

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.12.011

# 宿迁市西南片区阳台洗衣废水处理模式研究

田川<sup>1</sup>, 刘江<sup>2</sup>, 陈诗扬<sup>1</sup>, 李悦<sup>3</sup>, 孙广东<sup>1</sup>, 吴爽<sup>1</sup>

(1. 中国城市规划设计研究院, 北京 100044; 2. 宿迁市住房和城乡建设局, 江苏 宿迁 223800; 3. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210024)

**摘要:** 洗衣废水中含有大量有机物、氨氮等污染物,我国部分地区由于前期设计和后期管理等问题,存在大量阳台洗衣废水进入河道的情况,可能造成水环境的严重污染。目前在城市水环境治理以及海绵城市建设中均涉及大量阳台洗衣废水处理改造内容,但其处理模式的选取均缺乏有力的理论支撑。梳理凝练了西方国家阳台洗衣废水中心化和去中心化两种处理回用模式,以及国内雨污分流、末端截流、回收利用三种模式,分析了相关的利弊和使用条件。同时,以宿迁市中心城市西南片区为例,评估了大规模雨污分流改造可能对污水处理厂造成的不利影响,提出了三种切实可行的处理模式,尤其是与海绵城市建设结合同步解决内涝及水环境问题,对类似城市洗衣废水的处理具有参考价值。

**关键词:** 阳台洗衣废水; 立管改造; 雨污分流; 海绵城市

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)12-0068-08

## Research on Treatment Mode of Balcony Laundry Wastewater in Southwest Downtown of Suqian

TIAN Chuan<sup>1</sup>, LIU Jiang<sup>2</sup>, CHEN Shi-yang<sup>1</sup>, LI Yue<sup>3</sup>, SUN Guang-dong<sup>1</sup>,  
WU Shuang<sup>1</sup>

(1. China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100044, China; 2. Suqian Housing and Urban-Rural Construction Bureau, Suqian 223800, China; 3. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210024, China)

**Abstract:** Laundry wastewater contains lots of pollutants such as organic matter and ammonia nitrogen. Due to the preliminary design defect and later ineffective management in parts of China, there is large amount of balcony laundry wastewater entering the river, which may cause serious pollution of the water environment. At present, balcony laundry wastewater treatment is an important part involved in the urban water environment treatment and the sponge city construction, but the selection of treatment mode lacks strong theoretical support. The centralized and decentralized modes of balcony laundry wastewater in western countries, as well as three modes in China, including rainwater and sewage diversion, terminal interception and recycling, and also the relevant advantages, disadvantages and application conditions are analyzed. Meanwhile, the possible adverse impact of extensive rainwater and sewage diversion reconstruction on the sewage treatment plant in southwest downtown Suqian is evaluated, and three practical scenarios are put forward, especially in combination with sponge city construction for

simultaneously solving the problems of waterlogging and water environment pollution, which has important value for similar urban balcony laundry wastewater treatment.

**Key words:** balcony laundry wastewater; vertical pipe reconstruction; rainwater and sewage diversion; sponge city

洗衣废水中含有大量有机物、氨氮等污染物,如大量进入水体将造成严重污染<sup>[1]</sup>。在我国早期建筑和小区设计中,由于认为南侧阳台不存在污水外排的需求,所以建筑物南侧仅设有雨水埋地支管,但是在实际生活中,阳台雨水管往往作为洗衣机的接入管。当阳台洗衣废水立管接入埋地系统时,只能接入雨水系统,导致阳台雨水和洗衣废水混合流入水体<sup>[2]</sup>。另外,部分住宅顶层住户私自对楼顶进行改建,在楼顶私搭阳光房,并设置洗涤槽等用水设施,洗涤槽排水直接接入楼顶雨水边沟<sup>[3]</sup>,造成一定的水体污染。根据文献调查,某城市有65.63%的调研对象在阳台摆放洗衣机,由此可见,阳台雨污合流是普遍存在的问题<sup>[4]</sup>。基于水环境改善的需求,近年来部分城市推进阳台雨污水改造,对局部水环境改善发挥了重要作用<sup>[5]</sup>。但是,阳台雨污水改造也带来了一定的负面影响,尤其是大量洗衣废水进入污水管网,可能给污水处理厂的正常运行带来不利影响<sup>[6]</sup>。因此,在城市大面积推进阳台雨污水改造时,应客观评估其利弊,为相关政策的制定等提供技术支撑。

在梳理国内外相关案例基础上,以宿迁中心城市西南片区为例,分析洗衣废水进入水体的总量及其最终对水体的污染贡献,同时评估大规模雨污分流改造后可能对污水处理厂运行带来的影响,并提出切实可行的阳台洗衣废水处理模式。

## 1 阳台洗衣废水直排河道的危害

根据上海、杭州、长沙等地的数据,洗衣废水排放的污染物以COD为主,其次为BOD<sub>5</sub>和总磷<sup>[1,7-8]</sup>。按贡献率计算,COD、BOD<sub>5</sub>、总磷的贡献率分别约为70%、25.6%和3.8%。洗衣液中的活性组分主要是富含大分子有机物的阴离子表面活性剂(LAS),导致洗衣废水产生较高的COD,另外,洗衣液中活性助剂(如乙醇胺)是氮污染的主要来源,导致总氮含量较高;而由于近年来推广无磷洗涤剂,洗衣废水中的总磷含量很低。从污染物的绝对值来看,COD浓度为250~800 mg/L,氨氮浓度为1.0~9.5 mg/L,远

远超过污水处理一级A排放标准,直接排放水体将会对水体水质产生较大影响。此外,洗衣废水的浓度也呈现显著的地域差异,以COD为例,上海市浦东新区老式社区的COD浓度为422.71~784.57 mg/L,杭州市洗衣混合废水COD仅为286 mg/L。洗衣废水中各污染物浓度见图1。

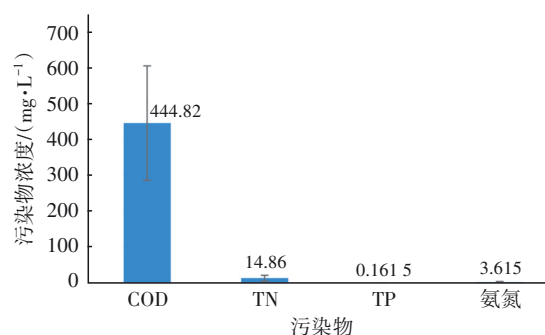


图1 洗衣废水主要污染物浓度

Fig.1 Main pollutants concentration of laundry wastewater

另外,洗衣废水的浓度也存在显著的季节性差异,一般春夏季较高,秋冬季节相对较低,其原因可能是温度与人体活动的影响,春夏季代谢旺盛,排出的代谢废物残留在衣物上较多,而冬季代谢慢,衣物上的污染物相对较少。

以长沙为例,春、夏、秋三季洗衣废水中污染物浓度与冬季的比值见表1<sup>[7]</sup>。

表1 洗衣废水中主要污染物的季节差异

Tab.1 Seasonal difference of main pollutants in laundry wastewater

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	总氮	氨氮	总磷
春季/冬季	6.01	6.54	22.23	30.72	10.70
夏季/冬季	4.42	0.71	0.86	4.11	1.85
秋季/冬季	0.81	0.66	0.50	1.70	4.52

进入河道后,洗衣废水将对河道水质产生较大影响。以上海、杭州、绍兴<sup>[1,8-9]</sup>等地的数据为例,洗衣废水直接排入河道后,将造成沿河岸边形成宽度为1 m的污染带,排放瞬间河水中COD、总氮、总磷、SS含量迅速上升,浓度分别约为排放前的6、3、2和

8倍,其中洗衣废水对水体中COD、氨氮的最大污染贡献率分别为1.1%~6.4%和0.7%~3.7%(见图2)。

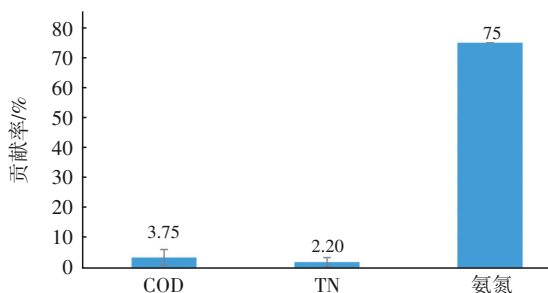


图2 洗衣废水中主要污染物对水体的污染贡献率

Fig.2 Contribution of main laundry wastewater pollutants to water pollution

## 2 国内外阳台洗衣废水收集利用模式分析

### 2.1 西方国家阳台洗衣废水收集利用的相关做法

西方国家并未对阳台洗衣废水做单独规定,往往和其他家用废水合并作为灰水一同收集处理(见图3)。

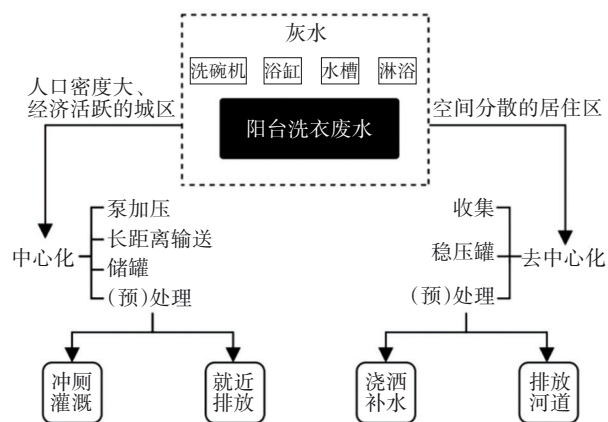


图3 西方国家灰水处理通行模式

Fig.3 General model of grey water treatment in western countries

灰水指除厕所废水(黑水, black water)外的所有废水,包括了水槽、淋浴、浴缸、洗衣机或洗碗机的出流,欧盟理事会91/271/EEC号城市污水处理指令中定义了“城市废水”是指生活废水或生活废水与工业废水和/或雨水径流的混合物,而“家庭废水”是指主要来自人类新陈代谢和家庭活动的居住区及服务产生的废水。洗衣废水的处理系统可分为中心化和去中心化两种:中心化系统适用于在人口密度大、经济活跃的城区<sup>[10]</sup>;去中心化系统适用于空间分散的居住区,洗衣废水可被导入覆土层作为植物生长用水<sup>[11]</sup>。在复杂的中心化系统中,需安装

泵对废水加压并将其长距离输送,也需要额外的储罐来调节其进入处理系统的流量。家庭灰水的去中心化系统将浴室和洗衣房收集的灰水通过稳压罐收集,然后用砂过滤器进行预处理后回收用于冲洗马桶。这种分散式处理系统不涉及长距离输水,可更加灵活地扩容改造<sup>[11]</sup>。

灰水回用经验较丰富的国家有美国、澳大利亚等<sup>[12]</sup>。20世纪90年代初,美国易早的加利福尼亚州开始意识到灰水的灌溉水资源利用潜力,制定了安装和使用灰水回收系统的标准,立法允许使用灰水浇灌花园,以减少自来水的使用量,并削减水费。与美国类似,欧盟要求其成员国应确保所有一定规模以上集聚区都设有城市废水收集系统,其中洗衣废水也须被收集处理。另外,澳大利亚大部分州和领地都有灰水法规和政策,首都堪培拉在单户住宅中安装中水回用系统不需要许可证。悉尼的灰水花园项目针对悉尼水域的高用水量,在参与者的房屋中安装了灰水回用系统,该系统使用重力驱动的地下滴灌系统将灰水直接导入花园,为花园植物浇水,结果显示每周平均可节省用水2 850 L。此外,回用过程中也对灰水的处理方式开展了大量研究,学界共识是单级处理一般不能符合大多数废水回用标准中的允许限值,因为洗衣废水中的软化、漂白、抗菌添加剂可能会降低活性污泥中微生物的生物降解效率<sup>[13]</sup>。

植物修复与物化处理结合是一种更环保和有效的洗衣废水处理方式,例如使用大萍对洗衣废水进行物化吸附与植物修复<sup>[14]</sup>。生物滤池和湿地也对洗衣废水的COD、BOD<sub>5</sub>、TSS、总氮与LAS有较好的处理效果<sup>[15]</sup>。

### 2.2 国内阳台洗衣废水收集利用的相关做法

国内目前对阳台洗衣废水最主要的改造方法是管线改造,主要有以下3种处理方式:

#### ① 新建雨水管进行雨污分流改造

改造方式为切断原立管起端雨水斗的连接,将原雨水立管作为污水立管使用,末端接入污水系统,并新建雨水立管,连接原雨水斗,散排至建筑单体散水坡上或者绿化带内。如铜陵市主城区雨污分流改造方案遵循彻底雨污分流的原则<sup>[16]</sup>,从建筑单体开始进行雨污分流改造,对于雨污合流的建筑单体,保留建筑单体合流立管,将它作为污水立管使用,并截断现状合流立管,在顶部设置一个伸顶



通气帽,保证居民正常生活不受影响。新建雨水立管容纳屋面雨水,最终排入雨水检查井。

广州中医药大学封堵雨污混流立管的天面雨水端口<sup>[17]</sup>,并将该立管接入地面污水管网系统,同时新安装一条雨水立管收集天面雨水。该新建雨水立管接入或就近漫流至高位花池、下沉式绿地等海绵设施,再通过溢流的方式接入雨水排水管网。该方式存在的主要问题是可能会对污水处理厂造成一定冲击,同时如果封堵不严,或者存在混错接的情况,还可能导致大量雨水进入污水管道,对污水提质增效带来负面影响。

## ② 在现状雨污合流管道末端增设截流装置

对于部分雨污分流改造难度较大的小区,则考虑在雨污混流立管末端增设废水截流装置,主要有两种模式:

一种模式是采用堰式截流井,在晴天时将阳台洗衣废水排入污水系统,在雨天时将合流水排入雨水系统。晴天时,弃流井里的闸门开启,管道内混进的部分污水通过弃流井内弃流管流向污水管道,做到晴天时污水零直排;降雨时,可通过智能装置判断降雨量大小,自动关闭或开启弃流口闸门,截流较脏的初期雨水。该方式存在的主要问题是运行调度存在一定难度,对后期运行维护的要求较高,如处理不慎,可能导致大量雨水进入污水管道。

另外一种模式则在雨污混流立管的末端进行生态修复,处理后进入雨水管道,以生态技术为核心的快速渗滤土地处理系统<sup>[18]</sup>因其不受场地位置、水文地质、土壤等条件限制而具有广泛的适用性。以天然土壤、粗砂和沸石混合组成的土地快速渗滤系统的小试表明:这种处理系统对洗衣废水的LAS、COD等具有很好的去除效果,其中LAS去除率可以达到99%以上,对COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮和总磷的去除率分别为79.76%、72.50%、90.88%和60.22%。另外,洗衣废水经过24 h预沉后SS去除了90%,因此设置预处理单元并保持一定的沉淀时间可以减少系统堵塞的几率。该方式存在的主要问题是生物处理设施的稳定性差,对后期维护保养的要求也比较高。

## ③ 强化阳台直排废水的处理与回用

还有一个模式是洗衣废水经处理后直接回用,可采用洗衣废水→格栅→调节池→膜生物反应器→消毒→出水回用的处理工艺,该方式占地面积

小,出水水质稳定,不仅可去除BOD<sub>5</sub>、COD等,还可以对有害微生物进行消杀,达到生活杂用水水质标准,且维护管理方便,易实现自动化。阳台排放废水处理后可用作浇洒、绿化、消防等市政用水及厕所冲洗等城市杂用水,间接冷却用水和洗涤、冲灰、直冷、除尘工艺用水等工业用水,农田灌溉、造林育苗、农牧场和水产养殖等农业用水等。该方式存在的主要问题是需要新增处理工艺,实施难度相对较大,回用量需要达到一定的规模,且需考虑公众的接受程度。

以上三种处理模式对比见表2。

表2 国内阳台洗衣废水处理模式对比分析

Tab.2 Comparison of domestic balcony laundry wastewater treatment modes

项目	新建雨水管	合流管道末端增设废水截流装置	阳台直排废水回收利用
优点	截污彻底	不需对小区进行较大改动,可同步处理初期雨水	截污的同时实现水资源回收利用
缺点	改造难度较大,能对污水处理系统造成较大冲击	运行维护难度大,维护管理不当可能产生较大风险	工艺复杂,对规模要求高
适用条件	拟同步改造的老旧小区,立管改造条件较好	城市管理水平较高,区域水环境要求较高	洗衣废水集中排放区域,且水资源相对短缺区域

## 3 宿迁市西南片区阳台洗衣废水改造

### 3.1 片区基本概况

研究片区在宿迁市中心城区的位置见图4。

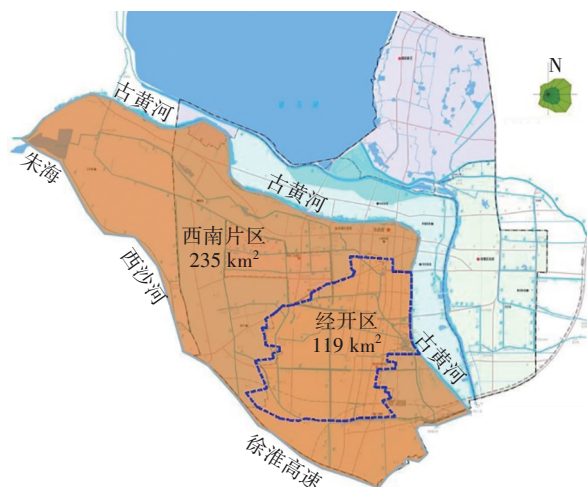


图4 研究片区在宿迁市中心城区位置

Fig.4 Location of the research area in Suqian downtown districts

宿迁市中心城市西南片区总面积235 km<sup>2</sup>,是城市发展的重点区域,区域内有26条干支河流交汇成网,涝水通过西民便河最终排入洪泽湖。洪泽湖是南水北调东线工程的四大调蓄水体之一,西南片区水环境质量关乎国家“一泓清水北上”的大局。在基本完成国家黑臭水体治理示范任务基础上,目前正在开展水环境综合提升工作,阳台雨污水改造是需要同步考虑的一项重要任务。

### 3.2 阳台洗衣废水产生量及其对水环境影响

#### 3.2.1 阳台洗衣废水污染物总量分析

根据《宿迁市城市总体规划》(2015—2030)的中心城区居住用地现状图与污水处理厂服务范围,西南片区现状服务人口约为46万人。根据张芷伊等<sup>[4]</sup>的研究估算,预估服务区域有70%的家庭采用洗衣机与洗衣液的方式洗衣,60%的家庭在阳台摆放洗衣机,夏秋季节洗衣频率为7次/周,冬春季节洗衣频率为2次/周,每次机洗用水100 L/户。预计片区污水处理厂服务范围内阳台洗衣废水总量为150.70×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/a。若所有用户同时使用阳台洗衣机带来的最高日废水量为6 440 m<sup>3</sup>。按洗衣废水混合液COD为286 mg/L、氨氮为2.06 mg/L、总磷为0.083 mg/L、LAS为33.4 mg/L<sup>[8]</sup>计,则阳台洗衣机废水的COD、氨氮、总磷、LAS负荷分别约为431.00、3.10、0.13和50.33 t/a。

#### 3.2.2 阳台洗衣废水直接排河的危害

根据《江苏省地表水环境功能区划》,片区纳污水体中西民便河水水质目标为Ⅲ类,其余为Ⅳ类,由于片区河道的流动性较差,结合河道水量用一维模型估算其COD、氨氮的环境容量分别为3 889.47、180.43 t/a。同时分别评估维持现状、强力控源截污两种情景下片区污染物排放情况。其中维持现状情景下有部分因混错接导致的直排污水入河,且污水处理厂维持一级A排放标准。在强力控源截污情景下,对混错接(阳台废水混错接除外)进行大规模改造,同时对污水处理厂进行扩容和提标改造,大幅削减入河污水量,同时将污水处理厂排放标准提升至准Ⅳ类,相关数据见表3。

若阳台洗衣废水不经处理全部排放至地表水体,则洗衣废水中COD污染物负荷约占环境容量的11.08%,氨氮约占1.72%,在现状污染物排放量已经超过环境容量的情况下,将显著加剧水环境恶化的趋势。洗衣废水中的COD对西南片区,尤其是西

民便河水环境将带来较大的冲击,导致水体黑臭、水生态遭到破坏等后果<sup>[19]</sup>,洗衣废水中排入河道的LAS可能对各种鱼类、浮游生物都有不可逆的影响<sup>[20]</sup>。在强力控源截污情景下,洗衣废水中COD、氨氮污染物负荷分别占总排放量的16.53%和2.06%,虽然总体排放没有超负荷,但考虑到控源截污的难度、成本及其他不确定性,阳台洗衣废水仍是重点污染削减源。

表3 西南片区水环境污染负荷统计

Tab.3 Statistics of water environmental pollution load in southwest area t·a<sup>-1</sup>

项目	情景1:维持现状		情景2:强力控源截污后	
	COD	氨氮	COD	氨氮
环境容量	3 889.47	180.43	3 889.47	180.43
直排点源	2 541.51	263.28	852.51	28.22
农业面源	137.58	27.52	137.58	27.52
初期雨水径流	1 768.6	123.8	1 061.15	80.48
内源污染	178.39	15.91	124.87	11.14
洗衣废水	431.00	3.10	431.00	3.10
负荷总计	5 057.08	433.61	2 607.11	150.46
超负荷量	1 167.61	253.18	-1 282.36	-29.97

#### 3.2.3 大规模阳台雨污分流改造对污水厂的冲击

根据《宿迁市中心城市西南片区水环境综合整治项目可行性研究报告(优化文本)》,目前片区内某污水处理厂设计规模为10×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,采用A<sup>2</sup>/O处理工艺,处理后尾水达一级A标准。根据该污水处理厂2018年—2020年逐月运行数据(见图5),平均进水量为6.98×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,平均进水COD浓度为231.47 mg/L,平均进水氨氮浓度为24.52 mg/L。从变化趋势来看,进水量呈现逐年上升的趋势,但是进水COD浓度呈下降趋势,其原因可能是过去几年在混错接改造过程中,雨季有大量雨水进入污水管网,或者由于地下水水位提高导致的外水入侵<sup>[21]</sup>。污水处理厂逐月运行数据显示,COD浓度在雨季有明显的下降趋势,与上述分析有较好的匹配度。

若西南片区启动大规模阳台雨污分流改造,污水厂的A<sup>2</sup>/O工艺可以同步脱氮除磷,深度处理可以降低和稀释LAS浓度,极大减少对水环境的不可逆影响。同时,也要考虑洗衣废水对污水处理厂的负面影响,若洗衣废水全部进入片区污水处理厂处理,则废水总量占污水处理厂处理水量约9.22%,从水量上可能带来一定冲击,但考虑到污水厂自身的波动性,水量冲击的影响相对较小。更需要考虑

的是,大规模的阳台雨污分流改造可能对进厂COD浓度产生较大影响。虽然洗衣废水混合液中COD平均浓度与西南片区某污水处理厂进水浓度接近<sup>[4]</sup>,但是考虑到洗衣废水浓度的季节变化非常大,尤其是在秋冬季节的浓度可能会比较低<sup>[7]</sup>,结合文献中相关参数计算,西南片区秋季洗衣废水的COD浓度可能低至约50~60 mg/L,以2020年9月估算,阳台立管大规模改造可能使污水厂进水COD浓度从现状约188 mg/L降为175 mg/L以下,如果考虑改造后可能发生的雨水进入的情况,进水COD浓度可能会下降到150 mg/L以下甚至更低,影响污水厂正常运行。因此,在启动阳台雨污分流改造时应充分考虑对污水处理厂的冲击,避免与提质增效工作产生较大冲突<sup>[22]</sup>。

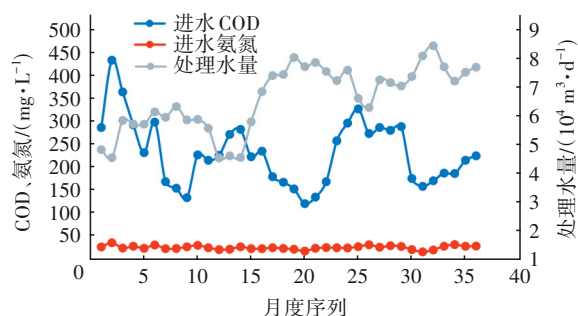


图5 片区污水处理厂逐月运行数据(2018—2020)

Fig.5 Monthly operation data of the sewage treatment plant in southwest area (2018—2020)

### 3.3 西南片区阳台洗衣废水处理模式分析

西南片区阳台洗衣废水若不经处理直接排放会对水环境的影响较大,尤其是COD、总磷、LAS污染对水生态的破坏程度较大。若采用阳台立管雨污分流改造,将洗衣废水完全输送至污水处理厂,则可能会给污水处理厂运行带来一定冲击,尤其是考虑到目前污水处理厂处理水量逐年增加已经趋于饱和,大规模采用阳台立管雨污分流的模式可行性不高,结合国内外经验和片区实际情况,研究提出下列模式:

① 对计划开展老旧改造的小区,可因地制宜逐步开展阳台立管雨污分流改造,从源头实现清污分流,但要从设计、施工到后期运行维护中杜绝次生的混错接,避免雨水进入的可能性,同时考虑到实施难度和对污水处理厂带来的冲击,不建议开展大规模相关改造。

② 宿迁市是全国系统化全域推进海绵城市

建设的示范城市,可统筹海绵城市建设、水环境治理等工作,在小区具备绿地改造的前提下,考虑将阳台雨污混流立管接入小区下凹式绿地、雨水花园等,晴天时实现对洗衣废水的净化和就地利用,雨天时实现对降雨径流的削减,实现生态和社会效益的最大化。

③ 对于绿地条件较差,且地表径流污染较大的区域,考虑在阳台立管末端增设废水截流装置的模式,实现阳台洗衣废水、降雨初期污染同步截流的目的,但是该模式可能会大幅增加进入污水处理厂的水量,对污水处理厂带来较大冲击,需要待片区污水处理能力提升后再实施。

## 4 结论

洗衣废水中含有大量有机物、氨氮等污染物,如不经处理直接进入河道,可能给水环境带来较大影响,如果采用大规模立管雨污分流改造的模式,除了实施难度的问题,还可能给污水处理厂的运行带来一定的负面影响,尤其是可能造成进厂COD浓度的大幅降低,影响污水处理厂的正常运行。

西方国家将洗衣废水纳入灰水范畴,推动采用中心化或者去中心化模式实现资源回用。我国阳台洗衣废水有常见的三种处理模式,即新建雨水管进行雨污分流、管道末端增设废水截流装置、处理后回用,需根据自身利弊及具体条件进行取舍。

宿迁中心城市西南片区阳台洗衣废水的处理可采用多种模式结合。一部分可结合老旧小区改造因地制宜开展阳台立管雨污分流改造;在小区具备绿地改造的前提下,可统筹海绵城市建设,将阳台雨污混流立管接入小区下凹式绿地、雨水花园等;在污水处理能力提升的情况下,部分地表径流污染较大的区域可采用在阳台立管末端增设废水截流装置的模式。

## 参考文献:

- [1] 沈世豪,秦贺贺,樊金红,等. 上海典型城区阳台雨水管排放洗衣废水对水体污染的研究[J]. 四川环境, 2020,39(3):25-31.  
SHEN Shihao, QIN Hehe, FAN Jinhong, et al. Study on the water pollution caused by laundry wastewater discharged from balcony rainwater pipe in typical urban area of Shanghai [J]. Sichuan Environment, 2020, 39 (3):25-31(in Chinese).



- [2] 孟莹莹, 李田, 王溯. 上海市分流制小区雨水管道混接污染源分析[J]. 中国给水排水, 2011, 27(6): 12-15.  
MENG Yingying, LI Tian, WANG Su. Study on sources of illicit discharge to separate stormwater systems in residential districts in Shanghai [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(6): 12-15 (in Chinese).
- [3] 忻少华. 住宅小区雨污分流改造方案研究[J]. 城市道桥与防洪, 2021(6): 161-163.  
XIN Shaohua. Research on separation reconstruction scheme of rainwater and sewage in residence community [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2021(6): 161-163 (in Chinese).
- [4] 张芷伊, 黄金阳, 王涵容, 等. 阳台洗衣废水违规排放的现状调查及对策研究[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(7): 172-175.  
ZHANG Zhiyi, HUANG Jinyang, WANG Hanrong, *et al.* Current status investigation and countermeasure study of illegal discharge of balcony laundry wastewater [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2021, 39(7): 172-175 (in Chinese).
- [5] 马根朝, 蒋岚岚, 刘刚, 等. 典型沿河小区雨污水分流改造的对策与探讨[J]. 中国给水排水, 2018, 34(24): 32-36.  
MA Genchao, JIANG Lanlan, LIU Gang, *et al.* Countermeasures and discussion on diversion and reconstruction of rainwater and wastewater in typical riverside residential areas [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(24): 32-36 (in Chinese).
- [6] 张艳辉, 李张卿, 纪海霞, 等. 提质增效后污水处理厂耐冲击能力分析[J]. 给水排水, 2021, 47(6): 24-28, 35.  
ZHANG Yanhui, LI Zhangqing, JI Haixia, *et al.* Impact resistance analysis of WWTP after quality improvement and efficiency improvement [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(6): 24-28, 35 (in Chinese).
- [7] 王钟. 典型城市居民家庭排水产污系数研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2009.  
WANG Zhong. Investigation on Sewage Coefficient in Wastewater from Urban Family [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2009 (in Chinese).
- [8] 王洁屏, 金丹娟, 童群, 等. 城市居民洗衣废水中污染物排放量的测算[J]. 资源节约与环保, 2021(5): 112-114.  
WANG Jieping, JIN Danjuan, TONG Qun, *et al.* Calculation of pollutant discharge in urban residents' laundry wastewater [J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2021(5): 112-114 (in Chinese).
- [9] 徐奇恩, 李骅, 吴文泽, 等. 洗衣废水对河水水质的影响[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(9): 73-75.  
XU Qi'en, LI Hua, WU Wenze, *et al.* Effects of laundry wastewater on river water quality [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(9): 73-75 (in Chinese).
- [10] KOBAYASHI Y, ASHBOLT N J, DAVIES E G R, *et al.* Life cycle assessment of decentralized greywater treatment systems with reuse at different scales in cold regions [J]. Environment International, 2020, 134: 105215.
- [11] LEIGH N G, LEE H. Sustainable and resilient urban water systems: the role of decentralization and planning [J]. Sustainability, 2019, 11(3): 1-17.
- [12] NEWCOMER E, BOYD C, NYIRENDA L, *et al.* Reducing the burden of rural water supply through greywater reuse: a case study from northern Malawi [J]. Water Science & Technology, 2017, 17(4): 1088-1096.
- [13] KATAM K, MAETANI K, SHIMIZU T, *et al.* Study of aerobic biodegradation of surfactants and fluorescent whitening agents in detergents of a few selected Asian countries (India, Indonesia, Japan, and Thailand) [J]. Journal of Water and Environment Technology, 2018, 16(1): 18-29.
- [14] SISWOYO E, UTARI A W, MUNGKARI L G N. Adsorption combined phytoremediation system for treatment of laundry wastewater [J]. MATEC Web of Conferences, 2019, 280(2): 05002.
- [15] YU Z L T, RAHARDIANTO A, STENSTROM M K, *et al.* Performance and economic evaluation of a semibatch vertical-flow wetland for onsite residential bathroom greywater treatment [J]. Journal American Water Works Association, 2016, 108(7): E392-E404.
- [16] 谢进, 熊鸿斌, 陈曦, 等. 铜陵市主城区雨污分流改造工程实例分析[J]. 能源环境保护, 2020, 34(5): 30-34.  
XIE Jin, XIONG Hongbin, CHEN Xi, *et al.* Case study of the rain and sewage diversion project in the main urban area of Tongling city [J]. Energy Environmental Protection, 2020, 34(5): 30-34 (in Chinese).
- [17] 刘锋易, 郑程峰. 基于低影响下海绵校园改造的探

- 索——以广州中医药大学校区为例[J]. 中国建材科技, 2021, 30(4): 179-182.
- LIU Fengyi, ZHENG Chengfeng. Explore of sponge campus transformations in low impact—taking Guangzhou University of Chinese Medicine as an example [J]. China Building Materials Science & Technology, 2021, 30(4): 179-182 (in Chinese).
- [18] 顾丽, 汪翔, 冯骞, 等. 人工快滤系统处理小区洗衣废水的试验研究[J]. 环境科学与技术, 2006, 29(10): 4-6.
- GU Li, WANG Hui, FENG Qian, *et al.* Treatment of domestic laundry wastewater in a constructed rapid infiltration system [J]. Environmental Science and Technology, 2006, 29(10): 4-6 (in Chinese).
- [19] ASHFORTH G K, CALVIN G. Safety evaluation of substitutes for phosphates in detergents [J]. Water Research, 1973, 7(1/2): 309-320.
- [20] PATIL V V, GOGATE P R, BHAT A P, *et al.* Treatment of laundry wastewater containing residual surfactants using combined approaches based on ozone, catalyst and cavitation [J]. Separation and Purification Technology, 2020, 239: 116594.
- [21] 李招群, 陈平, 徐福音, 等. 截流式排水系统的完善措施及建议[J]. 中国给水排水, 2022, 38(2): 1-7.
- LI Zhaoqun, CHEN Ping, XU Fuyin, *et al.* Suggestions and measures for the intercepted drainage system [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(2): 1-7 (in Chinese).
- [22] 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).
- 
- 作者简介:**田川(1986-), 男, 内蒙古包头人, 工学博士, 高级工程师, 副所长, 主要从事城市水环境治理、海绵城市建设和生态环境保护等领域规划设计与技术研究工作。
- E-mail:** 82295014@qq.com
- 收稿日期:** 2022-04-29
- 修回日期:** 2022-05-06

(编辑: 衣春敏)

**依法划定河湖管理范围**  
**严格水域岸线水生态空间管控**