

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.08.015

上海中心城区超大口径合流总管修复研究及应用

王艾凯

(上海市城市建设设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200125)

摘要: 上海中心城区 $\varnothing 3\,500\text{ mm}$ 合流总管为钢筋混凝土管,已运行30多年。由于污水的腐蚀作用,管道内侧发生了严重的钢筋裸露和锈蚀,承载力下降。该总管位于高架下方,周边环境复杂。为确保合流总管结构和周边环境的安全,通过地面临排+中导管的组合临排形式创造干仓环境,采用8 mm不锈钢内衬对管道进行修复,不锈钢内衬与原管道之间的空隙注入灌浆材料。修复后合流总管运行正常,不锈钢内衬、灌浆材料和原结构形成复合结构,恢复了原设计承载能力。

关键词: 合流总管修复; 临排设施; 不锈钢内衬

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2026)08-0109-04

Research and Application of Rehabilitation for Super-large Diameter Combined Sewer Pipe in Shanghai Central Urban Area

WANG Aikai

(Shanghai Urban Construction Design & Research Institute Groups Co. Ltd., Shanghai 200125, China)

Abstract: The combined sewer pipe, with a diameter of $\varnothing 3\,500\text{ mm}$, located in the central urban area of Shanghai, has been in service for over 30 years and is constructed from reinforced concrete. The corrosive nature of sewage has resulted in significant exposure and rusting of the rebar on the interior of the pipe, consequently diminishing its load-bearing capacity. This main pipe is situated beneath an elevated structure, and the surrounding environment is characterized by complexity. To ensure the structural integrity of the combined sewer main pipe and the safety of the surrounding area, a dry repair environment was established through a combined temporary drainage of surface pipes and inner conduits. An 8 mm stainless steel liner was employed for the repair of the pipeline, with the space between the stainless steel liner and the original pipe filled with grouting material. This assembly of the stainless steel liner, grouting material, and the original structure resulted in a composite structure that effectively restored the original design load-bearing capacity. Following the repair, the combined sewer has resumed normal operations.

Keywords: combined sewer pipe rehabilitation; temporary drainage; stainless steel liner

排水管网作为城市生命线的重要组成部分,特别是北京、上海等超大城市,人口密度大,排水管道数量多。据统计,截至2023年底,北京和上海的排

水管道长度分别达到2.9万、2.8万 km,而且其有相当一部分是服役几十年的老旧管道。对于如此大规模的存量排水管道,各地坚持对排水管道进行常

通信作者: 王艾凯 E-mail: wangaikai1@163.com

态化检测,对发生破损的管道及时进行修复或改造。这些修复的排水管道一般为中小口径^[1],多为区域的主支管、修复难度较低,而大口径管道,特别是口径超过3 m的修复案例非常少。口径超过3 m的管道一般是总管,具有输送水量大、不能停运的特点。因此,研究排水总管的修复是保障城市生命线面临的必然课题,而且十分重要和紧迫。

1 工程概况

上海中心城区某 $\phi 3\ 500\text{ mm}$ 合流总管于1993年建成通水,至今已运行30多年。原管道为钢筋混凝土管,采用顶管施工。根据文献[2],污水中的 H_2S 气体会导致管道的顶部发生腐蚀,由于长时间的水流冲刷,管道内表面原来的防腐涂层基本失效。根据闭路电视(CCTV)检测成果,合流总管内侧发生了较为严重的钢筋裸露和锈蚀(见图1),导致承载力下降,影响管道自身安全,并对周边环境产生不利影响。因此,亟须开展合流总管先行段的修复工作,目标是内侧结构补强,同时提升耐久性。先行修复段全长约2.6 km,位于高架下方市级主干道路的中分带内(见图2)。

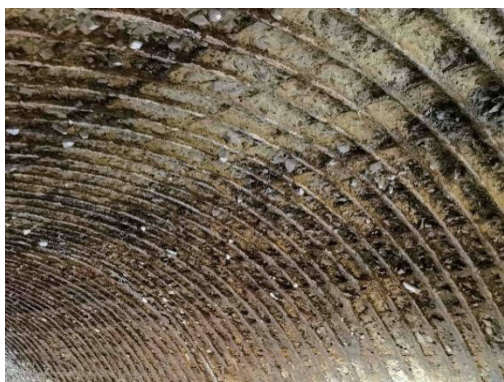


图1 合流总管结构腐蚀

Fig.1 Structural corrosion of the combined sewer pipe

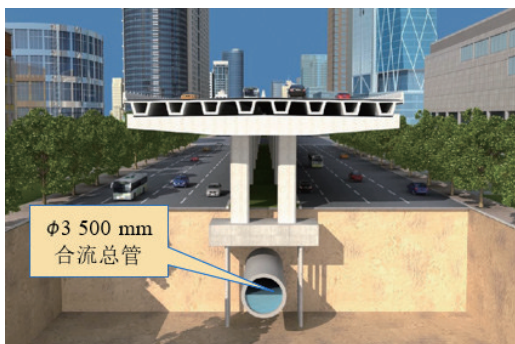


图2 合流总管区位断面示意

Fig.2 Location cross-section of the combined sewer pipe

2 临排方案选择

待修复管道是中心城区重要的合流总管,在整个修复期间不能断水停产。根据对国内外最新管道修复技术的调研^[3-6],适用于大口径管道的修复技术均需干仓环境或不高于0.5 m的静水环境实施。考虑到合流总管修复的特殊性,干仓环境和0.5 m的静水环境实现难度基本相同,而且带水施工环境差、修复质量难以保障。因此,研究如何安排修复期间的污水输送,创造干仓修复条件,是首先需要解决的难题。

合流总管雨天流量受降雨影响较大,峰值流量难以准确估算,故先行段管道原则上安排在非汛期进行修复,流量约 $9\text{ m}^3/\text{s}$ 。由于地面临排管道需在两根高架立柱之间穿过,受高架立柱之间的空间限制,地面临排管道的最大口径为DN1 600。若全部采用地面临排转输,则地面临排管道的流速为 4.48 m/s ,流速过高,单线高流速的临排运行风险较大,难以接受。由于待修复管道尺寸较大,可以在管道内铺设一根中导管临排(见图3),下方用钢支撑撑在原管道内,四周预留约1 m的修复施工作业面,中导管的管径为DN1 400、坡度约为0.07%,与原管道相同。为确保修复期间的运行安全,中导管设计为满管重力流,流速为 1.1 m/s ,流量约 $1.7\text{ m}^3/\text{s}$,相应的地面临排流量为 $7.3\text{ m}^3/\text{s}$ 。经计算分析,最终采用地面临排+中导管的组合临排方案,创造干仓修复条件。



图3 中导管临排

Fig.3 An inner conduit for temporary drainage

3 修复方案比选

目前适用于超大口径管道的修复工艺主要有:钢筋网+水泥基灰浆材料喷涂法、钢筋网+水泥基灌浆料模筑法、聚乙烯(PVC)管片拼装内衬法、机械制螺旋缠绕内衬法、不锈钢内衬+壁后注浆法。为实现结构补强的目标,需要增设钢筋网或钢板。若采

取增设钢筋网的形式,则需在管道内部采用大量植筋短钢筋来固定钢筋网,而管道内部已经发生较为严重的腐蚀,内部植筋易对现状结构造成二次破坏,产生不可预估的风险。中导管满水运行期间自质量较大,传递至下部钢支撑的集中力也较大,钢支撑下端易对塑料内衬造成破坏。方案比选见表 1。

表 1 修复方案比较

Tab.1 Comparison of sewer rehabilitation schemes

修复方案 工法	植筋	中导管对新 内衬影响	Ø3 000 mm 以 上管道案例	造价
钢筋网+水泥 基灰浆材料 喷涂法	是	无	无	较低
钢筋网+水泥 基灌浆料模 筑法	是	无	无	较低
PVC 管片拼 装内衬法	是	局部内衬破坏	无	高
机械制螺旋 缠绕内衬法	是	局部内衬破坏	无	高
不锈钢内衬+ 壁后注浆法	否	无	有 ^[5]	高

经过多方面的方案比选论证,最终修复方案选用不锈钢内衬+壁后注浆的工艺,不锈钢选用奥氏体 S31603,以提升修复后结构的耐久性,壁后注浆材料选用自密实微膨胀水泥基灌浆料。

4 修复内衬设计

为降低工程造价,合流总管先行段修复充分利用管道现有承载力,新增内衬主要对管道内侧损失的承载能力进行补强,新增内衬和原结构现状部分组成复合结构共同承载。根据竣工图资料,原管道内侧配筋环向 12@100、纵向 8@230,均为 HRB335 级钢筋。本次管道修复按照《顶管工程设计标准》(DG/TJ 08—2268)复核计算管道的内力和配筋,结果为管道内侧配筋大小和间距同原管道,钢筋型号调整为 HRB400 级。管道修复方案采用不锈钢内衬+壁后注浆的工艺,按照强度面积等代的原则将钢筋面积换算成不锈钢内衬的厚度约 4 mm,同时预留不锈钢内衬的腐蚀余量,最终取 8 mm 作为不锈钢内衬的厚度。不锈钢内衬与原管道之间预留约 5 cm 的空隙,空隙中注入自密实微膨胀高强水泥基灌浆料。修复后标准段管道内径为 Ø3 380 mm,由于

粗糙系数减小,过流能力满足原运行要求。

5 修复方案的实施

5.1 新开工作井

现状检查井平面尺寸 11 m×6 m,原施工采用钢筋混凝土沉井的方式,由于现状检查井距离较远且位于现状路口附近,不能满足修复工程需要,因此需在总管上新开一定数量的工作井。新开工作井位于高架下方地面道路的中央分隔带内,相邻高架桥立柱之间的跨度约 20 m,地面道路至高架梁底的净空约 5 m。新开工作井基坑平均开挖深度约 7 m,为确保开挖过程中基坑本身、合流总管、周边道路、管线和高架等环境要素的安全,新开工作井的围护形式采用钻孔灌注桩及型钢内支撑,止水帷幕和坑底加固均采用大直径全方位高压喷射法(MJS)旋喷桩。基坑开挖到底后,在工作井内浇筑钢筋混凝土井壁作为永久结构,新建井壁分别与现状管道外侧和钻孔灌注桩采用植筋连接。管道修复完成后,工作井上覆预制钢筋混凝土盖板,并按原状地面进行恢复。

5.2 中导管和端头封堵实施

中导管作为临排方案的重要组成部分,实际工程应用案例较少,特别是长距离带水实施的场景更少。为确保中导管的安全实施,施工前需通过泵站的运行配合将总管内水位高度降至 0.6 m 以下,流速控制在 1 m/s 左右,然后通过新开工作井将中导管吊放在管道内定制的运输车辆上,在动力牵引下由专业潜水员扶持车辆运输至预定位置。中导管采用碳素钢,直线段或大曲率转弯处接口采用法兰连接,在小曲率转弯处设置可挠曲式接头,从而适应一定的变形要求。为确保中导管的稳定,开始的几节中导管采用钢丝绳固定在新开工作井的井壁,待中导管节数增多后,则依靠自身重力进行稳定。

地面临排和中导管铺设完成后,在修复区间两端安装封堵闸门。封堵闸门由上下两部分组成,下部采用固定的圆环钢板,钢板中间横穿中导管,上部采用可移动式的方形成品闸门,封堵闸门和井壁之间约有 1.2 m 的空隙作为修复期间的通风口,紧急工况时作为过水的窗口。在管道修复期间,闸门上下两部分均保持紧闭状态;在突降大雨等紧急情况下,快速拉起上部方形闸门,水流通过闸门后面的空隙快速流入下游管道,此时在中导管和地面临

排水泵的共同作用下,能够满足短期大流量通过的要求。在修复过程中,组合临排和封堵闸门顺利通过多次突降大雨的检验。

5.3 不锈钢内衬修复

不锈钢内衬拼装前,首先根据原管道走向制作内衬拼装排版图,确定每块内衬的尺寸,然后将制作好的弧形板材运到指定位置,通过焊接连成整体,最后向不锈钢内衬后侧的空隙中注入灌浆材料。为确保不锈钢内衬的修复质量,采取以下工程措施:焊缝等级为一级,全部进行外观检测和无损探伤检测。不锈钢内衬与注浆接触侧加焊栓钉,增加不锈钢内衬与注浆体之间的锚固力。所有焊缝均进行酸洗钝化处理,并采用“蓝点检验”法进行抽检,从而保证焊缝处的防腐性能。注浆材料选用自密实微膨胀的灌浆料,确保注浆的密实度。为避免注浆材料凝固前的浮力影响不锈钢内衬的稳定,注浆宜分次进行,待先期注浆初凝后再进行下批次的注浆。每次注浆前通过注浆孔向壁后空隙压注清水,清洗注浆空间的杂物,确保注浆饱满无杂质。

6 结论

该合流总管先行段修复工程投资超过3亿元,自2022年3月开工新建检查井,2024年6月完成全部管段的修复,修复完成后的合流总管已正常运行近1年。不锈钢内衬的焊缝质量、焊缝处的酸洗钝化、注浆体的密实度是该修复工程重要的质量控制环节。通过新增的8 mm不锈钢内衬及注浆体,恢复了合流总管的承载内力,并提高了耐腐蚀性能。作为上海中心城区长距离超大口径合流总管的修复案例,该工程可为类似管道修复工程提供借鉴。

参考文献:

- [1] 周杨军,蒋仕兰,解铭,等. 非开挖修复技术在水管管道维护中的应用[J]. 中国给水排水, 2020, 36(20): 58-62.
ZHOU Y J, JIANG S L, XIE M, et al. Application of trenchless repair technology in urban drainage pipeline maintenance[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(20): 58-62(in Chinese).
- [2] 阎富杰. 市政混凝土污水输送管道内部腐蚀及防腐的研究[J]. 城市道桥与防洪, 2019(8): 305-307, 314, M0033.
YAN F J. Study on internal corrosion and anticorrosion of municipal concrete sewage conveying pipeline [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2019(8): 305-307, 314, M0033(in Chinese).
- [3] 上海市住房和城乡建设管理委员会. 城镇排水管道非开挖修复技术标准: DG/TJ 08—2354—2021[S]. 上海: 同济大学出版社, 2021: 13-14.
Shanghai Municipal Commission of Housing and Urban-rural Development. Technical Standard for Trenchless Rehabilitation of Urban Drainage Pipeline: DG/TJ 08-2354-2021 [S]. Shanghai: Tongji University Press, 2021: 13-14(in Chinese).
- [4] 忻少华. PVC模块内衬法在排水管道非开挖修复中的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2021(7): 308-311, M0025.
XIN S H. Application of PVC segmental lining method in trenchless repair of drainage pipeline [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2021(7): 308-311, M0025(in Chinese).
- [5] 黄薇. 上海白龙港片区Ø3 600 mm合流污水总管修复实例[J]. 中国给水排水, 2023, 39(16): 129-134.
HUANG W. Rehabilitation case of Ø3 600 mm combined sewage main pipe in Shanghai Bailonggang area [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(16): 129-134(in Chinese).
- [6] 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.
WEI J, XU H A, FANG S, et al. Application of trenchless rehabilitation technology in reconstruction of large diameter intercepting sewage pipeline [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(10): 126-132 (in Chinese).

作者简介:王艾凯(1987—),男,河北邯郸人,硕士,工程师,主要从事给水排水工程结构设计工作。

E-mail:wangaikai1@163.com

收稿日期:2025-06-10

修回日期:2025-07-30

(编辑:衣春敏)