

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.01.063

近距离下穿既有隧道的矿山法隧道支护方案选择

田 帅

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 随着城市基础设施建设的不断推进,地下隧道建设已经成为重要的组成部分。然而,在地质条件复杂、既有隧道密集的城市环境下,隧道建设往往会遇到各种挑战,尤其是采用矿山法近距离下穿既有隧道更为困难。在这种建设中,设计技术方案、支护措施、施工方案等方面都需要考虑到。以贵阳某在建项目为例,从设计技术方案和施工要求入手,结合有限元分析和现场监测数据,探讨如何在泥岩地层条件下安全施工近距离下穿既有小净距隧道的问题,旨在为同类型工程提供参考和指导。

关键词: 泥岩;矿山法隧道;近距离下穿;设计方案;支护选择

中图分类号: U452.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)01-0254-04

0 引言

在现代社会中,地下隧道建设已经成为城市基础设施建设的重要组成部分。然而,地质条件复杂和既有隧道密集的城市环境下,隧道建设往往面临着各种挑战,采用矿山法隧道近距离下穿既有隧道的建设更是如此。在这种情况下,如何保证隧道建设的安全性和可行性,成为一个关键的技术难题。

为了解决这一难题,隧道工程师们不断进行技术创新和实践探索。邓文亮等^[1]对矿山法隧道下穿既有地铁线的关键技术进行了分析研究。王美霞等^[2]对小净距隧道下穿既有隧道施工沉降规律进行了研究。王晓夫等^[3]对泥质围岩隧道工程的地址特性和主动支护技术进行了探讨。

矿山法隧道近距离下穿既有隧道建设中涉及隧道的结构设计、支护措施、施工方案等多个方面。本文以贵阳某在建项目为例,从设计技术方案和施工要求入手,结合有限元分析和现场监控量测数据,探讨如何在泥岩地层条件下安全施工近距离下穿既有小净距隧道的问题,旨在为同类型工程提供参考和指导。

1 工程概况

贵阳蔡家关一号隧道为市政工程山岭隧道,采用矿山法施工。隧道为双向六车道小净距隧道,左洞

长度为 1 276 m,右洞长度为 1 243 m。隧道左线和右线平面设计进口段和出口段均位于直线上,中段位于圆曲线上,纵断面设计为 -2.95%与 4.5%的 V 字坡。

本项目隧道在 MLK2+445~MLK2+480、MRK2+440~MRK2+470 处下穿既有隧道。该既有隧道采用双向六车道小净距矿山法隧道,两隧道夹角约 77°,平面位置关系见图 1。

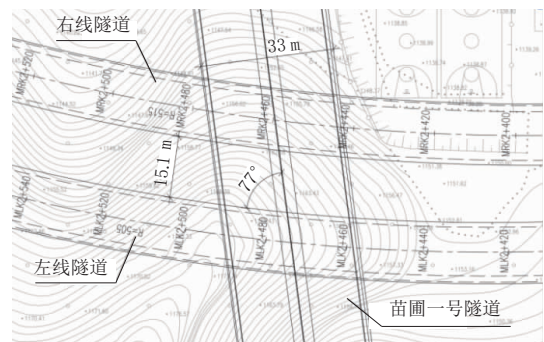


图 1 蔡家关一号隧道与苗圃一号隧道的平面位置关系

由于道路纵坡的限制,蔡家关一号隧道左线隧道拱顶距离既有隧道仰拱底的距离约为 6.3 m,蔡家关一号隧道右线隧道拱顶距离苗圃一号隧道仰拱底的距离约为 5.2 m。此处隧道埋深约为 68 m,属于深埋隧道。由于新建隧道与苗圃一号隧道距离较近,为保证在下穿过程中苗圃一号隧道的安全,需要采取一定的工程措施。具体的竖向位置关系见图 2。

2 工程地质与水文地质

此处下穿节点隧道洞身围岩主要为灰岩、泥岩,岩层呈中风化,夹薄层粉砂质泥岩、碳质泥岩,岩体破碎-较破碎,岩层产状变化较大,节理、裂隙极发育,

收稿日期: 2023-02-19

作者简介: 田帅(1991—),男,硕士,工程师,从事隧道结构设计工作。

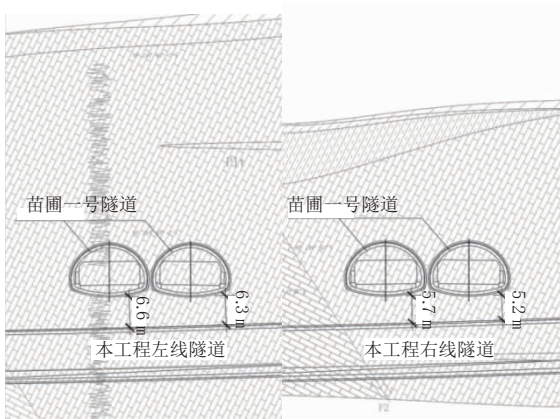


图2 蔡家关一号隧道与苗圃一号隧道的竖向位置关系

裂隙面及其组合杂乱,以泥质胶结为主,胶结很差,围岩等级为V级。枯季地下水较贫乏,雨季含少量裂隙水,地下水呈潮湿状或点滴状渗出。

隧道开挖过程中,泥岩中的黏土矿物、其可溶性、裂缝结构的扩容和膨胀效应(碳质、钙质、铁、铝质)等因素,均可导致岩体遇水快速崩解。其中,碳质泥岩地层的水稳定性最差,在开挖卸荷和干湿循环条件下,其力学强度急剧下降,其黏结力和内摩擦角最多可降至水软化前的95%、26%以上^[4-5]。因此,隧道施工过程容易发生坍塌风险,需加强支护措施以确保隧道施工的安全。

3 设计方案与施工要求

3.1 支护参数设计

本工程隧道的毛洞开挖跨度约为17 m,开挖高度约为11.5 m。相比于邻近非下穿段落,在同等围岩级别条件下,本工程对下穿段落的初期支护和二次衬砌都进行了加强。衬砌设计图详见图3,主要加强措施如下:

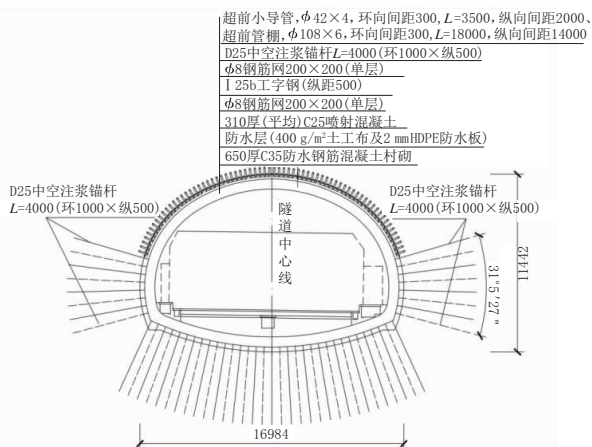


图3 下穿段落隧道衬砌设计(单位:mm)

(1)初期支护加强,原来的初支厚度为280 mm,采用I22b工字钢,间距为750 mm,现在加强到初支厚度为310 mm,采用I25b工字钢,间距为500 mm。

(2)二次衬砌厚度由原来的600 mm加强到650 mm。

(3)由于隧道拱顶距离上方既有隧道距离仅5.2 m,取消拱顶范围内的径向锚杆。

(4)考虑到贵阳地区岩溶发育的特点,如果隧道下方存在溶洞等不良地质,会引起隧道沉降导致上方既有隧道开裂。因此,在仰拱底设置径向 $\phi 25$ 中空注浆锚杆以充填加固可能存在的岩溶区域。

3.2 辅助工程措施设计

3.2.1 超前支护

此段隧道拱顶150°范围内采用超前管棚结合超前小导管的超前支护措施,二者纵向间隔布置。管棚采用 $\phi 108 \times 6$ mm热轧无缝钢管,长度18 m,环向间距0.3 m,外插角 $2^\circ \sim 3^\circ$,纵向间距为14 m;两环长管棚之间设置 $\phi 42 \times 4$ mm热轧无缝钢管,长度3.5 m,环向间距0.3 m,外插角 $10^\circ \sim 12^\circ$,纵向间距2 m。注浆材料均采用双液浆以防止地下水对开挖范围内围岩造成影响。

为保证长管棚的施工空间,本工程采用渐变向前扩宽的形式施工管棚工作室。管棚工作室断面比原断面外扩50 cm,支护参数不变,同时在工作室端部密排两榀I25b工字钢进行加强,防止开挖过程中管棚发生沉降变形。设计示意图详见图4。

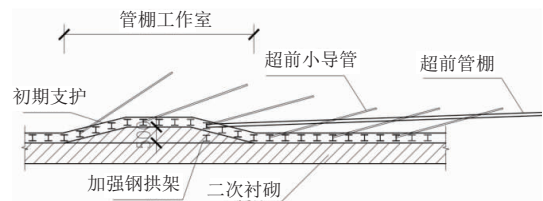


图4 管棚工作室设计

3.2.2 掌子面注浆加固

采用掌子面注浆加固方法,旨在改善前方围岩的物理力学性质,并封堵掌子面地下水,从而保证隧道开挖过程中掌子面的稳定性。

对于上台阶掌子面,采用 $\phi 50$ 高压PVC管进行注浆预加固,钻孔直径 $\phi 89$,单循环加固长度为10 m,注浆前在掌子面端部埋 $\phi 89$ 无缝钢管作为孔口管,孔口管长2~3 m,孔口外露200~300 mm。间距尺寸为 $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$,梅花形布置,两个循环间需搭接3.0 m。注浆材料采用双液浆,注浆压力控制在0.5~1 MPa。

3.3 施工工法及要求

本项目隧道在下穿隧道节点范围内采用CRD工法施工。为保证施工的稳定性和安全性,左右导洞上台阶长度不得大于8 m,先行导洞下台阶掌子面距

离后行导洞上台阶开挖面距离宜为 6~8 m。初期支护应紧跟掌子面,二次衬砌距离上一步序开挖面的间距不大于 6 m。单洞施工工序示意图见图 5。

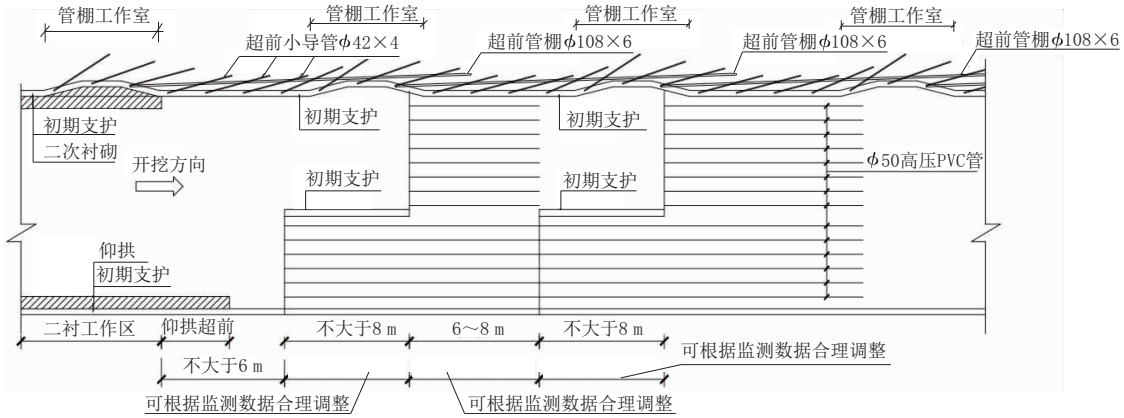


图5 单洞施工工序示意图

固后,开挖前应对加固体强度(无侧限抗压强度 q_u 不得低于 0.3 MPa)、渗透系数(不得大于 1×10^{-7} cm/s)进行检测,满足要求后方可进行后续施工。

(2)现场施工应严格采用机械开挖方式,单次开挖进尺不得大于一榀钢架间距,并及时支护。待初支强度达到设计要求后,通过预埋的注浆管及时回填注浆。注浆管可采用 $\phi 42 \times 4$ 钢花管,长度 50 cm(可根据现场情况调整)。注浆采用双液浆,注浆压力 0.3~0.5 MPa。并采用地质雷达对初支背后与围岩间的密实性进行检测,合格后方可开展后续施工。

(3)初期支护施作并达到设计强度后,及时跟进二次衬砌。二次衬砌与初期支护间通过预埋的注浆管及时回填水泥浆(掺入微膨胀剂),并采用地质雷达进行检测以确保密实性。

(4)下穿苗圃隧道范围内,严禁左右线隧道掌子面同时施工。应先完成一侧隧道的下穿施工,且二次衬砌达到设计要求强度后,才能开始另外一侧隧道的下穿施工。

(5)单洞二次衬砌与上一步序开挖面的间距不大于 6 m。

(6)现场应加强超前地质预报和加强监控量测工作。当出现围岩及支护变形情况异常时,应及时反馈,待各方制定合理的方案后,方可进行后续施工。

4 有限元计算分析

为验证上述设计方案的合理性,本文利用 Midas GTS NX 软件建立了三维有限元模型,对本项目隧道开挖对既有隧道的影响进行了分析。主要分析了支护参数加强前后两种计算工况,地层参数参考了地

质参数。为保证整个隧道下穿施工的安全性,本项目对现场施工提出了一系列要求,具体如下:

(1)先行实施超前支护、掌子面加固。掌子面加

固后,开挖前应对加固体强度(无侧限抗压强度 q_u 不得低于 0.3 MPa)、渗透系数(不得大于 1×10^{-7} cm/s)进行检测,满足要求后方可进行后续施工。

勘报告,并根据实际地形建立了模型,消除了边界效应的影响。土体采用了摩尔库伦本构模型。通过注浆圈的形式模拟大管棚、小导管和锚杆的支护效果。有限元模型见图 6。

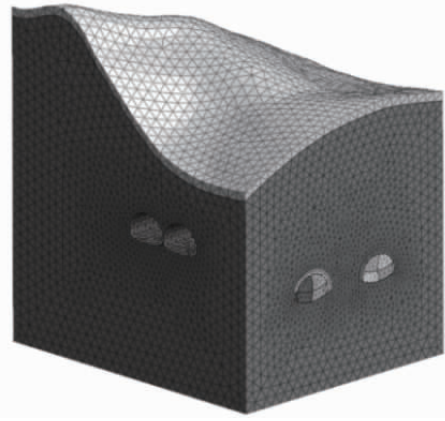


图6 有限元模型

4.1 支护参数加强前后计算结果分析

经过计算分析,支护未加强时,隧道开挖引起的苗圃一号隧道的最大沉降变形为 25.9 mm;支护加强后隧道开挖引起的苗圃一号隧道的最大沉降变形为 7.91 mm(见图 7)。加强后的支护方案对于苗圃一号隧道的变形控制显著。

4.2 隧道开挖对下穿隧道影响规律分析

针对加强后的支护参数计算结果进行分析,根据图 7 可以看出,苗圃一号隧道仰拱沉降最大值发生在新建隧道和既有隧道的 4 个相交点处,分别为 7.19 mm、7.22 mm、7.79 mm、7.55 mm。随着隧道开挖步骤的进行,各交点的沉降变形见图 8。以苗圃一号隧道左线为例,在施工步骤为 19 步至 55 步的过程中,观测点 1 和 2 的沉降变形速率较大。因此,可

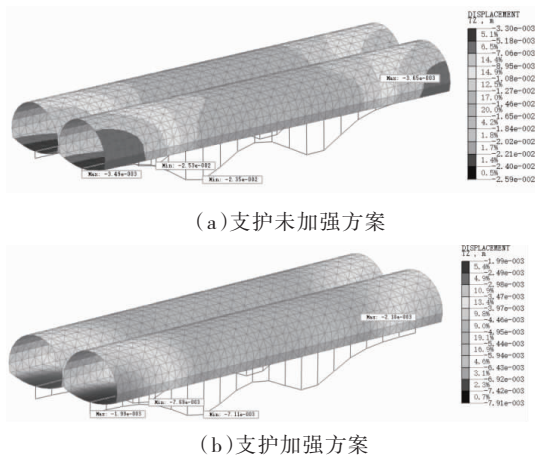


图7 苗圃一号隧道仰拱拱底沉降变形图(单位:m)

以认为在此范围内,隧道施工对苗圃一号隧道左线的开挖影响较大,大致影响范围为既有隧道与新建隧道平面相交投影范围前后各延伸10 m,共计50 m。在施工过程中,应特别注意此范围内的影响。对于苗圃一号隧道右线的影响规律基本与左线相同。

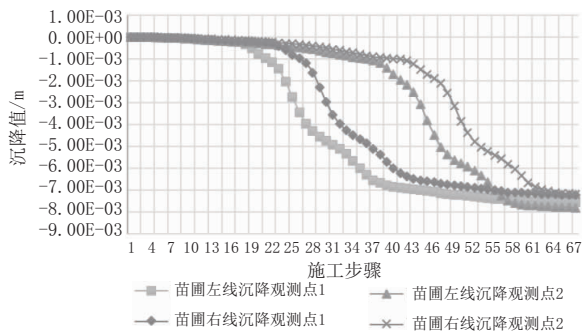


图8 交点位置沉降随施工步骤变化

5 现场监测方案及结果分析

在下穿节点施工期间,采用全站仪对苗圃一号隧道的沉降和收敛变形进行了监测。为了全面掌握监测数据,沿着苗圃隧道轴线方向前后布置了共12个监测断面,且监测断面之间的间距设置为10 m。为确保监测工作的科学性和合理性,与管养单位进行了充分沟通和协商,并共同制定了下穿隧道的监测控制标准,具体内容见表1。

表1 监测控制指标 单位:mm

监测项目	预警值	控制值
沉降变形	7	10
水平收敛变形	7	10

进入下穿区段影响区域开始施工开始时间为2021年8月,完成下穿段施工的时间是2022年7月,耗时约11个月。监测结果显示,施工期间苗圃一号隧道的水平收敛变形偏小,最终累计收敛变形约2 mm,变化并不显著,施工期间以沉降变形为主,监测数据显示其最不利断面的累计沉降变形约为6 mm,实际变形未超过预警值,处于安全状态。与数值模拟分析相比,实际累计沉降变形约6 mm,实际累计沉降变形约比模拟值小1 mm。详细数据见图9。

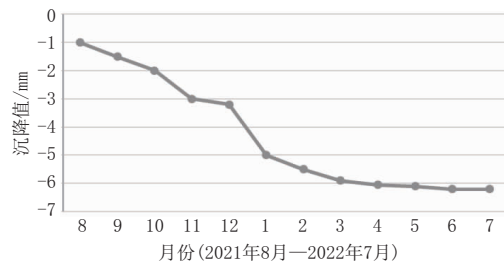


图9 苗圃一号隧道沉降变形监测数据

6 结语

本工程结合贵阳泥岩地层的特性,采取针对性的支护加强措施,通过数值模拟计算了支护参数加强前后对下穿隧道的变形影响结果,加强后的支护方案能够显著控制下穿隧道的变形。基于现场监控数据的反馈,数值模拟结果与实际监测数据误差较小,隧道施工期间各项变形指标均正常,成功地实现了对苗圃一号隧道的顺利下穿,验证了设计方案的合理性,确保了既有小净距隧道施工期间的安全性,本项目的研究可以为类似项目提供有益参考。

参考文献:

- [1] 邓文亮,谢韬.矿山法隧道下穿既有地铁线施工方法与关键技术[J].建筑机械化,2019,40(3):32-35.
- [2] 王美霞,赵凤凯.新建隧道超小净距下穿既有隧道施工沉降规律研究[J].黑龙江交通科技,2020,43(8):169-170.
- [3] 王晓夫,刘宜全.泥质围岩隧道工程地质特性及主动支护技术[J].建筑机械,2022(8):40-45.
- [4] 付宏渊,刘杰,曾铃,等.考虑荷载及干湿循环作用的炭质泥岩崩解特征试验[J].中国公路学报,2019,32(9):22-31.
- [5] 叶朝良,薛飞招,谢玉芳,等.炭质泥岩工程力学特性试验研究[J].铁道工程学报,2019(11):1-6.