

节能减排

# 生物质型煤与褐煤的生命周期评价对比研究

韩海忠<sup>1</sup>, 杨凤玲<sup>1,2</sup>, 孔卉茹<sup>1,3</sup>, 程芳琴<sup>1,3</sup>

(1. 山西大学 资源与环境工程研究所, 山西 太原 030006; 2. 国家环境保护煤炭废弃物资源化高效利用技术重点实验室, 山西 太原 030006; 3. 煤电污染物控制与资源化利用山西省重点实验室, 山西 平朔 036800)

**摘要:**为了研究生物质型煤对环境的影响和能耗情况, 利用生命周期评价方法, 与褐煤进行对比评价, 从型煤与褐煤的生产到燃烧进行全面分析。结果表明, 生物质型煤生命周期的环境负荷指数是0.30, 褐煤的潜在环境影响负荷指数为0.48, 生物质型煤的环境影响明显低于褐煤; 环境影响类型主要是全球变暖, 主要影响因子是CO<sub>2</sub>; 生命周期各阶段的环境排放量主要集中于燃烧使用阶段, 因此, 降低燃烧使用阶段的环境影响是生物质型煤技术改进的重要途径。

**关键词:** 生物质型煤; 褐煤; 生命周期; 环境影响; 清单分析

中图分类号: X784; TQ53 文献标志码: A 文章编号: 1006-6772(2016)02-0089-07

## Life cycle assessment of biomass briquette and lignite

HAN Haizhong<sup>1</sup>, YANG Fengling<sup>1,2</sup>, KONG Huiru<sup>1,3</sup>, CHENG Fangqin<sup>1,3</sup>

(1. Institute of Resources and Environment Engineering, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2. State Environmental Protection Key Laboratory of Efficient Utilization Technology of Coal Waste Resources, Taiyuan 030006, China; 3. Coal Combustion Pollution Controlling and Utilization of Shanxi Province Key Laboratory, Pingshuo 036800, China)

**Abstract:** In order to investigate the influence of biomass briquette on environment and its energy consumption, the biomass briquette was compared with lignite from production to use by life cycle assessment. The results showed that the environment load index for biomass briquette was 0.30, as for lignite, it was 0.48. The environmental effects of biomass briquette were far lower than that of lignite. The influence of the two kinds of coal on environment mainly concentrated on the global warming, and CO<sub>2</sub> was the main influencing factor. The emission of combustion process was the largest, so the emission reduction of combustion process was important.

**Key words:** biomass briquette; lignite; life cycle assessment; environment impact; inventory analysis

## 0 引言

近年来很多城市出现雾霾天气, 空气中飘有各种粉尘、SO<sub>2</sub> 等有害气体, 危及人类健康, 导致这种现象的污染源之一就是劣质煤的不完全燃烧<sup>[1]</sup>。虽然北方城市已实行集中供暖, 但在一些城中村、偏远的山区县城和乡村由于地理因素(山地沟壑地区), 经济状况等不能进行集中统一供暖, 居民只能

通过自建的锅炉单独供暖。我国褐煤资源丰富, 由于价格便宜, 农村居民以其煤泥作为燃料使用, 但由于褐煤易吸水, 难成型、制成型煤易风化, 需进行防水处理, 成本较高, 因此褐煤大部分为散烧, 燃烧不充分, 产生大量烟尘和有害气体, 严重影响空气质量。而燃烧相对洁净的生物质型煤是改变这种现状的有效措施<sup>[2]</sup>。我国生物质资源极为丰富, 生物质能作为低碳燃料, 硫、灰含量低于目前大量使用的煤

收稿日期: 2015-12-09; 责任编辑: 孙淑君 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2016.02.019

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2013BAC14B00); 国家科技惠民计划资助项目(2012GS140202); 山西省煤基重点科技攻关项目(MD2014-03); 山西省科技重大专项资助项目(20131101027)

作者简介: 韩海忠(1990—), 男, 山西吕梁人, 硕士研究生, 研究方向为低品位煤资源化利用及环境综合评价。E-mail: yangfl@sxu.edu.cn。通讯作者: 程芳琴, 教授, 研究方向为固体废弃物资源化利用。E-mail: cfangqin@163.com

引用格式: 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. Life cycle assessment of biomass briquette and lignite[J]. Clean Coal Technology, 2016, 22(2): 89-95, 101.

炭,很多学者认为生物质能将是新能源中最具开发性的绿色可再生能源<sup>[3-4]</sup>。加大生物质型煤的开发力度,能有效利用生物质过剩资源,改善环境质量,减少温室气体排放。作为生物质主要来源的秸秆资源总量巨大,但其体积松散、能量密度低,特别是我国秸秆收购对象为单户农民,农户种植面积小,秸秆种类多样、分布分散。在原料获取和转化过程中,需要耗费大量的人力、物力进行收集、储存、运输,在生产出洁净能源的同时,也要消耗大量的能源,排放污染物<sup>[5]</sup>。因此,本研究使用生命周期评价计算,结合褐煤、生物质型煤的特点,综合了解其生产、用于民用取暖的活动过程的资源消耗与环境影响,并将褐煤与生物质型煤作为民用燃料对环境的影响进行对比,为生物质型煤的推广应用提供理论依据和技术支持。

## 1 研究方法

利用生命周期评价法(LCA)分别计算褐煤与生物质型煤对环境的影响。直观描述褐煤与生物质型煤在整个生命周期内的能源消耗情况。生命周期评价分为4个步骤,分别为目标定义与范围界定、清单分析、影响评价、结果解释。其中环境影响评价包括定量和定性评价。按照国际标准化组织的ISO14040的框架,影响评价包括3个步骤:分类、特征化和加权评估,因各种排放因子对生态系统和环境变化的贡献不同,所以需要进行生命周期影响评价,将清单分析的结果转化为既容易理解,又能反映环境影响潜值的指标<sup>[6-7]</sup>。本文采用的生物质型煤生命周期环境影响评价技术框架如图1所示。

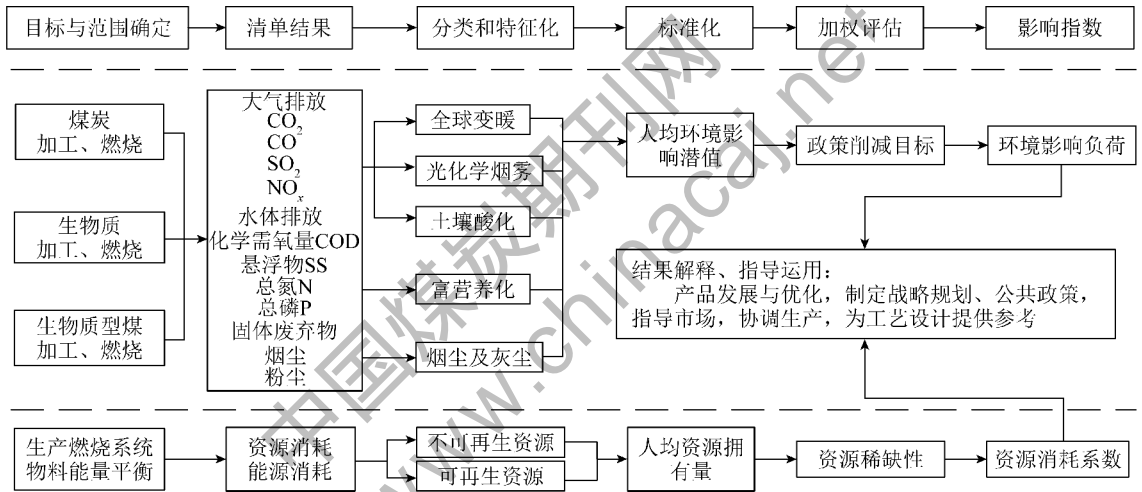


图1 生物质型煤生命周期环境影响评价技术框架

Fig. 1 Technical framework of life cycle environment assessment of biomass briquette

## 2 生物质型煤和褐煤的生命周期评价

### 2.1 目标定义与范围界定

#### 2.1.1 研究对象

分别研究生物质型煤和褐煤生命周期内环境排放,对于生物质型煤,以年产30万t生物质型煤生产线,并对配套的秸秆储备系统、辅助设施,该生产线在规模和工艺上具有代表性。生物质型煤的选取配方:原煤(烟煤)75%~80%,生物质10%~15%,固硫剂及其他黏结剂5%。本配方选烟煤是因为,烟煤较褐煤煤化程度高,混合成型可解决型煤燃烧时的黑芯问题,促进煤燃烧,且能利用生物质,而褐煤是一种高挥发分煤种,且难以成型,与生物质一起成型更为困难,将生物质型煤与褐煤对比是为了更

好地说明生物质型煤的环保效益。本文以系统每燃烧1t物质对环境造成的影响进行分析和计算,即环境影响评价的功能单位为1t。

#### 2.1.2 系统边界范围

褐煤的整个生命周期主要包括煤炭采选、运输和燃烧使用3个阶段。生物质型煤包括生物质型煤加工制作、运输阶段、燃料使用阶段<sup>[8]</sup>。生物质型煤研究系统边界确定如图2所示。

### 2.2 清单分析

生物质型煤相关数据由运城市天宇环保型煤有限公司(简称天宇有限公司)实地调查而得,其他数据来自公开出版的统计文献。生物质型煤与褐煤成型燃料在燃烧阶段相关数据由现场实验测定污染物的排放。

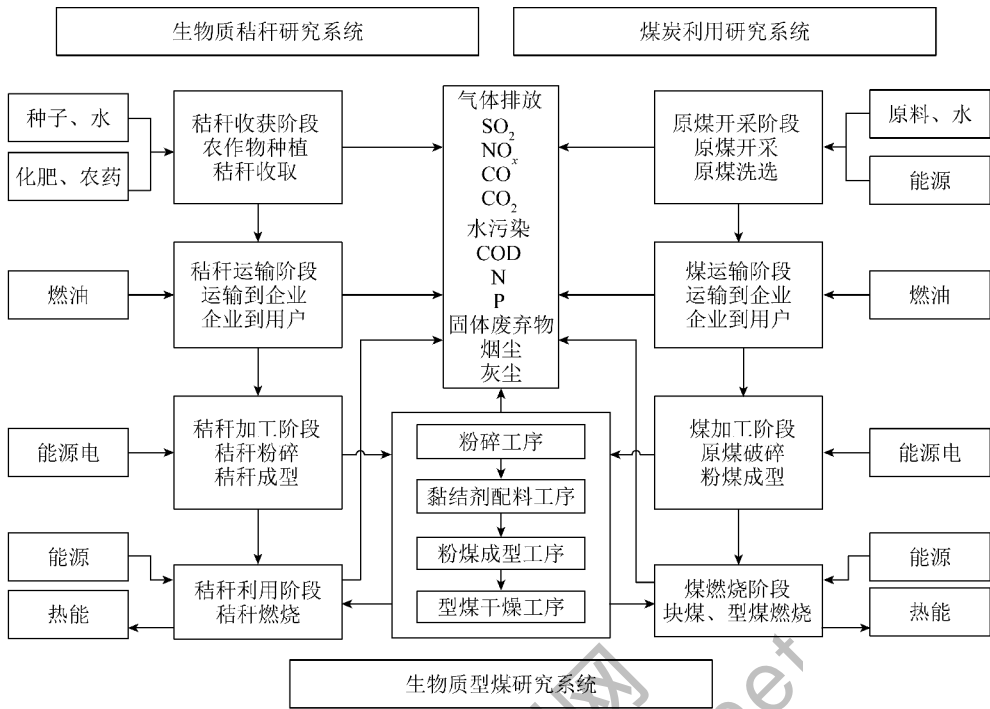


图2 生物质型煤研究系统边界

Fig. 2 The boundary of biomass briquette

2.2.1 褐煤的清单分析

1) 褐煤的采选阶段的清单分析

由于煤矿矿井所在地的自然地理和地质条件不同,导致不同煤矿的能耗水平相差很大。袁宝荣等<sup>[9]</sup>在中国化石能源生产的生命周期清单编制结果中认为原煤开采过程还消耗少量原油、焦炭、燃料油和天然气等,但由于消耗数量和污染物排放量与原煤燃烧相对而言份额很小,故可忽略不计;丁宁等<sup>[10]</sup>在中国化石能源生命周期清单分析中引入了总能源强度,将原煤生产中消耗的原煤、原油、天然气累加作为总能源强度处理,且原油、天然气在煤炭开采过程中仅占1%左右。因此,本研究计算褐煤采选阶段消耗的煤炭和电力。煤炭生产中所消耗的煤炭主要是煤炭企业自用煤,消耗的电力主要集中在矿井排水、通风、提升、压气等大型固定设备的用电上。这些设备的用电量约占主要生产活动用电量的60%。从全国层面,用煤炭行业总量数据,推算煤炭产品在开采和分选过程的综合能耗。根据国家统计局的煤炭开采和分选业能源消耗量数据和原煤生产量数据<sup>[11]</sup>,可以推算出全国煤炭开采和分选行业的吨煤综合能耗。2012年平均吨煤综合能耗为19.6 kgce/t,其中吨煤煤耗为10.9 kgce/t,吨煤电耗为26.7 kWh/t。在计算煤炭和电力消耗的污染排放情况引用了杨建新等<sup>[12]</sup>在产品生命周期评价方

法及应用中的折算系数。褐煤采选阶段环境排放清单见表1。

表1 褐煤采选阶段环境排放清单

Table 1 Environmental emission list of lignite in mining

单元过程	排放量/g			
	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
采选(煤耗)	114.28	1.09	0.27	0.15
采选(电耗)	51.59	0.49	0.12	0.08
合计	165.87	1.58	0.39	0.23

2) 褐煤运输阶段清单分析

2012年全年公路完成煤炭运量约8亿t。由于公路运煤平均运距或运煤周转量资料很难获得,只能假设2012年公路运煤的平均运距与公路货运平均运距相同的前提下,估算公路运煤能源消耗量。我国公路货运平均运距为约为180 km<sup>[13]</sup>,我国货车的平均每万吨公里能耗为500~700 kg汽油,折算874.2 kg/(万t·km),即为0.087 kg/(t·km)。杨建新在产品生命周期评价方法及应用中折算结果为0.086 kg/(t·km),计算结果与文献数据基本相同。杨建新在文中列出了煤炭运输的污染排放情况,本文采用其折算系数。运输距离假定为100 km,其褐煤运输阶段环境排放情况:CO<sub>2</sub> 2377.0 g,SO<sub>2</sub> 18.2 g,NO<sub>x</sub> 76.4 g,CO 275.8 g。

## 2.2.2 生物质型煤的清单分析

### 1) 烟煤采选阶段的清单分析

烟煤采选过程与褐煤采选过程相似,采选阶段能耗参照褐煤的计算分析方法进行计算。但烟煤与褐煤相比自燃倾向小,污染排放少,根据实际情况折算烟煤在开采阶段的污染排放情况。褐煤采选阶段的能耗和排放量没有考虑自燃的因素,而对于烟煤的采选将自燃的因素减掉不太合理。实际上由于褐煤一般埋藏较浅,开采时的能耗有可能比烟煤要低。烟煤运输阶段环境排放情况:CO<sub>2</sub> 116.11 g, SO<sub>2</sub> 1.11 g, NO<sub>x</sub> 0.27 g, CO 0.16 g。

### 2) 生物质压制成型的清单分析

型煤的压缩成型阶段实现机械化生产,能源消耗为电力,生产工艺大致分为3个步骤:粉碎、搅拌、压缩成型,天宇有限公司的环保型煤项目由年产30万t生物质型煤项目生产装置构成,根据项目可行性报告估算,每吨型煤综合能耗1.36 kgce,工序能耗计算见表2,生物质型煤压缩成型过程的环境排放情况:CO<sub>2</sub> 3 537 g, SO<sub>2</sub> 11.56 g, NO<sub>x</sub> 10.1 g, CO 647 g。

表2 工程能耗计算表

Table 2 Energy consumption of engineering

项目	折算系数	每年消耗量	折标准煤/t
新鲜水	0.11 t/10 <sup>3</sup> t	31 000 t	3.41
电	0.404 t/10 <sup>3</sup> kWh	1 000 000 kWh	404

表4 原料煤质分析结果

Table 4 Coal quality analysis

项目	工业分析/%				元素分析/%					Q <sub>net,ad</sub> / (MJ·kg <sup>-1</sup> )
	M <sub>ad</sub>	A <sub>ad</sub>	V <sub>ad</sub>	FC <sub>ad</sub>	w(N <sub>ad</sub> )	w(C <sub>ad</sub> )	w(H <sub>ad</sub> )	w(S <sub>ad</sub> )	w(O <sub>ad</sub> )	
褐煤	22.80	22.42	47.53	7.25	1.46	41.29	3.42	0.83	12.713	13.18
型煤	6.50	23.50	15.49	14.68	0.45	44.67	5.989	0.168	36.176	24.75

仪器:TH-990F型智能烟气分析仪、NQ15-C型环保节能型民用炊暖炉。

### 2) 实验测定方法及原理

本阶段要测量已知重量的燃煤整个燃烧过程中的环境排放,通过烟气分析仪测定整个燃烧过程中各种排放气体的浓度,并进行多次燃烧,求算平均气体排放浓度C和燃烧时间T。通过烟气聚集方法测定烟气在烟囱中上升时间t,测量烟囱内直径d和高度h可以计算出排放气体的流速 $V=2\pi(d/2)h/t$ ,排放气体的排放总量 $Q=CVT$ ,这样就可以计算出功能单位燃煤的环境排放。

### 3) 生物质型煤原料运输阶段的清单分析

生物质型煤的原料获得方式分为2种,生物质从附近取材运输距离为50 km,消耗为柴油,折算系数为0.057 kg/(t·km)。原煤假定运输工具为载重25 t的重型货车,消耗燃料为汽油,运输距离为100 km。该系统运输阶段对环境影响主要为柴油的生产及消耗排放。生物质型煤运输阶段的环境排放见表3。

表3 生物质型煤运输阶段的环境排放

Table 3 Environmental emission of biomass briquette in transportation

单元过程	排放量/g			
	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
生物质运输	1 133.3	2.30	2.8	17.4
烟煤运输	1 663.9	12.74	53.48	193.06
原料运输合计	2 797.2	15.04	56.28	210.46

### 2.2.3 燃料燃烧阶段污染物排放清单分析

由于小型民用炉燃烧相对集中供暖和工业锅炉而言,燃烧效率低,烟气直排,污染物排放大,不同原料煤种,燃烧阶段的污染物排放以其煤质变化大,且数据难以获得,本实验清单数据均为实验测定所得。

#### 1) 实验材料和仪器

煤原料:生物质型煤(小麦秸秆生物质型煤),褐煤(内蒙褐煤),其煤质分析结果见表4。

### 3) 实验测定结果及分析

通过上述测定得出烟囱高度4 m,烟囱内直径0.14 m,上升时间3.12 s,则根据公式可计算气体流速为0.02 m<sup>3</sup>/s。新型生物质型煤烟气排放情况见表5,褐煤烟气排放情况见表6。

从表5、6可以看出:由于大部分生物质含硫量极少或不含硫且生物质燃料中含有高含量挥发分,燃烧初期的氧气主要供生物质挥发分燃烧,从而使生物质型煤烧的过程中形成贫氧区,限制了煤中燃料N的中间产物向NO<sub>x</sub>的转化和SO<sub>2</sub>的形成;生物质本身具有一定的木质素和腐植酸,其对SO<sub>2</sub>有较



表5 新型生物质型煤烟气排放

Table 5 Emission of biomass briquette in burning

$\varphi(\text{O}_2)/\%$	排放量/( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )				
	SO <sub>2</sub>	NO	CO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
18.04	113	16	1 701	34 682	24
18.84	80	8	2 849	23 384	12
19.39	74	6	3 035	18 716	9
18.53	133	7	1 817	28 956	11
19.3	132	7	2 455	21 290	11

表6 褐煤烟气排放情况

Table 6 Environmental emission of lignite in burning

$\varphi(\text{O}_2)/\%$	排放量/( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )				
	SO <sub>2</sub>	NO	CO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
12.98	1 125	33	801	43 258	50
15.06	731	26	792	45 786	34
16.41	639	21	1 172	35 151	32
17.22	539	22	978	43 506	34
11.19	1 165	61	582	48 756	94

强的吸附能力;生物质燃料含有相对较多的 K、Ca、Na 活性成分,可以促进燃烧和固体硫酸盐的形成,如 CaSO<sub>4</sub>、K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 等,从而降低污染物排放。

2.2.4 污染物排放清单分析

通过综合各个单元过程的环境排放清单,得到整个生命周期的环境排放清单,见表7。型煤的全生命周期的污染物排放清单考虑到 1 t 型煤中,有 75% ~ 80% 煤炭(0.75 ~ 0.8 t 烟煤)需要采选和运输,10% ~ 15% 的生物质(0.1 ~ 0.15 t)需要运输。

表7 2种燃煤的环境排放清单

Table 7 Environmental emission list of the coals

单元过程	燃煤种类	排放量/( $\text{g} \cdot \text{t}^{-1}$ )			
		CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
原料运输	型煤	2 797.2	15.04	56.28	210.46
	褐煤	2 377	18.2	76.4	275.8
开采阶段	型煤	116.11	1.11	0.27	0.16
	褐煤	165.87	1.58	0.39	0.23
压缩成型	型煤	3 537	11.56	10.1	647
燃烧使用	型煤	1 207 800	4 300	800	202 700
	褐煤	2 175 900	5 700	2 100	102 700
全过程	型煤	1 214 250.31	4 327.71	866.65	203 557.60
	褐煤	2 178 443.87	5 719.78	2 176.79	102 976.00

2.3 环境影响评价

影响评价是生命周期的核心部分,它对清单分

析提供的数据进行环境影响评价,为结论提供依据,主要分为3步:分类整理、特征化、综合分析<sup>[14]</sup>。

2.3.1 分类整理

2种型煤的生命周期评价环境排放包括 SO<sub>2</sub>、NO、CO、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>,根据生命周期内的资源消耗与环境排放数量,并结合山西区域环境特点,选取的环境影响类型是全球变暖,酸化,富营养化<sup>[15-16]</sup>,各种环境影响类型与对应的影响因子如下:

环境影响类型	环境影响因子
全球变暖	CO <sub>2</sub> 、CO、NO <sub>x</sub>
酸化	SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub>
富营养化	NO <sub>x</sub>

2.3.2 特征化

特征化工作可以分为2个过程:计算影响潜值和标准化<sup>[17]</sup>。

1) 计算影响潜值

一种环境影响类型受到多种环境因子的作用,不同的环境因子对环境影响类型的贡献值不同,因此要将不同的环境因子转化为同一种排放物,即当量化<sup>[18]</sup>。

2) 标准化

按照当量化计算出来的各环境影响类型的环境影响潜值,在量纲上并不一致,不能直接相加处理评价产品的综合环境负荷,因此要进行标准化,统一量纲。本研究采用1990年数据作为基准,区域性环境影响类型的人均环境影响潜值采用我国1990年中部地区统计数据<sup>[19-20]</sup>,各个环境影响类型的权重见表8,新型生物质型煤的环境影响评价见表9,褐煤的环境影响评价见表10。

表8 各个环境影响类型的权重

Table 8 Power list of the environment impacts

环境影响类型	标准化基准/ ( $\text{kgeq} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{人}^{-1}$ )	相对权重
全球变暖	8 700	0.83
酸化	36	0.73
富营养化	62	0.73

2.3.3 2种燃煤的潜在环境影响综合分析

2种燃煤的潜在环境影响综合分析见表11。

2.4 生物质型煤的环境影响评估与改进

1) 从2种燃煤的整个生命周期内各环境排放对环境的影响来看,生物质型煤的潜在环境影响负荷指数为0.30,褐煤的潜在环境影响负荷指数为

表9 新型生物质型煤的环境影响评价

Table 9 Environment impact of biomass briquette

环境影响类型	环境影响因子	环境排放量/g	当量化因子	环境影响潜值/keq	标准化基准/(keq·a <sup>-1</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	标准化影响潜值
全球变暖	CO <sub>2</sub>	1 214 250	1	1 898.69	8 700	0.22
	CO	203 557.6	2			
	NO <sub>x</sub>	866.65	320			
酸化	SO <sub>2</sub>	4 327.71	1	4.93	36	0.14
	NO <sub>x</sub>	866.65	0.7			
富营养化	NO <sub>x</sub>	866.65	1.35	1.17	62	0.02

表10 褐煤的环境影响评价

Table 10 Environment impact of lignite

环境影响类型	环境影响因子	环境排放量/g	当量化因子	环境影响潜值/keq	标准化基准/(keq·a <sup>-1</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	标准化影响潜值
全球变暖	CO <sub>2</sub>	2 178 443	1	3 080.97	8 700	0.35
	CO	102 976	2			
	NO <sub>x</sub>	2 176.79	320			
酸化	SO <sub>2</sub>	5 719.78	1	7.24	36	0.20
	NO <sub>x</sub>	2 176.79	0.7			
富营养化	NO <sub>x</sub>	2 176.79	1.35	2.94	62	0.05

表11 2种燃煤的潜在环境影响综合分析

Table 11 Comprehensive analysis on environment impact of the coals

燃煤	环境影响类型	标准化环境影响潜值	权重	加权环境影响潜值	环境负荷指数
生物质型煤	全球变暖	0.22	0.83	0.18	0.30
	酸化	0.14	0.73	0.10	
	富营养化	0.02	0.73	0.02	
褐煤	全球变暖	0.35	0.83	0.29	0.48
	酸化	0.20	0.73	0.15	
	富营养化	0.05	0.73	0.04	

0.48,生物质型煤的环境影响负荷明显小于褐煤,说明生物质型煤的环境协调性相对要高。

在表11生物质型煤的环境排放的环境影响分别计算各影响类型比例可得,全球变暖占到的比重最大为60.00%,酸化为33.33%,富营养化最小6.67%,其中富营养化的环境影响指数仅为0.02,可以说明生物质型煤对区域富营养化的影响可以忽略不计,全球变暖和酸化是生物质型煤要关注的环境影响类型。

在表9全球变暖环境影响计算比例可得,CO<sub>2</sub>的贡献值最大,占到总贡献的63.96%,CO和NO<sub>x</sub>

分别为21.44%和14.6%,CO<sub>2</sub>排放依旧是全球变暖的主要推动力,CO和NO<sub>x</sub>的贡献率较小,二者总贡献率占比36.04%。因此控制全球变暖的环境影响,CO<sub>2</sub>减排是生物质型煤改进的主要方向。

在表9酸化的环境影响中可得,SO<sub>2</sub>的贡献率占绝大部分为87.77%,NO<sub>x</sub>为12.23%,因此SO<sub>2</sub>是酸化的主要环境排放,生物质型煤要减小酸化影响,就要加强型煤的脱硫处理等工艺,减少SO<sub>2</sub>的排放。

2)从2种燃煤生命周期的各个阶段分析,表7描述了原煤开采、原料运输、压缩成型、燃烧使用4个阶段的环境排放,生物质型煤的环境排放都集中于燃烧使用阶段,生物质型煤的CO<sub>2</sub>排放,燃烧使用阶段占到99.47%,SO<sub>2</sub>燃烧使用阶段排放占到总排放的99.36%,CO燃烧使用阶段排放占比最大为92.31%,NO<sub>x</sub>燃烧使用阶段的排放量占总排放量的99.58%,由此可见,生物质型煤的环境排放主要集中于燃烧使用阶段,提高生物质型煤的燃烧性能,降低燃烧排放可以显著改善生物质型煤的整个生命周期的环境协调性。

3)在燃烧使用阶段,生物质型煤的环境排放CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>均比褐煤要低,其中SO<sub>2</sub>减排22%,

CO<sub>2</sub> 减排 43%, NO<sub>x</sub> 减排 55%, 从中可以看出生物质型煤在燃烧使用阶段的环境排放相对于褐煤有了大幅度的改善, 而 CO 排放量生物质型煤要比褐煤要低, 主要是因为褐煤煤化程度低, 燃点低, 易于燃烧, 所以燃烧使用过程中 CO 产生排放小。

### 3 结 论

1) 生物质型煤的环境影响负荷指数为 0.30, CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 的环境排放相对于褐煤均有大幅度的降低, 因此生物质型煤的环境负荷相对较小, 表现出很强的环保特性。

2) 生物质型煤的环境排放主要集中于燃烧使用阶段, 各种气体排放物在燃烧使用阶段的排放最高可达到 99.58%, 因此要改善生物质型煤生命周期的环境排放, 重点在于对燃烧使用阶段的技术升级改造, 提高该阶段的环境协调性,

3) 生物质型煤的各种环境影响类型, 全球变暖的影响最大, 环境影响负荷指数为 0.18, 酸化影响负荷指数为 0.10, 富营养化为 0.02, 因此生物质型煤的环境影响主要是全球变暖和酸化, 对于富营养化的影响很小, 可以不予考虑。全球变暖的环境影响的主要贡献排放物为 CO<sub>2</sub>, 占总贡献值的 60%, 改进生物质型煤的原料配方, 提高燃烧效率等降级 CO<sub>2</sub> 排放的措施, 是生物质型煤降低全球变暖的环境影响的重要改进方向。对于酸化, SO<sub>2</sub> 的贡献率占比 87.77%, 降低 SO<sub>2</sub> 排放是产品降低酸化影响的主要途径。

#### 参考文献:

[1] 孙 亮. 灰霾天气的成因危害及控制治理[J]. 环境科学与管理, 2012(10): 72-75.  
Sun Liang. Hazard and treatment of haze weather[J]. Environmental Science and Management, 2012(10): 72-75.

[2] 董进宁, 李茂东, 张振顶, 等. 燃生物质颗粒工业锅炉系统的生命周期评价[J]. 节能技术, 2014(2): 139-143.  
Dong Jinning, Li Maodong, Zhang Zhending, et al. Life cycle assessment on the industrial boiler system burned on biomass pellet [J]. Energy Conservation Technology, 2014(2): 139-143.

[3] 李春桃, 席 冰, 徐 兵, 等. NaOH 改性生物质做成型煤粘结剂的成型研究[J]. 洁净煤技术, 2009, 15(6): 36-38, 56.  
Li Chuntao, Xi Bing, Xu Bing, et al. Study on denatured NaOH modified biomass prepare binder of briquette [J]. Clean Coal Technology, 2009, 15(6): 36-38, 56.

[4] 罗菊香, 王仁章. 改性稻壳作为型煤黏结剂的研究[J]. 洁净煤技术, 2012, 18(5): 35-38.

Luo Juxiang, Wang Renzhang. Utilization of denatured rice husk as briquette binder [J]. Clean Coal Technology, 2012, 18(5): 35-38.

[5] 林成先, 杨尚宝, 陈景文, 等. 煤与秸秆成型燃料的复合生命周期对比评价[J]. 环境科学, 2009(11): 2451-2457.  
Lin Chengxian, Yang Shangbao, Chen Jingwen, et al. Hybrid life cycle analysis for coal and straw briquette [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2009(11): 2451-2457.

[6] 杨建新, 王如松. 生命周期评价的回顾与展望[J]. 环境科学进展, 1998, 6(2): 21-28.  
Yang Jianxing, Wang Rusong. Retrospect and prospect of life cycle assessment [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 1998, 6(2): 21-28.

[7] 王飞儿, 陈英旭. 生命周期评价研究进展[J]. 环境污染与防治, 2001, 23(5): 249-252.  
Wang Feier, Chen Yingxu. Research progress in life cycle assessment [J]. Environmental Pollution and Control, 2001, 23(5): 249-252.

[8] 刘敬尧, 钱 宇, 李秀喜, 等. 燃煤及其替代发电方案的生命周期评价[J]. 煤炭学报, 2009, 34(1): 133-138.  
Liu Jingyao, Qian Yu, Li Xiuxi, et al. Life cycle assessment of coal-fired power generation and its alternative [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(1): 133-138.

[9] 袁宝荣, 聂祥仁, 狄向华, 等. 中国化石能源生产的生命周期清单(1): 能源消耗与直接排放[J]. 现代化工, 2006, 26(3): 59-63.  
Yuan Baorong, Nie Zuoren, Di Xianghua, et al. Life cycle inventories of fossil fuels in China( I ): energy sources consumption and direct pollutant emissions [J]. Modern Chemical Industry, 2006, 26(3): 59-63.

[10] 丁 宁, 杨建新. 中国化石能源生命周期清单分析[J]. 中国环境科学, 2015, 35(5): 1592-1600.  
Ding Ning, Yang Jianxin. Life cycle inventories analysis of fossil energy in China [J]. China Environmental Science, 2015, 35(5): 1592-1600.

[11] 国家统计局工业交通统计司. 中国能源统计年鉴(2012) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2012: 27-129.

[12] 杨建新, 徐 成, 王如松. 产品生命周期评价方法及应用 [M]. 北京: 气象出版社, 2002: 62-108.

[13] 中华人民共和国交通部. 2012 年交通部公路水路交通行业发展统计公报[R]. 北京: 运输部综合规划司, 2012.

[14] 张 培, 田长生, 黄志甲. 钢铁产品生命周期影响评价方法 [J]. 安徽工业大学学报(自然科学版), 2007, 24(1): 84-88.  
Zhang Pei, Tian Changsheng, Huang Zhijia. Life cycle impact assessment method for Iron and steel products [J]. Anhui University of Technology (Natural Science), 2007, 24(1): 84-88.

[15] 孙启宏, 万年青, 范与华. 国外生命周期评价(LCA)研究综述 [J]. 世界标准化与质量管理, 2000, 12(12): 24-26.  
Sun Qihong, Wan Nianqing, Fan Yuhua. The study of life cycle assessment in abroad [J]. World Standardization and Quality Management, 2000, 12(12): 24-26. (下转第 101 页)

## 参考文献:

- [1] Liu Shuqin, Wang Yongtao, Li Yu, *et al.* Thermodynamic equilibrium study of trace element transformation during underground coal gasification[J]. *Fuel Processing Technology*, 2006, 2(2): 209-215.
- [2] 普煜, 马永成, 陈樑, 等. 鲁奇炉渣在废水净化中的应用研究[J]. *工业水处理*, 2007, 27(5): 59-62.  
Pu Yu, Ma Yongcheng, Chen Liang, *et al.* Application of Lurgi slag to wastewater purification[J]. *Industrial Water Treatment*, 2007, 27(5): 59-62.
- [3] 乔元梅, 任艳霞. 焦化废水处理方法综述[J]. *过滤与分离*, 2007, 17(3): 46-48.  
Qiao Yuanmei, Ren Yanxia. Review on the treatment of coking waste water treatment[J]. *Journal of Filtration & Separation*, 2007, 17(3): 46-48.
- [4] 吴勇民, 李甫, 黄咸雨, 等. 含酚废水处理新技术及其发展前景[J]. *环境科学与管理*, 2007, 32(3): 150-153.  
Wu Yongmin, Li Fu, Huang Xianyu, *et al.* New techniques for treatment of phenol-containing wastewater and prospect of them [J]. *Environmental Science and Management*, 2007, 32(3): 150-153.
- [5] Media M, Mackay D. Extraction of phenol from water with mixed solvents[J]. *Journal of Chemical Engineering*, 1975, 53(3): 274-277.
- [6] Greminger D C, Burns G P, Lynn S, *et al.* Solvent extraction of phenols from water[J]. *Industry & Engineering Chemistry Process Design & Development*, 1982, 21: 51-54.
- [7] 盖恒军, 江燕斌, 钱宇, 等. 煤气化废水处理过程瓶颈及改进措施分析[J]. *化学工程*, 2007, 35(8): 57-60.  
Gai Hengjun, Jiang Yanbin, Qian Yu, *et al.* Analysis and debottlenecking retrofits for the coal-gasification wastewater treatment process[J]. *Chemical Engineering*, 2007, 35(8): 57-60.
- [8] 钱宇, 周志远, 陈赞, 等. 煤气化废水酚氨分离回收系统的流程改造和工业实施[J]. *化工学报*, 2010, 61(17): 1821-1828.  
Qian Yu, Zhou Zhiyuan, Chen Yun, *et al.* Process retrofit and industrial implementation of phenol and ammonia recovery from coal-gasification wastewater[J]. *Journal of Chemical Industry and Engineering (China)*, 2010, 61(17): 1821-1828.
- [9] King C J. *Handbook of separation process technology* [M]. New York: John Wiley & Sons, 1987.
- [10] 刘春阳, 刘柳, 陈天安, 等. 催化裂化汽油碱渣酸化液络合萃取脱酚实验研究[J]. *污染防治技术*, 2009, 22(5): 5-6.  
Liu Chunyang, Liu Liu, Chen Tian'an, *et al.* Study on extraction by chemical complexation used in FCC caustic sludge acidification liquid[J]. *Pollution Control Technology*, 2009, 22(5): 5-6.
- [11] 杨义燕, 杨天雪, 戴猷元. 磷酸三丁酯对苯酚的络合萃取[J]. *环境化学*, 1995, 14(5): 410-416.  
Yang Yiyan, Yang Tianxue, Dai Youyuan. Extraction mechanism of phenol with tributyl phosphate (TBP) [J]. *Environmental Chemistry*, 1995, 14(5): 410-416.
- [12] 王云东, 林玉鑫, 李振宇, 等. 三烷基氧磷 (TRPO) 萃取有机羧酸的研究[J]. *高校化学工程学报*, 2001, 15(2): 175-178.  
Wang Yundong, Lin Yuxin, Lin Zhenyu, *et al.* Liquid-liquid extraction of carboxylic acid with TRPO [J]. *Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities*, 2001, 15(2): 175-178.
- [13] 杨德岭, 宁朋歌, 曹宏斌, 等. 伯胺 N1923 络合萃取苯酚[J]. *过程工程学报*, 2012, 12(4): 570-575.  
Yang Deling, Ning Pengge, Cao Hongbin, *et al.* Extraction of phenol with primary amine N1923 [J]. *The Chinese Journal of Process Engineering*, 2012, 12(4): 570-575.
- [14] 杨义燕, 冯颖, 戴猷元. 三辛胺萃取多元酚的研究[J]. *应用化学*, 1995, 12(1): 56-58.  
Yang Yiyan, Feng Ying, Dai Youyuan. Extraction of polyphenols with tri-n-octylamine in organic diluents [J]. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 1995, 12(1): 56-58.
- [15] 杨义燕, 韩扶军, 张旺德, 等. NaOH 溶液对有机相苯酚反萃取的研究[J]. *环境化学*, 1998, 17(1): 20-23.  
Yang Yiyan, Han Fujun, Zhang Wangde, *et al.* Stripping of solvent loaded with phenol by NaOH aqueous solution [J]. *Environmental Chemistry*, 1998, 17(1): 20-23.
- [16] Finnveden G, Hauschild M Z, Ekvall T. Recent developments in life cycle assessment[J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, 91(1): 1-21.
- [17] Singh P, Gundimeda H. Life cycle energy analysis (LCEA) of cooking fuel sources used in India households [J]. *Energy and Environmental Engineering*, 2014, 2(1): 20-30.
- [18] 朱金陵, 王志伟, 师新广, 等. 玉米秸秆成型燃料生命周期评价[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(6): 262-266.  
Zhu Jinling, Wang Zhiwei, Shi Xinguang, *et al.* Life cycle assessment of corn straw pellet fuel [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(6): 262-266.
- [19] 戴宏民, 戴佩华. LCA 数据清单分析研究[J]. *包装工程*, 2003, 24(4): 10-12.  
Dai Hongming, Dai Peihua. Analysis data list of life cycle assessment [J]. *Packaging Engineering*, 2003, 24(4): 10-12.
- [20] 夏添, 邓超, 吴军. 生命周期评价清单分析的算法研究[J]. *计算机工程与设计*, 2005, 26(7): 1681-1683.  
Xia Tian, Deng Chao, Wu Jun. Algorithmic research of inventory analysis in life cycle assessment [J]. *Computer Engineering and Design*, 2005, 26(7): 1681-1683.

(上接第 95 页)