

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

燕辽三叠纪碱性偏碱性杂岩体 地球化学特征及意义

牟保磊 阎国翰

(北京大学地质学系)



华北地台北部燕辽地区发现一批三叠纪 (245—195 Ma) 碱性或偏碱性杂岩体。这些杂岩体均贫硅,绝大多数富含铁、镁、钾、磷和稀土等不相容微量元素。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值为 0.7055—0.7057,它们可能源自被交代蚀变的上地幔。结合燕辽地区三叠系的分布及构造形变的研究,表明该地区三叠纪存在构造岩浆活动带,它是本地区印支运动的重要表现。

关键词 碱性偏碱性杂岩体 地球化学 燕辽地区

华北地台北部沿燕辽地区分布的岩浆侵入体,长时期曾被认为是燕山运动及其以后构造岩浆活动的产物,或者是海西运动及其以前构造岩浆活动的结果。换言之,认为这个地带三叠纪没有深成侵入活动。随着研究的深入,人们对这种观念逐渐产生疑问,认为在燕辽地区凡侵入晚元古代至晚二叠纪地层为早侏罗世及早白垩世地层所覆盖,或被同时代的火成岩贯穿的侵入体,应为三叠纪的产物^[1]。70年代以来,在燕辽地区陆续发现了一批碱性或偏碱性侵入体,其同位素年龄相当于三叠纪^[2-4],其中有些岩体还具有充分的地层证据。这些岩体的侵位时代、岩石学和地球化学特征,对认识燕辽地区的构造岩浆活动历史和上地幔物质成分及与碱性岩有关的矿产资源、找矿方向都有重要意义。

1 碱性偏碱性岩体侵位时代的确定

三叠纪起迄时间目前存在几种看法,有人提出为 248—213Ma^[5]。根据我国的研究成果提出三叠纪起迄时间^[6]: (1) 235 ± 5 — 195 ± 5 Ma; (2) 240 ± 10 — 195 ± 5 Ma; (3) 二叠—三叠纪界限为 253 ± 2.5 Ma。综合起来,三叠纪时限大体在 245 ± 5 — 195 ± 5 Ma。通过对燕辽地区五个岩体研究后认为它们为三叠纪的产物。

矾山钾质偏碱性层状超镁铁岩—正长岩杂岩体: 位于官厅水库以西约 15km, 面积 30km²。侵位于中元古界雾迷山组。9个样品(主要是黑云母) K-Ar 法视年龄为 248—203Ma^[3]。最近测定其全岩和黑云母 Rb-Sr 等时线年龄为 218 ± 8 Ma, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值为 0.70554 (表 1)。

1) 李志昌,刁乃昌,付国民,胡华光等. 第三届全国同位素地球化学学术讨论会论文(摘要)汇编. 1986, 196—202.

本文 1990 年 5 月收到, 1991 年 6 月改回, 刘淑春编辑.

表 1 矾山和姚家庄偏碱性杂岩体 Rb-Sr 等时线测定结果
Table 1 The Rb and Sr isotope isochron data of the Fanshan and Yaojiazhuang subalkaline complexes

样品号	分析样品和采样地点	Rb($\times 10^{-6}$)	Sr($\times 10^{-6}$)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	结果处理
AB-2	黑云母正长辉石岩, 边缘相, 露天采样	242.12	3183.85	0.22013	0.70582	$t = 235.9 \pm 5 \text{Ma}$
AB-5	黑云母辉石正长岩, 过渡相, 露天采样	155.81	3036.12	0.14856	0.70658	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i =$
AB-6	黑云母正长岩, 过渡相, 露天采样	155.08	1052.12	0.42666	0.70588	0.70571 \pm 0.00022
AB-7	伟晶正长岩, 中心相, 露天采样	188.72	3839.39	0.14228	0.70564	$r = 0.99846,$
AB-15	黑云母辉石岩, 边缘相, 露天采样	142.76	4013.50	0.10296	0.70676	给出误差 1σ
AB-15b	黑云母辉石岩中的黑云母, 采样点同 AB-15	{ 238.98 244.99 }	{ 118.62 121.02 }	{ 5.83166 5.86000 }	{ 0.72551 0.72515 }	全部样品参加拟合
AB-15c	黑云母辉石岩中的磷灰石, 采样点同 AB-15	10.227	1359.40	0.02178	0.70544	
M170	辉石岩, CK112, 644.5m	47.45	1011.40	0.13552	0.70625	$t = 218 \pm 8 \text{Ma}$
M156	黑云母辉石岩, CK112, 441.8m	147.03	1299.20	0.32758	0.70683	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} =$
M058	粗粒正长辉石岩, CK2-9, 464m	236.36	1252.70	0.54616	0.70719	0.70554 \pm 0.00022
T075	钛榴石辉石正长岩, CK2-9, 531m	267.07	1403.80	0.550699	0.706796	$r = 0.9959$
M441	似粗面状辉石正长岩, CK10-17, 255m	75.89	12776.70	0.01719	0.70497	给出误差 1σ
F596	伟晶正长黑云母辉石岩, CK6-1, 642.57m	220.63	1986.70	0.32148	0.70639	全部样品参加拟合
F596a	伟晶正长黑云母辉石岩中的黑云母, 地点同 F596	515.26	595.24	2.5057	0.71359	
F596b	伟晶正长黑云母辉石岩中的正长石, 地点同 F596	374.19	225.26	4.8086	0.72041	

$^{87}\text{Rb} = 1.42 \times 10^{-11} \text{年}^{-1}$; 地质矿产部宜昌地质矿产研究所测定。

姚家庄环状偏碱性次透辉岩-正长岩杂岩体：位于阳原县化稍营西北 10km，面积约 2.3km²。曾遭到剥蚀，侵位于桑乾群右所堡组麻粒岩相中^[6]。7 个全岩、黑云母和磷灰石样品 Rb-Sr 等时线年龄为 235 ± 5 Ma，⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初始值为 0.70571 (表 1)。

辽宁凌源县河坎子霞石正长岩杂岩体：出露面积 15km²。侵位于中奥陶统，被下侏罗统北票组不整合覆盖。其底砾岩中含大量碱性岩砾石。K-Ar 法(黑云母)视年龄为 234 Ma，贯入其中的花岗斑岩年龄为 204 Ma^[4]。

赛马霞石正长岩杂岩体：辽东风城东西向展布着一个碱性杂岩区。它由 4 个碱性侵入体和大量碱性火山岩和次火山岩构成，出露面积约 200km²。西部的赛马碱性岩体出露面积约 20km²。侵位于寒武系和中三叠统北庙组，被下侏罗统长梁子组覆盖。18 个样品(黑云母和锆石等 7 种矿物) K-Ar 和 U-Th-Pb 法年龄为 240—220 Ma，夕卡岩阶段金云母为 210—190 Ma^[2]。同位素测定表明，该杂岩体从侵位到固结经历了大约 50Ma。矾山与河坎子岩体也有类似情况。

河北阳原响水沟霞石正长岩杂岩体：位于姚家庄岩体以西约 20km，出露面积约 15 km²。侵位于中元古界长城系大红峪与高于庄组。全岩 K-Ar 法视年龄为 248Ma^[1]。

在燕辽地区形成时代相当于三叠纪的岩体远不只上述五个，已发现一批这一时代的碱性或偏碱性、花岗岩体，其分布见图 1。

2 岩石学特征

矾山和姚家庄杂岩体均由三期侵入体组成，且岩浆分异作用进行得彻底^[3,6]。尤其是矾山第一期岩石为具韵律层结构的层状岩系。此层状岩系可能是在相对稳定的环境下，于岩浆房中发育形成。两岩体主要岩石类型有辉石岩、黑云母辉石岩、辉石正长岩、正长岩。矾山岩体尚有钛榴石辉石正长岩、磁铁磷灰岩和磷灰石岩。两岩体主要造岩矿物为富钛次透辉石、富钛黑云母、钾长石、钛榴石(黑榴石)、钛磁铁矿和磷灰石等。

河坎子岩体由两期侵入岩组成，其中主侵入期又可分为两个阶段。主要岩石类型是辉石云霞正长岩、含霞云闪正长岩、含霞云辉正长岩、黑云母辉石岩^[6]等。主要造岩矿物有钾长石、黑云母、低铁次透辉石、角闪石、霞石和氟磷灰石等。

赛马岩体包括侵入岩(分两期)和脉岩。岩浆分异作用进行得比较彻底^[2]，岩浆期后热液作用强烈，形成一系列交代岩。因此赛马岩体岩石类型复杂。主要有白榴斑岩、响岩类、霓霞正长岩类、异性石霓霞正长岩和云霞正长岩等。主要造岩矿物是碱性长石、霞石、霓石、白榴石和黑榴石等。

响水沟碱性岩体主要岩石类型有异性石霞石正长岩、磷霞岩、霓辉正长岩和霓霞正长岩等。主要造岩矿物是碱性长石、霞石、霓石(霓辉石)、异性石和磷灰石等。

前述五个岩体主要岩石类型的化学成分、标准矿物数(CIPW)列于表 2。其岩石化学特点：(1) SiO₂ 不饱和或极端不饱和，均出现标准矿物霞石、橄榄石，有四个岩体还出现白榴石；(2) K₂O 含量很高，除了响水沟岩体 Na > K 外，其余岩体皆 K > Na，属钾质碱性岩系列；(3) 各岩体的钠质系数(K + Na/Al)以赛马岩体最大(>1)，响水沟

1) 阎国翰. 中国北方碱性和偏碱性侵入岩的时空分布及大地构造意义. 1989.

表 2 燕辽 5 个碱性和偏碱性杂岩体主要岩石类型平均化学成分及标准矿物数 (CIPW)
Table 2 Average chemical composition and CIPW norms of major types of rocks of five alkaline and subalkaline complexes in Yan-Liao zone

岩体 序号	岩石	样 数	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 ⁺	F	other*	Total	Lc
1	响水沟	2	55.06	0.08	21.72	1.87	2.43	0.24	0.51	1.45	8.38	5.13	0.01	2.67	0.28	0.56	100.39	0
2	响水沟	3	55.50	0.12	23.80	1.45	1.30	—	0.00	0.94	10.20	5.00	0.02	—	—	1.10	99.43	0
3	响水沟	2	56.73	0.12	21.88	2.58	1.44	—	0.27	0.87	9.85	4.70	0.03	—	—	1.58	100.05	0
4	姚家	1	43.78	1.58	9.04	9.39	5.36	0.23	6.76	13.06	0.71	5.63	2.17	2.03	(烧失量)	—	99.74	4.01
5	姚家庄	1	49.16	0.91	14.20	3.46	5.09	0.15	5.88	8.16	0.83	7.62	1.05	2.75	(烧失量)	—	99.26	0
6	姚家庄	1	50.44	0.96	12.46	4.96	4.68	0.20	5.17	8.16	1.29	7.75	1.15	2.57	—	—	99.81	0
7	矾山	10	35.53	2.46	5.07	12.87	9.13	0.21	9.10	19.35	0.61	1.32	3.23	0.63	0.42	0.50	100.20	6.02
8	矾山	8	39.10	1.85	6.25	5.97	6.62	0.15	11.42	19.92	0.65	2.45	4.17	0.72	0.62	0.27	100.15	11.52
9	矾山	6	37.85	5.42	10.38	8.98	6.71	0.25	3.14	17.05	1.01	6.71	0.40	1.21	0.06	1.90	100.26	21.52
10	矾山	4	50.57	1.19	15.87	4.09	4.44	0.14	4.41	5.69	2.02	8.22	0.64	1.68	—	1.24	100.32	0
11	矾山	4	50.68	0.50	20.49	2.68	2.40	0.10	0.82	4.42	0.41	12.58	0.20	4.24	—	—	99.55	23.37
12	河坎	3	39.43	1.95	8.56	7.09	7.13	0.26	11.81	12.67	1.34	3.06	3.08	1.85	—	2.67	100.90	2.35
13	河坎	6	54.83	0.65	17.34	2.31	3.61	0.09	2.93	3.72	3.66	7.35	0.87	1.23	—	1.75	100.34	0
14	河坎	4	55.06	0.62	17.73	2.62	3.56	0.06	3.10	3.89	4.80	6.44	0.48	0.94	—	—	99.30	0
15	赛马	3	53.09	1.83	15.18	5.46	3.11	0.04	2.35	2.52	0.21	11.40	1.57	3.74	(烧失量)	—	100.50	0
16	赛马	7	54.23	0.70	18.29	6.35	0.88	0.09	0.54	1.08	5.79	10.23	0.09	0.83	—	0.43	99.53	5.48
17	赛马	9	55.63	0.77	19.03	3.67	1.57	0.09	0.67	1.13	4.83	11.37	0.09	0.98	—	0.27	100.10	3.88

续表 2 (Table 2 continued)

岩体号	岩石	样数	Ne	Or	Ab	An	Ac	Di			Oi		Cs	Mt	Il	Ap	Alk	K/Na	K+Na/ Al
								Wo	Fs	En	Fo	Fa							
1	响水沟	2	16.81	34.90	32.00	5.10	0	0.70	0.40	0.34	0.50	0.55	0	3.26	0.72	0.05	13.36	0.79	0.90
2	响水沟	3	29.70	30.31	32.80	6.50	0	0.29	0.21	0.08	0.83	2.33	0	2.71	0.15	0.02	13.51	0.61	0.90
3	响水沟	2	24.03	27.77	39.98	1.61	0	1.05	0.31	0.67	0.01	0.01	0	3.74	0.23	0.07	14.55	0.48	0.97
4	姚家	1	3.25	28.16	4.00	0	0	19.11	0	11.51	0.23	0	0	13.44	3.00	5.14	6.34	7.93	0.80
5	姚家	1	3.14	45.03	1.22	12.51	0	8.82	2.15	5.98	6.07	2.62	0	5.02	1.73	2.49	8.45	9.18	0.68
6	姚家庄	1	3.31	45.72	4.81	5.32	0	11.55	2.13	8.36	4.06	0.39	0	7.19	1.83	2.72	9.04	6.01	0.93
7	矾山	10	2.83	0	0	7.30	0	25.46	2.20	20.32	1.86	0.22	2.37	18.91	4.74	7.76	1.96	2.16	0.48
8	矾山	8	3.03	0	0	7.01	0	23.85	2.85	18.21	7.47	1.29	2.85	8.79	3.57	10.03	3.15	3.77	0.60
9	矾山	6	52.0 (Kp)	40.50	8.73	4.06	3.83 (Pf)	33.28	0	8.00	24.03	5.93	14.53	6.87	4.43	0.97	7.72	6.64	0.88
10	矾山	4	6.69	49.92	5.25	10.24	0	6.05	1.20	4.31	4.81	1.51	0	6.09	2.32	1.52	10.24	4.07	0.76
11	矾山	4	2.96	42.0	0	17.79	0	1.21	0.51	0.66	1.04	0.87	0	4.09	1.00	0.50	13.00	30.68	0.70
12	河坎	3	6.73	16.81	0	9.10	0	15.00	12.00	3.21	14.93	5.34	0	3.09	4.06	7.38	4.40	1.51	0.78
13	河坎	6	3.56	43.78	23.91	13.27	0.54 (C)	0	0	0	5.16	2.97	0	3.38	1.24	1.78	11.01	1.31	0.78
14	河坎	4	7.87	38.95	27.05	6.32	0	2.00	1.00	5.25	3.61	1.78	0	3.89	1.21	1.07	11.24	0.88	0.87
15	赛马	3	0	70.05	1.85	2.33	1.74 (C)	14.11 (Hy)	8.03	6.09	0	0	0	2.47	3.61	3.57	11.61	40.3	0.83
16	赛马	7	20.50	54.65	0	0	10.66	4.13	0.50	1.20	0.50	1.20	0	1.32	1.36	0.20	16.02	1.10	1.15
17	赛马	9	18.96	63.05	0	0	5.60	4.14	0.32	0.23	0.32	0.23	0	2.13	1.48	8.20	16.20	1.57	1.06

* 包括 CO₂、S 等。岩石化学分析数据来源: 姚家庄岩体^[1]; 矾山岩体^[1]; 河坎子岩体^[1]; 赛马岩体^[2]。

岩体接近 1 (0.90—0.97), 其余岩体较低 (0.60—0.93); (4) 除响水沟岩体外, 其余岩体 P_2O_5 含量很高, 赛马碱性岩喷出相岩石中 P_2O_5 的含量为 1.57%, 矾山加权平均值为 1.31%^[3], 姚家庄 1.50%—2.83%^[6], 河坎子 0.48%—3.83%^[4]。矾山岩体中的磷形成巨大工业矿床。

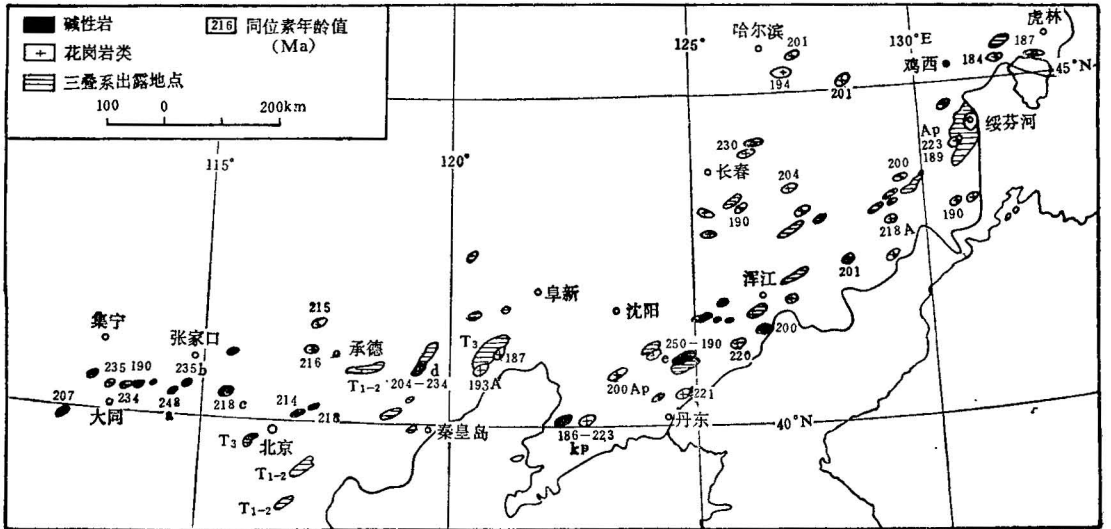


图 1 华北地台北部燕辽地区三叠系和三叠纪侵入体分布示意图

Fig. 1 Map showing distribution of the Triassic System and Triassic intrusions in Yan-Liao Area of North China Platform

a, b, c, d 和 e 分别为响水沟、姚家庄、矾山、河坎子和赛马岩体; A. 全岩 Rb-Sr 等时线年龄; Ap. 全岩 Rb-Sr 等时线年龄和锆石 U-Pb 年龄; Kp. 黑云母 K-Ar 和锆石 U-Pb 年龄。凡未标记的年龄值绝大多数为黑云母 K-Ar 法测定结果, 少数为全岩 K-Ar 法结果

a, b, c, d and e showing the location of Xiangshuigou, Yaojiazhuang, Fanshan, Hekanzi and Saima alkaline and subalkaline complexes

A. Whole-rock Rb-Sr isochron age; Ap. Whole-rock Rb-Sr isochron age and zircon U-Pb age; Kp. Biotite K-Ar and zircon U-Pb ages; other age values are by K-Ar datings of biotite; there are also a few whole-rock K-Ar ages

3 稀土元素和某些微量元素地球化学特征

测定了矾山、姚家庄和赛马岩体全岩样品稀土元素的丰度(表 3)。由表可见三个岩体稀土元素的丰度很高。稀土总量: 矾山 10 个样品为 210×10^{-6} — 3117×10^{-6} , 是球粒陨石的 64—860 倍; 姚家庄岩体 6 个样品为 315×10^{-6} — 705×10^{-6} , 是球粒陨石的 90—196 倍; 赛马岩体 7 个样品为 509×10^{-6} — 3368×10^{-6} , 是球粒陨石的 144—951 倍。三个岩体轻稀土非常富集, 其含量为球粒陨石的 120—2800 倍, 而重稀土有所不同, 矾山和姚家庄仅为球粒陨石的 5—7 倍, 赛马碱性岩的喷出相岩石为球粒陨石的 17 倍。三个岩体轻重稀土比值很大, La_N/Yb_N 达 11.8—123.6。三个岩体岩石的球粒陨石标准化 REE 分布曲线型式相似(图 2, 3, 4), 总的看来为向右倾斜, 大斜率, 多数近于平行的平滑曲线, Eu 无异常

表 3 Abundance of REE in the Fanshan, Yaojiazhuang and Saima alkaline and subalkaline complexes ($\times 10^{-6}$)

序号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ REE	δ Eu	(La _N /Yb _N)	岩 石
1	624.4	1353.2	194.1	749.8	76.6	18.5	56.4	5.1	23.0	3.1	9.0	1.10	3.0	0.365	3117.7	0.90	123.6	磷灰石岩
2	89.6	291.2	58.4	360.6	109.8	35.5	104.2	14.6	72.3	13.5	30.7	4.70	26.3	3.300	1214.7	1.09	2.0	钛榴石辉石正长岩
3	117.6	266.0	41.4	186.2	33.9	9.0	25.7	2.4	10.0	1.6	3.6	0.45	1.9	0.232	700.0	0.97	36.8	黑云母辉石岩
4	67.2	149.9	33.4	104.4	19.5	5.3	14.9	1.5	6.4	1.1	2.4	0.20	1.3	0.199	407.7	1.00	26.6	黑云母辉石岩
5	72.8	160.5	24.7	111.6	20.0	5.2	14.8	1.4	5.9	1.0	2.2	0.25	1.2	0.193	421.7	0.98	36.1	伟晶正长黑云母辉石岩
6	75.9	175.3	27.9	129.2	24.6	6.4	17.8	1.8	7.3	1.2	2.7	0.30	1.5	0.189	472.1	0.97	30.1	辉石岩
7	66.1	149.3	23.4	108.0	20.6	5.6	15.8	1.6	6.6	0.9	2.0	0.32	1.1	0.182	401.5	0.97	26.2	辉石岩
8	55.3	139.2	22.7	101.9	18.7	5.9	13.2	1.2	6.3	0.8	1.9	0.29	1.0	0.166	368.4	0.99	21.9	似粗面状辉石正长岩
9	38.4	84.6	13.0	58.9	11.0	3.0	8.1	0.9	3.8	0.7	1.6	0.20	0.8	0.132	225.1	1.18	22.8	粗粒辉石正长岩
10	38.1	84.4	12.5	52.2	8.4	2.4	6.0	0.6	2.8	0.5	1.2	0.15	0.6	0.116	210.0	1.06	29.8	正长岩
11	151.7	293.2	39.0	161.0	23.9	6.3	16.1	1.5	6.9	1.1	2.8	0.30	1.5	0.229	705.1	1.00	60.1	辉石岩
12	124.5	240.8	30.6	125.3	19.0	5.3	12.8	1.4	5.6	1.0	2.4	0.25	1.3	0.188	570.6	1.06	56.9	黑云母辉石岩
13	110.8	219.2	29.4	124.8	17.9	4.6	11.5	1.1	4.9	0.8	2.1	0.20	1.2	0.184	528.7	1.02	55.0	辉石岩
14	107.7	196.3	24.3	97.7	15.0	4.2	10.7	1.3	5.0	1.1	2.3	0.21	1.4	0.182	467.4	1.02	42.7	黑云母正长辉石岩
15	101.1	197.8	23.3	97.7	15.1	4.1	10.2	1.2	4.5	0.9	2.1	0.24	1.1	0.166	459.5	1.02	50.1	黑云母正长辉石岩
16	69.7	127.8	16.5	67.3	11.2	3.2	8.7	1.0	4.7	0.9	2.0	0.25	1.0	0.162	314.7	1.04	27.6	辉石岩
17	830.0	1606.0	159.0	537.0	75.4	22.0	57.8	6.82	36.1	6.25	15.6	2.11	12.1	1.726	3367.9	1.06	40.7	草绿色霓辉石正长岩
18	509.0	768.0	76.3	226.0	33.6	10.8	30.3	3.23	24.5	4.43	12.4	1.96	12.0	1.970	1716.3	1.11	17.27	绿色霓辉石正长岩
19	151.0	319.0	42.8	198.0	41.5	12.0	31.6	3.75	21.1	3.47	8.65	1.28	7.6	1.162	842.7	1.06	11.8	黑榴云霓正长岩
20	178.0	301.0	33.1	118.0	22.2	6.98	19.2	2.61	15.9	2.95	7.7	1.20	7.45	1.159	717.5	1.10	13.6	黑色霓辉石正长岩
21	149.0	234.0	24.8	78.0	11.9	3.68	9.49	1.28	6.38	1.19	3.23	0.48	2.91	0.498	527.2	1.10	30.4	云霓正长岩
22	209.0	359.0	40.0	154.0	22.3	6.04	15.2	1.47	7.62	1.26	3.19	0.42	2.13	0.320	821.6	1.03	58.3	暗色霓辉石正长岩
23	125.0	225.0	25.5	94.7	14.0	3.96	9.59	0.966	5.0	0.781	2.0	0.27	1.5	0.224	508.5	0.90	94.3	白榴斑岩

注: 1-10 号为崂山岩体; 11-16 为虢家庄岩体; 17-23 为赛马岩体。北京大学地质系分析室, ICP Jarrell-Ash 9000 SP 型分析, RSD% = $\pm 5\%$ 。

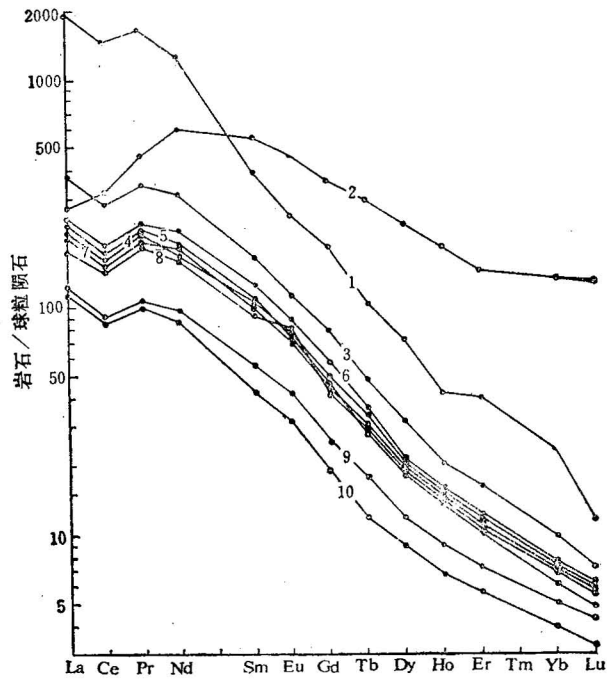


图 2 矾山岩体各类型岩石球粒陨石 REE 标准化曲线(图中 1—10 号样品同表 3)
 Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns for various rock types in the Fanshan igneous complex (for numbers in the figure see Table 3)

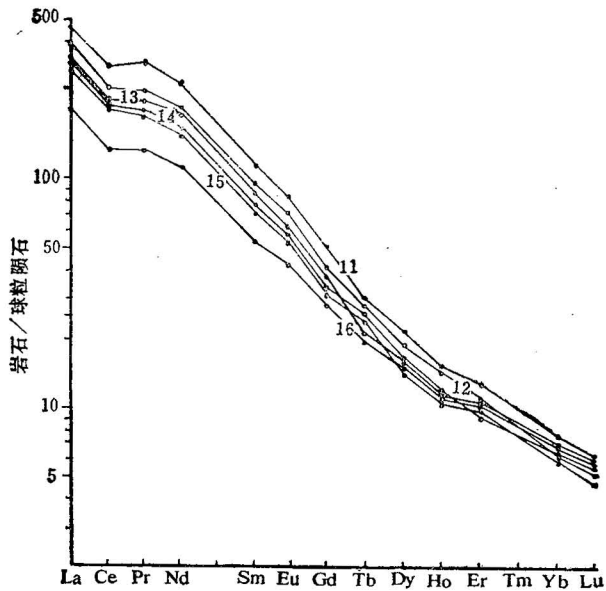


图 3 姚家庄岩体各类型岩石球粒陨石 REE 标准化曲线(图中 11—16 号样品同表 3)
 Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns for various rock types in the Yaojiazhuang igneous complex (for numbers in the figure see Table 3)

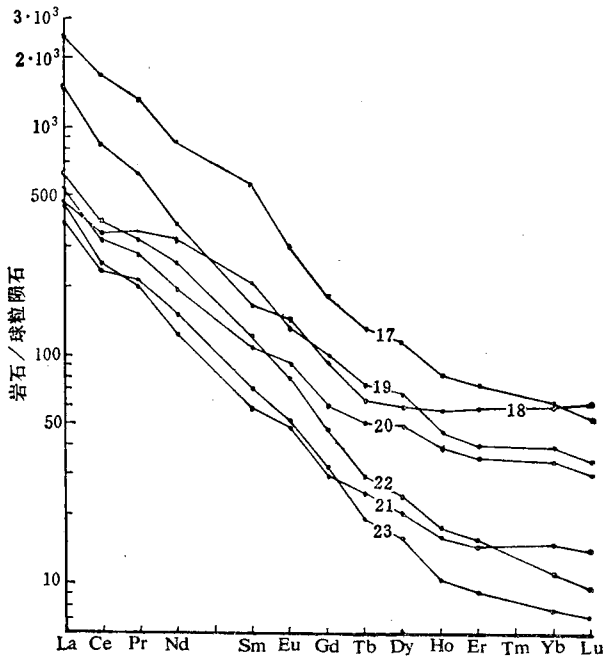


图 4 赛马岩体各类型岩石球粒陨石 REE 标准化曲线(图中 17—23 号样品同表 3)

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns for various rock types in the Saima igneous complex (for numbers in the figure, see Table 3)

表 4 矾山偏碱性杂岩体主要岩石类型中某些微量元素丰度 ($\times 10^{-6}$)

Table 4 Abundance of selected trace elements of major rock types in the Fanshan subalkaline complex ($\times 10^{-6}$)

侵入期次	岩石类型	Rb	Sr	Ba	V	Cr	Co	Ni
第一	辉石岩	50	1011	250	1030	60	147	71
	黑云母辉石岩	147	1300	2771	450	53	64	91
	伟晶黑云母辉石岩	190	1113	2689	431	61	95	96
	云霓状正长辉石岩	230	1198	2430	423	53	90	90
	磁铁磷灰岩	33	2381	321	1143	—	177	138
	磷灰石岩	50	7059	175	263	—	3	10
第二	粗粒正长辉石岩	436	1255	3289	750	—	37	80
	粗粒辉石正长岩	—	1433	3348	652	—	34	31
	钛榴石辉石正长岩	370	1436	8908	810	—	63	50
第三	细粒辉石正长岩	560	—	—	600	—	70	71
	细粒正长辉石岩	436	1002	247	820	—	70	60
	似粗面状辉石正长岩	189	13208	21006	115	40	70	80
岩体平均值		245	2944	4166	626.5	53.4	76.7	72.3
地壳平均值(维纳格拉多夫,1962)		150	340	650	90	83	18	58
岩体平均值/地壳平均值		1.63	8.66	6.41	6.96	0.65	4.27	1.25

分析者: 北京大学地质系分析室, ICP Jarrell-Ash 9000SP 型分析, RSD% = $\pm 5\%$; Rb 为原子吸收光谱分析。

($\delta\text{Eu} \approx 1$), 均属轻稀土富集型。矾山和姚家庄岩体存在弱的 Ce 负异常。

表 4 为矾山岩体岩石中某些微量元素的丰度。由表可知,除了 Cr 以外,其余元素皆高于地壳平均值。可以说矾山岩体是 Rb、Sr、Ba 等不相容元素和过渡族元素 V、Co、Ni 皆丰富的岩体。

赛马岩体某些微量元素丰度数值列于表 5。由表可知该岩体铀平均含量为 22.4×10^{-6} , 是地壳丰度的 7.5 倍,比花岗岩的平均丰度高出 4 倍以上。U/Th 值为 2.5, 比地壳平均值略低。可以说赛马岩体是富铀的碱性岩体。Ta、Th、Zr、Nb 和 Hf 也高度富集,它们分别是地壳平均值的 1.7、7、8、12 和 29 倍。此外,赛马碱性岩喷出相岩石的 U、Th 和其他微量元素的含量接近该岩体的平均值。这不仅证实该地区喷出相与侵入体为同源岩浆产物,而且还说明喷出相岩石大致相当于原始未分异岩浆^[2]。因此,赛马碱性岩喷出相成分可代表该岩体原始岩浆成分,这对于了解赛马碱性岩岩浆源区物质成分特点极有意义。

表 5 赛马碱性杂岩体某些微量元素丰度 ($\times 10^{-6}$)

Table 5 Abundance of selected trace elements in the Saima alkaline complex ($\times 10^{-6}$)

岩石类型		U	Th	Nb	Ta	Zr	Hf
喷出相	响岩和假白榴响岩	21.9	58.2	123	3.0	993	54.9
第一期 岩石	黑榴云霞正长岩	11.3	41.6	90	2.4	1602	81.2
	云霓霞正长岩	9.5	38.5	59	2.7	802	45.9
	黑色霓石霓霞正长岩	20.2	67.4	90	2.6	925	53.1
第二期 岩石	绿色霓石霓霞正长岩	37.5	68.5	367	9.5	7889	482.9
	异性石草绿色霓石霓霞正长岩	47.5	33.7	370	7.7	8101	513.9
	草绿色霓石霓霞正长岩	122.1	129.6	374	6.3	7690	399.0
赛马岩体平均含量*		22.4	56.8	119	3.3	1695	92.7
地壳平均含量(维纳格拉多夫)		3.0	8.0	10	2	200	3.2
岩体平均含量/地壳平均含量		7.5	7.1	12	1.7	8	29

资料来源: 据 [2]; *此平均值还包括七种交代岩岩石,本表未列出,见 [2]。

4 燕辽地区碱性偏碱性岩的地质意义

4.1 碱性岩的成因讨论

五个岩体 SiO_2 不饱和或极端不饱和,其中三个岩体镁和铁相当丰富。从而推断这些岩体源自上地幔。矾山全岩氧同位素分析结果表明(表 6),除含正长石量大的样品(T075、T127) $\delta^{18}\text{O}$ 值较高外,其余样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $+6.24$ — $+6.97\%$,属幔源岩浆岩氧同位素范围。矾山岩体辉石和磁铁矿氧同位素研究也支持了这一结论^[7]。对于形成碱性岩的岩浆,目前一般认为是在高压下,比产生拉斑玄武岩浆的上地幔更深处,而且是在部分熔融程度更小的条件下形成的。富钾的岩浆可能是在比富钠的岩浆更深处形成^[8]。

所论碱性岩体磷的高含量值得重视。火成岩高磷,可能是其物质来自深源的重要标志之一。例如公认来自幔源的碱性玄武岩、金伯利岩和钾镁煌斑岩 P_2O_5 含量高达 0.55% —

表 6 矾山偏碱性杂岩体全岩氧同位素成分 (‰, SMOW)
Table 6 Whole-rock oxygen isotope composition in the Fanshan
subalkaline complex (‰, SMOW)

样 号	岩 石	$\delta^{18}\text{O}$	样 号	岩 石	$\delta^{18}\text{O}$
M302	黑云母辉石岩	+6.6	T066	粗粒辉石正长岩	+6.66
M309	辉石岩	+6.24	T075	钛榴石辉石正长岩	+7.89
M323	辉石岩	+6.97	T334	似粗面状辉石正长岩	+6.62
M325	黑云母辉石岩	+6.72	T127	正长岩	+7.50

分析者: 北京大学地质系稳定同位素分析室, 误差 $\pm 0.2\%$ 。

0.70%^[9]。另外, 磷是不相容元素, 原始岩浆中磷的含量实际上与上地幔岩熔融程度呈反比^[10]。根据实验可知: 如果典型的上地幔岩含磷为 200×10^{-6} , 则由此上地幔岩不论其熔融程度如何低, 也不会产生 P_2O_5 为 1.5%—2.0% 的碱性玄武岩浆^[10]。换言之, 在熔融程度极低的条件下产生含 P_2O_5 为 1.5%—2.0% 的岩浆, 其地幔岩磷含量应高于 200×10^{-6} , 据计算可达 1%。所论岩体除响水沟岩体含 P_2O_5 较低外, 其余岩体原始岩浆含 P_2O_5 皆超过 1.5%。因此有理由推论这些岩体的源区是富磷的。

利用 REE 资料计算了矾山等岩体原始岩浆形成时上地幔岩的熔融程度。赛马地区以其喷出相岩石 REE 的丰度 (508.5×10^{-6}) 代表原始岩浆 REE 丰度, 矾山和姚家庄岩体分别以其 REE 加权平均丰度 (834.5×10^{-6}) 和平均丰度 (507.9×10^{-6}) 代表它们原始岩浆的丰度。利用 Denis M. Shaw^[11] 关于批式部分熔融方程 $\frac{C_L}{C_0} = \frac{1}{D_0 + F(1-P)}$ 及 Gilbert N. Hanson^[12] 综合的矿物-硅酸盐熔融体间的 Kd 值, 假定其地幔岩为金云母二辉橄榄岩 (55% Ol, 25% Opx, 15% Cpx, 5% Phl,) (因为三个岩体均富钾), 上地幔岩 REE 丰度取球粒陨石 2 倍进行计算。结果表明矾山等岩体原始岩浆是地幔岩熔融程度 <1.5% 或近于零时的产物。但是据实验岩石学研究, 如果部分熔融程度 <2% 时, 熔体难以从大量残留固相中分凝出来^[13]。若矾山等岩体原始岩浆是其源岩 >2% 的低熔融程度的产物, 则要求其源岩 REE 丰度是球粒陨石的 8—10 倍。因此推论矾山等岩体的岩浆来自富集 REE 的上地幔。

据 Gunter Faure^[14] 的资料判断, 矾山和姚家庄岩体的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值 (表 1) 在地幔锶同位素范围之内。但是这两个岩体的初始比值和洋中脊玄武岩及海岛玄武岩相比 (前者 0.70280, 后者 0.70386) 明显偏高。目前一般认为, 影响初始比值增高的主要因素是陆壳物质的污染。但是通过对这两个岩体的研究, 认为陆壳混染微弱。证据是 (1) 野外尚未见到地壳岩石的捕虏体; (2) 岩石中主要元素含量并不能用陆壳混染加以解释, 如有严重的陆壳物质混染, 岩石中 Al_2O_3 及 SiO_2 含量应更高, $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 及 MgO 应更低, 而实际情况并非如此; (3) 矾山岩体的全岩、辉石和磁铁矿的 $\delta^{18}\text{O}$ 值^[7] 也不能以陆壳物质混染得到解释。因此认为矾山及姚家庄岩体的初始比值反映了它们源岩的锶同位素组成特征。因为矾山及姚家庄岩体皆富钾和铷, 推论它们的源岩也必然含较高量的钾和铷, 因此源岩中 Rb/Sr 值较高, 导致形成的原始岩浆 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值也较高。

综上所述,通过对岩石学、REE 和微量元素地球化学、氧和锶同位素的研究,认为所研究岩体是富集不相容元素并富含挥发组分的上地幔岩低熔融程度岩浆的产物。而上地幔富集钾和 REE 等不相容元素可能是由于地幔交代作用所致^[15-17],地幔交代过程中高压流体起着重要作用^[18]。

4.2 燕辽地区三叠纪碱性岩的构造地质意义

岩浆岩的形成不是孤立的地质事件。燕辽地区三叠纪碱性岩带的发现,说明三叠纪华北地台北部存在构造岩浆活动带。就其时间而言应属印支期,就其性质而言可能标志一个构造旋回的开始。

燕辽地区是否存在印支运动,过去由于缺乏三叠纪地层资料而不能深入讨论。近年来燕辽地区乃至整个华北,三叠系的研究有了重大进展。相继在承德、平泉地区发现或对比确定了早、中三叠世陆相地层^[19]及北京西山晚三叠世地层^[20];辽西及辽东发现或确定了早、中和晚三叠世陆相地层^[21,22]与浑江、汪清一带晚三叠世含火山岩建造地层,吉中地区存在早、晚三叠世地层^[23]。上述三叠系多呈北东东-北东向线状山间或断陷盆地,其分布范围见图1。整个华北晚三叠世,是一个大型南陡北缓的不对称拗陷,早、中三叠世则为一规模更大的拗陷盆地^[24]。而这个拗陷盆地的南、北缘(即燕辽地区)当时为隆起区。

在东北南部中、上三叠统之间和上三叠统与下侏罗统之间为角度不整合。此外,在三叠系各统和各阶之间,还广泛存在平行不整合^[23]。平泉-下板城地区上三叠统杏石口组与中三叠统二马营组间、及与下侏罗统南大岭组之间为微角度不整合^[19]。北京西山上三叠统杏石口组与上覆的南大岭组为微角度不整合,而其下伏地层分别是下二叠统红庙岭组或上二叠统双泉组,过去曾认为平行不整合,但实际上应为角度不整合^[20]。以上地层记录表明,在燕辽地区中、上三叠统间,上三叠统与下侏罗统间存在两幕较强烈的地壳运动。它们应属印支运动。

在东北南部,下、中三叠统与下伏古生界一起被褶皱形变,形成紧密褶皱,倾角达45—50°^[23]。在燕山地区,自晚元古界以来,各时代地层为整合或平行不整合接触。显然这个地区被下侏罗统不整合覆盖的晚元古界和古生界褶皱不是晚古生代的形变,也不是燕山运动的褶皱。应为印支运动的构造形变。

在燕辽地区碱性岩或碱性岩体除上述者外,尚有天镇罗家沟霓辉正长岩(219—246 Ma)¹⁾、天镇朱家沟正长斑岩(190 Ma)²⁾、阳高义合石英二长岩(240—247 Ma)^{2),3)}、右玉县滴水沿角闪二长岩(207—208 Ma)¹⁾、蔚县盘山二长岩(214 Ma)²⁾等。华北北部花岗岩 K-Ar 法视年龄数据,经甄别后初步统计 245—190 Ma 者有几十个。东北南部 240—190 Ma (K-Ar、Rb-Sr 和 U-Pb 法)的花岗岩体,其中不少有确凿的地层证据证明为三叠纪的产物^[23]。

综上所述,地层、构造形变及岩浆活动的事实表明华北地台北部存在走向大体为北东东向的印支期构造岩浆活动带。虽然这个带较强的构造运动发生在中三叠世末和晚三叠世末,但该区的地壳抬升拉张活动已在中三叠世末之前已经开始,上二叠统和上、中三叠

1) 武铁山. 山西地质科技. 1982,(4): 36—42.

2) 全国同位素地质年龄数据汇编. 第4集,北京:地质出版社,1986年.

3) 武铁山. 山西中生代中酸性侵入岩. 1983.

统的红色粗碎屑沉积(厚几十至二三千米)可作证。这个时期显然也伴有碱性岩浆作用。根据碱性岩浆作用与克拉通抬升有明显的相关性看,克拉通地区地壳抬升可能与地幔交代作用有关^[16]。同时碱性岩浆作用也是地幔周期性活化的标志^[25]。马文璞^[26]论证过这个地区早中生代时曾存在大陆裂谷状态,那么印支期应是这个裂谷带发育的早期阶段。此阶段断裂活动已深达上地幔,但以矾山、姚家庄等岩体所代表的岩浆作用仍在相对稳定的构造体制下形成,在其之后才是燕山运动的构造岩浆活动的高潮。可以认为华北地台至少是它的北部,在经历自中奥陶世以后,长达两亿年的稳定发展阶段,到二叠-三叠纪,开始了新的构造运动活跃时期。鉴于矾山和赛马岩体分别赋存巨大磷及铀矿床,故对该构造岩浆活动带的研究,有着重大理论和实际意义。

感谢冯钟燕、钱祥麟和马文璞教授审阅全文。

参 考 文 献

- 1 潘 广. 中朝陆台的印支运动, 科学通报, 1963, (3): 61—63.
- 2 北京铀矿地质研究所赛马矿床研究组, 我国东北赛马碱性岩体中的铀矿床. 中国科学, 1977, (5): 466—483.
- 3 牟保磊, 阎国翰, 陈月团, 殷纯毅. 矾山钾质碱性层状超镁铁岩-正长岩杂岩体岩石学初步研究. 中国北方板块构造论文集, 第1集, 北京: 地质出版社, 1986, 141—157.
- 4 李之彤, 余昌涛, 程德琳, 庞庆邦, 唐淑兰. 辽宁省凌源县河坎子碱性杂岩体地质特征. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 第14号. 1986, 43—62.
- 5 Harland W B, Cox A V, Llewellyn P G, Picton C A G, Smith A G, Walters R. Cambridge University Press, A Geologic Time Scale. 1982.
- 6 阎国翰, 郭力珍, 王凤珍, 关桂荣. 河北阳原姚家庄环状钾质偏碱性杂岩体岩石学特征. 岩石学研究. 第六辑, 北京: 地质出版社, 1985. 121—134.
- 7 牟保磊, 强德美. 矾山杂岩体含矿岩带磁铁矿辉石氧同位素及同位素平衡温度. 北京大学学报(自然科学版), 1981, (2): 85—93.
- 8 Sorensen H. The alkaline rocks—A Review. Fortschritte der mineralogie, 1986, B64. H1, 63—86.
- 9 道 森, J B. 金伯利岩及其捕虏体. 北京: 地质出版社, 1986. 61—63页.
- 10 Когарко Л Н., И. Д. Рябчиков, фосфор в процессах плавления мантии. 1983, ДАН СССР, ТОМ. 269 № 5 С. 1192—1194.
- 11 Shaw D M. Trace element tractionation during anatexis. Geochim. Cosmochim. Acta. 1970, 34(2): 237—243.
- 12 Hanson G N. Rare earth elements in petrogenetic studies of igneous systems. Ann. Rev. Earth Planet. Sci. 1980, (8): 371—406.
- 13 江博明. 同位素和地球化学资料对地壳早期演化模型的限制. 国外地质, 1983, (5): 5—10.
- 14 Faure G. Principles of Isotope Geology. John Wiley & Sons, New York: 1977.
- 15 Nixon P H, Thirlwall M F, Buckley F, Davies C J. Spanish and western Australian lamproites: aspects of whole rock geochemistry. In Kimberlites. I: Kimberlites and Related rocks. 285—298. Edited by J. Kornprobst. Preceedings of the "Third international kimberlite conference" Amsterdam. 1984. 285—298.
- 16 Bailey D K. Mantle metasomatism—continuing chemical change within the Earth. Nature, 1982, 296(5857): 525—530.
- 17 Holm P M, Munksgaard N C. Evidence for mantle metasomatism: an oxygen and strontium isotope study of the Vulsinian District, Central Italy. Earth. Planet. Sci. Lett. 1982, 60(3): 376—388.
- 18 Mysen B O. Trace-element partitioning between garnet peridotite minerals and water-rich vapor: experimental data from 5 to 30 Kbar. Am. Mineral., 1979, 64(3—4): 274—287.
- 19 卢功一, 奚文生. 河北三叠系. 中国区域地质, 1982, 第1辑, 87—91.
- 20 米家榕, 张以波, 孙春林, 宁 岩, 姚春青. 北京西山杏石口组发育特征及时代. 地质学报, 1984, 58(4): 273—283.
- 21 张 武, 董国义. 东北地区三叠系. 中国地质科学研究院沈阳地质矿产研究所所刊, 第8号. 1983. 1—56.

- 22 米家榕,徐开志,张以波,常建平,姚培毅. 辽宁北票附近中生代地层. 长春地质学院学报,1980,(10): 18—37.
 23 李之彤,赵春耕. 东北地区的印支运动. 地质科学,1985,(3): 211—223.
 24 刘绍龙. 华北地区大型三叠纪原始沉积盆地的存在. 地质学报,1986,60(2): 128—137.
 25 Кононова, В. А., Е. Д. Андреева, Е. В. Свешникова, Р. М. Яшина, щелочной магматизм-индикатор периодической активизаций мантии земли. С. 113—122. В 27-й международный геологический конгресс, петрология, Секция С. 09. доклады том 9. Москва 4—14 Августа. 1984.
 26 马文璞. 北京西山—一个早中生代拗拉谷的一部分. 地质科学,1986,(1): 54—63.

GEOCHEMISTRY OF TRIASSIC ALKALINE OR SUBALKALINE IGNEOUS COMPLEXES IN THE YAN-LIAO AREA AND THEIR SIGNIFICANCE

Mu Baolei and Yan Guohan

(Department of Geology, Peking University, Beijing)

Abstract

A number of alkaline and subalkaline igneous complexes were discovered in the Yan-Liao area in the northern part of the North China platform. These complexes were formed during the Triassic age according to their isotopic ages (245—190 Ma). The geochemical features of the complexes are as follows: (1) SiO_2 is undersaturated or very unsaturated; (2) most of the complexes are rich in Fe, Mg and K ($\text{K}/\text{Na}=1.1—30.7$), and the content of P_2O_5 is in the range of 1.50—3.86 wt.%; (3) incompatible elements such as Rb, Ba, U and Sr are abundant; (4) the complexes are characterized by $\Sigma\text{REE}=210—3367 \times 10^{-6}$, a high LREE/HREE ratio ($(\text{La}/\text{Yb})_{\text{cn}}=11.8—123.6$) and a linear REE pattern without Eu anomalies in the chondrite-normalized abundance plot; (5) the initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of ratios of the complexes range from 0.7055 to 0.7057.

Petrological, major and trace element geochemical, and Sr and O isotope data indicate that the magma that generated the igneous complexes might have originated in the altered upper mantle. Judging by the distribution of the Triassic formation and their characters of tectonic deformation of the region there should have existed a tectono-magmatic zone in the Yan-Liao area in the Triassic time. This serves as an important evidence for the existence of the Indosinian movement in this area.

Key words: alkaline and subalkaline complexes, geochemical, Yan-Liao area.

作者简介

牟保磊,生于1933年,1960年毕业于北京大学地质系地球化学专业。长期从事岩浆作用地球化学和成矿作用地球化学方面的教学与研究。现任北京大学地质系副教授。通讯处:北京大学地质系,邮政编码:100871。