

污水处理提标工程实例与技术性能分析

沈晓贤¹, 胡帼范², 贡瑞金²

(1. 苏州市吴中区水务局, 江苏 苏州 215000; 2. 苏州中晟环境修复有限公司, 江苏 苏州 215000)

摘要:金庭镇污水处理厂按要求建设准Ⅳ类提标工程, 主要技术包括反硝化强化提升和人工湿地建设。本文通过分析新型生物反硝化脱氮滤池和人工湿地的工艺流程、设计参数、工程建设、运行和运行数据, 对后续的污水厂提标改造工程的建设起到借鉴作用。

关键词:污水处理厂提标; 生物脱氮滤池; 生态湿地; 工艺流程; 数据分析

中图分类号: TP399

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2022)06-0016-0006

Example and technical performance analysis of sewage treatment standard upgrading project

SHEN Xiaoxian¹, HU Guofan², GONG Ruijin²

(1. Suzhou Water Affairs Bureau, Wuzhong District, Suzhou 215000, China;

2. Suzhou Zhongsheng environmental remediation Co., Ltd., Suzhou 215000, China)

Abstract: Jintong Town Sewage treatment plant is required to build a quasi-Ⅳ standard upgrading project. The main technologies include denitrification enhancement and constructed wetland construction. This paper analyzes the technological process, design parameters, engineering construction, operation and operation data of the new biological denitrification filter and constructed wetland, which can be used as a reference for the construction of the subsequent standard raising and reconstruction project of sewage plant.

Key words: standard raising of sewage treatment plant; biological denitrification filter; ecological wetland; technological process; data analysis

2018年9月, 苏州市市委市政府下发《关于高质量推荐城乡生活污水治理三年行动计划实施意见的通知》, 要求“设施全覆盖、污水全收集、尾水全提标、监管全方位”, 加快污水处理厂提标改造, 苏州市城镇生活污水处理厂执行《苏州特别排放限值标准》(尾水排放达到准Ⅳ类, 详见表1), 并自2021年1月1日起按此标准进行考核。

为构建“低碳、节能、环保”新格局, 减少污水处理厂污染物的排放, 保障区域河湖水质, 改善太湖

表1 苏州特别排放限值标准

单位: mg/L

项目	$\rho(\text{COD}_{\text{cr}})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	$\rho(\text{TN})$	$\rho(\text{TP})$
指标值	30	1.5 (3)	10	3

注: (1) 批号外数值为水温 $>12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的控制指标, 括号内数值为水温 $<12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的控制指标;

(2) 全市生活污水处理厂2021年1月1日起按苏州特别排放限值标准考核。根据《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)第41.4.2款规定, 取样频率为至少每2h一次, 取24h混合样, 以日均值计。

收稿日期: 2022-03-11

作者简介: 沈晓贤(1977—), 男, 工程师, 本科, 主要从事水利水务建设与管理工作。E-mail: 6770032@qq.com

地区生态环境,保证社会和经济可持续发展。金庭镇污水处理厂按尾水排放达到准IV类要求建设提标工程,主要设计思路为“一厂一湿地”,内容包括污水处理厂反硝化强化提升和人工湿地建设,将原有污水处理厂改造升级与后续湿地处理合二为一,即通过提升厂内污水预处理,增设人工湿地,从而达到《苏州特别排放限值标准》进一步消减污水处理厂出水污染物,减少金庭镇污水处理厂污染物的排放。

1 污水处理厂概况

苏州市金庭镇污水处理厂位于金庭镇东南部,林屋路南侧。服务范围为金庭镇区及周边有条件接管的农村地区(包括6个行政村,27个自然村)。

1.1 处理能力

污水处理厂一期工程处理能力为1.0万 m³/d,处理工艺为“曝气沉砂池+倒置A²/O工艺+二沉池+混凝沉淀+滤布滤池”,污泥处理采用“重力浓缩池+离心脱水”处理工艺,消毒处理采用二氧化氯接触消毒工艺,出水达到GB 18918—2002一级A标准。

1.2 设计进水水质

污水处理厂设计污水进水水质 COD_{Cr}为380 mg/L,BOD₅为180 mg/L,详见表2。

表2 污水处理厂设计进水水质 单位:mg/L	
检测项目	指标
化学需氧量(COD _{Cr})	380
生化需氧量(BOD ₅)	180
悬浮物(SS)	200
总氮(TN)	45
氨氮(NH ₃ -N)	35
总磷(TP)	4

1.3 设计出水水质

污水处理厂一期工程尾水水质达到国家标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》,其主要出水水质如表3。

1.4 污水处理厂改造前工艺流程

污水处理厂一期工程各处理环节采用的主要方案有:预处理采用细格栅+曝气沉砂池;二级生物处理倒置A²/O工艺;二沉池采用中进周出辐流式沉淀池;深度处理采用混凝沉淀+滤布滤池;消毒

表3 《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)

单位:mg/L	
检测项目	指标
$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$	≤ 50
$\rho(\text{BOD}_5), \rho(\text{TP})$	≤ 10
$\rho(\text{SS})$	≤ 10
$\rho(\text{TN})$	≤ 15
$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	$\leq 5(8)$
$\rho(\text{TP})$	≤ 0.5

工艺采用二氧化氯消毒;污泥处理工艺采用重力浓缩池+离心脱水机+污泥外运;除臭工艺采用生物除臭。

2 污水处理提标改造工程

2.1 工艺流程

金庭镇污水处理厂出水从GB 18918—2002一级A标准提升到《苏州特别排放限值标准》,即尾水排放达到准IV类。本次提标改造工程采用“提升池1+反硝化滤池+调节池+垂直流湿地+提升池2+表面流湿地”组合工艺^[1]。具体工艺流程如图1所示。

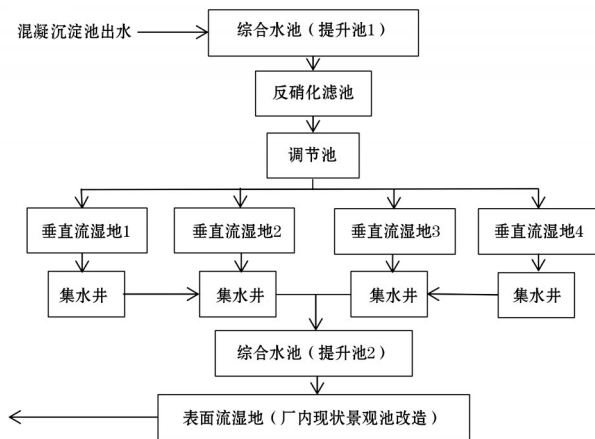


图1 苏州市金庭镇污水处理厂提标工程工艺流程

2.2 技术特点

提标工程的主要技术主要包括建立新的生物反硝化过滤、人工湿地和附加消毒过程。

2.2.1 生物深度反硝化滤池

利用附着在填料上的生物膜反硝化作用,有效去除二级污水中的硝酸盐氮。生物滤池的深度脱硝过程具有生物量高、细菌种群结构合理、低温效应、抗冲击性强、污泥停留时间长等优点。新型生

物脱氮滤池工艺通过改进滤料、反洗模式及布水方式等关键技术,使传统反硝化滤池脱氮性能得到增强。采用碳源精确投加控制系统,既保证生物脱氮滤池的脱氮效果,又避免碳源的浪费。其结构简单,在一个处理单元中集合了多种功能,对悬浮物SS、TN和TP的去除效果明显,对TN的去除效率特别高,出水质量浓度可以降低到低于5 mg/L^[2]。

2.2.2 人工湿地

系统模仿自然湿地的结构和功能,通过物理、化学和生物三位一体,清除水体中的污染物。湿地系统的污染物去除手段具体包括物理(沉淀、过滤、紫外线照射)、化学(沉淀、吸附、挥发)和生物(微生物降解、微生物营养转化、植物通过根茎吸收等),人工湿地采用“垂直潜流人工湿地+表面流人工湿地”方案,为硝化细菌和反硝化细菌的生长提供了一个好氧和厌氧环境,各项指标的去除率进一步提高,出水水质明显趋于稳定,具有投资少、能耗低、处理效果可靠等特点^[3-4]。

2.2.3 过滤消毒

生活污水中含有各种细菌、病菌、原生动物和其他微生物。根据城市污水再处理的水质要求,接触30 min后的余氯质量浓度应不低于1.0 mg/L,管网末端不低于0.2 mg/L,加氯水平一般高于标准水平,以达到消毒效果,这也导致城镇污水处理厂的出水含有一定量余氯。当污水处理厂处理的水进入湿地后,氯化物被湿地中生长的植物吸收,会导致植物叶子组织内渗透压力升高,造成叶子枯萎植物死亡。因此,将污水处理厂出水加氯消毒工艺后置,混凝沉淀池先经泵房提升进入新型生物脱氮滤池预处理后,自流进入湿地前端布水池,通过布水装置后自流进入垂直潜流生态湿地,垂直潜流生态湿地出水提升到表面流湿地,表面流湿地出水回流

至纤维转盘滤池,经过滤消毒后经污水处理厂现状排水口流至战备江^[5]。

2.3 平面布置

项目综合水池及新型生物脱氮滤池位于厂内东侧空地上,方便与原污水处理厂构筑物衔接,综合水池占地面积150 m²,新型生物脱氮滤池占地面积330 m²。

根据平面布置原则及建设地点地形、地貌、道路等自然条件,考虑进、出水方向、风向等因素,对湿地各组成部分进行合理布置。湿地建设用地总面积约为12 028 m²,其中垂直潜流人工湿地有效面积8 100 m²。布水池位于湿地中心,有14个配水系统,连接14个湿地单元的配水主管,向垂直潜流人工湿地辐射状配水。以布水池为圆心设置4个圆弧状垂直流湿地。

将污水处理厂内360 m²的景观水池改造为表面流人工湿地。垂直潜流湿地出水回流至污水处理厂现状水池改造的表面流湿地,再流入污水处理厂现状纤维转盘滤池。

2.4 工艺设计

工艺设计包括6个主要单元,见表4。

新型生物反硝化滤池在一个处理单元中集多种污染物去除功能于一身,包括去除悬浮物SS、TN和TP。运行结果表明,在BOD小于5 mg/L、SS小于5 mg/L和TN小于3 mg/L的情况下,无需化学加药就可以达到TP的出水要求。当TP大于0.3 mg/L时,可以通过化学除磷来实现。

本工程新建新型生物脱氮滤池一座4组,污水经均质石英砂滤料层过滤,滤除进水中的悬浮物,并通过附着生长在滤料表面的微生物反硝化作用将硝态氮转化为氮气,降低出水的TN质量浓度。主要设计参数:设计流量为1.0万 m³/d, K_z=1.61,最

表4 工业设计及主要功能

名称	面积/m ²	主要功能
综合水池 (1座3格)	150	提升污水处理厂尾水至新型生物脱氮滤池,存储滤池反冲洗水及缓冲滤池反冲洗废水
新型生物脱氮滤池 (1座2组)	330	通过反硝化和截留作用去除污水处理厂尾水中TN和部分有机物和悬浮物,降低污水的污染物含量,为生态湿地处理提供基础
表面流湿地	360	进一步净化水质至出水水质要求,构建生态系统,带来生态及景观效应
布水池	90	通过布水系统均匀将尾水投配到生态湿地内,同时利用地形高差,梯级跌水充氧
垂直潜流生态湿地	8 100	污水通过重力,从水平流经生态滤床进行物理和生化处理
道路及景观绿化	3 838	美化生态湿地景观,成为湿地公园

大流量为 1.61 万 m^3/d , 土建及设备安装规模按 1.0 万 m^3/d 完成。

3 人工湿地

3.1 设计参数

(1) 布水池设计参数。布水池的高效率和高稳定性是人工湿地长期运行的重要条件。布水池的作用除依据污水来水量均匀投配到垂直流湿地内, 通过预充氧还能提高垂直流人工湿地的硝化效率。设计流量为 1.0 万 m^3/d , K_z 为 1.61; 最大流量为 1.61 万 m^3/d , Q_{\max} 为 672.3 m^3/h ;

(2) 垂直潜流设计参数。垂直潜流湿地为整个工程工艺设计的核心部分。 COD_{Cr} 、 BOD_5 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等污染物同滤床滤料层中附着的微生物进行好氧反应; 含磷污染物将在滤床滤料层中吸附沉淀; 含氮污染物主要通过硝化反硝化过程去除。设计流量为 1.0 万 m^3/d , K_z 为 1.61; 总有效面积 8 100 m^2 , 池深 1.28~1.43 m; 水力负荷为 1.23 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 。

(3) 表面流湿地设计参数。相对富氧的表面流湿地主要针对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除, 通过污水流动, 去除废水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、有机物和悬浮物 SS 等, 有利于沉积物沉积。本工程表面流生态湿地利用污水处理厂内现状景观水池改造, 有效水深 0.3 m, 总有效面积 360 m^2 , 在原池体内增设布水集水管、填料及湿地植物。

3.2 人工湿地填料选择

由于人工湿地面积较大, 对填料需求也多。除了尺寸、形状和特性之外, 填料还应该是性价比高的材料, 以降低建造人工湿地的成本。

人工湿地的常见填料包括沙子、砾石、高炉矿渣、陶器碎片、沸石、石灰石和钢渣。在试验中, 钢渣作为填料呈碱性, 且废水中的悬浮物质量浓度会变高, 不适合作为湿地的唯一填料; 高炉渣对 COD 和 TP 的净化性能低, 不能作为湿地的填料; 沙子的粒径较小, 容易堵塞, 不适合作为湿地的唯一填料; 砾石具有良好净化效果, pH 值适宜, 不易堵塞。

地表径流主体部分的滤料由 10~20 mm 厚的砾石组成, 集水区的滤料由 20~40 mm 厚的砾石组成, 利于微生物定居。

3.3 人工湿地植物选择

在人工湿地建设中, 植物物种的选择是决定人工湿地能否正常运行和发挥作用的重要环节。目前国际上公认的在湿地中占主导地位的淡水水生

植物种类包括阔叶香蒲、芦苇、苦水草、软水草和狐尾藻。

3.4 人工湿地运行

金庭镇污水处理厂配套人工湿地在 2019 年年底完工, 目前已稳定运行 2 年有余。垂直潜流人工湿地的水力负荷为 1.23 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 需垂直潜流人工湿地面积 8 100 m^2 , 后续接表面流人工湿地用于景观美化和出水水质保障, 剩余 1 990 m^2 用于配套及辅助设施用地, 出水水质满足要求, COD_{Cr} 去除率在 10%~20%, $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 去除率为 5%~15%。

3.5 人工湿地管理

日常维护主要包括湿地植物收割、湿地杂物垃圾清理、清理填埋面上的筑坝痕迹、反冲洗湿地进水管、测量盆体标高和出水口水位等, 日常维护周期每月不少于 2 次。

检查内容主要包括湿地进出水水质监测, 检查设备运行状况, 适当调整运行参数, 检查进水管道的配水孔和配水坝等是否存在堵塞、污泥分布不规则等问题, 与湿地有关的辅助设备何时损坏、渗漏等。检查周期 1 周 1 次。

维修包括对日常维护和检查中遇到的问题, 主要包括盆体的盖板、辅助井的防坠网、水管(污水)、阀门部件、集水池内设备的维修和更换等。

检查湿地人工植物的生长情况。如果出现问题, 应进行补充分析以确定原因, 检查地下人工湿地是否有不规则的植物生长, 如果出现这些情况, 应检查是否存在短流问题。

4 提标改造工程运行性能分析

4.1 设计进水水质

人工湿地的设计进水水质以金庭镇污水处理厂的尾水实测水质为基础, 结合污水处理厂服务范围的水质特点合理确定。表 5 统计了金庭镇污水处理厂 2018 年 1—6 月的实测出水水质峰值, 为人工湿地设计进水水质的确定提供依据。

表 5 出水水质峰值分析

单位: mg/L

项目	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	$\rho(\text{TP})$
峰值	39.3	4.72	0.27

从表 5 可以看出, 出水 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 的峰值分别为 39.3 mg/L 、4.72 mg/L 、0.27 mg/L 。金庭镇污水处理厂接入的污水主要是服务范围内的生活污水, 考虑到随着污水收集系统不断完善, 混接和错

接的雨水管道越来越少,进水质量浓度还会有所提高,处理负荷将会提升,这些都会影响未来污水处理厂的出水水质,另外,污水处理厂的出水水质波动较大,设计进水水质有一定的设计余量。综合以上考虑,确定人工湿地设计进水水质,见表6。

表6 设计进水水质 单位:mg/L

$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	$\rho(\text{TP})$	$\rho(\text{TN})$
≤ 50	≤ 5	≤ 0.5	≤ 15

4.2 设计出水水质

因本项目占地面积有限,湿地设计负荷高,当出水水质要求高时,混凝沉淀池出水要先进入新型生物脱氮滤池进行预处理,使湿地进水优于一级A,才能保证人工湿地出水稳定达标。生态湿地出水水质与湿地进水水质密切相关,湿地出水水质如下表7所示。

表7 设计出水水质 单位:mg/L

$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	$\rho(\text{TP})$	$\rho(\text{TN})$
≤ 30	$\leq 1.5(3)$	≤ 0.3	≤ 10

注:括号外数值为水温 $>12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的控制指标,括号内数值为水温 $\leq 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的控制指标。

4.3 提标前后进出水指标对比

污水处理厂提标改造工程于2019年12月完成竣工验收。通过对2018年1月至2019年12月改造前和2020年1月至2021年12月改造后污水处理厂进出水水质指标的监测,得到了污水处理厂每月进水中 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 及 TP 等指标的变化,见图2~5。

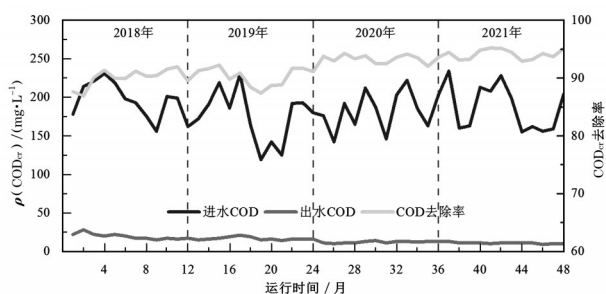


图2 污水处理厂提标改造前后进出水 COD_{Cr} 质量浓度变化

改造前污水处理厂出水平均 COD_{Cr} 质量浓度为 18.04 mg/L ,提标工程完成后,出水 COD_{Cr} 质量浓度明显下降,平均质量浓度达到 11.42 mg/L 。去除率

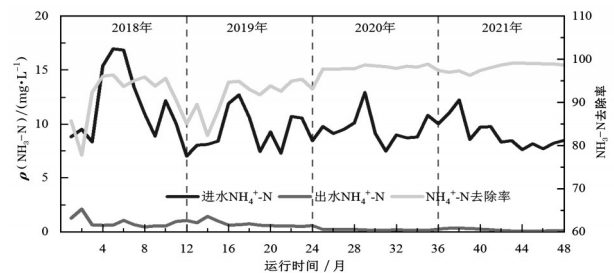


图3 污水处理厂提标改造前后进出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 质量浓度变化

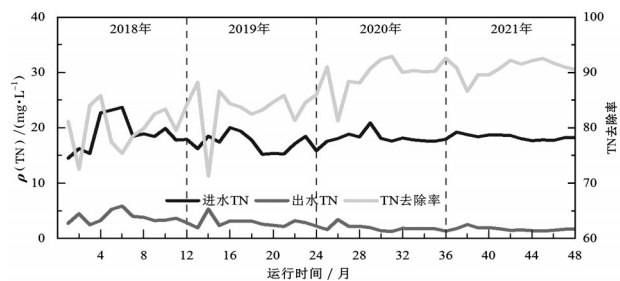


图4 污水处理厂提标改造前后进出水 TN 质量浓度变化

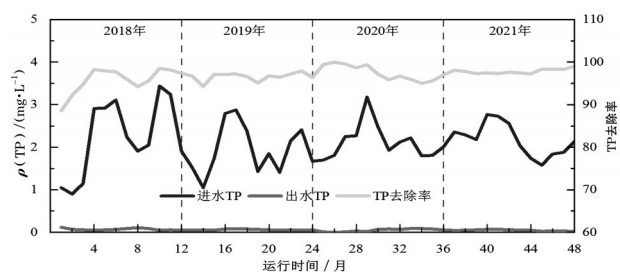


图5 污水处理厂提标改造前后进出水 TP 质量浓度变化

得到提高,出水水质较为平稳。尽管反硝化滤池运行时,需要投加外加碳源以实现反硝化脱氮。但在碳源精确投加控制系统的作用下,没有出现碳源投加过多或过少的情况。既保证了反硝化脱氮滤池的处理效果,又不会造成碳源的浪费,并且不会导致出水中 COD_{Cr} 质量浓度的升高。

改造前污水处理厂出水中平均 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度为 0.8 mg/L ,随着改造完成,出水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 质量浓度明显下降,平均质量浓度达到 0.18 mg/L 。去除率得到提高,出水水质较为平稳。

改造前污水处理厂出水平均 TN 质量浓度为 3.29 mg/L ,随着改造完成,出水 TN 质量浓度明显下降,平均质量浓度达到 1.78 mg/L 。去除率得到提高,出水水质较为平稳。

改造前污水处理厂出水平均 TP 质量浓度为 0.07 mg/L ,随着改造完成,出水 TP 质量浓度明显下降,平均质量浓度达到 0.05 mg/L 。去除率得到提高,出水水质较为平稳。

综上所述,污水处理厂改造前出水 COD_{Cr} 、

$\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 TP 一级A达标率均为100%,现状工艺流程和设计参数可满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级A标准。但是,污水处理厂出水 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 TP 质量浓度变化较大,说明污水处理厂在改造前的运行过程中出水水质存在波动。提标工程运行后,出水水质明显趋于稳定,出水 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 TP 平均去除率分别达到93.74%、98.15%、90.30%和97.70%,各项指标的去除率进一步提高。

5 结 语

工程针对苏州市金庭镇污水处理厂进行准IV类提标改造,主要结论如下:

工程在现有污水处理厂的基础上,在污水处理厂处理工艺末端新增新型生物脱氮滤池和人工湿地处理工艺,实现污水处理厂出水水质的进一步提升。

工程中新型生物脱氮滤池工艺通过对滤料、反洗模式及布水方式等关键技术的改进使传统反硝化滤池脱氮性能得到增强。采用碳源精确投加控

制系统,既保证生物脱氮滤池的脱氮效果,又避免碳源的浪费,降低运行成本。

工程中人工湿地采用垂直潜流人工湿地+表面流人工湿地的方案。提标工程运行后,污水处理厂出水水质明显趋于稳定,各项指标的去除率进一步提高。

参考文献:

- [1] 陈立,李成江,郭兴芳,等. 城镇污水处理厂提标改造的几点思考[J]. 水处理技术,2011,37(9):120-122,135.
- [2] 沈晓铃,李大成,蒋岚岚,等. 深床反硝化滤池在污水厂提标扩建工程中的应用[J]. 中国给水排水,2010,26(4):32-34.
- [3] 黄志心. 城镇污水处理厂提标改造实践与思考[J]. 中国给水排水,2020,36(22):48-53,60.
- [4] 夏青. 城镇污水处理厂污染物排放标准修改完善的思考[J]. 水资源保护,2020,36(5):22-23.
- [5] CRITES R W, MIDDLEBROOKS E J, REED S C. Natural Wastewater Treatment Systems [M]. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, 2006.
- [6] 王建华,翟正丽,桑学锋,等. 水资源承载力指标体系及评判准则研究[J]. 水利学报,2017,48(9):1023-1029.
- [7] 左其亭,郝明辉,姜龙,等. 幸福河评价体系及其应用[J]. 水科学进展,2021,32(1):45-58.
- [8] 贡力,田洁,靳春玲,等. 基于ERG需求模型的幸福河综合评价[J]. 水资源保护,2022,38(3):25-33.
- [9] 左其亭,郝明辉,马军霞,等. 幸福河的概念、内涵及判断准则[J]. 人民黄河,2020,42(1):1-5.
- [10] 陈茂山,王建平,乔根平. 关于“幸福河”内涵及评价指标体系的认识与思考[J]. 水利发展研究,2020,20(1):3-5.
- [11] 谷树忠. 关于建设幸福河湖的若干思考[J]. 中国水利,2020(6):13-14.
- [12] 韩宇平,夏帆. 基于需求层次论的幸福河评价研究及应用[J]. 南水北调与水利科技,2020(1):13.
- [13] 幸福河研究课题组. 幸福河内涵要义及指标体系探析[J]. 中国水利,2020(23):1-4.
- [14] 王子悦,徐慧,黄丹姿,等. 基于熵权物元模型的长三角幸福河层次评价[J]. 水资源保护,2021(1):9.
- [15] 刘冬顺. 牢记殷切嘱托书写新时代淮河保护治理新篇章[J]. 中国水利,2020(24):51-52.
- [16] 陆海田. 健康淮河评价指标体系研究[J]. 治淮,2018(5):9-10.
- [17] 韩春华. 沙颍河流域河流健康评价与水资源优化配置研究[D]. 郑州:郑州大学,2018.
- [18] 谢悦. 淮河中上游河流健康评价指标体系与方法研究[D]. 武汉:武汉大学,2017.
- [19] 刘国平,李开峰. 淮河流域防汛抗旱减灾体系建设与成就[J]. 中国防汛抗旱,2019,29(10):54-60.
- [20] 贾利,郁丹英,张晓玲. 淮河流域水生态系统现状存在问题及保护对策[J]. 治淮,2015(1):22-24.
- [21] 水利部淮河水利委员会. 淮河片水资源公报[R]. 蚌埠:水利部淮河水利委员会,2018.

(上接第15页)