

不同热处置生活垃圾烟气中二噁英的排放

籍龙杰¹ 郭颖² 陈彤¹ 陆胜勇¹

(1. 浙江大学 能源清洁利用国家重点实验室 热能工程研究所 浙江 杭州 310027;
2. 国家知识产权局专利局专利审查协作四川中心 机械部 四川 成都 610213)

摘要: 为了对比和评估生活垃圾焚烧处置过程中二噁英的排放情况, 本文分别使用炉排炉焚烧技术、流化床焚烧技术以及水泥窑共处置技术对焚烧时烟气中的二噁英进行研究。研究表明在低处置量(< 300 t/d)和高处置量(> 300 t/d)两种情况下, 最佳处置技术分别为水泥窑共处置和炉排炉处置, 其对应的二噁英的质量浓度变化范围为 $1.05 \sim 4.68$ ng/ m^3 和 $0.11 \sim 1.63$ ng/ m^3 , 总的毒性当量 I-TEQ 变化范围为 $0.0066 \sim 0.0095$ ng I-TEQ/ m^3 和 $0.010 \sim 0.060$ ng I-TEQ/ m^3 均优于国家相应的排放标准。

关键词: 生活垃圾焚烧; 水泥窑共处置; 二噁英; 优化

中图分类号: TK09; X835

文献标识码: A

DOI: 10.16146/j.cnki.rndlge.2016.09.016

引言

我国城市生活垃圾的主要特点是水分高、灰分高、热值低、有机物含量相对较低、成分复杂多变, 这使得合理选择处置技术变得更加具有挑战性^[1]。尽管目前卫生填埋是我国主流处置技术, 但却未实现垃圾的无害化处置, 并且垃圾渗出液会污染地下水和土壤, 垃圾发酵产生的甲烷气体存在极大的安全隐患。此外, 受到土地资源的限制, 卫生填埋有逐年减少的趋势^[2]。焚烧处置因处理彻底、快捷且能将垃圾转化为热能, 可实现垃圾的资源化、无害化和减量化等优点, 逐渐成为一种主流的固废污染的处理技术。然而, 焚烧处置不可避免地发生二次污染的问题, 尤其是二噁英的产出^[3], 这使垃圾焚烧成为人们目前关注的焦点问题, 也是发生“邻避事件”的主要原因。

不同的焚烧技术会影响二噁英的排放情况。从全球范围的运用来看, 炉排炉焚烧技术、流化床焚烧

技术、水泥窑共处置生活垃圾技术逐渐成为三种主流垃圾焚烧处置技术。前两种在我国较为普及, 而水转窑共处置技术处于起步阶段。

本文首先简述了三种生活垃圾热处置技术在影响二噁英排放上的优劣情况。通过对国内应用较为广泛的三种生活垃圾热处置系统, 即炉排炉焚烧系统、流化床焚烧系统以及水泥窑共处置系统进行多次的现场数据采集, 分析了各系统烟气中二噁英的排放特性, 对各种生活垃圾处置技术在二噁英排放方面的优劣, 作出一定的对比和评估; 针对不同生活垃圾实际处置量的要求, 基于优化二噁英排放的前提, 对不同热处置方式进行优化选择。

1 热处置技术简述

三种生活垃圾热处置技术在影响二噁英的排放优劣情况对比如下:

1.1 炉排炉焚烧技术

炉排炉焚烧技术对垃圾质量和成分的要求较低, 前处理简单, 飞灰量少, 技术成熟, 燃烧稳定易于控制, 是最为成熟的焚烧技术。新入炉的垃圾在入口段即被进行预热干燥, 提高了燃烧和燃尽区的垃圾热值, 以保证焚烧温度。现有的垃圾焚烧厂大部分采用的是炉排炉焚烧技术, 不过, 因炉排炉内需要机械装置, 限制了炉内温度的进一步提升, 而且垃圾在炉内不容易充分混合, 在燃烧过程控制不完全的情况下, 将会大量产生二噁英^[4-5]; 此外, 炉排炉建设成本相对较高且不适于焚烧含水率很高的污泥等, 也存在一定的局限性。

收稿日期: 2015-12-06; 修订日期: 2015-12-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51476138)

作者简介: 籍龙杰(1989-), 男, 山东临沂人, 浙江大学博士研究生。

通讯作者: 陈彤, 女, 浙江大学副教授。

1.2 流化床焚烧技术

流化床燃烧方式是垃圾燃烧最为彻底的方式之一,单体设备处理量较大。将垃圾进行一定的前处理,包括脱水和粉碎,再辅助以一定的补燃措施,流化床内部燃烧温度可以提高到 900 ~ 1 000 °C,从而远离二噁英的最佳生成区间。循环流化床焚烧处理垃圾时,一般添加了一定比例的辅助燃煤。研究表明煤中的硫对于燃烧过程产生的二噁英类物质具有很明显的抑制作用,硫的存在减少了 Cl₂(二噁英类生成的主要氯源)的形成;使二噁英合成反应的最主要催化剂 Cu/CuO 中毒,降低其催化活性;磺化酚类前驱物,抑制氯化反应以及乌尔曼反应,人们总体对二噁英类物质的生成产生遏制作用^[6~7]。

1.3 水泥窑共处置技术

水泥生产常用的窑型为回转窑,其本身的燃烧环境(温度高,停留时间长)有助于有机物质的彻底分解。人们总体认为由于水泥生产过程中煅烧物中硫的存在对二噁英的形成有一定的抑制作用,硫能够降低 Cu 的催化活性,还可以消耗氯,从而减弱芳香族化合物的氯代作用,减少二噁英前驱物的数量,因此削弱了前驱物生成二噁英的反应途径;另一方面,水泥窑中的碱性环境,可以吸收一部分 HCl 从而降低氯源^[8~9]。国内虽颁布了相关的法律法规规定了水泥窑生产过程中二噁英的排放标准,但针对水泥窑生产过程中以及共处置条件下的二噁英排放情况研究相对较少。

在共处置条件下,较高热值的生活垃圾可用作水泥窑的替代燃料来代替矿物质燃料。替代燃料一般从回转窑系统的高温区投送,燃料的物理和化学性质决定了精确的投送点,由于要求温度高、停留时间长,含有稳定有毒成分的替代燃料应在主燃烧器喂料,以确保完全焚烧。

由于烟气在窑内高温段停留的时间较长,在回转窑稳定运行的状态下,二噁英和呋喃类排放物通常很低。在欧洲,水泥生产很少会成为二噁英/呋喃排放物的主要来源。然而,水泥窑共处置生活垃圾技术在我国刚处于起步阶段,自身的技术手段相对不成熟,其排放控制效果与发达国家相比还有一定的差距;另一方面,在我国颁布的《水泥工业大气污染物排放标准》中,针对二噁英给出了严格的排放

标准。因而,我们需要对水泥窑共处置生活垃圾时的二噁英排放问题引起高度重视。

尽管三种处置手段在燃烧优化的条件下,主燃烧区内高温都可以使进入主燃烧区的有机废物被彻底分解,但考虑到 70% 的二噁英都是通过前驱物异相反应和从头再合成生成的^[10~12],所以即使在原生二噁英被彻底破坏除去的情况下,对各种处置方式烟气中二噁英的排放仍需评估。

2 采样和方法

2.1 试验工况

利用实际数据采集分析的方法,选择炉排炉、流化床、水泥窑三种炉型共 4 台热处置设备进行评估分析,分别记为 A、B、C、D。水泥窑系统采用干式旋风预热分解炉,所有热处置系统配有相同的烟气净化装置(旋风除尘,喷洒活性炭以及布袋除尘)。所有采样工况均在各处置设备正常稳定运行条件下进行,具体参数如表 1 所示。

2.2 烟气采集

采集 4 个处置设备的烟气样品进行离线分析,烟气采样点均布置在布袋除尘器之后,采用韩国 KNJ Engineering 公司的 M5 型烟气采样仪,根据 US EPA 23a 标准等速取样方法进行烟气采样。采样前,清洗采样系统管路,校正仪表设备,并检查系统密封性,每个采样点连续采集 3 次,每个样品的采样体积控制在 2 m³ 左右,并同时记录每次采样时烟气中的含氧量。

表 1 各处置工况的采样信息

Tab. 1 Sampling information under various disposal conditions

处置设备	工况编号	实际生活垃圾处置量/t · d ⁻¹	装机容量/MW
炉排炉 1	A	200	无
炉排炉 2	B	400	12
流化床	C	500	15
回转窑	D	200	无

2.3 分析方法

二噁英的检测,烟气样品的预处理采用 US EPA 23 方法,经过索提、酸洗、纯化和氮吹等步骤后浓缩至 20 μl 并加入 13C 二噁英标样,密封后待测定,采

用日本 JEOL 公司生产的 JMS - 800D 型高分辨气相色谱/高分辨质谱仪(HRGC/HRMS) 进行分析, 仪器色谱和质谱的设定条件见文献 [13]。检测后二噁英回收率在 55% ~ 110% 之间, 均在正常范围内(45% ~ 130%)。所得到的数据都要折算到对应的含氧标准条件下, 炉排炉和流化床焚烧烟气数据以 11% O₂(标准干空气) 的条件为基准, 而回转窑烟气数据则以 10% O₂。

二噁英包含 135 种 PCDFs 异构体, 75 种 PCDDs 异构体, 共计 210 种同族化合物。但是, 仅有(2, 3, 7, 8) 4 个共平面位置同时被氯原子取代时的 PCDD/Fs 才是有毒的, 其中 7 种 PCDDs 和 10 种 PCDFs。利用 17 种有毒 PCDD/Fs 各同系物国际毒性当量因子(International Toxic Equivalence Factor, I - TEQ) 折算, 计算得到样品总的毒性当量值, 其计算式如下:

$$I - TEQ = \sum C_i \times (I - TEF)_i \quad (1 \leq i \leq 17)$$

式中: C_i—第 i 种 2, 3, 7, 8 - 氯代二噁英的浓度, ng/m³; (I - TEF)_i—第 i 种 2, 3, 7, 8 - 氯代二噁英的国际毒性当量因子。

3 结果和分析

3.1 烟气中二噁英的排放特性

由于烟气中二噁英为痕量物质, 浓度为皮克、纳克级, 现场实验过程中, 烟气二噁英的采样和分析均要严格按照标准执行。本文试验严格按照 EPA23 方法执行, 数据分析处理均符合要求, 且单个烟气样品的采样时间不低于 2 h, 数据来源可靠。实验数据有一定波动, 但仍能体现出不同焚烧装置烟气二噁英的平均值和变化范围, 对实际应用有一定指导意义。

烟气中二噁英的排放特性结果如图 1 和图 2 所示。炉排炉焚烧技术, 流化床焚烧技术, 水泥窑共处置技术 3 种方式处置生活垃圾, 其对应的烟气中二噁英的排放浓度分别为 0.11 ~ 8.57 ng/m³、1.01 ~ 4.54 ng/m³ 和 1.05 ~ 4.86 ng/m³; 总的毒性当量 I - TEQ 分别为 0.01 ~ 0.45 ng I - TEQ/m³、0.08 ~ 0.25 ng I - TEQ/m³ 和 0.0066 ~ 0.0095 ng I - TEQ/m³。由图 1 和图 2 可知, 烟气中二噁英的质量浓度:

炉排炉 1 > 回转窑 ≈ 流化床 > 炉排炉 2, 浓度范围在 0.11 ~ 8.57 ng/m³; 在总的毒性当量 I - TEQ 方面: 炉排炉 1 > 流化床 > 炉排炉 2 > 回转窑, 浓度范围在 0.0066 ~ 0.45 ng I - TEQ/m³。根据现行的《生活垃圾焚烧污染控制标准 GB18485 - 2014》(0.1 ng I - TEQ/m³) 和《水泥工业大气污染物排放标准 GB4915 - 2004》(0.1 ng I - TEQ/m³), 炉排炉 2 和回转窑的二噁英排放均满足国家相应的排放标准。炉排炉 1 以及流化床炉在运行过程中波动性较大, 且存在不达标现象。回转窑与其它炉型相比, 排放浓度更低, 而且波动很小, 说明回转窑有利于二噁英等有机污染物的充分分解, 且运行工况更加稳定, 从而使得二噁英排放浓度很低。

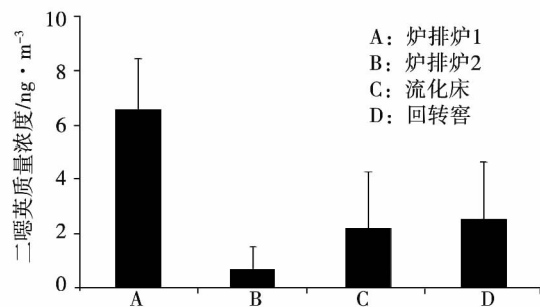


图 1 烟气中二噁英的质量排放浓度

Fig. 1 Mass emissions concentration of the PCDD/Fs in flue gases

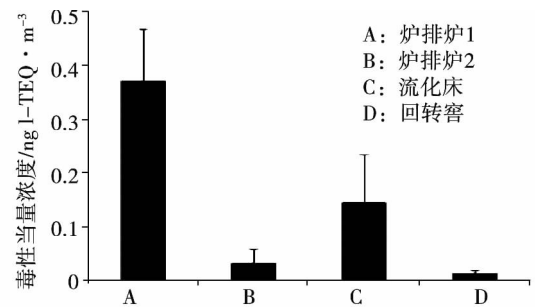


图 2 烟气中二噁英的毒性当量排放浓度

Fig. 2 Equivalent toxicity emissions concentrations of the I - TEQ in flue gases

普遍认为 PCDD/Fs 的生成机理包括高温气相催化反应以及低温催化合成反应, 而后者又包括前驱物异相催化生成和从头合成反应。研究发现, PCDD 和 PCDF 的生成机理是不同的, 在典型的燃烧过程中, 由从头再合成生成 PCDD/Fs 的反应途径

中, 其 PCDFs/PCDDs 的比值在 1.6 左右, 而在由前驱物异相反应生成 PCDD/Fs 的反应途径中, 其比值则远小于 1^[14~16]。由图 3 可知, 4 种处置工况下 PCDFs/PCDDs 的比值范围在 1.2~2.5, 这从侧面说明在生活垃圾焚烧过程, 从头再合成反应在二噁英生成途径中占主导。

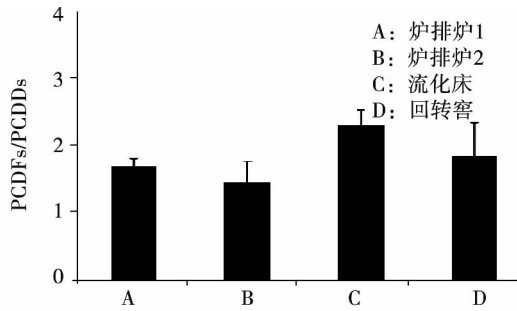


图 3 烟气中 PCDFs/PCDDs 的比值变化
Fig. 3 Changes of the ratio of the PCDFs and PCDDs in flue gases

3.2 二噁英的指纹特性

PCDD/Fs 的指纹特性受到热动力学特性控制, 燃烧条件和炉型等条件的变化, 会导致 PCDD/Fs 的种类分布趋势发生改变。此外, 条件变化时, 二噁英分布所受到的影响大小和其氯代数有关, 低氯 PCDD/Fs ($n_{cl} \leq 6$) 要比高氯 PCDD/Fs ($n_{cl} \geq 7$) 更容易受到运行条件的限制。在二噁英总浓度不变的情况下, 由于每种二噁英的毒性当量因子的差异, 种类分布的改变会造成总的毒性当量 I-TEQ 的改变^[17]。

本课题组前期对 15 座炉排炉烟气中二噁英排放情况进行分析, 发现低处置量 (<300 t/d) 的生活垃圾焚烧炉烟气中未达到 0.1 ng I-TEQ/m³ 排放标准的占到了 55.6%。因而, 对于低处置量的垃圾焚烧炉需要加强管理, 防止二噁英超标排放^[18]。

3.2.1 低处置量情况下, 炉排炉和回转窑排放特性的对比

A、D 工况均在低处置量 (<300 t/d) 的条件下运行, 如图 4 和图 5 两者的烟气中二噁英同系物分布, 其中高氯代的二噁英和呋喃占主导地位, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 - HpCDF、OCDD、OCDF 以及 HpCDD 对质量浓度的贡献比例分别 18.8%~19.6%、16.9%~21.1%、10.3%~13.1%、10.9%~11.9% 和 15.9%~21.2%、13.1%~24.1%、9.5%~16.6%、5.7%

~10.4%, 合计为 57%~66% 和 56%~60%; 比较 A 和 D 的分布, A 的 3 次工况分布较为一致, 而 D 则相对波动较大。从 I-TEQ 的贡献比例来看, 2, 3, 4, 7, 8 - PeCDF 仍占主导地位, 其贡献比例分别为 41% 和 26%~47%。对于回转窑来说, 其总体的毒性当量除 2, 3, 4, 7, 8 - PeCDF 的影响, PeCDD 的比例也较大, 为 11%~34%, 这与传统焚烧设备(炉排炉、流化床)的指纹特性不同。由前文可知, 与炉排炉相比, 回转窑总体的排放量都非常低, 浓度范围在 0.0066~0.015 ng I-TEQ/m³。此外, 在满足国家相应排放标准的前提下, 水泥窑共处置的强制排放标准比生活垃圾焚烧排放的要低得多。所以在较低的生活垃圾处置量的情况下, 可优先选择水泥窑共处置技术, 在减少二噁英排放的同时, 生活垃圾本身又可以作为替代燃料和成分参与水泥的生产(生活垃圾的加入不影响水泥的质量)。

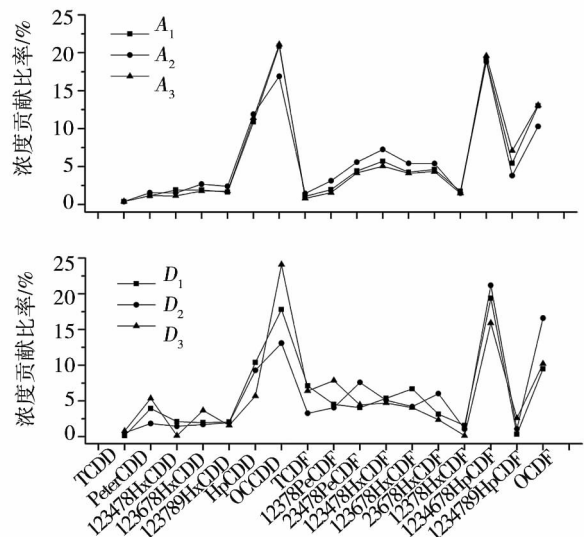


图 4 A、D 烟气中二噁英同系物(质量浓度)分布特性

Fig. 4 Distribution characteristics of the PCDD/Fs congeners (mass concentrations) in the flue gases A and D

3.2.2 高处置量情况下, 炉排炉和流化床排放特性的对比

B、C 均在高处置量 (>300 t/d) 的条件下运行, 如图 6 和图 7 所示, 两者的烟气中二噁英同系物分布, 其中高氯代的二噁英和呋喃占主导地位, 除此之外, 对于 A 和 B 来说, 相同处置设备的排放特性相

似,且没有受到处置量(运行条件)的影响;比较B和C的分布,对于流化床C来说,1,2,3,4,6,7,8-HpCDF对质量浓度贡献比率最大,为17%~18%,而不是OCDD,这一点区别于炉排炉和回转窑。从I-TEQ的贡献比例来看,对于B和C来说,也是2,3,4,7,8-PeCDF在总的毒性当量贡献上占主导地位,其比例分别为26%~29%和34%~41%。

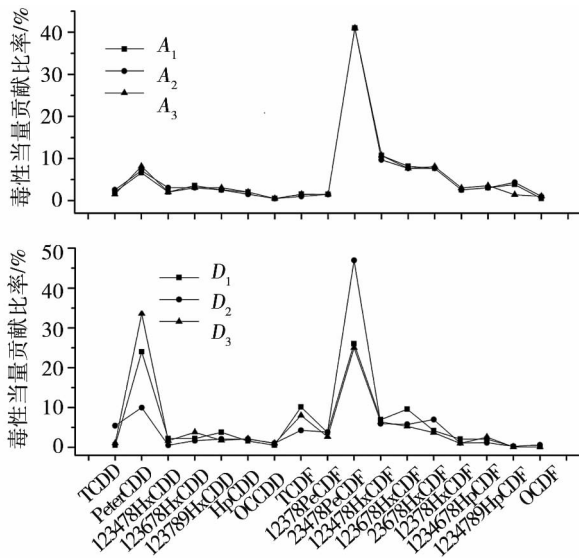


图5 A、D烟气中二噁英同系物(毒性当量浓度)分布特性

Fig. 5 Distribution characteristics of the PCDD/Fs congeners (equivalent toxicity concentrations) in the flue gases A and D

由前文可知,在高处置量的情况下,流化床的二噁英排放量比炉排炉的要高;同时就目前而言,炉排炉技术对垃圾质量和成分的要求较低,前处理简单,飞灰量少,技术成熟。所以在较高的生活垃圾处置量的情况下,可优先选择炉排炉技术。

4 结论

(1) 炉排炉焚烧技术,流化床焚烧技术,水泥窑共处置技术3种方式处置生活垃圾,其对应的烟气中二噁英总的毒性当量I-TEQ分别为0.01~0.45 ng I-TEQ/m³、0.08~0.25 ng I-TEQ/m³和0.0066~0.0095 ng I-TEQ/m³。回转窑烟气中二噁英的排放水平最低;

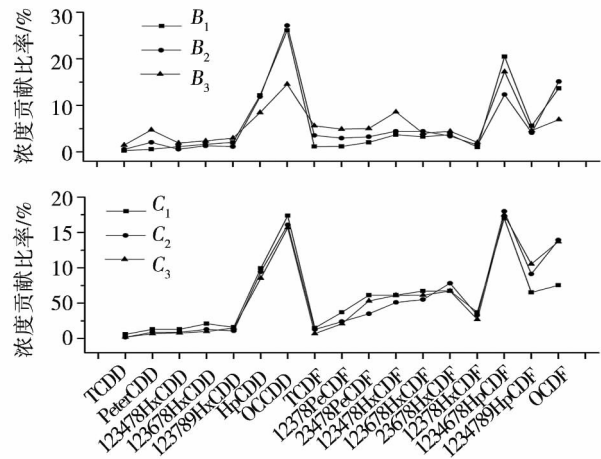


图6 B、C烟气中二噁英同系物(质量浓度)分布特性

Fig. 6 Distribution characteristics of the PCDD/Fs congeners (mass concentrations) in the flue gases B and C

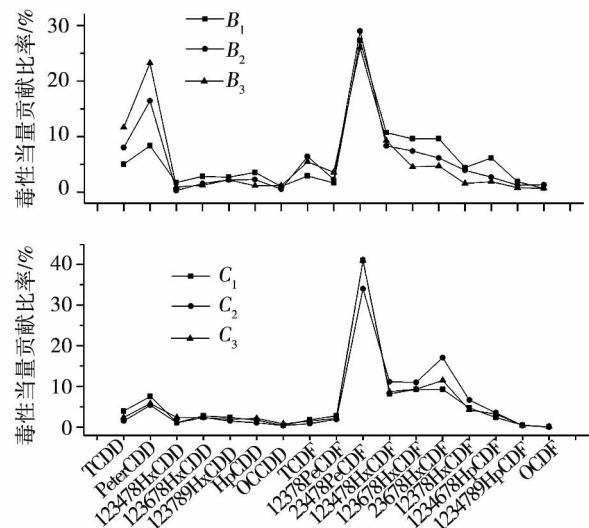


图7 B、C烟气中二噁英同系物(毒性当量浓度)分布特性

Fig. 7 Distribution characteristics of the PCDD/Fs congeners (equivalent toxicity concentrations) in the flue gases B and C

(2) 在质量浓度分布的指纹特性中,所有工况的烟气中二噁英的分布均是以高氯代(≥7)的二噁英和呋喃占主导地位;在毒性当量分布的指纹特征中,2,3,4,7,8-PeCDF对总的毒性当量I-TEQ贡献最大,炉排炉和流化床的指纹特性相似,但回转窑

的指纹特征则不同于两者,其中 PeCDD 的所占比例较大,为 11% ~ 34%;

(3) 在生活垃圾日处置量低的情况下,处置设备可优先选择水泥窑共处置技术,在减少二噁英排放的同时,生活垃圾本身又可以作为替代燃料和成分参与水泥的生产;而在日处置量高的情况下,可选择技术较为成熟的炉排炉技术。

参考文献:

- [1] ZHOU H ,MENG AH ,LONG Y Q ,et al. An overview of characteristics of municipal solid waste fuel in China: Physical ,chemical composition and heating value[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2014 ,36(8) : 107 - 122.
- [2] OMAR H ,ROHANIS. Treatment of landfill waste ,leachate and landfill gas: A review[J]. *Frontiers of Chemical Science and Engineering* 2015 ,0(1) : 15 - 32.
- [3] HU Y ,CHENG H. Municipal solid waste (MSW) as a renewable source of energy: Current and future practices in China[J]. *Biore-source Technology* 2010 ,101(11) : 3816 - 3824.
- [4] SHAUB W M ,TSANG W. Dioxin formation in incinerators[J]. *Environmental Science and Technology* ,1983 ,17(12) : 721 - 730.
- [5] MCKAY G. Dioxin characterisation ,formation and minimisation during municipal solid waste (MSW) incineration: review [J]. *Chemical Engineering Journal* 2002 ,86(3) : 343 - 368.
- [6] AURELL J ,FICK J ,HAGLUND P ,et al. Effects of sulfur on PCDD/F formation under stable and transient combustion conditions during MSW incineration [J]. *Chemosphere* ,2009 ,76(6) : 767 - 773.
- [7] WU H L ,LU S Y ,LI X D ,et al. Inhibition of PCDD/F by adding sulphur compounds to the feed of a hazardous waste incinerator [J]. *Chemosphere* 2012 ,86(4) : 361 - 367.
- [8] KARSTENSEN K H. Formation ,release and control of dioxins in cement kilns[J]. *Chemosphere* 2008 ,70(4) : 543 - 560.
- [9] FABRELLAS B ,RUIZ M ,Martinez M ,et al. The Spanish dioxin inventory: evaluation of dioxin and furan emissions generated in the Spanish cement sector during 2003 - 2004 period[J]. *The Influence of the Alternative Fuels Use ,Cementoy Hormigon* ,2005 ,76: 60 - 69.
- [10] GHORISHI S B ,ALTWICKER E R. Rapid high temperature formation of polychlorinated dioxins and furans in the bed region of a heterogeneous spouted bed combustor: development of a surface mediated model for the formation of dioxins[J]. *Hazardous Waste and Hazardous Materials* ,1996 ,13(1) : 11 - 22.
- [11] LOMNICKI S ,DELLINGER B. A detailed mechanism of the surface-mediated formation of PCDD/F from the oxidation of 2-chlorophenol on a CuO/silica surface[J]. *Journal of Physical Chemistry A* 2003 ,107(22) : 4387 - 4395.
- [12] LOMNICKI S ,DELLINGER B. Formation of PCDD/F from the pyrolysis of 2-chlorophenol on the surface of dispersed copper oxide particles [J]. *Proceedings of Combustion Institute* ,2002 ,29(2) : 2463 - 2468.
- [13] CHEN T ,LI X D ,YAN J H ,et al. Distribution of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in ambient air of different regions in China [J]. *Atmospheric Environment* ,2011 ,45(36) : 6567 - 6575.
- [14] STEIGLITZ L ,ZWICK G ,BECK J ,et al. Carbonaceous particles in fly ash—a source for the de novo synthesis of organochlorocompounds[J]. *Chemosphere* ,1989 ,19(1) : 283 - 290.
- [15] DICKSON L C ,LENOIR D ,HUTZINGER O. Quantitative comparison of de novo and precursor formation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins under simulated municipal solid waste incinerator postcombustion conditions [J]. *Environmental Science and Technology* ,1992 ,26(9) : 1822 - 1828.
- [16] STEIGLITZ L ,EICHBERGER M ,SCHLEIHAUF J ,et al. The oxidative degradation of carbon and its role in the de-novo-synthesis of organohalogen compounds in fly ash [J]. *Chemosphere* ,1993 ,27(1) : 343 - 350.
- [17] RAPPE C. Dioxin ,Patterns and Source Identification [J]. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry* ,1994 ,348(1 - 2) : 63 - 75.
- [18] 郭 颖. 固废处置中持久性自由基/二噁英的排放特性及检测研究[D]. 浙江大学 2014.
- GUO Ying. Study of the emission characteristics and detection of the persistent free radicals/ PCDD/Fs in the solid waste disposal process [D]. Hangzhou: Zhejiang University 2014.

(刘 瑶 编辑)

Code: 430071) ,LI Wan-wan ,HU Guo-ming (College of Power and Mechanical Engineering ,Wuhan University , Wuhan ,China ,Post Code: 430072) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(9) . - 87 ~ 93

With the flue gas system of a 1 000 MW coal-fired power plant serving as the object of study ,the CFD numerical simulation technology was used to investigate the total pressure ,speed distribution and resistance characteristics of the flow field in the three-chamber-structure flue gas duct before the electrostatic precipitator in the system under discussion. The simulation results show that the resistance of the flue gas duct in this section mainly comes from the T-tubes and elbows. The distribution of the flue gases in the T-tubes is not uniform and the deviations of the flow gas flow rates and speeds in the three chambers of the precipitator are relatively big ,leading to a low dust removal efficiency of the precipitator and dust is deposited in the corners of the pipeline. The maximum deviation of the resistance values simulated by using the CFD software and calculated according to the specification is 10.3% . As a result ,two measures for optimizing the structure were proposed: 1 the flow-split connection tube of the original flue gas duct is suggested to adjust to be a three-way duct and at the same time ,plays a flow division role with a guide plate to be additionally installed. This method can reduce the difference among various branch pipelines and the low speed area in the duct and the overall resistance drop can decrease by about 24.4% relative to that of the initial version; 2 the rectangular sectional pipelines are suggested to be replaced with circular sectional pipelines and equipped with elbows and rectangle-circle connectors etc. transitional devices. The overall pressure and speed values are much higher than those of the initial version. No relatively obvious pressure gradient occurs in the rectangular sectional flue gas duct and the flow resistance decreases by 66.4% . Both versions can decline the flow resistance and make the distribution of flow rates in various branch flue gas ducts at the inlet of the precipitator to be uniform.

Key words: three-chamber structure ,computational fluid dynamics (CFD) ,resistance characteristics ,structural optimization

不同热处置生活垃圾烟气中二噁英的排放 = **Emissions of Dioxins in Flue Gases During the Incineration of Municipal Solid Wastes in Various Thermal Disposal Modes** [刊 汉] /JI Long-jie ,CHEN Tong ,LU Sheng-yong (National Key Laboratory on Clean Energy Utilization ,Thermal Energy Engineering Research Institute Zhejiang University ,Hangzhou ,China ,Post Code: 310027) ,GUO Ying (Sichuan Provincial Center for Patent Examination and Cooperation ,China State Intellectual Property and Patent Bureau ,Ministry of Machinery Industry of the People's Republic of China ,Chengdu ,China ,Post Code: 610213) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(9) . - 94 ~ 99

In order to contrast and evaluate the emissions of dioxins in the process of the incineration and disposal of municipal solid wastes ,the chain grate furnace incineration technology ,fluidized bed incineration technology and cement kiln co-disposal technology were employed respectively to investigate the emissions of dioxins in flue gases during the incineration. It has been found that under the following two conditions ,i. e. at a low quantity of the solid wastes disposed(<300 t/d) and at a high quantity of the solid wastes disposed (>300 t/d) ,the optimum disposal technolo-

gies will be the cement kiln co-disposal technology and the chain grate furnace disposal technology respectively of which the corresponding mass concentrations of dioxins will vary in a range from 1.05 to 4.68 ng/m³ and from 0.11 to 1.63 ng/m³ respectively and the total toxicity equivalent I-TEQ will fall in a range from 0.006 6 to 0.009 5 ng I-TEQ/m³ and from 0.010 to 0.060 ng I-TEQ/m³ respectively, all of which being better than the corresponding national standards for the emissions. **Key words:** incineration of municipal solid wastes, cement kiln co-disposal, dioxins, optimization

定功率条件下低压省煤器对机组热经济性的影响 = **Influence of a Low Pressure Economizer on the Thermal Cost-effectiveness of Its Unit at a Constant Power Output** [刊, 汉] / PANG Le (Huadian Electric Power Science Research Institute, Hangzhou, China, Post Code: 310030) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2016, 31(9). - 100 ~ 103

Based on the heat rate convertible coefficient theory, a mathematical derivation was performed and a mathematical model for calculating the influence of a low pressure economizer on the thermal cost-effectiveness of its unit at a constant power output and applications of the low pressure economizer thermal cost-effectiveness theory and the heat rate convertible coefficient method in low pressure economizers were investigated. With the thermal system of a domestically-made 300 MW unit serving as an example, the quantities of energy saved were calculated respectively at the 75% and 100% load under the condition of the turbine heat acceptance (THA). It has been found that when operating at the 75% and 100% load under the condition of the turbine heat acceptance (THA), the heat rates of the low pressure economizer unit can decline by 39.88 kJ/(kW·h) and 33.95 kJ/(kW·h) respectively and the power supply coal consumption rate can decrease by 1.44 g/(kW·h) and 1.19 g/(kW·h) respectively. The magnitude of the influence of the heat quantity absorbed by the low pressure economizer on the heat quantity absorbed in the cyclic processes of the unit after having being input into the thermal system of the steam turbine was obtained, thus facilitating to optimize the connection with the pipelines at the water side of the low pressure economizer. **Key words:** constant power method, low pressure economizer, thermal cost-effectiveness of a unit, heat rate convertible coefficient

绝缘子表面积污规律的数值模拟研究 = **Study of the Numerical Simulation of the Law Governing the Foul Deposition on the Surface of an Insulator** [刊, 汉] / ZHANG Lin, YUAN Zhu-lin (College of Energy Source and Environment, Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210096), GAO Song (Electric Power Science Academy, Jiangsu Provincial Electric Power Company, Nanjing, China, Post Code: 211103), WANG Yong-wei (College of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Engineering, Nanjing, China, Post Code: 210044) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2016, 31(9). - 104 ~ 112

To investigate the law governing the foul deposition on the surface insulators in transmission lines, with model XWP2-160 insulators serving as the object of study and by employing the CFD method, a numerical simulation was