

煤与垃圾在流化床中的混烧利用技术分析*

魏小林 田文栋 盛宏至 黎军 吴东根

(中国科学院力学研究所、环境科学与技术中心,北京 100080)

摘要 从技术、经济和环保等方面,对于煤与垃圾在流化床中的混烧利用技术进行了比较详细的分析。结果表明对于我国目前的垃圾,混烧比率宜小于90%;垃圾收费和售电价格对于焚烧厂的经济状况影响很大,若从鼓励多焚烧垃圾而不是多发电的角度出发,应尽量增加垃圾收费补贴来使焚烧厂正常运行;与纯烧煤相比,混烧时除SO_x外,其余污染物排放均有所增加,但混烧有利于提高燃烧温度,破坏二噁英类物质的生成。该结果对于混烧处理厂的规划以及相关政策的制定有一定参考价值。

关键词 流化床 城市垃圾 混烧 分析

1 前言

目前大多数城市都在寻求垃圾的卫生处理方式。一般,国外处理垃圾方式分3类:填埋、堆肥和焚烧,但实际上,3种方式是互补的,各有优势。堆肥的剩余物需要焚烧和填埋,而焚烧的残余灰渣需要填埋。最佳的方式是垃圾综合利用处理。通过垃圾分类或采用机械分拣,将垃圾分成可堆肥的生物质类、可焚烧发电的塑料类、可填埋的灰渣类以及可再利用的物资类等,然后分别处理。但是,由于经济条件所限,目前我国仍采用单纯填埋、堆肥或焚烧等。由于我国大城市多处于人多地少的东部地区,填埋用地缺乏,因此采用焚烧制能技术处理垃圾是一种很好的选择。

单纯焚烧垃圾的技术在我国尚处于研究开发阶段^[1-3],仍需进一步改进并大型化,而采用煤与垃圾混烧发电将是一种很好的选择。与纯烧垃圾相比,混烧技术能保证燃烧稳定,提高发电效率,有利于投资回收,同时减少了垃圾焚烧炉的建设成本和投资。

由于流化床是一种新型、高效和清洁的焚烧装置,具有混合迅速、燃烧效率高且污染物排放量小的特点,因此我国正在积极开发煤与垃圾在流化床中的混烧利用技术^[2]。国外采用混烧技术的焚烧厂很多,并有一些研究结果^[4],而我国混烧炉尚很少,在此从技术、经济和环保的角度出发,比较详细地分析了煤与垃圾混烧利用技术。

2 流化床焚烧技术

流化床燃煤技术的较大规模研究与应用已有几

十年的历史,它的主要特点是燃料适应性好、燃烧效率高,可采用几乎任何含碳、氢和硫的燃料。另外,流化床属低温燃烧,床温在800~900℃,NO_x排放量很低。通过添加石灰石,可实现床内脱硫,保证较低的SO_x排放。

流化床技术根据不同的气流速度可分为鼓泡流化床、循环流化床和内旋流流化床等。其中鼓泡床和循环流化床已有较大规模的应用,技术较为成熟。而内旋流流化床是一种新型高效低污染流化床技术,它通过非均匀布风在砂床内形成大尺度的内循环流动,可以使燃料迅速地在床内均匀扩散,特别适合于尺寸不一、形状各异的燃料,充分发挥了流化床燃料适应性好的优点^[5,6]。内旋流流化床不但可用来烧煤,还可用来焚烧垃圾,或采用煤和垃圾混烧的方式发电,是一种值得研究和具有开发潜力的流化床技术。

近年来,北美重视采用流化床技术焚烧垃圾,特别是内旋流(内循环)流化床,认为该技术适合形状各异、尺寸不一的混合垃圾^[6]。流化床锅炉的燃料适用性很好,因此在设计时可以考虑采用煤和垃圾的混合燃烧方式。例如在美国华盛顿州达科马市(Tacoma City)有2台流化床焚烧炉,蒸汽参数为2.76MPa,400℃,发电量50MW。设计燃料为50%煤,35%木头和15%RDF(垃圾衍生燃料),以上百分数以输入热量计。当收集的垃圾量不够多时,焚烧炉可以灵活地通过添加煤来保证满负荷运行,以确保锅炉的发电和焚烧厂的收益,可见选择混烧技术对该厂的经济运行非常重要。

垃圾的组成特点是高挥发分、低固定碳、高水分(收到基水分达40%~60%)、低热值(低位热值有

* 国家自然科学基金(59776023)资助项目;
中国科学院重点项目(KY95T-03-02)。

3 000 ~ 5 000 kJ/kg。垃圾的组成特点决定了其燃烧特性与煤不同,焚烧时由于水分的影响,着火比较困难,而着火后在短期内挥发分大量析出,容易造成后期的燃烧不完全现象。流化床焚烧炉采用高温砂床作为蓄热体,可保证垃圾中水分的快速蒸发并维持床温基本稳定。床面上部的二次风可有效保证挥发分和有机物质的完全燃尽和破坏。目前国内正在研究开发煤和垃圾混烧的流化床发电技术,这不但可以提高煤的燃烧效率(与常用的炉排炉相比),而且可以解决垃圾污染问题。

3 煤与垃圾混烧技术的分析

3.1 技术可行性

一般当垃圾低位热值高于4 200 ~ 5 000 kJ/kg 时即可进行焚烧处理,但若在保证燃烧效率很高且排放清洁,国外一般推荐热值高于6 000 kJ/kg,由于垃圾热值随来源、季节等因素大幅度波动,因此在没有辅助燃料时燃烧不够稳定,难于控制有害气体的生成与排放,造成环境污染。目前我国城市垃圾的低位热值一般在3 000 ~ 4 200 kJ/kg,如果采用纯烧垃圾的方式,就要添加较多的辅助燃油,增加运行成本。

采用与煤混烧的方案,可以将煤与垃圾配成有一定热值的混合燃料,使其低位热值高于6 000 kJ/kg,保证燃烧稳定,同时简化了燃烧系统。当焚烧炉建成后,随垃圾热值的逐年增长,可以逐渐减少煤的用量,保证了较长时间垃圾处理能力不会下降。加入的少量劣质煤不但提高了炉内的燃烧温度,而且降低了CO的排放浓度,有利于有害有机物的分解并防止二噁英类物质的生成与排放。

可见,按我国目前的垃圾热值状况,在达到良好焚烧效果的前提下,混合燃料中的煤量尚需大于10%以上,而随着我国城市垃圾热值的增大,混合燃料中的煤量即可逐渐减少,而垃圾量则可增加。当垃圾热值增长到6 000 kJ/kg以上时,就可单纯焚烧垃圾,不用再采用混合燃料。

3.2 经济可行性

从经济可行性方面看煤与垃圾混烧技术,一是由于采用混烧方式大大提高了燃料的热值并能减轻Cl带来的高温腐蚀问题,因此可以产生较高参数的蒸汽(如中温中压蒸汽)来驱动汽轮机发电,从而提高了垃圾发电效率,如发电效率可达20%以上;二是从建造成本来说,在发电量相同的情况下,采用混烧技术大大降低了投资成本,如建造一座日处理垃圾量500t/d

的混烧发电机组,按煤和垃圾的质量比为1.5计算,可以产生相当于12MW的电力,而如果采用纯烧垃圾,500t/d的垃圾量仅可发出6MW的电力,而垃圾处理能力相同的混烧炉与纯烧垃圾炉的投资规模和建设周期相当,可见,混烧发电机组的每kW投资额约为纯烧垃圾机组的一半,显然,通过售电回收投资成本的焚烧发电厂愿意选择混烧的发电方式。

垃圾焚烧厂的经济收入一般来自于政府,有售电收入和垃圾处理收费2种。为了比较不同煤与垃圾混合比例下的焚烧发电厂收益情况,计算的基础为:焚烧发电功率12MW、自用电耗15%、每kW设备投资额8 300元、煤价200元/t、其它资金0.104元/度,计算时取煤和垃圾的低位热值分别为22 358 kJ/kg和4 500 kJ/kg。考虑到发电收入、垃圾处理收费补贴、运行成本(电、煤、石灰等耗费、人员工资、流动资金)、设备投资(包括还贷付息)等因素,采用下式对焚烧厂每发1度电的总收益进行粗略的估算:

$$\text{焚烧厂收益} = \text{上网电价} + \text{垃圾收费} - \text{运行成本} - \text{设备投资}$$

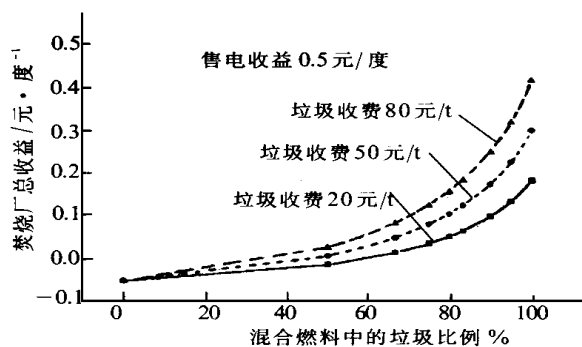


图1 改变垃圾收费时总收益与混烧比例关系

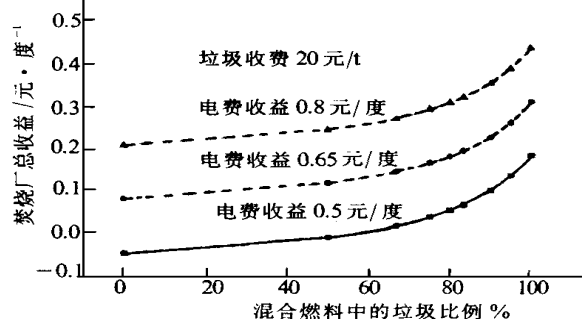


图2 改变电费时总收益与混烧比例关系

图1为不同混烧比例时的焚烧厂总收益情况(改变垃圾处理收费),可见随着混合燃料中的垃圾比例增加,焚烧厂从纯烧煤时的负效益逐渐增加到正效益,混烧垃圾越多,收益越大,这是由于垃圾收益在焚

烧厂总收益中所占比例逐渐增加。垃圾收费的多少对于焚烧厂的收益影响较大。随着垃圾处理费的增加,开始时收益曲线变化较缓,等垃圾混合比例超过50%后,收益曲线陡然上升。以我国目前的垃圾热值,混烧比例为80%~90%,在垃圾收费为50元/t的情况下,焚烧厂收益可达0.107~0.177元/度。随着我国垃圾热值的增加,混烧比例不断增加并最终实现纯烧垃圾,那时的焚烧厂收益将相当可观。

图2为改变售电价格时不同垃圾混烧比例下的焚烧厂总收益情况,可见售电价格对于焚烧厂的收益影响更大。随着售电价格增加,对于纯烧煤的情况,收益从电价为0.5元/度时的-0.05元/度增至电价为0.65元/度时的0.08元/度,净增0.13元/度;而对于纯烧垃圾的情况,收益从0.18元/度增至0.31元/度,净增值仍为0.13元/度。可见,这与图3的情况不一样,该图中当垃圾收费从20元/t增至50元/t时,纯烧垃圾的利益净增长0.12元/度,而纯烧煤时的收益净增长为0。由此可见,盲目增加电价不利于鼓励焚烧垃圾,在保证正常收入的同时,焚烧厂可能会降低混烧垃圾的比例。因此,适当增加垃圾处理费用有利于鼓励焚烧厂更多地混烧垃圾。

3.3 环境保护

一般煤和垃圾中含有有害元素硫、氮、氯及较多灰分等,它们会在燃烧过程中释放出来并生成污染性物质。附表给出了我国典型垃圾和煤的组成成分,可以看出,两者的灰分和氮含量相当,而煤中的硫含量远大于垃圾,氯含量却远小于垃圾。

附表 典型垃圾与煤的组成特性(应用基) %

	水分	灰分	固定炭	氢	氧	氮	硫	氯
垃圾	50	25	14	2	8	0.65	0.05	0.3
煤	4.9	26.77	59.67	2.89	2.83	1.04	1.9	0.01

图3给出了不同垃圾比例时污染物质NO_x、SO_x、HCl、CO和颗粒物的原始排放变化情况,所谓原始排放是指仅有除尘设备(除尘效率99%)情况下,未采用任何针对垃圾燃料的炉膛二次风特殊设计(降低CO排放)以及烟气处理后污染物排放。显然,除SO_x随垃圾比例增加而减少外,NO_x、HCl、CO和颗粒物均增加很多,尤其是HCl排放增加最多,值得注意的是虽然煤和垃圾中的灰分和氮含量接近,但颗粒物和NO_x排放量却增加,这是由于单位质量垃圾焚烧产生的烟气量只有煤燃烧产生烟气量的1/3左右,因此垃圾焚烧产生的污染物排放浓度远大于相同污染

元素含量下煤燃烧的结果。

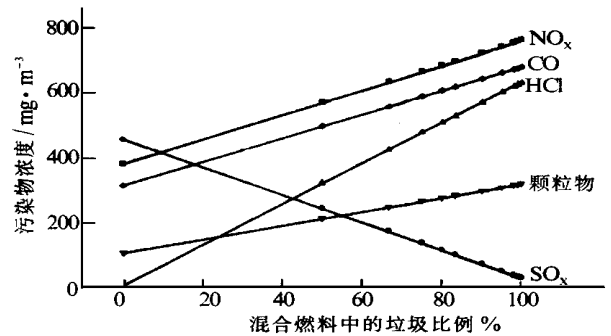


图3 污染物原始排放浓度随垃圾比例的变化情况

由于垃圾是一种对环境有害的废弃物,因此各国都制定了严格的焚烧炉环保标准。参照国外九十年代的标准,一般需将污染物控制在以下参考水平^[7]: CO < 150mg/m³; NO_x < 350mg/m³; SO_x < 300mg/m³; HCl < 60mg/m³; 颗粒物 < 100mg/m³; 汞 < 0.2mg/m³; 镉 < 0.2mg/m³; 铅 < 0.2mg/m³; 二噁英和呋喃类 < 0.1ng-TEQ/m³; 林格曼黑度 < 1级。显然垃圾焚烧的环保标准非常严格,而煤燃烧的标准相对宽松,由于煤与垃圾混烧炉肯定要满足垃圾焚烧的标准,因此将增加尾气处理设备的成本和负担。

4 结束语

目前,煤和垃圾混烧技术无疑是当前处理我国垃圾问题经济可行的一种方法,具有较强的应用需求。然而,如果采用RDF制作技术,那么垃圾热值可增加1倍,考虑到经济的发展,我国十年后的垃圾热值可能在6000kJ/kg以上,达到良好焚烧的程度,可见,从技术和社会进步的角度看,这又是一种“过渡”技术。

参考文献

- 1 杨振良、方建华、曹俊斌等. 垃圾焚烧炉的设计原则及应用[C]. 合肥:中国工程热物理学会燃烧学会学术会议论文集,1998. 63~68.
- 2 蒋旭光、池涌、李晓东等. 生活垃圾/煤混烧流化床焚烧试验研究[C]. 北京:中国工程热物理学会燃烧学学术会议论文集,1998. 1~6.
- 3 田文栋、魏小林、盛宏至. 内旋流流化床垃圾焚烧炉及其研究中的测量技术[J]. 燃烧科学与技术,1999. 5(2):152~159.
- 4 Norton, G. A., Levine, A. D. Cocombustion of refuse-derived fuel and coal[J]. Environmental Science and Technology, 1989, 23(7):774~783.
- 5 Basu, P., Fraser, S. A. 循环流化床锅炉的设计与运行(岑可法等译)[M]. 北京:科学出版社,1994:1~95.
- 6 Anthony, E. J. Fluidized bed combustion of alternative solid fuels; status, successes and problems of the technology[J]. Progress in Energy and Combustion Science, 1995. 21:239~268.

以工业废物制备高效氧化铁系脱硫剂的研究^{*}

任爱玲 郭斌 周保华

阮宜纶

(河北科技大学环境科学与工程学院, 石家庄 050018)

(天津大学建工学院, 天津 370002)

摘要 研究了以硫酸烧渣、转炉赤泥、平炉尘为主要原料制备氧化铁系(SW型)脱硫剂的方法及制备工艺。结果表明:脱硫剂最佳配方为粘结剂5%~8%,制孔剂0.08%~0.1%,木屑8%~12%,工业废渣(硫酸烧渣、转炉赤泥、平炉尘等)78%~88%;成型的最佳温度为150,活化方法应根据主要原料的不同有所差异,活化条件以成型活化优于成型前活化。

关键词 氧化铁 脱硫剂 H₂S 工业废渣

1 前言

硫化氢气体主要产生于各种工业生产过程中,也可产生于天然的动植物体在生态环境循环系统的自然腐败过程中。工业生产过程中H₂S气主要在燃气工业、合成氨工业、煤气、污水处理厂、造纸厂等行业产生。各燃气中H₂S含量因工艺、原料不同有所差异,多在几百到几千mg/Nm³,据统计,气体中污染物H₂S每年因化学过程和污水处理等所产生的量约为3×10⁶t,它的存在不仅影响用户的身体健康;而且在湿热的条件下,对金属管道和设备具有严重的腐蚀性;输气管网受H₂S的腐蚀开裂造成的破坏事故时有发生;当将燃气用作生产原料气时,会引起催化剂中毒,影响产品和中间产品的质量。为此,我国及国外一些国家对不同环境下的浓度进行了严格限制,要求在应用之前必须经过脱硫处理。

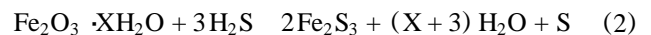
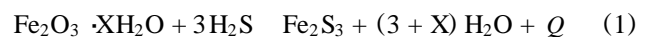
当前H₂S尾气的净化方法很多^[1],各有其优缺点。我国城市煤气、沼气、液化气等燃气多采用氧化铁法作为输送给用户前的最终处理手段,但存在的主要问题是脱硫剂售价高、产量低,运行周期短,硫容较低等问题。

硫酸废渣、炼钢赤泥、平炉尘等工业废弃物,排量很大,其利用率不到20%,其余堆放渣场,占用土地,晴天粉尘气扬,雨天污水遍地,对环境造成了严重污染。

本课题本着以废治废的原则,以硫酸废渣、炼钢赤泥、平炉尘等工业废弃物为主要原料制备高效氧化铁系脱硫剂,经配方筛选、制备工艺、运行条件的探讨,寻求成本低、效率高的脱硫剂,为工业脱硫推广应用提供科学依据。

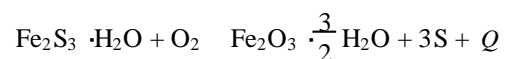
2 氧化铁系脱硫剂的脱硫原理^[2]

氧化铁系脱硫剂是以活性氧化铁为主要成分,另外添加少量的碱性物质、粘结剂、制孔剂、结构型助催化剂等,其化学成分根据所选用的原料和工艺不同而有所差异,其主要成分有:Fe₂O₃、CaO、Al₂O₃、ZnO、MgO、碳及其它微量组分,在有水和碱存在时,脱硫剂中活性水中氧化铁与煤气、沼气等气体中的H₂S起反应,主要反应:



上述反应受实验条件影响,(1)式产物易于再生为Fe₂O₃,而(2)式产物FeS不易再生,因此应避免(2)式发生。

在脱硫过程中,脱硫剂的颜色随脱硫时间的增加,由原来的黄褐色逐渐变成黑色,并且脱硫剂的质量也发生了变化。脱硫到一定程度后,脱硫效率明显下降,脱硫剂需再生,当有氧存在时,生成的硫化铁会发生再生反应并析出硫,反应如下:



^{*} 河北省科技攻关课题。

7 张乃斌. 垃圾焚化厂系统工程规划与设计[M]. 台湾:新雅出版社,1998. 10:4~7.

第一作者 魏小林,男,1967年10月出生,1995年毕业于西安交通大

学能源与动力工程学院,博士、副研究员,主要从事城市垃圾焚烧、煤燃烧、环境工程等方面的研究工作,发表论文40余篇。

PRACTICE AND THEORETIC ANALYSIS OF TREATING DUST AND GAS FROM DOWN-DRAFT KILN Zhang Xiumei et al(35)

Abstract It is very difficult to treat the flue gas from a down-draft kiln due to the composition and characteristics of a coal-burning gas. It is indicated by treating the dust from the down-draft kiln using CAO coal-burning device that the change in coal-burning state and getting a perfect combustion are the correct way to save energy ,solve coal-burning gas pollution and emit the flue gas by reaching the standard.

Key words coal-burning device , down-draft kiln , energy-saving and emission by up to standard

ANALYSIS OF CO-COMBUSTION UTILIZATION TECHNOLOGY OF COAL WITH MUNICIPAL SOLID WASTE IN FBC Wei Xiaolin et al(37)

Abstract From the view of technology , economy and environment , the co-combustion utilization technology of coal with municipal solid waste in FBC was analyzed. Results indicate the waste ration in mixed fuel should be less than 90 % for the current waste in China. The waste fee and electrical price has much influence on the economy of incineration plants. From the view of encouraging to incinerate and not to make electricity ,waste fee should be increased to maintain the operation in gear. Compared with coal combustion , pollutant emission will increase for waste incineration except SO_x. But it is favorable for the combustion temperature to be raised by co-combustion and the formation of PCDDs/ PCDFs is destroyed. The results have the consulting importance for the layout of incineration plants and the establishment of related policies.

Key words fluidized bed , municipal solid waste , co-combustion and analysis

PREPARING HIGH EFFICIENCY FERRIC OXIDE TYPE DESULPHURIZER WITH INDUSTRIAL WASTES Ren Ailing et al(40)

Abstract In this paper , the preparing way and best technology has been developed for preparing a ferric oxide type desulphurizer by taking a pyrite cinder , red mud from a converter and open-hearth dust as the main raw materials. The results of the preparing studies have shown that the best prescription is 5 % ~ 8 % of bonding agent , 0.08 % ~ 0.1 % of opening agent ,8 % ~ 12 % of wood chips ,78 % ~ 88 % of industrial waste (pyrite cinders , red mud and open-hearth dust etc) ,and the best temperature of shapping is 150 . The active way is changing with the main raw materials and processed materials , and the active way after shapping is prior to the way before shapping.

Key words ferric oxide , desulphurizer , H₂S and industrial wastes

STUDY ON THE NEW TECHNOLOGY FOR COMBINED PRODUCING FURFURAL AND COMPOSITE FERTILIZER BY THE IMPROVED METHOD WITH SULFURIC ACID CATALYSIS

..... Liu Junfeng et al(43)

Abstract This paper studies the process conditions for producing a furfural using the improved method of sulfuric acid catalysis by taking straw and wheat straw as the raw materials. The results show that according to the following conditions :sulfuric acid is 20 % (wt) ,the ratio of liquid to solid is 2.5 1 (wt) ,the composite additive () or () is added in the ratio of 15 % ~ 30 % (wt) ,the fufural yield is 70 % ~ 80 % of its theoretical rate after 2hrs of distillation under the normal pressure and at 100 . Especially , all the residues can be changed into neutral complex fertilizers.

Key words straw , wheat-straw , improved method with sulfuric acid catalysis , furfural , and composite fertilizer

DETERMINATION OF LACTIC ACID IN MAIZE-SOAKING WATER BY HIGH PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY Jing Lijie et al(46)