

工程施工 — 建筑结构改造与加固

一、理论基础与方法论

1.1 结构改造与加固的学科定位

建筑结构改造与加固是土木工程的重要分支，涉及对既有建筑结构的安全性评估、功能改造和承载力提升。随着我国大量建筑进入"老龄化"阶段（1980-2000年代建设的建筑已使用25-45年），结构改造与加固已成为万亿级市场。

改造与加固的理论基础包括：- 结构可靠性理论（GB 50292）：安全性+适用性+耐久性的综合评价 - 结构损伤力学：裂缝扩展、材料劣化、疲劳损伤的力学模型 - 界面力学：新旧材料（混凝土/钢材/FRP）之间的粘结/锚固机理 - 塑性力学：加固后结构的内力重分布和极限承载力分析

1.2 结构鉴定的层次

三步鉴定法：

第一步：初步调查

- 资料收集（原设计图、施工记录、历次维修）
- 外观检查（裂缝、变形、渗漏、锈蚀）
- 使用历史调查（荷载变化、灾害经历）

第二步：详细检测

- 材料强度检测（回弹/取芯/超声）
- 钢筋检测（位置/直径/锈蚀）
- 结构变形测量（倾斜/挠度/裂缝宽度）
- 地基基础检查
- 结构荷载调查

第三步：结构验算与评级

- 承载力验算（按现行规范）
- 抗震验算
- 变形验算
- 评级（A/B/C/D四级）

1.3 加固设计的基本原则

- 先鉴定后加固**：必须基于科学检测鉴定结果
- 不降低原有安全度**：加固后不低于原设计标准
- 尽量减少对原结构的损伤**：避免大量凿除
- 加固与使用功能协调**：不影响正常使用的空间/净高
- 经济合理**：加固费用不超过新建费用的60-70%

二、核心知识点详解

2.1 拆除工艺

拆除方法分类：

方法	原理	适用	振动	噪声	粉尘
机械拆除	液压锤/破碎锤	大面积拆除	大	大	大
静力切割	金刚石绳锯/墙锯	精确切割	无	小	小
爆破拆除	炸药	大型建筑	极大	极大	极大
人工拆除	风镐/锤	小面积	中	中	中

静力切割技术是结构改造中最常用的拆除方式：- 金刚石绳锯：可切割任意厚度混凝土，切割面平整 - 墙锯：适合墙体开洞，切割深度≤800mm - 水钻：适合管道穿孔，直径50-500mm

2.2 开洞加固

在既有结构上开设门洞/窗洞是最常见的改造需求。

开洞加固方法：

方法	适用	步骤	优点
粘钢加固	板/梁开洞	切割→安装钢框→灌注结构胶	施工快
碳纤维加固	板开洞	切割→打磨→贴碳纤维布	轻便、耐腐蚀
型钢框架	墙体开洞	切割→安装型钢框架→灌浆	承载力高
增设边梁	大面积开洞	切割→增设混凝土边梁→植筋	整体性好

开洞位置选择原则： 1. 避开主梁、柱等关键受力构件 2. 洞边距梁/柱边≥150mm 3. 洞高≤层高×1/3，洞宽≤跨度的1/3 4. 开洞后需进行结构验算

2.3 碳纤维加固（CFRP）

碳纤维增强聚合物（CFRP）加固是近20年发展最快的加固技术。

碳纤维加固原理： 利用高强度碳纤维布/板通过结构胶粘贴于混凝土构件表面，碳纤维承受拉力，与原结构共同工作，提高构件承载力。

碳纤维材料性能：

参数	高强I级	高强II级
抗拉强度标准值	≥3400MPa	≥3000MPa
弹性模量	≥240GPa	≥210GPa
伸长率	≥1.7%	≥1.4%
纤维面积	按产品	按产品

碳纤维加固适用范围：

加固对象	加固效果	承载力提升	刚度提升
梁（受弯）	贴底面碳纤维布	20-60%	5-15%
梁（受剪）	贴U形箍	30-80%	—
柱（轴压）	环向包裹	10-40%	—
柱（抗震）	环向包裹	延性提升100%+	—
板（受弯）	贴底面碳纤维布	15-40%	5-10%
墙（面外）	贴碳纤维布	20-50%	—

2.4 粘钢加固

粘钢加固是将钢板通过结构胶粘贴于混凝土构件表面，提高构件承载力的方法。

粘钢加固设计要点： 1. 钢板厚度：3-5mm（不宜超过8mm） 2. 粘贴面积：受拉区≥计算面积的100% 3. 锚固措施：钢板端部须设锚栓或锚固钢板 4. 防腐处理：钢板表面除锈+防腐涂料 5. 防火保护：钢板表面涂防火涂料或包裹

结构胶性能要求：

参数	要求	检测方法
正拉粘结强度	≥2.5MPa（混凝土破坏）	GB 50728
抗剪强度	≥12MPa	GB/T 7124
抗压强度	≥65MPa	GB/T 2567
耐湿热老化	5000h后强度保持率≥85%	GB 50728

2.5 增大截面加固

增大截面法是在原构件外表面增设混凝土和钢筋，增大构件截面面积和配筋量。

适用条件： - 梁、柱、墙的承载力不足 - 需要同时提高承载力和刚度 - 允许增加截面尺寸（不影响使用空间）

设计要点： 1. 新增混凝土厚度：≥60mm（梁），≥50mm（柱） 2. 新增纵筋直径：≥12mm 3. 新增箍筋直径：≥6mm 4. 界面处理：原混凝土表面凿毛（凹凸差≥6mm） 5. 植筋锚固：新增钢筋通过植筋与原结构连接 6. 新增混凝土强度等级：比原构件高一级

2.6 托换技术

基础托换（Underpinning）是将原有基础荷载转移到新设基础上的技术。

托换方法分类：

方法	原理	适用	深度
坑式托换	分段开挖→浇筑新基础	浅基础加深	≤5m
桩式托换	设置新桩→转移荷载	地基承载力不足	不限
锚杆静压桩	利用建筑自重反力	空间受限	≤30m
树根桩	小直径灌注桩群	复杂地质	≤30m
注浆加固	注入水泥浆/化学浆	地基处理	按设计

三、材质与工艺

3.1 加固材料体系

材料	品牌/产地	规格	单价	标准
碳纤维布	国产：中复神鹰/进口：东丽	200g/㎡, 300g/㎡	80-200元/㎡	GB 50728
碳纤维板	同碳纤维布	厚1.2-1.4mm	200-400元/m	GB 50728
结构胶（粘钢/粘碳）	喜利得/慧鱼/国产：上海固特	—	30-80元/kg	GB 50728
植筋胶	喜利得/慧鱼/国产：南京曼卡特	—	40-100元/支	JG/T 160
灌浆料	北京中德/上海建筑	CGM系列	800-2000元/t	GB/T 50448
钢板	Q235B/Q345B	3-8mm	4500-6000元/t	GB/T 700
预应力钢绞线	天津瑞通/无锡	φ15.2mm	5000-7000元/t	GB/T 5224

四、实践案例

案例1：北京国贸三期改造加固

- 类型：超高层办公楼加固
- 加固方法：粘钢+碳纤维+增大截面
- 亮点：在不停运状态下完成结构加固，夜间施工
- 造价：加固费用约5000万元

案例2：上海外滩历史建筑群保护性修缮

- 类型：历史建筑修缮
- 加固方法：型钢框架+碳纤维+灌浆
- 亮点：在保护历史风貌的前提下提升结构安全等级
- 特点：最小干预原则，可逆性加固

案例3：某医院扩建改造工程

- 类型：既有建筑功能改造
- 改造内容：拆除部分剪力墙+增设转换梁+楼板开洞
- 加固方法：粘钢加固+碳纤维加固
- 造价：加固费用约800万元

案例4：某工厂厂房加固

- 类型：工业厂房增加荷载
- 原因：设备升级，楼面荷载增加50%
- 方法：梁底贴碳纤维+柱包裹碳纤维+增大截面
- 造价：300万元，为重建费用的30%

案例5-10:（涵盖桥梁加固、地铁上方建筑施工保护、古建筑修缮等案例）

五、施工/制作指导

5.1 碳纤维加固施工流程

施工准备 → 表面处理 → 涂刷底胶 → 找平处理 → 涂刷浸渍胶 → 粘贴碳纤维布
→ 滚压排气 → 再次涂刷浸渍胶 → 表面防护 → 质量检验

关键控制点：

1. 混凝土含水率≤6%
2. 表面打磨至露出坚实骨料
3. 底胶完全渗透（指触干燥后再施工）
4. 碳纤维布搭接长度≥100mm
5. 养护期≥7天（温度≥15℃）

5.2 植筋施工质量控制

控制项	标准要求	检验方法
钻孔直径	比钢筋大4-8mm	卡尺
钻孔深度	按设计（通常15-25d）	深度尺
清孔	三吹三刷	目视+吹气球
注胶量	孔深2/3	目视
钢筋插入	旋转插入到底	目视
抗拔力	≥设计值	拉拔试验

六、性能指标与评测

6.1 加固方法对比

加固方法	承载力提升	刚度提升	施工难度	造价	工期	适用
碳纤维	20-60%	低	★★☆	中	短	梁板柱
粘钢	30-80%	中	★★★	中	中	梁板
增大截面	50-100%	高	★★★★	低	长	梁柱墙
预应力	30-60%	高	★★★★★	高	长	大跨梁
外包钢	50-100%	高	★★★★	中高	中	柱

七-十一（略，详见完整版）

附录

核心标准

编号	名称
GB 50367	混凝土结构加固设计规范

GB 50728	工程结构加固材料安全性鉴定技术规范
GB 50292	民用建筑可靠性鉴定标准
JGJ 116	建筑抗震加固技术规程
CECS 146	碳纤维片材加固修复混凝土结构技术规程