

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

段其发 杨振强 王建雄 白云山 牛志军 姚华舟

DUAN Qi-fa, YANG Zhen-qiang, WANG Jian-xiong,
BAI Yun-shan, NIU Zhi-jun, YAO Hua-zhou

中国地质调查局宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003

Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Yichang 443003, Hubei, China

摘要:在北羌塘盆地东部莫云地区早二叠世栖霞期尕斯库勒组中首次发现高Ti玄武岩。在当郎寨剖面上,火山岩主要产于尕斯库勒组第2和第4岩性段,第3岩性段中火山岩呈夹层产出,火山岩形成于浅海环境。岩石类型包括杏仁状玄武岩、粗玄岩、块状玄武岩、橄榄玄武岩和安山玄武岩,属碱性玄武岩系列。该火山岩岩石地球化学特征表现为高FeO*, 极高TiO₂, 较高FeO*/MgO值, 而Al₂O₃、MgO和Mg²⁺值则低, LILE(Rb、Sr、Ba)和HFSE(Nb、Ta、Zr、Hf、Th、P₂O₅)富集, REE总量高, 显示出LREE富集的配分型式, Eu表现为弱的负异常或无异常, 具板内碱性玄武岩的地球化学特征。以上特征表明, 火山岩形成于陆块边缘拉张带(初始裂谷)环境。

关键词:高Ti玄武岩; 陆块边缘拉张带(初始裂谷); 早二叠世; 北羌塘盆地; 青藏高原

中图分类号: P534.46; P588.14⁵; P595 文献标识码: A 文章编号: 1671-2552(2006)01-02-0156-07

Duan Q F, Yang Z Q, Wang J X, Bai Y S, Niu Z J, Yao H Z. Geochemical characteristics of Permian high-Ti basalt in the eastern part of the northern Qiangtang basin, Qinghai-Tibet Plateau. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(1-2): 156-162

Abstract: High-titanium basalt was for the first time found in the Early Permian Chihhsian Gadikao Formation in eastern part of the northern Qiangtang basin, Qinghai-Tibet Plateau. At the Danglangzhai section, volcanic rocks mainly occur in the Second and Fourth members of the Gadikao Formation, while in the Third Member volcanic rocks occur as intercalations. Volcanic rocks formed in a neritic environment. The rock types include amygdaloidal basalt, dolerite, massive basalt, olivine basalt and andesite-basalt, which belong to the alkali basalt series. Geochemically, these volcanic rocks are characterized by high FeO*, very high TiO₂, higher FeO*/MgO values and low Al₂O₃, MgO and Mg²⁺, as well as enrichment in LILE (Rb, Sr and Ba) and HFSE (Nb, Ta, Zr, Hf, Th and P₂O₅) and total REE, exhibiting LREE-enriched distribution patterns and a weak negative Eu anomaly or no Eu anomaly. They show the geochemical characteristics of intraplate alkali basalt. The above-mentioned characteristics suggest that the volcanic rocks at the Danglangzhai section formed in a continental-margin extensional zone (incipient rift).

Key words: high-titanium basalt; continental-margin extensional zone (incipient rift); Early Permian; northern Qiangtang basin; Qinghai-Tibet Plateau

收稿日期: 2005-08-17; 修订日期: 2005-11-07

地质项目: 中国地质调查局《1:25万直根尔卡幅区域地质调查》项目(编号200313000003)资助。

作者简介: 段其发(1966-), 男, 副研究员, 从事区域地质调查研究。E-mail: yedqifa@cgs.gov.cn

羌塘盆地位于青藏高原腹地,该区海拔高,自然条件恶劣,交通十分不便,地质研究程度较低。前人对羌塘盆地晚古生代的地质研究工作主要集中在羌塘中西部,认为在查桑—查布一带发育近东西向展布的晚古生代陆间裂谷^[1,2],向东裂谷的延伸情况不明;或认为在盆地中部发育完整的蛇绿岩组合,早二叠世为洋岛环境,并存在威尔逊旋回过程^[3]。目前,尚未见有盆地东部晚古生代岩浆岩方面的研究报道,致使对盆地东部晚古生代的构造属性存在不同认识:一种认为在盆地东部发育晚古生代开心岭—杂多裂谷^[4]或三叉裂谷^[5],另一种则认为盆地东部发育晚古生代—早中生代火山弧^[6]。2003年以来,笔者等在北羌塘盆地东部开展1:25万区域地质调查时,于杂多县莫云地区发现了中泥盆世地层^[7]和二叠纪高Ti玄武岩。本文以莫云地区当郎寨实测剖面为基础,报道该区高Ti玄武岩的岩石地球化学特征,并探讨其古大地构造环境,首次论证了该区存在陆缘裂谷火山岩的证据。

1 地质背景和采样位置

工作区在大地构造上位于拉竹龙—金沙江缝合带和班公湖—怒江缝合带之间的北羌塘地块东部。历来的观点认为羌塘地块具有亲冈瓦纳的性质,可能处于冈瓦纳大陆板块北部边缘的位置。

北羌塘地块东部也是在前泥盆纪变质基底的基础上发展起来的一个裂谷系统。盆地基底为前泥盆系的变质岩、片岩、火山岩。研究区内出露晚古生代和中、新生代地层(图1-a)。石炭系为地台型含煤碎屑沉积和浅海碳酸盐岩沉积,在莫云及左支一带,下石炭统杂多群中下部见有火山岩层;二叠系为浅海相砂泥质岩—砂岩、碳酸盐岩—火山岩沉积;侏罗系为海相红色碎屑岩夹碳酸盐岩沉积;新生界为陆相杂色碎屑岩沉积。

二叠系尔笛考组中广泛发育有火山岩,在当郎寨剖面上

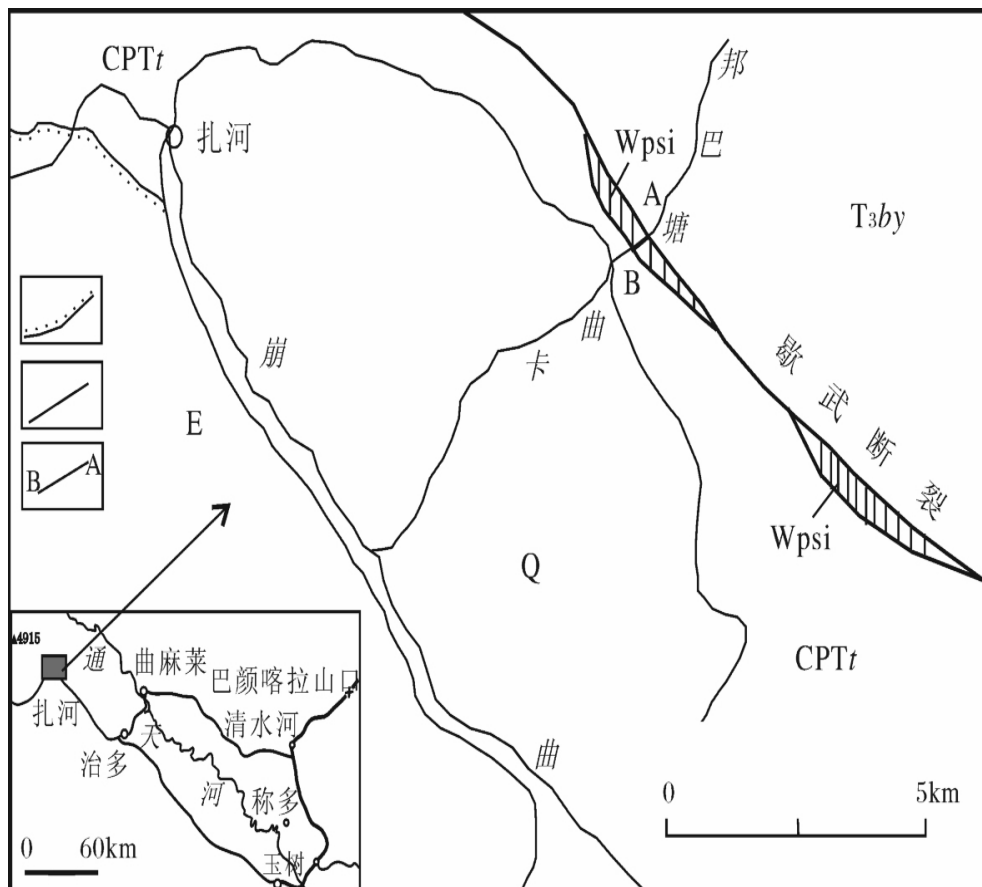


图1 莫云地区地质略图(a)和二叠纪高Ti玄武岩采样剖面(b)

Fig.1 Geological sketch map of the Mugxung area (a) and sampling section (b) of Permian high-Ti basalts

1—石英细砂岩 2—岩屑杂砂岩 3—泥岩 4—含炭泥岩 5—生物屑灰岩 6—橄榄玄武岩 7—块状玄武岩;

8—粒玄岩 9—安山玄武岩 10—杏仁构造 11—断层 12—化石 13—燕山期辉长岩 14—不整合界线;

15—剖面位置 C_{1Z} —下石炭统杂多群 P_{1g} —下二叠统尔笛考组 J_2 —中侏罗统 E —古近系 X_{4h} —第四系全新统

(起点坐标为N33°00'37"、E94°03'44",海拔4869 m;终点坐标为N33°01'48"、E94°04'52",海拔5050 m),火山岩的累积厚度超过620 m,该套火山岩由熔岩组成。剖面最下部被辉长岩侵入,上部被断层错断。

当郎寨剖面上的岩性以火山熔岩和滨浅海相细碎屑岩为主,夹碳酸盐岩。根据宏观岩性组合特征,可划分出5个岩性段。剖面底部第1岩性段(位于图1-b火山岩样品D-4之下)为不等粒火山碎屑-石英砂岩和粉砂质泥岩,砂岩底部产腕足类化石 *Cathaysia chonetoides* (Chao), *Dielasma cf. plica* (Kutorga), *Dielasma sp.*, *Geyerella sp.*, *Hustedia remota* (Eichwald), *Tylopecta nankingensis* (French), *Spinomarginifera lopingensis* (Chao), *Transennatia gratiosa* (Waagen)等;泥岩中产古植物化石 *Cordaia sp.*, *Pecopteris cf. obliqua* Yang et Chen等。在相邻的玛日阿达一带,第3岩性段底部中厚层生物屑泥晶灰岩中产筳类化石 *Misellina cf. sphaerica* Chang, *Schubertella rara* Sheng, *Parafusulina splendens* Dunbar et Skinner等。明确其地层时代属早二叠世栖霞期。剖面上火山岩的形成时代为二叠纪无疑。自下而上,火山岩主要产于第2岩性段和第4岩性段,第3岩性段中火山岩呈夹层产出。火山岩与沉积岩之间界面平直,未见明显的沉积间断,向上火山岩有变薄的趋势。第2和第4段火山岩的岩石组合基本相似,均由深灰绿、紫灰色杏仁状玄武岩、致密块状玄武岩、橄榄玄武岩和少量安山玄武岩组成,其中第2段产粗玄岩。第3段火山岩为含杏仁状玄武岩。总体来看,剖面上火山岩岩石类型较单一,缺乏中、酸性岩类和火山碎屑岩。

本次工作在剖面和填图路线上共采集了33件火山岩地球化学分析样品,表1列出了剖面上11件代表性样品的分析结果(第3岩性段中的火山岩蚀变强,无样品控制),样品位置见图1-b。测试结果中,部分样品的烧失量较高,反映岩石遭受过不同程度的蚀变作用。

2 岩相学特征

组成岩石的矿物为中—拉长石(35%~53%)、普通辉石(20%~40%)、绿泥石(2%~22%)、方解石(1%~25%)及磁铁矿(5%~15%)、钛铁矿(或白钛矿)(1%~6%)等,偶见金红石、榍石。块状或杏仁状构造,杏仁体含量一般为1%~12%,大小为0.1~3.5 mm,且多被绿泥石、方解石、玉髓充填,部分岩石具斑状结构,斑晶为中—拉长石(2%~4%)或橄榄石(4%~16%)、普通辉石(1%~4%),粒径为0.3~1.5 mm,基质具间粒、间粒间隐(片)结构。粒玄岩中偶见卡钠复合双晶和钠长石双晶。第2岩性段上部安山玄武岩中偶见交织结构,具有向安山岩过渡的特征。岩石普遍发生绿泥石化、碳酸盐化和帘石化等,橄榄石多被蛇纹石取代。

3 地球化学特征

样品分析测试在宜昌地质矿产研究所中南实验检测中心进行,主量元素用常规湿法分析,微量元素用原子吸收和

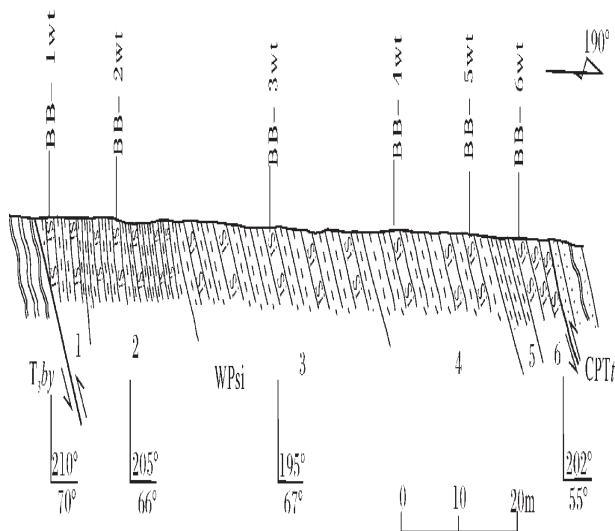


图2 当郎寨剖面二叠纪玄武岩的Zr/TiO₂-Nb/Y图^[12]

Fig.2 Zr/TiO₂ versus Nb/Y plot for Permian basalt at Danglangzhai section

原子荧光光谱法分析,稀土元素用发射光谱法(ICP-AES)分析。分析结果列于表1。

3.1 主量元素

主量元素分析结果见表1。 SiO_2 含量变化在44.24%~49.62%之间,变化不明显; Al_2O_3 含量偏低,变化在12.14%~16.28%之间,平均为13.48%(11个样品平均值,下同); FeO^* 含量较高,为12.14%~15.71%,平均13.48%; P 含量高, P_2O_5 含量为0.703%~1.59%,平均1.16%。富含 TiO_2 ,在33件样品中只有4件样品的 TiO_2 含量小于2.8%,其余样品的 TiO_2 含量均大于3.5%,最高达6.13%;第2岩性段的 TiO_2 含量明显高于第4岩性段,自下往上显示 TiO_2 含量有降低的趋势,类似于高 TiO_2 、低 Al_2O_3 的峨眉山玄武岩(TiO_2 为2.4%~4.29%, Al_2O_3 为13%~16%)^[8]和大陆溢流玄武岩^[9],与三江地区“亲扬子”微陆块中的板内玄武岩^[10]也具有相似性。 Na_2O 为1.98%~5.26%,自下往上(由早到晚)含量有增高趋势, K_2O 含量偏低,小于1%,大部分样品的 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$,表明岩石具有富Na的特征。 MgO 低(4.30%~7.52%,平均为5.84%), Mg^* 值($N(\text{Mg})/N(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$)为0.32~0.59,且第1段岩石的 Mg^* 值较第4段的高,但比原生岩浆 Mg^* 值(0.65~0.75)^[11]要低。 Si (固结指数)为10.98~31.98,说明它们不是原生岩浆,而是经历分离结晶作用演化的岩浆。考虑到K、Na元素较为活泼,在蚀变过程中易发生迁移,故采用 $\text{Zr}/\text{TiO}_2\text{-Nb}/\text{Y}$ 判别图^[12](图2)来指示岩石系列,本区玄武岩均集中分布于碱性系列区内。

3.2 微量元素

微量元素分析结果见表1。玄武岩中Sr、Ba、U和Zr的含量较高,Th特别富集,Rb偏低。在微量元素MORB标准化图(图3-左)上,样品分布曲线形态一致,Ce到Yb呈明显的分馏,出

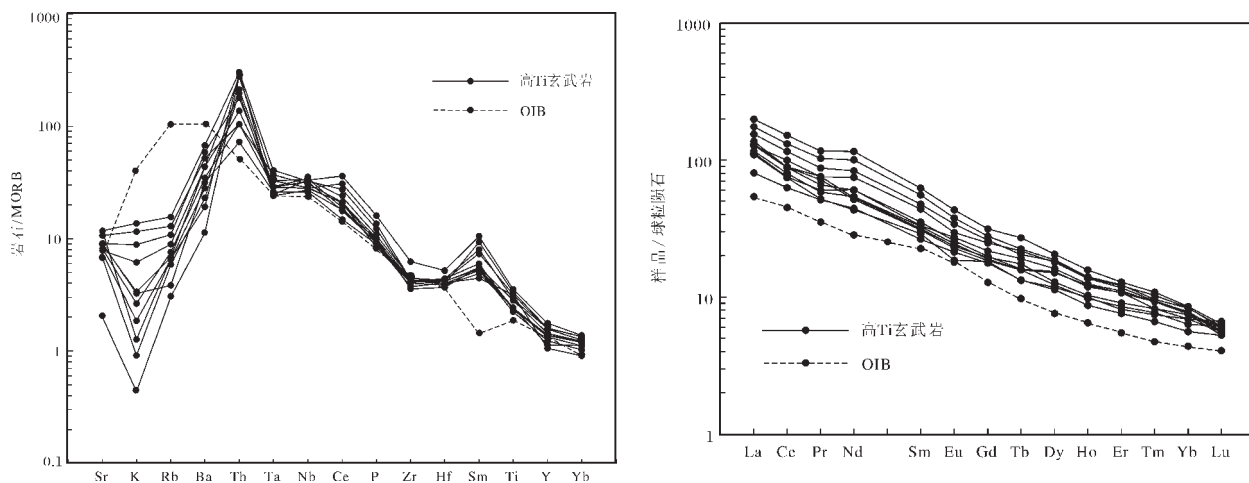


图3 当郎寨剖面尔笛考组玄武岩微量元素蛛网图(左)和稀土元素配分型式(右)标准化数值据参考文献[21])

Fig.3 MORB-normalized trace element patterns (left) and REE patterns (right) for basalts of the Gadikao Formation at the Danglangzhai section

现明显的Th、Ta、Ce、Nb、Sm峰;总体特征是富集大离子亲石元素(LILE)(Rb、Sr、Ba)和高场强元素(HFSE)(Zr、Hf、Nb、Ta、Th、 P_2O_5),与板内碱性玄武岩相似^[13],与典型的大陆裂谷玄武岩稍有差别,后者常出现Y、Yb的亏损。上述微量元素MORB标准化图的特征与云南宾川地区峨眉山玄武岩上部的高Ti玄武岩^[14]相似,与三江地区的洋岛玄武岩(OIB)^[15]也具可比性。但是,与夏威夷等地(无岩石圈)的典型OIB^[16]相比则有一定差异,表现在本区玄武岩具有更富集LREE(见下文),Th含量高的特征,这可能反映了岩石圈地幔物质的贡献,正如峨眉山玄武岩被认为是地幔柱与岩石圈地幔相互作用的产物^[17,18]一样。此外,Nb*值($=Nb_{PM}/(Th_{PM} \times La_{PM})^{1/2}$,PM代表原始地幔标准化)为0.50~1.15,平均为0.70,表明该区玄武岩的形成经历了地壳混染过程^[19]。

3.3 稀土元素

稀土元素分析结果见表1。玄武岩的稀土元素总量高, ΣREE 为 $(284.81 \sim 678.88) \times 10^{-6}$,平均为 433.58×10^{-6} ,LREE/HREE在8.45~12.33之间,平均为10.21(La/Yb)_N的比值介于11.34~20.3之间,平均为16.83,轻重稀土分异明显, δEu 在0.79~1.01之间变化,具有弱Eu负异常或无异常,表明早期分离结晶作用以形成橄榄石和单斜辉石为主,无大量斜长石晶出。稀土元素球粒陨石标准化曲线(图3-右)为强烈右倾的LREE富集型,LREE与HREE的配分曲线具有相近的斜率,显示了板内玄武岩的特征,稀土元素配分曲线与三江地区的OIB^[15]、峨眉山玄武岩^[20]和典型OIB相似,但本区火山岩的 ΣREE 值比上述地区的要高很多。

4 构造环境分析

高Ti玄武岩常见于大陆溢流玄武岩和洋岛玄武岩分布区,几乎全都产于板内环境。莫云地区位于北羌塘地块的东

部边缘,靠近金沙江缝合带,其地质演化与金沙江洋盆的形成-闭合关系密切,明显具陆块边缘的构造属性。在当郎寨剖面,火山岩与浅海相细粒石英砂岩、粉砂岩、泥岩、碳酸盐岩构成沉积-火山旋回,砂岩的成分和结构成熟度较高,在第1岩性段产古植物和腕足类化石,在第3岩性段产底栖生物如筴类和腕足类化石,化石保存完整,属原地埋藏群落。岩石组合和古生物化石特征显示该套岩石形成于近岸浅海环境,未见深海相沉积。研究区内火山岩主体为基性熔岩,其地球化学特征具有板内碱性玄武岩的属性;区内缺乏超基性岩、中-酸性岩和火山碎屑岩,与羌塘盆地中部角木日地区早二叠世洋岛环境的岩性组合^[3]明显不同。

微量元素特征是判别火山岩浆产出环境的有效依据之一。本区火山岩在2Nb-Zr/4-Y判别图(图4-a)和Zr/Y-Zr判别图(图略)上,样品点明显集中在板内碱性玄武岩区;在 $FeO^*/MgO-Al_2O_3$ 图(图4-b)和Ti-V判别图解(图略)上,样品集中在大陆溢流玄武岩和洋岛玄武岩的界线范围内,比较接近大陆边缘裂谷环境;特别是在Th/Yb-Ta/Yb判别图(图4-c)上,绝大多数样品都落在大陆边缘和富集地幔的范围内,表明本区火山岩具大陆边缘属性,同时还表明本区玄武岩来自富集地幔^[22]。由此认为,本区早二叠世高Ti玄武岩形成于大陆边缘拉张构造环境,属陆缘(初始裂谷)环境。微量元素Th/Ta和Ta/Hf比值是有效的环境判别指标。陆内裂谷碱性岩和陆内拉张带(或初始裂谷)玄武岩Th/Ta比值变化大,为1.6~10,Ta/Hf>0.1(地幔柱成因玄武岩Ta/Hf>0.3^[23])。莫云地区玄武岩大部分样品的Th/Ta比值为2.26~19.93,平均值为5.82,Ta/Hf比值为0.30~0.59,与峨眉山玄武岩(峨眉山玄武岩Ta/Hf比值为0.36~0.66^[24])相当,在Th/Hf-Ta/Hf判别图上,大部分样品点位于初始裂谷环境区(图4-d),与上述所得结论一致,即本区玄武岩形成于初始裂谷环境。

表1 杂岩组玄武岩的主量元素、微量元素和稀土元素分析结果

Table 1 Major element, trace element and REE data for basalts of the Gadikao Formation

序号	样品号	岩 性	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	LOI	Total	Mg "	SI	FeO*	Cr	Rb	Sr
1	D-4	粒玄武岩	46.04	12.75	3.45	9.95	8.2	4.41	0.21	1.98	5.08	1.04	0.14	5.41	99.95	0.41	22.05	13.05	235	2.15	813
2	D-5h ₁	粒玄武岩	44.38	13.45	5.26	8.87	6.07	6.69	0.082	4.28	4.55	1.16	0.166	4.5	99.46	0.52	26.57	13.60	194	3.7	1050
3	D-6h ₂	杏仁状玄武岩	48.2	12.27	2.53	11.05	3.34	6.36	0.028	2.61	5.12	1.25	0.165	5.92	100.3	0.48	28.17	13.32	237	1.7	180
4	D-9h	致密块状玄武岩	44.24	14.24	5.35	8.12	9.16	6.79	0.572	2.5	3.94	1.09	0.203	3.03	99.24	0.54	29.10	12.93	190	6.05	812
5	D-11h ₁	块状橄榄玄武岩	44.88	12.7	10.91	3.9	8.75	6.26	0.883	3.35	4.65	1.43	0.153	1.86	99.73	0.57	24.74	13.71	194	8.7	1050
6	D-12h ₁	块状橄榄玄武岩	43.94	12.14	8.48	5.52	9.64	7.11	0.746	2.67	5.39	1.59	0.151	2.22	99.6	0.59	28.99	13.14	260	7.2	955
7	D-13h ₂	块状橄榄玄武岩	43	12.61	6.11	7.64	7.86	5.49	0.059	3.25	5.73	1.87	0.144	4.96	99.71	0.49	24.35	13.13	237	3.3	607
8	D-14h ₂	安山玄武岩	45.04	14.13	6.09	6.67	8.24	7.2	0.218	2.36	3.76	0.985	0.36	4.64	99.7	0.58	31.95	12.14	172	3.8	799
9	D-22h ₃	杏仁状安山玄武岩	44.8	13.86	4.84	8.33	9.06	7.52	0.397	2.43	3.91	1.06	0.191	3.16	99.56	0.57	31.98	12.68	141	5	703
10	D-26	杏仁状橄榄玄武岩	49.44	13.88	11.86	5.05	5.48	2.54	0.12	3.57	3.61	1.1	0.21	2.25	99.11	0.32	10.98	15.71	193	3.65	668
11	D-26/2	块状橄榄玄武岩	45.02	16.28	9.16	6.65	5.66	3.82	0.17	3.16	3.84	1.17	0.27	3.8	100.2	0.4	16.64	14.88	209	4.25	728

序号	Ba	V	Sc	Nb	Ta	Zr	Hf	U	Y	Th	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	La	ΣREE	δEu	(La/Yb) _N	Th/Ta	Ta/Hf
1	198	426	27.3	60	3.39	275	8.28	0.58	29.5	8.68	55.3	111	14.1	60.2	11.7	3.56	10.5	1.44	8.32	1.42	3.63	0.49	2.76	0.39	284.81	0.97	13.49	2.56	0.41
2	121	325	24.8	62.3	3.13	263	7.55	0.65	40.3	35.4	77.2	134	16.6	81.9	14.7	4.57	12.9	2.05	11.8	2.03	5.33	0.68	3.72	0.41	367.89	1.00	13.97	11.31	0.41
3	70.9	365	21	77.3	4.25	330	8.74	0.55	43.5	33.5	87	176	20.7	101	19.4	4.98	14.8	2.34	13.2	2.24	5.61	0.69	3.83	0.42	452.21	0.87	15.29	7.88	0.49
4	372	319	26.2	74.4	3.73	296	7.93	0.7	31.5	21.4	75.1	132	14.3	58.6	12.9	3.12	10.8	1.43	8.66	1.63	3.88	0.55	3.4	0.41	326.78	0.79	14.87	5.74	0.47
5	427	295	23.9	74.6	5.27	312	8.96	0.74	44.2	36.4	106	205	24.1	113	21.1	5.74	15.5	2.2	13.5	2.27	5.79	0.76	4.11	0.44	519.51	0.94	17.36	6.91	0.59
6	327	396	28	64.7	3.73	317	8.13	0.65	44.7	12.5	120	232	28.3	135	24.6	6.33	16.6	2.41	13.7	2.3	5.88	0.71	4.09	0.45	592.37	0.91	19.75	3.35	0.46
7	145	325	31.3	76.6	3.22	462	10.6	0.65	49.4	23.6	136	269	32.1	156	27.6	7.24	18.7	2.92	15.1	2.58	6.17	0.8	4.2	0.47	678.88	0.93	21.8	7.33	0.30
8	274	330	26.3	65.4	4.25	300	9.02	0.65	38.5	32.9	87.7	156	18.1	81.6	15.7	4.31	11.8	1.72	11.3	1.94	5.16	0.61	3.65	0.39	399.98	0.94	16.17	7.74	0.47
9	274	321	30.6	78.4	3.78	303	8.52	0.65	38.8	16.4	79.9	142	16.1	73.3	14.5	4.1	11.3	1.7	11.1	1.99	5.14	0.68	3.75	0.44	366.00	0.95	14.34	4.34	0.44
10	178	397	32.8	64.6	3.75	309	8.14	0.98	34.4	25.6	94.1	157	19.8	69.6	13.7	3.81	11	1.7	9.04	1.6	4.07	0.57	3.12	0.45	389.56	0.93	20.3	6.83	0.46
11	218	435	34.4	71	4.78	315	8.59	0.52	37.3	12.5	89.6	158	20.9	71.5	14	3.94	11.6	1.88	9.47	1.68	4.34	0.61	3.39	0.49	391.40	0.93	17.79	2.62	0.56

注: FeO*=FeO+0.899Fe₂O₃; 主量元素含量%; 微量元素和稀土元素含量10⁻⁶

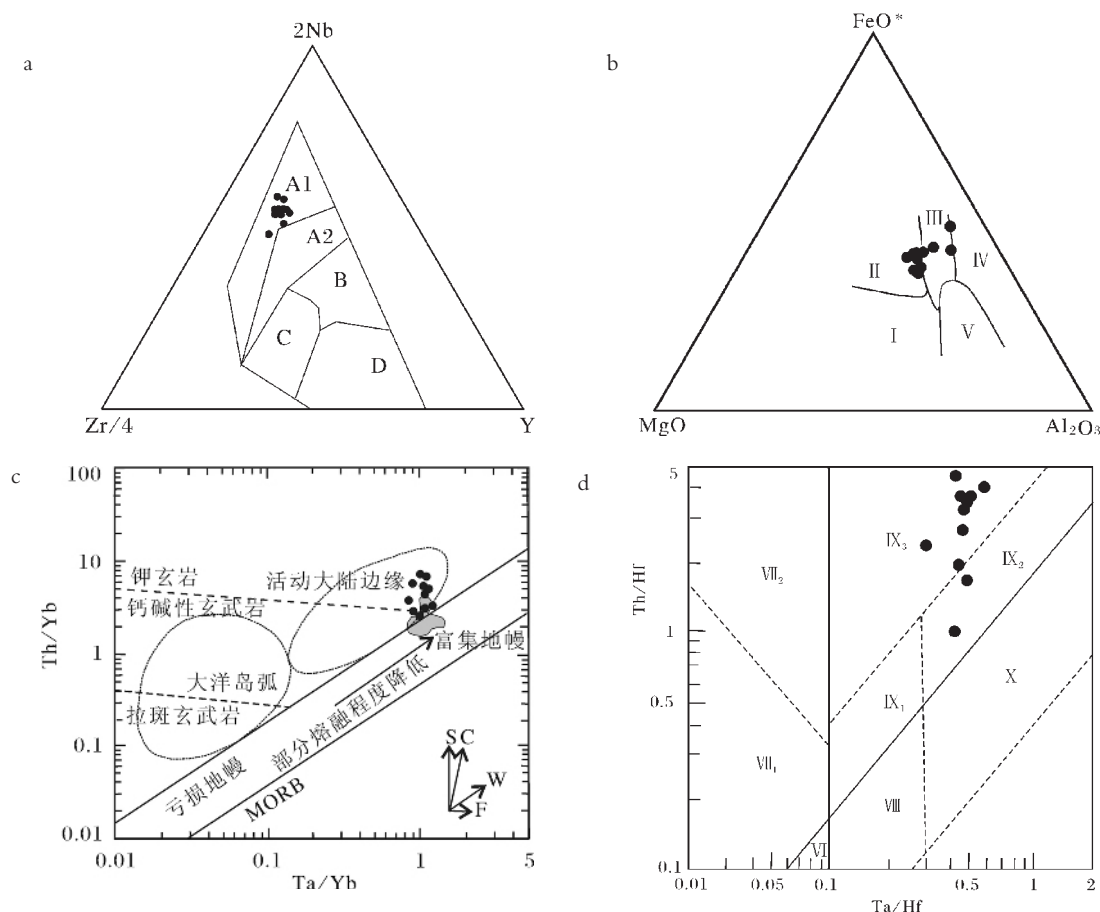


图4 当郎寨剖面二叠纪玄武岩地球化学构造环境判别图解

Fig.4 Geochemical tectonic setting discrimination diagram

for Permian basalt at the Danglangzhai section

a 2Nb-Zr/4-Y图(据参考文献[23]) b (FeO*)-MgO-Al₂O₃图解(据参考文献[24])

c Th/Yb-Ta/Yb判别图(据参考文献[9]) d Th/Hf-Ta/Hf判别图(据参考文献[25])

a :A1+A2—板内裂谷玄武岩 ;B—富集型MORB ;A2+C—板内拉斑玄武岩 ;D—正常MORB ; b :I—洋中脊玄武岩 ;II—洋岛玄武岩 ;III—大陆溢流玄武岩 ;IV—扩张中心岛 ;V—弧火山岩 ; c :MORB—洋中脊玄武岩 矢量分别为俯冲组分的影响(S)、板内富集(W)、地壳混染(C)和分离结晶作用(F),阴影部分为宾川地区高Ti玄武岩(引自参考文献[14]) ; d :VI—N-MORB ;VII—板块汇聚边缘 (VII₁—大洋岛弧, VII₂—陆缘岛弧及陆缘火山弧) ;VIII—洋岛、海山 ;IX—大陆板内 (IX₁—陆内裂谷及陆缘裂谷拉斑玄武岩, IX₂—陆内裂谷碱性玄武岩, IX₃—初始裂谷) ;X—地幔柱玄武岩

玄武岩中较低的Ce/Yb比值说明有较高的熔融程度或尖晶石为主要残留相(薄岩石圈),而较高的Ce/Yb比值说明有较低的熔融程度或石榴子石为主要残留相(厚岩石圈)^[4]。莫云地区高Ti玄武岩的Ce/Yb比值为36.02~64.05,据此可以认为本区玄武岩形成深度较大,可能为石榴子石稳定区(>80 km)。

5 结 语

由上述对莫云地区玄武岩的野外产状、地球化学特征和构造背景的分析,可以得出以下结论。

(1)莫云地区当郎寨剖面二叠系火山岩以基性熔岩为主,缺乏超基性岩、中—酸性岩和火山碎屑岩;与浅海相细碎屑岩、碳酸盐岩组成沉积岩—火山岩旋回,反映间歇性的火山活动特征;本区火山岩属碱性玄武岩系列。

(2)莫云地区高Ti玄武岩在地球化学特征上具高FeO*、强烈富TiO₂、较高FeO*/MgO值和低Al₂O₃、MgO、Mg²⁺的特征。富集LILE(Rb、Sr、Ba)和HFSE(Nb、Ta、Zr、Hf、Th、P₂O₅)、REE总量高,配分型式为LREE富集型,Eu显示弱负异常或无异常。总体特征可与峨眉山玄武岩上部的高Ti玄武岩对比,

暗示二者具有相似的形成背景。

(3)对莫云地区高Ti玄武岩的岩石地球化学特征和沉积环境的综合分析表明,火山岩形成于陆块边缘拉张带(初始裂谷)环境,代表了北羌塘地块的一次拉张事件。该裂谷呈近东西向展布,与查桑-查布裂谷处在同一纬度,说明晚古生代时期(石炭纪—中二叠世)北羌塘地块普遍处于拉张构造背景,与中国西南部晚古生代处于拉张的大地构造背景一致。

致谢:宜昌地质矿产研究所杨德丽研究员、冯少南研究员和牛志军副研究员分别鉴定腕足类化石、古植物化石及筴类化石,何龙清、甘金木、段万军、卜建军、曾波夫、涂兵等同志参加了部分野外工作,在此一并致谢。

参考文献:

- [1]王成善,胡成祖,吴瑞忠,等.西藏北部查桑-查布裂谷的发现及其地质意义[J].成都地质学院学报,1987,14(2):33-46.
- [2]邓万明,尹集祥,周中平.羌塘茶布一双湖地区基性超基性岩和火山岩研究[J].中国科学(D辑),1996,26(4):296-301.
- [3]翟庆国,李才,程立人,等.西藏羌塘角木日地区二叠纪蛇绿岩的地质特征及意义[J].地质通报,2004,23(12):1228-1230.
- [4]张以菲.可可西里-巴颜喀拉及邻区特提斯海的特征[J].西藏地质,1991(2):62-71.
- [5]王宜昌,杨辉,王永涛.青藏羌塘地区隐伏裂隙陷槽的识别及油气远景[J].新疆石油地质,2000,21(1):1-5.
- [6]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):701-707.
- [7]段其发,王建雄,何龙清,等.青海玉树地区首次发现中泥盆世植物化石[J].沉积与特提斯地质,2004,24(1):46-48.
- [8]汪云亮, Hughes S S,童纯菡,等.峨眉山玄武岩地球化学和大陆地幔演化[J].成都地质学院学报,1987,14(3):59-87.
- [9]Wilson M. Igneous petrogenesis-A global tectonic approach [M]. London: Unwin Hyman, 1989.1-466.
- [10]莫宣学,邓晋福,董芳洲,等.西南三江造山带火山岩-构造组合及其意义[J].高校地质学报,2001,7(2):121-138.
- [11]Frey F A, Prinz M. Ultramafic inclusion from San Carlos, Arizona: petrologic and geochemical data bearing on their petrogenesis[J]. Earth Planet Sci. Lett., 1978, 38: 129-176.
- [12]Winchester J A, Floyd P A. Geochemical discrimination of different magmas series and their differentiation products using immobile element[J]. Chem. Geol., 1977, 20: 325-343.
- [13]赵振华.微量元素地球化学原理[M].北京:科学出版社,1997.1-169.
- [14]肖龙,徐义刚,梅厚钧,等.云南宾川地区峨眉山玄武岩地球化学特征:岩石类型及随时间演化规律[J].地质科学,2003,38(4):478-494.
- [15]侯增谦,莫宣学,朱勤文,等.“三江”古特提斯地幔热柱——洋岛玄武岩证据[J].地球学报,1996,17(4):343-361.
- [16]Weaver B L. The origin of ocean island basalt end-member composition: Trace element evidence and isotopic constraints[J]. Earth Planet Sci. Lett., 1991, 104: 381-397.
- [17]徐义刚,钟孙霖.峨眉山大火成岩省:地幔柱活动的证据及其熔融条件[J].地球化学,2001,30(1):1-9.
- [18]宋谢炎,侯增谦,汪云亮,等.峨眉山玄武岩的地幔柱成因[J].矿物岩石,2002,22(4):27-32.
- [19]Eisel J, Sharma M, Galer S J, et al. The role of sediment re-cycling in EM-1 inferred from Os, Pb, Hf, Nd, Sr isotope and trace element systematics of the Pitcairn hotspot [J]. Earth Planet Sci. Lett., 2002, 196: 197-212.
- [20]张云湘,骆耀南,杨崇喜,等.攀西裂谷[M].北京:地质出版社,1988.141-196.
- [21]Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes[A]. In: Saunders A D, Norry M J eds. Magmatism in ocean basalts[C]. Geol. Soc. London, Spec. Publ., 1989. 42: 313-345.
- [22]徐平,贾秀琴,张旗,等.云南金平县镁铁-超镁铁岩岩床群的地球化学特征[J].地质科学,1999,34(2):232-241.
- [23]Meschede M. A method of discriminating between different type of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram[J]. Chem. Geol., 1986, 56: 207-218.
- [24]Pearce T H, Gorman B E, Birkett T C. The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks[J]. Earth Planet Sci. Lett., 1977, 36: 121-132.
- [25]汪云亮,张成江,修叔芝.玄武岩类形成的大地构造背景的Th/Hf-Ta/Hf图解判别[J].岩石学报,2001,17(3):413-421.
- [26]张成江,汪云亮,侯增谦.峨眉山玄武岩系的Th、Ta、Hf特征及岩浆源区大地构造环境探讨[J].地质论评,1999,45(增刊):858-860.