

文章编号:1008-0058(2001)03-0230-06

藏北新生代火山岩系列的地球化学及成因

刘 荣,迟效国,李 才,金 巍,王天武

(吉林大学 地球科学学院,吉林 长春 130061)

摘要:自始新世(45 Ma)印度板块和欧亚板块碰撞以来,藏北新生代火山活动相当频繁,在空间上自南向北随时间早晚依次形成了羌塘、可可西里和喀喇昆仑—玉门3个火山岩带,依岩石组合和地球化学特征可划分为5个火山岩系列:钠质碱性玄武岩系列;石榴石碧玄岩-响岩系列;高钾钙碱性系列;可可西里钾玄岩系列;喀喇昆仑—玉门钾玄岩系列。通过对各系列火山岩成因的研究,可以作为了解新生代以来青藏高原岩石圈物质组成、壳幔结构以及高原隆升机制的重要窗口。

关键词:藏北;新生代火山岩系列;地球化学

中图分类号:P588.14 **文献标识码:**A

藏北新生代火山岩自晚白垩世—早第三纪开始,第三纪到近期均有不同程度的发育,但主要集中在始新世、中新世和上新世—更新世三个时期^[1]。藏北新生代各系列火山岩在空间上主要分布在各地块(羌塘地块、可可西里地块、塔里木地块、松潘甘孜地块和昆仑地块等)汇聚带,它们大多受基底构造所控制。火山岩在地球化学特征和成因上与新生代以来青藏高原地壳的加厚和减薄有直接联系,对其地球化学特征和成因的了解,是认识高原岩石圈结构变化的重要手段。

1 藏北新生代火山岩的系列划分及其时空分布

青藏高原是典型的陆-陆碰撞区,是世界上碰撞构造的最重要实例^[2],也是中国新生代以来火山活动较强烈的地区,火山岩分布极为广泛(图1)。西起喀喇昆仑,东至可可西里,绵延1 000余km;南北介于昆仑山脉与玛依岗日—唐古拉山系之间,跨度200~300 km,形成一系列规模巨大的火山岩带及火山岩系列^[3]。藏北新生代火山岩的主体主要分布在昆仑山脉主脊线的南侧和羌塘高原北部,少部分位于昆仑山中或其北坡。火山岩主体上为一套陆内造山带钾玄岩(shoshonite)-安粗岩-粗面岩-流纹岩组合^[4],而且随着地壳的不断增厚,火山岩在

时代上具有一定的规律性。迟效国等依据藏北新生代火山岩时代演化规律,提出将藏北新生代火山岩按年龄自南向北划分为羌塘—囊谦岩带(44~24 Ma)、中昆仑(羊湖和羌巴欠等岩区)—可可西里—礼县岩带(19~7 Ma)和西昆仑—玉门岩带(5 Ma以来)^[5]。与本文首次确定的羌塘、可可西里和喀喇昆仑—玉门岩带时限基本一致,其中包括五个火山岩系列,在羌塘岩带划分出:钠质碱性玄武岩系列(60~45 Ma),石榴石碧玄岩-响岩系列(29~24 Ma)和高钾钙碱性系列(44~29 Ma);在可可西里和喀喇昆仑—玉门岩带内分别出露有一套钾玄岩系列。除钠质碱性玄武岩系列外各系列火山岩都以高钾质为特征。自始新世(45 Ma)以来,藏北新生代火山活动首先从羌塘岩带开始,并表现为从碱性系列到高钾钙碱性系列到石榴石碧玄岩-响岩系列的广泛活动^[6~12],并且在分布面积上最大。在空间上,火山岩总体上呈带状自南向北迁移(即由早期的羌塘钠质碱性玄武岩经高钾钙碱性系列、钾玄岩系列到可可西里、昆仑钾玄岩系列的演变特征)。碱性系列主要分布在通天桥、红山湖、邦达错(44.0 Ma)^[9]和拉嘎拉(59.18 ± 2.08) Ma^[13]岩区;44.4~29 Ma在多格错仁、走构由茶错、康托、错尼和枕头崖等地区出现大规模的高钾钙碱性火山岩系列;29~24 Ma是研究区内碱性超钾质岩系强烈活动期,

收稿日期:2000-11-13

基金项目:原地质矿产部“九五”基础研究重点项目(9501101-5)资助

作者简介:刘荣(1974-),男,陕西省西安市人,硕士生,主要从事岩石地球化学与构造地质研究。

自西向东在鱼鳞山和巴毛穷宗地区分布有白榴石碧玄岩-响岩系列的钾质超钾质碱性火山岩组合,该系列火山岩中具有较高的大离子亲石元素(LILE)/高场强元素(HFSE)比值,显示了俯冲带岛弧岩浆的性质;可可西里岩带分布在北纬35°以北,大致以金沙江断裂带和东昆仑断裂带为南北边界,火山性质以钾玄岩为特征。沿金沙江断裂带向东,在甘肃礼县一带分布有同期的基性碱性钾质火山熔岩。该岩带出露面积较少,约占总研究区的12.1%^[14];大约从5 Ma以来,第四纪火山活动进一步加强,继续向北推进,形成了藏北新生代火山岩的北部边缘,主要分布在喀喇昆仑—玉门一带,岩性上同为钾玄岩系列,该岩带的出露面积较大(约36%)^[14]。

2 藏北新生代火山岩的地球化学特征

藏北新生代火山岩普遍富集大离子亲石元素(LILE),相当于原始地幔高度富集,且与 K_2O 和LREE的富集呈正相关关系;而高场强元素(HFSE)及相容元素(ICE)呈现亏损,它的富集和亏损特性与岛弧玄武岩特征相似,而与大洋玄武岩(MORB)特征完全不同,表明了藏北新生代火山岩在形成过程中经历了洋壳的去水作用对上覆地幔的交代作用,这从火山岩的 $w(^{207}Pb)/w(^{204}Pb)$ -

$w(^{206}Pb)/w(^{204}Pb)$ 投影图(图2)可以看出。图2中藏北新生代火山岩和阿留申岛弧火山岩的数据点基本上落于大洋玄武岩(MORB)和大洋沉积物的混合线上。高场强元素的亏损可能是由于地幔源区存在着少量副矿物(磷灰石、金红石等),或是由于地幔岩石发生了深部再熔融的缘故^[15]。大离子亲石元素的富集说明藏北新生代火山岩具有板内碱性玄武岩的特性;Nb、Ta的亏损特征显示了藏北新生代火山岩同时具有大陆边缘火山岩和岛弧火山岩的特性(图3),在形成前源区受到了地壳物质的混染。Ti的亏损反映了岩浆分离结晶作用较强的特点,也反映了火山岩在成因上有古俯冲物质的存在,同样暗示了在岩石出露地区有岛弧岩浆存在的可能^[16]。火山岩总体具有高 $w(^{87}Sr)/w(^{86}Sr)$ (0.7046~0.7098)、低 $w(^{143}Nd)/w(^{144}Nd)$ (0.5122~0.5127)和高 $w(^{207}Pb)/w(^{204}Pb)$ (15.510~15.829)、高 $w(^{206}Pb)/w(^{204}Pb)$ (18.395~19.105)、高 $w(^{208}Pb)/w(^{204}Pb)$ (38.401~39.682)的同位素组成特征。同位素(Sr、Nd、Pb)研究结果显示,钾质火山岩的Sr、Nd和Pb同位素成分非常相似,并且基本上集中分布在EMI型地幔源区范围中,证明在地幔源区存在着壳幔物质的相互作用。而钠质熔岩同位素研究表明其成因可能

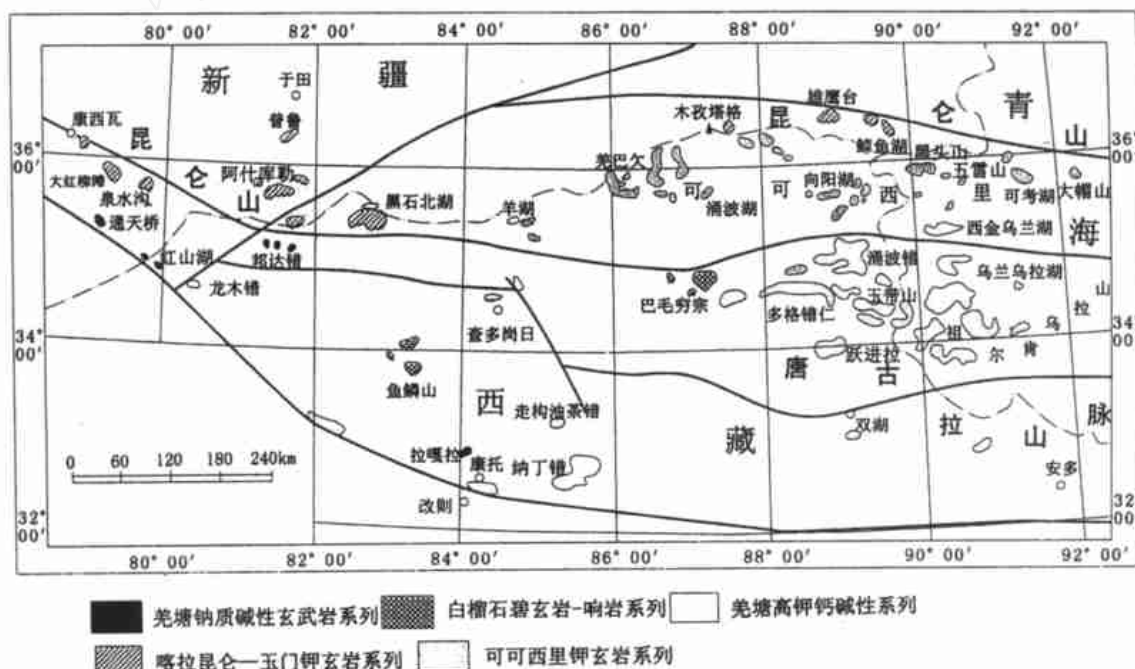


图1 藏北新生代火山岩分布图^[5]

Fig.1 The distribution of volcanic rocks in northern Tibet

与软流圈地幔顶部原始地幔的部分熔融有关。说明藏北新生代火山岩同位素组成有从原始地幔向 EMII 型富集地幔端元演化的特征。 $[w(\text{La})]_{\text{N}}/[w(\text{Yb})]_{\text{N}}$ 及 $w(\text{K}_2\text{O})$ 随时间总体依次升高,反映了岩浆源区随时间的推后深度变大,源区组成由软流圈尖晶石二辉橄榄岩逐渐变为岩石圈尖晶石二辉橄榄岩和石榴石二辉橄榄岩,而岩浆的熔融程度依次降低。以上特征表明藏北新生代火山岩原始岩浆形成和演化过程中有大量通过再循环而进入地幔上的地壳物质存在,即存在着壳幔混合作用,且在岩浆源区占重要地位。而且反映了源区混染的特征(图 4)。

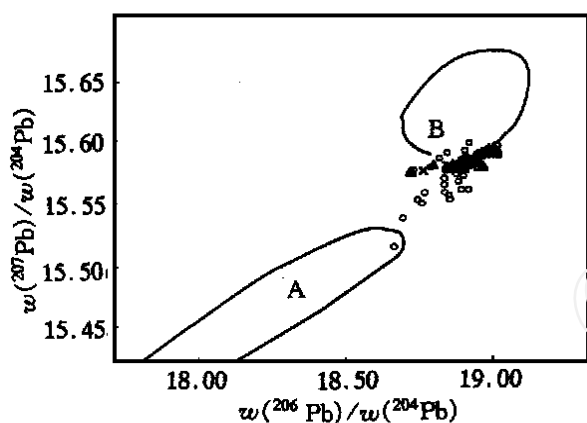


图 2 火山岩和太平洋沉积物的 Pb 同位素组成^[16]

Fig. 2 The Pb isotopic compose of volcanic rocks and Pacific sediments

阿留申岛火山岩^[16]; A. 洋中脊玄武岩; B. 太平洋东北部沉积物; 其余为藏北新生代火山岩(图例同图 3)

3 藏北新生代火山岩系列的成岩过程探讨

藏北新生代火山岩的形成与藏北高原的大地构造环境有着成因上的联系。由于印度板块和欧亚板块的持续碰撞,在藏北高原内部就会出现大量的陆内俯冲作用^[14],大量的地壳物质就会俯冲到地幔内部,发生壳-幔混合作用;同时由于高原内部各个块体的南移速率和上升速率不同,在各板块结合部位或某些块体内部造成局部的拉张应力场,这就有可能为熔体的喷发创造裂谷通道。另外,在高原内部存在着许多软弱的结合带(龙木错—可可西里—金沙江缝合带),为地幔热柱的上涌提供了很好的通道。新生代以来青藏高原北部大规模的地壳缩短、岩石圈加厚和减薄等深层次地质作用以及高原隆升

的地球动力学过程都与火山岩的形成有着密切的关系^[17]。通过地壳的加厚和缩短可使大量的地壳物质被带入地幔中;另外,陆壳的挤压和缩短可更好地封闭发生在 Moho 面之上的底侵的壳底岩浆池(海),从而使底侵岩浆更充分地地与陆壳物质相互作用,包括陆壳岩石的熔融作用、壳幔混合作用、岩浆的结晶分离作用等。藏北(除钠质碱性系列外)乃至整个青藏高原北缘新生代火山岩正是在这种特定构造环境中形成的。针对藏北新生代火山岩系列的成岩机制加以论述。

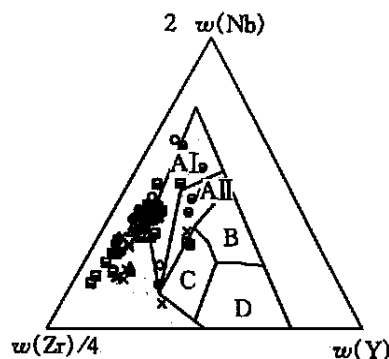


图 3 藏北新生代火山岩的 Nb-Zr-Y 投影

Fig. 3 The projection of Nb-Zr-Y of the volcanic rocks in northern Tibet

●. 羌塘钠质碱性玄武岩系列; ■. 羌塘白榴石碧玄岩—响岩系列; ×. 羌塘高钾钙碱性系列; ○. 可可西里岩带钾玄岩系列; △. 喀拉昆仑—玉门岩带钾玄岩系列; AI + AII. 板内碱性玄武岩; AII + C. 板内拉斑玄武岩; C + D. 火山弧玄武岩

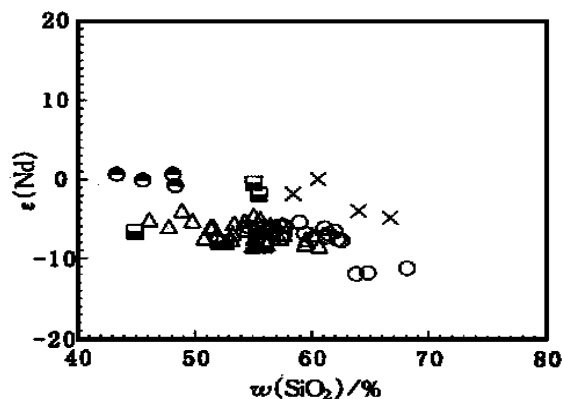


图 4 藏北新生代火山岩 $w(\text{SiO}_2)$ - Nd 相关图

Fig. 4 The $w(\text{SiO}_2)$ - Nd correlative diagram of the volcanic rocks in northern Tibet

图例同图 3

所用数据主要在本文的具体工作(表 1)上,同时结合前人资料(略),利用相容元素和不相容元素

的具体特征来指示藏北新生代火山岩的成因。对藏北新生代火山岩的成岩过程在此主要用相容元素(Cr)与不相容元素(La)的相关图以及相容元素 $w(\text{La})/w(\text{Sm})$ 和 $w(\text{La})$ 的相关图来判别,因为相容元素,如Ni、Cr等在分离结晶作用过程中它们的浓度变化很大,但在部分熔融过程中则变化缓慢;相反,不相容元素在部分熔融过程中浓度变化很大,而在分离结晶过程中则变化较缓慢。藏北新生代火山岩的成岩机制既有部分熔融成因,也有分离结晶成因存在,不能一概而论。用Allegre,Minster鉴别岩石成因过程的图解方法^[18],羌塘岩带(拉嘎拉^[13]、邦达错、通天桥和红山湖^[14]地区)的钠质碱性玄武岩系列的 $w(\text{La})/w(\text{Sm})-w(\text{La})$ 投影(图5A),反映了这套钠质碱性玄武岩基本上属于地幔岩部分熔融的产物,与丁林等的论述(藏北地区钠质碱性玄

武岩为地幔岩石较高程度熔融的产物^[13])相同;羌塘岩带(巴毛穷宗和鱼鳞山)的白榴石碧玄岩-响岩系列熔岩的 $w(\text{Cr})$ 在 20×10^{-6} 左右,因此岩浆类型不能作为地幔初始岩浆,它只是一种高度进化的岩浆类型,岩石成因类型从Cr的质量分数基本不变来看,反映出岩浆高度分离结晶的成因特征(图5B);对于高钾钙碱性系列岩石所得数据较少,但基本上成分变化特征反映了其成因特征为地幔部分熔融(图5C)可能为地幔二辉橄榄岩在含水相对低压条件下发生部分熔融形成的;而可可西里钾玄岩系列的岩石成因类型则主要为分离结晶的特点(图5D);对喀拉昆仑-玉门岩带的火山岩样品进行 $w(\text{La})-w(\text{La})/w(\text{Sm})$ 投影(图5E),可看出该岩带火山岩(主要反映在玄武岩中)的成因类型为分离结晶。

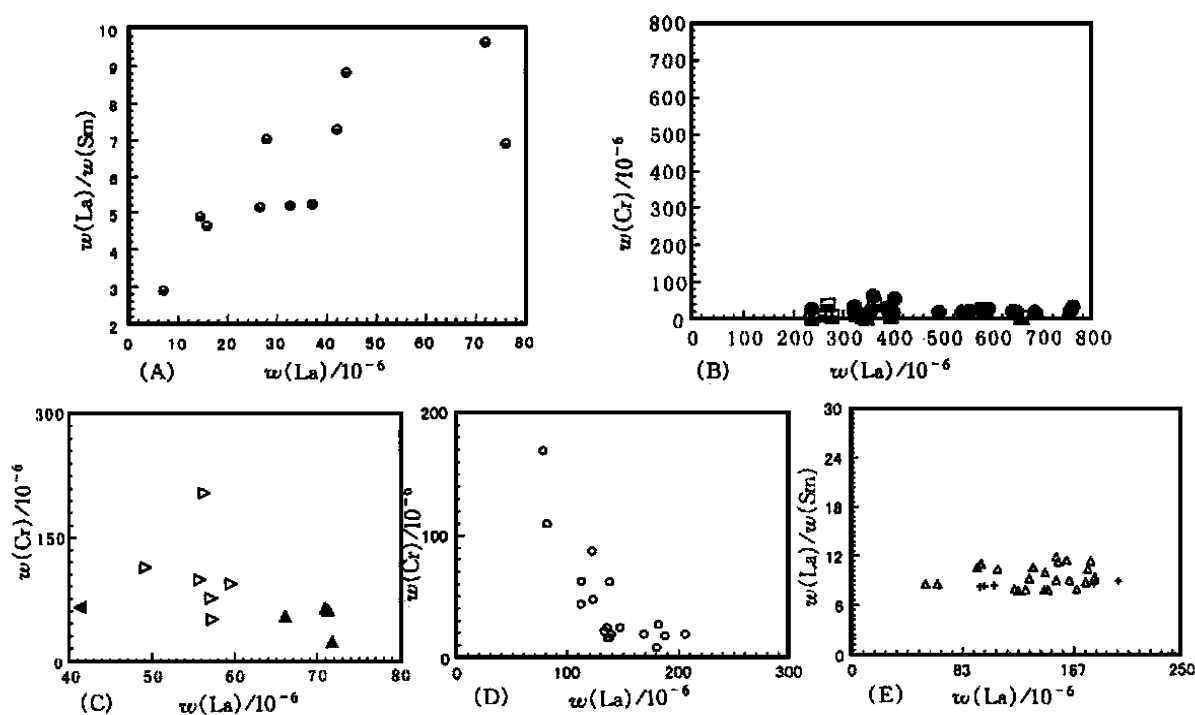


图5 藏北各系列火山岩代表性元素变异图

Fig.5 The variant diagram of each series volcanic rocks' representative elements of northern Tibet

●引自文献[13];△、○、●,引自文献[14];▲、+、□,本文数据;▽,引自文献[18]

4 讨论

目前对于青藏高原的隆升机制的观点都同岩石圈内部的热作用有直接关系,各时期的火山活动反映了岩石圈内部的热作用变化,通过对各系列火山岩的认识,可以认识到新生代以来藏北岩石圈内部

热活动的阶段性,表现出火山活动存在44.6~35 Ma(高钾钙碱性系列为主)、29~24 Ma(碱性钾质岩系)、19.6~7 Ma和5 Ma以来的(钾玄岩系列)4个火山活动高峰期,它们与近年来高原隆升速率研究确定出的脉动峰期有一定耦合性。从而可以将藏北高原乃至整个高原的隆升对应划分为几个不

表 1 藏北新生代火山岩代表性元素测试结果

Table 1 The testing result of representative elements of northern Tibet $w_B/10^{-6}$

样品号	La	Sm	Cr	Ni	MgO	Ba	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ta	产地来源	岩性
B33062	182.9	20.6	20.12	10.4	2.2	1 673.5	189.69	853.63	32.92	511.95	52.2	2.79	黑 本文	粗安岩
B33065	201.6	22.6	18.27	9.52	2	2 060.9	217.88	858.22	30.96	568.19	58.4	3.11	石 本文	粗面岩
B33070	99.74	11.7	105.2	62.1	5.1	1 035.2	89.84	693.14	24.54	373.61	37.2	2.08	北 本文	玄武 -
B33071	97.78	11.6	110.4	54.8		1 020.2	87.59	663.15	25.15	367.78	37.1	2.06	湖 本文	粗安岩
DG1	54.13	5.08	49.89	33.6		1 261.6	89.58	885.37	10.31	219.86	7.06	0.49	多格本文	粗面岩
DG2	49.75	4.62	52.87	36.1	1.9	1 289	85.24	842.28	10.08	224.36	6.99	0.47	错仁本文	粗面岩
Qhcb13	346	14.9	4.78	3.61	0.2	76.29	289.13	931.87	38.47	1 180.8	56.9	1.31	巴 本文	白榴石
Qhcb7	236.7	9.73	4.47	3.19	0.1	93.64	284.28	932.04	33.06	1211.7	57.4	1.33	毛 本文	
Qhcb8	338.5	13.3	5.96	3.98	0.1	120.91	302.51	1 015.4	40.35	1 215.9	58.9	1.37	穷 本文	响岩
Qhcb9	326.9	27	11.14	6.91	0.7	946.83	203.5	2 454.9	41.37	689.71	56	2.61	宗 本文	响岩
Qyb1 - 1	269	34	38.5	23.3	2.5	6 623.9	123.07	7 221	60.52	727.6	74.8	3.57	鱼 本文	碱玄岩
Qyb10	262.8	27.7	8.35	6.1	0.7	2 774.2	107.26	4 767	49.59	947.25	104	5.16	本文	碱
Qyb2	657.8	53.2	4.07	3.27	0.3	1 739.5	126.97	6 678.2	88.03	1 020.4	83.4	3.11	鳞 本文	玄
Qyb2 - 1	395.8	32	6.88	7.45	0.8	2 078.3	96.29	5 618.9	57.05	827.3	91.1	4.63	本文	质
Qyb3	341.6	29.6	8.86	7.26	0.9	2 573.6	158.27	4847.9	44.13	760.18	86.3	4.45	山 本文	响岩
ZG1	71.73	6.76	21.75	13	1.9	858	120	649	15	336	20	1	走 本文	粗安岩
ZG2	70.94	7.39	62.31	25	2.7	838	99	775	17	317	22	1	构 本文	粗安岩
ZG6	71.32	6.77	60.9	23	2.5	930	111	818	15	319	19	1	油 本文	粗安岩
ZG7	41.3	5.21	65.09	35	2.9	801	26	809	10	303	19	1	茶 本文	粗安岩
ZG8	66.09	7.03	52.4	23	2.7	813	78	739	16	311	21	1	错 本文	粗安岩

广州地化所, ICP - MS.

同的时段,但火山活动与高原隆升之间是否存在完全的对 应性还有待于进一步研究。藏北地区钾质火山活动的出现标志着岩石圈增厚停止并开始减薄,高原进入隆升阶段。另外,钾玄岩系列的出现反映了在藏北地区存在大量的岩石圈拆沉作用^[19]。藏北新生代火山岩的形成是相当复杂的过程,它与新生代以来高原岩石圈的构造演化有直接的联系,是由多方面因素制约的,与青藏高原所处的特殊地理位置和构造环境有直接的关系,因此很难用一种机制或模式来概括。以上只是从微量元素变化性方面对其成因进行了论述,尚具有很多欠缺之处。要探明其成因还必须从大地构造环境、物质来源、构造机制以及源区性质等方面加以论述。

本文是在原地矿部“九五”基础研究重点项目(9501101 - 5)研究的过程中完成的,同时得到了胡瑞忠研究员、吴福元教授和刘嘉麒研究员的指导和帮助,在此一并感谢!

参考文献:

[1] 赖绍聪,邓晋福,赵海玲. 青藏高原北缘火山作用与构造演化[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1996. 95 - 133.
[2] 赖绍聪. 青藏高原北部新生代火山岩的成因机制[J]. 岩石学报,1999,15(1): 98 - 104.
[3] 潘桂棠,王培生,徐耀荣,等. 青藏高原新生代构造演化

[M]. 北京:地质出版社,1990. 1 - 190.
[4] LAI Shaocong. Cenozoic volcanism and tectonic evolution in the Northern margin of the Qinghai - Tibet plateau[J]. Journal of North - West University,1996, 26(1): 99 - 104.
[5] 迟效国,李才,金巍,等. 藏北新生代火山作用的时空演化与高原隆升[J]. 地质论评,1999,45(增刊): 978 - 985.
[6] 邓万明. 西藏阿里地区北部新生代火山岩——兼论陆内俯冲作用[J]. 岩石学报,1989,(3): 1 - 11.
[7] 邓万明. 中昆仑造山带钾玄质火山岩的地质地球化学和时代[J]. 地质科学,1991,(3): 193 - 206.
[8] 邓万明,尹集祥,吴中平. 羌塘茶布一双湖地区基性超基性岩、火山岩研究[J]. 中国科学 D 辑,1996,26(4): 296 - 301.
[9] DENG Wanming. Cenozoic volcanism and Lithosphere. Tectonic evolution in the northern tibetan plateau[A]. Li Zhaonai, et al, eds. China Proc 30th, Int 1 Geol Congr, Part 15[C]. VSP,1997. 3 ~ 12.
[10] 王培生,徐耀荣,向天秀. 青藏高原新生代火山岩浆活动[A]. 中华人民共和国地质矿产部地质专报:青藏高原新生代构造演化[C]. 第 9 号. 北京:地质出版社,1990.
[11] TURNER S. Post - collisional, Shoshonitic Volcanism on the Tibetan Plateau: implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts[J]. J. Petrol, 1996, 37: 45 - 71.

- [12] 喻惠隆, 阎春德. 唐古拉凹陷中 - 新生代高钾钙碱性火山岩及其成岩构造环境[J]. 地质地球科学, 1997, (1): 32 - 36.
- [13] 丁林, 张进江, 周勇, 等. 青藏高原岩石圈演化的记录: 藏北钾质及钠质火山岩的岩石学与地球化学特征[J]. 岩石学报, 1999, 15(1): 408 - 421.
- [14] 邓万明. 青藏高原北部新生代板内火山岩[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [15] 中国科学院地球化学研究所. 高等地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [16] TAYLOR S R. The continental crust: Its composition and evolution[M]. London: Blackwell, 1985. 57 - 72.
- [17] ALLEGRE C J, MINSTER J F. Quantitative models of trace element behavior in magmatic processes[J]. Earth Planet Sci Lett, 1978, 38(1): 1 - 25.
- [18] 李光明. 藏北羌塘地区新生代火山岩岩石特征及其成因探讨[J]. 地质地球化学, 2000, 28(2): 38 - 43.
- [19] KAY R W, KAY S M. Delamination and delamination magmatism[J]. Tectonophysics, 1993, 219: 177 - 189.

GEOCHEMISTRY AND GENESIS OF CENOZOIC VOLCANIC ROCK SERIES IN NORTHERN TIBET

LIU Shen, CHI Xiao-guo, LI Cai, JIN Wei, WANG Tian-wu

(College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: Following the collision of Indian plate and Eurasia continent plate in Eocene (45Ma), the Cenozoic volcanic activity is rather frequently in northern Tibet. There are three volcanic rocks zones from south to north and from old to new Qiangtang, Hoh Xil and Karakoram - Yumen. According to rock assemblage and geochemical features, these zones can be divided into five series: soda - alkalic basalt series; leucitite basanite - phonolite series; high - K calc - alkaline series; Hoh Xil Shoshonite series and Kalakunlun - Yumen shoshonite series. It is hoped that the study on origin of the volcanic rock series will provide significant information about lithospheric composition, crust - mantle texture, and uplifted mechanism of Qinghai - Tibet plateau.

Key words: northern Tibet; Cenozoic volcanic rock series; geochemistry

(上接 223 页)

STUDY ON TUMUXIUE FAULT BELT IN TARIM BASIN

LIU Zhi-hong¹, LIN Dong-cheng², WANG Wen-ge²,
ZHANG Li-guo², GAO Jun-yi², REN Lin-wei², LIU An-ying²

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China; 2. Research Institute of Exploration and Development, Daqing Oil field Inc., Daqing 163712, China)

Abstract: The research area is situated in the western part of Tarim basin. It can be divided into Bachu block uplift and Awati depression by Tumuxiue fault belt. The study of geometry, kinematics and geodynamics of Tumuxiue fault belt show that the Tumuxiue fault belt is a dextral reversed strike - slip fault which formed along the axial surfaces of the fault band fold or fault propagation fold. It deconstructed the early structures and controlled the formation and development of Bachu block uplift and Awati depression. Tumuxiue fault belt was formed from Tertiary, and caused by the remote effect of India - Tibet collision. Up to now it has been activity.

Key words: reversed strike - slip fault; structural characteristic; forming time; Tumuxiue fault belt