

垃圾发电项目大气污染特征及环境影响评价——以江苏省张家港市某垃圾发电项目为例

陈飞^{1,2}, 朱新胜^{1*}, 李杉¹, 高吉喜^{1,2}

(1. 环境保护部南京环境科学研究所, 江苏南京 210042; 2. 南京信息工程大学江苏省大气环境与装备技术协同创新中心, 江苏南京 210044)

摘要 [目的]研究垃圾发电项目的大气污染特征及其对大气环境质量的影响。[方法]以江苏省张家港市某垃圾发电项目为案例,在分析其工艺流程、排污环节和前期污染的基础上,采用 AERMOD 模型定量模拟评价该垃圾发电项目对区域大气环境质量的影响程度。[结果]SO₂、NO₂、HCl、HF、H₂S 和 NH₃ 的小时平均最大落地浓度分别为 7.84、16.53、0.16、0.17、21.23 和 3.61 μg/m³; PM₁₀、SO₂、NO₂、HCl 和 HF 污染物日均最大落地浓度分别为 6.52、0.11、2.84、0.28 和 0.30 μg/m³, 相应占标率分别为 4.35%、0.07%、3.54%、0.19% 和 0.43%; PM₁₀、SO₂ 和 NO₂ 年平均最大落地浓度分别为 0.78、0.21 和 0.44 μg/m³, 占标率分别为 1.12%、0.35% 和 1.10%。[结论]该项目总排放的各污染物对区域年均浓度最大贡献值均可达标。

关键词 垃圾发电项目; 大气污染; AERMOD 模型; 环境影响评价

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)24-044-05

Characteristics and Environmental Impact Assessment of Atmospheric Pollution from Waste Incineration Power Project

— A Case of a Certain Waste Incineration Power Project in Zhangjiagang City of Jiangsu Province

CHEN Fei^{1,2}, ZHU Xin-sheng^{1*}, LI Shan¹ et al (1. Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing, Jiangsu 210042; 2. Jiangsu Collaborative Innovation Center of Atmospheric Environment and Equipment Technology (CICAET), Nanjing, Jiangsu 210044)

Abstract [Objective] To research the characteristics of atmospheric pollution in Waste Incineration Power Project, and its effects on atmospheric environment quality. [Method] With a certain waste incineration power project in Zhangjiagang City of Jiangsu Province as the case, the technological process, the pollutant sources and previous contamination were analyzed. Impact of the solid waste treatment project on regional atmospheric environmental quality was quantitatively predicted and evaluated using the AERMOD model. [Result] The regional hourly average concentrations of SO₂, NO₂, HCl, HF, H₂S and NH₃ were 7.84, 16.53, 0.16, 0.17, 21.23 and 3.61 μg/m³, respectively. The regional daily average concentrations of PM₁₀, SO₂, NO₂, HCl and HF were 6.52, 0.11, 2.84, 0.28 and 0.30 μg/m³; the maximum ratios to standard were 4.35%, 0.07%, 3.54%, 0.19% and 0.43%, respectively. The regional annual average concentrations of PM₁₀, SO₂ and NO₂ were 0.78, 0.21 and 0.44 μg/m³, while the maximum ratios to standard of regional annual average concentration were 1.12%, 0.35% and 1.10%. [Conclusion] The pollutants emitted by the project can meet the annual standard.

Key words Waste incineration power project; Atmospheric pollution; AERMOD model; Environmental assessment

随着我国社会经济飞速发展及城镇化进程的加快,城市生产与生活过程中产生的垃圾废物也迅速增加,其对环境及人类健康的影响也越来越明显。城市生活垃圾的大量增加,使垃圾处理越来越困难,由此带来的环境污染等问题逐渐引起社会各界的广泛关注。目前主要采用垃圾发电等方法来实现城市生活垃圾的产业化、资源化、减量化和无害化,垃圾减量化可使生活垃圾填埋场使用寿命在原来设计年限上大大提高,同时焚烧垃圾后的余热可用于发电,能源的回收及炉渣的综合利用进一步提高了社会效益。然而垃圾发电工业又是重污染行业,垃圾贮存和焚烧过程造成的大气环境污染也备受关注^[1-3]。基于此,笔者以位于江苏省张家港市某垃圾发电项目为案例,利用 AERMOD 模型定量分析垃圾发电项目对周边大气环境质量的影响,旨在为今后垃圾发电项目环境影响评价及污染防治措施等提供理论依据。

1 材料与方

1.1 AERMOD 模型介绍

AERMOD 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、面源和体源等

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。AERMOD 考虑建筑物尾流的影响,即烟羽下洗。该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,目前其已被广泛运用于大气污染预测^[4-9]。AERMOD 具有以下特点:①以行星边界层(PBL)湍流结构及理论为基础,按空气湍流结构和尺度概念,湍流扩散由参数化方程给出,稳定度采用连续参数表示;②中等浮力通量对流条件采用非正态的模式;③考虑了对流条件下浮力烟羽和混合层顶的相互作用;④对简单地形和复杂地形进行了一体化处理;⑤包括处理夜间城市边界层的算法^[9-12]。AERMOD 系统包括 AERMOD 扩散模式、AERMET 气象预处理和 AERMAP 地形预处理模块。AERMET 的边界层参数数据和廓线数据可以由输入的现场观测数据确定,或由输入的国家气象局常规气象资料(地面数据、探空数据)生成。将地面反射率、表面粗糙度等地面特征数据以及风速、风向、温度、云量等气象观测数据输入到 AERMET 中,以 AERMET 计算出行星边界层参数。得到的这些参数同气象观测数据一同传递给 AERMOD 中的 Interface,在 Interface 里通过相似关系求得风速、水平方向和垂直方向的湍流强度、位温梯度、位温和水平拉格朗日时间尺度等变量垂直分布^[10-13]。AERMET 廓线数据和边界层廓线数据经 AERMOD 中的控制文件引用进入 AERMOD

基金项目 中央级公益性科研院所基本科研业务专项资助项目;国家环保公益性行业科研专项(201509020)。

作者简介 陈飞(1985-),男,江苏无锡人,助理研究员,博士,从事大气污染源解析和控制研究。*通讯作者,工程师,博士,从事环境影响评价和污染控制研究。

收稿日期 2016-06-24

系统,计算出相似参数,并对边界层廓线数据进行内插。AERMOD 将平均风速、水平方向及垂直方向湍流量脉动、位温梯度、位温、水平拉格朗日时间尺度等输入扩散模式,并计算出浓度。

1.2 模型参数的选取

1.2.1 地面常规气象数据。地面气象资料采用江苏省张家港市气象站 2010 年全年 8 760 h 的逐时气象场,包括时间(年、月、日、时)、风向(以 16 个方位表示)、风速、干球温度、低云量、总云量共 6 项。风向、风速、干球温度为逐日定时(02:00、08:00、14:00、20:00),低云量、总云量由于观测密度不够为逐日则按 1 d 3 次(08:00、14:00、20:00)。按 AER-MET(气象预处理程序)参数输入格式,采用线性插值生成近地面逐日逐时气象输入文件。

1.2.2 高空气象数据。预测选用 2010 年全年 1 d 2 次(GMT 时间 00:00、12:00)MM5 模拟生成的最近格点的高空气象资料。水平网格分辨率为 27 km×27 km,垂直方向采用地形伴随坐标,从 100~1 000 hPa 共分为 40 层。高空探空数据的提取位置为 117.15° E,34.28° N。该模式采用的原始数

据有地形高度、土地利用、陆地-水体标志、植被组成等数据,数据源主要为美国的 USGS 数据。原始气象数据采用美国国家大气研究中心(NCAR)发布的全球再分析气象资料(NCEP)通过三层嵌套网格 MM5 中尺度气象场模拟得到该地区的风温廓线。

1.2.3 地形参数。地理地形数据参数包括计算区域的海拔高度、土地利用类型。地形数据范围同评价范围,海拔高度由计算区域的遥感图像及数字高程 DEM(美国网站下载的“SRTM 90m Digital Elevation Data”)数据提取,分辨率为 90 m。根据实际土地利用类型,地表参数(反照率、波文比和表面粗糙度)选用相应的参数。

1.2.4 污染源强参数。根据垃圾发电项目工艺及排污分析,该项目大气环境影响预测因子为 PM₁₀、SO₂、NO₂、HCl、HF、NH₃ 和 H₂S。现有项目的污染物排放量和 2 期项目最终投产后的污染物排放总量(2 期建成后排放总量=1 期项目排放+2 期项目新增排放-“以新带老”消减排放)的有组织污染源和无组织污染源参数见表 1、2。

表 1 有组织排放源参数

Table 1 Parameters of organized emission source

项目 Project	点源名称 Name of point source	废气量 Exhausted air quantity m ³ /s	排气筒海拔高度 Altitude of exhaust funnel//m	排气筒高度 Height of exhaust funnel//m	排气筒内径 Diameter of exhaust funnel//m	烟气出口温度 Temperature of smoke outlet //°C	评价因子源强 Source intensity of evaluation factor //g/s						
							PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	HCl	HF	H ₂ S	NH ₃
现有项目排放 Existing project emission	垃圾焚烧烟尘	32.11	11	60	2.77	130	0.770	3.400	5.998	1.440	0.037	—	—
2 期后排放 Emission after stage two	垃圾焚烧烟尘	54.17	11	80	2.77	130	0.490	2.400	5.130	0.050	0.054	—	—

表 2 无组织污染源排放参数

Table 2 Emission parameters of unorganized pollution source

项目 Project	污染源 Pollution source	海拔 Altitude m	面源参数 Parameters of surface source//m			污染物排放量 Pollution emissions//kg/h		
			长度 Length	宽度 Width	高度 Height	PM ₁₀	NH ₃	H ₂ S
现有项目排放 Existing project emission	飞灰固化	11	19.0	12.0	36.0	0.037 0	—	—
2 期后排放 Emission after stage two	垃圾库房	11	46.6	15.0	6.0	—	0.006 8	0.000 7
	废水预处理站	11	20.0	20.0	6.0	—	0.004 4	0.001 2
2 期后排放 Emission after stage two	飞灰固化	11	19.0	12.0	36.0	0.040 0	—	—
	垃圾库房	11	66.6	15.0	6.0	—	0.009 8	0.001 0
	废水预处理站	11	25.0	22.0	6.0	—	0.006 0	0.001 6
	氨水储罐区	11	20.0	10.0	8.0	—	0.002 4	—

1.2.5 评价方案。该项目的大气评价等级为 2 级,环境空气评价范围以为焚烧发电厂烟囱为中心,主导风向为主轴 6 km×8 km 的范围。无组织恶臭影响分析范围为垃圾周围 300 m 范围内。该研究只对项目的污染物浓度进行预测。

2 结果与分析

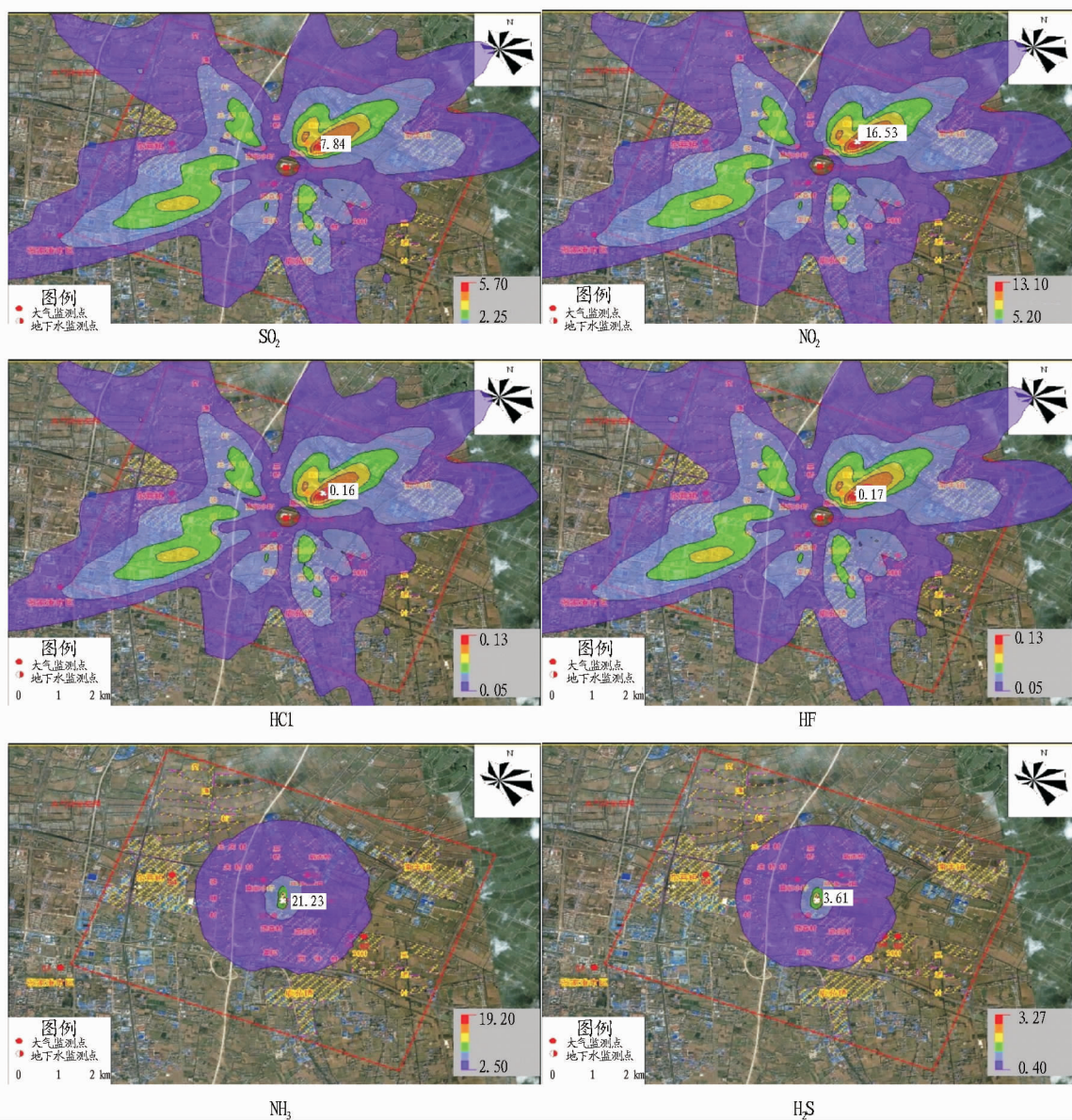
2.1 污染物小时平均浓度分布预测 利用 AERMOD 高斯烟羽模型进行逐次逐时计算,获得全年 8 760 h 预测范围各网格点 2 期项目建成后总排放的各污染物全年逐时的小时平均地面浓度。将各网格点的小时平均浓度进行从大到小排列,得出各污染物最大小时平均浓度(表 3)及出现位置(图

1)。由表 3 可知,2 期项目建成后 SO₂、NO₂、HCl、HF、H₂S 和 NH₃ 的小时平均最大落地浓度分别为 7.84、16.53、0.16、0.17、21.23 和 3.61 μg/m³,相应占标率分别为 1.57%、8.27%、0.33%、0.87%、10.62% 和 36.06%。2 期项目建成后总排放的各污染物对区域小时平均浓度最大贡献值均达标,其中项目排放 H₂S 占标率最大,为 36.06%。对比现有项目排放,2 期建成后的总排放贡献除了 HF、NH₃ 和 H₂S,其余各污染物排放均有不同程度地削减,尤其是 SO₂、NO₂ 和 HCl 削减较为明显,因此 2 期建成后不会对大气环境造成较大影响。

表3 各污染物最大小时平均落地浓度贡献值

Table 3 Contribution value of the maximum hourly average ground concentration of each pollutant

项目 Project	污染物 Pollutant	最大小时浓度贡献值 Contribution value of the maximum hourly concentration// $\mu\text{g}/\text{m}^3$	占标率 Ratio to standard//%	相对于污染源距离 Distance to pollution source//m	最大值出现时间 Occurrence time of the maximum value
现有项目排放 Existing project emission	SO ₂	14.60	2.92	412	2010-12-24 9:00
	NO ₂	25.84	12.92	412	2010-12-24 9:00
	HCl	6.18	12.37	412	2010-12-24 9:00
	HF	0.16	0.79	412	2010-12-24 9:00
	NH ₃	16.12	8.06	15	2010-06-23 1:00
2期后排放 Emission after stage two	H ₂ S	2.59	25.95	35	2010-07-15 3:00
	SO ₂	7.84	1.57	1 057	2010-12-24 9:00
	NO ₂	16.53	8.27	1 057	2010-12-24 9:00
	HCl	0.16	0.33	1 057	2010-12-24 9:00
	HF	0.17	0.87	1 057	2010-12-24 9:00
	NH ₃	21.23	10.62	93	2010-06-23 1:00
	H ₂ S	3.61	36.06	35	2010-07-15 3:00



注:SO₂、NO₂、HCl、HF、NH₃、H₂S 浓度单位均为 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

Note: Unites of SO₂, NO₂, HCl, HF, NH₃ and H₂S were $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

图1 各污染物最大小时平均浓度贡献分布图

Fig.1 Distribution of the maximum hourly average concentration contribution of each pollutant

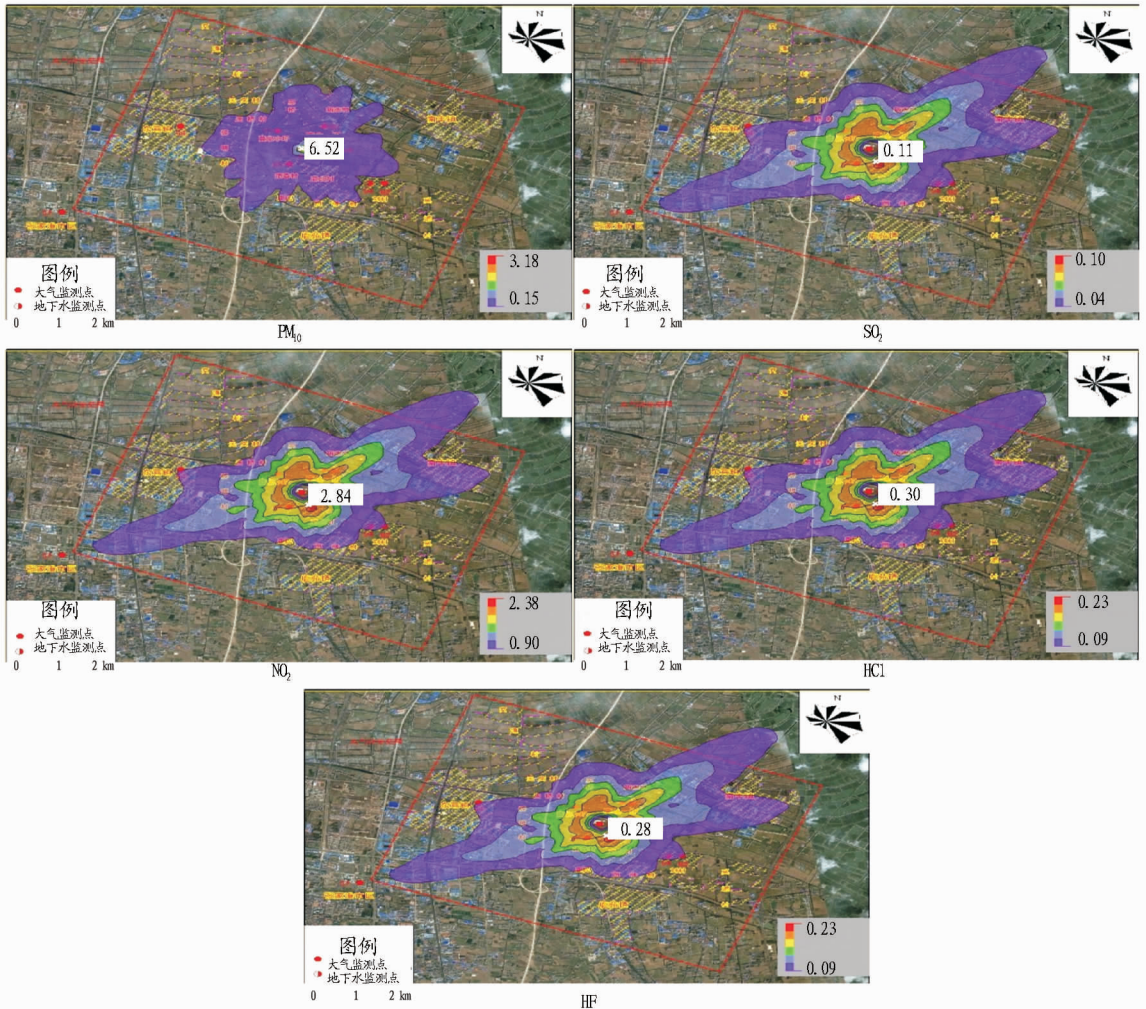
2.2 污染物日平均浓度分布预测 2期项目建成后总排放的各污染物的最大日均浓度及出现位置分别如表4和图2所示。在评价区域内,2期项目建成后PM₁₀、SO₂、NO₂、HCl和HF污染物日均最大落地浓度分别为6.52、0.11、2.84、

0.28和0.30 μg/m³,相应占标率分别为4.35%、0.07%、3.54%、0.19%和0.43%。根据计算结果,2期项目建成后总排放的各污染物对区域日均浓度最大贡献值均可达标。

表4 各污染物最大日平均落地浓度贡献值

Table 4 Contribution value of the maximum daily average ground concentration of each pollutant

项目 Project	污染物 Pollutant	最大日均浓度贡献值 Contribution value of the maximum daily concentration//μg/m ³	占标率 Ratio to standard//%	相对于污染源距离 Distance to pollution source//m	最大值出现日期 Occurrence date of the maximum value
现有项目排放 Existing project emission	PM ₁₀	13.00	8.67	57	2010-01-13
	SO ₂	3.21	2.14	412	2010-05-12
	NO ₂	5.68	7.09	412	2010-05-12
	HCl	1.36	9.06	412	2010-05-12
	HF	0.03	0.50	412	2010-05-12
2期后排放 Emission after stage two	PM ₁₀	6.52	4.35	57	2010-01-13
	SO ₂	0.11	0.07	622	2010-05-12
	NO ₂	2.84	3.54	622	2010-05-12
	HCl	0.28	0.19	622	2010-05-12
	HF	0.30	0.43	622	2010-05-12



注:PM₁₀、SO₂、NO₂、HCl、HF浓度单位均为 μg/m³。

Note: Unites of PM₁₀, SO₂, NO₂, HCl and HF were μg/m³.

图2 各污染物最大日平均浓度贡献分布图

Fig.2 Distribution of the maximum daily average concentration contribution of each pollutant

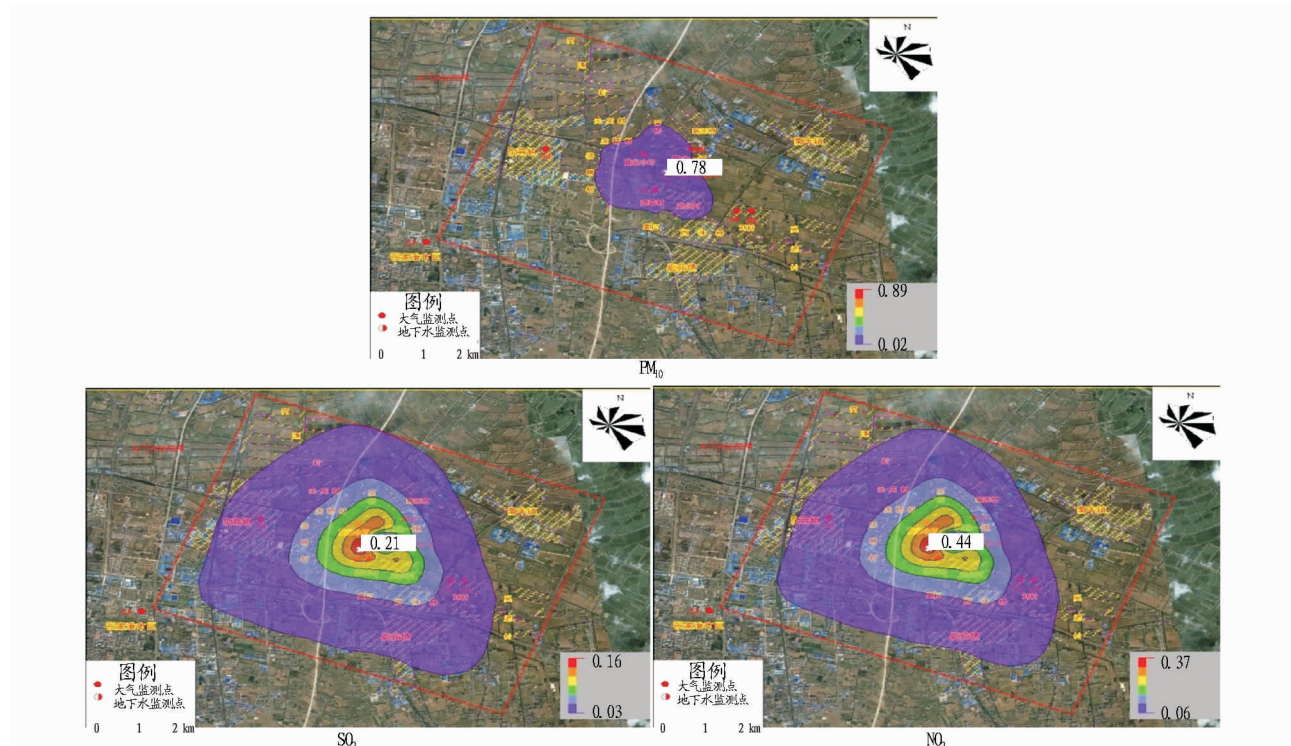
2.3 污染物年平均浓度分布预测 预测范围各网格点2期项目建成后总排放的各污染物的年平均浓度及出现位置分别如表5和图3所示。由表5可知,PM₁₀、SO₂和NO₂年平均最大落地浓度分别为0.78、0.21和0.44 μg/m³,占标率分别

为1.12%、0.35%和1.10%。根据计算结果,项目总排放的各污染物对区域年均浓度最大贡献值均可达标。2期建成后的总排放贡献,SO₂和NO₂均有不同程度地削减,对大气环境具有正效应。

表5 各污染物最大年平均落地浓度贡献值

Table 5 Contribution value of the maximum annual average ground concentration of each pollutant

项目 Project	污染物 Pollutant	最大浓度贡献值 Contribution value of the maximum concentration//μg/m ³	占标率 Ratio to standard//%	相对于污染源距离 Distance to pollution source//m
现有项目排放 Existing project emission	PM ₁₀	0.72	1.03	57
2期后排放 Emission after stage two	SO ₂	0.53	0.88	412
	NO ₂	0.94	2.35	412
2期后排放 Emission after stage two	PM ₁₀	0.78	1.12	57
	SO ₂	0.21	0.35	469
	NO ₂	0.44	1.10	469



注:PM₁₀、SO₂、NO₂浓度单位均为μg/m³。

Note: Unites of PM₁₀、SO₂ and NO₂ were μg/m³.

图3 各污染物最大年平均浓度贡献分布图

Fig.3 Distribution of the maximum annual average concentration contribution of each pollutant

3 结论

以江苏省张家港市某垃圾发电项目大气影响预测为例展开建设项目工程实例研究,在分析其工艺流程和排污环节的基础上,采用AERMOD模型定量预测垃圾发电项目对区域大气环境质量的影响程度。预测结果表明:SO₂、NO₂、HCl、HF、H₂S和NH₃的小时平均最大落地浓度分别为7.84、16.53、0.16、0.17、21.23和3.61 μg/m³,相应占标率分别为1.57%、8.27%、0.33%、0.87%、10.62%和36.06%;PM₁₀、SO₂、NO₂、HCl和HF污染物日均最大落地浓度分别为6.52、0.11、2.84、0.28和0.30 μg/m³,相应占标率分别为4.35%、

0.07%、3.54%、0.19%和0.43%;PM₁₀、SO₂和NO₂年平均最大落地浓度分别为0.78、0.21和0.44 μg/m³,占标率分别为1.12%、0.35%和1.10%。根据结果,项目总排放的各污染物对区域年均浓度最大贡献值均可达标。2期建成后的总排放贡献,SO₂和NO₂均有不同程度地削减,对大气环境具有正效应。

参考文献

- [1] 梁永辉.垃圾发电厂恶臭污染的治理[J].科技与创新,2015(16):82-83.
- [2] 王志强,高攀峰,张春军.浅析垃圾发电厂臭气治理工作[J].绿色科技,2014(9):186-187.

(下转第52页)

5.2 新、扩建污水处理厂及尾水提标 进一步推进城镇生活污水治理,加大南淝河流域污水处理厂及污水管网建设力度,进一步提高污水的收集率和处理率。加大区县和重点镇污水收集处理能力建设,确保到2020年,区县污水处理率达到95%以上。加快城镇污水处理厂提标改造,自2016年起,新建城镇污水处理厂全部按照地表水Ⅳ类(在满足一级A排放标准的基础上,COD浓度为30 mg/L,氨氮浓度为2.5 mg/L,总磷浓度为0.3 mg/L,总氮浓度为10 mg/L)排放标准设计建设,计划现有污水处理厂在2018年底前完成改造。以建制镇、乡集镇和中心村为重点,因地制宜建设低成本、易管理的污水处理设施。

新建、扩建一批污水处理厂,包括主要新建清溪净水厂、于湾污水处理厂,扩建小仓房、肥东县与蔡田铺等污水处理厂,截至2020年,南淝河流域污水处理厂处理规模将增加至约130.5万t/d,出水标准基本按照地表水Ⅳ类,大大降低污染物浓度,这对南淝河水环境的改善至关重要。

5.3 农村面源综合治理 农业治理方面,全流域实施测土配方,推广控失肥,有效控制农田面源污染;积极调整与优化农业产业结构,大力发展生态循环农业,休闲观光农业;农灌沟渠生态化改造,构成多水塘生态系统,调蓄处理圩区农田排灌水,减少入河污染。农村生活污水治理方面,因地制宜,采用“集中和分散处理”相结合的方式处理农村生活废水。将把靠近合肥市辖区或者中心镇的村镇污水纳入城市污水厂集中处理;人口密度较低、水环境容量较大及地处非环境敏感区的村镇,在满足环保要求的前提下,可根据实际条件采用“分散式、低成本、易管理”的处理方式,鼓励采用无动力或微动力污水处理工艺。

5.4 城区初期雨水调蓄与净化 城区初期雨水携带大量污染物,对南淝河水环境影响很大。抓住国家大力推广海绵城市建设的有利时机,充分发挥城市绿地、水系等雨水的消纳、调蓄与净化作用,在蜀山、庐阳、包河、瑶海等沿河城市建成区,选择污染集中和具备控制条件的区域,建设初期雨水收

集、转输与处理设施,实现初期雨水处置与综合利用,有效降低城市径流带来的面源污染,改善南淝河水质。

5.5 支流水环境综合治理 对南淝河流域主要支流四里河、板桥河、关镇河、二十埠河、店埠河和长乐河等实施生态清洁小流域综合整治,率先实现各支流水环境功能区划要求的水质目标,确保支流“一河一策”,在保证行洪安全的前提下,可将主要支流尤其是城市建成区区段打造成兼具景观效果与生态处理功能的复合型河道,有效削减入河污染,促使干流水质稳定达标。

5.6 综合管理措施 继续实施《合肥市落实“河长制”工作责任追究暂行办法》,充分发挥政策优势;加强污水处理厂的运营监管,确保污水厂正常运行,出水稳定达标;管理单位严格落实《合肥市排水管理办法》各项要求,加强城市排水设施的管理与维护,定期开展管网普查,建立长效管理机制;加强农灌站与城市排涝站排水的调度与管理。

6 结语

为深入贯彻《水污染防治行动计划》,切实推进水污染防治工作,确保实现2020年水环境质量阶段性改善目标,保障水环境安全,2016年初,安徽省人民政府与合肥市人民政府签订了《合肥市水污染防治目标责任书》,要求“十三五”期间,2020年南淝河施口国控断面改善至氨氮 ≤ 4 mg/L,其他指标为Ⅴ类。该目标对南淝河治理而言是一个严峻的挑战,须按照“治河先治污,治污先治源”的总体思路,寻污溯源,把南淝河打造成入巢湖的“清水廊道”。

参考文献

- [1] 纪岚. 南淝河环境容量与水质模拟研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2004.
- [2] 许甘芸, 陈俊. 城市河流生态环境修复探讨[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(20): 12323-12324.
- [3] 张龙, 叶少. 南淝河生态治理对策研究[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2008, 8(2): 7-9.
- [4] 尹澄清. 城市面源污染问题: 我国城市化进程的新挑战[J]. 环境科学学报, 2006, 26(7): 1053-1056.
- [5] 袁步先, 张浏, 郑西强, 等. 城市新区初期雨水污染控制技术探讨[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(19): 251-253, 263.
- [6] 宋吉钊. 垃圾发电厂冬季垃圾焚烧总结[J]. 科技与企业, 2013(18): 136-136.
- [7] 伯鑫, 王刚, 田军, 等. AERMOD模型地表参数标准化集成系统研究[J]. 中国环境科学, 2015, 35(9): 2570-2575.
- [8] 马岩, 全纪龙, 潘峰, 等. 焦化项目大气污染特征及环境影响评价[J]. 化工环保, 2014, 34(4): 366-370.
- [9] 江磊, 黄国忠, 吴文军, 等. 美国AERMOD模型与中国大气导则推荐模型点源比较[J]. 环境科学研究, 2007, 20(3): 44-51.
- [10] 李煜婷, 金宜英, 刘富强. AERMOD模型模拟城市生活垃圾焚烧厂二噁英类物质扩散迁移[J]. 中国环境科学, 2013, 33(6): 985-992.
- [11] MICHANOWICZ D R, SHMOOL J L C, TUNNO B J, et al. A hybrid land use regression/AERMOD model for predicting intra-urban variation in $PM_{2.5}$ [J]. Atmospheric environment, 2016, 131: 307-315.
- [12] 孙璐, 蔡娟. AERMOD与EIAA大气预测模型在环境影响评价中的应用比较[J]. 环境污染与防治, 2008, 30(10): 92-95.
- [13] TARTAKOVSKY D, BRODAY D M. Evaluation of AERMOD and CALPUFF for predicting ambient concentrations of total suspended particulate matter (TSP) emissions from a quarry in complex terrain [J]. Environmental pollution, 2013, 179: 138-145.
- [14] VIEIRA DE MELO A M, SANTOS J M, MAVROIDIS I, et al. Modelling of odour dispersion around a pig farm building complex using AERMOD and CALPUFF. Comparison with wind tunnel results [J]. Building and environment, 2012, 56: 8-20.
- [15] O' SHAUGHNESSY P T, ALTMAYER R. Use of AERMOD to determine a hydrogen sulfide emission factor for swine operations by inverse modeling [J]. Atmospheric environment, 2011, 45(27): 4617-4625.
- [16] ROOD A S. Performance evaluation of AERMOD, CALPUFF, and legacy air dispersion models using the Winter Validation Tracer Study dataset [J]. Atmospheric environment, 2014, 89: 707-720.

(上接第48页)