

进口蒙古国煤炭中有害微量元素的含量分布及赋存形态

康 菲¹,王静媛²,杨常青²,陈海林¹,蒋 钊¹

(1. 中国检验认证集团河北有限公司 唐山港分公司,河北 唐山 063600;2. 中华人民共和国呼和浩特海关,内蒙古 呼和浩特 010010)

摘 要:为评估进口煤对国内环境的影响,采用原子荧光光谱、直接测汞仪、离子色谱、电位滴定等对360批蒙古国煤炭中的灰分、硫、汞、砷、氟、氯、磷含量进行了测定,用稳健统计等方法描述了7项指标的整体水平,并根据我国煤炭相关分级标准和富集系数进行了评价。蒙古国煤炭总体为特低汞、特低氯、低灰、低硫、中氟、中砷、中磷煤,砷的平均富集系数均为16,其环境迁入风险值得关注。利用相关分析与聚类分析推断了硫、汞、砷、氟、氯、磷的赋存形态,360批蒙古国煤炭可分为三大类,可能存在3种不同的矿脉来源,具有不同的特征。综合考虑相关分析与因子分析结果,主因子特征可描述为有机态砷伴生矿物因子、含氟矿物(氟磷灰石和硅铝酸盐)因子和硫因子。

关键词:蒙古国煤;有害元素;含量分布;赋存形态

中图分类号:TQ533.1

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2018)06-0032-05

Content and occurrence status of harmful elements in imported Mongolia coals

KANG Fei¹, WANG Jingyuan², YANG Changqing², CHEN Hailin¹, JIANG Zhao¹

(1. Tangshangang Branch, Chian certification & Inspection Group Hebei Co., Ltd., Tangshan 063600, China;

2. Huhehaote Customs District P. R. China, Huhehaote 010010, China)

Abstract: To assess the impact of imported coal on the domestic environment, the contents of ash, sulfur, mercury, arsenic, fluorine, chlorine and phosphorus in the imported 360 batches Mongolia coals were detected by Atomic Fluorescence Spectrometry (AFS), Direct Mercury Analyzer and Potentiometric titration. The overall level of the seven elements was described by the robust statistics and then evaluated according to the China's coal related grading standards and enrichment factor. The results show that the Mongolia coals contains special low mercury and chlorine, low ash and sulfur, medium fluorine, arsenic and phosphorus. The average enrichment factor of arsenic is 16, which should be payed more attention to the risk of environmental pollution. The relevant analysis and cluster analysis were used to infer the occurrence status of sulfur, mercury, arsenic, fluorine, chlorine and phosphorus. 360 batches Mongolia coals can be divided into three different veins sources, and has different characteristics. Comprehensive consideration of correlation analysis and factor analysis results, the main factor features cloud be described as organic arsenic associated factor, fluorine mineral factors (fluorophosphorite and aluminosilicate) and sulfur factor.

Key words: Mongolia coals; harmful elements; content distribution; occurrence status

0 引 言

中国是世界最大的煤炭生产国和消费国,也是世界第二大煤炭进口国,煤中有害元素的释放会严重污染环境、破坏生态系统、危害人类健康^[1]。目

前针对我国进口煤炭中有害元素对环境的影响尚未形成系统性研究,而进口煤炭中有害元素(如硫、汞、砷、氟、氯、磷)存在较大的潜在危险性,有必要对其存在的风险进行评估。

研究表明^[2],不同赋存形态的有害元素在煤炭

收稿日期:2018-02-09;责任编辑:张晓宁 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.18020901

作者简介:康 菲(1987—),女,工程师,主要从事检验检疫分析研究。E-mail:kangfei1209@163.com。通讯作者:杨常青,男,工程师,硕士。E-mail:ycq13009@126.com

引用格式:康菲,王静媛,杨常青,等.进口蒙古国煤炭中有害微量元素的含量分布及赋存形态[J].洁净煤技术,2018,24(6):32-36.

KANG Fei, WANG Jingyuan, YANG Changqing, et al. Content and occurrence status of harmful elements in imported Mongolia coals[J]. Clean Coal Technology, 2018, 24(6): 32-36.



移动阅读

加工利用中以不同形式迁移到大气圈、水圈和土壤圈。元素的赋存形态决定了其在煤炭加工利用过程中释放的难易程度和毒性^[3-4],对有害元素含量的评价及赋存形态的研究是评价元素环境效应的基础。蒙古国是内蒙古口岸进口煤炭最大的输出国,而对其煤炭中有害元素的含量水平、环境迁入风险、赋存形态的研究却鲜见报道。通过对有害元素在煤炭中赋存形态的研究,了解其与其他元素和物质的结合方式及其在环境中的迁移和富集过程,对保护生态环境具有重要的理论和现实意义^[5]。

本文针对内蒙古口岸进口的 360 批蒙古国煤,按照国家标准和检验检疫行业标准对其进行采样、制样并测定有害微量元素含量,评估总体含量及分布特征;并结合相关分析、聚类分析、因子分析等推断有害元素的赋存状态和主要特征,以期政府监管部门制定政策提供理论参考,同时对蒙古国煤炭的环境评估、加工利用、洁净化处理具有一定的参考价值。

1 试 验

1.1 样品采集和制备

选取内蒙古口岸进口的 360 批蒙古国煤作为研究对象,按照 GB 475—2008《商品煤样人工采取方法》进行采样,按照 GB 474—2008《煤样的制备方法》制样,得到 360 个具有代表性的煤样。

表 1 煤样的灰分及有害元素含量范围及代表值

Table 1 Content range and representative value of ash and harmful elements in coal samples

项目	$A_d/\%$	$w(S)_d/\%$	$w(Hg)_d/(\mu g \cdot g^{-1})$	$w(As)_d/(\mu g \cdot g^{-1})$	$w(F)_d/(\mu g \cdot g^{-1})$	$w(Cl)_d/\%$	$w(P)_d/\%$
含量范围	4.39 ~ 34.91	0.05 ~ 11.54	0.010 ~ 0.960	1 ~ 51	44 ~ 210	0.001 ~ 0.071	0.001 ~ 0.167
代表值	11.71±3.72	0.76±0.23	0.085±0.045	36±11	122±37	0.033±0.004	0.082±0.030

2.2 质量评价

微量元素的富集系数 EF 是评价煤中元素富集程度的重要参数,表征煤中元素的污染状况^[8-10]。与地壳平均含量(克拉克值)相比,蒙古国煤中 As 和 Cl 的平均富集系数分别为 16 和 2, Hg、F、P 的平均富集系数均<1,可见 As 呈现富集状态。依据 GB/T 20475 中对 P、Cl、As、Hg 含量的分级、MT 966—2005 中对 F 含量的分级、GB/T 15224—2010 中对灰分及硫含量的分级,蒙古国煤属于特低汞、特低氯、低灰、低硫、中氟、中砷、中磷煤。

1.2 检测分析方法

依据国家标准或检验检疫行业标准对煤中的 Hg、As、F、Cl、P、S、Ash 等元素进行检测。其中, Hg 元素的测定根据 SN/T 3511—2013, As 元素根据 GB/T 3058—2008, F、Cl 元素根据 GB/T 4633—2014, P 元素依据 GB/T 216—2003, 全硫的测定依据 GB/T 214—2007, 灰分依据 GB/T 212—2008, 采用 SPSS 21 进行数据统计分析。

1.3 仪器设备

DMA-80 直接汞分析仪(MILESTONE 公司), AFS-9800 原子荧光光谱仪(北京海光仪器有限公司), CF-II 氟离子测定仪(鹤壁华通分析仪器有限公司), 离子色谱 883(瑞士万通), 电位滴定仪 T50(METTLER), 紫外分光光度计 TU-1810(北京普析通用仪器有限责任公司), 定硫仪 SDS212(湖南三德科技公司), AAF1100 灰分炉(Carbolite)。

2 灰分及有害元素含量测定

2.1 代表值估计

代表值估计是基本统计学参数, F 含量符合正态分布, 则采用“平均值±标准偏差”进行描述, 其余指标含量偏离正态分布, 采用稳健统计“中位值±标准化四分位距”描述^[6-7]。蒙古国煤中灰分及有害元素含量范围及代表值见表 1。

3 蒙古国煤中有害元素的赋存形态

3.1 相关分析

采用相关性分析推断元素的赋存状态, 进而为元素的来源提供参考信息^[5,11]。元素含量与灰分的相关性可推断其有机、无机的亲和性, 与灰分相关不明显, 说明该元素赋存形态比较复杂^[12]; 元素含量与全硫含量的相关性在某种程度上可判断该元素的亲硫性; 元素间的相关性分析可为其伴生关系提供参考。蒙古煤的灰分、有害元素含量的相关系数矩阵见表 2。可以看出, 在 $\alpha=0.01$ 水

平上,与灰分具有显著正相关的元素有 Hg 和 F,与灰分具有显著负相关的元素有 As、Cl、P, S 与灰分的相关性在 $\alpha=0.01$ 和 $\alpha=0.05$ 水平上均未达到

显著相关,可初步推断在蒙古国煤中 Hg 和 F 主要负载于煤的无机矿物质中,As、Cl、P 主要是负载于煤的有机矿物质中。

表 2 蒙古国煤炭中灰分及元素的相关系数矩阵

Table 2 Correlation coefficient of ash and elements in Mongolia coal samples

项目	Ash	S	Hg	As	F	Cl	P
Ash	1						
S	0	1					
Hg	0.16 ^a	-0.01	1				
As	-0.59 ^a	-0.03	-0.20 ^a	1			
F	0.40 ^a	-0.06	0.03	-0.19 ^a	1		
Cl	-0.36 ^a	0.03	-0.13 ^b	0.47 ^a	-0.15 ^a	1	
P	-0.29 ^a	0.11 ^b	0.05	0.56 ^a	-0.08	0.30 ^a	1

注:a 表示在 $\alpha=0.01$ 水平(双侧)上显著相关;b 表示在 $\alpha=0.05$ 水平(双侧)上显著相关,下同。

Davis^[13]、Vistelius^[14]等指出,进行煤炭分析时统计学方法的应用需要样品具有相同的特征,即来源于同一地层层位且灰分范围不能太宽,笔者对朝鲜无烟煤的研究中已得到证明^[15]。本试验蒙古国煤样的灰分范围较宽(4.39%~34.91%),可能存

在不同特征的煤炭来源,依据灰分对数据进行进一步研究发现,灰分 $\leq 11\%$ (包含 152 批样品)、11%~13% (包含 73 批样品)、 $>13.00\%$ (包含 135 批样品)的不同范围内,各指标含量呈不同相关性,其相关系数矩阵见表 3。

表 3 蒙古国煤炭中灰分及元素的相关系数矩阵

Table 3 Correlation coefficient of ash and elements in Mongolia coals

项目	灰分 $\leq 11\%$							11% $<$ 灰分 $\leq 13\%$							灰分 $>13\%$						
	Ash	S	Hg	As	F	Cl	P	Ash	S	Hg	As	F	Cl	P	Ash	S	Hg	As	F	Cl	P
Ash	1							1							1						
S	-0.22 ^a	1							1						-0.19 ^b	1					
Hg	0.02	-0.04	1					-0.42 ^a	1						0.01	0.1	1				
As	0.13	0.04	-0.54 ^a	1							1				-0.60 ^a	0.44 ^a	0.15	1			
F	0.08	0.18 ^b	-0.01	-0.18 ^b	1						0.39 ^b	1			0.34 ^a	-0.27 ^a	-0.19 ^b	-0.37 ^a	1		
Cl	0.10	0.09	-0.32 ^a	0.47 ^a	-0.04	1		-0.24 ^b					1		-0.37 ^a	0.28 ^a	0.05	0.55 ^a	-0.19 ^b	1	
P	0.08	0.41 ^a	-0.41 ^a	0.61 ^a	0.33 ^a	0.37 ^a	1	-0.30 ^a			0.49 ^a		1		-0.53 ^a	0.47 ^a	0.13	0.68 ^a	-0.36 ^a	0.40 ^a	1

由表 3 可知,在灰分 $\leq 11\%$ 和 $>13\%$ 样品中, S 与灰分呈负相关,由此推断 S 主要负载在煤中的有机矿物质中。在 11% $<$ 灰分 $\leq 13\%$ 样品中, Hg-Ash 无显著相关性, Hg-S 呈中度负相关;在灰分 $\leq 11\%$ 和 $>13\%$ 样品中, Hg-S、Hg-Ash 无显著相关性。研究^[16-18]表明,煤中的 S 与 Hg 呈正相关,且在一些低中硫煤样品中, Hg 与黄铁矿硫、全硫的正相关系数很高, Hg 与有机 S 呈显著正相关。由于本试验中蒙古国煤总体属于特低汞、低硫煤, Hg-S 呈中度负相关,与前人研究结果差距较大,说明蒙古国煤炭中 Hg 的赋存形态比较复杂。

As 是复杂的两性元素,通常以微小矿物形式存

在于煤的有机质中^[19-20]。由表 3 可知,灰分 $>13\%$ 样品中, As-Ash 在 $\alpha=0.01$ 水平上呈显著负相关, As-S 呈中度正相关,由此可推断 As 主要以有机态赋存,并与有机态 S 伴生,属于煤炭自生。

灰分 $>13\%$ 时, P、S 与 Ash 呈负相关,推测其主要负载在煤中的有机矿物质中; F 与灰分呈中度正相关,与 P、S 呈负相关,可知蒙古国煤中 F 不是以无机硫化物态、有机硫结合态、被硫化矿物吸附、氟磷矿物的形式赋存,可能主要赋存于无机黏土矿物(硅铝酸盐)中。由于 F 的离子势 <1 ,不能与有机质结合,而灰分是煤中矿物质的衍生物,灰分越高表明 F 含量越高^[21-23]。齐庆杰等^[8]研究表明,煤中的 F

属于“中等无机型”元素,无机亲和力较强,有机亲和力较弱,与本文分析结果一致。

灰分 $>11\%$ 时,Cl-Ash 呈负相关;当灰分 $>13\%$ 时,Cl-S 呈微弱正相关,Cl-As 呈中度正相关,说明灰分 $>11\%$ 时以有机态赋存,且与 As 和 Cl 伴生。

灰分 $\leq 11\%$ 时,P-F 呈低度正相关,表明部分 F 也可能存在于磷铝钙石晶格中,或以氟磷灰石赋存^[21,24-26]。灰分 $>13\%$ 时,P-As、P-Cl 呈正相关,表明 P、As、Cl 有一定的伴生关系,以有机态赋存。

3.2 聚类分析

聚类分析^[15,27-28]是将研究对象分为相对同质群组的统计分析方法,利用煤中微量元素间的 R 型聚类分析,可得出不同亲疏程度的元素组合,确定微量元素间的相关性,进而推断其相互依存关系,判断其赋存状态。对 152、135 批进口蒙古国煤炭分别进行 R 型聚类分析,考察 5 种有害元素含量、全硫含量及灰分的聚类情况(图 1)。152 批样品中可聚 4 类:① 聚类 1。包括 As、P、Cl,表明 As、P、Cl 存在依存关系。② 聚类 2。包括 S、F,表明存在依存关系,为有机 S 结合态。③ 聚类 3。灰分。④ 聚类 4。Hg。135 批样品中可聚 3 类:① 聚类 1。包括 As、P、Cl、S,为有机砷结合态。② 聚类 2。包括灰分、F,为无机黏土矿物(硅铝酸盐)。③ 聚类 3。Hg。在很大程度上,聚类分析结果与相关性分析结果相吻合,可为研究煤炭有害元素的不同赋存状态提供参考。

3.3 因子分析

利用 SPSS 21 软件进行因子分析,采用最大方差法对初始因子进行旋转,4 次迭代后收敛。经检验,反映像相关矩阵中的大部分 MSA 值接近 1, KMO=0.7, Bartlett 球形度检验 sig. <0.05 ,验证了取样的充分性与因子分析的合理性。主成分信息表明,第 1 主因子中的 As、第 2 主因子中的 F、第 3 主因子中的 S 具有较高的因子载荷。综上,蒙古国煤的主因子特征可描述为有机态砷伴生矿物因子、含氟矿物(氟磷灰石和硅铝酸盐)因子和硫因子。

4 结 论

1) 内蒙古口岸进口的蒙古国煤总体为特低汞、特低氯、低灰、低硫、中氟、中砷、中磷煤,其中 As 的平均富集系数为 16,具有环境迁入风险。蒙古国煤炭主因子特征可描述为有机态砷伴生矿物因子、含氟矿物(氟磷灰石和硅铝酸盐)因子和硫因子。

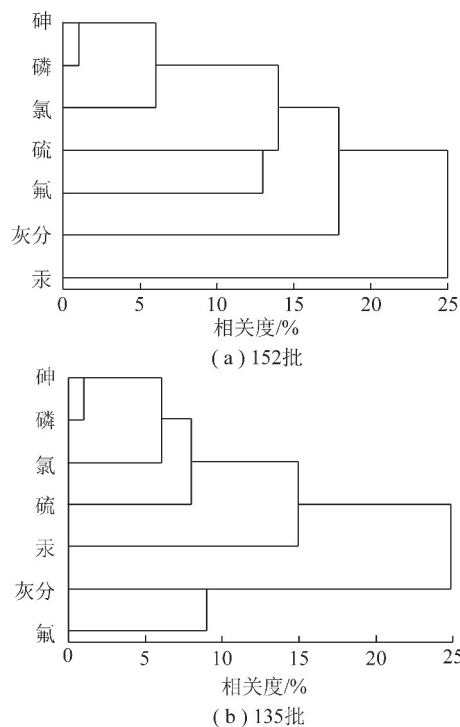


图 1 R 型聚类分析

Fig. 1 R type cluster analysis

2) 360 批煤样可分为三大类:① 152 批样品中,灰分 $\leq 11\%$ 时,Ash-S 呈负相关,以有机态 S 为主;F-S 呈正相关,存在伴生关系;As、P、Cl 存在伴生关系。② 73 批样品中,11% $<$ 灰分 $\leq 13\%$ 时,相关关系不明显,无显著特征。③ 135 批样品中,灰分 $>13\%$ 时,As、P、Cl、S 与 Ash 呈显著负相关,其中 As、P、Cl 显著正相关,为有机砷结合态;Ash 与 F 呈显著正相关,为无机黏土矿物(硅铝酸盐)。

参考文献(References):

- [1] 丁宁. 煤炭中造成大气污染有害元素的分析[J]. 中国标准化, 2018(9):163-164.
DING Ning. Analysis of harmful elements causing atmospheric pollution in coal[J]. China Standardization, 2018(9):163-164.
- [2] 谢萍,杨璐,李晶,等. 进口俄罗斯煤炭中有害元素的含量分布及赋存形态的研究[J]. 沈阳师范大学学报, 2017, 35(4):452-455.
XIE Ping, YANG Lu, LI Jing, et al. Study on the distribution of harmful elements in imported Russian coal and its exogenicity[J]. Journal of Shenyang Normal University, 2017, 35(4):452-455.
- [3] 洪伟,张衡,张春田,等. 煤品质变化及有害元素迁移的研究进展[J]. 洁净煤技术, 2016, 22(5):108-112.
HONG WEI, ZHANG Heng, ZHANG Chuntian, et al. Research progress on the change of coal quality and the migration of hazardous elements[J]. Clean Coal Technology, 2016, 22(5):108-112.
- [4] 刘桂建,彭子成,王桂梁,等. 煤中微量元素研究进展[J]. 地球

- 科学进展,2002,17(1):53-62.
- LIU Guijian, PENG Zicheng, WANG Guiliang, et al. Research progress on trace elements in coal[J]. Advance In Earth Sciences, 2002,17(1):53-62.
- [5] 刘曙,沈劫,周海明,等. 电感耦合等离子体质谱-原子荧光光谱法研究上海口岸进口印度尼西亚煤炭微量元素的赋存形态特征[J]. 岩矿测试,2015,34(4):436-441.
- LIU Shu, SHEN Jie, ZHOU Haiming, et al. Study on the excrete morphology of trace elements imported from Indonesian coal at Shanghai Port by inductively coupled plasma mass spectrometry-atomic fluorescence spectrometry[J]. Rock and Mineral Analysis, 2015,34(4):436-441.
- [6] 潘自平,谯文浪,孟伟,等. 贵阳市土壤中镉的赋存形态及其环境效应[J]. 物探与化探,2013(4):737-742.
- PAN Ziping, QIAO Wenliang, MENG Wei, et al. Occurrence of cadmium in soil and its environmental effect in Guiyang city[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2013(4):737-742.
- [7] 谢玉珑,王继红,梁逸曾,等. 化学计量学中的稳健估计方法[J]. 分析化学,1994,22(3):292-298.
- XIE Yulong, WANG Jihong, LIANG Yizeng, et al. A robust estimation method in chemometrics[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 1994,22(3):292-298.
- [8] 齐庆杰,刘建忠,周俊虎,等. 煤中微量元素氟测定方法的研究进展[J]. 煤炭转化,2000,24(2):7-11.
- QI Qingjie, LIU Jianzhong, ZHOU Junhu, et al. Research progress on the method of determination of fluoride in coal[J]. Coal Conversion, 2000,24(2):7-11.
- [9] 黎彤. 地壳元素丰度的若干统计特征[J]. 地质与勘探,1992,28(10):1-7.
- LI Tong. Some statistical characteristics of crustal elemental abundance[J]. Geology and Prospecting, 1992,28(10):1-7.
- [10] 袁晓鹰,张永春,姜涛. 进口煤炭中有害微量元素的风险类别[J]. 煤炭科技,2013(1):95-97.
- YUAN Xiaoying, ZHANG Yongchuan, JIANG Tao. Risk categories for harmful trace elements in imported coal[J]. Coal Science & Technology Magazine, 2013(1):95-97.
- [11] DAI Shaiher, REN Deng, TANG Yangge, et al. The application of statistics in coal[J]. International Journal of Coal Geology, 2005,61(6):119-137.
- [12] VASSILEV Sesenwvser, KITANO Kaven, VASSILEVA Claveghcewe. Research report based on mathematical analysis[J]. Fuel, 1997,76(1):3-8.
- [13] DAVIS J C. Statistical characteristics of harmful elements in coal[J]. Statistics and Data Analysis in Geology, 1973,36(5):106-108.
- [14] VISTELIUS Anany. Statistical methods for the study of mineral elements[J]. Principles of Mathematical Geology, 1980,24(6):23-25.
- [15] 杨常青,张双双,白冰,等. 进口朝鲜无烟煤中汞等有害元素的含量分布及赋存形态[J]. 分析实验室,2016,35(8):928-931.
- YANG Changqing, ZHANG Shuangshuang, BAI Bing, et al. Distribution of mercury and other harmful elements in imported Korean anthracite[J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2016,35(8):928-931.
- [16] DAI Shanyan, SUN Yanzen. Study on the method of determination of fluoride in coal[J]. International Journal of Coal Geology, 2006,66:217-226.
- [17] ZHENG Liugen. Correlation between fluorine and ash in coal[J]. International Journal of Coal Geology, 2008,73:19-26.
- [18] TADEUSZ Dziok, ANDRZEJ Strugała, ANDRZEJ Rozwadowski, et al. The existing form of fluorine in coal[J]. Fuel, 2015,159:206-213.
- [19] 赵毅,杨春燕,仇稳,等. 煤中砷的分布赋存形态及对环境的影响[J]. 唐山学院学报,2016(3):63-66.
- ZHAO Yi, YANG Chunyan, QIU Wen, et al. Distribution patterns of arsenic in coal and its effect on environment[J]. Journal of Tangshan University, 2016(3):63-66.
- [20] 赵志西,张黎明,陈平,等. 燃烧温度对煤中砷赋存形态转化的影响[J]. 化工管理,2015,20(2):166.
- ZHAO Zhixi, ZHANG Liming, CHEN Ping, et al. Effect of combustion temperature on the morphology transformation of arsenic in coal[J]. Chemical Enterprise Management, 2015,20(2):166.
- [21] 刘雪锋,郑楚光,刘晶,等. 贵州煤中氟赋存形态分析[J]. 中国电机工程学报,2008,28(8):46-51.
- LIU Xuefeng, ZHENG Chuguang, LIU Jing, et al. Analysis of fluoride exists in Guizhou Coal[J]. Proceedings of the CSEE, 2008,28(8):46-51.
- [22] 陆佳佳,陈萍,刘震,等. 基于数理统计分析的淮南煤中微量元素的研究[J]. 煤炭技术,2014,10(5):296-298.
- LU Jiajia, CHEN Ping, LIU Zheng, et al. Study on trace elements in Huainan coal based on mathematical statistical analysis[J]. Coal Science & Technology Magazine, 2014,10(5):296-298.
- [23] FINKELMAN R B. Trace and minor elements in coal[M]. Nuoweier; Kluwer Academic Publishers, 1993:158-159.
- [24] ZHENG Lianggao, LIU Ganjiao, QI Chongchuang, et al. Study on trace elements in coal[J]. International Journal of Coal Geology, 2008,73:139-155.
- [25] 王文峰,秦勇,宋克育. 煤中有害微量元素的赋存状态[J]. 中国煤田地质,2003,15(4):10-15.
- WANG Wenfeng, QING Yong, SONG Danguyu. The existing state of harmful trace elements in coal[J]. Coal Geology of China, 2003,15(4):10-15.
- [26] WANG Xiaoban, DAI Shunfu, SUN Yayang, et al. Fluorapatite exists in the environment[J]. Fuel, 2011,90(1):248-254.
- [27] 林少富,袁蒲佳,申鼎焯,等. 多元统计分析及计算程序[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1987:36-37.
- [28] 邹雨,刘东娜,刘燕海. 大同煤田太原组5号煤层化学元素赋存特征[J]. 煤炭科学技术,2016,44(4):167-172.
- ZOU Yu, LIU Dongna, LIU Yanhai. Characteristics of chemical element in coal seam No. 5 in Taiyuan Formation of Datong coal field[J]. Coal Science and Technology, 2016,44(4):167-172.