

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.10.021

非开挖修复技术用于大口径截污管道改造工程

卫佳¹, 许怀奥¹, 方帅¹, 邱栋¹, 孙未¹, 李晶¹,
王阳¹, 赵志宾², 姚瑞明³

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381; 2. 天津倚通科技发展有限公司, 天津 300392; 3. 北辰<上海>环境科技有限公司, 上海 200233)

摘要: 某市沿河大口径截污管道非开挖修复工程作为长江大保护首批落地的重点项目之一,也是当地水环境治理的一个重要环节。通过声呐、潜望镜和闭路电视等多种检测手段发现,此段截污管道存在大量缺陷,亟待改造。通过分析,决定采用砂浆喷涂法、紫外光固化法及螺旋缠绕法等三种修复方式,以应对不同位置、不同类别及等级的缺陷修复要求。详细介绍了部分修复技术、施工流程以及修复效果,可为今后同类型项目提供借鉴。

关键词: 长江大保护; 水环境治理; 非开挖修复; 砂浆喷涂

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)10-0126-07

Application of Trenchless Rehabilitation Technology in Reconstruction of Large Diameter Intercepting Sewage Pipeline

WEI Jia¹, XU Huai-ao¹, FANG Shuai¹, QIU Dong¹, SUN Wei¹, LI Jing¹,
WANG Yang¹, ZHAO Zhi-bin², YAO Rui-ming³

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China; 2. Tianjin Yitong Science and Technology Development Co. Ltd., Tianjin 300392, China; 3. Beichen <Shanghai> Environmental Technology Ltd., Shanghai 200233, China)

Abstract: As one of the first key projects of Yangtze River protection, the trenchless rehabilitation project of a city's large-diameter intercepting sewage pipeline along the river is also an important link of the local water environment treatment. Through Sonar, QV, CCTV and other means of inspection, it is found that there are a lot of defects in this section of the intercepting pipeline, which need to be improved urgently. According to the analysis, it is decided to adopt mortar spraying method, UV curing method and spiral winding method to repair the defects in different positions, types and grades. The rehabilitation technology, construction process and rehabilitation effect are elaborated, which can provide reference for similar projects in the future.

Key words: Yangtze River protection; water environment treatment; trenchless rehabilitation; mortar spraying

某市作为全面参与长江大保护工作的首批试点城市之一,率先开展沿河大口径截污管道的非开挖修复工作,提升源头污水到污水厂的运输效能,对提质增效意义重大。

城市不断发展,排水设施的建设质量及运行维护不到位,导致已建排水管道出现了破裂、错口、脱节、变形、腐蚀、异物穿入、障碍物、淤积等问题,严重影响了管道的正常运行。管道非开挖修复技术由于

具有对周边环境影响小、施工周期短、效率高等优势,逐渐被业内应用于排水管道的改造。根据现状管道的实际情况,在进行深入摸排和工艺比选后,决定采用以不同的修复技术相结合的方式应对不同缺陷类型的管道修复工作。

1 工程概况

某市沿河大口径截污管道(长虹大道一污水厂段)于2011年建成投入使用,已运行10余年^[1]。管道总长度5.83 km,管材主要为钢筋混凝土管,管径为DN1 500~DN2 200,平均埋深约10 m,共包含59座混凝土检查井。经人工清淤后,采用声呐、潜望镜(QV)及闭路电视(CCTV)等多种检测手段,共发现管道缺陷563处,其中一级缺陷499处,二级缺陷47处,三级缺陷9处,四级缺陷8处,并存在52座缺陷检查井。

管井存在着大量渗漏点,部分管道存在严重的脱节、错位等问题,严重影响了管道内的污水浓度以及周边河道水体的水质(见图1)。

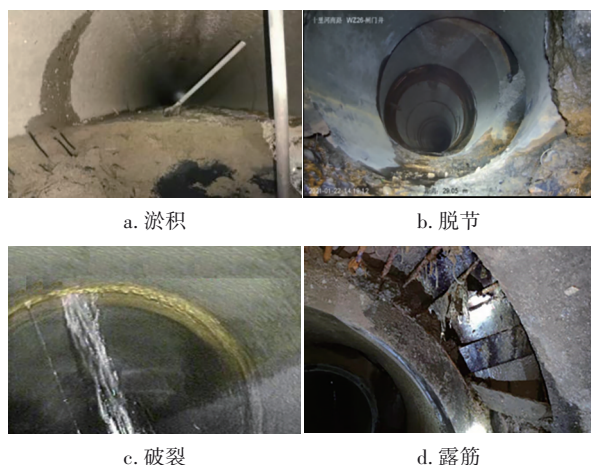


图1 已建管道缺陷

Fig.1 Defects in built pipeline

为了提高污水输送管道的密闭性和结构完整性,降低污水外渗和地下水内渗的可能性,决定对问题管段实施改造。由于管道位置埋设于河道沿岸景观步道及市政道路之下,95%以上的管段位置不具备开挖翻排的条件。根据管道缺陷等级、路由以及工程目标等因素综合考虑,确定采用原位非开挖修复的改造方案。

2 缺陷判定

根据《城镇排水管道检测与评估技术规程》(CJJ 181—2012)等相关规范,管道缺陷可分为结构

性缺陷与功能性缺陷。其中功能性缺陷在前期预处理时,配合人工清理及清淤措施,一般可以得到修复。功能性缺陷指影响管道通水能力的缺陷,比如沉积、结垢、树根、注水、坝头、浮渣、障碍物等,一般通过机械加人工清捞等方式可以清除,也是管道非开挖修复前必要的预处理环节。真正的管道修复主要针对结构性缺陷。

导致结构性缺陷的主要因素如下:①管理因素。管道养护运维不到位,缺少定期检查和保养,资金投入不足。②自然因素。管道长期使用过程中的腐蚀、冲刷和管道本身自然老化等。③地质因素。管道位于河边,其周边土体含沙量高,稳定性差,若管道存在内渗漏,极易导致管道周围土体流失和空洞的产生,使管道产生不均匀沉降等现象。④质量因素。钢筋混凝土管道材质本身刚性强,但管道长期过流含有硫化氢等腐蚀性物质的污水,造成管壁变薄,甚至钢筋裸露,降低了管道的力学性能和使用寿命。⑤施工因素。施工单位野蛮施工,不按图纸规范施工,施工过程中偷工减料,极易导致管道的质量标准下降。管段结构性缺陷等级评定对照见表1。

表1 管段结构性缺陷等级评定对照

Tab.1 Comparison of pipe segment structural defect rating

等级	修复指数(RI)	修复建议及说明
I	$RI \leq 1$	结构条件基本完好,不修复
II	$1 < RI \leq 4$	结构在短期内不会发生破坏,但已出现较为明显的结构性缺陷,应制定修复计划,尽快修复
III	$4 < RI \leq 7$	结构在短期内可能会发生破坏,立即修复
IV	$RI > 7$	结构已经发生或即将发生破坏,立即修复

由表1可以看出,由RI来确定修复等级,等级越高,修复的紧迫性越强。

考虑到本次修复段管道的重要性以及存在运行时间长、作业难度大、协调步骤多、施工时间紧及有限空间作业安全风险等难度因素,因此在缺陷判定和技术比选时采取了偏保守的工程方案。准确判定管道缺陷,也为修复方案的正确选择提供了可靠的基础依据。

3 修复工艺

3.1 技术经济对比

适用于本项目 DN1 500~DN2 200 钢筋混凝土

管道的修复技术,主要有水泥基砂浆喷涂法、机械式螺旋缠绕法、紫外光固化法以及热水翻转固化法^[2]等4种非开挖修复方法。工艺对比见表2。

表2 不同类型非开挖修复工艺对比

Tab.2 Comparison of different types of trenchless rehabilitation technology

项目	修复方法			
	水泥基砂浆喷涂法	机械式螺旋缠绕法	紫外光固化法	热水翻转固化法
适用管径	≥ DN600	DN150~DN3 000	DN150~DN1 800	DN150~DN2 000
适用管材	钢筋混凝土管	所有管材	所有管材	所有管材
修复材料	砂浆等喷涂材料	PVC带状型材、填充注浆材料	内衬含玻纤软管、不饱和树脂	内衬含玻纤软管或无纺布、不饱和树脂
允许转角/(°)	无限制	≤15	≤22.5	≤45
是否注浆	土体注浆	新旧管道之间注浆	土体注浆	土体注浆
过流能力	无影响	受影响	无影响	无影响
带水作业	否	1/3管径(宜<30 cm水深)	否	否
力学性能	半结构性或结构性修复	结构性修复	半结构性修复	半结构性或结构性修复
工程造价	高	较高	一般	较低
施工工期	一般	较快	快	较快
作业方式	设备+人工协助	设备+人工协助	设备+人工协助	设备+人工协助
可否中断施工	可以	可以	不可以	不可以
适用方向	适宜弧度明显且无检查井、有明显结构性破损的大口径管道整体或局部修复	较适宜无明显弧度、较笔直、有明显结构性破损的大口径管道整体修复	较适宜无明显弧度、发生变径且无检查井、有结构性破损的管道整体或局部修复	较适宜无明显弧度、发生变径且无检查井、有结构性破损的管道整体或局部修复

通过对截污管道分段摸排结果进行分析及技术比选,针对大口径管道中不同位置、不同类别及等级的缺陷,决定选用水泥基砂浆喷涂法、机械式螺旋缠绕法及紫外光原位固化法等三种方法进行非开挖修复。首先,针对部分暗埋、转角、脱节、错口等问题较严重的管段以及存在缺陷的检查井,采用材料占地面积小、操作灵活的水泥基砂浆喷涂法进行结构性修复;针对直线段(仅允许微转角)大口径管道的修复,采用可带水作业的机械式螺旋缠绕法;而其他管径略小的管段采用紫外光固化法进行修复。

综合运用三种方法,有针对性地分段修复,不但解决了管道渗漏、破损等缺陷问题,而且延长了管道的使用寿命。

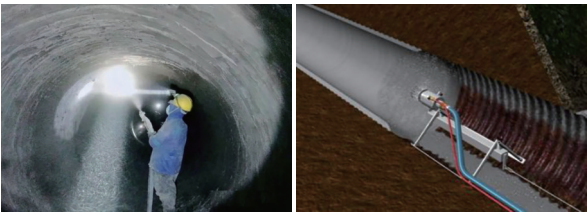
3.2 水泥基砂浆喷涂法

① 技术原理

水泥基砂浆喷涂法:采用不同喷筑方式在管道内壁形成一个坚固的高性能水泥基砂浆内衬管。对于管道、箱涵及其他排水构筑物,可采用人工喷

涂方式,亦可采用机械离心喷涂方式。

人工喷涂和离心喷涂如图2所示。



a. 人工喷涂 b. 离心喷涂

图2 人工喷涂和离心喷涂

Fig.2 Manual spraying and centrifugal spraying

将预先配制好的无机防腐水泥基砂浆泵送到位于管道中轴线上、由压缩空气驱动的高速旋转喷涂器上,浆料在高速旋转离心力作用下均匀甩涂到管壁上,同时通过专用绞车牵拉喷涂器沿管道匀速滑行,在管壁形成厚度均匀、连续的内衬,每层喷筑厚度通常控制在1 cm。当设计内衬厚度较大时,可分多层喷筑施工,在前一层砂浆终凝后则可进行下一层的喷筑。

施工工艺流程如下:

a. 管道预处理。彻底清除管道内的淤积物,采用高压水清除管壁上的浮泥、松散腐蚀层等;清除管内全部碎屑物,混凝土管道在内衬修复前,应保持表面潮湿,并对管壁上的所有接口、沟缝、破洞等进行密封和填充,将管壁凸起物去除,使管道内壁平整。

b. 旋喷器就位。管道预处理后,将离心喷筑专用的旋喷器安置到待修复管段尾端(牵引端对面),连接好料管、气管及牵引钢绳,调节喷涂器高度使之大致处于管道中轴线高度,在管口进行试喷筑以确定各项参数正常。

c. 内衬喷筑。根据管道口径、单次喷筑厚度及输浆泵的排量,确定牵引速度,确保内衬厚度均匀。需要进行多层喷筑时,须在前一层终凝后方可进行下一层的喷筑。在喷筑过程中,若出现供料不及时,可在原地暂停施工,待恢复供料后重新启动喷涂设备。

② 技术特点

砂浆喷涂法可用于对混凝土、陶土、砖砌、金属及塑料管材等各类排水管道及检查井的非开挖修复工作,其主要技术特点有:a. 适用于 DN300~DN3 000 排水管道及排水检查井的结构性修复^[3]; b. 全自动旋转离心喷筑,涂层均匀、致密,厚度可调;c. 内衬材料可在潮湿基体表面喷筑,强度高、耐久性好,管道断面损失小;d. 内衬材料与混凝土、砖石砌体等牢固粘结,对基底上的缺陷、孔洞、裂缝等有填充和修补作用,使既有结构得到加强;e. 内衬厚度可自由调节,管道变径、转弯、台阶、错位等问题均不会影响内衬的整体性;f. 单一段修复距离最长可达 200 m,不同施工段的内衬可无缝连接;g. 对于破坏严重的大口径管道及检查井,可在内衬层间添加钢筋网或其他增强材料,以实现更高的结构强度。

③ 技术参数

在工程设计及施工过程中,技术团队克服了大口径、大埋深、单次修复管段长及工期紧等难题,将部分不适合采用紫外光固化法和螺旋缠绕法进行处理的缺陷管段以及存在缺陷的检查井,全部进行了水泥基砂浆喷涂修复。采用水泥基材料喷筑法进行整体修复(挂钢筋网),钢筋 $\varnothing 6$ mm,环筋分布间距 10 cm,横筋分布间距 20 cm,砂浆喷涂厚度 4 cm。在管道连接处(薄弱环节)采用环向喷涂修复

处理工艺,在连接处两侧延伸搭接 10~15 cm,喷涂厚度一般可控制在 3~4 cm。检查井修复采用离心喷筑法与人工喷筑法相结合的技术方案。

喷涂材料选用了比国家标准要求更高的材料,是基于水泥砂浆内衬和喷射混凝土内衬的经验研发出来的一种细骨料混凝土复合材料,属于水泥基材料的一种。该材料具有优良的力学性能、耐久性、抗渗及喷抹等特性,可在潮湿表面使用,主要用于不同材质(如混凝土、陶土、砖砌、石砌、金属及塑料等)市政检查井、排水管道及各类箱涵、隧道等的非开挖加固和修复。

在该材料配方中添加了抗菌成分,使其具备了长期抵御市政污水硫化氢环境下微生物腐蚀的性能,具体性能参数见表 3。

表 3 修复材料性能要求

Tab.3 Performance requirements of repair materials

技术项目		性能要求	测试方法
凝结时间/min	初凝	≤120	《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB/T 1346—2011)
	终凝	≤360	
抗压强度/MPa	24 h	≥25	《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》(GB/T 17671—2021)
	28 d	≥65	
抗折强度/MPa	24 h	≥3.5	
	28 d	≥9.5	
静压弹性模量/GPa	28 d	≥30	《建筑砂浆基本性能试验方法标准》(JGJ/T 70—2009)
拉伸粘接强度/MPa	28 d	≥1.2	
抗渗性能/MPa	28 d	≥1.5	
收缩率/%	28 d	≤0.1	
抗冻性/(100次循环)	28 d	强度损失≥5	
耐酸性	5% 硫酸液腐蚀 24 h	无剥落、无裂痕	《水性聚氨酯地坪》(JC/T 2327—2015)
	10% 柠檬酸； 10% 乳酸；10% 醋酸腐蚀 24 h		

水泥基砂浆拌料用水采用洁净的自来水,搅拌时间 5 min,超过 45 min 使用期的浆料不再使用。施工前,应保证管道及检查井基底处于湿润状态,没有明显的水流且需对待修复管壁及井壁进行较彻底的预处理,以提高内衬与管井内壁的黏结力^[4]。

④ 修复效果

根据CCTV检测显示,管道修复完成后,管内无影响管道结构和功能的损伤和缺陷,并且过水能力和结构强度显著提升。检查井修复后,井壁平滑无凸点,彻底解决了破裂、渗漏等问题,具体情况见图3、4。

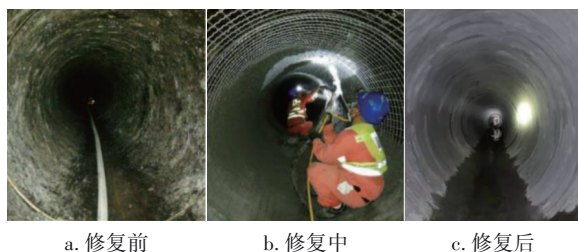


图3 管道修复前、中、后对比

Fig.3 Comparison of pipeline before, during and after repair

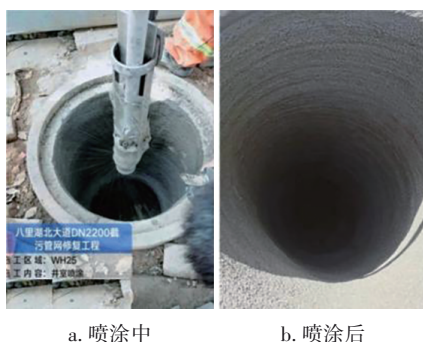


图4 检查井修复前、后对比

Fig.4 Comparison of inspection wells before and after repair

3.3 紫外光原位固化法

① 技术原理

紫外光原位固化工艺是将玻璃纤维内衬管依靠卷扬机牵引“拖”入既有管线,然后用风机将内衬管“吹”鼓并紧贴原管;紫外灯架通过管道扎头进入内衬管,通过紫外光照射内衬管,使其固化。整个过程内衬管需保持压力,使其与原管紧密贴合,待固化完成后,管道内压力降到大气压后,卸掉扎头,取出紫外灯架。新管冷却至常温后,切除端口外多余内衬软管后,完成修复(见图5)。

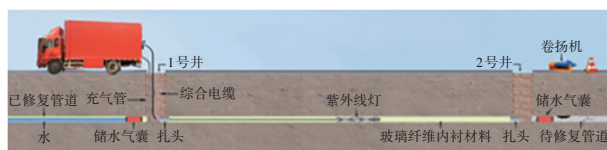


图5 紫外光固化修复工艺示意

Fig.5 Schematic diagram of ultraviolet light repair technology

② 技术特点

a. 无需开挖路面,只需利用检查井即可对排水管道进行整体修复,可修复排水管道存在的破裂、错口、脱节、异物入侵、渗漏等结构性缺陷。

b. 修复管径为DN150~DN1 800,且适用于截面为圆形、椭圆形等多种变径和弧度 $\leq 22.5^\circ$ 的管道。

c. 内衬层光滑、连续,厚度为3~15 mm,不但降低了管道的表面粗糙度,而且提高了管道的输送能力。修复后的管道内径与修复前相差10 mm以内,且内壁光滑平整,极大地改善了管道的过流能力。

d. 含玻璃纤维的内衬管基材韧性好、强度高,与复合树脂浸渍相熔性好,固化后弯曲模量最高可达12 000 MPa,具有较好的耐腐蚀、耐磨损等性能,设计寿命长达50年。

e. 具有施工周期短(单段固化时间3~5 h)、环境影响小、不影响交通、施工安全性佳等优势。

f. 相比热水翻转原位固化法,该技术不产生废水,不需加热水体,更加节约能源。

③ 技术参数

紫外光原位固化修复技术具有施工周期短、施工安全性佳等优势,适用于口径相对略小管道的非开挖修复作业。根据《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》(CJJT 210—2014)相关规定^[5],确定内衬管采用由遮光外膜、耐酸性玻璃纤维、光硬化树脂和内膜四部分组成的复合材料,性能应满足规范要求。不同管径对应的修复壁厚不同,本次DN1 500截污管段采用厚度为12 mm的玻璃纤维复合材料。

内衬管的短期力学性能要求和测试方法见表4。

表4 内衬管的短期力学性能要求和测试方法

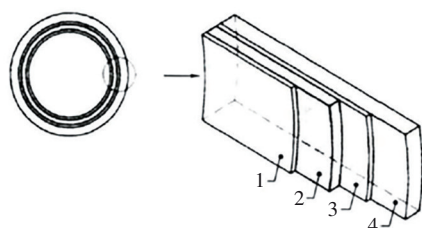
Tab.4 Short-term mechanical properties requirements and test methods for lined pipes MPa

性能指标	规范要求	测试方法
弯曲强度	>45	《纤维增强塑料弯曲性能试验方法》(GB/T 1449—2005)
弯曲模量	>6 500	
抗拉强度	>62	《塑料 拉伸性能的测定 第4部分:各向同性和正交各向异性纤维增强复合材料的试验条件》(GB/T 1040.4—2006)

内衬管的短期力学性能要求和测试方法应符合表4规范要求,长期力学性能应根据设计要求进

进行测试,且不应小于初始性能的50%。内衬管应进行耐化学腐蚀试验,试验方法应按现行《塑料耐液体化学试剂性能的测定》(GB/T 11547—2008)等相关规定执行。

原位固化内衬管的结构层应包括永久或临时内膜、结构层或静态层、外膜。固化后,外膜应紧紧贴住原有管道(见图6)。



1. 永久/临时内膜 2. 结构层/静态层 3. 外膜 4. 原有管道

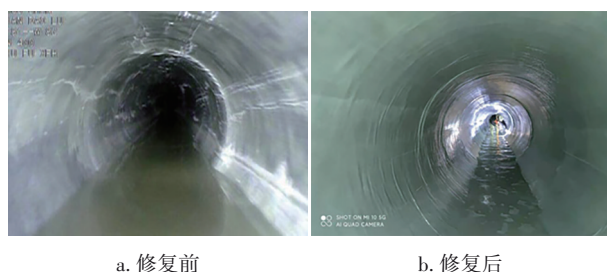
图6 紫外光固化后管道结构示意图

Fig.6 Schematic diagram of pipeline structure after UV curing

④ 修复效果

根据CCTV检测结果,修复后管道内壁光滑,强度明显提升,提高了过流能力。

修复前、后管道对比见图7。



a. 修复前

b. 修复后

图7 管道修复前、后对比

Fig.7 Comparison of pipeline before and after repair

3.4 机械式螺旋缠绕法

① 技术原理

机械式螺旋缠绕技术是唯一“可带水作业”的整体非开挖修复技术。该工艺是将工厂预制好的UPVC带状型材及不锈钢带,同步送至检查井室内提前组装好的可拆解缠绕设备上,两种材料以螺旋的形式缠绕前进,在原有管道内缠绕形成一条固定直径的连续、无缝的结构性防水内衬新管,并在旧管和新管的间隙注入水泥浆进行填充,从而形成一条具有良好水密性和高强度的钢塑加强型新管。

② 技术特点

a. 可带水作业,即使管内有少部分水流(水深<

30 cm为宜),在保证人员安全的情况下,仍可进行修复作业。

修复管径范围为DN600~DN3 000。

b. 简单清理后即可施工,无需对原管道钢筋裸露等问题进行预处理,具有不需要清洁原管内壁、施工速度快、工期短等优点。

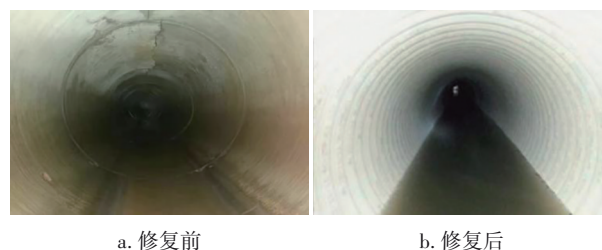
③ 技术参数

机械式螺旋缠绕修复技术具有修复过程时间短、机动灵活、可带水作业等优势,适用于大口径截污管道中直线段(允许微转角)管道的非开挖修复作业。

反复论证后,项目团队最终选用了特种硬聚氯乙烯(UPVC)带状型材与1.2 mm厚度不锈钢带相结合的修复材料。

④ 修复效果

CCTV检测结果显示,修复工作完成后,管道内壁光滑,结构强度显著提升。修复前、后管道对比见图8。



a. 修复前

b. 修复后

图8 管道修复前、后对比

Fig.8 Comparison of pipeline before and after repair

4 工程效果

某市沿河大口径截污管道总长度为5.83 km,修复工程共分为3个管段:①十里河南路段,管道长度2 km,管径DN2 000;②兴业大道段管道长度1.29 km,管径DN2 000(其中跨河段为2×DN1 500);③八里湖北大道段,管道长度2.54 km,管径DN2 200。最终共完成整体喷涂修复段1 007 m,局部喷涂修复段2 144 m,紫外光固化修复段197 m,螺旋缠绕修复段1 959 m,无需修复段523 m。

针对管道污水汇入前端和汇入末端,通过4 d的COD浓度监测,得到如表5所示的修复前后的2组数据。

修复前,截污管道前端污水COD平均浓度为100 mg/L,末端污水COD平均浓度为46 mg/L,COD浓度衰减率为54%。修复完成后,截污管道前端污

水COD平均浓度为203 mg/L,末端污水COD平均浓度为141 mg/L,COD浓度衰减率由修复前的54%降至30%左右,水质浓度得到明显提升。

表5 修复前、后管道前端/后端COD浓度对比

Tab.5 Comparison of COD concentration at front and back ends of pipeline before and after repair

mg·L⁻¹

修复前		修复后	
测定时间	大直径管道前端/后端COD	测定时间	大直径管道前端/后端COD
2019-03-20	99/48	2021-01-05	181/161
	90/45		184/159
2019-03-23	107/49	2021-01-11	201/105
	102/44		202/110
2019-03-26	110/51	2021-01-14	173/135
	86/43		168/136
2019-03-31	99/46	2021-01-17	248/164
	107/42		264/157
平均值	100/46	平均值	203/141
注: 监测频率为每日取样两次,第一次为12:00—14:00,第二次为18:00—20:00。			

5 结论

某市沿河截污管道非开挖修复工程的实施,大幅减少了外水入渗及污水外渗现象的发生,为河道水质达标及污水厂的提质增效提供了强有力的保障。对于无法开挖翻排的管段,采用非开挖修复技术进行作业,是现阶段内十分有效的技术手段。在不影响交通、不破坏绿化和路面的基础上,完成了对地下管线的改造更新。在工程实施过程中,项目团队克服了大流量长距离雨污水导排、有限空间安全作业等难题,最终成功修复了直径达2.2 m的大口径排水管道,不仅为项目通过考核打下坚实的基础,更为后续同类型项目积累了宝贵的建设经验。

参考文献:

- [1] 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.
- ZHOU Yangjun, JIANG Shilan, XIE Ming, *et al.*

Application of trenchless repair technology in urban drainage pipeline maintenance [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(20):58-62(in Chinese).

- [2] 向维刚,马保松,赵雅宏. 给排水管道非开挖CIPP修复技术研究综述[J]. 中国给水排水, 2020, 36(20):1-9.

XIANG Weigang, MA Baosong, ZHAO Yahong. Research review on trenchless CIPP repair technology in water supply and drainage pipes [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(20):1-9(in Chinese).

- [3] 史国棚,马保松,杨超,等. 水泥砂浆喷涂法修复钢筋混凝土管道结构性能[J]. 中国给水排水, 2020, 36(20):32-38.

SHI Guopeng, MA Baosong, YANG Chao, *et al.* Structural performance of reinforced concrete pipe repaired by cement mortar spraying method [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(20):32-38(in Chinese).

- [4] 刘才平,王志录,高兴朋. 非开挖修复排水箱涵中注浆堵漏技术的应用实践[J]. 中国给水排水, 2021, 37(14):157-161.

LIU Caiping, WANG Zhilu, GAO Xingpeng. Application practice of grouting plugging technology in drainage culvert trenchless repair[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(14):157-161(in Chinese).

- [5] 安关峰,张蓉,张欣,等. 《城镇排水管道非开挖修复工程施工及验收规程》解析[J]. 中国给水排水, 2020, 36(20):71-76.

AN Guanfeng, ZHANG Rong, ZHANG Xin, *et al.* Analysis on the specification for construction and acceptance of trenchless rehabilitation engineering of urban drainage pipeline[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(20):71-76(in Chinese).

作者简介:卫佳(1984-),男,山西阳城人,大学本科,高级工程师,主要从事市政给排水和水环境治理工程设计及规划等技术工作。

E-mail:86318738@qq.com

收稿日期:2022-04-06

修回日期:2022-05-17

(编辑:衣春敏)