

## 监测与评价

## 焚烧厂降低锅炉热损失措施与技改评价

滕 叶

(上海浦东环保发展有限公司,上海 200127)

摘要:针对焚烧厂长期运行后热损失升高的问题,总结了垃圾储存与燃烧过程中的主要控制目标,结合某 600 t/d 处理量垃圾焚烧厂改造需要,通过垃圾储坑优化管理降低了入炉垃圾含水率,提高了热值并促进垃圾燃烧,通过焚烧炉设备改造和运行方式优化,有效降低了锅炉各项热损失,技改后锅炉反平衡效率提高了 8.86 %。

关键词:生活垃圾;焚烧技术;热损失;锅炉效率

中图分类号:TK227.1 文献标识码:A 文章编号:1006-8759(2018)02-0054-03

## MEASURES AND TECHNICAL MODIFICATION TO REDUCE BOILER THERMAL LOSS IN INCINERATION PLANT

TENG Ye

*(Shanghai Pudong Environmental Protection Development Co., Ltd., Shanghai 200127, China)*

**Abstract:**The main control objectives of garbage storage and combustion process were summarized to aiming at the issue of increasing thermal loss in incineration plant after long-term operation. Base on the technical modification requirements of a 600 t/d MSW incineration plant, the optimized management of waste storage pits promoted the combustion by reducing the water content and increasing the caloric value of the garbage into furnace. The modification of incinerator equipment and operation optimization reduced the boiler thermal loss and improved the inverse balance efficiency by 8.86 %.

**Key words:**Municipal solid waste (MSW); Incineration technology; Heat loss; Boiler efficiency.

2016 年我国生活垃圾清运量超过 2.1 亿吨,无害化处理率接近 97 %,其中焚烧处置率约占 35 %,焚烧发电技术因其具有较好的适应性,近几年在处理城市生活垃圾得到了广泛的应用<sup>[1]</sup>,并且由经济发达地区和大城市逐渐向周边区域辐射发展。截至 2016 年底,全国已投运的垃圾焚烧厂累计有 250 座,设计日处理量 23.8 万吨,总装机容量达到了 4 906 MW<sup>[2]</sup>。

热值低、水分高是我国城镇生活垃圾的普遍情况,由于尚未实行垃圾分类,焚烧厂接收的混合垃圾成分复杂且不稳定,与焚烧炉设计工况存在一定的偏离度。在焚烧炉出口处、余热锅炉过热器

区域,容易产生较为严重的沾污结渣,是影响锅炉安全运行的主要因素<sup>[3]</sup>。焚烧厂锅炉的燃烧与传热工况对整个电厂的安全性和经济性都有很大的影响,设计阶段可以通过优化设备配置提高热效率<sup>[4]</sup>;运行阶段需要依靠精细化管理,控制入炉垃圾的质量、调整过量空气系数、合理配置风量和风温,在满足环保标准的前提下,尽可能实现高效燃烧。

部分早期投产的焚烧厂经过长时间运行,锅炉受热面换热效率减弱,排烟温度上升,不仅增加了能量的损失,也不利于焚烧厂的正常运行。本文针对一座投产于 2006 年的焚烧厂,分析了影响锅炉效率的主要因素,并结合该厂的技术改造和管

理优化,采用反平衡效率法计算了锅炉各项热损失。

## 1 焚烧过程热损失

### 1.1 排烟热损失

排烟热损失是由于锅炉排烟热量无法回收利用所导致的热量损失,该项热损失主要与排烟温度和排烟量有关,排烟热损失  $q_2$  的计算公式如下:

$$q_2 = q_2 = \frac{(I_{py} - \alpha_{py} I_{lk}^0)(1 - q_4)}{Q_{ar,net}} \quad (1)$$

式中:

$I$ —烟气、空气的焓值, kJ/kg;

$\alpha$ —排烟处过量空气系数;

$Q_{ar,net}$ —低位发热量, kJ/kg。

### 1.2 气体未完全燃烧热损失

气体未完全燃烧热损失是由于燃料在燃烧过程中产生的一氧化碳等可燃气体未完全燃烧而导致的热损失。通过分析测定出烟气中可燃气体的含量,根据可燃气体的发热量就能计算得到该项热量损失。气体不完全燃烧热损失  $q_3$  的计算公式如下:

$$q_3 = \frac{V_{gy} K_{q4}}{Q_{ar,net}} \times (126.36CO' + 107.98H_2' + 358.18C_m H_n') \times 100 \quad (2)$$

式中:

$V_{gy}$ —排烟处干烟气体积,  $Nm^3/kg$ ;

$K_{q4}$ —修正系数,  $K_{q4} = (100 - q_4)/100$ ;

$CO'$ 、 $H_2'$ 、 $C_m H_n'$ —排烟处各组分烟气的含量, %。

### 1.3 固体未完全燃烧热损失

固体未完全燃烧损失是由于燃料中有部分固定碳未完全燃烧造成的热损失,这些未燃尽的碳残留在灰渣、飞灰、落料中。对于机械炉排焚烧炉,固体不完全燃烧热损失  $q_4$  的计算公式如下:

$$q_4 = \frac{32700}{BQ_{ar,net}} (G_{hz} C_{hz} + G_{fh} C_{fh} + G_{ll} C_{ll}) \quad (3)$$

式中:

$B$ —燃料消耗量, kg/s;

$G$ —灰渣、飞灰、落料的重量, kg/s;

$C$ —灰渣、飞灰、落料中固定碳份额。

### 1.4 散热损失

散热损失是由于锅炉外表面温度高于环境温度,并以辐射、对流传热的方式向周围环境传递热量所造成的能量损失。这部分热损失的测量较为

困难,占总热量损失的比重也较小,一般可以采用下式估算散热损失  $q_5$ :

$$q_5 = q_5^0 \frac{D_e}{D_0} \quad (4)$$

式中:

$q_5^0$ —设计散热损失, %;

$D_e$ —实际蒸发量, t/h;

$D_0$ —额定蒸发量, t/h。

### 1.5 灰渣物理热损失

生活垃圾机械炉排炉的灰渣产生量较大,并且排渣温度相对较高,这部分热损失可在热平衡中计入。灰渣物理热损失  $q_6$  的计算公式如下:

$$q_6 = \frac{A_{ar} \alpha_{hz} (ct)}{Q_{ar,net}} \quad (5)$$

式中:

$A_{ar}$ —收到基灰分, %;

$\alpha$ —排渣量占垃圾灰分的比重;

$(ct)$ —灰渣的焓值, kJ/kg。

## 2 焚烧过程控制目标

我国生活垃圾是一种不易燃烧的劣质燃料,因此运行过程中的控制管理,对提高焚烧厂的效益显得尤为重要。

### 2.1 垃圾质量控制

入炉垃圾的成分、热值随季节波动较为明显,这种波动对焚烧炉运行的影响十分显著,运行过程中的调整会存在一定程度的滞后,因此,有必要从源头对垃圾进行管控,优化垃圾发酵、混料过程。

入厂垃圾一般是以厨余垃圾为主,含水率通常超过 60%<sup>[5]</sup>,在垃圾坑经过 3~5 d 的堆放,大约可以析出 15% 左右的渗沥液。通过倒垛发酵可以实现新垃圾的脱水减重,提高热值,根据不同季节安排垃圾的堆酵时间,保证入炉垃圾的稳定性,有利于锅炉的稳定高效燃烧,既可以延长运行时间,也可以提升焚烧效率。

### 2.2 运行参数控制

焚烧厂锅炉运行中需要控制调整的参数较多,各个因素互相影响互相制约,为保证各项排放指标,最主要的影响因素有停留时间、燃烧温度、湍流度以及过量空气系数,焚烧过程控制应当综合考虑整个燃烧与传热过程。表 1 给出了部分参数之间的耦合关系。

停留时间决定了垃圾的燃尽程度,垃圾在焚烧炉内的停留时间增加,锅炉的固体未完全燃烧

表 1 焚烧参数耦合关系

| 参数变化    | 垃圾混合度 | 停留时间 | 焚烧温度 |
|---------|-------|------|------|
| 焚烧温度升高  | 减少    | 减少   | -    |
| 停留时间延长  | 减少    | -    | 降低   |
| 过剩空气量增加 | 增加    | 减少   | 降低   |

损失将会减少,但过长的停留时间会影响垃圾处理量。燃烧温度的提高有助于垃圾的燃尽,若将温度控制的过高,一方面会增加氮氧化物的形成,脱硝成本升高,另一方面会造成锅炉的结焦,降低各组受热面的换热效率,增大排烟热损失。增加炉内的湍流度,可以提高氧气和燃料的混合程度,混合程度越好,越有利于垃圾的燃尽。过量空气系数是焚烧过程控制的一项重要指标,增加空气量可以强化炉内气流场的扰动,但会降低炉内温度,并且增加排烟量,减少空气量可能导致垃圾燃烧不完全,增加锅炉热损失,一般炉排焚烧炉过量空气系数可以控制在 1.5~1.7 左右<sup>[6,7]</sup>。

对于投产时间较早的焚烧厂,由于初期缺乏经验导致设施设备设计不甚合理,以及长期运行产生的保温效果变差、漏风增加、受热面积灰增多等因素,锅炉热效率逐渐降低,有必要通过技术改造,解决或是缓解这些缺陷,提高电厂的经济性。

### 3 提高锅炉热效率措施

针对某日处理为 600 t 的垃圾焚烧厂,该焚烧厂于 2006 年投运,在近期的提标技改过程中,主要对垃圾储坑、过热器吹灰装置、空气预热器进行了改造,并且增加了一套余热利用设备调节锅炉排烟温度。在大小修期间,对锅炉的保温和密封性能进行了完善。

早期的焚烧厂在设计中有一定的不足,垃圾储坑按 5 d 的储存量进行设计,与目前 7 天的储存量相比,其容积偏小了约 30%。在焚烧厂运行期间,垃圾进厂量偏高,使得新垃圾在堆放 3~4 d 后就入炉焚烧,影响了垃圾的发酵时间,不利于焚烧。通过设计优化垃圾坑防撞网,并合理调配每日进厂垃圾量,使得目前垃圾堆料方式趋于合理化,新垃圾堆酵时间可以延长到 4~6 d,堆料高度比原先高了 2~3 m,达到 12 m 左右,这对于垃圾中渗沥液的压出效果较好,更利于锅炉的焚烧。

吹灰装置是影响受热面传热效果的重要因素,改造前使用的激波吹灰器吹灰效果不佳,可能

与过热器区域烟温较高,受热面积灰结焦情况较为严重有关,一旦管束间局部出现飞灰堵塞情况,此类吹灰方式不能有效的使积灰结焦脱落,反而可能会造成上部区域的灰渣脱落,滞留在该区域上,使得受热面换热效果变得更差。通过将激波吹灰改为蒸汽吹灰器,并结合运行情况,调整蒸汽吹灰频次和顺序,增加了必要的管束防护板,使得受热面的污染程度有了明显的改善。

锅炉连续运行数月后,各个受热面均会出现不同程度的积灰,增加了传热热阻,锅炉排烟温度势必会升高,过高的排烟温度不仅降低了热效率,还存在着设备的运行风险。改造中将一组可调式余热回收设备布置于省煤器后部,当排烟温度过高时,调节烟气挡板投运余热回收设备,利用排烟余热加热锅炉一次风,减少了蒸汽-空气预热器的抽蒸汽量。此外,将空气预热器的光管管束改造为外翅片管型,达到强化传热的目的。

### 4 热效率比较

经过一系列的提标改造和管理优化,该厂的运行情况有了大幅提升,表 2 给出了改造前后垃圾特性的比较。从表中可以看出,优化了垃圾坑堆料管理,延长新垃圾发酵时间,可以降低入炉垃圾的含水率,同时可以提高垃圾的低位发热量,有助于燃料的稳定燃烧。

通过锅炉热工测试分析,计算了改造前后锅炉反平衡效率,并在表 3 中给出。

更换吹灰器后,受热面的换热效率提高,可以

表 2 垃圾特性数据

| 项目    | 符号           | 单位    | 改造前   | 改造后   |
|-------|--------------|-------|-------|-------|
| 碳     | $C_{ar}$     | %     | 15.95 | 16.32 |
| 氢     | $H_{ar}$     | %     | 2.36  | 2.45  |
| 氧     | $O_{ar}$     | %     | 7.71  | 8.10  |
| 氮     | $N_{ar}$     | %     | 0.82  | 0.80  |
| 硫     | $S_{ar}$     | %     | 0.27  | 0.25  |
| 氯     | $Cl_{ar}$    | %     | 0.24  | 0.21  |
| 灰分    | $A_{ar}$     | %     | 19.24 | 19.56 |
| 水分    | $M_{ar}$     | %     | 53.41 | 52.31 |
| 低位发热量 | $Q_{ar,net}$ | kJ/kg | 5900  | 6100  |

降低锅炉热损失;垃圾热值的提高,有利于燃料的燃烧与燃尽,因而改造后的  $q_4$  和  $q_6$  会有一定程度的降低;虽然散热损失所占的份额较小,但做好锅炉保温也可以减少热损失。排烟热损失是锅炉最大的一项热损失,在改善锅炉密封性能后,可以降

(下转第 34 页)

变化情况、避险安置的法律和政策依据、避险搬迁的时间要求、避险搬迁原则、避险搬迁安置方式、安置面积的确定、搬迁居民房屋的补偿机制和补偿标准、优惠及奖励政策、安置房源的确定等等搬迁人民所关心的问题。

### 2.3.2 养老保障模块。

构建养老保险体系,为采煤沉陷区居民和失地农民提供养老保障政策及养老保险办理相关信息。

### 2.3.3 医疗保障模块。

建立适合安置居民的医保体系,为失地农民提供较高层次的保障水平,提供医疗保障相关信息。

### 2.3.4 低保资金模块。

为失地农民建立最低生活保障制度,明确保障的对象和发放的标准。

### 2.3.5 技能培训模块。

为采煤沉陷区居民和失地农民提供就业扶持政策、各项补贴政策、职业培训信息,对就业困难人员实施就业援助。

### 2.3.6 “政民互动”模块。

旨在增强与沉陷区居民的互动。普通用户注册以及登陆以后,可以登录到平台中的相关政府部门的页面,对其进行提问,相关政府部门收到留言以后解答问题并反馈给该用户,用户收到相关政府部门的答复以后,整个过程完成。

## 参考文献:

- [1]产业园区公共服务平台研究[M].北京赛迪经略管理顾问有限公司,2012.
- [2]王玫.安徽省战略性新兴产业公共服务平台建设研究[D].合肥:安徽大学,2012.
- [3]薛文红.政府创新公共服务平台个性化推荐功能研究[D].秦皇岛:燕山大学,2014.
- [4]林芳宇.智慧园区政企公共服务平台的设计与实现[D].长春:吉林大学,2014.
- [5]张振刚,陈志明,余传鹏等.中小微企业技术创新公共服务平台的建设与发展[J].技术经济,2014,33(1),24-32.
- [6]王瑞敏,章文君,高洁.公共科技服务平台构建和有效运行研究[J].科研管理,2010,31(6),113-117.
- [7]肖卫东.中小企业公共服务平台的功能定位与组织创新[J].学习与探索,2014,(2),104-107.

(上接第56页)

表3 锅炉热效率比较

| 项目         | 符号            | 单位  | 改造前   | 改造后   |
|------------|---------------|-----|-------|-------|
| 燃料消耗量      | B             | t/h | 312.2 | 306.5 |
| 过热蒸汽温度     | $t_{gr}$      | °C  | 403.7 | 405.1 |
| 过热蒸汽压力     | $P_{gr}$      | MPa | 3.75  | 3.77  |
| 过热蒸汽流量     | $D_{gr}$      | t/h | 24.7  | 24.6  |
| 排烟温度       | $t_{py}$      | °C  | 252.2 | 223.4 |
| 过量空气系数     | $\alpha_{py}$ | -   | 2.01  | 1.59  |
| 排烟热损失      | $q_2$         | %   | 24.50 | 17.87 |
| 气体未完全燃烧热损失 | $q_3$         | %   | 0.05  | 0.02  |
| 固体未完全燃烧热损失 | $q_4$         | %   | 5.64  | 5.55  |
| 散热损失       | $q_5$         | %   | 1.25  | 1.24  |
| 灰渣物理热损失    | $q_6$         | %   | 0.78  | 0.68  |
| 总热损失       | $\Sigma q_i$  | %   | 32.22 | 25.36 |
| 锅炉反平衡效率    | $\eta$        | %   | 67.78 | 74.64 |

低漏风量,从而使排烟处过量空气系数降低到了1.59,并且结合烟气余热回收降低了排烟温度,经过改造,该项热损失减少了6.63%。锅炉热效率从改造前的67.78%提高到了改造后的74.64%,热效率提升了8.86%,改造效果十分显著。

## 5 结论

(1)生活垃圾的含水率和热值对燃烧过程至关重要,通过优化燃料管理,合理调配垃圾堆放区域,可以延长新垃圾发酵时间,增加渗沥液压出率,提高入炉垃圾热值,有利于提高燃烧效率,减

少锅炉热损失。

(2) 排烟热损失是锅炉的主要热损失项,采用余热回收技术,回收排烟热量并加热锅炉一次风,在减少了蒸汽-空气预热器抽汽量的同时,又可以使该项热损失降低。

(3) 随着运行时间的增加,锅炉效率不可避免的会降低,在运营过程中,将优化管理与提标技改相结合,经过一系列改造后,锅炉热损失降低8.86%,热效率提高到74.64%,改造达到了预期的效果。

## 参考文献

- [1]张彩香,邓晓龙,孙学成.垃圾焚烧处理技术的应用[J].能源环境保护,2003,17(6):22-25.
- [2]中国环境保护产业协会城市生活垃圾处理专业委员会.城市生活垃圾处理行业2017年发展综述[J].中国环保产业,2017,4:9-15.
- [3]唐侠.关于垃圾焚烧炉结焦问题的探讨[J].热工技术,2009,2:3-5.
- [4]冯立波.垃圾焚烧发电技术应用过程中的研究[J].能源环境保护,2009,23(5):12-15.
- [5]张明武,宋敏英,刘意立,等.生活垃圾源头沥水的减量提质效应研究[J].环境科学学报,2017,37(3):1032-1037.
- [6]唐国勇,赵兵.垃圾焚烧炉炉排技术现状与应用探讨[J].工业锅炉,2011,4:11-14.
- [7]毛永宁,汪小慧,赵黛青,等.城市生活垃圾焚烧处理工艺选择的经济性评价[J].环境卫生工程,2015,23(1):24-27.