

市政老旧桥梁加固改造技术及承载力提升策略分析

邹 明

中龙茂林建设集团有限公司 江西 赣州 341000

摘 要: 本文聚焦市政老旧桥梁普遍存在的结构病害与承载力衰减问题,系统剖析表层、构件及整体性能三类典型病害,阐明环境、荷载、设计施工等因素对承载力的影响机理。梳理传统与新型轻量化加固核心技术,对比各类技术的优劣与适用场景,从精准检测评估、构件补强、整体协同优化及经济安全平衡维度,提出系统化承载力提升策略,可为老旧桥梁加固改造工程提供技术参考。

关键词: 市政老旧桥梁;加固改造技术;承载力;提升策略

引言:市政桥梁是城市交通路网的核心基础设施,大量服役多年的老旧桥梁受自然侵蚀、长期交通荷载及早期建设标准限制影响,普遍出现病害频发、承载力衰减、稳定性下降等问题,存在极大通行安全隐患。为保障城市交通平稳运行、延长桥梁服役寿命,亟需科学开展加固改造工作。基于此,本文深入分析老旧桥梁病害与承载力衰减规律,探究各类加固技术,优化承载力提升策略,助力桥梁工程提质增效。

1 市政老旧桥梁常见病害及承载力衰减机理分析

1.1 市政老旧桥梁典型病害类型

①结构表层病害。作为桥梁最基础的病害类型,主要包含混凝土碳化、开裂、剥落及钢筋锈蚀等问题。长期自然环境作用下,混凝土表层与空气中二氧化碳反应发生碳化,破坏保护层防护性能,同时桥面、墩身易出现网状、纵向细微裂缝,伴随雨水冲刷、风化作用,表层混凝土逐渐疏松剥落,直接暴露内部钢筋,为结构损伤埋下隐患。②构件损伤病害。集中于桥梁核心承重与衔接构件,涵盖主梁、桥墩、桥台、支座、伸缩缝的破损与老化。主梁易出现挠曲、裂缝扩展,桥墩、桥台存在局部破损、蜂窝麻面等缺陷;支座长期受压易出现老化、变形、脱空,伸缩缝因杂物堵塞、反复伸缩出现破坏失效,直接影响桥梁构件正常工作性能^[1]。③整体性能病害。表现为桥梁整体服役性能退化,主要包括结构刚度下降、整体变形超标、墩台沉降错位、桥面防水系统失效等。此类病害会打破桥梁结构受力平衡,降低整体稳定性,是桥梁服役安全隐患的核心诱因。

1.2 桥梁承载力衰减主要影响因素

①外部环境因素。温湿度交替变化、雨水长期渗透侵蚀、季节性冻融循环、土壤及空气中酸碱介质腐蚀,会持续侵蚀桥梁混凝土与钢筋结构,日积月累造成材料性能退化,逐步削弱结构承载基础。②荷载作用因素。

城市交通长期动载反复冲击、超限超载车辆频繁通行,使桥梁结构长期处于疲劳受力状态,引发内部微裂缝持续扩展,造成结构疲劳损伤,逐步降低构件承载极限。③设计与施工因素。老旧桥梁沿用偏低的旧设计规范,结构安全储备不足;早期施工工艺有限,存在隐蔽施工缺陷,加之长期运维养护缺失、病害处置不及时,加速承载力衰减。

1.3 承载力衰减机理与病害关联规律

①钢筋锈蚀会大幅降低钢筋抗拉强度,混凝土开裂、剥落会削弱结构抗压、抗剪性能,双向弱化构件基础承载能力。②支座老化失效、结构不均匀变形会改变桥梁原始受力体系,引发各构件受力不均,破坏结构协同工作机制,导致整体承载能力持续下降。③多种病害相互耦合、叠加演化,形成恶性循环,使桥梁承载力呈现逐级、加速衰减的特征,大幅缩短桥梁服役寿命。

2 市政老旧桥梁主流加固改造核心技术研究

2.1 传统加固改造技术及优化应用

①增大截面加固技术。该技术核心原理为通过在桥梁主梁、墩柱等构件外侧增设钢筋混凝土层,扩大构件截面尺寸,提升结构抗弯、抗压承载力与整体刚度。其适用于构件截面偏小、承载力不足、表层破损严重的老旧桥梁构件加固。施工核心优化重点为新旧结构结合面处理,需对旧混凝土表面凿毛、清理浮渣、涂刷界面剂,并布设拉结钢筋,消除结合面空鼓、脱层问题,保障新旧混凝土协同受力。②粘贴钢板加固技术。该技术是将改性环氧树脂胶作为粘结材料,将钢板粘贴于构件受拉、受剪区域,利用钢板高强度特性弥补结构受力短板。施工关键点为基层打磨平整、胶粘剂配比精准、钢板加压固定,确保粘结密实。该技术可快速提升构件承载能力,施工中需做好钢板除锈、防腐涂装处理,避免后期钢板锈蚀失效,保障加固结构长期稳定性^[2]。③外

包混凝土加固技术。主要针对桥梁墩柱、桥台等竖向承重构件开展加固施工,通过在构件外围浇筑高性能混凝土,包裹原有结构,强化竖向承载与抗冲击能力。施工流程包含基层处理、钢筋绑扎、模板支护、分层浇筑、养护成型等工序,质量控制需严格把控混凝土坍落度、浇筑厚度及养护周期,杜绝裂缝、蜂窝等施工缺陷。

2.2 新型轻量化加固技术应用

①碳纤维布(FRP)加固技术。该材料具备轻质高强、耐腐蚀、抗疲劳的优良特性,适配各类桥梁构件加固施工。施工工艺简单便捷,经基层找平、底胶涂刷、贴片粘贴、表层防护等步骤即可完成。相较于传统工艺,其可显著提升构件抗弯、抗剪承载力,且不会增加结构自重,适配老旧桥梁轻量化、低扰动的加固改造需求。②体外预应力加固技术。该技术通过在梁体外部布设预应力钢束,通过张拉作业施加预压应力,主动优化桥梁结构内力分布,抵消车辆荷载产生的拉应力,有效抑制梁体下挠变形,遏制结构裂缝扩展。该技术可精准调控结构受力状态,对原有结构损伤小,适用于大跨度老旧桥梁的刚度与承载力修复。③UHPC超高性能混凝土加固技术。该材料拥有超高强度、高韧性、高耐久性、抗渗透优势,远超普通混凝土。主要应用于桥梁表层破损修复、构件加厚加固、桥面病害整治等场景,可有效修复混凝土剥落、碳化、冻融损伤问题,提升结构抗腐蚀、抗疲劳性能,延长桥梁服役年限^[3]。

2.3 结构体系优化改造技术

①改变受力体系加固法。通过优化桥梁整体受力结构实现加固,常见方式为将简支梁体系改造为连续梁体系,弱化梁体端部集中受力问题;通过增设辅助墩、支撑构件,缩减主梁跨径,分散结构荷载,大幅提升桥梁整体承载与稳定性能。②支座与伸缩缝更换改造。针对老旧桥梁支座老化、脱空及伸缩缝堵塞、破损问题,更换适配规格的高性能支座与伸缩缝,可优化桥梁荷载传递路径,修正构件受力不均、局部应力集中缺陷,保障结构变形协调,恢复桥梁正常伸缩与承载功能。③桥面系整体改造。通过加厚桥面铺装层、重构桥面防水体系、修复桥面破损区域,提升桥面整体整体性与稳定性。完善的防水体系可杜绝雨水渗透侵蚀内部构件,减少结构腐蚀病害,从整体上强化桥梁协同承载能力。

2.4 各类加固技术优缺点及适用场景对比

①传统与新型加固技术对比。传统加固技术工艺成熟、造价较低、加固稳定性强,但存在施工周期长、结构自重增加大、对交通影响明显的短板。新型轻量化加固技术施工便捷、工期短、结构扰动小、加固效果优

异,但材料与施工成本相对较高,对施工工艺精度要求严苛。②加固技术选型原则。需结合桥梁实际病害类型、结构形式、服役环境及使用需求综合选型。针对墩柱、桥台重度破损可选用外包混凝土、增大截面技术;针对梁体抗弯抗剪不足优先采用碳纤维布、体外预应力技术;针对整体受力缺陷,优先采用结构体系优化技术,实现精准高效加固。

3 市政老旧桥梁承载力提升优化策略

3.1 基于病害检测的精准承载力评估策略

①桥梁现场无损检测、荷载试验流程与数据采集方法。老旧桥梁承载力优化的前提是精准掌握结构实际服役状态,现阶段市政桥梁检测以无损检测技术为核心,规避检测作业对原有结构造成二次损伤。现场检测主要包含混凝土回弹检测、超声波探伤、钢筋锈蚀检测、结构厚度检测等手段,全面排查混凝土碳化、内部裂缝、钢筋损伤等隐蔽病害。荷载试验分为静载试验与动载试验,通过分级施加标准荷载,采集桥梁主梁挠度、构件应变、结构振动频率等核心数据,严格遵循标准化试验流程,保证采集数据真实、精准、有效,为后续承载力计算提供数据支撑。②结合现行规范的剩余承载力计算与安全等级评定方法。检测完成后,需依据现行市政桥梁设计与加固规范,结合桥梁结构形式、材料老化系数、病害损伤程度,对主梁、墩柱、支座等核心构件的剩余抗拉、抗压、抗剪承载力进行精细化计算。同时综合结构变形值、病害发展速率、交通通行荷载标准,对照桥梁安全等级评定标准,完成桥梁整体安全等级划分,明确结构现存安全隐患与服役风险等级^[4]。③基于检测结果的承载力短板精准定位,为加固方案提供依据。通过检测数据与承载力计算结果对比分析,精准识别桥梁局部薄弱构件、受力缺陷区域以及承载力衰减严重部位,明确桥梁承载力不足的核心成因,区分表层病害、构件损伤、整体受力失衡等不同问题的影响权重。以此为基础,摒弃传统笼统化的加固方式,为定制化、精准化的承载力提升加固方案提供核心数据与理论依据。

3.2 针对性构件承载力提升策略

①受弯构件(主梁)承载力提升。主梁作为桥梁核心受弯构件,长期荷载作用下易出现下挠、裂缝扩展、抗弯刚度不足等问题。针对此类病害,优先采用碳纤维布加固与体外预应力加固技术,碳纤维布可贴合梁体受拉区域,快速提升构件抗弯强度且不增加结构自重;体外预应力加固可主动抵消弯曲拉应力,抑制梁体变形与裂缝发展,从根本上优化主梁抗弯性能,提升疲劳承载能力。②受剪构件(墩柱、桥台)承载力提升。墩柱、

桥台主要承担竖向压力与水平剪力,是桥梁竖向承重核心构件,老化后易出现抗剪不足、局部破损等问题。工程中多采用粘贴外包钢、增大截面加固技术,通过增设钢结构或加厚混凝土截面,提升构件截面抗剪面积与结构刚度,约束混凝土变形,有效强化墩柱、桥台的抗剪、抗压及抗冲击性能,保障竖向承载体系稳定。③附属构件承载力优化。支座、伸缩缝、防水体系虽非主要承重构件,但直接影响桥梁整体协同受力效果。针对老旧桥梁支座老化脱空、伸缩缝堵塞失效、防水层破损渗漏等问题,开展配套更新改造,更换高性能耐磨支座与新型伸缩缝,重构整体防水体系,有效优化荷载传递效果,避免附属构件失效引发的主体结构次生病害,提升桥梁整体协同服役性能。

3.3 桥梁整体协同承载优化策略

①优化结构受力传递路径,消除局部应力集中问题。老旧桥梁长期服役后易出现受力路径紊乱、局部应力集中等问题,需通过结构体系微调、构件加固补强等方式,调整桥梁整体受力分布状态,疏导局部集中应力,让各构件受力均匀、分配合理,彻底改善局部构件超负荷受力、闲置构件性能浪费的问题。②把控新旧结构协同受力性能,减少应变差、提升整体稳定性。桥梁加固改造会形成新旧复合结构,二者材料性能、受力变形特性存在差异,易产生应变差导致二次损伤。施工中需强化结合面处理,优化施工工艺,保证新旧结构紧密结合、同步变形、协同受力,消除结构分层、脱空等隐患,全面提升桥梁整体结构稳定性。③兼顾加固改造后的抗震、耐久性能,实现综合性能提升。承载力优化不能仅关注瞬时承载能力,需兼顾桥梁长期服役性能。在加固设计中同步优化结构抗震构造,提升结构韧性与抗变形能力,同时依托高耐久材料修复结构腐蚀损伤,提升桥梁抗冻融、抗渗透、抗老化性能,实现承载力、抗震性、耐久性的综合提升^[5]。

3.4 承载力提升方案经济性与安全性平衡策略

①不同加固方案的成本、工期、运维成本对比分

析。各类加固技术适配场景与综合效益差异显著,传统增大截面、外包混凝土技术造价低廉、稳定性高,但工期长、后期运维成本偏高;碳纤维布、预应力等新型技术施工速度快、结构扰动小,但前期材料与施工成本较高。需全面对比各方案的施工成本、工期周期、交通影响及长期运维费用,量化综合效益。②建立安全优先、经济适配的加固方案优选体系。桥梁加固改造需坚守安全底线,以结构安全、服役稳定为核心前提,结合桥梁病害程度、结构重要性、城市交通需求,构建科学化方案优选体系。对重点交通桥梁优先选用高安全性、高耐久性加固方案;对次要市政桥梁,在满足安全规范的前提下优选低成本、易运维的方案,实现安全性与经济性的最优平衡。

结束语

本文全面分析了市政老旧桥梁的病害类型、承载力衰减机理及病害耦合规律,整合传统与新型加固改造技术,结合桥梁服役实际,构建了精准评估、构件补强、整体优化、兼顾经济安全的承载力提升体系。研究明确了不同加固技术的适配场景与选型原则,可有效解决老旧桥梁承载不足、性能退化问题,对提升桥梁服役安全性、耐久性,推动市政桥梁精细化养护改造具有重要实践意义。

参考文献

- [1]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.
- [2]王海龙.铁路桥梁支座常见病害分析与改造方法研究[J].南方农机,2024,49(18):134-139.
- [3]石秋君.既有铁路桥梁支座病害分析及改造方法[J].铁道建筑,2023,57(10):122-125.
- [4]郑宗鹤,樊聪镐.既有桥梁结构承载力检测及评估研究[J].科学技术创新,2022,8(14):62-65.
- [5]王龙如.基于FRP加固技术的既有桥梁承载力提升评估[J].市政工程,2025,31(5):224-227.