

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.12.031

采用 3S 模块技术实施苏州河倒虹管预防性修复的应用实践

戴勇华¹, 季敏捷¹, 王国强¹, 孙大为², 杨后军²

(1.上海市城市排水有限公司, 上海市 200233; 2.上海管丽建设工程有限公司, 上海市 201108)

摘要: 3S 模块技术是采用透明 PVC 塑料模块在原有管道内拼装成内衬管后, 通过对产生的缝隙实施灌浆形成复合管结构的修复方法。该技术具有施工时间灵活的优势, 且复合管结构强度高、抗腐蚀性强, 并可目视灌浆情况, 以有效保证施工质量, 适用于多种施工环境尤其是无法实施临排措施的大型管道。结合华阳路—光复西路过苏州河倒虹管非开挖内衬修复项目, 对比分析特大口径排水管道在非开挖内衬修复过程中不同施工技术的特点, 阐述 3S 模块技术修复施工中的质量关键控制点, 总结施工过程中需注意的工程难点和技术措施, 并展望 3S 模块技术在特大管道修复方面的应用前景。

关键词: 倒虹管; 3S 模块; 非开挖修复; 大口径; 抗腐蚀

中图分类号: TU992.05

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)12-0142-05

1 工程概况

上海市合流一期穿越苏州河的排水倒虹管多建于 20 世纪 80—90 年代, 共有“新古北泵站—大渡河路截流井倒虹管”“中山西泵站截流井—中山北路桥堍北倒虹管”等 10 处, 主要涉及范围有长宁区、普陀区、(现)静安区及黄浦区四个区域。其中, 华阳路—光复西路过苏州河倒虹管建于 1994 年, 长 85m, 管径 DN2000, 平均排水量约 8 万 m³/d, 埋深 14.0m, 采用钢筋混凝土材质, 施工现场剖面如图 1 所示。该污水倒虹管经过近 30 a 的使用, 管顶已出现 3 级腐蚀情况。该管道所处的地理位置十分重要, 由南侧华阳公寓小区往北穿越苏州河后接到光复西路。为严格预防因该管道老化破损等原因而导致污水污染苏州河水体乃至周边的整体生态环境, 管理单位决定对该段排水倒虹管及上下游的倒虹井实施非开挖预防性修复, 以保障今后的正常安全运行。在实施修复的过程中, 项目组通过科学合理的施工组织、技术措施的精益求精, 克服了因无法架设临排设施而只能利用夜间停泵停水时间实施施工等困难, 最终顺利完

工, 为今后同类管道的修复提供了相应的借鉴及参考。

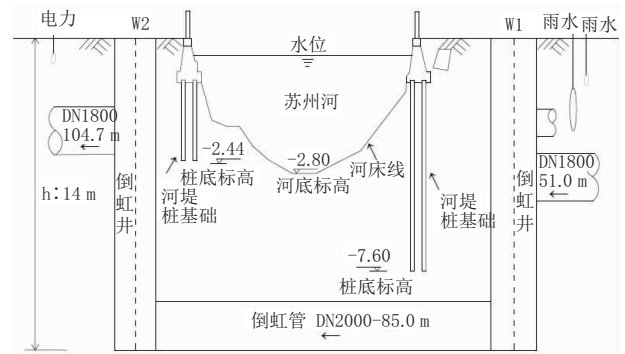


图 1 华阳路—光复西路过苏州河倒虹管剖面图

2 预防性修复方法的分析选择

目前, 国内的排水管道非开挖修复技术主要有 CIPP(Cured-In-Place Pipe) 翻转法、紫外光固化法、碎裂管法、穿插管法及折叠内衬法等^[1], 其中以原位固化技术最为普遍, 但上述技术主要适用于 DN1500 以下管道的修复。而对大于 DN1500 的管道, 可供选择的技术不多, 主要有 3S 模块技术、不锈钢焊接内衬技术和螺旋缠绕技术。本次 DN2000 倒虹管修复工程对这三种技术进行比选, 如表 1 所示。最终选用不需架设临排设施的 3S 模块技术实施内衬修复, 以实现能随时中断并在低水位工况下施工, 其优势在于单块材料体积小、重量轻、施工方便, 且不需使用大型设

收稿日期: 2024-05-08

作者简介: 戴勇华(1978—), 男, 工学硕士, 高级工程师, 从事排水生产运行、信息化和工程建设管理研究工作。

通信作者: 杨后军(1985—), 男, 高级工程师, 从事给排水设计工作。电子邮箱: 305682987@qq.com

表 1 大口径排水管道修复技术分析比较表

项目	3S 模块技术	螺旋缠绕技术	不锈钢内衬技术
工艺说明	将透明 PVC 模块在原管内采用特殊螺杆螺母拼接成内衬管,对原管和内衬管之间的缝隙灌浆料形成复合管	将带状型材利用螺旋缠绕机在原管内缠绕形成内衬管,在原管和内衬管之间的缝隙灌浆料形成复合管	将不锈钢管片在原管内焊接成内衬管,在原管和内衬管之间的缝隙灌浆料形成复合管
修复类型	结构性修复	结构性修复和半结构修复	结构性修复
适用形状	规则几何形状	规则几何形状	所有形状
适用管径	DN1000~DN3000, DN3000 以上特殊施工	DN300~DN5000	DN1000~DN5000
材质	硬质透明 PVC 或同等性能材料	硬质 PVC	不锈钢
灌浆饱满度	根据灌浆量和目视双重控制	通过灌浆量控制	通过灌浆量控制
施工占道	无需大型机械,作业带小	需堆放材料和制管机,作业带大	需大型机械,作业带较大
施工中断	可根据排水需要及时中断	可根据排水需要中断	可及时中断
施工井要求	所有口径的管道修复, DN600 井口即可满足施工	DN2000 及以上管道施工, 需要 DN700 井口	井口不小于 1 000 mm × 1 000 mm
临排设施	不需要	需要	需要
施工工期	人工拼装, 工期较长	螺旋缠绕, 工期一般	人工焊接, 工期最长
施工费用	定额单价 29 650.82 元 /m	定额单价 25 584.14 元 /m	市场单价约 30 000 元 /m
经济效益	无需临排设施和井口扩孔, 整体效益优良	需要临排设施和井口扩孔, 整体效益一般	需要临排设施和井口扩孔, 整体效益较差

注:本表定额单价参考中国城镇供水排水协会等编制的《操作排水管道检测与非开挖修复工程消耗量定额 2020》。

备,不需扩大井口。

3 3S 模块技术施工流程及施工质量控制中的关键点

3.1 3S 模块技术原理

该技术使用钢制螺栓组件将透明的 PVC(Polyvinyl Chloride) 塑料模块在原有管道内进行拼装连接,然后在原有管道和拼装而成的塑料内衬管道之间的缝隙内灌注特制灌浆材料,形成高强度复合管。

3.2 3S 模块技术流程

排水管道 3S 模块技术内衬修复的施工流程,如图 2 所示。

3.3 3S 模块技术内衬施工的质量控制关键点

3.3.1 排水管道预处理

3S 模块技术要求在预处理后管内无影响施工的沉积、结垢、障碍物与尖锐突起物,因此施工过程中主要采取了以下措施。

(1)对照该倒虹管的原始设计资料,对倒虹管进行抗浮验算,经确认,本次内衬施工作业未对管道外部的土体进行任何扰动,施工时管道内污水排空的状态与新管建设时状态完全一致,所以污水排空时属于安全状态。

(2)为确保停泵后能尽快抽空两侧倒虹井与倒虹管内残留的污水,通过计算抽水时间,配置了抽水设备。

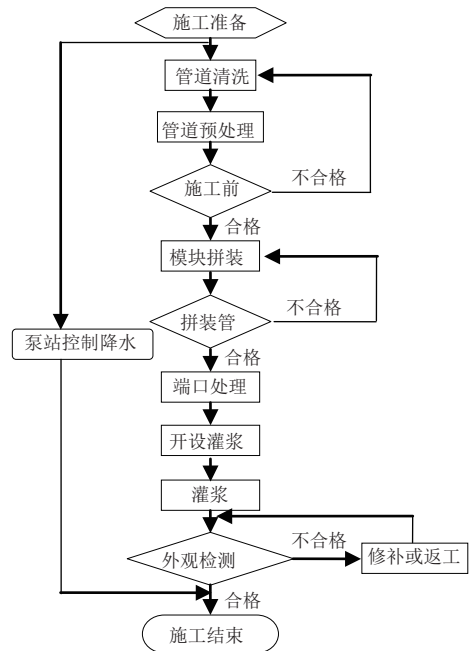


图 2 3S 模块技术内衬修复施工流程

(3)为防止施工过程中下游泵站回流水的影响,施工前在下游管砌筑了 50 cm 的拦截坝,防止下游泵站回流水进入倒虹管。

(4)该倒虹管埋设深度深,且自开通运行后近三十年未曾进行过清淤养护,管内漂浮物多,淤积量大。施工过程中在每日清捞浮渣后,第二天会有管道运行所带来的新浮渣。管道内约有 50% 的淤积,以泥沙、小碎石和砖块为主,因此每天需在浮渣清除后,

再进行清除淤积作业。清淤结束后,采用了高压冲洗设备对管内表面的污垢进行清洗,并由施工人员进入管道再次进行机械清洗以敲除附着的酥松腐蚀层等。

3.3.2 模块拼装作业

(1) 模块材料

3S 模块由硬质透明 PVC 或同等性能及以上的材料制成,要求表面光滑,厚度均匀,无裂纹、无破损,并应具有较好的耐久性及抗腐蚀性,且生产模块的原材料不能使用回收料。模块的材料性能如表 2 所示。本次工程按照上海市工程建设规范《城镇排水管道非开挖修复技术标准》(DG/TJ08-2354-2021)^[2]实施,根据规范的要求,对模块前期材料送检,并在施工后实施质量测试,检测结果均合格。

表 2 3S 模块材料性能

项目单位	要求	试验方法
纵向拉伸强度 /MPa	≥40	《塑料拉伸性能的测定-第 2 部分:模塑和挤塑塑料的试验条件》(GB/T 1040.2) ^[3]
热塑性塑料维卡软化温度 /℃	≥60	《热塑性塑料维卡软化温度 (VST)的测定》(GB/T 1633) ^[4]

(2) 模块拼装

模块拼装采用特殊螺杆联接方式,拼装时,模块槽口应先涂抹聚氨酯密封胶,然后准确对槽,螺丝应拧紧且受力均匀。操作时,先将 2 片模块采用螺栓拼装连接后吊入井内,在井室内实施径向拼装成环,再将管环运至管内,然后将管环采用纵向螺接的方式拼接成内衬管。需要注意在模块进入检查井及原有管道时不得对材料造成损伤。

3.3.3 缝隙内灌浆

(1) 灌浆材料

灌浆材料应具有微膨胀、抗离析、固化后抗开裂、高强度等性能,且具有高流动性和高灌注性,可用于狭窄间隙灌注,并应满足固化过程的收缩量小、放热量低的要求。初凝和终凝的时间应符合工程作业时间,灌浆材料的性能指标如表 3 所示。本项目模块在前期进行了材料送检,测试结果均合格。

表 3 灌浆材料性能

项目	指标	试验方法
抗压强度 28 d/MPa	≥30	《水泥基灌浆材料应用技术规范》(GB/T 50448) ^[5]
截锥流动度 30 min/mm	≥270	

(2) 灌浆施工

为防止灌注时浆液从内衬管两端流出,灌浆前

应对内衬管与原有管道端部的环向间隙实施密封^[6]。同时,在下游管口端部最低处向上依次设置多个排水孔,上游管口端部最高处设置排气孔,并随着灌浆进程对这些排气孔从下至上依次密封。由上游管口 1 m 处开始向下游每隔 5 m 在环向 11 点与 1 点的位置依次设置灌浆孔。进行灌浆作业时由技术人员全程监视、观察浆液充满情况,在确认模块与老管壁的空隙全部灌注密实后,密封灌浆口和预留排气管^[6]。灌浆次数、灌浆量与灌浆方向等如表 4 所示。

表 4 灌浆次数、灌浆高度比与灌浆方向

灌浆次数	灌浆方向	完成灌浆高度	灌浆质量控制
第 1 次	从上游向下游	单次 25% 总 25%	使内衬管固定在原管底,排除缝隙内可能存在的水
第 2 次	同第 1 次	单次 20% 总 45%	左右交叉灌浆,保证浆液均匀,两边液位差不超过 100 mm,排除缝隙内可能存在的水
第 3 次	同第 1 次	单次 20% 总 65%	同第 2 次灌浆
第 4 次	同第 1 次	单次 20% 总 85%	同第 2 次灌浆
第 5 次	从下游向上游	单次 15% 总 100%	排除缝隙内可能存在的水和空气,至上游最高点排气孔喷出比重不小于 2.0 的浆液,停止灌浆

4 技术难点及解决措施

(1) 苏州河作为上海市重要的通航景观河,河道宽度超过 75 m,故无法在河面架设临排,且该倒虹管无旁通备用管,施工断水难度非常大。

措施:通过协调上、下游泵站同时控制降水,商议每天停水约 10 h;但由于白天、阴雨天时泵站不能停水,故优选了修复工艺,选择可随时中断施工、无需架设临排设施且可带少量水修复施工的 3S 模块工艺。

(2) 倒虹管上游检查井位于苏州河堤南岸,紧邻华阳公寓小区居民楼,下游井位于苏州河北岸光复西路,井口均较小。检查井 20 m 半径范围内涉及房屋建筑、交通、绿化等,无开挖扩孔的条件;倒虹管道两端通过压力盖板检修孔与倒虹检查井连接,压力盖板孔尺寸约为 60 cm × 60 cm,倒虹管内抽水设备的安装、疏通和清淤、修复所需要的模块材料进入管道安装及作业人员进管施工等均受压力盖板孔的制约。

措施:优选施工工艺,选择井口在 60 cm 时即可施工的 3S 模块工艺;优化施工流程,考虑井口尺寸小、施工难度大及工期紧等因素,对现有施工装置、设备进行优化,首先选择体积小功率大的抽水设备;

在材料选择上经过了精确计算和多次试验后,创新地采用对在内衬管不实施支护的条件下进行分层式灌浆。

(3)施工井井口小,大口径气囊无法置入,对上游余水无法采用气囊临时封堵解决,故整体抽水时间较长。

措施:由于管道埋深深,扬程大,且用于排水的水管均需通过直径60 cm的检查井口,计算后根据试验结果配置水泵,采用2台500 m³/h水泵与2台350 m³/h水泵,确保倒虹管内余水抽空时间控制在4 h左右。

(4)该倒虹管埋设深度深,开通运行后未曾进行清淤养护,管内沉积和浮渣较多,淤积量大,沉积物以泥沙、小碎石和砖块为主;且因管道每日运行带来新的浮渣,清捞量非常大,管道内浮渣又需清除干净才能进行清淤作业,所用清捞时间长。

措施:在上游倒虹井内设置隔离网,集中浮渣后再进行清理;改造运输设备,采用模块化组装式淤泥管内运送设备,增加管道内运力。

(5)因倒虹管口径大,高压冲洗车自动清洗无法清除管道上部的污垢。

措施:人工进入管道后握持高压冲洗设备冲洗表面,再敲除附着的酥松腐蚀层。

(6)大口径、长距离倒虹管无法架设临排设施,又因井口较小,大口径气囊无法置入,无法对施工段上下游的DN2000管道进行气囊临时封堵,万一泵站调度出现问题,井下作业将存在极大的淹溺安全风险。

措施:为防止施工过程中泵站溢流水进入作业管道,施工前在下游砌筑50 cm的拦截坝,防止下游泵站回流水进入倒虹管;建立专人巡查机制,对每个泵站井位水位上升及溢流情况进行巡视并建立应急预案^[7]。

(7)管道施工涉及有限空间作业,且污水管道中存在硫化氢、甲烷等多种有毒气体,存在中毒、缺氧及爆炸等危险^[7]。

措施:下井作业前严格按照流程进行审批,现场进行强制通风,同时严格进行气体的检测与监测,须确保施工人员正确穿戴劳保用品、采取及时有效的防护措施。

针对特大型倒虹管内衬修复过程中出现的施工难点,业主方与施工方做足预案,紧密配合,从改进施工技术措施和加强运行管理等多方入手,解决了实施过程中出现的各种困难和隐患,有效地保障了本次修复项目的顺利实施。

5 修复效果及流量分析

5.1 内衬管外观检测

修复后的 CCTV 电视检测显示,已修复的内衬管在整个被修复区域内连续、无凹凸、接缝严密,修复前后照片如图3、图4所示。质检人员在管内目视及敲击,未发现空洞或未注满浆的现象。



图3 修复前照片

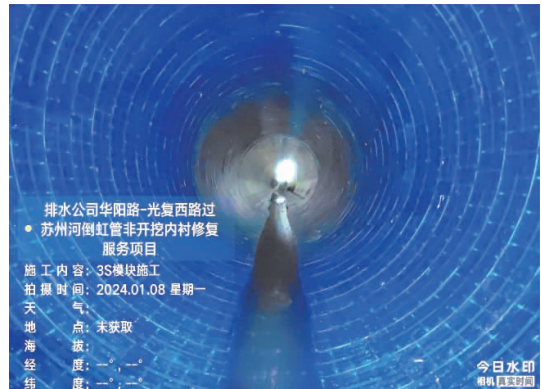


图4 修复后照片

5.2 内衬管尺寸

对内衬管垂直和水平直径进行测量,每10 m设置1个测点,检测结果如表5所示。经计算,修复后的平均直径约为1 840.5 mm,满足修复后内径在1 830~1 850 mm范围内的设计要求。

表5 修复后管道内径

检测点/m	水平直径/mm	垂直直径/mm	平均值/mm	合格判定
2	1 841.0	1 840.0	1 840.5	合格
12	1 841.0	1 840.0	1 840.5	合格
22	1 841.0	1 840.0	1 840.5	合格
32	1 841.0	1 840.0	1 840.5	合格
42	1 841.0	1 840.0	1 840.5	合格
52	1 841.0	1 840.0	1 840.5	合格
62	1 841.0	1 840.0	1 840.5	合格
72	1 841.0	1 840.0	1 840.5	合格
82	1 841.0	1 840.0	1 840.5	合格

5.3 过水流量分析

原钢筋混凝土管道的管径为 DN2000, 实施 3S 模块法内衬修复施工后管径为 DN1840。虽然管径减小, 但因修复后采用了 PVC 材料, 管壁光滑, 粗糙度系数为 0.009, 参照《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》(CJJ/T 210—2014)^[8] 的标准进行流量复核分析, 修复前后的过流比为 115.65%, 说明在内衬修复后过流能力反而有所提升。

6 结 语

就本项目而言, 采用 3S 模块技术相较于采用其他工艺, 主体工程造价持平, 但从施工综合成本进行比较, 螺旋缠绕技术和不锈钢内衬技术由于受其技术特点的限制, 需要架设临排设施, 在整个施工期间需进行污水临排工作, 且需要对倒虹井井口扩孔及恢复, 从而会产生一定的费用; 而 3S 模块修复工艺不需要临时排水设施, 整体经济效益优良。此外, 本项目考虑施工困难性及工期紧张等因素, 通过优化施工流程, 并经过精确计算和多次试验后, 创新性地采用了在对内衬管不实施支护的条件下进行分层式灌浆, 节省了施工时间, 且灌浆效果良好。相关材料送至第三方测试后, 显示指标均达到上海非开挖修

复相关技术标准的要求。

华阳路—光复西路污水倒虹管及附属检查井非开挖修复项目的顺利实施, 有效杜绝了因该管道腐蚀、破裂等原因可能导致污水泄漏从而污染苏州河水体乃至危及周边整体生态环境的隐患。此项目的顺利完成, 也为今后对苏州河沿线其他过河倒虹管的养护与维修积累了十分宝贵的经验, 对国内乃至全球类似工况条件下的特大管径排水管道修复具有十分重要的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 褚同伟. 非开挖管道修复技术在市政管道改造中的应用[J]. 城镇供水, 2018(5): 61-65.
- [2] DG/TJ08-2354—2021, 城镇排水管道非开挖修复技术标准[S].
- [3] GB/T 1040.2, 塑料—拉伸性能的测定—第2部分: 模塑和挤塑塑料的试验条件[S].
- [4] GB/T 1633, 热塑性塑料维卡软化温度(VST)的测定[S].
- [5] GB/T 50448, 水泥基灌浆材料应用技术规范[S].
- [6] 杨后军. 排水管道管片内衬法修复工程施工质量控制[J]. 城市道桥与防洪, 2023(12): 170-174, 180.
- [7] 张盈秋, 王丰, 杨万航. 螺旋缠绕法用于超大口径排水管道非开挖修复[J]. 中国给水排水, 2022, 38(6): 5-9.
- [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].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com