

文章编号: 1009-3850(2009)04-0083-07

青海南部治多县莫云一带上三叠统 那底岗日组火山岩特征及其构造环境

李 莉, 白云山, 牛志军, 段其发

(宜昌地质矿产研究所, 湖北宜昌 443005)

摘要: 青海南部治多县莫云一带的那底岗日组火山岩主要为碱性玄武岩和玄武安山岩。低 Ti 高 Al 轻稀土元素富集, 轻重稀土呈现较强的分馏并具有轻微的负铕异常; 富集大离子亲石元素, 亏损高场强元素; ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 值为 0.70774~0.70801, $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值为 -3.3~-4.5, 反映了岛弧构造环境。那底岗日组火山岩为拉竹龙-金沙江洋(或甘孜-理塘洋)洋壳向南消减形成的岩浆弧。

关键词: 青海南部; 莫云; 火山岩; 构造环境

中图分类号: P588.14 文献标识码: A

青海南部治多县在大地构造上属东特提斯构造域金沙江缝合带与班公湖-怒江缝合带之间的羌塘地块北部^[1]。近年来, 对发育于藏北双湖一带的晚三叠世那底岗日组火山岩研究较多^[2~6], 而对处于同一构造带的青海南部地区晚三叠纪火山岩研究显得较为薄弱, 白云山等曾对各拉丹冬地区的晚三叠纪火山岩作了初步的研究^[7]。在新一轮国土资源大调查青藏高原羌塘东部地区直根尕卡幅 1:25 万区域地质调查工作中, 笔者对分布于青海省南部治多县莫云一带的晚三叠世那底岗日组火山岩(图 1)进行了较详细调查研究, 分析了成因类型, 并对其形成构造环境进行探讨。

1 地质特征

那底岗日组分布于青海省治多县, 主要分布在苟纳稍宋至索木一带, 呈北西-南东向展布。此外, 在扎那日根也有零星分布, 被中侏罗统雀莫错组平行不整合覆盖, 角度不整合于中二叠统尔笛考组之上。可细分为下部碎屑岩段和上部火山岩段。下段

为紫红色夹灰色-灰绿色厚层-块状复成分中、细砾岩、碳酸盐质粗砾岩夹厚层状含砾粗粒岩屑砂岩和钙质粗粒岩屑石英砂岩、中层状中细粒岩屑石英砂岩。索木一带见岩屑杂砂岩, 总体具下粗上细的旋回特征。砾石成分以灰岩、火山岩(玄武岩)和砂岩为主, 偶见硅质岩, 向上火山岩砾石减少, 灰岩、砂岩砾石增多。砾石多呈次圆状-次棱角状, 胶结物以泥晶赤铁矿和方解石为主, 少量泥质, 孔隙式胶结。总体上, 岩石分选性和磨圆度较差, 局部见砾石长轴顺层排列或呈叠瓦状, 砂岩、含砾砂岩中发育大型板状斜层理。向南东方向, 在左支和索木一带砾岩变薄, 中细粒岩屑石英砂岩明显增多, 成分成熟度和结构成熟度变高。下部砾岩属洪积相, 中上部属冲积相。该段厚度从苟纳稍宋向南东至左支、索木厚度分别为 553.8 m、209.9 m 和 839.4 m。上段: 主体岩性为浅紫红色橄榄玄武质粗面安山岩、灰绿色-浅灰绿色块状橄榄玄武质粗面安山岩, 发育气孔和杏仁构造。气孔多呈椭圆状, 杏仁体以绿泥石、方解石为主。在左支剖面, 本段中部夹灰绿色中层-块状钙质砾质粗

收稿日期: 2008-11-15 改回日期: 2009-06-04

作者简介: 李莉(1967-), 女, 主要从事地质矿产勘查与地理信息专业的研究。E-mail: yclli@cgs.gov.cn

资助项目: 中国地质调查局 1:25 万直根尕卡幅区调项目(编号: 20001200009121)

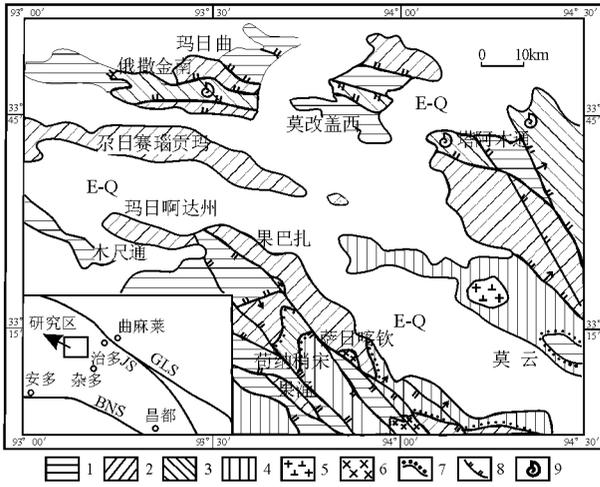


图 1 研究区地质简图

E-Q 古近系—第四系；1 下石炭统；2 中—下二叠统；3 上三叠统；4 下—中侏罗统；5 花岗闪长岩；6 辉绿岩；7 角度不整合；8 断层；9 化石。GLS 甘孜理塘缝合带；JS 金沙江缝合带；BNS 班公湖怒江缝合带

Fig 1 Simplified geological map of the Muxung region, Zhidui southern Qinghai

E-Q = Paleogene-Quaternary 1 = Lower Carboniferous 2 = Middle-Lower Permian 3 = Upper Triassic 4 = Lower-Middle Jurassic 5 = Granodiorite 6 = diabase 7 = angular unconformity 8 = fault 9 = fossil GLS = Ganze-Litang suture zone JS = Jinshajiang suture zone BNS = Bangong Lake-Nujiang suture zone

$4Ma \pm 208Ma \pm 4M$ 和 $210Ma \pm 4Ma$ ^[2] 及各拉丹冬一带的鄂尔陇巴组 (锆石 U-Pb 定年结果为 $212Ma$ ^[7] 时代相同, 为晚三叠世中期 (诺利期)。

2 岩石学特征

那底岗日组火山岩普遍蚀变较强, 可见到明显的蛇纹石化、绿泥石化和绿帘石化等蚀变现象。岩石颜色较深, 呈暗绿色、灰绿色, 普遍具有杏仁和气孔构造。利用在蚀变过程中不活泼元素比值的 $Zr/TO_2 - Nb/Y$ 图解 (图 2) 进行岩石分类, 样品全落入碱性玄武岩区。火山岩主要岩石特征描述如下:

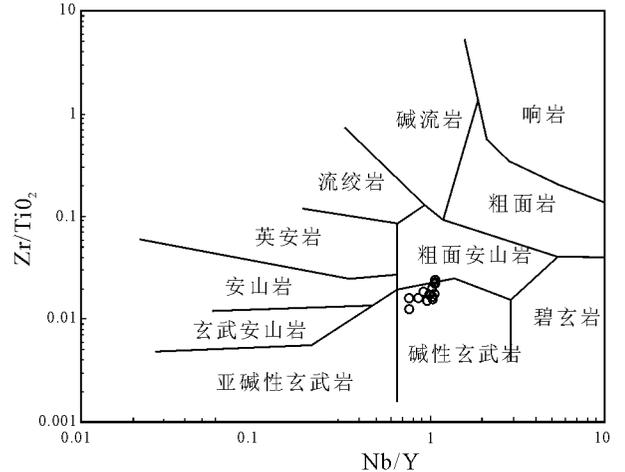


图 2 Zr/TO₂ - Nb/Y 图解

Fig 2 Zr/TO₂ vs Nb/Y diagram

粒岩屑砂岩、细粒岩屑石英砂岩, 顶部见杂色厚层状中基性火山角砾岩、晶屑凝灰岩。在苟纳稍宋厚 197.7m, 在左支厚 202.9m, 在索木剖面上熔岩不发育, 仅发育厚约 92m 的紫红色中厚层状含水云母基性火山层凝灰岩。

火山岩分布于上段, 为陆相连续喷发形成的溢流相火山岩。王剑等^[2,3]、翟庆国等研究的双湖以西菊花山、那底岗日、拉雄错等地的那底岗日组火山岩主要为安山岩、英安岩、英安质晶屑凝灰岩及流纹质晶屑凝灰岩等中性、中酸性及酸性火山岩, 未见基性火岩。白云山等^[7] 等在各拉丹冬一带研究的鄂尔陇巴组 (那底岗日组) 火山岩主要为玄武岩、安山岩、流纹岩等基性-中性-中酸性火岩, 而笔者在治多县莫云一带发现的那底岗日组火岩主要为中基性火山岩, 说明从西向东那底岗日组基性火山岩逐渐增多。本次研究对那底岗日组火山岩橄榄玄武质粗面安山岩中的角闪石做了 K-A 法年龄测定, 结果为 $208Ma$ 。与藏北羌塘盆地双湖一带出露的那底岗日组 (SHRMP 锆石 U-Pb 定年结果分别为 $205Ma \pm$

2.1 橄榄玄武岩

岩石呈暗绿色, 斑状结构, 基质为间粒结构, 块状构造。岩石由斑晶 (13%) 和基质组成。斑晶成分为橄榄石, 多已蚀变为蛇纹石、伊丁石和磁铁矿, 但保存了橄榄石半自形晶及近似于菱形六边形轮廓, 晶粒大小 $0.1 \sim 0.15mm$ 及 $0.35 \sim 1.1mm$; 前者被棕红色伊丁石取代, 后者中棕红色伊丁石往往呈橄榄石镶边。而磁铁矿沿橄榄石内边缘及裂隙或晶隙分布, 显示网状结构特征。磁铁矿呈网环分布, 网环之间分布蛇纹石。基质成分为拉长石 (50%)、单斜辉石 (25%) 和磁铁矿 (3%), 以及少量碳酸盐岩 (4%)、绿泥石 (3%)、磷灰石 (<1%) 和榍石 (<1%)。拉长石呈半自形条状微晶, 大小为 $0.035mm \times 0.25 \sim 0.05 \times 0.35mm$, 杂乱分布, 并形成不规则三角形格架, 其中充填细粒单斜辉石 ($0.03mm \times 0.07 \sim 0.05 \times 0.1mm$) 和绿泥石、磁铁矿等。蚀变作用表现为橄榄石的蛇纹石化、伊丁石化, 并析出大量磁铁矿。

2.2 杏仁状玄武安山岩

岩石呈灰绿色, 间粒间隐结构, 杏仁状构造, 由斑晶(2%)、基质(80%)及杏仁体(15%)等组成, 基质具有间粒间隐结构。斑晶为橄榄石, 含量低, 可见到由铁质勾画出近似于菱形六边形假象, 晶内见不同方向裂隙; 基质以板条状微晶斜长石(60%)为主, 晶粒大小约为 $0.01\text{mm} \times 0.2\text{mm} \sim 0.02\text{mm} \times 0.4\text{mm}$ 。斜长石杂乱分布构成不规则三角孔隙, 充填玻璃质、铁质氧化物及少量绿泥石、碳酸盐。杏仁体呈圆状, 椭圆状, 大小约为 $1 \sim 2\text{mm}$; 具压扁拉长特征, 充填物为方解石。岩石中含有少量细砂岩捕虏体(3%), 其成不规则状, 界线清楚, 外缘具熔蚀状。

2.3 杏仁状安山岩

岩石呈灰绿色, 斑状结构, 基质具间隐结构, 杏仁状构造。岩石由斑晶(10%)、基质(76%)和杏仁体组成。斑晶成分主要为拉中长石, 含量少, 晶体较细小, 一般为 $0.2\text{mm} \times 0.5\text{mm}$; 钠长石双晶可见; 基质由拉长石、中长石(30%)、绿泥石(10%)、磁铁矿(5%)及氧化铁和玻璃质(30%)组成, 拉长石中长石呈半自形板状微晶, 杂乱分布于玻璃质及脱玻化隐晶质中, 其中分布较多星点状磁铁矿和铁质氧化物。杏仁体(14%)呈不规则状, 其中充填多晶或单晶方解石。

3 岩石化学特征

岩石化学成分见表 1。 SiO_2 含量为 $46.58\% \sim 53.45\%$, 为中基性岩。低钛, TiO_2 含量为 $0.87\% \sim 1.47\%$, 平均 1.20% , 显示出岛弧火山岩特性, 而有别于大洋中脊和洋岛火山岩(其 TiO_2 含量一般 $> 1.3\%$); 高铝, Al_2O_3 含量为 $16.33 \sim 17.95\%$, 平均 17.23% , 高于一般的大洋火山岩, 与典型的岛弧钙碱性玄武岩(平均 17.8)接近; 全碱含量较高, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 为 $6.11\% \sim 8.71\%$, 平均 7.42% , 且多数样品 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$; P_2O_5 含量为 $0.44\% \sim 0.65\%$, 平均 0.58% 。 σ 值为 $4.10 \sim 8.72$, 属碱性岩系。在 $\text{Zr/TiO}_2 - \text{Nb/Y}$ 图解中(图 2), 样品全落入碱性玄武岩系列, 与各拉丹冬一带的鄂尔陇巴组中基性火山岩一致^[7]。 CIPW 计算结果见表 1, 多数样品含有 Hf, D, 部分样品中含有 O, Ne。

4 地球化学特征

4.1 稀土元素特征

那底岗日组火山岩稀土元素分析结果见表 2,

ΣREE 为 $123.91 \sim 265.99 \times 10^{-6}$, 平均 211.37×10^{-6} ; LREE/HREE 为 $6.38 \sim 11.50$ (La/Yb)_n 为 $7.69 \sim 17.28$ 平均为 13.05 , 反映轻稀土高度富集。稀土配分曲线右倾(图 3), 轻稀土元素配分曲线向右陡倾, 而重稀土配分曲线相对平坦, 与板块会聚边缘玄武岩稀土元素配分曲线相似。 $\delta\text{E}u = 0.69 \sim 0.88$, 具有弱负铕异常, 表明岩浆演化过程中斜长石的分离结晶作用不明显。

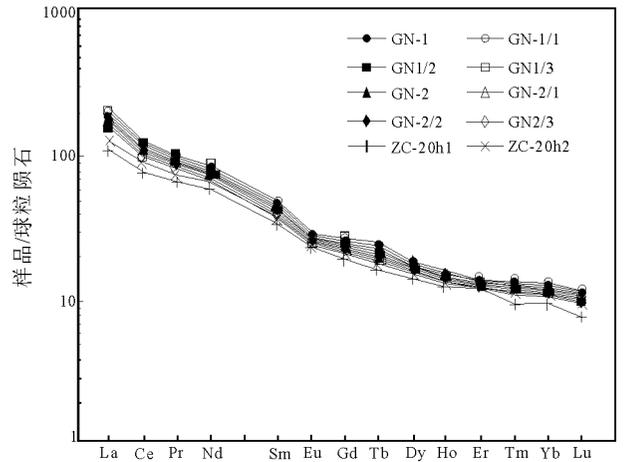


图 3 稀土元素球粒陨石标准化配分曲线

Fig 3 Chondrite-normalized REE distribution patterns for the volcanic rocks from the Naqiangri Formation

4.2 微量元素特征

微量元素分析结果见表 3。岩石的 MORB 标准化微量元素分布图(图 4)表现为大离子亲石元素富集, T 显著亏损, 高场强元素 Ta, Nb, Zr, P 亏损, 这基本反映了活动大陆边缘的特征。 Salter 和 Hart 发现活动大陆边缘区 La/Nb 比值普遍较高 (> 2)^[8]。那底岗日组火山岩 La/Nb 比值为 $1.67 \sim 2.73$ 平均为 2.23 , Ba/La 变化于 $12.00 \sim 53.60$ 之间, 平均为 33.56 , 与板块俯冲作用有关的岛弧火山岩的 Ba/La 值(岛弧火山岩 $\text{Ba}/\text{La} > 30$)^[9] 相近。板块会聚和离散区火山岩系研究表明^[10], 二者之间的火山作用在 Th/Ta 值上有明显区别, 板块构造会聚区火山岩系的 Th/Ta 值变化较大, 多大于 10 , 那底岗日组火山岩 Th/Ta 值为 $2.93 \sim 40.68$ 平均为 20.66 明显具有板块会聚区的特点。

5 Sr-Nd 同位素地球化学

Sr-Nd 同位素分析结果列于表 4。那底岗日组火山岩 ISr 值比较一致, 变化于 $0.70747 \sim 0.70791$ 之间, 略高于现代大洋玄武岩的 ISr ($0.702 \sim 0.706$)

表 1 火山岩岩石化学成分及 CIPW 标准分子 (%)

Table 1 Petrochemical compositions and CIPW norms (%) for the volcanic rocks from the Nadgongri Formation

样号	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	灼失	总量
GN-1	51.77	1.41	17.07	4.91	2.82	0.11	4.38	6.50	3.54	3.59	0.58	2.74	99.42
GN-1/1	51.62	1.47	17.22	5.14	3.28	0.16	3.85	8.01	3.28	2.94	0.58	1.65	99.20
GN1/2	52.00	1.42	17.63	5.03	3.02	0.15	4.10	7.80	3.13	2.98	0.58	1.60	99.44
GN1/3	53.45	1.17	17.43	4.81	2.27	0.14	4.11	5.31	3.36	4.75	0.62	2.06	99.48
GN-2	52.20	1.21	17.57	5.06	2.15	0.41	5.30	3.74	3.23	4.76	0.64	3.00	99.27
GN-2/1	52.61	1.25	17.85	4.85	2.08	0.41	4.59	4.43	3.25	4.61	0.65	2.56	99.14
GN-2/2	52.68	1.25	17.95	4.05	2.27	0.42	4.53	4.98	3.56	4.34	0.63	2.57	99.23
GN2/3	51.42	1.25	17.90	5.21	1.83	0.34	5.24	3.39	2.31	6.40	0.62	3.24	99.15
ZC-19h1	48.94	1.15	16.65	3.56	5.04	0.14	6.77	6.82	3.36	3.54	0.57	3.20	99.74
ZC-20h1	48.08	1.10	16.96	3.92	4.89	0.13	6.82	7.04	3.09	3.39	0.57	3.75	99.74
ZC-20h2	48.88	1.15	16.96	3.42	4.40	0.13	5.54	6.65	3.57	3.72	0.57	4.10	99.09
SR822/h1	46.58	0.87	16.33	5.88	0.69	0.14	0.68	10.27	5.93	1.97	0.44	9.34	99.12
SR822/h2	46.90	0.88	16.44	5.83	0.82	0.09	1.00	9.58	6.13	1.71	0.44	9.30	99.12

样品号	AP	Il	Mt	Hm	Or	Ab	An	Qz	C	Di	Hy	Ol	Ne	DI	A/CNK	SI	σ43
GN-1	1.31	2.77	5.54	1.26	21.94	30.98	20.77	0.36	0.00	7.05	8.02	0.00	0.00	53.28	0.79	22.77	5.16
GN-1/1	1.30	2.86	7.00	0.44	17.81	28.45	24.17	2.68	0.00	10.17	5.12	0.00	0.00	48.94	0.74	20.82	4.10
GN1/2	1.30	2.76	6.24	0.84	18.00	27.07	25.81	3.28	0.00	7.98	6.74	0.00	0.00	48.34	0.78	22.45	3.84
GN1/3	1.39	2.28	4.50	1.84	28.81	29.18	18.94	0.74	0.00	3.39	8.94	0.00	0.00	58.73	0.86	21.30	5.84
GN-2	1.45	2.39	4.94	1.85	29.22	28.39	15.36	0.94	1.75	0.00	13.71	0.00	0.00	58.55	1.02	25.85	6.14
GN-2/1	1.47	2.46	4.57	1.87	28.21	28.47	18.80	1.43	0.89	11.84	0.00	58.11	0.97	23.68	5.77		
GN-2/2	1.42	2.46	5.24	0.58	26.53	31.16	20.88	0.00	0.00	0.66	10.09	0.98	0.00	57.69	0.92	24.16	5.81
GN2/3	1.41	2.48	3.53	3.00	39.43	20.38	13.73	0.00	2.45	0.00	13.57	0.03	0.00	59.81	1.06	24.96	7.77
ZC-19h1	1.28	2.26	5.35	0.00	21.67	24.27	20.61	0.00	0.00	8.78	0.00	12.98	2.80	48.75	0.77	30.40	6.64
ZC-20h1	1.30	2.18	5.92	0.00	20.87	23.73	23.33	0.00	0.00	7.61	0.00	13.17	1.90	46.50	0.79	30.85	6.43
ZC-20h2	1.32	2.30	5.22	0.00	23.14	25.49	20.28	0.00	0.00	8.69	0.00	10.14	3.42	52.05	0.77	26.83	6.96
SR822/h1	1.07	1.84	0.18	6.43	12.97	32.73	13.50	0.00	0.00	18.75	0.00	0.00	12.54	58.25	0.53	4.49	8.72
SR822/h2	1.07	1.87	0.42	6.20	11.25	35.54	13.68	0.00	0.00	17.94	0.00	0.00	12.03	58.82	0.56	6.43	8.27

由宜昌地质矿产研究所实验室分析测定

表 2 火山岩稀土元素分析结果 (w_B/10⁻⁶)

Table 2 REE analyses for the volcanic rocks from the Nadgongri Formation (w_B/10⁻⁶)

样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	IREE	HREE	ΣEu
GN-1	53.2	88.8	10.20	46.2	8.01	2.04	6.47	0.96	5.65	1.08	2.83	0.44	2.46	0.34	22.8	228.68	206.41	21.93	0.85
GN-1/1	56.2	92.5	10.60	47.1	8.66	2.08	6.76	1.12	6.09	1.18	3.00	0.46	2.74	0.37	25.4	238.86	215.06	23.43	0.81
GN1/2	48.4	81.0	9.94	43.6	7.75	2.01	6.24	0.92	5.70	1.07	2.77	0.40	2.48	0.33	23.1	212.61	190.69	21.59	0.86
GN1/3	63.4	99.5	11.50	51.8	9.16	2.01	7.08	1.13	5.97	1.07	2.73	0.41	2.52	0.36	23.5	258.64	235.36	22.92	0.74
GN-2	57.6	99.7	11.50	49.4	9.68	1.94	7.10	1.20	6.01	1.10	2.81	0.42	2.54	0.35	23.0	251.35	227.88	23.12	0.69
GN-2/1	67.4	104.0	11.50	51.3	8.74	2.09	6.78	1.10	5.75	1.08	2.89	0.44	2.56	0.36	23.3	265.99	242.94	22.69	0.81
GN-2/2	58.5	97.7	11.10	49.3	8.97	2.03	6.74	0.99	5.58	1.01	2.81	0.40	2.48	0.35	23.0	247.96	225.57	22.04	0.77
GN2/3	64.1	105.0	11.70	51.4	9.23	2.03	7.02	1.10	5.83	1.05	2.84	0.44	2.53	0.36	23.9	264.63	241.43	22.84	0.75
ZC-19h1	36.5	66.4	4.96	37.7	6.80	1.72	5.34	0.80	4.94	0.90	2.64	0.36	2.08	0.26	18.7	171.40	152.36	18.78	0.85
ZC-20h1	35.0	62.8	7.83	35.6	6.66	1.67	5.01	0.80	4.77	0.91	2.67	0.32	2.01	0.25	18.3	166.30	147.89	18.16	0.86
ZC-20h2	40.0	74.0	8.43	41.1	7.62	1.83	5.71	0.88	5.50	1.01	2.78	0.40	2.47	0.32	22.0	192.05	171.15	20.58	0.82
SR822/h2	26.4	45.1	5.29	24.2	4.82	1.31	4.65	0.82	4.80	0.89	2.65	0.42	2.26	0.30	20.6	123.91	105.81	17.80	0.84

由宜昌地质矿产研究所实验室采用 ICP-AES系统测试

表 3 那底岗日组火山岩微量元素分析结果 ($w_B/10^{-6}$)

Table 3 Trace element analyses for the volcanic rocks from the Nadigangri Formation ($w_B/10^{-6}$)

Cu	Pb	Zn	Cr	Li	Rb	Cs	As	Sr	Ba	V	Sc	Ga	Be	Nb	Ta	Zr	Hf	U	Th	
GN-1	56.4	32.7	76.0	191	48.5	159	4.8	1.29	705	1280	182	20.3	17.8	2.79	24.4	1.37	239	8.58	8.46	4.02
GN-1/1	59.5	27.9	80.7	157	16.8	158	5.3	1.87	639	980	190	19.6	22.8	4.20	24.9	1.58	217	7.66	8.07	34.60
GN1/2	51.1	35.3	85.1	172	22.8	180	6.4	1.97	606	910	186	20.4	22.5	4.30	24.2	1.38	221	7.93	8.07	35.00
GN-2	13.2	38.2	113.0	178	139.0	197	4.0	1.20	1380	3260	140	16.5	21.1	4.25	23.2	1.98	202	7.26	8.52	37.10
GN-2/1	12.8	70.0	121.0	190	136.0	208	4.5	2.32	1620	3280	136	14.5	21.1	3.80	24.7	2.45	230	8.43	8.07	42.20
GN-2/2	11.8	42.6	108.0	180	123.0	201	5.2	1.59	1520	2920	144	17.3	16.8	2.93	24.2	4.10	248	8.81	9.32	38.70
ZC-19h1	58.0	42.1	55.4	191	67.4	192	43.5	2.37	434	1110	202	29.5	16.9	3.21	16.0	1.17	181	5.64	5.96	34.30
ZC-20h1	43.5	83.1	174.0	197	81.8	176	30.4	3.04	632	1740	214	30.8	15.6	2.70	17.2	1.07	196	6.20	6.11	39.60
ZC-20h2	60.0	58.3	142.0	233	71.8	205	57.0	5.38	417	1400	218	31.8	10.7	2.34	16.9	0.88	189	5.74	6.34	35.80
SR822-h1	29.0	103.0	60.8	218	17.3	65.0	6.9	23.70	678	582	167	25.2	14.9	1.33	15.8	0.80	107	3.35	1.33	9.40
SR822-h2	17.0	96.3	84.8	241	12.7	81.3	10.6	24.30	437	336	175	25.9	22.0	2.01	16.7	0.97	112	3.70	1.85	12.90

由宜昌地质矿产研究所实验室采用 ICP-AES系统测试

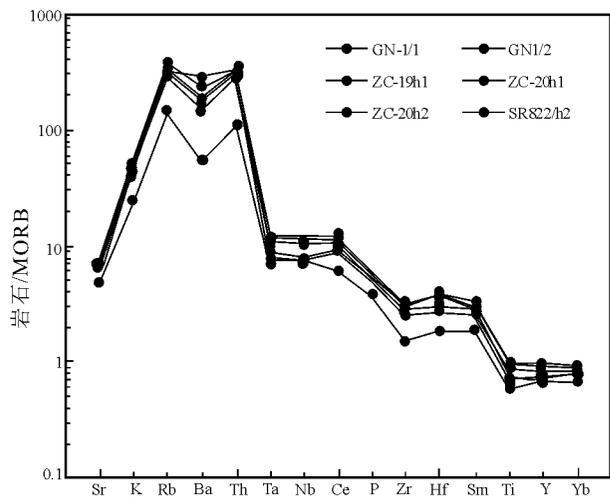


图 4 火山岩微量元素 MORB标准化蛛网图

Fig 4 MORB-normalized trace element patterns for the volcanic rocks from the Nadigangri Formation (MORB values from Bevuens et al., 1984)

值,但明显小于大陆壳平均值 0.719。 $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})$ 值也较为一致,变化于 0.512143~0.5122065 间,同样位于大洋地幔 (0.51315~0.51305) 与大陆壳上地壳 (0.51212) (Faure & 1986) 之间。 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 变化于 -3.2~-4.4 之间, $\epsilon\text{Sr}(t)$ 变化于 45.6~51.9 之间,在 Zindler 和 Hart (1986) 的 Sr-Nd 同位素相关图上 (图 5), 样品集中分布富集地幔象限内, 位于 EM1 端元、EM2 端元和 BSE 之间, 且偏离地幔演化线, 显示其源区本身经历了一定程度的轻稀土元素和不相容元素的富集过程, 表明火山岩应来源于富集型地幔源区。在火山岩原始岩浆形成过程中

可能有大量再循环而进入地幔的地壳物质。长江源各拉丹冬地区晚三叠世火山岩的特征与此相同^[10], 说明形成火成岩的岩浆是地幔与地壳两组分的混合, 以幔源组分略占优势。而对于富集成分的成因可能存在两种解释, 一是可以归因于上地幔交代作用或地幔变质作用, 然而这套火山岩中 Nb、Ta 和 Ti 的弱亏损乃是上地壳沉积岩和岛弧区岩浆作用的典型地球化学标志, 且样品在 Sr-Nd 相关图 (图 5) 中分布偏离地幔演化线, 因而更合理的解释则是这一富集组分的形成与古老板块 (古洋壳) 俯冲作用带入深部并滞留在深部的地壳物质有关。样品的模式年龄变化于 1130~1193Ma 之间, 平均为 1155Ma。由于岩浆是壳-幔两组分混合的产物, 因此可以推断: 参与混合作用的地壳形成于中元古代以前。

表 4 Sr-Nd 同位素组成测定结果

Table 4 Sr and Nd isotopic determinations for the volcanic rocks from the Nadigangri Formation

样号	MYGN-1	MYGN-1/2	MYGN-1/3
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	0.8359	0.8928	0.8396
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.70994	0.71055	0.71013
$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$	0.70747	0.70791	0.70765
$\epsilon\text{Sr}(t)$	45.60	51.90	48.20
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0.1062	0.1056	0.1028
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	0.512346	0.51235	0.512283
$(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$	0.512201	0.512206	0.512143
$\epsilon\text{Nd}(t)$	-3.30	-3.20	-4.40
TDM/Ma	1142	1130	1193

T=208Ma

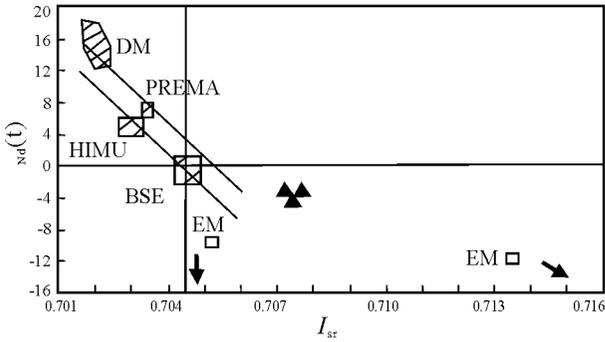


图 5 Sr-Nd相关图(据 Zindler and Hart, 1986)

DM 亏损地幔; EM 原始地幔; HIMU 高 μ 地幔; BSE 全硅酸盐地球; EM I、EM II 富集地幔

Fig 5 Sr-Nd diagram (after Zindler et Hart, 1986)

DM= depleted mantle EM= primitive mantle HIMU= high μ mantle BSE= bulk silicate earth EM I and EM II= enriched mantle

6 构造环境

那底岗日组火山岩主要由碱性玄武岩和玄武安山岩组成的一套中基性岩石。岩石化学上那底岗日组火山岩表现为低 Ti 高 Al 稀土元素特征表现为轻稀土元素富集, 轻重稀土呈现较强的分馏并具有轻微的负铕异常; 在微量元素地球化学方面, 表现为富集大离子亲石元素, 亏损高场强元素, 这些地球化学特征均为弧火山岩所常见。其次, 这套火山岩 Sr 同位素初始值比值为 0.70747 ~ 0.70791, Nd 同位素的 εNd(t) 值为 -3.2 ~ -4.4 与安第斯火山岩的相

应范围 (分别为 0.7027 ~ 0.709 和 -2.50 ~ -3.47)^[12] 相近, 因此也从同位素地球化学角度佐证了上述构造环境判断。在 Hf/3-Th-Ta 与 Hf/3-Th-Nb/16 图解 (图 6) 及 10TQ-A₂Q-10K₂ (图解 (图 7) 中, 样品均落入岛弧火山岩区。综合上述分析, 那底岗日组火山岩形成的大地构造环境总体应属岛弧环境。

7 结论

(1) 青藏高原羌塘东部治多县莫云一带的晚三叠世那底岗日组火山岩是由玄武岩、安山岩组成的中基性熔岩, 岩石化学表现为低 Ti 高 Al 稀土元素特征表现为轻稀土元素富集, 轻重稀土呈现较强的分馏并具有轻微的负铕异常; 在微量元素地球化学方面, 表现为富集大离子亲石元素, 亏损高场强元素, Sr 同位素初始值比值为 0.70747 ~ 0.70791, Nd 同位素的 εNd(t) 值为 -3.2 ~ -4.4 表现为弧火山岩特征。

(2) 三叠纪—早侏罗世, 羌塘陆块总体处于俯冲、消减的岛弧构造环境。在三江地区有晚三叠世的义敦岛弧^[12]、江达岛弧^[13], 在双湖地区发现了晚三叠世茶卡-长梁山-江爱山-纳若一带火山岩浆弧^[14]。在各拉丹冬一带发现了晚三叠世鄂尔陇巴组岛弧型火山岩^[7], 本次工作在治多县莫云一带发现了晚三叠世那底岗日组岛弧型火山岩, 说明羌塘-三江地区在三叠纪从东到西存在多个岛弧带, 其应为拉竹龙-金沙江洋盆 (或甘孜-理塘洋) 向南消减^[1] 的产物。

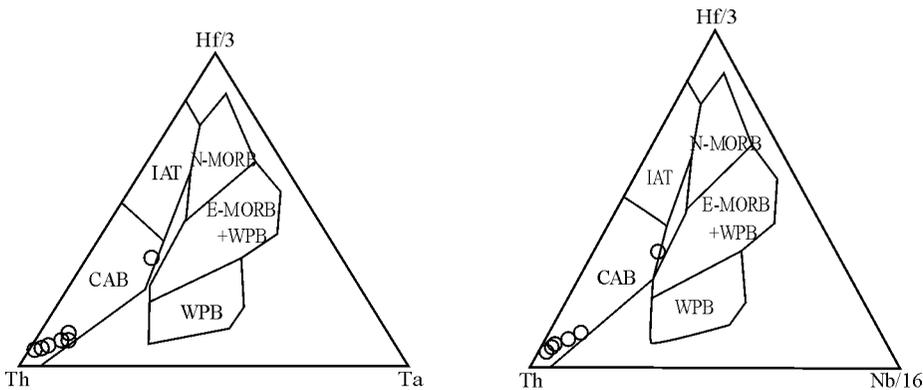


图 6 Hf/3-Th-Ta 图解和 Hf/3-Th-Nb/16 图解

MORB 洋脊玄武岩; WPB 板内玄武岩, CAB 钙碱性玄武岩

Fig 6 Hf/3-Th-Ta and Hf/3-Th-Nb/16 diagrams

MORB= mid-oceanic ridge basalt WPB= within plate basalt CAB= calc. alkaline basalt

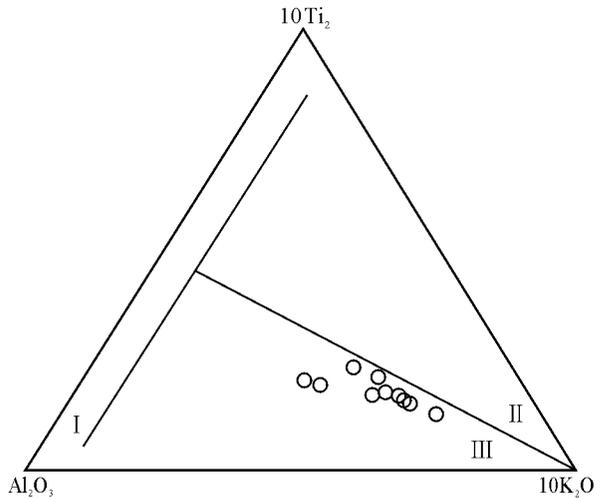


图 7 $10\text{TiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - 10\text{K}_2\text{O}$ 图解

I. 大洋玄武岩, II. 大陆玄武岩, III. 岛弧玄武岩

Fig 7 $10\text{TiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - 10\text{K}_2\text{O}$ diagram

I = oceanic basalt II = continental basalt III = island-arc basalt

参考文献:

- [1] 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, 122-128.
- [2] 王剑, 汪正江, 陈文西, 等. 藏北北羌塘盆地那底岗日组时代归属的新证据 [J]. 地质通报, 2007, 26(04): 404-409.
- [3] 王剑, 付修根, 陈文西, 等. 北羌塘沃若山地区火山岩年代学及区域地球化学对比 对晚三叠世火山沉积事件的启示 [J]. 中国科学 D辑, 2008, 38(1): 33-43.

- [4] 翟庆国, 李才. 藏北羌塘菊花山那底岗日组火山岩 SHRMP定年及其意义 [J]. 地质学报, 2007, 81(6): 795-780
- [5] 汪正江, 王剑, 谭富文, 等. 青藏高原北羌塘盆地上三叠统那底岗日组火山岩的地球化学特征及其意义 [J]. 地质通报, 2008, 27(1): 83-91.
- [6] 付修根, 王剑, 汪正江, 等. 藏北羌塘盆地菊花山地区火山岩 SHRMP锆石 U-Pb年龄及地球化学特征 [J]. 地质论评, 2008, 54(2): 233-242
- [7] 白云山, 李莉, 牛志军, 等. 羌塘中部各拉丹冬一带鄂尔巴组火山岩特征及其构造环境 [J]. 地球学报, 2005, 26(2): 113-120
- [8] SALTERS V T M, HART S R. The mantle sources of ocean ridges, island arcs, the Hf isotope connection [J]. Earth Planetary Science Letters, 1991, 104: 364-380.
- [9] AJAJI T, WEIS D, GIRETA et al. Coeval potassic and sodic calc-alkaline series in the post-collisional Hercynian Tannacherfi intrusive complex, northeastern Morocco: geochemical, isotopic and geochronological evidence [J]. Lithos, 1998, 45: 371-393
- [10] 马丽艳, 白云山, 牛志军, 等. 长江源各拉丹冬地区晚三叠世火山岩铀钍同位素地球化学特征及其意义 [J]. 中国地质, 2004, 31(2): 174-178.
- [11] HESS P C. Origin of Igneous Rocks [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1989
- [12] 侯增谦, 莫宣学. “三江”地区义敦岛弧的构造-岩浆演化特征 [A]. 青藏高原地质文集 [C]. 北京: 地质出版社, 1991, 24: 153-163
- [13] 胡享生, 莫宣学, 范例. 西藏江达古沟-弧盆体系的火山岩石学与地质学标志 [A]. 青藏高原地质文集 [C]. 北京: 地质出版社, 1990, 20: 1-15.
- [14] 李才, 王天武, 杨德明, 等. 西藏羌塘中央隆起区物质组成与构造演化 [J]. 长春科技大学学报, 2001, 31(1): 29-31

Geochemical signatures and tectonic setting of the volcanic rocks from the Upper Triassic Nadigangri Formation in the Mugxung region, Zhidui, southern Qinghai

LILI BAI Yun-shan, NIU Zhi-jun, DUAN Qi-fa

(Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443005, Hubei, China)

Abstract: The volcanic rocks from the Upper Triassic Nadigangri Formation in the Mugxung region, Zhidui, southern Qinghai consist of intermediate to basic rocks assembled by a alkaline basalt and basaltic andesite. Petrochemically, the volcanic rocks are characterized by low Ti, high Al, enrichment of LREE, high fractionation of LREE and HREE, slightly negative Eu anomaly, enrichment of macro-ion lithophile elements, and depletion of high field strength elements. The $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ values between 0.70774 and 0.70801 and the $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ values between -3.3 and -4.5 suggest an island-arc environment. Tectonically, the volcanic rocks from the Late Triassic Nadigangri Formation constitute a magmatic arc originated during the southward subduction of the Lashuglung-Jinshajiang (or Garze-Litang) oceanic crust.

Key words: southern Qinghai, Mugxung, volcanic rock, tectonic setting