

青海省扎日根结扎群火山岩形成时代 及构造背景分析*

任二峰,才航加

(青海省地质调查院,西宁 810012)

摘要:青海扎日根结扎群火山岩中基性岩以贫硅、钾,高钛、钙,中性岩类以低硅、中钾、钛、钙,酸性岩类以高硅、钾,中钛,低钙为特征。根据 $Fe^*/MgO-TiO_2$ 图解上显示出本区火山岩绝大多数火山岩落在岛弧区。微量元素中 $Th/Nb=0.9>0.11$, $Nb/Zr>0.04$ 显示出其构造背景为陆-陆碰撞形成的岛弧区。扎日根结扎群火山岩时代 Rb-Sr 同位素等时线给出的年龄为 231 ± 28 Ma 和 225 ± 8 Ma,属晚三叠世。另外 Sr 同位素的初始比值 $I_{Sr}=0.70522\pm 0.00023$,小于 0.719,表明岩浆(原始)来源于上地幔,并且在上升的过程中受到地壳的混染。

关键词:结扎群;晚三叠;同位素;构造背景

中图分类号:P588.14

文献标识码:A

研究区位于羌塘陆块东北缘开心岭岛弧带,岩浆活动时代跨度大。从二叠纪到三叠纪岩浆活动均有不同程度地保留,形成了测区岩石类型各异、时空不同、规模不等的各类喷出岩。它们真实地记录了研究区构造演化史,是研究、反演开心岭岛弧带形成、演化的地球动力学过程的示踪剂,是探索大陆地壳生长方式的重要内容和研究区域成矿地质背景的主要条件。

1 区域地质概况及火山岩分布特征

研究区内火山岩分布于巴纳措木-阿布日阿加宰一带,呈北西南东向带状展布,与区域构造线一致。该期火山活动是测区最强烈一期。岩石地层单位为结扎群,并划分为三个组级岩石地层单位,即甲丕拉组、波里拉组,巴贡组,其中尤以甲丕拉组火山活动最强烈,最发育(图1)。

2 火山岩岩石类型及其特征

2.1 玄武岩

岩石呈灰色-浅灰绿色,斑状结构,基质间隐结构,块状构造。岩石由斑晶的基质组成。斑晶含量在40%~28%之间,成分是斜长石(35%~25%)和少量暗色矿物(5%~3%)。粒度在

* 收稿日期:2010-03-04

基金项目:青海扎日根地区矿产远景调(编号:矿调[2006]2-5)资助。

第一作者简介:任二峰(1972~)男,硕士,工程师。研究方向:岩石地球化学。

石英,内部为绿石集合体充填,零星分布。

2.3 安山岩

岩石呈灰褐色-灰绿色,斑状结构,基质交织结构,杏仁状构造或块状构造。岩石由斑晶和基质组成。斑晶含量在30%~33%之间。

2.4 英安岩

岩石呈灰紫色,斑状结构,基质具微粒结构,流动构造或块状构造。岩石由斑晶和基质组成。斑晶4%~5%之间,由更长石、石英和正长石组成。更长石(3%)呈自形板状晶体,聚片双晶发育,双晶带细而密,次生变化后轻微地被绢云母交代,长轴排列方向与岩石构造方向一致。正长石(10%)呈自形柱状晶体,具卡斯巴双晶。石英(1%)呈自形粒状晶体,裂纹发育,具有方向性排列,且与岩石构造方向一致。

2.5 火山碎屑岩

区内火山碎屑岩包括熔结火山碎屑岩、正常火山碎屑岩、沉积火山碎屑岩和火山碎屑沉积岩四大类。

2.5.1 熔结火山碎屑岩

系指火山碎屑物>60%,并以熔结方式成岩的火山碎屑岩,主要有蚀变中基性熔岩角砾岩。岩石具熔岩角砾状结构、块状构造。角砾由岩屑和胶结物组成。角砾岩屑均为火山岩,含量60%,角砾大小相近,呈次棱角状、次磨圆状外形。胶结物含量40%,由基性熔岩组成。

2.5.2 正常火山碎屑岩

此类岩石系由火山喷发碎屑物质坠落后经压结而形成的,其中正常火山成因碎屑占95%以上。

2.5.3 沉积火山碎屑岩

此类岩石特征是正常火山成因碎屑物占岩石80%~82%,成分单一,非火山成因混入物约占18%~20%的方解石,经压结和水化学胶结成岩。岩石多为灰色、灰绿色。

3 岩石化学特征

3.1 岩石化学分类

研究区结扎群甲丕拉组、波里拉组火山岩岩石化学含量见表2,将熔岩类投点于国际地科联1989推荐的划分方案TAS(图2),甲丕拉组火山岩落在玄武岩、粗面玄武岩、玄武粗安岩、粗安岩、英安岩中;波里拉组火山岩落在玄武安山岩。从投图情况来看与实际镜下鉴定有误差,其原因可能是 H_2O^+ 含量有关,绝大多数样品 $H_2O^+ > 2\%$,而把 $H_2O^+ > 2\%$

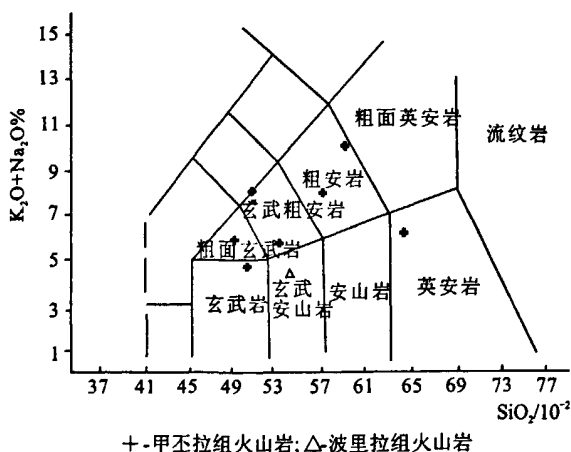


图2 晚三叠世火山岩 TAS 图解

Fig. 2 TAS diagram of late Triassic volcanic rocks

样品投在李兆鼎图中来修正 TAS 图所投误差,研究区波里拉组火山岩可划分为玄武安山岩型;甲丕拉组火山岩可划分为碱性玄武岩、玄武岩、英安岩等岩石类型。上述样品的 K_2O 含量变化波里拉组在 $(0.62 \sim 1.58) \times 10^{-2}$, 变化范围略大;甲丕拉组火山岩在 $(0.25 \sim 3.16) \times 10^{-2}$ 之间,变化范围较大。在 SiO_2 - K_2O 分类图(图3)中,波里拉组火山岩为中-高钾,以高钾为主,甲丕拉组火山岩为中-高钾,以中钾为主。

分析结果表明,研究区火山岩样品 H_2O^+ 及烧失量均较高,表明本区岩石均遭受过蚀变/变质作用(低绿片岩相的变质作用)。

①碱玄岩: SiO_2 含量在 $(46.32 \sim 50.03) \times 10^{-2}$; $K_2O + Na_2O$ 在 $(7.69 \sim 5.61) \times 10^{-2}$, 且多数 $K_2O > Na_2O$, CaO 含量 $(4.61 \sim 8.98) \times 10^{-2}$, TiO_2 含量 $(0.90 \sim 1.19) \times 10^{-2}$, 为低硅,高钾、钛为特征。

②玄武岩类:甲丕拉组中玄武岩 SiO_2 含量在 $(46.81 \sim 51.82) \times 10^{-2}$, 平均 49.8×10^{-2} ; $K_2O + Na_2O$ 在 $(3.22 \sim 4.96) \times 10^{-2}$, 平均 3.99×10^{-2} , CaO 含量 $(7.24 \sim 14.66) \times 10^{-2}$, 平均 9.78×10^{-2} , TiO_2 含量 $(0.55 \sim 1.17) \times 10^{-2}$, 平均 0.80×10^{-2} , K_2O 含量 $(0.5 \sim 1.13) \times 10^{-2}$, 平均 0.83×10^{-2} , 且 $K_2O < Na_2O$, 为低硅,中钾、钛、高钙、富钠为特征。

③玄武安山岩类:甲丕拉组中玄武安山岩 SiO_2 含量在 $(52.82 \sim 55.65) \times 10^{-2}$, 平均 54.4×10^{-2} ; $K_2O + Na_2O$ 在 $(4.37 \sim 6.05) \times 10^{-2}$, 平均 5.13×10^{-2} , CaO 含量 $(3.65 \sim 7.69) \times 10^{-2}$, 平均 6.04×10^{-2} , K_2O 含量 $(0.25 \sim 2.53) \times 10^{-2}$, 平均 1.35×10^{-2} , TiO_2 含量 $(0.69 \sim 1.04) \times 10^{-2}$, 平均 0.78×10^{-2} , 且 $K_2O < Na_2O$, 为低硅,中钾、钛、高钙为特征。

④安山岩类:甲丕拉组中安山岩 SiO_2 $(53.39 \sim 57.98) \times 10^{-2}$, 平均 55.6×10^{-2} ; $K_2O + Na_2O$ 在 $(5.70 \sim 6.32) \times 10^{-2}$, 平均 6.01×10^{-2} , CaO $(4.28 \sim 4.24) \times 10^{-2}$, 平均 4.24×10^{-2} , K_2O $(1.28 \sim 1.49) \times 10^{-2}$, 平均 1.39×10^{-2} , TiO_2 $(0.70 \sim 1.63) \times 10^{-2}$, 平均 0.67×10^{-2} , 为低硅、钙,中钾、钛为特征。

⑤粗安岩类:甲丕拉组中粗安岩据 2 个样品 SiO_2 $(56.32 \sim 59.37) \times 10^{-2}$, 平均 57.8×10^{-2} ; $K_2O + Na_2O$ $(8.48 \sim 9.76) \times 10^{-2}$, 平均 9.12×10^{-2} , CaO $(5.11 \sim 1.79) \times 10^{-2}$, 平均 3.45×10^{-2} , K_2O $(2.44 \sim 2.78) \times 10^{-2}$, 平均 2.61×10^{-2} , TiO_2 $(0.60 \sim 0.69) \times 10^{-2}$, 平均 0.65×10^{-2} , 且 $K_2O < Na_2O$, 为低钙、中硅、钾,高钛为特征。

⑥英安岩:仅见有 1 样品在甲丕拉组中,其 SiO_2 64.40×10^{-2} , $K_2O + Na_2O$ 5.93×10^{-2} ; K_2O 1.51×10^{-2} , CaO 2.9×10^{-2} , TiO_2 0.6×10^{-2} , 且 $K_2O < Na_2O$, 为低钙、中钛、高钾、硅为特征。

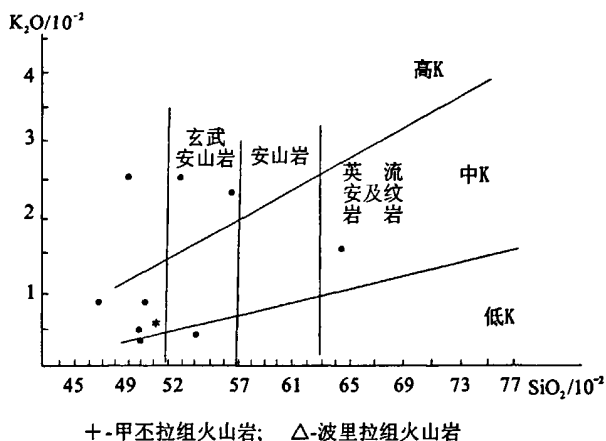


图3 晚三叠世火山岩 SiO_2 - K_2O 图解

Fig. 3 SiO_2 - K_2O diagram of late Triassic volcanic rocks

表 1 结扎群甲丕拉组、波里拉组火山岩岩石化学含量表

Table. 1 Petrochemical contents of volcanic rocks for Jiapila and Bolila formation, Jiezha group															
样品号	岩性	氧化物含量 (w _B /10 ⁻²)													
		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 ⁻	LOI	SUM
VTP ₆ Gs8-1	中基性熔岩 角砾岩	49.98	0.67	16.30	2.01	3.40	0.11	3.43	7.95	5.09	1.76	0.23	4.02	9.00	99.94
VTGs132-1	蚀变玄武安 山岩	54.61	0.94	17.17	4.10	3.82	0.28	6.95	2.59	3.10	0.89	0.26	4.58	5.00	99.70
VTp ₅ Gs6-1	蚀变粗安岩	56.32	0.60	16.74	5.84	1.12	0.14	1.55	5.11	6.04	2.44	0.34	1.75	3.24	99.38
VTp ₅ Gs7-1	蚀变碱性玄 武岩	49.7	0.90	19.23	2.02	3.55	0.13	2.24	6.12	6.71	0.55	0.13	4.17	8.11	99.48
VTGs954-3	蚀变玄武安 山岩	52.8	0.79	17.56	2.61	5.38	0.18	4.69	5.56	2.89	2.53	0.29	3.89	4.39	99.69
VTGs954-4	蚀变杏仁状 玄武岩	50.05	0.66	17.20	3.49	3.34	0.16	4.08	9.05	4.10	0.86	0.38	3.78	6.19	99.56
VTGs131	蚀变碱性玄 武岩	48.89	1.12	17.74	3.82	6.16	1.25	7.77	2.44	2.45	3.16	0.16	4.51	4.88	99.84
VTGs130	蚀变英安岩	64.4	0.61	12.95	5.10	1.94	0.23	2.06	2.9	4.42	1.51	0.13	1.87	3.14	99.39
VTp ₅ Gs6-3	蚀变粗安岩	59.37	0.69	17.76	5.69	1.07	0.13	1.15	1.79	6.98	2.78	0.38	1.74	1.97	99.76

表 2 结扎群甲丕拉组、波里拉组火山岩 CIPW 标准矿物表

Table. 2 CIPW norms of volcanic rocks for Jiapila and Bolila formation, Jiezha group															
样品号	岩性	CIPW													
		ap	il	mt	Q	or	ab	an	wo	en'	fs'	en	fs	fa	
VTP ₆ Gs8-1	中基性熔岩角砾 岩	0.55	1.40	3.20		11.44	38.19	18.067	9.877	6.428	2.770			0.987	
VTGs132-1	蚀变玄武安山岩	0.60	1.889	4.64	16.49	5.56	27.73	11.788				18.297	5.561		
VTp ₅ Gs6-1	蚀变粗安岩	0.77	1.19	5.00	0.86	15.02	53.25	11.831	5.123	2.860	2.060	1.163	0.837		
VTp ₅ Gs7-1	蚀变碱性玄武岩	0.31	1.87	3.21		3.56	48.52	22.705	4.022	2.330	1.505			1.887	
VTGs954-3	蚀变玄武安山岩	0.66	1.57	3.97	5.42	15.69	25.67	26.958				12.257	7.086		
VTGs954-4	蚀变杏仁状玄武 岩	0.89	1.35	4.08		5.45	37.19	27.861	7.355	4.727	2.140	5.338	3.688	0.052	
VTGs131	蚀变碱性玄武岩	0.37	2.24	5.83	2.37	19.67	21.83	11.653				20.380	9.089		
VTGs130	蚀变英安岩	0.30	1.21	4.87	23.92	9.29	38.94	11.489	1.089	0.625	0.416	4.716	3.317		
VTp ₅ Gs6-3	蚀变粗安岩	0.85	1.34	5.19	2.86	16.89	60.53	6.560				2.937	1.854		

测区结扎群甲丕拉组、波里拉组火山岩岩石化学特征参数表

样品号	岩性	岩石化学特征参数													
		σ	SI	FL	ANT	DI	NK	QU	OX、	LI	M/F	n/k	A.R	MF	
VTP ₆ Gs8-1	中基性熔岩角砾 岩	4.74	21.86	46.29	16.73	54.61	7.73	6.56	0.34	1.89	0.46	4.40	1.79	0.61	
VTGs132-1	蚀变玄武安山岩	1.21	37.06	60.61	14.96	49.78	4.22	3.71	0.35	1.86	0.63	5.29	1.51	0.53	
VTp ₅ Gs6-1	蚀变粗安岩	4.98	9.26	62.40	17.84	69.13	8.84	9.31	0.46	8.37	0.15	3.76	2.27	0.81	
VTp ₅ Gs7-1	蚀变碱性玄武岩	5.53	14.86	54.26	13.91	59.50	7.95	8.10	0.33	3.71	0.29	18.53	1.80	0.71	
VTGs954-3	蚀变玄武安山岩	2.60	25.91	49.37	18.57	46.77	5.69	4.58	0.30	2.08	0.44	1.74	1.61	0.63	
VTGs954-4	蚀变杏仁状玄武 岩	2.65	25.85	35.40	19.94	42.64	5.32	5.14	0.36	-2.39	0.43	7.25	1.47	0.62	
VTGs131	蚀变碱性玄武岩	4.11	33.26	69.69	13.66	43.87	5.91	7.94	0.32	-1.69	0.52	1.18	1.64	0.56	
VTGs130	蚀变英安岩	1.59	13.88	67.17	13.98	72.15	6.17	8.78	0.43	11.72	0.20	4.45	2.20	0.77	

表3 结扎群甲丕拉组、波里拉组火山岩岩石稀土元素含量表

Table. 3 Rare earth element contents of volcanic rocks for Jiapila and Bolila formations, Jiezha group

样品号	岩性	稀土元素含量($\omega_B/10^{-6}$)														Σ
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
VTP ₆ Gs8-1	中基性熔岩角砾岩	23.34	45.53	5.41	21.04	3.90	1.18	3.57	0.58	3.52	0.75	2.10	0.34	2.17	0.34	17.37
VTGs132-1	蚀变玄武安山岩	25.0	49.42	6.36	24.16	4.24	1.41	3.38	0.48	2.42	0.48	1.32	0.21	1.27	0.20	12.64
VTp ₅ Gs6-1	蚀变粗安岩	55.32	95.81	11.53	40.91	7.15	1.73	5.72	0.82	4.89	0.98	2.81	0.44	2.81	0.41	24.04
VTp ₅ Gs7-1	蚀变碱性玄武岩	9.87	19.53	2.73	11.39	3.03	0.78	3.40	0.60	3.97	0.88	2.38	0.38	2.58	0.40	19.68
VTGs954-3	蚀变玄武安山岩	28.59	52.31	5.84	21.12	4.32	1.26	3.69	0.57	3.51	0.72	1.93	0.32	2.05	0.30	17.11
VTGs954-4	蚀变杏仁状玄武岩	37.38	69.75	7.87	29.81	5.34	1.47	4.56	0.72	4.19	0.86	2.52	0.41	2.78	0.42	21.67
VTGs131	蚀变碱性玄武岩	3.78	17.96	1.84	9.27	2.90	0.95	3.76	0.65	4.05	0.82	2.42	0.38	2.43	0.38	21.45
VTGs130	蚀变英安岩	24.04	62.30	9.44	44.51	12.46	3.59	15.18	2.59	16.69	3.33	10.03	1.52	10.43	1.57	85.52
VTp ₅ Gs6-3	蚀变粗安岩	68.97	117.20	13.75	46.07	8.01	1.7	6.75	1.01	5.75	1.20	3.31	0.56	3.69	0.57	28.67

表4 结扎群甲丕拉组、波里拉组火山岩微量元素含量表

Table. 4 Trace element contents of volcanic rocks for Jiapila and Bolila formations, Jiezha group

样品号	岩性	微量元素含量($\omega_B/10^{-6}$)											
		La	Be	Nb	Sc	Ga	Zr	Th	Sr	Ba	V	Co	Ni
VTP ₆ Dy8-1	中基性熔岩角砾岩	48.0	1.5	10.5	15.4	12.7	87	6.6	557	752	150.5	40.4	104
VTDy132-1	蚀变玄武安山岩			3.2	19.7		72.4	1.3	739.0	63		28.9	56
VTp ₅ Gs6-1	蚀变粗安岩	16.3	1.9	25.8	11.4	17.9	212	28.9	220	552	115.2	11.9	7.9
VTp ₅ Gs7-1	蚀变碱性玄武岩	125.6	1.1	4.2	32.4	19.2	83	3.4	117	116	211.4	17.0	11.0
样品号	岩性	微量元素含量($\omega_B/10^{-6}$)											
		Cu	Pb	Zn	W	Mo	Ag	As	Sn	Sb	Rb	Ta	Au
VTP ₆ Dy8-1	中基性熔岩角砾岩	58.3	12.7	109	0.89	0.28	0.032	7.8	1.0	0.15	33.3	0.7	1.1
VTDy132-1	蚀变玄武安山岩	9.5	12.8	176							15.0	0.5	
VTp ₅ Gs6-1	蚀变粗安岩	18.6	12.3	73	2.19	0.95	0.94	8.7	1.0	0.3	35.9	1.7	0.4
VTp ₅ Gs7-1	蚀变碱性玄武岩	74.3	12.3	357	0.94	0.2	0.056	4.0	1.0	0.26	7.7	0.5	0.6

3.2 岩石化学特征

研究区火山岩岩石化学成分见表(表1),CIPW 标准矿物、岩石化学特征参数列表(表2),岩石化学成分变化规律如下:

- ①在表1中SiO₂含量介于(38.46~64.46)×10⁻²变化范围较大,区间较宽,应属碱性-中基性-中性-酸性岩类,但总体以基性-中基性为主。
- ②TiO₂含量介于(0.48~1.87)×10⁻²,为低钛-中钛岩石。反映出火山岩浆由基性-酸性,由中钛变低钛。
- ③绝大多数样品K₂O<Na₂O,富钠为本区火山岩共同特征,并且由基性-中性-酸性由富钠贫钾向富钾贫钠,K₂O的含量由基性-酸性增加,岩石总体应属中钾-高钾系列。

总之测区火山岩的岩石化学基性岩以贫硅、钾,高钛、钙,中性岩类以低硅、中钾、钛、钙,酸性岩类以高硅、钾,中钛,低钙为特征。

3.3 主要岩石化学参数

①里特曼指数(表2) $\sigma=0.031\sim7.163$ 之间,变化范围较大。

②分异指数DI绝大多数在14.612~80.285,变化范围较大,表明岩浆分异演化趋势由基性-中性-酸性增大。

③固结指数SI=6.58~39.248之间,变化范围较宽。

④碱钙指数FI绝大多数在11.294~84.518之间,变化范围较大。

⑤铁镁指数FM在0.518~0.859,变化范围不大,指数明显偏低。

3.4 CIPW 标准矿物特征

从表2可知,基性岩类有4个组合,即Q、Or、Ab、An、C、Hy 铝过饱和类型SiO₂过饱和,Or、Ab、An、Di、Ne、Ol 正常类型SiO₂极度不饱和,Q、Or、Ab、An、Di、Hy 正常类型SiO₂过饱和,Or、Ab、An、Ol、Hy 正常类型SiO₂低度不饱和。中性岩类有3个组合,即Q、Or、Ab、An、Di、Hy 正常类型SiO₂过饱和,Or、Ab、An、Di、Hy、Ol 正常类型SiO₂极度不饱和,Q、Or、Ab、An、C、Hy 铝过饱和类型SiO₂过饱和。酸性岩为Q、Or、Ab、An、Di、Hy 正常类型SiO₂过饱和。大多数为正常类型SiO₂过饱和。

3.5 火山岩的碱度、系列及组合划分

将研究区熔岩类样品在Ol'-Ne'-Q'图解中(图4)样品全部落在亚碱性系列。在AFM三角图解中(图5),绝大多数样品落在钙碱性系列,仅有三个样品落在拉斑玄武岩系列,并靠近钙碱性系列,里特曼指数显示有碱性系列存在。

综上所述,测区火山岩属钙碱性系列—碱性系列。

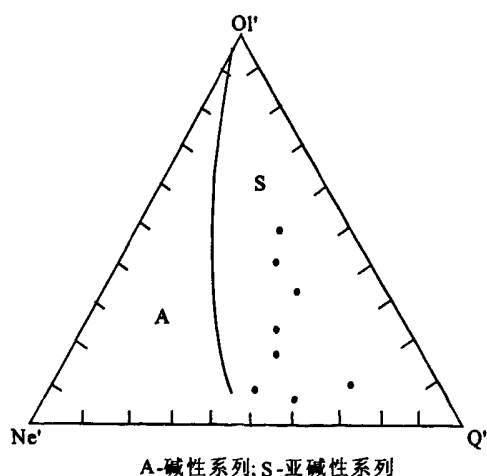


图4 晚三叠世火山岩Ol'-Ne'-Q'图解
(据 T. N. Irvine 等, 1971)

Fig. 4 Ol'-Ne'-Q' diagram of late Triassic volcanic rocks

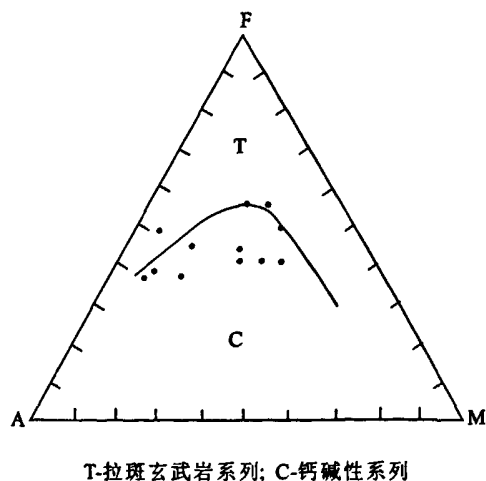


图5 晚三叠世火山岩AFM三角图解
(据 T. N. Irvine 等, 1971)

Fig. 5 AFM diagram of late Triassic volcanic

4 稀土元素化学特征

研究区火山岩稀土元素含量及特征参数值见表(3),用推荐的球粒陨石平均值标准化后分别作配分模式图(图6,7)显示有如下特征:

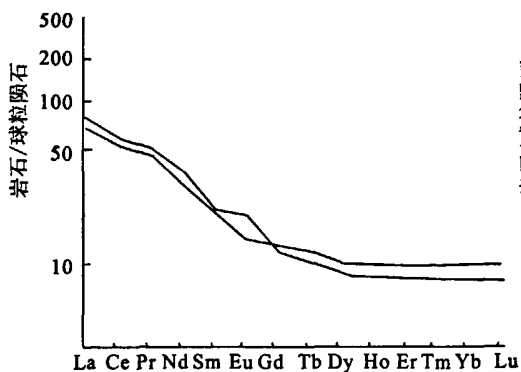


图6 甲丕拉组火山岩稀土元素配分模式图

Fig. 6 REE distribution patterns of volcanic rocks for Jiapila formation

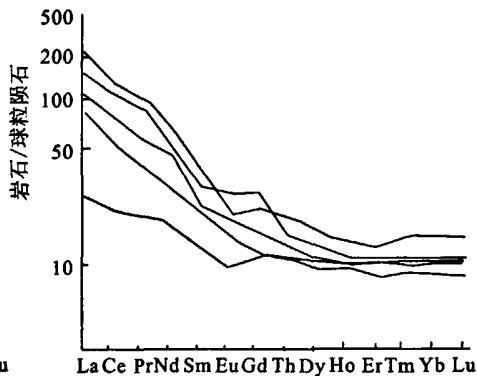


图7 波里拉组火山岩稀土元素配分模式图

Fig. 7 REE distribution patterns of volcanic rocks for Bolila formation

稀土元素配分曲线均为右倾斜型较缓的平滑线, Eu处呈较浅的“V”字型谷, 弱的负Eu异常, 与岛弧的火山岩相似^[1], 轻稀土元素 $\sum \text{Ce} = 25.72 \sim 303.36$, 重稀土元素 $\sum \text{Y} = 14.23 \sim 146.85$, 变化范围均较大, 轻重稀土比值: $\sum \text{Ce} / \sum \text{Y} = 1.01 \sim 11.70$, 变化范围较大, $\delta \text{Eu} = 0.74 \sim 1.46$, 有部分销异常(亏损)。

主要稀土特征参数: $\text{Sm}/\text{Nd} = 0.17 \sim 0.28$, 变化范围较窄, 且均 < 3.3 , 反映轻稀土富集型; $\text{La}/\text{Yb} = 1.56 \sim 42.69$ 变化范围较大, 区间宽, $\text{Gd}/\text{Yb} = 1.32 \sim 3.98$ 变化范围较小, 说明重稀土不富集; $\text{Eu}/\text{Sm} = 0.21 \sim 2.78$ 变化范围较大, $\text{La}/\text{Lu} = 3.13 \sim 544.45$ 变化范围较大, $\text{La}/\text{Ce} = 0.21 \sim 1.26$, $\text{Yb}/\text{Lu} = 6.10 \sim 6.83$ 变化范围较小, 与岛弧相似。

$(\text{Ce}/\text{Yb})_N = 1.54 \sim 23.73$, $(\text{La}/\text{Yb})_N = 1.05 \sim 59.44$, $(\text{La}/\text{Sm})_N = 0.82 \sim 9.23$, 变化范围较大, 绝大多数 > 1 。曲线均为右倾斜型, 表明轻稀土富集。

5 微量元素地球化学特征

研究区晚三叠世结扎群火山岩的微量元素分析数据列表(表4), 由表可知微量元素有如下特征:

①铁族元素: Ni、Cr 低于泰勒其平均值, Co、V 高于泰勒其平均值, 并且酸性岩高于基性-中性岩及泰勒平均值。

②成矿元素: Cu、Pb、Zn 等元素, 其中 Cu、Pb 较低, 低于泰勒平均值, 而 Zn 较高, 高于泰勒平均值。另 Cu、Pb 基性岩类高于中性和酸性岩类, 而 Zn 基性岩类低于中性、酸性岩类, 酸性岩类最高。

③稀有分散元素: Zr、Ba、Be、Sr 等元素, Zr、Be 低于泰勒平均值, Ba、Sr 略高, 高于泰勒

平均值,其中 Ba 在酸性岩中最高,高于中性-基性岩。

④同洋中脊玄武岩标准化的微量元素相比:K、Rb、Ba、Th 较强富集,并伴有 Sr、Ta、Nb、Ce 富集,部分 Sm 富集,以及部分 Zr、Hf、Sm、Ti、Y、Yb、Sc、Cr 亏损,低于 MORB 标准值,其配分型式总体上具有相似性,说明岩浆来自相同源区。

6 火山岩同位素地质特征及时代

结扎群甲丕拉组和波里拉组火山岩作了同位素测年,测试方法为铷-锶等时线法。2 个样品的测年结果列在表 5 和图 8、图 9。获得 Rb-Sr 同位素等时线年龄甲丕拉组为:231±28 Ma、波里拉组为 225±8 Ma,时代为晚三叠世。

表 5 研究区结扎群火山岩铷-锶同位素特征值
Table. 5 Rb-Sr isotopic values of volcanic rocks for Jiezha group

旋回	样号	岩石名称	Rb(10 ⁻⁶)	Sr(10 ⁻⁶)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	±2σ
结扎群火山岩	VTJD954-4-1	玄武岩	84.43	305.0	0.8015	0.707650	15
	VTJD954-4-2	玄武岩	93.95	316.1	0.8625	0.708276	15
	VTJD954-4-3	玄武岩	68.44	442.0	0.4484	0.706650	12
	VTJD954-4-4	玄武岩	58.58	844.3	0.2009	0.705846	12
	VTJD954-4-5	玄武岩	32.98	105.6	0.1056	0.705648	12
	VTJD132-1-1	安山岩	10.3	548	0.5275	0.70555	0.00003
	VTJD132-1-2	安山岩	2.6	72.14	0.1039	0.70752	0.00002
	VTJD132-1-3	安山岩	11.33	110.2	0.2963	0.70743	0.00003
	VTJD132-1-4	安山岩	24.25	137.3	0.5094	0.70771	0.00004
	VTJD132-1-5	安山岩	16.84	156	0.3112	0.70712	0.00004
	VTJD132-1-6	安山岩	12.88	528	0.07027	0.70631	0.00003

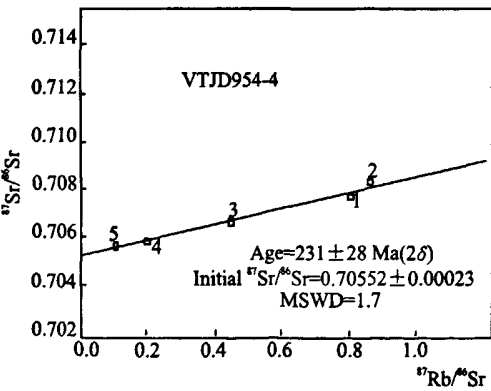


图 8 甲丕拉组火山岩 Rb-Sr 等时线图
Fig. 8 Rb-Sr isochron of volcanic rocks for Jiapila formation

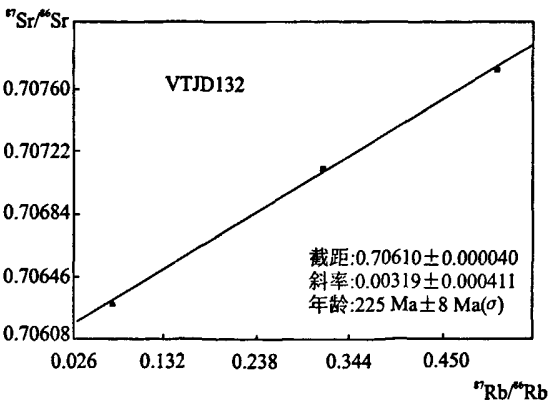


图 9 波里拉组火山岩 Rb-Sr 等时线图
Fig. 9 Rb-Sr isochron of volcanic rocks for Bolila formation

7 火山岩成因

7.1 岩浆来源

7.1.1 同位素依据

研究区在晚三叠世结扎群甲丕拉组和波里拉组火山岩中均取同位素样,其中在甲丕拉组获取 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值 0.70610 ± 0.00004 ,小于0.719,岩浆岩低 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值和正 ϵNd 表明它们起源于地幔。

7.1.2 微量元素组份依据

玄武岩部分微量元素比值,与Wearer(1991)地幔参数进行对比可知,大多数元素比值位于原始地幔与陆壳之间,并靠近原始地幔。地幔类型的划分最初是由研究大洋玄武岩得出的,主要是利用玄武质岩石中的Nb、Zr和Y等非活动性微量元素的丰度值及比值反推得到的,在图10的Nb—Zr(A)及Y—Zr(B)图解^[2],本区火的岩均落在亏损地幔并靠近原始地幔区域。

7.1.3 稀土元素组分依据

测区玄武岩为亚碱性玄武岩。其REE分布模式曲线为右倾斜式,轻稀土含量较高,为稀土富集型,无强烈的负锕异常。研究区晚三叠世结扎群火山岩中的玄武岩的Zr/Nb比值为16.04~39.28,平均20.88,高于球粒陨石,表明它们来源于亏损地幔的岩浆并受到地壳物质的污染。

7.2 岩浆同源性讨论

根据研究区火山岩形成的时代,所处的构造环境及同位素、微量元素分析结果来看,晚三叠世结扎群火山岩原始岩浆具有相同来源。依据如下,在同一期地质作用的产物,虽然安山岩、玄武安山岩、粗安岩、玄武岩在主要元素、微量元素组成上存在一定的差异,但这主要是由原始岩浆的后期分离结晶作用所致。从构造环境来看,均处于同一构造环境下,均属于羌塘陆块构造单元,火山岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 为0.705648~0.708276, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 为0.512396~0.512934(据1:25万沱沱河幅,2004),均暗示出它们具有非常一致的源区。它们的稀土元素配分模式曲线的相似性以及一些强不相容元素几乎具有一致的La/Ce和Zr/Lf比值,也均说明了这一点。

8 火山岩形成的构造环境判别

主元素和微量元素特征来判断岩石形成环境的图解,大多是以现代火山岩成分来确定

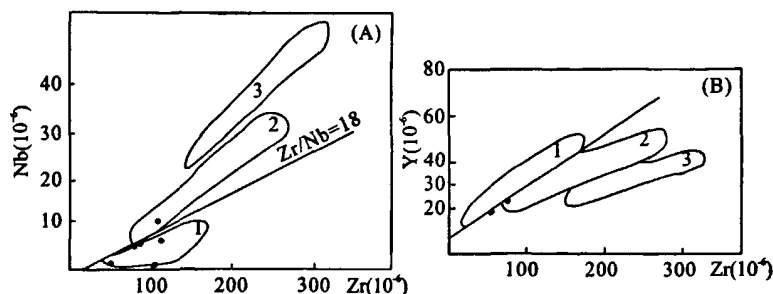


图10 晚三叠世火山岩Nb—Zr(A)和Y—Zr(B)图解
Fig. 10 Nb—Zr diagram (A) and Y—Zr diagram (B) of late Triassic volcanic rocks

1-亏损型地幔;2-过渡型地幔;3-富集型地幔;直线为原始地幔

的,王仁民等^[4]和李昌年^[5]先后出版了有关专著。

将研究区晚三叠世结扎群火山岩投在TFe/MgO—TiO₂构造环境判别图解上(图11),可以看出本区火山岩绝大多数火山岩落在岛弧区。

在板块汇聚边缘的玄武岩主要为钙碱性玄武岩^[6]。次之为拉斑玄武岩和安山岩^[7,8]。大陆板内及岛弧玄武岩的Th/Nb比值高于原始地幔值,MORB及OIB的Th/Nb比值低于原始地幔值。这一特征是大陆岩石圈地幔与大洋地幔成分差异的反映,被认为是地球早期历史中大陆地壳分离的结果^[9]。无论是洋-洋板块的汇聚边缘还是洋-陆或陆-陆板块的汇聚边缘,它们的Th/Nb比值均大于0.11,其中洋-洋汇聚边缘和洋-陆汇聚边缘(岛弧)的Nb/Zr<

0.04,而陆-陆碰撞带的Nb/Zr>0.04。本文中所取样品微量元素中Th/Nb=0.9>0.11,Nb/Zr>0.04显示出其构造背景为陆-陆碰撞形成的岛弧区。

9 结论

(1)扎日根结扎群火山岩Rb-Sr同位素等时线给出的年龄为231±28 Ma和225±8 Ma,应属晚三叠世。

(2)火山岩⁸⁷Sr/⁸⁶Sr为0.705648~0.708276,¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd为0.512396~0.512934(据:25万沱沱河幅,2004年),均暗示出它们具有非常一致的源区。它们的稀土元素配分模式曲线的相似性以及一些强不相容元素几乎具有一致的La/Ce和Zr/Lf比值,也均说明了这一点。

(3)Sr同位素的初始比值 $I_{Sr}=0.70522\pm0.00023$,少于0.719,表明岩浆(原始)来源于上地幔在上升的过程中受到地壳的混染。

(4)根据主元素图解本区火山岩绝大多数火山岩落在岛弧区,微量元素中Th/Nb=0.9>0.11,Nb/Zr>0.04显示出其构造背景为陆-陆碰撞形成的岛弧区。

致谢:参加本项目野外工作的有王进寿、张金民等同志,同位素测试由天津地研所同位素室测试,在此致谢。

参考文献

- [1] P·亨德森,田丰,施良,等译.稀土元素地球化学[M].北京:地质出版社,1989:109-121.
- [2] Le Roex, A P Dick, Brilank H J B, et al. Geochemistry, mineral and petrogenesis of lavas erupted along the southwest Indian Ridge between the Bouvet triple junction and 1 degree east[J]. Journal of

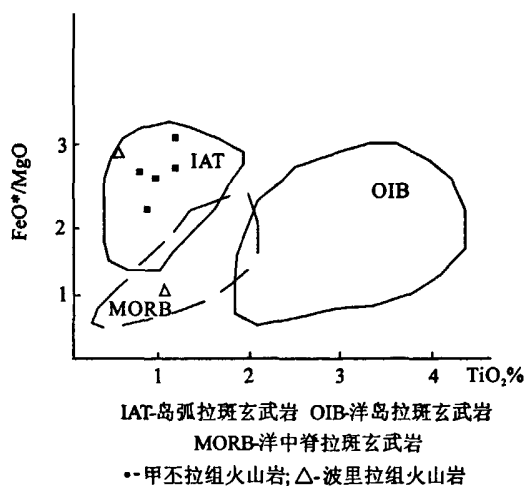


图11 晚三叠世火山岩TFeO/MgO—TiO₂构造环境判别图解

Fig. 11 TFeO/MgO—TiO₂ tectonic setting discrimination diagram of late Triassic volcanic rocks

- Petrology, 1983, 24: 267-318.
- [3] Fodor R V, Verier S K. Rift zone magmatism; Petrology of basaltic rocks transitional from CFB to MORB, southeast tern Brazil margin[J]. Contribution to Mineralogy and Petrology, 1984, 88: 307-321.
- [4] 王仁民, 等. 变质岩原岩图解判别法[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [5] 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
- [6] Whitford D J, Nicholls I A, Taylor S R. The spatial variations in the geochemistry of Quaternary lavas across the Sunda Arc in Java and Bali[J]. Contribution to Mineralogy and Petrology, 1979, 70: 341-356.
- [7] Mckenzie D, Bickle M J. The volume and composition of melt generated by extension of the lithosphere [J]. Petrology, 1988, 29: 625-679.
- [8] Elliott's, Plank T, Zindler, A, et al. Element transport from slab to volcanic front at the Mariana arc[J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102 (B7).
- [9] Hofman, A. W. Chemical differentiation of the Earth: The relation-ship between mantle, continental crust, and oceanic crust [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1988, 90(3): 297-314.

Formation age and analysis on tectonic setting of volcanic rocks in Jiezha group, Zharigen area, Qinghai province

REN Er-feng, CAI Hang-jia

(1. Qinghai Institute of Geological Survey, Xining 810012, China)

Abstract

The volcanic rocks of Jiezha group in Zharigen area, Qinghai Province, are characterized by lower silicon and alkalis but high titanium and calcium for intermediate-basic rocks, low silicon and middle content of alkalis, titanium and calcium for intermediate rocks and high silicon and alkalis, middle titanium and low calcium for acid rocks. The TFeO/MgO-TiO_2 diagram shows that the volcanic rocks are mainly plotted in the island arc area. Trace elements characteristics ($\text{Th/Nb} = 0.9 > 0.11$, $\text{Nb/Zr} > 0.04$) illustrate that the volcanic rocks may be formed in a tectonic setting of island arc as a result of continent-continent collision. The apparent ages of volcanic rocks by Rb-Sr isotope isochronism are 231 ± 28 Ma and 225 ± 8 Ma, which means that the volcanic rocks belongs to the late Triassic. The initial ratio of I_{Sr} (0.70522 ± 0.00023) is less than 0.719, which implies that the primary magma was originated from the upper-mantle and contaminated by the crust during its uplifting.

Key words: Jiezha group; late Triassic; isotope; tectonic setting