

# 鲁西晚中生代基性脉岩的成因和源区性质： 岩石学和地球化学

刘 荣 胡瑞忠 赵军红 冯彩霞

中国科学院地球化学研究所矿床开放实验室, 贵阳, 550002

**内容提要** 本文从岩石学和地球化学方面对鲁西地区淄博盆地几个岩区的基性脉岩的成因和源区性质进行了探讨。脉岩的 K-Ar 年龄(72.2 ~ 116.3 Ma)表明其为晚中生代(白垩纪)岩浆作用的产物。主量元素显示该脉岩总体属钙碱性系列。微量元素特征表明脉岩为交代富集地幔部分熔融作用的产物,成岩过程可能同时经历了橄榄石、单斜辉石、Ti-Fe 氧化物以及少量斜长石的分离结晶作用。Pb 同位素组成: $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.308 \sim 38.329$ ;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.170 \sim 15.632$ ;  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.658 \sim 18.470$ ,可以和下地壳组成相比,暗示成岩过程中存在大量下地壳物质的参与。岩浆在构造上受控于燕山造山带坍塌和沂沭断裂带(郯庐断裂山东段)的活动(左行平移和伸展),但在上升侵位过程中没有遭受地壳物质的混染,且具有大陆边缘弧玄武岩的特性。这暗示岩浆早期鲁西地区存在古大洋板块(苏-鲁洋)的俯冲作用(即古俯冲作用)。

**关键词** 中生代 脉岩 成因 源区 鲁西

幔源基性岩脉为区域性地壳拉张运动的产物,具有特殊的大陆动力学意义。因此,对其岩石学、地球化学和年代学等方面的研究已成为国内外的热点(胡瑞忠等,1990;李献华,1990;李献华等,1997;Condie,1997;Willan et al.,1999;张成立等,1999)。目前,关于胶东地区中生代基性脉岩(煌斑岩脉)的研究较多(程小久等,1998;孙景贵等,2000,2001;刘洪文等,2002;Yang et al.,2004)。而鲁西地区目前主要集中在中生代富钾火山岩及少数脉岩的研究(邱检生等,2001;Zhang et al.,2002a,2002b;Guo et al.,2003)。近年来,人们对山东地区燕山期火成岩的构造背景和成因存在着不同的认识:一种观点认为它们具有活动大陆边缘弧的特征,说明它们与中生代环太平洋板块俯冲作用有关,与伊泽奈崎洋向中国东部大陆下的俯冲作用有成因联系(邓晋福等,1996);另一种观点则认为大别山北麓和山东地区富集地幔源区的形成主要与扬子板块和华北板块的碰撞及其后续的伸展引张机制有关(邱检生等,1996;胡受奚等,1998)。基于以上原因,本文主要从岩石学和地球化学方面着重讨论鲁西基性脉岩的成岩方式和源区性质。通过该研究,以期对鲁西乃至整个山东富集地幔的形成机制加以探讨。

## 1 地质概况及样品描述

研究区岩脉侵入于淄博盆地的三台组( $J_3S$ )地层中(图1),呈NW向分布。岩脉走向大致为NW305°,倾角为60°~85°,主体倾向SW。岩脉大小不一,长0.3~3 km不等,宽几米至几十米。采样点分布于康家坞、昆仑山、龙泉庄、萌水镇、南苏村和苏王村岩区,所采岩石样品比较新鲜,按岩性可分为橄榄辉绿岩、次闪石化辉长岩、辉绿岩和辉长岩等四种类型(表1)。

(1)橄榄辉绿岩:呈斑状结构,基质呈辉绿结构。斑晶主要由基性斜长石(35%)、普通辉石(15%)和橄榄石(5%)组成。斜长石聚片双晶发育,粒径一般为0.5~3.0 mm,大者达3.5 mm;辉石呈短柱状,粒径为1.0~2.0 mm;橄榄石大小约为2.0 mm。基质由斜长石(35%,粒径0.05 mm)、辉石(5%)和大小不一(0.03~0.3 mm)的磁铁矿(4%)及少量白云母(1%)组成。

(2)辉长岩与次闪石化辉长岩:呈辉长结构。斑晶主要由同等自形程度的单斜辉石(约30%)和斜长石(约45%)(粒度约1.0~2.0 mm)组成。基质由纤维状角闪石(20%)和磁铁矿(粒度约0.05~

注:本文为中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号KZCX3-SW-125)资助成果。

收稿日期:2004-03-13;改回日期:2004-06-24;责任编辑:郝梓国。

作者简介:刘荣,男,博士研究生,岩石学和地球化学专业。通讯地址:550002,贵阳市,中国科学院地球化学研究所。



72.1-116.3Ma,属晚中生代(白垩纪)岩浆作用的产物。

## 2 样品分析

主量元素在中国科学院地球化学研究所采用常规湿法分析,分析者李荪蓉;微量元素在中国科学院地球化学研究所用电感耦合等离子质谱(ICP-MS)分析,分析者漆亮,所有元素分析的重现性(准确度)优于 5%。稀土元素的分析精度优于 5%,微量元素分析精度优于 10%。K-Ar 年龄由中国地震局地质研究所 K-Ar 年龄实验室李大明测试,使用仪器:VG 公司生产的 MM-1200 质谱计及与其相连的全金属萃取系统,采用常数: $\lambda = 5.543 \times 10^{-11}/a$ ,  $\lambda_c = 0.581 \times 10^{-10}/a$ ,  $\lambda\beta = 4.962 \times 10^{-10}/a$ ,  $^{40}K/K = 1.167 \times 10^{-4}/mol$ 。Pb 同位素在核工业北京地质研究所测试,仪器型号为 MAT261,测量精度以  $2\sigma$  计。NBS981 测量值  $^{208}Pb/^{206}Pb = 2.1652465 \pm 0.000069$ ;  $^{207}Pb/^{206}Pb = 0.9145100 \pm 0.000056$ ;  $^{206}Pb/^{204}Pb = 0.0591995 \pm 0.000013$ 。NBS981 标准值:  $^{208}Pb/^{206}Pb = 2.1681 \pm 0.0008$ ;  $^{207}Pb/^{206}Pb = 0.91464 \pm 0.00033$ ;  $^{206}Pb/^{204}Pb = 0.059042 \pm 0.000037$ 。

## 3 地球化学特征

### 3.1 主量元素

研究区脉岩的  $SiO_2$  含量在 44.38%~54.51% 之间(表 1),为基性岩类。在主量元素的 Harker 图(略)上,除个别样品外,样品的  $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Na_2O$  和

$K_2O$  含量随  $MgO$  降低而升高,而  $TiO_2$ 、 $FeO^T$  和  $CaO$  则相反,反映了橄榄石、单斜辉石以及 Ti-Fe 氧化物的分离结晶。脉岩的  $Mg^{2+}$  相对较低(19~43),同样反映了存在单斜辉石的分离结晶作用。样品中  $Al_2O_3$  含量普遍较高,可能是由于岩石中斜长石的含量高以及出现富铝矿物(白云母等)的缘故。在  $Zr/TiO_2-Nb/Y$  判别图上(图 2)(Winchester et al., 1976),所有样品都落入亚碱性系列范围内。AFM 图(图 3)显示脉岩总体具钙碱性系列演化趋势。

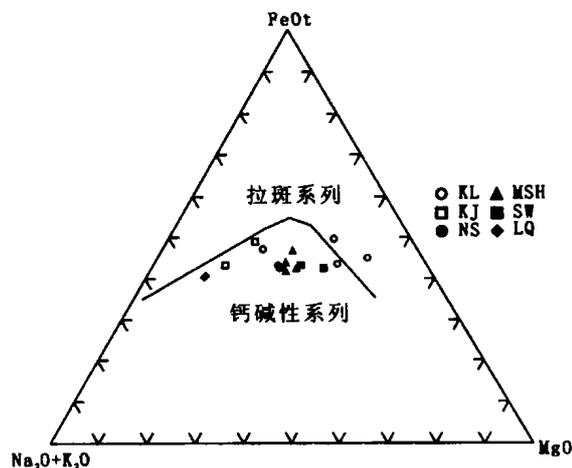


图 3 鲁西基性脉岩的 AFM 图解  
Fig. 3 AFM diagram of mafic dikes from western Shandong

### 3.2 微量元素

研究区脉岩的亲石元素组成如表 3。大离子亲石元素 Ba、Rb 和 Sr 的含量(分别为 575~1446  $\mu g/g$ 、16.4~138  $\mu g/g$  和 546~1298  $\mu g/g$ )相对 MORB 较高,而高场强元素 Nb 和 Ta 的含量(分别为 4.16

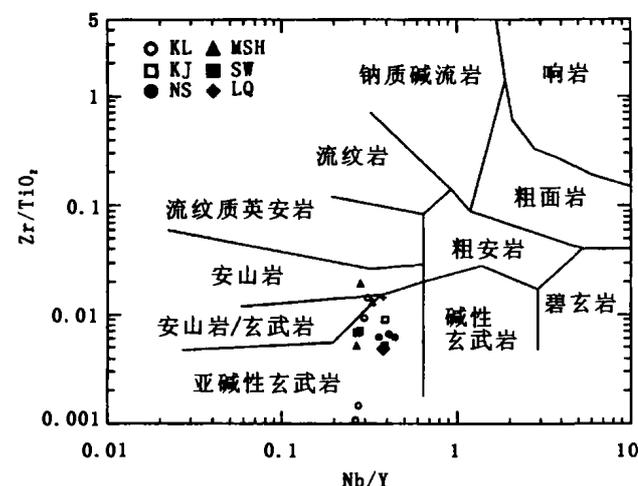


图 2 鲁西基性脉岩的分类图解  
Fig. 2 Classification of mafic dikes from western Shandong

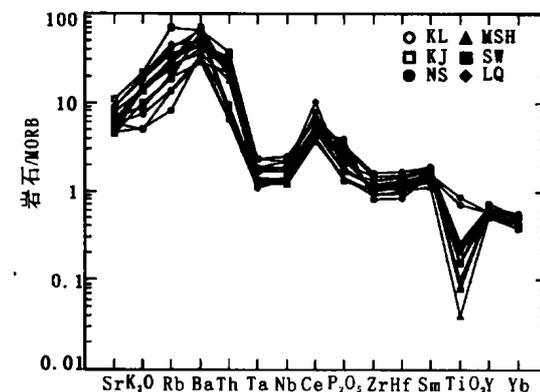


图 4 鲁西基性脉岩的微量元素 MORB 标准化图解  
Fig. 4 MORB-normalized trace elements diagram of mafic dikes from western Shandong

表3 鲁西基性脉岩的微量元素分析结果( $\mu\text{g/g}$ )Table 3 Trace elements analysis ( $\mu\text{g/g}$ ) for mafic dikes from western Shandong

样品	KJ1	KJ3	KL1	KL14	KL2	KL8	LQ1	LQ3	MSH1	MSH11	MSH4	MSH7	NS1	NS2	SW1	SW2
Ba	1311	863	684	1307	589	677	966	918	706	826	1105	575	1127	1446	1264	1162
Rb	138	62.9	16.4	81.9	26.3	27.7	89.1	72.9	52.5	47.8	62.0	38.6	55.9	58.8	37.3	40.8
Sr	1298	950	562	1064	705	703	1040	1071	703	560	655	791	754	742	546	859
Y	20.0	16.5	17.6	21.7	17.6	17.4	16.8	17.7	15.2	18.5	17.0	17.4	20.1	19.2	17.9	18.9
Zr	130	108	72.5	118	84.2	83.3	102	107	81.4	103	92.6	92.8	145	133	95.1	98.0
Nb	7.60	6.36	4.57	6.49	4.73	5.04	6.35	6.65	4.16	5.87	4.53	4.69	8.82	7.73	4.94	5.00
Th	7.30	6.13	1.27	4.63	1.30	1.91	5.48	6.43	3.62	4.90	4.04	4.34	4.89	4.25	1.77	1.49
Hf	3.68	3.15	2.03	3.39	2.30	2.38	2.90	2.95	2.43	3.08	2.62	2.83	4.07	3.52	2.56	2.65
Ta	0.42	0.32	0.20	0.33	0.20	0.23	0.33	0.29	0.23	0.30	0.25	0.26	0.42	0.33	0.22	0.21
U	2.04	1.68	0.42	1.42	0.40	0.62	1.41	1.32	1.17	1.44	1.33	1.45	1.55	1.29	0.46	0.48
Pb	27.0	20.3	5.83	13.5	6.49	6.47	56.8	10.6	6.36	17.2	7.12	7.79	19	10.7	6.45	6.21
Zr/Hf	35.4	34.1	35.7	34.7	36.7	34.9	35.3	36.4	33.5	33.5	35.4	32.8	35.5	37.7	37.2	36.9
Nb/Ta	18.2	20.0	22.7	19.8	24.0	21.7	19.4	22.8	18.3	19.6	18.3	18.2	21.1	23.4	22.8	23.5
La	31.1	24.4	20.0	26.3	19.2	21.1	53.0	77.1	16.9	22.0	18.9	18.8	31.4	30.3	29.3	22.1
Ce	63.6	50.1	45.8	55.4	44.1	48.1	79.6	102	36.5	47.5	40.7	40.8	67.6	64.6	56.2	50.3
Pr	7.17	5.74	5.75	6.54	5.62	5.88	8.31	10.8	4.29	5.71	4.75	5.03	7.89	7.47	6.65	6.16
Nd	29.2	23.3	24.3	27.3	23.8	25.4	30.6	35.9	18.1	25.2	19.9	20.1	33.4	31.8	27.4	26.4
Sm	5.91	4.77	5.16	5.77	4.88	5.06	5.30	5.57	3.72	5.30	4.26	4.48	6.37	6.19	5.17	5.39
Eu	1.44	1.21	1.25	1.44	1.31	1.33	1.22	1.37	1.01	1.41	1.04	1.13	1.43	1.36	1.37	1.38
Gd	4.71	3.89	4.25	4.98	4.37	4.16	3.84	4.39	3.26	4.44	3.68	3.85	5.09	4.66	4.30	4.66
Tb	0.66	0.55	0.57	0.69	0.59	0.57	0.52	0.56	0.49	0.62	0.53	0.58	0.70	0.64	0.57	0.61
Dy	3.56	2.95	3.16	3.96	3.20	3.31	3.05	3.19	2.79	3.63	3.05	3.23	3.94	3.49	3.33	3.43
Ho	0.68	0.58	0.61	0.76	0.65	0.61	0.56	0.64	0.55	0.71	0.61	0.65	0.74	0.69	0.64	0.68
Er	1.86	1.54	1.63	2.08	1.59	1.69	1.57	1.65	1.46	2.00	1.65	1.82	2.08	2.00	1.74	1.80
Tm	0.23	0.21	0.22	0.26	0.20	0.21	0.20	0.23	0.19	0.26	0.21	0.25	0.26	0.24	0.21	0.23
Yb	1.76	1.30	1.43	1.81	1.43	1.43	1.41	1.43	1.30	1.77	1.45	1.57	1.89	1.69	1.47	1.51
Lu	0.24	0.19	0.20	0.28	0.20	0.22	0.23	0.20	0.19	0.28	0.23	0.23	0.31	0.25	0.23	0.24
REE	152	121	114	138	111	119	189	245	90.7	121	101	103	163	155	139	125
LREE	138	110	102	123	98.9	107	178	233	80.5	107	89.5	90.4	148	142	126	112
Nb/La	0.24	0.26	0.23	0.25	0.25	0.24	0.12	0.09	0.25	0.27	0.24	0.25	0.28	0.26	0.17	0.23
HREE	13.7	11.2	12.1	14.8	12.2	12.2	11.4	12.3	10.2	13.7	11.4	12.2	15.0	13.7	12.5	13.2
La/Yb	17.7	18.8	14.0	14.5	13.4	14.8	37.6	53.9	13.0	12.4	13.1	12.0	16.6	17.9	19.9	14.6
La/Sm	5.26	5.11	3.88	4.56	3.93	4.18	9.99	13.85	4.54	4.15	4.45	4.20	4.92	4.89	5.67	4.10
K*	2.54	2.08	0.94	2.58	0.96	1.30	1.6	1.00	2.92	2.31	2.67	1.72	1.66	1.83	1.32	1.47
Nb*	0.18	0.22	0.28	0.18	0.3	0.25	0.12	0.11	0.17	0.21	0.17	0.23	0.26	0.23	0.18	0.23
Eu*/Eu	0.84	0.86	0.81	0.82	0.86	0.89	0.83	0.85	0.89	0.89	0.80	0.83	0.77	0.77	0.89	0.84

注:  $K^* = 2K_N / (Nb_N + La_N)$ ;  $Nb^* = 2Nb_N / (K_N + La_N)$ 。

~8.82  $\mu\text{g/g}$  和 0.20~0.42  $\mu\text{g/g}$ ) 相对较低。暗示岩浆在成岩过程中存在大量地壳物质的参与 (Pearce, 1982)。在微量元素 MORB 标准化蛛网图 (Pearce, 1982) (图 4) 中, 研究区脉岩的分布模式与大陆弧钙碱性玄武岩类似, 而不同于岛弧钙碱性玄武岩和板内玄武岩。总体表现出 Ba、Rb、Th 等的富集和明显的 Nb、Ta 和 Ti 的亏损, 暗示脉岩在成因上可能与俯冲的陆壳与上覆地幔的相互作用有关 (李曙光等, 1997)。

研究区脉岩的过渡族元素 (表 4)  $Sc = 15.2 \sim 39.3 \mu\text{g/g}$ 、Ti 普遍  $< 3000 \mu\text{g/g}$ 、 $Cr = 17.9 \sim 414 \mu\text{g/g}$ 、Ni 多数  $< 50 \mu\text{g/g}$ 、 $Co < 50 \mu\text{g/g}$ 、 $Fe = 45630$

~72072  $\mu\text{g/g}$ 。反映了成岩过程可能存在橄榄石、单斜辉石的分离结晶, 因为 Ni、Co 主要赋存在橄榄石中, Cr 主要寄生在单斜辉石中。在岩石过渡族元素的球粒陨石标准化分配曲线中 (Sun et al., 1989) (图 5a), 可看出岩石分配曲线为明显的“W”形 (Cr、Ni 亏损谷), 同样反映可能具有橄榄石和单斜辉石的分离结晶 (或堆晶) 作用。

### 3.3 稀土元素

稀土元素分析结果列于表 3。REE = 90.7~245  $\mu\text{g/g}$ 、LREE = 80.5~233  $\mu\text{g/g}$ 、HREE = 10.2~15.0  $\mu\text{g/g}$ , 明显高于原始地幔和大洋中脊玄武岩的稀土总量 (Turner et al., 1996)。在稀土

元素球粒陨石标准化配分模式图(图 5b)(Sun et al., 1989)中,均显示较陡的右倾型富集特征。这些脉岩总体具有(除两个样品外)相对偏低和一致的 La/Sm (3.9~5.7)、La/Yb(12~20)和较平缓的 HREE 分布模式,类似于滇西新生代超钾质岩石(La/Sm(4.3~6.0)、La/Yb(17~24)和平缓的 HREE 分布模式)(岩浆来源于相对较浅的尖晶石相地幔的部分熔融)(李献华等, 2002),而明显不同于藏北的钾玄质系列岩石的较高和变化范围大的 La/Sm (6.5~32.5)、La/Yb(10~170)和亏损的 HREE,表明是相对较深的石榴子石相地幔部分熔融的产物(邓万明等,1995)。Eu\*/Eu=0.77~0.89,平均值为 0.84,具有弱的负铕异常,表明在成岩过程中存在斜长石的分离结晶。

#### 4 Pb 同位素组成

从表 5 看,研究区基性脉岩的  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.308 \sim 38.329$ ;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.170 \sim 15.632$ ;  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.658 \sim 18.470$ 。组成上处于胶东中生代基性脉岩( $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.2 \sim 37.8$ ;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.2 \sim 15.5$ ;  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.4 \sim 17.1$ )(源区为 EM2 型)和华北克拉通新生代玄武岩( $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.1 \sim 38.5$ ;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.3 \sim 15.6$ ;  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.1 \sim 18.5$ )(源区为 DMM 型)之间

表 4 鲁西基性脉岩的过渡族元素分析结果(μg/g)

Table 4 Analyzed results (μg/g) of transitional elements for mafic dikes in western Shandong province

样品号	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
KJ1	21.74	1438	287	43.9	1617	56550	25.3	18.9	243	106
KJ3	21.86	2158	286	51.8	1386	65208	25.8	24.8	231	90.0
KL1	29.14	7734	213	206	1309	65286	34.4	48.3	108	84.9
KL14	32.02	719	297	93.8	1540	69654	33.8	33.2	133	114
KL2	39.34	6475	220	415	1232	72072	49.6	106	85.7	92.5
KL8	30.92	899	194	372	1925	68406	40.7	89.1	114	92.1
LQ1	15.29	2158	129	19.3	1386	45630	17.0	10.4	104	162
LQ3	15.22	719	144	17.9	847	44850	17.5	9.84	121	80.8
MSH1	26.29	360	210	135	1540	61620	32.2	24.5	109	79.3
MSH11	34.79	719	312	151	1540	68952	38.8	36.5	101	108
MSH4	28.31	1858	220	155	1694	58032	34.6	25.1	111	88.7
MSH7	33.25	1378	271	165	1309	64818	40.8	28.7	97.0	91.4
NS1	25.60	2398	234	149	1617	62166	32.1	36.5	132	112
NS2	25.67	2038	224	151	1386	59202	31.4	36.2	106	117
SW1	25.65	1379	216	169	1386	66378	31.7	39.4	80.8	83.8
SW2	33.32	1439	229	277	1309	65208	35.0	46.1	98.7	92.8

(Zhang et al., 2002a),暗示研究区晚中生代基性脉岩在 Pb 同位素组成上明显不同于后两者。另外,研究区脉岩的 Pb 同位素组成可以和下地壳相比(Zartman et al., 1981),在铅模式图中(略)位于地幔和下地壳之间,反映成岩过程存在大量下地壳物质的参与。

#### 5 讨论

##### 5.1 成岩过程

虽然样品采自不同岩区,但从  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2\text{-TiO}_2$  相关图(略)来看,它们属于同一岩浆类型(Sun et al., 1978)。在 La/Sm-La 和 Sr/Ca-Ba/Ca 相关图中(图 6),研究区脉岩为地幔岩部分熔融作用的产物(Ouma et al., 1981; 赵振华, 1997)。但通过主量元素和微量元素研究,岩浆在侵位过程中可能同时经历了橄榄石、单斜辉石和 Ti-Fe 氧化物以及少量斜长石的分离结晶作用。

##### 5.2 源区性质

从研究区脉岩富集大离子亲石元素、LREE 以及亏损高场强元素特点看,该类熔体来源于富集地幔源区(Pearce, 1982)。脉岩的

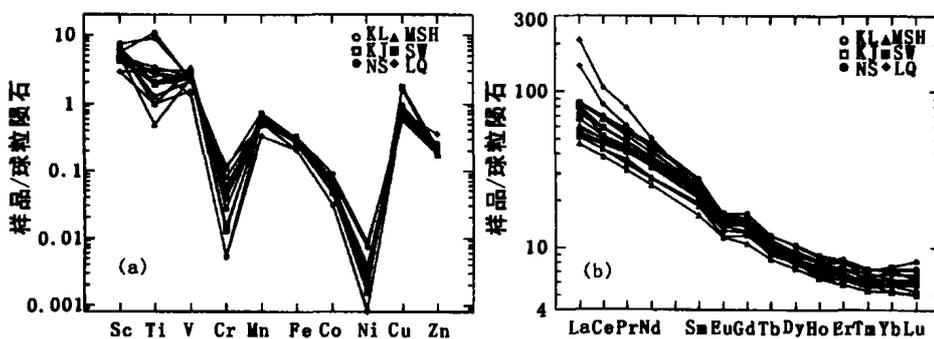


图 5 鲁西基性脉岩过渡族元素(a)和 REE(b)球粒陨石标准化图解

Fig. 5 Chondrite-normalized diagrams of transitional elements (a) and REE (b) for mafic dikes from western Shandong

表 5 鲁西晚中生代基性脉岩的 Pb 同位素组成

Table 5 Pb isotope compositions of Late Mesozoic mafic dikes from western Shandong

样品号	同位素比值			同位素组成(%)			
	<sup>208</sup> Pb/ <sup>201</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb	<sup>204</sup> Pb
KL1	36.308±0.019	15.170±0.008	16.658±0.008	52.517±0.033	21.943±0.014	24.094±0.015	1.446±0.000
LQ3	38.329±0.024	15.632±0.010	18.120±0.011	52.447±0.038	21.390±0.016	24.795±0.018	1.368±0.001
MSH1	38.057±0.013	15.599±0.005	18.470±0.005	52.043±0.020	21.332±0.008	25.258±0.008	1.368±0.000
NS1	37.293±0.013	15.395±0.004	17.404±0.004	52.457±0.021	21.656±0.0080	24.481±0.008	1.407±0.000
SW1	37.383±0.007	15.374±0.003	17.361±0.003	52.565±0.011	21.617±0.005	24.412±0.005	1.406±0.000

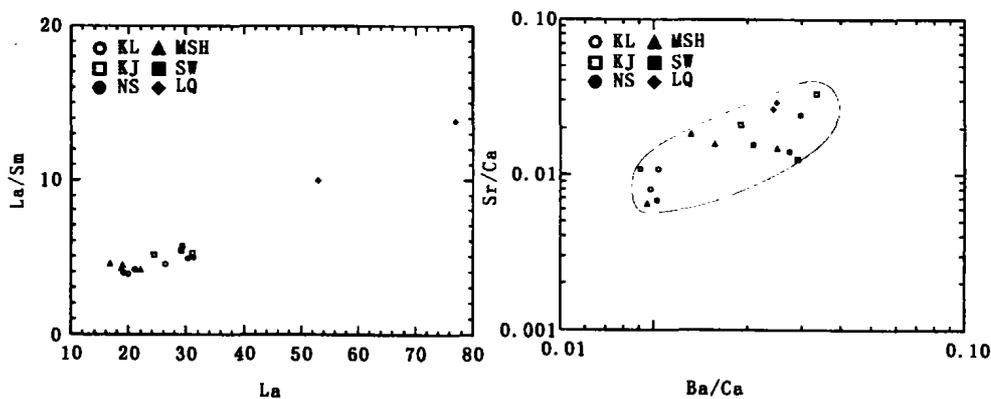


图 6 鲁西基性脉岩的 La/Sm-La 和 Sr/Ca-Ba/Ca 相关图解

Fig. 6 La/Sm vs La and Sr/Ca vs Ba/Ca diagrams of mafic dikes from western Shandong

Nb\* = 0.11~0.30, K\* 多大于 1.0 (0.94~2.92), 反映出岩石成因与富集地幔有关(程小久等, 1998)。另可用原始地幔的微量元素 Nb 标准化(Nb = 0.713 μg/g)(Sun et al., 1989)、微量元素 La、Ce、P、Zr、Ti 和 Y 曲线排列方式和倾斜方式来研究地幔的性质。在图 7 中, La、Ce、P、Zr、Ti 和 Y 曲线构成了非发散型分布, 表明源区为成分均一的富集地幔(Myers et al., 1989)。与 Guo 等(2003)通过对鲁西地区晚中生

代基性脉岩的 Sr、Nd 同位素研究结果, 认为鲁西晚中生代基性脉岩在源区组成上具有富集地幔(EM1 型)特征的结论一致。

本区岩石的 Th/U (2.99~4.89) 和 Nb/U (3.23~11.98) 相对较高, 说明岩浆源区最大可能是继承了受前俯冲—交代过程(源区混合作用)改造的地幔源区, 而岩浆在上升侵位过程中

没有受到明显的地壳混染。脉岩中高的 Nb/U 和 Ce/Pb 比值(3.23~12 和 1.40~9.61)以及较低的 Nb/La (0.09~0.28), 同样反映研究区内基性脉岩的源区可能因受俯冲作用的影响而混合了部分地壳物质, 而岩浆在上升过程中受地壳物质混染的可能性不大(Miller et al., 1999)。另外, 用 Nb/Ta-La/Yb 相互关系做进一步检验, 如果岩浆在上升侵位过程存在明显的地壳混染, 基性脉岩在该图上的标绘点应当呈现出负相关关系(Münker, 1998)。该区脉岩样品的 La/Yb 值变化很小, 故在相关图中(略)并不呈现出负相关关系。在部分熔融或分离结晶作用中, 一般不影响不相容元素(尤其是强不相容元素)之间的比值。我们采用 K、Rb 两个不相容元素同时对第三种元素 Ba 作标准化, 在 K/Ba-Rb/Ba 相关图中(略), 两者构成了一条良好的正相关直线关系。这也从另一角度提供了源区混合交代作用的地球化学证据(邓万明等, 2001)。另外, 邱检生等(2001)和 Zhang 等(2002a, b)通过对鲁西地区富钾火山岩和脉岩的研究, 都得出鲁西地区中生代岩浆岩 Sr、Nd、Pb 同位素组成特征(高 Sr、Pb 和低 Nd)并非由岩浆上升过程中地壳物质的混染引起的。大量的证据表

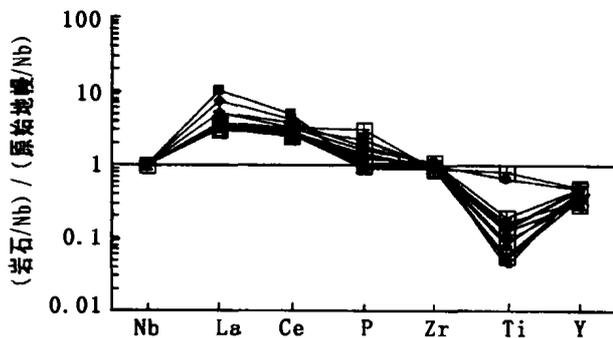


图 7 鲁西基性脉岩的 Nb 标准化蛛网图

Fig. 7 Niobium-normalized spidergrams of mafic dikes from western Shandong

明,鲁西地区富集源区的形成是由源区混合作用所致。

壳幔混合交代作用需要大量流体的参与,而引起地幔交代作用的流体主要有三种:① 深部地幔上升的流体(Green et al., 1988; Meen et al., 1989); ② 板块俯冲使富含 ALK、LREE 及不相容元素的海底沉积物被带入地幔脱水形成的流体(Holm et al., 1982; Ujike, 1988); ③ 地幔局部熔融形成的流体(Schiano et al., 1992)。目前,大多数人认为地幔交代作用是洋壳俯冲潜没过程中或之后脱水作用的结果。Baua 等(1993)认为,地幔交代作用是岩石圈板块来源的含水流体和部分熔融共同作用的结果。在 Nb<sup>\*</sup>/U-Th/La 图(Klein et al., 1995)和 Ce/Nb-Th/Nb 相关图(Saunders et al., 1988)中(略),研究区基性脉岩相应变量组成与大洋壳和远洋沉积物相当。暗示地幔交代作用与大洋板块的俯冲有直接关系。

### 5.3 动力学背景

从三叠纪(距今 250 Ma)开始,太平洋板块与欧亚大陆发生强烈的挤压碰撞作用和俯冲作用,从而使中国广大东部地区从中生代开始成为活动大陆边缘(胡受奚等, 2001)。基性脉岩主量元素(TiO<sub>2</sub> < 1.3%)、微量元素组成上类似于大陆边缘弧钙碱性玄武岩(Pearce, 1982; Gill, 1987),同样,在 Th-Hf/3-Ta 图解(Pearce, 1982)(略)和 Th/Yb-Ta/Yb(Pearce, 1982)图解(略)中,研究区脉岩都落于破坏性大陆边缘和大陆边缘弧内。脉岩产出时代(72.2~116.3 Ma)为晚中生代(白垩纪),结合中国东部地质演化历史,此时鲁西地区已完全成陆(任纪舜, 1999)。另外,据作者对鲁西方城岩区的青山组钙碱性火山岩研究(刘燊等, 2003),该火山岩也具有与研究区基性脉岩相似的地球化学特征。暗示在岩浆形成之前在鲁西地区存在着一次与古大洋板块有关的俯冲作用。

近年来,几乎所有的研究者都承认扬子板块与华北板块碰撞前苏-鲁洋的存在。吴根耀等(2002a)认为,苏-鲁洋在三叠纪时发生了大规模的消减,晚侏罗世一早白垩世再次发生了消减并闭合。苏-鲁洋的闭合导致了我国东部高原(燕山造山带)的形成,同时扬子岩石圈被重的大洋岩石圈拽入华北大陆岩石圈地幔中(Zhang et al., 2002b),伴随俯冲速度的加快,扬子岩石圈地幔与地壳发生分离(Chemenda et al., 2000),扬子岩石圈地幔继续向下俯冲,但扬子地壳由于自身密度相对周围地幔较小,从而由于浮力作用上升至华北板块岩石圈底部,在软流圈底

侵作用下扬子下地壳物质发生大范围熔融(Skjerlie et al., 2002),地壳物质经过熔融上侵,与华北古老岩石圈地幔发生连续广泛的交代作用,从而形成了下插的大洋板块,上覆的楔型地幔和扬子下地壳物质组成的类似弧火山的富集地幔源,但诱发岩石部分熔融作用并未在俯冲作用的同时,而是在拉张(或超壳断裂)背景之下,地幔岩石熔点迅速降低,在上涌地幔流体的共同作用下,从而引起富集岩石圈地幔的广泛熔融,随之在山东地区产生了大量的以富集大离子亲石元素、LREE,并具有下地壳 Pb 同位素特点的基性脉岩和同时期的青山组火山岩(刘燊等, 2003; 刘燊, 2004)。另外,邱检生等(2001)也认为,鲁西和胶东地区富集地幔的形成与扬子板块向华北板块的俯冲(约 240Ma)有关。基性岩浆由于密度较小,迅速上升冷却,加之来源深度较浅(尖晶石相地幔),故遭受地壳物质的混染作用不强。但成岩过程中可能存在着橄榄石和单斜辉石等矿物的分离结晶作用,暗示了岩浆的初始温度较低。然而,控制脉岩形成的构造因素有哪些呢?一方面,白垩纪期间,燕山造山带发生快速坍塌,导致了地幔上涌和山东地区岩石圈快速张裂(吴根耀等, 2002b);另一方面,郯庐断裂带(山东段称沂沭断裂带)纵贯山东全境,它的活动无疑会对两侧地块(鲁西及胶东地体)以及其内的岩浆活动产生影响。由于它的左行平移运动(110~130 Ma)(朱光等, 1995),鲁西地区产生了以 NW 向为主的次级伴生断裂系,在胶东则伴生有以 NE 向为主的次级断裂系,构成典型的鱼骨状结构(宋明春等, 2001)。研究区内岩脉走向为 NW 向,与郯庐断裂带左行平移在鲁西地区伴生的以 NW 向为主的次级断裂走向相同。暗示脉岩的产出在构造上可能受控于这些次级断裂。郯庐断裂带走滑期同时控制了其两侧大量出露的早白垩世青山组火山岩,目前青山组火山岩中地幔捕虏体的发现(邱检生等, 1993),表明走滑断裂至少切入到壳幔边界,到了晚白垩世至第三纪(朱光等, 2001),郯庐断裂带开始发生强烈的伸展活动,引起鲁西地区岩石圈大范围的破裂, NW 向断裂进一步下切地壳,产生超壳断裂。从研究区内基性脉岩的年龄分布看,以上构造条件都可能控制了鲁西晚中生代基性脉岩的产出。

## 6 结论

(1) 研究区基性脉岩年龄为 72.2~116.3 Ma, 为晚中生代岩浆作用的产物。总体属钙碱性系列岩

石。地球化学特征表明它为交代富集地幔部分熔融作用的产物。岩浆在上升侵位过程中没有遭受明显的地壳混染作用,但可能经历了以橄榄石、单斜辉石、Ti-Fe 氧化物以及少量斜长石的分离结晶。

(2) 脉岩在构造上可能同时受控于燕山造山带坍塌、沂沭断裂(郯庐断裂山东段)的左行平移和伸展活动。

(3) 研究区基性脉岩形成于大陆板内环境,却表现出大陆边缘弧玄武岩的地球化学特性,表明岩浆作用之前存在大洋(苏-鲁洋)的俯冲作用。

**致谢** 成文过程中得到了吴福元教授和迟效国教授的指导,薄片鉴定过程中战新志老师给予了帮助!

### 参 考 文 献

- 程小久,程景平,王江海. 1998. 胶东蓬家乔金矿区钾玄质煌斑岩的元素地球化学研究. *地球化学*, 27(1): 91~99.
- 邓晋福,赵海玲,莫宜学,等. 1996. 中国大陆根柱构造—大陆动力学的钥匙. 北京:地质出版社, 1~160.
- 邓万明. 1995. 喀喇昆仑—西昆仑地区蛇绿岩的地质特征及其大地构造意义. *岩石学报*, 11(增刊): 98~111.
- 邓万明,孙宏娟,张玉泉. 2001. 囊谦盆地新生代钾质火山岩成因岩石学研究. *地质科学*, 36(3): 304~318.
- 胡瑞忠,金景福. 1990. 贵东花岗岩中煌斑岩的成因. *矿物岩石*, 10(4): 1~7.
- 胡受奚,王鹤年,王德滋,等. 1998. 中国东部金矿地质学及地球化学. 北京:科学出版社.
- 胡受奚,孙景贵,凌洪飞,等. 2001. 中生代苏鲁活动大陆边缘榴辉岩、煌斑岩、金矿及富集地幔间的成因联系. *岩石学报*, 17(3): 425~435.
- 李曙光,聂永红,郑双根,等. 1997. 俯冲陆壳与上地幔的相互作用—I. 大别山镁铁-超镁铁岩的主要元素及微量元素地球化学. *中国科学(D辑)*, 27(6): 488~493.
- 李献华,胡瑞忠,饶冰. 1997. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学. *地球化学*, 26(2): 14~31.
- 李献华. 1990. 诸广山岩体内中基性岩脉的成因探讨: Sr, Nd, O 同位素证据. *科学通报*, 35(16): 1247~1249.
- 李献华,周汉文,韦刚健,等. 2002. 滇西新生代超钾质煌斑岩的元素和 Sr-Nd 同位素特征及其对岩石圈地幔组成的制约. *地球化学*, 31(1): 26~34.
- 刘洪文,邢树文,孙景贵. 2002. 胶西北两类金矿床暗色脉岩的碳、氧同位素地球化学研究. *吉林大学学报(地球科学版)*, 32(1): 11~15.
- 刘荣,胡瑞忠,赵军红,等. 2003. 鲁西青山组火山形成的构造背景及其成因探讨: 主元素和微量元素证据. *地球化学*, 32(2): 306~316.
- 刘荣. 2004. 山东地区中生代岩浆作用与地壳拉张——兼论煌斑岩与金成矿的关系. 中国科学院地球化学研究所[博士论文].
- 邱检生,王德滋,任启江,等. 1993. 郯庐断裂及其邻区中生代地幔交代作用与钾质岩浆成因. 见: IGCP 第 321 项中国工作组编. 亚洲的增生. 北京:地震出版社, 139~142.
- 邱检生,王德滋,周金城,等. 1996. 山东中生代橄榄安粗岩系火山岩的地质地球化学特征及岩石成因. *地球科学—中国地质大学学报*, 21(5): 546~551.

- 邱检生,徐夕生,罗清华. 2001. 鲁西富钾火山岩和煌斑岩的<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 定年及源区示踪. *科学通报*, 46(18): 1500~1508.
- 宋明春,李洪奎. 山东省区域地质构造演化探讨. 2001. *山东地质*, 17(6): 12~38.
- 孙景贵,胡受奚,沈昆,等. 2001. 胶东金矿区矿田体系中基性-中酸性脉岩的碳、氧同位素地球化学研究. *岩石矿物学杂志*, 20(1): 47~56.
- 孙景贵,胡受奚,凌洪飞. 2000. 胶东金矿区高钾-钾质脉岩地球化学与俯冲—壳幔作用的研究. *岩石学报*, 16(3): 401~412.
- 任纪舜. 1999. 中国及邻区大地构造图(1: 5000000). 北京:地质出版社.
- 吴根耀,陈焕疆,马力,等. 2002a. 苏皖地块-特提斯演化阶段独立的构造单元. *古地理学报*, 5(2): 77~87.
- 吴根耀,陈焕疆,马力,等. 2002b. 中国东部燕山期高原的发育及对矿产和油气资源的启示. *石油实验地质*, 24(1): 3~12.
- 张成立,周鼎武,刘颖宇. 1999. 武当山地块基性岩墙群地球化学研究及其大地构造意义. *地球化学*, 28(2): 126~135.
- 赵振华. 1997. 微量元素地球化学原理. 北京:科学出版社, 1~169.
- 朱光,徐嘉伟,孙世群. 1995. 郯庐断裂带平移时代的同位素年龄证据. *地质论评*, 41(5): 452~456.
- 朱光,王道轩,刘国生,等. 2001. 郯庐断裂的伸展活动及其动力学背景. *地质科学*, 36(3): 269~278.

### References

- Baua M, Knittel U. 1993. Significance of slab-derived partial melts aqueous fluids for the genesis of tholeiitic and calc-alkaline island-arc basalts, evidence from Mt. Arayat, Philippines. *Chem. Geol.*, 105: 233~251.
- Chemenda A I, Burg J P, Mattauer M. 2000. Evolutionary model of the Himalaya-Tibet system: Geopem based on new modeling, geological and geophysical data. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 74: 397~409.
- Cheng Xiaojie, Cheng Jingping, Wang Jianghai. 1998. Eelement geochemistry of shoshonitic lamprophyres in the pengjiakuang gold district, Shandong province. *Geochimica*, 27(1): 91~100 (in Chinese with English abstract).
- Condie K C. 1997. Source of Proterozoic mafic dyke swarms: Constraints from Th/Ta and La/Yb ration. *Precamb Res.*, 81: 3~14.
- Deng Wanming. 1995. Geological features of ophiolite and tectonic significance in the Karakorum-West Kunlun Mts. *Acta Petrol Sinica*, 11 (Suppl): 98~111 (in Chinese with English abstract).
- Deng Jinfu, Zhao Hailing, Mo Xuanxue, et al. 1996. Continental root-pole tectonic of China—the key of continental dynamics. Beijing: Geology press, 1~160 (in Chinese).
- Deng Wanming, Sun Hongjuan, Zhang Yuquan. 2001. Petrogenesis of Cenozoic potassic volcanic rocks in Nangqen basin. *Chinese Journal of Geology*, 36(3): 304~318 (in Chinese with English abstract).
- Gill J B. 1987. Early geochemical evolution of an oceanic island arc and backarc: Fiji basin. *Journal of Geology*, 95: 589~615.
- Green D H, Wallace M E. 1988. Mantle metasomatism by ephemeral carbonatite melts. *Nature*, 336: 459~462.
- Guo F, Fan W M, Wang Y J, et al. 2003. Geochemistry of late Mesozoic mafic magmatism in west Shandong Province, eastern China: Characterizing the lost lithospheric mantle beneath the

- north China block. *Geochemical Journal*, 37: 63~77.
- Holm P M and Munksgaard N C. 1982. Evidence for mantle metasomatism: An oxygen and strontium isotope study of Vulsinian District, Central Italy. *Earth Planet Sci. Lett.*, 60: 376~388.
- Hu Ruizhong, Jin Jingfu. 1990. The origin of lamprophyre in Guidong granitic complex. *Mineral Petrol*, 10(4):1~7 (in Chinese with English abstract).
- Hu Shouxi, Wang Henian, Wang Dezi, et al. 1998. *Geology and Geochemistry of the gold deposit in eastern China*. Beijing: Science Press, (in Chinese).
- Hu Shouxi, Sun Jinggui, Ling Hongfei, et al. 2001. Genetic relationship between eclogite, lamprophyres, gold deposit and enriched mantle of Su-Lu active continental margin in Mesozoic, China. *Acta Petrologica Sinica*, 17 (3): 425~435.
- Klein E M, Karsten J L. 1995. Ocean ridge basalts with convergent margin geochemical affinities from the southern Chile Ridge. *Nature*, 374: 52~57.
- Li Shuguang, Nie Yonghong, Zheng Shuanggei, et al. 1997. Interaction between subducted continental crust and upper mantle — Major and trace elements geochemistry of mafic-ultramafic rocks in Dabie Mountains. *Science in China (D)*, 27(6): 488~493 (in Chinese).
- Li Xianhua. 1990. Discussion on genesis of intermediate and mafic dikes from Zhuguangshan rock body; Evidence from Sr, Nd and O isotope. *Chinese Sci. Bull.*, 35(16):1247~1249(in Chinese).
- Li Xianhua, Hu Ruizhong, Rao Bing. 1997. Geochronology and geochemistry of Cretaceous mafic dikes from northern Guangdong, SE China. *Geochimica*, 26(2): 14~31 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Wei Gangjian, et al. 2002. Geochemistry and Sr-Nd isotopes of Cenozoic ultrapotassic lamprophyres in western Yunnan; Constraints on the composition of sub-continental lithospheric mantle. *Geochimica*, 31 (1): 26~34 (in Chinese with English abstract).
- Liu Hongwen, Xiang Shuwen, Sun Jinggui. 2002. Oxygen and carbon isotope geochemistry of dark dikes in two types of gold deposits of northwest Jiaodong peninsula. *Journal of Jilin University (Earth Science edition)*, 32 (1) : 11 ~ 15 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shen, Hu Ruizhong, Zhao Junhong, et al. 2003. Tectonic setting and petrogenesis of Qingshan Formation volcanic rocks in western Shandong Province; evidence from major elements and trace elements. *Geochimica*, 32(2):306~316 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shen. 2004. The Mesozoic magmatism and crustal extension in Shandong Province. China—additionally discussing the relationship between lamprophyres and gold mineralization. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences; Ph. D dissertation.
- Myers R E and Bretkopf J H. 1989. Basalt geochemistry and tectonic settings: A new approach to relate tectonic and magmatic processes. *Lithos.*, 23 (1/2): 53~62.
- Munker C. 1998. Nb/Ta fractionation in a Cambrian arc/back system, New Zealand; sourceconstraints and application of refined ICPMS techniques. *Chem. Geol.*, 144: 23~45.
- Meen J K, Egger D, Ayers J C. 1989. Experimental evidence for very low solubility of rare-earth elements in CO<sub>2</sub>-rich fluids at mantle condition. *Nature*, 340: 201~303.
- Miller C, Schuster R, Klotzli U, et al. 1999. Post-collisional potassic and ultrapotassic magmatism in SW Tibet; Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis. *Journal of Petrology*, 40 (9):1399~1424.
- Ouma N, Ninomiya S, Nagasawa H. 1981. Mineral/groundmass partition coefficients for nepheline, melilite, clinopyroxene and perovskite in melilite-nepheline basalt, Nyiragongo, Zaire. *Geochem. J.*, 15:221~228.
- Pearce J A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe R S, ed. *Andesites*. New York: Wiley, 528~548.
- Qiu Jiansheng, Wang Dezi, Ren Qijiang, et al. 1993. Mesozoic mantle metasomatism and Potash magmatic genesis of Tanlu fault and adjacent regions. In: 321 projects in IGCP edited by China working group, Asian Accretion. Beijing: Seismological Press, 139~142 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Jiansheng, Wang Dezi, Zhou Jincheng, et al. 1996. Geology, geochemistry and petrogenesis of Mesozoic kohalaite in Shandong. *Earth Science — Journal of Earth University of Geoscience*, 21 (5): 546~551(in Chinese).
- Qiu Jiansheng, Xu Xisheng, Luo Jinghua. 2001. The <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar dating and resource denoting of the potash-rich volcanic rocks and lamprophyres in western shandong province. *Chinese Sci. Bull.*, 46 (8):1500~1508(in Chinese).
- Ren Jishun. 1999. editor in chief. *The map of Geo-structure of China and its adjacent areas (1:5000000)*. Beijing: Geology press, (in Chinese).
- Saunders A D, Norry M J, Tarney J. 1988. Origin of MORB and chemically-depleted mantle reservoirs; trace element constraints. *J. Petrol.*, (Special Lithosphere Issue): 415~445.
- Schiano P, Clocchiati R, Joron J L. 1992. Melt and fluid inclusions in basalts and xenoliths from Tahaa Island, Society archipelago: evidence for a metasomatized upper mantle. *Earth Planet Sci. Lett.*, 111: 69~82.
- Skjerlie K P and Douge A E. 2002. The fluid-absent partial melting of a zoisite-bearing quartz eclogite from 1.0 to 3.2 GPa; implication for melting in thickened continental crust and for subduction-zone processes. *J. Petrol.*, 43:291~314.
- Song Mingchun, Li Hongkui. 2001. Discussion of regional tectonic evolution of Shandong province. *Shandong Geology*, 17 (6): 12~38 (in Chinese with English abstract).
- Sun Jinggui, Hu Shouxi, Ling Hongfei. 2000. Study on the geochemistry and subduction-crust mantle interaction of the high potassium-potassium dike rocks in gold deposits concentration zone of east Shandong, China. *Acta Petrologica Sinica*, 16(3):401~412 (in Chinese with English abstract).
- Sun Jinggui, Hu Shouxi, Shen Kui, et al. 2001. Research on C, O isotopic geochemistry of intermediate-basic and intermediate-acid dykes in goldfields of Jiaodong peninsula. *Acta Petrologica ET Mineralogica*, 20 (1):47~56 (in Chinese with English abstract).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In:Saunders A D and Norry M J, eds. *Magmatism in the ocean basins*. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 42: 313~345.
- Sun S S and Nes R W. 1978. Petrogenesis of Archean ultrabasic and basic volcanic rocks; Evidence from rare earth elements. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 65: 301~325.
- Turner S, Arnaud N, Liu J, et al. 1996. Post-collision, shoshonitic

- volcanism on the Tibetan plateau; Implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts. *J. Petrol.*, 37: 45~71.
- Ujike O. 1988. Probable mineralogical control on the mantle metasomatic fluid composition beneath the Northeast Japan arc. *Geochim Cosmochim. Acta.* 52: 2037~2046.
- Willan R C R, Kelley S P. 1999. Mafic dikes swarms in the south Shetland islands volcanic arc: Unravelling multiepisodic magmatism related to subduction and continental rifting. *J. Geophys. Res.*, 104 (B10): 23051~23068.
- Winchester J A, Floyd P A. 1976. Geochemical magma type discrimination; Application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. *Earth Planet Sci. Let.*, 28: 459~469.
- Wu Genyao, Chen Huanjiang, Ma Li, et al. 2002a. Su-Wan Block: An independent tectonic unit during period of Tethyan evolution. *Journal of Palaeogeography*, 4 (2): 77~87.
- Wu Genyao, Chen Huanjiang, Ma Li, et al. 2002b. Occurring of the east China Yanshanian plateau and its inspiration to mineral and petroleum resources evolution. *Petroleum Geology & Experiment*, 24 (1): 3~12.
- Yang J H, Chung S L, Zhai M G, et al. 2004. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of mafic dikes from the Jiaodong Peninsula, China: evidence for vein-plus-peridotite melting in the lithospheric mantle. *Lithos.*, 73: 145~160.
- Zhang Chengli, Zhou Jingwu, Liu Yingyu. 1999. Geochemistry of basic dykes in Wudangshan block and their tectonic significance. *Geochimica.* 28 (2): 126~135 (in Chinese with English abstract).
- Zartman R E and Doe B R. 1981. Plumbotectonics - the model. *Tectonophysics*, 75: 135~162.
- Zhang H F and Sun M. 2002b. Geochemistry of Mesozoic basalts and mafic dikes, southeastern north China Craton, and Tectonic implications. *International Geology Review*, 44: 370~382.
- Zhang H F, Sun M, Zhou X H, et al. 2002a. Mesozoic lithosphere destruction beneath the North China Craton: evidence from major-, trace-element and Sr-Nd-Pb isotope studies of Fangcheng basalts. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 144: 241~253.
- Zhao Zhenhua. 1997. The principle of trace elements geochemistry. Beijing: Science Press, 1~169 (in Chinese).
- Zhu Guang, Wang Daoxuan, Liu Guosheng, et al. 2001. Extension action and dynamics setting of Tanlu fault. *Chinese Journal of Geology*, 36 (3): 269~278 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Guang, Xu Jiawei, Sun Shiqun. 1995. Isotopic evidence of the parallel move time of Tan-Lu fault. *Geological Review*, 41(5): 452~456 (In Chinese with English abstract).

## Genesis and Source Characteristics of the Mafic—Ultramafic Dikes in West Shandong Province: Evidence from Petrology and Geochemistry

LIU Shen, HU Ruizhong, Zhao Junhong, FENG Caixia

*Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002*

### Abstract

In this paper, analyses of major elements and trace elements for mafic dikes in several rock areas of the Zibo basin in West Shandong Province are reported. The K-Ar ages of the dikes range between 72.16 Ma and 116.3 Ma, indicating that the mafic dikes are part of the result of Late Mesozoic magmatism. Based on petrology and geochemistry, the genesis and the source features of the dikes were studied. As a whole, the dikes are attributed to the calc-alkaline series in terms of major elements. As regards trace elements characteristics, the dikes resulted from partial fusion of mantle source rock and, at the same time, might undergo fractional crystallization of ol, cpx, Ti-Fe oxide and weak plagioclase during the lithogenic process.  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=36.308\sim38.329$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.170\sim15.632$  and  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=16.658\sim18.470$ , are similar to those of the lower crust, indicating that there exist a lot of lower crust material in the reservoir. During emplacement, magmas were not subjected to crustal contamination, but the dikes are controlled by the collapse of the Yanshanian orogenic belt and the action (left handed advection and extension) of the Tanlu fault, showing characteristics of CABM. This shows that there existed subduction of the paleo-ocean plate (the Su-Lu ocean) (namely paleosubduction) before magmatism.

**Key words:** Mesozoic; dikes; resource; genesis; West Shandong