

城市综合管廊下穿既有道路方案研究与应用

黄贤斌^{1,2}

[1. 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092; 2. 上海水业设计工程有限公司, 上海市 200092]

摘要:在城市更新发展过程中,实施地下综合管廊不可避免地会遇到需要穿越或避让的现状市政设施,针对不同工程可采取不同的解决方案。以石家庄仓宁路综合管廊下穿现状市政道路工程为例,综合考虑工程地质条件、管廊布置、周边环境保护及工程影响、施工难度、工程造价等要求,分别对明挖法、顶管法和浅埋暗挖法过路方案进行论述,最终选择浅埋暗挖法的过路方案。详细介绍该工程浅埋暗挖法管廊施工的关键技术,并结合现场实测验证工程的安全可行性,以供参考借鉴。

关键词:综合管廊;下穿既有道路;方案比选;浅埋暗挖法

中图分类号: TU992;U415.6

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)01-0282-05

Research and Application of Scheme for Urban Utility Tunnel Undercrossing Existing Roads

HUANG Xianbin^{1,2}

[1. Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Water Industry Design Engineering Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: In the process of urban renewal and development, it is inevitable to encounter the existing municipal facilities that need to be crossed or avoided when implementing the underground utility tunnel. Taking the project of utility tunnel undercrossing the existing municipal road in Cangning Road of Shijiazhuang as an example, and comprehensively considering the engineering geological conditions, utility tunnel layout, surrounding environmental protection, engineering impact, construction difficulty, engineering cost and the other requirements, the open excavation method, pipe jacking method and shallow tunneling method for the road crossing scheme are discussed separately. Finally, the road crossing scheme of shallow tunneling method is selected. The key technologies in the construction of utility tunnel by shallow tunneling method for this project are introduced in detail, and the safety feasibility of the project is verified by field measurement, which is for reference.

Keywords: utility tunnel; undercrossing existing roads, scheme comparison and selection; shallow tunneling method

0 引言

综合管廊建设可统筹各类市政管线进而解决架空线网密集、地下管线事故频发带来的检修时路面反复开挖等问题,有利于保障城市市政管网安全、美化城市界面,同时能够提高城市综合承载能力、城市安全保障和灾害应对能力以及增强城市发展的韧性。城市地下综合管廊建设长度一般可达数公里以上,且以沿道路敷设为主,在城市更新发展过程中,实施地下综合管廊不可避免会遇到需要穿越或避让的现状市政设施。仓宁路(建通街—翟营大街)道路和管廊工程是石家庄实施“6+2+2”城市更新重点项

目东南三环片区基础设施的关键部分,本文以该工程中下穿现状市政道路为典型案例,结合施工方法的适用性及综合社会效益,比选确定城市综合管廊下穿既有道路实施方案,并为类似工程提供案例参考。

1 工程概况

石家庄仓宁路管廊为城市支线综合管廊,综合管廊舱室为2舱,容纳电力、通讯、给水等3类管线,综合管廊标准段管线断面布置及结构尺寸如图1所示。

根据管廊规划路由,仓宁路管廊需穿越现状建设大街、裕翔街等关键节点,穿越建设大街段长度约为80 m,建设大街下敷设有现状雨水、污水、热力、给水、天然气、电力、通信等市政管线。根据地铁、规划

收稿日期: 2024-02-01

作者简介: 黄贤斌(1992—),男,硕士,工程师,从事城市综合管廊设计工作。

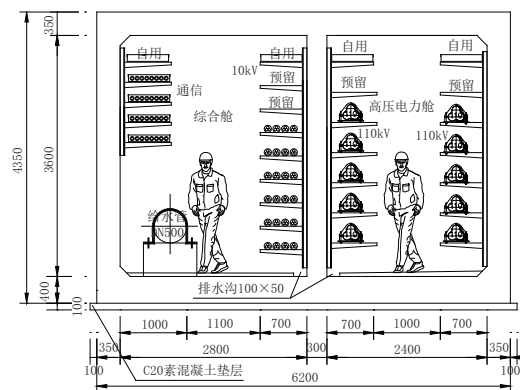


图1 综合管廊管线断面布置(单位:mm)

等相关部门意见,建设大街东侧需预留规划地铁车站及人行通道施工条件,穿越建设大街段管廊顶板覆土应满足不小于12 m的要求。

根据地勘报告,地下水埋深30.4~32.4 m,本工程各层土的岩土工程参数详见表1。

表1 岩土力学参数

层号	岩土名称	天然重度/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	固结快剪标准值	
			黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{^\circ})$
① ₂	素填土	18.0	8.0	10.0
③ ₁	黄土状粉质黏土	19.0	30.0	21.0
③ ₂	黄土状粉土	19.5	15.0	27.0
④ ₁	粉细砂	19.5	0	28.0
④ ₂	中粗砂	19.9	0	30.0
⑤ ₁	粉质黏土	20.0	30.0	19.0
⑤ ₂	粉土	19.0	16.0	28.0
⑤ ₃	粉细砂	19.8	0.0	29.0
⑤ ₄	中粗砂	20.0	0.0	32.0
⑥ ₁	细砂	19.8	2.0	33.0
⑥ ₄	粉质黏土	19.9	31.0	19.0

2 下穿现状道路过路方案

综合管廊施工方式主要有明挖和暗挖两类施工方式。在周边环境保护要求较低、地面空间条件允许开挖的情况下,可采用明挖的施工方式;在周边环境复杂、地面设施不允许开挖的情况下,则通常考虑暗挖方式施工。其中城市综合管廊中常用的暗挖工法分为顶管法和浅埋暗挖法^[1]。

本文结合仓宁路综合管廊穿越建设大街位置处工程地质条件、管廊布置、周边环境保护及工程影响、施工难度、工程造价等要求,对明挖法、顶管法和浅埋暗挖法过路方案分别进行论述。

2.1 明挖法

明挖法是综合管廊施工的首选施工方式,其优

点是施工作业面大、施工技术要求相对较低、施工速度快,而缺点是对地面环境影响较大^[1]。若采用明挖法施工穿越建设大街,施工过程中需破除现状道路及进行地下管线搬迁工作,可采取分幅施工或断交施工,施工周期相对较长,对交通影响较大,同时明挖法基坑回填量大,回填质量不好会引起后期道路的变形及不均匀沉降。

根据现状地形条件及管廊纵断要求,本段范围内基坑开挖深度为15.75 m,由于该综合管廊基坑深度较大,地层复杂多变,基坑使用期间还要保证紧邻的既有道路、地下管线的安全运行,根据河北省《建筑基坑支护技术标准》(DB13(J)/T 8468—2022),本段基坑安全等级为一级,结合当地做法及周边环境保护要求,本次设计采用 $\phi 800@1\ 000$ 钻孔灌注桩+钢管内支撑的支护形式、基坑支护图纸如图2所示。根据理正深基坑软件7.0计算结果,基坑围护结构各项稳定性系数分别为抗倾覆稳定性系数2.373、整体稳定性系数2.212、抗隆起稳定性系数2.492,最大水平位移14.02 mm,均满足一级基坑规范限值要求。采用钻孔灌注桩+钢管内支撑的基坑支护方式可有效限制基坑变形、保障周边重要建(构)筑物的安全运行及基坑使用期间的安全性。

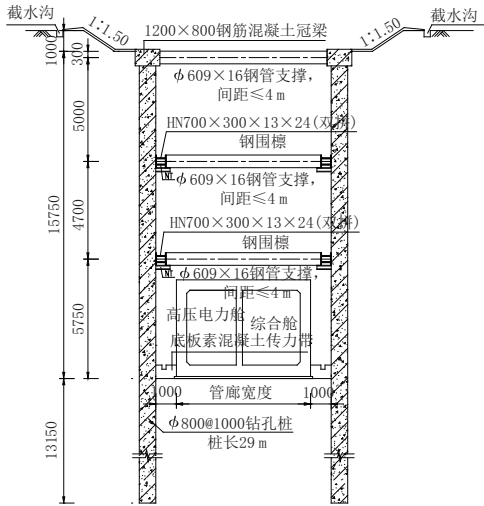


图2 明挖法管廊标准段基坑支护断面图(单位:mm)

2.2 顶管法

矩形顶管施工法,目前已在城市轨道交通、快速路隧道等领域得到了广泛应用。该施工方法具有施工场地小、地面环境影响小、空间利用率较高等优点,适用于软土地层^[2]。但是,矩形顶管对于曲率半径小而多种曲线组合的线路适应性较差,在转折多的复杂条件下施工则工作坑和接收坑都会增加,工作井造价较高;在松散的土层、砂层中容易发生偏

差,且纠偏较为困难,管节容易产生不均匀沉降;分缝较多,对接缝处防水要求较高。

采用全断面顶管法施工,结合场地及地质条件,可采用土压平衡顶管机,但本工程顶管顶部位于中粗砂、粉质黏土交界地层中,砂层稳定性较差,为防止管线破坏及地表沉降,需对顶管顶部部分砂层采用超前小导管注浆固砂支护。管节长2 m,断面外径尺寸为6.5 m×4.65 m,如图3所示,内部隔墙在顶管贯通后再进行施工。

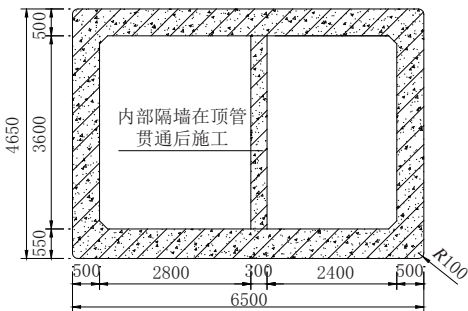


图3 全断面顶管法断面图(单位:mm)

根据《城市综合管廊防水工程技术规程》(T/CECS 562—2018),顶管管节混凝土采用C50、P10抗渗混凝土。而矩形顶管接头设计是该工法的重点设计环节,顶管接头决定着管廊防水性能及适应不均匀沉降的能力。目前矩形顶管采用的接头形式主要有企口、T型套环、F型套环等3种接头形式^[3]。本工程从防水性能的安全可靠性及工程质量考虑,管节接头形式采用F型套环接头,如图4所示。

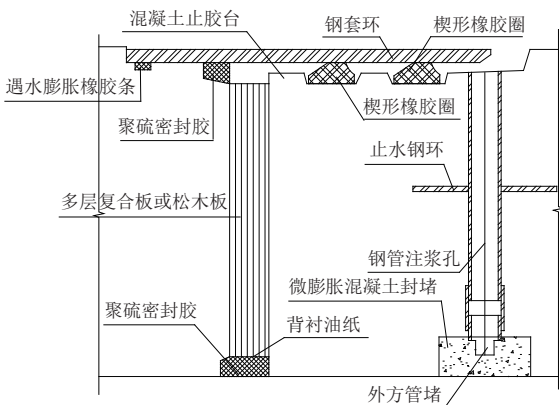


图4 矩形顶管F型套环接头构造示意图

2.3 浅埋暗挖法

浅埋暗挖法采用先柔后刚的复合式支护结构体系,初期支护承担施工过程中的水土压力,二次衬砌作为安全储备。浅埋暗挖法因其具有线路适应性强、施工场地灵活、对地面交通影响较小、可下穿现状管线无需进行管线改迁协调等优点,在京石客专六线隧道^[4]、石家庄地铁隧道^[5]、电力隧道施工中已

有较多的成功应用案例。

结合地质条件、隧道埋深及结构受力、明暗挖断面衔接等要求,浅埋暗挖段断面拟采用三心圆形式,断面尺寸及内部布置如图5所示。根据地勘报告,隧道围岩分级为VI类,隧道顶部位于中粗砂层、中间及下部位于粉质黏土层,位于中粗砂层最大厚度约3.0 m。初期支护结构为350 mm厚C25喷射混凝土、双层 $\phi 6.5@150\times 150$ mm钢筋网、500 mm间距钢筋格栅钢架;二次衬砌结构采用模筑C40、P10抗渗钢筋混凝土。隧道拱部150°范围采用 $L=2.0$ m、外插角15°的超前小导管(环 $\times$ 纵 $@0.3\text{ m}\times 0.5\text{ m}$)注浆加固、喷射混凝土格栅钢架初次衬砌,采用CD法预留核心土的施工方法,浅埋暗挖法衬砌断面及超前支护、CD法临时支护如图6所示。

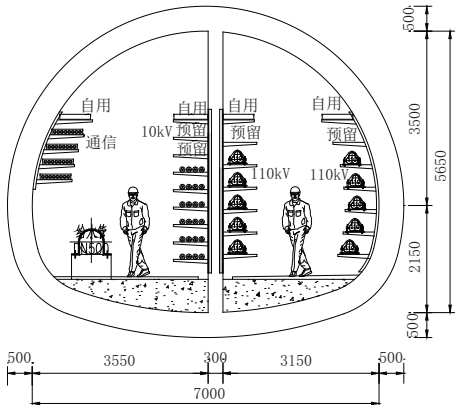


图5 浅埋暗挖法断面图(单位:mm)

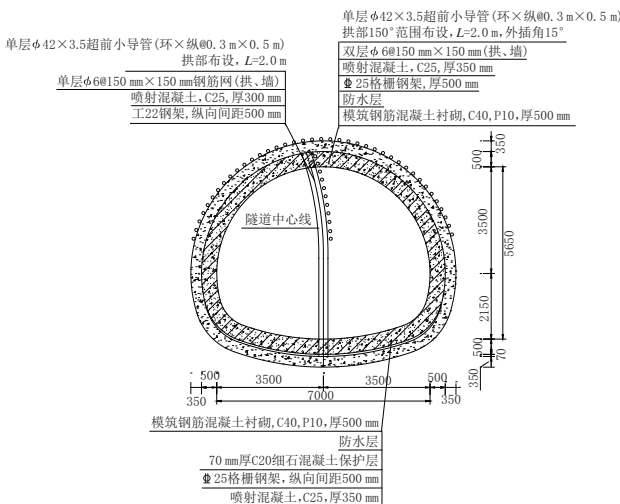


图6 浅埋暗挖法衬砌断面及超前支护设计图(单位:mm)

2.4 过路方案对比研究

前文对明挖法、顶管法和浅埋暗挖法过路方案分别进行了论述,明挖法+现浇施工对于地质条件适应性较强,且不受管廊线型的影响,但围护桩施工、基坑开挖均会对地面交通产生较大的影响;受制于现状管线埋深较大、管线种类繁多、管线搬迁需协调

规划路由等因素,管线搬迁费用较高且难度较大。全断面矩形顶管法施工安全性较高,无需破坏地面道路影响道路交通及管线迁改,但本工程顶管断面位于中粗砂、粉质黏土交界地层中,顶管顶进过程中容易发生偏差且纠偏比较困难,此外对于砂层一般也需要额外的地层稳定措施;受制于本工程管廊线型要求,需要结合管廊平面转弯布置顶管工作、接收井,且顶管井一般无法结合明挖段基坑支护设置,也会额外增加工程费用。浅埋暗挖法对于本工程无水地层环境适用性强,且对于本工程线路适应性强,同时,浅埋暗挖法掘进始发可结合两端明挖基坑支护进行,无需设置额外的工作井,虽然存在一定的施工风险,但浅埋暗挖法在当地应用较为广泛、成熟,采取合理的地层超前支护措施可保证现状地下管线及道路的安全。明挖法、顶管法和浅埋暗挖法 3 种施工工法对于本工程的适用性汇总见表 2。

表 2 3 类施工工法对比表

施工工法	明挖法	顶管法	浅埋暗挖法
适用土层	黏性土、砂土、黄土、岩石	黏性土、砂土、黄土	黏性土、砂土、黄土、岩石
管线迁改	需要	不需要	不需要
施工风险	较小	较小	较大
周边环境适应能力	弱	强	强
最小平面转弯半径/m	不限制	500	不限制
本工程适用性	一般	一般	高
造价/(万元·m ⁻¹)	13	20	15
预算金额/万元	1 040	1 600	1 200
相较于明挖法增加费用/万元	—	560(+53.8%)	160(+15.4%)

仅考虑不同施工方法断面及围护结构等自身工程造价计算结果见表 2,顶管法和浅埋暗挖法相较于明挖施工增加费用分别约 53.8% 和 15.4%。考虑到顶管井费用、道路破除后恢复、交通导改及管线搬迁等额外费用,浅埋暗挖法在造价方面也具有较大的优势。

综合考虑施工工法的工程及地质条件适用性、工程质量施工风险、环境影响、社会效益等因素,本工程推荐采用浅埋暗挖法进行施工。

3 浅埋暗挖法管廊施工关键技术

3.1 超前支护

浅埋暗挖法管廊施工严格按照“管超前、严注浆、短开挖、强支护、早封闭、勤测量”十八字方针进行作业^[6-7],本工程超前加固主要为洞顶范围内中粗

砂地层,超期支护采用小导管注浆加固。结合土层性质及当地经验,超前注浆采用水泥-水玻璃双液浆,水泥浆水灰比为 0.8,水玻璃的波美度为 40Be,水泥浆液与水玻璃体积比为 1:0.3,同时,施工前根据地层进行注浆试验,确定最佳材料配比、注浆压力等参数确保注浆效果。超前小导管采用 $\varphi 42$ mm、壁厚 3.5 mm 的无缝钢管制成,沿孔壁周边每 100 mm 梅花形设置 $\varphi 6$ mm 注浆孔。

3.2 断面开挖方式

综合考虑暗挖法隧道断面开挖尺寸、地层条件、周边环境保护要求,隧道施工采用 CD 法、上下台阶法开挖的施工方式,如图 7 所示,暗挖施工时先进行左洞的开挖及初衬施工,待左洞施工超前不小于 12 m 后,进行右洞的开挖、初次衬砌以及二衬的施工,待隧道贯通后进行中隔墙施工。结合施工开挖支护时序对地面沉降、重要地下管线沉降进行监测以确保周边环境变形满足允许变形要求,对洞周收敛、拱顶沉降、底部隆起、围岩压力及初支钢架应力进行监测以确保围护结构的安全。同时,根据监测反馈结果适时调整支护措施,从而确保工程的顺利推进。



图 7 暗挖法隧道施工方式

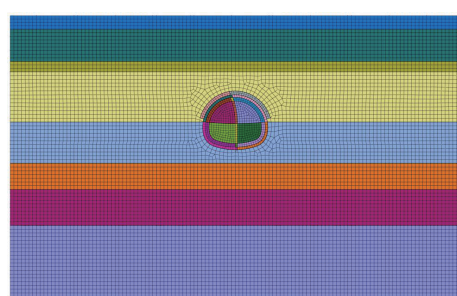
3.3 施工监测

施工前根据施工工序采用 MIDAS-GTS 对暗挖法施工过程进行模拟,有限元模拟计算结果与暗挖隧道实测地表沉降监测数据基本吻合,计算模型及监测结果如图 8 所示。

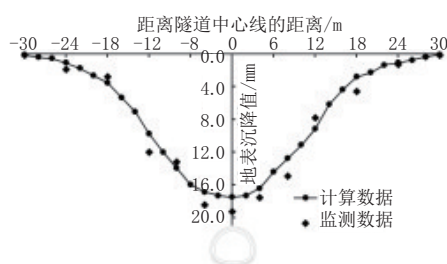
目前,此段暗挖隧道已贯通,地面最大沉降 19.30 mm 与数值计算值 17.51 mm 基本一致,均小于变形监测要求,施工过程安全可控。

4 结 语

对于综合管廊穿越管线复杂的现状道路,需综合考虑工程及地质条件适用性、工程质量施工风险、环境影响、社会效益等因素来确定穿越施工方案,选择最优的方案。本文结合石家庄仓宁路管廊下穿现



(a)暗挖法计算模型



(b)计算及监测地表沉降

图8 暗挖法计算模型及监测结果

状市政道路,通过综合比较,浅埋暗挖法相较于明挖、顶管法在石家庄地层条件下具有明显的比较优

势。浅埋暗挖法施工采用CD台阶法结合超前地层加固,整体变形可控,施工安全可靠,隧道开挖对周边环境的影响小,能够更有效地确保地面交通及市政管网的安全,且本项目也是石家庄地区首次大范围采用管廊暗挖设计。本文可为类似地层、周边环境条件中的管廊工程提供技术参考。

参考文献:

- [1] 闫春杰.米泉牵引站110 kV电力廊道工程建设研究[J].价值工程,2022(22):23-26.
- [2] 罗芳,余培杰,任玲玲.矩形顶管法在河南省综合管廊中的适应性研究[J].四川建材,2018,44(4):106-108.
- [3] 刘金鹏,熊永华.矩形顶管在综合管廊建设中的应用研究[J].低温建筑技术,2018,40(10):107-109,116.
- [4] 万清,李怀鉴,杜华林,等.京广高速铁路石家庄六线隧道建设关键技术[J].隧道建设,2016,36(2):241-250.
- [5] 张文明,尹成虎.地铁浅埋砂层大跨度、小净距多联隧道并行施工顺序研究[J].青岛理工大学学报,2017,38(2):26-34.
- [6] 王梦恕.隧道工程浅埋暗挖法施工要点[J].隧道建设,2006(5):1-4.
- [7] JTG/T 3660—2020,公路隧道施工技术规范[S].

(上接第276页)

区范围内空余不适用于无人机飞行的场景。

参考文献:

- [1] 张超,许涛,罗政,等.基于Htread土地平整中土方计算方法研究[J].城市地理,2015(20):97-98.
- [2] 程圆娥,吕志慧,袁春琦,等.基于无人机倾斜摄影测量的土石方量计算[J].地理空间信息,2021,19(8):70-73.

- [3] 刘晓燕,李育平,吴金城.基于无人机倾斜摄影测量的土石方量算[J].测绘技术装备,2022,1(22):51-54.
- [4] 李斌,全红菊,胡守超,等.基于倾斜摄影技术的工程土方测量与计算方法研究[J].测绘与空间地理信息,2021,44(6):165-167.
- [5] 胡晓辉,谢雨雨,许峰.无人机正射影像在公路工程施工中的应用[J].城市道桥与防洪,2023(2):223-226.