

青海鄂拉山地区陆相火山岩地球化学特征及构造环境

李永祥¹, 李善平², 王树林², 王磊³, 商健³, 张志青², 赵海霞²

(1. 青海省第八矿产勘查院, 青海 西宁 810001; 2. 青海省地质调查院, 青海省青藏高原北部地质过程与矿产资源重点实验室, 青海 西宁 810012; 3. 青海省第五矿产勘查院, 青海 西宁 810001)

摘 要: 鄂拉山岩浆岩带晚三叠世火山岩为中-中酸性火山岩组合, 由玄武安山岩、安山岩、英安岩、流纹岩及少量火山碎屑岩等组成, 岩石蚀变强烈, 成层性差, 柱状节理发育, 具典型的陆相喷发特点。火山岩属铝饱和类型, 里特曼指数(δ)及岩石学等显示具钙碱性特征, (FeO/MgO) 、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 显示可能具有陆缘岛弧环境的特性; 轻稀土元素分馏程度高且富集, δEu 小于1, 为弱负异常, 稀土元素配分模式曲线与岛弧型稀土元素配分模式图相似; 微量元素 Rb、Ba、Th 等元素明显富集, 而 Ti、Y、Yb、Sc、Cr 等元素较亏损。Nb/Zr、La/Nb、Th/Ta、 $\text{Th} \times \text{Ta}/\text{Hf}^2$ 等特征反映鄂拉山组火山岩产于陆缘火山弧环境。结合区域地质背景、岩石地球化学及构造环境等特征, 认为鄂拉山地区晚三叠世火山岩产于大陆碰撞与陆缘弧并存的环境。

关键词: 鄂拉山岩浆岩带; 陆相火山岩; 陆陆碰撞; 陆缘弧

中图分类号: P59

文献标识码: A

鄂拉山地区具有内部结构复杂、多旋回发展演化的特点, 是中国西部重要的构造结之一(孙延贵等, 2001), 也是青海重要的多金属矿集区之一(宋治杰等, 1995; 张培青, 2007)。对处于柴达木盆地东南缘及西秦岭之间的鄂拉山岩浆岩带构造属性历来具有不同认识, 孙延贵等(2001)认为鄂拉山岩浆岩带系东昆仑东段在物质组成及结构相对独立的构造单元; 古风宝等(1996)认为鄂拉山是在晚奥陶世时, 柴达木地块周边发生裂陷而形成的环柴达木裂陷槽的东边边缘部分; 徐强等(2003)认为鄂拉山具有陆缘火山弧的特征; 鄂拉山火山陆缘弧是三叠纪时发育在柴达木东缘, 张裂带具喷溢钙碱性陆相火山岩特征(潘桂棠等, 1997)。笔者根据鄂拉山地区广泛出露的中-中酸性火山岩为研究对象, 对其地球化学特征进行详细研究, 将为鄂拉

山岩浆岩带构造属性提供重要的岩石地球化学证据。

1 区域地质概况

鄂拉山地区位于东昆仑、西秦岭、南祁连造山带和柴达木地块交汇部位(图1), 是不同构造单元之间相互作用、构造强烈叠加的地带。其经历了前寒武、加里东和华力西—印支期等不同时期构造转换和多旋回构造阶段演化, 发育了多期不同构造属性的沉积建造、岩浆活动和多期变质变形作用, 是中国西部重要的构造结之一。

鄂拉山岩浆带以北北西向的温泉断裂为界, 东侧以晚三叠世陆相火山岩为主, 西侧以广泛发育的与火山活动同期的深成侵入体为特征(潘桂棠等,

收稿日期: 2011-04-12; 修回日期: 2011-05-20

基金项目: 青海省科技计划项目(2009-G-119)

作者简介: 李永祥(1961-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事区域地质调查及矿床研究工作。E-mail: qhjlyx@163.com

1997)。火山岩与深成岩体的同位素年龄几乎一致,两者保持着明显的侵入接触关系,即深成岩侵入到同期喷出岩中,这种现象构成柴达木地块东缘鄂拉山岩浆带的独特时空结构。

出露地层除第四系以外以三叠系为主,其次为二叠系。其中,下二叠统为一套浅变质海相碎屑岩,中三叠统为一套含火山物质的浅海-滨海相复理石建造,由砂板岩夹灰岩、火山岩和火山碎屑岩

组成,主要分布于索妥加洋和索拉沟一带。上三叠统以陆相中酸性火山岩为主,主要分布于虎达、优龙、柔龙、在日沟和德亥龙等地区。

断裂构造以北北西向的鄂拉山断裂带为主体,具有长期活动的特征。断裂以西为中酸性、酸性侵入岩,广泛分布在鄂拉山岩浆岩带中,以东则为河卡山前陆逆冲断裂带,总体构成北北西向的构造岩浆岩带。

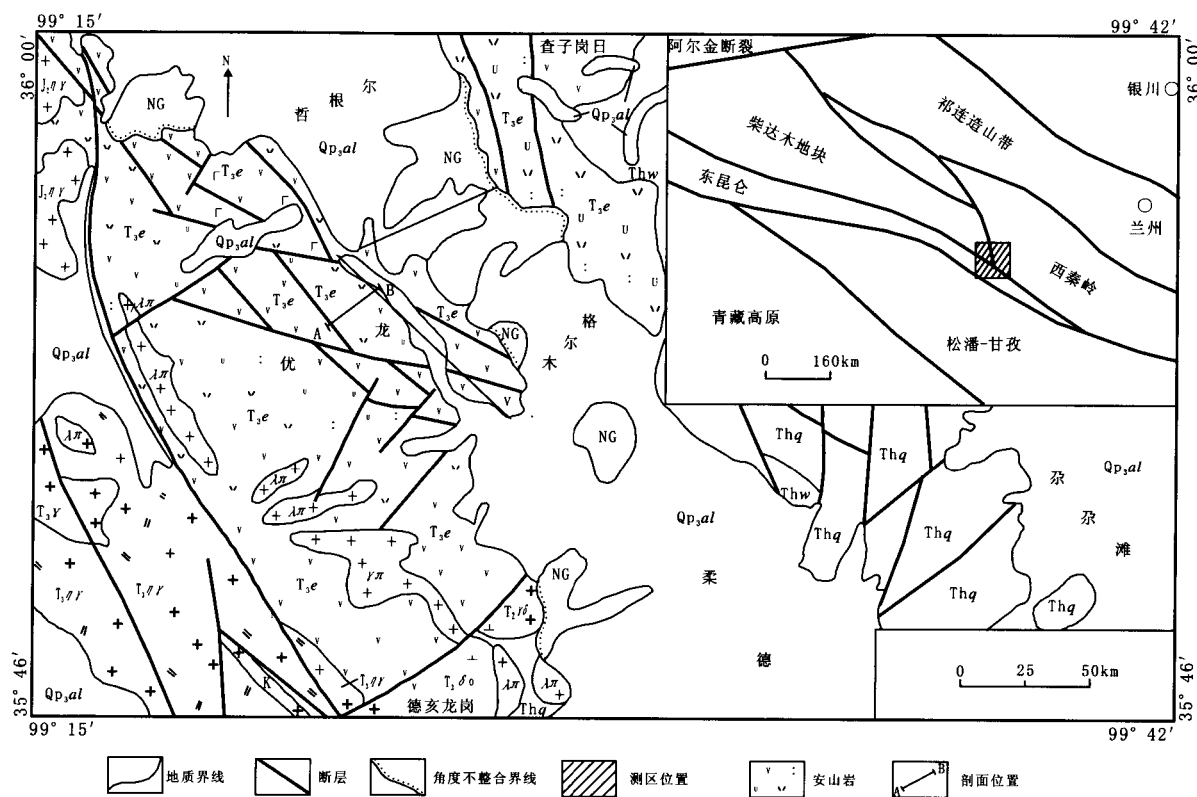


图1 鄂拉山地区地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of the Elashan area

THq. 三叠系洪水川群石英砂岩; THw. 三叠系洪水川群风暴岩; T₂γδ. 中三叠世花岗闪长岩; T₃γo. 晚三叠世石英花岗岩; T₃e. 晚三叠世鄂拉山群; T₃γγ. 晚三叠世二长花岗岩; T₃γ. 晚三叠世花岗岩; T₃δo. 晚三叠世石英闪长岩; J₂γγ. 中侏罗世二长花岗岩; NG. 新近纪贵德群; λπ. 钾长花岗岩; γπ. 花岗斑岩; QP_{al}. 晚更新世冲积

研究区岩浆活动强烈,加里东期到燕山期侵入岩沿断裂带大量出露,尤以三叠纪中酸性侵入岩广泛出露为特征。其中,火山岩主要赋存在上三叠统鄂拉山组中,为一套中基性、中性、中酸性火山碎屑岩和熔岩组成的杂色火山岩系。岩石类型有安山岩、玄武安山岩、安山质凝灰熔岩、英安岩、流纹英安岩、流纹岩、流纹质凝灰熔岩和流纹质火山角砾集块岩等,岩性岩相变化大,蚀变强烈。岩石成层性差,柱状节理发育,具典型的陆相喷发特点。

火山岩地层呈北北西向展布于鄂拉山一带,是鄂拉山岩浆岩带的重要组成部分。其下与洪水川群呈角度不整合接触,其上与古近一新近系贵德群及下白垩统呈角度不整合接触,局部与晚三叠世侵入岩体呈断层接触(图1)。空间上具由西一东、由熔岩向火山碎屑岩变化的特征。

陆相火山岩主要分布于青根河上游优龙、哲格龙、拉龙卡鲁等地。在优龙地区出露的火山岩具明显的喷发韵律层(图2),由4个爆发-溢流相火山

岩带在该套火山岩系中获得了多个 K-Ar 同位素年龄, 均在 210~240 Ma (张智勇等, 2001), 而此次在合日桑可见该套火山岩不整合于拉丁期—卡尼期合日桑泥岩之上。因此, 将该火山岩系时代归属为晚三叠世中—晚期为宜。

2 岩石学特征

前已述及, 火山岩由玄武安山岩、安山岩、英安岩、流纹英安岩、石英安山岩、英安质凝灰熔岩、流纹岩和流纹质火山角砾集块岩等组成。岩石蚀变强烈, 普遍具绿泥石化和绿帘石化和碳酸盐化等。

2.1 熔岩类

玄武安山岩: 深灰绿色, 块状、杏仁状构造发育, 杏仁由绿泥石组成。斑状结构, 斑晶主要由斜长石、普通角闪石、普通辉石组成, 斑晶含量为 2%~7%, 斜长石具聚片双晶, 正环带结构。基质为玻晶交织结构, 主要由钠长石、绿泥石、绿帘石和少量石英、赤铁矿组成, 矿物定向排列形成片理。

安山岩: 灰绿色, 斑状结构, 基质具交织结构, 块状构造。斑晶含量为 40%±, 由斜长石、石英、普通辉石和黑云母组成。斜长石呈自形板状, 具环带结构, 多为绢云母、黝帘石交代。石英呈半自形粒状, 具熔蚀现象。普通辉石呈自形粒状, 具暗化边, 多被绿泥石交代, 仅保留假象。黑云母呈板状, 具揉曲现象, 不均匀分布, 多被绿泥石交代。基质含量为 60%±, 由斜长石、绿泥石和磁铁矿组成。其中, 斜长石呈细长柱状微晶半平行排列, 绿泥石呈鳞片状不均匀分布其空隙中。

流纹岩: 灰白色、浅黄色、肉红色, 斑状结

构、球粒包含结构, 基质具微粒状结构, 流纹构造。斑晶含量 5%±, 由石英、更长石、正长石和黑云母组成。石英呈自形粒状, 具熔蚀现象。更长石呈自形板状, 发育聚片双晶, $An=26\sim 27$, 具弱的高岭土化、碳酸盐化。正长石呈自形板状, 具高岭土化、碳酸盐化。黑云母呈板状晶, 具暗化边, 多被白云母交代。基质由更长石、石英、绢云母和磁铁矿组成, 含量为 95%±。

英安岩: 浅灰—灰褐色块状, 斑状结构, 斑晶主要由斜长石及少量石英及暗色矿物等组成, 含量为 16%~25%, 粒径一般为 1~1.6 mm。基质由长英质微晶组成, 呈微粒镶嵌结构或鳞片花岗岩变晶结构, 片状构造, 斜长石已绢云母化、绿帘石化, 基质由长石、石英相互嵌生组成。

2.2 火山碎屑岩类

由英安质、流纹质凝灰熔岩组成, 局部见少量安山质凝灰熔岩。

英安质凝灰熔岩: 常与流纹质凝灰熔岩相伴产出, 灰色—紫红色块状, 斑状结构、晶屑岩屑凝灰结构。斑晶为石英、斜长石和钾长石, 石英具熔蚀。基质为隐晶质结构。

流纹质凝灰熔岩: 灰紫色块状, 斑状结构, 晶屑岩屑凝灰结构, 基质隐晶质结构、角砾结构。流动构造发育。岩石由斑晶、基质和凝灰质组成。

3 岩石地球化学特征

3.1 岩石化学

据火山岩岩石化学成分 (表 1) 及特征参数, 安山岩类 SiO_2 含量为 51.91%~62.04%, 平均

表 1 鄂拉山组火山岩岩石化学含量表 ($w_B/\times 10^{-2}$)

Tab. 1 Petrochemical composition of volcanic rocks in Elashan Formation ($w_B/\times 10^{-2}$)

样品名称	岩石名称	岩石化学成分													
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	LOS	Σ
98VGS0011-8	玄武安山岩	51.71	1.69	16.53	3.53	6.14	0.11	5.53	9.30	2.40	0.55	0.21	0.22	1.21	99.61
98VGS0011-5	玄武安山岩	52.52	1.34	17.06	3.05	5.67	0.17	4.78	7.45	2.90	1.00	0.19	0.42	2.81	99.37
97VGS0003-1	安山岩	61.98	0.82	17.03	2.41	3.28	0.091	2.41	4.70	3.29	3.18	0.20	0.52	0.91	99.91
98VGS0011-1	英安岩	70.02	0.39	15.62	1.78	9.60	0.021	0.61	1.80	3.25	3.90	0.05	0.10	1.27	99.68
(I-B) P ₁₂ GS1-1	英安岩	69.95	0.20	14.58	1.06	1.98	0.07	0.76	2.31	4.05	3.73	0.04	0.07	1.62	100.42
98VGS4227-1	英安岩	73.18	0.19	13.82	1.03	1.37	0.066	1.83	2.35	2.04	2.66	0.049	0.17	1.45	100.19
98VGS1229-1	流纹岩	77.00	0.07	12.58	0.58	0.54	0.05	0.43	0.30	2.70	5.00	0.022	0.20	0.92	100.25
97VGS0002-1	流纹岩	74.93	0.14	13.07	0.48	1.15	0.014	0.44	0.25	2.80	4.10	0.009	0.73	1.29	99.41
98VGS4228	流纹岩	73.23	0.50	13.49	0.61	1.30	0.063	1.01	0.70	3.68	4.40	0.046	0.11	0.97	99.84

注: 由西安综合岩矿测试中心测试。

55.60%, $w(\text{TiO}_2) = 0.82\% \sim 1.70\%$, 平均 9%, Alk 为 2.96% ~ 6.47%, Al_2O_3 平均含量为 16.94%。而钙碱性安山岩是岛弧与活动大陆边缘的特征性火山岩(金性春, 1984)。英安岩 $w(\text{SiO}_2) = 69.66\% \sim 73.04\%$, 平均为 70.98%, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 平均为 14.66%, Alk 为 4.69% ~ 7.74%, 平均为 6.53。流纹岩类 SiO_2 含量为 73.35% ~ 76.81%, 平均为 75.18%, Alk 平均为 7.57%, $w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 12.55\% \sim 13.51\%$, 平均 13.07%。安山岩类、英安岩及流纹岩具 $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}$, 均属铝过饱和类型, 火山岩里特曼岩指数(δ)一般在 0.73 ~ 2.25, 平均为 1.66, 属钙碱性岩石系列。固结指数(SI)平均为 13.72, 随 SiO_2 含量增高固

结指数(SI)具递减趋势, 表明经历了强烈的结晶分异作用(林景仟, 1995; 莫宣学, 1998)。活动陆缘中 $w(\text{SiO}_2) = 56\% \sim 75\%$, $(\text{FeO}/\text{MgO}) > 2.0$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 0.6$; 岛弧 $w(\text{SiO}_2) = 50\% \sim 66\%$, $(\text{FeO}/\text{MgO}) < 2.0$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} < 0.6$ (邱家骧, 1991), 而研究区 SiO_2 含量在 51.91% ~ 76.81%, (FeO/MgO) 多数为 0.75 ~ 2.63, 平均 1.52, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 一般在 0.23 ~ 1.85, 平均 1.05。在 SiO_2 -Alk 图(图 3)中, 火山岩成分投影点均落入亚碱性系列区。在 AFM 图解(图 4)中, 各点位于钙碱性系列区。而在区域上, 鄂拉山岩浆岩带为碰撞造山带的产物, 暗示可能具有活动陆缘环境的特性。

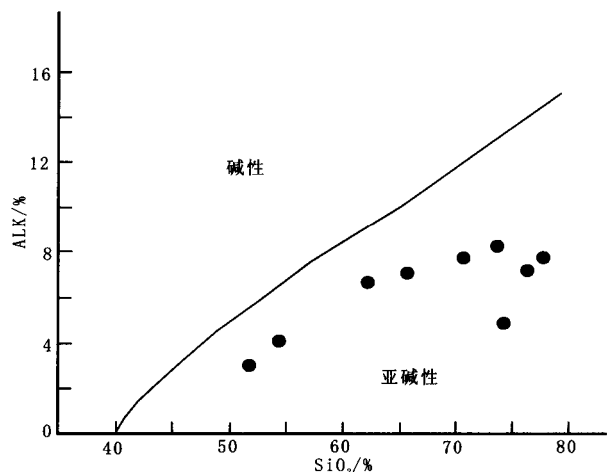


图3 火山岩硅碱图

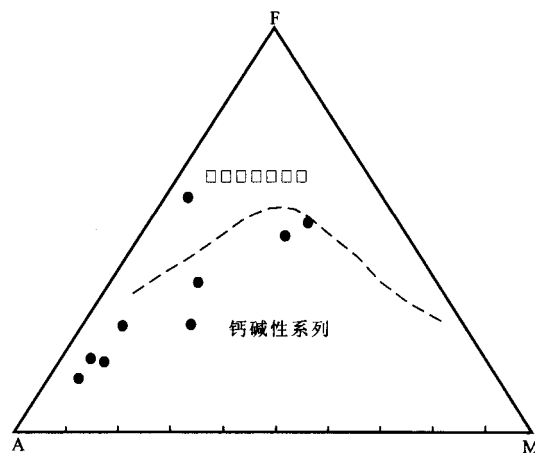
Fig. 3 SiO_2 -ALK diagram of volcanic rocks

图4 火山岩 AFM 图

Fig. 4 AFM diagram of volcanic rocks

3.2 稀土元素

据火山岩稀土元素含量(表 2)及特征参数, ΣREE 多数在 $101.24 \times 10^{-6} \sim 254.41 \times 10^{-6}$, 平均为 135.77×10^{-6} , 介于上、下地壳稀土总量平均值之间。LREE/HREE 值多数在 5.14 ~ 16.78, 平均为 8.76, $(\text{La}/\text{Sm})_N = 1.79 \sim 7.96$, 多数比值大于 3.02。 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N = 1.01 \sim 2.20$, 平均为 1.59, 表明轻稀土元素分馏程度高且较富集。大离子亲石元素配分型式与高喜马拉雅淡色花岗岩相似(孙延贵等, 2001), 具有陆内造山作用的岩石学特征。 δEu 多数在 0.37 ~ 1.03, 平均为 0.69, 仅个别大于 1, 多数显示为弱负异常, 稀土元素配分模式曲线(图 5)呈平缓右倾的轻稀土元素富集型,

与岛弧型稀土元素配分模式图相似(杨学明等, 2000)。

3.3 微量元素

火山岩微量元素见表 3, 岩石中 K、Rb、Ba、Th 等元素明显富集, Ta、Nb、Ce、Hf 等元素相对富集, 在火山岩微量元素蛛网图(图 6)显示, Rb、Ba、Th 元素呈‘单隆起’型特征, 呈现强烈富集, 而 Ti、Y、Yb、Sc、Cr 等元素较亏损。在陆-陆碰撞、陆内俯冲环境形成的高钾玄武岩中, 其 $\text{Nb}/\text{Zr} > 0.04$, $\text{La}/\text{Nb} > 2.00$ (武莉娜等, 2003), 而研究区内火山岩的 Nb/Zr 多数在 0.056 ~ 0.279, 平均为 0.106。 La/Nb 在 1.74 ~ 5.12, 平均为 2.52, 这与晚三叠世时西秦岭造山带与东

表2 鄂拉山组火山岩稀土元素含量表 ($w_B/\times 10^{-6}$)Tab. 2 REE elements composition of volcanic rocks in Elashan Formation ($w_B/\times 10^{-6}$)

样品名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
98VXT0011-8	15.69	37.30	3.06	14.74	3.71	1.27	3.74	0.52	3.41	0.75	1.88	0.27	1.56	0.29	17.90
98VXT0011-5	20.96	38.21	3.95	18.65	4.36	1.20	4.33	0.61	3.85	0.77	2.06	0.30	1.69	0.30	18.69
97VXT0003-1	41.34	72.91	7.92	28.01	5.37	1.22	4.03	0.60	3.59	0.71	1.91	0.24	1.73	0.30	19.05
98VXT0011-1	71.71	117.30	9.30	33.46	5.67	1.40	4.00	0.63	4.29	0.91	2.61	0.38	2.37	0.38	23.68
(I-B) ₁₂ XT1-1	40.72	68.08	8.85	27.35	4.07	0.60	2.85	0.42	2.15	0.50	1.26	0.20	1.35	0.19	11.19
98VXT4227-1	34.99	54.09	4.97	19.46	3.59	0.81	4.09	0.62	4.10	0.86	2.73	0.46	2.64	0.39	23.06
98VXT1229-1	36.69	60.99	5.32	19.61	3.31	0.42	3.57	0.52	3.18	0.66	1.99	0.30	2.05	0.32	16.11
97VXT0002-1	32.17	49.55	5.08	16.77	3.63	0.50	3.53	0.54	3.19	0.71	2.12	0.32	2.21	0.36	20.19
98VXT4228	42.65	66.64	6.03	23.58	4.40	0.89	5.26	0.82	4.68	1.00	3.10	0.45	3.01	0.46	26.69

注: 由西安综合岩矿测试中心测试。

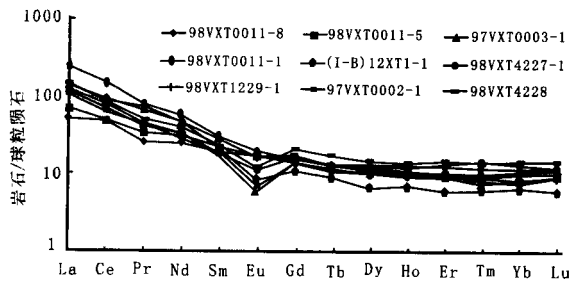


图5 鄂拉山地区火山岩REE分布图

Fig. 5 REE distribution diagram from Elashan area volcanic rocks

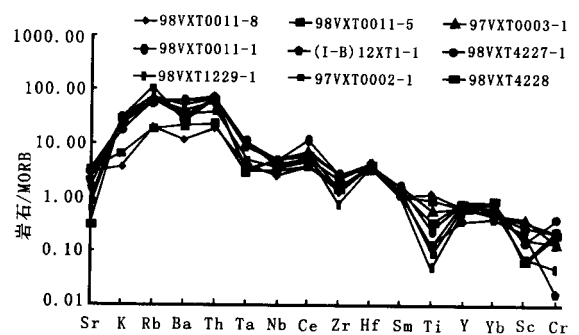


图6 鄂拉山地区火山岩微量元素蛛网图

Fig. 6 MORB-normalized trace elements spidergram

表3 鄂拉山组火山岩微量元素含量表 ($w_B/\times 10^{-6}$)Tab. 3 Trace elements composition of volcanic rocks in Elashan Formation ($w_B/\times 10^{-6}$)

样品号	Ba	Cs	Nb	Zr	Y	Sr	U	Rb	Th	Bi
98VDY0011-8	241	8.0	9.0	117	19	347	0.8	42	4.0	0.07
98VDY0011-5	461	8.0	11.0	151	19	397	0.7	39	5.0	0.05
97VDY0003-1	638	6.0	18.0	235	25	376	3.1	141	14.0	0.09
98VDY0011-1	1379	9.0	14.0	250	26	185	3.8	109	15.0	0.26
(I-B) P ₁₂ DY1-1	1360	8.0	17.3	229	24	250	3.6	120	14.0	0.31
98VDY4227-1	814	9.0	14.0	183	29	337	3.5	133	12.0	0.35
97VDY0002-1	1099	7.0	19.0	68	18	73	3.8	162	14.0	0.13
98VDY4228	743	9.0	13.0	143	27	99	3.1	135	8.0	0.11
98VDY1229-1	551	9.0	18.0	124	36	37	5.1	235	14.0	0.07
样品号	Hf	Cr	V	Ti	Ta	Sc	Be	Co	Ni	Li
98VDY0011-8	8.0	55.0	195	6995	0.72	15.00	1.42	29.0	14.0	16.2
98VDY0011-5	9.0	56.0	185	6771	0.56	12.00	1.28	26.0	7.0	39.2
97VDY0003-1	8.0	34.0	119	5062	2.00	17.00	2.80	19.0	13.1	31.4
98VDY0011-1	10.0	36.0	12	1553	0.59	7.00	3.74	7.0	6.0	10.5
(I-B) P ₁₂ DY1-1	9.0	4.2	13	1339	1.56	9.00	0.30	9.0	8.0	19.0
98VDY4227-1	10.0	102.0	11	1201	2.10	6.00	4.38	7.0	9.0	17.0
97VDY0002-1	9.0	12.0	13	558	2.10	3.00	3.40	3.4	3.0	5.6
98VDY4228	10.0	65.0	13	1436	0.90	2.78	3.74	7.0	8.0	7.9
98VDY1229-1	10.0	50.0	14	587	0.60	2.39	3.92	4.0	11.0	6.9

注: 由西安综合岩矿测试中心测试。

昆仑造山带相互碰撞并导致鄂拉山岩浆岩带的产生相一致(孙延贵等, 2001)。汪云亮等(2001)认为岛弧玄武岩的 $\text{Th}/\text{Ta} > 1.6$, $\text{Ta}/\text{Hf} < 0.1$, 陆缘火山弧玄武岩的 $\text{Th} \times \text{Ta}/\text{Hf}^2 > 0.035$, 而研究区微量元素 Th/Ta 值均大于 5.56。Ta/Hf 值在 0.06~0.23, 平均为 0.14。Th $\times$ Ta/Hf² 值介于 0.035~0.36, 平均为 0.18, 远大于 0.035, 反映鄂拉山组火山岩产于陆缘火山弧环境。

4 构造环境

鄂拉山次级造山带是东昆仑造山带与西秦岭造山带侧向碰撞挤压的产物(孙延贵等, 2001), 晚三叠世在北西—南东向挤压应力场作用下, 鄂拉山沉积盆地闭合, 应力的持续导致地壳增厚, 中、下地壳发生部分熔融, 形成的一系列北西—南东向张性裂隙, 并与北北西向断裂交汇的薄弱部分喷出地

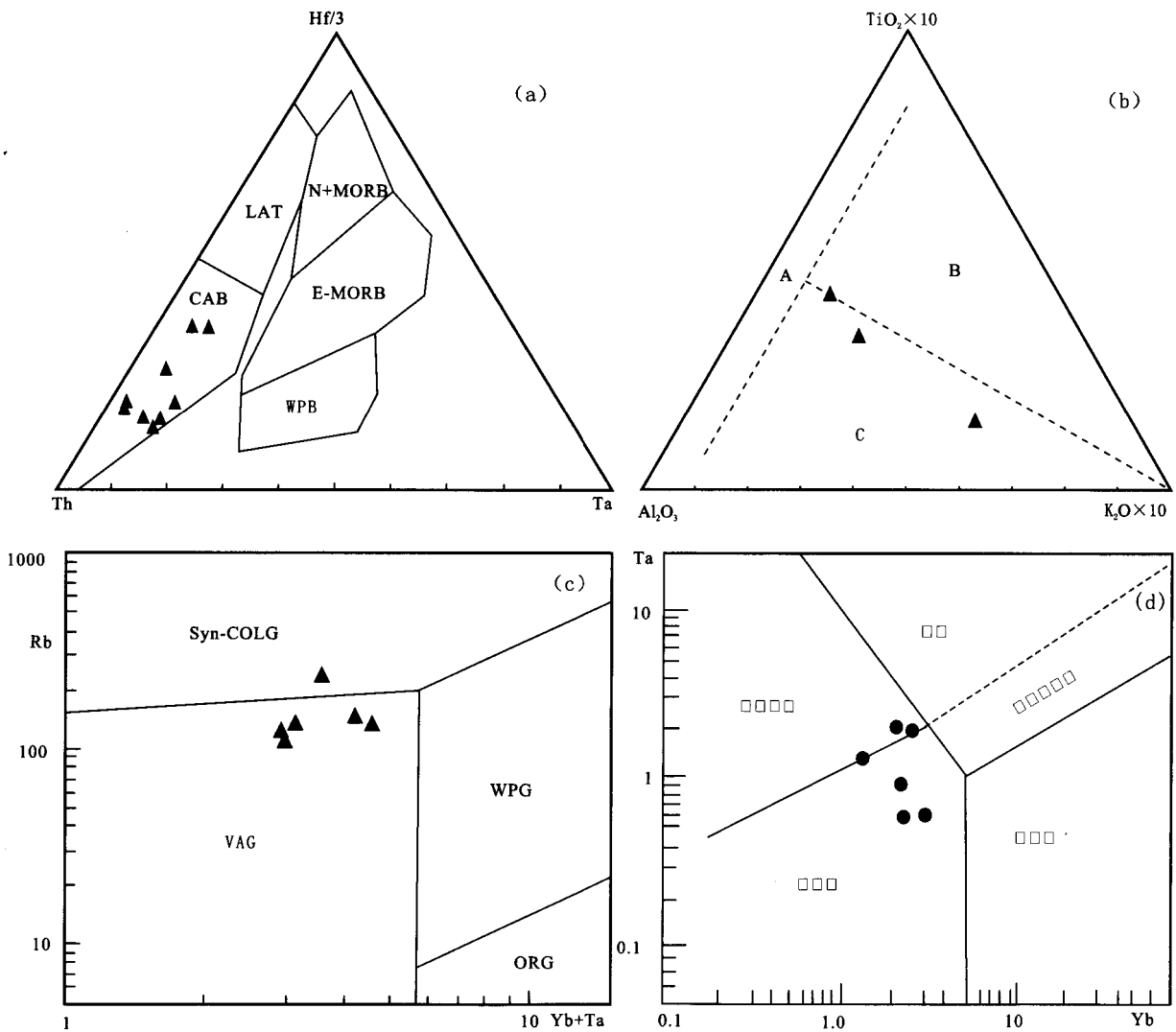


图7 火山岩构造环境判别图

Fig. 7 Tectonic environment discrimination diagram of volcanic rocks

- a. Hf/3-Th-Ta 判别图解(据 Wood, 1980); N-MORB. N型洋底玄武岩; E-MORB. E型洋底玄武岩; WPB. 碱性板内玄武岩; LAT+CAB. 火山弧玄武岩; LAT. 岛弧拉斑玄武岩; CAB. 钙碱性玄武岩; b. $\text{TiO}_2 \times 10$ - Al_2O_3 - $\text{K}_2\text{O} \times 10$ 图解; A. 大洋玄武岩区; B. 大陆裂谷型玄武岩区、安山岩区; C. 岛弧型玄武岩、安山岩区。c. 酸性火山岩 Rb-Yb+Ta 图解(据 Pearce J A, et al. 1984); VAG. 火山弧花岗岩; Syn. COLG 为同碰撞花岗岩; WPG 为板内花岗岩; ORG 为洋脊花岗岩; d. 酸性火山岩 Ta-Yb 图解(据 Pearce J A, et al. 1984)

表。强烈的左行斜冲产生的拉张使张性裂隙进一步扩大,为裂隙式火山喷发提供了空间和通道。

在任何岛弧玄武岩中,低 Nb 和高 Ba 异常是最突出和最稳定的地球化学特征(赵枕华,1997),由于 Nb、La、Ba、Th、Ta、Hf 等元素受到海水蚀变时相对比较稳定(李昌年,1992;孙书勤等,2003)。因此,火山岩微量元素的特征是研究构造属性的有效途径之一。将火山岩样品投在 Hf/3-Th-Ta 判别图解(Wood DA,1980)(图 7-a),所有样品均落在火山弧钙碱性玄武岩区。将玄武岩、安山岩投在 $\text{TiO}_2 \times 10 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O} \times 10$ 图解(图 7-b)中,样品落在岛弧型玄武岩、安山岩区。上述两个判别图解显示,由玄武岩、安山岩、英安岩及流纹岩等组成的基性-中性-酸性火山岩组合具有岛弧钙碱性系列的特征。为进一步检验岛弧钙碱性火山岩的构造属性,将长英质岩类样品投在酸性火山岩 Rb-Yb+Ta 图(Pearce J A, et al. 1984)(图 7-c)中,多数样品落在火山弧区,且均靠近同碰撞带区,一个样品落在同碰撞带区,暗示具碰撞性弧火山岩的亲缘性。在酸性火山岩 Ta-Yb 图解(Pearce J A, et al. 1984)(图 7-d)中,反映结果与火山岩 Rb-Yb+Ta 图解相类似,区域上鄂拉山岩浆岩带形成于西秦岭与东昆仑地块陆-陆碰撞造山的动力学背景下,鄂拉山组火山岩属后碰撞构造环境的产物(张雪亭等,2007),地球化学特性进一步验证了鄂拉山岩浆岩带为同碰撞造山作用的产物。

综上所述,据研究区火山岩的岩石化学与微量元素等特征及判别图解,鄂拉山组火山岩样品多集中分布,且具相同或相近的地球化学特征,结合区域地质及岩石地球化学特征,表明晚三叠世鄂拉山组火山岩为西秦岭地块和柴达木地块间相互碰撞发生陆内造山作用的产物,并发育钙碱性弧火山岩。

5 结语

(1) 研究区位于东昆仑、西秦岭、南祁连造山带和柴达木地块交汇部位,具有内部结构复杂、多旋回发展演化的特点。岩浆活动强烈,加里东期到燕山期侵入岩沿断裂带大量出露,尤以三叠纪中酸性侵入岩广泛出露为特征。其中,火山岩主要赋存在上三叠统鄂拉山组中,为一套中基性、中性、中

酸性火山碎屑岩和熔岩组成的杂色火山岩系,岩石成层性差,柱状节理发育,具典型的陆相喷发特点。

(2) 据安山岩、英安岩及流纹岩岩石化学特征,均属铝过饱和类型,具钙碱性系列,系陆缘弧环境的产物。 δEu 值随 SiO_2 含量增高递减,轻、重稀土间分馏程度稀土配分曲线均为右倾富集型,且从中性至中酸性岩类曲线斜率增大,负 Eu 异常增强,显示具壳源性物质特征,各曲线近于一致,为同源岩浆产物。微量元素 Nb/Zr、La/Nb、Th $\times$ Ta/Hf² 等特征与陆缘弧环境相似,反映鄂拉山组火山岩产于陆缘火山弧环境。

参考文献 (References):

- 孙延贵,张国伟,郑健康,等.柴达木地块东南缘岩浆弧(带)形成的动力学背景[J].华南地质与矿产,2001,(4):16-22.
- Sun Y. G., Zhang G. W., Zheng J. K., et al. Analysis of dynamic backgrounds of magmatic arc in the southeastern margin of qaidam massif [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2001, (4): 16-22 (in Chinese with English abstract).
- 宋治杰,张汉文,李文明,等.青海鄂拉山地区铜多金属矿床的成矿条件及成矿模式[J].西北地质科学,1995,16(1):134-144.
- Song Z. J., Zhang H. W., Li W. M., et al. Metallogenic conditions and model of copper-multi-metal deposits in ngola shan region, Qinghai province [J]. Northwest Geoscience, 1995, 16(1): 134-144 (in Chinese with English abstract).
- 张培青.青海省索拉沟铜多金属矿床成矿模式探讨[J].青海国土经略,2007,(6):31-33.
- Zhang P. Q. Investigation for Cu mineralization deposit model of Suola river area, Qinghai [J]. Qinghai land by slightly, 2007, (6): 31-33 (in Chinese with English abstract).
- 古凤宝,吴向农,姜常义.东昆仑华力西-印支期花岗岩组合及构造环境[J].青海地质,1996,(1):18-30.
- Gu F. B., Wu X. N., Jiang C. Y. Granite Portfolio and Tectonic environment of Variscan-Indo period in eastern Kunlun area [J]. Qinghai Geology, 1996, (1): 18-30 (in Chinese with English abstract).
- 徐强,潘桂棠,江新胜.松潘-甘孜带:是弧前增生还是弧后消减[J].矿物岩石,2003,6(2):27-31.

- Xu Q., Pan G. T., Jiang X. S. Songpan-ganze belt: forearc accretion or backarc collapsing [J]. *J. Mineral Petrol.*, 2003, 6 (2): 27-31 (in Chinese with English abstract).
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等. 东特提斯地质构造形成演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- Pan G. T., Chen Z. L., Li X. Z., et al. Eastern Tethyan tectonic evolution [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1997.
- 孙延贵, 田琪, 王青海. 西秦岭与东昆仑的侧向碰撞—与造山 [J]. *青海地质*, 2001, 18: 18-15.
- Sun Y. G., Tian Q., Wang Q. H. Lateral collision and orogeny of west Qinling and east Kunlun [J]. *Qinghai Geology*, 2001, 18: 18-15 (in Chinese with English abstract).
- 周光第, 祁生胜, 彭伟. 秦昆接合部拉丁期—卡尼期地层的初步研究 [J]. *青海地质*, 1998, (1): 1-5.
- Zhou G. D., Qi S. S., Peng W. A preliminary study of the ladinian-carnian strata in the junction part of Qinling and Kunlun [J]. *Qinghai Geology*, 1998, (1): 1-5 (in Chinese with English abstract).
- 王连根. 青海鄂拉山地区古火山群陆相喷发特征及地层划分 [J]. *西北地质*, 1984, 17 (3): 1-9.
- Wang L. G., Ancient volcanic group eruption characteristics and stratigraphic division of Ela Hill area, Qinghai [J]. *Northwest Geology*, 1984, 17 (3): 1-9 (in Chinese with English abstract).
- 张智勇, 朱迎堂, 周光第, 等. 1:25万兴海幅区域地质调查 [R]. 西宁: 青海省地质调查院, 2001: 220-250.
- Zhang Z. Y., Zhu Y. T., Zhou G. D., et al. 1:250 000 regional geological survey of Xinghai piece [R]. Qinghai Institute of Geological Survey, Xining, 2001: 220-250 (in Chinese with English abstract).
- 金性春. 板块构造学基础 [M]. 上海: 科技出版社, 1984.
- Jin X. C. Based on plate tectonics [M]. Science and Technology Press, Shanghai, 1984.
- 林景仟. 火成岩岩类学与岩理学 [M]. 北京: 地质出版社, 1995.
- Lin J. Q. Petrography and petrologic theory of igneous [M]. Geological Press, Beijing, 1995.
- 莫宣学, 沈上越, 朱勤文, 等. 三江中南段火山岩—蛇绿岩与成矿 [M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- Mo X. X., Shen S. Y., Zhu Q. W., et al. Volcanic rocks—ophiolite and mineralization of Middlesouth section in Nu river, Jinsha river and Brahmaputra river area [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1998.
- 邱家骧. 应用岩浆岩石学 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991.
- Qiu J. R. Application of magmatic rocks [M]. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1991.
- 杨学明, 杨晓勇, 陈双喜. 岩石地球化学 [M]. 合肥: 中国科技大学出版社, 2000.
- Yang X. M., Yang X. Y., Chen S. X. Petrogeochemical [M]. China Science and Technology University Press, Hefei, 2000.
- 武莉娜, 王志畅, 汪云亮. 微量元素 La, Nb, Zr 在判别大地构造环境方面的应用 [J]. *华东地质学院学报*, 2003, 26 (4): 343-348.
- Wu L. N., Wang Z. C., Wang Y. L. On the application of La, Nb and Zr in identifying the tectonic settings [J]. *Journal of east China Geological Institute*, 2003, 26 (4): 343-348 (in Chinese with English abstract).
- 汪云亮, 张成江, 修淑芝. 玄武岩类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): 431-421.
- Wang Y. L. Zhang C. J., Xiu F. Z., Th/Hf, Ta/Hf identification of tectonic setting of basalts [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17 (3): 413-421 (in Chinese with English abstract).
- 赵振华. 微量元素地球化学原理 [M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- Zhao Z. H. Trace element geochemistry principle [M]. Science Press, Beijing, 1997.
- 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.
- Li C. N. Igneous rock of trace elements [M]. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1992.
- 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 S. Q., Wang Y. L., Zhang C. J. Basalt rock type of tectonic environment Th, Nb, Zr discrimination [J]. *Geological review*, 2003, 49 (1): 40-47 (in Chinese with English abstract).
- Wood D. A. The application of a Th. Hf. Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province [J]. *Earth Planetary Science Letters*, 1980, 50: 11-30.

- Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25: 956-983.
- 张雪亭, 杨生德, 杨站君. 青海省板块构造研究——1: 100 万青海省大地构造图说明书 [M]. 北京: 地质出版社, 2007.
- Zhang X. T., Yang S. D., Yang Z. J., 1: 1 000 000 tectonic map manual in Qinghai Province for study of plate tectonics in Qinghai Province [M]. Geological Publishing House, Beijing, 2007.

Geochemical Characteristics and Tectonic Environment of the Continental Facies Volcanic Rocks in Elashan Area, Qinghai Province

LI Yong-xiang¹, LI Shan-ping², WANG Shu-lin², WANG Lei³,
SHANG Jian³, ZHANG Zhi-qing², ZHAO Hai-xia²,

- (1. *The Eighth Institute of Mineral Exploration in Qinghai, Xining 810001, China;*
2. *Qinghai Institute of Geological Survey, Laboratory with Geological Processes and Mineral of Northern Qinghai-Tibetan Plateau in Qinghai Province, Xining 810012, China;*
3. *The fifth Institute of Mineral Exploration in Qinghai, Xining 810001, China)*

Abstract: Late Triassic volcanic rocks with the combination of neutral-acidic volcanic rock of magmatic belt in Elashan area, composed of the basaltic andesite, andesite, dacite, rhyolite and a little of pyroclastic rock etc. The volcanic rock altered strongly, layered poorly, columnar joints developed, which showed the typical characteristics of terrestrial eruptions. Volcanic rocks are Al saturation type, and Rittmann index (δ) and petrologic features display a calc-alkaline, (FeO/MgO) and K_2O/Na_2O show that the volcanic rock may have the characteristics of continental margin island arc environment. It has high degree of LREE fractionation and enrichment, δEu is less than 1, with a weak negative anomalies. It has similar curves of REE distribution patterns and island-arc curve REE patterns. The trace elements such as Rb, Ba, Th and other elements significantly enriched while Ti, Y, Yb, Sc, Cr and other elements are poor. The characteristics of Nb/Zr, La/Nb, Th/Ta, $Th \times Ta/Hf_2$ and other elements reflected that the volcanic rock in Elashan Formation was formed in the environment of continental margin volcanic arc. According to these characteristics of the regional geological setting and geochemical, structural environment of the volcanic rock, we have summarized this conclusion that late Triassic volcanic rocks in Elashan area were produced in the environment of the coexistence of East Kunlun block and West Qinling block mutually collision with continental margin arc environment.

Key words: magmatic belt in Elashan area; continental volcanic rocks; blocks collision; continental margin arc