

某园区多年污水处理系统进出水环境质量分析

陈 晨¹, 王震洪^{2*}

¹清镇市物流新城建设服务中心, 贵州 贵阳

²长安大学水利与环境学院, 陕西 西安

收稿日期: 2025年2月28日; 录用日期: 2025年3月20日; 发布日期: 2025年4月14日

摘 要

污水处理厂的进水量和浓度变化与污水处理效率紧密相关。本文以某园区的污水处理项目为例, 对2019年至2024年的进水量以及进出水浓度进行监测分析, 探讨城镇污水处理厂进水量少、进水浓度低, 造成运行效率不高的问题。研究结果显示, 污水处理厂设计处理污水1.5万吨/日, 但多年平均实际污水量每天才4000吨, 多年日均进水COD、BOD₅、总氮、氨氮、总磷浓度分别为小于161 mg/L、57 mg/L、40 mg/L、34 mg/L、3 mg/L, 远低于设计浓度要求, 除总氮外, 出水COD、BOD₅、氨氮、总磷浓度达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中IV类水水质。污水处理厂运行多年来, 进水量呈下降趋势, 进水中COD、BOD₅、总氮、氨氮、总磷浓度及污泥量均呈现增加趋势。对于进水量少、进水浓度低的问题, 提出要从增加资金筹集、完善管网配套、强化项目排污管理等方面加以考虑, 建议污水处理厂首先进行低污水处理量设计, 然后根据实际污水量实施双轨道模式, 规避进水量过低或过高所带来的影响, 实现污水厂运行的高效率。

关键词

污水处理量, 进出水水质, 排污管网, 管理机制

Analysis of the Water Environment Quality of the Inlet and Outlet of the Sewage Treatment System in a Certain Park over the Years

Chen Chen¹, Zhenhong Wang^{2*}

¹Qingzhen Logistics New City Construction Service Center, Guiyang Guizhou

²School of Water and Environment, Chang'an University, Xi'an Shaanxi

Received: Feb. 28th, 2025; accepted: Mar. 20th, 2025; published: Apr. 14th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 陈晨, 王震洪. 某园区多年污水处理系统进出水环境质量分析[J]. 环境保护前沿, 2025, 15(4): 441-449.
DOI: 10.12677/aep.2025.154051

Abstract

The influent water volume and concentration changes in sewage treatment plants are closely related to the sewage treatment efficiency. Taking the sewage treatment project in a certain industrial park as an example, this article focuses on the monitors and analyzes of the influent water volume and the influent and effluent concentrations from 2019 to 2024, and discusses the problems of low influent water volume, low influent concentrations and low operation efficiency in urban sewage treatment plants. The research results show that the designed sewage treatment capacity of the sewage treatment plant is 15,000 tons per day, but the actual average daily sewage volume over the years is only 4000 tons. The average daily influent concentrations of COD, total nitrogen, ammonia nitrogen and total phosphorus over the years are 140 mg/L, less than 40 mg/L, 30 mg/L and 4 mg/L respectively, which are far lower than the design concentration requirements. Except for total nitrogen, the effluent concentrations of COD, BOD₅, ammonia nitrogen and total phosphorus meet the water quality requirements of Class IV in the "Environmental Quality Standards for Surface Water" (GB3838-2002). Over the years of operation of the sewage treatment plant, the influent water volume has shown a downward trend, while the concentrations of COD, BOD₅, total nitrogen, ammonia nitrogen, total phosphorus in the influent water and the amount of sludge have all shown an upward trend. Regarding the problems of low influent water volume and low influent concentration, it is proposed to consider increasing fund-raising, improving the supporting pipe network and strengthening the pollutant discharge management of the project. It is recommended that the sewage treatment plant first design for a low sewage treatment volume, and then implement a dual-track mode according to the actual sewage volume to avoid the impacts brought by too low or too high influent water volume and achieve high efficiency in the operation of the sewage treatment plant.

Keywords

Sewage Treatment Capacity, Inlet and Outlet Water Quality, Sewage Pipeline Network, Management Mechanism

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

污水处理行业发展时间较短, 尚未能构建起完善的污水处理基础设施, 这和日益增加的城乡污水产生量不相适应。在城镇污水处理厂中, 进水浓度低不仅降低了处理效率, 也增加了处理成本和难度[1]。而收集污水进入污水处理厂管网的错接混接, 更是使得污水的流向变得混乱无序, 导致本该进入污水处理厂的污水可能流失, 或者与其他水流混合而降低了整体的污水浓度。2015年国务院发布的《水污染防治行动计划》以及各地政府随后出台的新城镇污水厂排放标准, 为污水处理厂的提标改造提供了政策遵循。污水处理和水生态治理也从传统的“点源污染”扩展到“面源污染”的多个环节, 这意味着对污水处理的要求更加全面和深入。2019年国家制定的《城镇污水处理提质增效三年行动实施方案》明确了污水处理要实现污水管网全覆盖、全收集、全处理的目标, 进一步强调了完善污水管网系统的重要性[2]。在“十四五”期间, 贵阳市等地区积极行动, 致力于构建全面的生态环境管理系统和现代环境治理体系, 通过加大污染治理力度, 统筹山水林田湖草系统治理, 以提升区域生态系统资源环境承载力和优化自然生态格局。然而, 要真正实现城镇污水处理的高效和可持续, 必须直面污水处理存在的问题。

在国内,对污水处理厂进水开展了较多研究,孙永利[3]等研究了我国城市生活污水集中收集率和污水处理厂进水浓度问题。陈琰[4]对城市污水 MBR 膜生物处理工艺及处理效果进行了分析。李红桔,魏源源等[5][6]利用城市污水处理厂的实际运行数据,分析水质变化情况及水质指标关联度,总结水质水量的季节变化规律。李丹丹[7]以南方典型小城镇污水处理厂的进水为具体的研究对象,对进水水质特征进行了分析。在国外,欧美国家因早期建设管网老化严重,地下水渗入问题普遍。例如,美国环保署(EPA)统计显示,部分城市渗漏率高达 30%。国内外均趋向于多维度综合治理,如管网修复、智能监测与工艺优化结合。国内更强调雨污分流与节水管理,而国外侧重技术创新与法规完善。污水处理厂进水量不足和浓度低的问题普遍存在,而以往的研究多关注处理工艺及季节变化的影响。尽管对污水收集及进水浓度进行了全面深入的研究,但是到目前为止,对一座污水处理厂自建成运营历年来的进出水指标进行分析还未见报道,开展这方面研究,可系统分析多年来污水收集情况以及进出水的影响因素,对指导污水处理厂的建设具有重要意义。本文以某园区污水处理项目为切入点,以历年进出水水量和水质为研究对象,深入探讨城镇污水处理厂进水量小、进水浓度低的主要原因。通过对具体案例的剖析,揭示污水管网错接混接等问题对污水处理工作的影响,并提出针对性的解决对策。期望本研究能为改善城镇污水处理现状、推动环境保护事业的发展提供有益的参考和借鉴,促使城镇污水处理朝着更加科学、高效的方向发展。

2. 材料和方法

2.1. 研究区域概况

该园区规划面积 31.64 平方公里,其中城市建设用地面积 16.71 平方公里,规划常住人口规模为 9 万人,现状常住人口 4.5 万人。建成污水处理厂一座,于 2018 年 4 月投入使用。厂区占地 16.9 亩,设计污水处理能力 1.5 万吨/日,设计服务人口 12 万人,服务范围为该园区分水岭以东的全部区域,面积约为规划总面积的 70%,已建污水主管网 1.8 公里。采用“A2O + MBR”工艺,出水主控指标达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中 IV 类水水质标准(TN 除外, $TN \leq 15 \text{ mg/L}$)。进水设计浓度 $COD \leq 250 \text{ mg/L}$, $BOD_5 \leq 150 \text{ mg/L}$, 氨氮 $\leq 30 \text{ mg/L}$, 总氮 $\leq 40 \text{ mg/L}$, 总磷 $\leq 4 \text{ mg/L}$ 。污水经处理达标后经排污口排入河流。

2.2. 水样监测和分析

分析数据来源于该厂 2019~2024 年在线监测数据,具体包括在线水量、污泥处置量数据以及 COD 、 BOD_5 、TN、氨氮、TP、SS 水质数据。水质指标测定方法:五日生化需氧量(BOD_5):非稀释法和稀释接种法(GB/T7488-1987),化学需氧量(COD):重铬酸盐法(GB11914-89),总氮(TN):碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB11894-89),氨氮(NH_4^+-N):纳氏试剂分光光度法(HJ535-2009),总磷(TP):过硫酸钾消解钼酸铵分光光度法(GB11893-89),悬浮物(SS):重量法(GB11901-89)。

3. 结果与分析

3.1. 多年污水处理量的比较

由图 1 可知,该污水处理厂设计处理量为 1.5 万吨/日,实际污水处理量平均每天约 4000 吨,全年运行负荷不到设计规模的 1/3。2019 年日平均处理水量 3437 吨/日,运行负荷只有 22.9%,日进水量最低时极端值仅 993 吨;2020 年日平均处理水量 4629 吨/日,运行负荷为 29.7%;2021 年日平均处理水量 3686 吨/日,运行负荷为 24.6%;2022 年日平均处理水量约为 3985 吨/日,运行负荷为 26.6%;2023 年日平均处理水量约为 3726 吨/日,运行负荷为 24.8%;2024 年日平均处理水量约为 3362 吨/日,运行负荷为 22.4%。进水量由高到低:2020 > 2022 > 2023 > 2022 > 2019 > 2024。污水处理厂运行负荷达不到设计要求,主要原因是厂外收集管网不完善,特别是污水收集的末梢支管缺乏,导致污水的有效收集率低,部分区域缺

乏监管, 污水散排、直排进入河道[8]。

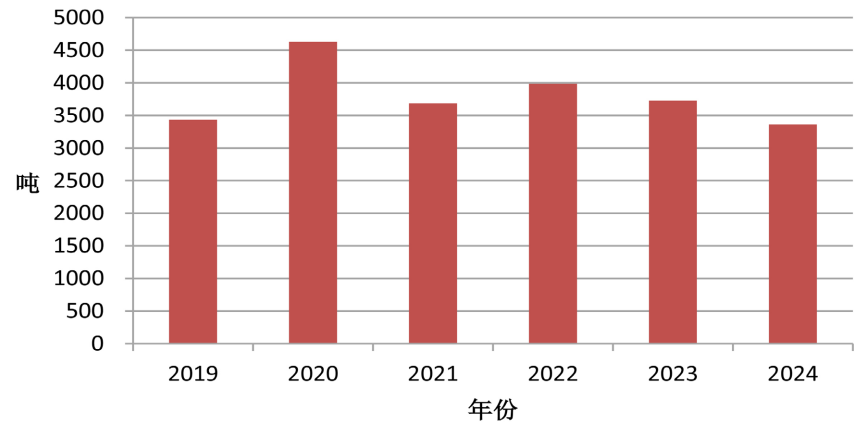


Figure 1. Comparison of sewage treatment capacity over the years
图 1. 多年污水处理量的比较

3.2. 多年进出水化学需氧量(COD)浓度比较

由图 2 可知, 多年进水 COD 浓度呈上升趋势, 2019 年日均进水 COD 浓度只有 103.13 mg/L, 2020 年日均进水 COD 浓度为 77.93 mg/L, 2021 年日均进水 COD 浓度 115.01 mg/L, 2022 年日均进水 COD 浓度 98.67 mg/L, 2023 年日均进水 COD 浓度 130.28 mg/L, 2024 年日均进水 COD 浓度 161.49 mg/L, COD 进水浓度由高到低: 2024 > 2023 > 2021 > 2019 > 2022 > 2020。截止 2024 年, 多年日均进水 COD 浓度为 114 mg/L, 远小于污水处理厂设计的进水浓度 250 mg/L。COD 出水浓度由高到低: 2024 > 2023 > 2019 > 2020 > 2022 > 2021, 出水 COD 均稳定在 11 mg/L。通过调查, 造成上述进水 COD 浓度低的主要原因为: 一是上游村寨未实现雨污分流, 或者管网未及时维护, 雨季雨水直接流入污水管网, 部分污水管道存在雨污混流情况。二是污水管道和处理厂不配套, 管道的设计与实际不符, 甚至有海拔标高倒置的现象, 导致污水流不进污水处理厂, 建成以后的管道混乱, 难于实现污水处理厂收集的设计目标[9]。三是由于降雨的影响, 随着降雨量增大, 污水处理厂进水水质浓度有逐渐降低趋势[10]。

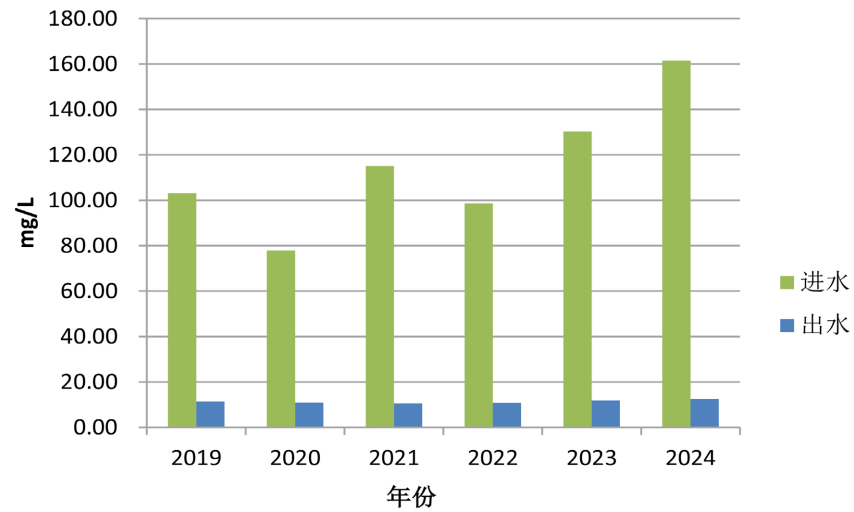


Figure 2. Comparison of chemical oxygen demand (COD) concentrations in inflow and out-flow over the years
图 2. 多年进出水化学需氧量(COD)浓度比较

3.3. 多年进出水五日生化需氧量(BOD₅)浓度比较

由图 3 可知, 多年进水 BOD₅ 浓度呈上升趋势, 2019 年日均进水 BOD₅ 浓度为 40.28 mg/L, 2020 年进水 BOD₅ 浓度为 28.54 mg/L; 2021 年进水 BOD₅ 浓度为 47.17 mg/L; 2022 年进水 BOD₅ 浓度为 41.56 mg/L; 2023 年进水 BOD₅ 浓度为 48.54 mg/L; 2024 年进水 BOD₅ 浓度为 57.02 mg/L。BOD₅ 进水浓度由高到低: 2024 > 2023 > 2021 > 2019 > 2022 > 2020。通常认为 BOD₅ 主要反映水体可生物降解的有机物浓度, 测定表明该园区污水中生物可降解有机物不断增加。对于出水中 BOD₅, 浓度在 1.12 mg/L~2.23 mg/L 之间, 浓度呈线性下降趋势。出水 BOD₅ 浓度由高到低: 2019 > 2020 > 2021 > 2022 > 2023 > 2024。分析显示, BOD₅ 与 COD 进水浓度呈正向的相关性[11]。

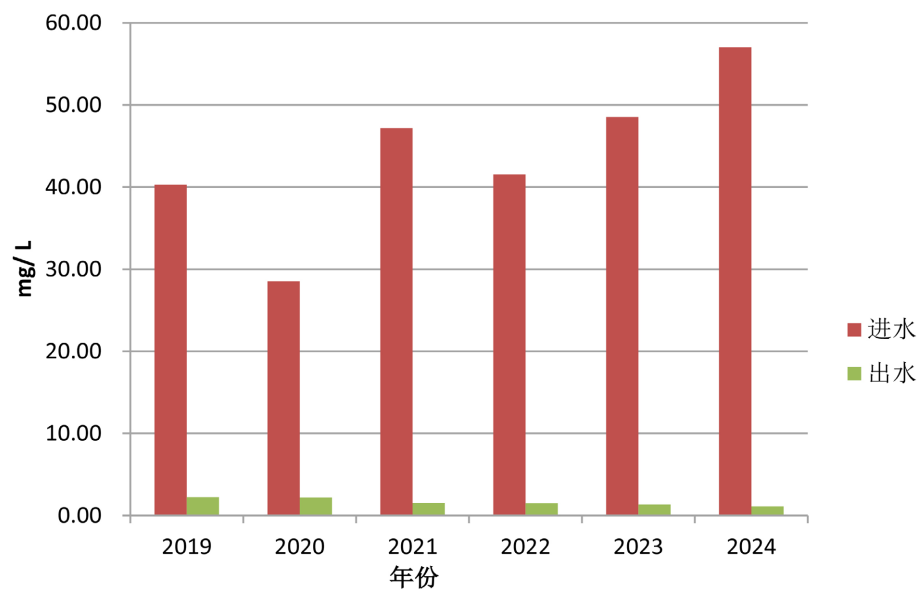


Figure 3. Comparison of five day biochemical oxygen demand (BOD₅) concentrations in Inlet and outlet water over multiple years
图 3. 多年进出水五日生化需氧量(BOD₅)浓度比较

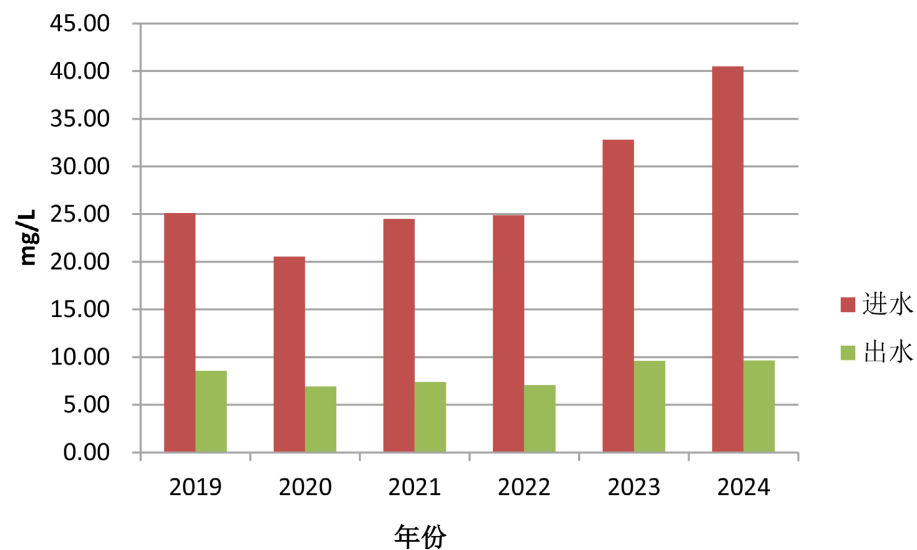


Figure 4. Comparison of total nitrogen (TN) concentration in inflow and outflow over the years
图 4. 多年进出水总氮(TN)浓度比较

3.4. 多年进出水总氮(TN)浓度比较

由图 4 可知, 多年进水总氮浓度呈上升趋势, 最低浓度为 2020 年 20.54 mg/L, 最高浓度为 2024 年 40.49 mg/L, 只有 2024 年度进水中总氮浓度达到设计要求。总氮进水浓度由高到低: 2024 > 2023 > 2019 > 2022 > 2021 > 2020。出水总氮浓度与进水总氮一样, 也呈上升趋势, 最低浓度 2020 年为 6.94 mg/L, 最高浓度为 2024 年 9.67 mg/L。总氮出水浓度由高到低: 2024 > 2023 > 2019 > 2021 > 2022 > 2020。

3.5. 多年进出水氨氮浓度比较

由图 5 可知, 多年进水氨氮浓度呈明显上升趋势, 与总氮浓度变化趋势一致, 最低浓度为 2020 年 15.95 mg/L, 最高浓度为 2024 年 33.58 mg/L, 部分年度没有达到进水氨氮浓度的设计要求。氨氮进水浓度由高到低: 2024 > 2023 > 2019 > 2022 > 2021 > 2020。出水氨氮浓度呈下降趋势, 变化范围在 0.26~0.08 mg/L 之间。氨氮出水浓度由高到低: 2019 > 2020 > 2024 > 2021 > 2023 > 2022。

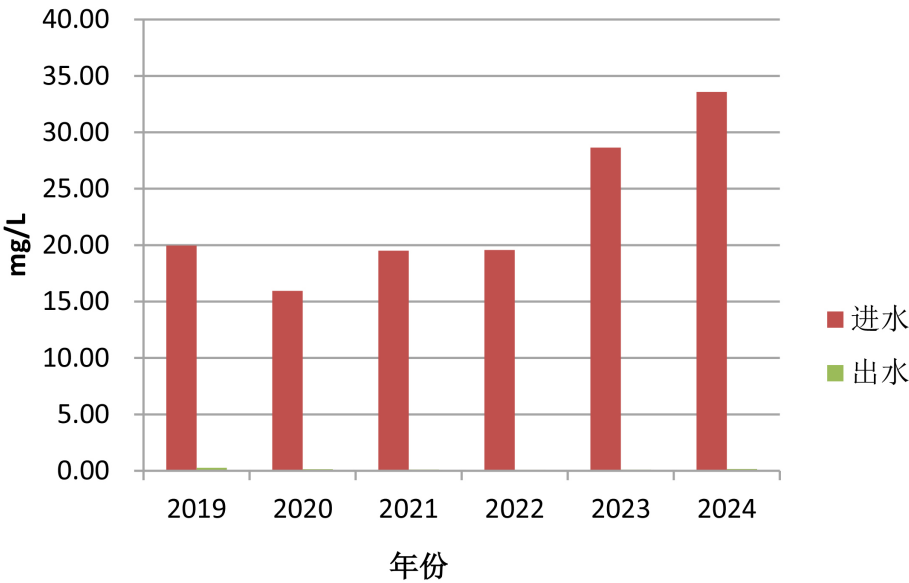


Figure 5. Comparison of ammonia nitrogen concentration in inflow and outflow over the years
图 5. 多年进出水氨氮浓度比较

3.6. 多年进出水总磷(TP)浓度比较

由图 6 可知, 多年进水总磷浓度呈上升趋势, 最低浓度为 2020 年 0.73 mg/L, 最高浓度为 2024 年 2.29 mg/L, 所有年度进水总磷浓度都没有达到设计要求。总磷进水浓度由高到低: 2024 > 2023 > 2022 > 2021 > 2019 > 2020。出水中总磷浓度呈下降趋势, 最低浓度为 2020 年 0.13 mg/L, 最高浓度为 2024 年 0.19 mg/L。总磷出水浓度由高到低: 2019 > 2024 > 2020 > 2022 > 2021 > 2023。

3.7. 多年进出水悬浮物(SS)浓度比较

由图 7 可知, 多年进水悬浮物浓度呈上升趋势, 最低浓度为 2020 年 34.89 mg/L, 最高浓度为 2024 年 74.81 mg/L。进水中悬浮物浓度由高到低: 2024 > 2023 > 2021 > 2022 > 2019 > 2020。出水中悬浮物浓度年度间变化不大, 在 1.71~2.05 mg/L 之间。出水中悬浮物浓度由高到低: 2022 > 2023 > 2021 > 2020 > 2024 > 2019。

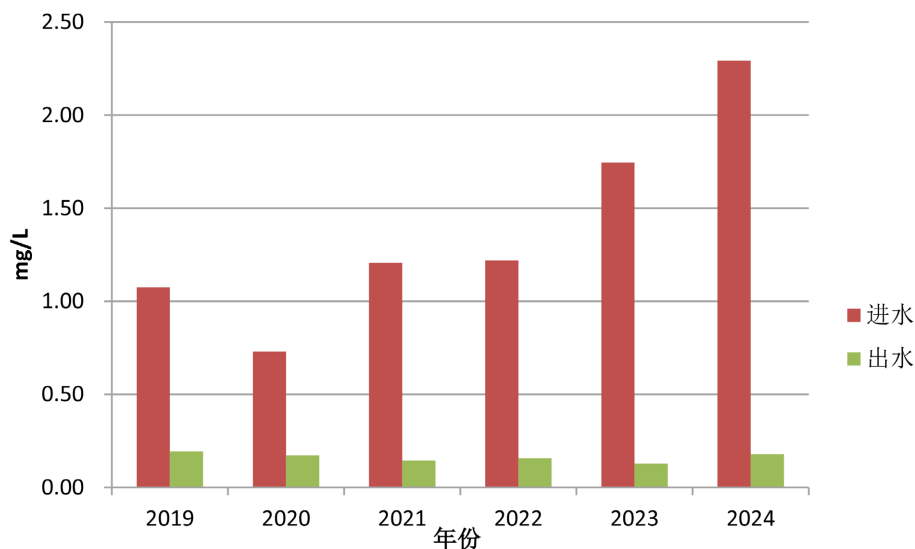


Figure 6. Comparison of total phosphorus (TP) concentration in inflow and outflow over the years
图 6. 多年进出水总磷(TP)浓度比较

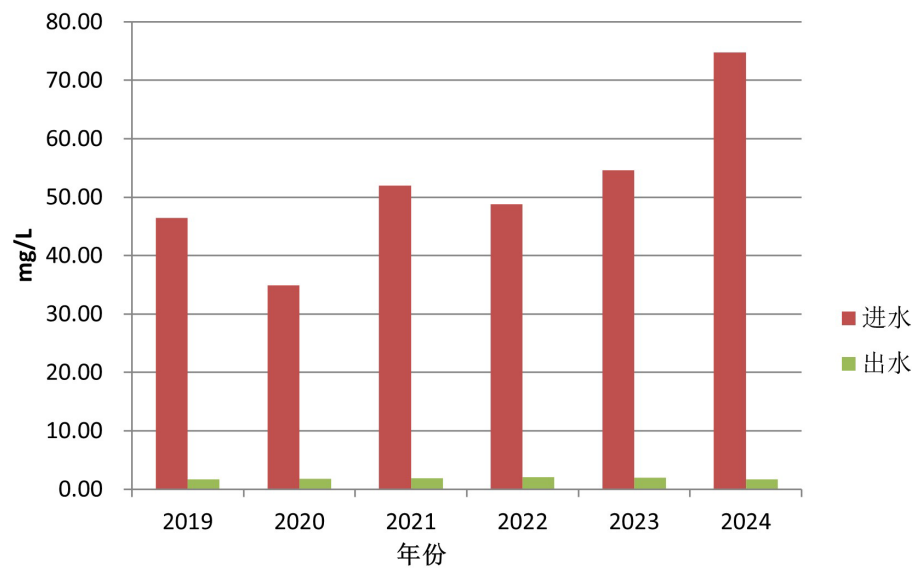


Figure 7. Comparison of suspended solids (SS) concentration in inflow and outflow over the years
图 7. 多年进出水悬浮物(SS)浓度比较

3.8. 多年污泥处置量比较

由图 8 可知, 多年污泥处置量呈显著上升趋势, 2019 年以 301 吨为最低值, 2024 年达 1024 吨峰值 (排序: 2024 > 2023 > 2022 > 2021 > 2020 > 2019)。其成因主要为进水污染物浓度升高是核心驱动因素。进水有机物(如 COD、BOD)或营养物质浓度持续上升, 直接导致生化系统中微生物代谢活动增强, 剩余污泥产生量随合成代谢加剧而增加。尽管 2019~2024 年进水量呈下降趋势, 但进水浓度的显著升高(如污染物负荷率未随水量下降而降低, 甚至因浓缩效应提升), 使得微生物增殖量持续增加, 成为污泥处置量逐年递增的关键原因。其次, 进水量变化也会对污泥处置产生差异化影响。2019~2024 年进水量呈下降趋势, 高进水量导致二沉池水力负荷增大, 污泥沉降时间不足, 部分活性污泥随出水流失(“跑泥”), 生化

池内微生物浓度(MLSS)被动降低[12]。低水量可能伴随进水浓度升高,微生物在高浓度环境下增殖旺盛,进一步推高剩余污泥产量。

4. 结论

监测结果表明,2019 年至今,污水进水量趋于减少,至 2024 年日均进水量减少到最低水平。然而,

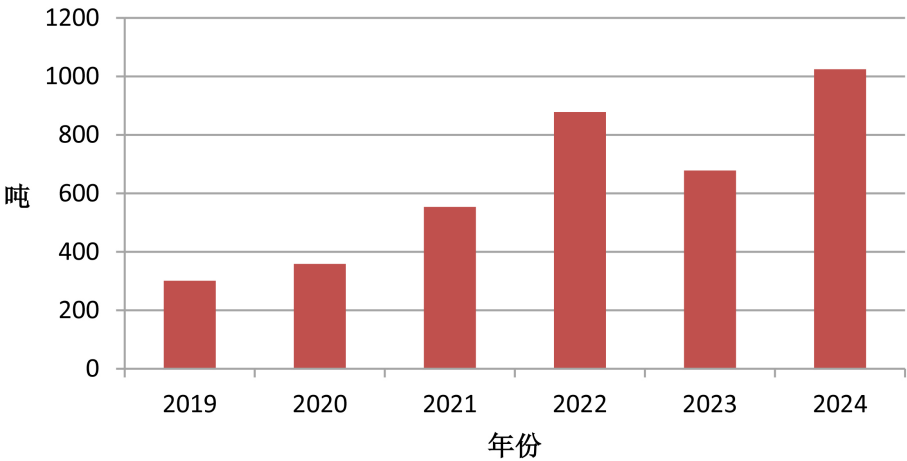


Figure 8. Comparison of sludge disposal volume over the years
图 8. 多年污泥处置量比较

进水中各污染物浓度和污泥量总体呈上升趋势。出水中 COD 浓度和悬浮物年度间变化不大, BOD₅、氨氮和总磷浓度呈下降趋势,总氮显示微小增加。这些结果显示,进水浓度越高,越有利于提高污水处理效率。而污水处理厂运营中常出现进水量小、进水浓度低的问题。初步调查发现,园区污水管网错接混接,乱排偷排,污水滴漏跑冒普遍。要实现园区污水应收尽收,提高污水厂进水水量,需要做好管网建设的资金保障和项目管理。

在资金保障方面,一是要在污水处理厂规划设计阶段,将厂区及管网建设的估算成本均摊到园区待开发土地中,纳入土地一级开发成本,从源头保障污水处理厂建设资金来源,做到园区开发与污水收集和处理同步,保证对污水处理系统及设备更新改造的资金投入[13];二是政府财政和环境保护部门在污水处理的管理上,要建立和完善行政管辖区域污水处理投资和收费制度,制定合理的污水处理收费标准及费用组成,实现经费按时足额支付。

在项目管理方面,一是严格审批排污设计,加强前期规划和过程管理。在开发建设项目规划设计阶段,将项目排污设计作为规划审批的重要组成部分并作为项目开工的前置条件,确保污水能够接入市政管网。二是要合理设计污水处理厂的规模,探索在低处理量的设计基础上留足扩建空间的双轨道模式,避免测算不准确出现进水量过低或过高,导致污水处理厂处理效率不达标的问题。三是在开发建设项目实施阶段,要求排污工程、污水接入口和主体工程同时准备、同时施工、同时试运行,保证污水收集系统建设进度和质量[14]。在竣工验收阶段,须开展开发建设项目的排污设施、排污管网、污水接入口验收,如果没有完成达标的污水处理系统,整个项目不能通过验收,从源头杜绝污水未收集导致直排入河道的情况,如果设计存在缺陷,可通过引入食品生产企业的高浓度有机废水来提高污水进水浓度[15]。四是有必要通过对排水系统和污水收集系统全面排查,掌握现状管网运行情况、雨污分流情况、暗涵排口、污染源分布情况等,从源头入手,查明问题所在,有针对性的制定治理对策,系统解决管道错接乱排现象,做到污水应收尽收,提高污水收集率,提高进水 COD、BOD₅ 浓度,实现排水管网收集效益。

参考文献

- [1] 凌莉, 李亮, 等. 污水厂低浓度进水问题分析[J]. 中国市政工程, 2024(1): 60-64, 154-155.
- [2] 蔡乾凌, 袁园, 章亮, 等. 沿江某城市建成区污水处理系统问题分析及对策研究[J]. 中国给水排水, 2023, 39(18): 9-14.
- [3] 孙永利, 吴凡松. 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.
- [4] 陈琰. 城市污水处理厂进水水质分析及 MBR 膜生物处理工艺研究[J]. 环境工程, 2024, 340(1): 38-41.
- [5] 李红桔, 许洋. 城市污水处理厂进水水质规律分析及应用[J]. 生态环境污染与防治, 2024, 6(1): 133-138.
- [6] 魏源源, 姜莉. 大型合流制污水处理厂旱天进水水质水量特征规律研究[J]. 中国市政工程, 2022(4): 109-111, 116, 130.
- [7] 李丹丹. 城镇污水处理厂进水水质特征分析[J]. 资源节约与环保, 2023(4): 133-136.
- [8] 梁德亮. 城市环境保护中污水治理问题与对策分析[J]. 黑龙江环境通报, 2022, 35(2): 130-134.
- [9] 李洋, 康凯. 市政污水处理中存在的问题及解决对策[J]. 资源节约与环保, 2022(6): 95-98.
- [10] 王凯, 刘广兵. 不同降雨规模对城镇污水处理厂进水水质水量影响分析[J]. 给水排水, 2024, 50(8): 57-63.
- [11] 王湘, 徐菡玲. 南方城市污水处理厂低浓度进水水质特征分析[J]. 中国给水排水, 2024, 40(15): 101-107.
- [12] 卢双, 赖楠. 滨海河网地区城镇污水处理厂污泥产率影响因素研究[J]. 广东化工, 2024, 51(12): 132-135.
- [13] 薛玉芬, 丁志钢. 市政污水处理中存在的问题及解决对策[J]. 环保节能, 2023, 39(6): 114-116.
- [14] 朱家辉. 市政污水管道施工中存在问题及处理对策[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(9): 135-138.
- [15] 张永栋, 陈洋洋. 低进水浓度对污水处理厂运营影响分析及对策[J]. 清洗世界, 2022, 38(1): 85-87.