

长距离管幕法在下穿高速连拱隧道中的应用技术研究

杨克栋,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:管幕法常用于对沉降要求严格的下穿高速公路隧道工程中。由于管幕施工会引起地层损失进而引起地表沉降,因此长距离管幕施工流程和精度控制成为了下穿高速公路的砂层连拱隧道工程关键技术。以某下穿高速公路连拱隧道工程为背景,详细阐述了长距离管幕法设计总体方案、管幕施工工艺、顶进施工、精度控制和纠偏方法等,并针对管幕法连拱隧道施工匝道沉降变形进行了数值模拟计算。计算结果表明,长距离管幕法可有效控制高速公路路基沉降变形,为隧道施工、运营安全及既有道路的正常运行提供保障。

关键词:长距离管幕法;连拱隧道;下穿高速;砂层

中图分类号: U455.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)09-0271-04

0 引言

随着城市交通网的不断完善,下穿既有构筑物(公路、铁路等)的城市浅埋隧道数量日益增加。为控制浅埋隧道施工引起的路面沉降,维持隧道掌子面稳定,施工时常采用单双层超前锚杆(管)、水平竖向旋喷桩、管棚注浆等超前支护形式^[1]。下穿隧道常在高速公路正常运营情况下进行施工,对隧道开挖施工引起的高速公路沉降控制极为严格,必然对隧道超前支护提出更高的要求。而管幕支护具有刚度大、整体性强、止水效果良好、对周围环境影响小、控制沉降效果好等优点,近年来已成为下穿通道工程可靠的隧道预支护方案,采用管幕法的下穿通道工程成功案例不断涌现^[2-3]。沈桂平等^[4]从发展应用状况、设计理论、施工方案等方面对管幕法进行了阐述。刘杨等^[5]以港珠澳拱北隧道管幕工程为背景,研究了小间距群管顶推过程中引起的地面沉降规律。王宏宇^[6]以某引水隧道工程下穿高速公路工程为背景,阐述了管幕法隧道设计和施工方案。曾润忠^[7]从隧道管幕施工方案、精度控制和工程监测等方面分析了浅埋长距离管幕施工关键技术要点。曾宇晖等^[8]从导向装置和钻进技术等方面对长距离管幕施工技术进行了研究。

从以上研究成果可以看出,管幕法取得了良好

的工程应用效果。但以上研究多集中于短距离单洞隧道下穿工程和有黏聚力下穿地层中,在长距离下穿高速公路的浅埋砂层连拱隧道中应用案例甚少。因此本文依托西安某下穿高速公路连拱隧道工程,开展浅埋砂层中下穿高速公路的连拱隧道采用长距离锁扣管幕应用技术研究,以期类似下穿工程提供工程借鉴。

1 工程概况

某下穿隧道工程主要下穿西铜高速公路主线和J、I、A和E匝道路基段,隧道主体结构采用管幕法连拱隧道结构形式,下穿桩号范围为K0+585~K0+796,连拱隧道长度为211 m。平面线形为直线,沿路线前进方向,隧道轴线与西铜高速公路主线轴线夹角为82°,与J、I、A和E匝道轴线夹角分别为98°、95°、58°和38°。

下穿连拱隧道与既有高速公路平面关系位置图见图1。下穿桩号K0+585~K0+695段纵坡为-3.5%,K0+695~K0+796段纵坡为+1.512%,隧道平均埋深6~8 m。

连拱隧道下穿段地表主要为素填土,以黏性土为主,厚度约1.5~3.2 m;其下为黄土状土,土质均一,可塑~硬塑状态,厚度约4.5 m;再其下为隧道围岩分布区域,主要地层为细砂层和中砂层。隧道基底处于中密中砂层中,基底承载力特征值为250 kPa,隧道围岩为Ⅵ级。

隧道地质纵断面示意图见图2。

既有地下水位位于隧道拱腰处。为确保隧道施工无水作业,采取了基坑降水措施,将水位降低至设计

收稿日期:2023-08-18

作者简介:杨克栋(1979—),男,学士,高级工程师,从事隧道勘察设计工作。

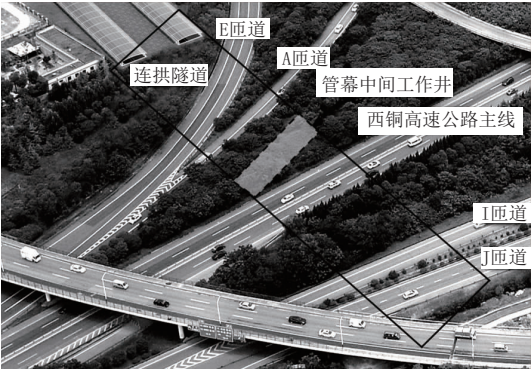


图 1 下穿连拱隧道与既有高速公路平面关系位置图

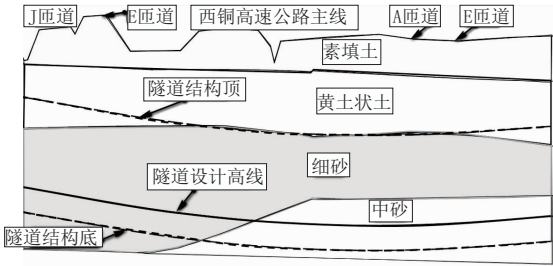


图 2 隧道地质纵断面示意图

水位处以下。另外,为确保管幕施打满足相关要求,设置管幕工作井时考虑了纵坡、管幕施打能力和精度控制等因素的影响。

2 管幕法连拱隧道设计方案

连拱隧道超前支护采用 $\phi 402\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 超前管幕,管幕钢管采用 20 号钢,钢管环向间距 480 mm。管幕连拱隧道结构断面图见图 3。初期支护型钢钢架采用 HW250 $\times$ 250 型号,拱架间距 50 cm,初支厚度 31 cm。二次衬砌采用厚度 70 cm 的 C40 钢筋混凝土结构,防水等级不小于 P8。在初期支护和二次衬砌间敷设土工布和防水板,采用全包防水;隧道处于无黏聚力砂层中,为控制掌子面稳定,在掌子面前方以梅花形布置注浆孔,隧道外圈一定范围内间距 2 m,内圈 1 m。采用分段后退式静压注浆,每一循环注浆长度 12 m,注浆压力由试验确定。

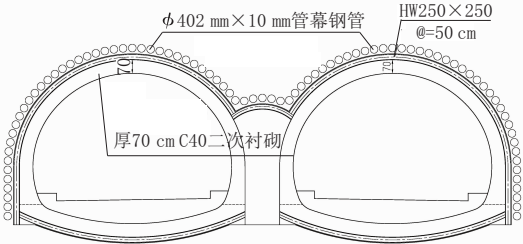


图 3 管幕连拱隧道结构断面图

本项目中管幕钢管之间采用公母锁扣连接,钢管两侧设 7.5 mm/5 mm 不等边角钢(壁厚 8 mm)锁口,锁口与钢管采用双面焊。管幕锁扣装置设计图、现场图见图 4、图 5。管幕钢管内灌注水泥浆,并利用

端头 2 m 管幕设置回浆孔对管间锁口进行充填注浆,在土体中形成坚固的超前支护外壳体。管幕施工时应根据施工工艺和设备参数设置临时顶推后背墙,本设计考虑管幕施工引起的误差,暂按 10 cm 距离考虑。隧道周围分布总计 85 根管幕,编号为 1 ~ 85,管幕外插倾角与隧道一致。

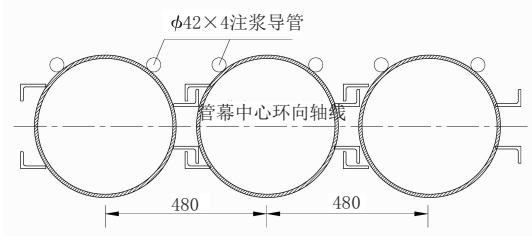


图 4 管幕锁扣装置设计图(单位:mm)

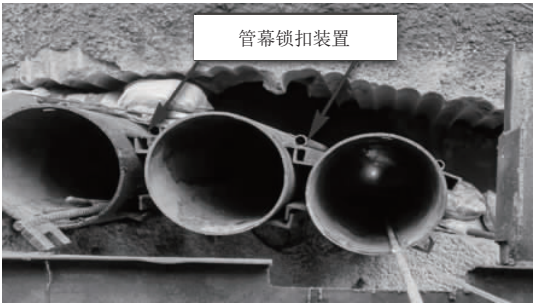


图 5 管幕锁扣装置现场图

3 管幕施工方案

本项目两大区段管幕长度分别为 102 m 和 95 m,两大区段间均采用管幕对打方式。两大区段的管幕一次施打长度均超过 50 m,是典型长距离管幕。为保证管幕施打精度,缩短施工工期,并考虑管幕对接连接处位置宜设置在绿化带内等诸多因素,又将两大区段进一步分为 4 个施打区间。根据现场调查高速匝道 A、匝道 E 绿化带位置并征求主权单位意见,综合考虑施打精度,将第一大区段分为长度 62 m 的第 1 区间和长度 40 m 的第 2 区间,以保证管幕对接薄弱区大部分位于绿化带内,大大减小路面车辆荷载对管幕对接区的不利影响;第二大区段分为长度 50 m 的第 3 区间和长度 45 m 的第 4 区间,如图 6 所示。连拱隧道管幕施作和开挖均采用 4 区间作业法。在隧道起终点和隧道中间各设置 1 个管幕工作井,管幕分别从两端工作井向中间方向打设,同时从中间工作井分别向两端方向打设,分区施打。如此做法的优点是能大大加快管幕隧道施工工期和管幕施打精度,缺点则是存在 2 处对接区,即管幕隧道结构的薄弱节点。施工时针对局部对接区的加固方案有两种:一是在管幕施工前在对接区上方对应位置的绿化带内设置直径 800 mm 的竖向旋喷桩,对隧道上方土

体进行加固;二是在主洞开挖时严格控制开挖进尺,侧壁上台阶采用2个小台阶开挖,并及时架设钢拱架使其封闭成环,同时在对接区增加沉降观测点和监测频率,另外采用喷射混凝土充填密实管幕钢管对接处的空隙,并在管幕对接处用长度3.5 m、 $\phi 50\text{ mm}\times 4\text{ mm}$ 注浆钢管以1 m的环向间距环上一圈进行加固,钢管施打角度则控制在 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$,现场可根据已做管幕情况进行调整。管幕钻进地质主要为砂层,在钻进过程中阻力大,顶进过程易引起塌陷,造成土体损失,引起路面沉降。以上因素导致管幕施工难度较大,对管幕施工要求很高。

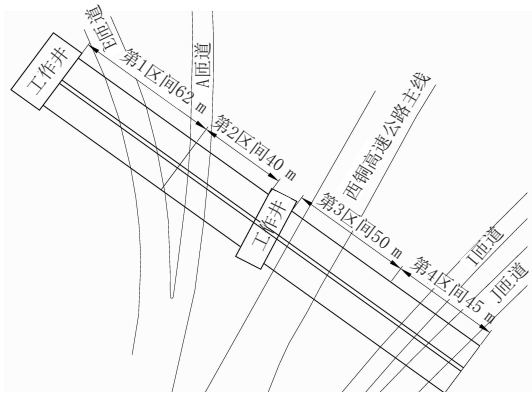


图6 管幕施打区间划分示意图

3.1 管幕总体施工工艺

本项目为长距离连拱隧道管幕施工,管幕根数多、布置轮廓复杂,须事先做好标准孔定位。本工程将图3所示的43号孔作为标准孔,向两侧施打,2根管幕钢管为1组,进行钢管管排施工,管幕施工采用“钢管液压顶进,管内螺旋出土”的方法。钢管管排的整体性可使顶进偏移概率降低,同时可使管幕顶进轨迹更加趋于可控,有效保证施打精度。对于长距离管幕,建议做预顶进试验管排(至少2根钢管),通过试顶,一方面可获得顶进实际顶推力,为后背墙优化做准备;另一方面能够检验该地层中管幕纠偏措施的有效性和锁扣装置的可靠性,为后续施工的管幕做好技术准备。管幕施工工艺流程图见图7。

3.2 管幕顶进施工

管幕顶进施工为长距离管幕施打最重要的步骤。根据工作井施工空间,本工程管幕标准分节长度为6 m和10 m,具体类似工程可根据设备施打能力、工作空间和管幕总长度制定标准节段长度。管幕顶进施工主要包括标准孔定位钢管施工和常规孔钢管施工。

本工程连拱隧道管幕有85根,管幕间通过公母

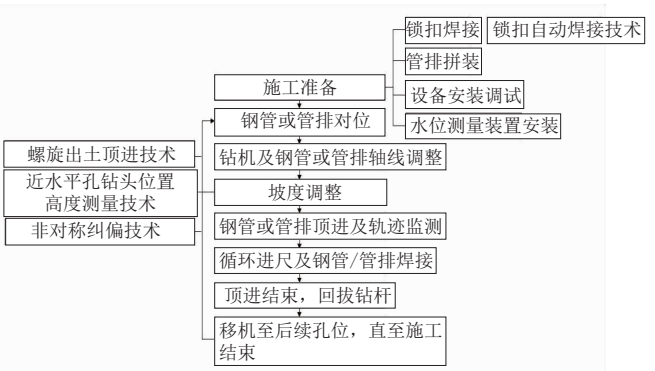


图7 管幕施工工艺流程图

锁扣装置连接。其中标准孔定位钢管施工精度对整体管幕精度控制起着决定作用,是项目管幕施工的关键施工工序。

为保证标准孔定位钢管施工精度,应做好以下工作:(1)严格控制始发钢管倾角和方位角;(2)顶进过程中控制好顶推力,防止产生因钢管转动引起的脱扣现象;(3)顶进过程中出现偏位和脱扣时,须分析原因并重新定位施工,防止引起后续管排顶进积累误差。

标准孔定位钢管施工步骤主要包括:(1)安装钻头,连接动力装置,做好钻进准备工作;(2)按照设计管幕位置,做好标准定位孔的标记;(3)调整顶进设备的入孔角度和入孔姿态;(4)根据前述试顶结果,调整装备千斤顶,进行螺旋顶进;(5)采用水位测量装置和经纬仪等检测设备实时监测定位钢管轨迹,若发生偏差应及时进行纠偏;(6)单节钢管顶进完成后,拆开钻杆,回拖钻机顶推盘回到初始位置。

常规孔管幕施工应在标准孔定位钢管施工的导向作用下,以标准孔定位钢管锁扣为轨道,顺锁扣装置滑行,后续管幕钢管依次沿相邻锁扣装置顶进滑行,直至管幕所有钢管顶进完毕,期间也应做好轨迹监测。

3.3 长距离管幕顶进精度控制和纠偏方法

现场施工单位采用连通器原理对管幕顶进精度进行控制,其原理是在管幕钢管一端安装连通水管,随着管幕钢管顶进,不断向连通管中注水,水又不断从出口流出;由于连通管入口高度大于管幕钢管高度,水是从连通管入口处向出口处单向流动的。由于连通管内砂层中空气无法进入且出口管径很小,当连通管内压力等于水的表面张力时,水不再发生流动,入口处水位稳定,此时入口处管内压力等于出口处压力,导致入口处水位与出口处水位相同,故可以通过观察入口处水位来判断隧道掌子面前方围岩地

层中的钻头位置高度,从而简单直观地监测钻头位置变化。该监测设施简单、经济且监测结果可靠,可确保管幕施打精度。

本项目施工单位采用螺旋出土钢管顶进纠偏管头进行纠偏。将管头前端钢管口加工成斜形,并向着顶进方向中心轴线倾斜,形成持续纠偏构件,在其下方则形成选择纠偏构件。选择纠偏构件向着远离轴线方向倾斜,与持续纠偏构件倾斜方向相反,且其倾角大于持续纠偏构件。如遇到不均质地层可通过该纠偏管头,有效控制管幕施打施工精度。

本项目两大区间管幕施工过程历时 120 d,最终圆满完成。开挖显示,管幕支护效果良好,且施工期间的累计沉降始终控制在 4 mm 以内。

4 沉降数值模拟分析

本项目选取先期施工段(第 1 区间,长度 62 m),对下穿高速公路匝道(E 匝道和 A 匝道)的沉降进行模拟分析。岩土体和衬砌等采用实体单元模拟,初期支护和临时支护采用板单元模拟,管幕采用等效刚度法模拟,按照连拱隧道三导洞施工方案模拟施工。为简化模型,每次进尺 2 m 进行开挖支护。

管幕隧道模拟分析模型见图 8,管幕法连拱隧道施工匝道沉降变形值见图 9。

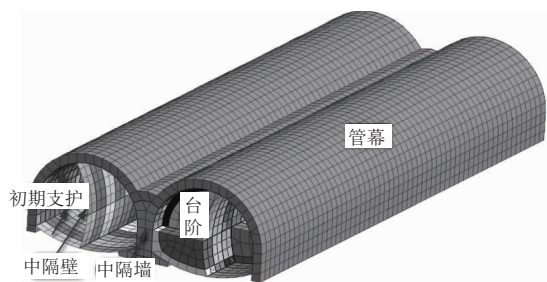


图 8 管幕隧道模拟分析模型

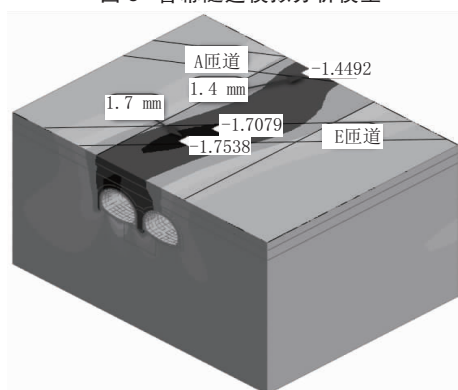


图 9 管幕法连拱隧道施工匝道沉降变形值(单位:mm)

由图 9 可知,E 匝道和 A 匝道发生了沉降变形,其中 E 匝道最大沉降为 1.7 mm,A 匝道最大沉降为 1.4 mm。现场实测结果是:E 匝道沉降约 7 mm。现场

实测结果与数值模拟结果有出入,分析原因主要是数值模拟未考虑管幕顶进振动和隧道机械开挖扰动引起的地层损失。但两者沉降值均未超过 1 cm,说明管幕在控制沉降中起到了良好效果。

5 结 语

(1)长距离管幕施工可采用分区间施打,既能提高效率又能保证施打精度。

(2)本项目为砂层隧道,管幕隧道施工中,采取洞外降水措施,保证了管幕工作井、管幕施工和隧道开挖施工中无水作业。另外管幕施工中还采取了“勤量测、快纠偏、严控标准孔质量”等综合措施。

(3)结合本工程特点,阐述了长距离管幕顶进精度控制和纠偏方法,即:管幕施工中应严格控制入孔孔位偏差和入孔轴线偏差;严格控制钢管入孔角度,但可根据实际情况进行适当调整;加强监测频率,每节钢管测量 2~3 次;制定严格精度控制标准,当钢管顶进轨迹临近偏差控制值时必须进行纠偏;每节钢管施工必须做好施工时间、地质情况、测量数据和纠偏措施记录。

(4)数值模拟分析结果中,下穿高速路基沉降值小于 1 cm,说明管幕对下穿工程沉降控制是有效可靠的,可为类似工程提供借鉴。

(5)本项目采取连通器原理对管幕施打精度进行了量测。但是,施工过程中连通管不容易被保护,而且对于长距离管幕实用受限,因此下一步将对管幕施打高精度控制手段(如传感器定位装置)进行详细研究,为长距离管幕暗挖隧道提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 武康.浅覆软弱围岩超前管棚预支护作用机理研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2016.
- [2] 唐琨杰,徐泽鑫,邱军领,等.基于锁扣管幕超前支护的连拱隧道近距下穿地铁 U 型槽变形特征分析[J].公路,2022,67(4): 355-363.
- [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(增刊 1): 429-434.
- [4] 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.
- [5] 刘杨,史培新,潘建立,等.拱北隧道超大管幕顶进横向地面沉降及管间作用分析[J].隧道建设(中英文),2018,38(10): 1680-1687.
- [6] 王宏宇.管幕隧道法在引水工程下穿高速公路的应用[J].城市道桥与防洪,2023(1): 242-245.
- [7] 曾润忠.下穿铁路的浅埋隧道长距离管幕施工[J].铁道建筑,2009(9): 43-46.
- [8] 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.