

既有建筑改造施工中的结构安全性评估与加固技术

张蒙召

河北建设集团股份有限公司 河北 保定 071000

摘要：随着城市化进程加速，既有建筑改造成为城市更新的重要内容。结构安全性评估与加固技术是改造施工的核心环节，直接关系到改造工程的质量与安全。本文系统梳理了既有建筑结构安全性评估的流程与方法，深入分析了传统与新型加固技术的应用场景及技术优势，并结合典型案例探讨了加固施工中的技术难点与创新解决方案。研究表明，科学的安全性评估与精准的加固技术选择是实现既有建筑安全改造的关键。

关键词：既有建筑改造；结构安全性评估；加固技术；施工创新

引言

我国城镇化率超65%，大量既有建筑因使用年限、功能变化或灾害影响，出现结构性能退化、安全隐患等问题，20年以上房龄建筑占比超40%，30%存在结构损伤。既有建筑改造关乎城市可持续发展，但改造中结构安全性问题是核心挑战。当前，我国该领域存在评估标准不统一、加固技术适用性不强等问题。本文将梳理评估体系与方法，分析加固技术，结合案例探讨难点与方案，提供技术指导。

1 既有建筑结构安全性评估体系

1.1 评估流程与核心要素

结构安全性评估是改造施工的前提与基础，其流程涵盖资料收集、现场检测、结构验算与综合评估四个核心环节。

1.1.1 资料收集

评估过程中需重点关注建筑的基本信息，包括建造年代、结构形式与材料选用等。例如，某老旧厂房改造项目中，通过查阅原始设计图纸、施工记录与维护档案，发现原结构混凝土强度等级低于现行标准^[1]。原始设计图纸中标注的混凝土强度为C20，而现行标准要求该类厂房的混凝土强度至少为C25。这一信息为后续加固设计提供了关键依据，使加固方案能够针对性地提升结构强度。

1.1.2 现场检测

(1) 材料性能检测：采用回弹法、钻芯法等无损检测技术，测定混凝土抗压强度、钢筋锈蚀程度等关键指标。研究表明，服役20年以上的建筑，其混凝土碳化深度平均达15mm，钢筋锈蚀率超过10%，显著影响结构承载能力。在一栋服役25年的居民楼检测中，通过回弹法发现部分梁的混凝土强度仅为C15，钻芯法进一步验证了该结果，且钢筋锈蚀导致钢筋有效截面减小，降低了结构的抗弯能力。

(2) 损伤与变形分析：通过裂缝宽度测量、倾斜率检测等手段，量化结构损伤程度。例如，某砖混结构住宅因地基不均匀沉降导致墙体裂缝宽度达3mm，倾斜率超过规范限值。使用裂缝测宽仪对墙体裂缝进行精确测量，发现裂缝宽度在不同位置有所差异，最大处达到3mm；通过全站仪测量建筑的倾斜率，发现其倾斜率超过了《建筑地基基础设计规范》规定的千分之四的限值，需进行基础加固处理。

1.1.3 结构验算

依据现行规范，复核结构在恒载、活载与地震作用下的承载能力。以某框架结构办公楼为例，经计算发现其抗震设防烈度不满足现行标准要求，需增设抗震支撑体系。采用结构分析软件对该办公楼进行建模计算，考虑不同工况下的荷载组合，发现原结构在地震作用下的层间位移角超过了规范限值，说明结构的抗震性能不足。

1.1.4 综合评估

结合资料收集、现场检测和结构验算的结果，对既有建筑的结构安全性进行综合评价，确定是否需要加固处理以及加固的范围和程度。

1.2 评估方法与技术手段

结构安全性评估方法包括定性评估、定量评估与半定量评估三类。其中，定量评估通过建立结构有限元模型，结合现场检测数据，计算结构在极端荷载下的响应，具有较高的科学性与精准性。技术手段方面，三维激光扫描技术可快速建立建筑数字档案，精度达±2mm。在一座历史建筑的评估中，使用三维激光扫描仪对建筑外观和内部结构进行扫描，生成高精度的三维点云数据，通过数据处理软件构建出建筑的数字模型，能够清晰地展示建筑的几何尺寸、变形情况以及损伤位置，为评估提供了直观的依据。智能监测系统通过布设应变传感器与位移计，实现结构状态的实时感知与预警^[2]。例如，在某大

型桥梁的监测中,安装了大量的应变传感器和位移计,实时采集桥梁在不同荷载作用下的应变和位移数据,并通过无线传输技术将数据传输到监控中心。当应变或位移超过预设的阈值时,系统会自动发出预警信号,提醒管理人员及时采取措施。

2 既有建筑结构加固技术体系

2.1 传统加固技术与应用场景

(1) 增大截面法:通过增加构件截面尺寸提升承载能力,适用于梁、柱等受弯构件的加固。某多层厂房改造中,采用增大截面法加固底层柱,截面尺寸增加30%,承载能力提升40%。施工时,先将柱表面的疏松混凝土剔除,然后绑扎新增钢筋,支设模板并浇筑高强度混凝土。但该方法施工周期较长,且占用室内空间,在施工过程中需要对周边区域进行防护,避免对其他作业造成影响。

(2) 外包钢加固法:在构件外部包裹型钢,利用钢材的高强度特性提升结构延性。某历史建筑改造中,采用湿式外包钢加固法加固砖砌体柱,用钢量增加15%,但承载能力提升60%,且施工速度快,对原结构影响小^[3]。施工时,先对柱表面进行处理,保证其平整度,然后将型钢焊接成框架,包裹在柱周围,并通过缀板将型钢连接成整体,最后向型钢与柱之间的空隙灌注结构胶,使型钢与柱形成整体共同受力。

(3) 预应力加固法:通过施加预应力改善结构受力状态,适用于大跨度结构的加固。某体育馆改造中,采用体外预应力加固法加固屋面梁,预应力损失率控制在5%以内,结构刚度提升30%。施工时,在屋面梁两侧安装钢支架,铺设预应力钢绞线,通过张拉设备对钢绞线施加预应力,并使用锚具将钢绞线固定在钢支架上。在张拉过程中,需要严格控制张拉力和伸长量,确保预应力施加准确。

2.2 新型加固技术与发展趋势

(1) 碳纤维复合材料(CFRP)加固技术:利用碳纤维布的高强度特性,通过环氧树脂粘贴形成新的受力体系。某高层住宅改造中,采用CFRP加固法加固剪力墙,碳纤维布用量仅增加2%,但抗剪承载能力提升50%,且施工便捷,几乎不增加结构自重。施工时,先将剪力墙表面处理干净,涂刷底胶,然后粘贴碳纤维布,再在碳纤维布表面涂刷面胶。碳纤维布具有轻质高强的特点,能够很好地与混凝土结构协同工作,提高结构的抗剪性能。

(2) 高性能混凝土加固技术:采用高强度、高韧性混凝土对构件进行补强。某桥梁改造中,采用超高性能混凝土(UHPC)加固梁体,抗压强度达150MPa,耐久

性显著提升,施工周期缩短30%。UHPC具有优异的力学性能和耐久性,能够有效地修复受损的梁体,提高梁体的承载能力和使用寿命^[4]。施工时,将UHPC通过泵送设备浇筑到需要加固的部位,并进行适当的振捣和养护。

(3) 模块化加固技术:通过预制加固单元实现快速安装。某医院改造中,采用预制钢支撑模块加固楼梯间,单日安装量达20m,施工效率提升50%,且质量可控。预制钢支撑模块在工厂进行标准化生产,质量能够得到保证。在施工现场,只需将模块进行组装和连接,大大缩短了施工周期,减少了对医院正常运营的影响。

3 加固施工中的技术难点与创新解决方案

3.1 施工空间受限问题

在老旧小区改造中,施工空间受限是常见难题。例如,某8层住宅改造中,建筑高度达24m,作业面距居民窗户最近仅2.5m,传统脚手架搭设空间不足且坠物风险高。项目团队创新采用自升降式吊篮平台,配备激光防撞传感器,当检测到距离障碍物小于1m时自动触发急停机制,有效保障施工安全。自升降式吊篮平台可以根据施工需要自由升降,避免了在建筑外部搭设大量脚手架,减少了对周边环境的影响。同时,在屋面周边安装智能防坠网,拦截意外坠落物体,降低坠物风险。智能防坠网采用高强度材料制作,具有较好的韧性和抗冲击能力,能够有效地防止施工过程中的物品坠落伤人。

3.2 地下管线复杂问题

某商业综合体改造中,地下存在1980年代埋设的燃气、电力、通信管线,且图纸缺失率较高。项目团队采用地质雷达扫描技术,探测深度达3m,分辨率 $\pm 5\text{cm}$,初步确定管线位置与走向。地质雷达通过发射电磁波并接收反射波来探测地下管线的位置和埋深,能够快速、准确地获取地下管线的信息。对于高风险区域,采用人工探沟方式,小心挖掘暴露管线,并采用PVC套管进行保护。人工探沟时,施工人员使用小型挖掘设备,缓慢、小心地挖掘,避免损坏管线。基于扫描数据与探沟信息,运用AutoCAD Civil3D软件重建地下管网三维模型,指导施工路线规划,避免管线破损事故。三维模型可以直观地展示地下管线的分布情况,为施工人员提供准确的参考,确保施工过程中不会对管线造成破坏。

3.3 结构老化与材料劣化问题

某工业厂房改造中,屋面防水层老化失效,混凝土碳化深度达20mm,钢筋锈蚀严重。项目团队采用复合加固技术,在梁板交界处粘贴300g/m²高强碳布,并配合预应力锚栓(间距200mm)提升屋面整体刚度。高强碳布具有高强度、高模量的特点,能够有效地提高结构的抗

拉能力。预应力锚栓通过施加预应力,使碳布与混凝土结构紧密结合,增强结构的整体性。同时,将原水泥砂浆找平层替换为发泡陶瓷保温板,在满足保温隔热要求的同时,降低结构自重,优化结构受力状态。发泡陶瓷保温板具有轻质、保温、防火等优点,能够减轻屋面荷载,提高结构的稳定性。

4 典型案例分

4.1 北京怀柔区金隅兴发老厂房改造项目

该项目原为水泥生产厂,改造后定位为科技研发园区。结构评估发现,原厂房框架结构存在混凝土强度不足、节点连接松动等问题。加固设计采用CFRP加固法与外包钢加固法相结合的方案,对关键柱体进行外包钢加固,对梁体进行CFRP粘贴加固。

施工创新点包括:

(1)采用BIM技术建立结构数字模型,优化加固构件布局,减少材料浪费。通过BIM模型,可以直观地看到加固构件在原结构中的位置和尺寸,提前发现可能存在的冲突和问题,及时进行调整和优化,使加固设计更加合理。

(2)引入智能监测系统,实时感知结构应力与变形,确保施工安全。在加固施工过程中,在关键部位安装应力传感器和位移传感器,实时采集结构的应力与变形数据,并通过无线传输技术将数据传输到监控中心。当应力或变形超过预设的安全阈值时,系统会自动发出警报,提醒施工人员采取相应的措施,保障施工安全。

(3)模块化施工技术的应用,将加固构件预制为标准单元,现场快速安装,施工周期缩短40%。在工厂中按照设计要求预制好加固构件,如外包钢框架、CFRP板等,然后运输到施工现场进行快速安装。这种方式减少了现场施工的工作量,提高了施工效率,缩短了施工周期。

4.2 深圳妇儿大厦改造项目

该项目原为90年代初建设的公共服务建筑,改造后定位为妇儿活动中心。结构评估发现,原框架-剪力墙结构存在剪力墙配筋不足、楼板开裂等问题。加固设计采用增设剪力墙与粘贴钢板相结合的方案,在原结构中增设钢筋混凝土剪力墙,提升结构抗侧刚度;对开裂楼板进行粘贴钢板加固,恢复其承载能力。

施工创新点包括:

(1)采用“投建营一体化”模式,引入专业运营团队参与前期设计,优化功能布局。专业运营团队根据妇儿活动中心的功能需求,对建筑的布局、空间利用等方

面提出建议,使加固设计不仅满足结构安全要求,还能更好地满足使用功能需求。例如,合理规划活动室、休息区等空间,提高建筑的实用性和舒适性。

(2)运用数字孪生技术,构建全要素运维管理平台,实现结构状态的实时监控与预警。数字孪生技术通过建立建筑的虚拟模型,与实际建筑进行实时数据交互,能够准确地反映建筑的结构状态和使用情况。运维管理平台可以实时监测结构的应力、变形、温度等参数,当出现异常情况时及时发出预警,为建筑的维护和管理提供科学依据。

(3)绿色加固材料的应用,采用再生混凝土与低碳钢材,降低碳排放量。再生混凝土是利用废弃混凝土经过破碎、筛分等工艺制成的,具有资源循环利用的特点。低碳钢材在生产过程中采用先进的节能技术,减少了碳排放。使用这些绿色加固材料不仅符合环保要求,还能降低工程成本。

5 结语

既有建筑改造施工中的结构安全性评估与加固技术是保障改造安全与质量的核心,科学评估体系与精准加固技术选择是关键。未来,随着新材料、新技术与新工艺发展,既有建筑改造将呈现智能化评估技术(基于物联网与大数据实现实时感知预警)、绿色化加固材料(研发低碳环保可再生材料)、模块化施工工艺(开发标准化预制化构件提升效率质量)、全生命周期管理(建立数据库实现动态监控维护)等趋势。既有建筑改造是系统性工程,需全链条把控结构安全性,通过技术创新与管理优化,可实现安全改造与功能提升,为城市可持续发展提供支撑。

参考文献

- [1]孙晓丹,李晓婷,张福建,等.既有居住建筑结构安全改造分析[J].山西建筑,2020,46(22):53-54.
- [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]张伟建.既有建筑结构加固改造技术体系探讨[C]//《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集(三).武汉新芯集成电路股份有限公司,2025:206-210.