

地下大空间排风口高度对污染物排出影响研究

张雪, 薛颖

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 地下式污水处理厂为地下封闭环境,通风除臭系统的设计尤为重要。以泰和污水处理厂为基础,构建了点源污染和面源污染两种空间模型,对不同排风口高度下模型内的流场分布和污染物浓度变化进行模拟,分析了大空间除臭风管排风口高度对于污染物排出效果的影响,总结了地下箱体大空间除臭系统设计的要点,为同类型除臭系统设计提出建议。

关键词: 地下污水厂;箱体大空间;除臭设计;排风口高度

中图分类号: TU992.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)07-0258-04

0 引言

地下式污水处理厂因具有占地面积较小、地面污水气和噪音较少、对地上景观影响较少等优点,近年来在国内外被广泛采用。由于地下式污水处理厂为地下封闭环境,因此原本就作为城市污水处理厂设计重点的通风除臭,在地下式污水处理厂中的重要性进一步凸显^[1-2]。本文以泰和污水处理厂地下一体化箱体大空间为例,分析排风口高度对污染物排出的影响,以期同类型通风除臭系统的设计提供参考。

1 研究背景

泰和污水处理厂位于上海市宝山区,设计规模40万 m^3/d ,是目前国内综合治理标准最高的、全流程集约化布置规模最大的全地下污水处理厂。泰和污水厂的污水污泥处理构筑物及辅助设施均位于地下一体化箱体内,一体化箱体地下一层为操作层大空间,除结构立柱、除臭设备和设备机房外,基本空旷。

地下一体化箱体总长约350 m,宽约175 m,地下一层大空间高约6.5 m,为提高空气品质,降低污染物浓度,保障工人安全,泰和污水处理厂地下一层大空间内主要设有三套机械通风除臭系统,包括通风换气系统,大空间除臭系统和离子送风系统。其中大空间除臭系统用于将大空间实际运行中或事故时

产生的臭气及时收集处理后排放,共设置四套活性炭除臭装置,单套设备排风量100 000 m^3/h ,总排风量400 000 m^3/h 。单套除臭系统共设置十根干支管,每根干支管下设置若干竖直支管,竖直支管上设置末端四侧设置排风口。每根干支管起端设置机械式定风量平衡阀,每根竖直支管末端设置风量调节阀,可通过阀门调节保证各支管风量均匀。

大空间除臭系统排风口的高度对于除臭效果的影响,近年来鲜有研究,本文旨在通过大空间除臭系统模型的构建、不同除臭排风口高度下污染物浓度的分布等工况模拟,研究排风口高度对于大空间除臭效果的影响。

2 模型建立及模拟工况

本次研究以泰和污水处理厂大空间除臭系统布置为基础,建立两种小空间模型,分别模拟点源和面源污染条件下,不同风口高度对空间内污染物的去除效果。

小空间模型大小:整个泰和一体化箱体大空间内布置有240个排风竖支管,每个支管对应的平面范围约为18 m $\times$ 12 m。大空间净高6.5 m,因此建立的小空间模型大小为 $X\times Y\times Z=18\text{ m}\times 12\text{ m}\times 6.5\text{ m}$,排风口位于 $X=9\text{ m}, Y=6\text{ m}$ 的位置。

2.1 模型一:模拟点源污染,研究排风口高度的影响

泰和污水厂地下一层大空间底部分布着盖板,盖板边缘存在缝隙,地下二层池体内臭气经盖板缝隙逸散至地下一层大空间,形成污染源。单根除臭支管对应的平面范围内盖板缝隙面积约为0.35 m^2 ,为方便计算,将盖板缝隙按面积折算为9个0.25 m $\times$ 0.15 m

收稿日期: 2023-07-23

作者简介: 张雪(1990—),女,硕士,工程师,从事给排水设计工作。

的方形口均布在小空间模型底部,并在每个方形口下方设置污染源,整个小空间模型内形成点源污染扩散工况。

小空间模型内设置一个送风口,尺寸为 $1\text{ m} \times 0.7\text{ m}$,送风风速约为 0.8 m/s ,与泰和大空间内实际风速相近。排风口距离地面的高度设定为 0.5 m 、 1.0 m 、 1.5 m 和 4.5 m ,模拟泰和工况设置两个排风口,位于竖直支管对边。为方便观察,将污染物浓度的质量分数设置为 0.02 。小空间模型布置见图1。

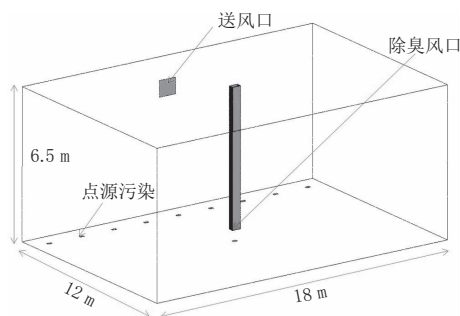


图1 模型一空间布置示意图

2.2 模型二:模拟面源污染,研究排风口高度的影响

泰和污水厂地下一层大空间的点源污染具有特殊性,为了提高模型模拟结果的普适性,现将可能散发污染的盖板部位(以9个点源)作为污染源进行模拟,污染物浓度、送风风速及排风口设计位置与模型一保持一致。排风口距离地面的高度设定为 0 、 1 、 2 、 3 、 4 m ,见图2。

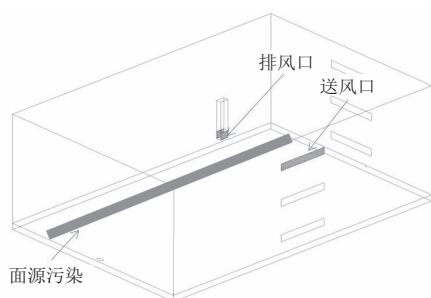


图2 模型二空间布置示意图

3 模拟结果

3.1 模型一模拟结果

在模型中距离地面 1.5 m 处即人呼吸高度处设置一横断面,观察横断面各处的污染物浓度分布,结果可知,距离地面 1.5 m 处污染物浓度在排风口距离地面 1 m 时最低,污染物的排出效果最好;距离地面 1.5 m 处污染物浓度整体随排风口高度的增加而增大。当排风口设置在距离地面 4.5 m 时,人的活动区域污染物浓度更高。

为了进一步研究排风口高度对于模型空间内污

染物分布的影响,在模型中央 $X=9\text{ m}$ 处设置一垂直断面,观察断面上各点的速度规律,结果可知,排风口附近流速最高,在不同的排风口高度设计下,排风口附近的流场基本一致,当排风口距离地面 4.5 m 时,存在短流现象,部分新风直接从排风口排出,新风量短路,导致污染物浓度升高明显。

3.2 模型二模拟结果

当污染源设定为整个整个长条盖板时,考察距离地面 0.35 m 处横断面的污染物浓度,由模拟结果可知,在排风口高度距离地面 1.0 m 时, 0.35 m 处横断面的污染物浓度最低,当排风口高度距离地面 0 m 时,横断面的污染物浓度反而略有升高,表明排风口高度过低,有将下部池体臭气抽吸上来的可能性,从而引起了地面上部污染物浓度的升高。当排风口过高时,由于排风口抽吸的影响有限,不能将地面上部的污染物抽吸排出,也会造成地面上部污染物浓度较高。

在面源污染散发条件下,同样考察模型空间中央垂直断面的速度及污染物浓度,结果可知,排风口高度对于排风口附近流场的影响很小,当排风口距离地面高于 2 m 时,排风口抽吸对于整个模型空间的流场影响较小,模型底部散发的面源污染物不能被及时抽吸排出,造成模型空间内污染物浓度较高。

为了进一步定量分析排风口高度对污染物抽吸效果的影响,对模型模拟二的模拟工况进行了细化,设置监测线,定量分析各监测线上的速度分布和污染物浓度分布。

3.2.1 紧贴排风口设置垂直监测线,考察排风口附近的垂直速度分布

紧贴排风口边线设置垂直监测线A,分析监测线A上的速度分布,以反映排风口的垂直速度变化。

由试验结果(见图3)可以看到,随着排风口(h)位置的升高,监测线A上最大速度所在的位置也随之升高,且在不同的排风口高度下,监测线A上速度变化规律基本一致,在垂直方向上,排风口附近的风速衰减很快,距离排风口中心 0.5 m 范围内,速度从 0.25 m/s 衰减到 0.05 m/s 。

3.2.2 设置水平监测线,考察排风口附近的水平速度分布

对应不同的排风口高度,在各排风口下方距离排风口 0.35 m 处设置水平监测线,两组水平监测线分别位于 $X=9\text{ m}$ 和 $Y=6\text{ m}$ 的平面。

通过观察图4、图5中的结果可知,提取距离风口 350 mm 处各水平监测线上的速度,不同排风口高

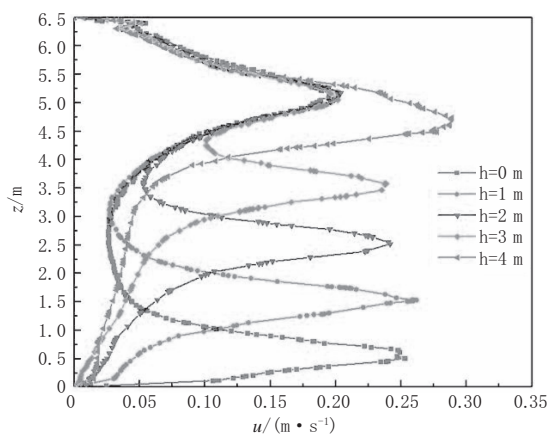


图3 监测线A上的速度垂直分布图

度下各监测线上的速度分布相近,流场相似,因此可认为,排风口附近的流场不随排风口高度的变化而变化,不同排风口高度下排风口附近的流场基本一致。

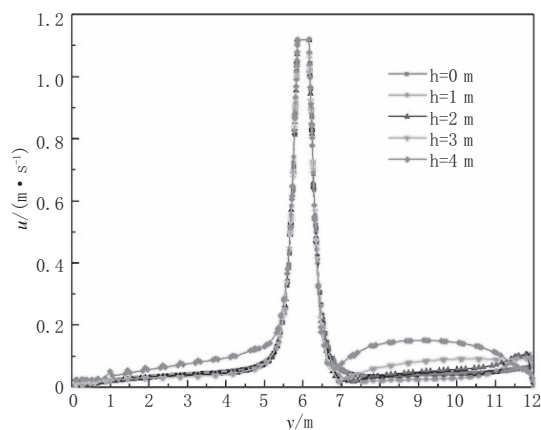


图4 Y平面监测线上的速度水平分布图

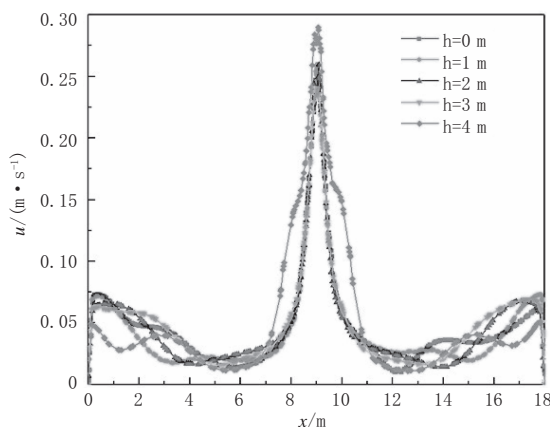


图5 X平面监测线上的速度水平分布图

排风口位于 $X=9\text{ m}$, $Y=6\text{ m}$ 的位置,各水平监测线上速度衰减很快:在Y平面上,在距离风口 0.5 m 的范围内,速度由 1.12 m/s 衰减到 0.05 m/s ;在X平面上,在距离风口 0.5 m 的范围内,速度由 0.29 m/s 衰减到 0.05 m/s 。结合监测线A的速度垂直分布,可以认为排风口的抽吸效率较低,影响范围非常有限,仅对排风口附近 0.5 m 范围内流场有较大影响。

3.2.3 设置水平监测线,考察排风口附近的速度分布

在距离排风口远、近两处设置两条垂直监测线G、H,进一步考察排风口附近及模型空间中流场及污染物浓度的变化规律。

监测线G距离排风口和送风口较近,但距离排风口的距离大于 0.5 m ,主要用于考察送排风口附近空间流场的变化规律;监测线H距离排风口和送风口较远,靠近模型空间角落,主要用于考察模型空间内远离送排风口的其他区域流场的变化规律。

由监测线G的速度垂直分布图(见图6)可以看到,对应不同的排风口高度,在 $Z<3.5\text{ m}$ 时各监测线的速度变化略有不同,但除 $h=0\text{ m}$ (排风口距离地面 0 m)外,其余各监测线的速度变化规律基本一致。当 $Z\geq 3.5\text{ m}$ 时,各监测线的速度变化曲线基本重合。因此,当监测线距离排风口大于 0.5 m 时,排风口高度的变化对监测线流场几乎无影响,监测线流场主要受送风风速影响。G、H的速度分布情况(见图6、图7)结合前述监测线A~F的速度分布规律,可进一步说明排风口抽吸影响范围仅为 0.5 m 。

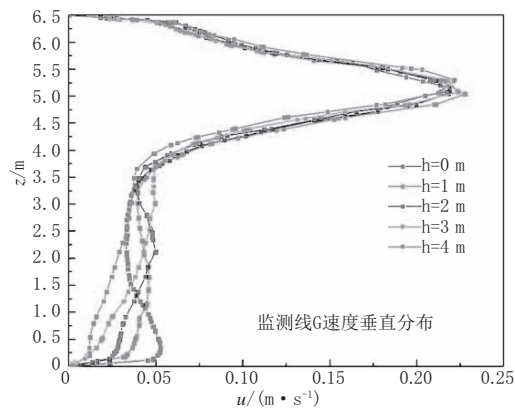


图6 监测线G上的速度垂直分布图

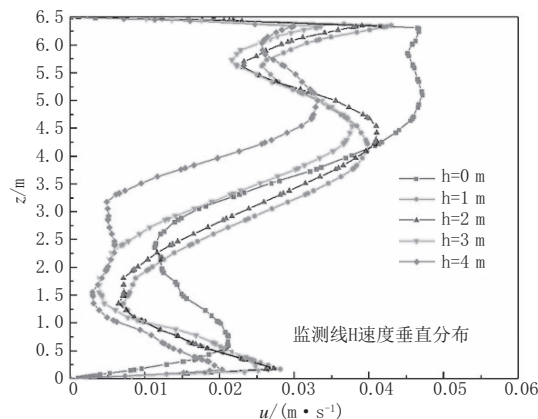


图7 监测线H上的速度垂直分布图

分析监测线G、H上污染物浓度的垂直分布,结果见图8和图9,随着排风口距离地面高度的升高,监测线G和H上污染物浓度整体呈逐渐增加的趋势。

势,当排风口距离地面大于 2 m 时,污染物浓度升高趋势明显,因此排风口不宜设置的过高,距离地面小于 2 m 为宜,排风口过高会造成空间内污染物浓度的增加。

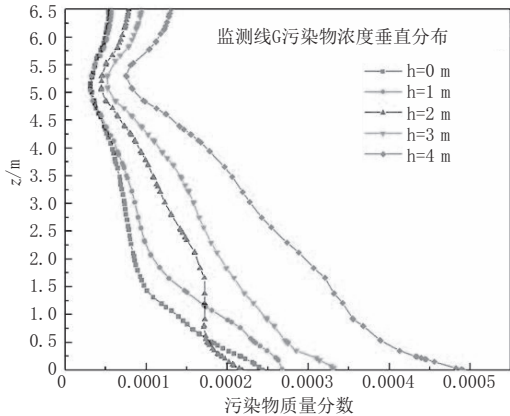


图 8 监测线 G 上的污染物浓度垂直分布图

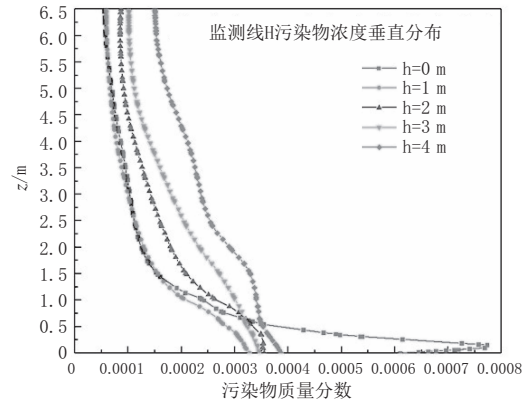


图 9 监测线 H 上的污染物浓度垂直分布图

4 结 语

本文通过点源污染和面源污染两种模型空间的构建,进行了不同排风口高度下送排风的模拟试验,

分析了排风口高度对于空间流场和污染物浓度分布的影响,主要结论如下:

(1)人呼吸高度(距离地面 1.5 m)处污染物浓度在排风口距离地面 1 m 时最低,污染物的排出效果最好;排风口过低(距离地面低于 0.5 m)时有将下部池体臭气抽吸上来的可能性,从而引起了地面上部污染物浓度的升高;模型空间内污染物浓度整体随排风口高度的增加而增大,当排风口距离地面高于 2 m 时,排风口抽吸对于整个模型空间的流场影响较小,模型底部散发的污染物不能被及时抽吸排出,造成模型空间内污染物浓度较高。

(2)排风口附近流速最高,排风口附近的流场不随排风口高度的变化而变化,不同排风口高度下排风口附近的流场基本一致。排风口的抽吸效率较低,影响范围非常有限,仅对排风口附近 0.5 m 范围内流场有较大影响,距离排风口较远的空间流场基本不变。

鉴于地下式污水处理厂建设形式的特殊性,地下大空间内通风除臭系统的设计对于保障人员安全、提升空气质量、节约运行成本等具有重要意义。通过两种模型的模拟结论可以看到,大空间内除臭排风口高度距离地面 1 m 较为合适,此高度下污染物排出效果最好。由于排风口抽吸影响范围有限,因此在大空间除臭风管设计时应尽可能均匀,同时应避免除臭风管间隔过大,以保证除臭效果。

参考文献:

[1] 丁超,贾卫宏.地下式污水处理厂除臭系统思考与研究[J].科技展望,2016,36(5):120-121.
[2] 谢艺强.地下式污水厂通风除臭设计[J].建筑热能通风空调,2018(4):16-17.

(上接第 257 页)

水性能研究[J].现代隧道技术,2022,59(4):273-282.
[5] 伍振志,杨林德,季倩倩,等.上海长江隧道接缝防水密封垫的耐久性研究[A]// 地下工程建设与和谐发展——第四届中国国际隧道工程研讨会文集[C]//2009.
[6] 李明.高水压工况下轨道交通盾构区间管片接缝密封垫设计与优化[J].隧道与轨道交通,2021,136(S2):66-70.
[7] 吴怀娜,沈水龙,马宇宏,等.上海越江隧道渗漏现状调查与分析[J].

地下空间与工程学报 2013,9(3):663-668.
[8] 温竹茵.周家嘴路越江隧道管片接缝防水技术研究[J].现代隧道技术,2019,56(2):152-157.
[9] 钟小春,秦建设,朱伟,等.盾构管片接缝防水材料防水耐久性实验及分析[J].地下空间与工程学报,2011,7(2):281-285.
[10] GB/T18173.4-2010,高分子防水材料 第 4 部分:盾构法隧道管片用橡胶密封垫[S].