

Analysis of Atmospheric Environmental Impact for Municipal Solid Waste Incineration Plant Using Natural Draft Cooling Towers with Flue Gas Injection

Yun Hu, Sheng Wang, Xiuyong Zhao

State Power Environmental Protection Research Institute, Nanjing Jiangsu
Email: wangsheng9999@126.com

Received: Nov. 10th, 2015; accepted: Dec. 20th, 2015; published: Dec. 23rd, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

As the case study of a municipal solid waste (MSW) incineration plant in Anhui Province, the maximum ground concentration from natural draft cooling towers (NDCT) with flue gas injection of 88 m high is calculated in this paper, as a parallel calculation, the maximum ground concentrations from a 60 m high chimney and an 80 m high chimney are calculated. The results show that, compared with the concentrations from the chimneys, the maximum yearly average ground concentration from a 88 m high cooling tower is lower, but the maximum daily and hour average ground concentrations are higher. Also, this paper determines the atmospheric environmental protection zone for NDCT with flue gas injection by physical simulation experiment in environmental wind tunnel. The determined zone is within the area required by MEP (Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China), so there is no more demand for relocation causing by NDCT with flue gas injection. This research is valuable for the optimal selection of flue gas exhausting methods in municipal solid waste incineration plant.

Keywords

Municipal Solid Waste (MSW) Incineration, Natural Draft Cooling Towers with Flue Gas Injection, Emission through Chimney, Atmospheric Environmental Protection Zone

生活垃圾焚烧发电厂烟塔合一大气环境影响分析

胡耘, 王圣, 赵秀勇

国电环境保护研究院, 江苏 南京

Email: wangsheng9999@126.com

收稿日期: 2015年11月10日; 录用日期: 2015年12月20日; 发布日期: 2015年12月23日

摘要

本文针对安徽某生活垃圾焚烧发电厂, 模拟烟塔合一和烟囱排放两种不同排烟方式对大气环境的影响并进行比较, 结果表明烟塔方案较烟囱方案的小时浓度、日均浓度较高, 但年均浓度明显较低。同时, 通过环境风洞实验确定了采用烟塔合一排烟方式时的环境防护距离, 未超过“环发[2008]82号”要求“新改扩建项目环境防护距离不得小于300 m”, 不会因采取烟塔合一方案而增加额外的拆迁需求。研究结果对生活垃圾焚烧发电厂排烟方式的优化选择具有一定参考价值。

关键词

生活垃圾焚烧, 烟塔合一, 烟囱排放, 大气环境防护距离

1. 引言

焚烧处理方式具有减容效果好、占地少、处理效率高、利于资源化等优点, 是实现垃圾减量化、无害化和资源化的有效手段之一, 是未来生活垃圾处理的发展方向[1]。人口密度越大的地区, 垃圾填埋的占比越低, 垃圾焚烧的占比越高[2]。然而, 受到合理的垃圾收运半径等因素限制, 生活垃圾焚烧发电厂厂址选择的自由度较小, 采用烟塔合一技术更有利于集约利用土地、避免净空高度限制、降低工程景观敏感度等。

烟塔合一技术在我国燃煤电厂已有多个成功运行案例, 但截至目前尚无已投运的垃圾焚烧发电厂采用该技术, 仅中国电力投资集团公司中电国际有限公司的贵州花溪垃圾焚烧发电项目、贵州仁怀垃圾焚烧发电项目尚在施工建设中。

本文针对安徽某生活垃圾焚烧发电厂, 分别模拟烟塔合一和烟囱排放两种不同排烟方式对大气环境的影响并进行比较, 同时通过环境风洞实验确定采用烟塔合一排烟方式时所需的环境防护距离。研究结果对生活垃圾焚烧发电厂排烟方式的优化选择具有一定参考价值。

2. 案例工程概况

某生活垃圾焚烧发电厂位于安徽省中部、长江东岸, 厂址距长江岸线直线距离约 2.5 km, 总用地面积约 8 hm²。工程日处理生活垃圾 2400 t, 分两期建设, 其中一期工程日处理量 1200 t, 采用 2 条 600 t/d 机械炉排炉, 配套 2 × 12 MW 汽轮发电机, 年发电量 1.6 × 10⁸ kWh。该工程采用“非选择性催化还原法脱氮 + 半干法脱酸 + 干法脱酸 + 活性炭喷射 + 袋式除尘器”的烟气处理工艺, 焚烧烟气中各污染物

排放浓度可达到《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485-2014)。其一期工程两条焚烧线在冷却塔内排烟筒出口排放的烟气总量为 $22.2 \times 10^4 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ，烟气中主要污染物排放速率如表 1 所示。

3. 两种排烟方案的大气环境影响预测

3.1. 预测模式选择与模型建立

1) 烟塔合一方案

烟塔合一技术起源于德国并已在该国得到了广泛应用，但是，我国的大气环境影响预测属于美国研究体系，其中没有包含烟塔合一预测模式[3]。目前国内对于“烟塔合一”电厂的环境影响评价预测多采用德国空气清洁生产标准制定的 VDI3784 标准，同时利用德国 2002 年空气清洁标准研制的污染物扩散模式 VDI3945 来确定污染物浓度[4]。因此，案例工程采用两炉合用一座冷却塔排烟方案时，预测采用德国 VDI3945 模式推荐的 AUSTAL2000 大气扩散模型软件进行计算，主要参数设置如表 2 所示。

2) 烟囱方案

采用两炉合用一座烟囱排烟方案时，预测模型采用《环境影响评价技术导则大气环境》(HJ2.2-2008)推荐的 AERMOD 模式。该模式是一个稳态烟羽扩散模式，可基于大气边界层数据特征模拟点源、面源、

Table 1. Summary of major flue gas pollutants emitted by 1st stage of the case project

表 1. 案例工程一期主要烟气污染物排放汇总表

排放参数	烟尘	SO ₂	NO _x	HCl	CO	Hg	二噁英类
排放浓度(mg/Nm ³)	12.6	36	175	45	50	0.05	1E-07
双线速率(kg/h)	2.7972	7.992	38.85	9.99	11.1	0.0111	2.22E-08

Table 2. Major parameters for AUSTAL 2000

表 2. AUSTAL 2000 模型主要参数设置

参数类别	参数名称	单位	取值
	计算精度参数 Qs	—	4
计算控制参数	计算步长	—	取模型默认值 0.01
	沉降	—	沉降率采用 VDI 3782/1 确定值
	化学反应	—	不考虑
地表参数	地表粗糙度	m	1.0 (以厂址为中心，半径 3~5 km 范围内实际地表状况取值)
地形参数	DEM 高程	m	复杂地形
环境参数	湿度	%	按全年逐时气象数据输入
	风速	m/s	按全年逐时气象数据输入
	风向	°	按全年逐时气象数据输入
气象参数	稳定度	—	转换为 Austal 2000 所定义稳定度分类代码
	环境温度	°C	按全年逐时气象数据输入
	烟气温度	°C	
	烟气流速	m/s	以工程设计参数为依据，烟气参数按一年 12 个月的设计值以逐时参数文件的模式输入；
烟气参数	烟气湿度	%	不同参数采用“S/P 模式烟气抬升计算与筛选软件”计算不同气象条件下的 Froude 数 F _D 值。
	液态水含量	g/kg	
输出参数	网格距	m	预测区域统一用 100 m

体源等排放的污染物在短期(小时平均、日平均)、长期(年平均)的浓度分布,适用于农村或城市地区、简单或复杂地形。模式使用每小时连续预处理气象数据模拟 ≥ 1 h 平均时间的浓度分布。

案例工程厂址周围 3 km 范围内以耕地和水面为主,少量为城市,故地表参数(反照率、波文比和表面粗糙度)选用耕地和水面选项,如表 3 所示。

3.2. 烟塔预测计算初始资料

冷却塔:高度 88 m,出口直径 32.93 m。

地形数据: SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 90 m 分辨率。

气象资料:工程所在地国家气象站提供的 2014 年逐时地面气象资料。

冷却塔出口混合气体排放参数:根据工程设计资料输入逐月的混合烟气流量、流速、温度、湿度、液态水含量。

采用平面直角坐标系,网格距 50 m \times 50 m,预测范围为以厂址为中心、5 km \times 5 km 的正方形区域,选取东西方向为 X 坐标轴、南北方向为 Y 坐标轴。

3.3. 烟囱预测计算初始资料

烟囱:高度 60 m/80 m,双管套筒式,单管出口直径 2 m。

地形数据: SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 90 m 分辨率。

气象资料:工程所在地国家气象站提供的 2014 年逐时地面气象资料,及环境保护部工程评估中心环境质量模拟重点实验室提供的格距为 27 km 的 MM5 高空气象模拟数据。

烟囱出口混合气体排放参数:温度 423 k,烟气量 95.55 m³/s。

采用平面直角坐标系,网格距 50 m \times 50 m,预测范围为以厂址为中心、5 km \times 5 km 的正方形区域,选取东西方向为 X 坐标轴、南北方向为 Y 坐标轴。

3.4. 预测结果及比较

《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18484-2014)要求焚烧处理能力 ≥ 300 t/d 时焚烧炉烟囱最低允许高度为 60 m,目前生活垃圾焚烧发电项目采用烟囱排放方案时的典型设计烟囱高度为 80 m,因此,烟囱方案下分别预测了 60 m、80 m 高度的污染物的落地浓度。表 4 列出了不同排烟方案下主要污染物的小时

Table 3. Surface parameters for AERMOD

表 3. AERMOD 模型地表参数

地表参数		冬季	春季	夏季	秋季
城市(0°~45°)	地面反照率	0.35	0.14	0.16	0.18
	波文比	1.5	1.0	2.0	2.0
	地面粗糙度	1.0	1.0	1.0	1.0
耕地(45°~280°)	地面反照率	0.6	0.14	0.2	0.18
	波文比	1.5	0.3	0.5	0.7
	地面粗糙度	0.01	0.03	0.2	0.05
水面(280°~360°)	地面反照率	0.2	0.12	0.1	0.14
	波文比	1.5	0.1	0.1	0.1
	地面粗糙度	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

Table 4. Results of parallel calculation for ground concentration from NDCT with flue gas injection and chimneys
表 4. 烟塔排放和烟囱排放污染物落地浓度预测结果比较

项目	污染物	88 m 烟塔方案		60 m 烟囱方案		80 m 烟囱方案	
		预测值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	预测值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	占烟塔结果比例	预测值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	占烟塔结果比例	
小时浓度	SO ₂	4.295	4.108	95.65%	3.970	92.43%	
	NO _x	20.881	19.972	95.65%	19.306	92.46%	
	HCl	5.370	5.135	95.62%	4.965	92.46%	
	CO	5.965	5.705	95.64%	5.515	92.46%	
	PM10	0.455	0.445	97.80%	0.330	72.53%	
日均浓度	SO ₂	1.238	1.213	97.98%	0.895	72.29%	
	NO _x	6.017	5.896	97.99%	4.350	72.30%	
	评价区域最大值	HCl	1.545	1.515	98.06%	1.120	72.49%
		CO	1.715	1.685	98.25%	1.245	72.59%
		PM10	0.033	0.057	172.73%	0.042	127.27%
年均浓度	SO ₂	0.090	0.154	171.11%	0.113	125.56%	
	NO _x	0.435	0.750	172.41%	0.550	126.44%	
	HCl	0.110	0.195	177.27%	0.140	127.27%	
	Hg	1.10E-04	1.95E-04	177.27%	1.40E-04	127.27%	
	二噁英类	2.49E-10	4.29E-10	172.29%	3.13E-10	125.70%	

浓度、日均浓度和年均浓度预测计算结果。

相对于烟囱方案，采用烟塔合一方案时，评价区域各污染物的小时浓度最大值、日均浓度最大值均较高，但年均浓度最大值明显较低，总体规律与崔克强等[5]对华能北京热电厂烟塔合一设计环境影响估算一致。此外，由计算结果可见，随着烟囱设计高度增加，烟塔方案在年均浓度上的优势将会减弱。

4. 环境防护距离的确定

由于大风时在冷却塔下风向可能会产生下洗现象，从而导致局部地面高浓度等不利影响，采用烟塔合一技术电厂项目设置环境防护距离是必要的[6]。但在实际应用中发现德国烟塔合一模式的计算结果存在不稳定性，防护距离可依据冷却塔空腔区尺寸进行设置[6]。

4.1. 空腔区范围测定

本研究采用环境风洞物理模拟实验测定案例工程主导风向时冷却塔下风向空腔区尺寸。实验在国电环境保护研究院环境风洞实验室的双实验段环境风洞第一试验段进行，该实验段宽 3.5 m，高 2.2 m，长 20 m，风速调整范围 0.1 m/s~6.4 m/s。实验现场照片如图 1 所示。

工程所在地历年全年风玫瑰图如图 2 所示，主导风向为 E 风向，实验坐标系中 X 轴正方指向下风向、Z 轴垂直向上、Y 轴垂直于风向。

冷却塔纵向迎风，测得地面空腔区的 X 轴正向长度 183 m、Y 轴最大宽度 80 m，如图 3 所示。其中，X 轴正向约 102 m 位于工程厂界内，厂界外长度约 81 m，Y 轴范围全部位于厂界内。空腔区的水平尺寸通常与塔高呈约两倍关系[4]，本次实验结果符合该一般性规律。



Figure 1. Scene of physical simulation experiment in environmental wind tunnel for the case project
图 1. 案例工程环境风洞物理模拟实验现场

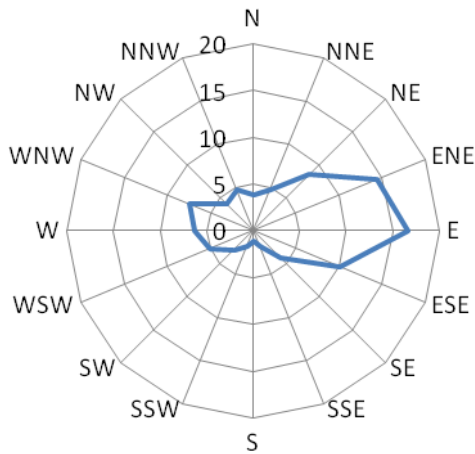


Figure 2. Wind rose for the location of the case project
图 2. 案例工程所在地全年风玫瑰图

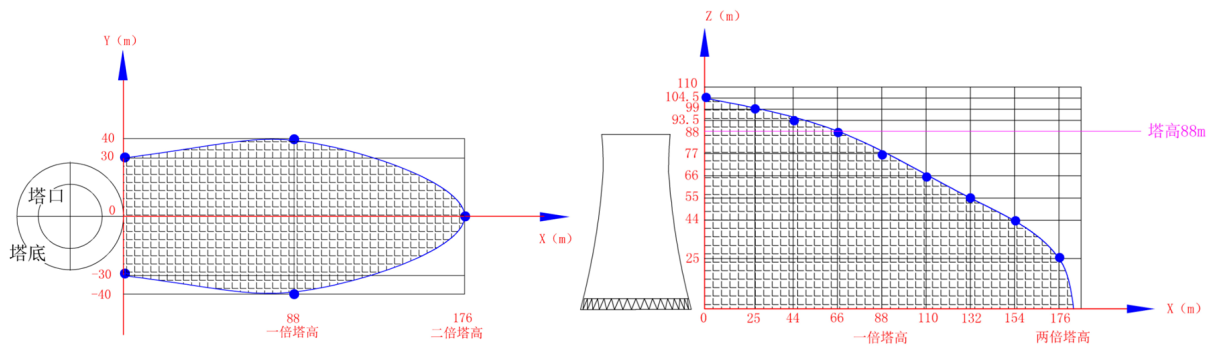


Figure 3. Extent of wake area under the wind direction E
图 3. E 风向空腔区范围

4.2. 环境防护距离

案例工程采用烟塔合一方案时，环境防护距离需综合考虑产业政策要求、空腔区尺寸、大气环境防护距离、卫生防护距离等因素，如表 5 所示，需设置环境防护距离为厂区围墙外 300 m。

Table 5. Atmospheric environmental protection zone of the case project using NDCT with flue gas injection
表 5. 案例工程采用烟塔合一方案的环境防护距离设置

要求	计算方法	计算结果	环境防护距离
冷却塔空腔区	环境风洞物理模拟实验	地面空腔区长度最大值约 183 m, 其中 81 m 在厂界外	
《环境影响评价技术导则大气环境》(HJ2.2-2008) 大气环境防护距离	环保部环境工程评估中心环境质量模拟重点实验室的大气环境防护距离标准计算程序	0 m	
卫生防护距离	《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》(GB/T3840-1991)	垃圾库房外 100 m、渗滤液处理站外 100 m、飞灰固化车间外 100 m	厂区围墙外 300 m
《关于进一步加强生物质发电项目环境影响评价管理工作的通知》(环发[2008]82 号)	新改扩建项目环境防护距离不得小于 300 m	厂区围墙外 300 m	

5. 结论

1) 本研究采用德国 VDI3945 模式和 AERMOD 模式分别计算了烟塔方案和烟囱方案造成的污染物落地浓度。通过计算结果比较, 相对于烟囱方案, 采用烟塔合一方案时, 评价区域各污染物的小时浓度最大值、日均浓度最大值均较高, 但年均浓度最大值明显较低。随着烟囱设计高度增加, 烟塔方案在年均浓度上的优势减弱。

2) 从大气环境影响角度考虑, 不可一概而论烟塔方案与烟囱方案的优劣, 需结合具体工程设计参数、环境、气象等条件进行比选。尤其是垃圾焚烧烟气成分较复杂, 在短时不利气象条件或事故工况下, 烟塔方案的小时浓度和日均浓度高于烟囱方案, 环境风险相对较大。

3) 目前烟塔合一大气环境影响预测采用德国模式, 但由于模式本身的局限, 宜结合环境风洞物理模拟实验的空腔区尺寸综合确定合理的环境防护距离。按我国目前典型的生活垃圾焚烧发电机组所需冷却塔规模考虑, 空腔区尺寸一般不会超过“环发[2008]82 号”要求的“新改扩建项目环境防护距离不得小于 300 m”, 不会因采取烟塔合一方案而增加额外的拆迁需求。

参考文献 (References)

- [1] 时璟丽, 张成. 垃圾焚烧发电技术在我国的应用及发展趋势[J]. 可再生能源, 2005(2): 63-66.
- [2] 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): 106-109.
- [3] 刘翠玲. 电厂烟塔合一技术环境影响评价体系的建立与应用研究[D]. 硕士论文, 大连: 大连理工大学, 2009.
- [4] 莫华, 刘思湄. 燃煤电厂“烟塔合一”技术在环评技术评估中存在的问题与建议[J]. 电力环境保护, 2009(25): 48-50.
- [5] 崔克强, 柴发合. 燃煤发电厂烟塔合一环境影响之二——华能北京热电厂烟塔合一设计环境影响估算[J]. 环境科学研究, 2005(18): 31-34.
- [6] 莫华. 探讨“烟塔合一”技术在环评中大气环境的防护距离[J]. 环境保护科学, 2010(36): 39-41.