

老旧建筑改造施工中的结构加固技术与施工工艺创新

金世真

河北省第四建筑工程有限公司，河北省石家庄市，050000；

摘要：随着城市化进程不断加快，既有建筑物的更新与改造需求持续增长，老旧建筑由于年久失修、材料老化或功能滞后等问题，存在多种安全隐患与使用障碍。结构加固技术及施工工艺创新已成为提升老旧建筑安全性、延长其使用寿命、实现绿色低碳城市更新的关键技术路径。本文结合老旧建筑改造的实际需求，详细梳理了当前主流的结构加固技术路线，包括钢结构加固、碳纤维复合材料加固、外包混凝土加固、粘钢加固等，并对各类技术的适用性、施工要点及创新方向进行了系统分析。论文进一步探讨了老旧建筑加固施工工艺流程的科学优化和典型工艺创新点，如信息化检测技术、智能化施工装备、绿色环保材料的应用等。实践表明，技术创新与工艺集成显著提升了加固工程的施工效率和质量安全水平。最后，提出加快智能化技术、绿色材料推广及全过程管控体系建设的建议，为我国老旧建筑结构加固与改造工程的高质量发展提供理论依据和工程实践指导。

关键词：老旧建筑；结构加固；施工工艺；技术创新；城市更新

DOI：10.69979/3029-2727.25.08.011

引言

近年来，随着城市建筑存量规模日益庞大，老旧建筑物安全隐患频发、耐久性退化、功能滞后等问题逐渐成为影响城市高质量发展的突出矛盾。老旧建筑结构加固及功能升级，不仅关乎建筑物本身的延续性和利用率，还关系到城市空间资源的可持续发展与历史文化的保护传承。老旧建筑加固工程不同于新建工程，既要在有限空间和复杂环境中实现结构性能的显著提升，还要兼顾原有建筑风貌、施工环保要求及居民生活影响，具有技术复杂、施工难度大、管理要求高等特点。随着新型高性能材料、智能化检测装备和装配式加固工艺的持续应用，老旧建筑结构加固技术体系不断丰富，施工工艺也趋于精细和智能。本文系统梳理和分析了老旧建筑结构加固的技术体系与施工工艺创新路径，旨在为行业技术进步和工程实践提供参考。

1 老旧建筑结构加固的技术需求与现状分析

1.1 结构加固的需求背景

我国城市大量房屋建造于上世纪五六十年代或更早时期，这些建筑由于设计规范落后、材料性能不足、历经多次灾害和荷载作用后，普遍存在承载力降低、结构变形、抗震性能不足等隐患。同时，随着城市功能升级、人口密度增加、节能减排和绿色建筑新要求出台，老旧建筑单靠原有结构已无法满足安全与使用需求。城市更新、危旧房改造、历史保护建筑修缮、公共建筑改扩建等均对结构加固技术提出更高需求。

1.2 现有加固技术概述

主流结构加固技术主要包括：

① 钢结构加固。通过新增型钢、钢板、钢架或预应力钢索等方式对原结构进行外包或内嵌补强，提升承载力和延性。② 碳纤维复合材料加固。采用碳纤维布、板等高性能复合材料与专用胶粘剂粘贴于混凝土、砖石等结构表面，提高受力部位强度和延性。③ 外包混凝土加固。采用高强混凝土在原有构件外包裹成套构件，增大截面、提升承载力，兼具耐火性和经济性。④ 粘钢加固。将钢板或钢带用高强胶粘剂粘结于构件表面，快速提升受力能力。⑤ 置换混凝土、增设支撑、加大截面、托换等多元复合加固手段，满足不同建筑的特殊加固需求。

1.3 加固工程面临的主要问题

在实际老旧建筑加固工程中，经常面临结构图纸缺失、现场空间受限、原材料性能不可知、结构体系复杂、荷载作用不明等难题。此外，部分加固设计脱离实际，技术选型经验性强、缺乏标准化；部分新材料、新工艺应用不规范，存在耐久性、适应性、界面处理等隐患；部分加固施工管理粗放，质量控制体系不完善，导致加固后效果难以保障。这些问题需要通过技术创新和流程再造予以系统解决。

2 主要结构加固技术及其创新应用

2.1 钢结构加固技术

钢结构加固技术因其力学性能优异、施工适应性强成为加固工程的首选。常用方式有型钢外包梁柱、钢板包裹、型钢嵌固、钢桁架或支撑体系新增等。近年来,装配式钢构件、预应力钢索、高强度螺栓连接等新工艺提升了加固效率与力学性能。通过 BIM 技术实现钢构件的精确设计和施工模拟,有效降低了错漏碰缺,提高了现场装配效率。对于大跨或地震易发区建筑,预应力钢结构加固提升了抗震和变形能力。钢-混凝土组合结构与钢-纤维复合材料集成应用,满足了极限荷载和复杂受力需求。

2.2 碳纤维复合材料加固技术

碳纤维加固具有自重轻、强度高、耐腐蚀、施工便捷等优点,适用于受弯、受剪、受压构件的快速增强。近年来,高性能碳纤维布、高韧性环氧胶、自动铺设设备等不断问世,进一步提升了粘结性能和耐久性。针对不同结构部位,采用单向、双向、预应力碳纤维布等多种工艺,结合局部锚固、机械连接等创新节点,提高了整体加固效果。碳纤维-钢板复合、纤维-高性能混凝土叠加等新工艺,有效兼顾了刚度、强度与延性的综合提升。

2.3 外包混凝土及复合加固技术

外包混凝土加固多用于承载力严重不足或混凝土本体开裂劣化的结构。高性能自密实混凝土、超高强微膨胀混凝土、新型纤维混凝土等在外包加固中应用广泛,有效改善了界面结合、耐久性和抗裂性能。模块化模板体系、无支撑快拆模板、智能养护系统等工艺创新,极大提高了施工便捷性和工程质量。钢-混凝土组合、粘钢-碳纤维复合等复合加固技术,则能根据建筑物实际情况量身定制最佳加固路径,兼顾结构安全、造价与工期。

3 结构加固施工工艺创新与流程优化

3.1 前期检测与加固设计工艺

高质量加固工程离不开科学的前期检测与精细化设计。随着激光扫描、红外热成像、超声波检测、地质雷达等无损检测技术的发展,能够精准获取结构损伤数据、内部缺陷分布与材料退化状态。基于 BIM 和三维建模技术,实现了结构加固方案的多维可视化、力学仿真及施工过程模拟,有效规避了传统设计中的隐性风险。通过参数化设计、虚拟装配和工序优化,提高了加固设计的科学性和落地性。

3.2 现场施工工艺创新

为克服空间受限、环境复杂等难题,施工过程中创新性地采用了机械臂辅助定位、智能切割、定制化模板及高效锚固工艺。例如,机械臂或无人化施工平台可大幅提升高空和狭小空间作业效率。定制模板、可拆卸钢构件、快干胶和免振捣混凝土等新型工艺,保证了施工的安全和进度。部分工程引入智能张拉、自动喷涂、3D 打印等智能工艺,提升了复杂节点处理与特殊形体加固的适应性和精度。绿色施工技术在粉尘、噪声、废弃物处理方面发挥了积极作用,提升了工程环保水平。

3.3 流程优化与工序衔接

流程管理是加固工程高效实施的重要保障。合理规划施工分区和流水作业段,采用穿插作业、顺序与交叉施工,最大限度利用有限场地与施工资源。工序安排充分考虑原有结构受力状态,必要时增设临时支撑或卸载,防止次生损伤。工序节点引入信息化管理平台,实时跟踪施工进度、质量与安全,快速发现并纠正异常,提升了项目整体管控水平。

4 结构加固工程质量控制与安全管理创新

4.1 加固材料质量控制

材料是加固工程的核心。对钢材、碳纤维、胶黏剂、高性能混凝土等加固材料应严格进行物理、力学及耐久性检验。通过批次管理、第三方检测和材料追溯系统,确保所有加固材料满足设计和规范要求。对于新型材料或进口产品,应加强适应性评估和现场性能验证,确保与原结构的协同工作能力。

4.2 施工过程安全管理

加固施工阶段易发生结构扰动、局部塌落、粉尘污染、高空坠物等安全问题。应制定详细的施工组织设计和专项安全施工方案,强化对高空、狭小空间和动火、带电等特殊作业环节的安全防控。实行全员安全教育、持证上岗和岗位责任到人。采用智能监测装置,对关键结构、施工装备和现场环境参数进行实时监控,及时发现和消除安全隐患。

4.3 加固工程验收与后期维护

竣工验收阶段应全面检测加固部位的粘结强度、变形控制、承载力提升等核心指标。采用超声波、射线、应变片等无损检测技术进行抽查复核。加固建筑投入使用后,建立健全结构健康监测与预警系统,定期开展巡查与养护,形成全生命周期的质量管控闭环。对于特殊区域可设置监测传感器,实现远程自动预警,保障建筑长期安全使用。

5 老旧建筑加固技术与工艺发展的趋势与建议

随着存量时代到来,结构加固技术创新与施工工艺集成成为行业发展新方向。(1)绿色与智能加固材料正逐渐成为建筑加固领域的主流选择。高性能复合材料因其优异的力学性能和耐久性,广泛应用于结构加固中,能够显著提高建筑的安全性和使用寿命。绿色低碳混凝土通过优化配比和采用环保原材料,降低了碳排放和资源消耗,实现了节能减排的目标。可再生钢材作为一种环保型材料,不仅具备良好的力学性能,还能够循环利用,减少对自然资源的依赖。新型材料的推广应用,不仅提升了加固工程的环保性能,还在经济性方面展现出优势,有效降低了施工成本和后期维护费用。绿色智能材料的广泛应用推动了建筑行业的可持续发展,符合现代建筑节能减排的要求。未来,随着技术的不断进步,这些新型材料将在加固工程中得到更加广泛和深入的应用,促进建筑加固向更加绿色、智能和高效的方向发展。

(2)随着技术的不断进步,数字化与智能建造技术在加固工程领域的普及速度将显著加快。BIM(建筑信息模型)、CIM(城市信息模型)、物联网、大数据和人工智能等先进技术,正逐步深入融入加固工程的设计、施工及运营维护全过程。这些技术不仅提升了工程信息的集成与共享效率,还实现了对各个环节的精细化和信息化管理。通过BIM和CIM技术,设计方案更加直观精准,施工过程可视化管理得以实现,确保施工质量和进度的有效控制。物联网技术实现了对施工现场设备和环境的实时监测,保障安全生产。大数据和人工智能则为工程运营维护提供了智能决策支持,能够预测潜在风险和优化维护方案。这些技术的深度融合,推动了加固工程向智能化、数字化方向发展,提高了工程管理的科学性和效率,促进了建筑行业的现代化转型。

(3)装配式和模块化加固工艺将在老旧建筑加固领域得到广泛应用。预制加固构件的使用结合工业化施工平台和智能施工装备,有效推动了施工的工业化和标准化进程,显著提升了工程的效率和安全水平。为促进行业持续发展,亟需加强前沿技术的研发和标准体系的完善,推动产学研用一体化的协同创新,促进智能装备与绿色材料在加固领域的深度融合。注重全过程管控,确保检测、设计、施工与运营维护环节紧密衔接,打造“检测—设计—施工—运营”一体化的加固改造新模式。建立科学合理的分级分类建筑改造技术评价与激励机制,为技术创新成果的转化和示范应用创造良好环境。通过推动这些举措,实现存量建筑的高质量、可持续更

新,助力城市更新战略的实施。整体来看,装配式和模块化技术的推广不仅提升了加固工程的现代化水平,也为行业的绿色发展和智能转型提供了有力支撑。

6 结论

老旧建筑改造施工过程中,结构加固技术和施工工艺的创新成为保障城市建筑安全、延长建筑使用寿命以及实现资源高效利用的重要手段。本文系统梳理了当前主流的加固技术体系及其在实际工程中的创新应用,重点分析了施工工艺的优化、质量与安全的严格管控以及信息化技术的深度集成等关键环节。实践表明,钢结构加固技术凭借其优异的承载性能和施工灵活性,碳纤维加固技术因其轻质高强的特点,以及外包混凝土技术的耐久性优势,在工程应用中不断得到完善和集成。这些技术的融合推动了施工工艺向智能化、标准化和绿色化方向发展,提高了施工效率和工程质量。通过引入先进的监测手段和数字化管理平台,施工过程更加透明和可控,有效保障了安全生产和工程质量。结构加固技术与施工工艺的持续创新为老旧建筑改造提供了坚实支撑,助力实现城市建筑的可持续发展目标。

未来应大力推动智能材料的研发,不断提升材料的性能和应用范围,以满足加固工程日益多样化和高标准的需求。施工装备的创新也需要加快步伐,采用先进的机械设备和自动化技术,提高施工效率和施工质量。全过程数字化管理的推进将实现设计、施工、监测与维护的全链条信息互联互通,确保加固工程的科学管理和精细控制。标准体系的完善为行业发展提供规范保障,促进技术成果的推广应用和工程质量的统一提升。绿色、智能、安全的老旧建筑加固体系将成为未来建设的重要方向,助力提升建筑的耐久性和环保性能。通过持续的技术创新和管理优化,老旧建筑加固改造不仅能够延长建筑使用寿命,还将有效提升城市基础设施的安全水平和功能品质。这样的发展为我国城市更新和高质量发展奠定了坚实的基础,为实现可持续发展目标提供了有力支撑,推动建筑行业迈向更加智能化和绿色化的新时代。

参考文献

- [1]王明,刘洋.老旧建筑结构加固技术研究与应用进展[J].建筑结构,2022(15):36-41.
- [2]张琳,李刚.城市老旧建筑改造施工工艺创新分析[J].建筑施工,2023(09):74-78.
- [3]陈超,胡涛.建筑结构加固新材料与智能施工技术的发展趋势[J].结构工程师,2021(18):53-57.