

doi:10.3969/j.issn.1009-8984.2017.02.018

垃圾焚烧炉氧量调整试验

孔伟佳¹,李博²,赵京²,杨琪³,梁华³,龙雅坤³(1. 西安交通大学能源与动力工程学院,西安 710049; 2. 中国科学院力学研究所,北京 100190;
3. 中电国际新能源海南有限公司,海口 571924)

摘要:随着我国城镇化建设的稳步推进,各类生活垃圾的产生量也在快速增加。垃圾焚烧发电技术具有无害化和资源化等特点,是我国城市生活垃圾处理的重要发展方向。焚烧炉内氧量的调整直接影响垃圾的着火、燃烧及燃尽情况,以余热锅炉省煤器出口的实测氧量为依据,分别分析炉内氧量的变化对余热锅炉主蒸汽参数、垃圾燃尽情况和污染物排放等的影响,为垃圾焚烧电厂科学调节炉内氧量,实现焚烧炉的高效、环保和安全运行提供重要的技术支持。

关键词:垃圾;氧量;焚烧;试验

中图分类号:TK224

文献标志码:A

文章编号:1009-8984(2017)02-0072-05

0 引言

随着城镇化建设的稳步推进,我国各类生活垃圾的产生量也在快速增加^[1]。2015年,我国246个主要城市的生活垃圾产生量超过1.8亿t,而且近年来基本以10%的速度在增长^[2]。垃圾问题已经成为影响我国实现可持续发展战略目标的障碍之一^[3]。

我国城市生活垃圾处理大多采用垃圾填埋处理^[4],但填埋方式易对地下水和大气造成二次污染。早在20世纪90年代,日本和欧美等发达国家已经广泛地以垃圾焚烧发电作为垃圾处理的重要方式之一^[5]。我国《“十三五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划》提出:到2020年底,具备条件的各主要城市要实现原生垃圾“零填埋”。垃圾焚烧发电具有无害化、资源化的技术特点,是我国城市生活垃圾处理的重要发展方向^[6]。

机械炉排炉在我国生活垃圾焚烧实践中得到了广泛应用^[7],垃圾在炉排上的层燃过程,本质上就是垃圾经干燥后剧烈氧化的过程,焚烧炉内氧的供应量是垃圾燃烧状况的决定性因素之一。城市生活垃圾不同于常规燃料,其具有组分波动大、水分含量高、可燃物热值低而且不稳定等特点^[8],因而,垃圾

焚烧的余热锅炉出力很难稳定。垃圾燃烧过程还需要控制炉膛温度防止飞灰结焦,实现焚烧炉的安全运行^[9];同时还要保证额度的蒸汽参数,保证后续发电的经济性;此外,还必须考虑电厂的生态效益^[10],即烟气的排放必须达到国家排放标准,这对焚烧炉内氧量的合理调节提出了较高要求。

本文通过试验测定焚烧炉的主要参数随炉内氧量变化的情况,分析炉内氧量对主蒸汽参数、垃圾燃尽以及污染物排放的影响,研究结果可以为垃圾焚烧电厂科学调节炉内氧量,保证焚烧炉的高效和安全运行提供的技术支持。

1 垃圾焚烧系统

某垃圾焚烧电厂一期工程安装两台日处理垃圾600t的垃圾焚烧炉(以下简称“垃圾炉”),两台54.5t/h余热锅炉,配套2台12MW凝汽式汽轮发电机组。年处理垃圾量约40万t,年发电量约1.58亿kWh,其垃圾焚烧系统如图1所示。

来自市区的生活垃圾运至厂内,称重计量后卸入垃圾池内贮存、发酵一段时间。垃圾抓斗起重机将发酵充分的垃圾由进料口送入焚烧炉。垃圾焚烧炉采用L型往复式机械炉排,垃圾在炉排上依次经过3个区段:干燥段、燃烧段和燃尽段,垃圾焚烧流程如图1中的实心箭头所示。炉排下方设置掉渣口,用于收集垃圾翻滚燃烧过程中掉落的炉渣,未掉落的燃尽炉渣由排渣口排出。

收稿日期:2017-05-22

基金项目:国家重大专项计划(2016YFB0601403)

作者简介:孔伟佳(1993-),男(汉),石家庄,硕士
主要研究能量转换与流动换热。

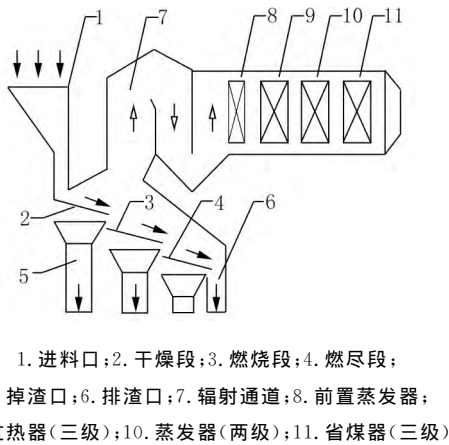


图1 垃圾焚烧系统图

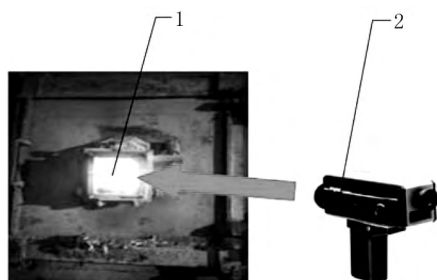
余热锅炉为中温中压单汽包自然循环卧式水管锅炉,位于焚烧炉的上部。焚烧炉产生 $850\sim 1\ 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温烟气,其流程如图1中的空心箭头所示:高温烟气首先被焚烧炉上部的辐射通道吸收部分热量,然后依次通过前置蒸发器、三级过热器、两级蒸发器以及三级省煤器,通过辐射、对流换热后排至烟气净化系统,烟气出口温度约为 $190\sim 210\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2 试验方法

2.1 焚烧系统运行参数

炉内氧量与焚烧炉内垃圾的着火、燃烧及燃尽情况密切相关,进而影响余热锅炉的出力以及污染物的排放等运行参数。垃圾炉采用DCS系统监测和控制焚烧系统的运行参数,其主要功能为:过程监视、生产操作、参数控制、事件报警、运行连锁以及安全保护等。

炉膛温度在一定程度上反映垃圾在炉内的燃烧情况,较高的炉膛温度有利于提高余热锅炉出力,但烟温超过 $1\ 050\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,会导致飞灰结焦。因此,炉膛温度的控制,对焚烧炉的安全运行具有重要的意义。为获取炉膛温度的数据,试验采用手持式IMPAC数字测温仪,通过垃圾炉现场的观火口进行非接触式测量,炉膛温度的测量过程如图2所示。



1. 垃圾炉观火口;2. 数字测温仪
图2 炉膛温度测量示意图

2.2 垃圾焚烧炉灰渣含碳量

飞灰和炉渣的含碳量反映垃圾在炉内的燃尽程度。在尾部烟道采用等速取样枪,根据网格法(如图3所示)对每组试验工况进行飞灰取样,在图3中,对尾部烟道的矩形截面进行测点布置。用经纬线将尾部烟道的矩形截面分割成接近于正方形的矩形,各小矩形对角线的交点即为测点位置,本次试验在尾部烟道截面共布置12个飞灰取样测点;与此同时,对焚烧炉炉渣进行捞渣取样。飞灰和炉渣的样本在现场化学分析部门进行可燃物含量分析,进而探讨氧量调整对垃圾燃尽程度的影响。

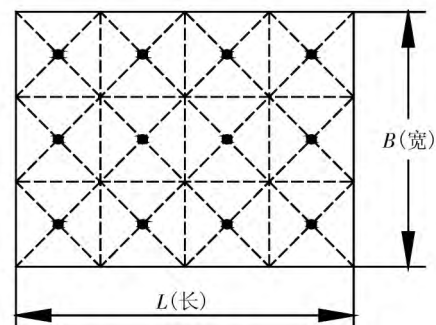
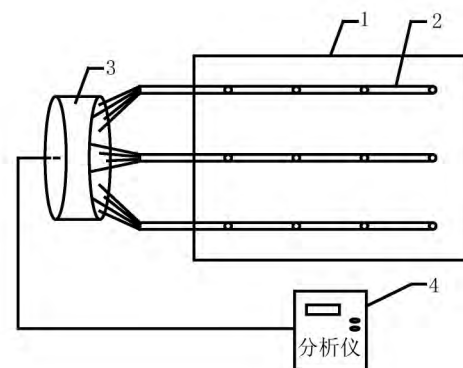


图3 尾部截面测点布置示意图(前移)

2.3 省煤器出口氧量及污染物质量浓度测量

炉膛内氧气的质量浓度与 NO_x 、CO等污染物的生成有着密切联系。试验按照网格法进行烟气取样,本次试验在尾部烟道截面共布置12个烟气测点。采用德国MRU MGA5型烟气分析仪测量尾部烟气中的污染物质量浓度,测量装置如图4所示。



1. 尾部烟道截面;2. 不锈钢管;3. 混合器;4. 烟气分析仪
图4 污染物质量浓度测量示意图

3 试验数据分析

3.1 焚烧系统运行参数分析

在省煤器出口氧量调整试验中,垃圾处理量维

持在 600 t/d 左右,控制一次风量为 40 Nm³/h,在 5~30 Nm³/h 的范围内调节二次风量,进而改变炉内的燃烧氧量,通过锅炉省煤器出口实测氧量反映炉内垃圾燃烧的当量比。进行了多组省煤器出口氧量调整试验,选取了其中有代表性的 5 个工况,即锅炉省煤器出口实测氧量分别稳定在 3.7%、4.1%、5.1%、5.9%和 9.3%左右进行试验。

炉内氧量对焚烧炉内垃圾的燃烧有着重要的影响,图 5 和图 6 分别为炉膛温度随省煤器出口氧量变化的曲线和主蒸汽流量随省煤器出口氧量变化的曲线。从图 5 和图 6 可见,二者的曲线呈现相似的变化趋势。

当省煤器出口氧量从 3.7%增加到 5.1%时,炉膛温度由 1 034 °C 逐渐上升至 1 047 °C,主蒸汽流量也相应地由 58.35 t/h 增加至 59.13 t/h,说明适度增加氧量可以促进垃圾的充分燃烧,进而提升余热锅炉出力。而随着省煤器出口氧量继续增加至 5.9%时,炉膛温度和主蒸汽流量同时开始呈现下降趋势:炉膛温度降至 1 022 °C,主蒸汽流量降至 56.87 t/h。当省煤器出口氧量进一步增加至 9.3%时,炉膛温度和主蒸汽流量分别大幅度下跌至 983 °C 和 52.83 t/h,说明过高的氧量会降低炉内燃烧温度,无法保证焚烧炉的高负荷运行,氧量存在最佳值。在本文试验范围内,当省煤器出口氧量为 5.1%时,炉膛温度和主蒸汽流量同时取得最大值,为最佳氧量。

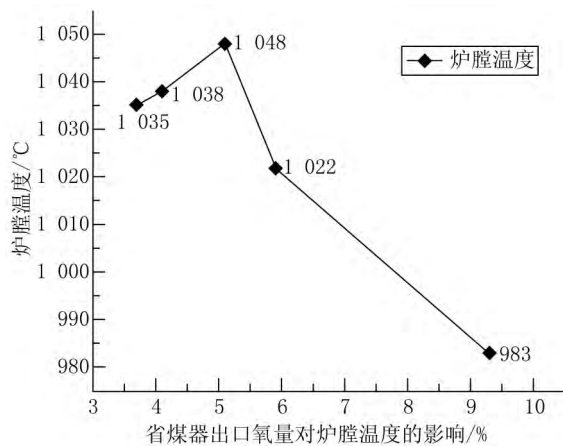


图 5 省煤器出口氧量对炉膛温度的影响

图 7 为省煤器出口氧量对主蒸汽温度的影响曲线,图 8 为省煤器出口氧量对主蒸汽压力的影响曲线。如图 7 和图 8 所示,省煤器出口氧量在 3.7%~5.9%的范围内变化时,主蒸汽压力在 3.4 MPa 附近波动,而主蒸汽温度则在 410 °C 附近小幅度波动。当省煤器出口氧量达到 9.3%时,主蒸汽压力、温度

和流量同时出现了显著降低的趋势,主蒸汽压力和温度随焚烧炉蒸发量的变化并未表现出明显的线性规律,印证了省煤器出口氧量为 9.3%的大氧量不适合垃圾炉的运行。因此,综合上述垃圾炉的各项运行参数随氧量变化的情况,省煤器出口氧量的推荐值为 5.1%。

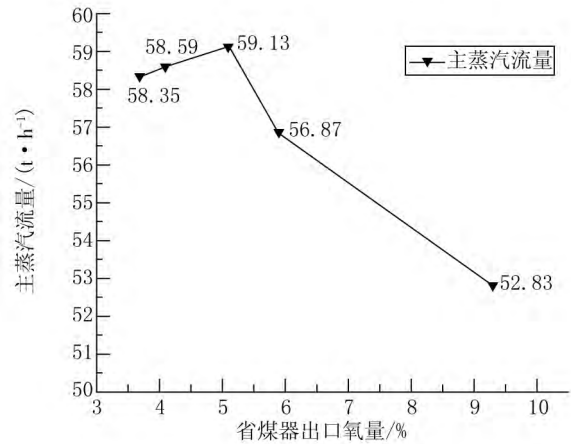


图 6 省煤器出口氧量对主蒸汽流量的影响

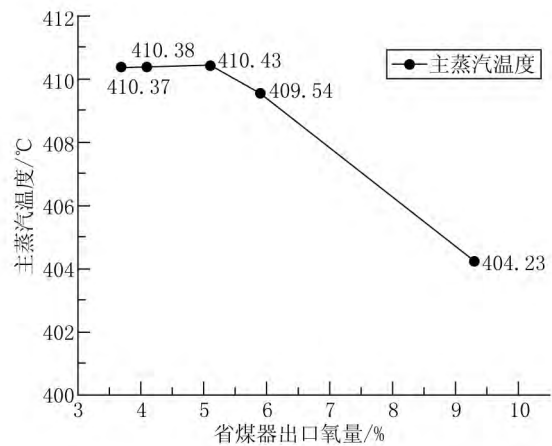


图 7 省煤器出口氧量对主蒸汽温度的影响

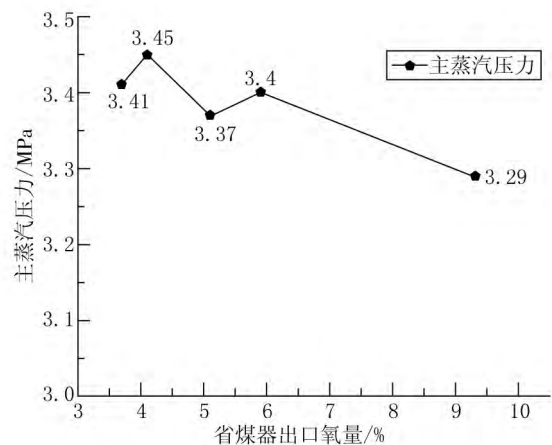


图 8 省煤器出口氧量对主蒸汽压力的影响

3.2 垃圾炉灰渣含碳量分析

飞灰和炉渣的含碳量反映垃圾的燃尽程度。图9显示了飞灰和炉渣的含碳量随省煤器出口氧量的变化情况。如图9所示,省煤器出口氧量在5.1%~5.9%的范围内时,飞灰和炉渣的含碳量均较低。其中在省煤器出口氧量为5.9%时,飞灰和炉渣的含碳量分别为1.53%和2.27%,在本文试验范围内取得最小值。而省煤器出口氧量低于5.1%或者高于5.9%时,灰、渣含碳量均呈现了不同程度的增加趋势,在省煤器出口氧量达到9.3%时,飞灰和炉渣的含碳量分别达到4.25%和2.74%。其原因是较低的氧量使得垃圾燃烧时缺氧,进而影响垃圾的着火、燃烧以至燃尽;而过高的氧量,则会降低焚烧炉内的烟气温度,不利于垃圾着火和充分燃尽。

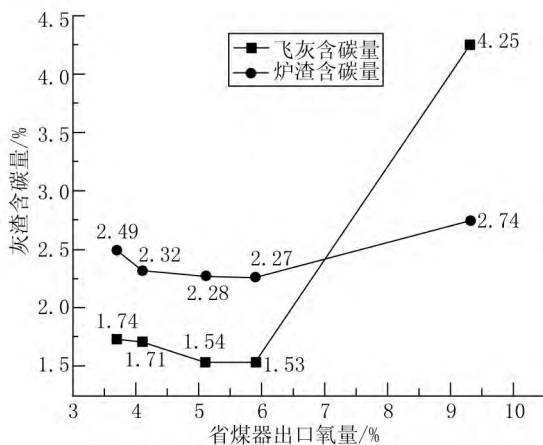


图9 省煤器出口氧量对灰渣含碳量的影响

3.3 污染物质量浓度分析

污染物是伴随着垃圾焚烧的过程,通过复杂的化学反应而生成的。对于 NO_x ,CO这两种污染物,氧气不仅是其生成反应的组分,通过氧量的质量浓度影响其反应速率,同时还间接影响着炉内燃烧温度,进而影响着反应进程。图10显示了省煤器出口氧量调整试验中 NO_x 质量浓度和CO质量浓度随省煤器出口氧量的变化情况。根据 NO_x 的生成机理,垃圾燃烧过程产生的 NO_x 主要有两个来源,分别是燃料型和热力型。热力型 NO_x 是空气中的 N_2 在高温下氧化生成的,本文试验范围的炉膛温度在 $980\sim 1050\text{ }^\circ\text{C}$ 之间,热力型 NO_x 所占比例较少,起主导作用的是燃料型 NO_x 。燃料型 NO_x 是垃圾中含有氮的氧化物在燃烧过程中氧化生成,炉内氧气质量浓度的增加和炉内燃烧温度的升高均会促进燃料型 NO_x 的生成。

随着省煤器出口氧量值由3.7%增加至5.1%,

炉内氧气质量浓度增加,图5中所示的炉膛温度也由 $1034\text{ }^\circ\text{C}$ 上升至 $1048\text{ }^\circ\text{C}$,二者的叠加作用促使 NO_x 质量浓度从3.7%氧量时的 $143.5\text{ mg}/\text{Nm}^3$ 显著增加至5.1%氧量时的 $183.2\text{ mg}/\text{Nm}^3$ 。在省煤器出口氧量从5.1%上升为5.9%的过程中,虽然炉内氧气质量浓度仍然在增加,炉膛温度却由 $1048\text{ }^\circ\text{C}$ 下降至 $1022\text{ }^\circ\text{C}$,氧气质量浓度与炉膛温度的变化对 NO_x 的生成有着相反的作用。 NO_x 的质量浓度继续升高至 $187.6\text{ mg}/\text{Nm}^3$,说明在此过程中氧气质量浓度的增加对于 NO_x 的生成起着主导的作用。在省煤器出口氧量值由5.9%增加至9.3%的过程中,氧气质量浓度大幅度升高,炉膛温度却降低至 $983\text{ }^\circ\text{C}$, NO_x 的质量浓度则出现了明显的下降,说明在此过程中温度的降低对于 NO_x 的生成起着主导的作用。

CO的质量浓度也与省煤器出口氧量相关,当省煤器出口氧量由3.7%增加至5.9%时,CO质量浓度由 $43.7\text{ mg}/\text{Nm}^3$ 显著降低至 $22.7\text{ mg}/\text{Nm}^3$,而当省煤器出口氧量由5.9%增加至9.3%时,CO质量浓度变化不明显。这个现象反映当氧气质量浓度较低时,CO质量浓度对于省煤器出口氧量的改变十分敏感,随着氧量的增加,炉内燃尽效果不好,CO质量浓度不断降低;而当省煤器出口氧量比较充足时,继续增加省煤器出口氧量对CO质量浓度的变化影响有限。同时,也进一步说明在省煤器出口氧量为5.9%时,垃圾已经基本燃尽,这与前述飞灰和炉渣含碳量数据反映的信息一致。此外,省煤器出口氧量由5.9%增加至9.3%的过程对应着炉膛温度的显著降低,而CO的质量浓度并未因此而增加,说明在试验范围内,炉膛温度对CO的质量浓度影响较小。

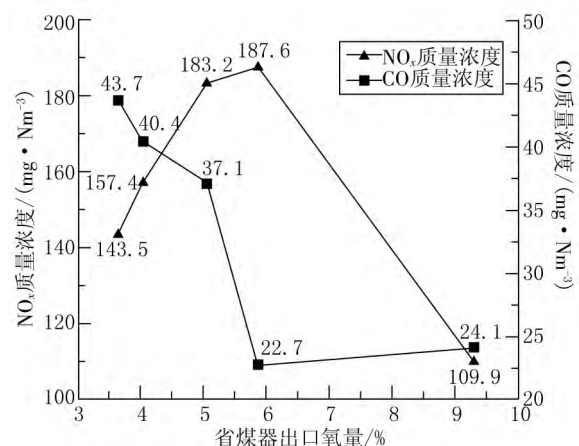


图10 省煤器出口氧量对 NO_x 和CO质量浓度的影响

4 结语

本文进行了调整省煤器出口氧量的多组试验,选取了其中有代表性的5个工况,锅炉省煤器出口实测氧量分别为3.7%、4.1%、5.1%、5.9%和9.3%左右,通过分析炉膛温度、主蒸汽流量、主蒸汽温度和压力、飞灰和灰渣含碳量以及 NO_x 的排放等,得到以下结论:

1)省煤器出口氧量对焚烧炉炉膛温度和主蒸汽流量有着重要的影响,而对主蒸汽压力和温度的影响相对较小。适当增加炉膛氧量有利于提高锅炉出力,而氧量过大反而不利于垃圾焚烧。在试验范围内,当省煤器出口氧量为5.1%时,炉内燃烧温度和主蒸汽流量同时取得最大值。

2)省煤器出口氧量在5.1%~5.9%的范围内时,飞灰和炉渣的含碳量较低,说明在该省煤器出口氧量范围垃圾的燃尽程度较高。氧量过高会降低炉膛温度进而影响垃圾的着火和燃烧情况,不利于垃圾的燃尽。

3)省煤器出口氧量的大小对 NO 的生成均具有重要的影响。氧量由3.7%增加至5.1%的过程,由于炉内氧气质量浓度的升高和炉内燃烧温度的提升的共同作用, NO 的质量浓度明显升高。氧量从5.1%上升至5.9%的过程,氧气质量浓度的增加对于 NO_x 的生成起着主导的作用。而省煤器出口氧量值由5.9%达到9.3%时,炉膛温度的降低对于 NO_x 的生成影响较大。

4) CO 质量浓度在省煤器出口氧量由3.7%增加至5.9%的过程中出现显著下降,反映在低氧量

时 CO 质量浓度对于氧量的改变十分敏感。当氧量比较充足时,继续增加氧量对 CO 质量浓度的变化影响有限,说明在省煤器出口氧量5.9%时,垃圾已经基本燃尽。试验数据也表明,在试验范围内,炉膛温度对 CO 的质量浓度影响较小。

5)在本文试验范围内,省煤器出口氧量的推荐值为5.1%左右。

参考文献

- [1] 王亚光,吴玉先,滕瑶,等.餐厨垃圾渗滤液的基本特性分析[J].吉首大学学报:自然科学版,2016,37(1):69-73.
- [2] 张英民,尚晓博,李开明,等.城市生活垃圾处理技术现状与管理对策[J].生态环境学报,2011,20(2):389-396.
- [3] 李现勇,肖云汉,蔡睿贤.城市垃圾焚烧处理的资源化技术分析[J].动力工程,2003(1):2196-2200.
- [4] 王临清,李泉鸣,朱法华.中国城市生活垃圾处理现状及发展建议[J].环境污染与防治,2015,37(2):106-109.
- [5] 吴东根.垃圾焚烧锅炉实例[J].锅炉技术,1998(2):27-32.
- [6] 孙健.焚烧法处理生活垃圾发展前景探析[J].煤炭工程,2005(7):57-59.
- [7] 顾恬,曹汉鼎,胡兴胜.城市生活垃圾焚烧炉结构对燃烧的影响及结构选型的研究[J].动力工程学报,2003,23(1):2185-2195.
- [8] 朱明,祝慰,王发洲,等.城市生活垃圾制备的RDF的热工性能研究[J].可再生能源,2014,32(12):1928-1932.
- [9] 吴永新.生活垃圾机械炉排焚烧炉结焦积灰的问题分析及控制对策研究[D].北京:清华大学,2013.
- [10] 张甫仁.火电站能量系统绿色热经济及优化分析[J].吉首大学学报:自然科学版,2006,27(3):62-66.

The Oxygen Adjustment Test of a Waste Incinerator

KONG Wei-jia, et al.

(School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: With the steady progress of urbanization, the amount of all kinds of household wastes in China is increasing rapidly. The technology of waste incineration and power generation has the characteristics of harmlessness and resourcefulness, and has become an important development direction of municipal solid waste disposal in China. The adjustment of the oxygen content in the incinerator directly influences the ignition, combustion and burnout of wastes. This paper is based on measured oxygen content at the outlet of the economizer of the waste heat boiler, and analyzes the influence of the change of oxygen content to the main steam parameters of the waste heat boiler, the burnout situation and the pollutant concentration respectively, which can provide important technical support for the scientific control of the oxygen content in the incinerator and the safe efficient environmental operation of the incinerator.

Key words: waste; oxygen; incineration; test