

管幕隧道法在引水工程下穿高速公路的应用

王宏宇

(陕西省交通规划设计研究院有限公司, 陕西 西安 710065)

摘要: 随着地下工程大量修建,下穿既有运营高速公路时有发生,保证既有高速公路正常运营和安全尤为重要。以管幕隧道法引水工程下穿高速公路为背景,对管幕隧道工程设计和施工方案进行阐述,并运用MIDAS/GTS NX有限元数值软件,对管幕隧道法下穿高速公路段进行路基沉降分析。分析可知,管幕隧道法可有效控制开挖过程中路基沉降,确保高速公路运营安全,为类似下穿工程提供有益参考。

关键词: 管幕法;隧道工程;下穿高速

中图分类号: U455

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)01-0242-04

0 引言

随着市政排水管网设施不断完善,引水工程难免存在下穿运营高速公路的案例^[1-3]。为了不中断交通,有效控制地面沉降和减少对周围环境的影响,管幕法成为未来非开挖超前支护技术的发展方向。

管幕法以顶管技术为基础发展而来^[4,5],管幕常采用微型顶管手段顶进钢管,管幕钢管之间采用公母锁扣组合成整体,锁扣连接处进行注浆加固,提高周围土体的物理力学参数,在管幕钢管内注入混凝土或者水泥砂浆提高钢管的整体刚度,在土体中形成坚固的超前支护外壳体,抵抗土压力和上部附加荷载,并能抵御地下水的侵入,在整体性较好的管排中进行隧道开挖。

鉴于管幕结构法可根据主体结构断面形式灵活排列钢管,且具有高刚度、沉降控制和止水效果好、周围环境影响小等优点,管幕法在沉降控制要求严格的下穿工程中得到了广泛应用并取得了良好的预期效果^[6-9]。但对管幕隧道法引水工程在下穿高速公路段工程案例甚少,本文依托西安某以下穿高速公路的引水工程为工程背景开展管幕隧道法相关研究。

本项目引水工程下穿的某重要高速公路路基段,该路段车流量大,重车较多,不允许导改交通及明挖施工,路面沉降要求十分严格,并不影响高速公路正常运营。鉴于以上工程特点和要求,本工程采用

管幕隧道法下穿既有运营高速公路。本文从设计方案,管幕施工方案,并结合数值模拟分析对管幕隧道法在引水工程下穿高速公路的应用进行阐述,为类似下穿工程提供一定的工程借鉴。

1 工程概况

本项目现状高速公路路基宽度为28 m,远期拓宽后为42 m。现有道路路基高出两侧地面约3 m,路基宽度约40 m。隧道距离高速公路路面约为6 m,输水管道设计线位与西汉高速路线角度约为86.3°,管道中心距西汉高速道路路面高度约为8.5 m,见图1和图2。输水管道设计采用DN1800PCCP管穿越,管幕隧道暗挖段地质主要为黄土。

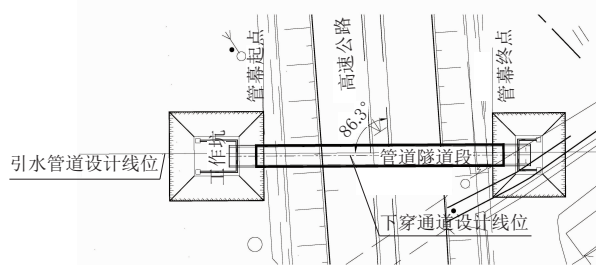


图1 下穿段管幕隧道平面图(单位:m)

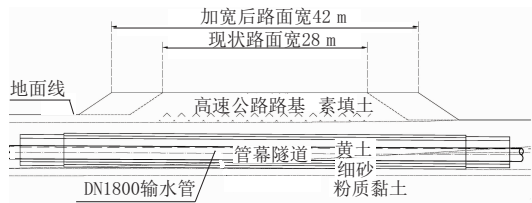


图2 下穿段管幕隧道纵断面图(单位:m)

2 设计方案

2.1 隧道主体结构设计方案

引水工程隧道内轮廓净宽4 m,净高3.2 m,采用

收稿日期: 2022-09-02

作者简介: 王宏宇(1990—),男,硕士,工程师,从事隧道及地下工程设计工作。

半圆加直墙形式断面。管幕隧道二衬采用 35 cm 厚 C40 钢筋混凝土二衬。沿隧道二衬外侧设置一圈壁厚 12 mm 的 $\phi 299$ 管幕钢管。管幕与二衬之间采用喷涂式的硬泡聚氨酯防水层,其厚度不小于 5 cm。DN1800 输水钢管设置于 C30 素混凝土基座上。输水管道靠近通道一侧,另一侧空间考虑用作日后检修,管幕法隧道结构见图 3。

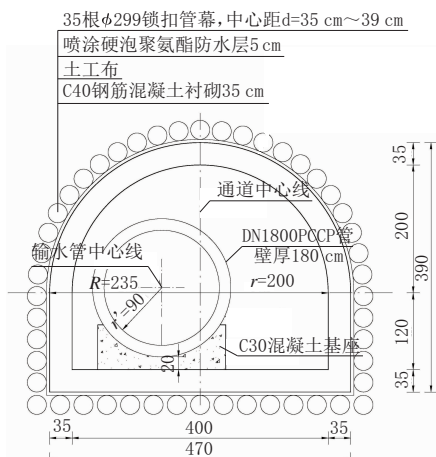


图 3 管幕隧道结构断面图(单位:cm)

2.2 管幕设计方案

本项目采用小口径锁扣管幕作为隧道超前支护,目前小口径锁扣管幕种类大多为 180 mm、245 mm、299 mm、402 mm。若选取较大直径管幕,其刚度越大,螺旋出土效率高,但当管幕埋深较浅时,大直径管幕施工扰动也就越大,综合考虑,本项目采用直径为 299 mm 的管幕进行超前支护加固,钢管壁厚为 12 mm。为了保证暗挖进洞时土体稳定性,为管幕起始段提供支撑点,本项目设置 50 cm 厚钢筋混凝土套拱,管幕置于套拱上,为管幕起点提供了支撑点,减少了初始段开挖管幕沉降,降低了施工风险。本项目管幕法隧道外侧设置 48 根钢管,隧道侧墙和拱顶处 35 根管幕长为 57 m(套拱处搭接 2 m)。为封闭地下水,仰拱底板处设置 13 根 55 m 长的钢管。

为了增加管幕的刚度,管幕顶进完成之后,采用 C30 无收缩免振捣混凝土进行填充,并对管间锁口进行充填注浆,通过现场试验确定注浆压力和配合比。管幕钢管外侧分别焊接两根 $\phi 42 \times 4$ 注浆导管,待管幕贯通后进行注浆填充。

管幕钢管环向之间采用“公-母锁口”方式连接。锁口规格为 6.3/4 不等边角钢(厚 6 mm),与钢管之间采用双面焊接进行连接。钢管沿隧道初期支护外侧等距布置,为保证长距离管幕施工精度,管幕钢管距离防水层预留 10 cm,作为施工误差及变形量。

管幕钢管中心间距为 35 cm,管幕钢管的锁口角度根据断面形式进行设置,管幕锁扣见图 4。

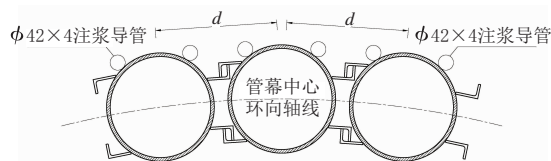


图 4 管幕锁扣示意图

3 管幕施工方案

本项目结合围岩地层(黄土)采用螺旋出土顶进,螺旋出土钢管顶进工艺多采用钢管吃土静压顶进,减少了地层扰动,土体切削、钢管顶进、排渣同步进行避免地层变形,有效控制沉降。为保证管幕钢管顶进轨迹更加趋于可控,本项目采用以排管为施工顶进单元,同时顶进整体性较好的排管。相邻管幕钢管之间通过锁扣连接,每组钢管的数量不少于 2 根。同时结合已完成孔位对施工排管的固位作用,很大程度上限制了施工中排管的偏转和偏移,提高了管幕施打精度。调整钢管或管排顶进速度及螺旋钻杆的旋转速度(控制出土量),使土体的应力变化基本维持在平稳状态,从而有效避免地层变形。管幕排列编号见图 5。

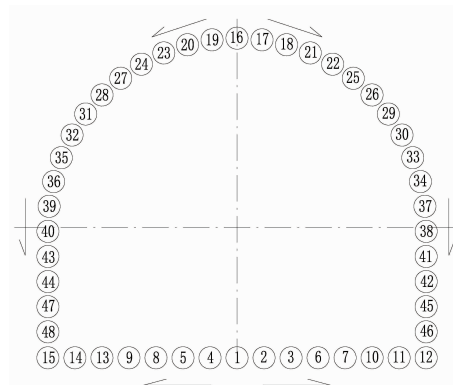


图 5 管幕钢管编号示意图

管幕施工流程为:施工管幕始发、接收工作坑和后背墙→管幕顶进设备导轨平台安装就位→将外圈管幕进行规律编号 1~48 号→顶进 1 号钢管作为定位首根管幕钢管,顶进到设计位置处管内立即注 C30 无收缩免振捣混凝土→根据编号顺序,顶进 2~3 号、4~5 号对称钢管,依次类推,两根组管形成排管顶进,直至将 12 号和 15 号顶进就位(含管内注浆),顶进和管内注浆完毕后,立即对管幕锁扣和管幕上 $\phi 42 \times 4$ 钢花管进行注浆以加固隧道周围土层,隧道地板管幕施工完毕→管幕套拱施工→顶进 16 号钢管作为拱部和边墙管幕定位钢管,顶进到设计位置处管内立即注 C30 无收缩免振捣混凝土→按照剩余

管幕编号依次顶进 17~18、19~20 等钢管,同样采用两根组管形成排管顶进,管内注浆→管幕锁扣和管幕上 $\phi 42 \times 4$ 钢花管注浆加固周围土层,此时管幕封闭成环。管幕施工中应重点加强钻机及钢管或管排轴线调整,及顶进轨迹监测,同时管幕顶进过程中做好高速公路地面沉降观测和周边环境监测,管幕施工见图 6。



图 6 管幕施工图

4 数值模拟分析

4.1 有限元模型

本项目采用 MIDAS/GTS NX 进行地层-结构模型模拟计算。根据圣维南原理,隧道下穿高速的主要影响范围为隧道跨度的 3~5 倍直径。隧道跨度约为 4.0 m,本次模型计算边界沿隧道横向方向取 30 m 宽,隧道纵向方向取 55 m 宽,深度方向取 35 m,见图 7。

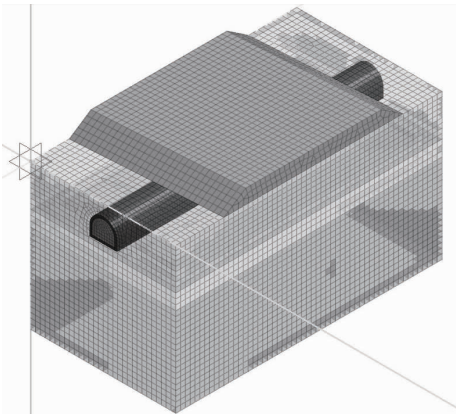


图 7 整体分析模型

本次模拟计算土体单元采用莫尔-库伦(M-C)弹塑性本构模型,采用 MIDAS/GTS NX 内置混合网格生成器生成单元;衬砌采用板单元进行模拟,管幕地层预支护措施,采用提高强度等效土层参数来模拟影响加固圈^[10]。高速路基段施加 20 kPa,模拟路基段行车荷载。模型四周添加水平位移约束,底部固定约束。

其施工流程重点考虑内容:

(1)隧道施工过程中,高速公路正常通行,为保

证其安全,二次衬砌须紧跟开挖施工;

(2)为计算安全保守考虑同时兼顾施工工序,隧道先开挖 15 m,随后二次衬砌紧跟;

(3)为模拟管幕支护效果,采用提高土体强度进行模拟管幕土层加固圈;

(4)对于路基材料模拟,参综合考虑面层,基层和路床材料,采用等效 M-C 模型实体材料模拟。

4.2 参数取值

结构材料参数取值见表 1 和表 2。

表 1 结构材料参数表

结构名称	材料	重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	弹性模量 $E/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-2})$	泊松比 ν	本构类型	单元类型
衬砌	C40	25	32.5e6	0.2	线弹性	实体单元

表 2 地层物理力学参数

层序	名称	厚度 / m	弹性模量 / kPa	泊松比	$\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	c/kPa	$\varphi/(\circ)$
1	路基	3.5	2e5	0.30	25	30	40
2	黄土	7.4	4e3	0.30	20	16	13
3	细砂	1.0	5e3	0.28	19	0	23
4	粉质黏土	3.2	3e3	0.30	20	20	18
5	细砂	10	5e3	0.28	19	0	23

根据施工方案制定模拟步骤:地层初始地应力模拟→高速公路路基施工及通车→位移清零→管幕施工→隧道开挖→隧道衬砌施工→隧道贯通。

4.3 计算结果

为了得出路基段及附近的路面沉降,提前在模型中设定监视点,如图 8 中的 A-G 点,便于提取或示意各点处的沉降。

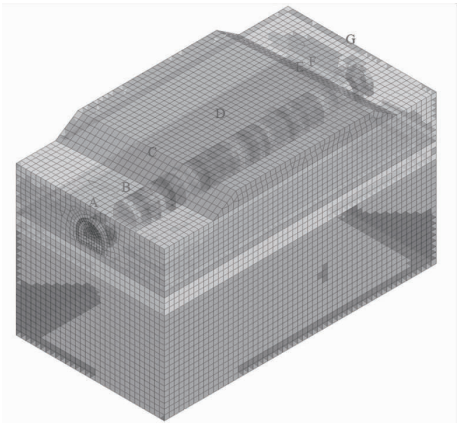


图 8 路基沉降计算监测布置点

根据图 9 的模拟结果可知,路基坡脚处最大沉降值约为 4.7 mm,管幕终点处沉降值约为 4.0 mm,路面边最大沉降值约为 5.3 mm,路面中间点沉降值约为 4.3 mm,均小于 1 cm,从分布位置可以看出,在

路基段路肩部分沉降较大,这是由于路肩和路基边坡处存在应力集中现象,隧道开挖后,引起应力重分布,扰动程度较其他位置大,沉降值相应较大。

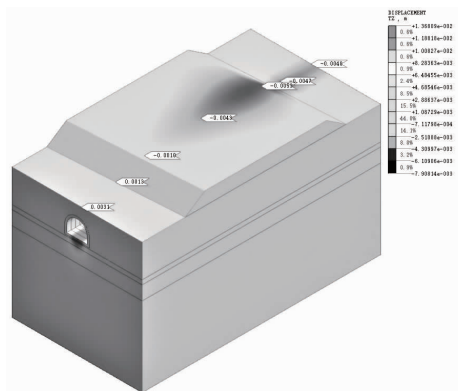


图9 路基各监测点处沉降值— U_z (单位:m)

5 结论

本文从设计方案、管幕施工要点和数值模拟分析可得出结论:

(1)管幕结构法具有地层扰动小、精度控制好、刚度大、封闭地下水,能够有效控制地面沉降,不影响既有交通。

(2)本文介绍的管幕隧道法引水工程下穿高速公路设计方案,为类似下穿工程提供工程借鉴。

(3)管幕施工要重点施工好首根定位管幕钢管,随后采用排管顶进,保证排管顶进整体性和施打精度。

(4)模拟结果显示,最大沉降为 5.3 mm,小于

1 cm,管幕法作为下穿高速公路路基段的超前支护形式,可有效控制高速公路沉降,对运营高速公路影响较小。管幕在高速公路路肩处沉降值较大,施工中在路肩处较其他位置应增加监测点,加强对此段路基段的沉降观测。

管幕超前支护形式能够有效控制地表沉降,封闭地下水,可为下穿工程提供工程借鉴。

参考文献:

- [1] 侯立勋,黄俊,俞蔡城,等.管幕结构法隧道下穿南京城墙设计方案研究[J].现代交通技术,2020,17(6):35-42.
- [2] 张关勋,黄土地层新管幕法施工对土体变形的影响因素研究[D].西安:西安理工大学,2021.
- [3] 谭忠盛,孙晓静,马栋,等.浅埋大跨隧道管幕预支护技术试验研究[J].土木工程学报,2015,48(S1):429-434.
- [4] 曾宇晖,岳向红.110 m 长管幕在浅埋暗挖隧道中的应用研究[J].现代隧道技术,2010,47(1):77-80.
- [5] 沈桂平,曹文宏,杨俊龙,等.管幕法综述[J].岩土工程界,2006(2):27-29.
- [6] 刘稳.大断面隧道管幕冻结法施工地表变形规律研究[D].合肥:安徽理工大学,2021.
- [7] 李优.拱北隧道暗挖段曲线管幕工程始发、接收端面综合处理技术[J].国防交通工程与技术,2015,13(S1):53-54.
- [8] 高法启,胡宝成,杨涛,等.管幕箱涵顶推法在市政道路下穿高速公路中的应用[J].特种结构,2022,39(3):104-109.
- [9] 李豪杰.新建隧道管幕法下穿既有铁路路基施工技术研究[J].隧道建设(中英文),2021,41(S1):440-447.
- [10] 林清辉,严佳佳.管幕超前支护浅埋暗挖隧道开挖方案对比研究[J].公路工程,2015,40(4):106-110.

《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