

污水处理厂恶臭烦恼模拟评价及验证

王文美¹, 张妍^{2,3*}, 荆博宇², 张志扬², 杨伟华^{2,3}, 耿静² (1.天津大学环境科学与工程学院, 天津 300350; 2.天津市生态环境科学研究院, 国家环境保护恶臭污染控制重点实验室, 天津 300191; 3.天津迪兰奥特环保科技有限公司, 天津 300191)

摘要: 对某污水处理厂有组织及无组织源进行采样调查, 基于 CALPUFF 模型建立恶臭评价因子, 对恶臭扰民进行判定, 并通过厂界样品检测、现场嗅探监测、居民问卷调查 3 种方式对模型模拟结果进行验证。结果表明, 该污水处理厂在各个方向上的恶臭防护距离为 200~1450m, 周边 8 个居民区可引起恶臭烦恼; 模型模拟得到的臭气浓度及居民烦恼与验证结果一致性较好。

关键词: 空气质量模型; 问卷调查; 恶臭影响质量标准(OIC); 恶臭烦恼; 防护距离

中图分类号: X703.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2022)08-3584-07

Evaluation of odor annoyance from wastewater treatment plant with air dispersion model and its validation. WANG Wen-mei¹, ZHANG Yan^{2,3*}, JING Bo-yu², ZHANG Zhi-yang², YANG Wei-hua^{2,3}, GENG Jing² (1.School of Environmental Science & Engineering, Tianjin University, Tianjin 300350, China; 2.State Environmental Protection Key Laboratory of Odor Pollution Control, Tianjin Academy of Eco-environmental Sciences, Tianjin 300191, China; 3.Tianjin Sinodour Environmental Technology Co., Ltd., Tianjin 300191, China). *China Environmental Science*, 2022,42(8): 3584~3590

Abstract: The odor emission sources were sampled from a wastewater treatment plant, and the odor annoyances were simulated by air dispersion model and validated through plant boundary monitoring, on-site sniffing monitoring and questionnaire survey. The results showed that the separation distances of the wastewater treatment plant were 200~1450m around all directions and its eight surrounding residential areas were detected to have odor annoyance. The results simulated with air dispersion model have good consistency with those from monitoring results and residents' evaluation. This study can provide technical support for standardization of odor pollution evaluation method and odor impact criterion in China.

Key words: air dispersion model; questionnaire survey; OIC; odor annoyance; separation distance

2018 年中国城市污水年排放量为 521.1 亿 m³, 城市污水处理厂数量为 2321 座, 较 2017 年增加 112 座^[1]。污水处理厂内部排污节点多, 而这些排污节点多数为面源污染, 其管理及收集处理大多不到位导致恶臭污染严重。并且, 一般污水处理厂建设年限较早且规划时距离城市较远, 但随着城市的扩张, 周边不乏有大规模或高档居住区, 其恶臭污染直接导致与周边居民的矛盾激化引发投诉, 不利于社会的安定和谐^[2]。

目前, 我国城镇污水恶臭管理主要依据《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)^[3]、《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93)^[4]、《城镇污水处理厂臭气处理技术规程》(CJJT 243-2016)^[5]等, 这些标准政策从排放源及厂界排放限值、恶臭处理设施设计、污水厂内部设施管理等角度来对城镇污水处理厂进行管理。但对于恶臭扰民事件, 涉及到敏感点的恶臭污染状况, 需考虑敏感点进一步判定恶臭

污染的环境影响^[6]。

欧洲、加拿大、澳大利亚等发达国家和地区的恶臭影响评价导则中推荐了 CALPUFF 作为恶臭法规模型, 并分别验证了其在恶臭污染扩散模拟评价中的有效性。CALPUFF 为拉格朗日烟团模型, 可应用于非稳态及非均匀的气象流场。Sironi 等^[7]在调查了意大利北部 4 个炼油厂恶臭排放的基础上, 对比 CALPUFF 模型模拟结果及恶臭问卷调查结果, 显示其恶臭发生频次的一致性可达 86.5%; Laura 等^[8]对比了 CALPUFF 模拟和现场监测的恶臭发生频率, 同样显示两者有较好的一致性。

我国环境影响评价主要依据《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018)^[9], 其中推荐的中小尺度空气质量模型包括 CALPUFF 模型, 但导则中缺

收稿日期: 2022-01-29

基金项目: 天津市科技计划项目(20JCZDJC00530)

* 责任作者, 高级工程师, zhangyan_510@126.com

少恶臭评价因子相关规定,对于模型的可靠性及适用性方面研究仍较为欠缺.并且,对于环境敏感区来说,我国也缺少相应的恶臭质量标准(OIC)来评判恶臭扰民情况^[10].我国恶臭评价方法与质量管理目标的缺失造成无法科学评价污染的影响程度和影响范围,也无法确定合理的安全防护距离,严重影响建设项目的科学选址与污染防控.

基于此,本研究对某污水处理厂点源、面源等所有排放源进行采样监测,基于恶臭污染为感官污染且具有瞬时性特点,应用 CALPUFF 模型建立恶臭评价因子,基于德国 OIC 模拟并计算某污水厂恶臭防护距离及对周边居民区的扰民影响.在此基础上,利用周界样品检测、现场嗅探监测、居民问卷调查 3 种方式,验证模型模拟结果的可靠性.

1 材料与方法

1.1 污水处理厂简介

该污水处理厂占地面积约 29.5 万 m²,设计处理能力为 40 万 m³/d,收水面积为 7441hm²,服务人口约 111 万人,工厂企业约 730 家.该污水处理厂的臭气来源有格栅、沉砂池、初级池、曝气池、二级池和污泥脱水间,其中,格栅和污泥脱水间的气体通过烟囱收集并采用等离子工艺处理.

1.2 污染源监测方法

调查某污水厂的恶臭源排放节点,细格栅和污泥脱水间排放筒作为点源,采用 SOC-01 型采样装置在采样点进行“肺法”取样(天津迪兰奥特环保科技有限公司),采用便携式烟气含湿量检测仪测量烟气出口温度及速度(青岛明华电子仪器有限公司);沉砂池、初沉池、曝气池、二沉池作为面源,采用自主研发的风洞法采样器进行采样,该采样器的设计依据德国 VDI 3880 标准^[11-12].

采样集中在 2018 年 5~7 月春夏季,每个设施分别采集 6 次,采集时间跨越 08:00~18:00 不同时段.为避免采样袋本底 VOCs 干扰,采样前用样品气体将采样袋清洗 2 次.采样完成后在 24h 内将所有样品送往实验室进行分析.利用三点比较式臭袋法^[13]计算臭气浓度.

1.3 模型方法

1.3.1 源恶臭排放率 点源和面源恶臭排放率的计算方法^[14]分别如公式(1)、(2)所示.

$$Q_1 = C \cdot V \quad (1)$$

$$Q_2 = \frac{C \cdot L}{S_1} S \quad (2)$$

式中: Q_1 为点源恶臭排放率,OU/s; C 为臭气浓度,OU/m³; V 为烟气出口速率,m³/s; Q_2 为面源恶臭排放率,OU/s; L 为出口风量,m³/s; S_1 为风洞表面积,m²; S 为设施总面积,m².

我国的臭气浓度单位是无量纲,欧洲及澳洲等很多国家和地区使用 OU/m³ 作为臭气浓度单位,而这 2 个单位都表示是稀释到嗅觉阈值的稀释倍数^[15],所以其代表的物理含义一致.为方便计算,将臭气浓度单位设定为 OU/m³.

1.3.2 空气质量模型 CALPUFF 模型是美国 EPA 支持开发并推荐的,为非稳态三维拉格朗日烟团模式,可利用三维气象场模拟排放源大气污染物的传输、扩散、干湿沉降等过程^[16-17],不同国家和地区推荐使用该模型进行气味扩散的模拟^[18-19],该模型是我国大气环境影响评价导则中推荐的法规模型.其中,烟团污染物浓度到环境点浓度如公式(3)、(4)所示.

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z} g \exp\left(-\frac{d_a^2}{2\sigma_x^2}\right) \exp\left(-\frac{d_c^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (3)$$

$$g = \frac{2}{(2\pi)^{1/2} \sigma_z} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp\left[-(H_c + 2nh)^2 / (2\sigma_z^2)\right] \quad (4)$$

式中: C 为地面臭气浓度,OU/m³; Q 是烟团中恶臭源强,OU/s; σ_x 是烟团中顺风方向高斯分布的标准偏差,m; σ_y 为侧风方向高斯分布的标准偏差,m; σ_z 为垂直方向高斯分布的标准偏差,m; d_a 为顺风方向上烟团中心到环境点的距离,m; d_c 为侧风方向上烟团中心到环境点的距离,m; g 是高斯方程的垂直项,m⁻¹; H_c 为烟团中心点到地面的有效高度,m; h 为混合层高度,m.

1.3.3 气象数据 采用气象数值模式 WRF 生成气象数据作为输入数据^[20-21],该数据为 2018 年全年小时数据,其精度为 1km,包括风向、风速、气压、温度、相对湿度、总云量和低云量.距地面 10m 垂直高度下,该污水厂所在地 2018 年主导风向为南(S)及西北(WN),全年年均风速为 3.71m/s,静风频率(风速小于 0.5m/s)为 1.61%,约 141h,其风玫瑰图如图 1 所示.

1.3.4 其它参数 根据环评导则规定和模型特点,确定预测范围为以细格栅排气筒为中心点,边长为 32km 的矩形区域.为了准确描述各污染源及敏感点的位置,定量污染程度,对评价区域进行嵌套网格处

理,其中最小网格为 50m×50m。

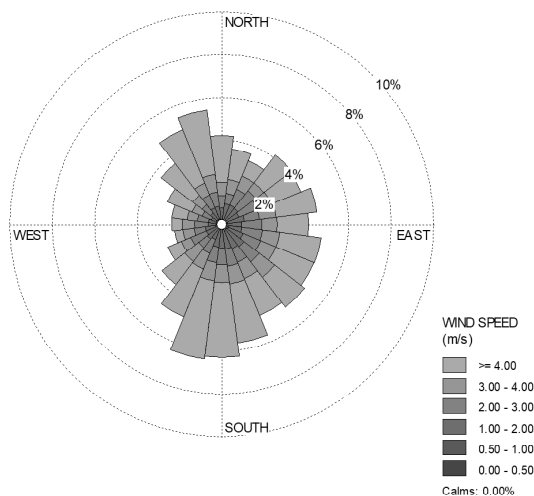


图 1 2018 年天津风玫瑰
Fig.1 Wind rose of Tianjin in 2018

模拟计算区域包括居民区和工业区,采用 1km 精度的 GLCC 格式数据对土地利用类型进行分析;并且,考虑复杂地形对空气扩散的影响,采用 90m 精度的 SRTM 格式数据对地形进行分析。

1.3.5 恶臭防护距离判定 利用空气质量模型模拟恶臭影响,若进一步确定恶臭防护距离,需结合恶臭影响质量标准(OIC)^[22]。我国只有恶臭排放标准,环境质量标准制定主要考虑的是健康风险,缺乏针对恶臭感官扰民风险的质量标准。

国外 OIC 一般是利用臭气浓度+恶臭发生频率的方式^[23]。德国对于其居民区及混合区制定 OIC 为 $C = 10\text{OU}/\text{m}^3$, $P = 90\%$,其中, C 为臭气浓度; P 为可接受的恶臭发生频率,即全年超过臭气浓度 $10\text{OU}/\text{m}^3$ 的频率大于 10%即为超标^[24];除此之外,利用峰/均值因子 $F=4$ 将利用空气质量模型得到的 1h 平均环境臭气浓度转化为瞬时峰值浓度,使得符合恶臭污染发生瞬时性特点^[25]。本研究引用德国 OIC 计算恶臭防护距离,判定居民是否受污水恶臭烦恼。

1.4 模型验证方法

1.4.1 厂界采样监测 采样集中在 2018 年 5~6 月春夏季,按照《恶臭污染环境监测技术规范》(HJ 905-2017)^[26]的方法进行采样,采样点位如图 2 所示。当感受到恶臭污染发生事件时,采用无动力瞬时采样瓶取样(天津迪兰奥特环保科技有限公司),共采集样品 2 个。采样完成后在 24h 内将所有样品送往实验室进行分析。利用三点比较式臭袋法^[13]计算臭气浓度。

1.4.2 敏感点现场嗅探监测 现场监测评估区为从周界边缘至评估区域外边界的距离为 1000m 的圆形区域。监测区域细化为边长为 250m 的网格,每个网格为正方形,每个网格的 4 个角作为恶臭敏感点位,监测点位如图 2 所示。在规定的网格点位,基于臭气强度对恶臭影响特征进行记录描述。评估人员在指定点位测量 10min,每 10s 记录 1 次,感知恶臭的情况^[27]。嗅探监测集中在 2018 年 7 月,每个点位共监测 6 次。其中臭气强度利用日本 6 级强度表示法表示,具体为:0 级-无臭;1 级-刚好能感觉到臭气,不能确定;2 级-微弱的臭气,能确定;3 级-明显的臭气;4 级-强烈的臭气;5 级-非常强烈的臭气。

为验证空气质量模型模拟结果,将臭气强度转化为臭气浓度。其中浓度强度的关系式引用耿静等^[28]对恶臭污染所有典型行业的 679 个样品臭气强度和臭气浓度的测试结果,如公式(5)所示。

$$I = 0.5893 \ln C - 0.7877 \quad R^2 = 0.99965 \quad (5)$$

式中: I 为臭气强度; C 为臭气浓度,是将气体稀释到嗅觉阈值的稀释倍数。

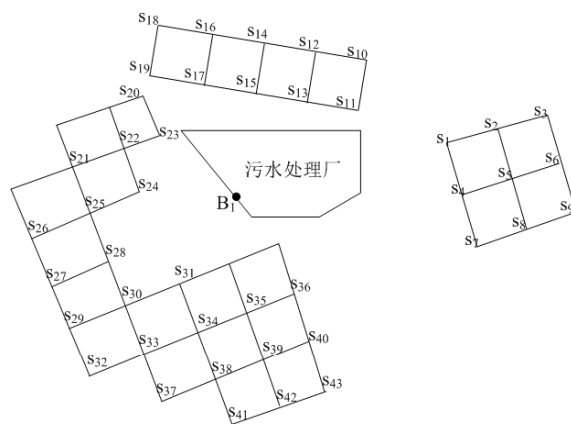


图 2 污水处理厂厂界监测点 B 及居民区现场监测点位 $S_1 \sim S_{43}$ 分布

Fig.2 Monitoring point (B_1) from the boundary of wastewater treatment plant and measurement points ($S_1 \sim S_{43}$) from residential areas

1.4.3 居民问卷调查 人群对该污水处理厂恶臭干扰进行问卷调查^[29-31]。调查问卷内容包括两个部分,第一部分为一般性社会人口数据,包括年龄、性别、住址、本小区居住时间,第二部分为环境压力因素调查,包括居住环境满意度以及污染源调查,如噪声、交通、餐饮、垃圾、污水等。若污染源有污水,问卷调查还包括:臭气强度等级,具体分级与现场

监测一致;恶臭干扰等级,具体为:0 级-无干扰;1 级-轻微干扰;2 级-一般干扰;3 级-严重干扰;4 级-非常严重的干扰.将恶臭干扰等级 2~4 级作为受到恶臭干扰,计算人群受恶臭干扰比例,进行恶臭烦恼评价.

问卷调查时间为 2018 年 7 月,采取面对面调查方式,对该污水厂周边 1.1km 范围内共计 17 个小区居民进行调查,如图 3 所示.由于污水厂北侧 500m 外无居民,无法继续进行人群效应的调查.

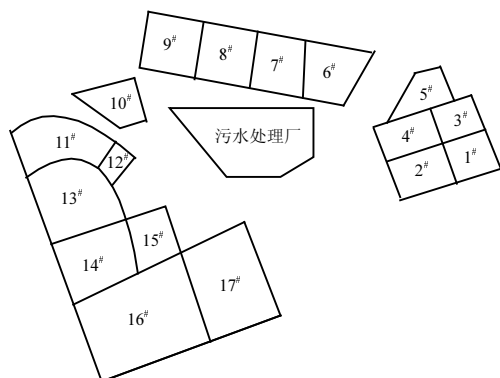


图 3 污水处理厂周边问卷调查居民区 1[#]~17[#]分布

Fig.3 Distribution of seventeen surrounding residential areas (1[#]~17[#]) from the wastewater treatment plant

2 结果与分析

2.1 污染源源强参数对模拟结果的影响

污水处理厂的主要工艺包括预处理、生物处理和深度处理工艺.其中生物处理及深度处理整体臭气排放相对预处理阶段较少.因此,分别模拟污水处理厂全部恶臭发生源、除二沉池的恶臭发生源、除曝气池和二沉池的恶臭发生源,模拟对周边环境的影响变化,如图 4 所示.

由图 4 可以看出,对比有无二沉池模拟前后,其对周边的影响程度及影响范围基本上没有变化;对比有无曝气池、二沉池模拟前后,其对周边的影响程度及影响范围明显降低了.其中,曝气池、二沉池的单位面积恶臭排放率分别为 $6876, 1224 \text{ OU}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,且曝气池的总体面积(18500 m^2)为二沉池总体面积(2400 m^2)的 7.7 倍,相对较高恶臭排放速率使曝气池对周边敏感点的恶臭排放贡献较大,而二沉池相反.Frechen^[32]在 1994~2003 年间对德国不同规模、不同处理技术、不同工厂设计和不同操作条件的污水厂进行调查并对其各个恶臭排放环节的恶臭源强进行测量,结果表明,在德国 13 个污水厂中,其曝气池的平均单位面积恶臭

排放速率为 $510 \text{ OU}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,最高单位面积恶臭排放速率为 $2113 \text{ OU}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; Dinçer 等^[33]于 2018 年对土耳其伊兹密尔城污水处理厂进行采样,该污水厂处理的污水为混合生活废水和预处理工业废水,处理能力为 $60 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,其曝气池单位面积恶臭排放速率高达 $45720 \text{ OU}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,不同地域、不同类型污水厂之间曝气池单位面积恶臭排放速率差距较大,但总体来说恶臭排放速率均不低.综上所述,进行污水处理厂的评价及管控时,不止要关注恶臭较高的粗格栅、细格栅及沉砂池这些预处理阶段,还要关注易被忽略的生物处理阶段(如曝气池).特别是城镇污水厂处于敏感地区时,其生物处理需进行加盖封闭和微负压收集等措施,将臭气集中收集后处理.

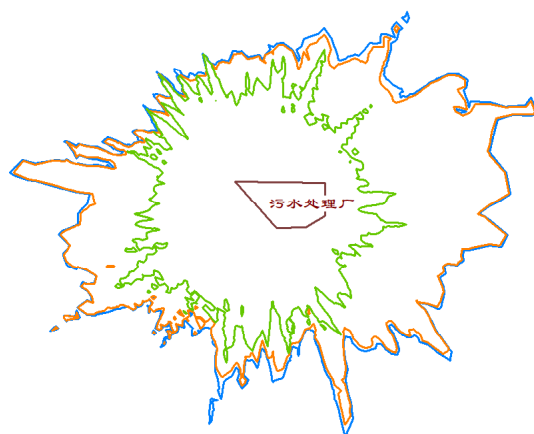


图 4 基于全年小时最大臭气浓度,污水处理厂全部恶臭源、除二沉池的恶臭源、除曝气池和二沉池的恶臭源对周边的影响
Fig.4 Environmental impact emitted from all odor sources, all odor sources expect for secondary sedimentation tank, all odor sources expect for aeration and secondary sedimentation tank of the wastewater treatment plant, based on the maximum odor concentration of one-hour value in the whole year

——全部恶臭源 ——除二沉池的恶臭源 ——除曝气池和二沉池的恶臭源

2.2 模型模拟评价

利用 CALPUFF 模型模拟污水处理厂全部污染源的全年小时臭气浓度,结合德国 OIC 判定居民是否受污水恶臭烦恼,如图 5 所示.进一步以风向角度表示方向,以 10° 为增量总结污水厂不同方向的影响距离如图 6 所示.

由图 5 可知,对于污水厂东侧 1[#]~5[#]居民区,恶臭发生频率均低于 10%,基本不受污水厂恶臭烦恼;对于污水厂北侧 6[#]~9[#]居民区,恶臭发生频率大多居于 15%~50%,受恶臭烦恼较为严重;对于其西侧及西南

侧 10[#]~17[#]居民区,10[#]、12[#]、15[#]、17[#]居民区恶臭发生频率均在 10%以上,受污水厂恶臭烦恼,11[#]、13[#]、14[#]、16[#]均有一小部分居民受到恶臭烦恼.总体来说,6[#]~10[#]、12[#]、15[#]、17[#]居民区均处于恶臭防护距离范围内,均受到恶臭烦恼;11[#]、13[#]、14[#]、16[#]居民区一小部分区域属于恶臭防护距离之内,可受到恶臭烦恼;1[#]~5[#]居民区不受恶臭烦恼.

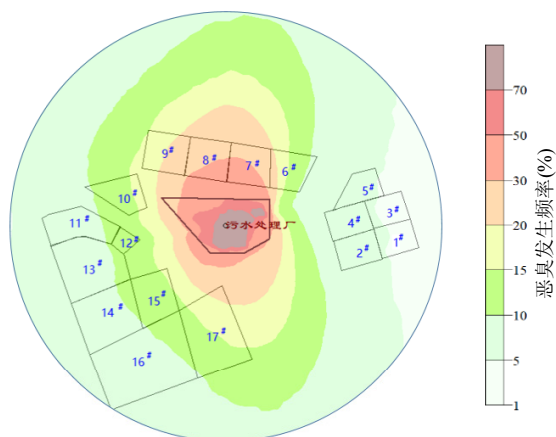


图 5 基于德国恶臭影响质量标准的污水处理厂及周边全年恶臭发生频率

Fig. 5 Odor frequency of a whole year basing on Germany odor impact criteria in the wastewater treatment plant and its surroundings

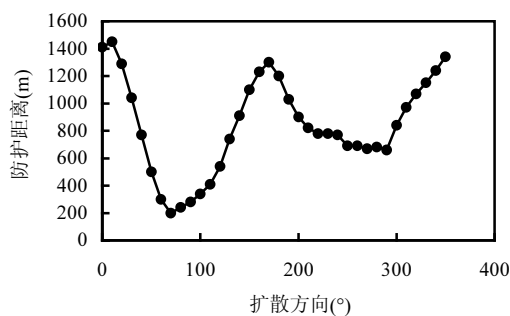


图 6 基于德国恶臭影响质量标准的污水处理厂不同方向防护距离

Fig. 6 Direction-dependent separation distances of the wastewater treatment plant basing on Germany odor impact criteria

由图 6 可知,该污水处理厂在各个方向上的恶臭防护距离在 200~1450m 之间,其中北侧和南侧受恶臭影响距离最远,其防护距离超过 1200m,而东侧受恶臭影响距离最近,最近仅为 200m.由图 1 风玫瑰图可知,全年的盛行风为南及西北风,全年风向频率最低为东风,防护距离远近与风向密切相关^[34].

2.3 模型验证

2.3.1 监测验证

分别利用敏感点臭气强度现场嗅探监测和周界臭气浓度监测进行验证.本研究对周界进行臭气浓度监测,说明模型模拟的可靠性.采样期间,共 2 次在厂界 B₁ 监测点闻到气味并进行采样测试,2 次监测臭气浓度分别 131、42.模型模拟监测时刻厂界 B₁ 监测点的臭气浓度小时值,耦合德国峰/均值因子得到模拟臭气浓度瞬时值,分别为 88、32,模拟结果与厂界监测结果在数量级上基本一致.

为进一步验证恶臭污染模拟结果的准确性,进行现场嗅探监测,对比相同时间相同点的预测数据与嗅探监测数据.此次监测在 S₁₁、S₁₃、S₁₅、S₂₃ 4 个点位发现有来自污水处理厂的恶臭事件,嗅探到的最大臭气强度分别为 2.5 级、3 级、2 级、3 级.利用公式 5,将现场监测臭气强度转换成臭气浓度, S₁₁、S₁₃、S₁₅、S₂₃ 转换后的臭气浓度分别为 265、671、113、671.

模型模拟嗅探监测时刻 S₁₁、S₁₃、S₁₅、S₂₃ 嗅探监测点的臭气浓度小时值,耦合德国峰/均值因子得到模拟臭气浓度瞬时值,分别为 232、236、164、296,模拟结果与现场嗅探监测结果在数量级上基本一致.

2.3.2 居民问卷调查

调查共得到 189 份有效问卷,其中被调查人员包括女性 91 人、男性 98 人,约 36%调查者的年龄在 18~45 周岁之间,约 64%调查者的年龄在 45 周岁以上.115 位调查者在所住小区居住时间少于 5 年,35 位调查者在所住小区居住时间在 5~10 年之间,39 位调查者在所住小区居住时间超过 10 年.除了污水气味,13 名被调查者认为受到噪声影响,21 名被调查者认为受到垃圾气味等其他环境压力因素的影响.

由表 1 可知,对于污水厂东侧 1[#]~5[#]居民区,平均臭气强度等级为 0 且不受恶臭干扰;对于污水厂北侧 6[#]~9[#]居民区,臭气强度等级为 2.5 以上,可闻到较为明显的污水气味,恶臭干扰比例为 33%~75%,受恶臭烦恼较为严重;对于其西侧及西南侧 10[#]~17[#]居民区,10[#]、11[#]、12[#]、15[#]、17[#]居民区平均臭气强度等级为 1.4~3.0,恶臭干扰比例 29%~63%,均受到恶臭烦恼,16[#]居民区不受到恶臭干扰,13[#]、14[#]居民区平均臭气强度等级仅为 0.8,气味较微弱,恶臭干扰比例仅为 10%,这 2 个小区问卷调查份数均为 10 份,恶臭烦恼比例均为 10%,说明仅有一人感受到污水厂的气味并对其产生干扰.总体来说,1[#]~5[#]、16[#]居民区均

不受污水厂恶臭烦恼,6[#]~12[#]、15[#]、17[#]居民区受到恶臭烦恼较为严重,13[#]、14[#]居民区可能有部分居民受到恶臭烦恼.总体来说,17个居民区中16个居民区的调查问卷结果与模型模拟均较为一致,说明模型模拟结果可信度较高.

表 1 被调查居民区的问卷份数、平均臭气强度等级以及恶臭干扰比例

Table 1 The questionnaire number, averaged odor intensity and percentage of odor annoyance by respondents in investigated residential areas

居民区编号	问卷数(份)	平均臭气强度等级	恶臭烦恼比例(%)
1 [#]	10	0	0
2 [#]	9	0	0
3 [#]	10	0	0
4 [#]	11	0	0
5 [#]	12	0	0
6 [#]	10	2.8	75
7 [#]	10	2.5	33
8 [#]	12	2.8	64
9 [#]	13	3.0	45
10 [#]	11	3.0	63
11 [#]	11	2.4	55
12 [#]	12	2.1	44
13 [#]	10	0.8	10
14 [#]	10	0.8	10
15 [#]	12	2.5	50
16 [#]	11	0.7	0
17 [#]	15	1.4	29

不同的面源源强估算方法、气象数据、空气质量模型、OIC_s等均会导致不同的恶臭污染影响结果,如 Brancher 等^[35]利用德国、英国爱尔兰、澳大利亚昆士兰州的 OIC 进行防护距离对比分析,发现不同的 OIC_s在主导风向上恶臭防护距离有所差距.因此,随着恶臭扰民问题愈发突出,亟需研究适合我国恶臭源、人群敏感性、地域特点等的恶臭污染模拟评价方法及恶臭质量标准,为建设项目设置合理恶臭防护距离、恶臭扰民评价提供管理支撑.

2.4 不确定性分析

2.4.1 面源恶臭排放速率计算存在不确定性 本研究针对污水面源恶臭排放速率,采用的方法为德国的标准方法——风洞采样法.面源源强采样估算方法主要包括风洞法、通量箱法和静态箱法^[36],这3种方法均是将采样装置置于面源表面,罩住一定的表面积,以一定速率向采样器内通入载气使其与面源挥发的污染物均匀混合,然后再排气进行采样的

一种方法.但是由于每分钟通入载气的体积不同,其箱体的形状不同等,可得到不同的恶臭源排放速率,均会导致恶臭源排放速率结果与实际结果有一定误差;并且,国标方法《空气质量 恶臭的测定 三点比较式臭袋法》(GB/T 14675-1993)^[13]为6名嗅辨员嗅辨得到臭气浓度,嗅辨员的嗅觉敏感度不同可能会导致一定的差异;此外,输入的恶臭污染源排放速率采用2018年5~7月6次实际监测值,不能完全代表该污水处理厂长期的恶臭排放量.

2.4.2 模型模拟存在不确定性 本研究利用 WRF 模型计算气象数据,CALPUFF 模型模拟环境恶臭影响.由于模型模拟本身在参数选取、模型计算等方面具有一定不确定性,会对模拟结果带来影响^[37].

2.4.3 受体人群不确定性 本研究利用189份居民调查问卷验证居民受到的恶臭影响,这与调查人群的年龄、居住时间、对污水气味敏感度、健康状况等情况有关,调查人群的样本不能完全代表住在污水厂周边所有人群的受污水干扰状况.

3 结论

3.1 城镇污水处理厂生物处理阶段对周边有一定恶臭影响,因此,在进行污水处理厂评价或管控时,应尽可能考虑所有产臭单元对周边的影响.若城镇污水厂处于敏感地区时,其污水生物处理过程需进行加盖封闭和微负压收集等措施,将臭气集中收集后处理.

3.2 模型模拟结果表明,该污水处理厂在各个方向上的恶臭防护距离为200~1450m,防护距离远近与风向密切相关.对于居民区来说,6[#]~10[#]、12[#]、15[#]、17[#]居民均受到恶臭烦恼;11[#]、13[#]、14[#]、16[#]居民区一小部分区域受到恶臭烦恼;1[#]~5[#]居民区不受恶臭烦恼.

3.3 通过周界样品检测、现场嗅探监测比对模型模拟的臭气浓度结果,模拟结果与监测结果较为一致;通过居民问卷调查比对模型模拟结果,模型模拟的恶臭扰民结果较好,可信度较高;并且,随着恶臭扰民问题愈发突出,亟需研究适合我国恶臭源、人群敏感性、地域特点等的恶臭污染模拟评价方法及恶臭质量标准,为建设项目设置合理恶臭防护距离、恶臭扰民评价提供管理支撑.

参考文献:

[1] 李 娟,李金香,杨妍妍.城镇污水处理厂污泥泥质监测及资源化风险评估[J]. 环境科学, 2011,42(4):1956-1966.

- Li J, Li J X, Yang Y Y. Characteristics of sludge and associated risk assessment of urban sewage treatment plants [J]. *Environmental Science*, 2011,42(4):1956–1966.
- [2] 唐小东,王伯光,赵德骏,等.城市污水处理厂的挥发性恶臭有机物组成及来源 [J]. *中国环境科学*, 2011,31(4):576–583.
- Tang X D, Wang B G, Zhao D J, et al. Sources and components of MVOC from a municipal sewage treatment plant [J]. *China Environmental Science*, 2011,31(4):576–583.
- [3] GB 18918–2002 城镇污水处理厂污染物排放标准 [S].
- GB 18918–2002 Discharge standard of pollutants for municipal wastewater treatment plant [S].
- [4] GB 14554–93 恶臭污染物排放标准 [S].
- GB 14554–93 Emission standards for odor pollutants [S].
- [5] CJJT 243–2016 城镇污水处理厂臭气处理技术规程 [S].
- CJJT 243–2016 Technical specification for odor control of municipal wastewater treatment plant [S].
- [6] IAQM. Guidance on the assessment of odour for planning v1.1 [EB/OL]. <http://www.iaqm.co.uk/text/guidance/odour-guidance-2014.pdf>.
- [7] Sironi S, Capelli L, Centola P, et al. Odour impact assessment by means of dynamic olfactometry, dispersion modelling and social participation [J]. *Atmospheric Environment*, 2010,44(3):354–360.
- [8] Laura R, Barausse A, Mantovani A, et al. A comparison of methods for the assessment of odor impacts on air quality: Field inspection (VDI 3940) and the air dispersion model CALPUFF [J]. *Atmospheric Environment*, 2012,61(8):570–579.
- [9] HJ2.2–2018 环境影响评价技术导则 大气环境 [S].
- HJ2.2–2018 Technical guidelines for environmental impact assessment—Atmospheric environment [S].
- [10] Zhang Y, Yang W H, Schauburger G, et al. Determination of dose–response relationship to derive odor impact criteria for a wastewater treatment plant [J]. *Atmosphere*, 2021,12:371–383.
- [11] VDI3880Olfactometry Static sampling [S].
- [12] 王 亘,张 妍,张 超,等.垃圾填埋场恶臭污染对感官影响的评价研究 [J]. *农业工程学报*, 2019,35(12):232–238.
- Wang G, Zhang Y, Zhang C, et al. Sense assessment of odor pollution from landfill [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019,35(12):232–238.
- [13] GB/T 14675–1993 空气质量恶臭的测定三点比较式臭袋法 [S].
- GB/T 14675–1993 Air quality—Determination of odor—Triangle odor bag method [S].
- [14] Zhang Y, Ning X Y, Li Y H, et al. Impact assessment of odor nuisance, health risk and variation originating from the landfill surface [J]. *Waste Management*, 2021,126:771–780.
- [15] BS EN 13725:2003Air quality –Determination of odour concentration by dynamic olfactometry [S].
- [16] 王 露,毕晓辉,刘保双,等.基于 CALPUFF–CMB 复合模型的燃煤源精细化来源解析 [J]. *中国环境科学*, 2018,38(8):2911–2920.
- Wang L, Bi X H, Liu B S, et al. Refined source apportionment of coal–combustion source based on CALPUFF–CMB models [J]. *China Environmental Science*, 2018,38(8):2911–2920.
- [17] 孙博飞,伯 鑫,张尚宣,等.钢厂烧结机烟气排放对土壤二噁英浓度的影响 [J]. *中国环境科学*, 2017,37(11):4222–4229.
- Sun B F, Bo X, Zhang S X, et al. Effect of exhaust gas from sintering machines on the concentration of dioxin in soil around a steel plant [J]. *China Environmental Science*, 2017,37(11):4222–4229.
- [18] Laura C, Sironi S, Rosso R D, et al. Measuring odours in the environment vs. dispersion modelling: A review [J]. *Atmospheric Environment*, 2013,79:731–743.
- [19] Leonardo H, Franco D, Lisboa H M. Comparison of plume lateral dispersion coefficients schemes: Effect of averaging time [J]. *Atmospheric Pollution Research*, 2016,7(1):134–141.
- [20] Laura C, Sironi S. Combination of field inspection and dispersion modelling to estimate odour emissions from an Italian landfill [J]. *Atmospheric Environment*, 2018,191:273–290.
- [21] Chemel C, Riesenmey C, Batton–Hubert M, et al. Odour–impact assessment around a landfill site from weather–type classification, complaint inventory and numerical simulation [J]. *Journal of Environmental Management*, 2012,93(1):85–94.
- [22] Brancher M, Griffiths K D, Franco D, et al. A review of odour impact criteria in selected countries around the world [J]. *Chemosphere*, 2017,168:1531–1570.
- [23] Sommer–Quabach E, Piringer M, Petz E, et al. Comparability of separation distances between odour sources and residential areas determined by various national odour impact criteria [J]. *Atmospheric Environment*, 2014,95:20–28.11.
- [24] German GOAA. Detection and assessment of odour in ambient air [S].
- [25] 张 妍,荆博宇,王 亘,等.恶臭污染精准模拟的峰/均值因子研究进展 [J]. *环境科学研究*, 2018,31(3):428–434.
- Zhang Y, Jing B Y, Wang G, et al. Research progress on peak–to–mean factor in precision simulation of odor pollution [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2018,31(3):428–434.
- [26] HJ 905–2017 恶臭污染环境监测技术规范 [S].
- HJ 905–2017 Technical specification for environmental monitoring of odor [S].
- [27] 杨伟华,李伟芳,韩 萌,等.基于现场监测的异味污染暴露–效应评价 [J]. *环境化学*, 2019,38(7):1628–1635.
- Yang W H, Li W F, Han M, et al. Odour exposure–response relationship evaluation based on field measurement [J]. *Environmental Chemistry*, 2019,38(7):1628–1635.
- [28] 耿 静,韩 萌,王 亘,等.臭气强度与臭气浓度间的定量关系研究 [J]. *城市环境与城市生态*, 2014,27(4):27–30.
- Geng J, Han M, Wang G, et al. Quantity relationship of odor intensity and concentration [J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2014, 27(4):27–30.
- [29] Hayes J E, Fisher R M, Stevenson R J, et al. Unrepresented community odour impact: Improving engagement strategies [J]. *Science of the Total Environment*, 2017,609:1650–1658.
- [30] Cantuaria M L, Lofstrom P, Blanes–Vidal V. Comparative analysis of spatio–temporal exposure assessment methods for estimating odor–related responses in non–urban populations [J]. *Science of the Total Environment*, 2017,605–606,702–712.
- [31] VDI3883Effects and assessment of odours assessment of odour annoyance Questionnaires [S].
- [32] Frechen F B. Odour emission inventory of German wastewater treatment plants – Odour flow rates and odour emission capacity [J]. *Water Science and Technology*, 2004,50(4):139–146.
- [33] Dinçer F, Dinçer F K, Sari D, et al. Dispersion modeling and air quality measurements to evaluate the odor impact of a wastewater treatment plant in İzmir [J]. *Atmospheric Pollution Research*, 2020, 11(12):2119–2125.
- [34] Piringer M, Knauder W, Petz E. Determining separation distances to avoid odour annoyance with two models for a site in complex terrain [J]. *Chemical Engineering Transactions*, 2016,54:7–12.
- [35] Brancher M, Piringer M, Grauer A F, et al. Do odour impact criteria of different jurisdictions ensure analogous separation distances for an equivalent level of protection? [J]. *Journal of Environmental Management*, 2019,240:394–403.
- [36] 安 慧,赵东风,赵朝成,等.直接采样法确定面源恶臭挥发率的研究进展 [J]. *中国环境监测*, 2009,25(1):18–23.
- An H, Zhao D F, Zhao C C, et al. Application of direct measurement for determination of odour emission rate from areal source [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2009,25(1):18–23.
- [37] 高 爽,李时蓓,马 岩,等.基于气象分型的大气环境允许排放量测算方法 [J]. *中国环境科学*, 2021,41(2):588–595.
- Gao S, Li S B, Ma Y, et al. Research on atmospheric environmental capacity accounting method based on classification of meteorological conditions [J]. *China Environmental Science*, 2021,41(2):588–595.

作者简介: 王文美(1983–),男,天津市人,高级工程师,长期从事大气污染防治工作.发表论文 10 余篇。