

青藏高原北羌塘盆地治多地区松赛弄一带火山岩的特征及构造意义

李善平^{1,2} 马海州¹ 陈有顺³ 王生祖⁴ 魏海成¹ 李五福²

(1.中国科学院青海盐湖研究所,青海 西宁 810008;2.青海省地质调查院,青海 西宁 810012;

3.青海省地震局,青海 西宁 810006;4.青海省公路勘察设计院,青海 西宁 810010)

摘要:测区松赛弄晚三叠世一带火山岩为一套酸性-中性-基性火山岩组合,由玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩及少量火山碎屑岩等组成。火山岩中 SiO_2 含量为 48.89%~88.15%,平均 67.44%, TiO_2 为 0.22%~1.85%,平均 0.63%, MgO 含量 0.23%~7.81%,与岛弧钙碱性火山岩相似;高场强元素 Nb、Ta、Zr、Hf、Ti 等亏损,大离子亲石元素 Rb、Sr、Ba 等相对富集, $(\text{La}/\text{Sm})_n$ 为 1.79~5.19, LREE/HREE 值多数在 4.08~6.63,属轻稀土元素富集型, δEu 多数在 0.47~0.99,钕呈负异常; La/Nb 多数大于 2.00, $\text{Nb}/\text{Zr}>0.04$; $\text{Th}/\text{Ta}>4.41$, $\text{Th}\times\text{Ta}/\text{Hf}^2>0.042$,具有陆缘火山弧的特性。上述特征表明,羌塘盆地治多地区松赛弄一带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:青藏高原;北羌塘盆地;金沙江缝合带;晚三叠世;火山岩;陆缘弧

中图分类号:P588.14

文献标志码:A

文章编号:1000-3657(2009)01-0085-08

晚三叠世北羌塘盆地位于金沙江缝合带与斑公—怒江缝合带之间的北侧,羌塘地块的西北部^[1](图 1)。该区发育一套基性-中性-酸性火山岩类,由于海拔高,地形陡峻,气候与交通条件十分恶劣,所以研究程度较低,历来对北羌塘的构造属性存在分歧。潘桂棠^[1]等认为在盆地东部发育晚古生代—早古生代的火山弧,在盆地东部发育晚古生代的三叉裂谷^[2]或初始裂谷^[3],李勇等^[4]认为北羌塘盆地是由金沙江缝合带闭合和碰撞作用形成和发展的前陆盆地。测区松赛弄一带火山岩为巴塘群火山岩组的组成部分,前人对该地层仅粗浅提及,并未深入探讨,笔者等对松赛弄—日阿日曲—聂恰曲等地出露的火山岩特征研究,将为北羌塘盆地的构造属性提供重要的岩石地球化学证据。

1 地质概况

笔者所研究的火山岩,主要属于晚三叠世巴塘群的一个非正式组级岩石地层单位。过去 1:20 万区

域地质调查未对巴塘群细分。此次根据岩性特征、地层位置及古生物类型将巴塘群划分为 3 个组:下部碎屑岩组(T_3Bt_1)、中部火山岩组(T_3Bt_2)与上部碳酸盐组(T_3Bt_3)。本研究区火山岩主要分布于者然木尕、日阿日曲、松赛弄、聂恰曲、吓俄贡玛等地一带,呈北西—南东向断续条带状展布,主要发育在巴塘群火山岩组中,其次呈夹层状、透镜状分布在碎屑岩组中。主要由玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩及少量火山角砾岩等组成,以溢流相火山岩为主。南侧与结扎群甲丕拉组、波里拉组和巴贡组呈断层接触,与曲果组呈断层或角度不整合接触,北侧与多彩蛇绿混杂岩呈断层或沿韧性剪切带构造界面接触。

在治多县多彩乡松赛弄实测的晚三叠世巴塘群火山岩组剖面 VIII003P11(图 2)可见,火山岩组与下部碎屑岩组及上部碳酸盐组均呈整合接触,局部呈断层接触。剖面位置:起点为东经:95°11′03″,北纬:33°44′07″,海拔高程 4567 m;终点为东经:95°12′52″,北纬:33°45′44″,高程 4872 m。

收稿日期:2008-04-21;改回日期:2008-07-21

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(I46C003004、I46C004004)资助。

作者简介:李善平,男,1974 年生,工程师,硕士生,主要从事区域地质调查及古环境工作;E-mail:lishanping1952@163.com。

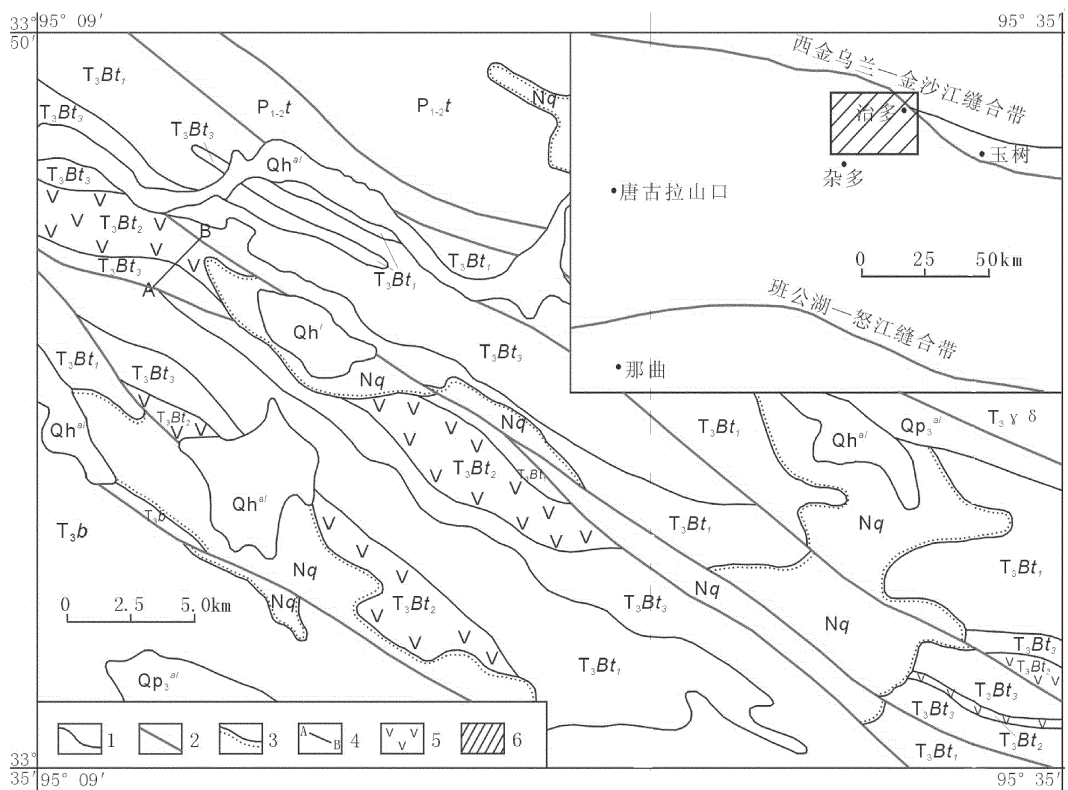


图 1 治多县松赛弄一带地质简图

1—地质界线；2—断层；3—角度不整合界线；4—剖面位置；5—火山岩；6—研究区位置；
P₁₋₂t—通天河蛇绿混杂岩带；T₃Bt₁—碎屑岩组；T₃Bt₂—火山岩组；T₃Bt₃—碳酸岩组；T₃b—波里拉组；
T₃ γ δ—花岗闪长岩；Nq—曲果组；Qp^{al}—冲积物；Qh^{al}—全新世冲积物；Qh^l—湖积物

Fig.1 Geological sketch map of Songsainong area, southern Qinghai

1—Geological boundary; 2—Fault; 3—Angular unconformity; 4—Section position; 5—Volcanic rocks;
6—Location of the surveyed area; P₁₋₂t—Tongtianhe ophiolite belt; T₃Bt₁—Clastic rock formation;
T₃Bt₂—Volcanic rock formation; T₃Bt₃—Carbonate rock formation; T₃b—Bolila Formation;

T₃ γ δ—Granite diorite; Nq—Quguo Formation; Qp^{al}—Alluvium; Qh^{al}—Holocene alluvium; Qh^l—Lacustrine sediments

在下部碎屑岩组中采有珊瑚：*Pinacophyllum* sp., *Margaosmia* sp., 海百合：*Cyclocyclicus* sp., 牙形刺：*Epiqondolella postera* (Koxur et Mostles), *E. abneptis spatultus* (Hayashi), 腕足：*Caucasorhynchia* sp., *Rhaetina comlumnaris* Ching Sun et Ye, *Rhaetina* cf. *taurica* Moisseiev; 瓣鳃：*Halobia* sp., *Halobia talauana* Wanner; *Halobia yandongensis* Chen 等化石。在碳酸盐岩组中产有：腕足：*Rhaetinopsis ovata* Yang et Xu, *Lunaria dorsata* Ching, Sun et Ye, *Aulacothyris* sp., *Adygella* sp., 瓣鳃：*Krumbeckiella* sp., *Cardium* sp.; 头足：*Arcestes* sp.; 珊瑚：*Thecosmilia* sp., *Monteivaltia* sp., *El ysastrea* sp.; 腹足：*Loxonema* sp., *Chemnitzia* sp.; 双壳：*Pteria angusta* (Saurin); 菊石：*Paratibetites* sp.; 海百合：*Cyclocyclicus* sp.。而腕足：*Rhetinopsis pentagonalis* Ching, *Oxycopella*

elongata Ching et Fang, *Amphiclina* sp.; 珊瑚：*Montlivaltia norica* Frech, *Thecosmilia sinensis* Liao et Li, *Pinacophyllum* sp.; 双壳：*Pteria angusta* (Saurin); 菊石：*Paratibetites* sp., 时代为晚三叠世 Carnian-Norian 期。

据上述化石分析认为，松赛弄一带火山岩形成时代属晚三叠世。

2 火山岩的岩石学特征

如前所述,火山岩由安山岩、玄武岩、英安岩、流纹岩及少量凝灰岩等组成,普遍受绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化。

2.1 熔岩类

安山岩呈变余斑状结构、变余交织结构,片状构造。斑晶主要为斜长石,其次为角闪石,含量为15%~

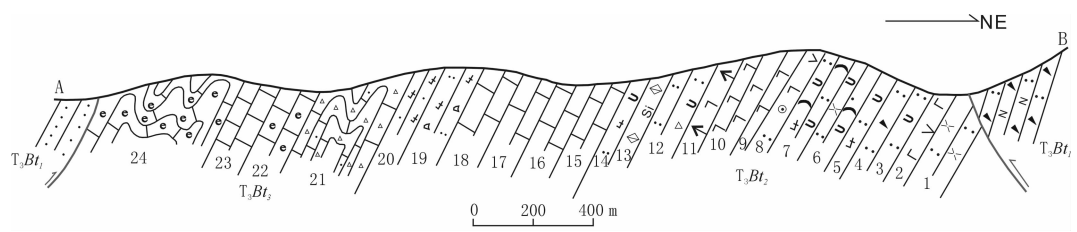


图 2 治多县松赛弄地区巴塘火山岩组实测剖面图

1—凝灰岩;2—玄武安山岩;3—凝灰熔岩;4—玻屑凝灰岩;5—晶屑玻屑熔结凝灰岩;6—熔结凝灰岩;7—复屑熔结凝灰岩;
8—玄武安山岩;9—玄武岩;10—蚀变粗玄武岩;11—蚀变橄辉玄武岩;12—凝灰岩夹复屑熔结凝灰岩;
13—凝灰岩夹含放射虫硅质岩;14—熔结凝灰岩;15—灰岩;16—灰岩夹含生物碎屑灰岩;17—泥晶灰岩;
18—含生物碎屑灰岩;19—玻屑熔结凝灰岩;20—复屑熔结凝灰岩;21—砾屑灰岩;22—含生物碎屑砾灰岩;
23—灰岩;24—含生物碎屑砾屑灰岩。碎屑岩组(T_3Bt_1):长石岩屑砂岩夹泥晶灰岩

Fig.2 Stratigraphic section of Batang volcanic rock formation in Songsainong area, Zhiduo County

1— Tuff;2—Basaltic andesite;3—Tuffaceous lava;4—Vitric tuff;5—Crystal vitric ignimbrite;6—Ignimbrite;7—Polymictic ignimbrite;
8—Basaltic andesite;9—Basalt;10—Altered trachy-basalt;11—Altered olive basalt;12—Tuff intercalated with polymictic ignimbrite;
13—Tuff intercalated with radiolarian cherts;14—Ignimbrite;15—Limestone;16—Limestone intercalated with bioclastic limestone;
17—Micritic limestone;18—Bioclast-bearing limestone;19—Vitric ignimbrite;20—Polymictic ignimbrite;21—Gravel debris
limestone;22—Bioclast-bearing gravel limestone;23—Limestone;24— Bioclast-bearing calcirudyte. Clastic rock group (T_3Bt_1):
Feldspar lithic sandstone intercalated with micritic limestone

25%,粒径为 0.5~2 mm。基质主要由斜长石及蚀变矿物绢云母、次闪石、绿泥石、绿帘石与少量碳酸盐组成。斜长石具环带结构,多被绿泥石、碳酸盐、绢云母交代。

玄武岩呈灰绿色,变余斑状结构,基质具显微粒状变晶结构或变余微晶结构,片状构造或变余杏仁状构造。斑晶由基性斜长石与辉石组成,斜长石已钠长石化与绿帘石化。辉石已绿泥石化、绿帘石化。斑晶含量为 2%~6%,粒径为 0.35~1 mm,基质主要由钠长石、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。

英安岩为灰色,变余斑状结构,基质为微粒镶嵌结构或鳞片花岗变晶结构,片状构造。斑晶由石英、斜长石及少量黑云母组成,含量为 15%~25%,粒径为 1~1.5 mm。基质由斜长石、石英、绢云母及少量磁铁矿组成。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。

流纹岩多呈透镜状分布。为灰黄色,变余斑状结构或显微粒状结构,变余流纹状构造。斑晶为斜长石、石英。含量约为 15%,粒径为 0.4~0.6 mm。基质主要由长英质微粒及绢云母组成,斜长石已绢云母化,矿物具定向排列。

2.2 火山碎屑岩类

凝灰岩为灰绿色,变余晶屑、玻屑凝灰结构,晶

屑主要为斜长石、石英。胶结物为长英质微粒、绿泥石、绢云母细小鳞片,岩石具片理化。

3 地球化学特征

3.1 岩石化学特征

火山岩岩石化学成分见表 1,根据里特曼岩系指数(σ)及固结指数(SI)显示,测区火山岩样品 σ 小于 4,属钙碱性岩石系列,SI 平均为 13.9,表明经历了强烈的结晶分异作用^[5-6]。SiO₂ 含量 48.89%~88.15%,平均 67.44%,TiO₂ 为 0.22~1.85%,平均 0.63%,MgO 含量 0.23%~7.81%,变化较大,平均 2.28%,Al₂O₃ 含量相对较高(多数大于 13.43%),K₂O 含量变化大(0.46%~2.65%)。与岛弧钙碱性安山岩平均化学成分相比^[7],除 SiO₂ 和 H₂O 的平均化学成分略偏高之外,其余成分相对较低,与岛弧环境相似,而钙碱性安山岩是岛弧与活动大陆边缘的特征性火山岩^[7]。常见的活动陆缘:SiO₂ 含量为 56%~75%,(FeO/MgO)>2.0,K₂O/Na₂O>0.6;岛弧:SiO₂ 含量为 50%~66%,(FeO/MgO)<2.0,K₂O/Na₂O<0.6^[8]而测区 SiO₂ 含量多数在 58.64%~79.76%,(FeO/MgO)<1.5,K₂O/Na₂O 多数小于 0.5,暗示其可能产于陆缘岛弧环境。

3.2 稀土元素

火山岩稀土元素含量见表 1,LREE/HREE 比

值大多数在 4.08~6.63, (La/Sm)_n 为 1.79~5.19, 多数比值大于 2。 (Gd/Yb)_n 为 0.96~2.20, 个别小于 1, 表明轻稀土元素之间分馏程度较高且富集, 而重稀土元素之间分馏程度差且富集程度低于轻稀土元素的富集程度。ΔEu 为 0.47~0.99, 仅个别大于 1, 多数显示为弱负异常, Ce 多数属正常型, 极少数属弱亏损型。稀土元素配分模式曲线(图 3)呈平缓的轻稀土元素富集型, 与岛弧型稀土元素配分模式图相似^[9-10]。K、Rb、Ba、Sr 等轻稀土元素来是自俯冲带的流体在上升过程中析出的, 为岛弧和活动大陆边缘所特有的^[7]。由稀土元素特征显示该火山岩具有火山弧环境的特性。

3.3 微量元素

岩石中 La、Rb、Ba、Th、Sm 等元素较明显的富集(表 1), 火山岩微量元素蛛网图(图 4)显示, Ba、Rb、Th 元素呈“单隆起”型特征, 呈现强烈富集, 而 Ti、Cr、P、Sc 等元素较亏损。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^[11], 由于 Nb、La、Ba、Th、Ta、Hf 等元素受到海水蚀变时相对比较稳定^[12-15], 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。陆-陆碰撞、陆内俯冲环境形成的高钾玄武岩其 Nb/Zr>0.04, La/Nb>2.00^[12], 而测区内火山岩的 La/Nb 仅有两个

表 1 松赛弄一带火山岩主元素、稀土元素、微量元素含量
Table 1 Major, REE and trace element composition of volcanic rocks in Songsainong area

岩性	样品号	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	
英安岩	3P11GS5-1	76.93	0.27	11.26	0.62	0.9	0.02	1.08	1	3.85	1.73	0.04	1.72	0.42	99.84	
玄武岩	3P11GS9-1	49.86	1.85	15.51	2.83	6.62	0.13	5.48	8.37	1.12	2.65	0.34	3.1	1.96	99.82	
安山岩	3Gs24-5	59.96	0.96	15.87	4.04	4.42	0.18	2.76	4.42	4.13	0.66	0.19	2.08	0.46	100.13	
绿泥石化安山岩	3GS1522-2	58.64	0.9	16.65	1.33	6.52	0.17	3.7	4.51	2.55	1.7	0.22	2.47	0.67	100.03	
安山岩	3GS1522-3	62.25	0.82	14	3.41	3.72	0.13	1.65	8.32	1.62	0.46	0.19	1.95	1.2	99.72	
流纹英安岩	3GS1522-5	71.36	0.37	12.84	2.27	1.43	0.07	1.11	4.02	1.68	1.68	0.08	1.45	1.25	99.61	
英安岩	3GS332-4	71.03	0.41	14.38	2.17	1.81	0.09	1.16	2.29	3.79	1.23	0.03	0.96	0.7	100.05	
英安岩	3GS333-3	71.52	0.41	14.26	2.39	1.3	0.1	0.74	2.49	3.82	1.2	0.04	0.94	0.41	99.62	
流纹岩	3GS630-1	79.76	0.22	10.59	1.34	0.45	0.03	0.23	0.73	3.58	1.89	0.05	0.36	0.22	99.45	
流纹岩	3GS960-1	88.15	0.28	4.81	0.72	0.36	0.16	0.52	1.11	0.12	1.82	0.05	1.1	0.65	99.85	
玄武岩	3GS964-2	48.89	0.76	17.68	2.11	6.17	0.2	7.81	8.34	2.65	0.96	0.15	4.02	0.06	99.8	
英安岩	3GS332-5	70.9	0.34	13.25	0.88	2.06	0.06	1.11	3.43	2.38	1.88	0.08	1.5	2.26	100.13	
样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	TOTAL
3P11XT5-1	24.63	48.26	6.28	22.77	5.17	0.82	5.39	1.01	6.6	1.36	4.05	0.67	4.38	0.65	36.11	168.15
3P11XT9-1	20.84	46.62	6.1	27.82	6.68	2.06	7.08	1.22	7.37	1.42	3.96	0.6	3.77	0.55	35.93	172.02
3XT24-5	14.12	27.26	3.82	15.87	3.55	1.22	4.00	0.73	4.28	0.9	2.71	0.45	2.67	0.4	21.47	103.45
3XT1522-2	23.86	48.07	6.7	26.26	5.85	1.65	5.94	1.03	6.12	1.24	3.64	0.58	3.59	0.52	29.73	164.78
3XT1522-3	20.41	38.24	4.92	21.09	4.48	1.4	4.66	0.82	4.8	0.97	2.88	0.45	2.77	0.41	23.87	132.17
3XT1522-5	19.17	39.37	4.44	16.41	3.38	0.85	3.25	0.55	3.26	0.69	2.09	0.34	2.12	0.32	16.59	112.83
3XT332-4	26.15	46.59	6.37	22.92	5.03	1.29	5.15	0.91	5.45	1.26	3.64	0.61	4.09	0.62	28.34	158.42
3XT333-3	18.9	35.8	4.93	16.66	3.79	0.93	3.75	0.7	4.15	0.96	2.68	0.47	3.15	0.49	22.66	120.02
3XT630-1	19.06	30.53	3.63	11	2.31	0.46	1.98	0.32	2.11	0.48	1.39	0.24	1.48	0.22	8.13	83.34
3GS960-1	21.26	38.46	4.82	16.91	3.11	0.62	2.61	0.43	2.3	0.44	1.16	0.19	1.13	0.16	11.18	104.8
3GS964-2	11.84	22.64	3.02	12.77	2.88	1.02	3.00	0.53	3.38	0.69	2.01	0.31	2.07	0.32	17.99	84.55
3XT332-5	26.15	46.59	6.37	22.92	5.03	1.29	5.15	0.91	5.45	1.26	3.64	0.61	4.09	0.62	28.34	158.42

续表 1

样品号	Li	Be	Sc	Ga	Th	Sr	Ba	V	Co	Cr	Ni	Cu	Pb	Zn	W	Mo	Ag	As
3P11DY5-1	9.5	1.42	8.1	14	11.9	68.3	442	11.8	1.9	8	5.2	5.9	1.7	76.6	0.87	0.41	0.026	0.68
3P11DY9-1	18.7	1.61	27.7	21.8	4.9	326	171	219	32.5	86.4	39.7	26.g	3.9	90.4	0.75	1.41	0.034	0.75
3DY24-5	16	1.5	33	18	4.5	135	295	89	15	6.3	6.2	16	9.6	99	0.52	<0.2	0.029	2.2
3DY1522-2	17	2	30	16	6.4	451	1661	80	14	4.2	6.4	29	12	113	0.84	0.47	0.03	9.7
3DY1522-3	19	1.7	29	19	5.2	232	611	130	18	8.7	6.7	15	8.5	109	0.77	0.28	0.017	5.1
3DY1522-5	9.3	1.4	11	10	7	172	492	48	7.6	7.9	5.5	8.4	13	50	0.84	0.41	0.128	9.2
3DY332-4	19		30			126	430		14	14	7.1	11		114				
3DY333-3	9.6	1.7	14	14	9.2	146	588	30	6.9	5	4.2	6.6	15	74	0.57	0.23	0.075	2.4
3DY630-1	2.7	1.2	4.3	12	10	65	916	18	3.1	3.9	3.7	3.6	16	25	1.74	0.86	0.119	32
3DY960-1	10.8	0.83	2.8	5.8	6.6	50.5	619	25	3.7	24.4	29.1	10.4	8.5	16.9	0.75	0.89	0.11	2.18
3DY964-2	24.6	0.65	39.8	15.9	2.5	216	120	286	34.8	290	112	50.9	3.3	73.2	0.34	0.27	0.04	4.45
3DY332-5	11	1.7	21	18	7.1	594	339	88	8.8	4.9	6.1	17	13	75	1.19	0.44	0.037	4.4
样品号	Sn	Hg	Bi	F	B	Rb	U	Hf	P	Te	Zr	Au	C1	Ta	Y	Yb	Sb	Nb
3P11DY5-1	2	0.017	0.124	489	14.5	94.7	3.36	5.8		<0.05	185	0.48	42	0.73	18.6	6.8	0.2	13.4
3P11DY9-1	2.6	<0.005	0.078	523	3.2	20.3	1.15	5.8		<0.05	238	0.47	61	1.11	16.8	5.8	0.12	16.9
3DY24-5	1.1	0.006	0.1	242	6.9	78	3.1	5.7	97	0.1	151	0.6	0.011	<0.5	56	6.6	0.31	7.2
3DY1522-2	1.1	0.008	<0.05	361	2.9	40	1.4	5.1	959	0.06	177	0.7	0.004	<0.5	29	3.1	0.66	7.8
3DY1522-3	0.9	0.01	<0.05	395	7	54	1.1	5.9	931	0.01	179	0.6	0.004	0.77	31	3.3	1.72	9
3DY1522-5	1.6	0.015	<0.05	218	5	62	1.6	4.7	201	0.05	150	0.7	0.003	<0.5	15	2.3	0.48	5.7
3DY332-4	1.7	0.01	0.09	1006	8	230	1.2	3.7	753	0.11	93	14.4	0.011	<0.5	18	2.2	1.89	4.1
3DY333-3	2.7	0.01	<0.05	364	9.1	46	2	6	290	0.15	214	0.8	0.008	<0.5	38	4.5	0.35	7.9
3DY630-1	1.8				13	61			195	<0.05	162			0.18	19	2.2		
3DY960-1	1	0.007	0.094	264	23.1	62.7	0.75	5.9	197	<0.05	205	1.08	43	0.22		1.3	0.22	8.1
3DY964-2	1	<0.005	<0.05	347	2	5.5	0.62	1.9	568	<0.05	70.7	0.43	46	0.3		2.9	0.24	7.7
3DY332-5	1.6	0.01	<0.05	333	8.5	75	1.2	3.7	300	0.02	132	7.2	0.002	0.62	17	2	0.84	4.6

注:武汉岩矿实验室完成;岩石化学含量单位为 10^{-2} ;稀土元素、微量元素含量单位为 10^{-6} 。

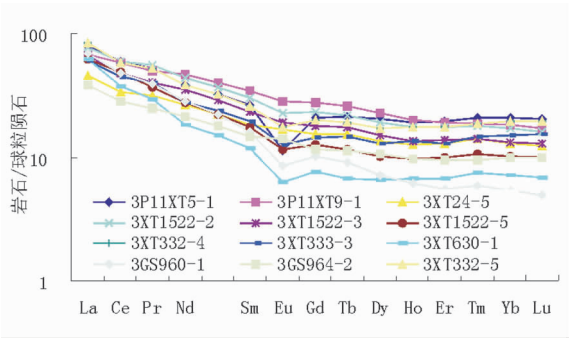


图 3 火山岩稀土元素配分模式图

Fig.3 Chondrite-normalized REE patterns of volcanic rocks

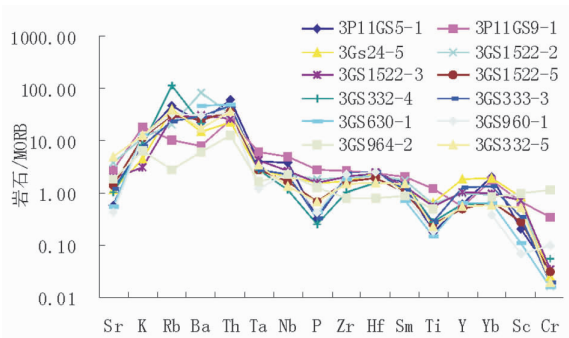


图 4 火山岩微量元素蛛网图

Fig.4 MORB-normalized trace element spidergram

小于 2,其余均大于 2, $Nb/Zr>0.04$,可能是晚三叠世时金沙江古特提斯洋两侧陆块相互碰撞的结果^[16-17]。汪云亮等^[15]认为岛弧玄武岩的 $Th/Ta>1.6$, $Ta/Hf<0.1$, 陆缘火山弧玄武岩的 $Th\times Ta/Hf^2>0.035$, 而测区微量元素 $Th/Ta>4.41$, Ta/Hf 多数在 0.1 附近或小于 1, $Th\times Ta/Hf^2>0.042$, 由此反映出火山岩产于陆缘弧环境。

4 构造环境判别

常量元素 Fe、Mg、K、Na、Si 等的分配特征仅适用于未蚀变火山岩^[7]。而 Ta、Nb、La、Ba、Th、Hf 等为

不活动性元素,它们有类似的中等电离势,离子半径较小,都是非常不相容元素,属高场强元素,其分配系数相近,在陆壳中相对富集,Th、Ta 与 Yb 等元素比值在部分熔融和分离结晶过程中基本保持不变,在海水蚀变及变质过程中是稳定或比较稳定的元素。这些稳定元素对建立火山岩构造环境的地球化学判别图解是十分重要的^[12-15]。

在 $Hf/3-Th-Ta$ 判别图解^[18](图 5-a)中,火山岩所有样品投点均落入岛弧钙碱性火山岩内;在 $Ti/100-Zr-Y\times 3$ 判别图解(图 5-b)中可见,多数样品点落在或靠近钙碱性玄武岩区。上述两个判别图解

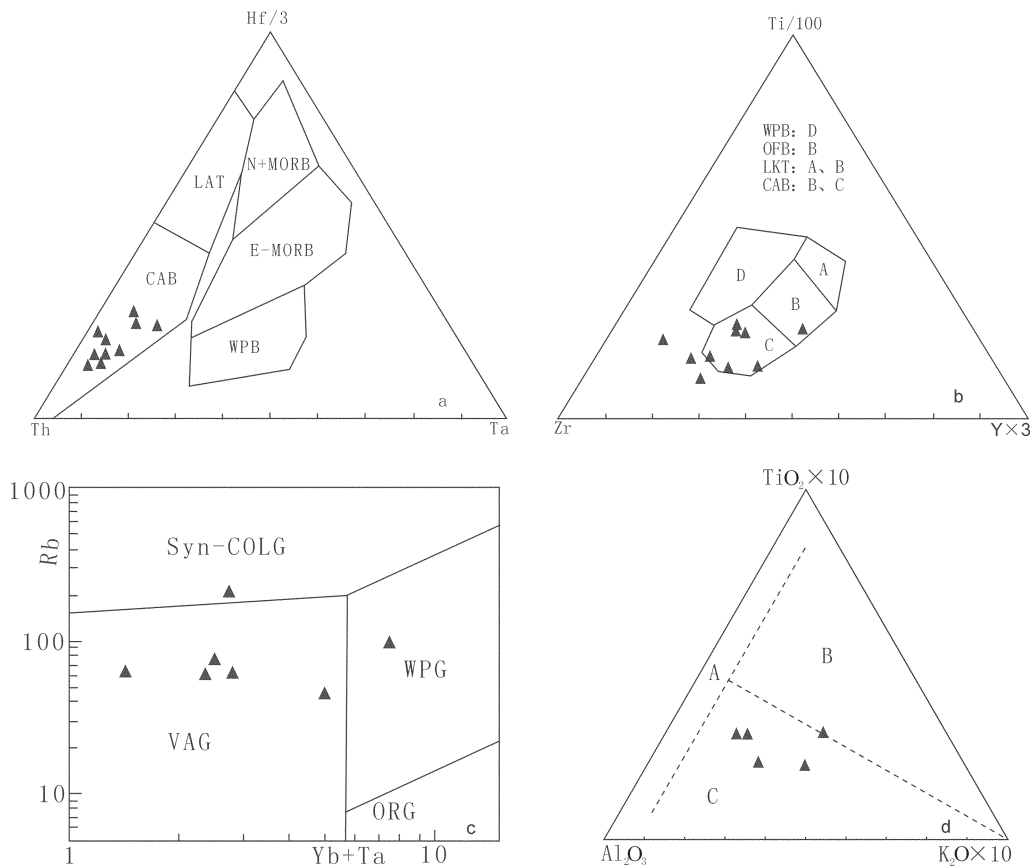


图 5 火山岩构造环境判别图解

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;OFB—洋底拉斑玄武岩;LKT—岛弧拉斑玄武岩;
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;
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

Fig. 5 Tectonic environment discrimination diagram of volcanic rocks

N-MORB—N-ocean floor basalt; E-MORB—E-Ocean floor basalt; WPB—Alkaline intraplate basalt;
LAT+CAB—Arc volcanic basalt; LAT—Island arc tholeiite; CAB—Calc-alkaline basalt; OFB—Ocean floor tholeiite;
LKT—Island arc tholeiite; VAG—Volcanic arc granite; Syn-COLG granite of co-collision; WPG—Intraplate granite; ORG—Granite
ridge; A—Oceanic basalt zone; B—Continental rift zone of basalt district, andesite district; C—Island arc type basalt, andesite district

显示,由玄武岩、安山岩、英安岩及流纹岩等组成的酸性—中性—基性火山岩组合具有钙碱性系列的特征。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 Rb—Yb/Ta 判别图解^[19] (图 5-c)中,多数样品落在火山弧区,暗示了弧火山岩的亲缘性。再将玄武岩及安山岩类样品投在 $TiO_2 \times 10 - (Al_2O_3 - K_2O) \times 10$ 三角图解 (图 5-d) 中,样品点落在岛弧型玄武岩—安山岩区。

上述构造判别图解显示,样品多集中分布,表明本区火山岩具有相同或相近的地球化学特征。综合研究区火山岩的岩石化学与微量元素、沉积环境及区域地质等特征,可以判断晚三叠世是金沙江古特提斯洋两侧地块开始发生碰撞造山的环境,在开始碰撞的同时,还保存有钙碱性弧火山岩。

5 结 语

(1)钙碱性系列火山岩可作为岛弧或活动大陆边缘环境的特征性岩石^[10]。研究区内火山岩是以安山岩及英安岩类占优势的钙碱性系列火山岩,里特曼岩系指数(σ)小于 4,固结指数(SI)平均为 13.9, SiO_2 含量 48.89%~88.15%, 平均 67.44%, TiO_2 为 0.22%~1.85%, 平均 0.63%, Al_2O_3 含量多数大于 13.43%。在 Hf/3—Th—Ta、Ti/100—Zr—Y $\times 3$ 判别图解中也显示,火山岩属钙碱性火山岩。

(2)LREE/HREE 比值为 4.08~6.63,属轻稀土富集性。Ba 强烈富集,而 Nb、Ta 异常亏损,微量元素 La/Nb 多数大于 2, Nb/Zr>0.04; Th/Ta>4.41, Ta/Hf 多数在 0.1 附近或小于 1, Th $\times$ Ta/Hf²>0.042。表明它们主要具有弧岩浆岩的特征。

(3)根据与火山岩组密切共生的碎屑岩组、碳酸盐组中所产古生物化石判断,火山岩产于晚三叠世。此时金沙江洋两侧的地块开始发生碰撞,至晚三叠世末期—侏罗纪早期洋盆最终封闭^[16,20-21]。在这种构造环境下,常常出现弧火山岩与碰撞型火山岩共存的现象。

致谢:本文是 1:25 万治多、杂多县幅区域地质调查成果的一部分,王毅智、祁生胜、王永文、刘生军、丁玉进、安守文等参加了野外区调及室内研究工作,在此一并致谢。

参考文献 (References):

[1] 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 等. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. 地质通报, 2002, 21(11):702-707.

Pan GuiTang, Li Xingzhen, Wang Liquan, et al. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai—Tibet Plateau and its adjacent regions[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 1(11):701-707 (in Chinese with English abstract).

[2] 王宜昌, 杨辉, 王永涛. 青藏羌塘地区隐伏裂陷槽的识别及油气远景[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(1):1-5.

Wang Yichang, Yang Hui, Wang Yongtao. Qinghai—Tibet Qiangtang area concealed rift trough of the identification and hydrocarbon potential [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(1):1-5 (in Chinese with English abstract).

[3] 段其发, 杨振强, 王建雄, 等. 青藏高原北羌塘盆地东部二叠纪高 Ti 玄武岩的地球化学特征[J]. 地质通报, 2006, 25(1/2):156-162.

Duan Qifa, Yang Zhenqiang, Wang Jianxiong, et al. Geochemical characteristics of Permian high—Ti basalt in the eastern part of the northern Qiangtang basin, Qinghai—Tibet Plateau[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(1/2):156-162 (in Chinese with English abstract).

[4] 李勇, 王成善, 伊海生. 西藏金沙江缝合带西段晚三叠世碰撞作用与沉积响应[J]. 沉积学报, 2003, 21(2):191-197.

Li Yong, Wang Chengshan, Yi Haisheng. The Late Triassic collision and sedimentary responses at western segment of Jinshajiang Suture, Tibet[J]. Acta sedimentologica sinica, 2003, 21(2):191-197 (in Chinese with English abstract).

[5] 林景任. 火成岩岩类学与岩理学 [M]. 北京:地质出版社, 1995:110-135.

Lin Jingqian. Petrography and Petrologic Theory of Igneous [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995:110-135 (in Chinese).

[6] 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, 1998:86-107.

Mo Xuanxue, Shen Shangyue, Zhu Qinwen, et al. Sanjiang of Volcanic Rock and South Africa—Ophiolite and Mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998:86-107 (in Chinese).

[7] 金性春. 板块构造学基础 [M]. 上海:科技出版社, 1984:97-115.

Jin Xingchun. Based on Plate Tectonics [M]. Shanghai: Science and Technology Press, 1984:97-115 (in Chinese).

[8] 邱家骧. 应用岩浆岩石学 [M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1991:184-190.

Qiu Jiarang. Application of Magmatic Rocks [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1991:184-190 (in Chinese).

[9] 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, 2000:83-119.

Yang Xueming, Yang Xiaoyong, Chen Shuangxi. Litho geochemistry [M]. Hefei: Chinese Scientific and Technical University Press, 2000, 83-119 (in Chinese).

[10] 赵伦山, 张本仁. 地球化学 [M]. 北京:地质出版社, 1988:11-165.

Zhao Lunshan, Zhang Benren. Geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988:11-165 (in Chinese).

[11] 赵枕华. 微量元素地球化学原理 [M]. 北京:科学出版社, 1997, 123-148.

Zhao Zhenhua. Trace Element Geochemistry Principle [M].

- Beijing: Science Press, 1997: 123–148 (in Chinese).
- [12] 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 Lina, Wang Zhichang, Wang Yunliang. 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).
- [13] 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: 67–113.
- LI Changnian. Igneous Rock of Trace Elements [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992: 67–113 (in Chinese).
- [14] 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. Basalt rock type of tectonic environment Th, Nb, Zr Discrimination [J]. Geological Review, 2003, 49(1): 40–47 (in Chinese).
- [15] 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, 017(03): 431–421.
- 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).
- [16] 孙晓猛, 简平. 滇川西部金沙江古特提斯洋的威尔逊旋回[J]. 地质论评, 2004, 50(4): 343–350.
- Sun Xiaomeng, Jian Ping. The Wilson cycle of the Jinshajiang Paleo-Tethys ocean, in western Yunnan and western Sichuan Provinces[J]. Geological Review, 2004, 50(4): 343–350 (in Chinese).
- [17] 贾建称, 吴新国, 王根厚, 等. 羌塘盆地东部中生代沉积特征与构造演化[J]. 中国地质, 2006, 33(5): 999–1004.
- Jia Jiancheng, Wu Xinguo, Wang Genhou, et al. Mesozoic sedimentary characteristics and tectonic evolution in the eastern part of the Qiangtang basin[J]. Geology in China, 2006, 33(5): 999–1004.
- [18] 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.
- [19] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Journal of Petrology, 1984, 25: 956–983.
- [20] 潘桂棠, 丁俊, 王立全, 等. 青藏高原区域地质调查重要新进展[J]. 地质通报, 2002, 21(6): 787–793.
- Pan Guitang, Ding Jun, Wang Liquan, et al. Qinghai-Tibet Plateau regional geological survey important new progress [J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21 (6): 787–793 (in Chinese with English abstract).
- [21] 贾建称, 温长顺, 王根厚, 等. 冈底斯地区林子宗群火山岩岩石地球化学特征及地球动力学意义[J]. 中国地质, 2005, 32(3): 396–404.
- Jia Jiancheng, Wen Changshun, Wang Genhou, et al. Geochemical characteristics and geodynamic significance of the Linzizong Group volcanic rocks in the Gangdise area[J]. Geology in China, 2005, 32 (3): 396–404 (in Chinese with English abstract).

Characteristics of volcanic rocks in Songsainong of Zhidui area, North Qiangtang Basin, Qinghai-Tibet Plateau, and their tectonic significance

LI Shan-ping^{1,2}, MA Hai-zhou¹, CHEN You-Shun³,
WANG Sheng-Zu⁴, WEI Hai-Cheng¹, LI Wu-fu²

(1. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, Qinghai, China;

2. Qinghai Institute of Geological Survey, Xining 810012, Qinghai, China; 3. Qinghai Seismological Bureau, Xining 810006, Qinghai, China;

4. Qinghai Institute of Highway Survey and Design, Xining 810010, Qinghai, China)

Abstract: A set of Late Triassic acid-intermediate-basic volcanic rocks in Songsainong area is composed of basalt, andesite, dacite, rhyolite and a small amount of pyroclastic rocks as well as some other components. In the volcanic rocks, SiO₂ values are in the range of 48.89–88.15% (67.44% on average), TiO₂ vary between 0.22 and 1.85% (0.63% on average), and MgO range from 0.23 to 7.81%, similar to things of island arc calc-alkaline volcanic rocks. High field intensity elements such as Nb, Ta, Zr, Hf and Ti are depleted, large-ion lithophile elements like Rb, Sr and Ba are relatively concentrated, (La/Sm)_n are 1.79–5.19, and LREE/HREE ratios vary mostly in the range of 4.08–6.63, suggesting a light REE enrichment type. δ Eu values are 0.47–0.99, Eu assumes negative anomalies, La/Nb ratios are mostly higher than 2.00, Nb/Zr > 0.04, Th/Ta > 4.41, and Th × Ta/Hf² > 0.042, implying a margin of the volcanic arc. The above characteristics show that Late Triassic volcanic rocks in Songsainong of Zhidui area were mostly produced in an environment where mainland collision and epicontinental arc are coexistent.

Key words: Qinghai-Tibet Plateau; North Qiangtang Basin; Jinsha River suture zone; Late Triassic; volcanic rock; epicontinental arc