

涉河桥隧合建减沉施工技术应用研究

田絮男

沈阳市辽宁省城乡市政工程集团有限责任公司

DOI:10.32629/etd.v6i5.16912

[摘要] 为解决涉河桥隧合建工程中桥梁桩基施工对下部隧道结构的影响问题,研究提出基于“护筒优化+泥浆性能控制”的减沉施工技术。方案以某涉河桥梁工程为研究对象,通过优化4m深度护筒埋设工艺、建立泥浆性能与钻进参数协同控制体系,并配套全方位监测预警机制,实现桥隧合建区精细化施工。工程实践表明,采用技术方案后,地表最大沉降值为13.2mm,土体水平位移最大值为11.6mm,隧道结构变形最大值为8.5mm,各项指标均未超过预警值,且桩基工程质量全部达到设计要求,验证技术方案的可行性与有效性。

[关键词] 桥隧合建; 减沉施工技术; 结构变形

中图分类号: TV52 **文献标识码:** A

Research on the Application of Settlement Reduction Construction Technology in Combined Construction of River-crossing Bridges and Tunnels

Jia'nan Tian

Shenyang Liaoning Provincial Urban and Rural Municipal Engineering Group Co.,LTD

[Abstract] To address the impact of bridge pile foundation construction on the lower tunnel structure in river-crossing bridge-tunnel combined construction projects, a settlement reduction construction technical scheme based on "casing optimization + mud performance control" is proposed. The plan takes a certain river-crossing bridge project as the research object. By optimizing the 4-meter deep casing burial process, establishing a coordinated control system for mud performance and drilling parameters, and providing a comprehensive monitoring and early warning mechanism, it realizes the refined construction in the bridge-tunnel combined construction area. Engineering practice shows that after adopting the technical solution, the maximum surface settlement value is 13.2mm, the maximum horizontal displacement of the soil mass is 11.6mm, and the maximum deformation of the tunnel structure is 8.5mm. None of the indicators exceed the warning values, and the quality of the pile foundation engineering fully meets the design requirements, verifying the feasibility and effectiveness of the technical solution.

[Key words] Bridge and tunnel combined construction Settlement reduction construction technology; Structural deformation

引言

涉河桥隧合建工程是城市交通基础设施建设中的重要组成部分。不同于单一桥梁或隧道工程,此类交叉工程需同时考虑上部桥梁结构的施工质量和下部隧道结构的安全运营。特别是在软土地区,地下水位高、土体工程性质差,施工过程极易引发地层不均匀变形。为确保施工安全和结构稳定,需要采用专门的减沉施工技术,通过精细化的施工工艺和严格的过程控制,实现桥隧工程的协调建设^[1]。研究通过工程实践,系统探讨减沉施工技术在涉河桥隧合建工程中的应用方案。

1 工程概况

某涉河桥梁位于某市郊区,全长680m,其中涉河段长320m。桥梁跨越河道,桥下水域通航等级为IV级。桥梁上部结构采用预应力混凝土连续箱梁,最大跨径85m;下部结构采用钻孔灌注桩基础,桩径1.8m,最大桩长45m。桥梁与某城际铁路隧道在桥梁桩基区域交叉,隧道埋深约25m,为单线盾构隧道,外径6.5m。隧道穿越地层主要为第四系全新统冲积层,以粉质粘土、粉土为主,局部夹有粉细砂层。地下水位埋深2.8~4.2m,水位年变幅0.8m。

2 减沉施工技术设计

2.1 减沉施工工艺流程

研究工程减沉施工采用“护筒优化+泥浆性能控制”的综合施工工艺^[2]。具体情况如图1所示。

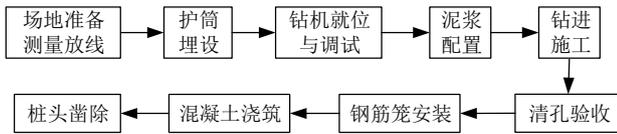


图1 减沉施工工艺流程

通过场地平整、测量放线确定桩位,采用加长护筒工艺,将护筒埋设深度由常规的2m增加至4m,并在护筒底部设置止水装置;进行钻机就位、垂直度调整,确保钻进过程中的垂直度偏差控制在1/300以内。为减小桩基施工对地层的扰动,在护筒周边设置 $\phi 108\text{mm}$ 跟踪检测管,间距2m,深度6m,用于实时监测土体位移。同时,在护筒四周设置 $\phi 50\text{mm}$ 注浆管,备用于异常情况下的快速加固处理。

钻进施工采用低速反复钻进工艺,泥浆配比优化为膨润土3.5%、羧甲基纤维素0.2%、水96.3%。钻进过程中严格控制钻进速度不超过0.8m/min,保持钻头静压力在85~95kN范围内。成孔后及时进行清孔,控制孔底沉渣厚度不超过5cm。钢筋笼安装采用整体吊装,混凝土浇筑使用导管法,控制浇筑速度在18~22m³/h,确保混凝土的连续性和充实度。

2.2 关键施工参数确定

根据研究工程特点及减沉技术要求,通过分析桥隧合建施工的关键影响因素,确定护筒埋设、钻进参数和泥浆性能三个方面的控制指标。护筒埋设参数的确定主要基于土压力平衡理论,通过计算不同深度的土压力分布规律,结合土体渗透性,确定4m的最优埋设深度。此深度不仅能有效阻隔地下水,还可在周边土体中形成稳定的应力拱,大幅降低桩基施工对深部土体的扰动。护筒直径较桩径放大20cm的设计,则为泥浆循环、沉渣沉降提供良好的空间条件。钻进参数和泥浆性能指标的确定充分考虑其协同作用。钻进速度与静压力的匹配关系直接影响土体扰动程度,通过控制转速在8~12r/min的低速范围,配合85~95kN的适中静压力,可以有效减小钻头切削对土体的扰动。同时,泥浆比重控制在1.25~1.35范围内,与18~22s的黏度指标相互配合,既能保证泥浆的携砂能力,又不会因比重过大而增加孔壁侧压。

2.3 施工监测方案

为实时掌握减沉施工效果,工程设置全方位的监测体系^[3]。监测内容包括地表沉降、土体位移、隧道结构变形及施工参数监控四个方面。地表沉降监测点布设于桩基施工影响范围内,采用水准测量方法,在桩位中心、护筒周边2m、4m、6m处各设置监测点,形成十字形布置。监测频率为每天两次,沉降速率超过2mm/d时加密至每4h一次。

土体位移监测采用多点位移计和测斜仪相结合的方式。在护筒周边布设 $\phi 108\text{mm}$ 跟踪检测管,深度6m,间距2m。采用测斜仪测量土体水平位移,监测频率为每天一次;多点位移计布设在地表下2m、4m、6m处,用于监测土体竖向位移,监测频率与地表沉

降同步。隧道结构变形监测主要针对管片错台、环缝开口和隧道断面变形,在施工影响范围内每10m布设一个监测断面,采用收敛测量方法,监测频率为每12h一次。

施工参数监控主要包括泥浆性能指标、钻进参数和混凝土浇筑参数的监测。泥浆性能每2h测试一次,重点监测比重、黏度、含砂率和失水量;钻进参数采用智能监控系统,实时记录钻进速度、静压力、转速等数据;混凝土浇筑过程中,监测导管埋深、浇筑速度和混凝土面上升高度。

2.4 应急预案制定

针对减沉施工过程中可能出现的风险,制定分级管控的应急预案^[4]。预案将风险等级分为三级:一级为临近预警值、工况正常;二级为达到预警值、需采取措施;三级为超过报警值、需立即停工。其中,地表沉降预警值为15mm,报警值为25mm;隧道结构变形预警值为12mm,报警值为20mm;土体水平位移预警值为18mm,报警值为30mm。

当监测指标达到一级预警时,增加监测频率,对施工参数进行优化调整。主要措施包括:降低钻进速度至0.5m/min以下,减小钻头静压力至75~85kN,增大泥浆比重至1.30~1.35,并对护筒周边土体进行注浆加固。当达到二级预警时,除采取一级预警措施外,还需增设防护措施,包括:在桩位周边加设 $\phi 50\text{mm}$ 注浆管,注入双液浆液进行地层加固;同时对隧道结构进行临时支护,必要时进行地面预加载。

当监测指标达到三级报警值时,立即启动应急响应:停止桩基施工,召开专题会议研究施工方案;对周边土体进行注浆加固,注浆压力控制在0.2~0.3MPa;加密支护隧道结构,采用钢支撑进行内部加固;待各项监测指标恢复正常,征得设计、监理等相关单位同意后方可恢复施工。同时,应急预案还规定各级别预警情况下相关单位的职责分工和联动机制,确保应急处置及时有效。

3 减沉施工技术应用与效果分析

3.1 工程实施过程

工程实施过程中,首先对施工人员进行专项技术交底,重点讲解减沉施工的工艺要点、参数控制标准和监测要求^[5]。成立专门的技术小组,负责现场技术指导和数据分析。在正式施工前,选取远离隧道的桩位进行试验性施工,通过试验优化护筒埋设工艺,调整泥浆配比,为后续施工积累经验。

施工过程采用分区、分序的施工策略,将施工区域划分为A、B、C三个区段,其中B区段位于隧道上方。为降低对隧道的影响,采用由两端向中间推进的施工顺序,即先完成A、C区段施工,最后实施B区段。在B区段施工时,采用跳跃式施工顺序,相邻桩基施工间隔不小于5天,确保前一根桩混凝土强度达到设计值的75%后,才能施工相邻桩基。

在实施过程中,针对不同区段的地质条件和隧道埋深,采取差异化的施工措施。A区段地层以粉质粘土为主,增大泥浆比重至1.32;C区段局部夹有粉细砂,采用较高的护筒,并在孔内注入膨润土浆液加固孔壁;B区段则采取最为严格的参数控制,钻进

速度控制在0.6m/min以下,每完成一个深度的钻进都进行复锤,以确保孔壁的稳定性。

3.2 监测数据分析

通过对施工全过程的监测数据进行统计分析,掌握减沉施工效果。见表1:

表1 减沉施工监测数据统计

监测项目	预警值	最大测值	平均值	标准差
地表沉降/mm	15	13.2	8.5	2.3
土体水平位移/mm	18	11.6	7.2	1.8
环向收敛/mm	12	8.5	5.6	1.4
垂向收敛/mm	12	7.8	5.1	1.3
管片错台/mm	8	5	3.2	0.9
环缝张开/mm	3	2.1	1.4	0.4

地表沉降监测数据显示,距离桩位2m处的最大沉降值出现在B区段,为13.2mm,小于15mm的预警值;沉降槽宽度主要分布在桩位周边6m范围内,与理论预测基本吻合。土体水平位移在4m深度处达到最大值,为11.6mm,随着深度增加逐渐减小,到8m深度时仅为3.2mm。

隧道结构变形监测结果表明,施工期间管片最大环向收敛为8.5mm,最大垂向收敛为7.8mm,均未超过预警值。管片错台测量结果显示,施工影响范围内的管片错台量普遍小于5mm,环缝最大张开值为2.1mm。各项监测数据均处于控制范围内,表明减沉施工技术取得良好效果。

施工参数监测数据表明,泥浆性能指标稳定,比重波动范围控制在±0.03内,黏度波动范围控制在±1.5s内。钻进参数控制良好,速度和静压力的波动性小,垂直度偏差最大值为1/320,优于规范要求。混凝土浇筑过程连续顺畅,导管理深始终保持在2.5m以上,有效确保桩身质量。

3.3 施工效果评估

通过对工程减沉施工技术应用效果的综合评估,技术方案取得理想的工程效果。从监测数据来看,各项指标均处于控制范围内:地表最大沉降值为预警值的88%,土体水平位移最大值为预警值的64.4%,隧道结构变形最大值为预警值的70.8%。位移发

展趋势平稳,未出现突变情况,表明施工过程受控。质量检测显示,桩身完整性检测10根桩均为I类桩,桩径检测偏差在设计允许范围内,混凝土强度达到设计要求,说明减沉施工未影响桩基工程质量。

工程减沉施工技术的成功应用,主要得益于以下几个方面:优化的护筒埋设深度有效控制地层扰动;泥浆性能指标的精细化管理确保孔壁稳定;分区分序施工策略降低累积效应;全方位的监测体系实现超前预警和及时处置。通过技术的实施,既保证桥梁桩基施工质量,又有效保护下部隧道结构,积累桥隧合建工程减沉施工的实践经验。

4 结论

研究通过对涉河桥隧合建减沉施工技术的研究与实践,得出以下主要结论:

(1)提出的护筒优化与泥浆性能控制相结合的减沉施工技术,可有效控制桩基施工对周围土体的扰动。4m深度的护筒埋设方案能够形成稳定的应力拱,降低深部土体变形;

(2)建立施工参数协同控制体系,实现钻进速度、静压力与泥浆性能的优化匹配;

(3)分区分序施工策略与全方位监测预警机制的配套应用,确保施工过程的可控性。

未来研究中,应进一步探索不同地质条件下减沉施工参数的优化方法,开发智能化监测控制系统,提高施工效率和安全性。

[参考文献]

[1]王天宝,张立锐.软土地区涉河桥隧合建减沉施工技术研究[J].科技创新与应用,2024,14(20):158-162.

[2]郝霖昊.软土地基减沉复合疏桩应用研究[J].江西建材,2023,(06):272-273+276.

[3]黄如碧.软土地基减沉复合疏桩设计工程实践[J].建材发展导向,2020,18(24):49-52.

[4]万朝栋.卵石地层盾构施工地层分层沉降特点及减沉技术[J].四川建筑,2021,41(01):123-125.

[5]奚灵智,高文杰,杨宇.软土地区地铁重叠下穿既有隧道减沉桩影响因素研究[J].科技通报,2021,37(08):94-99.

作者简介:

田黎男(1990-),男,汉族,本科,工程师,研究方向:道路桥隧。