

# 污水处理厂污水污泥处理碳减排路径分析

王超<sup>1</sup> 王芬芬<sup>2</sup>

1.北控(杭州)生态环境投资有限公司青岛分公司; 2.北控(杭州)环境工程有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i2.6549

**[摘要]** “双碳”战略目标的提出,对污水处理厂污水污泥处理碳减排目标提出了新的要求。本文通过对污水处理厂污水污泥处理碳减排路径进行分析,提出当前污水处理厂碳减排进展方向,并以路径分析为基,探讨了污水处理厂中的碳减排措施,为污水处理行业实施碳减排提供了理论依据及方法参考。

**[关键词]** “双碳”目标; 污水处理厂; 碳减排

Analysis of carbon reduction pathways for sewage sludge treatment in sewage treatment plants

Wang Chao<sup>1</sup> Wang Fenfen<sup>2</sup>

1. Beikong (Hangzhou) Ecological Environment Investment Co., Ltd. Qingdao Branch;

2. Beikong (Hangzhou) Environmental Engineering Co., Ltd

**[Abstract]** The proposal of the "dual carbon" strategic goal has put forward new requirements for the carbon reduction target of sewage sludge treatment in sewage treatment plants. This article analyzes the carbon reduction path of sewage sludge treatment in sewage treatment plants, proposes the current direction of carbon reduction in sewage treatment plants, and based on the path analysis, explores carbon reduction measures in sewage treatment plants, providing theoretical basis and method reference for the implementation of carbon reduction in the sewage treatment industry.

**[Key words]** "dual carbon" goals; Sewage treatment plant; Carbon reduction

## 引言

在污水处理的行业中,因为污水含有大量有机物、含氮化合物和有害物质,使得污水处理过程中会产生大量的直接碳排放和间接碳排放。直接碳排放是指在污水处理流程中,直接产生 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 并进入大气。间接碳排放是指电耗、能耗、药耗所引起的碳排放,主要是 CO<sub>2</sub> 排放。其中污水、污泥处理单元产生的直接碳排放量约占 35%~65%,并与进水水质条件、运行工艺水平等因素息息相关。因此本文针对污水处理厂中的处理流程从行动策略角度分析其减碳路径,探讨对应的减碳措施,期望能在节能降耗的基础上减少碳排放,既能提高污水处理厂的经济效益,又可以助力污水处理厂“低碳”目标的实现,为后续污水处理厂提供依据和参考。

## 1. 污水污泥处理厂污水污泥处理碳减排路径分析

污水进入污水污泥处理厂后,经过不同的处理单元,所产生的直接碳排放气体有所区别,其中,CO<sub>2</sub> 主要在生物处理单元及污泥处理单元中产生;CH<sub>4</sub> 在所有处理流程中均有产生 N<sub>2</sub>O

主要产生自活性污泥单元,方式为硝化及反硝化。三种气体所产生的量与进水水质、处理过程、处理工艺均息息相关。

### 1.1 源头控制

通过降低进入污水管渠设施和污水处理厂的污水量和污染物总量可以有效的减少污水污泥处理所需消耗和直接碳排放量,可采取雨污分流、源分离技术、污水管渠断面、坡度优化降低死区厌氧环境等方式。根据具体地区,因地制宜的制定当地的污水污泥处理排放标准,充分发挥水体的自净能力,当收纳水体水质好时,可适当降低出水水质标准,当收纳水体水质较差时,则适当提高水厂出水标准,可以在不影响水质的条件下,避免盲目追求高标准出水水质,从而减少电耗和药耗,实现碳减排。通过药剂投加、断面优化、强制通风等措施来尽量减少污水管渠中厌氧环境和死区、抑制甲烷菌活性,减少 CH<sub>4</sub> 的产生。

### 1.2 过程优化

污水污泥处理厂可更新、升级、优化设备和控制,提升设

备的使用效率，减少电量消耗，包括使用变频水泵、高效曝气泵、微气泡曝气头，并提高曝气前后的反馈能力，优化控制技术，减少运行中的损耗，实现碳减排。各个污水污泥处理单元在设计时应充分对设计参数进行优化调整，减少易生成  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  环境，可采取数学模型技术构建运行条件、污染物去除效率、温室气体生成三方关系式，反馈控制优化，实现资源精准利用，节约能源，实现碳减排。在污泥处理单元中，应尽量减少剩余污泥在厂区内堆放时间，及时进行处理、处置、减少污泥处理处置量，降低处理和场外运输消耗。

### 1.3 工艺升级

采用污水污泥处理新技术降低电力或化学药剂消耗或降低  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  生成环境条件和生成排放量，如紧凑型生物处理工艺和高效脱氮工艺，提高处理负荷。此方法所需周期长、投入大，在国内应用并不广泛，但其约可降低 50% 运行电力消耗和碳排放量。

### 1.4 低碳能源

污水污泥处理厂可通过污泥厌氧消化和水源热泵技术，充分利用污水余温热能，保证污水系统碳中和实现，并可对外输出能量。在污泥处理单元，可提取或转化污水与剩余污泥中蕴含的化学能、热能等能源，以替代化石能源消耗，如推广或升级传统厌氧消化技术至现金厌氧消化技术，分别回收污泥中化学能和污水中热能，利用厂区面积收集太阳能和风能。

## 2. 污水污泥处理厂污水污泥处理碳减排措施探讨

### 2.1 源头控制

可采取源分离技术，将排泄物与一般清洁用水性相分离，进行单独收集、输送、处置，从而便于对排泄物中的氮、磷、钾等营养元素进行截留或分离，将其回收利用于农业的持续生产。同时减少进入污水污泥处理厂中的氮、磷总量，间接提高了进水中的 C/N、C/P 比，等效于额外加碳源、降低污水污泥处理浓度、减少处理能耗及碳排放强度，预计可减少碳排放量约  $47\sim 95\text{CO}_2\text{-eq}/(\text{人}\cdot\text{a})$ 。其次，传统的污水污泥处理本质上是将水污染转换为大气污染的过程，提高出水水质标准虽可以减少黑臭水体和富营养化，但也加剧了向大气中排放温室气体。因此在制定当地污水污泥处理标准时，应当结合各类环境影响综合评定，确定对环境最有益的方案，同时还要设定水质监管监测部门，对水质进行实时监测，对应不同时期，根据不同地区所呈现的不同收纳水体水质特征及污水特征，对应调整污水出水水质要求。此外，工业企业的生产废水经过处理达标后，允许其排放至市政污水管渠，与生活污水一同进行后续的处理，但部分企业责任意识淡薄，违规偷排工业废水事件屡见不鲜。而水质超标的工业废水会使得污水中污染物浓度提高，加重污水污泥处理厂的负担，影响污水污泥处理效果，因此应

加强相关部门的长期严肃监管，实施强有力的惩治措施。

### 2.2 施行污水污泥处理自动化控制

现代污水污泥处理厂可通过使用精细传感器和控制设备对实时信息进行精确化采集、传输、存储、处理和服务，对水厂实现全面监测、科学决策、自动控制、及时响应，达成污水污泥处理高效、稳定运行。施行自动化控制的核心是模型的建立，在数字模拟工具辅助下，可指导污水厂的运行管理，实现曝气与回流的精准控制，避免各类药剂的过量投加，大幅度节约运行能源和电力消耗，减少间接碳排放量。污水污泥处理厂中的曝气是高耗能单元，占据污水污泥处理厂运行总耗能的 50% 以上。在曝气过程中若曝气不足，则会影响生化反应，影响出水水质，若曝气量过高，又会导致高能耗和高碳排放量。应用在线监测仪表，辅以数字模拟技术计算，可以精准调控鼓风机压力、曝气量，使气水比达到理论最佳状态，实现按需供气，精准供气，降低运维中机械磨损及能量消耗。如前馈/控制/反馈/控制模式，在曝气池进水前端和末端分别安装监测仪表，感知污水中的 DO、NH<sub>3</sub>-N、COD、水温等水质参数，利用生物模型等数字工具进行模拟计算，得出理论最佳曝气量并自动控制调节鼓风机。该方法精确度较高，但较依赖监测仪表的感知精度。若仪表发生异常，则将严重影响曝气池的处理效果。其次，在污水污泥处理厂的长期运行中，水泵长期运行会导致部件磨损或损坏，使得水泵的效率逐渐下降与损失，其原因包括机械磨损，如被泥沙磨损、腐蚀性物质腐蚀等；水泵长期不在额定状态运行，对水泵流量、压力管理不当等。为提高水泵运行效率，降低其运行能耗，可从设备维护与运行模式两方面入手。设备维护指对水泵的部件或整体进行维修与更换。例如，更换磨损的叶片，清除管道与水泵内沉积的固体。这需要加强污水处理厂内部管理制度，对厂区内设备进行长期积极的管理，保持最佳设备状态。运行模式优化则指调整、优化水泵运行状态、时段等，达到充分利用水泵效率的目的。在污水处理厂中，仅少数水泵正常运行，而大多数水泵低效或无效运行的现象时有发生。由此导致大量能量被无效消耗，由此造成额外的温室气体排放。应制定合理的泵房运行模式，选择恰当规格型号的水泵，以发挥水泵的最大运行效率，优化运行能耗与温室气体排放。其需要准确掌握各泵房及水泵的效率数据，以长期历史污水流量、水质等指标为基础，选择与确定最适宜的运行模式。对水泵长期监测可靠安装额外的监测设备，感知流量、能耗、水泵效率等参数，也可进一步安装管理器自动控制水泵运行状态。相关研究表明，虽然安装这些设备需耗费一定的成本，但很快即可通过水泵提效节能收回。

### 2.3 采用紧凑型污水污泥处理工艺

污水污泥处理厂在运行过程中，生物反应器运行需要予以

搅拌、曝气并回流,会消耗大量电能,从而产生的间接碳排放量,约占污水处理厂碳排放总量的18%。因此,通过提高污水污泥处理效率与负荷,缩小反应器体积,则可减少其规划建设中施工及建材消耗产生的碳排放量,以及运行维护中各类机械运行消耗电能、处理消耗药剂等产生的间接碳排放量。例如,好氧颗粒污泥(AGS)工艺利用了微生物团聚形成的密实结构,其密度及生物量较传统工艺都有明显提高。由于氧气扩散受限,AGS内部微生物形成了层状结构。最外层为利用氧气降解有机污染物的异养细菌;中间层为利用氧气进行硝化作用的硝化细菌;最内层为偏好厌/缺氧环境的反硝化细菌及聚磷菌。这种多层次的结构使得AGS可同时同步进行COD、氮、磷的同步去除。其反应器占地面积通常仅为同规模污水处理工艺的1/4,整体设计简约紧凑。而其运行维护中生化反应产生的 $N_2O$ 水平与传统污水污泥处理厂相当。但其需要的机械设备也较少,不需污泥回流泵等设备,可节约25%~30%总能耗。工艺过程需求的曝气量更低,可节约30%能耗。AGS工艺总体可减少30%~50%能量消耗,且不需额外投加化学药剂。

#### 2.4 使用高效脱氮技术

传统污水污泥处理厂中采用的生物脱氮工艺反应过程复杂,需要好氧及缺氧环境,因而反应器容积大,运行设备多,磨损及能耗高。此外,传统生物脱氮过程还需消耗一定量的有机碳源。若生活污水有机物(COD)含量不足时,则可能反而需要污水污泥处理厂额外投加有机碳源,由此产生额外的碳排放量。因此,采用高效脱氮工艺,缩短脱氮流程,减少反应器容积及机械能耗,节省药剂消耗,可以有效降低脱氮过程中产生的间接碳排放量。例如,短程硝化反硝化工艺利用亚硝化细菌(AOB)与硝化细菌(NO<sub>B</sub>)对氧气亲和能力的不同,控制硝化反应只进行到NO<sub>2</sub>为止,随后再进行反硝化反应,因此,可缩短脱氮反应流程。由此便可增大反应器处理负荷,缩小反应器体积,减少碳排放量,降低对碳源和O<sub>2</sub>的需求,减少曝气过程能耗及因电力消耗导致的间接碳排放量。再如,厌氧氨氧化反应(ANAMMOX)是利用相关微生物的活动,在厌氧环境中,以NO<sub>2</sub>为电子受体,将NH<sub>4</sub><sup>+</sup>直接氧化为N<sub>2</sub>。相比于传统污水脱氮工艺中将NH<sub>4</sub><sup>+</sup>氧化至NO<sub>3</sub><sup>-</sup>,再还原至N<sub>2</sub>般“舍近求远”的处理过程,ANAMMOX反应流程要短得多,在不需消耗有机物(COD)及O<sub>2</sub>的同时减少了脱氮过程中所需的机械耗能及磨损,尤其是曝气过程,其节省能源可达60%之多,大幅减少了碳排放量。

#### 2.5 污水资源回收利用

市政污水及剩余污泥中富含多种资源,如磷、大分子有机物等高附加值产品。经过适当处理对其进行回收并循环利用,不仅可以产生一定的经济效益,也可作为相应产品的替代品,

因而缩短了原产品及其原材料的开采、生产过程,减少了其碳排放总量。例如,从污水或剩余污泥中回收磷资源。磷是生命必需的重要元素,是现代农业可缺少的营养成分,但它同时也是一种不可再生资源。由于现代社会对磷粗放式开采与管理,使大量磷最终归宿沉积于海底。生活污水与剩余污泥中富含丰富的磷资源,采用适当手段进行回收,并初步加工为低级产品,可替代化石肥料的开采与消耗,间接减少其生产所导致的碳排放量。目前磷回收技术主要可分为:①液体含磷,如AAO工艺厌氧池上清液及污泥消化液中,回收率为40%~50%。②固体含磷,如消化污泥或脱水后消化污泥中。③自污泥焚烧灰分中,回收流程可达90%。再如,从剩余污泥中回收类藻酸盐(ALE)产品。目前工业上藻酸盐主要来源于大型海藻(海带),其提取过程中产生大量工业废水,并消耗大量煤炭、酸、碱等化学品。研究发现,在常规的活性污泥工艺中,微生物均可利用污水中的有机物合成并保持较高含量的类藻酸盐,其含量可达10%~35%(污泥干重)。污水合成ALE技术可拓宽污泥资源化渠道,促进污水污泥处理厂向社会输出高品质产品,间接降低了生产所导致的碳排放量。ALE易于生物降解,亦可缓解与根治塑料制品导致的垃圾污染,助力社会的可持续发展。

#### 结语

污水污泥处理厂属于高能耗行业,本文依据污水污泥处理厂处理流程,分析了污水污泥处理厂中的碳减排路径,从多个角度探讨了具体节能减碳实施措施,为污水污泥处理厂的实际运行提供了参考,有助于推动污水污泥处理行业碳减排的发展。

#### 【参考文献】

- [1]王洪臣.我国城镇污水处理行业碳减排路径及潜力[J].给水排水,2017,53(03):1-3+73.
- [2]马最良,姚杨,赵丽莹.污水源热泵系统的应用前景[J].中国给水排水,2003(07):41-43.
- [3]尹朝辉,刘芳,王志明,等.污水处理厂典型节能技术分析[J].建筑学,2016,32(12):107-113.
- [4]郑伟.分布式光伏并网发电系统的发展应用[J].农村电工,2021,29(03):35-36.
- [5]杨琦,苏伟,姚兰,等.生物质制氢技术研究进展[J].化工新型材料,2018,46(10):247-250+258.
- [6]代小霞,周广健,张艳群.节能环保技术在污水处理中的实施探析[J].清洗世界,2023,39(08):46-48.
- [7]刘春霞,孙鹏飞,吴晓辉,等.“双碳”背景下污水处理行业降碳减排路径探析[J].环境工程,2023,41(S2):135-137.
- [8]钱福娜,张德同.污水处理厂创新节能措施技术分析[J].节能与环保,2023(06):69-71.