

上海城镇污水厂尾水利用现状与发展路径分析

洗巍

(上海市排水管理事务中心, 上海市 200001)

摘要: 为破解上海水质型缺水与水资源刚性约束难题,以全市43座城镇污水处理厂为研究对象,系统分析其尾水利用现状并提出发展路径。研究结果显示,上海城镇污水厂已实现100%一级A及以上排放,尾水利用形成“厂内循环、厂外拓展”格局,厂内通过生产补给、景观绿化、水源热泵等实现80.7%的自来水平均替代率;厂外以工业利用为主,辅以生态补水与城市杂用。基于此,构建“技术赋能提标、空间适配布局、场景融合增效”三位一体路径,聚焦工业循环利用、生态补水提质、城市杂用拓展、农业绿色灌溉及能源协同开发等,为上海构建特色污水资源化体系提供支撑,亦为同类沿海城市污水资源化利用提供参考。

关键词: 城镇污水处理厂;尾水利用;现状调研;工程案例

中图分类号: TU992.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)08-0223-04

Analysis on Current Situation and Development Path of Tail Water Reuse in Shanghai Urban Wastewater Treatment Plants

XIAN Wei

(Shanghai Municipal Drainage Administration and Service Center, Shanghai 200001, China)

Abstract: To solve the problems of water quality-based water shortage and rigid constraints on water resources in Shanghai, taking 43 urban wastewater treatment plants (WWTPs) as the research objects, the current situation of their tail water reuse is systematically analyzed, and the development paths are proposed. The research result shows that all urban WWTPs in Shanghai have achieved 100% first-level A or above discharge. The reuse of tail water has formed a pattern of “in-plant circulation and out-plant expansion”. In the plants, an average tap water substitution rate of 80.7% is achieved through the production replenishment, landscape greening and water source heat pumps. Outside the plants, it is mainly used for industrial purposes, supplemented by ecological water replenishment and urban miscellaneous uses. Based on this, a three-in-one path of technology empowerment and standard improvement, spatial adaptation and layout, and scene integration and efficiency enhancement is constructed, and the focus is on the industrial recycling, ecological water replenishment and quality improvement, expansion of urban miscellaneous uses, green irrigation in agriculture, and coordinated development of energy, which provides the support for Shanghai to build a characteristic sewage resource utilization system, and also offers a reference for the resource utilization of sewage in similar coastal cities.

Keywords: urban wastewater treatment plants (WWTPs); tail water reuse; investigation of current situation; engineering case

0 引言

上海地处长江与太湖流域的下游,虽河网密布,却面临水质型缺水与水资源刚性约束的双重挑战^[1-2]。作为非传统水资源^[3],污水处理厂尾水利用既是落实长江大保护战略的重要举措,也是实现“双碳”目标的有效路径。截至2024年底,上海43座城镇污水处理厂已实现100%一级A及以上排放标准,

尾水可直接满足景观环境用水和城市杂用水水质要求,经过进一步处理后则可满足工业用水水质等。据调研,2024年城镇污水处理厂尾水资源化利用量为1.37亿m³。

当前,上海正推进《上海市推进污水资源化利用实施方案》落地,逐步形成“就近利用、按需定供”的利用格局,但沿江沿海污水厂占比70%、内陆管网建设滞后等问题仍制约规模化发展。因此,基于43座污水厂的处理基础与利用实践,系统分析现状特征并提出发展路径,为构建具有上海特色的污水资源化体系提供支撑,也对相关施工提出了更高的要求。

收稿日期: 2025-12-26

作者简介: 洗巍(1976—),女,硕士,高级工程师,从事污水污泥处理处置规划编制、建设推进和运行监督管理等工作。

1 城镇污水处理厂概况

上海43座城镇污水处理厂呈现“中心城区集聚、郊区分散布局”的特征,如图1所示,处理规模与工艺水平均处于全国领先地位,为尾水多元化利用提供了品质保障。



注:1—白龙港污水处理厂;2—竹园第一污水处理厂;3—竹园第二污水处理厂;4—竹园污水处理厂四期工程;5—石洞口污水处理厂;6—吴淞污水处理厂;7—虹桥污水处理厂;8—泰和污水处理厂;9—海滨污水处理厂;10—临港新城污水处理厂;11—安亭水质净化厂;12—大众嘉定污水处理厂;13—嘉定北区污水处理厂;14—南翔污水处理厂;15—枫泾水质净化厂;16—枫亭水质净化厂;17—新江水质净化厂;18—兴塔污水处理厂;19—廊下污水处理厂;20—奉贤东部污水处理厂;21—奉贤西部污水处理厂;22—松江污水处理厂;23—松江东部污水处理厂;24—松江西部污水处理厂;25—松申污水处理厂;26—叶榭污水处理厂;27—泖港污水处理厂;28—新浜污水处理厂;29—青浦污水处理厂;30—青浦第二污水处理厂;31—朱家角污水处理厂;32—徐泾污水处理厂;33—金泽污水处理厂;34—西岑污水处理厂;35—练塘污水处理厂;36—华新污水处理厂;37—白鹤污水处理厂;38—商榻污水处理厂;39—城桥污水处理厂;40—长兴污水处理厂;41—陈家镇污水处理厂;42—堡镇污水处理厂;43—新河污水处理厂。

图1 2024年全市城镇污水处理厂分布示意图^[4]

1.1 规模分布

全市污水处理总规模达1 070.75万 m^3/d ,其中,中心城区8座污水厂处理能力744万 m^3/d ,占比69.5%;郊区35座污水厂处理能力326.75万 m^3/d ,占比30.5%。核心处理单元呈现规模化集群特征,其中,白龙港污水厂以280万 m^3/d 的设计规模居亚洲首位,实际日处理量可达300万 m^3 ,服务人口超900万^[5];竹园片区(含一厂、二厂、四期)总规模340万 m^3/d ,服务面积335 km^2 ,覆盖人口600万^[6];泰和污水厂作为全地下式水厂,一、二期合计规模60万 m^3/d ,有效

解决宝山区污水冒溢问题^[7]。

1.2 出水水质

经过多轮提标改造,上海污水厂出水水质实现跨越式提升:2019年底已全面完成31座厂提标,实现100%一级A及以上标准;2024年主要污染物浓度 COD_{cr} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TP进一步下降,其年均值达到地表水Ⅲ类标准^[4]。部分试点厂通过深度处理实现更高标准:嘉定南翔污水厂出水主要指标达到地表水Ⅳ类,透明度优于区域地表水;徐泾污水厂尾水氨氮 $\leq 1.5\text{ mg/L}$ 、总磷 $\leq 0.3\text{ mg/L}$,满足地表水Ⅳ类标准要求;石洞口污水厂通过“纤维过滤+超滤”工艺,可将尾水提升至《城市污水再生利用工业用水水质》标准。

1.3 处理工艺

主流工艺以生物处理为核心,结合深度处理技术形成差异化配置。中心城区大型污水厂普遍采用“AAO+高效沉淀+过滤+紫外线和次氯酸钠消毒”工艺,如竹园四期的全生物处理系统;郊区新建厂注重工艺灵活性,如青浦西岑水质净化厂预留深度处理模块;地下式水厂同步配套生态处理单元,南翔污水厂通过“预处理+生物处理+深度净化”实现水质与景观协同。

2 城镇污水处理厂尾水厂内利用现状

上海污水厂内尾水利用已形成全流程覆盖、多场景融合的格局,核心通过生产补给、景观营造、绿化灌溉和余热利用等途径实现,以替代自来水、降低运行成本为目标,依托现有处理设施构建循环系统,具有投资成本低、输送距离短、水质可控性强的优势。从调研数据看,厂内尾水利用的污水厂平均自来水替代率达80.7%,其中34座污水厂可达90%及以上。

2.1 生产用水

生产用水是厂内尾水利用的主要方向,涵盖污泥设备冲洗、药剂稀释、除臭系统用水等关键环节,各环节水质要求与处理工艺出水高度匹配。海滨污水处理厂^[8]作为全市首家一级A尾水“零排放、100%资源化利用”示范厂,其构建的内循环系统实现生产用水全替代。厂区内污水处理沉淀池反冲洗、曝气池加药稀释、生物除臭设施喷淋等工序均采用尾水,日均替代自来水1 548 m^3 ,年资源化利用量达56.5万t,自来水替代率达90%以上,年节约成本约120万元。该模式通过精准匹配各工序水质需求,未额外增加

深度处理成本。

2.2 景观用水

景观用水主要服务厂区绿化水系与生态展示,多采用深度处理后尾水,重点关注透明度与感官指标,以地下式污水厂应用最为典型。南翔污水厂^[9]作为上海首个下沉式再生水厂,其地上建设2万m²生态公园,园内湖泊、溪流等景观用水全部采用处理后尾水,尾水经“生物处理+超滤”深度净化后,透明度达1.2m,优于周边地表水,既解决了景观用水补给难题,又打造生态地标。

2.3 绿化用水

绿化用水覆盖厂区绿地浇灌、植被养护等,对水质要求较低,一级A尾水可直接利用,是43座污水厂中应用最广泛的场景。虹桥污水厂厂区内12万m²绿地全部采用尾水浇灌^[10],通过铺设专用管网连接污水处理末端与绿化喷灌系统,配备智能计量装置实现按需供水。该系统日均用水量约300m³,年替代自来水10.95万t,结合雨水收集设施,实现绿化用水“零自来水”消耗。

2.4 水源热泵

水源热泵利用尾水“冬暖夏凉”的热特性,通过热泵机组提取热能,用于厂区供暖、制冷或工艺加热,是水资源-能源协同利用的典型模式^[11-12]。虹桥污水厂^[13]创新采用尾水余热为污泥低温真空干化系统供能,通过高温水源热泵吸收尾水中显热,替代燃气锅炉生产85~90℃热水。2023年上半年,同比减少天然气消耗53万m³,节约费用237万元,污泥干化能源成本降低22%;在设计工况下,系统一年可回收热量51103GJ,减少碳排放745t。此外,根据调研,白龙港污水厂的水源热泵系统服务于其中控室大楼,利用尾水实现制冷供暖双重功能,年节约电量约10万kW·h。

3 城镇污水处理厂尾水厂外利用现状

厂外利用已形成“工业为主、生态为辅、杂用补充”的格局,根据调研数据,2024年工业利用量达1.2亿m³,生态补水利用量达1693万m³,通过厂-厂与厂-河的模式实现规模化供给,依托就近匹配、按需处理的原则,工业用水以冷却用水为主,需经深度处理;生态补水注重水质协同,多采用准Ⅳ类尾水;城市杂用聚焦市政刚需,覆盖道路清扫、公厕冲洗等场景。

3.1 工业用水

工业用水是厂外利用的最大增量,重点服务垃圾焚烧、船舶制造等高耗水行业,通过专用管网实现定向供给,替代自来水或水库水。海滨污水厂^[8]通过“中循环”系统将厂内利用后的剩余全量尾水供给垃圾焚烧厂作为直流冷却水,针对焚烧汽轮机组冷却需求,尾水经简单过滤后直接输送,解决了常规循环冷却方式受航空限高、用地紧张的制约问题,年替代常规水源1.1亿m³,为资源再利用中心节约水费350万元。竹园四期污水厂通过2.3km专用管网,将尾水用于船舶压舱水、设备调试冷却水及厂区绿化,2024年10月底已投产运行,年用水量预计达70万t,该项目突破船舶工业再生水应用瓶颈,为航运领域节水树立标杆,预计年减少造船厂自来水用量15%。石洞口污水厂采用“纤维过滤+超滤”工艺将尾水提标,通过2560m微顶管输水管线供给发电厂冷却循环系统,预计2025年底投运后节省水库用水约550万m³/年,同时采用微顶管技术最大限度降低施工对周边生态的影响,经济效益与生态环境效益显著。

3.2 生态补水

河道生态补水聚焦水动力不足的城市景观河道,通过尾水补给提升水体流动性与透明度。徐泾污水处理厂^[14]尾水执行一级A标准,其中氨氮、总磷指标达地表水Ⅳ类,与青浦片区地表水水质一致,且透明度更优,针对蟠龙塘、蟠龙市河等长约3km的水系非汛期缺水问题,引入徐泾污水厂尾水作为补给水源,通过连庵支河输送至核心水系,项目年补水量从2023年的1200万t提升至2024年的1400万t,显著增强水动力。南翔污水厂日处理10万m³尾水中,除部分厂内回用外,其余尾水全部用于蕰藻浜河道生态补水,通过生态驳岸渗透方式改善河道水质,补水区域COD浓度下降,透明度提升,周边水体生态系统逐步恢复。

3.3 城市杂用

城市杂用涵盖道路清扫、公厕冲洗、市政工程用水等,目前已形成就近取材、分散供给的试点模式。松江西部污水厂自2023年启动尾水市政杂用试点,日均供给再生水规模700m³,覆盖西部经开区5km²范围内的道路冲洗、绿化浇灌、市政管道养护,年节约自来水约25.55万m³,折算成自来水费约150万元。崇明城桥污水厂较早开展市政杂用试点,再生水主要服务厂区周边3个社区及市政区域,2021年利用

量约0.05万m³,重点用于社区周边市政绿化的日常浇灌、乡镇级道路的小型冲洗作业,虽规模较小,但验证了小型污水厂“就近回用、分散供给”的可行性。

4 城镇污水处理厂尾水利用发展路径分析

立足上海滨江临海的平原感潮河网特征与70%污水厂沿江沿海的空间格局,结合43座城镇污水厂100%一级A达标、部分尾水水质指标已达地表水Ⅲ~Ⅳ类的处理基础,围绕工业利用、生态补水、城市杂用、农业灌溉和能源开发五大方向,可构建“技术赋能提标、空间适配布局、场景融合增效”三位一体发展路径。

4.1 工业利用

依托上海石化、宝钢等重化工业基地与污水处理厂的空間耦合性,借鉴石洞口污水处理厂“纤维过滤+超滤”深度处理技术,为上实宝金刚垃圾焚烧厂提供冷却循环水,并建立工业再生水专用管网。在临港新片区等新兴产业集聚区,探索“污水处理-再生水-氢能制备”的能源-水协同利用模式^[15],通过膜处理技术将尾水纯度提升至电子级用水标准,满足半导体等高端制造业需求。

4.2 生态补水

依托上海城镇污水处理厂与苏州河支流、淀山湖周边滨水生态带的空间邻近性,借鉴徐泾污水厂“一级A+人工湿地”深度处理技术为苏州河青浦段补充生态基流,构建污水厂-生态沟渠-河湖的专用生态补水管网,同步配套水质在线监测节点,实时监测DO、TN、TP等指标。

4.3 城市杂用

在中心城区,可依托市政管网建设实现绿化、道路浇洒等节点100%污水厂尾水替代。在交通枢纽,实现尾水在道路冲洗、飞机降尘等场景点对点替代。在“五个新城”规划中,同步建设再生水环状管网线路,串联公园、绿地、河道等公共空间,形成以公共空间为载体的再生水应用尽用的布局。借鉴上海外高桥造船厂再生水利用经验,在港口、物流园区推广污水厂尾水用于车辆清洗和设备冷却等的应用。

4.4 农业灌溉

在松江、青浦等粮食主产区,推广人工湿地等生态型尾水处理技术,将尾水用于水稻、绿叶菜灌溉。同时,建立尾水灌溉安全评估体系,重点监测重金属和抗生素残留,并在郊区试点数字化管理平台,实时监测水质、土壤与作物安全,精准管控重金属及抗生

素风险,打通尾水回用全链条数据链,破解农业回用安全监管难题。

4.5 能源开发

利用污水厂尾水常年稳定的水温条件,推广水源热泵技术,直接提取尾水中低品位热能用于周边建筑供暖、制冷。建立区域化热能供应体系,以集中供热管网输送,向周边企业、园区、公共建筑定向出售热能,明确计量计价与交易结算规则,配套管网运维服务,形成可落地、可持续的市场化盈利模式。

5 结论与展望

本研究针对上海水质型缺水与水资源约束难题,以43座城镇污水厂为对象分析发现,其尾水100%达到一级A及以上排放标准,形成“厂内循环、厂外拓展”格局,厂内实现80.7%的自来水替代率,厂外以工业利用为主。据此,构建了“技术-空间-场景”三位一体路径,可支撑上海污水资源化体系,也为同类沿海平原城市提供参考。为进一步提高污水处理厂尾水资源化利用,基于上海现状与发展路径分析,需从单点示范向系统推进转型,重点聚焦4方面。

(1)强化供需精准对接。建立工业用水需求清单,对工业园区推行“一园一策”,构建企业间中水梯级利用管网,实现尾水从单厂供给到园区循环。

(2)补齐管网设施短板。优先在新城或新片区建设再生水主干管网,规划“污水厂-工业区-市政管网”输送系统,并依托现有污水管网预留尾水输送通道,降低建设成本。

(3)创新水质适配技术。针对不同利用场景研发模块化处理设备,如面向半导体行业的超纯水制备模块、面向景观的除磷脱氮强化装置,可借鉴石洞口污水处理厂“纤维过滤+超滤”工艺,实现按需定质的低成本处理。

(4)强化多维度保障措施。修订管理办法,明确强制要求,建立高耗水项目准入制度,整合资金、设立专项基金,并鼓励市场化融资,将关键技术纳入科技创新计划,结合节点宣传,开放污水厂、设立利用标识,提升公众认知。

参考文献:

- [1] 王策.上海城镇污水处理厂尾水再生利用潜力分析[J].净水技术,2023,42(6):103-111.
- [2] 马艳,周新宇,张鑫,等.上海城市污水再生利用的必要性和面临的主要科学问题[J].净水技术,2015,34(增刊1):70-72;127.
- [3] 洗巍.上海市非传统水资源利用研究[J].给水排水,2009,45(增刊2):14-17.