

集中式污水处理厂碳核算方法及降碳效果探究

刘春梅¹ 龚飞² 李芬¹

1. 汉江检测（湖北）股份有限公司，中国·湖北 襄阳 441000

2. 湖北万瑞环保有限公司，中国·湖北 襄阳 441047

摘要：随着全球对气候变化的关注度不断提高，集中式污水处理厂作为碳排放的重要来源之一，其碳核算方法及降碳效果研究至关重要。论文详细分析集中式污水处理厂的碳核算方法，包括排放源识别、核算边界确定以及不同核算方法的应用，并探讨各类降碳措施及其效果，旨在为污水处理厂的低碳发展提供理论支持和实践指导。

关键词：集中式污水处理厂；碳核算方法；降碳效果

Exploration of Carbon Accounting Methods and Carbon Reduction Effects for Centralized Sewage Treatment Plants

Chunmei Liu¹ Fei Gong² Fen Li¹

1. Hanjiang Testing (Hubei) Co., Ltd., Xiangyang, Hubei, 441000, China

2. Hubei Wanrui Environmental Protection Co., Ltd., Xiangyang, Hubei, 441047, China

Abstract: With the increasing global attention to climate change, centralized sewage treatment plants, as one of the important sources of carbon emissions, have crucial research on their carbon accounting methods and carbon reduction effects. This paper provides a detailed analysis of carbon accounting methods for centralized sewage treatment plants, including identification of emission sources, determination of accounting boundaries, and application of different accounting methods. It also explores various carbon reduction measures and their effects, aiming to provide theoretical support and practical guidance for the low-carbon development of sewage treatment plants.

Keywords: centralized sewage treatment plant; carbon accounting methods; carbon reduction effect

0 前言

在全球应对气候变化的大背景下，减少碳排放已成为各个行业的重要任务。集中式污水处理厂在处理污水过程中，会产生多种温室气体排放，如二氧化碳、甲烷和氧化亚氮等。准确核算这些排放，并采取有效的降碳措施，对于实现污水处理行业的可持续发展具有重要意义。一方面，碳核算可以帮助污水处理厂清晰了解自身的碳排放状况，为制定减排策略提供数据基础；另一方面，有效的降碳措施不仅有助于降低对环境的影响，还能在长期运营中降低成本，提高企业的竞争力。

1 集中式污水处理厂碳排放源识别

1.1 能源消耗相关排放

集中式污水处理厂的运行依赖大量电力，用于驱动各类设备，如水泵、曝气设备、搅拌器等。这些设备在运行过程中消耗的电能，间接导致了碳排放。电力的生产过程，尤其是以煤炭等化石燃料为主要能源的火力发电，会产生大量的二氧化碳排放。污水处理厂的电力消耗与处理工艺、设备效率以及污水量等因素密切相关。例如，采用传统活性污泥法的污水处理厂，曝气设备的电力消耗占比较大，因为需要

持续向污水中充氧，以满足微生物分解有机物的需求^[1]。在一些污水处理工艺中，需对污水或污泥进行加热处理，这就涉及热力消耗。例如，污泥厌氧消化过程中，为维持适宜的微生物生长温度，通常需要加热污泥，导致二氧化碳等温室气体的排放（见图1）。

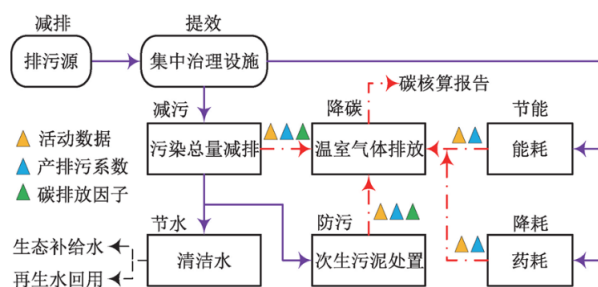


图1 污水处理与能耗、碳排放的关联性

1.2 污水处理过程排放

在污水处理过程中，尤其是在厌氧环境下，污水中的有机物会被微生物分解，产生甲烷。在污泥厌氧消化池中，复杂的有机物在厌氧微生物的作用下，逐步分解为简单的有机酸、醇类等，最终转化为甲烷和二氧化碳。甲烷的温室效应潜值约为二氧化碳的28倍，因此其排放对全球气候变化

的影响不容忽视^[2]。污水中有机物的浓度、厌氧处理工艺的运行条件都会影响甲烷的产生量。在生物脱氮过程中,氨氮首先被氧化为亚硝酸盐氮,然后进一步氧化为硝酸盐氮。在缺氧条件下,硝酸盐氮又会被还原为氮气。然而,在这个过程中,由于微生物的代谢活动以及环境条件的变化,会产生一定量的氧化亚氮。

1.3 污泥处理处置相关排放

除产生甲烷外,污泥厌氧消化过程中还会有其他温室气体排放。在厌氧消化的不同阶段,微生物的代谢活动会产生一些挥发性有机化合物(VOCs),部分VOCs具有温室效应。此外,在污泥厌氧消化后的沼液和沼渣处理过程中,也有少量的温室气体释放。例如,沼液如果直接排放到环境中,其中的剩余有机物在有氧条件下被进一步分解,产生二氧化碳等气体。当采用污泥焚烧的方式进行污泥处置时,会产生大量的二氧化碳排放^[3]。污泥中含有一定量的有机物质和碳元素,在高温焚烧过程中,这些有机物质和碳元素会与氧气发生反应,生成二氧化碳。

2 集中式污水处理厂碳核算方法

2.1 排放因子法

排放因子法是目前集中式污水处理厂碳核算中最常用的方法之一,其原理是将特定活动的活动水平与相应的排放因子相乘,计算该活动产生的温室气体排放量(见图2)。排放因子是指单位活动水平所产生的温室气体排放量,通常由相关机构或研究通过大量的监测和统计数据得出,并根据不同的地区、行业和工艺进行分类。对于电力消耗的碳排放计算,浮动水平为污水处理厂的年度电力消耗量,排放因子则为所在地区的电网平均二氧化碳排放因子。排放因子法的

优点是计算相对简单,数据获取相对容易,适用于大多数污水处理厂的碳核算。此外,排放因子的确定通常基于大量的实测数据、文献调研以及行业统计数据。不同地区的排放因子可能存在差异,因为能源结构、生产工艺等因素不同。以清洁能源为主的地区,其电网的二氧化碳排放因子相对较低;而以化石燃料为主的地区,排放因子则较高。此外,随着技术的进步和行业的发展,排放因子也需要不断更新。随着污水处理工艺的改进,污水处理过程中甲烷和氧化亚氮的排放因子会发生变化^[4]。

2.2 质量平衡法

质量平衡法是根据物质守恒定律,对污水处理过程中碳元素的输入和输出进行核算,确定温室气体的排放量。在污水处理过程中,碳元素主要以有机物的形式存在于污水和污泥中。通过分析污水和污泥中碳元素的含量,以及处理过程中碳元素的转化和去向,可计算出产生的二氧化碳、甲烷等温室气体的排放量。在污泥厌氧消化过程中,测量进入消化池的污泥中碳元素的含量,以及消化后沼液、沼渣和产生的沼气中碳元素的含量,利用质量平衡原理,可计算出甲烷的排放量。质量平衡法适用于对污水处理过程中碳元素转化有较为清晰了解的情况,能提供较为准确的碳排放核算结果。同时,质量平衡法的应用需要大量的数据支持,包括污水和污泥的流量、成分分析数据等。准确测量污水和污泥中碳元素的含量需要专业的分析设备和技术,并且需要定期进行监测,以确保数据的准确性和时效性。此外,在实际应用中,由于污水处理过程的复杂性,存在一些难以量化的碳元素转化途径,给质量平衡法的应用带来了一定的挑战。在污水处理过程中,存在一些微生物的代谢活动导致的碳元素的隐性转化,难以通过常规的监测手段进行准确测量。

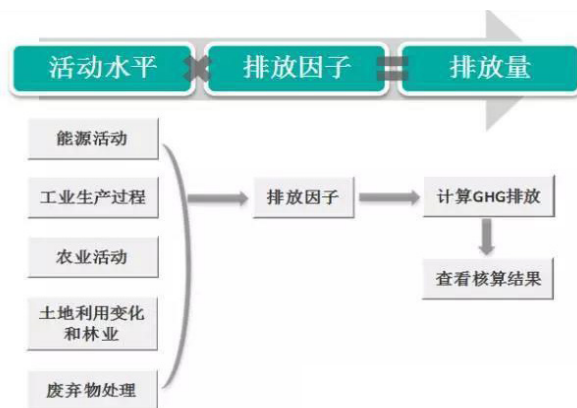


图2 排放因子法原理

2.3 生命周期评价法

生命周期评价法(LCA)是一种全面评估产品或服务在整个生命周期内,从原材料获取、生产、运输、使用到最终处置对环境影响的方法。在集中式污水处理厂的碳核算中,LCA方法不仅考虑污水处理厂自身的运营过程中的碳排放,还考虑到建设阶段、能源和原材料供应阶段以及污

水处理后产物的后续使用阶段的碳排放。在建设污水处理厂时,建筑材料的生产和运输过程会产生碳排放;在能源供应阶段,电力和热力的生产过程会产生碳排放;在中水回用阶段,中水输送和使用过程中会有能源消耗导致的碳排放。LCA方法能提供一个全面、系统的视角来评估污水处理厂的碳排放情况,有助于发现潜在的减排机会。

3 集中式污水处理厂降碳措施及效果

3.1 能源管理与优化

利用智能控制系统,根据污水流量和水质的变化,实时调整水泵、曝气设备等的运行参数,避免设备的过度运行和能源浪费。采用高效节能的设备也是提高能源利用效率的关键。例如,选用高效的曝气设备,如微孔曝气器,相比传统的曝气设备,能够提高氧气的利用率,减少曝气过程中的电力消耗。此外,对污水处理厂的管道系统进行优化设计,减少水头损失,也可以降低水泵的能耗。通过这些措施,污水处理厂的电力消耗可降低 10%~30%,相应减少因电力消耗产生的碳排放。同时,利用可再生能源,是实现污水处理厂低碳发展的重要方向。太阳能光伏发电是一种常见的可再生能源利用方式,在污水处理厂的建筑物屋顶或闲置土地上安装太阳能光伏板,将太阳能转化为电能,供污水处理厂内部使用。一些污水处理厂还采用了风力发电技术,在厂区周边合适的位置安装小型风力发电机。此外,部分污水处理厂利用污水中的有机物进行厌氧发酵产生沼气,将沼气作为能源用于厂区的热力供应或发电。利用可再生能源,污水处理厂可以减少对传统化石能源的依赖,从而显著降低碳排放。

3.2 污水处理工艺改进

改进生物处理工艺,可减少温室气体的排放。采用新型的生物脱氮工艺,如短程硝化反硝化工艺和厌氧氨氧化工艺。短程硝化反硝化工艺控制硝化过程,使氨氮在亚硝酸盐阶段就进行反硝化,相比传统的硝化反硝化工艺,减少氧气的消耗和能源需求,同时也降低氧化亚氮的产生。厌氧氨氧化工艺则是利用厌氧微生物将氨氮和亚硝酸盐氮直接转化为氮气,无需外加碳源,有效降低能耗和碳排放。研究表明,采用厌氧氨氧化工艺的污水处理厂,其能源消耗可以降低 30%~50%,氧化亚氮排放减少 50%~80%。此外,优化污泥处理工艺对于降低碳排放 also 具有重要意义,传统的污泥填埋方式不仅占用大量土地,还会产生甲烷等温室气体。采用污泥厌氧消化与土地利用相结合的方式,可有效减少碳排放。在污泥厌氧消化过程中,产生的沼气可以作为能源利用,减少对化石能源的依赖。消化后的沼渣经过处理后可作为有机肥料用于农业生产,实现资源的循环利用。此外,采用污泥干化焚烧技术时,优化焚烧工艺,提高焚烧效率,减少化石燃料的消耗,也可降低碳排放。

3.3 碳捕获与封存 (CCS) 技术应用

碳捕获与封存 (CCS) 技术是指将工业生产过程中产生的二氧化碳进行捕获、运输并封存到地下深处的技术。在集中式污水处理厂中,CCS 技术可以应用于污泥焚烧过程中产生的二氧化碳排放。首先,利用化学吸收、物理吸附等方法,将二氧化碳从烟气中捕获出来,然后结合管道或其他运输方式,将捕获的二氧化碳运输到合适的封存地点,如枯竭的油气田、深部咸水层等。CCS 技术的应用,可显著减少污水处理厂的二氧化碳排放,对于实现碳中和目标具有重要意义。尽管 CCS 技术具有巨大的减排潜力,但在集中式污水处理厂的应用中仍面临一些挑战。首先,CCS 技术的成本较高,包括二氧化碳捕获、运输和封存的设备投资、运行成本等。其次,二氧化碳的运输和封存需要严格的安全保障措施,以防止二氧化碳泄漏对环境造成危害。此外,目前 CCS 技术在污水处理厂的应用还处于探索和示范阶段,缺乏成熟的技术标准和规范。然而,随着技术的不断进步和成本的降低,CCS 技术在污水处理厂的应用前景广阔。未来,随着政策的支持和技术的突破,CCS 技术有望成为集中式污水处理厂降碳的重要手段。

4 结语

集中式污水处理厂的碳核算方法及降碳效果研究,有利于实现污水处理行业的低碳转型。通过准确识别碳排放源,合理确定核算边界,并采用科学的碳核算方法如排放因子法、质量平衡法和生命周期评价法,可全面、准确评估污水处理厂的碳排放情况。采取有效的降碳措施,如能源管理与优化、污水处理工艺改进以及碳捕获与封存技术应用等,能显著降低污水处理厂的碳排放,实现可持续发展。

参考文献:

- [1] 唐致远.集中式污水处理厂碳核算方法及降碳效果研究[J].环保科技,2024,30(5):13-17.
- [2] 蒋富海,李俊奇,张显忠,等.城镇污水处理厂治污降碳的精细化管理研究[J].中国给水排水,2024,40(12):13-20.
- [3] 朱晓晓,常闻捷,江野立,等.城镇生活污水收集处理能力评估[J].安徽农学通报,2024,30(8):69-73.
- [4] 章易博,柴文波,王长智,等.城镇污水处理厂碳排放核算与基于 BioWin 的减污降碳模拟[J].环境科学学报,2024,44(9):427-438.

作者简介:刘春梅(1982-),女,中国湖北随州人,硕士,工程师,从事环境工程研究。