

地铁施工对城市桥梁结构安全性的影响分析

陈武军

中国水利水电第七工程局有限公司 四川 成都 610000

摘要: 地铁施工作为城市地下空间开发的核心工程,其施工方法多样、过程复杂且环境特殊,易对周边城市桥梁结构安全性产生影响。本文分析地铁施工特点与桥梁结构特征,从施工振动、土体变形及地下水变化三方面探讨影响机制,介绍理论分析与数值分析方法,提出施工前预防、施工中控制及施工后维护等保障措施,为降低地铁施工对桥梁结构安全性的影响提供参考。

关键词: 地铁施工;桥梁结构;安全性影响;施工振动;土体变形

引言:随着城市化进程加快,地铁建设与城市桥梁的共存问题日益突出。地铁施工涉及多种方法,过程复杂且受地质、环境等因素制约,易引发土体变形、振动传播及地下水变化,进而威胁周边桥梁结构安全。桥梁作为城市交通的关键节点,其结构稳定性直接关系到公共安全。因此,深入分析地铁施工对桥梁结构的影响机制,提出科学合理的安全保障措施,对保障施工期间桥梁安全、维护城市交通功能具有重要意义。

1 地铁施工与城市桥梁结构的基本特征

1.1 地铁施工特点

1.1.1 施工方法多样性

地铁建设作为城市地下空间开发的核心工程,其施工方法呈现显著多样性特征。明挖法通过逐层开挖土体并构建支护体系实现结构施工,适用于地质条件稳定且周边环境开阔的区域;盖挖法则在开挖前设置临时顶板,形成对上部交通与环境的保护屏障,常见于城市繁华地段的地铁车站建设;盾构法借助机械化掘进设备完成隧道开挖与衬砌同步作业,在软土地层中展现出高效低扰动的优势;矿山法通过爆破或机械破碎岩体形成开挖空间,适用于地质条件复杂的山岭隧道或城市硬岩地层^[1]。不同施工方法的选择需综合考量地层岩性、地下水条件、周边建构筑物分布及施工工期等因素,形成针对具体工程场景的技术方案。

1.1.2 施工过程复杂性

地铁施工过程具有显著的阶段性特征。基坑开挖阶段需重点控制土体变形与支护结构稳定性,隧道掘进阶段需关注掘进参数与地层响应的动态匹配,结构回筑阶段则需确保混凝土浇筑质量与结构整体性。各阶段施工工序存在紧密的逻辑关联,例如基坑支护体系的强度发展需与土方开挖进度相协调,隧道衬砌的及时闭合对控制地表沉降具有关键作用。这种工序间的时空耦合关系

要求施工组织设计具备高度的系统性与前瞻性。

1.1.3 施工环境特殊性

地下施工环境呈现复杂多变的特性。地质条件方面,土层分布的非均质性、岩土体物理力学参数的离散性,以及地下水位波动对施工安全构成直接挑战;周边环境方面,既有建筑物的基础形式、地下管线的空间走向及使用功能,均需在施工前通过详细勘察予以明确。环境因素的动态变化要求施工过程具备实时监测与动态调整能力。

1.2 城市桥梁结构特征

1.2.1 桥梁类型与结构形式

城市桥梁类型丰富多样,梁式桥以梁体作为主要承重构件,结构简单、施工方便;拱式桥借助拱圈将荷载传递至桥墩,造型优美且跨越能力较强;悬索桥通过悬索承受荷载,能实现大跨度跨越;斜拉桥利用斜拉索将梁体荷载传递至索塔,兼具美观与实用性。不同类型桥梁结构组成各异,受力特点也不尽相同。

1.2.2 桥梁结构的关键部位

桥梁结构关键部位对整体稳定性起着决定性作用。桥墩、桥台、基础等下部结构承受桥梁上部荷载,并将其传递至地基,其强度与稳定性直接影响桥梁安全;梁体、拱肋、索塔等上部结构直接承受车辆、行人等荷载,是桥梁主要受力构件,设计时需充分考虑其承载能力与变形控制。

1.2.3 桥梁结构的力学性能

桥梁结构力学性能涵盖多个方面。静力性能包括强度、刚度、稳定性等,强度确保结构在荷载作用下不发生破坏,刚度保证结构变形在允许范围内,稳定性防止结构失稳倒塌。动力性能涉及自振特性、动力响应等,自振特性反映结构固有振动规律,动力响应则体现结构在动力荷载作用下的反应,对桥梁抗震、抗风等设计具

有重要意义。

2 地铁施工对城市桥梁结构安全性的影响机制

2.1 施工振动影响

地铁施工过程中,振动产生源于多方面因素。各类施工机械设备的运转是主要源头之一,打桩机在作业时,通过强大的冲击力将桩打入地下,这一过程会引发剧烈振动;挖掘机在挖掘土方时,铲斗与地面的碰撞以及机械自身的运动也会产生振动;盾构机在隧道掘进过程中,刀盘旋转切削土体以及推进系统的运作同样会产生持续振动^[2]。若施工涉及爆破作业,爆破瞬间产生的冲击波会以极快的速度向四周传播,形成强烈振动。振动在土体中的传播具有特定规律。其传播方式主要依靠土体颗粒间的相互作用,振动能量在土体中逐渐扩散。同时,振动在传播过程中会随着距离增加而衰减,衰减特性受土体性质、含水量等因素影响。振动从地铁施工区域向桥梁结构传递时,路径较为复杂,可能通过土体直接传导,也可能沿着地下管线等结构传播。振动对桥梁结构的作用效应显著。持续振动会使桥梁结构构件产生疲劳损伤,降低构件的承载能力。而且,振动可能引发桥梁结构产生振动响应,当振动频率与桥梁结构固有频率接近时,会导致结构共振,使结构受力急剧增大;在极端情况下,还可能引发桥梁结构动力失稳,威胁桥梁安全。

2.2 土体变形影响

地铁施工引发的土体变形呈现多样化形态。沉降变形中,均匀沉降导致桥梁整体下沉,但结构内力分布相对稳定;不均匀沉降则因基础各点沉降差异产生附加弯矩,可能引发结构开裂。水平位移方面,基坑开挖时土体侧向移动会挤压临近桥墩基础,隧道掘进导致的土层收缩或膨胀也会引起周边土体水平位移,这种位移可能改变基础受力状态。土体变形与桥梁结构的相互作用构成复杂力学系统。基础沉降或倾斜会破坏结构原有平衡状态,迫使上部结构通过变形协调重新分配内力,这种调整可能使某些构件承载力超限。对于连续梁桥,不均匀沉降会导致支座反力重分布,甚至出现支座脱空现象;对于拱桥,基础水平位移可能改变拱轴线形状,影响结构稳定性。土体变形对桥梁稳定性的影响具有潜在累积性。整体失稳可能表现为桥墩倾覆或结构滑移,局部失稳则体现为构件压屈或连接节点破坏。长期土体变形还会加速结构材料老化,降低耐久性,缩短使用寿命,尤其在腐蚀性环境中,变形引起的裂缝会成为介质侵入通道,加剧结构劣化进程。

2.3 地下水变化影响

地铁施工对地下水的扰动通过多种途径实现。基坑降水作业通过降低地下水水位形成降水漏斗,改变周边土体水分场分布;隧道掘进过程中,盾构密封失效或矿山法爆破可能破坏含水层结构,引发地下水渗漏。这些扰动会打破原有水土平衡状态,引发一系列连锁反应。地下水变化对桥梁结构的影响具有多层次性。地下水下降导致土体有效应力增加,引发基础附加沉降,这种沉降与施工荷载引起的沉降叠加,可能超出结构设计允许值。地下水渗漏携带的化学物质会侵蚀混凝土保护层,降低钢筋与混凝土的粘结性能,甚至导致钢筋锈蚀膨胀,引发结构开裂。土体物理力学性质的改变,如含水量降低导致的抗剪强度变化,会削弱土体对基础的约束作用,影响结构-土体共同工作性能。

3 地铁施工影响下城市桥梁结构安全性分析方法

3.1 理论分析方法

3.1.1 结构力学基本原理应用

在探究地铁施工对城市桥梁结构安全性的影响时,理论分析方法发挥着重要作用。结构力学基本原理的应用是基础且关键的环节^[3]。借助静力平衡方程,能够深入剖析桥梁结构在地铁施工所施加荷载作用下的内力分布与变形情况。通过精确计算,可明确各构件的受力状态,判断是否存在应力集中或过大变形等不利状况,为结构安全性评估提供重要依据。动力分析理论同样不可或缺,地铁施工过程中机械设备的振动会对桥梁结构产生动力响应。运用该理论,可深入研究振动频率、振幅等因素对桥梁结构的影响,分析结构在动力作用下的动态特性,预测可能出现的动力失稳等问题。

3.1.2 土与结构相互作用理论

土与结构相互作用理论也是理论分析的重要组成部分。在地铁施工环境下,土体与桥梁基础之间存在着复杂的相互作用关系。考虑这种相互作用,建立合理的计算模型至关重要。通过模型模拟,可清晰分析出土体变形如何传递至桥梁结构,进而影响结构的内力与变形。这种分析有助于更准确地把握地铁施工对桥梁结构安全性的影响机制,为采取有效的防护措施提供理论支持。

3.2 数值分析方法

3.2.1 有限元法基本原理

数值分析方法为深入研究地铁施工影响下城市桥梁结构安全性提供了强大的工具。有限元法基本原理是数值分析的核心基础。其离散化思想将复杂的桥梁结构分解为有限个简单单元,通过合理选择单元类型,可准确模拟结构的几何形状与力学特性。在处理边界条件时,需根据实际情况精确设定,以确保计算结果的准确性。同

时,采用合适的求解方法,可高效求解结构的力学响应。

3.2.2 数值模型建立

数值模型建立是数值分析的关键步骤。构建桥梁结构数值模型时,要综合考虑几何模型与材料模型等多方面因素。几何模型需精确反映桥梁的实际形状与尺寸,材料模型则要准确模拟材料的力学性能。对于地铁施工过程数值模拟,要详细考虑施工步骤与荷载变化情况,真实还原施工对桥梁结构的影响过程。

3.2.3 数值分析过程与结果处理

数值分析过程与结果处理同样不容忽视。在求解过程中,要严格控制计算参数,确保求解的收敛性^[4]。对计算结果进行提取与分析时,重点关注应力、应变、位移等参数的变化规律。通过深入分析这些参数,可全面评估地铁施工对桥梁结构安全性的影响程度,为工程决策提供科学依据。

4 保障地铁施工期间城市桥梁结构安全性的措施

4.1 施工前预防措施

施工前需做好充分准备,以降低地铁施工对桥梁结构安全性的潜在威胁。开展详细的地质勘察与桥梁结构检测工作必不可少。通过专业手段全面了解施工区域的地质条件,包括土层性质、地质构造、地下水位等情况,同时精准掌握桥梁结构的现状,如结构形式、构件损伤程度、承载能力等。这些信息为后续施工方案的制定提供了坚实基础,确保方案的科学性与合理性。合理设计并优化施工方案是关键环节。依据地质勘察与桥梁结构检测结果,结合工程实际需求,挑选适宜的施工方法与工艺。不同地质条件和桥梁结构对施工方法有不同要求,需综合考量多方面因素进行选择。同时,优化施工顺序与进度安排,尽量减少施工对桥梁结构的扰动时间和影响范围,降低施工风险。预加固措施能有效增强桥梁结构的稳定性。针对桥梁基础,可采用注浆加固、桩基加固等方式,提高基础的承载能力和抗变形能力。对于桥梁上部结构,根据实际情况进行必要的支撑与加固,确保在施工过程中能承受额外荷载,保持结构安全。

4.2 施工过程中控制措施

施工过程中的精准控制是保障桥梁结构安全的核心。建立完善的施工监测体系,对桥梁结构与周边土体进行实时监测。明确监测项目,如桥梁结构的位移、应力、应变以及土体的沉降、水平位移等,并确定合理的

监测频率,以便及时掌握结构与土体的动态变化情况,为施工调整提供数据支持。严格控制施工参数能有效降低施工对桥梁结构的不利影响。对地铁施工机械设备的振动参数进行严格把控,如振动频率、振幅等,避免因振动过大导致桥梁结构损伤。同时,控制基坑降水速度与地下水位变化幅度,防止因地下水位急剧变化引发土体失稳,进而影响桥梁结构安全。根据监测结果及时调整施工参数与工艺,若发现异常情况,必要时暂停施工,采取针对性措施解决问题。

4.3 施工后维护措施

施工结束后,对桥梁结构进行全面检测与评估,运用专业的检测设备和技术手段,精准测量桥梁各部位的变形、损伤情况,详细分析施工对桥梁结构造成的影响程度,形成全面且准确的评估报告,为后续维护提供坚实依据。制定长期的桥梁维护计划,根据评估结果确定维护重点和周期,定期进行检查与维修,及时发现并处理潜在问题^[5]。对于在检测中发现的轻微损伤,及时进行修复和加固;对于可能影响结构安全的隐患,组织专家进行论证,制定科学合理的处理方案。持续对桥梁结构进行监测,确保结构长期安全运行。

结束语

地铁施工对城市桥梁结构安全性的影响需通过多维度措施综合管控。施工前充分勘察与方案优化、施工中实时监测与参数调整、施工后全面评估与长期维护,形成全周期安全保障体系。通过科学分析与精准控制,可有效降低施工风险,确保桥梁结构在地铁建设期间及运营后的安全稳定,为城市可持续发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]成洪宇,李梦洲,郑茜.地铁施工对城市桥梁结构安全性的影响分析[J].工程技术研究,2025,10(9):36-38.
- [2]李璐,刘睿.交叉地铁隧道施工对市政主干道大桥结构安全影响评估[J].重庆建筑,2025,24(11):65-68.
- [3]纪彦飞.城市组合立交施工对既有地下结构的影响及保护研究[J].科技创新与应用,2025,15(9):156-159.
- [4]张波.地铁盾构近距离侧穿桥梁桩基变形影响研究[J].科技创新与应用,2023,13(28):75-79,84.
- [5]夏群山.盾构下穿既有高速铁路框构桥安全影响性研究[J].铁道工程学报,2021,38(6):82-86.