

城市排水管道非开挖修复技术分析

邓成冬

中国水利水电第七工程局有限公司 四川成都 610213

摘要：城市排水管道是城市基础设施的重要组成部分，其正常运行对于城市的排水防涝、污水处理等方面起着至关重要的作用。然而，由于城市排水管道普遍存在使用年限长、材质老化、漏损严重等问题，亟须进行修复和改造。本文通过分析非开挖修复技术的原理、特点和适用条件，总结目前常用的非开挖修复工艺，包括CIPP紫外光固化修复、螺旋缠绕修复、胀管修复等，并通过案例分析比较不同工艺的优缺点和应用效果。在此基础上，探讨非开挖修复技术在实际应用中存在的问题和改进方向，提出加强前期管道检测与评估、开发新型修复材料、完善质量控制体系、加强人才培养等建议，以推动非开挖修复技术的进一步发展，更好地服务于城市排水管道的修复和改造。

关键词：城市排水；管道修复；非开挖技术；CIPP；缠绕修复；胀管修复

引言

城市排水管道是收集和输送城市生活污水、工业废水和雨水的重要市政基础设施。随着城市化进程的加快和排水管道使用年限的增加，许多城市的排水管道出现了不同程度的老化、破损、渗漏等问题，严重影响了城市排水系统的正常运行和服务功能。及时有效地对损坏的排水管道进行修复和改造，对于保障城市排水安全、改善城市环境、提高居民生活质量具有重要意义。目前国内已开发出多种非开挖修复工艺，如CIPP紫外光固化修复、螺旋缠绕修复、胀管修复等，并在实际工程中得到成功应用。但同时由于我国排水管道使用年限长、布局不规范、管理水平落后等原因，采用非开挖修复仍存在不少困难和问题，需要从管道检测评估、修复材料研发、工艺技术优化、质量及安全控制等多个方面加以完善。

一、非开挖修复技术分析

（一）非开挖修复的原理

非开挖修复一般是在管道内部进行的修复加固处理，主要利用软性薄壁塑料管材或树脂浸渍的柔性织物管，借助空气或水的压力，将其翻转或缠绕到老旧管道内壁上，再利用水、热、紫外光等方式使树脂材料固化，最终在老管道内形成一个新的结构层，从而起到修复加固的作用^[1]。根据所用材料和修复方式的不同，非开挖

修复可分为四类：（1）塑料内衬法，利用热塑性塑料管以褶皱或平卷状态牵拉入老管内，利用蒸汽或热水加热塑料管胀形紧贴内壁；（2）复合材料内衬法，将树脂浸渍纤维材料管反转或牵拉入老管内，再利用紫外光、热水或蒸汽等方式促进树脂固化，形成复合材料内衬层；（3）点状修复法，对局部破损缺陷进行封堵、注浆等加固处理；（4）非开挖修复新材料新工艺，如采用热熔树脂螺旋缠绕修复、可膨胀树脂灌注成型修复等。

（二）非开挖修复的优点

与传统的明挖更换法相比，非开挖修复具有以下突出优点：

1、施工便利

非开挖修复技术在地下管道内进行，对地面影响小，无需开挖沟槽，大大降低了施工强度。传统明挖法需要在地面开挖管沟，破坏路面和景观，施工后还要投入大量人力物力进行路面修复、景观重建等，工序繁琐，影响范围大。而非开挖修复利用原有管道作为施工通道，避免了地面开挖，减少了对道路交通、地下管线、周边建筑等的干扰，无需占用额外施工场地，节省了临时用地费用。同时，非开挖修复大部分工序在管道内部进行，不受地面情况限制，施工环境相对封闭，不易受外界干扰，能更好地保证施工质量和工期。即使在道路交通繁忙、人口密集的城区，非开挖修复也能方便施工，充分体现出其施工便利性优势^[2]。

2、工期短

与传统的明挖更换法相比，非开挖修复技术采用工厂化生产的内衬管材或配套的快速固化树脂体系，大幅缩短了材料准备时间。例如CIPP工艺常用的热固性树脂

作者简介：邓成冬（1990年2月24日-今），性别：男，重庆人，本科、工程师，研究方向：水利水电工程、轨道交通工程、市政公用工程、房屋建筑工程的施工技术及管理。

内衬,可在工厂预制成型,运至现场后直接导入管道内,经热水或蒸汽促进固化后即可形成新管,整个施工过程一气呵成,工效高。而传统明挖法需现场浇筑或拼装管节,工序多、周期长。据统计,在同等条件下,采用非开挖修复平均每天可完成50—100米管道的修复,而明挖法修复1米长管道往往需要1~2天,工期相差悬殊。并且在道路交通繁忙路段,明挖施工还需考虑交通疏解、占道施工时间限制等,使得实际工期更长。因此,大幅缩短工期是非开挖修复的显著优势之一。

3、投资省

非开挖修复由于减少了开挖量,无需动用大型机械设备,节约了大量挖掘回填费用。传统明挖法需使用挖掘机、装载机等进行土方开挖,需考虑运渣、回填、压实等工序,人工、机械费用高。以修复1米长的管道为例,明挖法仅开挖、回填直接费用就可达1000元以上。而非开挖修复一般只需在局部位置开挖检查井,井间修复利用专用设备在管内操作,大大节约了人工费用。加之非开挖修复能有效减少修复期间的交通阻断、占地等间接损失,使工程总费用大幅降低。有资料统计,非开挖修复工程造价平均只有明挖法的50%左右,节约效果明显。这一优势使得在维护更新预算有限的情况下,采用非开挖修复可修复更长里程的老旧管网,扩大受益范围。

4、质量好

非开挖修复多采用高分子复合材料内衬管,表面光滑,与污水接触面积小,不易沉积杂物,减少了二次污染和管道腐蚀。例如CIPP内衬管采用树脂浸渍纤维材料,固化后强度高,耐磨耐腐蚀,内壁糙率低,过流能力强,使用寿命可达50年以上。相比之下,混凝土等传统管材表面粗糙,在污水长期冲刷下易产生腐蚀和结垢,需定期清淤维护,使用寿命较短。此外,非开挖修复基本不改变原管径,保留了较大过流断面,虽略小于原管径,但完全可以满足设计标准要求。修复后的管道尺寸统一,内壁平整,避免了明挖法易出现的管节错台、接口渗漏等问题,管道整体性能和系统效能都得到提升。

(三)非开挖修复的适用范围

根据目前的技术水平,非开挖修复对管道的适用范围如下:

- 1、管径D-N3500;
- 2、管道材质:混凝土、钢筋混凝土、砖砌、PVC、PE、铸铁等;
- 3、管道状况:变形、裂缝、破损、接头脱节、树根侵入、腐蚀穿孔等,但变形率及断面减少不应超过40%;
- 4、埋深:一般在0-10m,个别可达15m;
- 5、长度:根据管径和工艺而异,一般在80~150m。

除上述常规适用范围外,对于一些复杂情况如存在大量障碍物、变形过大、恶劣腐蚀环境等,需经过管道检测和评估后,根据具体情况选择合适的非开挖修复工艺。总的来说,非开挖修复已成为排水管道修复的重要技术手段,特别适用于人口密集、地下管线复杂、交通繁忙等不宜大规模开挖的城市地区。

二、非开挖修复主要工艺

非开挖修复技术的发展日新月异,目前已形成多种成熟工艺,下面就几种常用的工艺进行分析。

(一)CIPP紫外光固化修复

CIPP即原位固化塑料管修复(Cured-in-place Pipe),是目前应用最广泛的一种非开挖修复工艺。其基本原理是:用玻璃纤维毡或聚酯毡浸渍热固性树脂,制成一定长度的软管,通过气囊反转或绞车牵引方式置入待修复管道中,然后利用蒸汽或热水、光固化等方式促使树脂固化,形成一个新的结构层,从而起到修复管道的作用^[9]。

CIPP工艺可分为热固化和光固化两种。传统的CIPP采用热固化方式,即利用蒸汽或循环热水加热软管,温度一般在80~100℃。由于受加热不均、温度梯度大等因素影响,热固化CIPP存在固化不彻底、内应力集中等问题。近年来,CIPP光固化技术得到快速发展,利用紫外光对树脂进行固化,具有固化速度快(每米管道固化时间不到1分钟)、固化质量好、强度高、耐腐蚀、表面光滑等优点,目前已成为CIPP修复的主流方式,并在国内城市排水管道修复中得到广泛应用。

(二)螺旋缠绕修复

螺旋缠绕就是利用专门的缠绕机,将PVC、PE、PP等热塑性塑料带材加热后,沿管道轴向呈螺旋状缠绕固定在老管道内壁上,形成新的结构内衬层。塑料带材厚度一般为1—3mm,宽度在20—30cm。根据管道尺寸选择合适的带材宽度,每圈带材搭接10—20mm进行热熔焊接。

具体施工过程为:先用高压水冲洗管道内部,如塑料结泥等应预先清除。管道两端各安装一个机械快速接头,然后把缠绕机置入发进井内,启动缠绕,带材在管内连续螺旋缠绕前进,直至到达终止井,形成新管。新管道内径比原管径略小20—50mm,强度、刚度明显提高,水力性能也得到改善。螺旋缠绕修复具有如下特点:(1)对管道破损程度要求不高,变形、裂缝、错口等普遍存在的老旧管道均可修复;(2)材料可塑性好,适应性强,对椭圆形、纺锤形等变形管道修复效果好;(3)内衬层厚度大,环刚度高,起支撑作用,修复后管道强度明显提升;(4)缠绕成型的新管道光滑,过流能力强,不易附着污泥。

（三）胀管修复

胀管修复是一种常用的非开挖修复技术，其基本原理是将热塑性塑料管如PE、PP管回收到老管道内，利用板环或插条固定于管口，然后向塑料管内充入蒸汽或热水使其胀形，紧贴并焊接到老管内壁，最后排除管内介质，形成新的结构管道。胀管施工一般分为准备、插管、胀形固定三个阶段^[4]。准备阶段需根据原管道直径预制一定壁厚的PE塑料管，两端佩戴法兰，长度略小于原管道。同时按插管长度在进井和终止井之间开挖插管井，并在两端井内安装牵引绳和导向滑轮。插管阶段是将塑料管两端与牵引头连接，利用卷扬机沿原管道牵引，待管道全部进入后，切断管口，为胀形做准备。胀形阶段向塑料管内通入蒸汽或热水，使其均匀受热膨胀，热胀后塑料管紧贴并局部熔融黏结到老管壁上，保压一定时间，再排除管内介质，完成修复。胀管修复的主要优点是材料性能稳定，强度高，耐腐蚀；管径收缩率小，修复后管径与原管道基本相当；施工机具设备简单，操作方便，易于实现机械化；且修复质量容易控制。

（四）其他非开挖修复工艺

除了上述常见的非开挖修复工艺外，近年来一些新型非开挖修复技术也得到了研发和应用，丰富了非开挖修复的手段。其中，玻璃钢夹砂管内衬技术利用定向钻机将预制的玻璃钢夹砂管内衬置入待修复管道内，通过热固性树脂浸渍并固化成型，形成新的内衬层，具有内壁光滑、强度高、耐腐蚀等特点。热熔挤压成型修复则是将带有加热装置的成型模头置入管内，边前进边将热塑性塑料软化并挤压贴合到管壁上，冷却后形成新管。该工艺设备投入小，适用于小口径管道修复。芯轴式螺旋缠绕是在常规螺旋缠绕过程中引入一根柔性芯轴，使缠绕带材张紧压实，提高了缠绕效率和强度。此外，新型树脂材料、光固化技术、机器人修复系统等也不断涌现。例如，某污水处理厂需修复厂区一条复杂敷设的排水管道，由于地面空间限制，难以进行常规的明挖和非开挖修复作业。最终采用定向钻机牵引玻璃钢夹砂管内衬修复，在管道内就位并一次性固化成型，大大减少了地面开挖量，克服了空间限制。修复后管道强度显著提高，水力性能改善，受到了用户好评。

三、典型案例分析

北京某小区污水管道CIPP光固化修复

该小区建于20世纪90年代，污水管网使用已超过20年，大部分管段出现不同程度的破损、渗漏，给小区环境和居民生活带来严重影响。为尽快修复，同时减少开挖对小区景观和居民生活的干扰，最终选用CIPP光固化工艺对破损管道进行非开挖修复。

具体施工过程为：首先利用CCTV检测仪对拟修复管段进行内部检查，掌握管道破损情况，并对检查井、跌水井、拐弯处等进行测量，为设计修复方案提供数据支持。在此基础上，依据相关规范设计内衬管厚度、树脂配比等参数，并预制内衬软管。修复施工分三步进行：导入软管、紫外光固化、冷却。利用专用的反转罐将树脂浸渍软管反转入管道内，安装好封堵设备后，开启紫外光灯开始固化，固化时间约为每米管长2分钟。固化完成后采用空气或水对内衬管进行冷却定型，再用高压水对内衬管进行养护，整个施工过程不到1天。CIPP修复后，管内壁十分光滑，渗漏问题彻底消除。

本工程共修复污水管道近1000米，管径DN300~DN600，平均每天修复长度可达200米，有力地保证了施工进度。修复后管道结构完整，渗漏隐患消除，并经过10年回访，内衬层无松动脱落，实现了长期修复的目的。据统计，非开挖修复的直接工程费比常规明挖法节约30%左右，加上减少的交通疏导费用、场地恢复费用，综合造价节约50%以上。修复后管网水利条件明显改善，小区污水全部纳入市政管网统一处理，极大地改善了小区卫生状况。

结束语

城市排水管道的非开挖修复技术经过多年发展，已日趋成熟并在实践中发挥着越来越重要的作用。与传统的明挖修复相比，非开挖修复具有诸多优势，如施工便利、工期短、投资省、质量好、社会效益显著等，特别适用于城市交通繁忙、地下管线复杂、不宜大规模开挖的地段。CIPP光固化修复、螺旋缠绕修复、胀管修复等常用工艺各有特点，可根据管道状况和施工要求进行选择。随着城市排水防涝标准的提高和海绵城市建设的推进，排水管网修复改造的需求将进一步增加，非开挖修复技术也将得到更加广泛的应用。

参考文献

- [1] 武艺锋.城市排水管道非开挖修复技术分析[J].重庆建筑, 2024, 23(08): 82-84.
- [2] 李元元, 赵伟琪, 周超.城市排水管道非开挖修复技术在南方某地区的应用[J].城市道桥与防洪, 2023, (04): 142-145+148+19.
- [3] 李予青.城市排水管道现状评估与非开挖修复技术研究[J].中国煤炭地质, 2021, 33(06): 74-77.
- [4] 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.