

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.06.050

非开挖修复技术在截污管道修复中的应用

赵士雄¹, 杨元元², 宋清泉³

(1.北京市市政专业设计院股份公司,北京市 100037; 2.鄂尔多斯市环保投资有限公司,内蒙古 鄂尔多斯 017000;
3.中设建联工程设计有限公司,广东 珠海 519000)

摘要: 截污治污工程作为水质改善的重要组成部分,对水环境治理具有基础性作用。很多城市的截污管道由于建成年代早、使用年限长,已出现不同程度的缺陷,污水外渗严重影响周边河流与地下水环境。非开挖修复技术凭借施工占地少、工期短、环境效益好等优势,在截污管道修复中得到广泛应用。结合广东省惠州市某截污管道修复工程,对非开挖修复技术的选择与应用进行探讨,为同类工程提供参考。

关键词: 截污管道;非开挖修复;原位固化

中图分类号: TU990.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)06-0212-03

0 引言

随着经济的发展与人民生活水平的提高,提升环境质量越来越受到重视。《“十四五”重点流域水环境综合治理规划》明确提出,重点推进水环境综合治理。截污治污工程作为水质改善的重要组成部分,对水环境治理具有基础性作用^[1]。很多城市的截污管道由于建成年代早、使用年限长,已出现破裂、脱节、渗漏等不同程度的缺陷,雨季外水渗入,影响污水处理厂的稳定运行,旱季污水外渗对地下水与周边河流造成严重污染^[2-3]。因此,急需对缺陷截污管道进行改造修复。

截污管道大多沿河敷设,周边有河堤等重要河道附属设施,两岸生态受保护,施工空间受限,不便开挖^[4]。近年来,管道非开挖修复技术凭借施工占地少、工期短、环境效益好等优势,在城市排水管道修复中得到广泛应用^[5-6]。本文结合广东省惠州市某沿河截污管道非开挖修复工程案例,对非开挖修复技术的应用与选择进行探讨。

1 工程概况

广东省惠州市金山河截污管道沿河两岸敷设,管径 DN500~DN1500,覆土为 1.5~4.5 m。左岸排水管道长 5 152 m,右岸排水管道长 4 478 m,收集两岸片区污水,排入下游污水泵站,经提升后排入污

水处理厂。项目位置如图 1 所示。

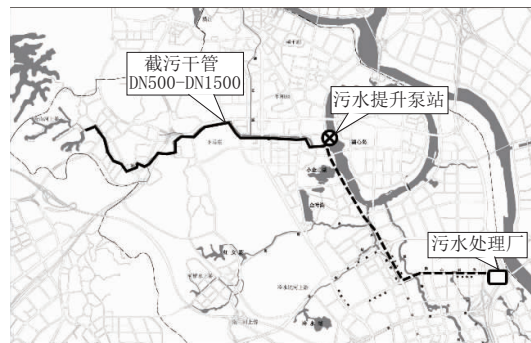


图 1 项目位置示意图

由于使用年限较长,两岸截污管道已发生不同程度的破损。经管道 CCTV 检测(电视检测)发现,管道存在破裂、错口、脱节等缺陷,污水外渗对周边水环境造成污染,急需进行修复。缺陷情况如图 2 所示。

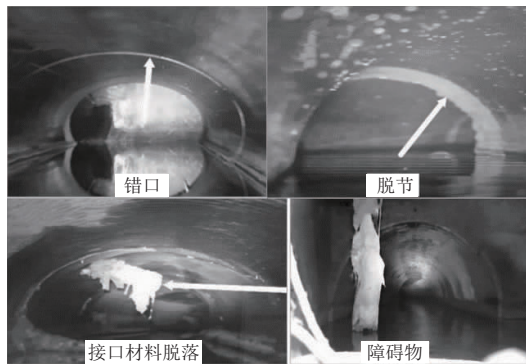


图 2 管道缺陷情况

2 管道检测与评估

根据 CCTV 检测结果,管道缺陷以错口、脱节及接口材料脱落为主,所占比例分别为 59.5%、16.2%、10.8%。管道缺陷等级以 1 级缺陷、2 级缺陷、3 级缺

收稿日期: 2023-05-18

作者简介: 赵士雄(1991—),女,硕士,助理工程师,从事市政给排水设计与研究工作。

陷为主,所占比例分别为 25.7%、32.9%、27.0%。各类缺陷数量及占比统计如图 3 所示。

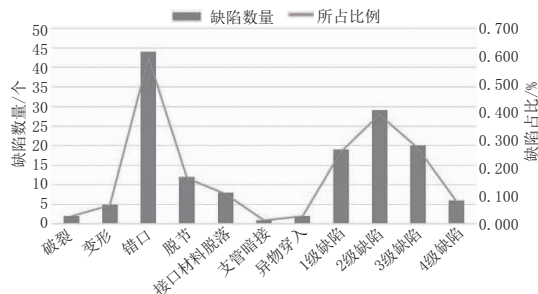


图3 各类缺陷数量及占比统计

根据《城镇排水管道检测与评估技术规程》(CJJ 181—2012),管段缺陷等级为Ⅲ级及以上时,结构缺陷严重,需进行修复^[7]。缺陷等级为Ⅱ级时,管段缺陷

明显超过一级,具有变坏的趋势,因此将Ⅱ级、Ⅲ级、Ⅳ级缺陷管道均纳入修复范围。同一管段内Ⅱ级及以上结构性缺陷数量不小于3处(或缺陷密度不小于0.1)时,采用整体修复。同一管段内Ⅱ级及以上结构性缺陷数量小于3处(或缺陷密度小于0.1)时,采用局部修复,但当其中某一处缺陷持续长度超过1.0m时,采用整体修复。

3 修复技术

目前工程应用较多的修复技术有原位固化法、垫衬法、不锈钢双胀环法、喷涂法等。其中,原位固化法与垫衬法、喷涂法又均可用于整体修复与局部修复。各整体修复技术、局部修复技术对比情况见表1、表2。

表1 整体修复技术对比情况

| 特性 | 修复技术 | | | |
|------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| | 紫外光原位固化法 | CIPP水翻固化法 | 垫衬法 | 机械制螺旋缠绕内衬法 |
| 适用管径/mm | DN200~DN1600 ^[8] | DN200~DN2000 | DN500~DN1200 ^[9] | DN600~DN3000 ^[10] |
| 一次可修复长度/m | 240 | 200 | 250 | 自行式不受限制;推进式:100 |
| 断面影响 | 基本无影响 | 基本无影响 | 管道直径减小30~40mm | 管道直径减小100~180mm |
| 施工条件 | 1.要求管道内干燥,无积水 2.固化设备形体较小,无需大型机械 | 1.要求管道内干燥、无积水 2.需要冷热水循环及存储设备,机械形体大 | 1.可带少量水作业 2.施工设备形体较小,无需大型机械 | 1.可带少量水作业 2.缠绕设备形体适中,无需大型设备 |
| 主要设备、材料 | 固化设备、牵引设备,纤维布、光敏树脂 | 水加热设备、存储设备、循环设备,纤维布、热硬化树脂 | 牵引设备、注浆设备,内衬垫、高微浆SG100 | 螺旋制管机、注浆设备,带状型材 |
| 最大允许转角/(°) | 45 | 45 | 15 | 15 |
| 工艺特点 | 管道接口少,整体性好,施工速度快,耐腐蚀性强 | 管道接口少,整体性好,耐腐蚀,在大管径修复中更为经济 | 设备简单,施工速度快,高微浆起到加固作用,整体结构强度较高 | 适用于错口2cm以内的管道修复,施工速度快,在大管径修复中更为经济 |

表2 局部修复技术对比情况

| 特性 | 修复技术 | | | |
|---------|---------------------------------------|--|--|--------------------------------------|
| | 点状原位固化法 | 局部垫衬法 | 不锈钢双胀环法 | 喷涂法 |
| 适用管径/mm | DN200~DN1500 ^[11] | DN800~DN1200 | DN800~DN2000 | DN800~DN2000 |
| 施工要求 | 管道内干燥,无积水 | 可带少量水作业 | 可带少量水作业 | 管道内干燥,无积水 |
| 作业方式 | 设备作业 | 人工作业 | 人工作业 | 人工作业 |
| 主要设备、材料 | 牵引设备、管内滑车、固化设备,纤维布、光敏树脂 | 内衬垫、高微浆SG100 | 牵引设备,双胀环 | 喷涂设备,水泥基聚合材料 |
| 过流能力影响 | 基本无影响 | 管道直径减小30~40mm | 局部过流能力减小 | 影响较小 |
| 注浆需求 | 无需注浆 | 需要注浆 | 无需注浆 | 无需注浆 |
| 工艺特点 | 适用于修复管道接口错位不大于5cm的缺陷,施工速度较快,修复位置耐腐蚀性强 | 适用于修复管道接口错位不大于5cm的缺陷,修复后管道断面减小,修复位置耐腐蚀性强 | 可修复管道接口错位不小于5cm的缺陷,施工速度快,修复后管道抗渗能力强、稳定性强,造价低 ^[12] | 适用于管道接口错位不大于2cm的缺陷,造价低,在大管径修复中具有一定优势 |

根据对不同整体修复、局部修复技术的对比情况,为了减少对周围通行环境的影响,在保证修复效

果的前提下尽量缩短工期,同时考虑工程经济性,本工程整体修复技术确定为:管径不大于1200mm

的管道采用紫外光原位固化法进行修复,管径大于1 200 mm的管道采用垫衬法进行修复。局部修复技术确定为:管径不大于1 200 mm的管道采用点状原位固化法,管径大于1 200 mm的管道采用不锈钢双胀环法进行修复。

4 设计参数

本工程对缺陷等级为Ⅱ级以上的管道进行结构性修复,修复后管道强度需满足受力要求,管道过流能力不低于原管道。

4.1 壁厚计算

原位固化法修复内衬管最小厚度计算如式(1)~式(4)所示,还应满足式(5)的要求^[13]。

$$t = 0.721 D_0 \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E_s'} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

$$q_t = 0.009 81 H_w + \frac{\gamma \times H_s \times R_w}{1 000} + W_s \quad (2)$$

$$R_w = 1 - 0.33 \times \frac{H_w}{H_s} \quad (3)$$

$$B' = \frac{1}{1 + 4e^{-0.213H}} \quad (4)$$

$$t \geq \frac{0.197 3 D_0}{E^{\frac{1}{3}}} \quad (5)$$

式中: q_t 为管道总外部压力,MPa; B' 为弹性支撑系数; H_w 为管顶以上地下水水位高,m; γ 为土重度,kN/m³; H 为管道埋深,m; H_s 为覆土厚度,m。主要参数取值见表3。

表3 内衬管壁厚计算主要参数取值

| 参数 | 内衬管管道外径 D_0 /mm | 水浮力系数 R_w | 活荷载 W_s / MPa | 内衬管长期弹性模量 E_L / MPa | 管侧土综合变形模量 E_s' / MPa | 内衬管壁厚 t /mm | 内衬管壁厚取值 /mm |
|----|-------------------|-------------|-----------------|-----------------------|------------------------|---------------|-------------|
| 值 | 500 | 0.89 | 0.026 96 | 13 000 | 7 | 3.34 | 5.0 |
| | 800 | | | | | 5.21 | 6.0 |
| | 1 000 | | | | | 7.12 | 8.0 |
| | 1 200 | | | | | 8.36 | 9.0 |

根据计算结果得:采用紫外光固化法对DN500、DN800、DN1 000、DN1 200管道进行修复的内衬管厚度取值分别为5.0 mm、6.0 mm、8.0 mm、9.0 mm。

采用垫衬法进行修复时,速格垫厚3.0mm,注浆厚度约为15mm。

4.2 过水能力计算

按照式(6)计算修复后管道流量,按照式(7)比较修复后管道过流能力与修复前管道过流能力。

$$Q = 0.312 \frac{D_E^{\frac{8}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (6)$$

$$B = \frac{n_e}{n_L} \times \left(\frac{D_L}{D_E} \right)^{\frac{8}{3}} \times 100\% \quad (7)$$

式中: D_E 为原管道内径,m; S 为坡度; n_e 为原管道粗糙系数; D_L 为内衬管内径,m; n_L 为内衬管粗糙系数,本工程为0.01。

经计算,本工程DN500、DN800、DN1 000、DN1 200、DN1 400、DN1 500管道修复后流量分别为0.17、0.46、0.76、1.23、1.86、2.24 m³/min,过流能力比值均达到120%以上,过流能力满足要求。

5 修复效果

本工程管道整体修复技术采用紫外光原位固化法、垫衬法,修复后管道内表面光洁平整、无划伤、无

褶皱等。局部修复技术采用点状原位固化法、局部垫衬法,修复位置与原管道紧密贴附、搭接平顺、牢固。管道闭水试验合格,满足修复要求。

6 结 语

本文结合广东省惠州市某截污管道非开挖修复工程,比较了常用的整体修复技术与局部修复技术的工艺特点,根据工程需要确定了针对不同管径的整体修复与局部修复工艺,并通过计算确定了主要技术参数,修复效果良好,为管道非开挖修复工程工艺选择提供一定借鉴。

参考文献:

- [1] 徐祖信,张辰,李怀正.我国城市河流黑臭问题分类与系统化治理实践[J].给水排水,2018,44(10):1-5,39.
- [2] 解铭,郑涛,虞峰,等.非开挖修复技术在上海市四平路排水管道修复中的应用[J].环境工程,2020,38(12):45-48,96.
- [3] 吴凡,李张卿,韩卫强,等.城市水环境治理中管道修复技术应用研究[J].给水排水,2022,38(增刊1):471-475.
- [4] 梁龙.综合整治工程中截污管道施工技术研究——以潭头渠为例[J].水利科学与寒区工程,2022,5(12):75-78.
- [5] 周洪川,陈意良,尤春伟,等.污水干管紫外光固化修复研究[J].市政技术,2021,39(12):102-106.
- [6] 赵士雄,宋清泉,杨元元.非开挖修复技术在某排水管道修复工程



图9 UHPC湿接缝浇筑效果

与泵送设备选型、搅拌过程、泵送浇筑与养护制度等工艺参数能满足现场实际工程的需要。

3 高温与低温环境条件下浇筑策略

3.1 高温环境条件下 UHPC 浇筑控制措施

高温环境加速了 UHPC 材料的水分流失, 极易导致 UHPC 流动性快速丧失而难以浇筑。UHPC 拌合物因温度高而水化速度加快, 极易产生施工冷缝。为解决上述难题, 在浇筑过程中采取相关措施如下。

- (1) 当现场气温高于 35 ℃ 时, 避开中午施工, 选择在早晨、傍晚或夜间施工;
- (2) 拌合水采用冰水, 搅拌开始前 1 h, 在拌合水中加入冰块, 冰和水的重量比为 1 : 4, 待冰块完全溶解后开始拌料, 有效控制 UHPC 拌合物的料温;
- (3) 在搅拌机和输送泵料斗上部加盖遮阳棚, 并对料斗中的 UHPC 进行喷雾增湿, 达到降温和保湿的目的;
- (4) UHPC 浇筑的同时, 及时对 UHPC 表面喷雾增湿, 防止表面因高温水分蒸发过快引起开裂;
- (5) UHPC 浇筑完成后, 立即进行喷雾并进行覆盖膜养护。

3.2 低温环境下 UHPC 浇筑控制措施

低温会降低水泥的水化反应速度, 从而使其强度发展缓慢, 不利于施工质量与施工效率。同时, 构件内部的 UHPC 水化反应加速时会产生大量热量, 与外部的低温环境形成温度差。研究表明, 当混凝土

内外温差超过 25 ℃ 时, 混凝土极易产生温差裂缝。针对上述难题, 在浇筑过程中采取相应措施如下。

- (1) 尽量在冬季中午气温较高时段进行施工, 避免早、晚低温时间;
- (2) UHPC 粉料和钢纤维存放于室内, 室温保存。使用前运至现场, 且覆盖土工布保温;
- (3) 拌合水使用热水, 水温在 50~60 ℃。确保 UHPC 拌合物的出机温度在 20 ℃ 左右;
- (4) 浇筑完成后, 在养护膜上方加盖保温层;
- (5) 在终凝后 2 h 进行膜下灌水养护时, 使用与 UHPC 浇筑体稳定相同的温水进行养护。

4 结 语

在排水工程中将 UHPC 作为预制拼装构件的湿接缝连接材料, 通过 UHPC 湿接缝浇筑工艺试验, 确定了搅拌和泵送设备选型、优选了 UHPC 材料、制定了 UHPC 拌制、浇筑与养护制度。同时针对高温和低温气候条件, 明确各项施工关键控制措施, 确保了 UHPC 湿接缝浇筑质量, 提高了施工效率, 并在一定程度上降低了施工成本。

参考文献:

[1] LI J Q, WU Z M, SHI C J, et al. Durability of ultra-high performance concrete: a review[J]. Construction and Building Materials, 2020(255): 119296.

[2] 2021 年中国超高性能混凝土(UHPC)技术与应用发展报告(上)[J]. 混凝土世界, 2022(2): 24-33.

[3] 2021 年中国超高性能混凝土(UHPC)技术与应用发展报告(下)[J]. 混凝土世界, 2022(3): 32-38.

[4] 陈宝春, 季韬, 黄卿维, 等. 超高性能混凝土研究综述[J]. 建筑科学与工程学报, 2014, 31(3): 1-24.

[5] 刘超, 黄钰豪, 陆元春. 新老桥间超高性能混凝土拼接接缝性能试验[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2019, 47(3): 322-330.

[6] 张永涛, 田飞. 预制桥面板 UHPC-U 形钢筋湿接缝受力性能试验研究[J]. 桥梁建设, 2018, 48(5): 48-52.

[7] 张兴志, 方明山, 刘佳玲, 等. 叠合梁斜拉桥桥面板超高性能混凝土湿接缝应用研究[J]. 施工技术, 2021, 50(6): 27-30.

[8] 郭绍霖. 用于湿接缝连接的 UHPC 收缩控制研究[J]. 城市道桥与防洪, 2022(7): 219-222.

(上接第 214 页)

中的应用[J]. 科学与信息化, 2022(14): 112-114.

[7] CJJ 181—2012, 城镇排水管道检测与评估技术规程[S].

[8] 周杨军, 蒋仕兰, 解铭, 等. 非开挖修复技术在城市排水管道维护中的应用[J]. 中国给水排水, 2020, 36(20): 58-62.

[9] 王雪. 垫衬法修复管道承载性状研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2019.

[10] 张盈秋, 王丰, 杨万航. 螺旋缠绕法用于超大口径排水管道非开挖

修复[J]. 中国给水排水, 2022, 38(6): 5-9.

[11] 居朝荣. 排水管道非开挖修复技术研究进展与工程应用[J]. 城市道桥与防洪, 2021(9): 119-121.

[12] 王新妍. 不锈钢双胀圈局部修复技术在排水管道中的应用[J]. 市政技术, 2020(3): 189-192.

[13] CJJ/T 210—2014, 城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程[S].