

桥梁工程加固改造设计探讨

唐 超

山西晋城公路规划勘察设计有限公司 山西 晋城 048000

摘 要：桥梁作为交通基础设施核心，其服役安全与效率对交通网络至关重要。本文围绕桥梁工程加固改造设计展开探讨，分析了加固改造的必要性。阐述了加固改造前的检测与评估体系。详细研究了桥梁上部、下部结构及附属设施的加固改造设计技术，明确各部位技术要点与设计要求。最后提出设计全流程质量控制措施，涉及基础数据、技术方案、文件规范及施工衔接管控。研究为桥梁加固改造设计提供系统参考，助力提升桥梁结构安全性、耐久性与功能性，适配交通发展与城市建设需求。

关键词：桥梁工程；加固改造设计技术；质量控制

引言：当前大量桥梁进入服役中后期，结构老化损伤问题凸显，同时货运增长、车辆大型化使既有桥梁荷载适配不足，规范迭代与城市发展也对桥梁提出新要求，加固改造成为必然。但桥梁加固改造设计涉及多环节，需科学体系支撑。本文以桥梁工程加固改造设计为研究对象，从必要性切入，梳理检测评估体系，深入分析各关键结构部位加固技术，提出质量控制措施，旨在为实际工程提供理论与技术指导，保障桥梁加固改造效果。

1 桥梁工程加固改造设计概述

1.1 桥梁工程加固改造的必要性

桥梁作为交通基础设施核心，其服役状态直接影响交通安全与效率，开展加固改造工作的必要性主要体现在以下三方面。（1）从结构自身看，大量桥梁进入服役中后期，老化与损伤问题突出。混凝土桥梁普遍存在碳化、钢筋锈蚀，导致构件强度下降、开裂风险增加；钢桥易因防腐涂层失效锈蚀，削弱整体承载能力；拱桥拱圈开裂、拱脚位移等病害，直接威胁结构稳定性，若不及时加固，可能引发坍塌等安全事故。（2）从交通需求看，当前货运量持续增长、车辆大型化趋势明显，既有桥梁设计荷载难以适配现行需求。部分桥梁因承载能力不足需限载限速，既制约区域经济发展，又会因长期超负荷运营加速结构损伤，形成“使用需求与结构安全”的矛盾。（3）从规范与功能看，桥梁设计规范不断迭代，既有桥梁在抗震、耐久性等方面不符合现行标准，存在合规性风险。同时城市发展对桥梁功能提出更高要求，如增设人行道、优化景观、提升通行效率等，通过加固改造可实现功能升级，更好适配城市发展需求。

1.2 桥梁加固改造设计的原则

桥梁加固改造设计要遵循以下科学原则。（1）安全性优先原则。以保障结构承载能力、稳定性为核心，确

保加固后桥梁能抵御荷载、地震等风险；（2）经济性与可行性平衡原则。在控制加固成本的同时，选择施工难度适中、技术成熟的方案，避免过度设计或施工障碍；（3）耐久性与可持续性原则。选用耐候性强的材料，兼顾结构后期维护便利性，符合绿色工程理念^[1]。

2 桥梁加固改造前的检测与评估体系

桥梁加固改造前的检测与评估是制定科学加固方案的核心前提，需通过系统化流程明确结构损伤程度与性能短板，主要包含以下三个关键环节。（1）在检测技术应用方面，结合桥梁结构类型与服役状态，选择适配的检测手段构建完整数据链。外观检测作为基础环节，重点排查结构表面裂缝、剥落、变形等可见损伤，初步判断病害分布与严重程度；无损检测则通过非破坏性技术深入获取内部质量信息，精准识别材料强度衰减、内部缺陷等隐性问题；必要时开展的荷载试验，可模拟实际受力状态，验证结构承载能力与刚度是否满足现行使用要求，为后续评估提供实测依据。（2）性能评估环节要围绕核心指标与科学方法展开。评估指标需覆盖承载能力、刚度、耐久性、抗震性能等关键维度，全面反映结构安全状态与使用能力；评估方法需结合规范要求与结构特性，通过规范法明确性能达标情况，借助数值分析方法深入解析结构受力机理，精准定位薄弱部位与性能瓶颈，为加固需求判断提供量化支撑。（3）检测评估报告作为成果输出，要遵循标准化编制要求，系统整理检测数据与分析结果，明确结构病害诊断结论、风险等级划分，同时提出针对性加固需求建议，确保报告兼具数据完整性、分析科学性与应用指导性，为后续加固改造设计提供直接依据^[2]。

3 桥梁各关键结构部位加固改造设计技术

3.1 桥梁上部结构加固改造设计技术

桥梁上部结构加固改造设计要结合以下结构类型的力学特性与损伤特征,选择适配的技术方案,确保加固后结构承载能力、刚度及耐久性满足现行规范要求。

(1)对于混凝土梁桥,常用加固技术的设计重点关注材料协同工作与受力传递路径优化。粘贴钢板或碳纤维布加固设计中,需通过计算确定材料选型(钢板厚度、碳纤维布层数)、粘贴范围及锚固方式,确保加固材料与原梁体形成整体受力体系,同时验算界面粘结强度,避免出现剥离破坏;增大截面加固设计需明确新增混凝土强度等级、钢筋配置方案,考虑新旧混凝土结合面的处理工艺(如凿毛、植筋),保证新旧结构协同受力;体外预应力加固设计则需合理布置预应力束(如直线型、曲线型),计算张拉控制应力与锚固端承载力,兼顾结构变形控制与预应力损失补偿。(2)钢桥上部结构加固设计要以钢材力学性能与损伤修复为核心。构件补强设计中,针对钢板厚度不足或局部损伤,要通过强度验算确定补强钢板的尺寸与焊接工艺,确保焊缝强度不低于母材强度;节点加固设计需重点分析节点受力状态(如受拉、受压、受弯),优化节点构造(如增设加劲肋、改善焊缝形式),避免应力集中;防腐加固设计需结合钢材锈蚀程度,选择适配的防腐涂层体系(如环氧富锌底漆、聚氨酯面漆),明确涂层厚度与施工工艺,同时考虑后期维护周期,提升结构耐久性。(3)拱桥上部结构加固设计要围绕拱结构受力平衡与稳定性控制展开。拱圈加固设计中,针对拱圈开裂或强度不足,可采用外包混凝土或粘贴纤维复合材料的方案,设计时需验算拱圈截面承载力与整体稳定性,确保加固后拱结构受力符合拱式结构力学特性;增设拱肋或拉杆加固设计需计算新增构件的截面尺寸与受力分配,保证新增构件与原拱结构协同工作,避免局部应力过载,同时需考虑拱脚位移控制,防止加固过程中结构变形失衡。

3.2 桥梁下部结构加固改造设计技术

桥梁下部结构加固改造设计要结合地质条件、损伤类型(如开裂、倾斜、冲刷),针对性提升结构承载能力、抗变形能力与抗冲刷能力,保障桥梁整体稳定性,具体如下:(1)桥墩加固设计要根据桥墩结构形式(如圆柱式、矩形、空心墩)与损伤程度选择技术方案。外包钢筋混凝土加固设计中,需确定外包混凝土厚度、钢筋配置(纵向钢筋与箍筋),验算加固后桥墩的轴心抗压、偏心抗压承载力及抗剪承载力,同时考虑新旧混凝土结合面的处理措施,确保整体受力性能;粘贴纤维复合材料加固设计适用于桥墩局部开裂或承载力不足的情况,设计时需根据裂缝分布确定材料粘贴范围与层数,

计算界面粘结强度,避免复合材料与墩身剥离;植筋加固设计主要用于桥墩扩大截面或连接新增构件,需确定植筋深度、直径与间距,验算植筋锚固承载力,确保植筋与原结构可靠连接。(2)桥台加固设计要重点解决桥台沉降、台背填土压实不足及桥台自身强度不足等问题。桥台增设锚杆或锚索加固设计中,根据桥台受力状态(如水平推力、竖向荷载)确定锚杆/锚索的数量、长度与张拉控制应力,验算锚杆/锚索的锚固力与桥台抗滑稳定性;台背注浆加固设计适用于台背填土密实度不足的情况,设计时需确定注浆材料(如水泥浆、水泥砂浆)、注浆压力与注浆孔布置,通过注浆提升台背填土密实度,减少填土沉降对桥台的影响;桥台扩大基础加固设计需根据地基承载力不足的程度,确定基础扩大尺寸与混凝土强度等级,验算扩大后基础的地基承载力与沉降量,确保满足上部结构荷载传递要求。(3)基础加固设计要结合基础类型与地质条件,针对性提升地基承载力与基础抗损伤能力。桩基础加固设计中,针对桩身开裂或承载力不足,可采用桩身外包混凝土或粘贴钢板的方案,设计时需验算加固后桩的竖向抗压、抗拔承载力及水平承载力,同时考虑桩与承台连接节点的可靠性;扩大基础加固设计适用于基础面积不足或地基承载力不足的情况,需确定基础扩大范围与新增混凝土强度等级,验算扩大后基础的基底应力与沉降量,确保地基受力均匀;注浆加固设计适用于基础周围地基土松散或存在空洞的情况,需确定注浆材料、注浆压力与注浆孔布置,通过注浆改善地基土物理力学性能,提升地基承载力,减少基础沉降^[3]。

3.3 桥梁附属设施加固改造设计

桥梁附属设施加固改造设计要结合现行规范要求与使用需求,提升设施的功能性、安全性与耐久性,确保与桥梁主体结构协同工作,具体如下:(1)桥面系改造设计要围绕通行舒适性、耐久性与排水功能展开。桥面铺装改造设计中,根据原铺装层损伤类型(如裂缝、剥落、车辙)选择新铺装材料(如沥青混凝土、水泥混凝土、钢纤维混凝土),确定铺装层厚度与结构形式(如单层、双层),验算铺装层与桥面板的粘结强度,同时考虑防水层的设置(如改性沥青防水层、高分子卷材防水层),防止桥面水渗入桥面板;伸缩缝更换改造设计需根据桥梁伸缩量选择适配的伸缩缝类型(如模数式、梳齿式、橡胶式),确定伸缩缝安装位置、锚固方式与密封措施,验算伸缩缝的承载能力与伸缩性能,确保满足桥梁温度变形与荷载变形需求;排水系统优化设计需根据桥面坡度与汇水量,确定排水孔布置(数量、间

距、位置)与排水管直径,设计排水路径,避免桥面积水对铺装层、桥面板及下部结构的侵蚀。(2)护栏与防撞设施加固设计要严格遵循现行交通安全规范,提升设施的防撞等级与防护能力。护栏加固设计中,需根据桥梁所在道路等级确定护栏防撞等级,选择护栏类型(如波形梁护栏、混凝土护栏、钢护栏),验算护栏的横向承载力、抗倾覆稳定性与变形能力,确保护栏能有效阻挡失控车辆,减少事故损失;防撞墩/防撞栏加固设计适用于桥梁通航孔或临近道路的部位,需确定防撞设施的截面尺寸、材料强度(如钢筋混凝土、钢结构)与布置方式,验算防撞设施的抗撞击承载力与吸能性能,确保能抵御船舶或车辆的撞击力,保护桥梁主体结构。(3)照明与监控系统升级设计要结合桥梁运营需求与安全管理要求,提升桥梁夜间通行安全性与结构健康监测能力。照明系统升级设计中,需根据桥梁长度、宽度与通行类型(机动车、非机动车、行人)确定照明灯具类型(如LED灯、高压钠灯)、布置间距与安装高度,计算路面平均照度、照度均匀度与眩光控制指标,确保满足夜间通行视觉需求;结构健康监测系统设计需根据桥梁重要性等级,确定监测指标(如位移、应力、应变、振动频率、温度),选择监测设备,设计设备安装位置与数据传输路径,建立数据处理与预警机制,实现对桥梁结构状态的实时监测与异常预警,为后期维护提供数据支撑^[4]。

4 桥梁工程加固改造设计中的质量控制

桥梁工程加固改造设计的质量控制要贯穿设计全流程,通过以下多维度管控确保方案科学可行。(1)设计源头的基础数据管控。需以加固前检测评估报告为核心依据,严格核验检测数据的完整性与准确性,确保设计参数(如结构损伤程度、材料性能指标、地基承载力等)与实际工况一致,避免因基础数据偏差导致设计方案脱离实际,影响加固效果。(2)技术方案的适配性控制。需结合桥梁结构类型、服役环境及加固目标,对选用的加固技术(如粘贴纤维复合材料、体外预应力等)

进行技术可行性论证,重点核查技术方案与原结构受力特性的匹配度,以及材料选型的耐久性、兼容性,确保方案在满足安全要求的同时,具备施工可操作性。(3)设计文件的规范性控制。设计文件需严格遵循现行桥梁设计、加固相关规范,明确技术参数、施工要求、质量验收标准等核心内容,确保图纸标注清晰、计算书完整准确,同时加强设计文件内部审核与跨专业协同(如结构与材料专业衔接),避免因设计疏漏导致施工偏差。

(4)设计与施工的衔接控制。需在设计阶段预留施工适配空间,针对关键工序(如新旧结构结合、预应力张拉)提出明确的质量控制要求与技术交底要点,同时建立设计变更管理机制,确保施工中因实际情况调整设计时,变更方案经过合规性论证,避免随意变更影响整体质量。

结束语:桥梁工程加固改造设计要综合考量多方面因素,从明确必要性出发,依托系统的检测评估体系,针对上部、下部结构及附属设施选择适配加固技术,并通过全流程质量控制确保设计科学可行。本文构建的设计研究框架,为解决桥梁老化、荷载适配及功能升级问题提供了思路。未来可结合智能建造、新型材料等技术,进一步优化加固设计方案,提升桥梁加固改造的智能化与绿色化水平。

参考文献

- [1]高飞.道路桥梁工程中的旧桥加固改造技术研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(3):053-056.
- [2]王彬.在役桥梁加固改造设计[J].山东交通科技,2021(4):51-53.
- [3]陈红霞.既有桥梁改造加固方案设计[J].江苏科技信息,2023,40(30):77-80.
- [4]张梦昭.既有桥梁加固改造方案设计与施工技术研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(1):146-149.