

Research on key technologies and performance improvement of existing building structure reinforcement and renovation

Huatao Sun

Dongming County Property Comprehensive Service Center; Heze, Shandong; 274500

Abstract

This study analyzes the degradation mechanisms of existing building performance, focusing on reinforcement techniques for reinforced concrete, masonry, and steel structures with their application conditions. It summarizes the performance characteristics and construction control points of various materials and structural measures. Based on this analysis, comprehensive reinforcement strategies are proposed from multiple perspectives including structural integrity enhancement, seismic toughness improvement, durability optimization, and functional adaptability. The research emphasizes that reinforcement projects should be grounded in safety assessments, centered on performance-oriented design, and integrated with multi-technological coordination and lifecycle monitoring to achieve sustainable reuse of existing buildings while supporting urban renewal objectives.

Keywords

existing buildings; structural reinforcement; seismic performance; durability improvement; urban renewal

既有建筑结构加固改造关键技术与性能提升研究

孙华涛

东明县物业综合服务中心, 中国 · 山东 菏泽 274500

摘要

本文基于既有建筑性能退化原因分析, 重点探讨钢筋混凝土、砌体及钢结构体系的典型加固技术及其适用条件, 并总结不同材料与构造措施的性能特征及施工控制要点。在此基础上, 从整体性增强、抗震韧性提升、耐久性改善与功能需求适配等方面提出综合加固策略。研究认为, 加固改造应以安全评估为依据, 以性能目标设计为核心, 结合多技术协同与全周期监测, 实现既有建筑可持续再利用与城市更新目标的统一。

关键词

既有建筑; 结构加固; 抗震性能; 耐久性提升; 城市更新

1 引言

既有建筑在城市中占比巨大, 其结构安全和使用性能直接影响居住质量与公共服务能力。但不少建筑因建造年代较早, 受限于规范水平、材料老化、承载需求变化及环境侵蚀等因素, 存在承载不足、耐久性下降和抗震能力欠缺等问题。结构加固改造既能延长建筑寿命、降低重建成本, 也符合绿色低碳和城市更新要求。然而, 加固过程中面临病害复杂、体系模糊、施工受限和目标多样等挑战, 需以检测评估为基础, 结合性能分析与合理加固策略, 形成系统化技术路径。本研究旨在为既有建筑加固提供方法参考与实践借鉴。

2 既有建筑性能退化机理与问题特征

2.1 材料老化与环境侵蚀导致结构耐久性下降

既有建筑在长期服役过程中, 其结构材料不可避免地受到环境因素与时间效应的影响, 导致性能逐渐衰退。耐久性损伤虽具有隐匿性, 但累积效应明显, 若不及时干预, 将直接影响结构安全储备与长期使用性能。因此, 对材料老化的识别和修复是既有建筑加固改造的重要前置工作。

2.2 荷载作用条件变化引起承载不足

既有建筑在使用过程中, 其功能定位、内部布局和荷载条件可能随着新需求而变化。例如, 商业用途变更、设备增设、人员密度增加、夹层或加建操作等均可能造成实际荷载超出原设计值。当构件长期处于超过设计承载水平的应力状态时, 其疲劳损伤会逐渐积累, 进而引起刚度和承载能力下降, 甚至形成潜在破坏模式。同时, 荷载类型变化也会改变结构受力路径, 使部分构件或节点承受超出原定范围的内力, 导致结构安全储备不足。因此, 承载能力不足问题的解

【作者简介】孙华涛 (1977-), 男, 中国山东菏泽人, 助理工程师, 从事建筑工程技术研究。

决需要结合结构现状检测、荷载分析及使用功能重新界定,以确保加固设计契合现有使用状态。

2.3 抗震设防水平不足导致结构韧性缺失

大量既有建筑建造于早期抗震设计规范体系尚不完善的阶段,其抗震设防水平往往难以满足现行抗震要求。此类建筑普遍存在延性不足、抗侧力体系薄弱、节点构造约束能力不足以及整体框架不连续等问题。在地震作用下,结构难以形成有效能量耗散机制,极易出现脆性破坏或倒塌风险。尤其是在我国地震活动频繁地区,此类缺陷将显著降低建筑灾害应对能力。因此,提升结构抗震韧性是既有建筑加固改造的重要目标,需要在加固方案中重点改善构件延性、增强侧向刚度与整体协同性,并引入耗能减震等现代抗震技术,以提高结构在地震后的可恢复性与生命安全保障能力。

3 既有建筑结构加固改造的总体原则与技术路径

3.1 以结构安全评估为前提的性能诊断机制

既有建筑的加固改造应以科学、系统的安全评估为前提,其核心在于对结构现状进行精准诊断和性能量化分析。通过材料性能检测、结构应力监测、动力响应分析和数值仿真模拟等技术手段,可全面掌握结构构件的受力状态、损伤分布与承载余量。检测内容通常包括混凝土强度、钢筋锈蚀程度、裂缝宽度、碳化深度及动力特性测试等,从而为加固设计提供数据支撑。对大型公共建筑或高层建筑,可结合 BIM 技术与结构健康监测系统 (SHM) 实现多源信息融合诊断,以动态掌握结构性能演变规律。在评估过程中,还应考虑建筑使用年限、环境作用、荷载变化及使用功能调整等外部因素的综合影响,建立包含安全性、耐久性与适用性的综合性能评价模型。科学的评估不仅决定加固范围与深度,更是后续方案设计与经济性分析的重要基础。

3.2 以性能目标设计为核心的加固方案构建

传统加固设计多以“恢复原承载力”为目标,忽视了结构的抗震韧性、耐久性能与功能适配性。现代加固理念强调基于性能目标的加固设计,即以“满足目标性能水平”为核心,对不同建筑类型、使用功能和设计寿命设定差异化目标。例如,公共建筑应重点提升抗震安全与灾后可恢复性,工业厂房应强化荷载适应与疲劳性能,文物类建筑则注重结构稳定与材料保护的平衡。性能目标设计要求在方案构建中综合考虑荷载作用模式、构件间相互作用、材料性能演化及施工工艺限制,通过非线性分析与多目标优化确定加固路径。对于重要结构,应采用“强节点、弱构件”的延性设计原则,使结构具备可控破坏模式与能量耗散能力。基于性能目标的加固方法不仅提升安全性,也优化资源配置,体现结构工程向“精细化、科学化”转变的趋势。

3.3 以施工可行性与运营干扰控制为基本要求

既有建筑加固的复杂性不仅在于技术层面,还在于施

工环境的受限性与使用连续性的要求。大多数改造工程需在建筑正常运营状态下实施,如何平衡施工安全、工期控制与使用功能成为关键。施工可行性评估应涵盖加固技术的适配性、施工空间条件、材料运输路径及结构局部卸载策略等内容,避免施工过程引发次生风险。对于空间受限的建筑,可采用轻质高强材料(如 CFRP、UHPC)、预制装配构件或外部张拉体系,以减少湿作业和噪声影响。对于公共建筑和生产型厂房,还需制定分区施工与分阶段封闭计划,确保施工期间人员与设备安全。与此同时,需强化监测与信息化管理,通过传感网络、视频系统与施工 BIM 模型实现施工过程的动态可视化与风险预警。以施工可行性为约束条件的方案优化,不仅保障施工安全与工期控制,也为加固工程的长期性能稳定提供可靠保障。

4 典型结构体系的加固技术研究

4.1 钢筋混凝土结构加固技术

钢筋混凝土结构在既有建筑中占比最为广泛,其加固技术体系相对成熟且可适应多种病害类型。外包加固法通过在构件表面设置钢筋网并浇筑混凝土形成外包层,从而增大构件截面尺寸,提高受压区承载力和整体刚度,特别适用于因承载能力不足或混凝土表面损伤较为严重的构件修复。粘贴纤维复合材料加固技术利用碳纤维布 (CFRP)、玻璃纤维布 (GFRP) 等高性能轻质材料,通过粘贴方式提高构件的抗弯、抗剪和延性性能,施工过程无需大规模破除原结构、对使用影响小,是近年来应用较为广泛的加固方式。钢板加固法则通过外贴钢板并使用植筋胶、锚栓等形成可靠连接,使钢板与混凝土协同受力,可显著提高梁柱等承重构件的承载力与延性表现,适用于承载缺陷较为显著的结构部位。三类方法在应用中需根据构件受力特点、病害程度、施工环境与耐久性要求进行综合选用,以实现加固效果与施工可操作性的统一。

4.2 砌体结构加固技术

砌体结构由于整体性较弱、抗剪性能不足和延性较差,常在地震等水平作用下表现出脆性破坏,因此加固的重点在于提高其整体性和抗震能力。通过增设圈梁、构造柱和拉结筋等措施,可形成砌体墙体的刚性框架约束,提高结构整体协同受力能力,减少墙体开裂和倒塌风险。钢筋网砂浆面层加固法则是在墙体表面铺设钢筋网并抹刷水泥砂浆,以提高墙体的抗剪承载能力与延性,改善墙体变形协调性。砌体灌浆加固技术通过向砌体空隙或裂缝内部注入水泥浆或特种改性浆液,使墙体密实度和强度得到恢复和提升,适用于老旧建筑、风化砌体和存在空鼓开裂的墙体修复。多种加固措施配合使用,可显著改善砌体结构受力统一性,使其在抗震作用下具有更好的延性和韧性表现。

4.3 钢结构体系加固技术

钢结构具有强度高、重量轻、可塑性好和工业化程度

高的特点,但在使用过程中也可能因构件局部屈曲、连接节点疲劳或整体刚度不足等问题导致性能下降。节点加固是钢结构加固中的重点,可通过增设加劲肋、加强板、焊接补强等方式增强节点局部承载能力,避免节点成为结构薄弱环节。截面增大或更换构件适用于承载能力明显不足的主梁、柱或受力杆件,通过更换为更高强度材料或增加钢板外包截面来提高整体结构性能。为改善结构抗震性能,可在结构中布置阻尼器、耗能支撑或屈曲约束支撑等耗能构件,使结构在地震作用下能够以耗散能量的方式降低构件内力,从而提高系统整体的抗震韧性。钢结构加固策略应与整体结构动力特征和节点协同性相匹配,并结合疲劳性能评估与施工焊接质量控制,确保加固效果的长期可靠性。

5 基于性能提升的结构改造策略

5.1 提升结构整体性与动力性能

既有建筑在长期使用过程中,其整体受力体系往往存在不连续、刚度突变或节点构造薄弱等问题,导致在地震、风荷载或偶发冲击作用下表现出动力性能不足。提升结构整体性的核心在于构建连续的受力路径,使荷载能够在结构内部进行合理传递,避免局部薄弱部位的过度集中受力。在加固实践中,可通过增设钢支撑、剪力墙、支撑框架或框架—剪力墙混合体系,改善整体侧向刚度与承载能力;通过加强节点核心区箍筋约束、改良连接方式与补强节点板件,提高节点延性和连接可靠性。同时,结构冗余路径的构建有助于在局部构件受损时维持整体稳定,使结构具备“带损伤运行”的能力。此外,通过动力仿真分析对结构频率、振型与能量分配进行优化,可显著提升结构对灾害作用的适应性。整体性与动力性能的提升不仅增强结构抗震抗风能力,也为后续抗震韧性设计、耗能机制配置提供基础。

5.2 增强抗震韧性与失效控制能力

相比传统以“强度满足”为主的加固策略,现代结构改造更关注在强地震作用下的变形能力与可恢复性,即增强结构的抗震韧性。抗震韧性不仅要求构件具备足够延性,还要求结构体系能够通过耗能、隔震或卸载等方式降低破坏风险。隔震技术通过在基础与上部结构之间设置隔震装置(如橡胶支座、滑移支座),延长结构自振周期,减少地震能量输入;减震技术则通过布置阻尼器、剪切耗能装置等,使结构在振动中将地震能量以粘滞耗散或塑性耗能方式释放,有助于降低构件应力水平。与此同时,可在关键部位设置易更换的耗能组件,使震后修复更为快捷。此外,通过设定多道

安全防线与关键构件控制机制,实现结构失效模式由脆性破坏向延性破坏转变,避免倒塌风险。抗震韧性提升不仅提高结构抵抗灾害的安全性,还增强其震后功能恢复能力,符合城市韧性建设目标。

5.3 改善耐久性与延长生命周期

既有建筑的性能衰退在相当程度上源于材料老化、介质侵蚀和环境作用累积效应。因此,加固改造需要从材料层面、界面层面和环境层面共同入手以实现耐久性提升。在材料修复方面,可采用聚合物砂浆、超高韧性水泥基材料(UHPC)、无机复合修补材料等,对构件裂缝、剥落和碳化层进行修复补强;在界面处理方面,通过凿除疏松层、表面粗化、植筋锚固等方法提升新旧材料协同性;在防腐与防水构造方面,可采用浸渍密封、外包防护涂层、阴极保护等手段隔绝侵蚀介质,延缓钢筋锈蚀与混凝土劣化进程。同时,可结合结构健康监测系统(SHM),通过应变、温湿度、振动与腐蚀传感器实现长期性能跟踪,使耐久性管理由事后维护转向主动预警与全过程监控。耐久性提升不仅关系结构安全与延寿,更关系建筑资源节约、维护成本控制及绿色可持续发展目标的实现。

6 结语

既有建筑结构加固改造是提升城市安全韧性和空间更新质量的重要途径。加固设计应以科学检测评估为基础,以性能提升为导向,以技术融合为支撑,以施工可持续性为约束条件。未来应进一步加强智能监测、数字仿真、低碳材料及可逆加固技术研究,构建可评价、可追溯、可维护的结构加固全生命周期体系,从而实现既有建筑价值最大化利用,推动城市更新向高质量发展。

参考文献

- [1] 殷晓波.既有建筑绿色改造中的结构设计加固技术创新与应用[J].陶瓷,2025,(09):229-230.
- [2] 王宾.既有建筑结构加固改造的可靠性评估与技术创新[J].中华建设,2025,(08):90-92.
- [3] 颜井路.既有建筑改造中的结构鉴定与加固设计研究[J].陶瓷,2025,(07):142-145.
- [4] 张振海.既有建筑结构加固与改造技术的实践应用分析[C]//江西省工程师联合会.工程技术与新能源经济学术研讨会论文集(一).天津鑫圣浩装饰设备安装工程有限公司;2025:670-673.
- [5] 杨广东.混凝土结构加固技术在既有建筑改造工程中的研究与应用[J].居舍,2025,(08):70-73.