

# 城镇排水管网非开挖修复技术研究与应用

甘 帅<sup>1</sup>, 陈辉虎<sup>1</sup>, 陈 敏<sup>1</sup>, 朱文杰<sup>1</sup>, 罗洪伟<sup>2</sup>

(1. 中国建筑第五工程局有限公司, 湖南 长沙 410000;

2. 湖南罗马建设有限公司, 湖南 长沙 410000)

[摘要] 对城镇排水管网运营期间管道老化和破损、堵塞、水力状况不佳、渗漏等问题进行分析,总结了目前常用的非开挖修复技术,包括局部树脂固化修复技术、不锈钢双胀环修复技术、紫外光固化修复技术等,并阐述了不同修复技术工作原理、优缺点和工艺流程等。介绍了紫外光固化修复技术的实际应用,采用该技术修复后的管道过流能力得到了提高,水力条件得到了改善。

[关键词] 排水管网;非开挖修复;固化;检测;施工技术

[中图分类号] TU821

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2024)22-0147-06

## Research and Application of Trenchless Repair Technology for Urban Drainage Network

GAN Shuai<sup>1</sup>, CHEN Huihu<sup>1</sup>, CHEN Min<sup>1</sup>, ZHU Wenjie<sup>1</sup>, LUO Hongwei<sup>2</sup>

(1. China Construction Fifth Engineering Division Co., Ltd., Changsha, Hunan 410000, China;

2. Hunan Rome Construction Co., Ltd., Changsha, Hunan 410000, China)

**Abstract:** The problems of pipeline aging and damage, blockage, poor hydraulic condition and leakage during the operation of urban drainage network are analyzed. The commonly used trenchless repair technologies are summarized, including local resin curing repair technology, stainless steel double expansion ring repair technology and ultraviolet curing repair technology. The working principle, advantages and disadvantages and process flow of different repair technologies are expounded. The practical application of UV curing repair technology is introduced. The flow capacity of the pipeline is improved and the hydraulic conditions are improved.

**Keywords:** drainage pipe network; trenchless repair; solidification; detection; construction

### 0 引言

随着城镇化进程的不断推进,城镇排水管网的建设与维护变得越来越重要。然而,由于长期使用和外部因素的影响,城镇排水管网普遍存在各种类似问题,如管道老化、破损和堵塞等。传统的开挖修复不仅费时费力,且对城市交通和环境造成了不可忽视的影响。

为了解决上述问题,非开挖修复技术逐渐成为城镇排水管网修复的热门领域。非开挖修复技术利用先进的材料、设备和方法,可在不破坏地面和道路的情况下,对排水管道进行修复和维护,从而降低采用传统工艺开挖修复导致的占用交通、破坏地面设施等影响。这种技术具有操作简便、施工周

期短、成本较低等优势,已在许多城镇排水管网维护中广泛应用。

本文对城镇排水管网非开挖修复技术进行研究,对其分类、原理、优缺点和工艺流程等进行分析,并结合实际案例评估其实际应用效果与可行性。

### 1 城镇排水管网运营期间常见问题

由于排水管道属于城市地下永久性隐蔽设施,在抵抗水中杂质打磨和冲刷的同时,还要承受来自管网内部的水压作用和外部的荷载作用。当腐蚀性废水流经排水管道,且排水管道上方道路常有大型车辆设备通行时,随着运营时间的增加,易导致排水管道出现塌陷、变形等缺陷。大部分管道处于城市繁荣、交通密集位置,若管道发生塌陷、变形导致水流无法正常流通,会对周边居民生活、环境造成影响。随着城镇排水管网运营时间的增加,由于

腐蚀和运行管理不善等原因,管道不可避免地会发生损坏和渗漏,常出现以下问题。

1)管道老化和破损 由于长期使用和外部因素的影响,排水管道会出现老化、破损和腐蚀等问题。这些问题可能导致管道漏水、渗漏和断裂,影响排水系统的正常运行。

2)堵塞和积聚物 城镇排水管网中常发生堵塞和积聚物问题。这些堵塞可能由于固体废物、树根、沉积物等堵塞管道,影响排水能力和流量。

3)水力状况不佳 排水管道的水力状况不佳可能导致水流速度过慢或过快,从而影响排水系统的运行效率。这可能是管道设计不当、管径不匹配或管道内部结构问题引起的。

4)管网渗漏 排水管网渗漏是一个常见问题,可能导致水资源浪费和环境污染。渗漏可能发生在管道接头、管道破损处或管道材料老化处。

5)管道阻力增加 排水管道内壁的沉积物和结垢会导致管道内径减小,增加水流通过管道的阻力,降低了排水系统的效率。

针对这些常见问题,城镇排水管网运营人员需定期进行巡检和维护,及时清除堵塞物、修复破损管道、清理沉积物,并采取措施减少渗漏和阻力增加的问题。此外,引入先进的监测技术和维护管理系统也能帮助及时发现问题并进行有效处理,确保排水管网的正常运行。

2 常用非开挖修复技术

城镇排水管网非开挖修复技术按不同目的可分为 4 大类:①按技术可分为注浆法、嵌补法、涂层法、套环法、内衬管法(现场固化内衬、螺旋管内衬、短管及管片内衬、牵引内衬)等修复技术;②按修复目的可分为防渗漏型、防腐蚀型、加强结构型等修复技术;③按修复范围可分为辅助修复技术、局部(点状)修复技术和整体修复技术,其中局部修复常用技术包括嵌补法、套环法、局部内衬法,整体修复常用技术包括涂层法、现场固化内衬、螺旋管内衬、短管及管片内衬、牵引内衬等;④按使用年限可分为临时性修复技术和长效(永久性)修复技术<sup>[1]</sup>。

辅助修复用于地基加固防渗处理,常用土体注浆法。局部修复是对旧管道内的局部破损、接口错位、局部腐蚀等缺陷进行修复<sup>[1-2]</sup>。整体修复是对整段管段进行加固修复。对于管道内部腐蚀严重、接口渗漏点较多及管道结构遭到多处损坏或经济上不宜采用局部修复的管道采用整体修复可达到修旧如新的效果<sup>[1]</sup>。

2.1 局部树脂固化修复技术

局部树脂固化修复技术是排水管道非开挖局部内衬修复技术,利用毡筒气囊局部成型技术,用气囊使涂灌树脂的毡筒紧贴母管,然后使其常温固化<sup>[3]</sup>,修复效果如图 1 所示。

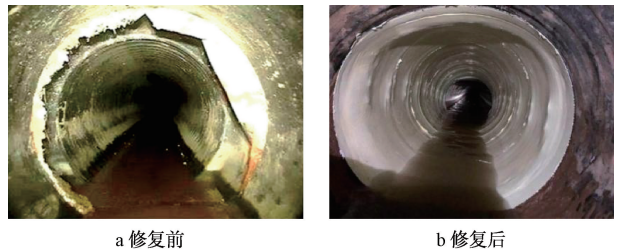


图 1 局部树脂固化修复技术修复效果  
Fig. 1 Repair effect of local resin curing repair technology

局部树脂固化修复技术适用于钢筋混凝土及其他材质的雨污排水管道,管道结构性缺陷呈现为破裂、变形、错位、脱节、渗漏,且接口错位应 $\leq 5\text{cm}$ ,管道基础结构基本稳定、管道线形无明显变化、管道壁体坚实不酥化<sup>[4-7]</sup>。该技术适用于排水管道的局部修复和整体修复,也可用于管道接口处有渗或临界时预防性修理。当管道中仅有部分点状缺陷时,选择局部树脂固化法可降低修复成本<sup>[8]</sup>。

局部树脂固化修复技术不适用于管道基础断裂、管道坍塌、管道脱节口呈倒栽式形状、管道接口严重错位、管道线形严重变形等结构性缺陷损坏的修复,且该技术因衬管缺乏整体性,其修复可靠性与寿命均比现场固化法差<sup>[8]</sup>。

2.2 不锈钢双胀环修复技术

不锈钢双胀环修复技术是管道非开挖局部套环修复技术,采用的主要材料为环状橡胶止水密封带与不锈钢套环,在管道接口或局部损坏部位安装橡胶圈双胀环,橡胶带就位后用 2~3 道不锈钢胀环固定,达到止水的目的<sup>[2,7]</sup>,如图 2 所示。

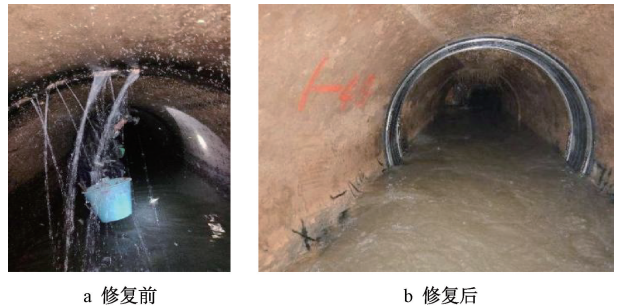


图 2 不锈钢双胀环修复技术修复效果  
Fig. 2 Repair effect of stainless steel double expansion ring repair technology

采用不锈钢双胀环修复技术进行排水管道非开挖修复时,通常与钻孔注浆法联合使用,不锈钢

双胀环施工速度快,质量稳定性较好,可承受一定接口错位,止水套环抗内压效果比抗外压效果好,但对水流形态和过水断面有一定影响<sup>[7]</sup>,对后期养护疏通设备带来不便,且该技术适应范围小,仅适用于直径 800mm 及以上排水管道局部损坏的修复。因不锈钢圈有一定韧性,施工时加压异常将导致钢圈弹出。

不锈钢双胀环修复工艺流程为:CCTV 机器人判读并确定修复管径、位置→工厂定制不锈钢双胀圈→修复位置清淤→固定环状橡胶止水密封带→安装不锈钢双胀圈。

不锈钢双胀环修复技术适用于大口径排水管道渗漏严重和接口错位的非开挖修复<sup>[7-9]</sup>,具有较多优点,包括修复效果好、实用性强、施工方便、施工不受环境温湿度和地面交通影响、施工工期短等。

2.3 紫外光固化修复技术

紫外光固化修复技术采用机械牵引将浸满感光性树脂的毡制软管拖入被修复的管道,灌注压缩空气使其紧贴管道内壁,通过紫外光灯照射使树脂在管道内部固化(见图 3),形成高强度内衬树脂新管<sup>[10-11]</sup>。

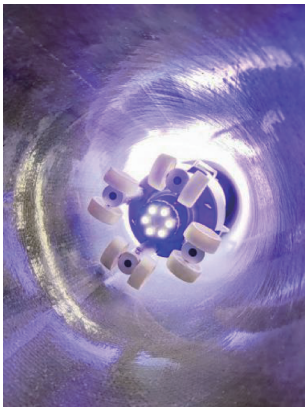


图 3 紫外光灯照射  
Fig. 3 UV lamp irradiation

紫外光固化修复工艺流程为:现场勘测→清洗管道内壁→检测管道污损情况→拉入光感复合材料→空气高压扩充材料→导入紫外光灯组→通电发光固化材料→管端及支线处理→质量验收,修复效果如图 4 所示。

紫外光固化修复技术无须开挖,仅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、树根侵入、渗漏等结构性缺陷<sup>[12]</sup>。该技术施工周期短,实现了长距离内衬施工无接口,且适用范围广泛,承压能力高,内衬管基材韧性好,与复合树脂浸渍相容性好,内衬层隔绝



图 4 紫外光固化修复效果  
Fig. 4 UV curing repair effect

了腐蚀环境,完全控制了管道的内腐蚀。有条件时可进行弯头(张力弯头)的内衬修复,无须灌浆,过流断面损失小。但该技术对紫外光固化内衬软管材料存储、运输等方面要求高,易导致材料提前固化,且对施工技术要求较高。

2.4 喷涂法内衬修复技术

喷涂法内衬修复技术是通过快速回转的喷涂头将浆液喷涂到管道内壁形成管道内衬的管道修复技术。

喷涂法内衬修复流程为:管道管壁清洗→管内积水处理→管道预处理→喷涂器安装→砂浆调制→管道内砂浆喷涂→CCTV 检测,修复效果如图 5 所示。

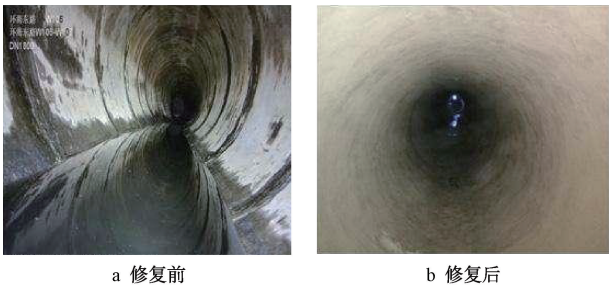


图 5 喷涂法内衬修复效果  
Fig. 5 Repair effect of lining by spraying method

喷涂法内衬修复技术可进行永久性、全结构性修复,使用管径为 0.7~4.0m,通过全自动旋转离心浇筑,使内衬均匀、致密。内衬浆料与结构表面紧密粘合,对结构上的缺陷、孔洞、裂缝等具有填充和修复作用,充分发挥了原有结构的强度。一次性修复距离长、中间无接缝,不受管道弯曲段制约,内衬层厚度可根据需要灵活选择。进行全结构性修复时,材料可选方案多,可通过选择合适的方案达到节约工程成本的目的。修复后结构防水、防腐性能好,不降低过流能力。但该技术对基层处理要求高,施工质量难以稳定,受外界影响大,稳定性和可靠性较差,且对破损严重管道无法进行支撑加固作业,仅适用于管道原本结构的填充加固。

2.5 垫层法修复技术

采用垫层法修复技术时,将特制的 HDPE 钉状

材料根据管道直径预制成管形状,通过进管工作坑拉入需修复的原管道中,对新、旧管道间的空隙进行注浆填充,待浆液固化后,新管道被牢固地固定在旧管道中,如图 6 所示。

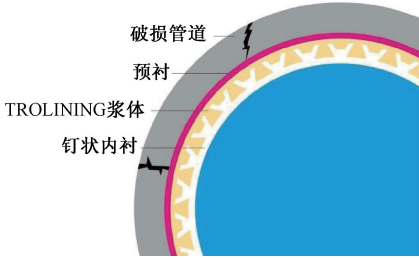


图 6 垫层法修复示意  
Fig. 6 Impression of cushion repair method

垫衬法修复流程为:施工设备与材料的准备工作→管道施工前预处理→内衬管道拉入管道并固定→内衬管内注水加压→调制特殊浆液→注浆与原管道形成一体→CCTV 检测。该技术可操作性强,施工方便,实现零开挖,无须人工进入管内,占地时间短,对行人交通影响小,消耗劳动力和机械少,劳动强度小。该技术修复后的管道结合了热塑性塑料的柔韧性、延展性、耐腐蚀等优点和混凝土强度高的特点,降低了成本。但该技术不适用于小口径管道,直径 600mm 以下的管道操作难度大。由于修复板材具有一定厚度,修复完成后管道直径变小,减弱了管道的过流能力。

2.6 碎裂管法修复技术

碎裂管法修复技术为采用碎(裂)管设备从内部破碎或割裂原有管道,将原有管道碎片挤入周围土体形成管孔,并同步拉入新管道的技术<sup>[13-14]</sup>。

碎裂管法修复流程为:工厂定制 PE 管材→修建顶管机平台→组装拉管机组→破碎原管道(见图 7)→顶管作业→固定管道。修复效果如图 8 所示。



图 7 碎(裂)管设备破碎原有管道  
Fig. 7 Crushed (cracked) pipe equipment breaks the original pipeline

与开挖法修复技术相比,碎裂管法修复技术具有施工速度快、施工效率高、施工影响小、成本低等优势,可通过替换稍大直径管道增加管道过



图 8 碎裂管法修复效果  
Fig. 8 Repair effect of fragmentation tube method

流能力。

碎裂管法修复技术需开挖地面进行支管连接;需对局部塌陷进行开挖施工,以穿插牵拉绳索或拉杆;需对进行过点状修复的位置进行处理;对于严重错位的原有管道,新管道将产生严重错位现象,需开挖起始工作坑和接收工作坑<sup>[13]</sup>。

2.7 不锈钢圈内衬修复技术

当管道塌陷、变形严重,无法直接采用原位固化内衬修复施工时,可采用不锈钢圈内衬修复技术,需先进行钢圈拼板内衬施工,使其修复后管径与原管径一致,再采用原位固化内衬方式进行修复,以恢复管网功能。

不锈钢圈内衬修复工艺流程为:钢圈内衬运送至施工地点→吊运拼板下井→切割原管道并清理塌陷土方→安装钢圈拼板→重复上述步骤直至管道钢圈拼板施工完成。修复效果如图 9 所示。

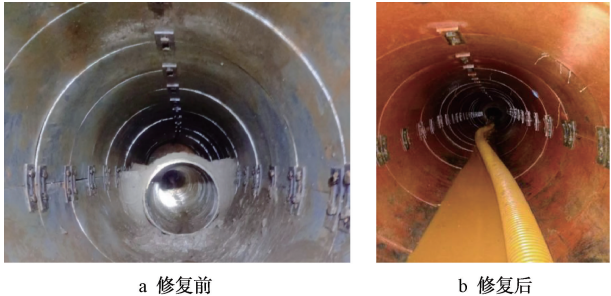


图 9 不锈钢圈内衬修复效果  
Fig. 9 Repair effect of stainless steel ring lining

不锈钢圈内衬修复技术适应范围广,可适应于管道塌陷严重导致原位固化修复无法施工的管道;无须大面积开挖路面,避免施工过程中对城市交通和环境造成影响;不锈钢圈具有耐腐蚀、承压高、寿命长等优点;对塌陷管道采用钢圈支撑后再进行原位固化,可提高固化使用寿命。

3 工程应用

3.1 工程概况

上海市某段道路地处流砂地区,φ1 000 排水管道于 20 世纪 80 年代建成,埋深 2.5m 左右,管材为混凝土管,承插式接口,开槽埋管施工。经管道 CCTV 检测该路段管道损坏多为结构性损坏,管道

损坏类型主要为整段性腐蚀(8处)、渗漏(15处)、错位(5处)、破裂(5处)等,如图10所示。管道结构损坏管段长度占总管段长度的比例超过90%,存在安全隐患。

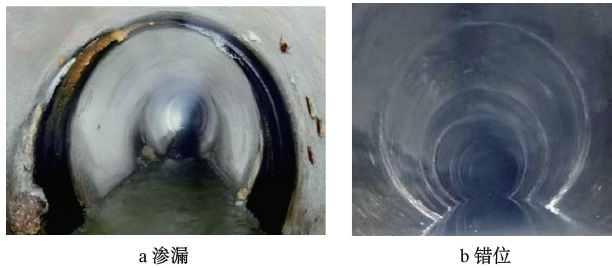


图 10 管道损坏情况  
Fig. 10 Pipeline damage

3.2 管道破损原因分析

从管节损坏的情况来看,管道使用时间较长,排水管道长期受管道内部硫化氢等气体的影响,逐渐出现管壁腐蚀和渗漏现象,导致排水管道运行过程中地下水与泥砂进入排水管道,进而引起土体流失等。

长期的水土流失使管道周围形成土体空洞,造成管材受力不均,导致管口受力破损造成错位,最终引起路面沉陷与管道下沉,影响路面交通安全,破坏排水管道的排水功能,影响排水设施安全运行。因此,需综合考虑工程地质情况、管道建设年代、管道接口及基础形式及所在地区管道养护部门对于管道养护的要求,并结合不同修复技术的适用条件、修复效果及综合造价等特点,选择高效、合理、经济的综合修复方案,及时修复管道变形、渗漏、破裂、错位,预防事故的发生。

3.3 非开挖修复技术比选

对于同一管段内结构性缺陷点较多且有渗漏的管道,采用整体修复工艺进行修复。对于处于流砂层区域内管道,同一路段已有多处管段需整体修复时,对该路段管道全部进行修复<sup>[5]</sup>。

对适用于本工程的局部树脂固化修复技术、紫外光固化修复技术、扩张螺旋缠绕法修复技术进行对比分析(见表1),最终选用紫外光固化修复技术。修复段内存在2处障碍物,因此固化前须清除障碍物,固化修复完成后进行CCTV检测。

3.4 修复工艺流程与操作要点

修复工艺流程为:管道封堵及临排→管道预处理→拖入底膜及拉入内衬软管→内衬软管扎头捆绑→充气加压→拉入灯链固化→拆除扎头→管端口处理及修复后CCTV检测→拆除封堵通水。对管道进行预处理,将CCTV管道检测机器人拉入管道

| 表 1 非开挖修复技术比选                                                    |                               |                                |                                 |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Table 1 Comparison and selection of trenchless repair technology |                               |                                |                                 |
| 项目                                                               | 局部树脂固化修复技术                    | 紫外光固化修复技术                      | 扩张螺旋缠绕法修复技术                     |
| 是否适用于本工程管径                                                       | 是                             | 是                              | 是                               |
| 适用管材                                                             | 所有                            | 所有                             | 所有                              |
| 适用修复目的                                                           | 永久                            | 永久                             | 永久                              |
| 止水效果                                                             | 好                             | 好                              | 较好                              |
| 恢复强度                                                             | 较好                            | 一般                             | 一般                              |
| 不降低排水能力                                                          | 较好                            | 很好                             | 一般                              |
| 破裂                                                               | 可以                            | 可以                             | 可以                              |
| 变形                                                               | 可以                            | 可以                             | 可以                              |
| 适用损坏类型                                                           | 错位                            | 可以                             | 可以                              |
| 脱节                                                               | 可以                            | 可以                             | 可以                              |
| 渗漏                                                               | 可以                            | 可以                             | 可以                              |
| 腐蚀                                                               | 可以                            | 可以                             | 可以                              |
| 优点                                                               | 施工速度快,临时排水方便,对管道内处理要求较低,使用寿命长 | 施工速度最快,临时排水方便,对管道内处理要求较低,使用寿命长 | 临时排水方便,对管道内处理要求较低,可超长距离施工,使用寿命长 |
| 缺点                                                               | 对施工技术要求较高                     | 对施工技术要求较高                      | 强度一般,局部断裂后整体强度会降低               |
| 造价                                                               | 较低                            | 中等                             | 较高                              |

内进行检测,记录、归纳管道破损情况。利用水雷水枪进行管壁清洗,利用高速旋转水枪进行管内淤堵清理。利用卷扬机将底膜缓慢拖入管道,衬垫置于管道底部,并在管道两端固定。将内衬软管管头对折,将其通过卷扬机、定滑轮及牵引绳沿着底膜缓慢拖入管道。利用不锈钢及捆绑扎带将内衬软管两端绑扎密封,超出内衬软管长度的部分采用扎头布包裹。对内衬软管进行充气加压,使软管膨胀,与管道紧密贴合。充气的同时,安装并调试灯链。点亮紫外光灯照射内衬软管,开始固化。固化完成后关闭灯光,缓慢降低管道内压力,冷却降温至软管充分固化,取出灯链。拆除两端扎头,并回拉内衬软管内膜。利用CCTV管道检测机器人进行修复后管道检测,分析修复效果<sup>[15]</sup>。

本工程管道具有结构性缺陷错位、渗漏,且接口错位均≤3cm,管道基础结构基本稳定、管道线形没明显变化、管道壁体坚实不酥化;因此对管道错位、渗漏处采用注浆的方法将管道错位处纠正和渗漏处堵漏后再进行现场固化修复。

本工程排水管窖井井壁发生了不同程度的腐蚀,部分砂浆脱落,井壁有破裂现象,部分支管斜接处未做好处理措施,损坏程度基本一致,需对窖井

进行修复,修复面积约为 200m<sup>2</sup>。对于粉刷脱落、腐蚀、斜接管道接口未处理的窨井,采用钢丝网+铝酸盐水泥防腐砂浆喷涂的方式进行修复;对于粉刷脱落、腐蚀、开裂的窨井,采用钢丝网+铝酸盐水泥防腐砂浆喷涂的方式进行修复,并对土体进行加固;对于仅粉刷脱落的窨井,采用铝酸盐混凝土喷涂的方式进行修复。修复前对原井壁粉刷层进行凿除,在裂缝和斜接管道接口未处理的位置需先采用聚氨酯进行封堵。

3.5 修复效果分析

本工程管道修复完成后,内衬软管在整个被修复区域内无剥落且连续,未出现凹凸不平 and 流通堵塞现象,如图 11 所示。修复后管道流量均不小于原管道流量,且修复后管道内壁较光滑,粗糙系数降低,管道修复前后过流能力比值为 1.21,过流能力得到了提高。修复后排水管道水力条件得到改善,排水系统设施得到进一步完善,改变了现状局部区域排水设施薄弱的状况,为理顺沿线排水管道网创造了有利条件,为疏通该地区的排水管道起到了重要作用,便于城镇排水管道运营管理。



图 11 管道修复效果  
Fig. 11 Pipeline repair effect

4 结语

本文对常用的非开挖修复技术工作原理、优缺点和工艺流程等进行分析,并介绍紫外光固化修复技术在实际工程中的应用。进一步提高无损检测技术的准确性和精度、优化管道修复材料的性能和耐久性、改进施工管理方法、提高修复效率等是未来的研究方向。

排水管道预防性修复工程是在管道结构性缺陷发展成为事故之前,通过排水管道电视声纳检测等方法,发现结构性问题。利用非开挖修复技术手段进行修复,可恢复管道使用功能,延长管道使用寿命,同时可较好地解决地下水渗漏、土体流失等问题,避免对城镇排水系统正常运营造成影响。预

防性修复选择非开挖修复技术手段,可有效克服开挖修复带来的环境、交通等问题,在对周围环境影响最小的情况下完成排水管道的修复。

参考文献:

[ 1 ] 吴慧慧. 排水管道非开挖修复技术综述[J]. 城市道桥与防洪,2012(8):267-269,273.  
WU J H. Summary of trenchless repair technology of drainage pipeline[J]. Urban road bridges & flood control,2012(8): 267-269,273.

[ 2 ] 胡晓健. 城市排水管道检测评估与非开挖修复工艺研究[J]. 市政技术,2015,33(3):107-110,114.  
HU X J. Inspection and evaluation of urban drainage pipelines and research on trenchless repair technology [ J ]. Journal of municipal technology, 2015,33(3): 107-110,114.

[ 3 ] 蒋稳坤,马向利,杨杰,等. 污水管网缺陷管段的非开挖修复施工技术[J]. 云南水力发电,2020,36(9):77-79.  
JIANG W K, MA X L, YANG J, et al. Trenchless repair construction technology for defective pipe sections of sewage pipe network[J]. Yunnan water power, 2020,36(9): 77-79.

[ 4 ] 阮顶峰,刘刚,余步存,等. CIPP 翻转法在排水管道非开挖修复中的应用[J]. 城市道桥与防洪,2014(7):273-276.  
YUAN L F, LIU G, SHE B C, et al. Application of CIPP turnover method in trenchless repair of drainage pipelines [ J ]. Urban road bridges & flood control, 2014(7): 273-276.

[ 5 ] 沈云. 排水管道非开挖修复技术的造价分析[J]. 城市道桥与防洪,2020(1):221-223.  
SHEN Y. Cost analysis of trenchless repair technology for drainage pipeline[J]. Urban road bridges & flood control, 2020(1): 221-223.

[ 6 ] 唐小平,邓良平,汪建海,等. 排水管道土压力数值分析及非开挖修复内衬管壁厚优化[J]. 给水排水,2024,50(2):139-145.  
TANG X P, DENG L P, WANG J H, et al. Numerical analysis of soil pressure in drainage pipelines and optimization of lining pipe wall thickness for non excavation repair[J]. Water & wastewater engineering,2024,50(2):139-145.

[ 7 ] 苏莉芸,黄胜,何春良,等. 非开挖修复内衬材料蠕变性能研究进展[J]. 给水排水,2024,50(2):127-134.  
SU L Y, HUANG S, HE C L, et al. Research progress on creep performance of non excavation repair lining materials [ J ]. Water & wastewater engineering,2024,50(2):127-134.

[ 8 ] 毛伟华,王非. 局部树脂固化法非开挖修复城镇排水管道[J]. 城市公用事业,2010,24(6):44-46,48.  
MAO W H, WANG F. Local resin curing trenchless repair of urban drainage pipelines[J]. Urban utilities, 2010,24(6): 44-46,48.

[ 9 ] 丁文义,卢国途,孔得宽. 不锈钢双胀环修复方法在惠州水环境项目的应用[J]. 云南水力发电,2023,39(10):215-218.  
DING W Y, LU G T, KONG D K. Application of stainless steel double expansion ring repair method in Huizhou water environment project [ J ]. Yunnan water power, 2023, 39(10): 215-218.

设备工程,2018(19):32-33.

LUO W. Application of safety monitoring management system in gantry crane management[J]. China equipment engineering,2018(19):32-33.

[ 2 ] 李军伟. 门式起重机吊臂坠落事故分析及安全对策[D]. 大连:大连理工大学,2014.

LI J W. Analysis of gantry crane boom fall accidents and safety countermeasures [ D ]. Dalian: Dalian University of Technology,2014.

[ 3 ] 陈思,赵吉. 大跨度门式起重机布置及安装关键技术[J]. 施工技术(中英文),2022,51(8):76-78,101.

CHEN S, ZHAO J. Key technology of large-span gantry crane arrangement and installation[J]. Construction technology,2022,51(8):76-78,101.

[ 4 ] 商大勇. 龙门吊移动荷载对地铁车站深基坑变形的影响[J]. 安全与环境学报,2021,21(1):172-179.

SHANG D Y. Influence of moving load of gantry crane on deformation of deep foundation pit in subway station[J]. Journal of safety and environment,2021,21(1):172-179.

[ 5 ] 张文韬,赵明宇,李恒,等. 基于 ABAQUS 的高低腿龙门吊结构分析[J]. 建筑结构,2018,48(S2):542-545.

ZHANG W T, ZHAO M Y, LI H, et al. Structural analysis of high and low leg gantry crane based on ABAQUS [ J ]. Building structure,2018,48(S2):542-545.

[ 6 ] 杨晓华. 龙门吊移动荷载下土岩组合地层基坑变形监测与分析[J]. 铁道建筑,2018,58(9):84-87.

YANG X H. Monitoring and analysis of pit deformation in soil-rock combination stratum under gantry crane moving load[J]. Railway engineering,2018,58(9):84-87.

[ 7 ] 高雄,屈建明,李贤仰,等. 厦漳跨海大桥南汉主桥高低腿龙门吊设计与研究[J]. 公路工程,2013,38(4):250-253,264.

GAO X, QU J M, LI X Y, et al. Design and study of high and low leg gantry crane for south branch main bridge of Xiamen—Zhangzhou Cross-Sea Bridge[J]. Highway engineering,2013,38(4):250-253,264.

[ 8 ] 谢泽福. 厦漳跨海大桥南汉主桥高低腿龙门吊设计[J]. 世界桥梁,2013,41(5):5-9.

XIE Z F. Design of high and low leg gantry crane for south branch main bridge of Xiamen—Zhangzhou Cross-Sea Bridge [ J ]. World bridges,2013,41(5):5-9.

[ 9 ] 施有志,赵花丽,阮建凑,等. 地铁竖井深基坑与龙门吊轨道基础共同作用分析[J]. 防灾减灾工程学报,2020,40(4):527-536.

SHI Y Z, ZHAO H L, RUAN J C, et al. Analysis of joint action of deep foundation pit of subway shaft and gantry crane track foundation [ J ]. Journal of disaster prevention and mitigation engineering,2020,40(4):527-536.

[ 10 ] 冯健红. 门式起重机起升机构控制改造与应用研究[J]. 中国设备工程,2019(21):90-92.

FENG J H. Research on gantry crane hoisting mechanism control modification and application [ J ]. China plant engineering,2019(21):90-92.

[ 11 ] 王琦. 大型桥梁工程门式起重设备安装技术分析[J]. 浙江水利水电学院学报,2022,34(6):71-75.

WANG Q. Analysis of installation technology of gantry crane equipment for large bridge project [ J ]. Journal of Zhejiang Institute of Water Resources and Hydropower, 2022, 34 ( 6 ) : 71-75.

[ 12 ] 周航,王伟,梁瑞,等. 桥门式起重机检验中的问题及应对策略分析[J]. 科技风,2021(17):182-183.

ZHOU H, WANG W, LIANG R, et al. Problems in the inspection of bridge gantry cranes and response strategy analysis [ J ]. Science and technology wind,2021(17):182-183.

---

(上接第 152 页)

[ 10 ] 廖宝勇. 排水管道 UV-CIPP 非开挖修复技术研究[D]. 武汉:中国地质大学,2018.

LIAO B Y. Research on UV-CIPP trenchless repair technology of drainage pipeline [ D ]. Wuhan: China University of Geosciences, 2018.

[ 11 ] 赵忠冬. 紫外光固化法在城镇排水管网修复中的应用研究[J]. 四川水利,2022,43(5):91-93,116.

ZHAO Z D. Research on the application of UV curing method in the repair of urban drainage network [ J ]. Sichuan water resources, 2022,43 ( 5 ) : 91-93,116.

[ 12 ] 卫佳,许怀奥,方帅,等. 非开挖修复技术用于大口径截污管道改造工程[J]. 中国给水排水,2023,39(10):126-132.

WEI J, XU H A, FANG S, et al. Trenchless repair technology for large-diameter sewage interception pipeline reconstruction project [ J ]. China water & wastewater, 2023,39(10):126-132.

[ 13 ] 遆仲森. 城镇排水管道非开挖修复技术研究[D]. 武汉:中国地质大学(武汉),2012.

TI Z S. Research on trenchless repair technology of urban drainage pipeline [ D ]. Wuhan: China University of Geosciences, 2012.

[ 14 ] 范磊,薛广记,刘逸霄,等. 管道更新非开挖装备技术综述[J]. 隧道建设(中英文),2022,42(S1):1-6.

FAN L, XUE G J, LIU Y X, et al. Overview of trenchless equipment technology for pipeline renewal [ J ]. Tunnel construction, 2022,42(S1):1-6.

[ 15 ] 陈波. 紫外光固化成型内衬技术(UV-CIPP)在市政管道修复中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版),2023(14):149-151.

CHEN B. Application of UV-curing inner lining technology (UV-CIPP) in municipal pipeline repair [ J ]. Theoretical research in urban construction, 2023(14):149-151.