

垃圾焚烧发电厂烟气余热的回收利用分析

Analysis on Recycling and Utilization of Waste Heat of Flue Gas in Waste Incineration Power Plant

黄勇

Yong Huang

深圳市能源环保有限公司, 中国·广东 深圳 518000

Shenzhen Energy Environmental Protection Co. Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

【摘要】余热回收技术可以有效降低排烟温度,提高热效率。论文针对某垃圾焚烧发电厂烟气余热回收技术进行研究,优化设计了低温余热回收换热器,降低了锅炉排烟温度,提高了热效率,减少蒸汽耗量,增加电厂发电量,提高经济效益。

【Abstract】Waste heat recovery technology can effectively reduce the exhaust gas temperature and improve thermal efficiency. This paper studies the flue gas waste heat recovery technology of a waste incineration power plant, optimizes the design of low temperature waste heat recovery heat exchanger, reduces the boiler exhaust temperature, improves the thermal efficiency, reduces the steam consumption, increases the power generation of the power plant, and improves the economic benefits.

【关键词】垃圾焚烧;发电厂;烟气余热;回收利用

【Keywords】waste incineration; power plant; flue gas waste heat; recycling

【DOI】<http://dx.doi.org/10.26549/gcjsygl.v2i7.895>

1 引言

中国主要采用机械炉排炉进行生活垃圾焚烧处理,其省煤器出口烟气温度为180℃~240℃,余热锅炉的蒸汽参数为4MPa/400℃中温中压。在余热锅炉中对焚烧产生的高温烟气进行余热回收利用后,再进入烟气净化系统。烟气在经过烟气净化系统净化处理后,其排烟温度约为140℃~160℃,如果将其直接排放会浪费能源,因为此时的排放烟气中仍携带一定量的余热可以利用^[1]。因此,为有效提高垃圾焚烧发电厂的热效率,需要对烟气中的余热进行充分的回收利用。

2 生活垃圾焚烧发电厂余热利用

2.1 国内现状

中国在20世纪末建成了第一座现代化垃圾焚烧发电厂;在21世纪初建成执行欧盟排放标准的上海浦东御桥垃圾发电厂,是第一座千吨级的垃圾焚烧处理发电厂,从此时起,中国垃圾焚烧处理行业逐渐向环保化、大型化方向发展。随着中国城市人口的快速增长,垃圾收运体系虽然在不断完善,但由于长期以来,垃圾焚烧炉都在超负荷运行,造成其受热面粘污结渣情况十分严重,从而导致其排烟温度大幅高于设计值,对下游烟气净化设备的安全、经济、稳定运行造成了严重影响,极大地降低了锅炉运行效率,使电厂的经济效益受到损害^[2]。

2.2 余热类型

余热类型主要有以下几种:锅炉等排放的烟气携带的余热、冷凝水携带的余热、高温产品携带的余热、冷却介质携带的余热、化学反应余热、锅炉排污水携带的余热以及其他类型余热等。按余热温度的不同,可以划分为低温余热、中温余热

和高温余热。

2.2.1 低温余热

温度在100℃~200℃之间的余热为低温余热,具有范围广、数量多、场合多的特点,其温度范围是可以根据实际情况上下波动的。低温余热类型主要有两种:第一种是排放余热的本身属于低温余热范围;第二种是在完成高温余热的回收利用后,仍能排除较高温度的热量,这时排出的余热属于低温余热。随着中国余热利用技术的不断提高,对低温余热的利用受到人们的广泛关注,其利用的广度和深度在不断加大。

2.2.2 中温余热

中温余热的温度在200~500℃之间,温度适中,能够对其他动力装置做功或者进行余热发电。中温余热包括高温气体在燃烧或做功后释放出来的烟气等,其主要来源是工业生产余热。

2.2.3 高温余热

温度高于500℃的余热均为高温余热,其温度较高,主要的产生来源主要有两种:第一种是熔炼炉等直接燃烧燃料产生的余热;第二种是通过生活垃圾焚烧炉等,其炉料自身燃烧产生的余热。高温余热可以用来发电。

3 实例概况

3.1 某垃圾焚烧发电厂的基本配置

处理规模:3×500t/d;设计排烟温度:155℃;烟气组分:见表1;烟气流量:92300Nm³/h/台。

高温烟气放热量:

$$Q_d = V_g(I_{g1} - I_{g2}) + V_{H_2O} \rho_{H_2O} I_{LH} \quad (1)$$

其中:Q_d—烟气量(m³/h);I_{g1}、I_{g2}—理论烟气焓(kJ/m³);I_{LH}—气化潜热(kJ/kg)。

表 1 烟气组分

主要成分	体积百分数
CO ₂	8.35%
H ₂ O	26.41%
O ₂	4.21%
N ₂	59.58%
其他成分	1.45%

$$I_g = V_{RO_2}(c\theta)_{RO_2} + V_{N_2}(c\theta)_{N_2} + V_{H_2O}(c\theta)_{H_2O} \quad (2)$$

其中: V_{RO_2} 、 V_{N_2} 、 V_{H_2O} 分别为烟气中二氧化碳及二氧化硫体积百分比、氮气体积百分比和水蒸气体积百分比(%)； $(c\theta)_{RO_2}$ 、 $(c\theta)_{N_2}$ 、 $(c\theta)_{H_2O}$ 分别为 1m³ 气体二氧化碳及二氧化硫在不同温度下的焓、氮气焓和水蒸气焓(kJ/m³)，如表 2 所示。

表 2 烟气焓值

θ/°C	RO ₂ (KJ/Nm ³)	O ₂ KJ/Nm ³)	H ₂ O(KJ/Nm ³)	N ₂ (KJ/Nm ³)
100	170.2	132.6	150.2	130.2
200	357.3	259.0	304.8	260.0
300	557.6	408.4	462.6	391.8
400	770.0	550.6	626.4	526.7

根据上述公式(1)、(2)和表 1、2 数据可知，若烟气温度降至 30°C，则被回收利用的余热约有 15MW，其中全部热量的 52% 为水蒸气液化潜热。由此可知，烟气温度的控制直接影响烟气余热的回收利用效率。

3.2 传热系数测定

3.2.1 传热过程简化

传热系数是分析计算传热情况的一个重要参数，传热过程中所传递的热量 Q 与传热系数 K、传热面积 A、传热温差 Δt 有关，即： $Q=KA \Delta t$ (3)

因传热系数与传热过程中各项传热热阻有关，所以为提高换热器的传热效果，需要降低每一项热阻。为便于分析，忽略管子内外表面的污垢层热阻后，其传热系数可以表示成：

$$K = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \quad (4)$$

式中， $1/\alpha_1$ 、 $1/\alpha_2$ 、 δ/λ (m²·K/W)，分别为管外烟气侧、管内工质侧、管壁的传热热阻。

3.2.2 传热系统原理与参数设定

因低温烟气换热温差较小，而受热面的传热系数与换热表面特征、管内外工质流速等因素有关，所以需要通过模拟不同条件下受热面的传热情况实验，如图 1，为设计传热系统提供必要的技术支持。

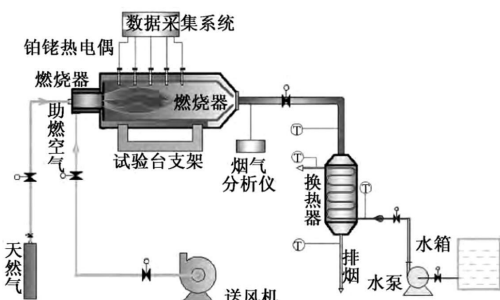


图 1 传热试验系统工作流程

碳钢管的传热特性可以直接通过图表查得，因此试验主要研究在不同换热条件下，ND 钢的传热特性。表 3 为换热管参数和试验工况^[9]。

表 3 试验参数设定

项目	数值
基管规格	Φ32×3mm
翅厚	1mm
翅高	10mm
翅距	10mm
工质流速	0.5~1.0m/s
烟气温度	200~300°C
烟气流速	4~8m/s

在理想条件下， Q_1 (烟气侧放热量)与 Q_2 (工质侧吸热量)相等，但因试验中不可避免会出现热量损失和误差，因此，可以分别调节工质流速、烟气温度和烟气流速，以获得换热器在不同工况下的传热特性，并采用试验点(相对误差不超过 5% 的)进行分析计算：

$$\Delta = \frac{|Q_1 - Q_2|}{(Q_1 + Q_2)/2} \leq 5\% \quad (5)$$

3.3 余热回收工程应用

某垃圾焚烧发电厂除尘后的低温烟气条件为：温度 150°C，流量约 92881Nm³/h，含水率 31%，含尘量约 2g/Nm³。

低温烟气 1 在进行除尘后，呈 U 形流过整套余热回收利用系统。首先，在系统入口处，低温烟气 1 经热管 2 降温后，可以回收部分余热，并使其温度降至 120°C 左右；然后通过列管冷凝器 3 的壳程，使烟气温度降至 34°C 左右；由设备底部排出烟气冷凝液 4；从而加热管程内的常温冷却水 5，进而得到热水 6。通过上述方法，在余热回收利用过程中回收的余热总量可达 13MW，回收所得余热可将 300t 水由 20°C 加热至 60°C，能够为周边居民生活供热，或者作为锅炉给水进行循环利用。

4 结语

综上所述，垃圾焚烧发电厂为达到较好的余热回收效果，需要对烟气流速、管壁温度等进行精确控制，从而避免影响系统的运行。垃圾焚烧发电厂应用余热回收系统，能够有效减少能源的浪费，以及减少焚烧炉一次风的加热蒸汽消耗量，达到节约能源的目的，从而增加发电量，使锅炉的排烟温度降低，促进下游烟气净化设备的稳定运行。

参考文献

- [1] 龚桑, 陈霜玲, 赵联森, 洪光. 垃圾焚烧发电厂烟气余热的回收利用[J]. 节能与环保, 2016(06): 67-69.
- [2] 滕叶, 葛福林, 高琪娜, 薛征, 陆静波. 生活垃圾焚烧炉余热回收的研究与应用[J]. 环境工程, 2016, 34(S1): 719-721+695.
- [3] 郭建莹, 葛砚. 垃圾焚烧烟气低温余热回收过程的方案设计与分析[J]. 天津科技, 2017, 44(07): 98-99+103.