

考虑新旧材料的力学性能差异（如弹性模量、强度、变形能力），通过过渡构造、界面处理等技术措施，实现新旧结构协同承受地震作用，充分发挥加固效果，提升结构整体抗震承载力与变形能力。

2.2 常见加固技术分类

(1) 增大截面法：该技术通过增大构件截面尺寸，同时配置新增钢筋，提升构件承载力与刚度，适用于混凝土梁、板、柱、墙等构件的加固，尤其适用于原构件截面尺寸不足、承载力严重不足的情况。构造要求方面，需保证新增混凝土与原构件混凝土的可靠粘结，必要时对原构件表面进行凿毛、植筋处理；新增钢筋需与原结构钢筋合理搭接或焊接，确保受力传递顺畅，同时控制截面增大后的刚度匹配，避免引发结构受力重分布不均。(2) 外包钢加固法：包括干式外包钢与湿式外包钢两种形式，干式外包钢通过钢构套包裹构件并通过螺栓固定，湿式外包钢则在钢构套与原构件之间灌注水泥砂浆或环氧砂浆，增强粘结效果。粘钢加固技术是将钢板通过结构胶粘贴于构件受拉或受压部位，提升构件承载力。该类技术适用于构件承载力不足但截面尺寸受限的情况，具有施工简便、工期短的优势，构造上需保证钢材与原构件的可靠连接，钢材表面需除锈处理，结构胶需满足粘结强度与耐久性要求^[2]。(3) 碳纤维增强复合材料（CFRP）加固：利用碳纤维增强复合材料的轻质高强、耐腐蚀、抗疲劳等特性，通过结构胶粘贴于构件表面，提升构件受拉承载力、抗剪能力及延性。适用于混凝土构件、钢结构构件的加固，尤其适用于对加固后结构自重增加敏感的建筑。施工中需严格控制基层处理、胶层厚度及粘贴质量，避免出现空鼓、剥离等问题，同时需考虑环境因素对复合材料性能的影响，必要时采取防护措施。(4) 隔震与消能减震技术：基础隔震技术通过在建筑基础与上部结构之间设置隔震支座（如橡胶隔震支座、滑动隔震支座），延长结构自振周期，减少地震能量向上部结构的传递；消能减震技术则通过在结构关键部位设置阻尼器（如粘滞阻尼器、摩擦阻尼器、屈曲约束支撑），在地震作用下通过阻尼器耗能，降低结构地震响应。该类技术适用于各类既有建筑的抗震加固，尤其适用于重要建筑或难以通过传统加固技术提升抗震性能的建筑，设计中需合理选型隔震支座与阻尼器，确保其性能稳定、可靠。(5) 结构体系改造：通过增设剪力墙、钢支撑、框架柱等构件，优化原结构受力体系，提升结构整体刚度与承载力，改善结构抗侧移能力。适用于原结构体系不合理、抗侧刚度不足的建筑，如砖混结构增设混凝土剪力墙、框架结构增设支撑框架等。改造

设计中需充分考虑新增构件对原结构的影响，合理布置新增构件，避免破坏原结构传力路径，同时确保新增构件与原结构的可靠连接。

2.3 加固材料性能与选择

(1) 混凝土、钢材、纤维复合材料、新型智能材料：混凝土宜选用高强度、高流动性的补偿收缩混凝土，确保与原构件的粘结性能及自身强度；钢材需选用强度高、韧性好的低合金高强度钢或专用加固钢材，满足抗震性能要求；纤维复合材料（如CFRP、GFRP）需具备高强度、低模量、耐腐蚀性等特性，其力学性能需符合相关规范标准；新型智能材料（如形状记忆合金、智能阻尼材料）具有自感知、自修复、自适应等功能，可提升加固结构的抗震可靠性与耐久性，适用于对加固性能要求较高的重要建筑^[3]。(2) 材料兼容性与耐久性设计：选择加固材料时，需确保新旧材料的兼容性，避免因材料性能差异过大（如热膨胀系数、弹性模量差异）引发界面应力集中，导致加固失效。同时需考虑材料的耐久性，针对不同使用环境（如潮湿环境、腐蚀环境）选择耐候性、抗腐蚀性强的材料，必要时采取防腐、防潮、防火等防护措施。设计中需验算材料在长期使用过程中的性能衰减，确保加固结构在设计使用年限内保持稳定的抗震性能。

2.4 加固设计中的关键问题

(1) 加固后结构动力特性变化：加固后结构的刚度、质量分布会发生改变，进而导致自振周期、振型、阻尼比等动力特性变化，可能引发地震作用分布的重分布。设计中需通过动力测试与数值模拟，精准分析加固后结构的动力特性，验算结构在地震作用下的响应，避免因动力特性改变导致新的受力薄弱环节，确保加固后结构的抗震性能满足规范要求。(2) 节点连接与锚固设计：节点是结构受力传递的关键部位，加固设计中需重点关注节点连接与锚固的可靠性。对于新增构件与原结构的连接、加固材料与原构件的锚固，需通过合理的构造设计（如植筋、焊接、螺栓连接）确保连接强度，避免出现锚固失效、节点破坏等问题。设计中需验算节点的承载力与延性，确保节点性能不低于构件主体性能，保障结构在地震作用下的整体稳定性。(3) 施工阶段对原结构的影响控制：施工过程中拆除临时支撑、凿除原构件混凝土、安装加固构件等操作，可能会对原结构产生扰动，甚至降低原结构的承载力。设计中需制定合理的施工流程与安全控制措施，明确施工顺序，避免同时拆除或扰动关键构件；对施工过程中的原结构进行监测，实时掌握结构变形与应力变化，及时调整施工方案；必要

时设置临时支撑,保障施工阶段原结构的安全稳定^[4]。

3 既有建筑结构抗震加固技术发展趋势与展望

3.1 技术创新方向

(1) 智能化监测技术:依托物联网与高精度传感器技术,构建结构全生命周期实时监测系统。通过在关键构件、节点布设传感器,实时采集结构振动、应力、变形等数据,结合大数据分析实现损伤预警与性能评估,打破传统事后检测的局限,提升加固结构运维的智能化水平。(2) 绿色加固材料:响应双碳目标,研发推广可降解、可回收的绿色加固材料,如再生骨料混凝土、环保型结构胶、生物基纤维复合材料等。这类材料可降低加固过程的能源消耗与环境负荷,同时兼顾力学性能与耐久性,契合绿色建筑发展理念。(3) 基于BIM的加固设计协同平台:利用BIM技术的可视化、参数化优势,搭建涵盖鉴定、设计、施工、运维全流程的协同平台。实现各专业数据互通与模型共享,精准模拟加固效果与施工过程,减少设计偏差与施工冲突,提升加固项目的管理效率与质量管控水平^[5]。

3.2 政策与标准完善建议

(1) 动态更新鉴定标准以适应新材料新技术:针对新型加固材料、技术的应用需求,建立标准动态更新机制。及时补充新材料性能指标、新技术设计要求与施工验收规范,消除标准滞后性,为新技术推广应用提供依据,保障加固工程质量。(2) 建立全生命周期抗震管理数据库:构建涵盖既有建筑基本信息、鉴定结果、加固方案、运维记录的全生命周期数据库。整合行业数据资源,实现信息共享与追溯,为政策制定、标准优化、项目决策提供数据支撑,推动抗震管理从碎片化向系统化转变。

3.3 未来研究方向

(1) 极端地震作用下的加固失效机制:聚焦强震、

余震等极端工况,深入研究加固结构的失效模式与演化规律。分析新旧结构协同工作失效、材料性能劣化等关键问题,揭示加固体系的抗倒塌机理,为极端地震场景下的加固设计优化提供理论支撑。(2) 既有建筑抗震韧性评价体系构建:突破传统抗震性能评价的局限,构建涵盖“抵御-恢复-适应”全链条的抗震韧性评价体系。明确韧性评价指标与分级标准,建立韧性提升的量化方法,为既有建筑抗震加固方案的科学决策提供新维度。

结束语

既有建筑结构抗震鉴定与加固设计是保障城市安全、延续建筑生命力的关键环节。通过科学鉴定精准识别抗震短板,依托创新加固技术实现性能提升,既能有效抵御地震灾害,又能促进资源高效利用。未来,随着智能化监测、绿色材料及BIM协同平台等技术的深度应用,抗震加固将向精细化、智能化、可持续化方向发展。唯有持续完善标准体系、强化全生命周期管理、深化极端地震研究,方能筑牢既有建筑的安全防线,为城市韧性建设与高质量发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]孙广宇,张健,国秀英.既有建筑结构抗震鉴定及加固设计分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024,17(33):182-184.
- [2]宋晚春.既有砖混结构的抗震鉴定及其抗震加固技术研究[J].科学技术创新,2023,21(10):196-199.
- [3]张明月.既有建筑结构抗震鉴定及加固设计分析[J].中国建筑金属结构,2022,19(01):33-34.
- [4]雷晓艳.既有建筑结构抗震鉴定及混凝土结构加固设计研究[J].科技资讯,2024,22(14):133-135.
- [5]周兰.既有建筑结构抗震鉴定及混凝土结构加固设计研究[J].佛山陶瓷,2023,33(03):22-24.