

隧道暗挖施工对临近桥梁桩基础的影响及加固方法研究

文 / 田久广 枣庄市公路应急抢险中心

摘要: 伴随现代城市化进程的加快,人民生活水平提高,城市交通系统面临着日益严峻的压力。为应对城市交通所面临的尖锐问题,越来越多的城市开始规划并实施高效便捷的地铁系统。然而,在地铁隧道施工过程中,往往需要穿越大量地上建筑物和市政道路,这在一定程度上增加了施工的复杂性。本研究以某具体的工程案例为研究对象,深入探讨该地铁隧道下穿立交桥施工中存在的问题,分析浅埋暗挖法过程中所碰到的关键挑战,并据此提出可靠的加固措施。

关键词: 隧道暗挖施工; 临近桥梁; 桩基础; 影响; 加固方法

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.10.064

引言

在现代化城市发展的过程中,构建地下轨道交通系统已成为缓解地面交通压力关键措施。隧道施工技术作为轨道交通系统的核心,其重要性愈发凸显。随着城市化的加剧,城市空间变得愈加狭小,高楼林立,复杂的管道线路与桥梁设施交织成网,给地下轨道交通的修建带来不小的挑战。在高度复杂的城市环境中建造地下轨道交通,其难度可想而知。任何微小的施工失误可能对现有城市设施产生不可预测的影响,进而引发严重的安全隐患。尤其是在隧道施工穿越或邻近重要建筑物和桥梁时,潜在的风险更为明显。这些结构不仅是城市正常运行的重要支撑,更与市民的生命财产安全息息相关。因此,如何在确保施工安全与效率的同时,将对周边环境的影响降到最低,成为地下轨道交通建设中亟待解决的难题。

一、项目介绍

某城际轨道交通线路下的隧道项目,涉及多个竖井形式的暗挖隧道段、地面开挖的明挖隧道段、横跨公路的连续梁结构以及简支桥梁等构件,总体结构复杂^[1]。由于该项目位置与处于当地某大道的正下方,周围鲜少有建筑遮挡,为了达到连接两座城市交通的目的,施工方决定在立交桥的下方直接进行隧道开挖。立交桥的上部结构采用强度等级达到40号的钢筋混凝土,通过先进的现浇技术浇筑而成。桥梁箱梁设计高度为1.25米,宽度为10.51米,可保障交通流量的顺畅安全。在如此复杂的交通环境与地质条件下进行隧道的开挖,施工方既要保证隧道的结构稳定,又要最大程度地减少对已建交通设施的影响。

二、隧道暗挖施工现场监测

(一) 目的

在推进开展现场施工生产监测之前,需要先建立完善的监控管理体系,实时反馈施工现场的土壤位移、支护结构变形等关键数据信息。施工的全程采用实时监测的方式,以便及时发现潜在的安全隐患并立即采取措施进行整改。在隧道施工推进中,重点关注周边岩石和支护体系的预测分析,深入研究隧道施工对桥梁桩基稳定性的影响^[2]。

除此之外,隧道主体结构在施工期间也需定期进行现场测量。通过获得的数值参数,可以验证支护结构的

稳定性。在检测过程中,一旦发现参数异常,施工单位应迅速对支护结构进行必要的调整,加强施工的安全性。同时,施工单位还需对施工现场的地下管线进行全面检查,及时处理线路故障,从根本上消除安全隐患,以保障施工的顺利进行。在遇到可能的施工事故时,施工单位需提前制定详尽的应急预案。

(二) 频率

本文实施隧道施工监测管理,详细信息见表1。

观测名称	方法	监测次数
地层及支护	现场监测	每次开挖后进行
地表下沉	精密水准仪	每次开挖后进行
洞内收敛	精密水准仪	每次开挖后进行
桥梁倾斜	精密水准仪	开挖面距离测断面前后

(三) 控制值

本项目对隧道施工数据监测进行控制,详细数据见表2。

监测项目	报警值	控制值
地表沉降	20mm	25mm
洞内收敛	20mm	25mm
底部隆起	8mm	10mm
桥梁倾斜	1.5%	2%

(四) 监测点布置

(1) 地面下陷监控。在隧道施工项目管理中,需重点关注测点的配置。在隧道掘进路径选择上,每隔15米设置一个横截面的观测断面。在每一个横截面上,需以5米的间隔布置监测点。本研究选用苏州一光品牌下的DS05型号水准仪作为核心测量设备,并采用三级沉降观测高程法,以设定的基准点为起点,沿着规划的路线逐一进行测量。在实施监测的过程中,必须严格遵循国家相关的标准与规范。例如,每次测量的视线长度不得超过30米,并且要将视线长度的误差控制在1米之内^[3]。

(2) 隧道形变监控。每隔15米,必须设置一个观测断面,认真核实这些断面是否与地表处于同一地质断面上。在隧道施工开始前,监测者应沿着隧道的侧壁方向设置监测点,以便监控侧壁与拱顶之间沉降监测点的平衡关系。作为施工方,需选用直径为20毫米的半圆形弯曲钢筋作为支撑结构。先使用专业的钻机将钢筋打入桥墩内部;接着,运用高质量的砂浆进行钻孔填充,最后,在钢筋的露出部分选取合适的位置作为监测点,并持续开展监测活动。

(五) 模拟简化分析

在隧道挖掘建设中,应用元数值有限模型模拟施工过程中出现的复杂状况和不连续性问题。为了更好地掌握隧道开挖的实际情况,研究人员需要对模拟中的若干次要元素进行合理的调整,推进模拟工作的顺利开展。

这些次要影响元素,尽管会在一定程度上影响隧道开挖,但在模拟过程中,若要提高监测的效率,会将这部分因素进行忽略或简化。

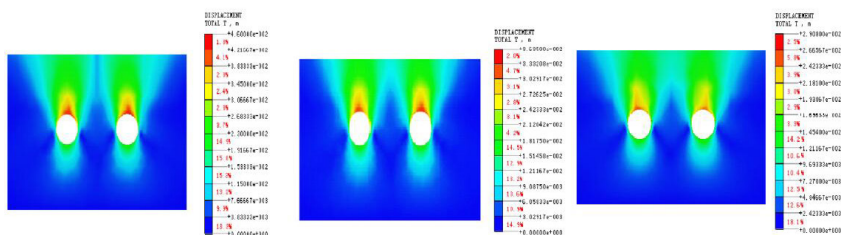
这些因素主要包括:地下水位的波动可能对开挖活动产生的潜在影响;在桥梁下挖掘时对桥梁中间支撑结构可能造成的干扰;钻孔操作对周围岩层稳定性可能带来的破坏;以及直线开挖方式可能引发的特定影响等等。

三、隧道暗挖施工对临近桥梁桩基础的影响

(一) 土表影响

在推进挖掘作业时,为了探讨不同进尺长度对地表形变的影响机制。本研究针对挖掘断面 A 进行了系统性的监测分析。具体监测结果如图 1 所示。根据图 1 分析结果看出,地表形变模式随着挖掘进尺的变化而显著不同。当采用单线挖掘策略时,地表会经历纵向沉降,呈现出均匀的凹形特征。也就是说,在垂直挖掘过程中,土壤的压缩现象十分明显。相反,当采用双线挖掘方式时,地表形变则发生转变,表现为横向沉降,而这种沉降具有独特的 W 形轮廓^[4]。

随着研究的推进发现,隧道挖掘期间所产生的应力状态也对地表的形变起到了不可替代的影响。当挖掘进尺设定为 2 米时,地表沉降量达到 27.63 毫米,进一步佐证了挖掘进尺与地表沉降之间存在正相关关系。



a 挖掘进尺 2 米对土表的影响 b 挖掘进尺 1.5 米对土表的影响 c 挖掘进尺 1 米对土表的影响

图 1 不同挖掘进尺对土表的沉降影响

(二) 沉降影响

以挖掘断面位置的 2 号桥桩为研究对象,分析不同挖掘深度对桥桩形变的影响。随着挖掘深度的不断增加,桥桩及其周围土体的响应表现出明显的趋势性变化。当挖掘作业向更深的层次推进时,地表沉降现象愈发显著。这种现象表明,挖掘深度与地表沉降之间存在着直接且密切的关联。

深入分析,可发现挖掘深度的增加,不但会增加地

表的沉降量,还可能伴随着沉降范围的扩展。随着挖掘活动的持续深入,受到扰动的土体范围扩大。这种变形不止限于土表,其影响可能还向更深层次的土体延伸,甚至可能对桥桩自身的结构稳定性带来潜在威胁。土表的沉降并非孤立存在,而是与挖掘活动导致的其他地质力学效应相关。例如,随着挖掘深度的增加,土体应力状态的显著变化可能会导致其抗剪强度降低,这进一步加剧了土表沉降的趋势^[5]。

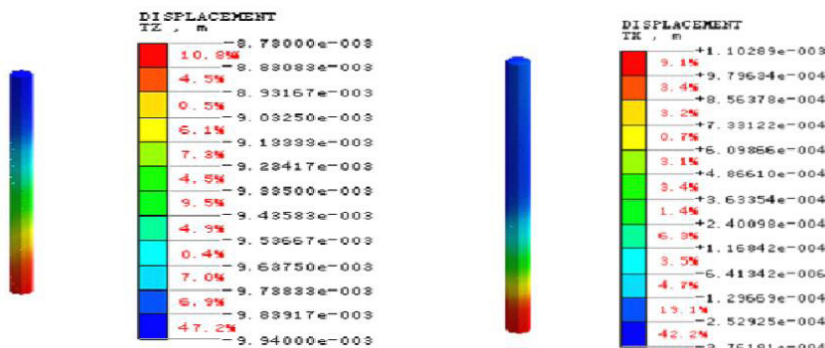


图 2 不同挖掘进尺对 2 号桥桩的变形影响 (图 a1 挖掘进尺 2 米对 2 号桥桩的竖向影响图 a2 挖掘进尺 2 米对 2 号桥桩的横向影响)

四、隧道暗挖施工加固方法

(一) 加固方案选择

在本项目中,处理的施工段涉及两条隧道,这些施工段与公路立交桥形成垂直的交叉布局。根据现场数据,设定隧道拱顶与最近桩基之间的最小间距为 2.699 米,而隧道外侧边缘到桥桩的最小距离设定为 2.13 米。2 号、3 号和 4 号桥桩地理位置接近隧道施工区域,其受影响程度会显著增加。在推进施工之前,施工人员先进行了

一次完整的现场勘察,其中,发现一个关键问题,桥梁的实际位置与设计图纸上的标注存在偏差。面对这一临时的挑战,施工人员迅速采取行动,与各相关单位进行深入的沟通与协调。根据现场勘查结果,及时调整了施工方案,以便更好地应对实际情况。

在充分考虑前期计算、模拟分析结果以及本工程的特定条件后,施工人员决定采用地表注浆技术,控制桥梁在施工过程中的形变问题。地表注浆是广泛应用在土

体加固方面的一种技术形式,通过注入特定的浆液材料,可有效增强周围土体的稳定性,并提高土壤的整体强度。

(二) 袖阀管注浆加固

为了保证桥梁交通在施工期间能正常运行,施工单位需要在施工推进之前,做好周密的保护计划,重点要配置桥梁外侧的两排斜向设置的袖阀管。为了让这些袖阀管与桥梁基础边缘之间保持恰当的距离,在进行管线布局时,施工人员需要依据桥梁基础的深度进行定位。两排袖阀管之间维持一米的均匀间隔,以便全面覆盖并加固每一个关键区域。斜孔的具体位置以及各孔之间的距离,也需要根据施工现场的实际情况进行灵活决定,在完成斜孔钻探后,需要采用水泥砂浆对钻孔进行密封,防止浆液外泄。注浆作业中,需选用具有稳定性能的水泥砂浆作为注浆材料,设计浆液在土体中的扩散半径可设定为0.8米,并在0.8兆帕的压力下进行作业,每次注浆的持续时间约为15分钟,整个注浆过程设置为重复三次,注浆孔之间的间距设定为1米,注浆所用的水泥材质为普通硅酸盐水泥,具有优良的水化性能和硬化强度,适用于本项目需求。

上述注浆参数是基于前期的研究结果制定的,但在实际施工过程中,仍需依据现场具体情况灵活调整。注浆工艺流程,具体如图3所示。

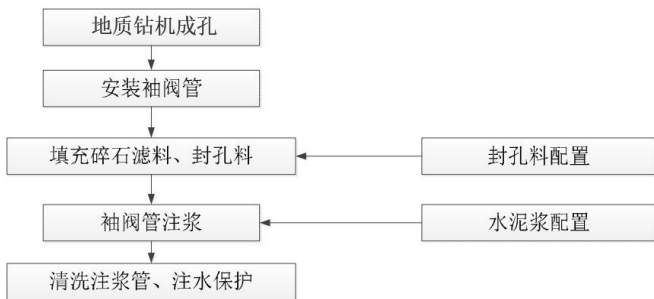


图3 施工工艺流程图

(三) 施工要点

为了推进注浆加固工程的顺利实施,施工人员必须先进行目标施工区域的地质结构特征的勘探分析,确定注浆作业的关键参数,为后续作业的展开做好铺垫。随后,正式进入到施工环节,重点把控施工活动的安全,对地面构筑物、地下管线及其他相关设施的细致测量标记,有效避免施工期间可能出现的各类安全隐患。在钻孔作业阶段,施工人员需从钻孔的方向和深度入手,要求孔径的大小与施工方案规定的预设值相同,以便在后续的注浆作业中,取得理想的钻进效果。其次,加强周围环境的严密监控。施工人员可设置多个监测站点,并重点监测地面隆起和地质位移等异常现象。如果在监测过程中发现任何安全隐患或异常情况,需立即暂停施工活动,直至找到引发问题原因并采取相应的纠正措施之后,才可以进一步推进。此外,在注浆作业之前,施工人员需先就注浆时间、注浆量、注浆压力等参数,严格按照既定的规范做好记录,每次注浆的时间、注浆量、注浆次数,以及每次注浆后水压的变化等关键数据,也需详细记录,以便于后续的工程验收评估。若在施工过程中,出现实际孔位与施工图纸不一致的情况。同样需要立即停止作业,并根据现场的实际情况,对施工图进行必要的调整。

(四) 实测结果与模拟数据

根据现场监测数据的反馈,桥桩沉降的实际测量值,通常会略低于模拟实验所预测的值。在桥桩 QD2-1 处,模拟实验得出的沉降预测值高达 7.42 毫米,而实际测量的最大沉降值为 7.29 毫米。在 3 号纵断面的桥墩沉降时程变化图中,监测点 QD3-3 的实测沉降值却达到 7.57 毫米,明显超过模拟实验的预测结果。由于对 QD3-3 处桩基进行注浆加固时,施工质量未能达到标准,所以所呈现出来的加固效果未达到人们的预期。

在深入对比现场的桥墩沉降数据可发现,所有监测到的桥墩沉降变形均在安全允许范围内。首先,预留核心土工法的使用,可有效降低施工对桥墩的潜在影响。其次,合理控制的开挖进尺,可更好地推进施工过程的顺利进行。最后,通过在桥桩底部和周围土层进行预注浆加固,并辅以袖阀管技术,可进一步增强桥墩的稳定性。同时,桥墩沉降实测值与计算值之间的对比,发现模拟数据计算模型在一定程度上具有保守性。为进一步优化计算模型,研究人员可从以下两个方面进行入手,进行分析:

其一,在本研究的计算模型建立过程中,对土层进行等效加权平均处理,在模拟隧道开挖时,选择左右两线隧道同断面下穿既有桥梁的工况,这种模拟方式放大施工对周围环境的潜在影响,所得到的模拟结果普遍偏大于实际测量值。

其二,在实际施工中,沿着隧道上半断面的开挖轮廓进行帷幕注浆加固,增强隧道顶部及其上方土层的稳定性,预防施工过程中的土层坍塌,并有效减轻周围土层在施工初期对砌体的压力。然而,在进行模拟实验时,并未考虑这一减少对桥梁影响的措施。所以,模拟实验的数据可能较实际监测值偏大。

结语

注浆加固技术及核心土法施工策略在暗挖隧道工程中的应用,为调控施工所引发的地层和桥梁变形提供有效的技术手段。通过深入的理论与实际监测的验证,这些方法在确保既有桥梁结构安全及暗挖隧道施工安全方面展现出显著的优势和实际可行性。展望未来,随着系列技术的不断进步和工程实践的积累,这些方法有望在更多类似项目中发挥举足轻重的作用,为后续的工程施工提供更加安全可靠的保障。

参考文献

[1] 李康庄. 地铁隧道暗挖施工对临近桥梁桩基础的影响及其控制研究 [D]. 兰州交通大学, 2020.
 [2] 刘畅. 隧道暗挖施工对临近桥梁桩基础的影响及加固措施研究 [J]. 建筑技术开发, 2019, 46 (04): 122-123.
 [3] 闫琪. 隧道暗挖施工对临近桥梁桩基础的影响及加固 [D]. 重庆交通大学, 2018.
 [4] 李泓桥. 隧道暗挖施工对临近桥梁桩基础的影响及加固措施探讨 [D]. 广州大学, 2016.
 [5] 贺小俐. 通一胡区间隧道暗挖施工对既有桥梁桩基础的变形影响规律 [D]. 西安科技大学, 2014.
 作者简介: 田久广, 男, 1976 年 8 月, 汉, 山东滕州, 大学, 高级工程师, 研究方向: 道路桥梁施工。