

# 给排水工程中给水管道的非开挖 不锈钢内衬修复技术应用研究

谭汝邦

(广东佛水建设有限公司, 广东 佛山 528000)

**摘 要** 给水管道的非开挖修复技术是城市基础设施的核心环节, 其运行状态直接决定了居民用水安全, 也事关城市整体发展。本文聚焦给水管道的非开挖修复技术, 在阐述该技术原理与优势的基础上, 解析结构设计要点, 并结合工程案例梳理施工流程: 从前期勘察、工作井施工, 到断管通风、检测预处理, 再到内衬设计、管胚制作、内衬处理与焊接, 最后完成焊缝检测。研究表明, 非开挖修复技术可有效解决腐蚀、渗漏问题, 显著提高管道耐久性与安全性。

**关键词** 给排水工程; 给水管; 非开挖修复技术

中图分类号: TU991

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.33.020

## 0 引言

给水管长期通水后, 管道受水质、土壤等多重因素影响, 腐蚀、渗漏甚至爆裂频频出现, 既埋下安全隐患, 也浪费了水资源。传统开挖修复弊端明显, 大面积开挖路面, 导致交通阻断、噪声污染及粉尘污染、地下管线易遭连带破坏, 影响市民出行和生活, 而且费用高、工期长。非开挖技术通过避免大面积开挖地表, 显著减少了对城市交通、商业活动和居民生活的干扰, 同时有效降低了扬尘、噪声等环境污染, 施工周期短、效率高, 且综合成本更低, 通过减少土方作业和材料浪费实现经济性优化, 成为给水管更新的优先选项。

## 1 非开挖修复技术概述

### 1.1 技术原理

非开挖修复技术无需破土即可修复给水管。施工时, 专用设备把薄壁不锈钢管送入旧管, 并使其紧密贴合, 形成“管中管”。不锈钢耐腐蚀、强度高, 可隔绝水质与旧管壁接触, 阻止继续锈蚀, 从而恢复通水能力与密封性, 延长管道寿命<sup>[1]</sup>。

### 1.2 技术优势

环境影响显著降低。由于无需全线开挖, 城市路面、地下管线和居民生活几乎不受施工扰动; 现场扬尘与噪声同步下降, 城区得以保持洁净与安静。一次连续修复可超过 500 m, 工期因此缩短, 且完工后无需养护即可通水, 停水时间被压缩到最低, 整体效率随之提升。不锈钢内衬耐腐蚀、耐冲刷, 使修复后的管道寿命延长至五十年以上, 耐久性与安全性同步提高。光滑的

内壁不易结垢, 不会向水中释放污染物, 对饮用水尤其友好。给水、排水、燃气、热力、电信、电力及工业管线均可采用这一工艺, 不同材质、口径和压力等级的管道都能适配, 通用性突出。

## 2 非开挖修复结构设计

### 2.1 内衬材料

非开挖修复常用的不锈钢牌号包括: 06Cr19Ni10 (304)、06Cr17Ni12Mo2 (316) 和 022Cr17Ni12Mo2 (316L), 其性能与适用场景见表 1。

### 2.2 内衬管直径选择

内衬管直径需按原管内径精确匹配, 既要保证顺利推入, 又要贴紧管壁。通常取比原管内径稍小的尺寸, 置入后再用缩径或水压膨胀使其密贴。现场还需结合管道变形程度和修复目标综合权衡。以 DN800 管为例, 内衬管可做成 780 ~ 790 mm。

### 2.3 内衬管壁厚计算

非开挖修复技术通常用于原管道仅出现轻度腐蚀等轻微破损的情形。修复完成后, 原管与内衬管一起分担内外压力。因此, 当该技术应用于因腐蚀而轻度受损的重力流原管时, 内衬壁厚  $t$  应按下列公式确定:

$$t = \frac{D}{\left[ \frac{2KE_L C}{PN(1-\nu^2)} \right]^{1/3} + 1} \quad (1)$$

式 (1) 中:  $D$  为原管道平均内径, mm;  $E_L$  为内衬弹性模量, MPa;  $C$  是椭圆度修正系数;  $P$  为内衬临界负压, MPa;  $N$  为安全系数。采用非开挖修复非埋

表 1 不锈钢内衬材料状况

牌号	化学成分特点	力学性能	适用条件
06Cr19Ni10 (304 型)	含 18% 铬、8% 镍，具有良好的耐腐蚀性和加工性能	抗拉强度> 520 MPa，延伸率≥ 35%，屈服强度≥ 310 MPa	适用于一般水质条件，氯离子含量≤ 200 mg/L 的饮用净水、生活饮用冷水、热水、空气、燃气等管道
06Cr17Ni12Mo2 (316 型)	在 304 型基础上增加了钼元素，耐腐蚀性更强	抗拉强度、延伸率、屈服强度等力学性能与 304 型相近	适用于耐腐蚀要求高于 304 型场合的管道，氯离子含量≤ 1 000 mg/L
022Cr17Ni12Mo2 (316L 型)	碳含量更低，耐晶间腐蚀性能更好	力学性能与 316 型相似	适用于海水或高氯介质环境

地原管道时，设计内衬厚度  $t$  按下式计算：

$$t = \frac{D}{2\sigma_{TL}IPN + 2} \quad (2)$$

式 (2) 中： $\sigma_{TL}$  为不锈钢内衬抗拉强度，MPa。

对轻微破损的埋地原管道实施不锈钢内衬修复时，最终设计厚度需经两道计算：先按式 (1) 和式 (2) 分别求值，再取两者中的较大值作为结果。

《给水排水工程管道结构设计规范》(GB 50332-2002) 将压力管道运行中可能出现的真空负压标准值定为 0.05 MPa。据此，结合前述理论公式与试验数据，本工程各参数取值及壁厚计算结果汇总于表 2。

表 2 给出的计算结果显示，式 (1) 得  $t=1.92$  mm，式 (2) 得  $t=0.046$  mm，设计壁厚取二者较大值，即 1.92 mm。试验用 1.79 mm 不锈钢内衬在 -0.05 MPa 负压下仍完好，表明按原位固化法半结构性修复公式得到的壁厚偏于保守<sup>[2]</sup>。

### 3 工程案例及应用分析

#### 3.1 工程概况

某老旧城区一段给水干管需修复，全长 1 000 m，管径 DN1200，原管材为预应力混凝土管，已运行逾 20 年。长期服役后出现多处渗漏与腐蚀，供水受到明显影响。经综合比选，确定采用非开挖不锈钢内衬技术进行更新。

#### 3.2 不锈钢内衬修复技术施工工序

##### 3.2.1 现场勘察及地下管线的探测

施工启动前，必须对目标管道做一次彻底勘察。除逐段记录材质、直径、长度、走向和埋深外，还要把周边环境摸清楚，以便准确判断管道损伤程度并掌

握地质状况。随后，用地下管线探测仪扫描作业区，将其他管线的平面位置和走向标在图上，防止后续开挖误伤<sup>[3]</sup>。

##### 3.2.2 工作井设计施工

结合现场踏勘与地下管线资料划定工作井位置时，应遵守三项原则：第一，选址前须通盘考虑周边环境 and 交通条件，尽量让井位避开地上建筑、架空线、地下管线及其他既有构筑物，以降低对邻近设施的扰动并确保作业安全；第二，为便于施工，井位宜落在管径变化、走向转折或设有阀门井等特征点，使操作面更集中；第三，同一修复段两端的工作井间距须与施工能力匹配，一般不宜超过 500 m。本段管道拟设三口工作井，平面尺寸统一取 4 m×4 m，井底高程定于管底以下 0.7 m。

但在实际开挖前，工作井的最终落点仍需把现场环境、交通条件及拟采用的施工工艺一并权衡后才能决定。

##### 3.2.3 管道断管、通风

本工程中，为避免由于施工期间有少量泥沙和其它杂质随水流带入管道而影响安装质量及今后使用功能，在每段施工区的两头设堵头封死；并做断水处理、使管道处于干燥状态；在管道内部安装风道风机等通风装置，将管道内有毒或易燃性气体排到室外去，以保障施工人员安全。

##### 3.2.4 管道检测与预处理

1. 管道检测：借助 CCTV 检测机器人和声呐设备，对给水管道进行全覆盖扫描，记录腐蚀、破损、管径及走向等内部信息，并据此判断修复可行性与拟定方

表 2 不锈钢内衬各参数的取值及壁厚计算

项目	管径 (D) /mm	增强系数 (K)	弹性模量 ( $E_L$ ) /GPa	椭圆度修正系数 (C)	内压 (P) /MPa	安全系数 (N)	泊松比 ( $\nu$ )	抗拉强度 ( $\sigma_{TL}$ ) /MPa	壁厚 (t) /mm
公式 (1)	800	11.38	195	0.91	-0.05	1.2	0.247	—	1.92
公式 (2)	800	—	—	—	-0.05	1.2	—	520	0.046

案。结果显示,管道多处出现裂缝、穿孔及局部严重腐蚀。

2. 管道预处理:先对局部破损、裂缝或错位等缺陷进行修补,如用环氧树脂封堵、钢筋混凝土加固,使原管道恢复结构稳定;随后以高压水射流或化学清洗去除沉积物、水垢和锈蚀,令内壁洁净,从而保证不锈钢内衬与原管壁紧密贴合。

### 3.2.5 内衬设计及管胚制作

依据管径与修复需求,选定 06Cr19Ni10(304 型)不锈钢板,厚度 1.2 mm。板材在工厂按图下料,经卷制、焊接制成与旧管匹配的内衬管。现场将不同幅宽原料搭配,用 4 m 卷板机卷圆,直径控制在 1.0 m 左右,对应 DN1200 原管,临时定型成管坯;随后以自动或手工焊完成纵缝,全程监控电流、电压及速度,保证焊缝性能达标。

### 3.2.6 内衬处理及焊接

1. 将卷制成型的不锈钢管坯吊入工作井,置于电动运输小车,由电动运管车推送至原管道。布管时,相邻管段纵向焊缝应错开 200 mm 以上,并尽量位于 4 点与 8 点钟方向,搭接朝向水流下游。随后以牵引绞车为动力,把经变形模具缩径后的不锈钢内衬逐节拖入待修管段;牵引速度保持均匀,绳表涂润滑脂以降低摩擦,防止衬管表面划伤。

2. 内衬贴合:利用水压膨胀法让内衬管紧贴原管壁。向内衬管注入高压水,使其均匀扩张并与原管道贴合,过程中避免出现空隙或褶皱。

3. 内衬焊接:采用分阶段集中作业,先将长度超过 10 m 的不锈钢管坯布设到位,再集中完成纵向焊缝,随后进行环向焊接,形成连续内衬。焊接选用氩弧焊,焊前清理坡口,焊接过程中严格控制参数,确保焊缝牢固、平整,无气孔、夹渣等缺陷<sup>[4]</sup>。

### 3.2.7 焊缝检测与试验处理

1. 焊缝检测:采用超声波、X 射线等无损手段对焊接部位进行全覆盖检查,确保内部质量达标。检测比例与合格等级按现行规范及设计文件执行,本工程实行 100% 探伤,评定级别为 I 级。

2. 严密性试验:依据《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268—97)和《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》(CJJ/T 210),对修复管段做水压试验。压力升至设计值的 1.5 倍后稳压 30 min,全程无渗漏,严密性满足要求。

3. 强度试验:修复完成后,对管道加压至设计值并稳压不少于 30 min,观察是否出现变形或渗漏。试验结果表明,管道强度达标,未见异常。

4. 外观检查:查看管道外表面,确认不锈钢内衬管是否光滑平整,焊缝是否饱满且无缺陷,并核对管道与检查井等附属接口的密封情况。结果显示,内衬管表面平整,焊缝饱满、无瑕疵,与附属设施连接严密<sup>[5]</sup>。

### 3.3 修复效果评估

修复完成后,对管道进行了压力试验和内窥镜检测。压力试验结果表明,管道在 1.5 倍工作压力下保持 30 min 无泄漏,符合设计要求。内窥镜检测显示,不锈钢内衬与原管道内壁贴合良好,接缝处焊接质量可靠,内衬表面光滑,无缺陷。同时,对修复前后的管道流量和水质进行了监测,结果如表 3 所示。

表 3 修复效果对比

监测项目	修复前	修复后	变化率
管道流量 (m <sup>3</sup> /h)	800	850	+6.25%
水质浊度 (NTU)	1.5	0.8	-46.67%
水质余氯 (mg/L)	0.3	0.5	+66.67%

从表 3 中可以看出,修复后管道的流量有所增加,水质得到了明显改善,说明非开挖不锈钢内衬修复技术有效地提高了管道的输水能力和供水质量。

## 4 结论

本文结合理论推导与现场案例,对给排水管道非开挖不锈钢内衬修复技术进行了系统探讨,主要结论如下:首先,该技术扰动小、工期短,衬后管道密封性与水质均保持良好,可广泛用于腐蚀、渗漏等病害治理,综合优势突出。其次,设计阶段需依据服役工况,匹配不锈钢牌号、内衬管径及壁厚,使修复管段在剩余寿命周期内满足强度与过流要求。最后,案例表明,严守工序流程、强化质控与安全管理,是确保工程质量和运行安全的关键。未来研究应持续优化工艺,提升效率。

## 参考文献:

- [1] 李国民,乔士航,颜腊红,等.某河流穿越管道腐蚀检测与修复[J].腐蚀与防护,2020,41(12):34-36,43.
- [2] 孔祥利,文韬,樊星.管道非开挖修复技术在城市水环境治理中的应用研究[J].施工技术,2020,49(18):73-75.
- [3] 罗智程.给排水管道不锈钢内衬非开挖修复技术研究与应用[J].中国给水排水,2021,37(16):102-107.
- [4] 钱吉洪,陈威任,王喆.非开挖 CIPP 常温固化翻转内衬修复技术在供水管道的应用[J].城镇供水,2021(04):48-51.
- [5] 张锦刚,杨国才,刘刚伟,等.管端内衬不锈钢焊管环焊缝缺陷分析[J].焊管,2017,40(08):45-48.