

# 西南某县城“厂网一体”协同改造工程实例

蒋伟<sup>1,2</sup>, 石圣<sup>2</sup>, 吴军<sup>2</sup>, 邱胜<sup>2</sup>

(1. 四川省公路规划勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610000; 2. 中江县城市建设推进中心, 四川 德阳 618100)

**摘要:** 针对西南某县污水处理厂因雨污合流导致的外水入侵、进水浓度稀释、汛期溢流及出水难以满足流域严控标准等问题, 实施了“管网源头分流+厂区提标扩容”协同改造工程。通过对老城区现有合流管道与暗沟进行雨污分流改造、破损截污干管开挖置换修复, 并将原3.0万 m<sup>3</sup>/d氧化沟工艺升级为“AAO+磁混凝沉淀+反硝化滤池”组合工艺, 处理规模扩至5.0万 m<sup>3</sup>/d, 系统优化污水收集与处理效能。结果表明, 管网源头改造后, 汛期进水BOD<sub>5</sub>由52.3 mg/L升至102 mg/L, C/N比由1.41提高至3.68, 水厂进水生化性能显著改善。工艺改造后, 出水水质由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A提升至《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB51/2311—2016)限值。经济运行方面, 污水单位处理成本下降12%, 药剂消耗显著降低。工程验证了“厂网一体”模式在中小城镇污水系统提质增效中的有效性, 为类似工程提供了技术参考与实践经验。

**关键词:** 厂网一体; 雨污分流; 提标扩容; AAO工艺; 磁混凝; 反硝化滤池

中图分类号: TU992; X703

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)08-0241-06

## “Plant-Network Integration” Collaborative Reconstruction Project: A Case Study of a County in Southwest China

JIANG Wei<sup>1,2</sup>, SHI Sheng<sup>2</sup>, WU Jun<sup>2</sup>, QIU Sheng<sup>2</sup>

(1. Sichuan Highway Planning, Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Chengdu 610000, China; 2. Zhongjiang Urban Construction Promotion Center, Deyang 618100, China)

**Abstract:** In response to the problems such as external water intrusion, influent concentration dilution, flood-period overflow, and effluent hard to meet the stringent standards of drainage basin caused by the combined rainwater and sewage from a county wastewater treatment plant (WWTP) in southwest China, the collaborative reconstruction project of “source separation in pipeline network + upgrading and capacity expansion of WWTP” is implemented. For the existing combined sewage pipelines and blind ditches in the old urban areas, the rainwater and sewage are separated and reconstructed, and the damaged sewage intercepting pipelines are excavated, replaced and repaired, the original 30 000 m<sup>3</sup>/d oxidation ditch process is upgraded to a “AAO + magnetic coagulation sedimentation + denitrifying filter” integrated process, and the treatment scale is expanded to 50 000 m<sup>3</sup>/d, which systematically optimizes the sewage collection and treatment efficiencies. The result shows that after the source reconstruction of pipeline network, the influent BOD<sub>5</sub> during flood period increases from 52.3 mg/L to 102 mg/L, and the C/N ratio rises from 1.41 to 3.68. The influent biochemical performance of WWTP is obviously improved. After the technological reconstruction, the effluent quality is enhanced from the Grade A standard in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918—2002) to the limiting values in *Sichuan Provincial Discharge Standard for Water Pollutants in Minjiang and Tuojiang River Basins* (DB51/2311—2016). In the economic operation, the unit treatment cost of sewage decreases by 12% with notable reductions in chemical consumption. This project demonstrates the effectiveness of the “plant-network integration” mode in improving quality and efficiency of small-sized and medium-sized municipal sewage systems, offering technical reference and practical experience for similar projects.

**Keywords:** plant-network integration; rainwater and sewage separation; upgrade and expansion; AAO process; magnetic coagulation; denitrification filter

收稿日期: 2026-01-15

作者简介: 蒋伟(1986—), 男, 博士, 高级工程师, 从事给排水设计工作。

通信作者: 石圣(1994—), 男, 硕士, 工程师, 从事工程管理工作。电子邮箱: 150686453@qq.com

## 0 引言

随着中国对污水收集处理系统效能要求的提高, 减少外水入侵已成为当前污水管网系统改造的核心任务<sup>[1-2]</sup>。本文项目位于四川省某县, 现污水厂

设计规模为3.0万 m<sup>3</sup>/d,采用氧化沟工艺,主要处理生活污水,长期处于满负荷运行状态。老城区仍存在较大范围雨污合流管道,夏季雨季有大量外水进入管网系统,导致了多重问题:一是污水厂处理效率因进水浓度被稀释而大幅下降<sup>[3]</sup>;二是超出处理能力的混合污水发生溢流,污染物直排入河,导致受纳水体出现“下雨返黑”的水质恶化现象<sup>[4-5]</sup>。此外,该污水处理厂出水口紧邻国家水质考核断面,现行的一级A标准<sup>[6]</sup>已难以满足当前生态环境保护需求。

鉴于此,实施系统性的“分流、扩容、提标”改扩建工程势在必行。

1 工程概况

本次工程主要包括两大部分:

一是排水管网系统改造:(1)推进老城区雨污分流改造,从源头削减外水进入污水管网;(2)修复破损截污干管,减少地下水入渗<sup>[7]</sup>,提升污水收集效能。

二是污水处理厂提标扩容:处理规模由3.0万 m<sup>3</sup>/d提升至5.0万 m<sup>3</sup>/d,出水水质由一级A标准提升至地标<sup>[8]</sup>中城镇污水厂出水限值,具体指标见表1。根据现状水质分析,TP与TN无法达到新标准,为本次改造重点控制指标,需通过工艺改造确保其达到新标准。

表1 污水厂进出水水质情况(汛期数据)

| 水质指标/<br>(mg·L <sup>-1</sup> ) | 一级A标  | 提标后   | 改造前实测<br>进水 | 改造前实测<br>出水 |
|--------------------------------|-------|-------|-------------|-------------|
| BOD <sub>5</sub>               | ≤10.0 | ≤6.0  | 52.3        | 5.06        |
| COD <sub>Cr</sub>              | ≤50.0 | ≤30.0 | 134.0       | 14.80       |
| SS                             | ≤10.0 | ≤10.0 | 142.0       | 5.50        |
| NH <sub>3</sub> -N             | ≤5.0  | ≤1.5  | 31.9        | 0.89        |
| TP                             | ≤0.5  | ≤0.3  | 2.48        | 0.31        |
| TN                             | ≤15.0 | ≤10.0 | 37.2        | 12.80       |

2 排水管网改造

2.1 现状排水管网与汛期水质分析

老城区以雨污合流为主,仅部分新建区域实现雨污分流。现状截污干管为DN1000钢筋混凝土管,沿河道敷设,承担全县主要污水输送任务。由于管道老化严重,存在结构性缺陷与功能性堵塞,漏损率较高,影响系统整体效率。

雨季时大量外水入侵,导致污水厂进水量激增、有机物浓度显著稀释。监测数据显示,该水厂雨季进水BOD<sub>5</sub><100 mg/L属于《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》中需制定“一厂

一策”系统化整治对象<sup>[9]</sup>。此外进水碳氮(BOD<sub>5</sub>/TN)比为1.41属于低碳氮比水质,严重制约后续生物处理系统中同步脱氮除磷的效能<sup>[10-11]</sup>。

2.2 管网改造方案

2.2.1 雨污分流改造

针对不同管网类型采取差异化改造策略,见图1。

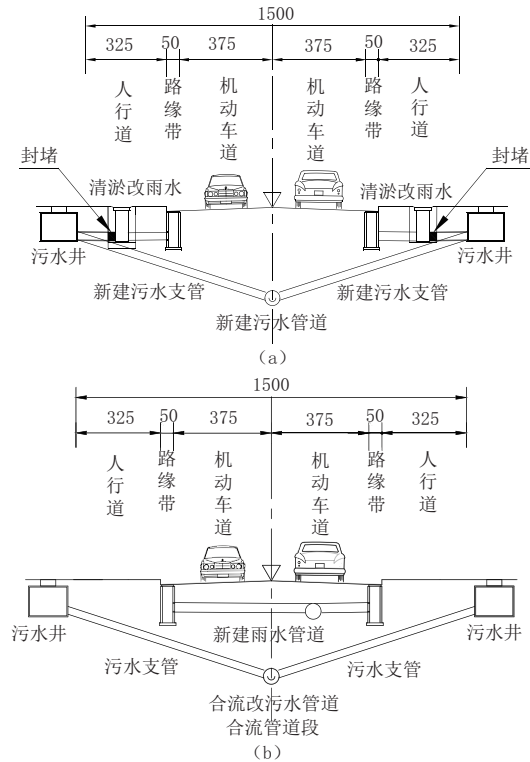


图1 雨污分流改造方案示意图(单位:cm)

合流暗沟路段,将经水力复核满足规范与规划雨水要求的暗沟清淤后改为雨水通道,封堵沿线所有污水接入点。拆除不满足要求的暗沟,原位新建符合标准的雨水管道。另建独立污水管道收集服务范围内污水并接入下游市政污水主干管。

合流管道路段,将经水力复核满足规范与规划污水要求的管道转为专用污水管,封闭其雨水接入点。拆除不满足要求的管道,原位新建符合标准的污水管道。同步新建雨水管道实现雨水独立收集。具备条件区域优先采用就近排河方式;其余则接入下游市政雨水管网。

2.2.2 截污干管修复

考虑到截污干管功能关键且位于河道两侧绿地,具备开挖条件,采用开挖置换法对破损段进行彻底更换。施工前根据规范<sup>[12]</sup>实施临时封堵与导流措施,选用潜水泵根据服务面积推算法确定导流流量,确保施工期排水管网正常运行,上游污水不外溢,保障施工安全。

3 污水厂现状分析与复核

3.1 现状工艺及运行情况

现状污水厂分两期建设,一期采用奥贝尔氧化沟工艺,实际运行规模 1.4 万 m<sup>3</sup>/d,二期采用微孔曝气氧化沟,实际运行规模 1.6 万 m<sup>3</sup>/d。工艺流程为“粗格栅间及提升泵房+细格栅及旋流沉砂池+氧化沟+二沉池+活性砂滤池+紫外线消毒渠”。实际出水水质稳定优于一级 A 标准(见表 1),但无法达到新标要求。

3.2 各处理单元复核结果

现水厂各处理单元复核结果见表 2。

| 表 2 现水厂各处理单元复核结果 |            |                                                                               |
|------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 处理单元             | 是否满足提标扩容需求 | 主要问题说明                                                                        |
| 进水管              | 是          | DN1200 管径满足 5 万 m <sup>3</sup> /d 输水要求                                        |
| 粗格栅与提升泵房         | 否          | 原潜污泵扬程与流量不足,需更换为 Q=568 m <sup>3</sup> /h, H=16 m, N=37 kW, 配置 4 用 2 备         |
| 细格栅              | 是          | 扩容后过栅流速 0.94 m/s, 在合理范围内                                                      |
| 旋流沉砂池            | 否          | 表面负荷达 210 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·h), 超出规范推荐值(150~200)               |
| 生物处理系统           | 否          | 提标后水力停留时间延长,总处理能力下降至 2.5 万 m <sup>3</sup> /d,需新增 2.5 万 m <sup>3</sup> /d 处理单元 |
| 二沉池              | 否          | 表面负荷达 1.6 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·h), 超过规范上限(1.5)                    |
| 污泥处理系统           | 否          | 脱水机与储泥池容量均不足,需新建 5 万 m <sup>3</sup> /d 规模脱水间                                  |
| 鼓风机房             | 否          | 原供气量仅 146 m <sup>3</sup> /min,改扩建后需达 281 m <sup>3</sup> /min,需新建鼓风机房          |
| 紫外线消毒            | 否          | 现有设备仅支持 3 万 m <sup>3</sup> /d,需扩建                                             |
| 加药系统             | 基本满足       | PAC 制备与投加能力基本匹配扩容需求                                                           |

4 污水厂改造

4.1 二级处理工艺比选与改造

尽管运营单位熟悉氧化沟工艺,但 AAO 工艺在脱氮除磷效率、占地节省方面优于氧化沟,更适应征地受限条件,故选定为新建主体工艺。比选结果见表 3。

改造有两种方案:(1)保留原池+新建 AAO 池。原池提标后处理能力下降为 2.5 万 m<sup>3</sup>/d;再新建一座 2.5 万 m<sup>3</sup>/d 的 AAO 工艺生化池;(2)将原池整体改为 AAO 工艺并投加 MBBR 膜填料,构建“活性污泥+生物膜”复合工艺增强污染物去除能力,无需新建生化池。

表 3 二级处理工艺比选

| 项目     | AAO 工艺           | 氧化沟工艺         |
|--------|------------------|---------------|
| 脱氮除磷效果 | 优良,可通过分区控制实现高效去除 | 受回流比影响,脱氮能力有限 |
| 占地面积   | 小                | 大             |
| 抗冲击负荷  | 中等               | 强             |
| 运行管理   | 需精确调控内回流、溶解氧     | 操作简单,自动化程度高   |
| 适用性    | 征地困难条件下更优        | 适合空地充足地区      |

比选结果见表 4。

尽管方案二在节约用地方面具有显著优势,但其后期需定期更换填料增加运行维护成本,且原池改造需停产 50% 以上。相比之下方案一虽在空间利用效率上略低,但无需改变原有构筑物结构,可先新建生化池待其工作稳定后再进行切换,改造过程无需停产。综合水厂运行风险、维护成本与施工安全性等因素,最终采纳方案一。主要设计参数见表 5。

4.2 深度处理工艺选择

现水厂深度处理工艺采用高密度沉淀池+活性砂滤池,在实际运用中活性砂滤池因常常堵塞已停用,并且出水水质无法达到新标要求。

磁介质混凝沉淀技术的实质是一种强化混凝沉淀技术。相比于传统混凝沉淀技术,他其有混凝过程效率高,表面负荷高,节省占地,操作简单等优点。尤其是出色的除磷能力,在生活污水处理工程实例中出水总磷往往能达到小于 0.1 mg/L<sup>[13]</sup>。

反硝化滤池是以石英砂为生物挂膜介质的污水处理构筑物,其主要用深度处理中 TN 的去除<sup>[14-15]</sup>。

如前文所述,本次改造的重要控制指标是 TN、TP 的去除,所以采用“磁混凝沉淀池+反硝化滤池”组合工艺。

磁混凝池设计规模:Q=5.0 万 m<sup>3</sup>/d;设置 2 格超效分离系统,单格处理规模为 25 000 m<sup>3</sup>/d;平均表面负荷:16.4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h,最大表面负荷 19.7 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h);平面尺寸 L×B×H=19.5 m×17.4 m×6.5 m。

反硝化滤池设计规模:Q=5.0 万 m<sup>3</sup>/d,共 1 座,分 5 组;平均滤速:6.0 m/h,平均时强制滤速:7.5 m/h,峰值滤速:8.16 m/h,峰值强制滤速:10.19 m/h 反冲洗过程:(1)气洗 2 min;(2)气水联合冲洗 10~15 min;(3)水洗 5~8 min。反冲洗强度:气洗 91.4 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),水洗 14.7 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。单格反冲洗频率:24~48 h/次。平面尺寸 L×B×H=40.1 m×20.95 m×11.30 m。

其他配套设施改造见表 6。

表4 改造方案比选

| 项目                  |                                        | 方案1:原池不改+新建一座生化池                                                                                                                                   | 方案2:原池改MBBR+无需新建生化池                                                                                                                                   |
|---------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 边界条件                | 进水水质/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) | $\text{BOD}_5=150$ $\text{COD}_{\text{Cr}}=300$ $\text{SS}=200$ $\text{NH}_3\text{-N}=30$ $\text{TP}=6.5$ $\text{TN}=40$                           | 考虑预处理能去除一部分,故进入生化池水质上浮10% $\text{BOD}_5=135$ $\text{COD}_{\text{Cr}}=270$ $\text{SS}=180$ $\text{NH}_3\text{-N}=27$ $\text{TP}=5.85$ $\text{TN}=36$   |
|                     | 出水水质/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) | 准四类: $\text{BOD}_5\leq 6$ $\text{COD}_{\text{Cr}}\leq 30$ $\text{SS}\leq 10$ $\text{NH}_3\text{-N}\leq 1.5$ $\text{TP}\leq 0.3$ $\text{TN}\leq 10$ | 个别指标提高: $\text{BOD}_5\leq 6$ $\text{COD}_{\text{Cr}}\leq 30$ $\text{SS}\leq 13$ $\text{NH}_3\text{-N}\leq 1.5$ $\text{TP}\leq 0.3$ $\text{TN}\leq 13$ |
| 一期氧化沟               | 厌氧区                                    | 停留时间:1.9 h,容积:875 $\text{m}^3$                                                                                                                     | 停留时间:1.1 h,容积:875 $\text{m}^3$                                                                                                                        |
|                     | 缺氧区                                    | 停留时间:4.5 h,容积:2 054 $\text{m}^3$                                                                                                                   | 停留时间:3.6 h,改后容积:2 850 $\text{m}^3$                                                                                                                    |
|                     | 好氧区                                    | 停留时间:9.9 h,容积:4 570 $\text{m}^3$                                                                                                                   | 停留时间:4.8 h,改后容积:3 806 $\text{m}^3$                                                                                                                    |
|                     | 总容积                                    | 16.3 h,7 499 $\text{m}^3$                                                                                                                          | 9.5 h,7 499 $\text{m}^3$                                                                                                                              |
|                     | 水头损失/m                                 | 0.2                                                                                                                                                | 0.3                                                                                                                                                   |
|                     | 处理规模                                   | 经复核提标后处理规模1.1万 $\text{m}^3/\text{d}$                                                                                                               | 经复核提标后极限处理规模1.9万 $\text{m}^3/\text{d}$                                                                                                                |
| 二期氧化沟               | 厌氧区                                    | 停留时间:1.95 h,容积:1 240 $\text{m}^3$                                                                                                                  | 停留时间:1 h,原容积:1 240 $\text{m}^3$                                                                                                                       |
|                     | 缺氧区                                    | 停留时间:4.15 h,容积:2 660 $\text{m}^3$                                                                                                                  | 停留时间:3.2 h,改后容积:4 110 $\text{m}^3$                                                                                                                    |
|                     | 好氧区                                    | 停留时间:10.5 h,容积:6 760 $\text{m}^3$                                                                                                                  | 停留时间:4.1 h,改后容积:5 310 $\text{m}^3$                                                                                                                    |
|                     | 总容积                                    | 16.6 h,10 660 $\text{m}^3$                                                                                                                         | 8.3 h,10 660 $\text{m}^3$                                                                                                                             |
|                     | 水头损失/m                                 | 0.2                                                                                                                                                | 0.3                                                                                                                                                   |
|                     | 处理规模                                   | 经复核提标后处理规模1.4万 $\text{m}^3/\text{d}$                                                                                                               | 经复核提标后极限处理规模3.1万 $\text{m}^3/\text{d}$                                                                                                                |
| 总处理规模               |                                        | 保守处理规模2.5万 $\text{m}^3/\text{d}$                                                                                                                   | 若提标后处理规模5万 $\text{m}^3/\text{d}$                                                                                                                      |
| 新建工程                |                                        | 2.5万 $\text{m}^3/\text{d}$ 规模生化池                                                                                                                   | 一期有效生物膜面积:492 290 $\text{m}^2$<br>二期有效生物膜面积:835 920 $\text{m}^2$                                                                                      |
| 征地面积/ $\text{hm}^2$ |                                        | 约1.6                                                                                                                                               | 约0.967                                                                                                                                                |
| 工程费用                |                                        | 新建生化池费用1 600万元,征地费用960万元,土建费用500万元,MBBR改造费用1 300万,征地费用580万元,共计2 560万元                                                                              |                                                                                                                                                       |

表5 AAO生化池设计参数表

| 设计项目                                          | 参数值                                                       |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 污泥负荷 $F_w/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d}^{-1})$  | 0.11 $\text{kgBOD}_5$                                     |
| 污泥浓度/ $(\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$          | $\text{MLSS}=3.5$                                         |
| 污泥龄 $\theta/\text{d}$                         | 14.5                                                      |
| 污泥回流比/%                                       | $R=100$                                                   |
| 混合液回流比/%                                      | $R_1=300$                                                 |
| 总水力停留时间/h                                     | $\text{HRT}=16.5$                                         |
| 预脱硝区/h                                        | 0.5                                                       |
| 厌氧区/h                                         | 1.4                                                       |
| 缺氧区/h                                         | 6.0                                                       |
| 好氧区/h                                         | 8.6                                                       |
| 生化池总容积/ $\text{m}^3$                          | 20 440                                                    |
| 预脱硝区/ $\text{m}^3$                            | 625                                                       |
| 厌氧区/ $\text{m}^3$                             | 1 750                                                     |
| 缺氧区/ $\text{m}^3$                             | 7 500                                                     |
| 好氧区/ $\text{m}^3$                             | 10 565                                                    |
| 生化池平面尺寸/m                                     | $L\times B\times H=66.8\times 52.6\times 7.55$<br>有效水深6.6 |
| 剩余污泥量(含水)/%                                   | 471.8 $\text{m}^3/\text{d}$ ,含水率99.2                      |
| 干固体量/d                                        | 3 774 $\text{kgSS}$                                       |
| 标准状态下风机总供风量/ $(\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1})$ | 8 423                                                     |
| 污水需氧量/d                                       | 5 913.09 $\text{kgO}_2$                                   |
| 气水比                                           | 8:1                                                       |

4.3 改造难点与流程图

改造的核心难点在于不停产条件下新旧工艺无

缝衔接。为此,工程采用“边运行、边建设、边调试”的三阶段实施方案(流程见图2)。

第1阶段(14个月),土建新建。新建旋流沉砂池、AAO池、二沉池等土建结构,原厂照常运行。

第2阶段(3个月),生物系统培育与设备安装。引入原厂污泥接种AAO池,内循环调试,同步安装设备。

第3阶段(1个月),系统切换与深度处理投运期。外购反硝化菌种启动深度处理单元,更换提升泵实现进水分流,最终将原二沉池出水接入新建中间泵房,完成全系统切换。

5 改造效果

本工程于2023年4月开始改造,2024年11月竣工验收。改造完成后,各出水指标均稳定达到设计要求。月均生活污水处理量由93.16万  $\text{m}^3$ 增至103.042万  $\text{m}^3$ ,增幅达10.6%。有效完成提标扩容需求。

为系统评估协同改造效果,选取非汛期(2024年3月、2025年3月)和汛期(2024年9月和2025年9月)的运行数据(见表7)进行对比分析。

改造前污水厂汛期进水浓度明显下降。以2024年



表 6 其他配套设施设计参数表

| 设计项目  | 设计参数                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 细格栅   | 数量:2格;类型:回转式除污格栅;格栅间隙 $e=5\text{ mm}$ ;栅前水深 $=1\ 100\text{ mm}$ ,栅后水深 $=900\text{ mm}$ ;安装角度 $\alpha=60^\circ$ ;功率 $N=1.1\text{ kW}$ ;平面尺寸: $L\times B\times H=10.7\text{ m}\times 4.0\text{ m}\times 1.6\text{ m}$                                                            |
| 曝气沉砂池 | 停留时间 $t=5.5\text{ min}$ ;总容积 $V=Q\cdot t=135.59\text{ m}^3$ ;分2格,有效水深 $=2.0\text{ m}$ ;单格宽 $B=2.57\text{ m}$ ,边长 $\approx 3\text{ m}$ ;计算池长 $=11.2\text{ m}$ ;空气量 $=3.9\text{ m}^3/\text{min}$ ;平面尺寸: $L\times B\times H=13.2\text{ m}\times 8.85\text{ m}\times 3.6\text{ m}$ |
| 二沉池   | 数量:2座(周进周出圆形沉淀池);单座内径 $D=28.0\text{ m}$ ;池内水深 $=4.2\text{ m}$ ,超高 $=0.70\text{ m}$ ;表面负荷(最大流量) $=1.2\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ;总水力停留时间 $=3.5\text{ h}$                                                                                                            |
| 消毒系统  | 消毒方式:紫外线消毒(保留);设计规模: $50\ 000\text{ m}^3/\text{d}$ (扩建);消毒渠尺寸: $L\times B\times H=10.4\text{ m}\times 2.7\text{ m}\times 1.95\text{ m}$                                                                                                                                        |
| 污泥处理  | 污泥量: $9.5\text{ tDS/d}$ (吨干固体/d);脱水前含固率: $0.8\%$ (即 $0.008$ );脱水后含固率不大于 $80\%$ ;脱水机:3台(2用1备);单台运行时间: $12\text{ h/d}$                                                                                                                                                           |
| 除臭系统  | 覆盖区域:粗格栅、提升泵房、污泥脱水间等;处理工艺:“二级复合生物滤池”;除臭风量 $Q=60\ 000\text{ m}^3/\text{h}$                                                                                                                                                                                                      |

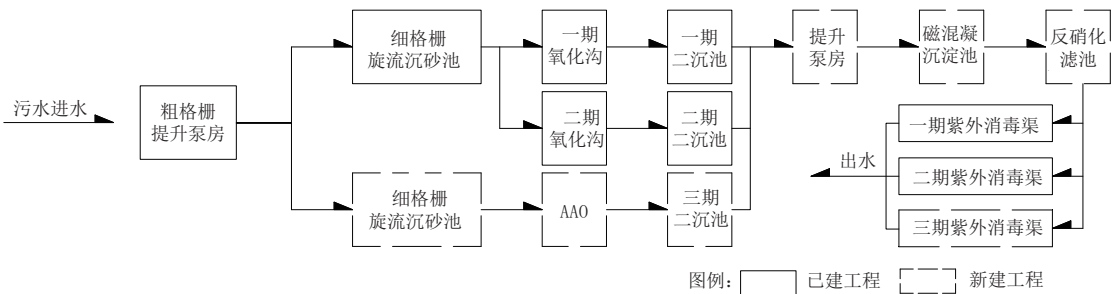


图 2 污水厂改造流程图

表 7 污水厂运行数据表

| 项目                    | 2024-03 | 2024-09 | 2025-03 | 2025-09 |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|
| BOD <sub>5</sub> 进水   | 127.0   | 52.3    | 92.6    | 102.0   |
| BOD <sub>5</sub> 出水   | 5.52    | 5.06    | 4.71    | 4.87    |
| COD <sub>Cr</sub> 进水  | 290     | 134     | 187     | 182     |
| COD <sub>Cr</sub> 出水  | 19.5    | 14.8    | 12.8    | 11.3    |
| SS 进水                 | 291     | 142     | 188     | 190     |
| SS 出水                 | 5.3     | 5.5     | 5.6     | 5.4     |
| NH <sub>3</sub> -N 进水 | 47.3    | 31.9    | 27.2    | 22.6    |
| NH <sub>3</sub> -N 出水 | 1.48    | 0.89    | 0.32    | 0.15    |
| TP 进水                 | 3.59    | 2.48    | 2.04    | 1.77    |
| TP 出水                 | 0.2     | 0.31    | 0.1     | 0.26    |
| TN 进水                 | 51.5    | 37.2    | 32.6    | 27.7    |
| TN 出水                 | 11.9    | 12.8    | 9.3     | 9.5     |
| 耗电量/(kW·h)            | 288 600 | 270 440 | 306 446 | 318 464 |
| 污泥产量/t                | 373.79  | 287.75  | 536.84  | 581.55  |
| PAC 用量/t              | 71.01   | 101.61  | 5.3     | 7.1     |
| PAM 用量/t              | 0.701   | 0.598   | 1       | 1.124   |
| 碳源用量/t                | 49.05   | 99.34   | 31.57   | 27.25   |

注:水质指标单位为 mg/L。

9 月为例,相较于同年 3 月,进水 BOD<sub>5</sub>、COD、SS、NH<sub>3</sub>-N、TP 和 TN 分别降至非汛期水平的 41.2%、46.2%、48.8%、67.4%、69.1% 和 72.2%。C/N 比由 2.46 骤降至 1.4。改造竣工后,上述问题得到显著缓解。2025 年 9 月数据显示 BOD<sub>5</sub>、COD 和 SS 的浓度较 2024 年 9 月分别提升至 195%、136%、134%,基本达到 2025 年 3 月水平。C/N 比同步提升至 3.68,BOD<sub>5</sub> 由 52.3 mg/L

提升至 102 mg/L,大于 100 mg/L。以上变化表明,本次改造有效改善了雨季外水入侵对水厂进水的影

响。

水厂药耗与能耗数据进一步验证了改造效果。改造后,外加碳源用量降至改造前的 27%,聚合氯化铝(PAC)投加量更是降至 7%,降幅显著。这主要归因于进水 C/N 比改善,生化池处理效率提升,磁混凝工艺本身 PAC 需药量较低<sup>[4]</sup>。同时,单位处理水量电耗由 0.309 8 kWh/m<sup>3</sup> 降至 0.296 3 kWh/m<sup>3</sup>,降幅达 4.36%,反映出曝气系统效率提升及反应池容积利用率优化,单位水量能耗有效降低。

表 8 汇总了 2024 年与 2025 年 1—9 月的平均污水处理成本。数据显示,改造完成后,单位处理成本较改造前下降 12%,其中药剂费下降明显、动力费及维修费略微下降。

| 表 8 运行成本比较表 |        | 单位:元/m <sup>3</sup> |
|-------------|--------|---------------------|
| 项目          | 2024 年 | 2025 年              |
| 人工费         | 0.19   | 0.19                |
| 药剂费         | 0.13   | 0.03                |
| 动力费         | 0.18   | 0.17                |
| 修理费         | 0.19   | 0.18                |
| 检验检测费       | 0.003  | 0.003               |
| 在线监测费       | 0.019  | 0.019               |
| 其他制造费       | 0.2    | 0.20                |
| 税金及附加       | 0.02   | 0.02                |
| 管理费用        | 0.08   | 0.08                |
| 合计          | 1.012  | 0.892               |

结合表7数据,成本降低可归因于以下3方面:(1)进水C/N改善导致生化处理效率提升与磁混凝工艺需药量较低;(2)容积效率提升降低能耗;(3)系统稳定性增强减少维修支出。

## 6 结 语

本工程通过“管网源头分流+厂区提标扩容”协同改造,成功解决了中小城镇污水系统因外水入侵导致的效能低下与溢流风险问题。关键技术选择——AAO替代氧化沟、“磁混凝+反硝化滤池”深度处理——兼顾了高标准排放、用地紧张与运行经济性。实践表明,“厂网协同”改造模式不仅能显著提升出水水质与系统韧性,还可实现运行成本下降,兼具环境效益、经济效益与推广价值,为类似地区提供了可复制的技术路径。

### 参考文献:

- [1] 曹业始, ABEGGLEN Christian, 刘智晓, 等. 改造当前国内污水管网需要综合考虑的四个因素[J]. 给水排水, 2021, 47(8): 125-137.
- [2] 曹业始, 吴军, 刘智晓, 等. 改造国内污水管网系统需要综合考虑的四个因素: 定量分析[J]. 给水排水, 2022, 48(10): 45-55.
- [3] 崔佳鑫, 邵军荣, 孙凌凯, 等. 南昌市某片区污水管网系统问题诊断及整治思路[J]. 中国给水排水, 2025, 41(2): 14-21.
- [4] 刘智晓, 刘龙志, 王浩正, 等. 流域治理视角下合流制雨季超量混合污水治理策略[J]. 中国给水排水, 2020, 36(8): 20-29.
- [5] 徐祖信, 徐晋, 金伟, 等. 我国城市黑臭水体治理面临的挑战与机遇[J]. 给水排水, 2019, 45(3): 1-5.
- [6] GB 18918—2002 城镇污水处理厂污染物排放标准[S].
- [7] 张宏扬. 城镇污水管网修复技术综述: 从传统开挖到智能修复的发展路径[J]. 工程建设, 2025, 39(4): 964-966.
- [8] DB51/2311—2016 四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准[S].
- [9] 张伟, 潘芳, 张海行, 等. 污水处理提质增效“一厂一策”方案的编制思考[J]. 中国给水排水, 2023, 39(2): 32-37.
- [10] 郝如杰, 郑纪永, 韩士伟, 等. 低C/N农村生活污水处理试验研究[J]. 环境科学导刊, 2023, 42(2): 50-54.
- [11] 曹业始, 郑兴灿, 刘智晓, 等. 中国城市污水处理的瓶颈、缘由及可能的解决方案[J]. 北京工业大学学报, 2021, 47(11): 1292-1302.
- [12] CJJ/T 68—2016 城镇排水管道与泵站维护技术规程[S].
- [13] 吴震, 陈飞勇, 刘汝鹏, 等. 磁介质混凝沉淀技术的现状及探索[J]. 净水技术, 2023, 42(2): 23-38.
- [14] 叶昌明, 伍波. 上向流反硝化滤池在高排放标准污水厂的应用研究[J]. 中国给水排水, 2024, 40(20): 7-15.
- [15] 谢成浩, 钱璨, 谭映宇, 等. AO-MBBR-磁混凝沉淀-反硝化滤池工艺在污水处理厂提标扩容中的应用[J]. 给水排水, 2024, 60(增刊1): 29-32.
- [5] Bai B, Liu Q Y, Li H, et al. Sorption of iodine on biochar derived from the processing of urban sludge and garden waste at different pyrolysis temperatures[J]. Molecules, 2024, 29(13): 3007.
- [6] 于涛, 俞存天, 张婷, 等. 园林垃圾对市政污泥热解过程减量及含碳物质变化的影响[J]. 环境工程技术学报, 2025, 15(1): 289-296.
- [7] 陈晴空, 王欢, 范剑平, 等. 农林废弃物共热解对污泥生物炭Cu(II)吸附性能的影响[J]. 应用化工, 2024, 53(4): 774-780.
- [8] Lee H S, Shin H S. Competitive adsorption of heavy metals onto modified biochars: Comparison of biochar properties and modification methods[J]. Journal of Environmental Management, 2021, 299: 113651.
- [9] 杜凤龄, 王刚, 徐敏, 等. 新型高分子螯合-絮凝剂制备条件的响应面法优化[J]. 中国环境科学, 2015, 35(4): 1116-1122.
- [10] 邓华, 张俊渝, 梁祖鸿, 等. 响应面法优化铁锰改性生物炭对Cd<sup>2+</sup>的吸附[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(25): 11268-11275.
- [11] 文泽鹏, 谭永亮, 李林锋, 等. 改性牡蛎壳粉对磷的吸附动力学与热力学过程研究[J]. 海峡科学, 2022(9): 50-53.
- [12] 张健. 共热解秸秆生物炭制备及其对水/土中双酚A吸附研究[D]. 安徽: 安徽理工大学, 2025.
- [13] Ounis M, Sanz-Santos E, García J, et al. Optimisation of adsorption removal of bisphenol A using sludge-based activated carbons: application of response surface methodology with a box-behnken design[J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2024, 49: 497-514.
- [14] 陈彦汝, 胡捷, 李海宁, 等. 生物炭负载nZVI对水产养殖废水中TC的去除研究[J]. 环境科学与技术, 2024, 48(10): 81-91.
- [15] 马腾, 尹丽洁, 王萌, 等. 污泥绿化垃圾共热解对热解炭性能的影响[J]. 能源与环保, 2023, 45(8): 170-176.

(上接第216页)