

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.08.014

城区复杂环境下污水干管非开挖修复实践

何锦鹏¹, 王宁^{2,3}, 谢鹏贵³, 王连接³

(1. 泉州市城市管理局技术中心, 福建 泉州 362000; 2. 天津大学 建筑学院, 天津 300072; 3. 厦门市城市规划设计研究院有限公司, 福建 厦门 361012)

摘要: 城区大口径污水干管的维护与修复,是当前污水系统提质增效的重要挑战。在泉州市宝洲路DN1 200~DN1 600污水干管修复工程中,综合运用紫外光固化修复(UV-CIPP)技术、离心喷筑法检查井修复技术、聚氨酯喷涂技术、高压旋喷管基加固技术等,有效解决了高地下水位、软弱地质及受限场地等复杂环境下的缺陷管道修复难题。修复后系统性能指标得到显著改善,管道结构性缺陷修复率达100%,过流能力较修复前提升约26%,管道与检查井的整体密闭性大幅增强。该项目避免了大规模道路开挖、社会交通中断所产生的经济及社会影响,工程综合造价较开挖修复降低约20%,工期缩短近40%。

关键词: 非开挖修复; 污水干管; 紫外光固化修复; 检查井修复

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2026)08-0102-07

Practice of Trenchless Rehabilitation for Sewage Trunk Pipelines in Complex Urban Environments

HE Niepeng¹, WANG Ning^{2,3}, XIE Penggui³, WANG Lianjie³

(1. Technical Center, Quanzhou City Administration Bureau, Quanzhou 362000, China; 2. School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. Xiamen Urban Planning & Design Institute Co. Ltd., Xiamen 361012, China)

Abstract: The maintenance and repair of large-diameter sewage trunk pipelines in urban areas represents a critical challenge in the current effort to enhance the quality and efficiency of sewage systems. In the rehabilitation project of DN1 200-DN1 600 sewage trunk pipelines along Baozhou Road, Quanzhou, an integrated approach was adopted. By combining such as UV-CIPP, centrifugal spraying for manhole rehabilitation, polyurethane spraying, and high-pressure jet grouting for pipe base reinforcement technology, the project successfully addressed pipeline defects under challenging conditions such as high groundwater levels, soft geology, and confined construction sites. After the repair, the structural defect repair rate of the pipeline reached 100%, the flow capacity increased by approximately 26% compared to before the repair, and the overall airtightness between the pipeline and the inspection well was significantly enhanced. This project avoided the economic and social influence resulting from large-scale road excavation and disruption of social traffic. The comprehensive project cost was reduced by approximately 20% compared to excavation and repair, and the construction period was shortened by nearly 40%.

基金项目: 福建省科技计划项目(2024T3050)

Keywords: trenchless rehabilitation; sewage trunk pipelines; UV-CIPP; manhole rehabilitation

我国生态文明建设已进入减污降碳协同增效、生态环境质量由量变到质变的关键阶段。相应地,城镇污水治理的重心也已从强力拓展处理能力转向提升现有管网系统的整体效能^[1]。然而,目前多数城市污水处理厂面临进水浓度偏低、水量负荷不稳定的难题,其根本原因在于庞大的地下排水管网日益老化,存在破损、渗漏、错接和混接等缺陷^[2]。这些缺陷不仅导致大量地下水和雨水渗入管道,稀释了污水处理厂进水浓度、增加了污水处理能耗与成本^[3],还会引发污水外渗,对土壤及周边地下水环境构成威胁,破坏城市水循环的健康度。

针对上述问题,国家与地方政府先后出台政策,将排水管网的排查、修复与改造作为污水系统提质增效的核心任务。然而,在人口密集的中心城区,针对主干管道的传统开挖修复方法,通常因交通拥堵、地下管线密集、环境敏感等挑战而难以实施,且易引发交通瘫痪、地下管线扰动破坏及环境污染,导致社会经济成本显著增加。因此,非开挖修复技术凭借施工周期短、社会干扰小、综合成本可控等优势,正逐渐成为城市排水管网修复的主流方案^[4]。

非开挖排水管道修复技术虽然种类繁多且日趋成熟^[5],但在面对同时存在沿海高地下水位、软弱地质、大口径、大埋深、缺陷复杂多样等多种挑战的工程时,单一技术的应用往往受限。泉州市宝洲路DN1 200~DN1 600污水主干非开挖修复工程,针对

不同缺陷类型与环境约束,通过制定管理策略,并进行现场试验,探索出多种非开挖修复技术的最优组合策略,确保了工程顺利实施。

1 项目概况

该项目位于泉州市中心城区主干道宝洲路下方,管道建于20世纪90年代,缺陷管道全长约1.6 km,管径DN1 200~DN1 600,埋深5~7 m。经检测,该管道存在3~4级的严重结构性病害,包括管节错口、接口脱节和严重渗漏等,尤其在管道末端已发生沉降起伏,如表1和图1所示。管道地处沿海典型的软弱淤泥质地层,土壤承载力低,地下水位高,受潮汐影响明显。外部静水压力较高,不仅导致既有病害(如接口渗漏)不断加剧,也给修复作业的降水与基坑稳定带来了挑战。另一方面,宝洲路交通流量大,道路两侧商业与住宅建筑密集,地下自来水、燃气、电力等关键市政管线与待修复管道间距较小。在此类复杂工况下,传统开挖修复的表面经济优势已不复存在,其综合成本往往远超非开挖修复。特别是在软弱淤泥质且高水位的土层中,为确保基坑稳定,必须采用大规模、高强度的深基坑支护措施,使得每延米的直接造价变得极其高昂。作为城市交通动脉,宝洲路一旦大面积开挖,将严重影响区域交通,由此产生的社会经济成本不可估量。初步估算,非开挖修复工程综合造价较开挖修复降低约20%,工期缩短近40%,因此经过技术及经济比选后,该项目采用非开挖修复方式。

表1 宝洲路污水主干主要缺陷类型

Tab.1 Main defect types of Baozhou Road sewage trunk pipelines

管段	管径/mm	管材	缺陷类型	缺陷数量/等级	定量描述
W38-W30-1(全程)	1 200	混凝土	结构性	错口16处、脱节16处、渗漏5处/3~4级	长约424.3 m,管节(1.5 m/节)普遍错口、脱节,接口渗漏严重
			功能性	沉积	淤积30%~40%
W30-1-W22(全程)	1 400	混凝土	结构性	错口18处、脱节16处、渗漏6处/3~4级	长约511.5 m,管节(1.5 m/节)普遍错口、脱节,接口渗漏严重
			功能性	沉积	淤积40%~60%,局部达60%
W27-X上游(宏昌宾馆)	1 200	混凝土	结构性	变形1处/4级	长约22.9 m,钢管段截面变形近50%
W2-W3(富翔上城)	1 600	混凝土	结构性	接口材料脱落1处、渗漏1处/4级	长约23.6 m,钢管与混凝土管接缝大,沙袋填充,严重渗漏
W1-W2(横穿宝洲路)	1 600	混凝土	结构性	裂缝2处/3~4级	长约18.6 m,管道顶部纵向全程贯穿裂纹
W1-W2(进厂段)	1 600	混凝土	结构性	破裂2处、变形1处/4级	长约23.5 m,顶部开裂变形,底部变形,W2井底破裂涌水

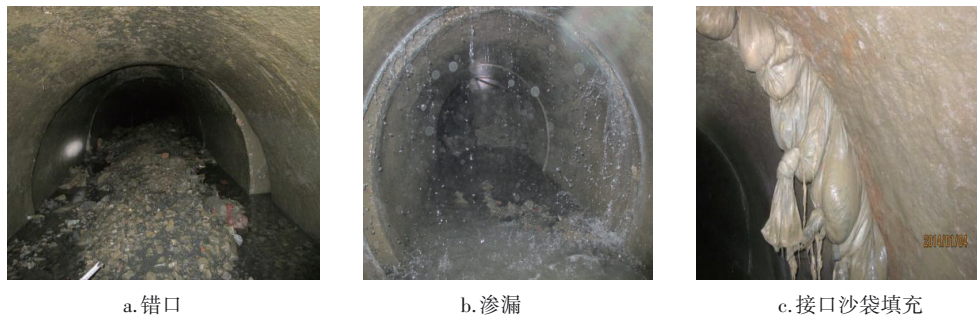


图1 管道缺陷实景

Fig.1 Photos of pipeline defects

2 方案设计

2.1 修复指数(RI)计算

依据《城镇排水管道检测与评估技术规程》(CJJ 181—2012)要求,通过RI计算公式进行方案设计。RI综合考虑了管道所在区域的重要性(K)、管道自身的重要性(E)和管道所处土质情况(T)等因素,依据宝洲路污水主管缺陷指数结果计算得出RI,见表2。宝洲路污水主管作为城市污水主干管(E 值较高),位于繁华商业区(K 值较高),处于软弱地质层(T 值较高),污水主管缺陷修复等级处于Ⅲ级或Ⅳ级,应尽快修复。

表2 宝洲路污水主管缺陷指数计算

Tab.2 Calculation of defect RI for Baozhou Road sewage trunk pipelines

管段	管径/ mm	F	K	E	T	RI	修复 等级
W38-W30-1(全程)	1 200	5	6	6	8	5.6	Ⅲ
W30-1-W22(全程)	1 400	5	6	6	8	5.6	Ⅲ
W27-X上游(宏昌宾馆)	1 200	8	6	6	8	7.7	Ⅳ
W2-W3(富翔上城)	1 600	8	6	6	8	7.7	Ⅳ
W1-W2(横穿宝洲路)	1 600	5	6	10	8	5.8	Ⅲ
W1-W2(进厂段)	1 600	8	6	10	8	7.9	Ⅳ

后续在制定非开挖修复方案时,以闭路电视(CCTV)检测等内窥检测所获取的量化数据为基础进行科学决策。通过研判缺陷的结构等级、缺陷密度以及管道的整体结构性状况,认为该项目因管道存在缺陷密度高、连续破损或整体材质老化失效等问题,采用整体原位固化法等整修工艺可从根本上恢复管道的结构完整性和使用功能。

2.2 工艺选择

该工程如果采用开挖修复方式,需要另外寻找管位,重建污水管道,待新的污水管道建成通水后,替代旧的污水管道,并废弃旧有污水管道,一方面

需要封闭部分车行道,施工期较长,且需要占用道路下的管位,施工难度较大,且对城市交通影响较大;而采用非开挖修复方式,对现状管道进行修复,具有无需开挖破坏路面、少量占用道路资源等优点,较适合该工程项目的实施。因此,推荐采用非开挖修复方式对管道及检查井进行修复。

在管道非开挖修复技术比选方面,对螺旋缠绕法、穿插类工艺及现场原位固化管道(CIPP)内衬法中的紫外光固化(UV-CIPP)和水力翻转法进行了综合评估:可带水作业的螺旋缠绕法在管道转弯段施工中存在较多技术难点;穿插类工艺通常需开挖工作坑,面临作业面狭窄、支护复杂等问题。相比之下,原位固化法中的UV-CIPP采用“软管拉入-充气膨胀”工艺,较水力翻转法操作更为简易,修复层厚度较薄,材料消耗较少,施工过程更为环保,无需大量用水或加热,修复速度快,总体工程造价较低。UV-CIPP内衬修复工艺设备紧凑、固化迅速,可安排在夜间施工,最大限度减少对城市主干道日间交通的影响,修复后的管道内壁光滑、水力性能优异。因此,该工程推荐采用UV-CIPP修复技术。

宝洲路沿线存在大量砖砌检查井年久失修,井壁渗漏,结构松散,导致严重渗水。在检查井修复技术比选方面,对聚氨酯喷涂法、树脂固化法及离心喷筑法进行了综合评估:树脂固化法虽对井筒结构加固效果较好,但无法处理井底渗漏,修复时需拆除爬梯,对不规则井的阴角适应性较差;聚氨酯喷涂法可有效处理阴阳角,但渗水井底需经预处理且干燥后方可达到良好效果;离心喷筑法不仅可在预处理阶段同步应用于部分带水检查井,且喷筑后结构强度最高。这3种工艺造价相近,综合考虑后,最终选用离心喷筑法进行整体修复与加固,其施工周期适应沿海城市低潮位作业窗口期,有利于保证

修复质量与整体密封效果。

经技术比选并结合现场条件,管道段采用UV-CIPP技术进行整体修复,检查井则采用离心喷筑法进行整体加固。内衬施工前依据管段现状进行预处理:采用UV-CIPP技术时,要求管道内表面无明显附着物、尖锐毛刺及突起,且无显著台阶与积水;采用离心喷筑法时,要求井壁平整、坚实、洁净,无明显外来渗水,若井底渗水则应同时喷筑封底。

2.3 管道修复内衬设计

UV-CIPP采用牵拉方式将浸有光固性树脂的软管置入原有管道内,通过紫外光照射固化树脂后形成内衬管。所用内衬材料主要由耐化学性(ECR)玻璃纤维布和光固化树脂构成,具有强度高、耐腐蚀、管道断面损失小、施工速度快等特点。

该工程原有管道为混凝土材质,主要缺陷为错口、脱节、渗漏等,管节主体结构尚可,修复目的主要为防止地下水渗入,避免管道持续恶化。因此,采用半结构性修复,UV-CIPP内衬主要承受地下水压力,内衬厚度按《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》(CJJ/T 210—2014)计算。该工程管道为城市污水干管,管径为DN1 200和DN1 600,其中温陵南路段管道位于东侧非机动车道下,管道埋深为4.6~5.2 m。宝洲路段管道位于北侧非机动车道下,管道埋深为5.2~7.0 m。根据计算公式,按DN1 600内衬管的弯曲弹性模量取16 000 MPa、DN1 200内衬管的弯曲弹性模量取12 000 MPa、内衬管弯曲强度取220 MPa、内衬管泊松比取0.3、原有管道椭圆度取2%、原有管道支撑系数取7、安全系数取2进行计算,得出DN1 200管道计算壁厚为7.80 mm,设计选取8.00 mm;DN1 600管道计算壁厚为8.25 mm,设计选取9.00 mm。

根据设计壁厚对修复后管道过流能力进行复核,修复后管道过流能力按《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》(CJJ/T 210—2014)中管道内流量计算公式计算。该工程原有管道为混凝土管,粗糙系数为0.013,修复后内衬管的粗糙系数为0.010,管道坡度取0.003。经水力验算,DN1 200和DN1 600管道修复后的过流能力分别为15.3万m³/d和33.6万m³/d,与修复前对比,得益于内衬修复后表面粗糙系数减小,其设计过流能力约提升26.5%。随着近年来城市的建设发展,人口不断增加,经核算,该管道需承受的污水设计流量分别为8

万m³/d和15万m³/d,修复后管径大小仍满足当前的排水需求。

2.4 检查井内衬设计

离心喷筑法检查井修复技术使用高速旋喷器产生的离心力将高性能水泥基材料均匀、连续地喷筑到待修复检查井内壁,形成一定厚度的水泥基内衬,该内衬材料具有结构强度高、抗渗及耐久性好等特点,可实现对老旧检查井的结构性修复。喷筑材料性能如表3所示。

表3 喷筑材料性能要求

Tab.3 Performance requirements for spraying materials

项目	指标	检验方法
凝结时间/min	初凝	≥45
	终凝	≤360
抗压强度/MPa	24 h	≥25.0
	28 d	≥65.0
抗折强度/MPa	24 h	≥3.5
	28 d	≥9.5
静压弹性模量/MPa	28 d	≥30 000
拉伸黏结强度/MPa		≥1.2
抗渗性能/MPa	28 d	≥1.5
收缩性/%	28 d	≤0.1
抗冻性/%	强度损失	≤25
	质量损失	≤5
耐酸性	5%硫酸液 腐蚀24 h	无剥落、 无裂纹

对于运行已久的检查井,其周围土体已充分压实和固结,通常认为对内衬产生的额外侧向土压力较小;地下水渗入是旧井结构破坏的主因,要求内衬能够完全承受外部的地下水压力且不发生渗漏,应以半结构性修复为主。在计算圆形检查井半结构性修复内衬厚度时,假设内衬与原井壁之间不存在黏结力,外部静水压力均匀作用在内衬上。由薄壁筒理论可知,当筒的径厚比>10时,刚性内衬的破坏形式表现为材料屈服。按照《罗氏应力应变公式手册》,支承形式满足如下条件:①对于短管(长径比<15),长度为 L ,两端无约束;②对于长管,需在每隔一段距离 L 处保持圆形。此时,薄壁圆壳的屈服压力可按《喷筑法检查井修复技术规程》(T/CECS

1252—2023)计算:

$$t = \sqrt[2.5]{\frac{qLr^{1.5}(1-\nu^2)^{0.75}}{0.807E_s}} \cdot F_s \quad (1)$$

式中: t 为内衬厚度,m; q 为最大径向均布压力,MPa; E_s 为静压弹性模量,MPa; r 为内衬平均半径,m; L 为内衬的有效长度,m; ν 为水泥基喷筑材料的

泊松比; F_s 为安全系数。

E_s 取15 000 MPa, r 取井室半径0.7~1.5 m, ν 取0.26、 F_s 取2.0,可计算出不同规格和深度检查井的内衬厚度对应计算值(见表4),由于离心喷筑法工艺特点要求内衬最小厚度不小于15.00 mm,超过最小厚度的,内衬厚度以5.00 mm为级数增加;因此实际设计厚度取表4中的推荐值。

表4 检查井内衬厚度取值

Tab.4 Values of liner thickness for manhole

井深/m	检查井内衬厚度/mm							
	井口直径700 mm		井口直径1 000 mm		井口直径1 250 mm		井口直径1 500 mm	
	计算值	推荐值	计算值	推荐值	计算值	推荐值	计算值	推荐值
1.00	3.85	15.00	4.77	15.00	5.45	15.00	6.08	15.00
2.00	6.70	15.00	8.30	15.00	9.49	15.00	10.58	15.00
3.00	9.27	15.00	11.48	15.00	13.12	15.00	14.64	15.00
4.00	11.66	15.00	14.45	15.00	16.52	20.00	18.43	20.00
5.00	13.94	15.00	17.27	20.00	19.74	20.00	22.03	25.00
6.00	16.13	20.00	19.98	20.00	22.84	25.00	25.48	25.00
7.00	18.25	20.00	22.60	25.00	25.84	30.00	28.83	30.00
8.00	20.31	25.00	25.15	30.00	28.76	30.00	32.08	35.00
9.00	22.31	25.00	27.64	30.00	31.60	35.00	35.25	35.00
10.00	24.28	25.00	30.07	30.00	34.38	35.00	38.35	40.00

3 施工关键工艺技术措施

3.1 临排措施

在开展UV-CIPP修复之前,需采取临时排水措施,以避免城区排污受管道修复施工影响。临排管道见图2。



图2 临排管道

Fig.2 Temporary drainage pipeline

经测算,原管道应至少保证日均流量约2万 m^3/d ,高峰时段时流量约1 100 m^3/h 。结合现场实际情况,临排选用350QSZ-7.8-37型污水泵,泵出口直径DN350,流量1 170 m^3/h ,扬程7.8 m,总功率37 kW。在临时排水管道设置上,为最大限度降低对交

通出行的影响,在修复管段上游将管道截断并架设污水泵,通过DN400临排管将管内污水排入管道下游。为进一步减少对城市交通的影响,在途经个别主要路口,通过设置分水仓将单条DN400临排管分解为若干条DN100临排管,并在其上铺设钢板与混凝土坡道,形成临时便桥。

3.2 管道脱节与渗漏处理

由于原有管道接口严重错口、脱节,间隙过大,且地下水位受海水涨落潮影响大,为顺利实施管道预处理,在施工过程中提出“低潮位人工入管封堵预处理”工艺。该工艺充分利用每日低潮时段,在完成管道降水和清淤后,安排工人进入管道内部,采用人工砌砖结合特种速凝砂浆的方法,对接口间隙进行封堵和平整处理,消除了内衬施工时界面不平整和渗漏的问题。

3.3 土体加固与喷涂技术的整合应用

宝洲路W2-W3段DN1 600污水管道毗邻河道,所在地质条件差,管道错口、脱节等导致管道渗漏,进而引发其上方道路明显下沉,安全风险极高。针对这些问题,提出土体加固与管道修复相结合的修复策略。首先,采用高压旋喷注浆技术对管道周围

的软弱土体进行预加固,提高土体承载力并稳定管基结构,防止进一步沉降与失稳;其次,利用低潮位时段,在管内向管外钻孔注入化学浆液,封堵地下水渗入通道,并清理原有的沙袋填充物,对内部接缝处进行平整处理;最后,采用特种聚氨酯喷涂技术,利用其在较为干燥环境下固化效率较高的优势,在管道内壁形成一层固化迅速、黏结牢固且防水性能优良的无缝内衬,彻底解决管道结构性渗漏问题。

3.4 变形钢管段的环切置换技术

W27-X检查井上游段的一根DN1 200钢管,因邻近建筑地基加固时受到混凝土挤压,导致管道截面发生近50%的严重变形。该段钢管所在的检查井井口直径仅700 mm、深度4.50 m,且周边构筑物密集。该项目提出井下“微创”置换方案:首先,在井下狭小空间内利用液压金刚石绳锯,逐步破除钢管外围的混凝土,使变形钢管完全暴露;其次,采用井下专用切割设备精准移除变形钢管,将新钢管纵向切割成3片,经井口分批吊入井下后现场组对焊接,恢复为完整管段;最后,在井壁与新管道之间灌注浆液予以充实。置换完成后,再对该段管道实施整体UV-CIPP内衬修复,以确保其结构完整性和水密封性。为确保恢复段新钢管能够安全承受土压力、地下水压力及地面车辆动荷载,其壁厚的计算确定需遵循《给水排水工程管道结构设计规范》(GB 50332—2002),计算核心是验证恢复段钢管在外压荷载作用下的强度和稳定性。

3.5 UV-CIPP内衬修复

UV-CIPP内衬修复施工步骤:拉入底膜、软管拉入、两端安装专用扎头、充气膨胀、紫外光固化、端口处理等。该工程中DN1 600软管安装前管带宽度约2.2 m,软管每延米质量约70 kg。施工时,通过专用“滚筒排骨架”辅助下料装置,将折叠后的软管经井口直径700 mm检查井牵拉入原有管道(见图3)。

UV-CIPP内衬修复时,需在软管两端采用与管径相当的固定扎头将软管封堵打压,由于井口直径限制,整体式扎头无法下井。该工程专门研制拼装式可拆卸扎头,将扎头各部件通过井口下入井内后在管口组装成整体。

另外,该工程待修复管道最长为70 m,直径DN1 600,软管膨胀时必须达到250 kPa的压力,为了确保固化质量,施工中在修复管段两端分别采用

2台风机同时充气以维持充气压力,管道内衬修复后的效果见图4。



图3 排骨架辅助牵拉软管

Fig.3 Scaffolding auxiliary pulling hose

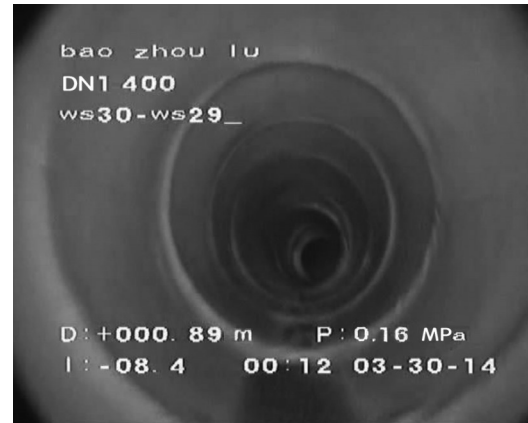


图4 管道紫外光固化修复效果

Fig.4 Pipeline after rehabilitation by UV-CIPP

3.6 检查井修复

待修复检查井多为砖砌井,井室老旧、腐蚀严重,涌水严重。此次检查井修复面临的首要问题是在富水环境下实现高水位堵水,其次才是对脆弱的砖砌井室进行离心喷筑法非开挖修复加固。具体工序:首先,实施井内降水及水反应型聚氨酯注浆堵水作业,底部上方预留泄水孔,对井底加钢筋及特种砂浆喷筑封底,确保井底不渗水;其次,进行井壁预处理,包括井壁高压清洗去除附着物及腐蚀松散表层;最后,进行井壁离心喷筑修复施工。

4 结论与建议

① 在交通密集、地下管线复杂、高地下水位等复杂城市环境下,在对现状管道充分调研的基础上,针对性地制定修复方案,成功修复了约1.6 km的大口径污水干管。实践证明,该非开挖修复技

术方案可行、可靠、高效。

② 面对超大接口间隙、严重变形等常规工艺无法有效解决的难题,该工程采用的土体加固与喷涂的整合、变形钢管段的环切置换等技术具有行业推广价值。

③ 在管道非开挖修复中,管道本身及管道基础的预处理,是决定高水位、软弱地基环境下的管道非开挖修复成败的主要因素。在检查井非开挖修复中,必须优先考虑处理井底渗漏,为修复工程提供可靠的结构与止水基础,从而确保检查井修复的质量。

参考文献:

- [1] 王宁,曾坚,康晓鹏,等. 高密度建成区排水系统雨污分流改造研究与实践[J]. 给水排水, 2022, 48(12):56-61.
WANG N, ZENG J, KANG X K, et al. Research and practice on transformation of rainwater and sewage diversion of drainage system in high-density built-up areas [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(12):56-61 (in Chinese).
- [2] 王宁,郭繁锦,曾坚,等. 高密度建成区污水治理提升规划与实施体系研究[J]. 城市规划, 2024, 48(2): 94-102.
WANG N, GUO F J, ZENG J, et al. A study on improvement planning and implementation system of sewage treatment in high-density built-up areas [J]. City

- Planning Review, 2024, 48(2):94-102 (in Chinese).
- [3] 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 Y L. Connotation and way of quality and efficiency improvement of municipal wastewater treatment [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(2): 1-6 (in Chinese).
- [4] 曹井国,张伟,陆学兴. 城镇给排水管道非开挖修复工艺与设备[M]. 北京:化学工业出版社, 2024: 15-20.
CAO J G, ZHANG W, LU X X. Trenchless Repair Technology and Equipment of Urban Water Supply and Drainage Pipeline [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2024:15-20 (in Chinese).
- [5] 郁片红,庄敏捷,曹依雯,等. 上海市《城镇排水管道非开挖修复技术标准》解读[J]. 净水技术, 2021, 40(11):1-5, 34.
YU P H, ZHUANG M J, CAO Y W, et al. Interpretation of *Technical Standard for Trenchless Rehabilitation of Urban Drainage Pipelines of Shanghai City* [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(11): 1-5, 34 (in Chinese).

作者简介:何锦鹏(1972—),男,福建泉州人,本科,高级工程师,主要研究方向为城镇污水系统提质增效、水环境综合整治。

E-mail: 544739003@qq.com

收稿日期: 2025-07-01

修回日期: 2025-09-14

(编辑:衣春敏)

强化依法治水,携手共护母亲河