

长江源区新生代火山岩的系列及成因

魏君奇^{1,2}, 王建雄², 牛志军²

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 宜昌地质矿产研究所, 湖北宜昌 443003

摘要: 长江源区的新生代火山岩系包括高钾钙碱性系列和钾玄岩系列。高钾钙碱性火山岩形成于始新世, 钾玄岩系列火山岩形成于中、上新世。总体而言, 该区火山岩富碱高钾, 富集大离子亲石元素, 稀土元素含量高且轻稀土相对富集。相对而言, 高钾钙碱性火山岩富集 SiO_2 、 Al_2O_3 , 无负 Eu 异常, 属于壳源岩浆系列, 其原始岩浆由加厚陆壳的榴辉岩质下地壳经部分熔融产生。钾玄岩系列火山岩富集 K_2O 、 TiO_2 、 P_2O_5 、 MgO 、 FeO , ΣREE 、HFSE、 I_{Sr} 值均较高, 弱负 Eu 异常, 属于幔源岩浆系列, 其原始岩浆由 EM II 型富集地幔的部分熔融生成。2 个系列的火山岩均是大陆碰撞造山后期岩浆作用的产物。始新世以来, 随着该区由碰撞、挤压作用发展到出现走滑, 应力环境由挤压转变为张性, 导致依次喷发高钾钙碱性火山岩和钾玄岩系列火山岩。

关键词: 高钾钙碱性系列; 钾玄岩系列; 新生代火山岩; 长江源区。

中图分类号: P588.14

文章编号: 1000-2383(2004)01-0025-06

收稿日期: 2003-04-27

Series of the Cenozoic Rocks in Source Region of the Yangtze River and Their Genesis

WEI Jun-qi^{1,2}, WANG Jian-xiong², NIU Zhi-jun²

1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, China

Abstract: The rock series of the Cenozoic volcanic rocks include high-K calc-alkaline (HK-CA) series and shoshonite (SHO) series in the source region of the Yangtze River. The HK-CA rocks were formed in Eocene and the SHO rocks were formed in Neogene. Generally speaking, rocks with high content of alkali and K_2O are enriched in LILE and with high abundance of REE, high ratio of LREE/HREE. The HK-CA rocks have more SiO_2 , Al_2O_3 and less K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MgO , FeO , ΣREE , HFSE, I_{Sr} than SHO, and show no Eu negative anomalies, distinguishing from SHO that show light Eu negative anomalies. Therefore, the HK-CA series belong to crust-derived magma series and are originated from melting of an eclogitic lower crust; the SHO series belong to mantle-derived magma series and are originated from melting of EM II mantle. The Cenozoic volcanic rocks were formed in back-collision tectonic environment, and both HK-CA and SHO series magmas should be generated at the late stage of collision process, that is, when the collision changed from compression then to strike-slip movement, the SHO rocks occurred following HK-CA rocks.

Key words: high-K calc-alkaline series; shoshonite series; Cenozoic volcanic rock; source region of the Yangtze River.

0 引言

目前, 北纬 34° 以北的藏北新生代火山岩的基础资料及研究成果较为丰富, 认为火山岩系的生成

顺序是: 从由高钾钙碱性系列开始, 主活动期出现钾玄岩系列, 钾质碱性系列生成最晚(迟效国等, 1999; 赖绍聪和刘池阳, 2001; 赖绍聪等, 2001; 赖绍聪等, 2002)。长江源区的新生代火山岩出露于北纬 34° 以

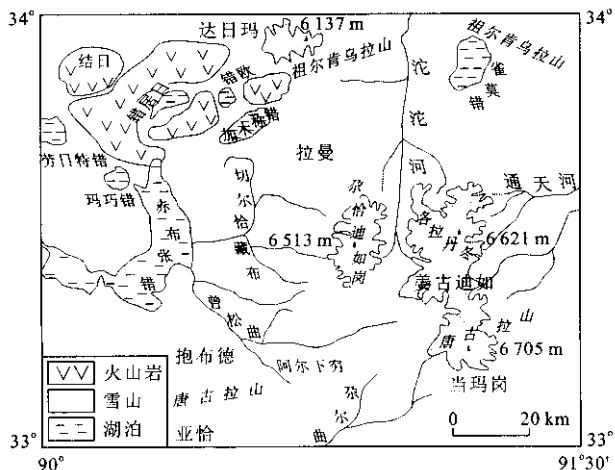


图 1 长江源区新生代火山岩分布

Fig. 1 Distribution of Cenozoic volcanic rocks from source region of the Yangtze River

南,属藏北火山岩带南亚带北美塘火山岩省。火山岩主要围绕赤布张错、加木称错、错居日和错欧等几个咸水湖分布(图 1),呈平顶山、方桌山等熔岩台地地貌,海拔 5 000 ~ 5 800 m。由于自然环境十分恶劣,该区的火山岩研究基本为空白,本文是在 1: 25 万赤布张错幅区调工作的基础上,首次对该区新生代火山岩的岩石系列加以研究。

1 岩石化学

1.1 火山岩系列

长江源区新生代的火山活动分为 3 期(表 1)。K₂O - SiO₂ 岩系判别图(图 2)显示,第 1 期(始新世)的火山岩属于高钾钙碱性系列(HK - CA),第 2 期(中新世)和第 3 期(上新世)的火山岩属于钾玄岩系列(SHO)。

1.2 矿物学特征

高钾钙碱性斑状熔岩,以斜长石斑晶为主,含少量石英、钾长石和角闪石斑晶,岩石蚀变较强。钾玄岩系列斑状熔岩,以钾长石和石英斑晶为主,含少量斜长石斑晶,岩石较为新鲜。副矿物磷灰石和钛铁矿在钾玄岩系列火山岩中的含量相对较高。

1.3 岩石化学特征

火山岩的 SiO₂ 含量为 60.4% ~ 69.5%(表 2),属中性岩类,且富碱高钾(Na₂O + K₂O > 7.7%, K₂O > 3.9%, Na₂O < K₂O)。其中高钾钙碱性火山岩相对富集 SiO₂、Al₂O₃,说明其岩浆源区为硅铝质

地壳。钾玄岩系列火山岩相对富集 FeO、MgO、K₂O、
表 1 长江源区新生代火山岩系列

Table 1 Series of Cenozoic volcanic rocks from source region of the Yangtze River

岩石系列	期次	岩性	时代	全岩 K - Ar 年龄/Ma
钾玄岩系列	第 3 期	粗面岩	上新世	4.61, 4.66, 4.74, 5.5
	第 2 期	安粗岩	中新世	17.6, 19.6, 26.5 ^①
高钾钙碱性系列	第 1 期	粗面岩	始新世	35.1, 35.3, 37.6, 40.1

注:除第 2 期的一组年龄数据外,其余由中国地质调查局宜昌同位素地质研究与测试中心测试。测试方法:K、Ar 稀释法。测试仪器:LZD - 201 质谱器。①青海省地质矿产局区调综合地质大队,1987. 1: 20 万赤布张错幅、温泉兵站幅区调报告。

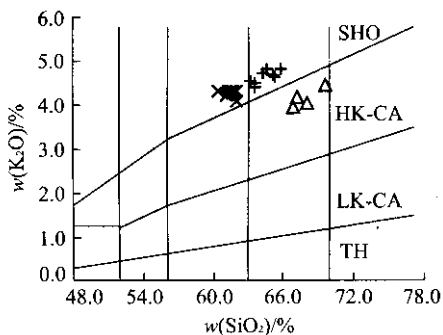


图 2 火山岩的 K₂O - SiO₂ 图解

Fig. 2 $w(K_2O) - w(SiO_2)$ diagram for volcanic rocks TH. 拉斑系列;LK-CA. 低钾钙碱性系列;HK-CA. 高钾钙碱性系列;SHO. 钾玄岩系列;△. 第 1 期;×. 第 2 期;+. 第 3 期

TiO₂、P₂O₅、Fe、Mg 质的富集,说明其岩浆来源于上地幔。由于 K、Ti、P 在地幔条件下为强不相容元素,地幔的不均一事件极易使其发生显著的富集与亏损。因此,钾玄岩系列岩浆是富集地幔部分熔融的产物。

2 稀土元素和微量元素

2.1 稀土元素

火山岩的稀土总量(∑REE)较高,且为轻稀土富集型(表 3,图 3)。其中高钾钙碱性火山岩的 ∑REE 相对较低,无负 Eu 异常;钾玄岩系列火山岩的 ∑REE 相对较高,弱的负 Eu 异常。中酸性火成岩无负 Eu 异常的特征,标志着一个加厚的相当于榴辉岩质(无斜长石相)陆壳的存在(赖绍聪和刘池阳 2001;赖绍聪等 2001;赖绍聪等 2002)。因此,高钾钙碱性火山岩岩浆来源于榴辉岩质下地壳的部分熔融,而钾玄岩系列火山岩是幔源钾玄质岩浆结晶分异的产物,在岩浆演化过程中存在斜长石的分离结

晶作用.

表 2 长江源区新生代火山岩主量元素(%)分析结果

Table 2 Major element (%) analyses of the Cenozoic volcanic rocks from source region of the Yangtze River $w_B/\%$

岩性	钾玄岩系列粗面岩							钾玄岩系列安粗岩			
	MB1-1	MB1-4	MB2	MB4	MZ'1-1	MZ'1-2	MZ'2	C1601-1	C1603-1h	C1601-2	C1603-2
SiO ₂	63.56	63.44	63.58	63.16	64.60	65.02	64.16	65.73	65.20	61.64	61.50
Al ₂ O ₃	14.40	14.36	14.39	14.52	14.26	14.36	14.34	14.35	14.25	14.41	14.53
Fe ₂ O ₃	2.49	2.60	1.87	2.54	2.41	2.43	1.69	2.91	2.80	1.67	2.24
FeO	3.30	3.22	4.18	3.31	2.88	2.82	3.68	2.08	2.34	4.74	4.06
CaO	3.66	3.74	3.53	3.78	3.20	3.24	3.24	2.85	3.07	4.10	4.24
MgO	1.39	1.30	1.43	1.34	1.20	1.01	1.30	0.83	1.11	1.64	1.68
K ₂ O	4.42	4.48	4.52	4.55	4.84	4.67	4.73	4.82	4.64	4.28	4.32
Na ₂ O	3.60	3.43	3.65	3.54	3.49	3.54	3.36	3.36	3.32	3.57	3.54
TiO ₂	1.45	1.44	1.46	1.50	1.28	1.25	1.29	1.18	1.30	1.62	1.67
P ₂ O ₅	0.62	0.63	0.58	0.57	0.55	0.55	0.55	0.50	0.55	0.58	0.60
MnO	0.07	0.07	0.09	0.08	0.07	0.07	0.08	0.06	0.07	0.09	0.09
H ₂ O ⁺	0.49	0.48	0.30	0.54	0.50	0.60	1.14	0.67	0.55	0.72	0.24
CO ₂	0.06	0.19	0.34	0.31	0.11	0.07	0.07	0.43	0.13	0.07	0.37
total	99.51	99.38	99.92	99.74	99.39	99.63	99.63	99.77	99.33	99.13	99.08

岩性	钾玄岩系列安粗岩					高钾钙碱性系列粗面岩						
	MB-3	MZ-4	MZ-5	MZ-6	C4019-1	C4019-2	C4019-5	C1604-1	C4004-1	C4012-1	C4013-2	
SiO ₂	62.00	61.20	61.96	61.08	60.44	61.59	61.66	69.50	67.93	66.80	67.16	
Al ₂ O ₃	14.33	14.46	14.43	14.44	14.51	14.66	14.57	14.77	15.26	15.62	14.61	
Fe ₂ O ₃	1.84	2.28	2.38	1.82	2.43	2.42	1.61	2.54	2.54	2.85	1.65	
FeO	4.14	4.30	3.72	4.50	4.21	3.70	4.62	0.33	1.12	0.76	1.46	
CaO	4.07	4.20	4.24	4.38	4.43	4.12	4.20	1.50	2.30	2.83	2.63	
MgO	1.56	1.69	1.67	1.65	1.73	1.66	1.76	0.41	0.68	0.85	1.28	
K ₂ O	4.34	4.27	4.10	4.24	4.33	4.33	4.26	4.44	4.05	3.97	4.18	
Na ₂ O	3.37	3.47	3.64	3.50	3.61	3.51	3.64	2.87	4.21	4.14	3.65	
TiO ₂	1.43	1.60	1.64	1.63	1.63	1.65	1.72	0.36	0.46	0.52	0.36	
P ₂ O ₅	0.66	0.62	0.64	0.66	0.64	0.66	0.65	0.16	0.20	0.25	0.13	
MnO	0.09	0.09	0.08	0.09	0.10	0.09	0.09	0.02	0.02	0.02	0.05	
H ₂ O ⁺	1.28	0.94	0.52	0.55	0.96	0.32	0.10	2.78	1.46	0.92	2.46	
CO ₂	0.37	0.34	0.24	0.07	0.55	0.38	0.13	0.08	0.06	0.08	0.16	
total	99.48	99.46	99.26	98.61	99.57	99.09	99.01	99.76	100.29	99.61	99.78	

注:样品由中国地质调查局宜昌地质矿产研究所岩矿测试中心分析.

2.2 微量元素

(1)普遍富含大离子亲石元素(LILE)Sr、Rb、Ba,而高场强元素(HFSE)Ta、Nb、Zr、Hf在高钾钙碱性火山岩中的含量明显低于其在钾玄岩系列火山岩中的含量(表3).

(2)强不相容元素Sr、Rb、Ba、Th强富集,弱不相容元素Ta、Nb、Ce、Zr、Hf、Sm弱富集,过渡元素Sc弱亏损,强相容元素Cr强亏损(图4),显示随着相容性的增加,元素的相对亏损程度加大,说明在岩浆演化过程中存在结晶分异作用.

(3)Ta、Nb的亏损是上地壳沉积岩和岛弧区岩浆作用的典型地球化学标志(丁振举等,2003).本区火山岩形成于造山后构造环境,所以Ta、Nb谷的出现,应为陆壳物质参与成岩过程所致.Th、Ce是

超亲岩浆元素,Th、Ce峰的出现,说明火山岩的原始岩浆是由部分熔融作用产生的.

3 Sr、Nd 同位素

表4中Sr、Nd同位素的初始比值均做了K-Ar年龄校正.在 $N(^{143}\text{Nd})/N(^{144}\text{Nd}) - N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$ 图解(图5)上,所有样品均投影于EM II型富集地幔象限内,但明显分为左、右2组.高钾钙碱性系列与钾玄岩系列的 I_{Nd} 值相当,但前者的 I_{Sr} 值(<0.709)相对较低,靠近EMI端元,说明其源区与再循环的下地壳有关.后者的 I_{Sr} 值(>0.709)相对较高,靠近EMI端元,说明其地幔源区有较多地壳物质的加入,致使 I_{Nd} 值变化不大,而 I_{Sr} 值有所增加.

表 3 长江源区新生代火山岩微量元素 (10^{-6}) 分析结果Table 3 Trace element (10^{-6}) analyses of the Cenozoic volcanic rocks from source region of the Yangtze River $w_B/10^{-6}$

岩性	钾玄岩系列粗面岩							钾玄岩系列安粗岩			
样号	MB1-1	MB1-4	MB2	MB4	MZ'1-1	MZ'1-2	MZ'2	C1601-1	C1603-1h	C1601-2	C1603-2
La	156	136	144	138	129	132	126	122	142	178	218
Ce	224	213	216	203	201	198	185	191	206	274	329
Pr	22.3	21.3	23.0	21.4	20.4	20.4	20.0	20.6	20.8	27.0	30.9
Nd	86.7	85.2	91.5	84.5	80.2	80.1	78.0	81.1	82.6	109	130
Sm	12.7	12.3	13.0	12.0	12.0	11.7	11.2	11.9	12.5	14.8	19.7
Eu	2.39	2.34	2.43	2.35	2.10	2.14	2.01	1.94	2.17	2.78	3.23
Gd	8.44	8.48	8.91	8.05	8.02	8.24	7.89	8.45	8.74	9.12	10.8
Tb	1.16	1.28	1.31	1.12	1.25	1.29	1.30	1.31	1.37	1.44	1.82
Dy	6.30	6.07	6.50	5.97	6.71	6.76	6.45	7.04	6.87	6.27	7.80
Ho	1.09	1.08	1.11	1.03	1.15	1.19	1.11	1.21	1.20	1.04	1.25
Er	2.78	2.65	2.75	2.48	3.00	3.07	3.02	3.16	3.03	2.40	2.95
Tm	0.41	0.38	0.37	0.32	0.42	0.41	0.39	0.42	0.39	0.30	0.40
Yb	2.05	2.01	2.09	1.81	2.31	2.38	2.17	2.51	2.38	1.73	2.13
Lu	0.28	0.29	0.31	0.25	0.31	0.31	0.30	0.33	0.33	0.23	0.33
Y	23.6	22.2	23.0	20.9	24.5	24.6	23.8	25.2	25.8	20.5	27.3
∑REE	550.20	514.58	536.28	503.18	492.37	492.59	468.64	478.17	516.18	648.61	785.61
δEu	0.67	0.67	0.66	0.70	0.62	0.64	0.63	0.57	0.61	0.69	0.62
Sr	550	560	550	620	490	430	490	400	520	600	680
Rb	194	199	205	192	233	231	231	251	238	169	181
Ba	1 390	1 370	1 340	1 450	1 190	1 020	1 320	940	1 280	1 600	1 620
Th	32.5	32.8	30.5	29.8	40.7	37.8	33.3	49.8	40.1	32.9	4.8
Ta	2.52	2.17	2.45	2.70	1.93	3.03	2.51	2.12	2.32	1.9	1.93
Nb	39.4	43.4	44.9	42.9	39.1	40.6	41.2	38.8	35.3	40.1	39.2
Zr	490	524	516	524	408	427	416	363	424	643	665
Hf	13	15.4	14.6	15.3	12.6	12.5	12.9	10.4	11.3	16.9	18.6
Cr	17	15	14	12	13	13	11	10	4	17	15
岩性	钾玄岩系列安粗岩							高钾钙碱性系列粗面岩			
样号	MB-3	MZ-4	MZ-5	MZ-6	C4019-1	C4019-2	C4019-5	C1604-1	C4004-1	C4012-1	C4013-2
La	147	175	168	171	188	187	193	56.5	76.8	75.7	45.2
Ce	224	265	252	253	303	297	315	86.8	111	117	69.7
Pr	22.9	26.6	24.7	24.7	27.7	27.5	29.0	8.02	10.2	10.2	6.66
Nd	88.4	106	100	97.9	111	115	119	32.4	40.6	41.5	24.6
Sm	13.0	14.5	13.6	13.8	18.1	17.5	17.6	4.98	6.18	6.30	4.09
Eu	2.43	2.76	2.67	2.71	2.99	3.01	3.12	1.05	1.35	1.48	0.89
Gd	8.38	9.20	8.82	8.85	9.69	10.3	10.8	3.10	3.74	3.94	2.74
Tb	1.29	1.40	1.24	1.37	1.65	1.47	1.70	0.55	0.57	0.57	0.40
Dy	6.19	6.24	5.77	5.79	6.92	7.03	7.26	2.16	2.37	2.71	1.87
Ho	1.06	1.05	1.02	0.95	1.14	1.22	1.26	0.39	0.45	0.46	0.33
Er	2.69	2.54	2.36	2.35	2.49	2.68	2.71	0.94	0.98	1.01	0.80
Tm	0.30	0.29	0.28	0.28	0.36	0.36	0.42	0.16	0.15	0.16	0.14
Yb	1.96	1.77	1.60	1.65	1.98	2.13	2.06	0.97	0.89	0.98	0.81
Lu	0.27	0.24	0.22	0.27	0.30	0.33	0.38	0.17	0.17	0.16	0.15
Y	21.9	20.7	19.3	19.4	23.6	25.0	24.6	8.76	8.60	9.94	7.11
∑REE	541.77	633.29	601.58	604.02	698.92	697.53	727.91	206.95	264.05	272.11	165.49
δEu	0.67	0.69	0.70	0.71	0.63	0.64	0.65	0.77	0.80	0.85	0.77
Sr	640	630	680	630	720	670	630	470	780	850	530
Rb	182	168	167	168	174	172	168	196	161	155	177
Ba	1 430	1 580	1 770	1 650	1 670	1 675	1 630	1 460	1 705	1 750	1 430
Th	30.6	28.4	32.6	31.3	33.0	32.6	31.4	24.4	26.8	21.7	21.8
Ta	2.44	1.66	2.17	1.53	2.15	1.54	1.94	0.79	0.84	0.66	0.79
Nb	39.8	39.8	40.8	41.5	33.7	37.6	41.4	12.2	8.29	9.71	8.13
Zr	498	624	590	698	573	606	662	168	186	184	170
Hf	13.8	17.1	17.5	18.4	13.8	14.9	16.6	5.35	5.55	5.81	4.97
Cr	10	17	16	17	13	13	20	17	74	31	38

注: 样品由中国地质调查局宜昌地质矿产研究所岩矿测试中心分析。

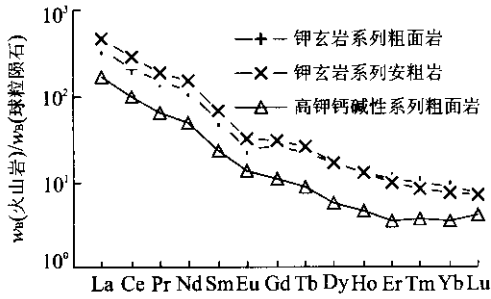


图 3 火山岩稀土元素球粒陨石标准化配分图解

Fig. 3 Chondrite-normalized REE distribution patterns of the volcanic rocks

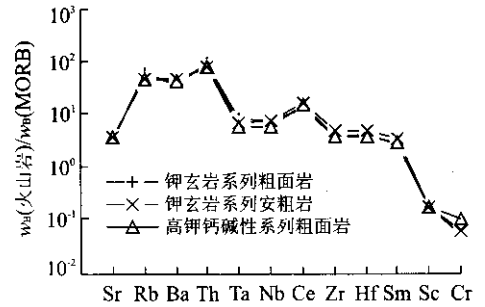


图 4 火山岩微量元素 MORB 标准化配分图解

Fig. 4 MORB-normalized trace element distribution patterns of the volcanic rocks

表 4 长江源区新生代火山岩 Sr、Nd 同位素组成测定结果

Table 4 Sr and Nd isotopic compositions for Cenozoic volcanic rocks in the source region of the Yangtze River

岩系	岩性	样号	$u(\text{Rb})/10^{-6}$	$u(\text{Sr})/10^{-6}$	$u(\text{Sm})/10^{-6}$	$u(\text{Nd})/10^{-6}$	$N(^{87}\text{Rb})/ N(^{86}\text{Sr})$	I_{Sr}	$N(^{147}\text{Sm})/ N(^{144}\text{Nd})$	I_{Nd}	ϵ_{Nd}
钾玄岩系列	粗面岩	MB-1	219.2	675.8	14.16	95.1	0.936	0.709 39	0.090 1	0.512 283	-6.8
		MB-4	208.2	581.7	14.51	94.62	1.032	0.709 29	0.092 8	0.512 310	-6.3
		C1603-1	249.5	488.2	13.74	87.04	1.473	0.709 33	0.095 5	0.512 364	-5.2
		C1603-4	257.8	485.8	14.20	88.46	1.530	0.709 66	0.097 1	0.512 333	-5.8
	安粗岩	MZ-4	176.6	670.5	15.20	104.8	0.759	0.709 43	0.087 7	0.512 276	-6.9
		MZ-6	181.0	665.9	15.16	105.2	0.784	0.709 44	0.087 2	0.512 292	-6.6
高钾钙碱性系列粗面岩	粗面岩	MZ-1	116.3	1 333.0	8.464	55.57	0.252	0.707 49	0.092 1	0.512 336	-5.0
		MZ-3	119.5	1 565.0	9.829	71.71	0.220	0.707 23	0.082 9	0.512 320	-5.3
		C1604-4	217.2	488.4	3.073	24.32	1.282	0.707 77	0.092 1	0.512 352	-4.6
		C4012-2	180.0	969.6	6.414	44.36	0.535	0.707 64	0.087 5	0.512 336	-5.0

注 :由中国地质调查局宜昌同位素地质研究与测试中心测试。测试方法 :阳离子交换技术、同位素稀释法。测试仪器 :MAT-261 可调多接收质谱仪。

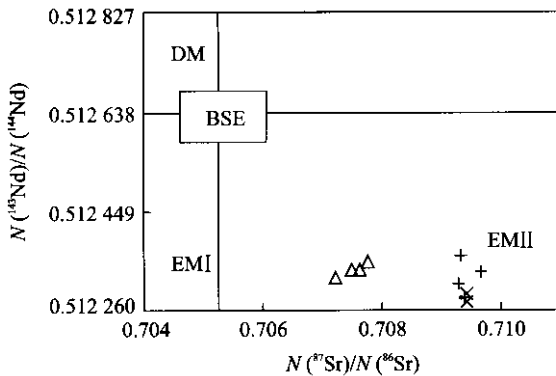


图 5 $N(^{143}\text{Nd})/N(^{144}\text{Nd}) - N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$ 相关图

Fig. 5 $N(^{143}\text{Nd})/N(^{144}\text{Nd}) - N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$ isotope correlation diagram

DM. 亏损地幔 ;BSE. 原始地幔 ;EM I. I 型富集地幔 ;EM II. II 型富集地幔 ;其余图例同图 2

4 成因分析

(邓万明和孙宏娟, 1999), 藏北地区进入了两大板块碰撞后的陆内构造演化阶段. 始新世时期, 长江源区处于陆-陆碰撞的挤压环境之下, 陆-陆俯冲使陆壳明显加厚, 俯冲最深的下地壳镁铁质岩石发生超高压变质, 形成比重较大的榴辉岩质下地壳, 挤压环境和加厚的陆壳使下地壳具备了脱水熔融的地质条件(赖绍聪和刘池阳, 2001; 赖绍聪等, 2001; 赖绍聪等, 2002). 高钾钙碱性岩浆正是起源于加厚陆壳的榴辉岩质下地壳的部分熔融. 同时, 俯冲的陆壳将大量地壳物质带入地幔, 并与地幔物质发生交代, 形成 EM II 型富集地幔. 中新世以来, 青藏高原隆升最快、升幅最大, 长江源区的上升幅度更是达到 5 000 km. 为了调节地壳的大幅度隆升, 容易形成断陷盆地和构造湖盆, 而且在抬升过程中, 块体之间的差异运动有利于地壳拉张减薄并派生出一系列切穿壳层张性断裂, 以致形成局部的初始裂谷. 邓万明(1993)认为, 藏北火山岩带南亚带的第三纪火山岩在成因上可能与羌塘地体内部一条初始裂谷有关.

印度板块与欧亚板块在约 55Ma 前碰撞以来

长江源区的赤布张错、错居日、错欧、加木称错等第三系断陷盆地和构造湖盆,正是初始裂谷的遗迹。初始裂谷和切穿壳层的张性断裂,使上地幔岩石取得了减压熔融条件,钾玄岩系列岩浆正是在这种条件下,由 EM II 型富集地幔经部分熔融作用产生(张传林等 2003)。总之,随着该区由碰撞、挤压作用发展到出现拉张、走滑,应力环境由挤压转变为张性,依次导致高钾钙碱性岩浆和钾玄岩系列岩浆的生成与喷发。

5 结论

(1) 长江源区高钾钙碱性火山岩形成于始新世陆-陆碰撞的挤压环境下,由加厚陆壳的榴辉岩质下地壳经部分熔融作用生成原始岩浆,后经分异演化作用形成高钾钙碱性粗面岩。因而相对富集 SiO_2 、 Al_2O_3 、无负 Eu 异常,并具有较高 I_{Sr} 值和低的 I_{Nd} 值,属壳源岩浆系列。(2) 长江源区钾玄岩系列火山岩形成于中、上新世初始裂谷的拉张环境下,由 EM II 型富集地幔经部分熔融作用生成原始岩浆,后经结晶分异作用形成钾玄岩系列安粗岩和粗面岩。因而相对富集 K_2O 、 TiO_2 、 P_2O_5 、 MgO 、 FeO 、稀土元素和高场强元素,弱的负 Eu 异常,并具有高的 I_{Sr} 值和低的 I_{Nd} 值,属幔源岩浆系列。

References

- Chi X. G., Li C., Jin W., et al. 1999. Spatial-temporal evolution of Cenozoic volcanism and uplifting in North Tibet. *Geological Review* 45(Suppl): 978 - 986(in Chinese with English abstract).
- Deng W. M. 1993. Study on trace element and Sr, Nd isotopic geochemistry of Cenozoic potassic volcanic rocks in North Tibet. *Acta Petrologica Sinica* 9(4): 379 - 387(in Chinese with English abstract).
- Deng W. M., Sun H. J. 1999. Relationship between Cenozoic volcanism in the Qinghai-Tibet plateau and its uplifting. *Geological Review* 45(Suppl): 952 - 957(in Chinese with English abstract).
- Ding Z. J., Yao S. Z., Zhou Z. G., et al. 2003. Diversity of trace element compositions of volcanic in different slabs of Bikou Group: Implication for tectonic. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences* 28(2): 167 - 172 (in Chinese with English abstract).

- Lai S. C., Liu C. Y. 2001. Enriched upper mantle and eclogitic lower crust in north Qinghai-Tibet plateau. *Acta Petrologica Sinica* 17(3): 459 - 468(in Chinese with English abstract).
- Lai S. C., Liu C. Y., O'Reilly S. Y. 2001. Petrogenesis of the Neogene high-potassium calc-alkaline volcanic rock and their continental dynamics implication. *Science in China (Series D)* 31(Suppl): 34 - 42(in Chinese).
- Lai S. C., Yi H. S., Liu C. Y., et al. 2002. Trace element geochemistry and classification of amphiboles of the Cenozoic high-potassium calc-alkaline volcanic rock series from north Qinghai-Tibetan plateau. *Acta Petrologica Sinica* 18(1): 17 - 24(in Chinese with English abstract).
- Zhang C. L., Zhao Y., Guo K. Y., et al. 2003. Geochemistry characteristics of the Proterozoic meta-basalt in southern Tarim plate: Evidence for the Meso-Proterozoic breakup of paleo-Tarim plate. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences* 28(1): 47 - 53(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 迟效国, 李才, 金巍, 等. 1999. 藏北新生代火山作用的时空演化与高原隆升. *地质论评* 45(增刊): 978 - 986.
- 邓万明. 1993. 青藏北部新生代钾质火山岩微量元素和 Sr、Nd 同位素地球化学研究. *岩石学报* 9(4): 379 - 387.
- 邓万明, 孙宏娟. 1999. 青藏高原新生代火山活动与高原隆升关系. *地质论评* 45(增刊): 952 - 957.
- 丁振举, 姚书振, 周宗桂, 等. 2003. 碧口群不同岩片火山岩微量元素组成差异与古构造意义. *地球科学——中国地质大学学报* 28(2): 167 - 172.
- 赖绍聪, 刘池阳. 2001. 青藏高原北羌塘榴辉岩质下地壳及富集型地幔源区. *岩石学报* 17(3): 459 - 468.
- 赖绍聪, 刘池阳, S. Y. O'Reilly. 2001. 北羌塘新第三纪高钾钙碱性火山岩的成因及其大陆动力学意义. *中国科学(D 辑)* 31(增刊): 34 - 42.
- 赖绍聪, 伊海生, 刘池阳, 等. 2002. 青藏高原北羌塘新生代高钾钙碱性系列火山岩角闪石类型及痕量元素地球化学. *岩石学报* 18(1): 17 - 24.
- 张传林, 赵宇, 郭坤一, 等. 2003. 塔里木南缘元古代变基性火山岩地球化学特征: 古塔里木板块中元古代裂解的证据. *地球科学——中国地质大学学报* 28(1): 47 - 53.