

工业锅炉颗粒配煤特性试验研究

赵富全¹,李哲¹,赵行²,李悦江²

(1. 黑龙江科技大学 矿业工程学院,黑龙江 哈尔滨 150022;2. 鸡西市新科洁净煤有限责任公司,黑龙江 鸡西 158100)

摘要:为研究工业锅炉颗粒配煤特性,以鸡西地区的长焰煤和俄罗斯进口煤为试验原料,研究了单质煤及颗粒配煤的挥发分、热值及着火特性。结果表明,18种配煤方案中有13种配煤方案实测挥发分高于计算挥发分,占总配煤方案的72.2%,总体上实测挥发分高于其计算值且具有线性关系,线性相关度 $R=0.9623$ 。有15种配煤方案实测热值比计算值低,占总配煤方案的83.33%,只有3种配煤方案的实测热值比计算值高,占总配煤方案的16.67%,总体上实测热值比计算热值小且具有线性关系,线性相关度 $R=0.9661$ 。说明在允许的误差范围内,工业锅炉颗粒配煤挥发分和热值可由其计算值来预测。着火温度随燃料比的增大而升高且具有线性关系,线性相关度 $R=0.9011$,颗粒配煤的燃料比越大,着火越困难。

关键词:颗粒配煤;挥发分;热值;着火特性

中图分类号:TQ533 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2016)03-0006-05

Granular coal blending characteristics of industrial boiler

ZHAO Fuquan¹, LI Zhe¹, ZHAO Hang², LI Yuejiang²

(1. College of Mines Engineering, Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin 150022, China;
2. Jixi Xinke Clean Coal Co., Ltd., Jixi 158100, China)

Abstract: In order to improve thermal efficiency of industrial boiler, the volatile, calorific value and ignition characteristics of single coal and granular coal blending of long-flame coal from Jixi and import coal from Russia were studied. The results showed that 13 of 18 kinds of coal blending schemes presented higher volatile than calculated value, accounting for 72.2%. On the whole, the measured volatile was higher than the calculated value and they had a linear relationship, the linear correlation R was 0.9623. The measured calorific values of 15 coal blending schemes were lower than the calculated values, accounting for 83.33%. The measured calorific value was smaller than its calculated calorific value and they had a linear relationship. On the whole, the linear correlation R was 0.9661. Within the permitted error, volatile and calorific value of granular coal blending in industrial boiler could be predicted by the calculated value. Ignition temperature increased with the increase of fuel ratio and they had linear relationship, the linear correlation R was 0.9011. A higher fuel ratio was against ignition.

Key words: granular coal blending; volatile; calorific value; ignition characteristic

0 引 言

煤炭是我国主要能源,占我国一次能源消费结构的75%左右,其中大部分直接用于电厂锅炉和工业窑炉燃烧^[1]。其中,工业锅炉是燃料煤消耗的主

要燃煤工具之一。工业锅炉一般是针对某一种煤设计,其允许煤质指标的波动范围有限。目前,由于过度追求经济效益、忽视环境效益、燃料煤选用不合理等因素,导致工业锅炉用煤质量不稳定,经常偏离锅炉的设计煤种,造成煤耗增加、炉膛结渣、污染物排

收稿日期:2015-10-26;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2016.03.002

基金项目:黑龙江省科技攻关计划资助项目(GZ11A402);黑龙江省应用技术与开发计划资助项目(GC13A112)

作者简介:赵富全(1988—),男,甘肃定西人,硕士研究生,主要从事洁净煤技术研究。E-mail:1074303566@qq.com。通讯作者:李哲(1964—),男,教授,博士,主要从事矿物加工工程的教学与研究。E-mail:13199565365@163.com

引用格式:赵富全,李哲,赵行,等.工业锅炉颗粒配煤特性试验研究[J].洁净煤技术,2016,22(3):6-10.

ZHAO Fuquan, LI Zhe, ZHAO Hang, et al. Granular coal blending characteristics of industrial boiler[J]. Clean Coal Technology, 2016, 22(3): 6-10.

放超标等问题,影响锅炉运行的经济性与安全性,设备寿命下降。因此,大型用煤单位已开始使用2种或3种煤进行掺配,这样既可减轻环境压力,也可提高锅炉及燃烧设备的燃烧效率,提高经济效益。混配煤的特性并不是单一煤种性质的简单叠加^[2-6],因为煤种不同,其组成及特性不同,在掺烧过程中煤粒之间相互制约,相互影响^[7]。国内外很多学者对不同煤种不同配比的配煤进行试验研究,普遍认为通过适当配煤可以满足锅炉的设计要求,拓宽燃煤品种,节约煤炭资源,并有效降低燃煤成本及污染物排放。周国江等^[8-9]利用动力配煤技术、煤炭分级燃烧和添加剂技术相结合对工业锅炉复合颗粒煤的燃烧进行研究,并在工业链条炉上进行了燃烧试验,结果表明,燃烧复合颗粒清洁煤可降低烟尘和SO₂的排放,提高锅炉热效率,改善大气环境质量,颗粒配煤及加入添加剂可以改善动力煤燃烧污染排放途径。张大康等^[10]研究了颗粒化洁净配煤技术,并在链条锅炉上进行试验和热工测试,结果表明,链条锅炉燃烧颗粒化洁净配煤工况稳定,炉膛温度高,热效率高,炉渣含碳量低,烟尘和SO₂排放降低,具有显著的节能减排效果。吕玉庭等^[11]针对散煤和全级动力配煤存在的不足进行筛分分级后配煤,研究颗粒清洁煤配煤技术,说明其可降低污染物排放量,达到节能、环保的目的。陈修娟等^[12]通过沉降炉燃烧特性试验,研究了不同煤种以不同比例混合配煤的着火、燃烧、结渣等燃烧特性变化规律及影响因素。结果表明,配煤中挥发分减少,着火温度逐渐升高,煤粉着火推迟,燃烬性变差。胡潮^[13]研究了配煤技术中挥发分、硫分、发热量、灰熔融性4种煤质指标的线性可加性,从配煤的煤质线性可加性对锅炉安全稳定性能进行评价,得出了配煤挥发分、硫分、热值等指标存在线性可加性,煤质相近的煤混配后的煤质指标与单质煤的煤质指标线性关系较为明显,而灰熔融性不具备线性可加性的结论。上述研究都是从环境保护角度研究了烟尘和SO₂的排放与煤质指标之间的线性关系,鲜见有关工业锅炉颗粒配煤挥发分、热值、燃料比与着火温度是否具有线性可加性的研究及其着火特性的探讨。鉴于此,笔者以黑龙江省鸡西市新科洁净煤有限责任公司生产工业锅炉洁净煤常用的3个煤种为基础原料煤,以不同比例进行掺配,结合实验室研究条件,利用热天平研究不同煤种及不同配比煤样的挥发分、热值、着火特性等,以为工业锅炉洁净煤生产工业提供初步参考。

1 试 验

1.1 试验煤样

单质煤选用城子河原煤、龙煤混煤和俄罗斯进口煤。将3种单质煤分级获得3~25 mm颗粒煤,作为配煤原料。依据3种单质煤工业分析和发热量测试结果,根据洁净配煤(挥发分≥25%,发热量≥18.81 MJ/kg)要求,优化计算3种组分煤的掺配比例,具体见表1。

1.2 单质煤及配煤的煤质分析

对试验煤样进行水分、灰分、挥发分、固定碳含量及热值的测定,结果见表1。

1.3 热重分析

试验采用北京恒久科学仪器厂生产的HCT-3型综合热分析仪,对煤样失重过程的试样质量进行分析,并绘制出TG(热失重)曲线,对TG曲线微分可得到DTG(失重速率)曲线,曲线特征反映了煤样的反应状况。曲线的变化过程是整个反应过程的外在表现,TG曲线和DTG曲线有机结合可分析出着火温度和着火特性。

2 结果与讨论

2.1 工业锅炉颗粒配煤煤质特性的变化

2.1.1 挥发分的变化

由各单质煤的实测 V_{ad} 按照颗粒配煤比例求其计算值 V'_{ad} ,并通过 V_{ad} 计算 V_d ,得到实测值和计算值的关系,具体如图1所示。由图1可知,实测值和计算值之间存在差异,但具有线性关系。经回归计算,其线性关系如下

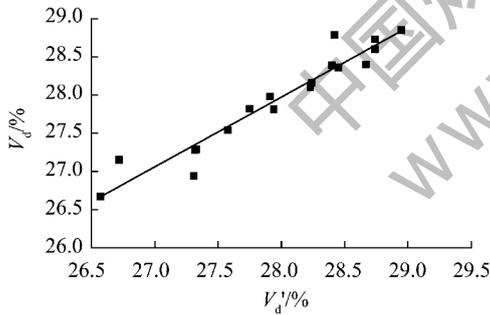
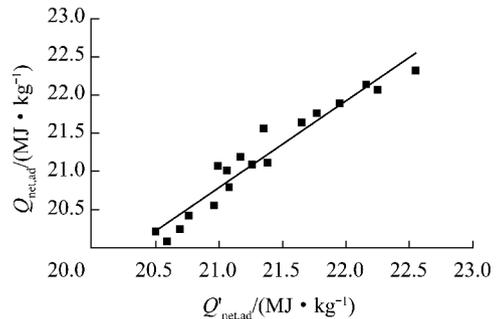
$$V_d = 0.913 3V'_d - 2.401 1 \quad (1)$$

煤的挥发分直接影响煤的着火性能、燃烧稳定性和燃烬程度^[9]。由表1、图1可知,1-1~1-18号配煤方案中有13个煤样的实测挥发分高于计算挥发分,占有配煤方案的72.2%,说明配煤后实际挥发分略有升高。其中相差幅度最大是1-5和1-8号配煤,分别增加了0.2714%和0.3697%;其余5种配煤方案的计算挥发分高于实测挥发分,其中差距最大的是1-7和1-16号配煤,分别减少了0.3647%和0.4333%;颗粒配煤的 V_d 与 V'_d 的线性相关系数 R 高达0.9623。说明在允许的误差范围内,由城子河煤、龙煤混煤、俄罗斯进口煤所得的配煤挥发分可由其加权计算值来预测,配煤的计算挥发分和实测挥发分之间具有线性关系,相关性很好。

表1 试验煤样及配煤性质

Table 1 Property of coal sample and coal blending

煤样 编号	城子河原煤、俄罗斯 煤、龙煤混煤质量比	$M_{ad}/\%$	$A_{ad}/\%$	$V_d/\%$	$FC_{ad}/\%$	$Q_{net,ad}/$ ($MJ \cdot kg^{-1}$)	燃料比 FC_{ad}/V_{ad}	着火温度 $t_i/^\circ C$
1	城子河原煤	1.34	18.50	30.64	49.93	25.32	1.652	431.0
2	俄罗斯煤	0.90	41.75	28.70	28.91	17.48	1.017	406.0
3	龙煤混煤	0.70	38.00	23.13	38.33	19.33	1.669	430.8
1-1	30 : 20 : 50	1.59	33.44	26.57	38.82	20.42	1.485	425.7
1-2	50 : 30 : 20	1.70	30.28	28.74	39.77	21.76	1.408	420.8
1-3	50 : 20 : 30	1.46	30.92	28.23	39.80	21.89	1.431	423.0
1-4	40 : 30 : 30	1.07	30.72	27.94	40.57	21.19	1.468	423.3
1-5	40 : 40 : 20	1.20	32.12	28.67	38.35	21.07	1.354	422.0
1-6	40 : 20 : 40	1.15	30.68	27.32	41.16	21.56	1.524	429.0
1-7	60 : 20 : 20	1.28	28.26	28.42	42.40	22.32	1.511	424.0
1-8	35 : 20 : 45	1.26	32.22	27.31	39.55	21.01	1.466	423.6
1-9	35 : 45 : 20	1.48	34.80	28.40	35.74	20.08	1.277	417.5
1-10	45 : 35 : 20	1.56	31.42	28.74	38.73	21.11	1.369	420.2
1-11	45 : 20 : 35	1.75	32.42	27.75	38.57	21.64	1.415	424.0
1-12	55 : 25 : 20	1.81	29.74	28.95	40.02	22.14	1.408	420.6
1-13	55 : 20 : 25	1.07	29.12	28.45	41.66	22.07	1.480	425.0
1-14	40 : 35 : 25	1.32	32.70	28.24	38.11	20.79	1.367	421.0
1-15	40 : 25 : 35	1.09	32.06	27.58	39.57	21.09	1.451	423.6
1-16	35 : 25 : 40	1.00	33.80	26.72	38.75	20.55	1.465	424.0
1-17	35 : 40 : 25	1.00	34.72	27.91	36.65	20.24	1.326	418.0
1-18	33 : 33 : 33	1.29	34.48	27.33	37.25	20.21	1.381	420.1

图1 颗粒配煤计算挥发分 V_d' 和实测挥发分 V_d 的关系Fig. 1 Relationship of granular coal blending calculating volatile V_d' and measured volatile V_d 图2 颗粒配煤计算热值 $Q'_{net,ad}$ 和实测热值 $Q_{net,ad}$ 的关系Fig. 2 Relationship of granular coal blending calculating heating value $Q'_{net,ad}$ and the measured calorific value $Q_{net,ad}$

2.1.2 热值的变化

由表1中各单质煤煤样的实测热值按照颗粒配煤的配比求其计算值 $Q'_{net,ad}$, 得到计算值和实测值的关系, 具体如图2所示。由图2可知, 实测值和计算值之间存在差异, 但具有线性关系。经回归计算, 其线性关系式如下

$$Q_{net,ad} = 1.1323Q'_{net,ad} - 2.9873 \quad (2)$$

煤的热值是煤的重要性能指标, 反映煤炭燃烧过程中的燃烧特性、化学能转化为内能的大小。由

表1、图2可知, 将不同煤质的煤按照不同比例混配后, 有15个配煤方案实测 $Q_{net,ad}$ 比计算值低, 占全部配煤方案的83.33%, 只有3个配煤方案的实测 $Q_{net,ad}$ 比计算值高, 只占全部配煤的16.67%, 总体上实测热值比计算热值小; 但其差值随着实测热值的增大, 总体增加; 颗粒配煤的 $Q_{net,ad}$ 与 $Q'_{net,ad}$ 线性相关度 R 达到0.9661。说明在允许的误差范围内, 由城子河原煤、龙煤混煤、俄罗斯进口煤所得的配煤热值可由其加权计算值进行预测; 配煤掺烧过程中

用低热值的劣质煤掺配高热值的优质煤或精煤,使煤炭发挥更好的燃烧效率,提高燃烬率,扩大燃料煤的煤源,节约资源。

2.1.3 挥发分和热值差值变化趋势

挥发分和热值的差值见表2。由表2可知,计算热值与实测热值的差值和计算挥发分与实测挥发分的差值有对应关系,挥发分与热值的差值变化趋势基本一致。

表2 挥发分差值和热值差值

Table 2 Difference of volatile and calorific value

煤样 编号	挥发分差 值/%	热值差值/ (MJ·kg ⁻¹)	煤样 编号	挥发分差 值/%	热值差值/ (MJ·kg ⁻¹)
1-1	0.092	0.332	1-10	-0.138	0.268
1-2	-0.009	0.009	1-11	0.071	0.018
1-3	-0.126	0.059	1-12	-0.099	0.020
1-4	-0.125	-0.024	1-13	-0.093	0.183
1-5	-0.268	-0.086	1-14	-0.081	0.286
1-6	-0.042	-0.211	1-15	-0.038	0.174
1-7	0.360	0.235	1-16	0.429	0.413
1-8	-0.365	0.042	1-17	0.069	0.441
1-9	-0.007	0.516	1-18	-0.039	0.286

2.2 工业锅炉颗粒配煤的着火特性

煤的燃料比是固定碳与挥发分的比值,用 FC_{ad}/V_{ad} 表示,可定性判断煤的燃烧性能^[8]。燃料比越大,着火越困难,燃烧性能就越差。一般情况下,为了提高燃烧效率和稳定性,燃料比应控制在2.00以下。由表1可知,单质煤中城子河原煤和龙煤混煤的燃料比较高,分别为1.652和1.669,而俄罗斯煤燃料比较小,为1.017,3种煤都符合燃料比要求。对于配煤而言,18种配煤的燃料比均小于2.00,其着火特性也满足要求。配煤时燃料比小的煤掺入比例越大,其燃烧性能越好;本试验中俄罗斯煤配入稍多为宜。

根据表1数据得到燃料比与着火温度的关系,具体如图3所示。

由图3可知,燃料比与着火温度有一定的线性关系,用数理统计的方法,经回归分析计算,其关系式如下

$$t_i = 38.025(FC_{ad}/V_{ad}) + 368.47 \quad (3)$$

根据煤的工业分析计算出燃料比后,可根据式(3)计算着火温度,判断着火的难易情况,然后制定配煤方案。颗粒配煤的着火温度与不同煤种煤的掺配有密切关系。由表1和图3可知,着火温度

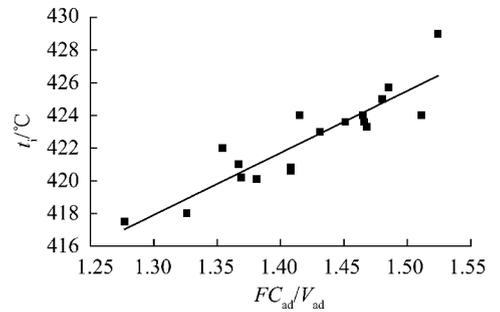


图3 颗粒配煤的燃料比与着火温度的关系

Fig. 3 Relationship of fuel ratio of granular coal blending and ignition temperature

随着燃料比的增大而升高,且线性关系明显,燃料比与着火温度的相关系数 $R=0.9011$ 。颗粒配煤的燃料比越大,着火越困难,燃料比大的煤掺配多,不利于着火。因此,在配煤生产时,应根据用户锅炉要求选用不同燃料比的单质煤合理混配,有利于燃料煤的着火和燃烬。

3 结 论

1) 颗粒配煤的挥发分和热值具有加权特性,实测挥发分略高于单质煤加权计算挥发分,实测热值略低于加权计算热值,且挥发分差值与发热量差值的变化趋势基本一致。

2) 建立起颗粒配煤的燃料比与着火温度模型,着火温度随着燃料比的增大而升高,且线性关系明显,可以依据试验数据预测着火温度,指导工业配煤方案制定。

3) 颗粒配煤具有不同性质原料煤优势互补特性,达到劣质煤掺烧、节约煤炭资源的目的。

参考文献(References):

- [1] 禹立坚,黄镇宇,程 军,等. 配煤燃烧过程中煤灰熔融性研究[J]. 燃料化学学报,2009,37(2):29-32.
Yu Lijian, Huang Zhenyu, Cheng Jun, et al. Studying on the coal ash fusibility during blending coal combustion[J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 2009, 37(2): 29-32.
- [2] 戴才胜,单忠建,朱彤云,等. 动力配煤中煤的挥发分的线性可加性研究[J]. 选煤技术,2000(3):17-19.
Dai Caisheng, Shan Zhongjian, Zhu Tongyun, et al. The volatile matter of coal in power coal blending linear additive[J]. Coal Preparation Technology, 2000(3): 17-19.
- [3] 王雅君,赵寒雪,何京东. 动力配煤主要煤质指标可加性的研究[J]. 应用能源技术,2004,12(5):15-18.
Wang Yajun, Zhao Hanxue, He Jingdong. Study on the main quality index of coal blending additive[J]. Applied Energy Technology, 2004, 12(5): 15-18.

- 2004,12(5):15-18.
- [4] 王宏伟,张国栋,张斌,等.配煤入洗选煤厂中煤炭发热量的预测研究[J].煤炭技术,2015,34(6):270-272.
Wang Hongwei, Zhang Guodong, Zhang Bin, *et al.* Prediction of coal calorific value in coal blending Coal preparation plant[J]. Coal Technology, 2015, 34(6):270-272.
- [5] 周子民,朱再兴,刘艳军,等.基于Elman神经网络的动力配煤发热量及着火温度的预测[J].中南大学学报(自然科学版),2011,42(12):3871-3875.
Zhou Jieming, Zhu Zaixing, Liu Yanjun, *et al.* Prediction of calorific value and ignition temperature of blended coal based on Elman neural network[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2011, 42(12):3871-3875.
- [6] 蒋松.配煤的挥发分释放特性研究[J].煤,2014,23(12):7-9.
Jiang Song. Research on volatile release characteristics of blended coals[J]. Coal, 2014, 23(12):7-9.
- [7] 姚强,岑可法,施正伦,等.多煤种配煤特性的试验研究[J].动力工程,1997,17(2):16-20.
Yao Qiang, Cen Kefa, Shi Zhenglun, *et al.* Experimental study on several kinds of coal blending characteristics[J]. Power Engineering, 1997, 17(2):16-20.
- [8] 周国江,吕玉庭,高振森,等.工业锅炉复合颗粒清洁煤的燃烧及对大气环境的影响[J].黑龙江矿业学院学报,2000,10(4):28-36.
Zhou Guojiang, Lyu Yuting, Gao Zhensen, *et al.* Combustion of compound particle clean coal of industrial boiler and effect on atmosphere environment[J]. Journal of Heilongjiang Mining Institute, 2000, 10(4):28-36.
- [9] 周国江,吕玉庭,郭德,等.工业锅炉复合颗粒清洁煤的研究[J].煤炭学报,2002,27(2):188-192.
Zhou Guojiang, Lyu Yuting, Guo De, *et al.* Research of compound particle clean coal of industrial boiler[J]. Journal of Coal Science & Engineering, 2002, 27(2):188-192.
- [10] 张大康,吴建平,杨晓娣.洁净配煤颗粒化对链条炉排锅炉烟气影响的研究[J].环境科学与管理,2010,35(6):68-69,90.
Zhang Dakang, Wu Jianping, Yang Xiaodi. The research about the influence of particles cleaner coal[J]. Environmental Science and Management, 2010, 35(6):68-69,90.
- [11] 吕玉庭,徐占贤,王劲草.筛分配煤技术在工业锅炉上的应用[J].选煤技术,2002(1):27-28.
Lyu Yuting, Xu Zhanxian, Wang Jincao. Application of coal Screening and blending technology in industrial boiler[J]. Coal Preparation Technology, 2002(1):27-28.
- [12] 陈修娟,禹立坚,张光斌,等.动力配煤系统中配煤燃烧特性研究[J].热力发电,2009,38(10):11-14.
Chen Xiujuan, Yu Lijian, Zhang Guangbin, *et al.* Study on combustion characters of blended coal in coal-blending system of power industry[J]. Thermal Power Generation, 2009, 38(10):11-14.
- [13] 胡潮.配煤燃烧对锅炉安全运行的影响[J].洁净煤技术,2013,19(4):73-76.
Hu Chao. Influence of blending coal combustion on boiler operation[J]. Clean Coal Technology, 2013, 19(4):73-76.
- (上接第5页)
- Ji Youjun, Yang Zhao, He Binyan, *et al.* A study on relationship between pore structure of activated carbon and its adsorptive capacity of methane[J]. Natural Gas Chemical Industry, 2014, 39(4):10-12.
- [9] 李梦青,周亚平,周理,等.椰壳炭制备高表面活性活性炭活化方法比较[J].天津大学学报,2000,33(1):44-47.
Li Mengqing, Zhou Yaping, Zhou Li, *et al.* Comparison of activation methods for preparing superactivated carbon from coconut shell chars[J]. Journal of Tianjin University, 2000, 33(1):44-47.
- [10] 张薄,辜敏,鲜学福.炭分子筛的结构和表面性质对其吸附分离 CH_4/N_2 和 CO_2/N_2 的影响[J].功能材料,2012,20(43):2858-2859.
Zhang Bo, Gu Min, Xian Xuefu. Effect structure and surface property on adsorptive separation of carbon molecular sieve for CH_4/N_2 and CO_2/N_2 [J]. Function Materials, 2012, 20(43):2858-2859.
- [11] 车永芳,张进华,李小亮,等.炭分子筛的表征[J].洁净煤技术,2011,17(5):48-49.
Che Yongfang, Zhang Jinhua, Li Xiaoliang, *et al.* Characterization of carbon molecular sieves[J]. Clean Coal Technology, 2011, 17(5):48-49.
- [12] Ackley M W, Yang R T. Kinetic separation by pressure swing adsorption; method of characteristics model[J]. AIChE Journal, 1990, 36(8):1229-1238.
- [13] 席芳,林文胜,顾安忠,等.煤层气在活性炭和炭分子筛上变压吸附分离[J].化工学报,2010,61(S2):54-56.
Xi Fang, Lin Wensheng, Gu Anzhong, *et al.* Adsorption separation of coalbed methane on activated carbon and carbon molecular sieve[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering (China), 2010, 61(S2):54-56.
- [14] Fatehi A I, Loughlin K F, Hassan M M. Separation of methane-nitrogen mixtures by pressure swing adsorption using a carbonmolecular sieve[J]. Gas Separation & Purification, 1995, 9(3):199-204.
- [15] 唐晓东,孟英峰.变压吸附技术在煤层气开发中的应用探讨[J].中国煤层气,1996(1):47-50.
Tang Xiaodong, Meng Yingfeng. Pressure swing adsorption technology in the application of cbm development[J]. China Coalbed Methane, 1996(1):47-50.
- [16] 柳珉敏,徐文东,关建郁.变压吸附技术应用的研究进展[J].煤气与热力,2010,30(10):B01-B04.
Liu Minmin, Xu Wendong, Guan Jianyu. Development of pressure swing adsorption technique[J]. Gas & Heat, 2010, 30(10):B01-B04.