

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.03.045

# 非开挖修复工艺在污水处理提质增效项目中的应用

李佳良<sup>1</sup>, 刘建伟<sup>2</sup>

(1.南京国础科学技术研究院有限公司,江苏南京 210009; 2.南京市测绘勘察研究院股份有限公司,江苏南京 210019)

**摘要:**以南京市某老城区污水处理提质增效项目为例,根据管道检测评估结果,分析了管道健康状况,结合管道缺陷情况、作业环境、非开挖修复工艺的特点、适用条件和经济效益,设计了修复方案。介绍了紫外光原位固化、点状原位固化、不锈钢快速锁及检查井离心喷涂四种非开挖修复技术在污水处理提质增效项目中的应用,对非开挖修复效果进行了评估,可为类似工程提供参考。

**关键词:**排水管道;提质增效;非开挖修复

中图分类号: TU229.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)03-0179-04

## 0 引言

随着《江苏省城镇生活污水处理提质增效三年行动实施方案(2019—2021年)》、《江苏省城镇污水处理提质增效精准攻坚“333”行动方案》等相关政策的发布,南京市迅速响应,通过一系列项目的开展,深入推进实施污水处理提质增效。排水管网作为关系污水处理提质增效的关键因素,关注度与日俱增,据国家统计局数据显示,截至2019年底,我国城市排水管道长度已达到125万km<sup>[1]</sup>。随着排水管道运行时间的延长,老化程度逐渐加剧,出现了各种结构性缺陷,严重影响管道安全运行及污水处理提质增效,因此亟需对此类管道进行全面排查、修复,消除城市安全隐患,推进污水处理提质增效。与传统的开挖修复方式相比,非开挖修复具有施工速度快、周期短、占用交通资源少、环境友好、社会经济效益明显和使用寿命长等优势,在排水管道修复工程中的应用越来越广泛<sup>[2]</sup>。

## 1 项目背景

南京市某老城区排水管道年久失修,管道健康状况不佳,部分污水管道长期高水位运行,同时管道存在的破裂、渗漏、脱节等结构性缺陷,造成污水处理效率下降,末端污水处理厂进水浓度常年偏低,在夏季汛期尤其明显。为响应政策文件要求,该地区启动了污水处理提质增效项目,对项目范围内排水管

道进行全面的排查及修复。

## 2 检测评估结果

项目范围内存量市政管网约180km,覆盖面积约50km<sup>2</sup>,共涉及80条市政道路及4条河道,雨水管道约100km,管径为300mm≤DN≤2000mm,污水管道约80km,管径为400mm≤DN≤1000mm,其中沿(过)河管为污水主管,管径为600mm≤DN≤1000mm。经排查检测,以上管道均存在不同程度的结构性缺陷,累计缺陷数量3135处,Ⅲ、Ⅳ级缺陷1042处,占比33.3%,缺陷分布情况见表1。上述缺陷中渗漏共计265处,经分析,末端污水处理厂进水浓度偏低主要原因是市政污水管、沿(过)河污水主管渗漏,导致部分地下水、河水倒灌进入污水处理厂,夏季汛期地下水、河水水位较高,管道内外压力差增大,外来水渗入量增加,故汛期进水浓度低于其他时间段。因此污水管道渗漏缺陷是本项目的重点修复对象。

表1 管道结构性缺陷分布情况

缺陷名称	缺陷代码	定义	缺陷占比/%
错口	CK	同一接口的两个管口产生横向偏差,未处于管道的正确位置	43.50
腐蚀	FS	管道内壁受侵蚀而流失或剥落,出现麻面或露出钢筋	12.40
破裂	PL	管道的外部压力超过自身的承受力致使管子发生破裂。其形式有纵向、环向和复合3种	10.60
变形	BX	管道受外力挤压造成形状变异	9.70
渗漏	SL	两根管道的端部未充分接合或接口脱离	8.20
脱节	TJ	管外的水流入管道	6.80
其他	—	—	8.80
合计			100

收稿日期: 2022-09-28

作者简介: 李佳良(1988—),男,硕士,工程师,从事排水管道非开挖修复工作。

### 3 修复方案设计

本项目实施目的是污水处理提质增效,通过对问题管道的系统修复,提升末端污水处理厂进水浓度,同时兼顾消除管道结构性缺陷,提升过流能力,延长使用寿命,保障管道安全运行。根据检测评估结果,本着满足项目需求、成本优化合理的原则,根据管道缺陷情况、作业环境并结合紫外光原位固化等主流非开挖修复工艺的特点、适用条件和经济效益,进行了非开挖修复方案设计,详见表2。

表2 管道非开挖修复设计方案

管道类型	缺陷情况	管径/mm	修复工艺
污水管道	≥3处I~IV级渗漏或其他III、IV级结构性缺陷	400≤DN≤1 000	紫外光固化修复
	<3处I~IV级渗漏或其他III、IV级结构性缺陷	400≤DN≤800	点状原位固化
	不具备紫外光固化修复条件的沿(过)河管	800<DN≤1 000	不锈钢快速锁
雨水管道	≥5处III、IV级结构性缺陷	300≤DN≤1 000	紫外光固化修复
	<5处III、IV级结构性缺陷	300≤DN≤800	点状原位固化
检查井	砖砌井室,面层脱落、渗漏、腐蚀等缺陷井室	—	检查井离心喷涂

## 4 非开挖修复

### 4.1 紫外光原位固化

#### 4.1.1 工艺简介

紫外光原位固化法(UV-CIPP)是源自于德国的一种先进的整段非开挖修复工艺,其原理是采用牵拉方式将浸有光引发树脂的软管置入原有管道内,通过紫外光固化后形成管道内衬的修复方法。适用于各种材质、各种形状的管道,可修复破裂、渗漏、脱节等多种结构性缺陷,修复后可立即投入使用、过流能力增强、使用寿命延长。适用管径 200 mm≤DN≤2 400 mm,目前国内最大修复管径为 DN2000 mm<sup>[3]</sup>。

#### 4.1.2 工艺流程

紫外光原位固化法主要工艺流程如下:

管道预处理→底膜铺设→软管拉入→扎头安装→充气保压→拉入灯架→充气保压→紫外光固化→端头处理→抽出内膜→检测验收。

#### 4.1.3 质量控制要点

(1)软管长度:软管定制长度一般为两检查井中心距离,对于起伏、拐弯的管道应留有一定余量,满足扎头安装和固化后取样要求。

(2)固前检查:固化前,应检查扎头是否安装牢固,软管是否紧密贴合原管壁且无褶皱,内膜是否完好、无漏气现象,井室水位是否控制在有效范围内等。

(3)压力控制:修复过程中给压、泄压次数与保压时间需符合操作规程和规范要求。

(4)温度控制:固化温度控制,确保符合材料施工和规范要求。

(5)走灯速度:根据光源类型、功率、管径大小、材料规格、材料厚度综合确定,应符合操作文件要求。

(6)固后检测取样:固化后全数 CCTV 检测修复效果,表面应光洁、平整,无汽包、泛白和软弱带,根据规范及设计要求取样送检,检测内衬管壁厚、短期力学性能及耐化学腐蚀性能。

#### 4.1.4 材料性能

固化后内衬管短期力学性能指标见表3。

表3 固化后内衬管短期力学性能指标[3]

性能		实测指标	指标要求
弯曲强度/MPa		245	>45
弯曲模量/MPa		9 232	>6 500
抗拉强度/MPa		188	>63
耐化学腐蚀	水	弯曲强度 96%、 弯曲模量 97%	弯曲强度和弯曲模量检测结果不应小于样品初始弯曲强度和弯曲模量的 80%
	NaOH (pH=10)	弯曲强度 92%、 弯曲模量 95%	
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH=1)	弯曲强度 92%、 弯曲模量 93%	

### 4.2 点状原位固化

#### 4.2.1 工艺简介

点状原位固化属于局部修复工艺,其原理是将经树脂浸透后的织物缠绕在修复气囊上,拉入到待修复位置,修复气囊充气膨胀后使树脂织物压粘于管道内壁上保持压力待树脂固化后形成内衬筒的修复方法,亦称为点状 CIPP 法。该方法适用于各种材质管道结构性缺陷有破裂、渗漏、错口、脱节等情况,也适用在管道基础结构基本稳或管道接口处做预防性修复,以1环为修复单位,对有一定延伸长度的缺陷,可多环连续修复,常温固化时间一般为1~2h。适用管径 200 mm≤DN≤1 500 mm,受修复气囊大小及检查井作业空间限制,一般常用于 DN800 mm 以下管道<sup>[3]</sup>。

#### 4.2.2 工艺流程

点状原位固化法主要工艺流程如下:

管道预处理→织物裁剪→固化剂配置→固化剂涂抹→织物绑扎→定位修复→检测验收。

#### 4.2.3 质量控制要点

(1)均匀涂胶:固化剂涂抹应均匀、全覆盖,并注

意边缘压实,从而使固化剂能充分渗透到织物内部。

(2)织物绑扎:用细铁丝将织物绑扎到修复气囊上,铁丝不宜过紧,防止气囊膨胀压力不均匀,影响内衬管舒展。

(3)定位修复:利用 CCTV 机器人配合标定修复点的牵引位置,或利用已知长度,通过绳索标记定位。

(4)压力控制:控制在标准范围内,保证软管紧贴原管道内壁,不得超过软管和气囊承受压力。

(5)时间控制:修复气囊拖入管道时间应控制在固化剂搅拌后 10~15 min,在 18 min 内完成充气,固化时间在 1~2 h。

(6)固后检测:固化后,全数 CCTV 检测固化效果,修复位置正确,表面光洁、平整,无分层、破损、渗水现象。

#### 4.2.4 材料性能

固化后内衬管短期力学性能指标见表 4。

表 4 固化后内衬管短期力学性能指标

性能	实测指标	指标要求
弯曲强度 /MPa	232	>45
弯曲模量 /MPa	12 500	>6 500
抗拉强度 /MPa	138	>63
耐化学 腐蚀	水	弯曲强度和弯曲模量检测结果不应小于样品初始弯曲强度和弯曲模量的 80%
	NaOH (pH=10)	弯曲强度 98%、 弯曲模量 94%
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH=1)	弯曲强度 97%、 弯曲模量 92%
		弯曲强度 95%、 弯曲模量 94%

### 4.3 不锈钢快速锁

#### 4.3.1 工艺简介

不锈钢快速锁是一种局部修复工艺,是将专用不锈钢扩充后,用橡胶密封圈挤压在原管道缺陷位置形成管道内衬,从而达到修复效果的修复方法。适用于各种材质的圆形管道出现渗漏、脱节等结构性缺陷修复,以 1 环为修复单位,对有一定延伸长度的缺陷,可多环连续拼接安装。适用管径 300 mm ≤ DN ≤ 1 800 mm, DN800 mm 以下管径快速锁采用专用修复气囊进行安装, DN800 mm 以上管径采用多片式快速锁结构进行人工安装<sup>[4]</sup>。

#### 4.3.2 工艺流程

本项目不锈钢快速锁修复为 DN800 mm 以上管径,采用人工进入管道内部安装的方式,主要工艺流程如下:

管道预处理→环片下入管道→环片预拼装→橡胶套内表面润滑→安装位置标记→校准→定位安装→安装工具拆卸→检测验收。

#### 4.3.3 质量控制要点

(1)修复前检查:检查原管道预处理状况,保证人工进入通畅、修复点位洁净、无尖锐毛刺和凸起物。

(2)原材存储:橡胶套应在低温、干燥的地方保存,保存期不超过允许期限。

(3)原材检测:进场检测外观、尺寸、厚度,取样测试力学性能指标。

(4)安装控制:先将环片预拼装成小直径钢套,再将橡胶套套在不锈钢套上,然后置于缺陷处,采用扩张器缓慢扩展快速锁,确认贴合后锁死紧固螺栓,完成拼装。

(5)修复后检测:全数 CCTV 检测修复效果,修复位置正确,修复材料全部覆盖缺陷,安装牢固,新旧管道过渡平缓,修复后的位置无渗水、漏水现象。

#### 4.3.4 材料性能

不锈钢及橡胶性的性能指标见表 5。

表 5 不锈钢及橡胶性能指标

部位	性能	指标要求	实测指标
不锈钢	规定塑性延伸强度 /MPa	≥205	254
	抗拉强度 /MPa	≥515	634
	断裂延伸率 /%	≥40	57.5
橡胶套	拉伸强度 /MPa	≥300	9.4
	拉断生产率 /%	≥9	486
	硬度(邵尔 A)	50 ± 5	53

### 4.4 检查井离心喷涂

#### 4.4.1 工艺简介

检查井离心喷涂修复原理是采用专用的喷涂设备,通过高速旋转的离心喷头将修复用水泥基材料均匀覆盖在井壁表面,形成内衬的修复方法。修复用水泥基材料具有强度高、耐腐蚀等性能,修复后可显著提升检查井的使用寿命。适用于圆形检查井井壁修复,检查井修复直径不宜超过  $\phi 3\ 000\text{ mm}$ <sup>[4]</sup>。

#### 4.4.2 工艺流程

检查井离心喷涂主要工艺流程如下:

井壁清洗→渗漏、破裂部位局部修补→砂浆配置→喷涂作业→砂浆养护→检测验收。

#### 4.4.3 质量控制要点

(1)修复前检查:井室表面平整、洁净,喷涂前保证基底处于湿润状态,不应有明显水流和积水。

(2)原材检测:对出厂合格证、质量检测报告检查,要符合设计文件规定。需对大批量材料抽样复检,如凝结时间、抗压强度、抗折强度等。

(3)砂浆制备:按材料参数控制水灰比,使用洁净自来水,控制搅拌时间。

(4)喷涂控制:旋喷器居中置于井内,匀速行进,根据管径和泵送排量控制旋转速度。

(5)养护时间:喷涂完成后,养护时间符合材料凝结时间和标准要求,缓慢通水,严禁激烈水流冲刷。

(6)修复后检测:插入检测或标记钉检测喷涂厚度,CCTV检测喷涂效果,需做到表面洁净、喷涂均匀、结合紧密。

4.4.4 材料性能

水泥基材料的性能指标见表6

表6 水泥基材料性能指标

性能	龄期	指标要求	实测指标
凝结时间 /min	初凝	≥45	35
	终凝	≤360	260
抗压强度 / MPa	28 d	≥25.0	188
抗折强度 / MPa	28 d	≥4.0	8.6
拉伸粘结强度 / MPa	28 d	≥1.0	1.05
抗渗压力 / MPa	28 d	≥1.5	1.6

5 结论与建议

(1)本项目采用紫外光原位固化等多种修复工艺对问题管道进行修复,消除了管道渗漏及其他重度缺陷,恢复了管道的排水功能,延长了管道的使用

寿命。

(2)每种非开挖修复工艺都有一定的适用条件,应根据项目需求、成本控制、管道缺陷情况和实际工况等方面因地制宜地选择最佳的修复方法,因此一个成功的非开挖修复项目往往采用多种修复工艺相结合的修复方案。

(3)收集项目完工后1a内污水处理厂进水浓度数据,与同期往年平均数据相比,各项数据均有了不同程度的提高,其中COD提升45.3%,氨氮提升37.4%,总磷提升58.3%,提升了污水处理效率。

(4)污水处理提质增效项目除了对市政排水管网进行排查、修复外,还应进行源头治理,对汇水范围内住宅小区、企事业单位等内部排水管网进行系统排查与整改,消除雨污混接,才能达到更好的实施效果。

参考文献:

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.中国城乡建设统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2020.  
 [2] 安关峰.城镇排水管道非开挖修复工程技术指南[M].北京:中国建筑工业出版社,2021.  
 [3] CJJ/T 210—2014,城镇排水管道非开挖修复更新技术规程[S].  
 [4] T/CECS 717—2020,城镇排水管道非开挖修复工程施工及验收规范[S].

(上接第174页)

在掘进过程中,为降低刀具非正常损坏频率,刀盘扭矩控制不超过3000kN·m。

6 效果验证

徐州地层以中风化岩为主,风化程度弱,强度高,且岩溶发育,见洞率高,规律性差,富水。类似地层实属国内罕见。针对溶洞发育的富水复合地层中盾构刀具非正常损坏严重的问题,采用改变刀圈成型工艺、调整刃形、刀圈梯度热处理、刀具螺栓防松

脱加固、盾构掘进参数控制等手段,减少了刀具损坏数量,降低了刀具更换的次数,从而实现了盾构施工成本控制和换刀安全的控制。

参考文献:

[1] 周喜温.土压平衡式复合盾构刀盘的刀具优化配置研究[D].湖南:中南大学,2010.  
 [2] 缪楠.复杂地层盾构刀盘磨损处理技术[J].建筑机械化,2015,36(5):53-55,67  
 [3] 李强.盾构穿越半断面硬岩段掘进刀具磨损控制技术[D].上海:同济大学,2017.