

内蒙古胜利煤田 0-1 孔煤中微量元素地球化学特征

徐晓琴

(江苏地质矿产设计研究院, 江苏 徐州 221006)

摘要: 运用电感耦合等离子体质谱和煤质分析等技术方法,对内蒙古胜利煤田 0-1 号钻孔揭露的早白垩世 1、2 和 4 号煤层(共 20 个煤分层,1 个夹矸)进行了研究。结果显示,1、2 号煤层的挥发分产率大于 44%,透光率小于 50%,煤类为褐煤;4 号煤层挥发分产率 42%,透光率 53%,煤类为长焰煤(长焰煤);1、2 号煤层灰分和硫含量较高,4 号煤层灰分和硫含量较低。与世界煤微量元素含量平均值相比,1、2 和 4 号煤层中 Sb 富集,V、Zr、Nb、Hf、W 等元素轻微富集,其它微量元素的含量接近或低于世界煤含量的平均值。1、2 和 4 号煤层中稀土元素和钇(REY)含量较低,根据上地壳标准值(La/Lu)_N 比值,所有煤分层均显示重稀土富集类型特征,而煤中泥岩夹矸则显示轻稀土富集类型特征。

关键词: 早白垩世煤;微量元素地球化学;胜利煤田;内蒙古

中图分类号: P618.11

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2017)06-0933-08

Trace element geochemical features of the coals in 0-1 borehole of the Shengli coal field in Inner Mongolia

XU Xiao-qin

(Jiangsu Design Institute of Geology for Mineral Resources, Xuzhou 221006, China)

Abstract: The trace element geochemical compositions of 3 Early Cretaceous coal seams (20 coal samples, 1 parting sample) from the 0-1 borehole in the Shengli coal field of Inner Mongolia was investigated by using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The results show that No. 1 and No. 2 coals are lignite ($V_{daf} > 44\%$, transmittance $PM < 50\%$) with high ash yield and high sulfur content, the No. 4 coal is long-flame coal ($V_{daf} = 42\%$, $PM = 53\%$) with low ash yield and low sulfur content. Compared with average values for coals in the world reported, Sb is enriched; V, Zr, Nb, Hf, and W are slightly enriched in the three coal seams, and the concentrations of other trace elements are either close to or much lower than the world's averages. Relative to things of the upper continental crust, the rare earth elements and yttrium in 20 coal samples are all characterized by heavy REY enrichment, whereas the parting sample is characterized by light REY enrichment.

Key words: Early Cretaceous coal; trace element geochemistry; Shengli coal field; Inner Mongolia

内蒙古胜利煤田是国内外闻名的特大型煤田,已探明煤炭地质储量 224.4 亿吨(赵平,2006),在该煤田西南边部乌兰图嘎矿 6-1 号煤层中还伴生有大型煤共生锆矿床,已探明锆储量(锆金属量)1 600 余

吨(王兰明,1999)。胜利煤田大型锆矿床的发现,引起了专家学者的极大关注,前人分别对锆的丰度、分布、矿床成因等进行了深入研究(杜刚等,2003,2008; Zhuang *et al.*, 2006; 黄文辉等,2007; Du *et*

收稿日期: 2017-06-29; 接受日期: 2017-09-15

作者简介: 徐晓琴(1969-),高级工程师,主要研究煤炭的煤质特征及煤中微量元素的分布特征, E-mail: 1102014363@qq.com。

al., 2009; Dai *et al.*, 2012b, 2015)。Dai 等(2015)提出“锆元素在乌兰图嘎矿 6-1 煤中富集,是由于热液从邻近的花岗岩地区通过侧向迁移进入沼泽西南边部而聚集形成的”。目前,在胜利煤田 6 号煤层及其伴生锆矿床研究方面已经取得丰硕成果;然而,对胜利煤田其他煤层的研究成果较少。本文拟对胜利煤田东二露天矿 0-1 钻孔 1、2 和 4 号煤层进行深入研究,以揭示其煤质和元素地球化学特征,为全面评价胜利煤田煤炭资源特征积累资料。

1 地质背景

胜利煤田位于内蒙古自治区锡林浩特市北郊(图 1),含煤面积约 340 km²。该煤田为一宽缓向

斜,地层倾角较小,一般为 0~14°,构造轴线大体上为 N56°E 方向。胜利煤田的含煤地层为中生界白垩系下统白彦花群(K₁b)的胜利组(上)和锡林组(下)。

胜利组(K₁bsh),从上往下分为二段,上部为砾岩段(厚约 120 m),下部为上含煤段(厚约 360 m)。上含煤段是胜利煤田的主要含煤地层,主要由煤层、泥岩、粉砂岩、细砂岩、粗砂岩夹砾岩等组成,包含 1、2、3、4、5、6、6 下、7、8、9、10、11 号等煤层(组)。

锡林组(K₁bxl)从上往下分为泥岩段(厚约 180 m)、下含煤段(厚约 200 m)和砾岩段(厚约 300 m)。下含煤段主要由泥岩、粉砂岩、细砂岩、粗砂岩及煤层组成,包含 12、13 和 14 号等煤层(组)(范国强, 2011; 杜刚等, 2003; 黄文辉等, 2007)。

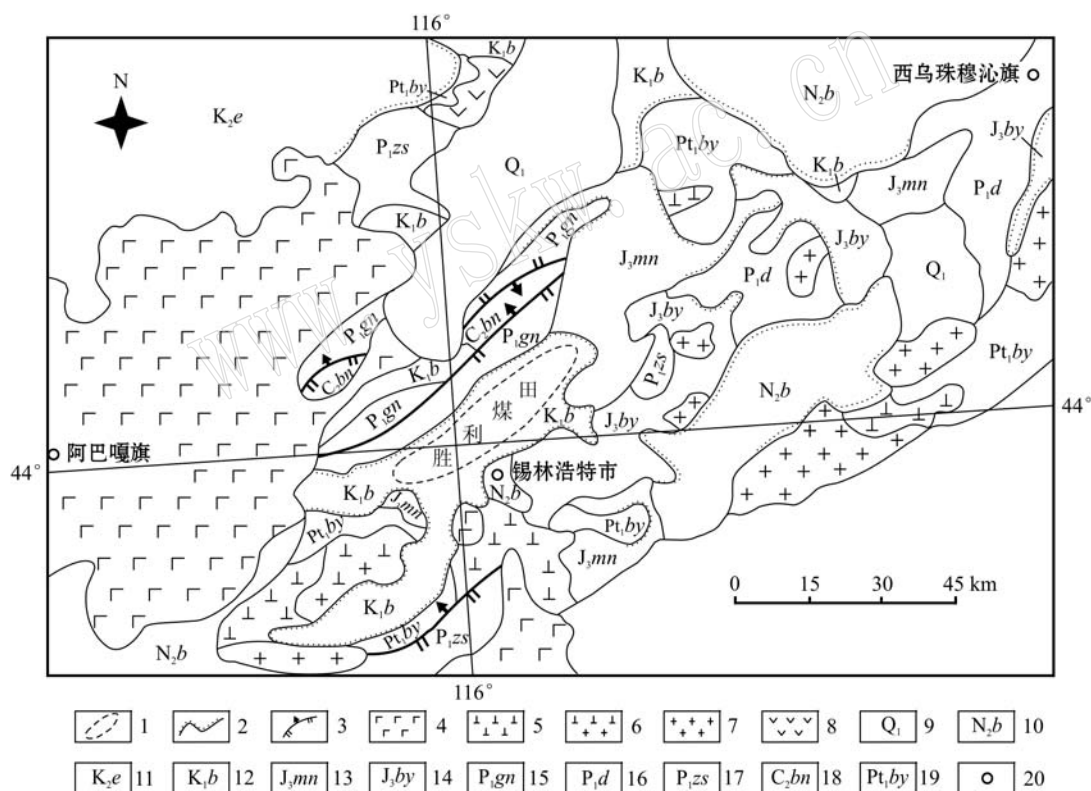


图 1 胜利煤田的位置和地质背景(据王兰明, 1999)

Fig. 1 Location and geological setting of the Shengli coalfield (after Wang Lanming, 1999)

1—胜利煤田; 2—不整合面; 3—断层; 4—第四系玄武岩; 5—华力西期闪长岩; 6—华力西期花岗闪长岩; 7—燕山早期花岗岩; 8—华力西期超基性岩; 9—第四系全新统; 10—新近系宝格达乌拉组; 11—白垩系上统二连组; 12—白垩系下统白彦花群; 13—侏罗系上统玛尼吐组; 14—侏罗系上统白音高老组; 15—二叠系下统格根敖包组; 16—二叠系下统大石寨组; 17—二叠系下统哲斯组; 18—石炭系上统本巴图组; 19—下元古界宝音图群; 20—城市

1—Shengli coalfield; 2—unconformity; 3—fault; 4—Quaternary basalt; 5—Hercynian diorite; 6—Hercynian granodiorite; 7—Mesozoic granite; 8—Hercynian ultrabasic rock; 9—Holocene series, Quaternary; 10—Bogedawula Formation of Neogene; 11—Erlan Formation of Upper Cretaceous; 12—Beiyanhua Formation of Lower Cretaceous; 13—Manitu Formation of Upper Jurassic; 14—Beiyingaolao Formation of Upper Jurassic; 15—Gegenaoobao Formation of Lower Permian; 16—Dashizhai Formation of Lower Permian; 17—Zesi Formation of Lower Permian; 18—Benbatu Formation of Upper Carboniferous; 19—Baoyintu Formation of Proterozoic; 20—city

2 样品和测试

本文研究的样品采自胜利煤田东区二号露天矿勘探钻孔(0-1 孔)煤芯。

煤质分析遵循现行煤炭化验国家标准,在中国煤炭地质总局检测中心完成;煤中微量元素测定采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS),根据现行硅酸盐岩石化学分析方法国家标准(第 30 部分 44 个元素量测定),采用等离子体质谱分析仪(型号 ELEMENT XR),在北京核工业地质研究院完成。

3 煤质特征

煤质分析结果(表 1)显示,胜利煤田 0-1 孔揭露的 1 号煤层挥发分产率 45%~48%,透光率为 37%,发热量 13~17 MJ/kg;2 号煤层挥发分产率 43%~45%,透光率为 37%~50%,发热量 16~19 MJ/kg,煤类为褐煤。4 号煤层挥发分产率 39%~43%,透光率为 52%~54%,发热量 17~22 MJ/kg,

煤类为长焰煤。1 号煤层为中高灰煤,2 号煤层为中灰煤,4 号煤层为低灰煤;1、2 号煤层为中高硫煤,4 号煤层为中硫-低硫煤。

4 微量元素地球化学特征

4.1 微量元素含量及分布特征

胜利煤田东区二号露天矿 0-1 孔 1、2 和 4 号煤层的微量元素含量列于表 2。由表 2 可见,1、2 和 4 号煤中大多数微量元素的含量低于中国其他煤含量(Dai *et al.*, 2012a)和世界煤含量(Ketris and Yudovich, 2009)的平均值。

与世界煤微量元素含量平均值相比,1 煤中 Sb 富集(富集系数 6.58),V、Zr、Nb、Hf 轻微富集(富集系数 2.05~3.13),其它微量元素的含量接近或低于世界煤含量的平均值(图 2a);2 煤中 Zr、Nb、Hf 轻微富集(富集系数 2.27~3.63),其它微量元素的含量接近或低于世界煤含量的平均值(图 2b);4 煤中 Zr、W 轻微富集(富集系数 2.25~2.81),其它微量元素的含量接近或低于世界煤含量的平均值(图 2c)。

表 1 胜利煤田 0-1 孔早白垩世煤层的煤质分析
Table 1 Proximate analyses and calorific values of the Early Cretaceous coals from 0-1 drill hole in the Shengli coal field

煤层	煤分层	取样深度/m	$M_{ad}/\%$	$A_d/\%$	$V_{daf}/\%$	$S_{t,d}/\%$	透光率/%	$Q_{gr,ad}/MJ\cdot kg^{-1}$
1 号煤层	0-1-1M-1	149.10	15.65	42.21	48.41	1.89		13.00
	0-1-1M-2	152.85	20.16	38.73	45.13	2.28		13.36
	0-1-1M-3	154.90	22.13	21.02	45.50	1.89		16.81
	0-1-1M-4	157.65	20.54	21.96	45.25	2.61	37	17.31
	0-1-1M-5	161.60	17.29	40.64	45.20	2.24		13.17
	0-1-1M-6	164.85	20.83	24.63	45.42	2.65		16.93
	0-1-1M-7	166.45	20.72	25.79	46.01	3.36	37	16.13
	平均值		19.62	30.71	45.85	2.42	37	15.24
2 号煤层	0-1-2M-1	210.25	17.23	15.61	45.47	3.09	50	19.58
	0-1-2M-2	214.00	22.37	17.66	44.65	2.50		17.80
	0-1-2M-3	216.25	19.44	28.93	45.18	2.26		16.20
	0-1-2M-4	219.50	20.26	24.37	44.21	2.75	37	16.77
	0-1-2M-5	222.50	21.20	19.10	44.17	2.07		17.57
	0-1-2M-6	225.50	21.20	19.24	43.25	2.25		17.90
	0-1-2M-7	228.15	25.15	11.29	5.26	1.82		18.89
	0-1-2M-8	231.25	23.43	19.26	44.07	1.99	39	17.61
	0-1-2M-9	235.45	24.05	21.08	44.33	1.79		17.14
	平均值		21.59	19.62	44.51	2.28	42	17.72
4 号煤层	0-1-4M-1	281.35	14.42	11.74	41.42	0.44	54	22.27
	0-1-4M-2	284.35	27.65	17.68	43.53	1.64	53	17.13
	0-1-4M-3	287.35	24.40	10.03	39.09	0.49		20.34
	0-1-4M-4	290.35	26.73	14.81	45.75	1.01		18.38
	0-1-4M-5	293.35	24.97	14.15	42.11	0.51	52	19.00
	0-1-4M-6	295.25	25.47	12.51	41.88	1.42		19.01
	0-1-4M-7	297.60	23.91	15.26	43.43	0.60		18.64
	平均值		23.94	13.74	42.46	0.87	53	19.25

注: M_{ad} —空气干燥基水分, A_d —干基灰分, V_{daf} —干燥无灰基挥发分, $S_{t,d}$ —干基全硫, $Q_{gr,ad}$ —空气干燥基高位发热量。

表 2 胜利煤田 0-1 孔 1-2 和 4 号煤中微量元素含量

Table 2 Concentrations of trace elements in Nos. 1, 2, and 4 coals from 0-1 drill hole in the Shengli coal field (on the whole-coal basis)

煤样	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Ga	Ge	Rb	Sr	Zr	Nb	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Hf	Ta	W	Pb	Th	U
0-1-1M-1	2.31	1.28	6.32	57.6	23.4	7.02	12.5	16	6.56	0.35	7.16	91.5	78.1	4.69	4.15	0.13	9.04	1.24	123	1.75	0.20	2.18	6.48	1.27	1.31
0-1-1M-2	1.17	1.12	7.78	119	47.1	11.9	22.8	21.5	6.7	0.19	3.92	69.7	149	7.71	3.43	0.23	12.6	0.64	125	3.37	0.25	1.46	13.1	1.39	1.86
0-1-1M-3	0.49	0.50	3.78	32.6	14.1	4.01	6.01	11.9	2.78	0.25	3.09	75.2	35.1	2.96	2.39	0.07	4.64	0.53	98.6	0.84	0.08	1.04	3.38	0.78	0.71
0-1-1M-4	1.44	1.03	4.19	43	19.3	4.42	6.87	9.97	3.45	0.26	5.22	80.4	173	11.3	2.06	0.09	3.7	0.85	130	3.83	0.31	1.49	4.21	1.25	1.12
0-1-1M-5	1.62	1.24	4.41	48.3	21.2	5.39	9.72	11	4.37	0.41	5.54	70.2	209	12.9	2	0.10	3.22	0.85	117	4.52	0.47	1.62	5.94	1.88	1.42
0-1-1M-6	0.95	0.49	3.19	29.6	13.1	3.76	6.74	10.4	2.09	0.18	4.25	73.3	34.1	2.45	1.56	0.09	1.85	0.77	118	0.94	0.10	0.75	2.86	0.87	0.71
0-1-1M-7	0.72	0.68	4.45	55.5	23.1	6.1	10.8	12.8	3.26	0.08	4.49	80	89.4	5.93	2.29	0.12	3.64	0.66	116	1.98	0.17	1.08	5.55	1.05	1.04
1 煤平均	1.24	0.91	4.87	55.09	23.04	6.09	10.78	13.37	4.17	0.25	4.81	77.19	109.7	6.85	2.55	0.12	5.53	0.79	118.2	2.46	0.23	1.37	5.93	1.21	1.17
0-1-2M-1	1.33	1.05	3.5	33.1	15.6	3.56	5.5	11.4	3.03	1.31	5.86	107	62.1	3.83	1.21	0.11	1.86	0.93	208	1.36	0.17	1.29	3.57	1.1	0.82
0-1-2M-2	0.04	0.47	2.58	19.6	8.36	2.21	4.29	8.57	4.59	0.82	2.1	81.4	195	10.3	0.833	0.08	1.26	0.31	160	3.56	0.30	1.86	2.04	0.67	0.82
0-1-2M-3	1.34	0.81	3.9	60.3	27.6	4.31	8.3	11.6	5.65	0.15	5.82	101	176	10	2.11	0.25	1.71	0.90	217	4.1	0.57	1.17	5.24	1.6	1.08
0-1-2M-4	0.50	0.84	4.3	60.1	20.3	2.98	5.24	10.9	9.2	1.12	3.74	113	245	11.9	1.89	0.13	3.03	0.59	217	5.16	0.23	3.26	3.51	1.09	1.34
0-1-2M-5	0.13	0.21	1.96	23.7	11.1	2.67	7.47	9.23	2.57	0.11	2.68	94.4	95.1	10.6	0.915	0.15	0.545	0.41	186	2.1	0.44	0.78	3.84	0.81	0.68
0-1-2M-6	0.40	0.17	1.77	29.2	13.9	1.72	3.54	7.26	2.47	0.22	4.12	87.2	70.7	7.78	0.704	0.12	0.576	0.67	185	1.71	0.45	0.78	2.72	0.92	0.64
0-1-2M-8	0.75	0.27	2.24	22.9	11	1.43	4.62	9.96	2.24	0.36	4.25	74.6	43.1	4.45	0.606	0.09	0.911	0.64	179	1.07	0.19	0.62	2.42	0.92	0.74
0-1-2M-9	0.41	0.65	3.45	38.8	17.3	2.6	4.94	8.97	4.51	0.46	2.59	91	129	11.5	1.76	0.15	1.93	0.42	199	2.71	0.34	1.55	3.44	0.85	0.92
2 煤平均	0.61	0.56	2.96	35.96	15.65	2.69	5.49	9.74	4.28	0.57	3.90	93.70	127.0	8.80	1.25	0.14	1.48	0.61	193.9	2.72	0.34	1.41	3.35	1.00	0.88
0-1-4M-1	1.49	0.39	2.49	20	11.6	1.96	4.08	6.73	3.61	0.13	1.91	53.5	98.9	5.51	0.756	0.11	0.805	0.44	149	2.39	0.17	0.88	3.71	1.26	0.92
0-1-4M-2	2.14	2.03	5.37	21.6	13.9	2.84	5.13	10.8	14.3	1.47	4.11	60.7	234	10.6	6.14	0.10	1.79	0.99	126	4.29	0.22	8.87	5.11	1.38	1.41
0-1-4M-4	1.11	0.35	2.42	13.2	6.43	1.33	4.5	9.96	3.31	0.59	1.81	59.5	71.8	4.58	0.61	0.05	0.386	0.33	128	1.76	0.18	0.97	2.86	0.88	0.59
0-1-4M-5	1.55	0.20	2.3	16.4	10.8	1.43	4.9	11.4	2.45	0.09	2.24	47.9	35.7	2.83	0.604	0.09	0.668	0.52	107	1.01	0.16	0.92	3.55	1.44	0.69
0-1-4M-7	1.7	1.18	3.31	17	9.16	1.87	5.93	9.72	4.2	0.31	2.3	59.3	51.2	3.08	1.39	0.05	0.906	0.52	136	1.19	0.15	1.87	3.35	1.24	0.72
4 煤平均	1.60	0.83	3.18	17.64	10.38	1.89	4.91	9.72	5.57	0.52	2.47	56.18	98.32	5.32	1.90	0.08	0.91	0.56	129.2	2.13	0.18	2.70	3.72	1.24	0.87
中国煤 ^a	31.8	2.11	4.38	35.1	15.4	7.08	13.7	17.5	6.55	2.78	9.25	140	89.5	9.44	3.08	0.25	0.84	1.13	159	3.71	0.62	1.08	15.1	5.84	2.43
世界煤 ^b	10	1.2	4.1	22	15	4.2	9	15	5.5	2	10	120	35	3.3	2.2	0.24	0.84	0.98	150	1.2	0.26	1.2	6.6	3.3	2.9

注：a—中国煤平均值，据代世锋(2012b)；b—世界煤平均值，据 Ketris and Yudovich(2009)。

$w_B/10^{-6}$

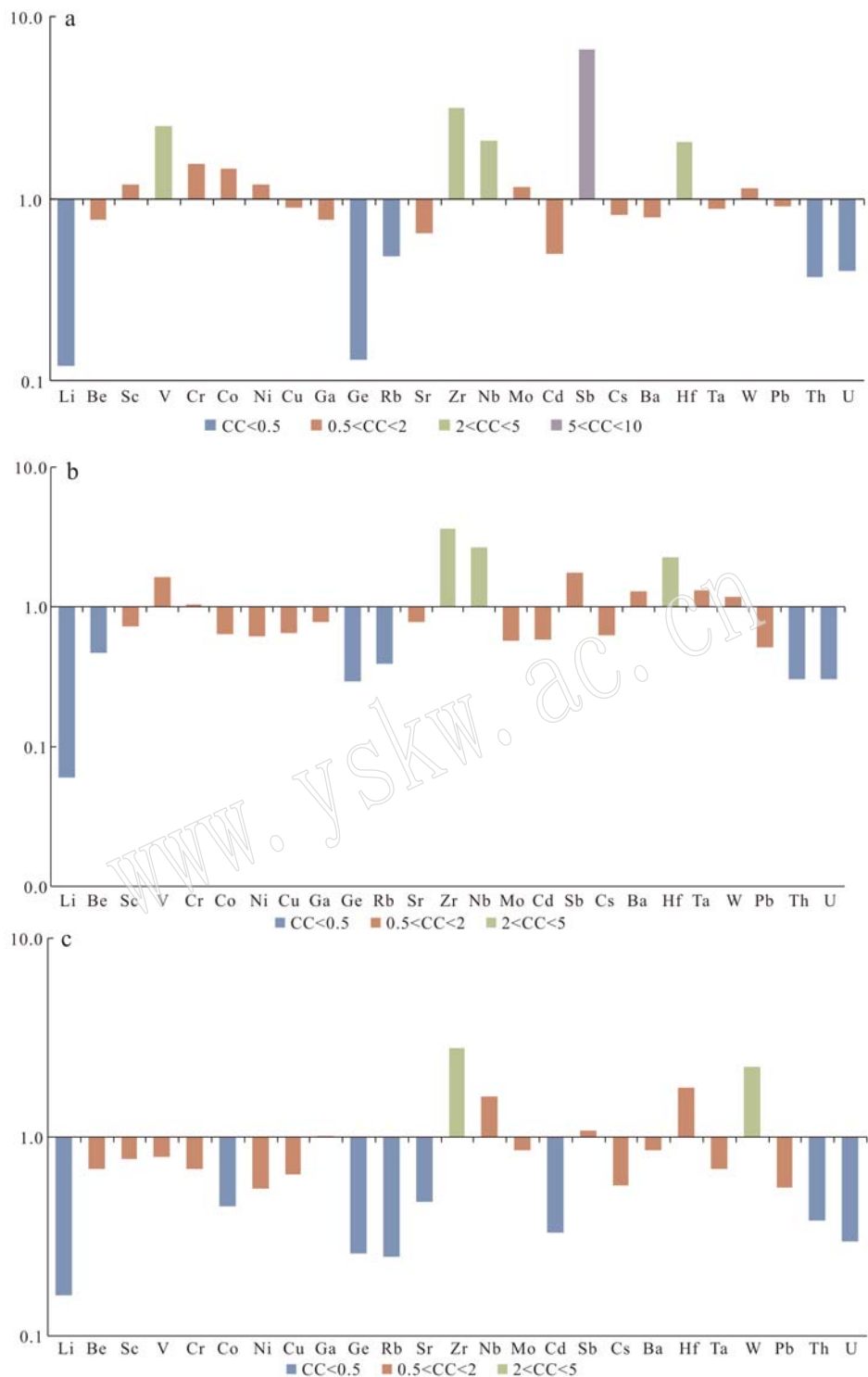


图 2 胜利煤田 0-1 孔 1、2 和 4 煤微量元素富集系数

Fig. 2 Concentration coefficients (CC) of trace elements in Nos. 1, 2, and 4 coals from 0-1 drill hole in the Shengli coal field

4.2 稀土元素和钇含量及富集类型

Seredin 等(2012)将煤中稀土元素和钇分成轻稀土富集型[L-type; $(La/Lu)_N > 1$]、中稀土富集型[M-type; $(La/Sm)_N < 1$, $(Gd/Lu)_N > 1$]和重稀土富

集型[H-type; $(La/Lu)_N < 1$]。胜利煤田东区二号露天矿 0-1 孔 1、2 和 4 号煤层的稀土元素和钇(REY)含量及富集类型参数列于表 3。由表 3 可见,1 煤 REY 平均值为 29.58×10^{-6} 、2 煤 REY 平均值为

表 3 胜利煤田 0-1 孔 1、2 和 4 煤中稀土元素和钇含量($w_B/10^{-6}$)及富集类型参数
Table 3 Concentrations of rare earth elements and yttrium ($w_B/10^{-6}$ on the whole-coal basis), and enrichment type in Nos. 1, 2, and 4 coals from 0-1 drill hole in the Shengli coal field

煤样	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	REY	Ce/Ce [*]	Eu/Eu [*]	(La/Lu) _N	(La/Sm) _N	(Gd/Lu) _N	ET
0-1-1M-1	3.83	7.62	0.92	3.80	0.96	0.25	1.25	0.22	1.65	11.90	0.37	1.13	0.15	1.04	0.15	35.24	0.93	1.01	0.25	0.60	0.65	H
0-1-1M-2	2.56	4.49	0.57	2.71	0.77	0.23	1.12	0.23	1.65	11.80	0.37	1.11	0.18	1.11	0.17	29.06	0.85	1.07	0.15	0.50	0.51	H
0-1-1M-3	2.57	4.65	0.61	2.84	0.76	0.23	1.02	0.18	1.16	8.17	0.24	0.72	0.09	0.63	0.10	23.97	0.85	1.17	0.27	0.51	0.85	H
0-1-1M-4	4.34	8.25	1.02	4.24	1.05	0.19	1.23	0.24	1.57	11.40	0.34	1.13	0.16	1.08	0.16	36.40	0.89	0.74	0.27	0.62	0.60	H
0-1-1M-5	4.29	8.34	1.03	4.43	1.07	0.19	1.19	0.23	1.64	11.70	0.37	1.14	0.18	1.13	0.17	37.08	0.90	0.75	0.26	0.60	0.56	H
0-1-1M-6	2.29	4.13	0.52	2.21	0.58	0.16	0.62	0.13	0.82	5.88	0.17	0.54	0.08	0.52	0.08	18.72	0.86	1.19	0.27	0.59	0.58	H
0-1-1M-7	3.04	5.57	0.69	3.07	0.77	0.18	0.96	0.19	1.27	8.65	0.27	0.87	0.12	0.77	0.13	26.56	0.88	0.95	0.23	0.59	0.59	H
1煤平均	3.27	6.15	0.77	3.33	0.85	0.20	1.06	0.20	1.39	9.93	0.30	0.95	0.14	0.90	0.14	29.58						
0-1-2M-1	4.49	7.08	0.80	3.20	0.72	0.18	0.91	0.16	1.13	8.40	0.25	0.76	0.11	0.70	0.11	29.00	0.84	0.99	0.42	0.94	0.68	H
0-1-2M-2	2.36	3.79	0.51	2.22	0.52	0.12	0.61	0.12	0.84	5.58	0.17	0.52	0.08	0.54	0.08	18.05	0.79	0.94	0.30	0.68	0.61	H
0-1-2M-3	3.46	5.47	0.64	2.66	0.63	0.17	0.76	0.14	0.99	6.65	0.22	0.62	0.09	0.64	0.10	23.22	0.83	1.11	0.36	0.83	0.62	H
0-1-2M-4	3.43	5.55	0.64	2.63	0.69	0.17	0.82	0.16	1.14	7.73	0.25	0.79	0.12	0.74	0.10	24.97	0.85	1.04	0.33	0.74	0.62	H
0-1-2M-5	2.24	3.78	0.50	2.34	0.59	0.13	0.63	0.12	0.77	4.61	0.16	0.45	0.06	0.43	0.07	16.88	0.81	0.97	0.32	0.57	0.71	H
0-1-2M-6	2.80	4.77	0.61	2.62	0.59	0.14	0.60	0.11	0.69	4.43	0.15	0.43	0.07	0.41	0.07	18.47	0.83	1.10	0.43	0.71	0.72	H
0-1-2M-8	3.32	5.11	0.67	2.78	0.60	0.16	0.65	0.12	0.79	5.3	0.17	0.53	0.07	0.49	0.07	20.85	0.78	1.16	0.50	0.83	0.77	H
0-1-2M-9	2.45	4.67	0.58	2.49	0.63	0.16	0.77	0.15	0.93	6.01	0.2	0.58	0.08	0.55	0.08	20.33	0.89	1.06	0.31	0.59	0.76	H
2煤平均	3.07	5.03	0.62	2.62	0.62	0.15	0.72	0.14	0.91	6.09	0.20	0.58	0.08	0.56	0.08	21.47						
0-1-4M-1	3.93	6.03	0.74	2.96	0.70	0.12	0.69	0.13	0.83	5.65	0.18	0.54	0.08	0.56	0.09	23.21	0.80	0.79	0.44	0.85	0.61	H
0-1-4M 研	6.78	13.9	1.60	5.84	0.93	0.18	0.78	0.12	0.66	3.94	0.12	0.36	0.05	0.36	0.05	35.67	0.96	0.97	1.38	1.10	1.26	L
0-1-4M-2	3.00	4.60	0.53	2.18	0.48	0.13	0.54	0.11	0.77	6.03	0.19	0.55	0.09	0.59	0.08	19.87	0.82	1.17	0.36	0.93	0.50	H
0-1-4M-4	4.55	5.75	0.64	2.39	0.54	0.10	0.55	0.09	0.60	3.92	0.12	0.40	0.06	0.38	0.06	20.14	0.74	0.81	0.77	1.25	0.73	H
0-1-4M-5	3.65	5.20	0.62	2.32	0.50	0.11	0.46	0.08	0.50	3.1	0.10	0.29	0.04	0.29	0.05	17.31	0.78	1.09	0.78	1.09	0.77	H
0-1-4M-7	3.39	5.89	0.71	2.74	0.63	0.13	0.61	0.11	0.69	4.65	0.14	0.41	0.06	0.38	0.06	20.59	0.87	0.97	0.54	0.81	0.76	H
4煤平均	3.70	5.49	0.65	2.52	0.57	0.12	0.57	0.10	0.68	4.67	0.14	0.44	0.07	0.44	0.07	20.22						
UCC ^a	30.00	64.00	7.10	26.00	4.50	0.90	3.80	0.60	3.50	22.00	0.80	2.30	0.30	2.20	0.30	168.30						

注：a—上地壳，据 Taylor and McLennan (1985)；Ce/Ce^{*} = 2 Ce_N/(La_N + Pr_N)；Eu/Eu^{*} = 2 Eu_N/(Sm_N + Gd_N)；N—上地壳标准化值；ET—富集类型；L—轻稀土富集型；H—重稀土富集型。

21.47×10^{-6} 、4 煤 REY 平均值为 20.22×10^{-6} 。

中稀土元素和钇的含量远低于上地壳(REY 值为 168.3×10^{-6})。用上地壳元素(Taylor and McLennan, 1985)对样品进行标准化计算得出的 δCe 和 δEu 显示, 铈具有微弱负异常, 铕具有微弱正异常。从 $(\text{La}/\text{Lu})_{\text{N}}$ 比值看, 所有煤分层的 $(\text{La}/\text{Lu})_{\text{N}}$ 都小于 1, 仅 4 煤中夹矸的 $(\text{La}/\text{Lu})_{\text{N}}$ 大于 1(表 3), 指示各个煤分层中 REY 为重稀土富集类型, 而夹矸中 REY 为轻稀土富集类型。在稀土元素分配模式图上, 20 条煤分层曲线都显示从左向右逐步升高的趋势, 表明所有煤分层中重稀土元素(Ho、Er、Tm、Yb 和 Lu)富集; 而 4 号煤层夹矸的曲线则显示从左向右逐步下降的趋势, 表明夹矸中轻稀土元素(La、Ce、Pr、Nd 和 Sm)富集(图 3)。Hower 等(2015)提出, 煤中重稀土元素富集可能指示煤层曾经遭受过热液的影响; 据此推断胜利煤田 0-1 孔 1、2 和 4 号煤层中重稀土元素富集可能是热液作用所致。

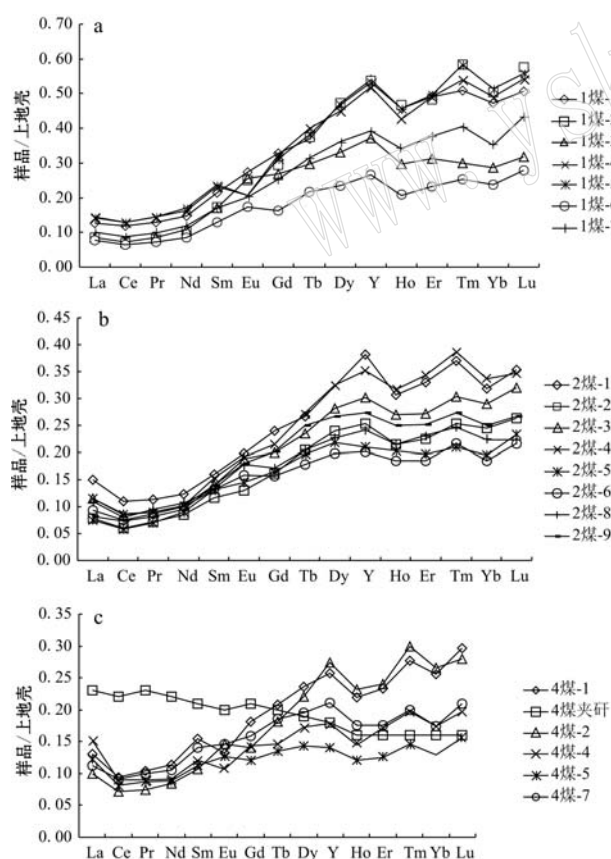


图 3 胜利煤田 0-1 孔 1、2 和 4 煤稀土元素分配模式

Fig. 3 Distribution patterns of REY in Nos. 1, 2, and 4 coals from 0-1 drill hole in the Shengli coal field, REY are normalized by Upper Continental Crust

5 结论

(1) 根据煤的挥发分产率和透光率, 1、2 号煤层的煤类为褐煤; 4 号煤层为次烟煤(长焰煤)。1、2 号煤层灰分和硫含量较高, 4 号煤层灰分和硫含量较低。

(2) 与世界煤微量元素含量平均值相比, 1、2 和 4 号煤层中 Sb 富集, V、Zr、Nb、Hf、W 等元素轻微富集, 其它微量元素的含量接近或低于世界煤含量的平均值。

(3) 1、2 和 4 号煤层中稀土元素和钇(REY)含量较低。根据上地壳标准值 $\text{La}_{\text{N}}/\text{Lu}_{\text{N}}$ 比值, 所有煤分层均显示重稀土富集类型特征, 指示这 3 个煤层曾经遭受过热液影响。

致谢 内蒙古自治区煤田地质局 104 勘探队的同志们采送了胜利煤田东区二号露天矿勘探钻孔的煤芯样品, 在此表示衷心感谢。

References

- Dai Shifeng, Liu Jingjing, Colin R W, *et al.* 2015. Petrological, geochemical, and mineralogical compositions of the low-Ge coals from the Shengli Coalfield, China: A comparative study with Ge-rich coals and a formation model for coal-hosted Ge ore deposit[J]. *Ore Geology Reviews*, 71: 318~349.
- Dai Shifeng, Ren Deyi, Chou Chenlin, *et al.* 2012a. Geochemistry of trace elements in Chinese coals: A review of abundances, genetic types, impacts on human health, and industrial utilization[J]. *International Journal of Coal Geology*, 94: 3~21.
- Dai Shifeng, Wang Xibo, Seredin V V, *et al.* 2012b. Petrology, mineralogy, and geochemistry of the Ge-rich coal from the Wulantuga Ge ore deposit, Inner Mongolia, China: New data and genetic implications[J]. *International Journal of Coal Geology*, 90~91: 72~99.
- Du Gang, Tang Dazhen, Wu Wen, *et al.* 2003. Preliminary discussion on genetic geochemistry of paragenetic germanium deposit in Shengli coalfield, Inner Mongolia[J]. *Geoscience*, 17(4): 453~458 (in Chinese with English abstract).
- Du Gang, Zhuang Xinguo, Querol X, *et al.* 2009. Ge distribution in the Wulantuga high-germanium coal deposit in the Shengli coalfield, Inner Mongolia, Northeastern China[J]. *International Journal of*

- Coal Geology, 78: 16~26.
- Du Gang, Xia Bin, Qin Shengli, *et al.* 2008. Genetic relationship of Ge-coal deposit in Shengli coal field and micro-environment of coal-forming swamp[J]. Journal of China Coal Society, 33(4): 405~409(in Chinese with English abstract).
- Fan Guoqiang. 2011. Occurrence regularity of coal and mining geology in eastern Shengli coalfield[J]. Pioneering with Science and Technology Monthly, 4: 162~163(in Chinese with English abstract).
- Hower J C, Eble C F, O'Keefe J M K, *et al.* 2015. Petrology, palynology, and geochemistry of gray hawk coal (Early Pennsylvanian, Langsettian) in Eastern Kentucky, USA[J]. Minerals, 5: 592~622.
- Huang Wenhui, Sun Lei, Ma Yanying, *et al.* 2007. Distribution and geological feature of the Coal-Ge deposit of Shengli coalfield in Inner Mongolia of China[J]. Journal of China Coal Society, 32(11): 1 147~1 151(in Chinese with English abstract).
- Ketris M P and Yudovich Y E. 2009. Estimations of Clarkes for carbonaceous biolithes: world average for trace element contents in black shales and coals[J]. International Journal of Coal Geology, 78: 135~148.
- Seredin V V and Dai Shifeng. 2012. Coal deposits as potential alternative sources for lanthanides and yttrium[J]. International Journal of Coal Geology, 94: 67~93.
- Taylor S R and McLennan S M. 1985. The continental crust: its composition and evolution[M]. Blackwell, P. London, UK.
- Wang Lanming. 1999. Introduction of the geological feature and exploring of Wulantuga germanium deposit in Xilinguole League, Inner Mongolia[J]. Geol. Inn. Mong., 92(3): 15~20(in Chinese).
- Zhao Ping. 2006. Development situation and future imagine in Shengli coalfield[J]. Western Resources, 13(4): 17~19(in Chinese with English abstract).
- Zhuang Xinguo, Querol X, Alastuey A, *et al.* 2006. Geochemistry and mineralogy of the Cretaceous Wulantuga high-germanium coal deposit in Shengli coal field, Inner Mongolia, Northeastern China[J]. International Journal of Coal Geology, 66: 119~136.

附中文参考文献

- 杜 刚, 汤达祯, 武 文, 等. 2003. 内蒙古胜利煤田共生锆矿的成因地球化学初探[J]. 现代地质, 17(4): 453~458.
- 杜 刚, 夏 斌, 秦胜利, 等. 2008. 内蒙古胜利煤田共生锆矿与成煤沼泽微环境的成因关系[J]. 煤炭学报, 33(4): 405~409.
- 范国强. 2011. 胜利煤田东区井田地质及煤的赋存规律[J]. 科技创新月刊, 4: 162~163.
- 黄文辉, 孙 磊, 马延英, 等. 2007. 内蒙古自治区胜利煤田锆矿地质及分布规律[J]. 煤炭学报, 32(11): 1 147~1 151.
- 王兰明. 1999. 内蒙古锡林郭勒盟乌兰图嘎锆矿地质特征及勘查工作简介[J]. 内蒙古地质, 92(3): 16~20.
- 赵 平. 2006. 胜利煤田开发的现状与未来[J]. 西部资源, 13(4): 17~19.