

大型 CFB 锅炉掺烧生物质及城市固废可行性分析

张世鑫¹, 蔡芳龙², 陈玉洪², 吕 勇²

(1. 中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司, 北京 102209; 2. 福建华电永安发电有限公司, 福建 永安 366013)

摘要: 生物质及城市固废具有一定热值, 可以使用现有大型循环流化床锅炉对其进行掺烧利用。本文结合目前生物质、固废利用的经验, 从掺烧生物质和城市固废对循环流化床锅炉燃烧、污染物排放的影响, 以及给料方式可行性来进行分析。结果表明, 利用电厂目前运行的 1 025 t/h CFB 锅炉机组实现日掺烧生物质 200 t, 处理固废 400 t、RDF50 t、污泥 200 t 是可行的, 且利用电厂本身已有的除尘系统、脱硫系统、脱硝系统, 可以达到生物质掺烧及城市固废处置无害化和资源化的目的。

关键词: 生物质; 固废; CFB; 掺烧; 可行性

中图分类号: TK227.1

文献标识码: A

文章编号: 1008-9500(2017)07-0064-05

Feasibility Analysis of Large CFB Boiler mixed burning Biomass fuels and "Urban Solid Waste"

Zhang Shixin¹, Cai Fanglong², Chen Yuhong², Lv Yong²

(1. Huaneng Clean Energy Research Institute, Beijing 102209, China; 2. Fujian Huadian Yong'an Power Company Limited, Yong'an 366013, China)

Abstract: Biomass and city solid waste has a certain calorific value, you can use the existing large-scale circulating fluidized bed boiler for its use. In this paper, based on the experience of biomass and solid waste utilization, this paper analyzes the influence of burning biomass and municipal solid waste on the combustion and pollutant discharge of circulating fluidized bed boiler and the feasibility of feeding method. The results show that it is feasible to use the 1 025 t/h CFB boiler unit which is currently running in the power plant to realize the daily doping biomass 200 t, and the treatment of solid waste 400 t, RDF 50 t and sludge 200 t is feasible and the dust System, desulfurization system, denitrification system, can achieve the purpose of biomass mixing and urban solid waste disposal harmless and resource-based.

Keywords: biomass; urban solid waste; CFB; Mixed burning; feasibility

中国是农业大国, 秸秆资源十分丰富, 有 6 亿 ~ 8 亿 t^[1-3]。然而数据显示, 许多地区都剩余大量秸秆, 特别是山东、福建、四川、河南、河北等省, 秸秆资源浪费现象严重, 这些地区对秸秆的利用依然停留在以饲料、传统生活燃料、还田肥料为主, 虽然也有部分地区用秸秆生产乙醇和生物质原油, 但秸秆的总利用率仍较低^[4]。同时, 由于资源化利用处理成本高、处理技术不成熟、劳动力不足等原因, 我国很多地区秸秆利用率低, 农民以焚烧的方式处理秸秆, 造成烟气对环境的严重污染^[5]。

城市固废包括生活垃圾、一般工业固体废弃物、生活污水等。本文所述“一般工业固体废弃物”是指

鞋业、针织、服饰、绣花等企业在制造产品的过程中剩余的无法再用于加工产品的剩余废料、碎料及下脚料, 一般也称为“边角余料”, 其生成量占总用料的比例高达 30% ~ 40%。边角料无序堆放, 不仅影响城市形象, 而且存在火灾隐患, 边角料堆场火灾事件屡见不鲜^[6-9], 对环境造成污染的同时会造成经济损失。尤其是生产企业的密集地, 边角料处置利用更使得当地企业及环保部门束手无策, 地方既要发展生产又要保护环境, 所以边角料无害处理成为人们亟待解决的问题。

CFB 锅炉具有燃料适应性广、氮氧化物 (NO_x) 排放低、易于实现灰渣利用等特点^[10], 可以实现大型

收稿日期: 2017-05-26

作者简介: 张世鑫 (1983-), 男, 河南沁阳人, 工程师, 从事循环流化床 (CFB) 锅炉及清洁煤发电技术的研究与应用工作。

工程化利用生物质及城市固废。研究表明,生物质及城市固废具有一定热值,且利用电厂本身已具有的除尘系统、脱硫系统、脱硝系统,既实现了垃圾的综合利用,节约了宝贵的化石燃料,又可以保证固废燃烧所产生的粉尘、SO₂、NO_x 排放量满足国家环保标准,且与燃煤混烧可以有效抑制垃圾燃烧过程中二噁英的生成。因此,本文欲通过对相关产业的有效整合,实

现社会环境效益和经济效益多方共赢。

1 掺烧比例分析

根据初步分析数据,拟利用的生物质、城市固废(生活垃圾、工业固体废弃物、生活污水),其热值及数量情况如表 1 所示。

表 1 生物质及城市固废数据

项目	低位发热量 [(kJ/kg) (kCal/kg)]	灰分 (%)	水分 (%)	产量 (t/d)
电厂燃煤基准	20 934 (5 000)	30	9	--
生活垃圾衍生燃料 RDF	10 467 (2 500)	10	50	50
工业固体废弃物	20 934 (5 000)	2	0	400
生活污水	5 443 (1 300)	25	30	200
生物质	17 727 (4 234)	12	10	200

首先对各燃料特点进行分析,现有 1 025 t/h CFB 锅炉满负荷需要设计燃料量约 140 t/h,按每天 20 h 计算,每天燃烧设计煤 2 800 t。

1.1 生活垃圾衍生燃料 RDF

生活垃圾衍生物属于低热值(10 467 kJ/kg),高水分(50%左右)、低灰分 10% ~ 15%,低硫分 0.1% ~ 0.2% 燃料,折算灰分 9.6 g/MJ。

单独掺烧生活垃圾分析:锅炉满负荷需要设计燃料量约 140 t/h,按每天 20 h 计算,每天燃烧设计煤 2 800 t。相对设计燃料量而言,生活垃圾总量只有 50 t,份额较小,因此可以全部掺烧生活垃圾。

1.2 工业固体废弃物

工业固体废弃物属于较高热值(20 934 kJ/kg),低灰分 2% ~ 2.5% 燃料。平均氯 0.0147%,折算灰分 1.0 g/MJ。

单独掺烧工业固废分析:锅炉满负荷需要设计燃料量约 140 t/h,按每天 20 h 计算,每天燃烧设计煤 2 800 t。相对设计燃料量而言,工业固废总量有 400 t,占总燃料量的份额较高。按照每天燃烧 2 400 t 设计燃料,掺烧 400 t 工业废弃物,混合燃料的灰分为 $(2\,400 \times 30\% + 400 \times 2.0\%) / 2\,800 = 26.0\%$ 。从混合后的灰分来看可以掺烧全部工业固体废弃物。

国内外的研究发现,煤中所含的氯在锅炉管的高温腐蚀中起着很重要的作用。当煤中含氯量达到一定值时,它的作用远远超过了硫的作用。研究表明,当煤中氯含量大于 0.3% 时,与氯有关的高温腐蚀倾向严重。

若按上述掺烧比例,混合燃料的氯含量为: $(2\,400 \times 0\% + 400 \times 0.0147\%) / 2\,800 = 0.021\%$,氯含量较低,设备可以安全运行。

1.3 生活污水

生活污水属于低热值(5 443 kJ/kg),高水分(30%左右)、低灰分 25%。折算灰分 45.9 g/MJ,灰分较高。

从已有的运行数据来讲,每天 200 t 污泥可以单独由 1 台炉或 2 台炉焚烧,锅炉的燃烧稳定性是有保证的。由于污泥含水较高(30%左右),发热量低,从减少锅炉磨损、降低排烟温度、降低风机电耗来讲,掺烧量越少对锅炉经济性影响越小。

1.4 生物质燃料

生物质的热值属于低热值(17 727 kJ/kg),中等水分(10%左右)、低灰分 12% 燃料。高氯(参考值 1%),折算灰分为 6.8 g/MJ。

单独掺烧生物质分析:锅炉满负荷需要设计燃料量约 140 t/h,按每天 20 h 计算,每天燃烧设计煤 2 800 t。相对设计燃料量而言,生物质总量有 200 t,占总燃料量的份额较低。按照 2 630 t 设计燃料,200 t 生物质混合来看,混合后的灰分为 $(2\,630 \times 30\% + 200 \times 12.0\%) / 2\,830 = 28.7\%$ 。从混合后的灰分来看可以掺烧全部生物质燃料。

若按上述掺烧比例,混合燃料的氯含量为: $(2\,200 \times 0\% + 400 \times 0.0147\% + 200 \times 1\%) / 2\,800 = 0.0735\%$,设备可以安全运行。

根据以上分析,最终混合燃料配比如表 2 所示。

这种混合燃料的燃烧特性主要考虑水分、灰分、氯离子的影响。

掺烧固废后(燃煤 2 230 t/d,掺烧生物质 200 t/d、工业固废 400 t/d、污泥 200 t/d、RDF50 t/d),燃料混合的热值由 20 934 kJ/kg 降低到 19 548 kJ/kg,水分由 9% 增加到 9.9%,灰分由 30% 减少到 24.5%。

燃料水分变化幅度较小,不考虑排烟温度变化幅

度,烟气量可按锅炉设计值计算。参考入炉煤质分析日报,相对于入炉煤热值变化(19 259 ~ 21 771 kJ/kg)来说,掺烧城市固废燃料对锅炉效率的影响较小,含

氧量及过量空气系数可按设计值计算,最优运行参数需进行燃烧调整试验后得出。

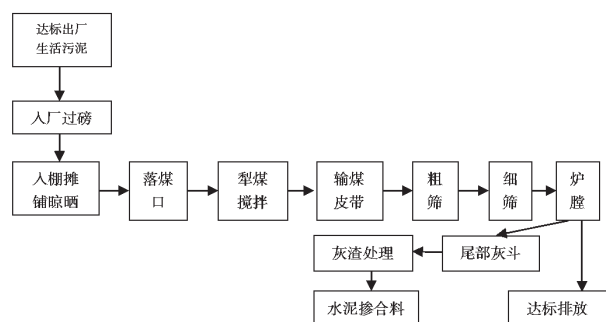
表2 掺烧燃料配比

项目	低位发热量(kJ/kg)	灰分(%)	水分(%)	掺烧量(t/d)
电厂燃煤基准	20 934	30	9	2 230
生活垃圾衍生燃料 RDF	10 467	10	50	50
工业固体废弃物	20 934	2	0	400
生活污水	5 443	25	30	200
生物质	17 727	12	10	200

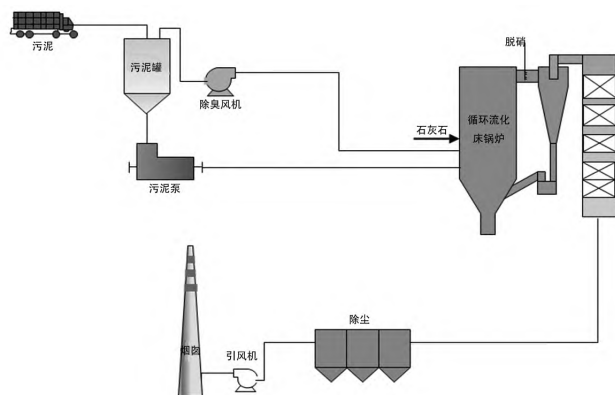
2 掺烧方式分析

2.1 生活污水

方式(a):生活污水经污水处理厂脱水后运送至公司现场进行摊铺晾晒,然后经输煤系统与原煤混合入炉充分燃烧,从而达到资源化处理的效果,有效利用垃圾、污泥中的剩余热值,减少原生垃圾及污泥因填埋对环境造成的持续污染问题。其污泥掺烧方式如图1(a)所示。



污泥掺烧方式(a)



污泥掺烧方式(b)

图1 污泥掺烧方式

方式(b):生活污水经污水处理厂脱水后运送至公司污泥罐,污泥罐下部布置污泥泵(柱塞泵)。污泥直接通过污泥泵输送至炉膛进行燃烧处理。污泥给入口布置播料风,同时布置插板阀以防止污泥系统

停运时烟气反窜。污泥罐上部布置除臭风机,将罐内挥发气体送至炉膛进行燃烧净化。其污泥掺烧方式如图1(b)所示。

此次污水厂提供的污泥水分在30%左右,表观来看,污泥成干片状,易粉碎。所以,此次电厂在掺烧时将污泥通过输煤系统输送至炉前煤仓,然后通过给煤机给入炉内进行处理。实际试验方式(a)方法可行,故在此不做详述,大量使用时需考虑水分控制,以避免筛破系统以及煤仓堵塞。

2.2 生活垃圾衍生燃料、工业固体废弃物、生物质燃料

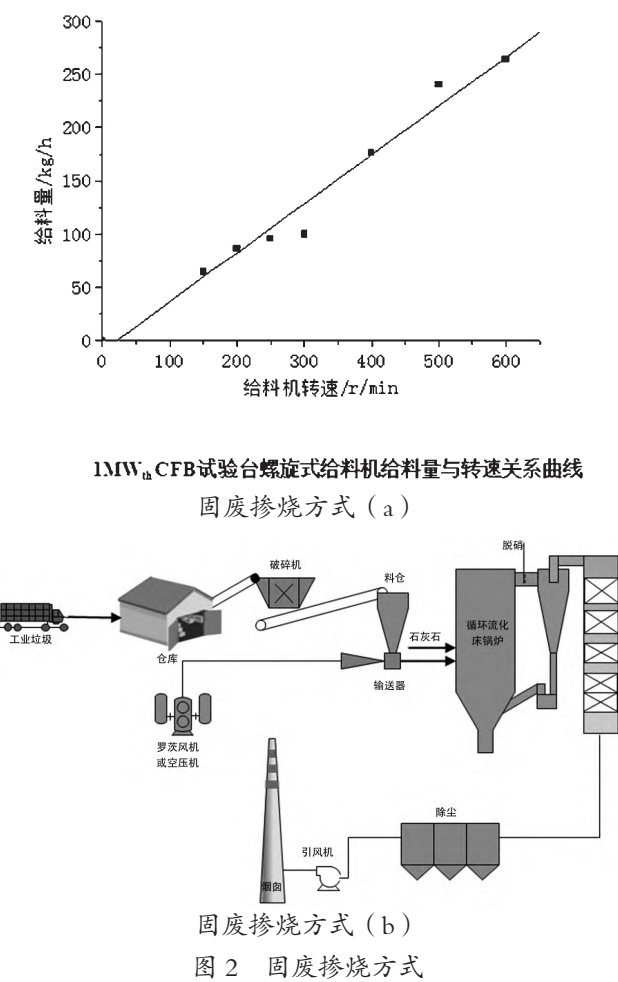
从物理性质来看,生活垃圾衍生燃料、工业固体废弃物、生物质燃料均可通过螺旋给料或气力输送至炉内进行燃烧利用。

方式(a):燃料由单独设置在锅炉上的螺旋给料系统给入炉内,通过控制给入量,将RDF直接送入炉内燃烧;此方式需在锅炉空间位置新建存储仓、输送系统、螺旋给料系统。其固废掺烧方式如图2(a)所示。

方式(b):使用气力输送系统将破碎后的固废输送至炉膛进行燃烧利用。其固废掺烧方式如图2(b)所示。



改造后的1MW_aCFB试验台螺旋式给料系统



两种固废掺烧方式优缺点如表 3 所示。

从给入方式优缺点来看，使用气力输送较为合适，堵塞问题可通过运行控制来解决。

3 锅炉给料点分析

固废给入点有以下 4 种：给煤口、二次风口、

表 3 掺烧方式对比

方案	优点	缺点
方式 (a)	物料输送距离较短，给料量较稳定	料仓位置较高，几种固废需分别设置料仓，在锅炉本体处不易布置
方式 (b)	利用地面现有场地，改造成本较低、控制操作简单	若尺寸较大，物料进入输送管道，易导致系统堵塞，输送能耗较高

表 4 给入点对比						
序号	项目	单位	设计数据	优点	缺点	
1	给煤口	布置方式	前墙布置	开孔方便，布置点较多，播煤风有助于携带物料	布置空间较小，输送系统不易布置；给煤口尺寸较小，易堵煤	
		数量	8			
2	回料口	布置方式	后墙布置	开孔方便，布置空间相对较大	回料口浇注料局部需重新做，需加吹扫（播料）风	
		数量	6			
3	二次风口	数量	32	开孔方便，布置点较多；二次风有助于携带物料	满负荷时二次风余量不足，固废通过二次风管会增加二次风阻力	
		上层	18（前 8、后 10）			
		下层	14（前 8、后 6）			
4	炉膛新开孔	前墙或后墙	个	6	布置方便	需更换水冷壁让弯管，改造周期较长

回料口、炉膛新开孔，其优缺点如表 4 所示。

对比以上几个给入点优缺点可见，选择回料口作为固废给入点较为合适。

4 污染物排放分析

由于电厂已采取了高效、完善的烟气处理设备及烟气达标排放控制措施，即炉内脱硫 + 炉后半干法 CFB 脱硫、每台锅炉两台双室四电场加布袋除尘器、SNCR 系统脱硝，可确保 SO₂、粉尘、NO_x 满足稳定达标排放要求。因城市固废 Cl 及重金属含量较高，下面主要考虑二噁英排放、灰渣放射性及重金属含量的影响。生物质及城市固废相关研究结果如表 5 所示。

根据前面分析结果，在 1 025 t/h 流化床电站锅炉内日掺烧生物质 200 t，处理工业固废 400 t、RDF50 t、污泥 200 t，相对于日耗煤量 2 230 t 来说，掺烧量为 27.6%（生物质 6.5%、固废 13.0%、RDF1.6%、污泥 6.5%），小于《生活垃圾焚烧污染物控制标准》（GB 18485-2014）所规定的 30% 掺烧量，所以此标准仅作参考。二噁英是一种难降解的致癌物，具有热稳定性，当温度高于 850℃ 时，二噁英被分解破坏。所以，一般要求焚烧炉的燃烧温度应该高于此温度，并保证二噁英在其中的停留时间在 2 s 以上，这样才可以使二噁英的浓度降到最低，排放之后基本不会对环境 and 人类造成危害。目前，电厂 1 025 t/h CFB 锅炉负荷率较高，锅炉额定负荷下的燃烧温度均在 900℃ 以上，炉膛内烟气停留时间大于 5 s。理论上来说，掺烧生物质及城市固废后，二噁英排放可满足环保要求，灰渣放射性材料使用可不受限制。因各地城市固废不同，实际应用有一定差异，建议针对项目所要掺烧的燃料进行定比例燃烧试验，以确保项目环保达标。

表 5 生物质、固废试烧试验主要结果

项目	燃料	二噁英 TEQ/m ³ (标, 11%O ₂)	灰渣放射性	灰渣重金属
永安电厂	90% 无烟煤 +10% RDF	0.014 ^[11]	材料的使用 可不受限制	飞灰、底渣有害微量元素含量均低于相关标准及排放限值
德国欧绿宝	90% 霍林河褐煤 +10% RDF	0.81 ^[12]	材料的使用 可不受限制	灰渣中部分重金属微量元素超过《农用粉煤灰中污染物控制标准》(GB 8173-1987), 不可直接用于农业用途
	霍林河褐煤	0.30 ^[12]		
沈阳金山	83% 锡林浩特褐煤 +17% 城市污泥	0.007 ^[13]	材料的使用 可不受限制	污泥中 Hg 含量为 9.92 mg/kg, 超过《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002) 标准限值, 不能直接排放。 通过燃烧, 设计煤典型工况飞灰、底渣有害微量元素分析, 结果表明: 灰渣中砷、镉、铬、铅、汞、铜、镍、锌、硒均不超标且远低于现行可参考标准要求; 灰渣中 Hg 明显低于污泥燃烧之前的含量。
	典型生物质燃料 大唐下花园 (圆柱状, 长度约 50 mm, 直径约 30 mm)	0.010 ^[14]		灰渣不适于直接在农业领域综合利用, 可考虑将灰渣作为建材、矿坑回填材料等其他用途

5 结语

利用电厂目前运行的 2 台 1 025 t/h CFB 循环流化床锅炉机组实现日掺烧生物质 200 t, 处理工业固废 400 t、RDF50 t、污泥 200 t 是可行的, 可以达到生物质掺烧及城市固废处置无害化和资源化的目的。

理论上来说, 按照该掺烧比例, 二噁英排放可满足环保要求, 灰渣放射性材料使用可不受限制。因各地城市固废不完全相同, 实际应用会有所差异, 可以针对项目要掺烧的燃料进行定比例燃烧试验, 从而确保项目环保达标。

参 考 文 献

1 彭春艳, 罗怀良, 孔 静. 中国作物秸秆资源量估算与利用状况研究进展 [J]. 中国农业资源与区划, 2014, (3): 14-20.

2 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状 [J]. 农业工程学报, 2002, (3): 87-91.

3 毕于运. 秸秆资源评价与利用研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.

4 王永振, 高 辉, 赵 江, 等. 秸秆资源综合利用技术概述 [J]. 环境工程, 2014, (1): 730-733.

5 赵祥宇. 秸秆禁烧管理研究 [D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2016.

6 王 光 慧. 福州 新 闻 网 [EB/OL]. (2017-02-22) [2017-05-06].<http://news.fznews.com.cn/shehui/20170222/58acd6d76a872.shtml>.

7 王 福 军. 中国 新 闻 网 [EB/OL]. (2010-05-27) [2017-05-06].<http://www.chinanews.com/tp/news/2010/05-27/2307744.shtml>.

8 叶 雄 伟. 温州 网 - 温州 晚 报 [EB/OL]. (2016-08-11) [2017-05-06].<http://news.66wz.com/system/2016/08/11/104903643.shtml>.

9 刘 宝 才. 中 国 青 年 网 [EB/OL]. (2014-03-13) [2017-05-06].http://www.dzwww.com/xinwen/xinwenzhuanti/2008/ggkf30zn/201403/t20140314_9454625.htm.

10 张 敏, 白 强, 刘昱平. 循环流化床锅炉掺烧煤矸石试验研究 [J]. 热力发电, 2007, (4): 55-57.

11 金森旺, 卓敏鹏, 林伟荣, 等. 福建华电永安发电有限公司垃圾衍生燃料 RDF 燃烧热性试烧试验报告 [R]. 北京: 中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司, 2014.

12 刘海峰, 高洪培, 王鹏利, 等. RDF 与燃煤混合燃料燃烧脱硫特性试烧试验研究报告 [R]. 北京: 中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司, 2012.

13 刘 彬, 王鹏利, 王海涛, 等. 沈阳金山能源股份有限公司金山热电分公司城市污泥与燃煤掺混燃烧脱硫试验研究报告 [R]. 北京: 中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司, 2011.

14 赵鹏勃, 高洪培, 王鹏利, 等. 大唐国际下花园发电厂 2×100 MW CFB 锅炉生物质燃料试烧试验研究报告 [R]. 北京: 中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司, 2010.