

朝鲜煤中元素含量及分布

胡 军^{1,2}, 郑宝山¹, 王滨滨¹, 王明仕^{1,2}, 李社红¹, 吴代赦³, 朴贤郁⁴

(1. 中国科学院 地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州, 贵阳 550002 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039 3. 南昌大学 环境科学与工程学院, 江西 南昌 330029 4. 朝鲜科学院 地质学研究所, 平壤 恩情区域)

摘 要: 对朝鲜 50 个煤样中 61 种元素含量进行测定研究, 结果显示朝鲜煤相对地壳高富集元素 Li, B, P, As, Se, Cd, Sn, Sb, Hg, Pb 等, 大多数元素含量均值与美国煤较为接近, 与中国煤中元素含量相差稍大, 各元素含量基本分布在世界平均范围内, 没有发现异常高值, 大多数元素在早晚侏罗世、古近纪煤中较其它时期更为富集。

关键词: 朝鲜; 煤; 元素; 含量; 分布

中图分类号: P618.11 **文献标识码:** A

Concentration and distribution of elements in coals from DPR Korea

HU Jun^{1,2}, ZHENG Bao-shan¹, WANG Bin-bin¹, WANG Ming-shi^{1,2}, LI She-hong¹,
WU Dai-she³, PARK Hyun-ook⁴

(1. State Key Lab of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences Guiyang 550002 China 2. Graduate School Chinese Academy of Sciences Beijing 100039 China 3. The College of Environmental Science & Engineering Nanchang University, Nanchang 330029 China 4. Institute of Geology, Academy of Science of DPR Korea, Kimmaul-dong Moranbong District Pyongyang DPR Korea)

Abstract The concentrations of sixty one elements in DPR Korea coals were determined. The studies show that elements Li, B, P, As, Se, Cd, Sn, Sb, Hg, Pb are highly enriched DPR Korea coals. The means of elements in DPR Korea coals are closer to American coals than Chinese coals, and most elements contents are distributed in the average ranges of world coals. No abnormally high values are found in DPR Korea coals. Most elements are more enriched in late Jurassic and Paleogene coals than the other coal forming ages.

Key words DPR Korea; coals; elements; concentration; distribution

Swaine 等人列出了 24 种对环境产生影响的元素, 燃煤排放为其主要来源之一^[1]。煤中元素含量的测定, 对煤炭的综合利用及环境评价等具有重要的作用。一些发达国家和主要煤炭生产国从 20 世纪六七十年代就开始对煤中微量元素含量作区域性或全国性的调查^[2]。中国从 20 世纪 80 年代以来也作了大量的调查研究。在朝鲜境内几乎没有石油、天然气资源, 能源消耗主要依靠煤炭。据报道, 2001 年煤炭消耗占一次能源的 86%^[3]。煤炭探明储量的 70% 为无烟煤, 主要分布于平安南道北部, 褐煤主要分布在咸镜北道一带及平安南道安州地区^[4]。主要成煤时代为早二叠世、早晚侏罗世、古近纪、新近纪^[5]。由于多方面的原因, 有关朝鲜煤中元素含量分布的调查研究进行的非常少。

1 样品的采集及分析方法

按照朝鲜煤炭资源分布及煤炭产量状况, 在各大小煤矿区采集样品共 50 个 (图 1)。样品中 61 种元

收稿日期: 2005-04-29

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (40133010)

作者简介: 胡 军 (1979-), 男, 湖北荆州人, 博士研究生, Tel: 0851-5895874, E-mail: hujun79@126.com

素的分析测试在美国地调所 (USGS) 实验室完成. 煤中 Si Al Ca Mg K Fe Ti P 及 B Ba Zr 等 11 种元素含量采用烧结消化 ICP-AES 测定, Na Be Co Cr Cu Li Mn Ni Se Sr Th V, Y, Zn S 等 15 种元素含量利用酸性消化 ICP-AES 测定; Ce Dy Er Eu Gd Hf Ho La Nd Pr Sm, Ta Tb Tm, W, Yb 等 16 种元素含量采用烧结消化 ICP-MS 测定, Ag As Bi Cd Cs Ga Ge Mo Nb Pb Rb Sb Sn Te Tl U 等 16 种元素含量采用酸性消化 ICP-MS 测定. Hg Se 元素含量分别采用冷原子吸收分析 (CVAAS)、氢化物原子吸收光谱分析 (HGAAS) 测定. Cl 含量采用离子色谱法 (IC) 测定.

表 1 朝鲜煤中 61 种元素含量及统计分析结果

Table 1 Concentrations and statistical results of 61 elements in DPR Korea coals

元 素	分布范围	算术 (几何) 均值	标准差	克拉克值 ⁽¹⁾	富集因子	样品数	元 素	分布范围	算术 (几何) 均值	标准差	克拉克值 ⁽¹⁾	富集因子	样品数
Na %	0~0.5	0.1 (0.1)	0.1	2.36	0.2	50	Mn	4~395	78.4 (51.2)	76.6	950	0.4	50
Mg %	0.01~0.9	0.2 (0.2)	0.2	2.33	0.4	50	Co	0.9~29	6.5 (4.9)	5.4	25	1.2	50
Al %	0.4~8	2.4 (1.9)	1.6	8.23	1.3	50	Ni	2~53	13.8 (10.6)	10.6	75	0.8	50
Si %	1~17	4.6 (3.6)	3.6	28.15	0.7	50	Cu	0.9~176	17.8 (11.9)	24.9	55	1.4	49
P %	0.01~0.2	0.03 (0.02)	0.04	0.105	1.3	50	Zn	3~2 960	81.0 (17.9)	416	70	5.2	50
S %	0.1~4	0.6 (0.4)	0.7	0.026	102	50	Ga	2~18	6.3 (5.5)	3.6	15	1.9	50
K %	0.03~2	0.4 (0.3)	0.4	2.09	0.9	50	Ge	0.06~28	1.4 (0.6)	3.9	1.5	4.2	50
Ca %	0.01~2	0.4 (0.2)	0.5	4.15	0.4	50	As	1~183	14.6 (7.7)	26.2	1.8	36	50
Ti %	0.03~0.4	0.1 (0.1)	0.07	0.57	0.9	50	Se	0.1~22	2.3 (1.0)	3.6	0.05	208	47
Fe %	0.2~3	0.8 (0.6)	0.7	5.63	0.7	50	Rb	1~153	27.1 (16.7)	31.8	90	1.3	50
La	3~53	14.5 (12)	9.7	30	2.2	50	Sr	24~510	132 (97.1)	112	375	1.6	50
Ce	5~102	27.2 (22.6)	18.2	60	2.0	50	Zr	9~132	40.2 (33.7)	25.6	165	1.1	50
Pr	0.6~10	2.9 (2.5)	1.9	8.2	1.6	50	Nb	0.6~8	2.4 (2.0)	1.6	20	0.5	50
Nd	2~38	11.1 (9.4)	7.0	28	1.8	50	Mo	0.2~8	1.3 (0.8)	1.5	1.5	3.8	50
Sm	0.6~7	2.3 (1.9)	1.3	6.0	1.7	50	Ag	0.2~0.4	0.3 (0.3)	0.1	0.07	19	3
Eu	0.1~1	0.5 (0.4)	0.3	1.2	1.8	50	Cd	0.01~20.0	0.5 (0.1)	2.9	0.2	12	48
Gd	0.4~4	1.4 (1.2)	0.8	5.4	1.2	50	Sn	0.5~87.0	4.8 (2.5)	12.2	2	11	49
Tb	0.1~0.8	0.3 (0.3)	0.2	0.9	1.5	50	Sb	0.08~2.0	0.4 (0.3)	0.3	0.2	8.9	50
Dy	0.6~5	2.0 (1.7)	1.1	3.0	2.9	50	Te	0.01~0.3	0.1 (0.7)	0.05	0.02	18	49
Ho	0.1~0.8	0.4 (0.3)	0.2	1.2	1.4	50	Cs	0.2~11.0	2.5 (1.7)	2.3	3	3.7	50
Er	0.3~2	1.1 (1.0)	0.6	2.8	1.7	50	Ba	10~812	165 (106)	169	425	1.7	50
Tm	0.1~0.6	0.3 (0.2)	0.1	0.48	2.5	50	Hf	0.3~4.0	1.1 (0.9)	0.8	3	1.7	50
Yb	0.3~2	1.0 (0.9)	0.5	3.0	1.5	50	Ta	0.07~0.8	0.3 (0.3)	0.2	2	0.6	42
Y	2.9~22	7.2 (6.2)	4.4	33	1.0	50	W	0.3~26.0	3.3 (2.0)	4.2	1.5	9.8	50
Sc	2~12	4.9 (4.2)	2.8	22	1.0	50	Hg	0.02~3.0	0.4 (0.2)	0.1	0.08	20	50
Li	2~190	49.2 (28.6)	47.4	20	11	50	Tl	0.01~1.0	0.3 (0.2)	0.2	0.45	2.5	50
Be	0.3~4	1.2 (1.0)	0.8	2.8	1.9	50	Pb	1.37~259	24.4 (12.9)	44.6	12.5	8.7	50
B	4~218	44.7 (23.3)	55.1	10	20	47	Bi	0.01~3.0	0.2 (0.1)	0.4	0.17	4.7	48
Cl	200~1 000	400 (400)	200	130	14	40	Th	0.6~20.0	5.1 (4.1)	3.7	9.6	2.4	49
V	7~93	32.2 (25.8)	22.5	135	1.1	50	U	0.2~7.0	1.4 (1.1)	1.3	2.7	2.4	50
Cr	4~80	17.8 (13.8)	14.9	100	0.8	50							

注: (1) 来自 Taylor S R^① (1964); 元素含量为 $\mu\text{g/g}$ (除标 % 外).

2 分析结果讨论

2.1 朝鲜煤中 61 种元素含量

表 1 给出了朝鲜煤中各元素含量分布范围、均值及相对地壳中各元素的富集因子等. 朝鲜煤相对地壳

中高度富集 Li B S Cl Zn As Se Cd Sn Sb W, Hg Ag Pb等元素, 富集因子基本在 8以上; 稍微富集元素 Mn Mo Cs La Ce Dy Yb Tl Bi Th U等, 富集因子在 2~5之间. 原煤中元素相对地壳中微量元素的富集因子 $E_F = (A_i B_{Sc}) / (C_i D_{Sc})$. 其中 A_i 为煤中元素 i 含量的算术平均值; B_{Sc} 为煤中 Sc 含量算术平均值; C_i 为元素 i 的克拉克值; D_{Sc} 为元素 Sc 的克拉克值.

2.2 朝鲜煤中 61种元素含量与中国、美国、世界煤比较

表 2 中朝鲜煤大部分元素含量算术均值与美国煤中元素含量算术均值比较接近, 只有 Tl Ge Sn W, Li Sb Mo Nb Cs Pb Hg 等 11 种元素相差相对较大, 均值之比大于 2; 朝鲜煤与中国煤中元素含量均值相差稍大, 共有 19 种元素均值之比大于 2; 与世界煤比较, Hg Cs Sb Rb Cl Ge Mo As Li Sn Nd Ce Y 等 13 种元素均值相差相对较大.

朝鲜煤中元素含量分布范围与世界平均范围相差不大, 没有发现元素含量异常高值. 本次研究中, 朝鲜煤样品仅有 50 个, 今后还需进行深入地探讨.

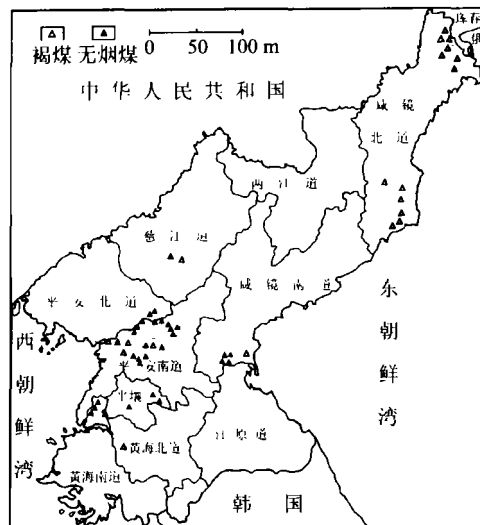


图 1 朝鲜主要地区及采样点位置分布

Fig. 1 Main district in DPR Korea and the locations distribution of fifty coal samples

表 2 朝鲜煤中元素含量与中国煤、美国煤、世界煤中元素含量的比较

Table 2 Comparisons of elements concentrations in DPR Korea coals Chinese coals American coals and world coals

元 素	朝鲜煤			中国煤 ⁽¹⁾		美国煤 ⁽⁴⁾		世界煤	
	范围	算术均值	样数	范围	算术均值	最大值	算术均值	范围 ⁽⁵⁾	算术均值 ⁽⁶⁾
Na %	0~0.5	0.1	50	0.002~0.46 ⁽²⁾	0.08 ⁽²⁾	1.4	0.08	nd	0.02
Mg %	0.01~0.90	0.2	50	0.05~3.97 ⁽²⁾	0.42 ⁽²⁾	1.5	0.11	nd	0.02
Al %	0.4~8.0	2.4	50	0.10~7.11 ⁽²⁾	1.94 ⁽²⁾	10.6	1.50	nd	1.0
Si %	1~17	4.6	50	nd	nd	(13.0)	(2.4)	nd	nd
P %	0.01~0.20	0.03	50	0.001~0.1	0.02	5.8	0.043	0.001~0.300	nd
S %	0.1~4.0	0.6	50	nd	nd	(3.0)	(2.17)	nd	nd
K %	0.03~2.00	0.4	50	0.01~2.89 ⁽²⁾	0.33 ⁽²⁾	2.0	0.18	nd	0.01
Ca %	0.01~2.00	0.4	50	0.17~4.82 ⁽²⁾	1.31 ⁽²⁾	72	0.46	nd	1.0
Ti %	0.03~0.40	0.1	50	0.001~0.42	0.052	0.74	0.08	0.001~0.200	nd
Fe %	0.2~3.0	0.8	50	0.07~4.48 ⁽²⁾	1.21 ⁽²⁾	24	1.3	nd	1.0
La	3~53	14.5	50	0.21~118 ⁽²⁾	26.1 ⁽²⁾	300	12.0	1~40	10
Ce	5~102	27.2	50	2.35~225 ⁽²⁾	49.8 ⁽²⁾	700	21.0	2~70	11.5
Pr	0.6~10.0	2.9	50	0.15~28.2 ⁽³⁾	3.8 ⁽³⁾	(65.0)	(4.81)	1~10	nd
Nd	2~38	11.1	50	0.06~88.7 ⁽²⁾	22.1 ⁽²⁾	230	9.5	3~30	4.7
Sm	0.6~7.0	2.3	50	0.08~19.3 ⁽²⁾	4.09 ⁽²⁾	18	1.7	0.5~6.0	1.6
Eu	0.1~1.0	0.5	50	0.02~2.54 ⁽³⁾	0.72 ⁽²⁾	4.8	0.40	0.1~2.0	0.7
Gd	0.4~4.0	1.4	50	0.26~19.3 ⁽³⁾	3.4 ⁽³⁾	(21.0)	(1.50)	0.4~4.0	nd
Tb	0.1~0.8	0.3	50	0.03~2.4 ⁽²⁾	0.58 ⁽²⁾	3.9	0.30	0.1~1.0	0.3
Dy	0.6~5.0	2.0	50	0.27~25.1 ⁽³⁾	3.14 ⁽³⁾	(28.0)	(1.49)	0.5~4.0	nd
Ho	0.1~0.8	0.4	50	0.06~6.5 ⁽³⁾	0.73 ⁽³⁾	(12.0)	(0.47)	0.1~2.0	nd
Er	0.3~2.0	1.1	50	0.13~19.5 ⁽³⁾	2.1 ⁽³⁾	(11.0)	(0.63)	0.5~3.0	nd
Tm	0.1~0.6	0.3	50	0.02~3.7 ⁽³⁾	0.34 ⁽³⁾	(5.1)	(0.28)	nd	nd
Yb	0.3~2.0	1.0	50	0.05~20.2 ⁽²⁾	1.78 ⁽²⁾	20	0.95	0.3~3.0	0.5

续表

元 素	朝鲜煤			中国煤 ⁽¹⁾		美国煤 ⁽⁴⁾		世界煤	
	范围	算术均值	样数	范围	算术均值	最大值	算术均值	范围 ⁽⁵⁾	算术均值 ⁽⁶⁾
Y	2.9~22.0	7.2	50	0.5~22.0	8	170	8.5	2~50	15 ⁽⁴⁾
Sc	2~12	4.9	50	0.5~12.0	3	100	4.20	1~10	5.0
Li	2~190	49.2	50	0.5~37.0	14	370	16	1~80	20 ⁽⁴⁾
Be	0.3~4.0	1.2	50	0.1~0.6	2	330	2.2	0.1~15.0	1.5 ⁽⁴⁾
B	4~218	44.7	47	10~250	63	1 700	49	5~400	75
Cl	200~1 000	400	40	50~500	220	8 800	614	50~2 000	1 000
V	7~93	32.2	50	2~100	21	370	22	2~100	25
Cr	4~80	17.8	50	2~50	12	250	15	0.5~60.0	10
Mn	4~395	78.4	50	4~109	77	2 500	43	5~300	50
Co	0.9~29.0	6.5	50	1~20	7	500	6.1	0.5~30.0	5.0
Ni	2~53	13.8	50	2~65	14	340	14	0.5~50.0	15
Cu	0.9~176	17.8	49	1~50	13	280	16	0.5~50	15
Zn	3~2 960	81.0	50	2~106	35	19 000	53	5~300	50
Ga	2~18	6.3	50	1~20	9	45	5.7	1~20	7
Ge	0.06~28.0	1.4	50	0.5~10.0	4	780	5.7	0.5~50.0	6 ⁽⁴⁾
As	1~183	14.6	50	0.4~10	5	2 200	24	0.5~80	5.0
Se	0.1~22.0	2.3	47	0.1~11.0	2	150	2.8	0.2~10.0	3.0
Rb	1~153	27.1	50	1~30	8	140	21	2~50	5
Sr	24~510	132	50	27~300	136	2 800	130	15~500	130
Zr	9~132	40.2	50	20~150	52	700	27	5~200	30
Nb	0.6~8.0	2.4	50	1~97	14	70	2.0	1~20	nd
Mo	0.2~8.0	1.3	50	1~15	4	280	3.3	0.1~10.0	5.0
Ag	0.2~0.4	0.3	3	0.2~1.0	0.5	19	(<0.1)	0.02~2.0	<0.1 ⁽⁴⁾
Cd	0.01~20.0	0.5	48	0.01~3.0	0.2	170	0.47	0.1~3.0	0.3
Sn	0.5~87.0	4.8	49	0.4~5.0	2	140	1.3	1~10	2 ⁽⁴⁾
Sb	0.08~2.0	0.4	50	0.1~10.0	2	35	1.2	0.05~10.0	3.0
Te	0.01~0.30	0.1	49	0.09~20.0	2.8	nd	(<0.1)	nd	nd
Cs	0.2~11.0	2.5	50	0.1~0.3	1	15	1.1	0.3~5.0	0.2
Ba	10~812	165	50	13~400	82	22 000	170	20~1 000	120
Hf	0.3~4.0	1.1	50	0.01~9.0	2.4	18	0.73	0.4~5.0	nd
Ta	0.07~0.80	0.3	42	0.06~4.0	0.7	1.7	0.22	0.1~1.0	0.3
W	0.3~26.0	3.3	50	0.1~9.0	2	400	1.0	0.5~5.0	2
Hg	0.02~3.0	0.4	50	0.01~1.0	0.15	10	0.17	0.02~0.1	0.012
Tl	0.01~1.0	0.3	50	0.1~1.0	0.4	52	1.2	<0.2~1.0	nd
Pb	1.37~259.0	24.4	50	10~47	13	1 900	11	2~80	25
Bi	0.01~3.0	0.2	48	0.1~1.4	0.8	nd	(<1.0)	<0.05	nd
Th	0.6~20.0	5.1	49	0.5~15.0	6	79	3.2	0.5~10.0	6.3
U	0.2~7.0	1.4	50	0.5~10.0	3	1 300	2.1	0.5~10	1

注: (1) 来自赵继尧, 等^[7] (2002); (2) 来自任德胎, 等^[8] (1999); (3) 来自赵志根, 等^[9] (2002); (4) 来自 Finkelner B^[10] (1993); (5) 来自 Swaind J et al^[11] (1990); (6) 来自 Valkovic V^[12] (1983); nd为没有数据; ()内数据根据 USGS煤质数据库 (2) 中煤样数据计算得出。

2.3 朝鲜不同时代煤中元素含量的比较

图 2 为早二叠世、新近纪、古近纪、早、晚侏罗世各成煤时期煤炭中元素含量算术均值的比较。仅有少数的几个元素 Li Zn Se Cd Hg Pb Ge Cl Bi 在早二叠世煤中相对其它时代更加富集, 元素 B As Sr Mo W 等在新近纪煤中相对更为富集, 绝大部分元素在早、晚侏罗世、古近纪煤中相对更为富集, 如

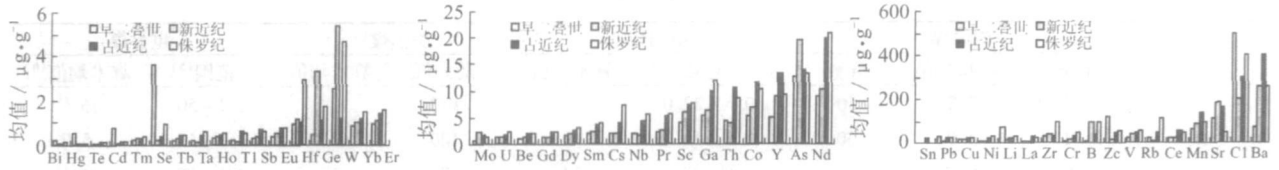


图 2 不同时代的朝鲜煤中各种元素含量均值的比较

Fig. 2 Comparison of the contents of trace elements in the coals studied with different coal forming ages

A, K, Ti, Se, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Ga, Rb, Nb, Cs, Sn, Ba, La, Ce, Hf, Nd, Th 等。

3 结 论

与地壳克拉克值相比较, 朝鲜煤中 Li, B, S, Cl, Zn, As, Se, Cd, Sn, Sb, W, Hg, Ag, Pb 等元素含量均值比地壳中高得多, 富集因子基本在 8 以上。朝鲜煤中各元素与美国煤中相应元素均值较为接近, 各元素含量基本分布在世界平均范围内, 没有发现异常高值。绝大多数的元素在侏罗纪煤、古近纪煤中相对更加富集, 而早二叠世煤及新近纪煤中仅相对富集较少几种元素。

参考文献:

- [1] Swaine D J, Goodarzi F. Environmental aspects of trace elements in coal [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishing, 1995: 312.
- [2] Bragg L J, Oman J K, Tawalt S J, et al. Geological survey coal quality (COALQUAL) database. Version 2.0 CD-ROM. Also <http://energy.er.usgs.gov/products/databases/>. U.S., 1998.
- [3] <http://www.eia.doe.gov/ameu/cabs/nkorea.html>. North Korea Country Analysis Brief, 1~6.
- [4] <http://www.chyl.com.cn/list.asp?id=310>.
- [5] Geological institute academy of sciences DPR of Korea. Geology of Korea [M]. Pyongyang: Korea Foreign Languages Books Publishing House Press, 1993: 123~221.
- [6] Taylor S R. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1964, 28: 1273.
- [7] 赵继尧, 唐修义, 黄文辉. 中国煤中微量元素的丰度 [J]. *中国煤田地质*, 2002, 14 (增刊): 5~17.
- [8] Ren Deyi, Zhao Fenghua, Wang Yunquan, et al. Distributions of minor and trace element elements in Chinese coals [J]. *International Journal of Coal Geology*, 1999, 40: 109~118.
- [9] 赵志根, 唐修义. 中国煤中的稀土元素 [J]. *中国煤田地质*, 2002, 14 (增刊): 70~74.
- [10] Finckelhan R B. Trace and minor elements in coal [A]. In: Engel M. H., Macko S. A. (Eds.), *Organic Geochemistry* [C]. New York: Plenum, 1993: 593~607.
- [11] Swaine D J, Goodarzi F. Trace elements in coal [M]. Sydney: Butterworths, 1990: 278.
- [12] Valovic V. Trace elements in coal [M]. Boca Raton: CRC Press, 1983.