

城镇水系统研究与应用

黄瑾, 刘洪波, 李娜, 等. 城市更新背景下大口径长距离排水管道改造工程实践[J]. 净水技术, 2026, 45(7): 138-146.

Huang J, Liu H B, Li N, et al. Engineering practice of reconstruction project of large-diameter and long-distance drainage pipelines under the background of urban renewal[J]. Water Purification Technology, 2026, 45(7): 138-146.

城市更新背景下大口径长距离排水管道改造工程实践

黄瑾¹, 刘洪波^{2,*}, 李娜¹, 黄加生³, 蔡华³, 李润山²

(1. 上海市城市建设设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200125; 2. 上海理工大学环境与建筑学院, 上海 200093; 3. 浙江鸿翔建设集团股份有限公司, 浙江嘉兴 314400)

摘要 【目的】随着城镇化进程的发展, 部分排水主干管的功能发生了转变, 针对浙江省某市大口径长距离排水管道, 通过非开挖修复, 实现在介质性质和水力流态双重转型下的功能升级与安全运行维护。【方法】本文针对具体工程, 在大口径排水管道功能转换过程中出现结构劣化与流态改变双重挑战时, 提出一套集管道修复与泵站优化于一体的综合改造方案, 实现大口径长距离排水管道的修复更新。【结果】修复前, 原管道以重力流压力流混合的形式输送生活污水, 改造后需转型为纯压力流输送工业污水处理厂尾水, 且承压需求提升至 0.2 MPa 以上。经技术比选, 管道修复采用具有优越物理性能和抗腐蚀性的玻璃钢夹砂管内衬修复技术, 可延长管道设计使用寿命 50 a 以上, 并满足输送工业尾水时的腐蚀性环境。修复段总长 10.57 km, 通过结构性穿插修复恢复管道完整性, 内衬后通径缩小 1~2 级, 仍保障输送能力。同时, 因沿程泵站提供的流量扬程发生了变化, 对 6 座泵站的全部水泵更新换代并对运行参数重新配置调整。采用变频控制与多规格泵组合, 使运行扬程与流量实现精准匹配; 并通过水力建模校核, 绘制近远期水力坡降线, 验证系统在全生命周期内的输水能力。【结论】该方案成功实现了大口径长距离排水管道修复更新, 恢复了主干管输水能力, 满足了工业污水处理厂尾水输送要求, 为相关工程提供了设计经验。

关键词 非开挖修复; 重力压力流转变; 工业污水厂尾水; 玻璃钢夹砂管; 水泵变频调控

中图分类号: TU992 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-0177(2026)07-0138-09

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.07.016

Engineering Practice of Reconstruction Project of Large-Diameter and Long-Distance Drainage Pipelines under the Background of Urban Renewal

Huang Jin¹, Liu Hongbo^{2,*}, Li Na¹, Huang Jiasheng³, Cai Hua³, Li Runshan²

(1. Shanghai Urban Construction Design and Research Institute <Group> Co., Ltd., Shanghai 200125, China;

2. School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

3. Zhejiang Hongxiang Construction Group Co., Ltd., Jiaxing 314400, China)

Abstract [Objective] With the development of urbanization, the functions of some main drainage pipes have changed. For a large-diameter long-distance drainage pipe in a city of Zhejiang Province, trenchless rehabilitation is carried out to achieve functional upgrading and safe operation and maintenance under the dual transformation of medium properties and hydraulic flow patterns.

[Methods] This paper proposed an integrated reconstruction plan that combined pipe repair and pump station optimization for a specific project. When faced with the dual challenges of structural deterioration and flow pattern changes during the functional

[收稿日期] 2025-06-20

[基金项目] 2022 年度上海市水务局(上海市海洋局)科研项目(沪水科 2022-25); 2021 年度上海市住房和城乡建设管理委员会科研项目(沪建科 2021-002-053)

[作者简介] 黄瑾(1972—), 女, 正高级工程师, 主要从事水环境治理和固废处理及资源利用等工作, E-mail: huangjin@sucdri.com。

[通信作者] 刘洪波(1979—), 男, 教授, 研究方向为水污染控制理论与技术, E-mail: Liuhb@usst.edu.cn。

conversion of large-diameter drainage pipes, it aimed to achieve the repair and renewal of large-diameter long-distance drainage pipes. [**Results**] Before the repair, the original pipe transported domestic sewage in a mixed form of gravity flow and pressure flow. After the reconstruction, it needed to be transformed into pure pressure flow to transport the tail water from an industrial wastewater treatment plant (WWTP), and the pressure requirement was increased to above 0.2 MPa. After technical comparison and selection, the glass fiber reinforced plastic mortar pipe lining repair technology with superior physical properties and corrosion resistance was adopted for the pipe repair, which could extend the design service life of the pipe by more than 50 years and met the corrosive environment when transporting industrial tail water. The total length of the repaired section was 10.57 km. The integrity of the pipe was restored through structural insertion repair, and the inner diameter was reduced by 1–2 grades after lining, but the transportation capacity was still guaranteed. At the same time, due to the changes in the flow and head provided by the pump stations along the route, all the pumps in the 6 pump stations were updated and the operating parameters were reconfigured and adjusted. Variable frequency control and multi-specification pump combinations were adopted to achieve precise matching of operating head and flow, and the hydraulic slope lines for the near and far future were drawn through hydraulic modeling verification to validate the water transmission capacity of the system throughout its life cycle. [**Conclusion**] This scheme successfully achieves the repair and renewal of large-diameter long-distance drainage pipes, restores the water transmission capacity of the main pipe, meets the requirements for transporting industrial WWTP tail water, and provides design experience for related projects.

Keywords trenchless rehabilitation; gravitational pressure flow transition; tail water of industrial WWTP; fiberglass reinforced plastic sand-lined pipe; pump frequency conversion and control

随着城市化进程的加快和地下基础设施的老化,排水管道修复已成为伴随城市迭代更新的重要课题。大口径长距离排水管道是市政排水系统的主动脉,承担着连接分散排水片区、实现污水集中处理,快速排除暴雨径流、避免内涝的重要任务。随着服役年限增加,排水管道老化导致出现结构性缺陷如腐蚀、裂缝、变形等问题,不仅直接威胁运行安全,更会造成管内淤积与渗漏导致功能严重退化、降低输水能力易导致区域排水瘫痪,输送的污水外渗污染土壤、地下水等次生灾害,雨季易引发内涝^[1]。同时,为适应城市发展需求,如转输腐蚀性更强的工业尾水、流态向纯压力流转换等,亟须通过修复提升管道承压与抗腐蚀性能。由于大面积开挖会造成绿化、道路结构的破坏,受到施工场景如管道错综复杂、地面建筑密集等的限制^[2-3],传统的重新敷设方式已无法完全适应高质量发展需求,修复更新则成为满足输送压力和运行安全要求的解决方案^[4-5]。本文将聚焦实际案例,对非开挖修复过程中管道材质选择和水泵配置方案进行研究和实践,提出一套管道修复配合泵站配置实现大口径长距离排水管道的综合方案。

在本文中,由于管道服役年限过长城市功能区规划的更新调整,待改造污水输送主管及泵站的输送介质规划由原生活污水转变为工业污水处理厂尾水,输送方式由重力流和压力流混合输送转变为全

线以压力流形式输送。伴随管道内输送介质、流量和压力的改变,现状污水管道亟须在各工业污水处理厂建成运行前完成对沿线泵站及管线的更新和改造,以满足新的工况需求。

1 非开挖修复方案的确定

1.1 排水现状分析

改造前,整个外排输水系统由3条污水输送主管构成,作用是将沿线收集的污水输送至末端污水处理厂。但随着城市功能区规划的更新调整,城市集中工业区内规划就地建设工业污水厂,同步调整其中一条现状外排输水主管为工业污水处理厂尾水专管,将工业厂尾水输送至末端污水处理厂新建的排海口。由于输送介质由原来的生活污水调整为工业污水厂尾水、输送系统由原来敞开的系统调整为封闭系统,输送流态由原来重力输送调整为压力输送,输送水量也产生了较大变化,在沿线各工业污水处理厂建成运行前,现状外排输水主管及沿线泵站须完成更新及改造。

更新前,管网系统的输送能力为30万m³/d,峰值系数为1.1,系统包含6座污水泵站,主管内水流工作状态随泵站的提升先压力流后重力流,具体参数如表1所示。其中压力主管道口径为DN1400~DN1600,管材为预应力钢筋混凝土管和球墨铸铁管,重力管道口径为DN1500~DN2000,管材为钢筋混凝土承插式管道,输送主管全长为37.164 km,已服役25 a。

表 1 现状管道参数统计
Tab. 1 Statistics of Existing Pipeline Parameters

起点泵站	终点泵站	管径	管材	管长/m
1#泵站	2#泵站	DN1400	预应力钢筋混凝土管	5 116
		DN1500	钢筋混凝土管	1 186
2#泵站	3#泵站	DN1400	预应力钢筋混凝土管	6 037
		DN1650	钢筋混凝土管	3 824
3#泵站	4#泵站	DN1400	预应力钢筋混凝土管	2 542
		DN1600	预应力钢筋混凝土管	2 389
		DN1800	钢筋混凝土管	1 899
4#泵站	5#泵站	DN1600	球墨铸铁管	640
		DN1800	钢筋混凝土管	901
5#泵站	6#泵站	DN1600	球墨铸铁管	3 572
		DN2000	钢筋混凝土管	3 318
6#泵站	污水厂	DN1600	球墨铸铁管	140

修复前,现状管道因长期输送污水,腐蚀破损问题严重。根据重力管段的闭路电视(CCTV)检测报告及视频揭示,管段出现混凝土表层剥落、钢筋锈蚀等问题,局部污水管内钢筋保护层甚至完全消失,钢

筋直接暴露于污水中,如图 1 所示。修复等级在三级以上的比例已经超过 50%,随着使用年限的增加,管道破损将进一步加剧,结构和运行安全面临一定风险^[6]。



图 1 典型管道缺陷

Fig. 1 Typical Pipeline Defects

1.2 修复工艺比选

根据表 2 中各项修复工艺及工程项目的优缺点对比,针对大管径的污水管道,使用频率较高的非开挖修复工艺为紫外光固化修复技术和穿插修复技术。考虑到按照近、远期规划工况,污水输送管道内存在较大水压,停水大修后,现状污水重力管道发生了功能上的改变,输送尾水为压力流,其工作水压最大处达到 0.2 MPa 以上。紫外光固化法主要用于

管道的非结构性修复,不能承受很大的水压力;而穿插修复为管道结构性修复,修复完成后,承压能力较强。因此,从确保管道改造后输水的安全性方面,采用结构性穿插修复技术。

1.3 总体修复方案确定

总体修复方案根据管道漏损情况、管道材质、现场施工条件等因素确定。现状压力输水管长期满管流、与空气接触少、运行环境稳定、破损相对较少,满

表 2 修复工艺比选

图 2 总体修复方案

2 工程实施方案

2.1 管道修复方案

2.1.1 各管段内衬修复情况

对全线 1#~6#泵站段重力管段(除改线部分)进行内衬修复,拟修复的重力管道长度为 10.571 km,具体如表 3 所示。

表 3 内衬修复情况
Tab. 3 Inner Lining Repair Condition

项目		现状管径	内衬管管径	长度/m	平均埋深/m
1#~2#泵站	直埋管段	DN1500	DN1200	1 045	5.0
	过河管段	DN1400	DN1100	141	
2#~3#泵站	直埋管段	DN1650	DN1400	3 260	5.4
	过河管段	DN1500	DN1200	452	
3#~4#泵站	直埋管段	DN1800	DN1500	1 440	5.3
	过河管段	DN1650	DN1400	61	
4#~5#泵站	直埋管段	DN1800	DN1500	846	4.5
	过河管段	DN1650	DN1400	55	
5#~6#泵站	直埋管段	DN2000	DN1600	2 823	5.0
	过河管段	DN1800	DN1500	448	

表 4 玻璃钢管道与钢管机械性能对比

Tab. 4 Comparison of Mechanical Properties between Fiberglass Reinforced Plastic Pipes and Steel Pipes

管道类型	比重/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	比强度/[$(\text{N}\cdot\text{cm})\cdot\text{kg}^{-1}$]	轴向抗拉强度/MPa	环向抗拉强度/MPa	环向弯曲模量/GPa
玻璃钢管道	1.6~2.0	0.53	110~130	330~370	20~25
钢管	7.8	0.13	335~475	335~475	195

玻璃钢管不但机械性能好,而且摩阻系数小^[10]、输送能力大,能显著地减少沿程水头损失,提高液体输送能力(玻璃钢管的绝对粗糙度是取 50 年后的值,钢管是取运行后期的值),不同材质管道的性质如表 5 所示。在相同流量及输水压力条件下,不同管道过水流量可使用式(1)~式(2)计算,计算可得 DN1600 的玻璃钢管与 DN1800 的钢管流量比值为 105:100,根据《管道工程用无缝及焊接钢管尺寸选用规定》(GB/T 28708—

2.1.2 内衬管的材质选择

玻璃纤维增强的玻璃钢夹砂管具有优越的物理性能^[7-9]。和钢管相比,比重只有其 1/4~1/6,因为玻璃钢中的连续纤维有较高的拉伸强度及弹性模量,其比强度达到了钢材的 4 倍,如表 4 所示。

2012),在输送功率和流量相同的情况下,选用玻璃钢管,其管道直径可比选用钢管缩小 1~2 个管径等级。

$$H = \alpha l q^2 \quad (1)$$

其中: H ——扬程,m;

α ——比阻;

l ——管长,m;

q ——流量, m^3/s 。

$$\alpha = 10.3 \frac{n^2}{d^{5.33}} \quad (2)$$

其中: n ——糙率;

d ——管径,mm。

玻璃钢管的主要原材料选用高分子成分的不饱和聚酯树脂和矿物质成分的玻璃纤维组成,与普通金属的电化学腐蚀机理不同,无导电性能,在电解质溶液里不会将离子溶解出来^[11],特别在强的非氧化

表 5 各类材质管道输送能力对比

Tab. 5 Comparison of Diversion Capacity of Pipelines of Different Materials

材质	糙率	摩阻系数	流量指数	管径指数	绝对粗糙度/mm
玻璃钢管	0.009	0.009	1.77	4.77	0.05
钢管	0.012	0.017 9	1.9	5.1	2.3
水泥管	0.014	0.023 2	2.0	5.33	3.15

性酸和相当广泛的 pH 范围内的介质中都有良好的适应性^[12-13],过去用不锈钢也解决不了的一些腐蚀性介质,如盐酸、氯气、二氧化碳、稀硫酸、次氯酸钠和二氧化硫,现在可很好地解决腐蚀问题,化学性质如表 6 所示。玻璃钢对大气、水和一般浓度的酸、碱、盐等介质有良好的化学稳定性,因而有效地抵抗酸、碱、盐等介质的腐蚀和未经处理的生活污水和工业污水、腐蚀性土壤和化工废水及众多化学液体的侵蚀。

表 6 玻璃钢管道耐腐蚀性能
Tab. 6 Corrosion Resistance Properties of
Fiberglass Reinforced Plastic Pipeline

化学物质名称	化学物质质量分数	使用温度/℃
盐酸(HCl)	30%	≤80
硫酸(H ₂ SO ₄)	40%	≤50
硝酸(HNO ₃)	10%	≤70
磷酸(H ₃ PO ₄)	80%	≤100
醋酸(CH ₃ COOH)	10%	≤85
脂肪酸(C ₁₅ H ₃₁ COOH)	0~100%	≤100
硫酸铝(Al ₂ SO ₄)	40%	≤100
乙二醇[(CH ₂ OH) ₂]	100%	≤100
氢氧化钠(NaOH)	5%	≤82
次氯酸钠(NaClO)	15%	≤65
过氧化氢(H ₂ O ₂)	—	≤70
氨水(NH ₃ ·H ₂ O)	20%	≤70
煤油	—	≤70
汽油	—	≤82
柴油	—	≤82
氯气(Cl ₂)	—	≤100
硫化氢(H ₂ S)	—	≤82
氯化铁(FeCl ₃ ·4H ₂ O)	—	≤100
食盐(NaCl)	—	≤82
酱油	—	≤100
高分子凝剂	—	≤100
聚合氯化铝(PAC)	—	≤100
草酸(HO ₂ CCO ₂ H)	—	≤95
聚醋酸乙烯乳液	—	≤50

2.2 泵站改建方案

2.2.1 泵站近远期设计流量确定

由于上游工业水厂近远期设计规模不同,本工

程输送规模近远期也存在差异,近期总输送规模为 15 万 m³/d,远期规划总输送规模为 25 万 m³/d。各级泵站流量根据污水处理厂尾水流量进行确定,流量分配如图 3 所示。

2.2.2 泵站近远期流量扬程复核

综合考虑系统规模、流量变化、水质特性、地形条件、供电可靠性及远期发展等因素(图 3),对各泵站进行近远期配置如表 7 所示。

图 4、图 5 展示了依据上表所述参数及变频调控之后 1#~6#泵站近远期的水力坡降,修复后的水头线显示,泵站的运行方案可以同时满足近远期的输水要求,极大地节省了固定资产的投入。

2.2.3 应急措施

充分考虑因突发情况造成泵站停止运行的严重后果,如泵站被淹、污水外溢污染水体、污水入渗污染土壤、污水漫街影响居民生活等^[14],同时为提高供电的可靠性,工程采用了双路供电,设有一路备用电源,减少停电机会。

在极端天气、自然灾害或电网故障等情况发生时,双路供电也可能会中断。为提升设施的保障效率能级,在极端工况下仍然能够正常运行,采取管理加技术双重措施,保障城市排水系统的稳定,运营单位应对泵站运行加强管理,最快获取事故信息,缩短事故时间;在具体工程措施中对有支管接入的 2#泵站、4#泵站及终端 6#泵站设置事故溢流井。突发情况时 2#泵站来水可溢流至嘉兴 2#扩容泵房调节池,4#泵站来水可溢流至嘉兴 3-3#泵站调节池,6#泵站来水可溢流至联合污水厂二期进水泵房,同时对 2#泵站、3#泵站、4#泵站、5#泵站、6#泵站及其进水闸门井顶板进行改造,改造为承压盖板,当泵站面临极端工况时,能够及时进行分流,确保尾水不外溢出地面,一定程度上缓解事故发生带来的灾害。

3 结论与展望

采用管道修复与泵站合理配置相结合的方案,修复大口径混凝土污水管,以实现变介质变流态输送,技术可行性较高。先进的管道修复技术可有效应对管道老化、腐蚀及渗漏问题,从而延长管道使用寿命。与此同时,合理配置泵站能够依据污水流量和水质的变动,灵活调整输送介质与流态,进而提升输送效率及系统适应性。该方案不仅可降低维护与运营成本,还能提高污水输送效率,经济效益显著。

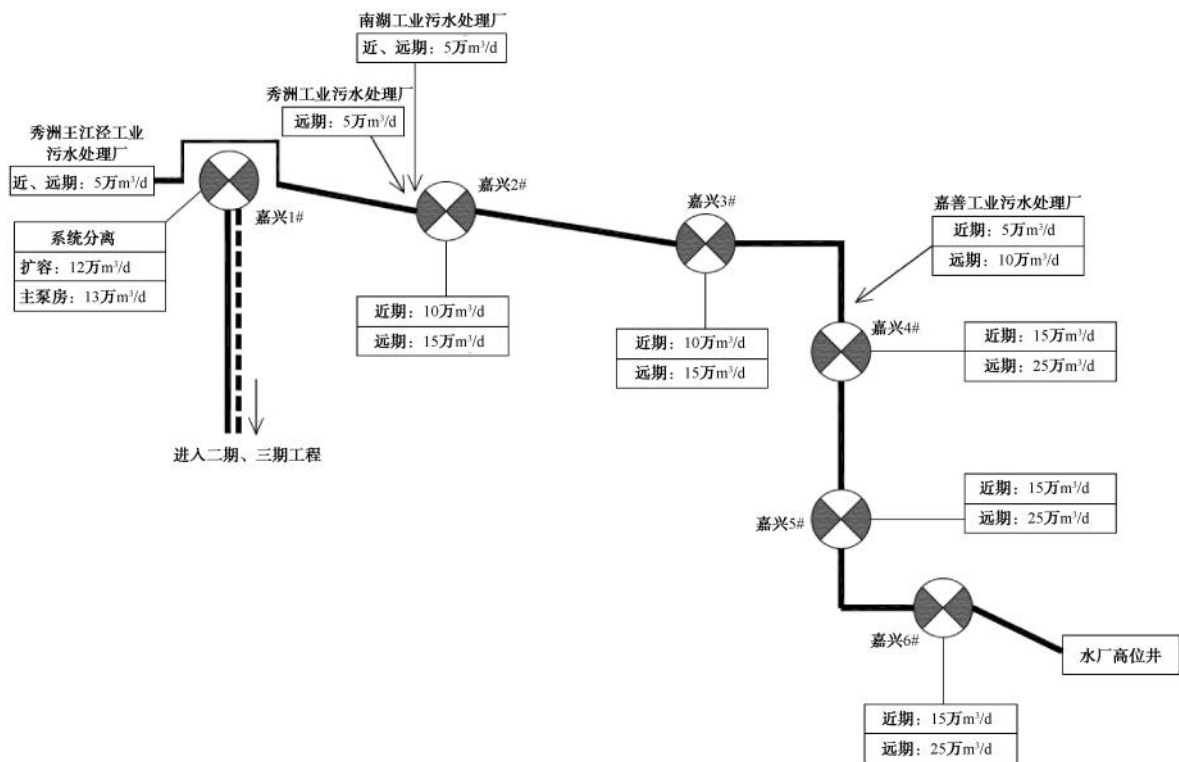


图 3 各级泵站流量分配图

Fig. 3 Flow Distribution Diagram of Pumping Stations at All Levels

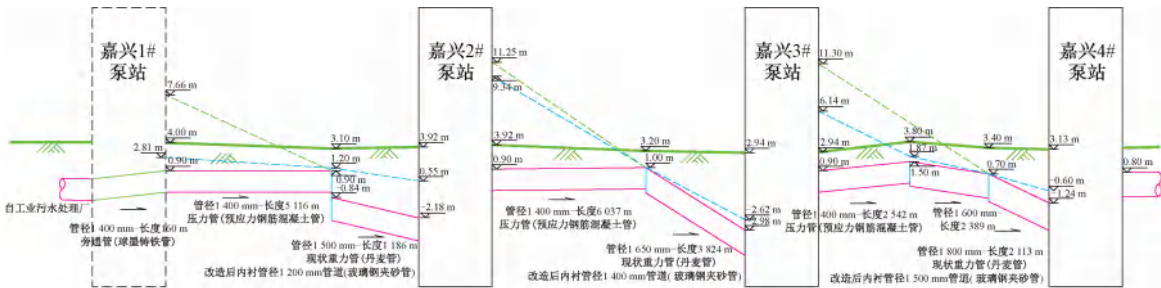
表 7 泵站近远期配置参数

Tab. 7 Parameters of Pumping Station Configuration in Short-Term and Long-Term

编号	配置	近期(单泵)			配置	远期(单泵)		
		流量/(m³·h ⁻¹)	扬程/m	功率/kW		流量/(m³·h ⁻¹)	扬程/m	功率/kW
2#	3用1备	2 083.3	13.21	132	3用1备	2 291.7	13.21	132
3#	3用1备	2 083.3	10.16	110	3用1备	2 291.7	11.76	110
4#	4用2备	2 343.8	11.94	200	4用2备	2 864.6	17.77	200
5#	4用2备	2 343.8	9.17	160	4用2备	2 864.6	13.86	160
6#	4用2备	2 343.8	18.63	220	4用2备	2 864.6	20.08	220

对于类似工程而言,其具有重要的参考价值。它为其
其他城市在面对污水管网老化及功能升级需求时,
提供了一种切实可行的解决方案。其他城市可通过

借鉴该方案的成功经验,更科学地规划与实施污水
管网修复及升级工程,增强整个污水处理系统的可
靠性与修复效率。



(a) 1#—4#泵站水力坡降线

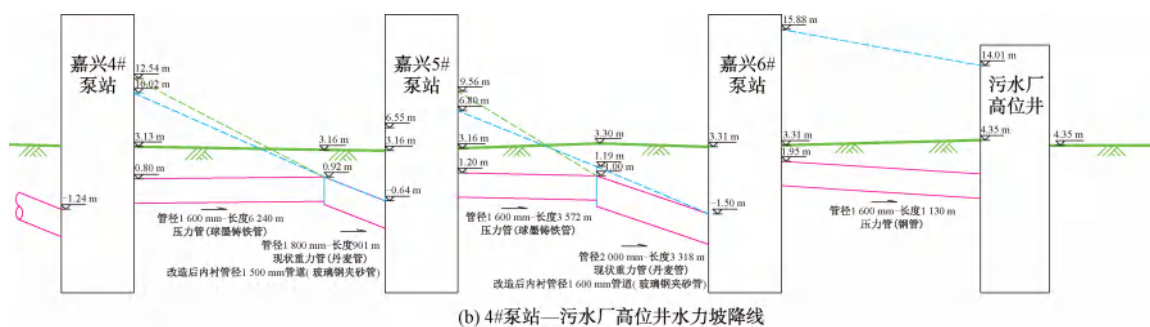


图 4 近期水力坡降线图

Fig. 4 Recent Hydraulic Gradient Line Graph

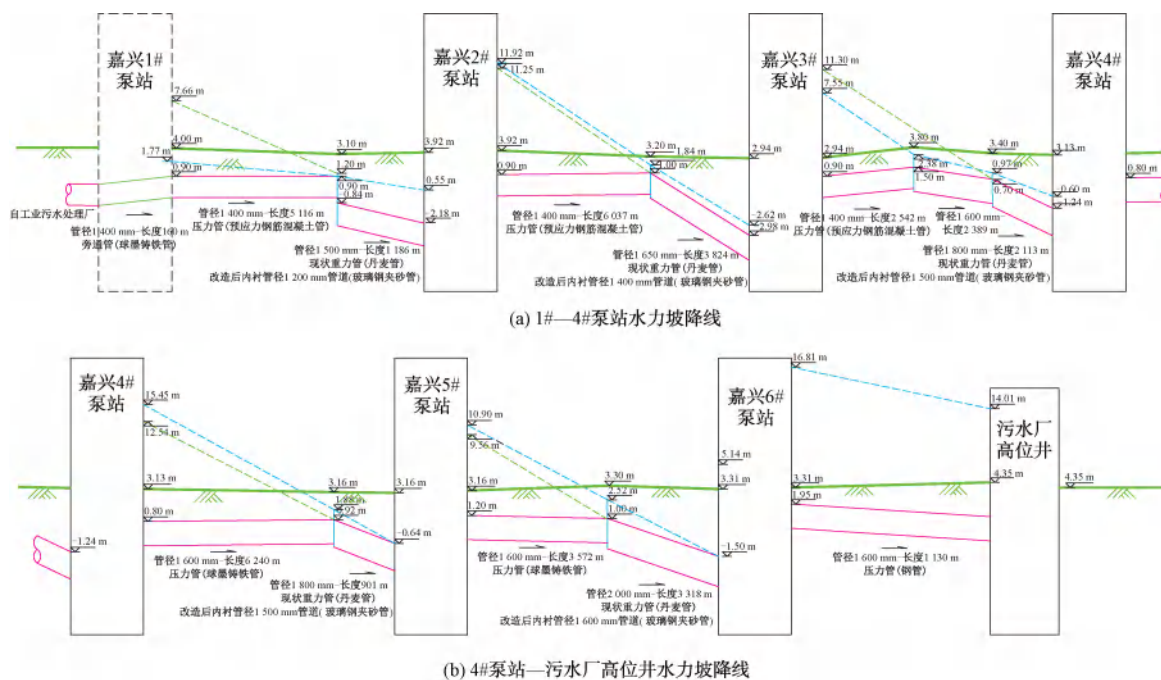


图 5 远期水力坡降线图

Fig. 5 Long-Term Hydraulic Gradient Line Graph

参考文献

- [1] Xi D M, Lu H F, Zou X, et al. Development of trenchless rehabilitation for underground pipelines from an academic perspective[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2024, 144: 105515. DOI: 10.1016/j.tust.2023.105515.
- [2] Huang R M, Tao Z K, Lin Y C, et al. Current situation of drainage pipe network in China and its detection technology: A brief review[J]. Polish Journal of Environmental Studies, 2024, 33(1): 19-29.
- [3] 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]. 工程与建设, 2025, 39(4): 964-966, 975. Zhang H Y. Overview of urban sewage pipe network restoration technology: Development path from traditional excavation to intelligent restoration[J]. Engineering and Construction, 2025, 39(4): 964-966, 975.
- [4] 张满红, 冯怀庆. 软管内衬修复技术在西安热管工程中的应用[J]. 山西建筑, 2025, 51(13): 92-95. Zhang M H, Feng H Q. The application of the flexible hose lining repair technology in the heating pipeline project in Xi'an[J]. Shanxi Architecture, 2025, 51(13): 92-95.
- [5] 马保松. 非开挖管道修复更新技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2014. Ma B S. Trenchless pipeline rehabilitation and renewal technology[M]. Beijing: China Communications Press, 2014.
- [6] Akram M R, Can Zülfi Kar. Identification of factors influencing sustainability of buried continuous pipelines[J]. Sustainability, 2020, 12(3): 960. DOI: 10.3390/su12030960.
- [7] Profire M, Ancaș A D, Toma D, et al. Calculation of underground grp pipes[J]. Buletinul Institutului Politehnic Din

- Lasi Sectia Constructii, Arhitectura, 2018, 64(3): 73–82.
- [8] Daneshvar F A, Talebbeydokhti N, Dehghan S M, et al. Evaluation of darcy-weisbach friction factors of fiberglass pipes based on internal surface roughness measurement [J]. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, 2023, 47(3): 1749–1762.
- [9] Chen L S. Discussion on the application of fiberglass reinforced plastics in building energy saving [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 580(1): 012051. DOI: 10.1088/1755-1315/580/1/012051.
- [10] Trykoz L V, Kamchatnaya S M, Pustovoitova O M, et al. The investigation of prestressed pressure pipes, reinforced with fiberglass plastic [J]. International Journal of Engineering Research in Africa, 2018, 36: 1–11. DOI: 10.4028/www.scientific.net/JERA.36.1.
- [11] Baali B, Benmounah A, Rokbi M. Mechanical characterization and optimum design of wound glass-fiber-reinforced polymer pipes based on the winding angle and the number of plies [J]. Mechanics of Composite Materials, 2020, 56(5): 673–684.
- [12] Avdeeva A, Shlykova I, Perez M, et al. Chemical properties of reinforcing fiberglass in aggressive media [J]. MATEC Web of Conferences, 2016, 53: 01004. DOI: 10.1051/mateconf/20165301004.
- [13] Popielski P, Bednarz B, Siefko R, et al. Monitoring of large diameter sewage collector strengthened with glass-fiber reinforced plastic (GRP) panels by means of distributed fiber optic sensors (DFOS) [J]. Sensors, 2021, 21(19): 6607. DOI: 10.3390/s21196607.
- [14] Wang Q D, Zhang Y B, Lv Q F, et al. Susceptibility assessment of soil erosion in overlaying diluvial fan of shallow underground pipelines [J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2021, 80(3): 2573–2585.

(上接第 121 页)

由表 3 可知,包含衰减 CMS 频域信息的数据集的模型精度最高,验证了衰减因子对小样本模型精度提升的有效性。

4 结论

为解决污水数据集存在的小样本问题,本文提出了一种基于改进 CMS 的特征增强方法:衰减 CMS。本文首先引入衰减因子对 CMS 进行优化,使 CMS 更好地反映当下数据的频率特征,削弱历史数据的影响,之后通过卡方分箱和独热编码等数据预处理方法为软测量模型 LSTM-Attention 的输入做准备。最后将同时包含时域和频域信息的数据集用于污水水质指标的预测。从结果来看,衰减 CMS 引入的频域特征可以有效地提高小样本时间序列模型的预测精度,但是现在仍然存在一些限制,本方法对衰减因子 α 的选择依赖于经验,需要针对不同的数据集和场景进行调优,以取得最佳效果。此外,卡方分箱和独热编码方法尽管在小样本情况下提升了模型性能,但对于特征之间更加复杂的关系的捕捉能力依然有限。在未来的研究中,可以进一步探索更为复杂的特征提取和融合方法,以及将衰减 CMS 与布隆过滤器和压缩感知等技术结合,在保证模型精度的同时进一步降低数据存储成本。

参考文献

- [1] Cormode G, Muthukrishnan S. An improved data stream summary: The count-Min sketch and its applications [J]. Journal of Algorithms, 2005, 55(1): 58–75.
- [2] Arkan K, Palumbo A, Cassano L, et al. Processor security: Detecting microarchitectural attacks *via* count-Min sketches [J]. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration: VLSI Systems, 2022, 30(7): 938–951.
- [3] Li G R, Liu Y, Wang Y. Analysis of the count-Min sketch based anomaly detection scheme in WSN [C]//2014 IEEE 13th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications. September 24–26, 2014, Beijing, China. IEEE, 2014: 961–966.
- [4] Bostanci F N, Yüksel I E, Olgun A, et al. CoMeT: Count-Min-sketch-based row tracking to mitigate RowHammer at low cost [C]//2024 IEEE International Symposium on High-Performance Computer Architecture (HPCA). March 2–6, 2024, Edinburgh, United Kingdom. IEEE, 2024: 593–612.
- [5] Goodfellow I, Pouget-Abadie J, Mirza M, et al. Generative adversarial networks [J]. Communications of the ACM, 2020, 63(11): 139–144.
- [6] Žvirblis T, Pikšrys A, Bzinkowski D, et al. Time series data augmentation methods for deep learning models in conveyor belt load classification [C]//2024 IEEE Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream). April 25–25, 2024, Vilnius, Lithuania. IEEE, 2024: 1–6.
- [7] Yoon J, Jarrett D, van der Schaar M. Time-series generative adversarial networks [J]. Advances in neural information processing systems. 2019, 32. DOI: 10.5555/3454287.3454781.
- [8] Cong Q M, Yu W. Integrated soft sensor with wavelet neural network and adaptive weighted fusion for water quality estimation in wastewater treatment process [J]. Measurement, 2018, 124: 436–446.