

现代城市地下综合管廊基坑开挖与防渗技术研究

朱利磊

(中铁建交通运营集团有限公司, 天津 300110)

摘 要 本文对现代城市地下综合管廊基坑开挖与防渗技术进行研究, 以某城市新区中等深度管廊基坑工程为案例, 分析其在复杂地层中确保基坑稳定、控制周边变形及实现结构长效防水的核心目标。具体从基坑支护选型、土方开挖组织、地下水控制、复合防渗体系构建等方面着手进行探讨。通过系统总结该工程在应对软土地质、控制施工扰动及实施经济有效防渗方案方面的实践经验, 以期为类似新建城区条件下的管廊基坑工程提供技术参考。

关键词 地下综合管廊; 基坑开挖; 防渗技术; 支护结构; 地下水控制

中图分类号: TU94

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.06.018

0 引言

随着城市建设规模不断扩大以及对城市地下空间的进一步利用, 在城市中建设集电力电缆、通信网络、给排水等多种市政管网于一体的综合性地下管道走廊——地下综合管廊的需求日益增加^[1]。由于地下综合管廊多位于城市中心区域, 其施工过程中往往涉及复杂的基坑开挖稳定性及基坑降水问题, 而基坑渗水不仅会影响管廊本体的安全性, 也会导致基底附近土壤出现沉降现象。随着基坑支护技术和地下防渗技术的发展和完善, 推动复杂环境下安全、高效、持久的综合管廊修建技术发展, 是当前亟待解决的问题。实践经验表明, 精细施工及综合治理是构筑综合管廊长治久安的基础保证。

1 工程概况

1.1 项目基本情况

本项目为城市主干道下方的综合管廊工程, 根据沿线位置采用三种标准断面。槐安路—南二环路为5舱管廊, 断面尺寸18.3 m×3.85 m; 南二环路—汇宁街为5舱管廊, 断面尺寸19.5 m×4.55 m (局部舱室高3.45 m); 汇宁街—清水街为4舱管廊, 断面尺寸15.9 m×4.55 m (局部舱室高3.45 m)。入廊管线包括给水、再生水、电力(多电压等级)、通信、热力、燃气及污水管等。管廊标准段覆土控制3.5 m, 节点段覆土1.0 m。廊体主要位于规划道路北侧, 与地铁四号线共线段绕行至道路红线外敷设。在友谊大街街与汇

明路交叉口设控制中心一座、汇宁街与汇明路交叉口西南侧设污水提升泵站一处(规模4.0万t/d), 总占地0.85公顷。工程内容包括管廊主体、附属设施、污水管线、泵站及管线迁改设计。工程沿线地貌为冲积平原, 土层依次为: (1)人工填土(1.5~2.5 m); (2)粉质黏土(3.0~5.0 m, 软塑); (3)细砂层(>10 m)。地下水位埋深约2.0 m, 主要赋存于细砂层。基坑标准段开挖深度8.5 m, 局部节点加深至10.5 m, 属中等深度基坑。周边以规划绿地及待建用地为主, 需控制对邻近路基的影响。

1.2 基坑开挖与防渗目标

根据本工程地质条件及周边环境的特点, 确定基坑工程控制目标为在保证整个施工过程的安全可控的基础上, 实现临时围护结构安全可靠、永久管廊结构长期防渗的目标; 总体控制目标为构建临时支护—永久结构—开挖期—运营期全流程安全及防渗体系。其中, 目标分为变形控制、稳定保证、地下水控制及结构耐久性四个部分, 详细的量化的控制标准和技术目标见表1。

2 案例工程地下综合管廊基坑开挖施工要点

2.1 支护结构设计与施工

支护结构是保证基坑稳定的基础。本工程基坑开挖深度达8.5 m~10.5 m, 在粉质黏土地层以及细砂地层相互交替处, 且地下水位较高, 采用“钢板桩+内支撑”组合式围护方式展开施工^[2]。围护桩选用U型拉森IV型钢板桩, 桩长取12 m, 具有较大的截面惯

作者简介: 朱利磊(1991-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 城市地下综合管廊建设及运营维护。

表 1 基坑工程主要控制目标

控制维度	具体目标描述	量化控制标准
变形控制	支护结构顶部水平与竖向位移控制	顶部水平位移 ≤ 25 mm, 竖向位移 ≤ 20 mm
	基坑外地表沉降控制	最大沉降量 ≤ 30 mm, 沉降变化速率 ≤ 2 mm/d
稳定性保障	基坑整体抗隆起稳定性	安全系数 ≥ 1.8
	支护桩体强度与变形安全	最大弯矩设计值留有 1.4 倍安全余量
地下水控制	坑内降水深度控制	开挖面以下至少 0.5 m, 水位降深约 6.5 m
	坑外水位降深与影响控制	坑外水位下降 ≤ 1.5 m, 单井出水量 ≤ 20 m ³ /d
结构防渗耐久	管廊结构自防水等级	达到 P8 级 (抗渗压力 0.8 MPa)
	施工缝 / 变形缝渗漏控制	无湿渍, 无明显渗水
	基坑开挖阶段渗流量控制	每日渗入基坑总水量 ≤ 10 m ³ /d

性矩, 可承担较大土侧压力。钢板桩则用静压植桩机将之打入, 采用静力压入法, 将施工噪声控制为 60 dB 以下, 降低对周围环境的影响; 桩间采用小锁口紧密结合成一体, 形成长而连贯的挡土止水帷幕; 桩身应打入下部相对隔水层 (粉质黏土) 不小于 1.5 m, 保证嵌固稳定性及止水效果。

支护体系: 基坑内设一道钢管内支撑。支撑采用 426 mm \times 15 mm 钢管, 水平间距 5 m; 支撑两端用双拼 HW400 型钢围檩与钢板桩连接起来。施工中应做到“先撑后挖”, 每层土方开挖到支撑设计标高下 0.5 m 后, 立即安装该道支撑并施加预加轴力。预加轴力值取设计轴力的 50%~70%, 用以控制支护结构的前期变形。

支护结构施工的关键技术控制点主要有: 钢板桩打设垂直度允许偏差 $<1/150$; 咬合紧密, 避免“开锁”; 支撑及围檩连接处焊接饱满均匀并达到二级焊缝要求; 预应力同步、对称施加。该支护体系施工保证了后期土方开挖具有一个安全、干爽的工作面。

2.2 土方开挖与支撑体系协同

基坑土体的开挖很大程度上依靠与支护的相互作用来实现。该工程在施工过程中采取“分层、分段、对称、平衡”的土方开挖方式, 从顶部到底部分三次开挖, 每次开挖深度为 3.0 m、3.0 m 及 2.5 m (包括 0.3 m 保护层)。每一水平面土体沿纵向分为 15~20 m 一段, 逐段跳仓开挖, 并充分发挥时空效应减少变形。开挖机械采用斗容量 1.2 m³ 的中型挖掘机, 坑边 3 m 内严禁堆载; 挖至坑底以上 300 mm 转为人工清底, 严禁超挖; 坑底及时设 300 mm \times 300 mm 排水沟及 30 m 间距集水井, 保证作业面干燥。另外, 土方开挖与撑装的精密切合也是关键。该模式保证了支护体系及时发挥作用, 减少了悬空时间和悬空面积。

2.3 基坑变形监测与控制

全过程对基坑进行变形监测及控制是保证基坑安全的关键。本工程建立了全面覆盖、指标多样的自动化监测体系, 主要监测项目有支护桩顶水平位移及垂直沉降、基坑周围地表沉降、钢管支撑轴力、地下水水位等。在基坑边沿每隔 20 m 设置一个监测点, 主要阳角及靠近所保护管线处加密到 10 m/个。基准点应布置在受基坑变形影响 3 倍基坑深度以外的位置上。

根据施工工况动态调整监测频率, 在基坑开挖过程中, 监测频率为 1 次/d; 在支撑安装、降水等关键工序期间, 监测频率为 2 次/d; 基坑浇筑完底板以后可以适当减小到 1~2 次/a。每次监测的数据当天进行整理并绘成变形时程曲线图。确定控制标准为: 支护桩顶累计水平位移预警值取 25 mm。变形速率警戒值为 3 mm/d; 周围地面累计沉降警戒值为 30 mm; 支护内力增量不大于设计值的 80%。

以监测结果为依据, 控制施工过程, 做到信息化施工。例如: 如果某个测点的位移变化速率连续几天比较接近或者超过报警值, 或者某个支撑的轴力突然变得很大, 就会及时分析原因并采取相应的对策, 如加快支撑打设速度、调整开挖顺序甚至是采用坑底被动区加固等。持续进行动态反馈, 能够把整个基坑施工都控制在可掌控的状态下进行, 保证了整个工程本身以及周围环境安全^[3]。

3 案例工程地下综合管廊防渗技术的实践运用

3.1 多层次防渗体系构建

本项目设计采用了结构自防水为主导, 柔性全外包防水为辅, 细部加强的综合防渗漏方案, 结构自防水采用 P8 抗渗混凝土, 在保证强度的同时尽量降低水

胶比(≤ 0.45),并掺入高效膨胀剂及粉煤灰,防止收缩裂纹,提高混凝土的致密性和抗渗性。混凝土浇筑采取分层浇筑,每次不超过300 mm厚度,保证振捣密实,并加强养护,底板采用蓄水养护,侧墙覆盖保水材料,养护时间不少于14 d,从而控制温度裂缝的发生^[4]。

柔性外包防水层:针对不同的底板和侧墙采用不同做法,对于底板和侧墙较为平顺、干燥的部分采用2.0 mm反应粘结型高分子防水卷材,该卷材可以采取湿铺法施工,允许基层略微潮湿,同时与结构混凝土之间可做到满粘不空鼓,避免出现“窜水”。对于部分结构较复杂的或者有绿化种植的地方,选用厚度为1.5 mmHDPE高分子自粘胶膜防水卷材,其耐久性能好、耐化学介质性能强及抗植物根穿透能力强;并且采取预铺反粘法施工工艺,省去了找平层、保护层、粘结层等工序,可有效解决防水层与后浇混凝土结合的问题。卷材搭接长度 ≥ 100 mm,卷材接缝采用热熔焊机进行热合满焊处理。对于阴阳角、桩头等容易产生应力集中或者结构比较复杂的部位,都增加一道宽度为500 mm的同类型卷材进行增强处理并做圆弧倒角,保证防水层的完整性和连续性。

3.2 施工缝与接头防水处理

施工缝、变形缝为防渗薄弱部位,在该工程中对其中进行专门加强。其中水平施工缝位于底板顶面以上500 mm左右,使用镀锌钢板止水带+遇水膨胀止水胶:先将原混凝土凿毛,凿出坚硬基层,清理浮浆及杂物后,将宽 ≥ 300 mm的镀锌钢板止水带准确地置于施工缝中央处,使其居中,钢板间采用双面满焊,保证搭接长度,焊缝严密;同时,在止水带两侧混凝土基面需涂刷一遍 1.5 kg/m^2 水泥基渗透结晶型防水涂料。采用其渗透结晶作用堵塞微小孔隙以提高抗渗性;而对于管廊节段间变形缝则采取更加复杂的一些多道设防措施,在缝内中部预埋中孔式橡胶止水带为主防水线,在背水面再开槽嵌填非固化密封胶做弹性封堵,整体变形缝防水构造应可适应一定范围的沉降差。穿墙管件周边的防水处理亦至关重要。管道安装后,其与混凝土结构之间的缝隙需用遇水膨胀止水胶封堵,外部再采用金属箍固定的阻水法兰进行加强密封,构建多道防线。所有接缝防水材料施工前,基层都必须处理平整、干净、无明水,确保材料能与基面牢固粘结,发挥最大效能。

3.3 降排水系统与抗浮设计

为控制地下水位,保障基坑开挖期间干燥的作业环境和管廊运营期的结构抗浮安全,本工程建立了系

统的降排水方案并进行了专项抗浮设计。基坑降水采用管井降水法,沿基坑外侧每间隔15~20 m布设一口降水井,井深深入坑底以下不少于5 m。单井出水量设计控制在 $20 \text{ m}^3/\text{d}$ 以内,通过分级降水将基坑内水位稳定在开挖面以下至少0.5 m,同时严格控制坑外水位下降不超过1.5 m,以减小对周边环境的影响。基坑底部设置明排水沟和集水井,及时排除坑内积水和降雨,确保基层干燥,为防水层施工创造良好条件^[5]。

管廊结构采用“压重+抗拔”的抗浮措施。对于管廊运营期可能出现较大的地下水浮力情况:一是依靠管廊主体及内部管线和压重层自身的重量抵消部分水浮力;二是设置结构底部抗拔桩(或者抗浮锚杆),抗拔桩(抗浮锚杆)应进入稳定土层。抗拔桩与管廊底板的连接处是防水关键点,桩头混凝土需凿至设计标高,涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料,并在钢筋根部缠绕遇水膨胀止水胶,确保桩头防水与底板外包防水层连成整体。

4 结论

本研究通过系统分析某城市核心区综合管廊基坑工程,得出以下结论:首先,采用钢板桩结合混凝土内支撑的支护方案能有效控制深基坑变形;其次,“抗渗板+外防水卷材+黏土防渗层”的多层次防渗体系能显著提升结构抗渗性能;最后,基于实时监测的动态施工调整是确保工程安全的关键。这些技术措施共同构成了复杂环境下管廊基坑工程的成功范式。未来,随着智能监测技术与新型防渗材料的融合发展,地下管廊基坑工程将向着更安全、更经济、更耐久的方向发展。

参考文献:

- [1] 曹永强,尚国勇,赵婷,等.现代城市地下综合管廊基坑开挖与防渗技术分析[J].科技资讯,2024,22(16):143-145.
- [2] 刘佳宁,周阳,闫昶州,等.关于城市地下综合管廊的施工技术研究与应用[J].居业,2022(10):43-45.
- [3] 范福强.城市地下综合管廊结构裂损病害演化及修复堵漏机理研究[D].济南:山东建筑大学,2022.
- [4] 彭亮.现代城市地下综合管廊基坑开挖与防渗技术研究[J].建筑机械,2022(03):39-43.
- [5] 陈焯.城市地下综合管廊建设的关键成功因素分析及对策研究[D].南京:东南大学,2022.