

基于仿真模拟地埋式污水厂除臭通风系统的研究

白小平,白玉华,徐强,徐宁,祁子靖

[杭州余杭环境(水务)控股集团有限公司,浙江 杭州 311000]

摘要:地埋式污水厂较传统污水厂除臭系统及通风系统的能力要求更高。研究了除臭通风系统风量计算方法,结合除臭系统设计、通风系统设计及仿真模拟,避免在设计和运行时造成浪费。提出高效的、精准化的通风收集系统设计思路,以某地埋式污水厂污泥脱水间为例,采用计算流体力学(CFD)模型进行模拟优化。提出运行控制对策,同时满足除臭通风效果安全、设备安全、节能降耗,提高能源利用效率。

关键词:地埋式污水厂;除臭通风;仿真模拟

中图分类号: X512

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)08-0108-03

0 引言

随着中国的人口激增、经济的快速发展和技术进步,地埋式污水处理厂自2010年前后开始建设,并呈现递增发展趋势,有效地开发利用及拓展空间越来越迫切。地埋式污水厂在改善区域水质、推进水环境质量发展过程中有不容忽视的作用,但其运行期间会产生恶臭气体,上方常常作为城市绿地甚至公共建筑,离人们生活的区域更近,一旦处置不妥将影响地面上的居民健康及周边生活环境^[1]。地埋式污水厂的通风除臭工艺在相比地上污水厂的要求更高,通风、除臭亟待系统化整合,而该技术尚未成熟且相关经验较少,在设计时会产生不必要的浪费。

因此,全流程除臭设备的建设及其工艺经验具有重要的现实意义。

1 地埋式污水厂除臭通风系统典型问题分析

1.1 地埋厂与地面厂的除臭通风差异

地埋式污水厂由于气体扩散条件、运行维护等要求的变化,地面污水厂的除臭通风技术移植到地埋式污水厂后会出现很多问题,如泄漏率高、工作环境差、维护管理不便等,其除臭系统及通风系统能力较地面厂要求更高。考虑到地埋式污水厂的臭气源主要分布在地下二层,负一层为操作人员活动区域,须配合通风系统以确保操作人员的安全以及较好的工作环境。但负一层和负二层之间,不能做到完全隔开,而须将通风和除臭作为一个系统,来统一考虑。

收稿日期:2021-11-24

作者简介:白小平(1982—),男,学士,工程师,从事水务生产设备管理和项目建设施工管理工作。

同时,需选用臭气量小的污水污泥处理工艺,并考虑设备和池体的密封、栅渣等臭气源的密闭保存及清运^[2]。

1.2 收集系统问题

为了避免臭气外逸,并且减少区域内臭气收集的总量,地埋式污水厂对需要除臭的构筑物或设备进行良好的密封,收集系统设计做到尽可能均匀收集,保证需要除臭的构筑物内部微负压状态。传统的收集系统主要有下述问题:

(1)臭气区域密闭性不足,实际密封效果不能满足预期要求;

(2)已通过各种除臭技术实现对硫化氢和氨的有效控制且达标,但仍能感觉臭味;

(3)收集管路冷凝水聚集,腐蚀管道造成通风除臭不佳^[3]。

1.3 风量系统问题

基于地埋式污水厂大空间通风的情况,对于卫生安全、节能高效的通风设计,风量计算主要有下述问题:

(1)地下空间体积大,通风换气量大;通风系统复杂,风机设备多;

(2)箱体地面预留井数量多,占地面积大;

(3)通风需要与其他专业配合的内容多,涉及面比较广。

2 地埋式污水厂除臭通风系统风量计算方法研究

2.1 除臭通风系统分区

(1)按臭气浓度分:用于判断气体是否需要经过

除臭处理或不处理排放,除臭级别。根据臭气浓度可分为高浓度臭气、低浓度臭气、空间气体。此外,设置新风区,对其通风系统有不同的要求。

(2)按工艺段分:用于臭气分质,臭气的主要成分是氨和硫化氢,并含有硫醇、胺类、酰胺、吡啶、醇、酚、醛、酮、有机酸等多种气体,非常复杂。按照工艺段分,处理的臭气成分比较接近,有利于后续除臭工艺的选择。

(3)按区域分:收集区域过于分散,引起管线过长,导致风管末端抽气不力,使末端密封区域内无法形成负压,引发臭气泄露。为了缩短管线长度,建议臭源分区收集。除臭装置尽量靠近臭源布置,如有必要,可分多套除臭装置,就近收集处理。

地理厂除臭通风系统通常是综合上述各要素后,选择最优的分区方案。

2.2 除臭风量计算

《室外排水设计规范》(GB 50014—2021)、《城镇污水处理厂臭气处理技术规程》(CJJ/T 243—2016)等标准规范,提供了城镇污水处理厂除臭设计的标准。

(1)臭气收集风量计算

具体部位之间,由于构造的不同,需要收集的空间气体量不同;根据臭气浓度的不同,需要的换风次数也不同,其计算公式如下:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_1 = nV$$

$$Q_2 = aF$$

$$Q_3 = K(Q_1 + Q_2)$$

式中: Q 为臭气处理设施收集的总臭气风量, m^3/h ; Q_1 为对收集空间进行换气所收集的臭气风量, m^3/h ; Q_2 为对构筑物水面积散逸所收集的臭气风量, m^3/h ; Q_3 为收集系统渗漏风量同, m^3/h ; n 为换气次数,次/h; V 为臭气收集空间, m^3 ; A 为单位水面积臭气风量指标 $[\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$; F 为构筑物除臭水面积, m^2 ; K 为渗漏风量系数,可按5%~10%取值。

(2)收集空间

$$V = NLBH$$

式中: V 为臭气收集空间, m^3 ; N 为臭气收集区构筑物或集气罩数量,个; L 为臭气收集区长度, m; B 为臭气收集区宽度, m; H 为臭气收集区水面以上净高(超高)或设备集气罩净高, m。

3 地理式污水厂除臭通风收集系统设计

3.1 除臭系统设计

(1)构筑物加盖密闭:需进行密封加罩重点收集

的臭源主要有预处理区、生化区、泥区,其余空间可由通风系统整体换气。

(2)设置负压抽吸系统:将风机置于除臭装置之后,使整套除臭设备处于负压状态,防止臭气外逸。

(3)设置不锈钢杆+钢化玻璃隔断:通过不锈钢杆+钢化玻璃隔断的形式,将预处理区和泥处理区与其他生产区进行有效隔断,尽量杜绝高浓度臭气外溢。

(4)布置生物除臭和离子除臭系统:在预处理区域和泥处理区域布置生物除臭系统和离子送风除臭系统,通过有效风管布置和气流收集处理后达标排放。

(5)除臭装置布置需避开立柱:针对地理式污水厂立柱多的结构特点,除臭装置布置尽可能避开立柱,且除臭装置池体宽度应小于立柱间距(一般小于6 m)。当臭气量较大,可采用多套除臭装置并联。

3.2 通风系统设计

(1)臭源分区、就近处理:分区收集可将臭气按浓度高低分别汇总至不同处理装置,有利于针对性选择处理工艺和调整工艺参数,方便实现工艺优选。就近处理可避免收集风管过长导致管道阻力损失过大,从而造成收集效果不佳、能耗高的问题,此外,收集风风管管损平衡的调节也将更加简便。

(2)风量计算及设备选型:结合风量理论计算及仿真模拟的结果,确定出风口位置及布置形式,结合风机设备功率曲线进行设备选型。

(3)优化收集系统:利用大数据技术,对通风管道的通风量进行模块化的计算,并对于隔栅井调节池、污泥浓缩池、储泥池、污泥脱水区域、污泥堆砌棚需要的换气量,进行比较系统的把控,并在数字化的基础之上,进行优化设计,显著提高整个系统设计的针对性。

3.3 仿真模拟

对臭气进行仿真模拟,可以优化除臭系统设计和参数选择。由于测点数量少监测数据有限,并不能准确的获取各个区域的气流流动状态,因此需要借助计算流体力学和CFD技术来进一步分析,为寻找优化控制策略和改善地理式污水厂恶臭环境提供指导。

3.3.1 仿真模型

以某地理式污水厂污泥脱水间为例,层高8.5 m,4个脱泥机置于房间一侧,除臭系统管道高度为4 m,新风管道高度为2.7 m,根据模型的特点本次选用

k-epsilon(2 equ)模型。

3.3.2 三维模型建模

利用 Solid Works 组建三维模型,如图 1 所示。

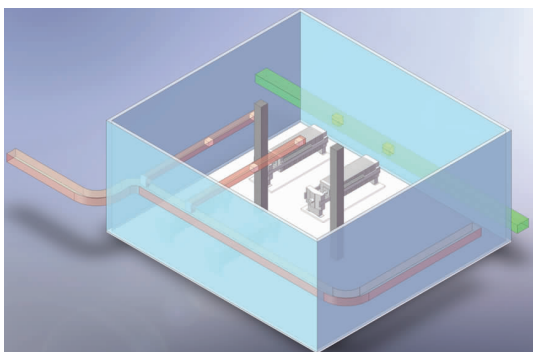


图 1 三维模型简图

3.3.3 模拟计算

使用 ANSYS WORKBENCH 平台,搭建流体仿真模块,将流体域分割成进口管、房间区域、出口管、泄露源等几块区域。使用 FLUENT 流体仿真软件,选择以 H_2S 、空气来进行扩散仿真,送风入口流量设置为 $8\ 000\ m^3/h$ 转换成质量输入,排风口设置成自由流出,以保证质量守恒。此后求解进行迭代计算。对断面上的臭气浓度及流速进行分析,断面图如图 2、图 3 所示,可以看出该断面臭气明显集中在压泥机附近,且浓度较大、气流速度较小,说明压泥机附近可以适当增加通风口或扰流装置,利于臭气排出;另一部分臭气随着除臭系统的吸风走向聚集,且因为新风系统新鲜气流的补充,臭气浓度较低,说明房间另一侧无臭气排放源区域的新风系统风口可适当减少。

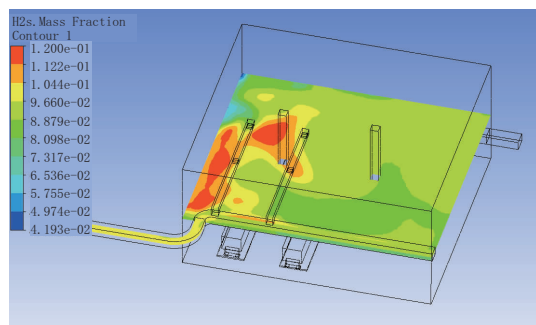


图 2 断面臭气浓度分布图

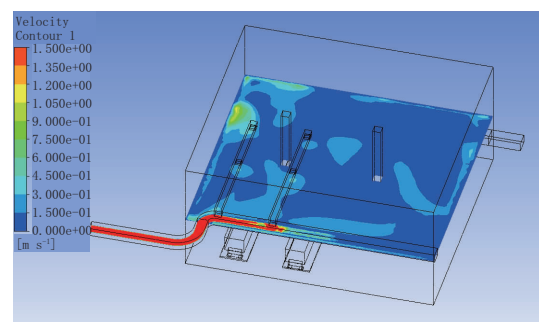


图 3 臭气速度分布图

4 埋地式污水厂除臭通风系统运行控制对策

4.1 在线监测系统设计

4.1.1 智能控制设计

恶臭气体动态多变,业内普遍控制方法是对风机进行控制,难以同时达到处理效果达标和降低运行费用两个目标。智能控制设计能以巡回式轨道机器人、智能检测头盔等监测方式为核心,更好地解决非线性、大滞后环节和变参数对象等控制问题^[4]。

4.1.2 提高检测频次

根据进气浓度的检测结果及变化趋势进行判断,根智能控制反馈及报警情况适当提高检测频次。

4.2 运行参数优化控制

除臭通风系统可以采用 CFD 数值模拟的方法,通过建模模拟,确定合适的换气次数及自然补风位置,在满足室内环境卫生标准的同时,又可优化设计、节能降耗,提高能源利用效率^[5]。

4.3 运行模式优化设计

4.3.1 精准化通风排污模型

通过对全面通风的排污模型与模仿进行分析与计算,从而节约新风系统的能源。全面通风有自然通风、机械通风和自然与机械联合通风等各种形式。根据风量计算公式可算出,开启新风系统的时间及次数,将有害物浓度下降到预定浓度。

4.3.2 合理使用机械设备

对系统设备进行健康监测,并及时添置机电设备,为旧设备分担工作压力。此外,在运行过程中,合理的分配每一台机电设备的运行时间,不能够让机电设备始终处于高负荷运转中^[6]。在除臭系统中风机、水泵这类的机电设备耗能较大,为其配备变频调速设备,根据电流、电压情况进行智能化处理,进而更好的节能降耗。

5 结 语

埋地式污水厂在生产运营过程中,对除臭通风进行全流程优化是十分必要的。通过优化收集系统及仿真模拟的手段,为改善埋地式污水厂恶臭环境提供技术支持。合理选用在线监测系统,优化运行模式、运行参数,在此基础上提升除臭效能、降低运行成本、提升运维效率,研究高效节能降耗的方案。

参考文献:

- [1] 邱维.我国地下污水处理厂建设现状及展望[J].中国给水排水,2017,33(6):18-26.

凝土;(8)根据受力施加墩顶位移;(9)墩顶负弯矩桥面板与钢梁结合成整体。支架的纵向移动利用两幅桥之间的中央分隔空间设置滑道移动,方便快捷。

在结构受力上,首先支架系统保证了钢梁和混凝土在结合后开始承受荷载,增加桥梁的整体性,减少结构用钢量;其次由于张拉鱼腹式拉索后,中间竖杆可对钢梁施加预弯作用,使钢-混组合梁的经济性更为优异。

3 移动悬索支架法设计优化分析

3.1 支撑点数对比分析

为精确比较鱼腹式移动支架对大跨径钢-混组合结构的经济性,根据不同的支撑点数、不同的顶升位移进行参数化分析(见图3)。桥梁钢材采用Q345qD,桥面板采用C50混凝土。

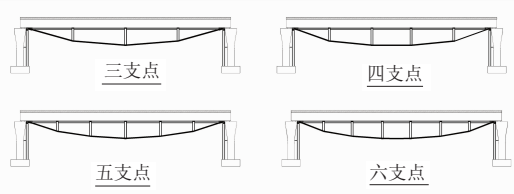


图3 不同支撑点数量对比示意图

对比分析显示,优化顶升位移后(50~70 cm之间),中间采用四点或五点支撑比较合理,采用五点以上支撑对减少钢材用量的作用已不明显,这与文献[5]结论基本接近,结果如表2所示。

表2 不同支撑点数钢材用量比较表

单位:kg/m²

支撑点数	0	1	2	3	4	5	6
钢材用量	396	385	379	368	363	361	360

注:支撑点数为零时表示无支架支撑,桥面板重量完全由钢梁承受。

3.2 移动悬索支架分析

移动支架自身的受力情况和材料用量也是本技术的关键之一,如图4所示,移动支架竖杆和平联采用工字钢,端横梁采用箱形截面,端部支撑采用圆钢

管支撑于桥梁承台上。对于本桥跨径108 m钢混组合箱梁,优化后整套移动支架用钢量为213 t(含拉索用量36 t)。

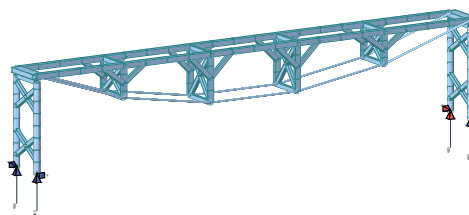


图4 移动悬索支架分析模型示意图

总体对比可知,当组合梁总长度达到1 000 m以上时,移动支架本身的材料用量约占钢梁材料节省量的20%,总体经济效益十分显著。

4 结 语

钢-混组合箱梁因其自身优势深受建设各方青睐,但随着跨径不断增大,其经济性和适应性也暴露出不同程度的局限。本文提出移动悬索支架的设计施工技术,并进行了移动支架自身和对钢-混组合箱梁材料用量降低影响的参数优化设计分析,结果显示,采用本技术可最大限度发挥出钢和混凝土两种材料的性能优势,使钢-混组合结构在施工中不受跨径和桥址场地限制,扩大其适用范围。

参考文献:

- [1] 邵长宇.梁式组合结构桥梁[M].中国建筑工业出版社,2015.
- [2] 袁勇根.245 m大跨径组合钢箱梁桥结构设计研究,第二十四届全国桥梁学术会议论文集[C]//中国土木工程学会桥梁及结构工程分会.济南:人民交通出版社,2020:255~260.
- [3] 傅晨曦,周青,韩大章.中小跨径钢筋混凝土组合板梁桥设计关键参数研究[C].//中国公路学会桥梁和结构工程分会2018年全国桥梁学术会议论文集.2018:299~304.
- [4] 日本预应力混凝土技术协会.复合桥梁设计施工指南[M].人民交通出版社,2014.
- [5] 卢永成.上海长江大桥组合结构连续梁技术特点[J].上海公路,2011(3):26~28,53.

(上接第110页)

- [2] 唐宏辉,刘承东,谢艺强.广州地理式石井净水厂通风除臭设计[J].中国给水排水,2020,36(4):41~46.
- [3] 杨一烽,杜炯,张欣.国内地下式污水处理厂的发展现状和关键技术分析[J].净水技术,2021,40(10):101~106,117.
- [4] 李万意.大型地理式污水处理厂运行问题及解决对策[J].节能与环

保,2020(9):35~36.

- [5] 潘建华.基于CFD模型的白龙港污水处理厂除臭优化方案[J].净水技术,2021,40(S01):132~136,159.
- [6] 曹国建.全地下式污水处理厂通风系统节能优化研究[J].节能环保,2020(4):67~69.