

北京周边二叠系山西组泥岩地球化学特征 及其地质意义

刘清俊 林海亮 柯柏林 林天懿 尹腾宇 付昌鸿 赵连海 邢 罡

(北京市地质勘察技术院, 北京 102218)

摘要: 对采自北京周边的二叠系山西组露头及钻井泥岩样品进行了岩石学和地球化学研究, 结果表明, 岩石主要由粘土矿物和石英组成, 兼有少量碳酸盐岩和长石, 岩石中碳酸盐岩含量的高低与 CaO、MgO 含量有很好的对应关系, SiO₂、Na₂O 和 K₂O 亏损, TiO₂ 和 Fe₂O₃^T 富集, 反映了基性物源的存在; 微量元素特征比值显示源区母岩为非单一物源, 稀土元素总量较高, 轻稀土元素富集, 重稀土元素平坦, 铈大部分具明显负异常、少部分微弱正异常, Ce 基本无异常, 显示为多物源, 各样品稀土元素配分模式与大陆上地壳一致, 显示了沉积物具有同源性。源岩应为来自于华北地块北缘的大陆上地壳的沉积岩、花岗岩和碱性玄武岩的混合。二叠系山西组泥岩沉积于覆水较深的还原环境, 源区构造背景为大陆岛弧与活动大陆边缘。

关键词: 北京周边; 二叠系; 山西组; 泥岩; 地球化学特征

中图分类号: P588.22; P59

文献标识码: A

文章编号: 1000-6534(2014)03-0491-12

Geochemical characteristics of Permian Shanxi Formation mudstones in Beijing and their geological significance

LIU Qing-jun, LIN Hai-liang, KE Bai-lin, LIN Tian-yi, YIN Teng-yu, FU Chang-hong,
ZHAO Lian-hai and XING Gang

(Beijing Institute of Geo-exploration Technology, Beijing 102218, China)

Abstract: The petrological and geochemical characteristics of Permian Shanxi Formation mudstones in Beijing were investigated to determine the provenance, paleoenvironment and tectonic setting of the rocks, which are mainly composed of clay minerals and quartz, with carbonate and feldspar as minor components. The carbonate content of the rocks has good correspondence with content of CaO and MgO. The SiO₂, Na₂O and K₂O are depleted whereas Al₂O₃, TiO₂ and Fe₂O₃^T are enriched, reflecting a basic source. The mudstones show homogeneous REE content, relative enrichment of LREE and depletion of HREE, with most obviously negative Eu anomalies, less or no Eu positive anomalies, and almost no Ce anomalies. The REE distribution patterns show that they have the same source rocks composed of sedimentary rock, granite and alkaline basalt from the upper continental crust of the northern margin of North China, as is also shown by the ratios of trace elements. They were deposited in a reducing environment with relatively deep water. The tectonic settings of the source area are continental island arc and active continental margin.

Key words: Beijing; Permian; Shanxi Formation; mudstone; geochemical characteristics

收稿日期: 2013-10-16; 修订日期: 2014-03-26

基金项目: 北京市委、市政府重点工作及区县应急项目预启动下子课题(Z121100000312034); 北京市优秀人才培养资助项目

作者简介: 刘清俊(1974-), 女, 工程师, 博士, 主要从事石油地质与非常规油气地质研究, E-mail: Liuqingjun8@sohu.com; 通讯作者: 林海亮(1980-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事地热地质及非常规油气地质研究, E-mail: Linhailiang@sohu.com.

细粒沉积物中的微量元素和稀土元素已广泛应用于沉积盆地的物源分析及区域大地构造研究 (Condie, 1991; 朱如凯等, 2002)。稀土元素在沉积和变质过程中具有稳定性较强、不易迁移的特点, 能较好反映母岩的地球化学学习性, 是很好的物源指示剂 (Taylor and McLennan, 1985; Prudencio *et al.*, 1989)。北京周边二叠系沉积物的源区及构造背景研究相对薄弱。本文拟以地球化学分析为手段, 对北京周边二叠系山西组泥岩的地球化学特征进行研究, 并探讨其物源属性及形成的大地构造背景。

1 区域地质背景

寒武纪至二叠纪末, 华北板块经历了加里东和

海西两次大规模的构造运动。加里东运动使华北板块抬升, 使研究区缺失了晚奥陶世、志留纪、泥盆纪及早中石炭世沉积 (马永生, 2005)。至晚石炭世早期, 海西运动使华北板块下沉接受沉积, 形成了海陆交互的沉积建造。由于全球海平面变化及海西期构造运动的共同作用, 使研究区频繁发生海水进退 (李伟等, 2009), 最终发育了石炭-二叠纪海陆交互相含煤沉积, 之后构造运动趋于活跃 (崔盛芹等, 2000), 导致区内地层分布比较局限 (图 1)。

2 样品采集与分析方法

二叠系山西组样品主要采自北京西部门头沟地热井 YR1, 北京西部朝阳区地热井 SRG1, 北京东部

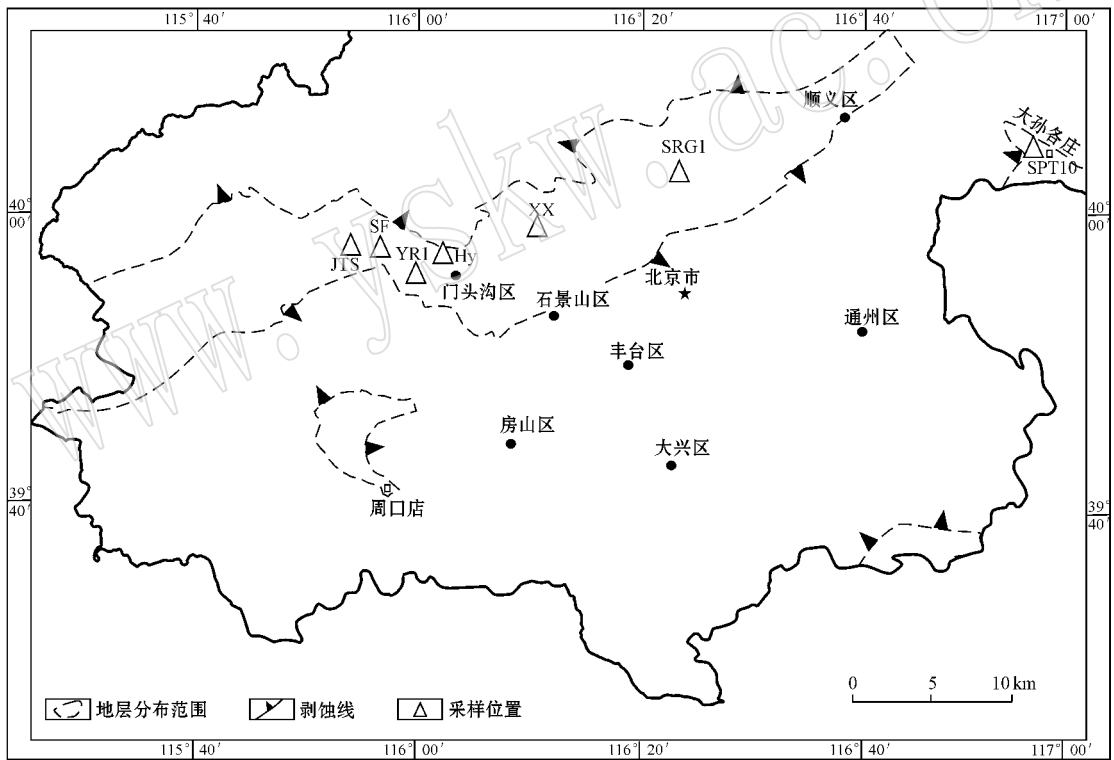


图 1 研究区及采样位置

Fig. 1 Location of the study area, showing sampling sites

顺义地热井 SPT10, 北京中部地热井 XX 及北京西部山区的野外露头 Hy、SF、JTS。共测试分析样品 32 件。样品均为二叠系山西组黑色泥岩, 具泥质结构。XRD 分析表明岩石主要由粘土矿物 (26% ~ 72%, 平均 49%) 和石英 (18% ~ 66%, 平均 36.64%) 组成, 兼有少量长石 (2% ~ 24%, 平均 6.55%) 和碳酸盐岩 (0 ~ 37%, 平均 7.26%) (表 1)。

YR1-2、YR1-5、YR1-6、SRG1-2 及 XX 样品碳酸盐岩含量很高, 其它样品不含碳酸盐岩或含量很少 (表 1)。粘土矿物中伊利石含量最高, 其次为伊蒙混层和绿泥石, 基本不含蒙脱石 (表 1)。

山西组泥岩的地球化学测试分析均在任丘市华北石油邦达新技术有限公司完成。常量元素分析在 Axios max X 射线荧光光谱仪上完成, 微量元素与稀

表1 北京周边地区二叠系山西组泥岩全岩定量分析及粘土矿物分析
Table 1 Bulk chemical composition and clay composition of Permian Shanxi Formation mudstones in Beijing

样品号	全岩定量分析										粘土矿物相对含量							w _D /%	
	石英		长石		方解石		白云石		黄铁矿		粘土矿物		K	C	I	S	I/S		S%
	钾长石	斜长石	总量	总量	总量	总量	磷酸盐岩	菱铁矿	总量	总量	总量								
YR1-1	33	1	2	3							64	9	64	27	60				
YR1-2	22	1	1	2	15	10				25	51	18	56	26	50				
YR1-3	29	1	2	3	4					4	64	31	65	4	50				
YR1-4	26	3		3	2					2	69	8	60	28	50				
YR1-5	31	2	3	5	32	2			1	34	29	18	77	5	50				
YR1-6	34	1	2	3	1	36				37	26	18	77	5	45				
YR1-7	62	2	7	9							29	4	74	9	50				
SRG1-1	21	1	2	3	3	1				4	72	13	26	58	50				
SRG1-2	28	1	1	2	6	8				14	56	21	47	29	40				
XX	38	1	3	4		29		2		31	27	9	91						
SPT10	20		10	10	7	4			4	11	55	16	11	4	50				
Hy1	43	2	4	6							51	16	60	24	5				
Hy2	50	2	4	6							44	4	81	15	5				
Hy3	43	2	3	5				3		3	49	4	84	12	5				
Hy4	48	1	3	4				2		2	46	17	72	11	5				
Hy5	66	1	2	3							31	4	96						
Hy6	18	7	17	24							58	10	90						
Hy7	38	2	4	6						7	56	38		55	10				
Hy8	44	4	5	9							47	7	32	61	10				
Hy9	21	6	9	15						2	64	1	8	89	5				
SF1	47	4	10	14							39	4	96						
SF2	44	2	3	5							51	28	72						
JTS	16	2	5	7						3	77	95	2						

注: YR1-1至YR1-7、SRG1-1、SRG1-2、XX、SPT10为钻井岩屑样品; Hy1至Hy7、SF1、SF2与JTS为野外露头样品,以下同; K—高岭石; I—伊利石; C—绿泥石; S—蒙脱石; I/S—伊蒙混层; S%—蒙脱石在伊蒙混层中百分比。

土元素分析在 X Serise II 等离子体质谱仪上完成。

3 测试结果

3.1 常量元素

山西组泥岩样品主量元素分析结果列于表 2。与上地壳相比(Taylor and McLennan, 1985)(图 2a、2b), SiO_2 、 Na_2O 和 K_2O 含量偏低, 分别为 53.33% (25.49% ~ 64.70%)、1.18% (0.19% ~ 3.67%) 和 2.24% (0.73% ~ 4.38%)。CaO 和 MgO 含量变化较大, YR1-2、YR1-5、YR1-6 样品的 CaO 和 MgO 含量偏高, 其它样品偏低。高 CaO 和 MgO 样品与其中高碳酸盐岩组分有很好的对应关系(表 1、表 2)。CaO 与 SiO_2 之间的相关系数为 -0.7, 它们之间的这种负相关性表明, 无论岩石中的碎屑碳酸盐岩还是基质(杂基)中的碳酸盐组分均系原生而非次生, 因为次生碳酸盐矿物的影响会导致 CaO 和 SiO_2 之间的离散(Feng and Kerrich, 1990; Gu, 1994, 1996)。 Al_2O_3 、 TiO_2 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$ 含量较上地壳富集, 分别为 19.27% (9.08% ~ 34.69%)、0.77% (0.40% ~ 1.26%) 和 4.65% (1.10% ~ 7.30%)。在元素总

量较亏损的情况下, TiO_2 含量和 $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$ 含量仍然较富集, 据此可以推断, 山西组泥岩样品具有较上地壳偏基性的物源。

3.2 微量元素与稀土元素

山西组泥岩样品微量元素含量总体与上地壳相似(表 3、图 2c、2d)。钻井样品微量元素含量(图 2c)较野外露头样品微量元素含量(图 2d)具有更好的一致性。钻井和野外露头样品中的 Pb、Y、Sc、V、Cr、Ni 等微量元素均较上地壳富集(图 2c、2d)。Rb、Ba、U、Hf 等微量元素在钻井样品中较上地壳亏损, 在露头样品中亏损与富集均有出现。Th、U、Hf、Zr 及 Sr 等元素在钻井和露头样品中亏损与富集同时出现。Sr 变化尤其明显, 岩石中高碳酸盐岩含量对应于高 Sr 含量, 反之则 Sr 的含量较低(表 1、表 3、图 2c、2d)。这是由于 Sr 元素在碳酸盐岩中含量较高的缘故(Cullers, 2002)。

二叠系山西组泥岩样品稀土元素分析结果见表 4。泥岩稀土元素(不含 Y)总量介于 105.56×10^{-6} (Hy7) ~ 397.72×10^{-6} (YR1-7) 之间, 大多数样品稀土元素总量介于 140×10^{-6} ~ 220×10^{-6} 之间, 样品稀土元素总量平均值为 202.05×10^{-6} (表 4、图 3),

表 2 北京周边地区二叠系山西组泥岩常量元素分析

$\omega_{\text{B}}/\%$

Table 2 Major elements content of Permian Shanxi Formation mudstones in Beijing

项目	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	$\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	MnO	P_2O_5	LOI	TOTAL
YR1-1	64.01	18.45	0.58	5.71	0.37	1.25	1.69	0.97	0.11	0.06	10.59	99.76
YR1-2	35.06	9.85	0.40	4.84	19.92	3.31	1.64	0.45	0.31	0.11	26.46	99.88
YR1-3	59.90	15.64	0.81	7.30	3.51	2.24	2.12	0.43	0.10	0.24	12.31	99.83
YR1-4	55.03	14.24	0.71	3.83	1.75	0.80	1.65	0.95	0.05	0.07	23.94	99.86
YR1-5	35.37	13.04	0.57	4.23	17.76	1.77	1.83	0.79	0.23	0.22	27.69	99.79
YR1-6	40.35	9.08	0.49	4.81	11.60	7.34	2.11	0.19	0.10	0.08	27.00	99.92
YR1-7	64.70	18.39	0.74	2.50	0.50	1.18	2.02	1.41	0.02	0.08	11.42	99.56
SRG1-1	49.13	19.08	0.70	5.84	3.64	1.60	1.43	1.16	0.09	0.21	22.73	99.81
SRG1-2	53.82	15.46	0.81	6.53	4.19	3.09	2.34	0.52	0.09	0.14	17.18	99.83
XX	50.56	12.17	0.61	4.74	7.93	5.33	2.60	0.22	0.09	0.13	19.22	99.76
SPT10	25.49	12.51	0.86	4.01	3.27	2.20	0.73	1.32	0.06	0.33	53.96	99.57
Hy1	59.71	21.01	0.99	6.20	0.57	2.32	3.61	0.41	0.01	0.09	10.86	99.84
Hy2	64.60	19.32	0.95	4.58	0.38	1.43	3.82	0.49	0.01	0.09	9.02	99.82
Hy3	61.76	22.98	0.68	2.93	0.55	0.65	4.38	0.44	0.01	0.08	11.05	99.78
Hy4	64.48	18.66	0.74	5.67	0.37	1.24	3.27	0.44	0.04	0.15	10.47	99.85
Hy5	64.25	18.24	0.88	6.36	0.33	1.66	1.94	0.75	0.03	0.09	11.93	99.83
Hy6	47.23	34.69	1.04	2.76	1.16	0.52	2.16	2.84	0.01	0.10	15.85	99.70
Hy7	64.26	19.70	0.60	5.41	0.45	1.13	2.29	1.11	0.02	0.18	10.24	99.70
Hy8	60.31	23.09	1.26	4.80	0.40	0.65	1.99	1.84	0.01	0.10	11.71	99.72
Hy9	50.12	33.76	0.71	2.03	0.70	0.15	1.41	3.67	0.00	0.04	16.35	99.70
SF1	57.59	23.60	0.76	5.77	0.45	1.29	1.55	2.07	0.02	0.13	13.92	99.66
SF2	64.47	17.11	0.90	5.95	0.24	2.46	2.00	0.44	0.07	0.08	13.02	99.84
JTS	50.95	28.01	0.88	1.10	0.30	0.37	2.33	2.71	0.01	0.03	18.00	99.74

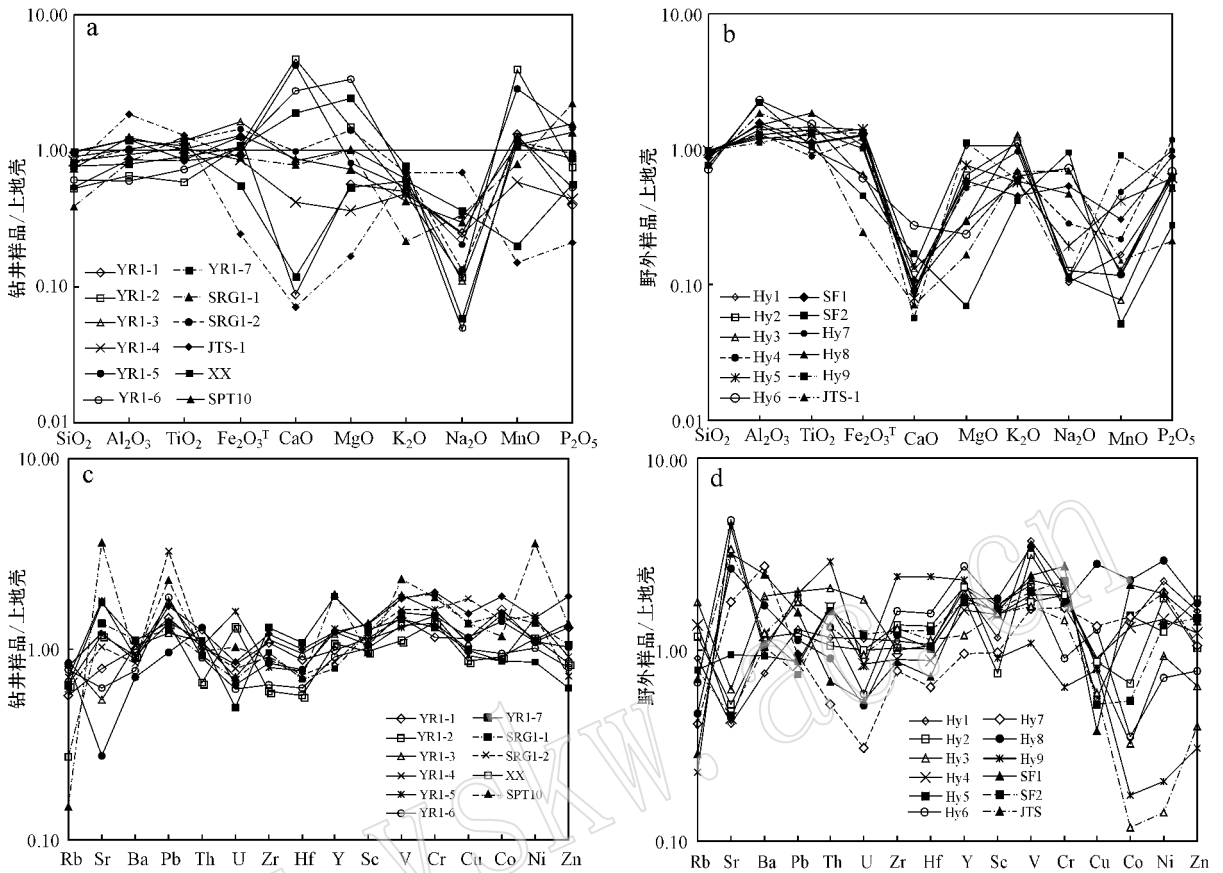


图 2 主要元素与微量元素 UCC 标准化蜘蛛图解

Fig. 2 Spider diagram of major and trace element compositions of mudstones in Permian Shanxi Formation normalized against UCC values

稍高于北美页岩的稀土元素总量(173.21×10^{-6}), 并高于上地壳的稀土元素平均总量(143×10^{-6}) (Taylor and McLennan, 1985)。这是因为该区地层为含煤地层, 此次采集样品均为有机质较丰富的黑色泥岩, 有机质和粘土矿物均导致了样品稀土元素的富集。LREE/HREE 值介于 $7.45 \sim 14.42$ 之间, 平均为 10.28 , 高于北美页岩 (7.5 , 陈德潜等, 1996) (La/Yb)_N 值介于 $7.26 \sim 20.86$ 之间, 平均为 11.68 ; 高 LREE/HREE 值和 (La/Yb)_N 值说明样品轻重稀土元素分馏明显, LREE 相对富集 (La/Sm)_N 值介于 $3.36 \sim 5.34$ 之间, 平均为 4.10 , 说明轻稀土元素分馏中等 (Gd/Yb)_N 值介于 $1.08 \sim 2.95$ 之间, 平均为 1.82 (接近 1), 说明重稀土元素分馏较低, 曲线平坦。 δEu 介于 $0.59 \sim 1.13$ 之间, 平均值为 0.82 呈现钕负异常; 在所有样品中, 除样品 (YR1-2 = 1.03 , YR1-5 = 1.04 , JTS = 1.02) 与 (Hy7 = 1.06 , Hy9 = 1.13) 分别显示钕无异常和钕微弱正异常外,

其它样品均呈现明显的钕负异常。 δCe 介于 $0.88 \sim 1.30$ 之间, 平均值为 0.96 , 与北美页岩的铈异常值 0.94 相当, 除 Hy9 ($\delta Ce = 1.30$) 样品呈现铈弱正异常外, 其它样品铈无异常。

研究区泥岩样品总体具有稀土元素含量高、轻稀土元素富集、重稀土元素平坦、大部分样品明显具 Eu 负异常、少数样品钕无异常或微弱正异常以及钕基本无异常的特征。

4 讨论

4.1 源岩特征

微量元素 (如 Th, Zr, Hf, Sc, V, Cr, Co, Ni) 及稀土元素的比值对于碎屑物源具有良好的指示作用 (Bhatia and Taylor, 1981; Taylor and McLennan, 1985; McLennan *et al.*, 1993)。Th/Sc 和 La/Sc 值能灵敏地指示沉积物源区岩石的成分特征 (Taylor and

$w_p/10^{-6}$

表 3 北京周边地区二叠系山西组泥岩微量元素分析

Table 3 Trace element content of Permian Shanxi Formation mudstones in Beijing

项目	Rb	Sr	Ba	Pb	Th	U	Zr	Hf	Y	Sc	V	Cr	Cu	Co	Ni	Zn
YR1-1	64.31	277.47	548.70	24.70	10.94	2.34	206.74	5.08	21.74	12.51	87.19	40.48	28.61	16.26	21.83	91.60
YR1-2	73.22	415.53	506.76	23.18	7.17	3.67	114.84	3.32	23.36	10.76	66.99	48.15	21.66	9.16	22.80	59.62
YR1-3	97.50	188.82	568.60	20.54	11.74	1.99	214.54	5.48	26.30	15.00	115.40	55.74	27.15	15.08	22.42	96.41
YR1-4	69.52	361.08	462.02	55.53	10.95	2.21	172.50	4.24	18.84	13.56	96.79	56.29	46.00	14.15	29.80	51.48
YR1-5	79.67	630.09	502.48	30.25	11.12	4.43	151.42	4.46	28.31	12.44	78.07	52.42	23.19	8.62	29.28	64.98
YR1-6	87.71	217.80	421.85	31.93	9.68	1.73	123.67	3.62	20.18	11.10	80.22	47.90	24.86	9.48	20.20	57.27
YR1-7	71.69	613.26	610.17	23.65	11.85	1.39	245.55	6.26	41.40	13.87	86.23	45.18	24.70	8.71	17.13	44.39
SRG1-1	30.38	478.08	620.22	21.39	9.86	1.95	183.01	4.05	17.37	13.33	112.60	68.22	33.95	15.08	27.41	74.39
SRG1-2	91.08	425.43	481.93	28.73	13.38	2.39	227.03	5.78	26.93	14.83	110.20	69.93	38.57	18.83	29.15	135.00
XX	95.00	95.99	389.70	16.40	13.89	1.83	160.95	4.56	27.13	11.66	93.10	52.24	28.96	14.11	21.88	72.71
SPT10	16.69	1268.00	498.10	39.07	10.40	2.88	167.99	4.13	42.92	10.57	139.40	65.14	34.04	11.75	72.02	95.07
Hy1	101.30	143.50	414.70	21.70	12.39	3.18	209.52	6.18	44.83	12.66	220.50	75.02	13.97	13.83	45.83	112.60
Hy2	132.00	180.50	637.40	20.79	11.23	2.76	194.42	5.81	40.49	8.25	186.50	58.91	21.53	6.66	36.84	72.68
Hy3	198.60	218.70	1050.00	34.12	22.56	5.09	188.74	6.09	47.56	18.86	138.10	73.02	20.29	3.24	18.65	46.13
Hy4	150.10	152.90	657.70	14.07	17.78	2.37	168.40	5.10	35.23	16.88	115.20	67.73	22.62	13.17	28.72	86.29
Hy5	87.55	328.00	508.00	14.77	17.96	2.79	254.77	7.73	46.76	16.88	106.00	67.65	21.69	15.03	24.84	129.00
Hy6	75.91	1653.00	580.10	30.70	14.05	1.65	302.61	8.96	60.14	18.69	130.70	31.34	31.99	3.53	14.24	54.63
Hy7	45.74	619.60	1493.00	16.02	5.57	0.86	146.67	3.72	21.10	10.61	97.87	57.62	33.08	14.85	39.71	74.01
Hy8	52.31	926.30	942.70	19.22	9.70	1.44	226.48	5.95	40.59	20.32	207.20	61.58	69.78	23.18	58.34	124.50
Hy9	25.53	1537.00	541.70	33.05	30.82	2.31	458.87	13.93	50.59	9.88	64.52	22.31	19.60	1.74	4.08	21.88
SF1	32.23	1105.00	1357.00	26.76	7.32	1.52	163.85	4.20	40.49	17.48	145.90	95.44	9.41	21.77	39.05	99.88
SF2	88.51	157.70	565.80	12.67	17.01	3.36	237.34	7.24	39.09	17.61	120.00	79.35	13.03	5.40	27.06	103.40
JTS	78.31	1180.80	672.11	30.09	14.25	2.63	245.92	6.48	26.14	16.91	100.20	50.09	14.98	1.18	2.83	28.39

表 4 北京周边地区二叠系山西组泥岩稀土元素分析

 $\omega_B/\%$

Table 4 Rare earth element data of Permian Shanxi Formation mudstones in Beijing

钻井样号	YR1-1	YR1-2	YR1-3	YR1-4	YR1-5	YR1-6	YR1-7	SRG1-1	SRG1-2	XX	SPT10	
La	49.70	34.32	47.49	32.17	35.58	27.54	91.03	50.18	50.70	27.13	42.92	
Ce	95.83	66.09	98.75	62.93	67.87	55.06	167.5	94.53	90.45	56.42	85.12	
Pr	10.47	7.85	11.51	6.95	8.13	6.48	20.44	10.84	11.23	6.81	10.26	
Nd	36.39	29.19	42.52	24.85	29.84	23.68	72.41	39.67	40.01	26.25	38.55	
Sm	6.32	5.79	7.94	4.56	5.91	4.52	12.39	6.83	7.21	4.98	6.26	
Eu	1.48	1.90	1.78	1.32	1.98	1.03	2.55	1.91	1.66	1.12	1.77	
Gd	5.64	5.35	6.83	4.23	5.61	4.29	10.84	5.93	6.53	4.40	5.06	
Tb	0.80	0.84	1.05	0.69	0.96	0.72	1.63	0.84	1.02	0.76	0.73	
Dy	4.19	4.43	5.45	3.71	5.31	3.97	8.20	3.83	5.30	4.20	3.44	
Ho	0.85	0.90	1.10	0.76	1.10	0.82	1.62	0.70	1.06	0.81	0.64	
Er	2.36	2.42	2.91	2.04	3.00	2.23	4.22	1.81	2.92	2.43	1.88	
Tm	0.41	0.40	0.47	0.35	0.50	0.37	0.67	0.28	0.48	0.39	0.29	
Yb	2.46	2.42	2.88	2.09	3.06	2.25	3.66	1.62	2.80	2.52	1.87	
Lu	0.43	0.38	0.46	0.38	0.50	0.36	0.57	0.33	0.46	0.46	0.45	
Σ REE	217.32	162.29	231.12	147.04	169.34	133.33	397.72	219.28	221.82	138.67	199.23	
Σ LREE	200.19	145.14	209.99	132.78	149.31	118.31	366.31	203.96	201.25	122.71	184.87	
Σ HREE	17.14	17.15	21.13	14.26	20.03	15.02	31.41	15.33	20.56	15.96	14.36	
Σ LREE/ Σ HREE	11.68	8.46	9.94	9.31	7.45	7.88	11.66	13.31	9.79	7.69	12.87	
(La/Yb) λ_N	13.61	9.56	11.14	10.38	7.84	8.24	16.76	20.86	12.22	7.26	15.46	
(La/Sm) λ_N	4.95	3.73	3.76	4.44	3.79	3.83	4.62	4.62	4.42	3.43	4.31	
(Gd/Yb) λ_N	1.85	1.78	1.92	1.63	1.48	1.54	2.39	2.95	1.88	1.41	2.18	
δ Ce	0.96	0.93	0.99	0.97	0.93	0.96	0.90	0.93	0.88	0.97	0.95	
δ Eu	0.74	1.03	0.72	0.90	1.04	0.70	0.66	0.90	0.72	0.72	0.93	
露头样号	Hy1	Hy2	Hy3	Hy4	Hy5	Hy6	Hy7	Hy8	Hy9	SF1	SF2	JTS
La	44.83	40.49	47.56	35.23	46.76	60.14	21.10	40.59	50.59	40.49	39.09	33.80
Ce	89.94	81.27	94.99	69.34	92.08	120.6	42.50	78.11	133.9	81.82	80.86	64.52
Pr	10.63	9.90	12.06	8.51	11.10	14.39	5.90	10.12	11.11	10.18	9.79	7.47
Nd	39.40	36.70	43.93	31.87	41.12	53.52	22.63	38.86	37.41	38.30	36.57	26.06
Sm	7.83	6.90	6.67	5.69	7.44	8.96	3.95	6.74	5.96	6.43	6.99	4.60
Eu	1.44	1.45	1.42	1.21	1.47	1.84	1.26	1.80	2.17	1.73	1.54	1.42
Gd	6.66	5.68	4.93	5.21	6.51	6.65	3.07	5.41	5.58	4.95	6.25	3.75
Tb	1.09	0.95	0.71	0.89	1.07	0.88	0.43	0.81	0.87	0.66	1.05	0.68
Dy	6.04	5.24	3.83	4.87	5.65	4.27	2.00	3.99	4.56	2.96	5.92	4.35
Ho	1.18	1.01	0.80	0.96	1.13	0.82	0.36	0.77	0.88	0.51	1.16	0.98
Er	3.55	3.13	2.77	2.91	3.30	2.40	1.01	2.25	2.56	1.43	3.43	2.80
Tm	0.60	0.54	0.48	0.48	0.56	0.40	0.16	0.36	0.43	0.22	0.58	0.49
Yb	3.74	3.33	3.31	2.99	3.42	2.39	0.99	2.16	2.66	1.38	3.52	2.81
Lu	0.72	0.63	0.72	0.56	0.60	0.47	0.21	0.40	0.77	0.30	0.65	0.57
Σ REE	217.63	197.20	224.19	170.71	222.20	277.72	105.56	192.37	259.45	191.37	197.40	154.31
Σ LREE	194.06	176.70	206.63	151.85	199.96	259.45	97.33	176.22	241.14	178.96	174.84	137.87
Σ HREE	23.57	20.50	17.55	18.87	22.23	18.27	8.23	16.16	18.31	12.41	22.56	16.44
Σ LREE/ Σ HREE	8.23	8.62	11.77	8.05	8.99	14.20	11.82	10.91	13.17	14.42	7.75	8.39
(La/Yb) λ_N	8.09	8.20	9.68	7.95	9.21	17.00	14.38	12.65	12.82	19.82	7.49	8.10
(La/Sm) λ_N	3.60	3.69	4.48	3.90	3.96	4.22	3.36	3.79	5.34	3.96	3.52	4.63
(Gd/Yb) λ_N	1.44	1.38	1.20	1.41	1.53	2.25	2.51	2.02	1.69	2.90	1.43	1.08
δ Ce	0.96	0.95	0.93	0.94	0.94	0.96	0.90	0.90	1.30	0.95	0.97	0.94
δ Eu	0.59	0.69	0.73	0.67	0.63	0.70	1.06	0.88	1.13	0.91	0.70	1.02

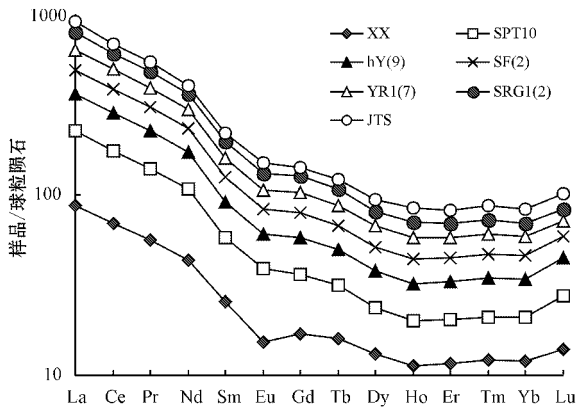


图 3 北京地区二叠系山西组泥岩稀土元素平均含量球粒陨石标准化图解 [球粒陨石数据据 Boynton, 1984] Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of Permian Shanxi Formation mudstones in Beijing (after Boynton, 1984)

Mclennan, 1985)。长英质岩石中富集 La 和 Th, 基性岩中富集 Co、Sc 和 Cr。从表 5 知, La/Sc 值与 Th/Sc 值分别为 3.17 (1.99~6.56) 和 0.97 (0.42~3.12) 分别高于上地壳 2.7 和 0.8, 反映了源岩主要

表 5 碎屑岩微量元素比值

Table 5 Ratios of trace elements of clastic rocks

项目	La/Sc	Th/Sc	Th/Co	Th/Cr	Th/U	V/(V+Ni)
YR1-1	3.97	0.87	0.67	0.27	4.67	0.80
YR1-2	3.19	0.67	0.78	0.15	1.95	0.75
YR1-3	3.17	0.78	0.78	0.21	5.89	0.84
YR1-4	2.37	0.81	0.77	0.19	4.96	0.76
YR1-5	2.86	0.89	1.29	0.21	2.51	0.73
YR1-6	2.48	0.87	1.02	0.20	5.60	0.80
YR1-7	6.56	0.85	1.36	0.26	8.51	0.83
SRG1-1	3.76	0.74	0.65	0.14	5.04	0.80
SRG1-2	3.42	0.90	0.71	0.19	5.60	0.79
XX	2.33	1.19	0.98	0.27	7.60	0.81
SPT10	4.06	0.98	0.89	0.16	3.61	0.66
Hy1	3.54	0.98	0.90	0.17	3.90	0.83
Hy2	4.91	1.36	1.69	0.19	4.06	0.84
Hy3	2.52	1.20	6.97	0.31	4.43	0.88
Hy4	2.09	1.05	1.35	0.26	7.51	0.80
Hy5	2.77	1.06	1.20	0.27	6.45	0.81
Hy6	3.22	0.75	3.98	0.45	8.49	0.90
Hy7	1.99	0.52	0.37	0.10	6.51	0.71
Hy8	2.00	0.48	0.42	0.16	6.74	0.78
Hy9	5.12	3.12	17.71	1.38	13.37	0.94
SF1	2.32	0.42	0.34	0.08	4.82	0.79
SF2	2.22	0.97	3.15	0.21	5.06	0.82
JTS	2.00	0.84	12.09	0.28	5.42	0.97
平均值	3.17	0.97	2.61	0.27	5.77	0.81
大陆上地壳	2.7	0.8	1.07	0.31		
大陆下地壳	0.3	0.029	0.03	0.005		

来自上地壳的长英质岩。Th/Co 值变化较大, 个别野外露头样品比值很高 (Hy9 = 17.71, JTS = 12.09, Hy3 = 6.97), 多数样品 Th/Co 值低于上地壳值 1.07。样品 Th/Cr 值为 0.27 (0.08~1.38) 低于上地壳 0.31; Th/Co 与 Th/Cr 值特征表明山西组有一定量的基性源岩的存在。沉积岩中 Th/U 和 La/Th 值等也是确定物源类型的重要标志 (Bhatia and Taylor, 1981; Bhatia, 1983)。沉积岩中的 U⁴⁺ 和 U⁶⁺ 在再循环过程中受到氧化, 以可溶的形态从沉积岩中损失掉, 从而引起 Th/U 值的增高。当 Th/U 值介于 2.5~3 之间时, 其物源主要为岛弧火山岩; Th/U 值约为 4.5 时, 其物源主要为沉积岩, 可能有岛弧火山岩混入; 当 Th/U 值约为 6 时, 可以肯定其物源主要是再旋回沉积岩。二叠系山西组泥岩的 Th/U 值在 1.95~8.51 之间, 平均值为 5.77, 绝大部分 Th/U 值在 4.5~5.6 之间, 说明其物源主要为沉积岩, 也有一定的岛弧火山岩。

稀土元素在岩石中的稳定性, 使其成为判别沉积盆地物源的重要工具 (Floyd *et al.*, 1991; Mclennan *et al.*, 1993)。源自上地壳的稀土元素具有轻稀土元素富集、重稀土元素含量稳定和明显的 Eu 负异常等特征 (Taylor and Mclennan, 1985; Mclennan, 1989; Mclennan *et al.*, 1995; Shao *et al.*, 2001)。研究区泥岩样品经球粒陨石标准化后, 显示与上地壳基本一致的分布模式 (图 3)。轻稀土元素富集, 重稀土元素平坦, 大部分样品具明显 Eu 负异常, 这说明研究区样品的原始物质应来自于上地壳。钕异常可作为区分物源类型和指示沉积物源的重要指标 (Taylor and Mclennan, 1985; Gao and Wedepohl, 1995)。花岗岩多为 Eu 负异常 ($\delta Eu < 0.90$), 玄武岩大多没有 Eu 异常 ($0.90 < \delta Eu < 1.03$)。在 La/Yb-REE 源区判别图解 (图 4) 上, 测试样品投点落在沉积岩、沉积岩与花岗岩、沉积岩与碱性玄武岩的交汇区域, 说明其物源既有沉积岩又有花岗岩和碱性玄武岩, 这与样品中钕呈现明显负异常、无异常和微弱正异常的现象相吻合, 说明北京地区二叠系山西组源岩来自于沉积岩以及花岗岩和碱性玄武岩。

华北板块早古生代的地势格局为中间高两边低; 到了晚古生代发生了陡转, 变成了中间低两边高, 但北部地势要明显高于南部 (刘波等, 1999)。华北地块北缘内蒙古隆起广泛发育早石炭世-中二叠世岩浆活动, 岩石组合为中性-中酸性、基性侵入岩以及弧火山岩 (张拴宏等, 2010), 而且内蒙古隆起在

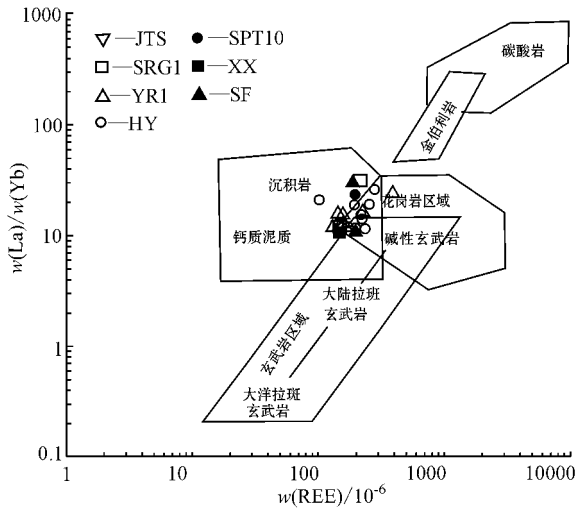


图 4 北京地区二叠系山西组泥岩 La/Yb-REE 图解
[据 Allagré, 1978]

Fig. 4 La/Yb versus REE diagram of Permian Shanxi Formation mudstones in Beijing (after Allagré, 1978)

晚古生代—早中生代期间经历强烈的剥露作用(张拴宏等, 2004; Zhang *et al.*, 2006), 所以华北板块北部地区成为研究区最主要的物源区。这也同华北板块北部为石炭纪—二叠纪研究区及周边主要物源区(北京市地质矿产局, 1991; 陈世悦等, 1997)的认识相一致。

综合微量元素、稀土元素分析, 并结合区域地质资料, 认为该区二叠系山西组的原始物质应来自于上地壳的沉积岩以及花岗岩和碱性玄武岩的混合。物源区来自于华北板块北缘。

4.2 古环境

微量元素 $V/(V+Ni)$ 值可以反映沉积介质氧化还原性, $V/(V+Ni) > 0.46$ 为还原环境, $V/(V+Ni) < 0.46$ 为氧化环境(Hatch and Leventhal, 1992)。分析表明, 区内二叠系山西组泥岩的 $V/(V+Ni)$ 值介于 0.66~0.97 之间, 平均 0.81(表 5), 均远大于 0.46, 表明研究区二叠系山西组形成于较强的还原环境, 这对有机质的保存十分有利。稀土元素 Ce 对其形成环境的氧化-还原条件较为敏感, 可以有效反映沉积水体的深度及氧化还原性。通常, Ce 异常值越小, 水体越深, 还原性越强; Ce 异常值越大, 水体越浅, 氧化性越强(朱笑青等, 1994; 杨兴莲等, 2008)。研究区二叠系山西组泥岩样品的 δCe 介于 0.88~1.30 之间, 平均为 0.96(表 4), 铈基本无异常, 显示覆水较深的还原环境特征。

综合微量元素与稀土元素分析, 研究区二叠系山西组为有利于有机质保存的覆水较深的较强的还原环境沉积。

4.3 源区构造背景

碎屑岩的微量元素含量变化与构造背景之间有着内在的必然联系, 通过测定分析碎屑岩的化学成分, 可以很好地反映物源区的大地构造背景和构造演化特征。微量元素 Cr、Co、Th、Sc、La 和 Zr 在沉积环境中保持稳定, 可以用来诊断特定的源岩性质并区分构造环境。在 La-Th-Sc(图 5a)构造背景判别图上, 大部分数据点落在大陆岛弧范围内, 部分数据点落在大陆边缘与大陆岛弧附近范围。在 Th-Co-Zr/10(图 5b)构造背景判别图上, 数据点主要落在大陆岛弧范围内, 少量数据点落在活动大陆边缘和被动大陆边缘。在 Th-Sc-Zr/10(图 5c)构造背景判别图上, 几乎所有的数据点落在大陆岛弧范围内, 个别数据点落在大陆岛弧与活动大陆边缘的附近。微量元素判别图解总体反映了源区为大陆岛弧与活动大陆边缘的构造背景。

李俊建等(2010)认为从新元古代末到三叠纪, 华北陆块处于稳定的状态, 没有强烈的构造变动, 接受了统一的盖层沉积, 只有南北两缘受两侧造山运动的影响, 发生了一些构造变动和岩浆活动。张拴宏等(2010)认为早石炭世晚期—中二叠世为安第斯型活动大陆边缘构造背景。孟祥化等(2001)通过对华北地台晚古生代火山事件的研究认为, 它们具有岛弧和活动陆缘的特征, 华北地台在晚石炭世至早二叠世, 从稳定型克拉通陆表海盆地开始向活动型聚敛俯冲前陆盆地转化。前人的这些成果和本文源区构造背景为大陆岛弧与活动大陆边缘相吻合。

5 结论

(1) 二叠系山西组泥岩主要由粘土矿物 49% 和石英 36.64% 组成, 兼有少量碳酸盐岩 7.26% 和长石 6.55%。主量元素 CaO 和 MgO 变化较大, 个别样品十分富集, 其它样品含量很少或不含。SiO₂、Na₂O 和 K₂O 亏损, Al₂O₃、TiO₂ 和 Fe₂O₃^T 富集。Pb、Y、Sc、V、Cr、Ni 等微量元素富集, Rb、Ba、U、Hf 等微量元素在钻井样品中亏损, 在露头样品中亏损与富集并存。Th、U、Hf、Zr 及 Sr 等元素亏损与富集同时出现。稀土元素总量较高, 轻稀土元素富集、重稀土元素平坦, 铈大部分明显负异常, 少部分微弱正

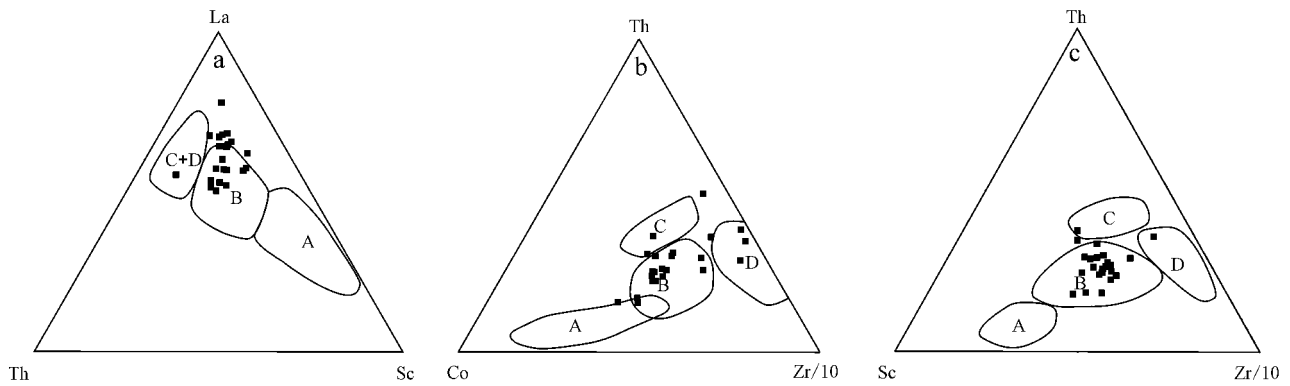


图 5 二叠系山西组泥岩 La-Th-Sc、Th-Co-Zr/10 和 Th-Sc-Zr/10 构造背景判别图解
(据 Bhatia and Crook, 1986)

Fig. 5 Tectonic setting discrimination diagrams of La-Th-Sc, Th-Co-Zr/10 and Th-Sc-Zr/10
(after Bhatia and Crook, 1986) of Permian Shanxi Formation mudstones in Beijing
A—oceanic island arc; B—continental island arc; C—active continental margin; D—passive continental margin

异常, 铈基本无异常。

(2) 主量元素、微量元素及稀土元素等分析表明, 源岩为来自于华北地块北缘的大陆上地壳的沉积岩、花岗岩和碱性玄武岩的混合。

(3) 微量元素 $V/(V+Ni)$ 值及 Ce 异常值反映了研究区二叠系山西组泥岩为覆水较深的还原环境沉积。

(4) 微量元素等分析表明源区构造背景为大陆岛弧和活动大陆边缘。

References

- Allagre C J. 1978. Quantitative models of trace plane[J]. Earth Plant Scielett, 38(1): 1~25.
- Bhatia M R. 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstoens[J]. J. Geol., 9(6): 611~627.
- Bhatia M R. 1985. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic greywackes and mudstones: Provenane and tectonic contro[J]. Sedimentary Geology, 45: 97~113.
- Bhatia M R and Crook K A W. 1986. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 92: 181~193.
- Bhatia M R and Taylor S R. 1981. Trace element geochemistry and sedimentary provinces: A study from the Tasman Geosyncline, Australia[J]. Chem. Geol., 33(1/2): 115~125.
- Boynton W V. 1984. Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: meteorite studies[A]. Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry [C]. Amsterdam: Elsevier, 63~114.
- Bureau of Geology and Mineral Resource of Beijing Municipality. 1991. Regional Geology of Beijing Municipality[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~598(in Chinese).
- Chen Deqian and Chen Gang. 1996. Applied Rare Earth Element Geochemistry[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1~268(in Chinese).
- Chen Shiyue and Liu Huanjie. 1997. Carboniferous-Permian lithofacies and paleogeography in the eastern part of the north china platform[J]. Regional Geology of China, 16(4): 379~386(in Chinese).
- Condie K C. 1991. Another look at Rare Earth Elements in shales[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 55: 2527~2531.
- Cui Shengqin, Li Jinrong, Sun Jiashu, et al. 2000. The Northern Margin of North China Plate Tectonic Tequence and Regional Structure Pattern[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~326(in Chinese).
- Cullers R L. 2002. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions and metamorphic studies of shales and limestones near pueblo, Co, USA[J]. Chemical Geology, 191: 305~327.
- Feng R and Kerrich R. 1990. Geochemistry of fine-grained clastic sediments in the Archean Abitibi greenstone belt, Canada: Implications for provenance and tectonic setting[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 54: 1061~1081.
- Floyd P A, Shail R, Leveridge B E, et al. 1991. Geochemistry and provenance of Rhenoherynian synorogenic sandstones: implications for tectonic environment discrimination[A]. Morton A C, Todd S P

- and Haughton P D W. Developments in Sedimentary Provenance Studies [C]. Geol. Soc. Spec. Pub. , 57 : 611 ~ 626.
- Gao S and Wedepohl K H. 1995. The negative Eu anomaly in Archean sedimentary rocks : implications from decomposition , age and importance of their granitic source [J]. Earth Planet Science Letters , 133 : 81 ~ 94.
- Gu X X. 1994. Geochemical characteristics of the Triassic Tethys-turbidites in the northwestern Sichuan , China : Implications for provenance and interpretation of the tectonic setting [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta , 58 : 4 615 ~ 4 631.
- Gu X X. 1996. Turbidite-Hosted Micro-Disseminated Gold Deposits [M]. Chengdu : Chengdu University of Science and Technology Press , 1 ~ 239.
- Hatch J R and Leventhal J S. 1992. Relationship between inferred redox potential of the depositional environmental and geochemistry of the upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone W abausee County , Kansas , USA [J]. Chemical Geology , 99 : 65 ~ 82.
- Li Junjian , Luo Zhenkuan , Yan Changhai , et al. 2010. Structure framework and evolution of the North China Craton [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research , 25 (2) : 89 ~ 100 (in Chinese).
- Li Wei , Wu Zhiping and Liu Hua. 2009. Evolution of the Bohai Bay Basin its coal formed gas reservoir in the upper Paleozoic [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency , 16 (1) : 13 ~ 16 (in Chinese).
- Liu Bo , Qian Xianglin and Wang Yinghua. 1999. Tectono-Sedimentary Evolution of North China Plate in Early Paleozoic [J]. Scientia Geologica Sinica , 34 (3) : 347 ~ 356 (in Chinese).
- Ma Yongsheng. 2005. The Northern Deep Sequence Paleogeography and Oil Gas Geologic Integrated Research of North China Basin [M]. Beijing : Geological Publishing House , 15 ~ 30 (in Chinese).
- McLennan S M. 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks : influence of provenance and sedimentary process [J]. Reviews in Mineralogy , 21 : 169 ~ 200.
- McLennan S M , Hemming S , McDaniel D K , et al. 1993. Geochemical approaches to sedimentation , provenance , and tectonics [A]. Johnson M J , Basu A. Processes Controlling the Composition of Clastic Sediment [C]. Colorado : Geol. Soc. Am. Spec. Pap. , 284 : 21 ~ 34.
- McLennan S M , Hemming S R , Taylor S R , et al. 1995. Early proterozoic crustal evolution : geochemical and Nd-Pb isotopic evidence from metasedimentary rocks , southwestern North American [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta , 59 : 1 153 ~ 1 177.
- Meng Xianghua and Ge Ming. 2001. Discovery and evidence of the foreland basin in the North China platform in the perinlan period [J]. Geological Science and Technology Information , 20 (1) : 8 ~ 14 (in Chinese).
- Prudeno M J , Figueiredo M O and Cabral J M. 1989. Rare Earth Distribution and its correlation with clay mineralogy in the clay-sized fraction of cretaceous and Pliocene sediments (central Portugal) [J]. Clay Minerals , 24 (1) : 67 ~ 74.
- Shao L S , Tattergger K and Carbe Schoenberge C D. 2001. Sandstone petrology and geochemistry of the Turpan Basin (NW China) : implications for the tectonic evolution of a continental basin [J]. Journal of Sedimentary Research , 71 (1) : 37 ~ 49.
- Taylor S R and McLennan S M. 1985. The Continental Crust : Its Composition and Evolution : An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks [M]. Oxford : Blackwell Scientific Publications , 1 ~ 301.
- Yang Xinglian , Zhu Maoyan , Zhao Yuanlong , et al. 2008. REE geochemical characteristics of the Ediacaran-lower Cambrian black rock series in Eastern Guizhou [J]. Geological Review , 54 (1) : 3 ~ 15 (in Chinese).
- Zhang Shuanhong , Zhao Yue , Liu Jian , et al. 2007. Emplacement depths of the Late Paleozoic-Mesozoic granitoid intrusions from the northern North China block and their tectonic implications [J]. Acta Petrologica Sinica , 23 (3) : 625 ~ 638 (in Chinese).
- Zhang Shuanhong , Zhao Yue , Liu Jianmin , et al. 2010. Geochronology , geochemistry and tectonic setting for the Late Paleozoic-Early Mesozoic magmatism in the northern Margin of the North China block : A preliminary review [J]. Acta Petrologica et Mineralogica , 29 (6) : 824 ~ 842 (in Chinese with English abstract).
- Zhang S H , Zhao Y and Song B. 2006. Hornblende thermobarometry of the carboniferous granitoids from the Inner Mongolia Paleo-uplift : implications for the geotectonic evolution of the northern margin of North China block [J]. Mineralogy and Petrology , 87 : 123 ~ 141.
- Zhang Shuanhong , Zhao Yue , Song Biao , et al. 2004. The late Paleozoic gneissic granodiorite pluton in early Pre-cambrian high-grade metamorphic Terrains near Longhua County In northern Hebei Province , North China : Result from zircon SHRIMP U-Pb dating and its tectonic implications [J]. Acta Petrologica Sinica , 20 : 621 ~ 626 (in Chinese).
- Zhu Rukai , Guo Hongli , He Dongbo , et al. 2002. The REE Geochemical characteristics of Carboniferous mudstones in Northwest area [J]. Geoscience , 16 (2) : 130 ~ 136 (in Chinese).
- Zhu Xiaoqing and Wang Zhonggang. 1994. Geochemical characteristics of seiment at hot water region in the Okinawa Trough [A]. Hu

Ruizhong. Study on Geochemistry[C]. Beijing: Seismological Press, 108~112(in Chinese).

附中文参考文献

- 北京市地质矿产局. 1991. 北京市区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1~598.
- 陈德潜, 陈刚. 1996. 实用稀土元素地球化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1~268.
- 陈世悦, 刘焕杰. 1997. 华北地台东部石炭—二叠纪岩相古地理特征[J]. 中国区域地质, 16(4): 379~386.
- 崔盛芹, 李锦蓉, 孙家树, 等. 2000. 华北陆块北缘构造运动序列及区域构造格局[M]. 北京: 地质出版社, 1~326.
- 李俊建, 罗镇宽, 燕长海, 等. 2010. 华北陆块的构造格局及其演化[J]. 地质找矿论丛, 25(2): 89~100.
- 李伟, 吴智平, 刘华. 2009. 中-新生代渤海湾盆地演化与上古生界煤成气藏[J]. 油气地质与采收率, 16(1): 13~16.
- 刘波, 钱祥麟, 王英华. 1999. 华北板块早古生代构造-沉积演化

- [J]. 地质科学, 34(3): 347~356.
- 马永生. 2005. 华北盆地北部深层层序古地理与油气地质综合研究[M]. 北京: 地质出版社, 1~226.
- 孟祥化, 葛铭. 2001. 中国华北地台二叠纪前陆盆地的发现及其证据[J]. 地质科技情报, 20(1): 8~14.
- 杨兴莲, 朱茂炎, 赵云龙, 等. 2008. 黔东震旦系-下寒武统黑色页岩系稀土元素地球化学特征[J]. 地质论评, 54(1): 3~15.
- 张拴宏, 赵越, 宋彪, 等. 2004. 冀北隆化早前寒武纪高级变质区内的晚古生代片麻状闪长岩——锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 岩石学报, 20(3): 621~626.
- 张拴宏, 赵越, 刘建民, 等. 2010. 华北地块北缘晚古生代—中生代岩浆活动期次-特征及构造背景[J]. 岩石矿物学杂志, 29(6): 824~842.
- 朱如凯, 郭宏莉, 何东博, 等. 2002. 中国西北地区石炭系泥岩稀土元素地球化学特征及其地质意义[J]. 现代地质, 16(2): 130~136.
- 朱笑青, 王中刚. 1994. 冲绳海槽热水区沉积物的地球化学特征[A]. 胡瑞忠. 矿床地球化学研究[C]. 北京: 地震出版社, 108~112.

《硅酸盐通报》征稿启事

《硅酸盐通报》是中国硅酸盐学会的会刊, 由中国硅酸盐学会和中材人工晶体研究院有限公司联合主办, 月刊, 大 16 开, 250 页, 是中文核心期刊, 第 2 届中国精品科技期刊, 被美国《化学文摘》(CA) 检索及“中国学术期刊网”全文收录, 在国内无机非金属材料行业有较大影响。

《硅酸盐通报》主要报导: 高技术陶瓷、水泥、玻璃、建材、耐火材料、人工晶体、非金属矿及复合材料等相关领域中科学技术研究方面的创新和成果, 交流生产和技术经验, 追踪硅酸盐行业的前沿发展与动态。旨在全面提升行业科研、生产、教学、设计、管理等学术水平和技术创新能力, 追逐专业制高点, 为促进国内外无机材料领域的发展服务。

《硅酸盐通报》现为月刊出版, 投稿程序简单方便、审稿专业速度快、发表周期短、影响大, 欢迎相关方面的专家、学者和技术人员赐稿, 编辑部将竭力为您的劳动成果登上展示平台服务。

主编室: 010—65492963

投稿咨询: 010—65492968,

传真: 010—65493320

010—65492826/2861/2635 转 8411

投稿邮箱: gsy123@126.com

网址: <http://www.jtxb.cn>

地址: 100018 北京市朝阳区东坝红松园 1 号人工晶体研究院