

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.23.010

# 提质增效行动下某设区市污水处理减碳强度分析

付浩<sup>1</sup>, 罗琦<sup>2</sup>

(1. 江苏省规划设计集团有限公司 江苏省城镇与乡村规划设计院有限公司, 江苏 南京 210019; 2. 江苏省建筑设计研究院股份有限公司, 江苏 南京 210019)

**摘要:** 从城乡污水处理系统碳排放角度出发,以处于城乡污水处理典型阶段的苏中某设区市为研究对象,结合定量方法及国内研究成果的类比分析,测算在污水处理系统提质增效行动前后重要时间节点的碳排放强度,验证城市污水处理系统碳减排的目标可达性。测算结果显示,2019年、2025年、2030年该设区市污水处理系统的碳排放总量分别为42 894.1、55 051.0、63 553.9 t,去除单位BOD的碳排放强度分别为2.62、1.47、0.55 kgCO<sub>2</sub>/kgBOD,表明“十四五”末期碳排放强度下降18%的目标可达。校验城市污水处理行业的碳达峰时间节点,发现2030年—2033年该设区市的碳排放总量逐年下降,与上一年相比,2031年—2033年分别下降0.72%、3.75%、13.01%,表明2030年该设区市污水处理行业碳达峰目标可达,减碳效益可观。

**关键词:** 污水处理; 提质增效; 碳排放总量; 碳排放强度; 目标可达性

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)23-0063-06

## Analysis of Carbon Emission Reduction Intensity of Sewage Treatment System in a Districted City under the Action of Improving Quality and Efficiency

FU Hao<sup>1</sup>, LUO Qi<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Institute of Urban & Rural Planning and Design Co. Ltd., Jiangsu Provincial Planning and Design Group Co. Ltd., Nanjing 210019, China; 2. Jiangsu Province Architectural D&R Institute Co. Ltd., Nanjing 210019, China)

**Abstract:** From the perspective of carbon emission of urban and rural sewage treatment systems, this paper calculates the carbon emission intensity of typical urban and rural sewage treatment systems in a districted city in Central Jiangsu at important points before and after the action of improving quality and efficiency, and verifies the accessibility of carbon emission reduction target of urban sewage treatment system by combining with quantitative analysis and analog analysis of domestic research results. In 2019, 2025 and 2030, the total carbon emissions of the sewage treatment system are 42 894.1 t, 55 051.0 t and 63 553.9 t, respectively, and the carbon emission intensities of removing unit BOD are 2.62 kgCO<sub>2</sub>/kgBOD, 1.47 kgCO<sub>2</sub>/kgBOD and 0.55 kgCO<sub>2</sub>/kgBOD, respectively, indicating that the target of reducing carbon intensity by 18% by the end of the 14th Five-Year Plan are achievable. After checking the carbon peak time of the urban sewage treatment industry, it is found that the total carbon emissions of the districted city will decrease year by year from 2030 to 2033, and will decrease by 0.72%, 3.75% and 13.01% respectively from 2031 to 2033 compared with the previous year. The results indicate that the carbon peak target of urban sewage treatment industry can be reached in 2030, and the carbon reduction benefits are considerable.

**Key words:** sewage treatment; quality and efficiency improvement; total carbon emissions; carbon emission intensity; target accessibility

城镇污水处理提质增效的全面实施对水环境贡献了巨大的生态效益,“十四五”期间江苏省城镇排水系统收集效能的提升,增加了污水厂进水量及BOD浓度,对污水处理行业践行碳达峰、碳中和“3060”目标提出了挑战。2021年国家“十四五”规划公布,明确我国政府于“十四五”末期碳排放强度下降18%的约束性目标。污水处理系统的碳排放分为直接碳排放和间接碳排放,碳排放量约占全社会碳排放总量的1%~2%。直接碳排放是指在水处理过程中因有机物降解、氮转化等而产生的温室气体(主要是CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O)碳排放量,生源碳不计入碳排放清单<sup>[1]</sup>。间接碳排放是指污水处理过程中消耗的外部化石能源等(产电、产热)以及各种化学药剂生产运输过程产生的碳足迹,其中电力消耗占绝大部分。本研究重点分析CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、化石源CO<sub>2</sub>及电力消耗产生的碳排放量。在不考虑水环境质量改善主导效益的前提下,提质增效的推进势必会增加污水处理行业的碳排放总量,但若考虑CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O的收集治理及国家单位电量CO<sub>2</sub>排放强度的下降,从去除单位BOD的碳排放强度角度分析,在二者的矛盾中可能产生较好的减排效益。

我国目前多从国家宏观层面、行业层面或单个污水处理厂进行减碳研究,较少从设区市行政管理层面开展研究。为此,笔者选取江苏省中部平原地区某设区市为研究对象,该市的城镇污水处理厂基本正常运行,大部分乡镇已建污水处理厂但运行状态一般,农村生活污水处理近年来也在稳步推进,处于城乡全覆盖的污水处理发展阶段,具有一定的代表性。笔者在分析调查该市污水处理厂“一厂一策”、乡镇污水处理统筹方案实施的基础上,综合考虑农村生活污水治理实践,通过设定不同时间节点的情景方案,以人口规模为类比媒介,模拟分析该市在提质增效前后不同时间节点的碳排放总量及构成,测算去除单位BOD的碳排放强度,校验2025年碳排放强度下降18%的目标可达性,探索提质增效背景下该市污水处理系统的碳达峰时间节点,以为城市污水处理系统减碳目标的设置提供参考,助力污水处理行业的“3060”目标实现。

## 1 分析方法

CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O的排放量依据《2006年IPCC国家温室气体清单指南》进行测算。考虑到数据的可获取性,化石源CO<sub>2</sub>的排放量依据王向阳<sup>[2]</sup>、杨世琪<sup>[3]</sup>对相同工艺的污水处理厂研究成果类比计算。

### 1.1 CH<sub>4</sub>排放量

CH<sub>4</sub>排放量的计算方法如下:

$$E_{\text{CH}_4} = \text{TOW} \times B_0 \times \text{MCF} - R \quad (1)$$

式中: $E_{\text{CH}_4}$ 为CH<sub>4</sub>的年排放量,kg/a(以CO<sub>2</sub>计);TOW为每年生活污水中有机物的降解总量,kgBOD/a; $B_0$ 为污水处理过程中产生CH<sub>4</sub>的能力,缺省值为0.6 kgCH<sub>4</sub>/kgBOD;MCF为CH<sub>4</sub>修正因子,取值0.3;R为碳回收量,缺省值为0,kg/a(以CO<sub>2</sub>计)。

### 1.2 N<sub>2</sub>O排放量

N<sub>2</sub>O排放量的计算方法如下:

$$E_{\text{N}_2\text{O}} = (P \times F_{\text{蛋白质}} \times F_{\text{NPR}} \times F_{\text{NON-COM}} \times F_{\text{IND-COM}} - N_{\text{污泥}}) \times \text{EF}_{\text{污水}} \times 44/28 \quad (2)$$

式中: $E_{\text{N}_2\text{O}}$ 为N<sub>2</sub>O的年排放量,kg/a(以CO<sub>2</sub>计);P为服务范围的人口数量; $F_{\text{蛋白质}}$ 为每年人均蛋白质消费量,kg/(人·a); $F_{\text{NPR}}$ 为蛋白质中氮的比例,缺省值为0.16 kgN/kg蛋白质; $F_{\text{NON-COM}}$ 为进入污水管道系统的非消耗蛋白质因子,取值1.5; $F_{\text{IND-COM}}$ 为进入污水管道系统的工业和商业废水中的蛋白质排放因子,缺省值为1.5; $N_{\text{污泥}}$ 为随污泥清除的氮,缺省值为0,kgN/a; $\text{EF}_{\text{污水}}$ 为污水处理过程中产生N<sub>2</sub>O的能力,缺省值为0.005~0.035 kgN<sub>2</sub>O-N/kgN,本研究中城镇污水处理厂取0.035 kgN<sub>2</sub>O-N/kgN,农村污水处理系统取0.02 kgN<sub>2</sub>O-N/kgN;44/28为N<sub>2</sub>O与N<sub>2</sub>的分子质量之比。

### 1.3 化石源CO<sub>2</sub>排放量

化石源CO<sub>2</sub>排放量的计算方法如下:

$$E_{\text{CO}_2} = 0.1 \times (1 + \beta) \times (E_{\text{CH}_4} + E_{\text{N}_2\text{O}}) \quad (3)$$

式中: $E_{\text{CO}_2}$ 为化石源CO<sub>2</sub>的年排放量,kg/a(以CO<sub>2</sub>计);0.1为化石源CO<sub>2</sub>排放量在CO<sub>2</sub>直接排放总量(含内源呼吸)中的占比<sup>[2]</sup>; $\beta$ 为生源碳占CO<sub>2</sub>直接排放量的比例,取0.49<sup>[3]</sup>。

### 1.4 电量消耗产生的CO<sub>2</sub>间接排放量

电量消耗产生的CO<sub>2</sub>间接排放量计算方法:

$$E_{D-CO_2} = \alpha \times M_{\text{电力消耗量}} \times Q \quad (4)$$

式中: $E_{D-CO_2}$ 为每年电量消耗产生的CO<sub>2</sub>间接排放量,kg/a(以CO<sub>2</sub>计); $\alpha$ 为单位电耗的CO<sub>2</sub>间接排放量,kg/(kW·h); $Q$ 为污水厂的年污水处理量,m<sup>3</sup>/a; $M_{\text{电力消耗量}}$ 为处理单位污水的电力消耗,城镇污水处理厂可参照赵晔等<sup>[4]</sup>对全国设区市1 548座污水处理厂能耗分析成果测算,kW·h/m<sup>3</sup>。

$$M_{\text{电力消耗量}} = 0.0008 \times C_{\text{BOD}} + 0.1956 \quad (5)$$

式中: $C_{\text{BOD}}$ 为污水处理厂进水BOD浓度,mg/L。

## 2 设区市污水处理系统抽样分析

### 2.1 分析层次

按城市、乡镇、农村三个层面分析城乡全覆盖的污水处理系统。其中,城市、乡镇层面主要以污水处理厂为抓手,分析污水处理系统的CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O排放量及电量消耗产生的CO<sub>2</sub>间接排放量;农村层面是在调查分散式小型污水处理设施的基础上,假定农村生活污水治理目标,测算碳排放量。

城市层面,分析该设区市辖区收集到的3座污水处理厂(分别记作A厂、B厂、C厂)的各类参数;乡镇层面,分析该设区市某辖区下辖各乡镇的污水处理系统;农村层面,分析该设区市辖区某县级市的农村生活污水治理情况。最终根据这3个层次分析样本,以城市、乡镇、农村各类型人口规模为类比媒介,测算全市污水处理系统的减碳效益。

### 2.2 污水处理系统运行概况

城市层面,2019年该设区市辖区内的3座污水处理厂A、B、C的年进水量分别为6 081.8×10<sup>4</sup>、6 031.9×10<sup>4</sup>、2 246.4×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,进水BOD<sub>5</sub>年均浓度分别为89.2、113、48 mg/L,服务人口分别为57、51、30万人。可以看出,3座污水处理厂的年进水量与服务人口基本匹配,但A厂和C厂的进水BOD<sub>5</sub>浓度均未达到100 mg/L的最低要求,C厂仅为48 mg/L,表明C厂进水大部分为进入污水收集系统的其他水,如地下水、倒灌河水、雨水等,生活污水收集率极低,仅为21.9%,污水厂运行效能低下。

乡镇层面,该设区市某辖区下辖各乡镇的污水处理厂在2019年的运行参数见表1。可以看出,乡镇污水处理厂的运行效率较低,2019年进水BOD<sub>5</sub>浓度均未达到100 mg/L,其中镇-1的污水处理厂进

水BOD<sub>5</sub>仅为27.3 mg/L,大部分进水来源未知。

表1 某辖区下辖各乡镇污水处理厂2019年的运行参数

Tab.1 Operating parameters of sewage treatment plants in the towns of a district in 2019

乡镇	总人口/ 万人	镇区人 口/万人	年进水量/ 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	BOD <sub>5</sub> 浓度/ (mg·L <sup>-1</sup> )	处理单位污 水的电耗/ (kW·h·m <sup>-3</sup> )
镇-1	9.59	3.78	13.46*	27.3	2.05
镇-2	3.75	0.96	58.40	40.0	0.33
镇-3	5.16	1.02	—	—	—
镇-4	5.18	2.68	73.00	40.0	0.66
镇-5	4.91	2.00	77.08	40.8	0.20
镇-6	6.44	2.34	—	—	—
镇-7	8.94	2.79	36.50	40.0	1.53
镇-8	8.50	2.59	186.34	20.9	0.52
镇-9	4.38	0.90	58.40	40.0	0.11
镇-10	15.84	9.61	884.39	40.1	0.30
镇-11	5.14	1.18	18.25	40.0	1.33
镇-12	4.55	1.14	—	—	—

注:“—”表示该镇污水厂正在建设中;“\*”表示该污水厂2019年由于检修间歇运行导致进水量异常。

农村层面,该设区市辖区某县级市的农村生活污水治理系统共34个,年进水量为147.8×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,实际服务人口为5万人(服务范围内的农村人口合计48.74万人),可知农村层面暂未大规模启动污水处理,在自然村已建污水处理系统大部分运行效果一般<sup>[5]</sup>。另外,根据少量处理系统进水水质检测结果,2019年进水BOD<sub>5</sub>平均浓度仅为38.46 mg/L,表明大部分进水非生活污水。

以上污水处理厂年进水量和BOD<sub>5</sub>浓度数据来源于城市提质增效专项行动季度报表,服务人口数据来源于城镇统计年报。

### 3 各时间节点的情景方案及计算参数

测算污水处理行业提质增效实施前(2019年)、实施后(2025年)及碳达峰计划年限(2030年)这3个时间节点的碳排放量,从碳减排及水量水质两方面设定测算方案。参照任佳雪等<sup>[6]</sup>的研究,在“双碳”目标形势下,2025年—2050年污水处理设施的CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O回收利用减排量年均增幅为3.2%,进水BOD浓度年均增幅为10%。具体方案如下:

① 提质增效实施后(2025年)。碳减排方面:城市和乡镇污水处理厂的CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O收集率均达到10%,对农村不作要求。水量水质方面:污水处理系



统进水BOD<sub>5</sub>浓度提升至100 mg/L;城市层面全面消除管网覆盖空白区;乡镇层面实施区域污水统筹处理,服务范围达到建成区范围的70%;农村污水处理系统服务人口达到农村人口总数的60%。

② 碳达峰计划年限(2030年)。碳减排方面:城市、乡镇、农村污水处理系统的CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O收集率分别达到26%、21%、10%。水量水质方面:污水处理系统进水BOD<sub>5</sub>提升至150 mg/L;维持乡镇污水统筹处理格局,服务范围达到建成区范围的100%;农村污水处理系统服务人口达到农村总人口的90%。

碳排放计算所需的各类参数设置如下:

① 碳排放参数。人均蛋白质年消费量 $F_{\text{蛋白质}}$ :2019年、2025年和2030年的取值分别为31.27、33.89、36.50 kg/(人·a),其中,2019年的取值依据城市统计年鉴消费品统计测算得出,2030年的取值参考欧洲发达国家人均标准。农村处理单位污水的电力消耗 $M_{\text{电力消耗量}}$ :参照《江苏省村庄生活污水治理适宜技术及建设指南(2016版)》,2025年和2030年的取值分别为0.30、0.25 kW·h/m<sup>3</sup>。单位电耗的CO<sub>2</sub>间接排放量 $\alpha$ :2019年单位电耗的CO<sub>2</sub>间接排放量按550 g/(kW·h)计,2060年按已实现碳中和的发达国家计,取100 g/(kW·h),其他时间节点的数据通过内插得出,据此可得2025年和2030年的取值分别为493.75、437.50 g/(kW·h)<sup>[7]</sup>。

② 社会发展参数。年城镇化率的增速:2020年—2030年期间按1%计<sup>[8]</sup>。年均人口增长率:2025年和2030年均按1%计<sup>[8]</sup>。

## 4 结果与讨论

### 4.1 提质增效实施前(2019年)的碳排放量

利用式(1)~(5)计算该设区市污水处理系统在提质增效实施前(2019年)的碳排放量。结果表明,设区市污水处理系统的碳排放总量为42 894.1 t,城市层面样本的碳排放量为25 045.5 t,推算全域城市层面污水处理系统的碳排放总量为31 328.7 t,占整个设区市污水处理系统排放总量的73.04%;全域乡镇层面污水处理系统的碳排放量为9 024.1 t,占比为21.04%;农村层面由于污水治理暂未全面铺开,全域农村层面污水处理系统的碳排放量为2 541.4 t,占比仅为5.92%。

在碳排放的分项构成方面,该设区市全域污水处理系统的化石源CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O及电力消耗间接

碳排放量分别为678.4、3 364.5、1 188.8、37 662.3 t,电力消耗间接碳排放量占比高达87.8%,这与城市部分污水处理厂及乡镇污水处理厂的进水量大但BOD<sub>5</sub>浓度低,大量电力消耗在进厂非生活污水的低效处理上有关。此外,城市层面CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、电力消耗间接碳排放量占设区市各项的比例分别为89.3%、89.1%、89.9%、70.8%,占主要地位。

在碳排放强度方面,该设区市全域BOD去除量为16 358.2 t,去除单位BOD的碳排放强度为2.62 kgCO<sub>2</sub>/kgBOD。

### 4.2 提质增效实施后(2025年)的碳排放量

2025年,江苏省提质增效专项行动按计划完成,城镇污水处理系统进水BOD<sub>5</sub>浓度均已达到100 mg/L的目标,现状(2021年)已达到100 mg/L的污水处理厂按现状年均进水指标计算,依据第3节的计算参数及表2的乡镇层面样本污水处理统筹方案,测算各层面的碳排放总量。结果表明,由于该设区市人口规模增加、污水处理系统管网覆盖率提高及进水中其他水量的减少,污水处理系统进水总量、浓度提高,设区市全域污水处理系统的碳排放总量处于全面上升阶段,2025年可达到55 051.2 t,较提质增效实施前(2019年)增加了28.3%。城市层面、乡镇层面和农村层面的碳排放量分别为32 646.5、17 828.4、4 576.1 t,占设区市全域污水处理系统碳排放总量的比例分别为59.3%、32.4%、8.3%;与提质增效实施前(2019年)相比,分别增加了1 317.8、8 804.4、2 034.7 t,增长率分别为4.2%、97.6%、80.1%。可以看出,乡镇层面对碳排放总量增加的贡献率高达72.4%,已成为市域碳排放总量的主要增长极,农村层面的增量贡献率达到16.7%,这与乡镇污水实施统筹处理后的效率提高有关。

表2 乡镇层面污水处理统筹方案

Tab.2 Sewage treatment plan at township level

项 目	总人口/ 万人	镇区人 口/万人	年进水量/ 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>
镇-1、镇-2、镇-3	19.4	6.4	843.15
镇-5、镇-7、镇-11	20.0	6.6	689.85
镇-8、镇-4	14.4	5.8	562.20
镇-10、镇-12	21.4	11.9	1 037.69
注: 方案来源于笔者负责完成的该区乡镇污水处理统筹规划;镇-6、镇-9纳入区污水收集处理系统。			

在碳排放的分项构成方面,该设区市全域污水处理系统的电力消耗间接碳排放量达到46 205.4 t,占全市污水处理系统碳排放总量的83.9%。城市层面 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、电力消耗间接碳排放量占该设区市各项的比例分别为59%、61.8%、52.1%、59.4%,如图1所示。与2019年相比,城市层面电力消耗间接碳排放量增幅趋缓,乡镇层面电力消耗间接碳排放量增幅较大,较2019年增加了76.3%。

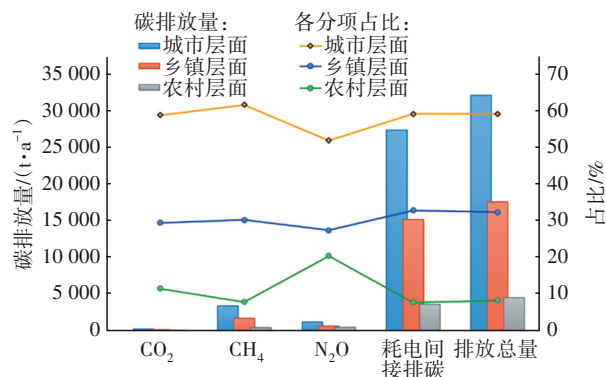


图1 提质增效实施后(2025年)设区市各分项碳排放量  
Fig.1 Carbon emission of each sub-item after quality and efficiency improvement (2025)

在碳排放强度方面,2025年该设区市全域BOD去除量为37 483.6 t,去除单位BOD的碳排放强度为1.47  $\text{kgCO}_2/\text{kgBOD}$ ,较2019年下降了44.8%,减碳效益显著。

#### 4.3 碳达峰计划年限(2030年)的碳排放量

经测算,碳达峰计划年限2030年该设区市全域的碳排放总量为63 553.9 t,较2025年增加了15.4%。其中,城市层面的碳排放总量为33 699.2 t,占比为53.0%,较2025年增加了3.2%;乡镇层面及农村层面的碳排放量持续上升,分别为22 201.8、7 652.9 t,较2025年分别增加了24.5%和67.2%。由于乡镇及农村污水处理的持续投入,该设区市全域碳排放总量依旧处于上升阶段,是否为污水处理系统的排放峰值暂未知。

在碳排放的分项构成方面,2030年该设区市全域污水处理系统的电力消耗间接碳排放量占比降至80.4%。城市层面电力消耗间接碳排放量占全域该项的比例降至53.5%,乡镇和农村层面的相应占比升至46.5%,表明乡镇和农村污水处理系统耗电是产碳的主要增长源,见图2(图中的占比为各项占全域污水处理系统该项的比例)。

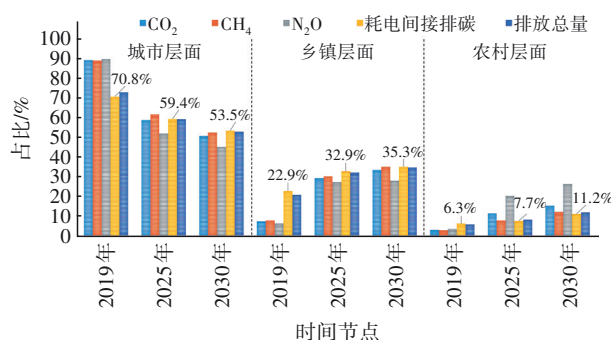


图2 不同时间节点污水处理系统的碳排放量分项占比  
Fig.2 Proportion of carbon emission from sewage treatment system at different time points

在碳排放强度方面,2030年该设区市全域BOD去除量为115 409.1 t,去除单位BOD的碳排放强度为0.55  $\text{kgCO}_2/\text{kgBOD}$ ,较2025年下降了62.5%,减碳力度持续加大。

#### 4.4 碳达峰年限推测

各时间节点方案测算结果表明,虽然2030年污水处理系统碳排放量较2025年增加了15.4%,但从去除单位BOD的碳排放强度来看,2025年比2019年减排高达44.8%,2030年比2019年减排高达79.0%,已满足我国“十四五”末期碳排放强度下降18%的约束性目标。

为进一步研究该设区市污水处理系统的碳达峰时间节点,在2030年计算结果的基础上,按原方案设定的单位供电碳排放强度、碳回收比例等参数,假定城市及乡镇污水处理厂的 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 收集率均为30%,农村污水处理设施的 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 收集率依旧为10%,计算2031年—2033年污水处理系统的碳排放总量,结果见表3。可知,2030年—2033年碳排放总量逐年下降,与上一年相比,2031年—2033年分别下降0.72%、3.75%、13.01%,表明2030年城镇污水处理行业的碳排放量已达到峰值。

表3 2030年—2033年污水处理系统的碳排放总量

Tab.3 Total carbon emissions of sewage treatment system from 2030 to 2033

项目	城市层面	乡镇层面	农村层面	碳排放总量
2030年	33 699.2	22 201.8	7 652.9	63 553.9
2031年	33 780.8	21 814.6	7 501.8	63 097.2
2032年	32 703.2	21 759.9	6 265.8	60 728.9
2033年	26 508.0	20 372.4	5 950.0	52 830.4

## 5 结论

① 2019年—2030年,该设区市污水处理系统

的碳排放总量年均增速放缓,碳排放的主要增长极为乡镇与农村污水处理系统。至2030年,乡镇与农村污水处理系统的碳排放量已占到该设区市全域污水处理系统碳排放总量的47.0%。

② 在电力行业已经实施减排的背景下,电力消耗间接碳排放量仍占污水处理系统碳排放量的主导地位,探索可持续污水处理工艺、提高机电设备运行效能是未来减碳的主要方向。

③ 去除单位BOD的碳排放强度降低效益可观。从污水处理行业碳排放强度指标的碳减排效益来看,已满足我国提出的“十四五”末期碳排放强度下降18%的约束性目标,且该设区市污水处理系统在2030年可达到碳排放峰值。

④ 受限于设区市面广量大的城乡污水处理设施数据的可获取性,本研究在分析时受各类排放因子、人口规模测算的不确定性影响较大,可能造成一定的结果误差,且电力消耗间接碳排放量从污水处理行业角度减排潜力有限,未来城乡污水处理行业减排的抓手可能在 $\text{CH}_4$ 和 $\text{N}_2\text{O}$ 的收集处理方面,只有通过各方面综合减排,才能在污水处理行业“1%~2%”框架内实现“3060”的目标。

#### 参考文献:

- [1] 王曦溪,李振山. 1998—2008年我国废水污水处理的碳排放量估算[J]. 环境科学学报, 2012, 32(7): 1764-1776.  
WANG Xixi, LI Zhenshan. Estimation of carbon emission from wastewater treatment from 1998 to 2008 in China [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, 32(7): 1764-1776 (in Chinese).
- [2] 王向阳. 污水处理碳足迹核算及环境综合影响评价研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2019.  
WANG Xiangyang. Study on Calculating Carbon Footprint and Assessing the Total Environmental Impact of Wastewater Treatment [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2019 (in Chinese).
- [3] 杨世琪. 城镇污水处理系统碳核算方法与模型研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2013.  
YANG Shiqi. The Method and Model Research of GHG Accounting of Urban Sewage Treatment System [D]. Chongqing: Chongqing University, 2013 (in Chinese).
- [4] 赵晔, 陈玮, 徐慧玮, 等. 城镇污水收集处理系统提

质增效过程中节能减排可行性分析[J]. 给水排水, 2019, 45(1): 42-46, 54.

ZHAO Ye, CHEN Wei, XU Huiwei, et al. Energy conservation and emission reduction in upgrading and reconstruction of urban wastewater collection and treatment system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(1): 42-46, 54 (in Chinese).

- [5] 付浩, 闫海, 邱长浩. 人口密集地区农村生活污水治理若干问题探讨[J]. 给水排水, 2020, 46(9): 9-14.  
FU Hao, LÜ Hai, QIU Changhao. Discussion on several problems of rural domestic sewage treatment in densely populated areas [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(9): 9-14 (in Chinese).

- [6] 任佳雪, 高庆先, 陈海涛, 等. 碳中和愿景下的污水处理厂温室气体排放情景模拟研究[J]. 气候变化研究进展, 2021, 17(4): 410-419.

REN Jiaxue, GAO Qingxian, CHEN Haitao, et al. Simulation research on greenhouse gas emissions from wastewater treatment plants under the vision of carbon neutrality [J]. Climate Change Research, 2021, 17(4): 410-419 (in Chinese).

- [7] 张宁, 赵玉. 中国能顺利实现碳达峰和碳中和吗? ——基于效率与减排成本视角的城市层面分析[J]. 兰州大学学报(社会科学版), 2021, 49(4): 13-22.

ZHANG Ning, ZHAO Yu. Can China achieve peak carbon emissions and carbon neutrality: an analysis based on efficiency and emission reduction cost at the city level [J]. Journal of Lanzhou University (Social Sciences), 2021, 49(4): 13-22 (in Chinese).

- [8] 刘伟, 蔡志洲. 我国工业化进程中产业结构升级与新常态下的经济增长[J]. 北京大学学报(哲学社会科学版), 2015, 52(3): 5-19.

LIU Wei, CAI Zhizhou. The upgradation of industrial structure in the process of China's industrialization and its economic growth under the new normal [J]. Journal of Peking University (Philosophy and Social Sciences), 2015, 52(3): 5-19 (in Chinese).

**作者简介:**付浩(1987-),男,江苏宿迁人,硕士,高级工程师,主要从事给水排水及水环境保护方面的工作。

**E-mail:**hq1778@qq.com

**收稿日期:**2021-08-23

**修回日期:**2021-10-11

(编辑:刘贵春)