

北京周口店岩体地球化学特征及物源分析

张丽芬¹, 曾夏生², 张树明^{3,4}

(1. 中国地震局地震研究所, 湖北武汉 430071; 2. 湖北中南勘察基础工程有限公司, 湖北武汉 430081;
3. 东华理工学院, 江西抚州 344000; 4. 中国地质大学, 湖北武汉 430074)

摘要:通过对周口店岩体地球化学特征和构造环境及其与埃达克岩对比的分析,发现该岩体具有 C 型埃达克岩的地球化学特征。 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}-^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 图解发现该岩体的锶、钕同位素投影点均落在 EM I 型富集地幔区域内,表明其物质来源与 EM I 型富集地幔有关。而 $\epsilon\text{Nd}(t)-I_{\text{Sr}}$ 图解中,其投影点正好落在汉诺坝二辉麻粒岩包体范围内(汉诺坝二辉麻粒岩包体是幔源基性岩浆在晚古生代—中生代底侵到地壳底部构成的年轻下地壳的一部分)。由此推测认为,周口店岩体是中生代新增生的华北克拉通下地壳的部分熔融的产物。

关键词:埃达克岩;地球化学;成因;周口店岩体

中图分类号:P588.12 P581

文献标识码:A

文章编号:1000-6524(2006)06-0480-07

Geochemical characteristics and genesis of Zhoukoudian complex

ZHANG Li-fen¹, ZENG Xia-sheng² and ZHANG Shu-ming^{3,4}

(1. Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071, China; 2. Investigating and Foundation Engineering Co. Ltd. in Middle South, Wuhan 430081, China; 3. East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, China; 4. China University of Geosciences, Wuhan, 430074, China)

Abstract: Based on geochemical characteristics and tectonic setting of intrusive rocks in Zhoukoudian complex and a comparison with adakites, the authors have revealed that these intrusive rocks are similar to adakites in petrological and geochemical characteristics. $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}-^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ diagram shows that the projections are in the EM I -rich mantle region, suggesting that their material sources are related to EM I -rich mantle. Besides, $\epsilon\text{Nd}(t)-I_{\text{Sr}}$ figure proves that the projections are within granulites and pyroxenite xenoliths in Hannuoba basalts. Further research indicates that Zhoukoudian complex was formed by partial melting of young lower crust in the North China craton in Mesozoic.

Key words: adakites; geochemistry; genesis; Zhoukoudian complex

北京周口店岩体是中国东部燕山期最具代表性的岩体之一,研究历史悠久(马昌前,1988)。前人在该岩体的岩体地质特征、矿物学、岩石学、岩石化学、稀土元素、碳氢氧同位素、K-Ar 和 Ar-Ar 同位素年代学及岩浆侵位的动力学机理等方面已开展过大量的研究工作(王述平,1950;舒桂明等,1991)。最初的周口店岩体同位素年龄是前人在 1964 和 1982 年分别用 K-Ar 和 Ar-Ar 法测定的,尚缺乏高精度的同

位素年代研究成果(蔡剑辉等,2005)。蔡剑辉(2005)选取位于周口店岩体中心部位的花岗闪长岩,利用 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年法进行了锆石年代学研究。马芳等(2003)讨论了岩浆侵入的期次及各期次侵入岩之间的成因联系,尤其对岩体中广泛存在的闪长质微粒包体的成因进行了更深入的讨论。

近年来,随着埃达克岩的引入,一些学者发现周口店岩体在地球化学特征上有很多地方类似于埃达

克岩,认为周口店地区存在燕山期埃达克岩或埃达克质岩,并认为中生代侵入岩是下地壳玄武质岩石部分熔融形成的(张旗等,2001a,2001b;马芳等,2003)。基于此,本文试图通过对周口店岩体的地球化学研究,重新探讨周口店岩体成因。

1 区域地质背景

周口店岩体产于距北京城西南约 40 km 的西山地区。该地区位于华北板块中部,传统大地构造位置属于华北地台燕山台褶带西山拗陷中段南缘,构造现象集中发育,北部区域构造走向为近东西向,中部北岭一带出现一个向西突出的弧形构造——北岭叠加向斜,向斜东侧为房山岩体,西南部一带出露大面积中元古宙地层,表现为近东西向的平缓褶皱。主要常见的典型构造有剥离断层、北岭向斜、南大寨断裂等。地层具有华北地台的典型特征,出露较全,除了华北地台普遍缺失的上奥陶统至下石炭统之外,自太古界变质杂岩到第四系均有发育。受太平洋西岸大陆边缘活动带所控制,岩浆岩主要发育于中生代,燕山期是区内岩浆岩的主要形成时期,形成了许多与构造带同方向的以东北-北北东向构造线为主的侵入岩带和火山岩带。区内的侵入岩主要为中酸性岩石。周口店岩体恰处于燕山期三期侵入岩带的西南端。

2 地球化学特征

本文样品分析由国土资源部武汉综合岩矿测试中心(湖北省地矿局地质实验研究所)承担。主量元素分析采用 X 射线荧光熔片法(XRF),即将 4.0 g 四硼酸锂与 0.4 g 样混合后置于 AAG50 熔样器上制成玻璃后在 X 萤光仪上测定。稀土元素样品用 Na_2O_2 熔融,经分离富集后用阳离子交换分离-电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定,Nb、Th、Zr、Hf 采用 ICP-AES 测定,其他痕量元素样品则经四酸(HCl 、 HNO_3 、 HF 、 HClO_4)溶解后用 ICP-AES (JY48/JY38P 多道电感耦合等离子体原子发射光谱仪)测定。周口店燕山期侵入岩的主量元素、稀土元素和微量元素的分析结果见表 1、2。

2.1 岩体主量元素特征

主量元素去烧失量归一后所有样品的 SiO_2 含量 $>56.00\%$ ($56.22\% \sim 65.45\%$), $\text{Al}_2\text{O}_3 > 15.00\%$ ($15.50\% \sim 17.07\%$), $\text{MgO} < 3.00\%$, 极少大于

6.00% ($1.42\% \sim 5.27\%$), $\text{Na}_2\text{O} > 3.38\%$ ($3.42\% \sim 4.95\%$), $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 为 $0.87 \sim 1.65$ 。从早到晚即从岩体的边缘至内部, SiO_2 、 Na_2O 和 K_2O 含量增加; MgO 、 Fe_2O_3 、 FeO 和 CaO 含量减少, Al_2O_3 含量无明显变化。在 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解(图 1)中,绝大多数样品的投影点均落在高钾钙碱性系列岩区,只有个别样品落入钾玄岩系列区域内。

2.2 岩体微量元素特征

周口店岩体微量元素中相容元素 Ni、Co 含量较低,富集大离子亲石元素 Sr($1063.00 \times 10^{-6} \sim 1640.00 \times 10^{-6}$)和 Ba($996.00 \times 10^{-6} \sim 2420.00 \times 10^{-6}$)而贫 Y($6.53 \times 10^{-6} \sim 18.77 \times 10^{-6}$) (表 2)。在原始地幔标准化不相容元素配分图解(图 2)中,K、Ba、Sr 及 LREE 相对富集,显示正异常,Rb、Nb、Ta、Ti 呈现负异常。岩体的 Rb/Sr 比值均小于 0.10,说明属于高 Sr 低 Rb 岩石,其源岩来源较深。

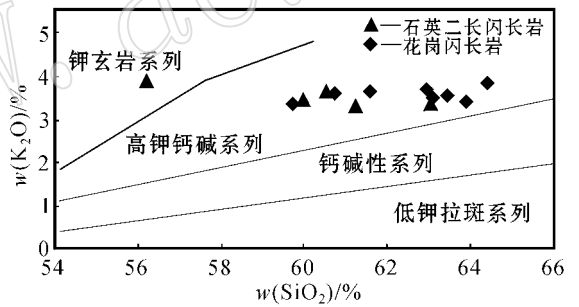


图 1 周口店杂岩体 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解(引自 Le Bas 等,1986)

Fig. 1 K_2O versus SiO_2 diagram of Zhoukoudian complex (after Le Bas et al., 1986)

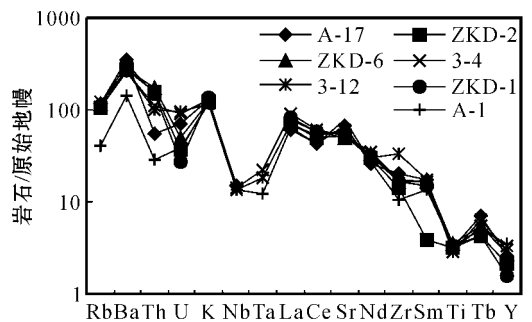


图 2 周口店杂岩体原始地幔标准化不相容元素配分图解(原始地幔标准据 Sun and McDonough,1992)

Fig. 2 Primitive mantle-normalized patterns of incompatible elements for granitoids from Zhoukoudian complex (primitive mantle standard after Sun and McDonough, 1992)

表 1 周口店杂岩体常量元素($w_B/\%$)和稀土元素($w_B/10^{-6}$)分析结果Table 1 Chemical analyses of major elements($w_B/\%$) and REE elements($w_B/10^{-6}$) of Zhoukoudian complex

岩性 相带 样号	石英二长闪长岩					花岗闪长岩								
						边缘相			过渡相			中央相		
	东山口	东流水	7027-2	7012-1	7339-6	ZKD-3	A-17	7034-1	ZKD-2	ZKD-6	3-12	7033-1	ZKD-1	3-6
SiO ₂	59.99	63.06	60.55	61.22	56.22	59.70	61.60	60.72	63.43	63.11	63.90	62.95	64.40	66.20
TiO ₂	0.72	0.60	0.67	0.70	0.79	0.79	0.68	0.68	0.66	0.75	0.60	0.63	0.74	0.57
Al ₂ O ₃	16.72	16.71	16.43	16.75	14.65	16.20	15.60	16.98	16.19	15.50	15.30	16.44	16.20	16.50
Fe ₂ O ₃	3.32	3.54	4.17	5.18	2.46	2.25	2.56	2.44	1.49	1.87	2.82	2.01	1.06	1.47
FeO	2.90	1.41	2.06	0.64	5.61	3.75	3.46	3.03	2.90	3.10	2.34	2.66	2.65	1.94
MnO	0.12	0.10	0.14	0.11	0.22	0.10	0.12	0.14	0.07	0.08	0.09	0.14	0.05	
MgO	2.93	1.65	3.09	1.92	5.27	2.85	2.80	2.32	1.96	2.33	2.03	2.14	1.55	1.26
CaO	5.02	3.90	4.79	4.26	5.50	4.92	4.58	4.28	3.74	3.90	4.14	3.45	2.97	2.86
Na ₂ O	4.06	4.34	3.93	4.30	3.42	4.02	3.38	4.02	4.47	4.26	3.96	4.20	4.95	5.65
K ₂ O	3.48	3.40	3.67	3.32	3.94	3.38	3.67	3.63	3.56	3.54	3.41	3.74	3.85	3.61
P ₂ O ₅	0.34	0.29	0.34	0.34	0.38	0.36	0.33	0.34	0.27	0.32	0.30	0.31	0.28	0.23
H ₂ O ⁺	0.78	0.66	0.89	1.12	1.15	1.05		0.70	0.71	0.78		0.59	0.81	
CO ₂						0.18			0.12	0.05				
Total	100.25	99.66	100.70	99.86	99.61	99.60	98.80	99.28	99.57	99.59	98.90	99.26	99.50	100.00
La	54.67	59.12	59.12	48.03	27.09	49.80	42.10	87.24	49.82	55.17	49.80	47.85	59.20	67.00
Ce	95.68	108.2	108.2	87.9	58.23	101.00	77.30	144.30	90.36	103.9	94.80	96.74	106.00	107.00
Pr	11.58	13.22	13.22	11.35	8.15	13.10	10.00	16.54	11.40	12.84	11.60	12.59	12.90	13.00
Nd	36.99	45.65	45.65	35.79	37.24	49.2	35.6	52.89	38.88	45.46	40.60	43.90	44.30	43.10
Sm	5.77	7.65	7.65	6.6	6.69	8.37	5.45	7.81	6.00	7.26	7.65	6.85	6.61	5.96
Eu	1.42	1.82	1.82	1.75	1.26	2.20	1.78	1.91	1.68	1.93	2.09	1.79	1.82	1.71
Gd	3.72	5.42	5.42	4.98	4.69	5.51	3.53	4.99	3.75	4.51	5.50	4.46	3.70	3.37
Tb	0.60	0.80	0.80	0.71	0.63	0.74	1.09	0.75	0.47	0.58	0.70	0.62	0.45	0.36
Dy	2.64	3.92	3.92	3.42	3.04	3.78	2.17	3.09	2.18	2.94	3.44	2.75	1.90	1.41
Ho	0.54	0.76	0.76	0.66	0.58	0.69	0.41	0.56	0.41	0.51	0.64	0.55	0.31	0.22
Er	1.52	2.11	2.11	1.8	1.43	1.77	0.99	1.46	1.09	1.22	1.63	1.26	0.65	0.49
Tm	0.25	0.34	0.34	0.28	0.25	0.28	0.17	0.25	0.16	0.18	0.22	0.21	0.09	0.09
Yb	1.55	2.09	2.09	1.82	1.28	1.74	1.22	1.36	0.93	1.17	1.34	1.14	0.50	0.45
Lu	0.25	0.33	0.33	0.29	0.19	0.25	0.23	0.21	0.13	0.17	0.2	0.17	0.07	0.09
ΣREE	231.13	270.20	270.2	221.9	165.99	255.00	194.00	338.00	217.00	250.00	234.00	233.00	245.00	251.00
(La/Yb) _N	23.78	19.07	19.07	17.79	14.27	19.30	43.20	43.20	36.10	31.80	25.10	28.30	82.50	92.20
δEu	0.88	0.82	0.82	0.91	0.65	0.93	0.88	0.88	1.01	0.96	0.94	0.93	1.03	1.07
来源	[1]	[1]	[2]	[2]	[2]	本文	[1]	[2]	本文	本文	[3]	[2]	本文	[3]

注 [1]—湖北地矿局实验研究所(1986) [2]—王人镜等(1989) [3]—蔡剑辉等(2005)

表 2 周口店杂岩体微量元素分析结果

 $w_B/10^{-6}$

Table 2 Chemical analyses of trace elements of Zhoukoudian complex

岩性 相带 样号	花岗闪长岩									石英二长闪长岩	
	边缘相			过渡相			中央相				
	A-17	ZKD-2	ZKD-6	3-4	3-12	FS-18	ZKD-1	FS-2	FS-9	ZKD-5	A-1
Rb	75.60	67.60	73.70	78.52	66.60	57.40	70.10	63.90	62.30	40.40	25.20
Sr	1431.00	1115.00	1063.00	1114.00	1287.00	1178.80	1178.00	1206.00	1157.10	1356.00	1640.00
Ba	2420.00	1941.00	1917.00	1842.00	1780.00	1625.00	2223.00	2125.00	1629.00	1609.00	996.00
Zr	231.00	159.00	186.00	199.00	380.00	88.80	187.00	71.90	79.90	108.00	116.00
Hf	1.50	1.60	1.50	1.29	1.25	2.70	1.10	2.60	2.30	2.50	2.00
Y	12.00	9.77	12.10	14.90	13.6	16.22	6.97	7.43	6.73	-	15.60
U	1.50	0.77	1.06	1.92	2.00	1.50	0.58	0.90	0.60	1.40	0.80
Th	4.70	13.30	14.30	9.08	8.23	11.30	12.70	5.50	3.90	4.10	2.40
Nb	10.60	<0.50	0.70	9.95	9.64	8.80	<0.50	7.90	6.90	10.20	9.50
Ta	86.00	83.90	98.30	0.92	0.73	0.80	69.70	0.80	0.50	<0.50	0.50
Co	27.10	17.20	19.20	20.96	8.83	10.60	14.60	6.80	7.50	24.40	47.40
Ni	6.40	17.40	24.70	5.33	3.58	7.40	23.40	5.90	6.50	18.00	10.70
来源	本文	本文	本文	本文	本文	[1][2]	[1][2]	[1][2]	[1][2]	本文	[1]

[1]—马芳等(2003) [2]—蔡剑辉等(2005)

2.3 杂岩体稀土元素特征

由表1可知,周口店杂岩体稀土元素丰度较高,总量变化在 $165.99 \times 10^{-6} \sim 338.00 \times 10^{-6}$ 之间。稀土元素分馏明显 ($(La/Yb)_N \geq 14.27, Yb \leq 1.90$

$\times 10^{-6}$,在稀土元素球粒陨石标准化配分图解(图3)上,配分曲线向右陡倾斜,为轻稀土元素富集型,无铕异常或显示轻微的负铕异常($\delta Eu = 0.82 \sim 1.07$),由此暗示周口店杂岩体的岩浆熔出后,源

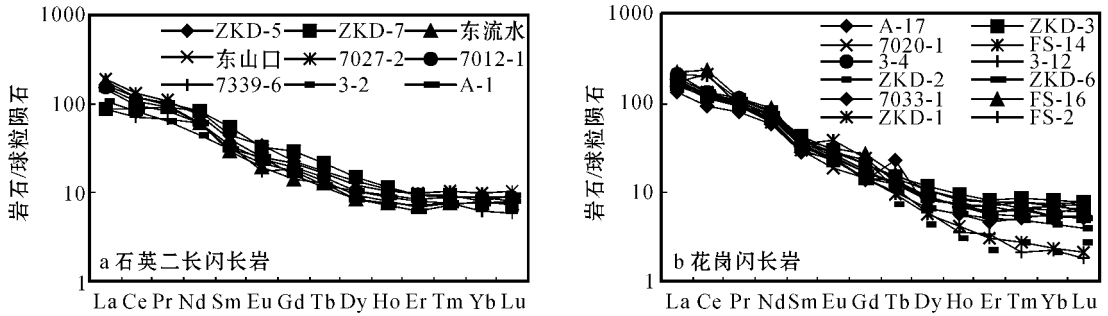


图3 周口店杂岩体稀土元素球粒陨石标准化配分图解(球粒陨石标准值据 Boynton, 1984)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE pattern of Zhoukoudian complex (chondrite standard value after Boynton, 1984)

区残留物中有石榴石而无斜长石,斜长石几乎全部进入熔浆。

在 $(La/Yb)_N - (Yb)_N$ 图解(图4)上,周口店岩体主期花岗闪长岩投影点全部落在埃达克岩区,第一期石英二长闪长岩投影点则刚好落入埃达克岩与典型的岛弧钙碱性岩的过渡区边缘,而通过 $Sr/Y - Y$ 图解(图5)的分析,也可以明显看出,周口店岩体全部落入了埃达克岩的区域,表明周口店岩体两期岩石具有与埃达克质岩非常相似的地球化学特征。

MgO、Sr、Y 和 Yb 含量、LREE 和 HREE 特征以及 La/Yb 和 Sr/Y 比值等方面,周口店岩体岩石与 O 型和 C 型埃达克岩均具有极其相似的、独特的地球化学共性。但是,其 Na_2O/K_2O 比值、 I_{Sr} 和 $\epsilon Nd(t)$ 值以及构造环境,则明显不同于 O 型埃达克岩,而与 C 型埃达克岩(高 Sr 低 Y 型中酸性火成岩)一致。由此可以认为周口店岩体侵入岩属于 C 型埃达克质岩。

综合该岩体主量、稀土和微量元素分析数据,并结合 Sr、Nd 同位素特征与典型埃达克岩,即 O 型埃达克岩(Defant *et al.*, 1990)和 C 型埃达克岩(张旗等 2001a, 2001b)加以比较,得出:在 $SiO_2、Al_2O_3、$

2.4 杂岩体的 Sr、Nd 同位素特征

锶和钕同位素测试由武汉综合岩矿测试中心、湖北省地矿局地质实验研究所测试完成。Rb 和 Sr 分离采用 AG50W $\times 8$ 和 Dowex5W $\times 8$ 阳离子树脂柱,HCl 为介质。Sm 和 Nd 的分离采用 HDE

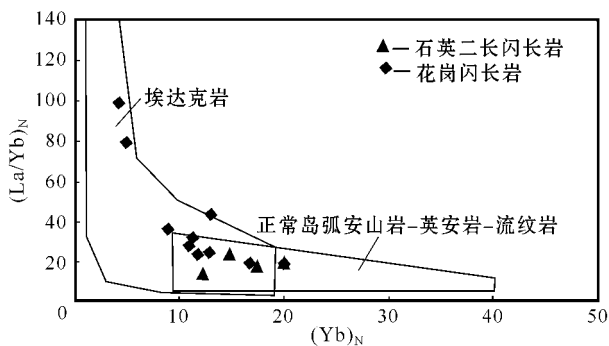


图4 周口店杂岩体 $(La/Yb)_N - Yb_N$ 相关图解(图式

引自 Martin, 1986, 1999; 球粒陨石标准值据 Boynton, 1984)
Fig. 4 Chondrite-normalized $(La/Yb)_N$ versus Yb_N diagram of Zhoukoudian complex (after Martin, 1986, 1999; chondrite standard value after Boynton, 1984)

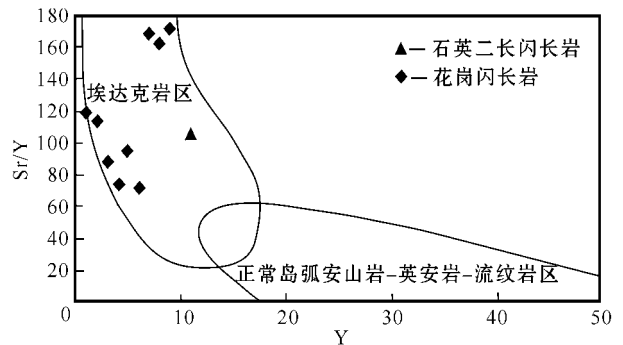


图5 周口店杂岩体 $Sr/Y - Y$ 图解(图式据 Defant and Drummond, 1990; Atherton and Petford, 1993)

Fig. 5 Sr/Y versus Y diagram of Zhoukoudian complex (after Defant and Drummond, 1990; Atherton and Petford, 1993)

HP-teflon 粉色谱柱。分析测试结果列于表 3 中。

由表 3 可知, 两期侵入岩的 $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 均为正值, 变化范围在 11.64~20.58 之间, 平均值为 15.44。 I_{Sr} 值较低, 变化于 0.7053~0.7060 之间, 平均值为 0.7055, 落在公认的幔源火成岩的 I_{Sr} 值(0.7020~0.7060)范围之内。而 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值较低, 变化范围为 0.5117~0.5119, 且岩石的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 均为负

值(-15.30~-19.60, 平均值为 -17.26), 远高于 Jahn(1999)等归纳出的华北克拉通古老下地壳的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(-44.00~-32.00), 而与汉诺坝二辉麻粒岩包体的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(-18.00~-8.00)比较接近(张国辉等, 1998)。这表明周口店岩体的岩浆来源可能与汉诺坝二辉麻粒岩的相近, 而与华北克拉通古老下地壳的关系较远。

表 3 花岗闪长岩、石英闪长岩同位素测试数据分析结果
Table 3 Isotopic data of granodiorite and quartz diorite

岩性 相带 样品号	花岗闪长岩								石英二长闪长岩	
	边缘相								过渡相	
	7034-1-3	FS-14	7033-1-8	FS-16	FS-18	7022-6-2	FS-9	FS-2	7029-3-2	7027-2-7
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	0.157 61	0.087 38	0.197 33	0.131 2	0.143 1	0.160 72	0.159 8	0.155 1	0.073 93	0.230 3
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.705 65	0.705 49	0.705 52	0.705 6	0.705 61	0.705 5	0.705 6	0.705 58	0.705 32	0.705 95
I_{Sr}	0.705 65	0.705 33	0.705 52	0.705 37	0.705 35	0.705 5	0.705 4	0.705 35	0.705 32	0.705 95
$\epsilon_{\text{Sr}}(t)$	16.323 6		14.478 3		14.194 4				11.639 4	20.581 9
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0.085 23		0.092 69		0.091 77				0.104 57	0.097 21
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	0.511 76		0.511 766		0.511 63				0.511 75	0.511 85
$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	-17.10		-17.00		-19.60				-17.30	-15.30
$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	-17.09		-17.01		-19.64				-17.34	-15.31

3 杂岩体成因讨论

通过 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 图解(图 6)发现周口店岩体两期岩石的锶、钕同位素投影点均落在 EM I 型富集地幔区域内, 表明其物质来源与 EM I 型富集地幔有关。而近年来有关华北克拉通区金伯利岩、火成碳酸岩和碱性岩的锶、钕、铅同位素研究成果均表明古生代—中生代华北克拉通区岩石圈地幔具富集性特征(池际尚, 1996; 王德滋, 1996; 谭东娟等, 1999; 阎国翰等, 2001)。可以推断, 周口店岩体岩浆来源与岩石圈地幔密切相关。

从 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ - I_{Sr} 图解(图 7)来看, 周口店岩体岩石的投影点离 Jahn 等(1999)的中朝古老下地壳区域甚远, 而正好落在汉诺坝二辉麻粒岩包体范围内。现有研究已经确证, 汉诺坝二辉麻粒岩包体是由幔源基性岩浆在晚古生代—中生代底侵到下地壳底部构成的年轻下地壳的一部分(樊祺诚等, 1996, 1998, 2001)。由此可以推测周口店岩体岩浆并非来自于古老的华北下地壳, 而可能是中生代或更早时期由幔源玄武质岩浆底侵增生于华北古老下地壳底部部分熔融形成的。

据研究, 现在华北克拉通最下部古老地壳的部

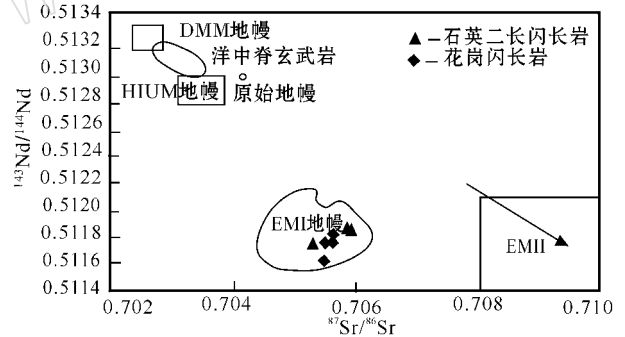


图 6 周口店岩体 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 图解
Fig. 6 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ diagram of the Zhoukoudian complex

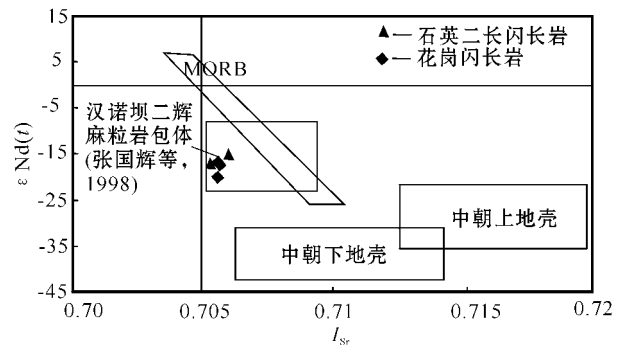


图 7 周口店岩体 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ - I_{Sr} 图解
Fig. 7 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ versus I_{Sr} diagram of Zhoukoudian complex

分或大部分已被中生代新生的下地壳置换,这暗示在华北克拉通底部由幔源玄武质岩浆的底侵作用形成的、新的年轻下地壳已经较为普遍地存在,这就为周口店岩体的岩浆直接来自年轻的基性麻粒岩下地壳提供了前提条件。由于中生代华北克拉通岩石圈地幔为富集型,故由富集型幔源玄武质岩浆底侵形成的基性下地壳在较高压力条件下发生部分熔融形成的周口店岩体同时具有富集地幔和下地壳的特征。

4 结论

(1) 根据周口店杂岩体侵入岩常量、微量、稀土元素、同位素及构造环境特征,认为周口店杂岩体属于埃达克质岩体(C型埃达克岩)。

(2) 北京周口店岩体的 Sr-Nd 同位素组成与汉诺坝玄武岩中的麻粒岩包体类似,远高于华北下地壳的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值,推测周口店埃达克质岩石可能来自中生代时增生在华北下地壳底部年轻的基性麻粒岩的部分。

Reference

Atherton M P and Petford N. 1993. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust [J]. *Nature*, 362 :144~146.

Boyton W V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies [A]. Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry [C]. Elsevier, 63~114.

Cai Jianhui, Yan Guohan, Mu Baolei, *et al.* 2005. Zircon U-Pb age, Sr-Nd-Pb isotopic compositions and trace element of Fangshan complex in Beijing and their petrogenesis significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3):776~788 (in Chinese with English abstract).

Chi Jishang, Lu Fengxiang, Zhao Lei *et al.* 1996. Kimberlite and Paleozoic Lithospheric Mantle of North China Platform [M]. Beijing: Sciences Press, 215~275 (in Chinese with English abstract).

Defant M J and Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere [J]. *Nature*, 347 (18):662~665.

Doe B R and Zartman R E. 1979. Plumbotectonic, the Phanerozoic [A]. Barnes H L. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits [C]. John. Wiley and Sons, 22~70.

Fan Qicheng and Liu Ruoxin. 1996. The high temperature granulite xenolith from basalts in Hannuoba [J]. *Chinese Science Bulletin*, 41(3):235~238 (in Chinese).

Fan Qicheng, Liu Ruoxin, Li Huimin, *et al.* 1998. The Zirconite Chronology of granulite xenolith in Hannuoba [J]. *Chinese Science Bulletin*, 43(2):133~137 (in Chinese).

Fan Qicheng, Sui Jianli and Liu Ruoxin, *et al.* 2001. Eclogite facies garnet-pyroxenolite in Hannuoba area: New evidence of magma un-

derplating [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(1):1~6 (in Chinese with English abstract).

Jahn B M, Wu F Y and Luo C H, *et al.* 1999. Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust: geochemical and Sr-Nd isotopic evidence from post-collisional mafic-ultramafic intrusion of the northern Dabie complex, central China [J]. *Chem. Geol.* 157:119~146.

Le Bas M J, Le Maitre R W, Streckeisen A, *et al.* 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram [J]. *J. Petrol.*, 27(3):745~750.

Martin H. 1986. Effect of steeper Archean geothermal gradient on geochemistry of subduction-zone magmas [J]. *Geology*, 14:753~756.

Martin H. 1999. Adakitic magmas: modern analogues of Archean granitoids [J]. *Lithos*, 46:411~429.

Ma Changqian. 1988. The intrusions and magma kinetic mechanism of compositional zoning of stock of Zhoukoudian, Beijing [J]. *Acta Geologica Sinica*, 4:329~341 (in Chinese).

Ma Fang, Mu Zhizhou and Liu Yulin. 2003. Fangshan Intrusion, Beijing: Constraints from Trace and Rare earth elements as well as Sr-isotope composition [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(2):105~110 (in Chinese).

Shu Guiming and Huang Fusheng. 1991. Characteristics of dioritic inclusions in Fangshan complex and discussion on its genesis [A]. Li Zhitong. The Thesis Gathers about the North China Granites and Its Mineralization [C]. Beijing: Geological Publishing House, 139~147 (in Chinese).

Sun S S and Mc Donough W F. 1992. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes [A]. Sanders A D and Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins [C]. *Geol. Soc. Spec. Pub.*, 42:313~345.

Tan Dongjuan, Lin Jingqian and Shan Xuanlong. 1999. Genesis of alkaline volcanic-intrusive complex in Saima-Bolinchuan [J]. *Geological Review*, 45(suppl.):474~481 (in Chinese).

Wang Dezi, Ren Qijiang, Qiu Jiansheng. 1996. Characteristics of volcanic rocks from shoshonite province in eastern China and its mineralization [J]. *Acta Geologica Sinica*, 70(1):23~34 (in Chinese).

Wang Shuping. 1950. Petrogenesis study on the Fanshan intrusions [J]. *Geological Review*, 15:13~32 (in Chinese).

Yan Guohan, Mu Baolei, Xu Baoliang, *et al.* 2000. Trassic alkaline intrusive in the Yanliao-Yinshan area: their chronology, Sr, Nd and Pb isotopic characteristic and their implication [J]. *Science in China (Series D)*, 30(4):383~387 (in Chinese).

Yan Guohan, Xu Baoliang, Mu Baolei, *et al.* 2001. Characteristics and Implications of Nd, Sr, Pb in Mesozoic Alkaline-rich Intrusions in North China [J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry* (4):24~27 (in Chinese).

Zhang Guohui, Zhou Xinhua and Sun Min, *et al.* 1998. Sr, Nd and Pb isotopic characteristics of granulite and pyroxenite xenoliths in Hannuoba basalts, Hebei Province, and their implications for geologic processes [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 14(2):190~197 (in Chinese).

Zhang Qi, Wang Yan, Qian Qing, *et al.* 2001a. Preliminary study on the components of the lower crust in east China plateau during Yan-shan period: Constraints on Sr and Nd isotopic compositions of adakite-like rocks [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(4):505~513 (in

Chinese with English abstract).

Zhang Qi, Zhao Taiping, Wang Yan, et al. 2001b. A discussion on the Yanshanian magmatism in eastern China[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 20(3) 273~278(in Chinese with English abstract).

附中参考文献

蔡剑辉, 阎国翰, 牟保磊, 等. 2005. 北京房山岩体锆石 U-Pb 年龄和 Sr、Nd、Pb 同位素与微量元素特征及成因探讨[J]. 岩石学报, 21(3): 777~788.

池际尚, 路凤香, 赵磊, 等. 1996. 华北地台金伯利岩及古生代岩石圈地幔特征[M]. 北京: 科学出版社, 215~275.

樊祺诚, 刘若新. 1996. 汉诺坝玄武岩中高温麻粒岩捕虏体[J]. 科学通报, 41(3): 235~238.

樊祺诚, 刘若新, 李惠民, 等. 1998. 汉诺坝捕虏体麻粒岩锆石年代学与稀土元素地球化学[J]. 科学通报, 43(2): 133~137.

樊祺诚, 隋建立, 刘若新, 等. 2001. 汉诺坝榴辉岩相石榴石岩——岩浆底侵作用新证据[J]. 岩石学报, 17(1): 1~6.

马昌前. 1988. 北京周口店岩株侵位和成分分带的岩浆动力学机理[J]. 地质学报, 62(4): 329~341.

马芳, 穆治国, 刘玉琳. 2003. 北京房山侵入体: 微量元素、稀土元素及 Sr 同位素组成对其成因的制约[J]. 地球学报, 24(2): 105~110.

舒桂明, 黄福生. 1991. 房山岩体闪长质包体的特征及成因探讨[J].

李之彤. 中国北方花岗岩及其成矿作用论文集[C]. 地质出版社, 139~147.

谭东娟, 林景仟, 单玄龙. 1999. 赛马-柏林川碱性火山-侵入杂岩成因[J]. 地质论评, 45(增刊): 474~481.

王德滋, 任启江, 邱检生. 1996. 中国东部橄榄安粗岩省的火山岩特征及其成矿作用[J]. 地质学报, 70(1): 23~34.

王人镜, 马昌前. 1989. 北京周口店侵入体特征及其侵位机制[J]. 地球科学——中国地质大学学报(4): 63~70.

王述平. 1950. 房山侵入岩体岩石成因研究[J]. 地质论评, 15: 13~32.

阎国翰, 牟保磊, 许保良, 等. 2000. 燕辽-阴山三叠纪碱性侵入岩年代学和 Sr、Nd、Pb 同位素地球化学特征及意义[J]. 中国科学(D 辑), 30(4): 383~387.

阎国翰, 许保良, 牟保磊, 等. 2001. 中国北方中生代富碱侵入岩钨、铀、铅同位素特征及其意义[J]. 矿物岩石地球化学通报(4): 24~27.

张国辉, 周新华, 孙敏, 等. 1998. 河北汉诺坝玄武岩中麻粒岩类和辉石岩类捕虏体 Sr、Nd、Pb 同位素特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 14: 190~197.

张旗, 王焰, 钱青, 等. 2001a. 燕山期的中国东部高原下地壳组成初探: 埃达克岩类 Sr、Nd 同位素制约[J]. 岩石学报, 17(4): 505~513.

张旗, 赵太平, 王焰, 等. 2001b. 中国东部燕山期岩浆活动的几个问题[J]. 岩石矿物学杂志, 20(3): 273~278.

2005 年度部分地质学类期刊影响因子和总被引频次一览表

序号	刊名	影响因子	总被引频次	序号	刊名	影响因子	总被引频次
1	中国科学 D	2.690	2574	16	地球科学	0.991	1390
2	岩石学报	2.556	1831	17	沉积学报	0.927	1447
3	地质学报	2.438	1600	18	地球学报	0.808	868
4	地质科学	2.008	1124	19	矿物学报	0.674	587
5	地球化学	1.807	1399	20	矿物岩石地球化学通报	0.662	381
6	矿床地质	1.734	917	21	吉林大学学报地球科学版	0.644	562
7	地质论评	1.479	1548	22	地质与勘探	0.531	633
8	中国地质	1.367	495	23	岩矿测试	0.480	361
9	地学前缘	1.347	1741	24	矿物岩石	0.448	346
10	高校地质学报	1.267	608	25	西北地质	0.448	202
11	岩石矿物学杂志	1.260	684	26	地质科技情报	0.402	492
12	地球科学进展	1.245	1585	27	沉积与特提斯地质	0.313	169
13	地质通报	1.202	1036	28	新疆地质	0.277	356
14	大地构造与成矿学	1.065	420	29	世界地质	0.258	218
15	现代地质	1.006	680	30	矿产与地质	0.247	239

本表数据引自《2006 年版中国科技期刊引证报告(核心版)》(中国科学技术信息研究所编)。