

城市排水管道非开挖修复技术在南方某地区的应用

李元元¹,赵伟琪²,周超²

[1.芜湖市繁昌三区峡水环境综合治理有限责任公司,安徽 芜湖 241200;2.上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:城市排水管道承担着城市污水、雨水运输排放等任务,是城市平稳安全运行的基础。排水管道的老化情况具有不可见性,在地面上无法了解地下管道的状况,这会给管道业主带来经济损失,同时也会带来公众压力,因此管道非开挖修复技术的应用意义重大。结合南方某地区已建污水管修复工程的实例对非开挖修复技术进行研究,并探析其在市政管网修复中的应用。

关键词:排水管道;非开挖修复;应用

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)04-0142-04

1 非开挖修复技术应用背景及意义

城市排水管道是市政基础设施的重要组成部分,也被称为城市的“地下生命线”,其肩负着城市污水、雨水运输排放等重要功能。随着时间的推移,城市污水管网会出现结构性和功能性两大类不同程度的缺陷,这些缺陷在水管道的运行中会出现包括污水渗入地下造成土壤污染、地面塌陷影响城市居民生产生活、管道堵塞、支管暗接等影响。因此,随着城市地下基础设施系统的恶化和人们对提高生活质量的要求,针对地下基础设施的高效又具有成本效益的安装、改造和修复正成为一个日益重要的问题。

传统的管道开挖修复需要恢复地表,如人行道、路面和景观,因此人们认为这种修复方式会造成浪费。研究表明,项目中使用管道开挖修复时估计约有70%的施工成本仅用于地面的恢复,而非管道本身的安装^[1]。非开挖修复技术是指,在不开挖或微开挖的条件下对存在缺陷的管道进行修复,保证管道可以良好运行,同时延长管道使用寿命的施工技术。

2 国内外非开挖修复技术应用现状

20世纪70年代,非开挖修复技术在英国开始应用。英国工程师提出了原位固化法(Cured-in-Place Pipe, CIPP),是采用翻转或拖拉的方式将填充了树脂的内衬软管放入待修复管道内,通过热固化或紫外固化的方式,是一种在修复管道内内衬一根新管道的修复方式^[2]。Brandenburger公司在1990

年开始研究污水管道修复技术,研发了通过玻璃纤维软管缠绕的无缝内衬产品^[3]。近年来,通过对管道内部检测和清洗技术、修复工艺以及相应的设备和材料等的研究,形成了成熟完备的非开挖修复技术应用体系。

我国首次使用非开挖修复技术是在1998年,使用翻转内衬原位固化法修复了8300m的管道,自此,我国非开挖修复的工程量逐年上升。至2009年我国采用非开挖修复技术施工的管道年工程量约长达300km^[4]。我国非开挖修复工程中,牵引内衬修复技术占的比重仍是最多,超过了70%^[5]。

3 非开挖修复技术应用的利与弊

3.1 非开挖修复技术应用的优势

非开挖修复使用的材料具有较强的韧性和抗冲击性能,这些材料在经过热处理、紫外光等过程之后,可与破损管道紧密贴合,达到修复排水管道的目的。同时,非开挖修复技术具有施工速度快,工期短,修复完成后能很快投入使用的特点。此外,因为不需要大型机械在地面上工作,非开挖修复技术可以很大程度的减少施工对地面交通及生产生活的影响。除了施工成本,在环境和社会影响方面,非开挖修复技术也有着较大的优势。Kaushal V等人对比小管径地下管道修复时非开挖修复和开挖修复的环境与社会影响时发现,非开挖修复方法的总环境和社会成本比开挖修复低90%。非开挖修复减少了臭氧消耗、全球变暖、烟雾、酸化、富营养化、非致癌性、呼吸效应、生态毒性效应和化石燃料消耗。与开挖修复相比,非开挖修复绕行道路、绕行延误和路面修复的燃料成本可忽略不计,这些是主要的社会成本因素,约占总的社会成

收稿日期:2023-02-01

作者简介:李元元(1986—),男,本科,工程师,从事水环境治理项目管理工作。

本的 75%^[6]。

3.2 非开挖修复技术应用存在的问题

非开挖修复技术作为一项新兴技术,也存在许多不足之处。由于国家尚缺乏针对其应用的统一的施工规范和准则,同时部分修复设备价格昂贵,修复设备操作较为专业,亟需加强非开挖修复的施工管理,并对技术进行升级。

4 常用非开挖修复技术

排水管道非开挖修复方法较多,其中以修复的范围大小为依据可分为辅助修复、局部修复和整体修复^[7](见表 1)。

表 1 非开挖修复技术分类表

辅助修复	局部修复	整体修复
地基处理	嵌补法	现场固化内衬
	套环法	螺旋管内衬
	局部内衬	短管及管片内衬
		牵引力内衬
		涂层内衬

4.1 辅助修复

土体注浆是常用于排水管道渗漏缺陷的辅助修复方法,一般作为排水管道非开挖修复工程中的前期处理,是排水管道修复的基础,通常与其它修复技术相结合使用。

4.2 常用局部修复技术

(1)嵌补法修补技术

嵌补法使用的材料可分为柔性材料和刚性材料。该方法在应用过程中虽然存在着施工期较长、修复质量不稳定等缺点,但对于某些施工经费紧张且地质条件相对较好的工程来说,嵌补法是一种较为合适的方法。

(2)套环法修补技术

套环法是在发生局部损坏的位置或接口处安装止水套环。大部分套环法修补工程具有较好的质量稳定性,同时施工速度较快,但也存在着对管道中水流形态产生影响的问题。常用的有不锈钢发泡筒、不锈钢双胀环等修复技术。

(3)局部内衬修补技术

局部内衬修复技术是将整体修复法用于局部修理。该技术是利用毡筒气囊局部成型的技术,原理为将涂灌树脂的毡筒用气囊充气膨胀后使树脂紧贴母管,然后用紫外线等方法加热固化。该技术适用于检查井修理。

4.3 常用整体修复技术

(1)现场固化内衬修复技术

首先将需要修理的管道清洗干净,然后将浸满热固性树脂的毡制软管通过牵引或翻转等方法将其送入管道中,通过气压或水压使软管紧贴管道内壁,最后进行加热固化,达到通过内衬新管修复管道的目的。常用的现场固化内衬修复技术是用水压进行翻转,热水固化,该技术不仅适用于管道修复,还适用于检查井修复。

(2)螺旋管内衬

是一种排水管道非开挖内衬整体修理技术。该方法通过向旧管道内推进螺旋状管,在管内形成新的内衬管。修复后管道的内壁光滑,适合修复距离较长的管道。

(3)短管及管片内衬

采用的主要材料为 PVC-U 材质的管片和灌装料,通过连接件将管片在管内连接拼装,然后在原有管道和拼装成的内衬管之间,填充灌装料,使新内衬管和原有管道连成一体,达到修复破损管道的目的。

(4)牵引力内衬修复技术

牵引机将整条塑料管由工作坑或检查井牵引入旧管内,然后进行形状复原形成新的内衬管。按施工技术分为折叠牵引法、缩径牵引法、滑衬法等。

(5)涂层内衬修复技术

主要用于管道的防腐处理,也可预防管道的轻微渗漏。涂层法在工程中对于管道内壁处理和管道渗漏处的处理有着严格要求,工程质量也受操作环境和人为因素影响较大^[8-11]。

5 工程实例分析

本文以南方某地已建污水管修复工程为例,对城市排水管道非开挖修复技术进行探讨分析。

5.1 工程概况

该地区现状污水管管径 DN300~1 200 mm,管材包括钢筋混凝土管和 HDPE 管,总长度约 12.9 km。

工程内容分为两部分,第一部分是管网排查,对该地区已建污水管道进行清淤、检测;第二部分是管道修复设计,主要依据 CCTV 检测与评估报告对污水管道缺陷进行修复设计。

由于建设时期较早,管材多为 HDPE 双壁波纹管,质量较差,且管道埋深最深处可达 10 m,同时在管网运行过程中缺乏一定的养护管理。结合摸排检测资料,该地区污水管网系统病害严重,管道破裂、

变形、脱节、起伏等缺陷随处可见(见图1)。此外,个别管段存在严重淤积、逆坡等问题。

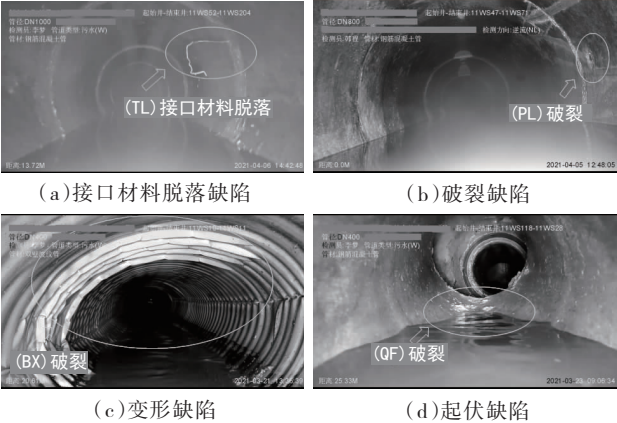


图1 管道破损情况现场照片示例

经过管网排查,对各类结构性缺陷的数量及所占比例进行统计分析,如图2所示。分析可知,该工程污水管道主要缺陷为变形(556处)、破裂(499处)、接口材料脱落(410处)、脱节(323处),所占比例依次为25.2%、22.62%、18.59%及14.64%。其余缺陷包括错口(197处)、渗漏(94处)、起伏(76处)、异物穿入(23处)、支管暗接(20处)及腐蚀(8处),所占比例依次为8.93%、4.26%、3.45%、1.04%、0.91%、0.36%。

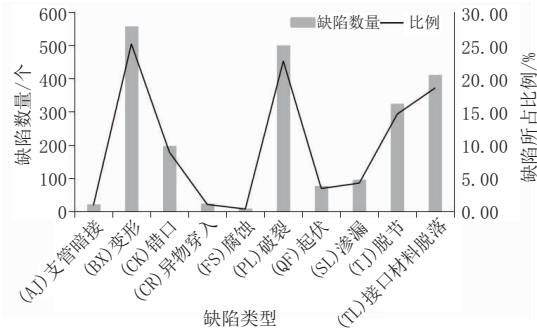


图2 不同结构性缺陷类型的数量及占比

其中变形、破裂、接口材料脱落、脱节缺陷所占比例较高,一是因为(污水管网质量差,该地区部分污水管网建设时期较早,管道埋深深,现状质量较差,同时在管网运行过程中缺乏养护管理。该地区污水管网系统病害严重,管道破裂、变形、脱节、起伏等缺陷随处可见。此外,个别管段存在严重淤积、逆坡等问题。二是因为污水管网外水渗入,现状污水管的部分管段由于管道结构性缺陷导致地下水渗入;部分区域存在市政管网雨污混接情况,雨天大量雨水进入污水管网,外水渗入使总管长期处于高水位运行状态。

5.2 修复方案

本项目总体修复方案综合考虑该地区现状管道

埋深较深、管段长、管道健康状况差以及技术适用性、成熟度、经济性和应用广泛性等因素进行制定。以管径为800 mm的钢筋混凝土管道为例,对开挖修复、局部内衬修补技术和顶管三种方法进行了技术与经济对比分析,分别见表2、表3。

表2 局部内衬修补技术、顶管、开挖修复三种方法技术对比

项目	局部内衬修补技术	顶管	开挖
工期	较短	较长	长
道路开挖	基本不需开挖	约每75~150 m开挖工作井[3.5 m×7.0 m×(管底+0.8 m)]及接收井[3.5 m×5.0 m×(管底+0.8 m)]	全线路面开挖
对现有管道如供水、排水与电讯、电力等电缆影响	基本无影响	影响较小,仅工作坑、接收坑处开挖对周边管线有影响	影响较大,全线须注意对周边相邻管线的保护
交通影响	极小,只需短时间占用路面用来停车	影响较小,工作坑及接收坑处须布置施工场地,占用路面	影响较大,开挖全线占用路面
实施可行性	利用原有引井及管道进行修复,便捷可行	重新安排顶管平面位置,但现场地下管道拥挤,顶管基坑布置较困难,可行性一般	有一定可行性,但开槽埋管须避让现状管线,对周边管线影响大,造价高

表3 局部内衬修补技术、顶管、开挖修复三种方法经济对比

规格	局部内衬修补技术 / (元·环 ⁻¹)	顶管 / (元·m ⁻¹)	开挖 / (元·m ⁻¹)
DN800	14 000	5 000	6 200
DN600	8 000	不适用	4 600
DN400	5 000	不适用	3 200
DN300	4 000	不适用	2 000

局部内衬修补技术修补环数一般不大于4环(每环0.55 m),而开挖修复管段长度一般大于10 m,因此开挖修复费用远远高于局部内衬修补技术。根据以上分析,制定如下总体修复方案:

(1)首先确定开挖修复或非开挖修复适用范围,出现必须开挖修复特征的(如破裂4级,变形3、4级,起伏4级等)采用开挖修复,其余采用非开挖修复。其中,对于纵向范围小的缺陷,有条件的可考虑局部加井措施。

(2)非开挖修复中,结构性缺陷单点修复技术方案选择如表4所示,对于功能性缺陷,1、2级不修复,3、4级进行管道清理。

(3)结合技术经济层面考虑,一段待修复管道管长所需局部内衬的修补环数大于4 m或存在超过2 m

表 4 结构性缺陷修复技术方案选择表

缺陷名称	缺陷级别			
	1 级(轻微)	2 级(中等)	3 级(严重)	4 级(重大)
(AJ)支管暗接	不修复	局部加井	局部加井	—
(BX)变形	不修复	不修复	开挖修复	开挖修复
(CK)错口	不修复	不修复	不修复	开挖修复 / 局部加井
(CR)异物穿入	协商后移除	协商后移除	协商后移除	—
(FS)腐蚀	不修复	局部内衬修补技术	局部内衬修补技术	—
结构性缺陷	(PL)破裂	局部内衬修补技术	局部内衬修补技术	开挖修复 / 局部内衬修补技术 / 局部加井
	(QF)起伏	不修复	不修复	开挖修复
	(SL)渗漏	土体注浆 + 局部内衬修补技术	土体注浆 + 局部内衬修补技术	土体注浆 + 局部内衬修补技术
	(TJ)脱节	不修复	局部内衬修补技术	局部内衬修补技术 / 局部加井 / 开挖修复
	(TL)接口材料脱落	不修复	脱落材料切割 + 局部内衬修补技术	—

连续待修复缺陷时优先考虑进行整体修复。局部修复采用局部内衬修补技术(管径 $DN<1\,000\text{ mm}$)或套环法修补技术中的不锈钢双胀环修复技术(管径 $DN\geq 1\,000\text{ mm}$),整体修复采用翻转内衬原位固化法。

(4)对于管道基坑深度超过 5.0 m 的管段,从技术、经济及施工安全等方面综合考虑,不建议采用局部加井和开挖修复的修复方式。

(5)施工过程中,结合现场实际情况以及管道重要程度,可对部分管段的修复原则进行适当调整。

5.3 非开挖修复后水力复核

非开挖修复能够很好的改善原有管道的过流性能,其主要原因在于光滑和连续的内表面减小了管壁对流体的摩擦作用。通常情况下,可以采用曼宁方程来预测重力流管道条件下流体的流量。

$$Q=\frac{AR^{\frac{2}{3}}i^{\frac{1}{2}}}{n}$$

式中: Q 为流量, m^3/s ; v 为流速, m/s ; A 为水流有效断面面积, m^2 ; n 为粗糙系数,钢筋混凝土管采用 0.014,塑料管采用 0.01,内衬修复后为 0.01; i 为水力坡降; R 为水力半径, m , $R=A/P$; P 为湿周, m 。

假定在流量、坡度修复前后一致的前提下复核管道修复前后的水力条件。钢筋混凝土排水管道非开挖修复前后水力条件对比见表 5。

从上述计算结果显示,管道修复后与修复前的管道过流能力比值均大于 1,因此,钢筋混凝土管内衬修复后过流能力相较于修复前反而有所提升。而对于塑料管材,由于内衬修复前后管道粗糙系数基

表 5 钢筋混凝土排水管道非开挖修复前后水力条件对比

管径 / mm	内衬管壁厚 / mm	内衬后管径 / mm	修复前粗糙系数 / mm	修复后粗糙系数 / mm	B
300	5	290	0.013	0.01	1.19
400	6	388	0.013	0.01	1.20
500	7	486	0.013	0.01	1.21
600	9	582	0.013	0.01	1.20
800	12	776	0.013	0.01	1.20
1 000	15	970	0.013	0.01	1.20
1 200	18	1164	0.013	0.01	1.20

注: B 值为管道修复后与修复前的过流能力比值。

本不变,修复后管道内径的缩小将在一定程度上降低管道过流能力。可见,城市排水管道修复中应用非开挖修复技术是一种较为安全、经济、高效且富有成效的选择。

5.4 修复效果

排水管道利用非开挖修复技术对存量污水管道缺陷(结构性缺陷、功能性缺陷)进行修复,恢复了污水管道原设计功能,提升了污水管网的收集率,提高了污水厂进水浓度,提升了污水厂的运行效能,为污水厂提质增效做出了重要贡献。

6 结 语

非开挖修复技术以其施工影响小、良好的社会效益和经济效益等优点成为城市排水管道缺陷修复工程中重要的一环。本文重点对城市排水管道非开挖修复技术进行探讨,分析非开挖修复技术的优缺点,介绍非开挖修复技术的基本类别,通过工程案例研究其在实际工程中的应用情况,因地制宜地选取

(下转第 148 页)

干管。因此,本工程在现状道路下敷设污水管道,收集房屋排放的污废水,同步实施户内改造工程,排入现状南港公路污水干管,如图1所示。若村落距离现状污水干管距离较近(小于2 km),可以直接排入现状污水管道,埋深较大处设置污水提升泵站。



图1 直接纳管模式污水收集系统示意图

4.2 就地处理模式

港西五队位于建港村东南部。该队有一户较为偏僻,距离集中居住区较远,且有河道相隔。若将该户污废水排入已设计的农污管道,污水管道不仅需要穿越河道,已设计的下游管道还需要加大埋深,影

响下游污水系统。因此,本工程在农户旁设置就地处理装置,如图2所示。若相对聚居的农户,受地形,如较大河道、沟壑和山地阻隔等的限制,可以在适宜的地块设置就地处理装置,形成独立收集系统。



图2 就地模式污水收集系统示意图

5 结 语

农村生活污水水量变化大,平时水量较低,村落地形复杂,农户分散不均,污水收集管道较为复杂。因此,应首先摸清本地情况,在充分调研的基础上,结合上位规划,统筹整个污水系统布局,因地制宜合理选择处理模式,建立污水收集系统,最大限度实现污水的收集与处理。

参考文献:

- [1] 王海波,陈怡,高峰.北京市某农村污水治理设计案例分析及总结[J].给水排水,2020,46(9):32-36.

(上接第145页)

最优的修复方案。

参考文献:

- [1] Najafi M. Pipeline rehabilitation systems for service life extension[J]. Service Life Estimation and Extension of Civil Engineering Structures, 2011, 22(8):262-289.
- [2] 孙淑岱,董金鹏.非开挖技术在市政管道修复中的应用浅述[J].建材发展导向,2017,15(3):2.
- [3] Marsh G. Composites Renovate Deteriorating Sewers[J]. Reinforced Plastics, 2004, 48(6):20-24.
- [4] 颜纯文.我国非开挖行业现状与展望[J].探矿工程:岩土钻掘工程, 2010(10):5.
- [5] 逄仲森.城镇排水管道非开挖修复技术研究[D].武汉:中国地质大学,2012.

- [6] Kaushal V, Najafi M. Comparative Analysis of Environmental and Social Costs of Trenchless Cured-in-Place Pipe Renewal Method with Open-Cut Pipeline Replacement for Sanitary Sewers[J]. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 2020, 11(4).
- [7] 雷庭.排水管道非开挖修复技术研究及工程应用[D].北京:北京工业大学,2015.
- [8] CJJ/T 210—2014,城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程[S].
- [9] 吴坚慧.排水管道非开挖修复技术综述[J].城市道桥与防洪,2012(8):4.
- [10] 黄伟.非开挖技术应用过程中环境效益评价指标体系的研究[D].重庆大学,2001.
- [11] 吴坚慧.排水管道非开挖修复技术综述[J].城市道桥与防洪,2012(8):267-269.