

工程实例

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.16.015

## 玻璃钢管用于大直径污水管非开挖修复

刘 刚, 孙逸文, 刘金星

(无锡市市政设计研究院有限公司, 江苏 无锡 214072)

**摘 要:** 结合无锡市运河东路(金匮桥—铁塔厂段) $d1\ 800\ \text{mm}$  污水主管的修复实例,对 4 种管道非开挖修复工艺进行比选,确定选用内衬离心浇铸玻璃钢管,介绍了管材制作工艺、管材特性与优化措施、内衬管输水流量计算方法,内衬管修复的技术原理、施工工序、适用条件、施工操作要求、项目实施难点与解决方法,以及工程实施效果,最后展望了离心浇铸玻璃钢内衬管非开挖修复的应用前景。

**关键词:** 离心浇铸玻璃钢管; 非开挖修复; 大直径污水管

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)16-0089-05

## Application of FRP Pipe in Trenchless Repair of Large Diameter Sewage Pipe

LIU Gang, SUN Yi-wen, LIU Jin-xing

(Wuxi Municipal Design and Research Institute Co. Ltd., Wuxi 214072, China)

**Abstract:** Taking the restoration of  $d1\ 800\ \text{mm}$  main sewage pipe in Yunhe East Road (Jinkui Bridge to Tower Factory section) in Wuxi as an example, four kinds of trenchless pipe repair technologies are compared and the centrifugal-cast fiberglass reinforced plastic (FRP) pipe is selected. The pipe manufacturing process, characteristics and optimization measures, the liner pipe water flow calculation method, repair technical principle, construction procedure, applicable conditions, construction operation requirements, project implementation difficulties and solutions, as well as the engineering implementation effect are elaborated. Finally, the application prospect of the centrifugal-cast FRP liner pipe trenchless repair is prospected.

**Key words:** centrifugal-cast fiberglass reinforced plastic pipe; trenchless repair; large diameter sewage pipe

目前,城市早期建设的地下污水管道已经使用近 30 年,普遍存在老化和损坏情况,老旧管道的修复更新已成为亟需解决的问题。随着工程技术的发展,管道的非开挖修复技术越来越多地应用到城市的污水管道,选择适用于较大口径管道的非开挖内衬修复方法具有重要工程意义。

### 1 工程概况

无锡市运河东路(锡山大桥—永旺大桥)污水管为无锡市芦村污水处理厂的进厂污水主通道之一,也是无锡市城中核心区污水排放的主通道,全长

8.5 km,管径分别为  $d1\ 400$ 、 $d1\ 800$ 、 $d1\ 500$ 、 $d800\ \text{mm}$ ,管材均为钢筋混凝土,管道埋深为 4.15 ~ 5.32 m,施工方式为开挖埋管和顶管,于 20 世纪 90 年代初建成,管龄近 30 年。该管段采用沉管和顶管方式,分 3 处穿越京杭大运河。

其中金匮桥—铁塔厂段全长 2.1 km,管径为  $d1\ 800\ \text{mm}$ ,采用顶管施工。经临时泵调水后进行管道 CCTV 检测,发现主要存在管内壁混凝土保护层剥落、石子粗骨料完全显露,环向预应力钢丝腐蚀裸露并出现环向裂纹,且局部存在线性渗漏等问题。

该段管道的结构性缺陷为腐蚀性缺陷,根据《城镇排水管道检测与评估技术规程》(CJJ 181—2012)判

定缺陷等级为 2~3 级,需进行修复处理,典型腐蚀处如图 1 所示。



图 1 管道内壁严重腐蚀

Fig. 1 Severe corrosion of inner wall of pipeline

2 修复技术比选

适用于本项目  $d1\ 800\ \text{mm}$  直径管道的修复技术主要有:翻转法热水固化修复、螺旋缠绕法修复、短管内衬法修复、离心浇铸玻璃钢管内衬修复,这 4 种修复技术的对比见表 1。

经过排水主管部门、设计单位、业内专家的反复论证,结合本工程管径较大、工期较紧等实际情况,综合考虑修复的可靠性、施工难度、工期、造价等因素,最终决定采用离心浇铸玻璃钢管内衬修复技术对管道进行修复,采用顶进方式施工。

表 1 4 种修复技术对比

Tab. 1 Comparison of 4 repair techniques

修复技术	优点	缺点	工期/d	造价/万元
翻转法热水固化修复	①对交通等影响小; ②内衬管密封效果好、抗腐蚀性强、使用寿命长	①施工工艺对工人的技术水平和经验有较高要求; ②不能带水作业,需要截流临排调水; ③工程造价较高	75	3 276
螺旋缠绕法修复	①可带水施工; ②一次性施工距离长; ③施工可以随时中断,机动灵活; ④不需要改造检查井	①修复完成后与管道间需要灌浆; ②水平连接处开挖量较大; ③工程造价较高	80	4 290
短管内衬法修复	①可以对管道上部与下部分别施工; ②可以从中间向两端同时施工,缩短工期; ③不需要改造检查井; ④工程造价较低	①不能带水作业,需要截流临排调水; ②修复完成后与管道间需要灌浆; ③人工操作,施工质量受人为因素影响较大	90	2 638
离心浇铸玻璃钢管内衬修复	①特殊条件下可带水施工; ②可以提高主管道的抗压抗冲能力; ③工程综合造价较低; ④施工进度较快	①为保证施工质量,不推荐带水作业,故建议截流临排调水; ②需要改造检查井; ③修复完成后与管道间需要灌浆	80	2 300

3 内衬修复用玻璃钢管的管材优化

3.1 离心浇铸玻璃钢工艺

顶管用的离心浇铸玻璃钢管是一种复合材料管道,由树脂、短切玻璃纤维和石英砂在计算机控制下精确投入旋转的模具内腔,在机械的离心力作用下形成分层结构,其中外层为含石英砂的不饱和树脂层,中间层为石英砂支撑层,内层为玻璃纤维增强密封层和不饱和树脂内衬层<sup>[1]</sup>。

3.2 管材特性及优化措施

与普通玻璃钢管相比,离心浇铸玻璃钢管具有密度小、质量轻、抗弯与纵向拉伸强度好、环向刚度大、耐腐蚀性好、水力学性能好、挠曲性能好等诸多特点。

与用于顶管施工的离心浇铸玻璃钢管相比,本工程用于内衬修复的离心浇铸玻璃钢管有如下优化改进:①管材壁厚更薄。用于顶管施工的管材应根

据管道所在土层、顶力、管径计算得出管材壁厚,对于 DN1 600 管道壁厚约 65 mm。而本工程只在原有管道内顶进,无管周摩阻力,仅需考虑管材对原待修复管道的强度增加因素,最终管材壁厚确定为 28 mm。②管材环刚度要求降低。用于顶管施工的管材环刚度,按《玻璃纤维增强塑料顶管》(GB/T 21492—2019)要求, DN1 600 管道的环刚度为 150 000 N/m<sup>2</sup>。而作为旧有管道的内衬修复考虑,为节省工程造价,管道的环刚度采用 5 000 N/m<sup>2</sup>。③用于顶管施工的管道接口多数采用“O 型”或“F 型”的不锈钢或玻璃钢接口,本项目接口采用优化的套筒式接头,它借助由三元乙丙橡胶材料构成的倒顺牙式宽体橡胶密封圈进行连接,具有连接简便、密封性好的特点<sup>[2]</sup>,如图 2 所示。

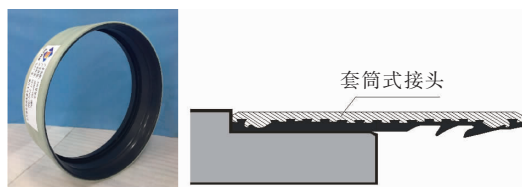


图2 玻璃钢管套筒式接口

Fig. 2 Glass fiber reinforced plastic sleeve type interface

#### 4 内衬管输水流量计算

综合考虑待修复混凝土管道内径  $d_1$  800 mm,管道可能存在的起伏、微小错节等因素,拟采用内衬管管径  $d_1$  600 mm (外壁 1 638 mm,内壁 1 585 mm)。在相同压力、管长条件下,离心浇铸玻璃钢 DN1 600 内衬管的流量与原钢筋混凝土  $d_1$  800 mm 旧管道的输水流量相比:原钢筋混凝土管道的粗糙系数( $n_e$ )取 0.013,离心浇铸玻璃钢的粗糙系数( $n_1$ )为 0.008~0.009,设计取值 0.009,修复后管道的过流能力与修复前的过流能力比值( $B$ )按照下式计算:

$$B = \frac{n_e}{n_1} \times \left( \frac{D_1}{D_E} \right)^{\frac{8}{3}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $D_1$  为内衬管内径 1 585 mm; $D_E$  为旧管内径 1 800 mm。

经计算得  $B = 1.02$ ,即内衬 DN1 600 离心浇铸玻璃钢管后形成新管的过流能力与旧  $d_1$  800 mm 钢筋混凝土管过流能力基本相当<sup>[3]</sup>。

其实,混凝土管运行近 30 年后管内壁的粗糙系数远大于初始值(一般取值范围为 0.30~0.36),因此采用 DN1 600 内衬管修复后过流能力可以满足要求。

### 5 内衬管修复技术原理、工序及适用条件

#### 5.1 技术原理

将离心浇铸玻璃钢内衬管吊入工作井,放置在工作井内的轨道上,由油压千斤顶将内衬管逐节推入待修复管道,内衬管道之间通过 FWC 接头,采用特定机械连接工具进行连接。内衬管与待修复旧管之间的环向间隙,通过内衬管上的预留注浆孔由内向外压力注浆充填空隙,以固定内衬管,确保内衬管长期稳定运行<sup>[3]</sup>,如图 3 所示。



图3 内衬管修复原理示意

Fig. 3 Schematic diagram of repair principle of lining pipe

#### 5.2 施工工序

离心浇铸玻璃钢内衬修复的施工工序如下:①对老旧管道进行疏通冲刷,并检查管道内部结构质量;②在需要设置检查井的位置建立工作井;③设置安装工作台;④将玻璃钢的衬管吊入工作井内,用千斤顶将衬管逐节顶入待修复管道内;⑤内衬管全部顶入且安装完成后,应检查管道接口的密封性能是否满足要求;⑥注浆进行内衬管与老管间的空隙填充;⑦管道安装完成并检验合格后,再进行工作井与接收井内的检查井施工,拔出围护钢板桩后回填并恢复路面。

#### 5.3 适用条件

离心浇铸玻璃钢内衬修复工艺应综合考虑以下因素:

- ① 虽然新建内衬管的直径减小、粗糙系数变小,但是不影响原有管道的过流能力;
- ② 原有管道未出现严重的结构缺陷,如 4 级变形、4 级错口、3 级与 4 级破裂(也叫坍塌)等;
- ③ 为了减少工作井的数量,可以一次顶进数个井段,在原有检查井内不中断;
- ④ 对于原有管道存在不平直(包括水平与竖向不平直不大于 1/500)的情况,可通过减短管节长



度、调整接头角度来解决。

## 6 施工操作要求及主要难点

### 6.1 管道预处理

对原有管道的预处理包括管道内部处理与管周的地基处理两大部分,而管道内部处理主要是管道内部淤泥清理与管壁清洗,管周的地基处理主要是管内向外注浆处理。

① 管道内部清洗。采用高压水冲洗车冲洗与传统人工机械清洗相结合,先将管内淤泥及管壁冲刷干净,对管道内部腐蚀严重及钢筋外露的部位,可先用快速水泥砂浆进行补平修复。

② 管周的地基注浆加固。当管道处于流砂层或原管道接口存在错口或脱节情况时,说明原管道周围土体已存在流失现象,为保证管道修复后的质量及后期运营安全性,需在内衬修复前对管周土体进行注浆加固<sup>[3]</sup>。注浆范围一般为管底以下2 m、管两侧各1.5 m、管上侧1 m,宜沿原管管节纵向注浆孔由内向外进行注浆<sup>[4]</sup>。

### 6.2 顶推施工

工作井可采用拉森钢板桩加槽钢围檩支护的结构形式,在工作井内用2台200 t液压顶管机顶推DN1 600玻璃钢内衬管,在首节管道前方安装导向头,通过油压机控制油缸行程,调节连续内衬管轴线,实现管节姿态调整、精确内穿管道。

① 在工作井底板上安装平行轨道并用钢制横担和枕木固定轨道,安装和固定轨道必须严格校核标高。

② 地面上安装液压油泵设备,工作井内底板上安装200 t千斤顶设备,注意严格调节油缸设备高度和顶进断面的垂直度。

③ 吊管和下管。用汽车起重机将DN1 600的管材从地面起吊到工作井底的轨道并按指定落点就位。

④ 将顶环安装在DN1 600管节端口,通过限位卡箍固定首节管道,开机顶推第二节管,将FWC管接头安装到位后换用顶铁顶推DN1 600管节,通过油压机控制油缸行程,调节连续内衬管轴线,可辅以小型液压千斤顶在 $d1\ 800\text{ mm}$ 管内操作调节,实现管节姿态调整、精确内穿管道。依此直至所有管节顶推到位。

### 6.3 主要施工难点及解决方法

① 截流临排调水。由于本段管道是污水处理

厂的进厂污水主通道之一,也是无锡市城中核心区污水排放的主通道,因此无法完全断水,只能采用截流临排调水方案。由于此管道直径较大,日排水量较大,且不能中断,因此对临排管要求较高。实际实施时在修复管段上下游管井内设置潜水轴流泵,并布设DN800、DN600两根临排钢管,且在临排管上设置智能化联动装置,确保不间断排水,保证主城区污水正常排放。同时对沿线的支管也同样采用布设截流临排方式调水,确保主管的修复施工。

② 部分管段起伏变形。由于管道建设时间久远,管道或多或少存在地基变形与沉降,以及起伏与平直度有偏差等问题,造成内衬管顶进施工难度加大。为此,首先测量管道的起伏与平直度,得出详细数值,并根据测量数据进行理论计算,得出管段长度、管道接口的水平与竖向偏转角度。正常顶推的管节长度为6 m,最终选用管节长度为2 m,管道接口的偏转角度控制在接口允许偏角 $1^\circ$ 以内。

③ 新旧管道间注浆填充。为保证新内衬管的稳定,需对新旧管道之间的空隙进行注浆填充<sup>[5]</sup>。具体做法:通过内衬管上的预留孔由内向外压浆,注浆材料为水泥和细粉煤灰的混合浆液。注浆时需要充分避免因浆液浮力造成接口部位拉开、浆液发生泌水现象造成填充不实等问题。

针对上述问题,可采用如下控制措施:

a. 提前进行抗浮验算,同时应分3次注浆。按内衬新管悬浮于外管中间计算得出填注浆液高度,确定为第一次注浆高度,并将液位观察孔设置在此高度和内衬管顶中央高度。经过抗浮理论计算后第一次注浆高度为0.4 m,后面两次注浆高度分别为1.0、1.8 m。

b. 在注浆前应经现场试验确定合理的水灰比,并在混拌干料中添加引气剂。使用粉煤灰作为灌浆添加材料,不仅能弥补水泥灌浆材料泌水离析的缺陷,还可使浆体易于泵送和灌注,减小收缩值。同时可在上部管段设置通气孔,当底部注入的浆液从上部通气孔溢出表示已经注满,然后将内衬管上的注浆孔与通气孔密封。

## 7 修复效果

无锡市运河东路 $d1\ 800\text{ mm}$ 污水主管道(金匮桥—铁塔厂过河管段)通过离心浇铸玻璃钢内衬管非开挖修复后,对所用管材的材质、强度、环刚度进行取样检测,结果显示全部合格,之后对该段管道进

行闭水试验,一次通过竣工验收,且已平稳试运行近一年,修复工程符合最初工程设计目标的各项技术要求。

管道修复前、后的对比见图4。

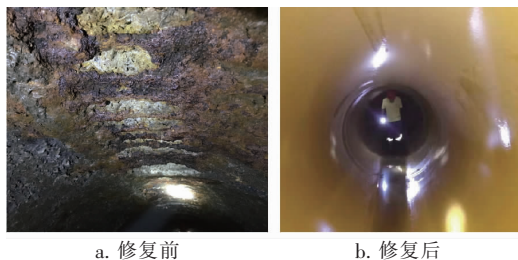


图4 玻璃钢内衬管法修复前、后对比

Fig.4 Contrast before and after repair with FRP lining pipe method

## 8 结论

无锡市运河东路  $d1\ 800\ \text{mm}$  污水主管道非开挖修复实践证明,离心浇铸玻璃钢管具有质量轻、耐腐蚀、内壁光滑摩阻系数小、寿命长、管道和接口抗渗漏性能好、施工周期短等优点,可以用于大口径排水管道工程的旧管道内衬修复,本工程的实施为大口径排水管道非开挖修复积累了一定的工程经验。

## 参考文献:

- [1] 尤文玮,钱勇,周铭. 旧管修复技术的合理选用[J]. 城市道桥与防洪,2006(6):76-79.  
YOU Wenwei, QIAN Yong, ZHOU Ming. Reasonable selection and use of old pipe repairing technique[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control,2006(6):76-79 (in Chinese).
- [2] 张艳. 玻璃钢夹砂管穿入旧管道,完成结构性管道修复[J]. 上海建设科技,2008(1):49-50.  
ZHANG Yan. The glass reinforced plastic sand pipe runs through the old pipe to complete the structural pipe repair[J]. Shanghai Construction Science & Technology,2008(1):49-50(in Chinese).
- [3] 刘金星,刘刚,耿震,等. 采用玻璃钢夹砂管内衬修复大口径污水管工程设计[J]. 中国给水排水,2019,35(24):85-89.  
LIU Jinxing, LIU Gang, GENG Zhen, et al. Engineering design of large diameter sewage pipe lining with centrifugal glass fiber reinforced plastics(CCGRP) mortar pipes[J]. China Water & Wastewater,2019,35(24):85-89(in Chinese).
- [4] 阮丽峰,刘刚,余步存,等. CIPP 翻转法在排水管道非开挖修复中的应用[J]. 城市道桥与防洪,2014(7):273-276.  
RUAN Lifeng, LIU Gang, SHE Bucun, et al. Application of CIPP inversion method in trenchless repair of drainage pipes[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control,2014(7):273-276(in Chinese).
- [5] 马保松. 非开挖管道修复更新技术[M]. 北京:人民交通出版社,2014.  
MA Baosong. Trenchless Pipeline Rehabilitation and Renewal Technology[M]. Beijing:China Communications Press,2014(in Chinese).

作者简介:刘刚(1976-),男,安徽六安人,大学本科,高级工程师,一级注册结构工程师,主要从事市政工程研究或设计工作。

E-mail:1269936096@qq.com

收稿日期:2020-05-05

修回日期:2021-06-01

(编辑:衣春敏)

幸福生活靠奋斗,美丽河湖靠呵护