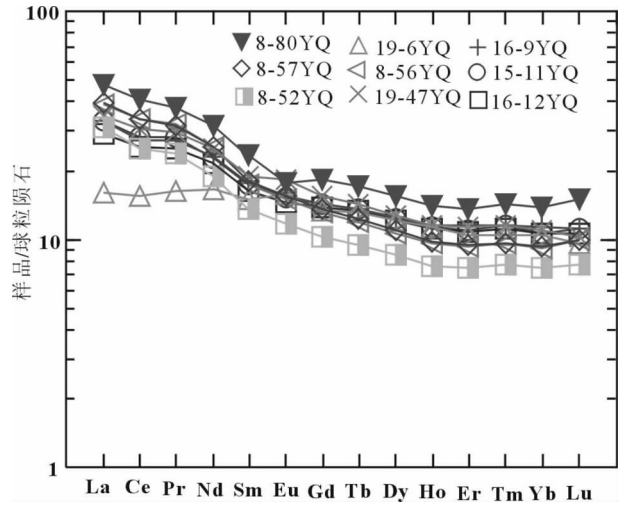


图 9 火山岩样品稀土元素球粒陨石标准化配分模式图 (标准化值据 Boynton, 1984)

Fig.9 Chondrite-normalized REE patterns of volcanic rocks (standardized value after Boynton, 1984)

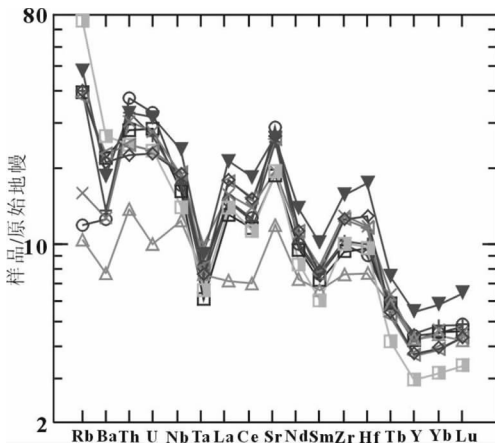


图 10 火山岩样品原始地幔标准化曲线图 (标准化值据 Sun, 1989)

Fig.10 Primitive-mantle normalized incompatible element patterns of volcanic rocks (standardized value after Sun, 1989)

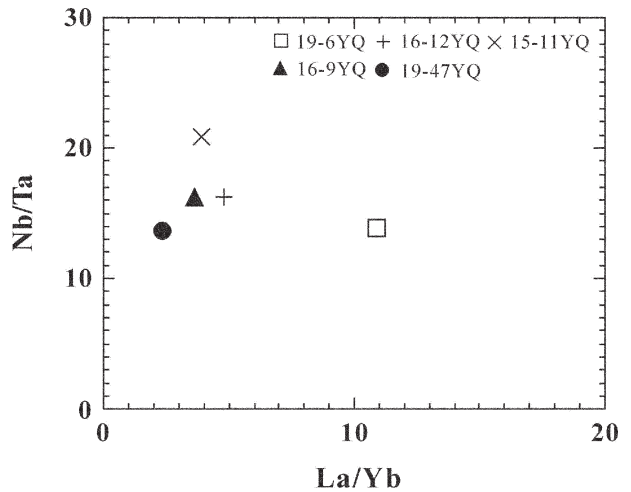


图 11 火山岩同化混染作用判别图解 Fig.11 Nb/Ta-La/Yb diagram of volcanic rocks

起的。鉴于 MgO 和 CaO 的含量有较大的变化范围，单斜辉石的分离结晶作用在岩浆演化中应该发挥了重要的作用^[16]。Fe₂O₃^T 和 TiO₂ 与 SiO₂ 之所以表现出反相关性是因为玄武岩浆演化时，铁钛氧化物是一种重要的分离相从而导致 Fe₂O₃^T 和 TiO₂ 的含量明显减少和 SiO₂ 含量明显增加。Al₂O₃ 与 SiO₂ 的反相关变化主要是受斜长石的晶出控制。

5.2 火山岩形成构造环境

在研究区西南角该套火山岩喷发不整合于下伏

的灰岩之上，同时大量发育的火山角砾岩及集块岩表明该火山活动应以陆相喷发为主。该套以钙碱性为主的火山岩大离子亲石元素 Rb、Th、U 相对富集，Nb、Ta 亏损明显。在 Ta/Hf-Th/Hf(图 13-a)和 Nb/Zr-Th/Zr 图解中(图 13-b)^[17-18]，样品点落于陆内裂谷玄武岩、大陆拉张带及初始裂谷玄武岩和陆缘岛弧及陆缘火山弧玄武岩区的结合部位，多数点在陆缘岛弧及陆缘火山弧玄武岩区域。上述特征表明该套火山岩形成于一种已经充分收缩的残余海盆。

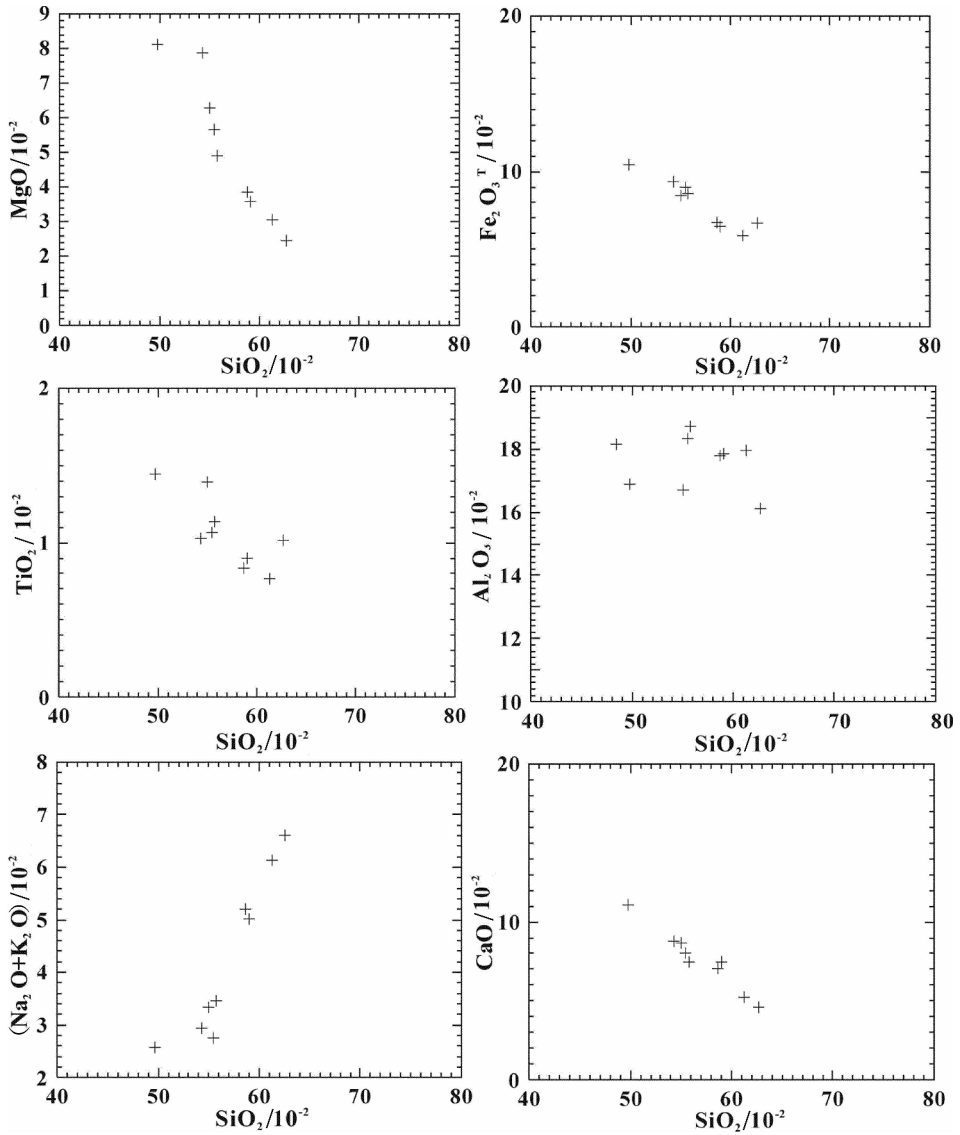


图 12 火山岩样品主要氧化物与二氧化硅变异图例
Fig.12 Variations of major oxides and SiO₂ of volcanic rocks

对北山裂谷(有限洋盆)由鼎盛期向消亡期转化的时间,即“拐点”出现的时间一直存在争议。一些学者认为早石炭世开始拉张,一直持续到早二叠世,中二叠世突然关闭。另外一些学者认为二叠纪初的又一次拉张是在晚石炭世短暂收缩的基础上发育的,至中二叠世又一次关闭。

从早二叠世火山岩的岩石化学特征来看其主体属于钙碱性系列,而碱性玄武岩分布较少。岩石组合主要是玄武安山岩、安山岩、玄武岩、火山角砾岩及火山凝灰岩,同时分布有相当数量的火山集块岩,活动方式以爆发相为主。另外在该套火山岩中碎屑岩分布

极其有限。显然这一结果都不支持上述两种认识。

火山岩微量元素地球化学特征显示其不具有板内的构造环境特征,而是具有陆缘火山弧或陆缘岛弧的特征,具有挤压动力学背景。上述两种观点也和这一结果不相吻合。

野外调查显示该套火山岩在区域上呈“团块状”分布,由若干个喷发活动中心所控制,与下伏的晚石炭世地层单元的构造线方向明显不一致。实测剖面上其下伏地层单元变形强烈,上覆的该套火山岩变形明显微弱,仅形成一些宽缓的向、背斜。这一特征说明下伏地层在上覆地层形成之前经历了一期较强

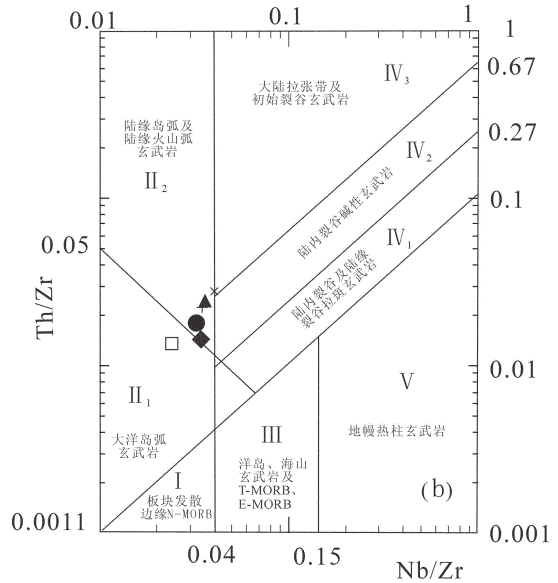
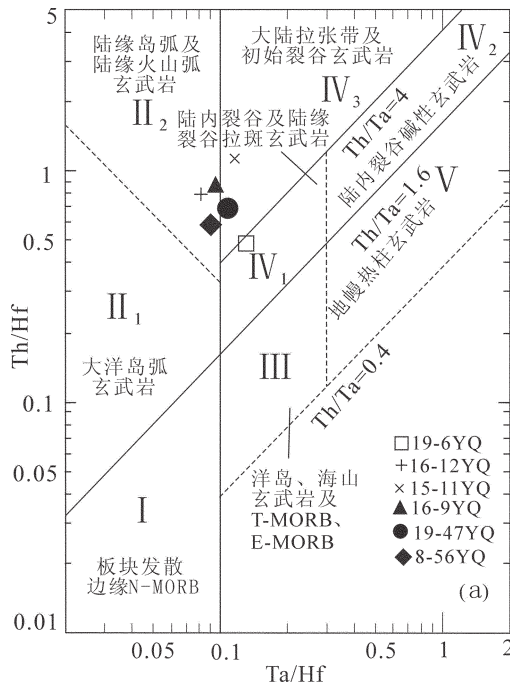


图 13 矛头山东玄武岩 Ta/Hf- Th/Hf(a) (底图据汪云亮,2001)及 Nb/Zr- Th/Zr(b)构造环境判别图解(底图据孙书勤,2003)

Fig.13 Ta/Hf- Th/Hf (a) (A after Wang, 2001) and Nb/Zr- Th/Zr (b) (B after Sun, 2003) tectonic setting discriminant diagram of basalts from eastern Maotoushan

烈的挤压作用,这与第一种观点截然相反。

对上述问题笔者更倾向于认为,北山构造带的挤压收缩开始于晚石炭世末至早二叠世早期其主体已经愈合,可能局部仍有残余海盆。早二叠世早期以后并不存在大规模的伸展拉张,其动力学背景继承了先期的挤压收缩特征,在这一时期北山的构造属性更与残余海盆的陆缘火山盆地相似,而不具有裂谷的特征。

北天山有限洋盆(或者裂谷)在二叠纪初处于关闭阶段,发育上叠型火山岩盆地^[19-20]。北山构造带在上述方面和北天山有限洋盆(或者裂谷)具有相似性。另外,北天山有限洋盆(或者裂谷)在石炭纪末发生大规模花岗岩侵入事件和二叠系不整合事件,这些地质事件在北山构造带也有相应的地质记录。相应的活动时限紧随于天山有限洋盆(或裂谷),也就是说存在迟滞。这种迟滞很有可能是天山聚敛造山作用由北向南顺次发展的表现。北山构造带很有可能与天山有限洋盆(或裂谷)的活动相互依存,当然这一问题尚需进一步探讨。

致谢:感谢新疆自治区 1:50 000 项目办公室的

资助!感谢新疆地矿局第一地质调查所及赵树铭总工的鼎力帮助,感谢郭华春高工给予的有益启发,感谢项目组成员在野外的相互协作!感谢北京离子探针中心简平研究员、石玉若博士及张维博士的悉心指导!感谢审稿专家的宝贵意见和建议!

参考文献 (References):

[1] 肖序常, 何国琦, 成守德, 等. 中国新疆及邻区大地构造图及说明书[M]. 北京:地质出版社, 2004:1-61.
Xiao Xuchang, He Guoqi, Cheng Shoude, et al. An Introduction to the Explanatory Text of the Map of Tectonics of Xinjiang and Its Neighbouting Areas [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2004:1-61(in Chinese).

[2] 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.
Chen Zhefu, Liang Yunhai. Polycyclic tectogenesis and plate movement of Xinjiang[J]. Xinjiang Geology,1991, 9(2):95-107(in Chinese with English abstract).

[3] 左国朝, 李绍雄. 塔里木盆地东北缘早古生代构造格局及演化[J]. 中国地质, 2011, 38(4): 946-960.
Zuo Guochao, Li Shaoxiong. Early Paleozoic tectonic framework and evolution in the northeast margin of Tarim Basin[J]. Geology in

- China, 2011, 38(4):946-960(in Chinese with English abstract).
- [4] 左国朝, 张淑玲, 何国琦, 等. 北山地区早古生代板块构造特征[J]. 地质科学, 1990, (4):305-314.
Zuo Guochao, Zhang Shuling, He Guoqi, et al. Early Paleozoic plate tectonics in Beishan area[J]. Chinese Journal of Geology, 1990, (4):305-314(in Chinese with English abstract).
- [5] 苏本勋, 秦克章, 孙赫, 等. 新疆北山地区红石山镁铁-超镁铁岩体的岩石矿物学特征:对同化混染和结晶分异过程的启示[J]. 岩石学报, 2009, 25(4):873-887.
Su Benxun, Qin Kezhang, Sun He, et al. Geophysical-chemical characteristics and ore potentiality of basic-ultrabasic rock belt in Bijiashan, Beishan[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(4):873-887 (in Chinese with English abstract).
- [6] 张良臣, 吴乃元. 天山地质构造演化史[J]. 新疆地质, 1985, 3(3):1-14.
Zhang Liangchen, Wu Naiyuan. The history of Tianshan tectonic evolution [J]. Xinjiang Geology, 1985, 3 (3):1-14 (in Chinese with English abstract).
- [7] 周济元, 崔炳芳, 肖惠良, 等. 甘新北山段裂谷演化及金矿成矿规律[J]. 火山地质与矿产, 2000, 21(1):7-17.
Zhou Jiyuan, Cui Bingfang, Xiao Huiliang, et al. The rift evolution and Au ore-forming regular in East part of Beishan, Gansu and Xinjiang [J]. Volcanology & Mineral Resources, 2000, 21(1):7-17 (in Chinese with English abstract).
- [8] 王洪亮, 何世平, 张二朋, 等. 中国天山-北山地区晚古生代岩石地层系统厘定及沉积环境分析 [J]. 地层学杂志, 2005, 29(S1):542-547.
Wang Hongliang, He Shiping, Zhang Erpeng, et al. Revision of the late Paleozoic lithostratigraphical system of the Tianshan and Beishan area [J]. Journal of Stratigraphy, 2005, 29 (S1):542-547(in Chinese with English abstract).
- [9] 李锦轶, 王可卓, 李文铅, 等. 东天山晚古生代以来大地构造与矿产勘查[J]. 新疆地质, 2002, 20(4):295-307.
Li Jinyi, Wang Kezhuo, Li Wenqian, et al. Tectonic evolution since the Late Paleozoic and mineral prospecting in Eastern Tianshan Mountains, NW China[J]. Xinjiang Geology, 2002, 20(4):295-307 (in Chinese with English abstract).
- [10] 宋彪, 张玉海, 万渝生. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊):26-30.
Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng. Mount making and procedure of the SHRIMP dating [J]. Geological Review, 2002, 48(Supp.):26-30(in Chinese with English abstract).
- [11] Thorpe R S, Francis P W, O'Callaghan L. Relative role of source compositions, fractional crystallization and crustal contamination in the petrogenesis of Andean volcanic rocks [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1984, A310:675-692.
- [12] Spera F J, Bohron W A. Open-system magma chamber evolution: An energy-constrained geochemical model incorporating the effects of concurrent eruption, recharge, variable assimilation and fractional crystallization (Ec-E'RA, FC) [J]. Journal of Petrology, 2004, 45(12):2459-2480.
- [13] Mevcdonald R, Rogers N W, Fitton J G. Plume-lithosphere interactions in the generaion of the basalts of the Kenya Rift, East Africa[J]. Journal of Petrology, 2001, 42:877-900.
- [14] Barker J A, Menzies M A, Thirlwall M F, et al. Petrogenesis of Quaternary intraplate volcanism, Sana'a Yemen: Implication and polybaric melt hybridization [J]. Journal of Petrology, 1997, 38:1359-1390.
- [15] Kimura J I, Manton W I, Sun C H, et al. Chemical diversity of the Ueno Basalts, Central Japan: Identification of mantle and crustal contributions to arc basalts [J]. Journal of Petrology, 2002, 43(1):1923-1946.
- [16] 姜常义, 夏明哲, 余旭, 等. 塔里木板块东北部柳园粗面玄武岩带: 软流圈地幔减压熔融的产物 [J]. 岩石学报, 2007, 23(7):1765-1778.
Jiang Changyi, Xia Mingzhe, Yu Xu, et al. Liuyuan trachybasalt belt in the northeastern Tarim Plate: Products of asthenosphere mantle decompressional melting [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 023(07):1765-1778(in Chinese with English abstract).
- [17] 汪云亮, 张成江, 修淑芝. 玄武岩形成的大地构造环境的 Th/Hf-Ta/Hf 图解判别[J]. 岩石学报, 2001, 17(3):413-421.
Wang Yunliang, Zhang Chengjiang, Xiu Shuzhi. Th/Hf-Ta/Hf identification of tectonic setting of basalts [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17(3):413-421(in Chinese with English abstract).
- [18] 孙书勤, 汪云亮, 张成江. 玄武岩类岩石大地构造环境的 Th、Nb、Zr 判别[J]. 地质论评, 2003, 49(1):40-47.
Sun Shuqin, Wang Yunliang, Zhang Chengjiang. Discrimination of the tectonic settings of basalts by Th, Nb and Zr [J]. Geological Review, 2003, 49(1):40-47(in Chinese with English abstract).
- [19] 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.
Li Jinyi, Wang Kezhuo, Li Yaping, et al. Geomorphological features, crustal composition and geological evolution of the Tianshan Mountains[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(8):895-909(in Chinese with English abstract).
- [20] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 天山及临区石炭纪—早二叠世裂谷火山岩岩石成因[J]. 西北地质, 2008, 41(4):1-68.
Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi, et al. Petrogenesis of Carboniferous-early Permian rift-related volcanic rocks in the Tianshan and its neighboring areas, northwestern China [J]. Northwestern Geology, 2008, 41(4):1-68(in Chinese with English abstract).

Redetermination of the volcanic eruption time and analysis of geochemical characteristics of volcanic rocks in eastern Maotoushan of Beishan area, Xinjiang

LI Yu-hang^{1,2}, YANG Xing-ke³, WANG Qing-liang¹, CUI Du-xin¹, JI Ling-yun¹, HAO Ming¹

(1. *Second Crust Monitoring and Application Center, CEA, Xi'an 710054, Shaanxi, China*; 2. *Institute of Geology, CEA, Beijing 100029, China*; 3. *Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China*)

Abstract: The field geological features, petrology, litho-geochemistry and high degree of accuracy isotope chronology of volcanic rocks in eastern Maotoushan of Beishan area, Xinjiang, are discussed in this paper. The rock association of this area is composed of basalt, basaltic andesite, andesite and tuff with the same components. U-Pb isotope SHRIMP dating shows that the eruption time of volcanic rocks should be Lower Permian. The volcanic rocks are of the calc-alkaline series. No obvious REE fractionation and clear negative Eu anomalies are observed, and there exist enrichment of Rb, Th and U, slightly fluctuation of Ba, Sr, and loss of Nb, Ta. An integrated analysis led the authors to believe that the early Permian volcanic rocks were formed in a fully shrunk residual sea basin environment, and the structural attributes at that time were similar to features of the epicontinental volcanic basin of the residual sea basin instead of having the characteristics of the rift.

Key words: Beishan area in Xinjiang; Lower Permian; geochemistry; SHRIMP dating; tectonic evolution

About the first author: LI Yu-hang, male, born in 1981, doctor candidate, engages in the study of regional geological survey and active tectonics; E-mail: liyuhangdz@163.com.