

# 既有建筑结构加固改造的优化设计与施工技术

李 金

中冶沈勘秦皇岛工程设计研究总院有限公司 河北 秦皇岛 066000

**摘要：**既有建筑结构加固改造涉及结构安全、功能提升与成本控制的综合平衡，需遵循规范要求并融合技术创新。先鉴定后加固：必须经专业检测鉴定明确结构现状（如承载力、抗震缺陷），严禁直接按鉴定报告施工。安全与经济并重：承载能力加固与抗震加固需同步，采用轻量化设计（如拓扑优化）减少冗余材料，降低成本可达30%。

**关键词：**既有建筑结构；加固改造；优化设计；施工技术

## 引言

加固改造必须坚持“先鉴定后施工”原则，严禁直接套用鉴定报告设计。需综合安全、功能、成本三要素，优先选用碳纤维加固（抗压提效35%）或钢桁架转换层等技术。

### 1 既有建筑结构加固改造的必要性

（1）安全保障：消除结构隐患的核心需求。结构老化风险防控，老旧建筑混凝土碳化、钢筋锈蚀导致承载力下降（如C10-C15混凝土强度不足），砌体结构空洞率 $> 30\%$ 时需优先加固墙体抗压能力，避免坍塌事故。2000年前建筑普遍为砌体结构，而这些结构中又大多缺乏圈梁及构造柱，结构抗震性能差，针对此类建筑物，加固改造时需增设剪力墙或消能减震装置（可提高延性200%）。国家强制要求：2025年底前完成2000年前老旧小区改造，重点加固预制板房。

（2）功能升级：适应现代使用需求。荷载变化适应性改造，住宅改商业时楼面活荷载增加，或增设重型设备（如档案库需 $\geq 500\text{kg/m}^2$ ），则需通过增加钢桁架转换层分散荷载。空间与设施更新，适老化改造需同步加固结构并增设无障碍设施。屋顶光伏安装需重新评估荷载，避免超载风险。

（3）经济与社会效益：成本与文化的平衡。改造成本优势显著，加固费用仅为拆除重建的30%-50%，且工期缩短15%（模块化施工减少扰民）。历史文化保护价值，保留城市风貌载体（如历史街区），通过加固延续建筑文化功能，避免“拆真建伪”。

（4）政策合规性：法规与民生双驱动。强制规范要求，需执行《建设工程抗震管理条例》，未加固的危房不得使用，违者罚款50万元以上。改造后需达到8度抗震设防标准（农宅改造补贴达6.5万元/户）。国家战略推动，住建部“四好建设”明确要求：2025年前将老房改造为“安全、舒适、绿色、智慧”的好房子。

## 2 既有建筑结构常见问题及解决方案

（1）砌体结构问题及解决方案。墙体承载力不足，问题：空心砖墙空洞率高（ $> 30\%$ ）、砌筑砂浆强度低导致抗压不足。解决方案：双面钢筋网砂浆面层加固（提升抗压强度40%），植入 $\Phi 6-8\text{mm}$ 钢筋网，抹25mm厚M15砂浆。当承重墙体严重破损时则需拆除重建承重墙；仅局部有缺陷时，可采用高压注浆（0.4-0.6MPa压力注入C30浆料）填充空洞。轻量化加固：高延性混凝土面层（无需钢筋网）。整体性缺陷问题：纵横墙连接弱、无圈梁构造柱，地震易倒塌。解决方案：纵横墙体交接处增设钢筋混凝土构造柱+圈梁，形成闭合约束；或者采用钢拉杆横向加固纵横墙，间距 $\leq 2.4\text{m}$ （荷载转移70-90%）。预制楼板隐患，问题：板缝开裂、支撑长度不足。解决方案：板底增设钢梁或混凝土梁分担荷载。碳纤维布粘贴板底（抗弯提升50%），或浇筑5-10cm混凝土叠合层。

（2）混凝土结构问题及解决方案。梁柱节点抗震薄弱，问题：旧规范配筋率低，节点箍筋稀疏，地震易剪切破坏。解决方案：节点区外包钢套箍或碳纤维布环箍（提高延性200%）。增设阻尼器分散地震能量（降低主体结构损伤30%）。承载力不足，问题：老建筑混凝土强度仅C10-C15，钢筋屈服强度低。解决方案：增大截面法：梁柱外包混凝土（厚度 $\geq 60\text{mm}$ ），新旧界面植筋锚固。碳纤维布包裹柱体（抗压提升35%），适用空间受限场景。楼板承重缺陷，问题：楼面增设设备，致使楼面荷载超过原设计荷载（如档案库需 $\geq 500\text{kg/m}^2$ ）。解决方案：板底粘贴钢板或碳纤维布（轻载场景）。重型设备下增设钢桁架转换层，分散荷载至主梁。

（3）钢结构问题及解决方案。钢柱失稳，问题：翼缘宽厚比超限，局部屈曲；增设光伏导致荷载超限。解决方案：外包钢板焊接或缠绕碳纤维布（刚度提升40%）。增设支撑体系优化荷载路径。

加固必须执行线型相关规范要求，对已有建筑物进行检测鉴定（如混凝土强度回弹+取芯修正），严禁直接套用鉴定报告设计。

### 3 既有建筑结构加固改造流程

(1) 前期鉴定与方案设计。专业队伍检测鉴定，委托第三方机构检测结构现状（混凝土碳化深度、钢筋锈蚀率、砌体空洞率等），形成书面鉴定报告，明确承载力缺陷与抗震薄弱点。重点指标：混凝土强度需回弹+取芯双检修正，砌体空洞率>30%需注浆填充。加固方案设计，设计单位基于鉴定报告制定加固方案，包括：荷载重分布：设备上楼需增设钢桁架转换层分散荷载；抗震补强：无圈梁建筑需增构造柱+阻尼器；材料选型：碳纤维布（抗弯提效50%）或外包钢板（刚度提升40%）。

(2) 施工过程关键技术。基础加固，微型桩基托换：沉降区植入桩体（精度 $\leq 2\text{mm}$ ），同步注浆填充地基裂隙（压力 $0.4\text{--}0.6\text{MPa}$ ）。扩大基础底面积：条形基础老房采用抬梁法增加承重面。主体结构施工，混凝土构件加固：增大截面法：旧混凝土表面凿毛（麻点 $\geq 600$ 个/ $\text{m}^2$ ），植筋深度 $\geq 15$ 倍钢筋直径，浇筑自密实微膨胀混凝土；碳纤维布粘贴：基面平整度误差 $\leq 3\text{mm}/2\text{m}$ ，纤维方向偏差 $< 5^\circ$ 。砌体墙强化：双面挂 $\phi 6\text{--}8\text{mm}$ 钢筋网，抹 $25\text{mm}$ 厚M15砂浆。

### 4 既有建筑结构优化设计策略

(1) 既有建筑结构优化设计方法。既有建筑结构优化设计需在保障安全的前提下，实现性能强化、空间活化、成本可控三大目标。结构性能优化策略，荷载路径重构，增设转换层：底层商业改造时，采用空腹钢桁架（高度 $\geq 1/12$ 跨度）分散集中荷载至剪力墙，可实现降低原有梁柱负荷约40%。洞口加固补偿：楼板开洞后，洞口周边粘贴 $8\text{mm}$ 厚钢板围框，角部斜贴 $45^\circ$ 碳纤维布（宽度 $\geq 300\text{mm}$ ），可实现刚度损失控制在15%以内。结构体系升级，消能减震技术：钢框架增设屈曲约束支撑（BRB），耗能能力提升约5倍；混凝土核心筒安装粘滞阻尼墙，可使地震响应降低30-50%。轻量化拓扑优化：通过有限元分析剔除冗余构件，可减少材料用量约25%。空间效能提升方法。竖向管道路由改造：利用BIM检测管线冲突，将楼梯间移至外墙，释放中部空间（增加使用面积7-12%）。替换混凝土楼梯为螺旋钢板结构，自重减轻约65%。肋梁楼盖技术：梁高可压缩约 $1/3$ ，预留 $200\times 150\text{mm}$ 设备通道，整合通风管与电缆。成本控制核心技术，模块化设计：预制钢构件现场组装，降低加工复杂度，可缩短工期40%。标准建立与迭代：建立企业级加固工艺库，减少试错成本。绿色节能与规范适配，围护结

构协同，外保温层与结构加固同步施工：锚栓穿透保温层植入结构（抗拉强度 $\geq 100\text{kPa}$ ），避免二次破坏。

(2) 既有建筑结构不同加固技术的施工要点。混凝土构件加固，粘贴钢板加固，基面处理：混凝土表面凿毛至露出骨料（麻点密度 $\geq 600$ 个/ $\text{m}^2$ ），平整度误差 $\leq 3\text{mm}/2\text{m}$ ，用丙酮清洗干燥。钢板处理：除锈达Sa2.5级，丙酮擦拭除油；钻孔位置需规避原钢筋（探测仪定位偏差 $\leq 5\text{mm}$ ）。粘结施工：结构胶涂抹厚度 $2\text{--}3\text{mm}$ （中间厚边缘薄），加压使胶体均匀溢出，固化期禁止扰动。碳纤维布加固，基面修复：裂缝 $> 0.1\text{mm}$ 时注浆封闭，空洞用修补胶填平，棱角打磨成 $R \geq 20\text{mm}$ 圆弧。纤维布粘贴：单向布纤维方向偏差 $< 5^\circ$ ，滚筒沿纤维方向滚压排除气泡，空鼓面积 $\leq 5\%$ 。防护处理：固化后涂防火涂料，紫外线敏感环境需增加防护面层。模板支设：采用微膨胀自密实混凝土，浇筑时分层振捣（层厚 $\leq 500\text{mm}$ ），养护 $\geq 7$ 天。砌体结构加固，钢筋网砂浆面层，挂网施工：双面铺设 $\phi 6\text{--}8\text{mm}$ 钢筋网（网格尺寸 $\leq 150\text{mm}$ ），网片搭接长度 $\geq 300\text{mm}$ 。砂浆抹面：分层涂抹M15水泥砂浆（总厚 $\geq 25\text{mm}$ ），初凝前压实收光，养护防开裂。植筋连接：新旧结构交接处植筋深度 $\geq 120\text{mm}$ ，钢筋外露长度满足搭接要求。分段浇筑：圈梁分段施工（每段 $\leq 2\text{m}$ ），浇筑前湿润基层，顶部留斜槎衔接。地基基础加固，注浆加固，参数控制：注浆压力 $0.4\text{--}0.6\text{MPa}$ ，水灰比 $0.5\text{--}0.6$ ，分段提升注浆管（每段 $\leq 1\text{m}$ ）。监测要求：沉降速率 $> 2\text{mm}/\text{d}$ 时暂停注浆，回填生石灰加速固结。微型桩托换，精准植入：桩体垂直度偏差 $\leq 1\%$ ，桩位误差 $\leq 2\text{mm}$ ，注浆填充桩周空隙。钢结构加固，外包钢加固，焊缝控制：缀板间距 $\leq 500\text{mm}$ ，角焊缝高度 $\geq 6\text{mm}$ ，焊接后热浸镀锌（厚度 $\geq 80\mu\text{m}$ ）。灌浆密实：压力灌注环氧砂浆，敲击检查无空洞声。FRP网格加固，张拉工艺：预应力FRP网格用反力板张拉（控制应力 $\leq 0.6f_{uk}$ ），U形筋锚固跨缝区域。砂浆喷涂：地聚物砂浆分层喷涂（每层 $\leq 10\text{mm}$ ），网格完全包裹无外露。

### 5 既有建筑结构加固改造施工质量控制

(1) 施工前控制。方案与资质审查，加固方案需经专业设计单位出具，严禁直接使用鉴定报告施工；施工企业须具备结构加固专项承包资质，技术负责人需5年以上经验及高级职称。对原结构全面检测，包括混凝土碳化深度、钢筋锈蚀率等，确保加固设计依据充分。

(2) 施工过程控制。关键工艺质量控制，界面处理，混凝土表面凿毛至骨料外露（麻点密度 $\geq 600$ 个/ $\text{m}^2$ ），平整度误差 $\leq 3\text{mm}/2\text{m}$ ，丙酮清洗干燥。新旧

混凝土界面涂刷界面剂，植筋深度  $\geq 15d$  ( $d$ 为钢筋直径)，孔内灰尘高压气枪清除。粘结施工，粘贴钢板/碳纤维布时，胶体涂抹厚度2-3mm (中间厚边缘薄)，滚压排除气泡，空鼓面积  $\leq 5\%$ 且单处  $\leq 100\text{cm}^2$ 。外包型钢焊接后需热浸镀锌 (厚度  $\geq 80\mu\text{m}$ )，湿式外包钢压力灌注环氧砂浆确保密实。

(3) 常见风险防控。环境适应性失效：温度  $< 5^\circ\text{C}$ 或湿度  $> 85\%$ 时禁止粘结作业；超限结构风险：超出规范限值时，需通过振动台试验验证抗震性能并进行专项论证；材料老化：合成树脂类加固结构需每10年检测粘结性能退化情况。

(4) 施工技术创新与实践。高效工艺应用，基面处理：混凝土表面平整度误差  $\leq 3\text{mm}/2\text{m}$ ，采用喷砂糙化处理 (粗糙度  $R_a \geq 12.5\mu\text{m}$ ) 确保粘结强度。节点精细化施工：植筋深度  $\geq 15d$  ( $d$ 为钢筋直径)，钻孔后采用环氧胶填充，拉拔力需  $\geq 12\text{kN}$ 。特殊工况应对，高原地区施工：案例显示，冻土区采用树根桩 (直径250mm) 加固地基，承载力从120kPa提升至280kPa。有限空间作业：超高层纠偏采用微型液压顶升系统，位移控制精度达0.1mm，同步偏差  $< 2\text{mm}$ 。智能监控体系，植入光纤光栅传感器，实时监测应力应变，温度补偿精度  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ；沉降观测采用6级精度全站仪，位移速率  $\leq 0.03\text{mm}/\text{日}$ 允许施工。

## 6 新技术在既有建筑结构加固施工中的应用

(1) 复合材料技术革新。高性能碳纤维应用，材料升级：T700级碳纤维布抗拉强度达3647MPa (超国标3400MPa)，自重仅300g/m<sup>2</sup>，适用于梁板抗弯加固；配套浸渍胶VOC含量为国标限值30%，满足绿色施工要求。工艺创新：预应力碳纤维板系统主动提升承载力，

减少结构变形 (如大查高速项目桥梁挠度下降40%)；碳纤维网格配合湿喷聚合物砂浆，解决桥墩裂缝控制难题。智能复合材料突破，自修复混凝土：裂缝宽度  $\leq 0.3\text{mm}$ 时可自动愈合，延长使用寿命30%；形状记忆合金 (SMA) 阻尼器：地震中产生15%形变恢复力，白玉县酒店项目实测降低振动加速度35%。

(2) 智能建造技术集成。3D打印精准加固，现场施工：采用龙门式建筑打印机直接喷射UHPC (抗压强度150MPa)，修复墙体裂缝仅需10mm厚度 (对比传统40mm)；预制构件：荷兰埃因霍温混凝土房屋工厂打印装配，工期缩短60%，保温性能提升50%。机器人协同作业，智能放线机器人：弧形结构放线误差  $\leq 1\text{mm}$ ；自动喷涂机器人：碳纤维布胶层厚度控制精度  $\pm 0.2\text{mm}$ ，空鼓率降至3%以下。

(3) 结构体系创新应用。隔震技术升级，复合材料隔震支座：多元组分橡胶复合材料阻尼比达传统材料2.3倍，适用温度  $-40^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$  (高烈度地震区首选)；轻量化穹顶结构：透光率85%的复合材料波形板，单位自重202N/m<sup>2</sup> (较混凝土减重60%)，满足500N/m<sup>2</sup>雪荷载承载力要求。

总之，既有建筑加固需贯穿“检测-设计-施工-监测”全链条协同，未来将更聚焦智能化设计工具 (如PKPM自动翻模功能) 与低碳建材应用。设计方需结合建筑历史价值与功能需求，制定全寿命周期维护计划。

## 参考文献

- [1]王宏宇.浅谈既有建筑结构加固改造的优化设计与施工技术.2022.
- [2]刘海燕.关于既有建筑结构加固改造的优化设计与施工技术分析.2023.