

水生态治理中基于城市海绵体的城镇污水处理设施设计 ——以沙县水南东片区污水处理厂为例

王海英¹, 刘娟², 马颖忆¹

(1. 金陵科技学院建筑工程学院, 江苏 南京 211169; 2. 华设设计集团股份有限公司, 江苏 南京 210014)

摘要: 将城镇污水处理设施与“城市海绵体”进行“合体”设计是水生态治理的一大创举。以沙县水南东片区污水处理厂的规划设计为例, 在详述污水处理的施工工艺流程及其关键参数的基础上, 结合半地下组合式箱体平面布局、地面景观绿化布置及主要建(构)筑物的屋顶绿化设计, 为城镇增加“城市海绵体”, 以增强城市的排涝功能; 同时还评估了设计方案的生态环境及社会经济效益。以此为县域城镇开展排污设施设计提供了思路、技术参数和形式样例。

关键词: 排污设施; 规划设计; 水生态治理; 城市海绵体; 沙县

中图分类号: TU992.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-755X(2021)03-0079-07

Design of Urban Sewage Treatment Facilities Based on Urban Sponge in Water Ecological Treatment: Taking the Sewage Treatment Plant in the East Shuinan Area of Shaxian District as an Example

WANG Hai-ying¹, LIU Juan², MA Ying-yi¹

(1. Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China; 2. Huashe Design Group Co., Ltd., Nanjing 210014, China)

Abstract: The “integration” design of urban sewage treatment facilities and “urban sponge” is a great initiative conducive to water ecological treatment. Taking the planning and design of sewage treatment plant in the east Shuinan area of Shaxian district as an example, based on the detailed description of the construction process and key parameters of sewage treatment, combined with the plane layout of semi underground modular box, ground landscape greening layout and roof greening design of main buildings (structures), the “urban sponge” is added to the town to enhance the water-draining function of the city. At the same time, the ecological environment and socio-economic benefits of the design scheme are also evaluated. This paper can provide a reference design idea, technical parameters and form examples for the design of sewage facilities in counties and cities.

Key words: sewage facilities; planning and design; water ecological treatment; urban sponge; Shaxian district

水生态系统是关系城乡水环境是否良好、水循环是否顺畅的复杂系统。国家推行的“海绵城市”试点工程, 本质是为解决城市内涝问题而开发的水循环系统, 与城镇污水排放密不可分, 两者均隶属于城乡市

收稿日期: 2021-07-22

基金项目: 江苏省自然科学基金青年基金项目(BK20170117)

作者简介: 王海英(1978—), 女, 黑龙江塔河人, 讲师, 硕士, 主要从事城乡规划、景观规划与设计方面的教学科研工作。

政工程中的排水体系。将城乡建设中的排污设计与“城市海绵体”设计进行“合体”,是现代化城乡规划建设中的一大创举。

学术界有关水生态治理多以中大尺度流域为研究对象,开展有关长江、黄河、五大湖等的污染现状^[1-2]、演变过程^[3]、主要污染物类型及适宜阈值^[4]的科学探讨,据此提出针对国内主要流域的干流、支流治理的应对策略。然而,县域城镇中的小尺度水系,是打通流域治理“毛细血管”的关键环节,事关全国流域治理“一盘棋”工程的建设成效。

自 2015 年起,福建省在全国率先开展安全生态水系建设,2017 年提出坚持“全县域、全流域、全方位”治理方案,2018 年开展山水林田湖草生态修复项目试点。这一系列政策的持续跟进,表明了福建省在水生态治理中的坚定决心。本文选取福建沙县水南东片区为例进行城镇排污设施的规划设计,对县域城镇的治水思路展开探讨,是一种实操层面的路径探索。本设计使广大县域城镇有针对性解决水生态治理中的一些症结,也从实操层面为地方政府落实上位政策提供思路,具有典型性。在思路,从城镇市政工程设计体系中的污水处理与排放设施设计入手,兼顾功能性与景观性需求,详述污水处理的技术工艺及载体设施的平面布局,并对可能的生态环境效益、经济社会效益予以评估,以此为地方主管部门的水污染防治及其他同类设计提供参考。

1 研究对象

本文研究对象为沙县水南东片区污水处理厂一期工程,位于沙县水东路与明光大桥交叉路口北侧,占地面积 $16\,663.39\text{ m}^2$ 。根据《福建省沙县城市总体规划(2009—2030)》,该城镇排污设施是闽江支流沙溪下游沙县的重要污水处理设施之一,主要服务沙县东南部生活居住板块,预计建成后服务区内有 4.5 万人口(图 1)。本次排污设施的规划设计,土建按总规模 $1.0\times 10^4\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ 一次建成,一期安装设备规模为 $5\times 10^3\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$,远期再安装 $5\times 10^3\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ 设备规模,本工程总变化系数为 1.58。研究案例区与城区中心、工业园区和居民点距离适中,地势低平,靠近污水收集区域,处理后可近沙溪排放,因而可作为城镇污水处理与排放设施设计的典型案例,为同类区域的城镇排污设计提供参考。

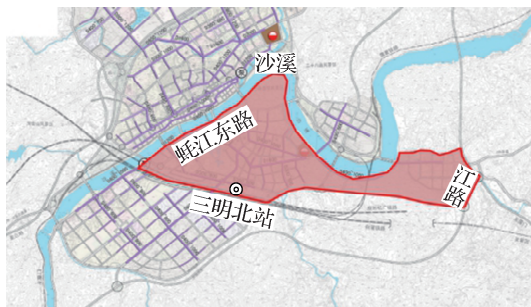


图 1 水南东片区污水处理厂服务范围

2 排污设施的施工工艺及主要技术参数

2.1 污水处理的工艺流程

本期工程主要采用细格栅平流沉砂池+AAO 生化池+矩形周进周出二级沉淀池+高密度混凝沉淀池+滤布滤池的处理工艺流程^[5-6],流程中涉及的消毒均采用紫外线消毒法,处理后的尾水将排至沙溪。根据《福建省流域水环境保护条例》,沙溪为闽江主流上源,是省域重要流域,属Ⅲ类水域,因此,处理后的尾水排放需达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 A 类标准,其进出水水质、污染物负荷及污染物处理程度等相关指标的阈值详见表 1。

表 1 污水厂污染物设计处理效率

污染物指标	CODcr	BOD5	SS	NH ₃ - N	TN	TP
进水水质/(mg · L ⁻¹)	300	180	180	35	45	3
出水水质/(mg · L ⁻¹)	50	10	10	5	15	0.5
污染物去除效率/%	≥83.3	≥94.4	≥94.4	≥85.7	≥66.7	≥83.3

注:CODcr 指化学需氧量;BOD5 指五日生化需氧量;SS 指悬浮物;NH₃ - N 指废水中氨氮含量;TN 指总氮量;TP 指总磷量。

鉴于本期工程项目规模相对较小,根据已有研究,污水处理将采用生物脱氮除磷工艺,且因污泥龄较长,污泥性质较为稳定,剩余污泥量较少,可不进行消毒,直接进行浓缩、脱水^[7],选择叠螺式浓缩机作为污泥浓缩脱水设备。脱水后再采用超高压弹性压榨机为主体工艺,污泥经脱水干化后定期运往沙县垃圾填埋场处置。其中除臭工艺采用生物土壤法,主要是对粗格栅、细格栅及平流沉砂池、生化池、储泥池、污泥浓缩及污泥脱水间等进行除臭。根据《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中大气污染物排放二级标准,设计除臭滤池尺寸为 30 m×11.5 m,总面积345 m²,生物土壤填料厚 1 m,土壤接触时间>1 min。具体工艺流程如图 2 所示。

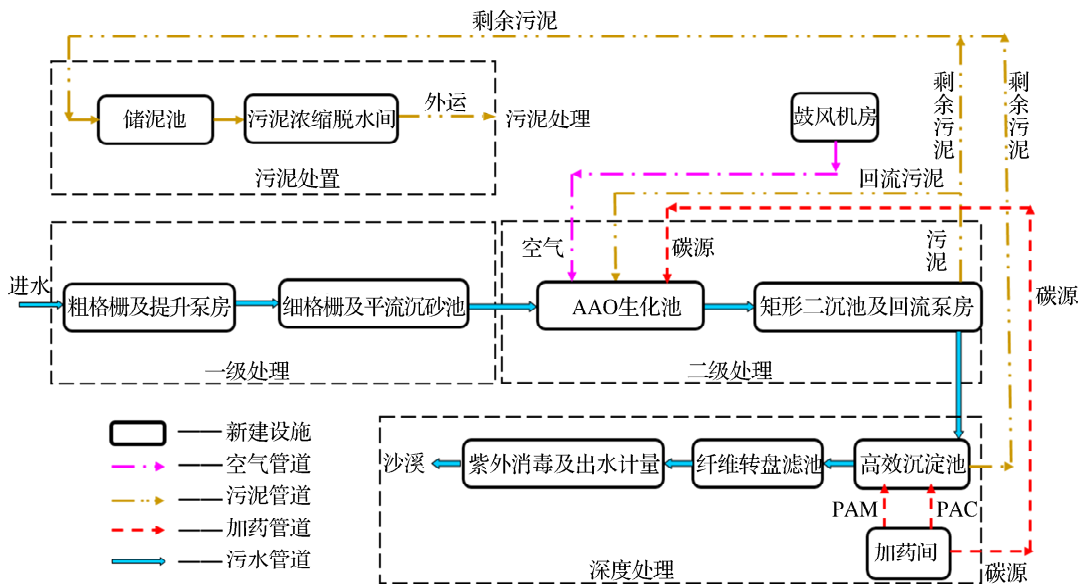


图 2 沙县水南东片区污水处理的工艺流程

2.2 污水处理的主要技术参数

上述污水处理的工艺流程中,包含粗格栅及提升泵房等 10 个主要构筑物的设计参数是工程项目施工中的关键,其参数配置是关系到污水处理流程是否顺畅与污水处理效果是否达标的关键因素。现将各主要构筑物设计的技术参数详述如下:

- 1)粗格栅及提升泵房。该施工工艺中拟建设粗格栅及提升的进水泵房 1 座,为半地下式构筑物。粗格栅安装角度为 75°,过栅流速 0.60 m · s⁻¹,栅条宽度 10 mm,格栅间隙 20 mm,平面尺寸 7.3 m×5.4 m;提升泵房平面尺寸 6.0 m×6.8 m。
- 2)细格栅及平流沉砂池。建设细格栅及平流沉砂池 1 座。细格栅安装角度 75°,过栅流速 0.70 m · s⁻¹,栅条宽度 5 mm,栅条间隙 3 mm,平面尺寸 6.0 m×4.0 m;平流沉砂池最大流速 0.24 m · s⁻¹,最大流速停留时间 50 s,最小流速 0.15 m · s⁻¹,单格净宽 1.5 mm,平面尺寸 14.0 m×4.0 m。
- 3)AAO 生化池。设置半地下式 AAO 生化池 2 座,每座分 2 格,单座设计流量为 5×10³ m³ · h⁻¹,单座尺寸为 32 m×30 m×8 m,有效水深为 6.5 m,每格处理能力为 2 500 m³ · h⁻¹,2 格并联运行,方便检

修。AAO生化池的最低水温 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,泥龄 $18\sim 20\text{ d}$,污泥浓度 $4\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,污泥回流比 $50\%\sim 100\%$,混合液回流比 $100\%\sim 300\%$,总有效停留时间 26.0 h ,其中停留时间厌氧区为 2 h ,缺氧区为 6 h ,好氧区为 18 h 。

4)矩形二沉池及回流泵房。建设矩形二沉池及中间水池作为回流泵房,最大设计流量 $658.33\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,平均设计流量 $416.67\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,土建数量2座,有效水深 4.5 m ,最大表面负荷 $1.44\text{ m}^3\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$,平均表面负荷 $0.92\text{ m}^3\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$,单座池面积为 $30\text{ m}\times 9\text{ m}$ 。本建设工程中涉及的主要设备有链式刮泥刮渣机1套(远期增加1套),污泥泵2台,回流污泥泵3台(远期增加2台)。

5)高效沉淀池。建设高密度沉淀池1座2组,单组由1座混合池、1座絮凝池、1座沉淀池合建。单组设计流量 $329.2\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,混合时间 2.0 min ,絮凝时间 10 min 。沉淀池表面负荷 $10.9\text{ m}^3\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$,污泥回流比 4% ,絮凝剂PAC最大投药量 $60\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,投加浓度 10% ,助凝剂PAM(阴离子)最大投药量 $1.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,投加浓度 1% 。混合池尺寸 $1.5\text{ m}\times 1.5\text{ m}\times 5.0\text{ m}$;絮凝池尺寸 $3.6\text{ m}\times 3.6\text{ m}\times 5.96\text{ m}$;沉淀池平均高度 7 m ,总高度 7.46 m ,超高 0.4 m ,外包尺寸 $19.7\text{ m}\times 18.2\text{ m}\times 7.46\text{ m}$ (1座2组,半地下式)。

6)纤维转盘滤池。建设纤维转盘滤池1座,分为2格,每格内设置纤维转盘1套。纤维转盘滤池的设计流量 $1\times 10^4\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,峰值流量 $1.58\times 10^4\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ (总变化系数1.58),滤盘直径 2 m ,过滤网孔孔径 $\leq 10\text{ }\mu\text{m}$,平面过滤介质抗拉强度 $\geq 600\text{ N}\cdot\text{cm}^{-1}$,每个滤盘过滤面积 $\geq 5.7\text{ m}^2$,进水水质 $\leq 20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,平均出水水质 $\leq 10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,滤速 $\leq 15\text{ m}^3\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$,瞬时反洗面积 0.25 m^2 ,反洗水量 $1\%\sim 3\%$,反洗转速 $1\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,反洗周期 1 h ,尺寸 $8.7\text{ m}\times 6.1\text{ m}\times 3.5\text{ m}$ 。

7)紫外消毒及出水计量渠。设置1套紫外线消毒池,远期增加1套,1台巴氏计量槽作为出水计量设备。消毒池的悬浮含量 $\text{SS}\leq 10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (最大值),紫外穿透率 $\geq 65\%$ (最小值),粪大肠杆菌数 $1\,000\text{ 个}\cdot\text{L}^{-1}$ (30 d几何平均值),尺寸 $12\text{ m}\times 7.5\text{ m}\times 2.45\text{ m}$ 。

8)储泥池。建设储泥池来处置间歇排放的污泥,以此来浓缩污泥和脱水调蓄部分剩余污泥。储泥池的远期污泥干重 $1.5\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$,含水率 $99.2\%\sim 99.4\%$,尺寸 $12.0\text{ m}\times 5\text{ m}\times 4\text{ m}$ 。

9)加药间。拟建设的加药间主要包括PAC储罐及投加设备、PAM固体药剂及溶解投加装置、乙酸钠成品溶液储罐及乙酸钠溶液投加成套设备,另视水质情况增设碳源投加装置。PAC的最大投加量 $60\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,投加浓度 10% ;PAM最大投加量 $1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,投加浓度 1% 。

10)污泥浓缩及污泥脱水间。拟建设污泥浓缩及脱水间,并采用污泥机械浓缩。污泥浓缩及污泥脱水间的污远期污泥干重 $1.5\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$,含水率 $99.2\%\sim 99.4\%$,出泥含水率 60% ,工作时间 16 h ,尺寸 $27.6\text{ m}\times 11.0\text{ m}\times 9.74\text{ m}$ 。拟建过程涉及的主要设备有叠螺式浓缩机1台(远期加1台),浓缩机进料泵2台(1用1备,远期加1台)。

3 污水处理设施关键载体的平面布局与效益分析

3.1 半地下组合式箱体的平面布局

本案例中污水处理厂主要包含地下部分和地面部分。其中,地下部分采用半地下式全覆盖布置形式。依据《福建生态省建设总体规划纲要》(闽委发[2004]15号)、《沙县生态环境功能区划》的要求,城镇污水厂建设在满足生态、环保、节地的理念和污水处理工艺要求的前提下,力求实现空间布局紧凑、环境品质优异^[8],地上空间释放最大化等建设特点,为厂区内城市海绵体的实施创造有利条件。同时,通过对比现有污水处理设施建设形式,综合施工工艺的可行性、设备检修的可操作性、空间利用的合理性、生态环境的友好需要及现实条件的限制等因素,比对地上式与半地下式两种方案的优劣性(表2),认为在现有的用地红线内,建设一座与周边环境协调、整体景观效果好、对周围环境影响小、封闭性强、无二次污染的半地下式全覆盖污水厂是本工程的最佳选择。

半地下式的组合箱体布置形式是将污水厂内的所有构筑物合建为一幢一体化处理构筑物(图3)。一

体化构筑物上部通过建筑双层加罩,在建筑最顶部覆土约 1~2 m,进行绿化,构筑物内各个产生臭气的空间均进行密闭,通过风管将臭气收集并经生物除臭装置处理达标后外排^[9]。

厂区地下部分布置主体构筑物及部分生产用房,地下负一层主要为工艺池体及管道,根据功能、进出水方向和处理工艺要求^[10],半地下箱体划分为预处理及污泥处理区、二级处理区、深度处理区、综合设备区 4 个功能区^[11](图 4),并按土建总规模 $1.0\times 10^4\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ 一次建成,平面尺寸约 $66\text{ m}\times 65\text{ m}+32\text{ m}\times 40\text{ m}$ 。箱体为二层钢筋砼结构,池体位于地下一层,设备层位于地面上,半地下箱体西南处有一进出主通道与室外地面相连,箱体上部的设备层地面标高与室外地坪标高基本一致,箱体顶部覆土进行绿化。

表 2 不同建设方案的优劣分析

项目	地上式建设方案	半地下式建设方案
主要优点	1. 工程投资低 2. 工艺方案成熟	1. 占地面积较小 2. 景观效果好 3. 有利于周边地块价值提升 4. 地上部分可建设公园并对外开放,土地利用价值高 5. 可充分利用厂区用地,进行海绵城市设计,尽可能地增加城市海绵体
主要缺点	1. 占地面积大 2. 严重影响周边景观环境 3. 建筑物凸出地面,土地利用价值低	1. 工程投资较大 2. 运行成本较高

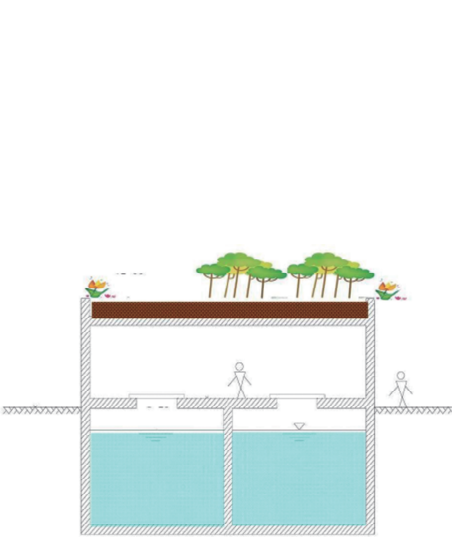


图 3 半地下式全覆盖布置形式剖面

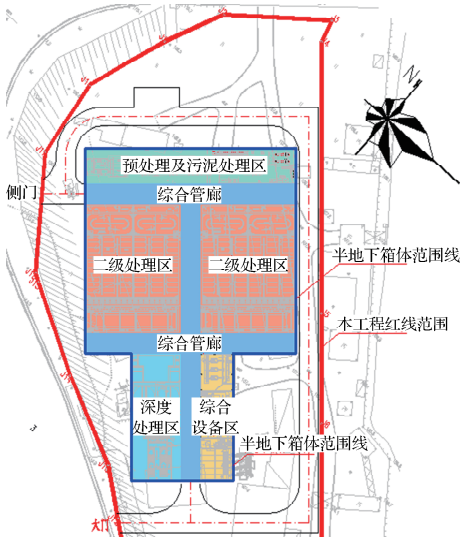


图 4 半地下式全覆盖的组合式箱体设计

3.2 地面“城市海绵体”的平面布置与作用机理

“城市海绵体”平面布置是当前城乡建设领域在新建建筑及构筑物中兼顾设施本体功能及促进区域水循环的主流做法^[12]。本案例中,对地面上的构筑物建设强调优先利用绿色、生态化的“弹性”设施,兼顾实用功能、景观美感及水生态价值,通过合理的规划设计策略,将其建设成为“城市海绵体”,不仅能够改善城市绿化,还能为城市构建可持续的、健康的水循环系统提供技术支持,从而将水生态治理与“海绵城市”的构建有机关联。

据此,按照集约、绿色、美观的设计原则,本期工程的地面部分主要包含综合楼、门卫室、变配电间、机修车库、除臭设施、进出通道等地面层建(构)筑物和地表景观绿化(图 5)。地表景观设计拟采用直线与曲线相结合的方式,将“绿色、亲水、环保”融入环境中,凸显“因地制宜、移步异景”的设计理念,将其打造成集

功能性、美观性、实用性等于一体的花园生态型污水处理厂的环境空间。

根据地面建(构)筑物的不同功能,将厂区内分为 5 个片区:厂区绿化区、顶板绿化区(包含检修步道)、休憩活动空间、景观水系(跌水)、密林区(图 6)。在具体设计中,根据场地地形,在厂区公共建筑周边增加休闲空间,增设景观水系,形成人工湿地,起到尾水净化作用。同时,深度融入“海绵城市”建设理念,在道路等周边空间充分配置生态植草沟、生态树池、景观池、垂直绿化以及地面透水铺装等^[13-14],促进“渗、滞、蓄、净、用、排”等雨水系统的开发,提高对雨水径流的渗透、调蓄、净化、利用和排放能力,达到对暴雨所产生的径流和污染的控制目的^[12,15]。在顶板区箱体上覆土约 1.2 m 作为景观微地形处理,对厂站及设备进行保护,并配合植物种植,展现顶板“花园”生态、美观的景观效果(图 7)。从而在充分利用地面建(构)筑物顶板培植屋顶绿化的基础上,为城镇水生态治理和调蓄水循环系统提供有益支撑。



图 5 地面层构筑物



图 6 厂区功能分区



图 7 厂区规划鸟瞰图

3.3 本设计方案的效益分析

1)生态环境效益。按近期规模 $5\,000\text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 进行测算,预计沙县水南东片区污水处理厂工程竣工投产后,每年可减少的污染物排放量为:COD_{Cr} 约 548 t、BOD₅ 约 310 t、SS 约 347 t、NH₃-N 约 37 t、TN 约 64 t、TP 约 5 t。因而,本期工程项目在水生态治理方面具有积极作用。具体包括:①有利于改善水环境的整体质量,改善自来水厂的源水水质,提高生活供水水质,减轻城镇生活、生产用水的处理难度^[16];②大幅削减排入沙溪的污染物,保护沙县水环境,维护生态平衡;③改善了人们的生活、工作及休闲环境,还具有尾水净化功能。

2)社会经济效益。污水处理作为一项环境治理项目,本身并不直接产生经济效益,但工程建成后,可提高城市的环境质量,减少生活污水和工业废水对水体的污染。这不仅能够大幅降低脏乱差环境造成污染所致疾病带来的损失,也能减少水体污染造成的农牧渔业和农副产品加工业的损失,还能改善案例地的投资环境,因而具有较为突出的间接经济效益。同时,这对提升居民生活质量,促进旅游,改进社会综合治理等也有显著的正面影响。

4 结 语

在全国范围推进生态文明建设的大背景下,本案例设计旨在通过提供一种详尽的污水处理工艺设计及排污设施的规划设计,地下部分主要进行水生态治理,地面部分充分利用建(构)筑物顶板空间促进水循环调蓄,为案例区水生态治理提供科学路径。在东南沿海的同类区域,尤其在区位临溪、人口规模适中的小城镇,可以将沙县水南东片区污水处理厂的设计方案,尤其是本案例设计中的关键技术参数作为参考,从而突出工程设计出水标准高、占地面积小、资源利用充分、生态保护到位、污水处理工艺先进合理、总体设计方案科学等特点^[17]。此外,本案例设计充分利用建(构)筑物的屋顶空间,兼顾功能需求和景观美化新建城市“海绵体”,补充城镇水循环介质,具有较高的借鉴价值。

参考文献:

- [1] 吴志广. 陈述长江流域水资源开发保护中的关键科学和技术问题[J]. 长江科学院院报, 2021, 38(4): 1-6
- [2] 潘保柱, 韩谓. 长江与黄河两大流域水生态问题剖析[J]. 风景园林, 2020, 27(8): 18-23
- [3] 孙然好, 魏琳沅, 张海萍, 等. 河流生态系统健康研究现状与展望[J]. 生态学报, 2020, 40(10): 3526-3536
- [4] 赵子豪, 姚建. 基于 WASP 模型的山区型河流水污染控制研究[J]. 人民长江, 2021, 52(S1): 38-41
- [5] 贾晓阳. 河北省某经济开发区污水处理厂设计[J]. 中国新技术新产品, 2020(8): 106-107
- [6] 王姣, 刘思相, 孙黎明. 河北某化工园区污水深度处理工艺设计[J]. 水处理技术, 2020, 47(3): 137-140
- [7] 刘向阳. 三门峡产业集聚区污水处理工程可行性研究与分析[D]. 广州: 华南理工大学, 2013
- [8] 周友飞. 上海安亭污水处理厂三期全地下式扩建工程思考[J]. 给水排水, 2021, 57(2): 35-39
- [9] 于中海, 于利娜. 污水处理厂景观设计思路及案例分析[J]. 现代园艺, 2020(23): 159-161
- [10] 黄羽, 唐凯峰. 合肥市陶冲污水处理厂二期工程设计技术方案研究[J]. 给水排水, 2020(8): 173-176
- [11] 陈奇良, 王桂祥, 赵义君. 合肥市肥东污水处理厂四期工程设计分析[J]. 山西建筑, 2021(4): 98-100
- [12] 张超. 高强度开发地区海绵城市建设途径——以南京市红花-机场地区为例[J]. 建设科技, 2016(5): 76-78
- [13] 李文强. 污水处理厂建设中海绵城市设计案例与分析——以遂宁某污水厂为例[J]. 净水技术, 2021, 40(S1): 170-175
- [14] 马姗姗, 庄彤. 某地下式污水处理厂工程设计要点与分析[J]. 绿色环保建材, 2021(5): 37-38
- [15] 曹国安. 海绵城市在城市污水处理厂建设工程中的应用[J]. 建筑技术开发, 2020, 47(11): 109-110
- [16] 陈媛媛, 张盛才, 段昌兵. 景区生活污水处理工程设计[J]. 绿色科技, 2021, 23(2): 87-88
- [17] 万明辉. 钱江污水处理厂扩建及提标改造工程设计方案[J]. 净水技术, 2018, 37(4): 82-87, 92

(责任编辑: 谭彩霞)