

民用燃煤大气污染物控排技术对策

何 绪 文

(中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院,北京 100083)

摘 要:民用燃煤在我国煤炭消费中所占比例较大,民用燃煤粗放、低效的利用方式导致大量气态污染物的排放,造成环境污染。通过文献调研和查阅相关数据介绍了我国目前民用燃煤使用状况及大气污染物排放现状,通过数据调研可知传统的民用燃煤利用方式的主要气态污染物(颗粒物、SO₂、NO_x、VOCs)的排放因子均高于工业污染源的排放因子,因此减少民用燃煤主要大气污染物排放的有效途径是使用洁净煤替代原煤散烧及使用高效节能炉具。

关键词:民用燃煤;大气污染物;洁净煤;控排技术

中图分类号:X51;TQ534

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2017)04-0012-06

Countermeasure of air pollutant controlled pollution for civilian coal

He Xuwen

(School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Civilian coal occupies a large proportion of coal consumption in China, and the extensive and inefficient use of civilian coal leads to the discharge of a large number of gaseous pollutants, resulting in environmental pollution. Current situations of civil coal combustion and air pollutant discharge in China were introduced, through a literature survey and analyses of relevant data. According to the data investigation, the emission factors of main gas pollutants from civil coal combustion (particulate matter, SO₂, NO_x, VOCs) are higher than those of the industrial pollution source. Therefore, the effective ways to reduce main atmospheric pollutant emissions of civil coal include the use of clean coal as an alternative and the application of efficient energy-saving stove.

Key words: civil coal combustion; air pollutant; clean coal; disposal technology

0 引 言

对煤炭资源的依赖及不合理利用导致了严重的环境污染事件频发,在我国每年40亿t的煤炭消费中约有8亿t散煤用于民用燃烧,其主要利用途径是通过煤炭直接燃烧获取能量^[1]。由于民用炉具存在燃料行程短、工况变化大、燃烧效率低和未安装末端烟气处理装置等特点,排放的污染物对大气中一次颗粒物和二次颗粒物的贡献值较高,研究发现,排放到大气中73%的烟尘和89%的SO₂直接来源于民用燃煤^[2]。国务院颁发的《大气污染防治行动计划》和《煤炭工业发展“十三五”规划》明确提出加强散煤综合治理,在大气污染防治重点地区推广优

质无烟煤、型煤、兰炭等洁净煤,在北方农村地区建设洁净煤配送中心,完善民用炉具能效限定值及能效等级标准,以改善大气质量。因此,对民用散煤高效燃烧和污染物排放控制技术进行研究,可以为我国煤炭资源的高效清洁利用和减少燃煤大气污染物的排放量提供科学依据,推进我国环境空气质量持续改善。

1 民用燃煤利用现状

我国民用煤炭消费使用量如图1所示。从图1可以看出在各地先后出台了“优质燃煤替代”“新型炉具推广”“煤改电”“煤改气”等一系列补贴政策,我国近年来民用煤炭消费使用量有所降低。相

收稿日期:2017-06-15;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2017.04.002

作者简介:何绪文(1964—),男,湖南涟源人,教授,博士,博士生导师,从事水污染和大气污染控制等方面的研究。E-mail:hexuwen@sina.com.cn

引用格式:何绪文.民用燃煤大气污染物控排技术对策[J].洁净煤技术,2017,23(4):12-17.

He Xuwen. Countermeasure of air pollutant controlled pollution for civilian coal[J]. Clean Coal Technology, 2017, 23(4): 12-17.

比于石油、天然气,未经处理的煤炭利用将会造成较为严重的大气污染。按用途的不同,燃煤分为工业用煤和民用用煤,由于工业用煤使用较为集中,且国家对工业用煤燃烧排放管理较为严格,因此工业用煤技术已经实现“超低排放”和“趋零排放”。而相比于工业用煤,民用用煤用户分散、燃烧条件差、污染物排放高度低,因此其使用总量虽不高,但造成的大气污染后果较为严重。再加之无烟煤价格较高、点火困难,所以民用散煤多以烟煤和半烟煤为主。

京津冀地区民用燃煤见表1,可以看出京津冀地区民用燃煤也多以烟煤和半烟煤为主。北京2014年全市民用煤炭消耗量约为328.33万t,其中散煤使用量为255万t,型煤使用量为73万t。2014年天津市民用煤炭使用量约为496万t,其中散烧煤总量约为300万t,已对90万t散烧煤进行清洁和替换。河北地区2014年民用煤炭消费总量约为2000万t,采暖季度推广洁净型煤51.55万t,是2013年度型煤推广量的11倍^[3]。

表1 京津冀地区民用燃煤

Table 1 Civilian burning coal in Beijing, Tianjin and Hebei province

地区	散煤来源	煤种	煤质指标		
			$V_{\text{adif}}/\%$	$w(S_{\text{t,d}})/\%$	$Q_{\text{net,ar}}/(MJ \cdot \text{kg}^{-1})$
北京	京西、山西	散煤	10	0.3~0.6	23.03~24.28
	京西、山西	型煤	10±	0.3~0.6	23.03~24.28
	山西、内蒙、陕西	烟煤(以长焰煤到弱黏煤为主)			
河北天津	朝鲜、晋城、宁夏	型煤	10±	0.3~0.6	23.03~24.28
	内蒙	长焰煤	~38	~0.5	~23.03
	陕西	长焰煤	~38	~0.5	~23.03
	山西大同等地	弱黏煤-气煤			
	河北	烟煤及其洗选加工副产品			

2 民用燃煤污染物排放现状

2.1 民用燃煤污染物排放源分类

根据民用煤分类相关标准、民用煤使用现状及特点,按燃料是否经成型加工分为型煤和散煤,考虑到有些地区用兰炭和焦炭等煤化工产品作民用燃料使用,因此将这类特殊民用燃料分为一类;另一类是将民用型煤细分为蜂窝煤和其他型煤,从各地用煤情况看,其他型煤主要是煤球;民用散煤按煤种细分为无烟煤和烟煤。

2.2 民用燃煤污染物排放量估算方法

民用散煤燃烧所排放的气态污染物一般通过面

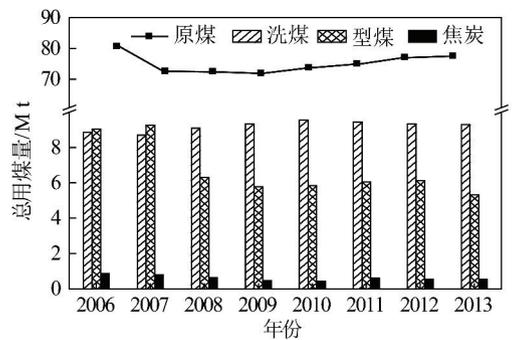


图1 我国民用煤炭消费使用量

Fig. 1 Consumption of coal for civil use in China

我国民用固体燃料是一个重大民生和环境问题,煤的低效率利用,对环境和人体健康都会造成严重影响,据不完全统计显示^[2],全国有超过6000万台民用炊事采暖燃煤炉具,其中80%以上的炉具使用散煤作为燃料,且在人口稠密的居民区居多,这就使得散煤燃烧产生的烟气聚集而难以扩散,进而对雾霾的频繁发生产生贡献^[4],因此,政府应重视民用散煤的合理利用,并加强对民用散煤的管理。

源计算,各类大气污染物均采用排放系数法进行核算,计算参数包括污染排放源活动水平及排放系数,计算方法为

$$E = \sum_i (A_m \times EF_m) / 100 \quad (1)$$

式中, E 为排放量,t; A_m 为排放源活动水,t; EF_m 为排放系数,kg/t; i 为某一种大气污染物; m 为煤的类型(蜂窝煤、其他型煤、无烟煤、烟煤、兰炭等)。

2.3 主要污染物排放系数的确定

民用煤排放系数的获取方法主要分为实验检测法和文献调研法2种。由于实验检测法具有能够反映污染源实际排放情况,所获取排放系数准确度高的优点,因此相关研究机构均优先采用实验检测法

获取排放系数,在不能通过实验检测法获得排放系数的情况下,再采用文献调研法。通过查阅权威机构发布数据^[5],总结了民用煤燃烧过程中不同类型

民用煤的硫转化率、NO_x 排放系数、CO 排放系数、PM_{2.5} 排放系数等(以吨煤转化量计)燃煤主要污染物的排放系数,相关数据见表2~5。

表2 SO₂ 转化率汇总
Table 2 Summary of SO₂ conversion

数据来源	型煤		散煤		兰炭	
	蜂窝煤	其他型煤	无烟煤	烟煤		
第1次全国污染源普查	城镇生活源排污系数手册(2008)	0.39 ^a		0.42 ^b		
	生活源排放系数及使用说明(2010)	0.8		0.8		
	北京环科院	0.42	0.39	0.36	0.44	
	中国环境科学研究院		0.44		0.43	0.36
	中科院生态中心				0.24	
	中科院地球所		0.06	0.13	0.21	0.16
	平均值	0.42		0.34		0.25

注 a:灰分按30%考虑,计算硫转化率;b:用“取暖面积≤60 m²”的计算公式,灰分按6%考虑,计算硫转化率。

表3 NO_x 排放系数汇总
Table 3 Summary of NO_x emission coefficients

数据来源	型煤		散煤		兰炭	
	蜂窝煤	其他型煤	无烟煤	烟煤		
第1次全国污染源普查	城镇生活源排污系数手册(2008)	1.65 ^a		2.6 ^b		
	生活源排放系数及使用说明(2010)	2.0		2.0		
	北京环科院	0.6	1.5	1.0	2.6	
	中国环境科学研究院		1.55		3.06	1.07
	中科院生态中心				1.5	
	中科院地球所		0.65	2.26	1.61	1.42
	平均值	1.33		2.08		1.25

注:a—取炊事1.60和采暖1.70的平均值;b—取“20 m²<取暖面积≤60 m²”的排放系数2.60。

表4 CO 排放系数汇总
Table 4 Summary of CO emission coefficients

数据来源	型煤		散煤		兰炭
	蜂窝煤	其他型煤	无烟煤	烟煤	
北京环科院	98.9	121.1	57.8	147.9	
中国环境科学研究院		140.0		125.5	173.3
中科院生态中心				257.1	
平均值	120		147.08		173.3

由于民用燃煤使用面较广,且污染物排放主要停留于大气低空区,末端治理难度大且排放时空性较强,因此对大气污染贡献量较大。如图2^[4]可知,民用燃煤颗粒的排放因子是工业燃煤排放的3倍;CO的排放因子是工业燃煤锅炉的100倍;冬季采暖期SO₂、NO_x、PM_{2.5}日排放强度约为电力行业的7、1.2和5倍。

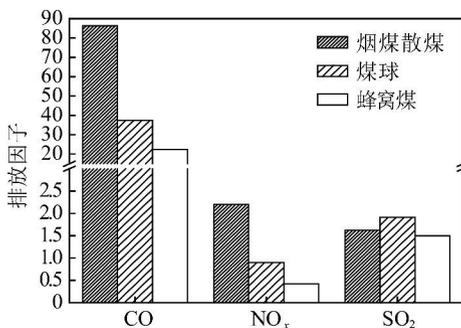
由于民用炉具构造简单,在压煤封火状态时,燃烧释放的挥发性有机污染物会随烟气排放到空气中造成污染,以多环芳烃以苯和甲苯为主的可挥发性有机污染物,在民用炉具使用过程中其排放浓度达到1 672.3 μg/m³和1 631.3 μg/m³^[6]。海婷婷等^[7]通过选用5种不同成熟度的煤,分别以散煤和型煤的形式在3种炉具中燃烧进行采样分析获取了

表5 $PM_{2.5}$ 排放系数汇总
Table 5 Summary of $PM_{2.5}$ emission coefficients

kg

数据来源	型煤		散煤		兰炭
	蜂窝煤	其他型煤	无烟煤	烟煤	
第1次全国污染源普查		0.92 ^a		7.77 ^b	
城镇生活源排污系数手册(2008)					
生活源排放系数及使用说明(2010)		1.13 ^a		6.75 ^b	
北京环科院	0.38	1.08	0.53	6.68	
中国环境科学研究院		0.32		11.52	0.89
中科院生态中心				8.98	
中科院地球所		0.26	1.08	11.51	1.54
平均值	0.68		6.85		1.22

注:a—按 $V_{daf} \leq 19\%$, 烟尘取值 1.23, 再按 $PM_{2.5}$ 占烟尘 75% 计算;b— V_{daf} 取 37%, 则烟尘为 $0.28V_{daf} = 10.36$, 再按 $PM_{2.5}$ 占烟尘 75% 计算。

图2 民用燃煤污染物排放因子^[4]Fig. 2 Emission factors of civilian coal pollutants^[4]

民用燃煤烟气中 PAHs (EF_{PAHs}) 排放因子, 从燃烧方式来看, 其对 EF_{PAHs} 有较大的影响。

2.4 民用燃煤主要污染物排放量的估算

以北京市为例, 2014 年北京民用煤使用量为 328.33 万 t, 以散煤为主, 占 77.7% 其中远郊用量达到 286.22 万 t, 占比 87.2%, 用量较大的为房山、通州两区。根据前文所述方法, 对北京各城区污染物排放量就行估算, 2014 年北京各城区 $PM_{2.5}$ 排放量为 0.91 万 t, SO_2 排放量为 2.79 万 t, NO_x 排放量为 4.93 万 t, CO 排放量为 21.58 万 t, 各城区排放情况如图 3 所示。

3 民用燃煤污染物控制技术

目前, 降低民用燃煤大气污染物排放量的主要途径是推广使用洁净煤及配套节能型炉具^[8]。我国推广使用的洁净煤主要包括优质无烟煤、型煤、兰炭等 3 类, 但由于优质无烟煤的储量逐年下降, 因此型煤和兰炭成为散煤的主要替代产品。

3.1 洁净煤替代散煤燃烧

民用型煤^[9]一般指将块煤粉碎后作为原料, 添

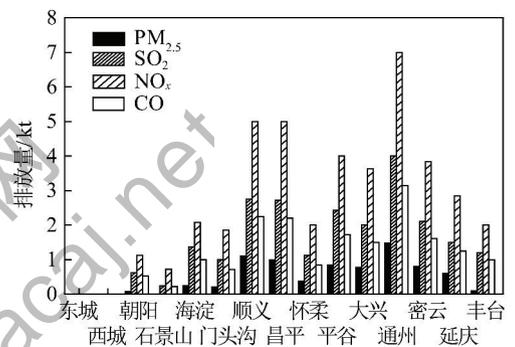


图3 2014年北京各城区民用燃煤污染物排放量估算

Fig. 3 Estimates of pollutants emissions from civil burning in Beijing in 2014

加一定比例的黏结剂^[10]、助燃剂和固硫剂等助剂, 通过机械成型加工成符合一定技术标准的具有几何形状的固体燃料, 与传统的民用散煤相比, 民用型煤具有点火快、热值高、灰分和硫分低等特点^[11]。

通过在型煤中添加助燃剂、固硫剂等助剂后, 可以有效地提高点火温度、降低 SO_2 和烟尘的排放, 提高燃煤的利用效率。梁云平等^[3]通过对北京远郊区使用的型煤和散煤进行燃烧实验分析可知, 型煤添加固硫剂后, 燃烧产生的 SO_2 、 NO_x 和 CO 等^[12] 气态污染物排放量均低于散煤燃烧所产生的气态污染物, 减少了大气污染物的排放。韩海忠等^[13]对生物质型煤与褐煤的生命周期进行对比分析得出, 生物质型煤污染物的排放主要集中在燃烧阶段, 因此对型煤添加固硫剂及其它助剂可以有效降低气态污染物的排放。

民用兰炭是一种半焦, 属于煤转化产品, 由于其特殊的制备工艺, 使得在干馏热解的过程中将煤中的挥发份、硫、氮和其它物质大量释放出来, 降低了燃烧使用过程中的气态污染物的排放量, 有效降低

了对环境的污染^[14]。兰炭从2014年开始进入民用散煤市场,在推广使用过程中,对于控制大气污染物排放取得良好效果。

张鑫^[15]对北京市房山区使用的兰炭与无烟煤进行对比燃烧实验得出,兰炭和无烟煤燃烧释放的CO浓度均较高,这与实验选用的取暖炉的炉膛结构有关,致使兰炭燃烧过程中燃烧不充分,产生大量的CO。但兰炭的NO_x、SO₂排放浓度仅为无烟煤的11%和25%左右,同时兰炭的残渣率仅为无烟煤的10%。

3.2 配套洁净型炉具

目前,民用燃煤炉具多采以正烧和反烧技术,2种技术分别对应以无烟煤和烟煤作为燃料,虽然炉具使用中的热效率和炉具封火能力较高,但对于燃烧过程中的污染物控制及末端烟气治理并未安装相应的处理装置^[16]。因此需要通过传统民用炉具的技术升级和改造,设计适合洁净型燃料使用工况的新型炉具,从而降低民用燃煤污染物的排放。洁净型炉具与普通燃煤炉具技术指标对比见表6,通过对洁净型炉具与传统的燃煤炉具对比可以看出,在热效率提高和减少污染物排放方面,洁净型炉具远高于传统燃煤炉具。

表6 洁净型炉具与普通燃煤炉具技术指标对比

Table 6 Comparison of technical indexes between clean coal stove and common combustion stove

指标	洁净型炉具	普通燃煤炉具	GB 1271—2014 重点区域排放限值
热效率/%	≥65	20~50	—
颗粒物/(mg·m ⁻³)	15~30	158~195	≤30
w(SO ₂)/(mg·m ⁻³)	31~95	258~499	≤200
w(NO _x)/(mg·m ⁻³)	85~146	120~341	≤200
林格曼黑度(级)	<1	2~3	≤1

郭瑞琴等^[17]研究了民用炉具炉内结构对生物质燃料利用效率的影响,通过改变炉膛内部喷嘴与喉管的距离L,当34 mm≤L≤50 mm时,合适的喷嘴安装位置、较强的引射一次空气的能力,使得空气能与燃气得到充分混合,对燃气的点火与燃烧十分有利,提高燃烧效率,降低污染物的排放。修太春^[18]对生物质成型燃料的炉具进行了研究,通过对比生物质型煤和生物质燃料作为原料的燃烧实验得出,炉具的热效率不仅与生物质燃料的特性有关,也与炉具通风供气量、燃烧方式相关。通过改变炉膛

通风结构,调节二次进风,使燃料充分燃烧提高炉具的热效率。

3.3 其他清洁技术

我国农村民用燃料,在今后相当长时期仍会以煤为主,民用煤清洁技术除选用优质洁净燃料和配套洁净炉具外,一些对污染物排放要求较高的地区,正在尝试农村能源结构向多元化发展,主要有“煤改气”^[19]、“煤改电”、太阳能、小型风电和地源热泵等新能源共同发展协同作用,奠定了民用散煤替代的基础。

4 结 论

1)我国能源供给结构仍将长期以煤炭为主导,但随着优质煤产量的逐年减少,使得民用燃煤多以劣质烟煤和半烟煤为主。民用燃煤多是粗放式、低效能的燃烧利用方式,造成大量气态污染物排放,对环境形成污染。

2)我国大部分农村以散烧煤为主要能源的情况,短期不会改变,为减少农村燃煤污染物的排放,需加快农村地区清洁煤炭燃料的利用和配套洁净炉具使用的推广,这是短期内降低民用燃料大气污染物排放的有效途径之一。

3)由于我国农村目前存在煤炭替代问题,为推进农村地区散煤治理,应采取疏堵并重的方针。农村能源多元化水平有待进一步提高,要加快经济较发达的农村地区“煤改气”、“煤改电”、太阳能等清洁能源取代散煤,逐步淘汰劣质散煤的使用。政府应加大对散煤管理力度,同时为使农民真正用得起清洁能源,政府还应提高能源补贴。

参考文献(References):

- [1] 国家统计局.中国能源统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2001-2015.
- [2] 赵嘉博,刘小军.洁净煤技术的研究现状及进展[J].露天采矿技术,2011(1):66-69.
Zhao Jiabo, Liu Xiaojun. Research status and progress of clean coal technology[J]. Opencast Mining Technology, 2011(1):66-69.
- [3] 梁云平,张大伟,林安国,等.北京市民用燃煤烟气中气态污染物排放特征[J].环境科学,2017,38(5):1775.
Liang Yunping, Zhang Dawei, Lin Anguo, et al. Emission characteristics of gaseous pollutants in civil coal-fired flue gas[J]. Environmental Science, 2017, 38(5):1775.
- [4] 陈颖军,姜晓华,支国瑞,等.我国民用燃煤的黑碳排放及控制减排[J].中国科学(D辑:地球科学),2009,39(11):1555.

- Chen Yingjun, Jiang Xiaohua, Zhi Guorui, et al. Black carbon emission from China's civilian coal combustion and its control and emission reduction [J]. *China Science (D; Earth Science)*, 2009, 39(11):1555.
- [5] 国家环保部. 民用煤大气污染物排放清单编制技术指南(试行)[M]. 2016.
- [6] 何秋生, 范晓周, 王新明, 等. 家庭炉灶燃煤过程单环芳烃释放初步研究[J]. *中国环境监测*, 2006, 22(24):17-19.
He Qiusheng, Fan Xiaozhou, Wang Xinming, et al. Preliminary study on the release of single ring aromatics during the combustion of household stoves[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2006, 22(24):17-19.
- [7] 海婷婷, 陈颖军, 王艳, 等. 民用燃煤源中多环芳烃排放因子实测及其影响因素研究[J]. *环境科学*, 2013, 34(7):2533-2537.
Hai Tingting, Chen Yingjun, Wang Yan, et al. Measurement of polycyclic aromatic hydrocarbons emission factors in civilian coal sources and their influencing factors[J]. *Environmental Science*, 2013, 34(7):2533-2537.
- [8] 颜丙磊, 唐夕媛, 吕佳霖, 等. 我国民用煤现状及污染物排放分析[J]. *煤炭加工与综合利用*, 2017(1):1-3.
Yan Binglei, Tang Xiyuan, Lyu Jialin, et al. Analysis of the status of civil coal and emission of pollutants in China[J]. *Coal Processing & Comprehensive Utilization*, 2017(1):1-3.
- [9] 赵孝佳. 民用型煤的制备及燃烧特性研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2015.
- [10] 张云, 付东升, 郑化安, 等. 型煤黏结剂的研究进展[J]. *洁净煤技术*, 2014, 20(1):24-28.
Zhang Yun, Fu Dongsheng, Zheng Huaan, et al. Research progress of briquette binder[J]. *Clean Coal Technology*, 2014, 20(1):24-28.
- [11] 杨巧文, 郭玲, 郭宋江, 等. 高硫煤高温燃烧固硫试验研究[J]. *洁净煤技术*, 2016, 22(5):1-6.
Yang Qiaowen, Guo Ling, Guo Songjiang, et al. Experimental research on high temperature coal combustion desulfurization[J]. *Clean Coal Technology*, 2016, 22(5):1-6.
- [12] 李庆, 段雷, 蒋靖坤, 等. 我国民用燃煤一次颗粒物的减排潜力研究[J]. *中国电机工程学报*, 2016, 36(16):4408-4412.
- Li Qing, Duan Lei, Jiang Jingkun, et al. Study on the emission reduction potential of China's civilian coal fired particulates[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2016, 36(16):4408-4412.
- [13] 韩海忠, 杨凤玲, 孔卉茹, 等. 生物质型煤与褐煤的生命周期评价对比研究[J]. *洁净煤技术*, 2016, 22(2):89-95, 101.
Han Haizhong, Yang Fengling, Kong Huiru, et al. Comparative study on life cycle assessment of biomass briquette and lignite. *Clean Coal Technology*, 2016, 22(2):89-95, 101.
- [14] 李晓伟, 赵红伟, 王志超, 等. 兰炭与典型煤种掺烧特性试验研究[J]. *煤质技术*, 2015(6):56-59.
Li Xiaowei, Zhao Hongwei, Wang Zhichao, et al. Experimental study on the characteristics of coal burning technology and typical coal mixed coal[J]. *Coal Quality Technology*, 2015(6):56-59.
- [15] 张鑫. 兰炭替代无烟煤高效清洁利用的研究[J]. *洁净煤技术*, 2015, 21(3):103-106.
Zhang Xin. The replacement of [J]. *Clean coal technology*, *Clean Coal Technology*, 2015, 21(3):103-106.
- [16] 陈文敏, 白向飞, 丁华. 浅谈中国煤炭资源的高效洁净利用[J]. *煤质技术*, 2015(S1):6-10.
Chen Wenmin, Bai Xiangfei, Ding Hua. Chinese on coal resource efficient and clean use of coal[J]. *Coal Quality Technology*, 2015(S1):6-10.
- [17] 郭瑞琴, 刘圣勇, 刘莉, 等. 民用生物质燃气炉具的设计[J]. *河南农业大学学报*, 2001, 35(3):281-285.
Guo Ruiqin, Liu Shengyong, Liu Li, et al. Design of domestic biomass gas stoves[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2001, 35(3):281-285.
- [18] 修太春. 生物质成型燃料炉具的研制及实验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [19] 毛显强, 彭应登, 郭秀锐. 国内大城市煤改气工程的费用-效益分析[J]. *环境科学*, 2002, 23(5):121-125.
Mao Xianqiang, Peng Yingdeng, Guo Xiurui. Cost-benefit analysis to substituting natural gas for coal project in large chinese cities[J]. *Environmental Science*, 2002, 23(5):121-125.