

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.16.023

给水大口径钢管穿插刚性管长距修复应用案例分析

张叮叮

(深圳市水务<集团>有限公司, 广东 深圳 518031)

摘 要: 重要市政给水管修复常受制于交通、环境等因素,需要采取非开挖施工工艺。深圳东湖水厂-笔架山水厂原 DN1 200 预应力混凝土原水管反向供水修复工程,采用 DN1 000 钢管内穿方案。介绍了非开挖工法的技术经济比选、核心工艺流程、牵引工作坑设置和牵拉力等关键施工技术参数的确定,以及施工过程若干技术问题的处理措施,可以为穿插法应用于大口径钢管与刚性管道之间、超过 3 km 长距离非开挖修复提供工法启示和指引。

关键词: 大口径给水管; 非开挖修复; 刚性管; 穿插法

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)16-0121-05

Application of Large-diameter Steel Pipe Slip Lining with Rigid Pipeline in Long-distance Trenchless Rehabilitation

ZHANG Ding-ding

(Shenzhen Water <Group> Co. Ltd., Shenzhen 518031, China)

Abstract: The rehabilitation of important municipal water supply pipes is often subject to traffic, environment and other factors, thus trenchless rehabilitation construction method is required. The DN1 000 steel pipe slip lining scheme was adopted in the reverse water supply rehabilitation project of the original DN1 200 prestressed concrete from Donghu water treatment plant (WTP) to Bijiaoshan WTP in Shenzhen. The technical and economic comparison, the core technological process, the working pit setup, the determination of key construction parameters such as traction force as well as the measures to deal with some technical problems in trenchless construction process were introduced, which could provide enlightenment and guidance for application of slip lining in trenchless rehabilitation between large diameter steel pipe and rigid pipe and for over 3 km distance.

Key words: large-diameter water supply pipe; trenchless rehabilitation; rigid pipeline; slip lining

随着城市的快速发展,市政给水管网扩容升级、更新改造的节奏不断加快,城市建成设施的日渐完善,交通、市容环境等建设施工的各类现实约束也同步增大,上述叠加因素推动了管道非开挖修复技术的应用。特别当所涉供水管为生命线工程,一旦需要实施结构性整体修复,施工工艺的选取就尤为关键。若不具备开槽敷管条件,穿插法是其中一种既能保证原管道结构性缺陷获得有效修复、独立承受内外压力荷载,又确保水质安全的较理想的非开挖

技术。当然,穿插法客观存在过流断面缩窄等不利因素影响,需要经受管网平差校验计算的关键性考验。2019 年,深圳东湖水厂-笔架山水厂 DN1 200 原预应力混凝土原水管修复工程,采用了内衬 DN1 000 钢管穿插方法,实现了大口径钢管与刚性管道(缺陷体)之间非开挖结构性修复,可为同类项目提供案例借鉴。

1 工程背景

东湖水厂处理规模为 $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,主要服务

区域为深圳罗湖区,服务人口超100万人,综合考虑片区中远期用水变化趋势,计划对该厂进行扩建改造,增加深度处理设施且扩大产能至 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。鉴于其改造施工期间面临减产运行,为保障供水服务,拟从笔架山水厂(处理规模为 $52 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,服务范围主要为福田区及罗湖区部分区域)调配 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 清水至东湖水厂。

新敷设给水管需横跨福田-罗湖两个主要人口密集区,而两座水厂相距近7 km,沿途均为闹市区,各类建成设施密集,交通繁忙,地下管位紧张,管线路由受限。经实地调查论证,拟利用已停用的现状两厂间DN1 200原水管,经非开挖修复后反向供水,形成东湖水厂提标扩建期间笔架山水厂向其补充输水的主力通道,同时兼作项目达产后两厂新增出厂及调度干管。经管网平差水力计算,按照笔架山水厂现有出厂压力(校验泵房水泵所需最小扬程21.2 kPa),设计采用内衬DN1 000钢管可满足输送总流量(入东湖水厂清水池)要求。

该管线工程路由为东起东湖水厂,经布心路、泥岗路、北环大道,西至笔架山水厂,全程在现状DN1 200原水管内实施非开挖修复。该管段建成于20世纪90年代初,管材主要为预应力钢筋混凝土管,在部分过河段、过广深铁路段改换为钢管。其间地铁施工曾实施改造,后因供水规划变化,实际已停用多年,现状预应力钢筋混凝土管段存在破损开裂而钢管段存在锈蚀严重等问题。

考虑现场不具备大面积开挖的施工条件,经物探及进入原管内复勘,通过管道3D扫描评估,拟利用该现状管进行分段非开挖修复:原预应力钢筋混凝土管部分采用DN1 000钢管内衬穿插实施结构性整体修复更新,总长3 143 m;原钢管内防腐脱落、锈蚀但结构承载性完好部分则采用内壁喷涂防腐处理,总长3 204 m。

2 非开挖修复工艺比选

由于该管段对供水保障运行的特殊作用,加之现状诸多限制因素的复合影响,修复工艺选择至关重要。一般非开挖修复工艺分结构性、半结构性、非结构性等类型,考虑本工程中现状预应力钢筋混凝土管段存在结构性缺陷,需要实施结构性整体修复;而现状钢管段主要属功能性缺陷,可实施非结构性整体修复。其中,原钢管段的非结构性修复采用环氧树脂喷涂法^[1],结合目前较成熟可靠的钢管内防

腐做法,对钢管内壁除锈处理后喷涂互穿网络聚合物IPN8710环氧树脂;对原预应力钢筋混凝土管的结构性修复工艺选择,重点进行了穿插法、翻转式原位固化法、碎(裂)管法和折叠内衬法的比选^[1-3]。非开挖修复方案的选择结果,主要基于考虑管道修复后尚可作为东湖水厂扩能提标后另一路重要出厂管线,其供水保障要求较高,工艺选择优先考量运行可靠性。综合考虑这几种工艺的工艺特点、经济分析以及运行维护特性,决定采用DN1 000钢管内衬穿插原预应力混凝土管修复工艺,其运行保证条件较优。而其不足之处也显而易见,修复过程需要妥善处理原刚性管内、牵引大口径钢内衬管实际涉及的过弯转折等施工技术难题。对于大口径刚性管1 km以上长距离穿插修复,根据工程经验及文献检索,除类似有PE管的成功案例外^[4],在钢管与刚性管间滑衬进行长距离异径穿插修复,目前国内处空白。

3 内穿钢管应用案例的核心工法流程

3.1 工法原理与工艺流程

对于长距离钢管穿插,采用分解管段滑衬方法:全程共设工作井11座(7 000 mm×3 500 mm)、接收井9座(Ø3 000 mm),最长一次性牵拉穿插管段249 m,滑衬钢管内防腐喷涂IPN8710环氧树脂,外壁采用3PE防腐。钢管穿插关键工法原理如图1所示。

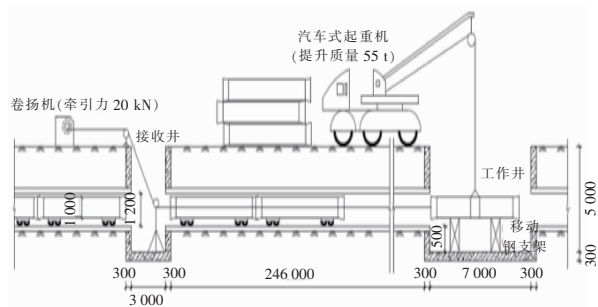


图1 大口径钢管穿插刚性管修复工法运行原理

Fig.1 Principle of large-diameter steel pipe slip lining on trenchless rehabilitation for rigid pipeline

结合现状管线实际转折情况,通过合理布设工作井、接收井以划分管段,使一次性穿插始终保持在原刚性管转角较小的近似直线段间进行,以应对大口径钢管内穿过程中牵拉过弯所带来的卡管风险。钢管穿插施工核心作业流程:①接收井安牵引卷扬机,原刚性管预处理整平并通风防护;②加工制作两

端承插喇叭口特型钢管(管节长 6 900 mm);③吊管入工作井并置于支架上,钢管插口对口入原管就位;④原刚性管内安放托板滑轮车支承钢管插口端;⑤牵绳栓固钢管插口,拉入管节就位后承口安放托板滑轮车;⑥卷扬机拖引钢管于原刚性管内滑行至接收井洞口边缘;⑦牵绳收回至工作井后吊放另一节钢管,对口后接绳牵拉;⑧后管节下承滑轮车,原刚性管内拖行至已就位前管节承口;⑨套接前留操作空隙,千斤顶托起后管节插口端取出滑轮车;⑩拉入后管插口套接前管承口,同法取后管承口端滑轮车;⑪进钢管内对相邻管节承插口环缝进行焊接连接处理;⑫依次拖入其后管段,逐节连长直至工作井口满段穿插;⑬钢管内衬节间补口防腐,钢管-刚性管环状间隙注浆填充;⑭内衬钢管节间连接焊缝 100% 超声波探伤检验和水压试验。

需要特别说明的是,实际施工方案辅以将常规 6 000 mm 钢管两端进行特型加工,焊长了各 450 mm 喇叭状扩口(以 \arctan 计算斜口夹角 $6^\circ \sim 9^\circ$) 承插段,构成特制内衬穿插异径长管节,使大口径穿插钢管节间接头实际允许转角范围为 $3^\circ \sim 5^\circ$ 。基于规范要求,现状刚性管按直径 DN1 200 预应力混凝土管沿曲线安装,其接口允许转角为 1° ^[5],故牵拉过程实际满足内穿钢管行进要求,特型钢管节就位连长后与原刚性管形成较好同轴内衬。

3.2 施工关键技术参数及联属方案的确定

依据上述工法流程,要顺利开展施工,力争一次性实现管段全线成功穿插,尚需解决工作坑设计及牵拉减阻等核心施工技术参数的计算确定问题。在前述现场交通及建成设施等诸多约束条件下,基于最不利原则,确定相关参数计算与配套施工方案。

3.2.1 工作坑设置

内穿管工作坑布设受现场繁忙交通影响较大,既要满足一次性穿插管段总长局限,又要综合平衡钢管管节长度、现状管埋深与工作坑平面尺寸最小化等叠加性要求,故布置方案须进行全面统筹。从工作坑尺寸设计切入,工作坑宽度的取定以管外径(滑衬特型钢管节承口处直径接近现状 DN1 200 刚性管)加施工工作面(两侧共加 1.5 m)计。

考虑坑内需设置移动钢支架以承托穿插钢管对口原刚性管等因素,实际坑宽取整值 3 m。工作坑长度的取定,按连续管道进管下最小长度公式计算作对比参考,以实际管道平均埋深 3.2 m 计:

$$L = [H \times (4R - H)]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中 L ——工作坑长度, m

H ——管道埋深, m, $H = H_g - H_p$ (H_g 为地面标高, H_p 为管中标高)

R ——管材允许弯曲半径, m, R 取下限值 $25D_0$ (D_0 为内衬管道外径), $R = 25.5$ m

已知 $H = 3.2$ m, $R = 25.5$ m, 则 $L = 17.8$ m。

若取本工程管道埋深最小处 $H_{\min} = 1.5$ m, 可得 $L_{\min} = 12.3$ m。考虑式(1)可满足柔韧性较大的 PE 等管材使用要求,对于大口径钢管其许用弯曲半径更大,计算对应相同 H 下其 L 值实际更大。鉴于本工程内衬钢管为非连续管道进管,仅需满足单段管节入井及必要工作面即可,考虑现场交通繁忙须尽可能减少占道面积,故取定工作坑实际长度 $L_c = 7$ m, 显然 $L_c < L_{\min}$ 。

从上述施工方案所取定的技术参数结果看,对比连续管道进管方式的工作坑尺寸,采用管段分节进入原刚性管的滑衬工法是有有效的。

3.2.2 牵拉力及减阻措施

在有结构性缺陷的预应力混凝土管长距离内穿口径相似的钢管,对于牵拉力的取定除关系到管段能否全线一次性拖拉到位外,还与内穿插拖引下的管材极限破坏,以及原管壁的摩擦卡阻等次生性损伤密切相关。从内穿管施工牵引力计算切入,内衬钢管穿插刚性管允许牵拉力如下式所示:

$$F = \sigma \times \frac{\pi(D_0^2 - D_1^2)}{6N_1} \quad (2)$$

式中 F ——允许牵拉力, N

σ ——内衬管材的屈服拉伸强度, MPa 或 N/mm^2 , 钢管按 235 MPa 计^[6]

D_1 ——内衬钢管内径, mm, $D_1 = D_0 - 2S = 996$ mm

N_1 ——安全系数, 取 3.0

经计算, $F = 1\,983$ kN。

本工程大口径钢管内衬穿插刚性管为非连续单节管段牵拉,拖引过程内衬钢管下垫承托板滑轮车,按滚动摩擦类型计算牵拉力,如下式所示:

$$T = \mu L_p \frac{\pi(D_0 + D_1)}{2} S \gamma \quad (3)$$

式中 T ——牵拉力, kN

μ ——滚动摩擦系数, 采用钢管下托板滑轮

车,其钢轮与刚性管内壁接触二者刚度均较大(一般钢轮-混凝土面滚动摩擦系数 $0.08^{[7]}$),同时考虑原预应力混凝土表面实际存在一定粗糙缺损,其摩阻稍大,综合 μ 取 0.1 (运动状态)

L_p ——每次拖动单节钢管段长度, m, 钢管特制加工喇叭状扩口承插端局部所增加的质量忽略不计, 管节简化按 6.9 m 计

S ——钢管壁厚, mm

γ ——穿插内衬管材的重度, kN/m^3 , 钢管取 78.5 kN/m^3

经计算, $T=2\text{ kN}$ 。

考虑启动瞬时滚动摩擦系数取增加倍数上限值 $5^{[7]}$, 计得 $T_{\max}=10\text{ kN}$ 。比较可得, $T_{\max}<F/2$, 符合管道非开挖修复穿插法允许拉力要求。

综合现场各影响折减因素, 同时留有必要拉力余量储备, 采用牵引力 20 kN 卷扬机, 满足现场施工实际需求。

4 施工难题解决措施与实效

东湖水厂-笔架山水厂 DN1 200 原水管修复穿插施工共 120 d , 工程造价 $2\text{ }100$ 万元。为解决管段穿插过程中新旧管节卡阻等突出难题, 将工作井、接收井主要布设在现状刚性管线平面、竖向转角较大处, 同时兼顾一次性穿插大口径钢管的实际长度限制, 完工后部分工作井加盖改造为阀门井。结合现场交通占道等环境条件, 实际全程钢管穿插行进的各工作井-接收井之间基本均被分割为大体近似直线段。

对于局部弯折角较大处, 采用了两端带承插口、内衬异径钢制短管作过渡管件, 与前后直管段焊接相连。从实际各段滑衬施工情况看, 部分支承钢管端部的托板滑轮车发生了环向偏转, 表明原刚性管确实存在小幅转角。内穿钢管行进过程中尤需加强牵拉力观测, 一旦发现摩擦力异常增大情形, 为避免发生牵绳或管节拉断等施工安全风险, 现场即采取作业人员进入管内以手摇式千斤顶支起钢管端口, 调整托板滑轮车位置保持与管道重心垂直, 以使其穿插行进过程均能有效转化为阻力较小的滚动摩擦方式。实际各穿插段均未发生拖拽管节中途卡塞现象, 成功实现全段内穿, 说明经上述系列改进后的滑衬方法适应现状管线情况良好。

5 启示

刚性管修复穿插内衬管较多见于 PE 等管材弹性模量较小、弯曲变形性能突出的化学建材管, 实际确有连续接长管节进管牵拉、实现一次性长距离修复的优势。当需对大口径管道结构性修复而其内水压力较大时, 穿插内衬 PE 管将受标准尺寸比(SDR)约束, 壁厚 S 较大、内径 D 。偏小影响过流, 导致使用受限^[8]。对应球墨铸铁管、玻璃纤维增强塑料夹砂管等其他常用管材, 因接口形式(一般多用承插橡胶圈或法兰连接)以及适应现场条件的特型管节可加工性局限, 故在大口径穿插中同样受到一定制约。

6 结论

对于大口径刚性管短程非开挖修复, 采用不锈钢管片内衬法无疑可作半结构性修复, 但对刚性管长距离结构性修复, 显然管片内衬法工效较低, 难以满足原管内长线拼接安装施工和运维过程较严格的使用要求。当重要市政给水管线非开挖修复工程设计基于技术经济比选, 需采用钢管内衬穿插刚性管时, 在大口径、长距离、交通占道限制等影响因素共同叠加下, 本工程案例通过因地制宜布设工作井, 适应具体工况条件合理配置管节及其连接方式, 恰当选取牵引组合方案, 借助集成创新的方法模式, 可有效实现该类型复杂管线非开挖修复目标。

参考文献:

- [1] CJJ/T 244—2016, 城镇给水管道非开挖修复更新工程技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
CJJ/T 244 - 2016, Technical Specification for Trenchless Rehabilitation and Renewal of Urban Water Supply Pipelines[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016(in Chinese).
- [2] GB/T 13663.2—2018, 给水用聚乙烯(PE)管道系统第2部分: 管材[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
GB/T 13663.2 - 2018, Polyethylene(PE) Piping Systems for Water Supply—Part 2: Pipes[S]. Beijing: China Standard Press, 2018(in Chinese).
- [3] GB/T 21835—2008, 焊接钢管尺寸及单位长度重量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
GB/T 21835 - 2008, Dimensions and Masses Per Unit Length of Welded Steel Pipes[S]. Beijing: China Standard Press, 2008(in Chinese).
- [4] 许兴中. 内穿插 HDPE 管修复大口径给水管实例[J].

中国给水排水,2010,26(2):102-104.

Xu Xingzhong. HDPE pipe insertion technology for rehabilitation of large-diameter water supply pipes [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(2): 102-104 (in Chinese).

- [5] GB 50268—2008, 给水排水管道施工及验收规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
GB 50268-2008, Code for Construction and Acceptance of Water and Sewerage Pipeline Works [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009 (in Chinese).
- [6] GB/T 3091—2015, 低压流体输送用焊接钢管[S]. 北京:中国标准出版社,2015.
GB/T 3091-2015, Welded Steel Pipes for Low Pressure Liquid Delivery [S]. Beijing: China Standard Press, 2015 (in Chinese).
- [7] 杨文渊. 路桥施工常用数据手册[M]. 2版. 北京:人民交通出版社,2004.
Yang Wenyuan. Data Sheet for Road and Bridge Construction [M]. 2nd ed. Beijing: China Communications Press, 2004 (in Chinese).
- [8] 袁襄,贺海生,葛延超. PE 穿插内衬技术用于 DN800 跨江供水管道的修复[J]. 中国给水排水,2008,24(8):

92-95.

Yuan Xiang, He Haisheng, Ge Yanchao. Application of polyethylene pipe insertion technology to repair of DN800 river-crossed water supply pipeline [J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(8): 92-95 (in Chinese).



作者简介:张叮叮(1982-),女,黑龙江牡丹江人,本科,工程师,研究方向为给排水工程技术。

E-mail: 433771@qq.com

收稿日期:2020-01-10

(上接第120页)

术研究[D]. 北京:北京交通大学,2014.

Ma Yang. Study on the Pollutants Removal Performance and Degrade Technology in Wu Coking Wastewater Treatment System [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014 (in Chinese).

- [2] 李泽峰,门枢,李方剑,等. 焦化废水处理工程提标改造设计[J]. 辽宁化工,2018,47(7):649-650.
Li Zefeng, Men Shu, Li Fangjian, et al. Process design for upgrading and reconstruction of coking wastewater treatment project [J]. Liaoning Chemical Industry, 2018, 47(7): 649-650 (in Chinese).
- [3] Jeong Y S, Chung J S. Biodegradation of thiocyanate in biofilm reactor using fluidized-carriers [J]. Process Biochem, 2006, 41(3): 701-707.
- [4] 谢淳. 高铁酸钾处理微污染水中苯酚和 COD 的研究[D]. 太原:太原理工大学,2010.
Xie Chun. Research on Removal of Phenol and COD from Micro-polluted Water Using Potassium Ferrate [D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2010 (in Chinese).
- [5] 杜娟. 高铁酸盐溶液处理有机难降解废水的研究

[D]. 重庆:重庆大学,2006.

Du Xian. Study on the Refractory Organic Wastewater Treatment with Ferrate Solution [D]. Chongqing: Chongqing University, 2006 (in Chinese).



作者简介:郭诺玮(1996-),女,湖北襄阳人,硕士研究生,研究方向为水污染控制技术。

E-mail: 1009267136@qq.com

收稿日期:2019-12-06