

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2024.12.056

某综合管廊关键节点方案研究

褚方平

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要:以某北方地区的综合管廊为例,研究了新建综合管廊下穿现状高等级重要市政管线时的控制要求以及相关实施方案的选择,同时对实施过程中相关顶管施工控制技术提出了一系列建议和要求。为类似的工程案例提供了经验,希望能对相关工程设计起到一定的借鉴作用。

关键词:综合管廊;输水管;顶管;泥水平衡

中图分类号: TU990.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)12-0266-05

0 引言

沈阳,位于东三省,是东北地区政治、金融、文化、交通、信息和旅游中心,东北地区最大的国际大都市,素有“东方鲁尔”的美誉。

建设大浑南地区,是沈阳市城市规划发展中极其重要的一环。其核心区浑南科技城是新时代生态城市建设的旗帜,是一座现代智慧新城,引领着东北产业的提升和创意的发展。

浑南科技城现状电力、给水、供热、通信等基础设施尚未完善,综合管廊的建设能够完善科技城基础设施建设,给入驻企业及居民提供完备的生活条件,因此提出了沈阳浑南科技城综合管廊建设项目(一期)。项目共建设地下综合管廊总长约 10 km,包含干线和支线管廊,断面形式分为三舱、双舱和单舱,见图 1。

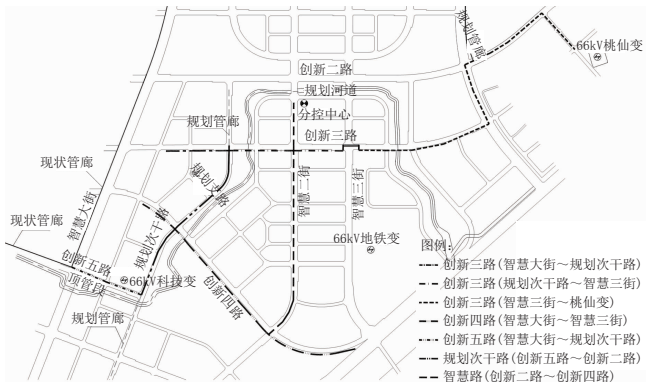


图 1 新建综合管廊总体平面布置图

收稿日期: 2024-03-03

作者简介: 褚方平(1984—),男,硕士,高级工程师,从事市政结构设计工作。

1 工程概况

1.1 现状管线简介

浑南科技城范围内现状有多条现状输水管线、综合管廊、电力架空线、高压燃气环线、输油管线等重大市政管线穿越规划区,见图 2。各类管线的控制廊道对规划区新建管线以及综合管廊有一定影响。



图 2 现状重大管线布局图

尤其是规划区内的大伙房输水管线,作为解决辽宁中部六个城市缺水问题的重要工程,其保护等级和管理要求都非常高。

浑南科技城范围内已建 4 根大伙房水库输水管,输水管沿智慧大街东侧、创新二路北侧敷设,包含 2 根 DN2400 一步输水管和 2 根 DN3200 应急输水管。区域范围内已建大伙房输水管线覆土厚度 2.1~4.7 m,管线埋深最深处约 8.7 m,保护廊道 85~175 m,见图 3。其平面范围以及竖向位置对本工程管廊的建设影响较大。

1.2 关键节点概况

本工程创新五路管廊西起智慧大街,东至规划次



图 3 大伙房输水管线现状(地面构筑物)

干路,沿规划创新五路北侧敷设,管廊全长约为 0.50 km。新建综合管廊为单层单舱断面,拟建管廊标准断面净高为 2.80 m、净宽为 2.50 m,顶板上部覆土厚度约 3.0 m;内部容纳 66 kV 高压电力管线以及部分自用管线,见图 4。

新建管廊拟在创新五路-智慧大街路口与一期已建管廊连通。智慧大街东侧已建有 4 根(2 根 DN3200,2 根 DN2400)大伙房输水管和 1 根 DN700 输油管,其中 DN2400 以及 DN3200 输水管线内底标高 39.33~37.26,地面下埋深 5.92~8.70 m,管顶覆土厚度 3.4~5.2 m;DN700 输油管内底标高 41.20,地面下埋深约 4.90 m,管顶覆土厚度约 4.1 m;新建管廊将与之相交并在竖向上形成碰撞。

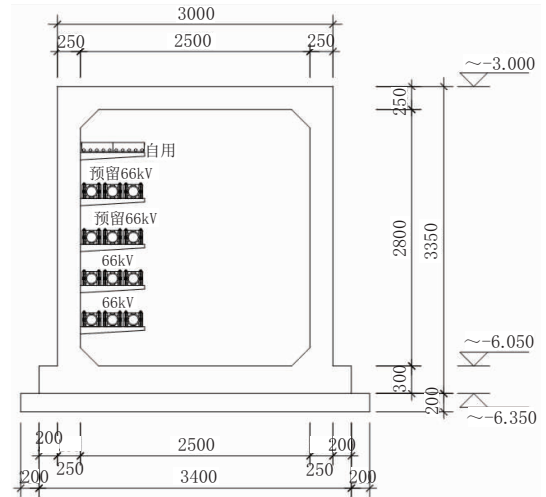


图 4 创新五路综合管廊标准断面布置图(单位:mm)

如何处理新建管廊与现状大伙房输水管线以及现状输油管的相对位置关系,确保新建管廊与现状管廊连通并形成完整的管廊环路是本项目的关键难点和控制要点。

1.3 工程地质条件

根据场地工程地质情况揭露,拟建工程场区位于沈阳市浑南区,隶属桃仙街道。地势较为平坦,场地钻孔标高介于 43.93~45.53 m 之间,最大高差 1.60 m。地貌单元为浑河冲洪积新扇。场地土层自上而下描述如下,具体见表 1。

表 1 场地土层力学参数表

| 土层 | 厚度 /m | 层底埋深 /m | 重度 $\gamma /(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$ | 承载力 $f_{\text{sk}} / \text{kPa}$ | 压缩模量 E_s / MPa | 黏聚力 C / kPa | 内摩擦角 $\varphi /(^{\circ})$ |
|-----------------------|----------|-----------|--|----------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|
| ①杂填土 | 0.4~5.0 | 0.4~5.0 | 18.3 | 45 | — | 5.0 | 8.0 |
| ① ₁ 耕土 | 0.4~0.6 | 0.4~0.6 | 18.2 | — | — | 5.0 | 10.0 |
| ②粉质黏土 | 2.6~10.9 | 5.6~12.5 | 18.4 | 130 | 5.9 | 27.0 | 10.1 |
| ② ₁ 粉质黏土 | 1.7~9.9 | 3.5~10.4 | 18.6 | 170 | 6.1 | 42.3 | 14.4 |
| ③粗砂 | 0.8~6.0 | 8.4~15.0 | 19.1 | 300 | 30.0 | — | 36.5 |
| ③ ₁ 粉质黏土 | 0.7~1.6 | 9.1~11.9 | 19.0 | 155 | 6.1 | 23.9 | 11.3 |
| ④粗砂 | 5.4~21.4 | 8.4~44.6 | 19.2 | 450 | 38.0 | — | 38.0 |
| ④ ₁ 粉质黏土 | 0.5~3.6 | 22.0~23.5 | 18.4 | 145 | 6.0 | 27.1 | 7.2 |
| ④ ₂ 中砂 | 1.0~2.0 | 15.2~16.8 | 19.0 | 320 | 31.0 | — | 36.8 |
| ⑤含黏性土砾砂 | ~5.5 | 未穿透 | 19.2 | 400 | 34.0 | — | 37.2 |
| ⑤ ₁ 强风化花岗岩 | ~8.0 | 未穿透 | 19.5 | 550 | 40.0 | — | 39.5 |

勘察期间在钻探深度范围内见一层地下水,为砂类土中的潜水。初见水位埋深 15.60~17.10 m,水位标高 28.31~28.52 m,稳定水位埋深 15.40~16.90 m,水位标高 28.51~28.72 m,平均地下水位标高约为 28.63 m。依地区经验,潜水正常水位年变幅 1~2 m,地下水补给方式主要为地下水径流,排泄方式主要为地下水径流。

2 关键节点方案研究

2.1 新建管廊实施方案的确定

本工程新建管廊穿越处现状大伙房输水管线以及 DN700 输油管处管顶覆土仅有 3.4~5.2 m,无法满足管廊直接穿越时的空间要求。同时穿越处现状管线顶部覆土最薄处仅有 3.4 m,亦无法满足管廊上

跨穿越现状输水管线的空间要求;故该节点管廊考虑采用下倒虹的方式进行穿越。

由于管廊穿越处现状大伙房输水管线数量较多且管道直径较大、平面布置较宽,采用吊管开挖施工风险较大、无法满足大伙房输水管线的相关管理要求;为保证施工的可行性、减小管廊施工时对现状输水管线的影响,同时为满足管廊内管线布置空间的需求,穿越处管廊采用1根d3500顶管施工下倒虹穿越现状大伙房输水管线及输油管线^[2],见图5。

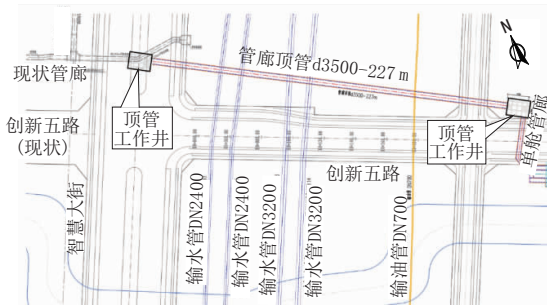


图5 创新五路综合管廊穿越现状输水管及输油管处平面布置

根据《辽宁省东水辽辽工程管理条例》以及《浑南科技园项目穿(跨)越大伙房水库输水二期工程的基本要求》的相关规定,顶管工程穿越输水管线时,最小净距需大于1.5倍输水管外径;结合顶管规范中关于空间交叉顶管管道控制距离的规定^[1],本工程创新五路综合管廊顶管下倒虹穿越现状输水管线时,管廊顶管与现状大伙房输水管线管道间净距按不小于6.0m控制,以策安全,具体竖向布置见图6。

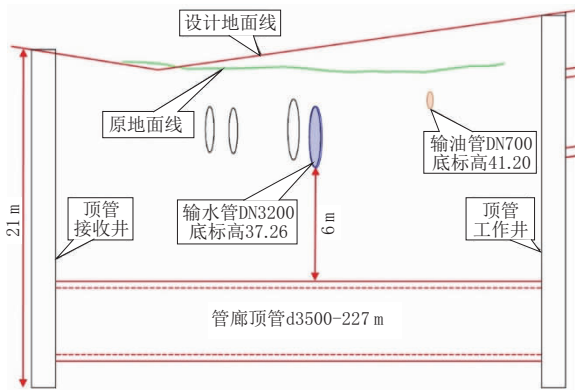


图6 创新五路综合管廊穿越现状输水管及输油管处竖向布置

2.2 新建管廊顶管井实施方案的确定

创新五路管廊下倒虹穿越现状大伙房输水管线及输油管线的d3500顶管埋深约为18.25m,顶管井基坑深度约为21m,顶管井基坑安全等级为一级。根据顶管井周边现状环境可知,创新五路综合管廊西侧顶管井所在位置为现状智慧大街~创新五路交叉口,交通流量一般;管廊东侧顶管井所在位置现状为荒地及农田,周边环境相对较为简单。

根据场地地质资料可知,创新五路管廊顶管井所处场地地质条件自上而下以①杂填土、②粉质黏土、③粗砂、④₁粉质黏土、④₂中砂、⑤粗砂、⑥含黏性土砾砂等土层为主,场地土层对于各种基坑围护工法的适应性较强,见图7。

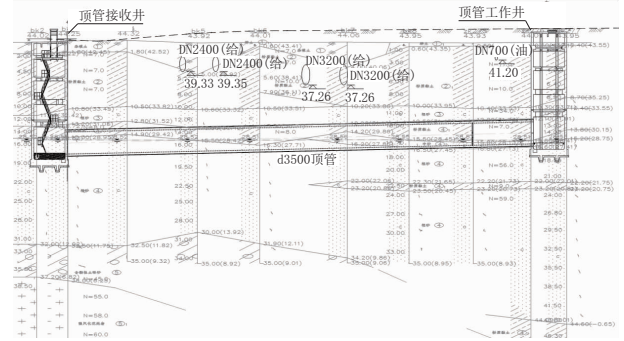


图7 创新五路综合管廊顶管及顶管井地质情况纵断面示意图

结合顶管井的基坑深度、场地地质条件以及周边环境可知,本工程管廊顶管井基坑围护可采用钻孔灌注桩或者地下连续墙两种基坑围护形式,具体对比见表2。

表2 管廊顶管井基坑围护方案对比

| 方案 | 优点 | 缺点 | 适用条件 |
|---------------------|---|---|--|
| 方案一 钻孔灌注桩+止水帷幕围护 | 1. 施工低噪声、低振动,施工方便,施工工艺成熟 2. 支护体刚度较大,支护结构水平变形较小 3. 施工场地要求较小,净空要求较低 | 1. 护壁泥浆需额外处理,同时桩身混凝土需水下浇筑 2. 围护桩后背要额外设置止水帷幕,工程造价高 | 1. 适用于基坑安全等级为一级、二级的基坑 2. 施工场地小,基坑变形要求高 3. 一般情况下需单独设置止水帷幕 |
| 方案二 地下连续墙围护 | 1. 施工振动小、噪声低,对周围环境影响小 2. 支护体刚度大、防水效果好,支护结构水平变形小 3. 适用基坑深度较大的情况,对于各类土层的适用性较强 4. 可两墙合一,兼做主体结构侧墙 5. 施工工艺成熟,在土中施工速度较快 | 1. 泥浆处理、水下钢筋混凝土浇筑的施工工艺较复杂,要求较高的施工技术和管理水平 2. 施工净高要求高 3. 工程造价很高 | 1. 适用于基坑安全等级为一级的基坑 2. 适合于环境复杂的市区深基坑 |

通过分析比较,为减小顶管井施工时对周边现状道路及环境的影响,同时结合管廊所在地区的施工能力及施工水平,本工程创新五路管廊顶管井采用 $\phi 1200@1600$ 钻孔灌注桩+2- $\phi 800@450$ 双排高压旋喷桩止水帷幕围护施工;同时考虑场地稳定地下水水位位于管廊顶管井基坑坑底以上,为减小管廊顶管井基坑降水对周边现状道路及管线的影响,管

廊顶管井基坑坑底采用6 m厚满堂 $\phi 800@450$ 高压旋喷桩加固以与基坑两侧止水帷幕形成封闭式止水体系。

2.3 管廊顶管施工技术控制

(1) 顶管工具管的选择

为防止顶管顶进过程中,因流砂和坍方引起大面积的地表变形、导致周围管线和建构筑物的破坏,顶管施工时应选择平衡性能较好的顶管工具管。

常用的顶管工具管有泥水平衡式、土压平衡式、气压平衡式,各项管工具管的特点比较见表3。

表3 常用顶管工具管特点比较

| 对比项目 | 工具管类型 | | |
|------|----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| | 泥水平衡式 | 土压平衡式 | 气压平衡式 |
| 出土方式 | 通过控制出泥舱的泥水压力值稳定开挖接触面,弃土以泥水混合方式排放 | 通过调节出泥舱的土侧压力稳定开挖接触面,弃土从出泥舱排出 | 通过调节出泥舱的气压稳定开挖接触面,弃土以泥水混合方式排放 |
| 适用土质 | 粉土、黏土等渗透系数小于 10^{-3} cm/s的土层 | 黏土、粉质黏土以及黏粒和粉粒大于30%的黏质粉土 | 淤泥质土、黏性土、砂性土、碎石层、砾石层 |
| 适用管径 | 小、中、大 | 小、中、大 | 直径大于1 500 |
| 适用管材 | 钢管、钢筋混凝土管 | 钢管、钢筋混凝土管 | 钢管、钢筋混凝土管 |
| 适用距离 | 中长 | 中长 | 不宜短距离 |
| 地面沉降 | 较小 | 较小 | 一般 |
| 施工速度 | 快 | 一般 | 一般 |

根据管廊顶管地质纵断面可知,创新五路管廊顶管穿越土层主要以④₁粉质黏土、④₂中砂、④粗砂等土层为主;同时考虑管廊顶管需下穿高等级的大伙房输水管,地面沉降控制要求较高。为保证顶管顶进过程的安全,建议选择泥水平衡式工具管。

(2) 顶管顶进力估算

根据顶管技术规程的相关规定,采用泥水平衡方式的顶管机单次顶进工况下的顶力 F 可按式(1)、式(2)计算:

$$F = \pi D_1 L f_k + N_F \quad (1)$$

$$N_F = \pi D_g^2 \gamma_s H_s / 4 \quad (2)$$

式中: F 表示顶力标准值,kN; D_1 表示管道外径,m; L 表示顶进长度,m; f_k 表示管道外壁与土的平均摩阻力,kN/m²; N_F 表示顶管机的迎面阻力,kN; D_g 表示顶管机外径,m; γ_s 表示土的重度,kN/m³; H_s 表示覆盖层厚度,m。

本工程管廊顶管中,顶管设计顶进长度约为227 m,顶管覆盖层厚度 H_s 约为14.5 m,将 $D_g=4.14$ m,

$\gamma_s=19.2$ kN/m³代入式(2)可知顶管机的迎面阻力为3 748 kN。根据顶管技术规程可知,采用触变泥浆减阻时,钢筋混凝土管与粗砂的平均摩阻力 f_k 可取11.0~16.0 kN/m²,考虑本工程顶管部分穿越④₁层粉质黏土并结合以往工程经验,本次顶管顶力计算时顶管管道外壁与土的综合平均摩阻力按照8 kN/m²考虑。由此计算得出本工程顶管最大总顶力约为27 367 kN^[3]。

(3) 顶管中继间设置

根据规范可知,d3 500钢筋混凝土管允许最大顶力为25 400 kN,本工程顶管最大总顶力已超过了管道允许的最大顶力,需设置中继间。中继间的数量按可式(3)进行计算:

$$n = \pi D_1 f_k (L + 50) / 0.7 f_0 - 1 \quad (3)$$

式中: D_1 表示管道外径,m; f_k 表示管道外壁与土的平均摩阻力,kN/m²; L 表示设计顶进长度,m; f_0 表示中继间设计允许顶力,kN。本工程中继间数量计算时,中继间最大允许顶力按20 000 kN计,并按规范要求预留不小于40%的顶力富余量。在此计算下,本工程顶管中继间的设置数量 $n=2.43$,实际按照设置3个中继间考虑。

(4) 顶管过程的泥水控制

采用泥水平衡顶管时,泥水管理是最重要的控制因素,顶管顶进施工前需通过计算确定泥水的压力、浓度、用量等各项主要控制参数。

顶管在黏性土等渗透性较小的土层中顶进时,泥水的比重一般控制在1.05左右。在砂性土等渗透性较大的土层中,为快速形成泥膜,控制挖掘面的稳定状态,需提高泥水的比重,一般控制在1.15~1.25之间;必要时需向循环泥浆中加入膨润土来补充泥水循环利用中损失的黏土^[4]。

顶管穿越砂性土时,由于穿越土层的渗透性较大,循环泥浆在使用的过程中比重、黏度都会不断减小。随着顶管的顶进,需实时不断地调整泥浆的各项参数,添加黏性材料,使泥浆的黏度保持在50 s左右^[7]。

(5) 顶管进出洞口土体加固措施

进出洞是顶管开始与结束的标志,是顶管施工中的一道控制性工序。在高水位的砂性土层中,顶管进出洞口易发生涌水、涌砂的现象;同时在软弱土层中,易受施工扰动影响,在进出洞时经常出现“叩头”的现象。为保证顶管施工安全,本工程顶管井进出洞口处采用高压旋喷桩加固形成2.5 m厚的加固体以

对洞口外土体进行加固处理。同时,洞口外砂性土体加固后,提高了土体的止水性能,降低了进出洞口处的涌水、涌砂风险^[5]。

(6)顶管管道二次注浆加固

创新五路管廊 d3500 顶管穿越现状大伙房输水管时,两者间距离较近,最近处约为 6.0 m。根据《辽宁省东水济辽工程管理条例》以及《浑南科技园项目穿(跨)越大伙房水库输水二期工程的基本要求》的相关规定,顶管下穿施工完毕后,现状输水管线累计沉降不得大于 10 mm,差异沉降不得大于 1 mm/5 m。

为控制管廊顶管施工完毕后现状大伙房输水管线的累计沉降以及差异沉降,管廊顶管施工完毕后,大伙房输水管线平面投影区以及两侧各 10 m 范围内顶管管道与现状土体之间的孔隙采用水泥浆液置换触变泥浆进行加固。注浆的水与水泥的配比为 1:1,注浆压力为静水压力的 1.1~1.2 倍,注浆完成后,封堵注浆孔以防浆液流失^[6]。

3 结 论

本文以浑南科技城创新五路综合管廊为例,对于综合管廊在建设过程中穿越现状重要性等级较高

的管线的情况,结合现状管线权属部门的要求以及相关管理规定,对新建管廊的实施方案进行了详细分析并确定了可实施的平面及竖向布置。同时,当管廊采用顶管施工时,对管廊顶管井的支护方案选择、管廊线路顶进过程中的机械选择、顶管顶力计算、顶管中继间的设置、顶管过程中的泥水控制、顶管进出洞口土体的加固措施以及管廊线路顶进完毕后现状管线的保护等内容进行了综合分析并提出了可靠的实施措施和建议。为同类型的工程案例提供了可参考的经验,具有较高的借鉴意义。

参考文献:

- [1] CECS 246:2008, 给水排水工程顶管技术规程[S].
- [2] JC/T 640—2010, 顶进施工法用钢筋混凝土排水管[S].
- [3] 郑守铭.超长距离钢管顶管穿越富水砂层的关键技术[J].福建工程学院学报,2022,20(4):322-326.
- [4] 汪家涛.穿越砂砾石地层的顶管施工[J].安徽建筑,2013,20(1):37-38.
- [5] 金志华.顶管进出洞及穿越重要构建筑物关键技术研究[J].山西建筑,2023,49(12):122-124,140.
- [6] 吴发展.下穿城市道路多条管线的顶管施工技术[J].科学技术创新,2023(19):97-100.
- [7] 张德强.长距离砂层顶管关键技术研究与应用[J].建筑技术开发,2019,46(5):104-105.

《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