DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.260650

大口径管线非开挖不锈钢内衬修复技术研究

刘　鹏
(中交第四航务工程局有限公司,广东 广州 510200)

摘　要： 针对老旧大口径给水管道破损渗漏严重、传统开挖修复受限的问题,依托揭阳市揭东区金新路DN1200给水管道修复工程,研究了非开挖不锈钢内衬修复施工技术。系统阐述了作业坑处理、CCTV检测与高压水射流清洗、管坯制作与运输、管内撑管与满焊成型及端口过渡连接等关键工序。工程实践表明,经分段水压试验验证,通过采用厚4 mm不锈钢内衬,6段典型管节稳压15 min压力降均满足《给水排水管道工程施工及验收规范》允许限值的要求,全线无渗漏。该技术能够有效恢复管道结构强度和密封性,实现低扰动、少占道施工,对同类大口径给水管道非开挖修复具有一定参考意义。

关键词： 大口径;给水管道;非开挖;不锈钢内衬;修复施工;市政工程
中图分类号： TU991.36　　**文献标志码：** A　　**文章编号：** 1009-7716(2026)11-0354-05

Research on Trenchless Stainless Steel Lining Repair Technology for Large Diameter Pipeline

LIU Peng
(CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510200, China)

Abstract: Aiming at the problems of serious damage and leakage of the old large-diameter water supply pipeline and the limitation of traditional excavation repair, relying on the DN1200 water supply pipeline repair project in Jinxin Road, Jiedong District, Jieyang City, the trenchless stainless steel lining repair construction technology is studied. The key processes such as operation pit treatment, CCTV detection and high-pressure water jet cleaning, pipe blank production and transportation, pipe support and full weld forming and end transition connection are systematically described. The engineering practice shows that the pressure drop of 6 typical pipe joints after 15 min pressure stabilization meets the requirements of the allowable limit values stipulated in the *Code for Construction and Acceptance of Water Supply and Drainage Pipeline Engineering,* and there is no leakage in the whole line through the verification of segmented hydrostatic test by using 4mm thick stainless steel lining. This technology can effectively restore the structural strength and tightness of the pipeline, realize the construction of low disturbance and less road occupation, and has certain reference significance for the trenchless repair of similar large diameter water supply pipeline.

Keywords: large caliber; water supply pipeline; trenchless; stainless steel lining; repair construction; municipal engineering

0　引　言

随着城镇化进程加快,早期埋设的供水管网已逐步进入老化期,管道破损、渗漏现象频发,不仅造成水资源浪费,还严重影响着供水安全与公共安全[1]。

传统的开挖修复方法在城市建成区面临交通拥堵、管线复杂和居民投诉等多重挑战,非开挖修复技术因此得到广泛应用[2]。在不锈钢内衬法、原位固化法、螺旋缠绕法等诸多非开挖工艺中,不锈钢内衬法因其内衬层强度高、耐久性好、内壁光滑且可带水作业等优势,在大口径给水管道修复中展现出显著的技术经济价值[3]。

揭阳市揭东区金新路DN1200给水管道因运行年限长,内壁腐蚀严重,爆漏风险日益突出,急需进行加固与防腐处理。

为明确不锈钢内衬修复技术的工艺优势,将其与定向钻、顶管2种常见非开挖施工方法进行对比。定向钻和顶管属于管道更新工艺,需废弃原管并重新铺管,对施工场地长度和空间要求高,易引起地面沉降,影响周边管线安全[4]。不锈钢内衬法则属于

收稿日期：2026-06-10
作者简介：刘鹏(1995—),男,本科,工程师,从事市政工程施工管理工作。

管道修复工艺，利用原管作为承载结构，无需大规模土方作业。在质量方面，不锈钢内衬层与旧管紧密贴合形成“管中管”复合结构，厚 4 mm 内衬板承压能力经实测达 0.056 MPa 以上，焊缝经 100% 外观检查及分段水压试验验证无渗漏，质量可控性优于定向钻和顶管施工中可能遇到的障碍物损伤风险[5]。在成本方面，不锈钢内衬修复省去了定向钻和顶管的泥浆系统、大型发射井及接收井费用，无需处理废弃泥浆，直接施工成本降低 25%~35%，且避免了路面破除修复的巨额赔偿，综合社会成本优势显著[6]。因此，该工程选用不锈钢内衬修复方案，在保障结构强度与密封性的前提下实现了低扰动、快工期、高性价比的修复目标。

基于该工程前期测算与同期同类工程调研，不锈钢内衬修复技术在综合造价与工期方面优势明显：该工程修复总长度 2 233 m，综合造价约 1 860 元/m，而定向钻和顶管工艺在该路段估算综合造价分别为 2 420、2 680 元/m，即不锈钢内衬法分别节约 23.1%、30.6%；计划施工工期 76 d，较定向钻工艺（约 95 d）和顶管工艺（约 110 d）分别缩短 20%、31%。后文将结合工程实测数据，进一步验证上述量化优势。

1　工程概况

揭阳市揭东片区部分市政供水管网已运行超过 20 年，管道老化、爆漏频繁，严重制约区域供水安全。该工程选择金新路（揭东水厂至梅岗中学）段 DN1200 给水管道作为修复对象。该段管道原为铸铁管，因长期使用导致密封性能下降、内壁腐蚀严重，急需进行加固与防腐处理。综合考虑交通疏导、地下管线保护及工期要求，确定采用非开挖不锈钢内衬修复方案，修复总长度 2 233 m；计划施工工期 76 d，该工期自首个作业坑开挖起至最后一段水压试验合格止，包含前期准备、管道预处理、内衬安装焊接及全线试压验收的全部工序。

施工总体平面布置示意图见图 1。

施工主要沿金新路沿线布设作业坑及材料堆放区。工程核心目标是：通过内衬不锈钢层恢复管道的整体结构强度和密封性，并利用不锈钢的耐腐蚀特性延长管道使用寿命。

2　施工工艺与关键技术

2.1　总体施工工艺流程

不锈钢内衬施工工艺流程图图 2。



图 1　施工总体平面布置示意图

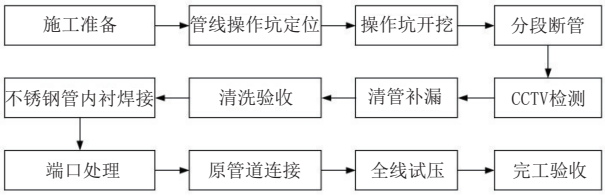


图 2　不锈钢内衬施工工艺流程图

不锈钢内衬修复是一项多工序协同的系统工程，整个流程可归纳为“预处理→内衬安装→连接密封→验收试压”4 个阶段。

预处理阶段包括作业坑开挖支护、CCTV 检测、清管补漏和内壁清理；内衬安装阶段包括管坯制作与运输、管内布管、撑管作业、点焊定位及焊接成型；连接密封阶段完成不锈钢内衬管与原管道端口的过渡连接，确保修复段两端不渗漏，如图 2 所示。

2.2　作业坑处理与管道预处理

根据施工方案，该工程每个作业坑尺寸均为 4 m×3 m，依据现场条件采用完全断管或开天窗方式，开口长度控制在 1.6~2.5 m。作业坑开挖后立即进行可靠支护，确保人员进出与材料吊装的安全，同时防止坑壁坍塌。管道预处理质量直接决定内衬的附着效果。首先采用 CCTV 内窥系统对原管道内部进行全段扫描，精确识别裂缝、破损及沉积物位置，检测过程中无需人员进入管道，安全性高[7]。随后使用 HD80/25 型管道高压清洗机，以 80 L/min 的流量对内壁进行高压水射流清洗，彻底清除沉积物、污泥及松散腐蚀层。对于 CCTV 检测发现的破损和裂缝，采用封堵剂与快干水泥进行预先修补，以保证内衬施工基面平整、坚实。

2.3　不锈钢内衬安装与焊接

2.3.1　管坯制作与运输

管坯采用 δ5 mm 不锈钢板卷制而成，在加工厂按设计尺寸进行裁剪、卷圆并临时固定，形成便于运输的管坯单元。每个管坯单元的长度依据现场作业坑开口尺寸和运输条件确定，与作业坑断管开口长

度相匹配[8]。管坯制作完成后，由 17 m 平板车运输至施工现场，再通过 25 t 汽车吊吊运至作业坑内，准备送入原管道。

2.3.2　管内布管与撑管作业

管坯送入原管道后，依次进行布管和撑管作业。布管阶段将管坯沿管道轴线逐节推送至预定位置，各管坯之间预留焊接间隙，确保后续焊接作业有足够操作空间。撑管作业采用专用撑管器，通过液压驱动使不锈钢板径向均匀扩张，直至紧密贴合原管道内壁。撑管过程中需严格控制扩张力，避免过度扩张导致板材破裂或扩张不足造成贴合不密实，从而影响内衬层的整体结构强度，如图 3 所示。



图 3　撑管作业

2.3.3　管内焊接成型

焊接作业是内衬修复的核心工序，直接决定着内衬层的整体性和密封性。该工程采用 AXC-400-1 型电焊机，焊接电流控制在 110~130 A，电弧电压 22~26 V，焊接速度 80~120 mm/min，采用 ϕ3.2 mm 的 E308L 不锈钢焊条，层间温度控制在 150 ℃以下，每层焊道施焊前需清除前道焊缝的熔渣及飞溅物，由持有特种作业操作证的焊工在管内完成焊接。焊接工序依次为：管坯点焊定位、分段焊接、焊缝成型。点焊定位阶段先将各管坯进行初步固定，防止移位；分段焊接阶段由管段中部向两端逐步施焊，以释放焊接应力；最终形成连续、饱满的焊缝。所有焊缝均采用满焊工艺，焊后检查无气孔、夹渣、裂纹等缺陷[9]。考虑到人员在管内作业的安全，施工期间在对应路段上部设置交通阻碍标志，严禁重车通行，并配备通风和照明设施。图 4 为管内焊接成型后的效果。

2.4　端口处理与原管道连接

该工程端口处理采用“过渡大小头+法兰密封+不锈钢过渡管”的组合工艺。首先特制一个带有钢制法兰盘的大小头，其法兰盘内径与原铸铁管内径相等。用快干高强水泥将大小头固定在原管道端面

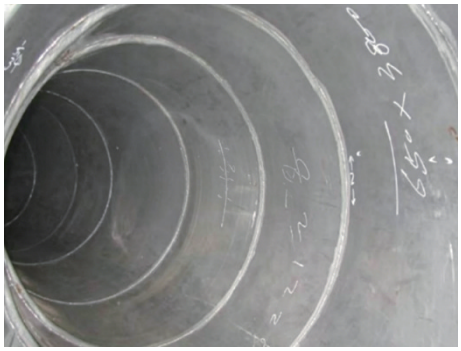


图 4　管内焊接成型

上，并在两者之间加设密封胶圈进行密封，确保连接处不渗漏。然后在法兰盘内部焊接一段长 200 mm、厚 5 mm 的不锈钢过渡管，过渡管外径与原管道内径相等。最后将内衬管与过渡管满焊连接，形成连续、致密的焊缝。该工艺将内衬层与原管道刚性连接，配合密封胶圈和快干水泥的双重防护，实现了内衬层与原管道的密封一体化过渡（见图 5）。



图 5　不锈钢内衬端口处理及连接

3　质量管控与试压验证

3.1　施工过程质量控制

材料控制方面，进场的每批不锈钢板均需核验材质证明文件，并抽样复验厚度与力学性能，厚度偏差不得超过设计值的±5%；过程控制方面，严格执行自检、互检、专检的“三检制”，每完成一道焊接工序即进行外观检查，发现气孔、夹渣、裂纹等缺陷立即修补。内衬成型后，采用 CCTV 再次进行内壁摄像检查，验收标准为：表面无鼓胀、无未固化现象；表面不得有裂纹；表面不得有严重的褶皱与纵向棱纹；端部切口与井壁平齐，封口不渗漏水。

3.2　修复效果试压验证

最终的质量验证采用全线水压试验。试压前封堵管道两端并注满水浸泡 24 h，以充分排出管内空气。随后使用试压泵分级缓慢升压至试验压力，稳压 15 min，观察压力降及管道外观渗漏情况。根据设计文件，不同口径管道在不同不锈钢内衬厚度下

的设计承外压能力见表 1。

表 1　不同口径管道在不同不锈钢内衬层厚度下的设计承外压能力　　单位：MPa

口径/m	内衬厚度/mm					
	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0
600	0.056	0.109	0.188	0.300	0.449	0.881
700	0.035	0.068	0.118	0.188	0.282	0.553
800	0.023	0.046	0.079	0.126	0.188	0.369
900	0.016	0.032	0.056	0.088	0.132	0.259
1 000	0.012	0.023	0.040	0.064	0.096	0.188
1 200	0.007	0.014	0.023	0.037	0.056	0.109
1 400	0.004	0.008	0.015	0.023	0.035	0.068
1 600	0.003	0.006	0.010	0.016	0.023	0.046
2 000	0.001	0.003	0.005	0.008	0.012	0.023

为确保修复后管道的实际承载能力满足设计要求，在全线试验前，选取修复范围内 6 段具有代表性的管节进行分段水压试验。试验前对每段管道端口进行封堵，注水浸泡 24 h 后按分级升压法缓慢加压至设计试验压力，即对应 4 mm 内衬厚度的设计承外压能力 0.056 MPa，稳压 15 min，记录压力降并检查焊缝及端口渗漏情况。

典型管道承压能力实测结果见表 2。

表 2　典型管道承压能力实测结果

管道编号	位置桩号	内衬厚度/mm	稳压 15 min 压力降/MPa	外观渗漏情况
P1	K0+120~K0+180	4	0.008	无渗漏
P2	K0+450~K0+510	4	0.011	无渗漏
P3	K0+890~K0+950	4	0.006	无渗漏
P4	K1+330~K1+390	4	0.009	无渗漏
P5	K1+780~K1+840	4	0.007	无渗漏
P6	K2+050~K2+110	4	0.010	无渗漏

由表 2 可知，6 段典型管道的稳压 15 min 压力降介于 0.006~0.011 MPa 之间，均远小于《给水排水管道工程施工及验收规范》（GB 50268—2008）中规定的允许压力降值，即通常不大于 0.02 MPa，且所有焊缝及端口连接处均未发现任何渗漏现象。

其中 P2 段压力降为 0.011 MPa，该段位于道路交叉口下方，施工期间交通荷载较大，但压力降仍远小于上述规范允许值 0.02 MPa，结果判定为合格。P3 段压力降最小（0.006 MPa），该段管道埋深较大且周边土体密实，内衬层与原管道贴合最为紧密。所有管节实测压力降均未超过 0.02 MPa，合格率达到 100%。

在 6 段典型管节分段水压试验全部合格后，将各段端部封堵拆除，连通全部修复管段，进行全线整体水压试验。试验压力同样采用设计值 0.056 MPa，注水浸泡 24 h 后分级升压至试验压力，稳压 15 min，实测压力降为 0.013 MPa，小于上述规范规定的允许压力降 0.02 MPa，全线焊缝及端口连接处均无渗漏。整体水压试验结果进一步验证了不锈钢内衬修复技术的可靠性和施工质量的一致性。

上述试压结果充分证明，采用厚 4 mm 不锈钢内衬的修复方案能够满足 DN1200 给水管道的承外压设计要求，管内满焊工艺和端口密封措施可靠有效，修复后的管道整体结构强度和密封性能均达到了预期目标。

为进一步量化不锈钢内衬修复技术相对于定向钻和顶管工艺的优劣，基于该工程实际数据与同期同类工程调研结果，从质量与成本 2 个维度进行对比。质量方面，定向钻施工易因扩孔偏差导致新管外防腐层破损，顶管施工则存在接头渗漏风险，而该工程不锈钢内衬修复后全线水压试验合格率 100%，实测压力降最大仅 0.011 MPa（远小于规范允许值 0.02 MPa），焊缝无渗漏，质量可靠性更高。成本方面，该工程总修复长度 2 233 m，综合造价约 1 860 元/m，而定向钻和顶管工艺在该路段受地下管线密集、交通疏导复杂等因素影响，估算综合造价分别为 2 420、2 680 元/m，即不锈钢内衬法分别节约 23.1%、30.6%，且施工周期为 76 d，较定向钻工艺（约 95 d）和顶管工艺（约 110 d）显著缩短。

4　施工关键注意事项

（1）管内焊接应采用满焊工艺，每道焊缝完成后须进行外观检查，不得存在气孔、夹渣、裂纹、未熔合等缺陷。焊工须持特种作业操作证上岗，并在施工前进行焊接工艺评定，确保焊接参数满足设计要求。对于接缝处可辅以密封胶加强密封性能。

（2）不锈钢内衬管与原铸铁管的连接处是渗漏风险最高部位。采用“过渡大小头+法兰密封+不锈钢过渡管”工艺时，必须确保密封胶圈安装到位、快干高强水泥灌注密实，且过渡管与内衬管的焊接应连续满焊，不得留有缝隙。

（3）作业坑开挖后须立即进行可靠支护。施工期间应每日检查支护结构的变形情况，遇雨季或地下水位上升时须加强排水与监测，防止塌方事故。

（4）内衬安装完成后应及时涂覆防腐涂料，增加钢管的抗腐蚀能力。在试压合格前，严禁在修复管段上方进行重型机械作业或堆放重物，避免扰动内

衬层与原管道的黏结界面。

5 结 语

（1）不锈钢内衬修复技术在揭阳市揭东区金新路DN1200给水管道工程中取得了显著成效，成功恢复了管道的结构强度和密封性能，经全线水压试验验证合格，实现了不停输、少占道、低扰动的施工目标。该工程实践表明，该技术的核心在于管坯现场焊接与端口密封处理两大环节，必须严格把控焊接质量、支护安全及连接处防渗，辅以CCTV全过程检测与分级试压验证，方能确保修复效果长效稳定。

（2）相较于定向钻、顶管等非开挖更新工艺，不锈钢内衬修复技术在老旧大口径给水管道加固中具有“保留原管、微扰动、低社会成本”的鲜明特点。

（3）下一步应重点研究管内自动焊接设备的工程化应用，以降低人工焊接的安全风险；探索不锈钢内衬与不同腐蚀程度原管道的界面长期耐久性。针对弯管、变径段等异形部位的修复工艺尚需进一步完善，以拓展该技术的适用范围。

参考文献：

[1] 王志全.运行工况下大型污水管涵非开挖修复技术应用[J].城市道桥与防洪，2026(1)：283-288.
[2] 何建闪.城市排水管道非开挖修复技术研究[J].工程技术研究，2026，11(1)：93-95.
[3] 何余.非开挖不锈钢内衬修复技术在给水管道中的应用研究[J].供水技术，2025，19(5)：27-31.
[4] 阮沂亮.市政给水管道非开挖不锈钢内衬修复技术应用研究[J].工程技术研究，2024，9(19)：76-78.
[5] 罗智程.给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.
[6] 曹仁杰，毕思田.市政工程给排水管道内衬非开挖修复技术研究[J].中国建筑金属结构，2025，24(8)：103-105.
[7] 刘奇.应用CCTV检测技术进行排水管道检测评估[J].福建建材，2022(8)：74-77.
[8] 陈烽.市政给排水管道内衬不锈钢修复工艺的施工要点探讨[J].中国住宅设施，2025(11)：179-181.
[9] 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..