

城市污水收集与处理系统碳排放监测评估技术分析

易 丹 蒋华英 张 倩

四川省生态环境监测总站 四川成都 610000

摘 要: 随着现代化城市建设的逐渐完善及工业化进程的不断推进,城市生活与工业污水量明显增加,污水的收集与处理不仅关乎生态环境的保护,在保障公共卫生与群众健康中也起着重要作用。相关研究指出,城市排水会产生温室气体排放,而温室气体会对环境与气候造成严重影响,因此如何有效评估该过程的碳排放水平并探索污水治理碳减排路径具有重要的现实意义,这也是当前环境领域的科技前沿和重点。本文在分析城市污水收集与处理系统碳排放监测评估技术的基础上,对构建碳减排路径提出几条建议,以期对相关技术的应用及研发起到抛砖引玉之效。

关键词: 污水收集与处理; 碳排放监测; 技术分析

Analysis of carbon emission monitoring and evaluation technology of urban sewage collection and treatment system

Dan Yi, Huaying Jiang, Qian Zhang

Sichuan Ecological and Environmental Monitoring Center, Chengdu, Sichuan, 610,000

Abstract: With the gradual improvement of modern urban construction and the continuous progress of industrialization, the amount of industrial wastewater in urban areas has significantly increased. The collection and treatment of wastewater not only concern the protection of the ecological environment but also play an important role in safeguarding public health. Relevant studies have pointed out that urban drainage can produce greenhouse gas emissions, which can have serious impacts on the environment and climate. Therefore, it is of great practical significance to effectively evaluate the carbon emissions of this process and explore the carbon reduction path for wastewater treatment, which is also the forefront and focus of current technological development in the environmental field. Based on the analysis of carbon emission monitoring and evaluation technology for urban wastewater collection and treatment systems, this article proposes several suggestions for constructing carbon reduction paths, in order to stimulate the application and development of related technologies.

Key words: sewage collection and treatment; carbon emission monitoring; technical analysis

水作为人类生存发展的基础资源、改变环境及气候的重要因素,一直受到各个国家与人民群众的高度重视和广泛关注。随着我国城市人口的增多和聚集,对水资源的需求不断提高,同时对污水的处理也带来一定影响。为保护生态环境、保障居民健康,加强污水的收集与处理已成为现代城市高质量建设发展的重要任务。但近年来许多文献表明,在对污水进行收集及处理的过程中会排放温室气体,如果不加以监测、控制,将会对环境、气候造成更大影响,这也违背了节能减排、保护生态的绿色发展理念。不过从实际情况来看,我国在监测评估温室气体排放方面缺乏有效的方法,因此有必要对该领域进行深入探索,通过全面分析污水低碳治理技术探索碳减排路径、构建碳中和模式。

一、城市污水收集与处理系统碳排放监测技术

(一) 离线监测技术

碳排放离线监测指的是在排水管、污水处理厂特定区域采集气样,并将气样带回专业实验室进行检测分析,以此评估碳排放通量^[1]。就现阶段而言,气样采集方式有很多种,需要根据对象的性质及特征合理选用。举例

说明,在采集排水管指定区域的气样时,通常会用到气袋或顶空瓶,而对于污水处理厂则还要以过程单元特征针对性采取方法、准备工具。以厌氧池单元为例,由于其水面一般情况下均处于相对静止的状态,可以使用静态箱采集气样。与之相反,曝气池单元具有动态水面,此时比较适合使用大容量气体采集袋。完成气样采集工作后便要进行实验室检测分析,气相色谱法是目前实验室检测气体时最常用的方法。值得一提的是,部分研究会涉及溶解态温室气体定量,此时可根据气体浓度与亨利定律进行量化分析^[2]。总的来说,离线监测是城市污水收集与处理系统碳排放监测的主流方法,但由于该方法需要人工完成,开展频率并不高,因此也就难以捕捉温室气体产生和排放的规律。

(二) 在线监测技术

污水收集与处理系统碳排放的在线监测主要依靠传感器技术实现,其应用为实时动态监测提供了重要的技术支持,大幅度提高了监测频率,红外线气体分析仪、微电极传感器是该过程常用的两个设备。红外线气体分析仪通过导气管与气体通量罩连接,微电极传感器则直接置入气体通量罩,以此实现在线监测碳排放。在线监

测技术的研发与应用虽然为碳排放清单的构建创造了有利条件,但也存在一定的局限性,主要体现为监测对象缺乏系统性和监测方案缺乏科学性两个方面。前者主要由全过程单元的碳排放监测体系不健全所致,后者主要由长时序数据获取成本高所致,在后续的研究中需要对这两个问题进行深入分析^[3]。

二、城市污水收集与处理系统碳排放评估技术

(一) 排放因子法

此方法是指利用多种数据(包括活动数据、排放数据等)编写与核算温室气体排放清单。联合国政府间气候变化专门委员会为污水处理与排放过程中产生的温室气体提供的估算因子,使排放因子法成为评估温室气体排放,分析温室气体排放趋势的重要工具^[4]。近年来许多学者在研究中利用排放因子法评估城市排水系统或城市污水厂产生的温室气体,并且有学者指出,污水处理厂建设数量的增加使得污水处理厂温室其他排放总量不断上升,10年涨幅超13%^[5]。不过由于CH₄、N₂O等温室气体的生成和逸散与进水条件、工艺类型等有一定联系,如果只将有有机物、氨氮去除量、排放因子定值作为城市污水收集与处理系统碳排放水平的评估依据,那么势必会影响评估结果的准确性,导致无法客观认知温室气体排放特征。

(二) 机理模型法

此方法是指利用数学语言描述排水系统运行过程及污水生物处理过程温室气体形成与逸散机理。相较于排放因子法,机理模型法充分考虑了水中污染物的迁移转化,实现了进一步提高评估结果准确性的目标,并且随着污水收集与处理工作的持续开展及相关研究的不断深入,机理模型逐渐被完善。值得一提的是,当排水管处于满流及非满流两种工况时,所形成的厌氧/好氧环境会产生一定的差异,而在厌氧环境中,有机物极易转化为CH₄。基于此,在针对污水收集与处理的碳排放水平监测及评估中,有必要通过描述CH₄的形成和逸散分析排放特征,而基于水—沉积物—微生物多相界面的排水管网数学模型的应用恰好能实现这一目标^[6]。具体来讲,该模型框架不仅考虑了流态与水中污染物迁移转化的联系,还考虑了厌氧微生物对多种物质的影响。

活性污泥模型(ASM)也属于评估污水处理碳排放的一种机理模型,其应用能描述污水中各种污染物质与污水处理系统微生物间复杂生化反应,其中ASM1、ASM2、ASM3等因能定量描述生物除磷、有机物氧化等机理过程被广泛用于污水处理系统的设计和优化中。此外,众多学者对N₂O生成机制和功能菌群的研究使得N₂O生成路径及其介导微生物更加明晰,更完善的模型也不断开发出来,为捕捉城市污水收集与处理系统碳排放中的N₂O提供更准确的评估工具。不过从实际情况来看,现阶段机理模型的应用主要依赖先验知识,未及时更新新

知与未知等路径,后续需要提供模型预测能力,突破模型构建的限制。

(三) 机器学习法

此方法是指利用学习计算法对城市污水收集与处理系统碳排放水平进行评估,主要包括随机森林、K均值聚类,不仅对领域知识依赖较低,并且还能通过挖掘水质及工艺参数、温室气体排放特征之间的联系,构建评估模型。有学者利用多种学习计算法剖析N₂O排放与工艺参数的联系,研究结果显示这一气体的排放峰值和进水水量骤变有一定的关系。传统机器学习法的应用在脱离大量历史数据的情况下也能形成有效的数据模型,并且这些模型普遍具有一定的预测能力,但受数据非平稳性、非线性等特征的影响,在此过程中难以有效识别长时、动态化的数据集,导致模型拟合能力不理想。除此以外,传统机器学习法一般要借助领域知识的特征提取器才能完成原始数据的转换,使得其所形成的模型的应用受领域知识发展的限制。深度学习算法由传统机器学习法衍生而来,它由多层简单的非线性模块组成,这一特征使其可以将数据转为更高维、更抽象的数据特征,进而大幅度提升模型的非线性拟合能力^[7]。不仅如此,深度学习算法的应用能自发进行特征转化,弥补了传统机器学习法的不足,减轻了领域知识发展对模型的影响,目前其已成为预测污水处理过程N₂O排放趋势的关键技术。

三、构建碳减排路径及制定碳中和模式的建议

在污水的收集及处理过程中,温室气体的排放水平会受到多种因素的影响,如何甄别其生成路径并构建碳减排路径已成为当前的研究重点,本文在查阅相关文献的基础上,提出三条关于构建碳减排路径及制定碳中和模式的建议。

(一) 编写排放清单

上文提及,排放因子估算法的应用可实现对温室气体排放清单的编写与核算,进而明确关键单元,对污水收集及处理过程中碳排放水平进行初步估算。与此同时,可利用在线监测技术实现在线监测碳排放,为清单的制定提供重要信息,并以清单为依据完善监测方案,可谓是一举两得。

(二) 解析生成路径

城市污水成分复杂,其中包含氮、磷等多种常规污染物还有部分新型污染物,这也使得其物质转化过程和生物学机理具有极强的复杂性,为解析温室气体的生成路径带来一定困难^[8]。现有的机理模型不仅考虑到了城市污水处理过程中多种污染物复合影响,并且还涵盖了多种微生物的相互作用机制,因此可以通过构建模型对温室气体的生成路径进行解析。不过需要注意的是,传统机理模型具有结构复杂、参数繁多等特点,导致计算率与迁移性不理想,不适用于解析生成路径。随着人工

智能技术的日益成熟,机器学习法被应用于温室气体排放水平的研究分析中,为解析碳温室气体生成路径提供有效工具。具体来讲,首先利用机理模型获得大量训练数据,并依托这些数据构建深度学习模型。其次根据排放清单优化模型,加强对全过程预测和评估的分析。

(三) 制定减排方案

从实际情况来看,污水收集及处理过程中温室气体的产生与排放和污染物的生物降解有一定联系,因此为有效降低碳排放水平,就必须采取行之有效的措施减少污染物讲解总量,如改善污染物去除方式等。同时要注意到,不同污染物的去除方式和处理技术对能耗和物耗的要求有所不同,这就需要先明确碳排放关键单元,然后构建机理+数据耦合驱动模型,进而有效实现减污降碳的协同目标。

(四) 合理选用技术

矿物质技术、光催化技术、超声波处理技术、紫外线消毒技术、膜技术、自动化技术等均属于城市污水处理中常用的技术,每种技术在应用流程、应用特点等方面存在一定的差异,因此需要做到根据实际情况合理选用。以膜技术为例,它主要是利用由活性菌所制成的生物膜分解转化水中的污染物,不需要使用任何化学药品,并且能够自行运行,进而避免因新污染的产生导致碳排放水平提高。此外,可以利用资源转化技术将污水中氮、磷等物质提取出来,并转化为生产肥料,在不断推进绿色处理技术的同时推进能源转化,尽可能地利用可用能源。

四、结束语

综上所述,城市污水收集与处理过程中会产生温室气体,而温室气体对环境和气候都有较强的危害性,因此有必要合理选用技术对温室气体排放水平进行监测和评估,这也是城市落实“碳达峰、碳中和”目标,向高

质量发展的关键环节。本文在总结分析当前温室气体监测与评估技术的应用现状的基础上,针对城市污水收集与处理系统构建碳减排路径提出编写排放清单、解析生成路径、制定减排方案、合理选用技术四条建议,希望能为加强碳排放监测及评估,降低碳排放水平提供可参考的理论依据。

参考文献:

- [1] 毛霖,荆黎.短程硝化-反硝化技术在城市生活污水处理中的应用研究[J].化学工程师,2022,36(10):41-44.
- [2] 张海军,王荣钢,杨大卫,等.生物脱氮技术在城市污水处理中的应用及工艺优化[J].粘接,2022,49(10):110-113.
- [3] 李春林,范小妮,刘文乾,等.低温环境下 A/O/A/O-MBR 一体式污水处理技术应用研究[J].中国资源综合利用,2022,40(9):12-16.
- [4] 涂啸宇,张豆,王福友.城市污水处理系统电气控制自动化技术的标准化应用研究[J].今日自动化,2022(9):26-28.
- [5] 马刚.膜生物反应技术在环境工程污水处理中的应用——以 THELUS 污水站为例[J].工程技术研究,2022,7(9):65-67.
- [6] 林莉峰,胡维杰,王丽花.城市污水和污泥中磷回收技术发展和应用前景——以上海市为例[J].给水排水,2022,48(5):23-30.
- [7] 史世强,王培京,胡明,等.基于层次分析-灰色评价法的北京市农村污水处理技术评估[J].环境科学学报,2022,42(5):13-21.
- [8] 徐志浩,陈阳标.水生态构建技术在封闭不良水体中的应用——以盐城市某封闭水域水生态修复工程为例[J].工程技术研究,2022,7(8):52-54.