

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.12.004

# 国内外城镇污水处理厂排放标准发展现状与修订思考

王丽花<sup>1</sup>, 周振<sup>2</sup>

(1. 上海城投污水处理有限公司, 上海 201203; 2. 上海电力大学 环境与化学工程学院, 上海 201306)

**摘要:** 全面梳理了欧盟、美国和中国各地区城镇污水处理厂的污染物排放标准,通过国内外排放标准对比,提出了我国城镇污水处理未来排放标准的修订思路,阐述了标准制定过程中需要关注的问题并提出了建议。同步探讨了我国部分省市跨越式执行地表水准Ⅳ类或准Ⅲ类高标准时,在污水处理工艺提标改造和智能管控提质增效等方面的举措建议。

**关键词:** 城镇污水处理; 排放标准; 标准修订; 提质增效

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)12-0028-07

## Current Status and Revision Thoughts of Discharge Standards for Municipal Wastewater Treatment Plants

WANG Li-hua<sup>1</sup>, ZHOU Zhen<sup>2</sup>

(1. Shanghai Chengtou Wastewater Treatment Co. Ltd., Shanghai 201203, China; 2. College of Environmental and Chemical Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** This paper offers a comprehensive examination of the discharge standards for pollutants in municipal wastewater treatment plants across the European Union, America and various regions of China. Through the comparison of domestic and foreign discharge standards, this paper proposes ideas for the future revision of municipal wastewater treatment discharge standards in China. The problems that should be concerned in the process of standard revision were expounded and then suggestions were also put forward. Specifically, recommendations are made for process upgrading and the implementation of intelligent management and control systems to enhance both the quality and efficiency of wastewater treatment in regions of China adhering to “quasi-Ⅳ” or “quasi-Ⅲ” discharge standards of surface water.

**Key words:** municipal wastewater treatment; discharge standard; standard revision; quality and efficiency improvement

随着国家对环境保护重视程度的不断加强和污水处理能力的持续提升,我国污水处理排放标准也随之不断发展<sup>[1]</sup>。从《工业“三废”排放试行标准》(GBJ 4—73)、《污水综合排放标准》(GB 8978—88)、

《城市污水处理厂污水污泥排放标准》(CJ 3025—93)、《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002),污水处理排放标准要求日趋严格,特别是针

基金项目: 上海市科技创新行动计划项目(22DZ1209200)

通信作者: 周振 E-mail: zhouzhen@shiep.edu.cn

对总氮和总磷的排放标准不断提高<sup>[2]</sup>。

为贯彻落实社会主义生态文明理念,进一步发挥生态环境标准对各项生态环境保护工作的支撑作用,地方标准也随之快速发展<sup>[3]</sup>。部分省市参照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),制定了地表水准Ⅳ类甚至准Ⅲ类标准(COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和TP满足GB 3838—2002要求,  $\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$ ),这对污水处理提质增效提出了更高的要求<sup>[4]</sup>。与此同时,地方标准的不断出台也推动了国内污水处理行业对排放标准趋严与未来国家排放标准修订的思考。系统梳理了国内外城镇污水处理厂排放标准,通过国内外排放标准对比提出我国未来排放标准的修订思路,探讨了关于精准攻坚推进污水处理提质增效面临的问题。

## 1 国外污水排放标准

### 1.1 欧盟国家污水排放标准

欧盟非常注重对水环境的保护,于1991年颁布了《城市污水处理指令》(91/271/EEC),按照处理规模(人口当量)分层次规定了污水处理厂执行的排放标准,划分出敏感区域并要求执行更严格的TN、TP标准<sup>[5]</sup>。例如,当处理规模 $>20\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,要求 $\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TP} \leq 1 \text{ mg/L}$ 。该指令对欧盟成员国具有法律约束力,但各成员国可根据本国特点因地制宜地制定更为完善的排放标准。

在德国,不同规模的污水处理厂执行不同的排放标准,规模越大排放标准越严格。在处理规模超过 $1\,000$ 或 $2\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,分别要求污水必须脱氮或者脱氮除磷。为评价污水处理厂的出水状况,德国按照污水处理厂耗氧物质负荷和营养物负荷的排放情况,将出水状态分为5级(见表1)<sup>[6]</sup>。以2011年为例,德国绝大多数污水处理厂耗氧物质排放均为1级(很低),营养物质为2级(低)<sup>[7]</sup>。按照德国评价标准,我国GB 18918—2002一级A标准耗氧物质排放限值均为2级(低);营养物质排放限值除TP为1级(很低)外,TN和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 均为3级(一般)。

意大利在欧盟指令要求的基础上,结合自身国情实施了第152/06号法令<sup>[8]</sup>,规定了污水向地表水排放的最低限值,同时考虑污染物去除率,明确了污水排放对环境有明显影响的敏感区域<sup>[9]</sup>,并对这些敏感区域规定了TN、TP的排放限值(见表2)。例如,当人口当量 $>10\,000$ 人时,要求污水处理厂出水

$\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TP} \leq 1 \text{ mg/L}$ 。其中,TN要求高于我国GB 18918—2002一级A标准。

表1 德国污水处理厂出水水质评价分级

Tab.1 Evaluation of the effluent quality parameters of wastewater treatment plants in Germany

等级	出水污染情况	COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	BOD <sub>5</sub> / ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ / ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TN/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TP/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
1	很低	0 ~ 30	0 ~ 5	0 ~ 1	0 ~ 8	0 ~ 0.5
2	低	31 ~ 50	6 ~ 10	2 ~ 3	9 ~ 13	0.6 ~ 1.0
3	一般	51 ~ 90	11 ~ 20	4 ~ 10	14 ~ 18	1.1 ~ 2.0
4	高	91 ~ 120	21 ~ 30	11 ~ 20	19 ~ 35	2.1 ~ 5.0
5	很高	$>120$	$>30$	$>20$	$>35$	$>5.0$

表2 意大利污水排放标准

Tab.2 Discharge standard of municipal wastewater in Italy

指标	人口当量为2 000~10 000人		人口当量 $>10\,000$ 人	
	出水标准/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	去除率/%	出水标准/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	去除率/%
BOD <sub>5</sub>	$\leq 25$	70~90	$\leq 25$	80
COD	$\leq 125$	75	$\leq 125$	75
SS	$\leq 35$	90	$\leq 35$	90
TP*	$\leq 2$	80	$\leq 1$	80
TN*	$\leq 15$	70~80	$\leq 10$	70~80

注: \*意大利敏感地区的污水排放标准。

### 1.2 美国污水排放标准

美国市政污水处理排放标准分为基于技术的排放限值(TBELs)和基于水质的排放限值(WQBELs)两套体系<sup>[10]</sup>。TBELs属于美国联邦制定的排放标准,是适用于所有市政污水处理厂的最低基本要求。TBELs通过研究现有成熟技术能够达到的污染物处理水平<sup>[11]</sup>,分别对BOD<sub>5</sub>、SS和pH设置了30 d和7 d的平均限值。WQBELs是各州为满足水环境质量的要求,根据受纳水体应达到的水质要求,反推并设定污水排放限值,即采取“一事一议”的方式,对当地污水处理厂制定更为严格的排放标准<sup>[12]</sup>。例如,Noman M. Cole Jr. 污水处理厂的WQBELs标准(30 d平均值)规定,BOD<sub>5</sub>、SS、TP和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 分别不超过5、6、0.18和1 mg/L,远高于TBELs标准的BOD<sub>5</sub>和SS限值(均不高于30 mg/L),也高于我国的地表水Ⅳ类标准<sup>[12]</sup>。

## 2 国内污水排放标准

我国GB 18918—2002发布至今,在污染防治、环境保护和人体健康保障方面发挥了重要作用。

为缓解日益严峻的水污染问题,进一步提升水环境质量,不同区域的城镇污水处理厂开始执行地表水Ⅳ类或准Ⅲ类排放标准<sup>[13]</sup>。

### 2.1 华东地区城镇污水处理厂排放标准

为着眼于长江、南水北调和大运河等纳入国家重大战略水体的保护,沪、苏、浙、皖在GB 18918—2002一级A标准的基础上,对COD、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、TN和TP等4项主要水污染物控制指标提出了更高的要求<sup>[14]</sup>。其中,江苏省自2023年3月正式实施分为A、B、C、D四级的《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 32/4440—2022),其中D级对应GB 18918—2002的一级A标准,A级标准更是达到地表水Ⅳ类排放标准,而且明确实行分区、分污水设计规模管控。2022年9月,山东省住房和城乡建设厅、省发改委联合印发的《“十四五”山东省城镇污水处理及资源化利用发展规划》也明确全省城镇污水处理厂要达到地表水Ⅳ类排放限值要求,其中TN控制在10~12 mg/L。由于台湾省地区河流比较短、水流流速较快,河水从源头到海洋只需要2~5 d,不存在富营养化的担忧,所以其《下水道工程设施标准》(2005年修正)仅规定 $\text{BOD}_5$ 和SS均不高于20 mg/L<sup>[15]</sup>。

### 2.2 华南地区城镇污水处理厂排放标准

广东省要求重点区域的城镇污水处理设施出水水质达到GB 18918—2002一级A标准和地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)的较严值;广州市更明确要求污水处理厂出水水质满足地表水Ⅴ类标准要求( $\text{TN} \leq 15 \text{ mg/L}$ )<sup>[16]</sup>。根据《技术备忘录:排入排水及排污系统、内陆及海岸水域的流出物的标准》的要求,香港地区不同水域的污水处理厂执行不同的排放标准(最大排放限值或95%概率的排放限值),如大埔污水处理厂出水 $\text{TN} \leq 25 \text{ mg/L}$ (95%排放限值)<sup>[17]</sup>,沙田污水处理厂出水 $\text{TN} \leq 20 \text{ mg/L}$ (95%排放限值)<sup>[10]</sup>。澳门地区的污水处理厂则执行《澳门供排水规章》(第46/96/M号法令),即: $\text{COD} \leq 150 \text{ mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5 \leq 40 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_4^+-\text{N} \leq 10 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} \leq 15 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TP} \leq 10 \text{ mg/L}$ (排入小湖或海湾湖取3 mg/L)。

### 2.3 华中地区城镇污水处理厂排放标准

河南省为加强对流域水污染物排放的监督管理,进一步改善流域水环境质量,制定实施了省辖海河、贾鲁河、惠济河、清颍河、黄河等重点流域水

污染物排放标准。其中,《贾鲁河流域水污染物排放标准》(DB 41/908—2014)分郑州市区、其他地区和特别排放限值三个等级,特别排放限值最为严格,要求 $\text{COD} \leq 30 \text{ mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5 \leq 6 \text{ mg/L}$ 、 $\text{SS} \leq 5 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_4^+-\text{N} \leq 1.5(2.5) \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} \leq 15 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TP} \leq 0.3 \text{ mg/L}$ 。除TN外,其他指标均接近GB 3838—2002的地表水Ⅳ类标准。

为较大程度地削减汉江流域水污染物排放量,进一步改善流域水环境质量,《湖北省汉江中下游流域污水综合排放标准》(DB 42/1318—2017)根据流域干流与支流污染现状,采用分区对待原则,不同的区域采取不同的控制标准,不同的排污单位采取不同的排放限值,有利于重点河段的污染治理与流域水环境质量总体改善<sup>[18]</sup>。为解决部分地区黑臭水体问题,改善区域环境质量,湖南省制定了分区分类管理的城镇污水处理厂排放标准的思路,于2019年3月25日实施《湖南省城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》(DB 43/T 1546—2018),其中对COD、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、TN和TP的排放限值和监测要求均严于GB 18918—2002一级A标准的限值。

### 2.4 华北地区城镇污水处理厂排放标准

京津冀地区是我国水资源承载压力最大、水生态系统受损最严重的区域之一,为了促进生态复苏,亟需提升污水厂的基础处理能力及出水水质,逐步推行地表水Ⅳ类、准Ⅳ类排放标准<sup>[19]</sup>。北京市新(改、扩)建城镇污水处理厂基本控制项目的排放限值执行《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB 11/890—2012),其中排入Ⅱ、Ⅲ类水体的城镇污水处理厂执行A级标准,排入Ⅳ、Ⅴ类水体的执行B级标准,A级标准达到准Ⅲ类水排放标准。天津市城镇污水处理厂出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 12/599—2015),按设计规模( $\geq 10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $\geq 1\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ 和 $< 1\,000 \text{ m}^3/\text{d}$ )分别执行A、B和C标准,其中A级标准达到地表水Ⅳ类排放要求。2018年,河北省实施了《大清河流域水污染物排放标准》《子牙河流域水污染物排放标准》《黑龙港及运东流域水污染物排放标准》等三项强制性地方标准来改善当地的水环境质量。其中,大清河流域比其他两个流域增加了核心控制区污染物的排放限值,与北京DB 11/890—2012的A标准一致,达到了地表水Ⅲ类排放标准。



## 2.5 西南地区城镇污水处理厂排放标准

四川省第一部流域性污染物排放标准——《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)规定了岷江、沱江流域的COD、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、TN和TP等主要污染物排放浓度限值,要求城镇污水处理厂执行地表水Ⅳ类排放标准。2020年重庆市实施《梁滩河流域城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》(DB 50/963—2020),规定了处理规模≥10 000 m<sup>3</sup>/d的城镇污水处理厂出水COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、TN和TP等主要水污染物排放控制要求。同年,昆明市发布《城镇污水处理厂主要水污染物排放限值》(DB 5301/T 43—2020),该标准将主要水污染物排放限值分为A、B、C、D、E五个级别,其中A级限值是昆明市城镇污水处理厂的特别排放限值,适用于县级以上人民政府确定的位于生态环境敏感区域且尾水对水环境影响较大的城镇污水处理厂,在5个级别的标准中属于最严格的标准,也是现阶段全国范围内最严的排放标准,要求达到地表水Ⅲ类排放标准,其中TN≤5 mg/L(水温>12℃)<sup>[13]</sup>。

## 2.6 西北地区城镇污水处理厂排放标准

汉丹江流域(陕西段)是南水北调中线工程的主要水源涵养区,为保障南水北调中线工程顺利实施,2014年陕西省发布了《汉丹江流域(陕西段)重点行业水污染物排放限值》(DB 61/942—2014),要求设计规模≥2 000 m<sup>3</sup>/d的城镇污水处理厂出水COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、TN和TP的排放限值与GB 18918—2002的一级A标准一致。针对陕西省境内直接向黄河干支流及封闭水域排放尾水的城镇污水处理厂,其出水水质需满足《陕西省黄河流域污水综合排放标准》(DB 61/224—2018)要求,新建城镇污水处理厂和设计规模≥2 000 m<sup>3</sup>/d的现有城镇污水处理厂执行A标准;设计规模<2 000 m<sup>3</sup>/d的现有城镇污水处理厂、设计规模>500 m<sup>3</sup>/d的工业集中污水处理厂和乡村地区污水处理厂执行B标准。A、B标准分别接近于GB 3838—2002的地表水Ⅳ类标准和GB 18918—2002的一级A标准。

## 2.7 东北地区城镇污水处理厂排放标准

辽宁省《污水综合排放标准》(DB 21/1627—2008)规定:省辖市规划城市中心区的城镇污水处理厂及国家、省、市级的各类工业园区(开发区)污水处理厂的出水执行GB 18918《城镇污水处理厂污染物排放标准》中一级标准的A标准;省辖市郊区、

县级(含县级市)城镇污水处理厂及其所属的各类工业园区(开发区)污水处理厂的出水执行GB 18918《城镇污水处理厂污染物排放标准》中一级标准的B标准。

## 3 建议

### 3.1 城镇污水处理厂排放标准修订思路

我国制定的城镇污水排放标准均以环境质量标准为依据,同时也考虑了技术和经济条件<sup>[11]</sup>。但是,GB 18918—2002国家标准出水水质采用“一刀切”方式,并未详细考虑各地域的自然环境条件、经济发展水平、接纳水体环境容量和污水中污染物的种类。为满足GB 18918—2002国家标准要求,部分城镇污水处理厂进行了升级改造,大幅增加了药耗、能耗、设备和材料的消耗<sup>[20]</sup>,从全生命周期的角度看,这些消耗相关的生产企业都会是“碳足迹”的贡献者。我国可以根据当前污水处理技术和设备水平以及污染物排放特点,参考国外水质标准制定的经验,制定出大部分城镇污水处理厂能够且必须达到的相对宽松的国家标准。各省市再根据当地的实际情况,以水生态环境质量持续改善为核心,以接纳水体控制断面的水质要求和水体自净能力为基准,按污水设计规模管控,因地制宜地制定更严格的地方排放标准。

在地方排放标准制定的过程中,关于氮、磷污染物排放限值的制定,建议结合接纳水体的水环境容量,系统研究氮、磷之间的比例和水体富营养化之间的关联<sup>[21]</sup>,科学、合理地制定NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、TN和TP的排放标准。其次,充分考虑气温升高后活性污泥系统中硝化菌活性恢复的滞后性,参考北京、浙江等地方标准按照月份而非水温划分冬季NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的排放限值或者在冬季后给予一个月的恢复时间。COD是衡量有机污染物去除的一个集总参数,如果出水COD是由不可降解的天然物质组成,则无需将COD排放限值设置在一个较低的水平;但如果是抗生素、内分泌干扰物等具有环境风险、不可降解的新污染物<sup>[22]</sup>,需要给予极大的重视。从这层意义上讲,未来需要对COD组成特征及相应的组分划分进行深入研究,以科学、合理地制定有机污染物的控制标准。

我国水环境的改善不能单纯依靠城镇污水处理厂排放标准的提高。近年来,污水处理率虽大幅

提升,但由于地下水、地表水、雨水和工业废水等非生活污水的稀释以及旱季污水管网流速偏低引起的污染物沉积等因素<sup>[23]</sup>,使得城市生活污水集中收集率和污水处理厂进水污染物浓度仍然偏低,汛期河道返黑返臭现象依然严峻,部分省份工业废水中有毒有害物质也给城镇污水生物处理系统的稳定运行带来不利影响<sup>[14]</sup>。因此,改善水环境问题需要从污水管网管道质量提升、合理区分并推行清污分离<sup>[24]</sup>、污水管网旱季流速恢复、降雨返黑返臭治理等方面多管齐下<sup>[25]</sup>。水污染控制更需统筹水资源利用、水生态保护和水环境治理,污染减排与生态扩容两手发力,努力实现“清水绿岸、鱼翔浅底”。

### 3.2 城镇污水处理厂提标措施

面对准Ⅳ类或准Ⅲ类水高排放标准时,城镇污水处理厂在提标改造工程实践中,采取的工艺路线主要是预处理+生物处理+深度处理。具体可在综合考虑当地自然条件、经济发展水平、进水水质特点的基础上,按照“先工艺优化,后工程措施;先内碳源挖掘,后外碳源投加;先生物除磷,后化学除磷”的原则选择不同的技术路线。预处理可设置杂质分离设备、沉砂池、调节池、水解池等。生物处理可采用运行调控优化措施以提高碳源利用率,如精确控制各区段溶解氧浓度以防碳源无效氧化,或多点进水优化分配污水中的碳源<sup>[26]</sup>;也可采用短程硝化反硝化、反硝化除磷等低碳新技术。深度处理可增加混凝-沉淀、膜技术、人工湿地、反硝化滤池、纤维转盘滤池、高级氧化、活性炭/活性焦吸附等工艺单元<sup>[27-29]</sup>。

当前,城镇污水处理厂对建设及运维管理精细化、智慧化的要求也在不断提高,可以将物联网、大数据分析、云计算等新技术应用到城镇污水处理中,实现对污水系统的远程监控、技术指导、生产调度、数据挖掘、信息发布等功能。例如,根据工艺特点及运行情况,实时定量分配与控制相应曝气控制区的曝气量,满足对溶解氧/曝气量的控制需求<sup>[30]</sup>,也可以根据COD、TN和TP等数据的实时监控,通过数学模型分析和计算实现加药量的精准投加,从而保障污水处理厂工艺的节能高效稳定运行。

## 4 结语

政策法规和技术标准是环境管理和污染控制的基础和依据,合理的排放标准是保障水环境质量

持续改善、推动污水处理技术持续进步的关键。近年来,我国各省市在国家标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的基础上,根据地方经济社会发展与水环境质量现状,因地制宜地制定了地方标准,形成了相对完备的污水排放标准体系,在标准体系、关键因子排放限值等方面已经达到甚至超过欧美发达国家标准。未来污水排放标准的制定与修订应与温室气体排放、新污染物削减、雨污分流改造、水体返黑返臭管控等协调考虑,以实现污水处理厂低碳运行与水生态环境质量的持续改善。

### 参考文献:

- [1] 张爱国, 黄冉, 陈国鹰, 等. 系统视角下中国水污染物排放标准发展趋势研究[J]. 人民长江, 2021, 52(10): 33-40.  
ZHANG Aiguo, HUANG Ran, CHEN Guoying, *et al.* Development trend of water pollutants discharge standards of China from systematic perspective [J]. Yangtze River, 2021, 52(10): 33-40 (in Chinese).
- [2] 周羽化, 武雪芳. 中国水污染物排放标准40余年发展与思考[J]. 环境污染与防治, 2016, 38(9): 99-104, 110.  
ZHOU Yuhua, WU Xuefang. Development of water pollutant discharge standards in China for more than 40 years [J]. Environmental Pollution & Control, 2016, 38(9): 99-104, 110 (in Chinese).
- [3] 卢延娜, 雷晶, 马占云, 等. 地方水污染物排放标准发展现状及制订研究[J]. 环境保护, 2016, 44(7): 57-59.  
LU Yanna, LEI Jing, MA Zhanyun, *et al.* The development status and research of local water pollutant discharge standards [J]. Environmental Protection, 2016, 44(7): 57-59 (in Chinese).
- [4] 方土, 周家中, 吴迪, 等. 长三角地区某污水处理厂准Ⅳ类水提标改造分析[J]. 中国给水排水, 2018, 34(17): 94-99.  
FANG Tu, ZHOU Jiazhong, WU Di, *et al.* Analysis on upgrading and reconstruction of class Ⅳ surface water in a wastewater treatment plant in Yangtze River Delta Region [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(17): 94-99 (in Chinese).
- [5] 陶艳茹, 苏海磊, 李会仙, 等. 《欧盟水框架指令》下的地表水环境管理体系及其对我国的启示[J]. 环境

- 科学研究, 2021, 34(5): 1267-1276.
- TAO Yanru, SU Hailei, LI Huixian, *et al.* Surface water environment management system in *EU Water Framework Directive* and its enlightenment to China [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2021, 34 (5): 1267-1276 (in Chinese).
- [6] 唐建国. 德国城镇污水处理厂运行概况 [J]. 给水排水, 2010, 36(3): 36-39.
- TANG Jianguo. Brief introduction of the German municipal wastewater treatment plants operation [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2010, 36(3): 36-39 (in Chinese).
- [7] 唐建国. 德国与上海城镇污水处理厂近况对比探讨 [J]. 给水排水, 2014, 40(1): 38-41.
- TANG Jianguo. Comparative study on the recent situations of wastewater treatment plants between the cities in Germany and Shanghai [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2014, 40 (1): 38-41 (in Chinese).
- [8] 曹潇元, 王金生, 李剑. 意大利城镇污水处理的管理现状与经验探析 [J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2016, 52(4): 493-496.
- CAO Xiaoyuan, WANG Jinsheng, LI Jian. Managing urban sewage treatment: current situation and experience in Italy [J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2016, 52(4): 493-496 (in Chinese).
- [9] 陈芳. 中欧污水处理条例和工艺对比研究——以意大利特洛维索污水厂和泰安第二污水厂为例 [J]. 资源节约与环保, 2013 (11): 98-99.
- CHEN Fang. A comparative study of wastewater treatment regulations and processes in China and Europe—a case study of the Troviso wastewater treatment plant in Italy and the second wastewater treatment plant in Tai'an [J]. *Resources Economization & Environmental Protection*, 2013 (11): 98-99 (in Chinese).
- [10] 牛建敏, 钟昊亮, 熊晔. 美国、欧盟、日本等地污水处理厂水污染物排放标准对比与启示 [J]. 资源节约与环保, 2016(6): 301-302.
- NIU Jianmin, ZHONG Haoliang, XIONG Ye. Comparison and revelation of discharge standards of water pollutants from wastewater treatment plants in USA, EU and Japan [J]. *Resources Economization & Environmental Protection*, 2016(6): 301-302 (in Chinese).
- [11] 任慕华, 张光明, 彭猛. 中美两国城镇污水排放标准对比分析 [J]. 环境保护, 2016, 44(2): 68-70.
- REN Muhua, ZHANG Guangming, PENG Meng. Comparative analysis of discharge standards of Sino-US urban sewage [J]. *Environmental Protection*, 2016, 44 (2): 68-70 (in Chinese).
- [12] 文扬, 陈迪, 李家福, 等. 美国市政污水处理排放标准制定对中国的启示 [J]. 环境保护科学, 2017, 43 (3): 26-33.
- WEN Yang, CHEN Di, LI Jiafu, *et al.* Inspiration of the elaboration of the public owned treatment works discharge standard of the USA to China [J]. *Environmental Protection Science*, 2017, 43 (3): 26-33 (in Chinese).
- [13] 付乐, 罗国豹. 城镇污水处理厂高排放标准处理工艺案例分析 [J]. 净水技术, 2023, 42(3): 174-180, 197.
- FU Le, LUO Guobao. Case analysis of stricter discharge standard treatment technology for urban WWTP [J]. *Water Purification Technology*, 2023, 42 (3): 174-180, 197 (in Chinese).
- [14] 许明珠, 姚轶, 吴丽娜, 等. 浙江标准下的城镇污水处理厂提质增效管理对策研究 [J]. 环境污染与防治, 2023, 45(2): 263-267.
- XU Mingzhu, YAO Yi, WU Lina, *et al.* Research on management countermeasures for improving quality and efficiency of municipal wastewater treatment plants under the requirements of Zhejiang standard [J]. *Environmental Pollution & Control*, 2023, 45(2): 263-267 (in Chinese).
- [15] 康日章. 台湾某污水处理厂方案优化设计 [J]. 广东科技, 2011, 20(18): 195-196.
- KANG Rizhang. Optimal design of a wastewater treatment plant in Taiwan [J]. *Guangdong Science & Technology*, 2011, 20(18): 195-196 (in Chinese).
- [16] 郭欢. 城市污水处理厂提标改造工艺与运行效果探究——以广州市某污水处理厂为例 [D]. 广州: 广州大学, 2021.
- GUO Huan. The Process and Operation Effect of the Standard-carrying Transformation of Urban Sewage Treatment Plant—A Case Study of Guangzhou Sewage Treatment Plant [D]. Guangzhou: Guangzhou University, 2021 (in Chinese).
- [17] 蒋馨心. 导电超滤膜制备及其深度处理二级出水抗污染效能研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2022.
- JIANG Xinxin. Study on Preparation of Conductive Ultrafiltration Membrane and Its Antifouling Performance of Advanced Wastewater Treatment [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2022 (in Chinese).



- Chinese).
- [18] 王盼, 古琴, 彭颖, 等. 湖北省汉江中下游流域水污染物排放标准研究 [J]. 环境科学与技术, 2018, 41 (S2): 197-204.
- WANG Pan, GU Qin, PENG Ying, *et al.* Study on water pollutant discharge standards in the middle and lower reaches of Hanjiang River in Hubei Province [J]. Environmental Science & Technology, 2018, 41 (S2): 197-204 (in Chinese).
- [19] 赵勇, 王庆明, 王浩, 等. 京津冀地区水安全挑战与应对战略研究 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(5): 8-18.
- ZHAO Yong, WANG Qingming, WANG Hao, *et al.* Water security in Beijing - Tianjin - Hebei region: challenges and strategies [J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(5): 8-18 (in Chinese).
- [20] YANG Z D, MA S L, DU S Z, *et al.* Assessment of upgrading WWTP in southwest China: towards a cleaner production [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 326: 129381.
- [21] PAERL H W, SCOTT J T, MCCARTHY M J, *et al.* It takes two to tango: when and where dual nutrient (N & P) reductions are needed to protect lakes and downstream ecosystems [J]. Environmental Science & Technology, 2016, 50(20): 10805-10813.
- [22] 邓洋慧. 太湖流域典型新兴污染物污染特征及风险评价 [D]. 南昌: 南昌大学, 2020.
- DENG Yanghui. Typical Emerging Pollution Characteristics and Risk Assessment of Taihu Lake Basin [D]. Nanchang: Nanchang University, 2020 (in Chinese).
- [23] 孙永利, 吴凡松, 李文秋, 等. 城市生活污水集中收集率和污水处理厂进水浓度问题的思考 [J]. 给水排水, 2023, 49(1): 41-46.
- SUN Yongli, WU Fansong, LI Wenqiu, *et al.* Reflections on the centralized collection rate of municipal sewage pollutants and the influent concentration of wastewater treatment plants [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(1): 41-46 (in Chinese).
- [24] 李一平, 郑可, 周玉璇, 等. 南方城市污水处理系统效能评估与提质增效策略制定 [J]. 水资源保护, 2022, 38(3): 50-57.
- LI Yiping, ZHENG Ke, ZHOU Yuxuan, *et al.* Efficiency evaluation of a sewage system and strategy formulation of quality and efficiency improvement in city of southern China [J]. Water Resources Protection, 2022, 38(3): 50-57 (in Chinese).
- [25] 孙永利. 城镇污水处理提质增效的内涵与思路 [J]. 中国给水排水, 2020, 36(2): 1-6.
- SUN Yongli. Connotation and way of quality and efficiency improvement of municipal wastewater treatment [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36 (2): 1-6 (in Chinese).
- [26] 叶宁. 多点进水多级AO工艺在寒冷地区大型污水处理厂的应用 [J]. 净水技术, 2023, 42(4): 161-168.
- YE Ning. Application of step-feed multi-stage AO process in large WWTPs in cold region [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(4): 161-168 (in Chinese).
- [27] PAN Z L, SONG C W, LI L, *et al.* Membrane technology coupled with electrochemical advanced oxidation processes for organic wastewater treatment: recent advances and future prospects [J]. Chemical Engineering Journal, 2019, 376: 120909.
- [28] SONG H, FENG J W, ZHANG L, *et al.* Advanced treatment of low C/N ratio wastewater treatment plant effluent using a denitrification biological filter: insight into the effect of medium particle size and hydraulic retention time [J]. Environmental Technology & Innovation, 2021, 24: 102044.
- [29] WANG W L, CAI Y Z, HU H Y, *et al.* Advanced treatment of bio-treated dyeing and finishing wastewater using ozone-biological activated carbon: a study on the synergistic effects [J]. Chemical Engineering Journal, 2019, 359: 168-175.
- [30] JIANG L M, ZHANG W, LI Y H, *et al.* Applying mass flow analysis and aeration optimization strategy to reduce energy consumption of a full-scale anaerobic/anoxic/oxic system [J]. Journal of Water Process Engineering, 2023, 54: 104037.
- 
- 作者简介:**王丽花(1973- ),女,山西朔州人,博士,高级工程师,主要从事污水污泥处理及资源化利用方面的技术研究工作。
- E-mail:**wanglihua73@aliyun.com
- 收稿日期:**2023-08-06
- 修回日期:**2023-08-14

(编辑:丁彩娟)