

# 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 Q35 5B 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 2 0mm 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

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 m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup>；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.