

# 老旧土木工程基础设施的加固改造技术及长期性能评估

李永, 张清贵

山东三阳项目管理有限公司, 山东 济南 250101

DOI: 10.61369/ETQM.12225

**摘 要 :** 本文聚焦老旧土木工程基础设施的加固改造技术及长期性能评估。通过收集原始资料、实地检查与无损检测等进行现状调查, 依据规范对比参数、采用数值模拟等评估风险。加固改造需遵循安全性等原则, 根据结构类型、损伤、使用要求、经济与施工条件综合选择加固技术。长期性能评估构建涵盖结构安全性、耐久性、使用功能的指标体系, 采用基于力学分析与监测数据的方法, 通过合理布置传感器监测、科学分析数据, 依据评估结果为结构维护等决策提供支撑。

**关 键 词 :** 老旧土木工程基础设施; 加固改造技术; 长期性能评估

## Reinforcement and Renovation Technology and Long-term Performance Evaluation of Old Civil Engineering Infrastructure

Li Yong, Zhang Qinggui

Shandong Sanyang Project Management Co., Ltd. Jinan, Shandong 250101

**Abstract:** This article focuses on the reinforcement and renovation technology and long-term performance evaluation of old civil engineering infrastructure. The current situation is investigated through collecting original data, field inspection, and non-destructive testing, and the risks are evaluated based on normative comparison parameters and numerical simulation. Reinforcement and renovation should follow principles such as safety, and the reinforcement technology should be comprehensively selected based on structural type, damage, use requirements, economic and construction conditions. The long-term performance evaluation constructs an indicator system covering structural safety, durability, and usage functions. It adopts methods based on mechanical analysis and monitoring data, monitors through reasonable sensor arrangement, scientifically analyzes data, and provides support for decision-making such as structural maintenance based on evaluation results.

**Keywords:** old civil engineering infrastructure; reinforcement and renovation technology; long-term performance evaluation

老旧土木工程基础设施服役时间长, 远超初始设计基准年限, 在自然因素如温差、酸雨、地质变化, 以及使用因素如荷载增加、高频使用的双重作用下, 老化现象日益严重。结构性能的衰退不仅威胁着人民群众的生命财产安全, 导致安全事故频发, 还造成了巨大的经济损失。无论是修复重建的直接成本, 还是交通中断、生产停滞带来的间接损失都不容小觑, 同时也对城市的正常运转与居民生活质量产生了负面影响。深入探究老旧土木工程基础设施的加固改造技术, 构建科学有效的长期性能评估体系, 已成为保障基础设施持续安全运行、推动社会经济稳定发展的迫切需求。

## 一、老旧土木工程基础设施现状分析

### (一) 分类与特点

交通基础设施领域有早期建成的公路、铁路桥梁、隧道以及使用多年的城市道路, 它们构建起区域间人员与物资流通的脉络。水利基础设施方面, 运行多年的大坝、水闸以及各类灌溉渠道在水资源调节、防洪抗旱、保障农业灌溉与城乡供水方面发挥着不可替代的作用。建筑结构领域, 建成时间久远的工业与民用建筑, 随着使用年限增加面临结构性能衰退问题, 结构安全性在长期的风雨侵蚀下备受考验。这些老旧土木工程基础设施服役时间普遍较长, 许多设施已投入使用数十年甚至更久, 远远超出初

始设计的基准使用年限。建筑行业近些年的发展速度飞快, 人们非常重视新建工程, 对于修缮和基础设施改造的重视程度较低。实际上很多城市都有大量的老旧建筑需要进行修缮, 有些项目是已经上报但是没来得及修缮, 有些是破损程度严重但是仍然还在继续使用, 房屋的这些老化、破损等问题也会随着时间的推移变得愈发严重<sup>[1]</sup>。

### (二) 老化原因

自然因素与使用因素共同促使老旧土木工程基础设施老化。自然因素方面, 昼夜温差大易使混凝土结构产生热胀冷缩裂缝, 酸雨加速混凝土和钢材腐蚀; 部分基础设施所在地区地质条件可能发生改变, 像地基沉降、土壤侵蚀等会对基础结构施加额外应

力,影响整体稳定性。使用因素层面,随着社会发展,交通流量增加、建筑物使用功能改变致使实际作用在基础设施上的荷载不断上升,现代重型车辆增多使得早期设计的公路桥梁承受远超预期的荷载;而且交通繁忙地段的桥梁、道路以及人流密集建筑,长期高频率使用加速了结构的疲劳损伤<sup>[2]</sup>。

### (三) 危害与影响

老化的老旧土木工程基础设施结构性能下降,极易引发安全事故,严重威胁人民群众生命财产安全。基础设施损坏后,不仅修复或重建需耗费大量资金,交通中断、生产停滞等还会造成间接经济损失。老旧基础设施性能下降同样影响城市正常运转与居民生活质量,城市供水管道老化破裂导致停水事故频发,给居民生活带来极大不便,老旧道路拥堵、通行条件差,降低居民出行效率,影响城市形象<sup>[3]</sup>。

## 二、加固改造技术体系

### (一) 加固改造原则与目标

加固改造老旧土木工程基础设施需遵循安全性、经济性、可操作性以及耐久性原则。加固设计严格依照相关结构设计规范,全面且精准分析结构受力,确保加固后基础设施具备足够承载能力与稳定性。在满足安全前提下合理选用加固材料与施工工艺,对比不同方案的材料、施工及后续维护费用,规避过度设计与不必要浪费。加固技术要便于施工,充分结合施工现场实际条件与施工人员技术水平。选择耐久性佳的加固材料,并采取有效防护措施,防止后续快速老化损坏。

加固改造目标包括恢复结构性能,即对因自然灾害或长期使用而性能下降的土木工程设施,通过加固措施修复结构损伤,使其恢复到原有设计的承载能力与使用功能<sup>[4]</sup>。针对老旧基础设施设计标准低、材料性能劣化产生的安全隐患,通过加固提升其抗震、抗风、抗超载等能力。根据结构现状与使用环境,合理预测加固改造后结构的使用寿命,并运用相应技术手段保障其在延长的服役期限内可靠运行。

### (二) 传统加固改造技术

传统加固改造技术中,增大截面加固法通过在混凝土结构梁、板、柱等构件表面浇筑新混凝土并配置钢筋,增加原结构构件截面面积,使新旧混凝土协同工作,进而提高构件抗弯、抗压、抗剪等能力,广泛应用于各类混凝土结构加固。置换混凝土加固法是将原结构中损坏或性能不符合要求的混凝土剔除,重新浇筑强度更高、耐久性更好的混凝土以恢复结构性能,常用于桥梁、建筑物等混凝土结构局部严重缺陷如蜂窝、孔洞、强度严重不足部位的修复加固,能有效去除结构病害部分,恢复完整性与承载能力<sup>[5]</sup>。粘贴钢板加固法采用建筑结构胶将钢板粘贴在混凝土结构表面,使钢板与混凝土共同受力,承担部分荷载,增强结构抗弯、抗剪性能,常用于混凝土梁、板、柱构件加固以及对空间要求高、不允许增大结构截面尺寸的工程,施工工艺简单、速度快,对结构外观和使用空间影响小且加固效果显著。

### (三) 现代加固改造技术

粘贴纤维复合材料加固法利用碳纤维、玻璃纤维等高性能纤维复合材料,通过专用结构胶粘贴在混凝土结构表面,因其高强度、轻质、耐腐蚀等特性与混凝土协同工作,显著提高结构承载能力、延性和抗震性能,广泛应用于各类混凝土结构、砌体结构以及钢结构加固,材料轻质高强、施工方便,对结构自重增加小,几乎不影响外观和使用空间,且耐久性良好<sup>[6]</sup>。体外预应力加固法在原结构外部设置预应力筋,通过对其施加预应力,使结构产生反向预压应力,抵消部分外荷载产生的拉应力,提高结构承载能力和抗裂性能。预应力筋多采用高强度钢材并通过锚具与原结构连接,适用于混凝土梁、板、桥梁等结构加固,特别是对需大幅提高承载能力且对结构外观和使用空间要求高的工程,施工对原结构损伤小,一定程度改善使用性能。增设支点加固法通过在结构适当位置增设刚性支点或弹性支点,改变结构受力体系,减小结构构件计算跨度,降低结构内力,提高承载能力,适用于结构跨度大导致承载能力不足的情况,加固效果明显,能有效提高结构承载能力和稳定性。

### (四) 技术选择

根据结构类型和损伤情况进行技术选择,混凝土结构若整体性能好仅局部有缺陷,优先考虑置换混凝土加固法;若需提高抗弯、抗剪能力且对空间要求高,可选择粘贴纤维复合材料加固法或粘贴钢板加固法;若承载能力严重不足,采用增大截面加固法或体外预应力加固法。砌体结构可通过粘贴纤维复合材料加固法提高抗震性能,钢结构受损部位可采用粘贴纤维复合材料加固法修复。对结构使用空间要求严格,不允许增大截面尺寸,优先选择粘贴纤维复合材料加固法、粘贴钢板加固法等对空间影响小的技术;对结构外观要求高,需保持原有建筑风貌,同样选择这两种技术;对结构耐久性要求极高,粘贴纤维复合材料加固法较为适宜<sup>[7]</sup>。满足加固要求且预算有限时,综合比较各种技术成本,选择性价比高的方案,如小型建筑结构加固,粘贴钢板加固法可能成本低;大型基础设施加固,考虑长期维护成本,粘贴纤维复合材料加固法综合成本可能更具优势。根据施工条件,施工现场空间狭窄、施工机械难以操作,选择施工工艺简单、操作空间需求小的粘贴纤维复合材料加固法、粘贴钢板加固法;施工现场具备大型施工设备和专业施工人员,可考虑采用体外预应力加固法等技术要求高的方法。选择加固改造技术需综合多方面因素,权衡利弊,制定最适宜的加固方案。

## 三、长期性能评估体系

### (一) 评估指标体系构建

在结构安全性方面要计算结构在设计荷载及预期使用年限内各类荷载组合下,梁、柱、基础等关键构件实际承载能力与设计承载能力的比值,保证该比值大于1以维持安全裕度;监测结构长期使用中的变形,依结构类型与使用功能设定合理变形限值,对比实际监测数据判断是否影响正常使用或安全;针对混凝土结构,依据所处环境及设计要求制定裂缝宽度允许值,定期检测裂

缝实际宽度并分析发展趋势,以此判断结构因裂缝产生的安全隐患<sup>[6]</sup>。在结构耐久性上,对于混凝土材料,监测强度变化、碳化深度、氯离子含量,通过钻芯取样测强度、酚酞试剂测碳化深度,分析材料性能劣化对结构耐久性的影响,对于钢材则通过测量截面尺寸变化、腐蚀电位评估锈蚀程度,沿海地区钢结构桥梁受海水侵蚀需重点监测;同时评估结构防护措施有效性,检查混凝土结构表面涂层、钢结构防腐涂层及阴极保护系统的完整性、附着力和工作参数,确保防护系统有效阻止外界有害介质侵蚀,延长结构使用寿命。不同基础设施考量不同,建筑物关注室内温度、湿度、通风等舒适性,桥梁关注路面平整度、桥头跳车情况,通过实际测量与用户反馈分析结构长期使用能否持续满足功能需求;分析结构设计对日常检查、维修、保养的便利性;维护材料和设备获取便利性,一些结构设计复杂、检修通道狭窄的建筑可维护性差,长期使用会增加维护成本与难度,影响结构正常运行与寿命。

## （二）评估方法与模型

基于力学分析的方法中,有限元模型借助有限元软件依据结构实际尺寸、材料特性、边界条件及承受荷载情况建立精确模型,模拟结构在长期荷载作用下的力学响应,分析应力、应变分布,预测变形和破坏模式;结构力学解析法针对规则、简单结构,运用结构力学原理和公式简化结构受力,计算关键构件内力和变形,结合材料力学性能评估长期性能<sup>[9]</sup>。基于监测数据的方法里,统计分析模型收集长期性能监测中的结构变形、应力、材料性能等数据,运用统计分析建立数据模型,通过分析均值、方差、概率分布等统计特征评估结构性能稳定性和可靠性;机器学习模型借助人工神经网络、支持向量机等算法,对大量监测数据进行学习训练,建立输入与输出的复杂非线性关系模型,训练预测未来不同工况下应力、变形等性能指标。机器学习模型自适应性和学习能力强,能处理复杂数据关系提高评估精度和效率,但需大量高质量数据训练验证。

## （三）长期性能监测与数据分析

监测系统设计时,传感器布置要依据结构特点和评估指标需求,在梁跨中、支座,柱底部等关键构件布置位移、应变传感器监测变形和应力,在混凝土结构表面布置碳化深度、氯离子含量传感器监测材料性能劣化,钢结构布置锈蚀传感器,同时考虑环境因素布置温度、湿度传感器;数据采集与传输需建立可靠系统,根据施工现场环境和监测要求选择无线或有线传输方式,数据采集频率依据结构特点和性能变化速率确定,新建桥梁通车初期为监测性能变化可每 10 分钟采集一次数据,随着性能稳定适当降低至每小时或每天采集一次<sup>[10]</sup>。

数据分析流程上,先对原始数据进行清洗、去噪和归一化处理,去除位移传感器等数据中的异常值和噪声干扰,对不同类型传感器数据归一化使其具有可比性;接着从预处理数据中提取结构变形趋势、应力变化幅值、材料性能指标变化速率等特征参数,运用时间序列分析、频谱分析等方法,通过对桥梁结构振动数据频谱分析提取固有频率和阻尼比等特征参数,对比不同时期频谱特性评估结构刚度变化;将分析得到的结构性能特征参数与

预先设定的评估指标阈值对比,当混凝土结构裂缝宽度监测数据接近允许值时系统自动预警,提醒管理人员安排专业人员检查处理,防止裂缝发展影响结构安全。

## 四、结束语

老旧土木工程基础设施在社会发展进程中曾发挥关键作用,却因服役时长、自然与使用因素的双重冲击,面临着严峻的老化与性能衰退问题,对其进行加固改造及长期性能评估意义重大。通过系统的现状调查,全面掌握其初始设计、建设历程、维护情况及实际性能状态,进而基于多维度的评估体系,合理选择加固改造技术,遵循安全性、经济性、可操作性及耐久性原则,能够有效恢复结构性能、提升安全性并延长使用寿命。进一步深化对不同类型基础设施老化机制和长期性能演变规律的研究,将为制定更为科学合理的加固改造与维护策略提供坚实的理论支撑。

## 参考文献

- [1]陈春冬.房屋修缮和基础设施改造专项精细化改造研究[J].大众标准化,2024,(03):72-74.
- [2]张琦.城市更新视角下老旧小区基础设施改造面临的难题——以 X 小区加装电梯为例[J].未来城市设计与运营,2023,(12):56-59.
- [3]广西壮族自治区人民政府办公厅关于印发广西加快县城基础设施改造建设推进以县城为重要载体的城镇化建设实施方案(2023—2025 年)的通知[J].广西壮族自治区人民政府公报,2023,(15):18-24.
- [4]王白梅.老旧小区基础设施改造问题及对策研究[D].中南大学,2023.DOI:10.27661/d.cnki.gzhnu.2023.002285.
- [5]周密.海绵城市视角下小区不透水基础设施改造设计研究[J].中国建筑装饰装修,2023,(04):171-173.
- [6]呼和浩特市:整合老旧小区资源补齐基础设施短板[J].北方建筑,2022,7(04):86.
- [7]陈武.南昆线百威段基础设施改造研究[J].铁道运营技术,2022,28(03):19-20. DOI:10.13572/j.cnki.tdy.2022.03.007.
- [8]加强智慧社区基础设施建设改造[J].建筑技术开发,2022,49(12):113.
- [9]魏冠凯.基础设施改造项目绩效审计评价体系研究[D].河南财经政法大学,2022. DOI:10.27113/d.cnki.ghncc.2022.000058.
- [10]成艳丽.太岳山区梨湾苗圃基础设施改造探讨[J].山西林业,2022,(02):22-23.