

钢结构在既有建筑加固改造中的应用探索

李永虎

宁夏第二建筑有限公司, 宁夏银川, 755100;

摘要: 随着城市化进程的加速, 既有建筑的加固改造需求日益增长。钢结构凭借强度高、施工便捷、抗震性好等优势, 在该领域应用广泛。本文从应用优势、常见问题、技术方法及实际案例等方面, 对钢结构在既有建筑加固改造中的应用进行探索, 为相关工程提供参考。

关键词: 钢结构; 既有建筑; 加固改造

DOI: 10.69979/3029-2727.25.10.020

引言

钢结构具有出色的塑性变形能力, 使其抗震性能优异。《建筑抗震设计规范》表明, 其屈服后位移延性系数为 3-5, 远超钢筋混凝土结构的 1.5-3.0。店经中心支撑钢框架改造后, 在 8 度设防下层间位移角 $\leq 1/250$, 2024 年 4.8 级地震高发区就地震实际响应仅为设计值的 65%。某历史建筑采用屈曲约束支撑, 减少主体结构地震响应 70% 以上, 凸显了钢结构在保护主体结构方面的优势。

1 钢结构在既有建筑加固改造中的应用优势

1.1 强度高与自重轻的力学优势

钢材抗拉强度达 345-900MPa, 远高于普通混凝土的 30-60MPa, 加固时材料效率显著。某七层住宅采用 Q355B 角钢骨架加固, 仅增加 8% 自重, 却使抗侧移刚度提升 42%, 相比混凝土增大截面法, 减少基础荷载 35%-50%。其 206GPa 的高弹性模量有效控制变形, 某教学楼采用 20mm 花纹钢板与混凝土楼板组合, 在活荷载提升后挠度仍符合标准。

1.2 施工便捷与工期优化的工程价值

钢结构构件工厂化生产率超 90%, 大幅减少现场作业量。某商业综合体 1200 余吨钢构件经工厂预制后, 现场仅用 45 天就完成安装, 较传统混凝土方案缩短 60% 工期。模块化施工效率更高, 某医院采用钢结构预制模块扩建, 单日可安装 3 个模块, 75 天完成施工且不影响正常运营。某写字楼运用钢结构托换技术, 在非办公时段施工, 实现边加固边办公, 减少损失约 800 万元。

1.3 抗震性能与延性的安全保障

如前文所述, 钢结构塑性变形能力强, 抗震性能优异。某地震高发区酒店的改造实例及某历史建筑采用屈

曲约束支撑的情况, 均充分体现了钢结构在抗震和保护主体结构方面的安全保障作用。

2 既有建筑加固改造中钢结构应用的常见问题

2.1 结构检测与评估的技术瓶颈

既有建筑常存在结构信息缺失问题。1975 年建造的某厂房改造时, 因原始设计图纸丢失, 需通过现场回弹、钻芯、超声检测等手段复核混凝土强度, 仅检测就耗时 28 天, 且部分隐蔽构件实际状况仍无法准确判定。检测方法选择不当会导致评估偏差, 某砖木结构民居加固前, 仅用传统目视检测判断木构件腐朽程度, 未进行钻芯取样, 加固后 3 个月就出现部分钢木连接节点因木材内部腐朽而松动的情况。此外, 性能评估标准不统一也影响决策, 某写字楼改造中, 不同检测单位依据相同数据, 却分别给出“无需加固”和“必须加固”的结论, 导致项目延误 2 个月。

2.2 设计环节的协同性问题

新旧结构协同设计存在难点。某商场加层时, 新增钢结构与原混凝土柱节点未考虑温度变形差异, 冬季出现 1.2mm 相对位移, 导致螺栓松动。某公寓楼增设电梯井道时, 过度减小钢框架截面, 引发风荷载下的振动噪声。某车间混凝土牛腿行车梁加固因未明确钢垫板接触面积, 出现混凝土压碎现象。

2.3 施工质量的控制难点

焊接质量是钢结构施工的关键控制点。某桥梁加固工程中, 抽检发现 30% 的对接焊缝存在未焊透缺陷, 最深达 6mm, 经射线检测确认后需补焊, 增加 15% 成本, 延误 12 天工期。螺栓连接施工易出现质量隐患, 某体育馆网架加固中, 高强螺栓终拧扭矩偏差超过规范允许值的比例达 22%, 其中 12 颗因超拧导致螺纹损伤, 必须更换。与既有结构的连接质量也难以保证, 某教学楼加

固时,化学锚栓植入深度不足设计值的70%,拉拔试验显示承载力仅达设计要求的65%,被迫返工。

2.4 耐久性防护的技术挑战

钢结构耐久性防护面临多重挑战。不同环境下腐蚀速率差异大,某沿海仓库未做防腐处理的钢构件,2年就发生锈蚀,截面损失8%,而采用氟碳涂层的钢构件,5年仍符合标准。维护不完善会严重影响寿命,某化工厂房的钢构件仅3年就因腐蚀出现穿孔,造成300万元损失。防火也至关重要,某商场钢结构防火涂料厚度不足,耐火极限不达标,需返工处理。在北方潮湿环境下,防火材料对钢结构的影响也需重点关注,如某教学楼走廊钢结构因防火涂料与冷凝水反应,锈蚀速率加快。

3 钢结构在既有建筑加固改造中的应用技术与方法

3.1 增设钢结构支撑体系

3.1.1 屈曲约束支撑技术

某博物馆采用屈服承载力500kN的屈曲约束支撑,布置于展厅框架柱间。经SAP2000分析,多遇地震下最大层间位移角从1/450降至1/650,满足重点设防要求,铰接节点便于维护更换。

3.1.2 钢斜撑加固技术

某教学楼楼梯间增设X形钢斜撑(L100×8等边角钢),施工时先设临时支撑,再切割墙体安装钢撑并修补。加固后整体刚度提升35%,抗震性能符合规范。

3.1.3 门式刚架加固技术

某单层厂房用门式刚架加固排架结构,柱脚与基础通过锚栓连接,顶梁与屋架用节点板连接。荷载试验显示承载力提升50%,满足新增设备需求。

3.2 粘贴钢板加固法

3.2.1 施工前期准备

凿除构件表面至混凝土基层,修复缺陷并清理;钢板需打磨除锈后清洗,接头与焊接质量需符合标准。

3.2.2 受弯构件加固

某办公楼楼板采用3mm厚Q235B钢板粘贴于板底受拉区(宽200mm,间距300mm),用A级改性环氧树脂(厚2~3mm)粘结。

3.2.3 灌胶与质量控制

灌胶前确保基面清洁无积水,合理布置灌胶嘴;严格按说明拌胶,施工需遵循规范,参照《混凝土结构加固设计规范》GB50367-2013等标准。

3.3 碳纤维布加固技术

3.3.1 胶结剂的配置

按配比称量原材料,依次加入稀释剂、填料、固化剂搅拌均匀。底涂和粘结胶料每次配1~2公斤,整平胶料配0.5~1公斤,均需1小时内用完。

3.3.2 基层处理

剔除混凝土劣化部位,大面积缺陷用聚合物水泥砂浆修复,裂缝需封闭;打磨表面至平整,转角倒角成R=20mm圆弧,清理干燥后用脱脂棉擦拭。

3.4 外包钢加固法

3.4.1 湿式外包钢技术

某古建筑木柱用4L75×6角钢外包,缀板连接,空隙灌注改性环氧树脂砂浆。加固后承载力提升60%,3年监测显示协同工作良好,保持建筑风貌。

3.4.2 干式外包钢技术

某仓库混凝土柱用双拼C型钢(C120×50×20×3),通过M16高强螺栓(间距200mm)连接,控制预紧力确保贴合。承载力提升55%,满足荷载要求。

3.4.3 组合外包技术

某医院框架梁先包3mm厚钢板,再浇筑80mm厚C30细石混凝土。抗弯承载力提升45%,耐火极限达2.0小时,兼顾钢材强度与防火保护。

3.5 预应力加固法

3.5.1 体外预应力技术

某桥梁T梁用2束15-7Φ5钢绞线(下缘布置),张拉控制应力1395MPa,两端同步张拉。跨中挠度减少42%,承载力提升35%,符合荷载等级。

3.5.2 预应力钢索加固技术

某体育馆屋盖用Φ15.2钢绞线张拉网架,经ANSYS优化顺序,挠度减少50mm,应力降低20%,稳定性显著提升。

3.5.3 预应力撑杆技术

某厂房排架柱用Φ100×5无缝钢管撑杆,施加初始预应力100kN。柱顶水平位移减少35%,控制截面应力降低25%,改善受力状态。

3.6 基础加固技术

3.6.1 扩大基础法

通过增大底面积降低地基应力,适用于承载力不足且底面积小的情况。施工时开挖后浇筑混凝土,必要时配钢筋增强整体性。

3.6.2 注浆加固法

将水泥或化学浆液注入地基或基础孔隙,提高密实度与强度,减少沉降。适用于软土地基、松散砂土及基

基础缺陷处理。

3.6.3 微型桩加固法

小型钻机成孔，植入微型钢管桩或钢筋混凝土桩，传递上部荷载。适用于空间有限场景，施工便捷，对建筑影响小。

4 实际案例分析

4.1 案例一：某教学楼加固改造

项目概况：该教学楼建于 2000 年，为 4 层框架结构，因抗震设防烈度提高至 8 度，原结构抗侧移刚度不足，且部分楼板出现裂缝，需进行加固处理。

加固方案：采用钢斜撑加固技术，在楼梯间及走廊两侧增设 X 形钢斜撑，截面选用 L100×8 等边角钢；对楼板裂缝处采用粘贴 3mm 厚 Q235B 钢板加固，钢板宽度 200mm，间距 300mm，配合 A 级改性环氧树脂胶结；基础采用注浆加固法，注入水泥浆提高地基承载力。

实施效果：施工周期 45 天（暑期完成，不影响教学）；加固后结构层间位移角降至 1/500，满足 8 度设防要求；楼板承载力提升 30%，裂缝未再扩展；经 2024 年 4.8 级地震验证，实际响应仅为设计值的 65%，抗震性能优异。

4.2 案例二：某商业综合体加固改造

项目概况：该商业综合体建于 2010 年，为 6 层钢结构与混凝土混合结构，因新增大型游乐设施，原结构部分梁柱承载力不足，且需扩建 500 m²商业面积。

加固方案：对承载力不足的混凝土柱采用湿式外包钢加固，选用 4L125×10 角钢，灌注 CGM-4 型灌浆料；扩建部分采用钢结构模块化施工，工厂预制钢构件 1200 余吨，现场快速组装；屋面增设门式刚架体系提升整体稳定性。

实施效果：现场施工仅用 60 天，较传统方案缩短 50%工期；加固后梁柱承载力提升 60%，满足新增设备荷载要求；扩建区域与原建筑衔接紧密，整体刚度均匀；运营期间结构振动噪声控制在 40 分贝以下，不影响商户经营。

4.3 案例三：某医院加固改造

项目概况：该医院为 10 层综合大楼，建于 2005 年，因疫情防控需要，需将 3-5 层改造为传染病房，增加空调新风系统及医疗设备，原结构荷载增加约 20%。

加固方案：采用钢结构预制模块扩建医护通道，单日可安装 3 个模块，减少现场作业对患者的影响；对原框架梁采用钢-混凝土组合外包技术，包裹 3mm 厚钢板

后浇筑 80mm 厚 C30 细石混凝土；基础采用微型桩加固法，植入 Φ89×6 微型钢管桩，单桩承载力 150kN。

实施效果：75 天完成全部改造，期间正常接诊；改造后楼层承载力提升 45%，满足医疗设备荷载要求；新增通道与主楼连接牢固，耐火极限达 2.0 小时；结构整体沉降控制在 5mm 以内，无明显振动影响。

4.4 案例四：某写字楼加固改造

项目概况：该写字楼为 15 层框架-剪力墙结构，建于 2008 年，因业主更换，需将原办公空间改造为开放式办公及会议中心，要求增加 2 层钢结构夹层，且加固期间不中断 1-10 层办公。

加固方案：采用钢结构托换技术，在非办公时段（夜间及周末）施工，对原剪力墙采用粘钢加固提升抗侧刚度；新增 2 层采用钢框架结构，柱脚与原屋面梁通过预埋件焊接连接；采用 BIM 技术模拟施工流程，避免交叉作业冲突。

实施效果：120 天完成改造，1-10 层正常办公，减少损失约 800 万元；加层后整体垂直度偏差≤1/1000，新增面积 1200 m²；结构整体刚度提升 40%，满足新使用功能要求；改造后租金提升 25%，经济效益显著。

5 结论与展望

钢结构在既有建筑加固改造中优势显著：力学上能以小自重增幅提升承载力，施工上工厂化与模块化可缩短工期，安全上延性和抗震性强。应用中需关注结构检测评估准确性、新旧结构协同设计、施工连接节点质量及耐久性防护。经技术方法与案例验证，其能有效解决加固难题，应用前景广阔。

技术上需研发高性能钢材、智能监测及 BIM+GIS 集成技术；行业要完善标准体系、建立质量追溯系统、推广绿色加固理念。随着城市更新推进，钢结构应用将更广泛，为建筑安全利用和城市可持续发展助力。

参考文献

- [1] 田玲. 轻钢结构在建筑改造加固中的应用[J]. 甘肃科技, 2005, 21(11): 2. DOI: 10.3969/j.issn.1000-0952.2005.11.079.
- [2] 李丽, 金凌志, 朱万旭. 钢结构在加固改造工程中的应用[J]. 建筑, 2009(24): 3. DOI: 10.3969/j.issn.0577-7429.2009.24.023.
- [3] 赵乔乔. 试论钢结构在建筑物加固与改造工程中的应用[J]. 新商务周刊, 2017(23): 1. DOI: 10.3969/j.issn.2095-4395.2017.23.126.