

混凝土建筑结构加固技术研究

王美丽

内蒙古工大建筑设计有限责任公司 内蒙古 呼和浩特 010050

摘要: 混凝土建筑结构加固技术是保障既有建筑安全的重要手段。本研究针对混凝土碳化、钢筋锈蚀等损伤问题,采用超声波检测、有限元分析等技术评估结构安全性,结合增大截面、外包钢、粘贴碳纤维布及预应力等方法进行加固。通过优化界面粘结性能、提升耐久性及精细化施工控制,有效增强结构承载力与抗裂性,满足抗震及耐久性要求,延长建筑使用寿命。

关键词: 混凝土建筑; 结构加固技术; 关键问题; 优化设计

引言: 随着城市建设步伐加快,大量既有混凝土建筑因使用年限增长、环境侵蚀及功能变更需求,面临结构安全性与耐久性不足的挑战。若不及时加固,可能引发结构失效甚至倒塌风险。当前,如何精准评估混凝土建筑结构损伤、选择适配的加固技术成为关键。本研究聚焦此领域,深入剖析损伤机理与评估方法,探究加固技术的优化路径,为保障建筑安全、延长使用寿命提供理论依据。

1 混凝土建筑结构损伤机理与检测评估

1.1 结构损伤机理分析

(1) 材料层面: 混凝土碳化是环境中 CO_2 与水泥水化产物反应,破坏内部碱性环境,降低抗渗性;钢筋锈蚀由碳化或氯离子侵入引发,锈蚀产物体积膨胀导致混凝土开裂,削弱钢筋受力性能;裂缝扩展则因荷载作用、温度变化或收缩变形,初始微裂缝逐渐贯通,形成宏观裂缝,影响结构整体性。(2) 结构层面: 承载力下降源于材料性能劣化与构件损伤,如钢筋锈蚀使截面减小、混凝土开裂降低协同工作能力;变形过大可能因构件刚度不足或长期荷载作用,超出规范允许值,引发结构整体失稳风险;节点失效多因节点区配筋不足、混凝土酥松,导致节点无法有效传递内力,破坏结构传力路径。

1.2 损伤检测技术

(1) 无损检测方法: 超声波检测通过声波传播速度与衰减判断混凝土内部缺陷,如空洞、裂缝;红外热成像利用材料导热差异,检测表面及近表面损伤,如空鼓、渗漏;雷达扫描借助电磁波反射,探测混凝土内部钢筋分布、缺陷位置,适用于大面积快速检测。(2) 半破损检测方法: 钻芯法钻取混凝土芯样,通过抗压试验直接获取实体强度,结果准确性高,但对结构有局部损伤;拔出法通过测量拔出力推算混凝土抗压强度,操作简便,损伤范围较小,常用于已有结构强度复核^[1]。

1.3 结构安全性评估方法

(1) 承载力验算: 规范法依据现行结构设计规范,结合检测数据计算构件承载力,判断是否满足安全要求;有限元分析通过建立结构数值模型,模拟荷载作用下的应力、变形状态,更精准评估复杂结构的安全性。(2) 耐久性评估: 基于材料劣化速率与环境作用等级,采用寿命预测模型,如混凝土碳化寿命模型、钢筋锈蚀寿命模型,估算结构在正常使用条件下的剩余使用寿命,为维修加固提供依据。

2 混凝土建筑结构加固技术

2.1 增大截面加固法

(1) 技术原理与适用范围: 该技术通过在原混凝土构件(梁、柱、板)受力薄弱区域浇筑新混凝土,并配置钢筋,增大构件截面尺寸与受力面积,从而提高承载力、刚度及抗裂性。原理核心是利用新旧混凝土协同工作,分担荷载。适用范围广,尤其适用于原构件截面偏小、承载力严重不足,或因结构改造需提高荷载等级的情况,如老旧厂房梁体加固、住宅楼柱体补强,但不适用于空间受限、不允许增大构件尺寸的场景。(2) 施工工艺与关键参数: 施工工艺需遵循“表面处理→植筋/绑扎钢筋→支模→浇筑混凝土→养护”流程,其中原构件表面需凿毛、清理浮灰,必要时涂刷界面剂,确保新旧混凝土结合紧密。关键参数方面,配筋率需根据承载力需求计算确定,梁、板受拉区配筋率通常不低于0.2%(按新混凝土截面计算),柱体纵向配筋率宜控制在0.8%-3%,避免配筋过多导致混凝土握裹力不足;截面尺寸需结合原构件受力特点与空间条件,新增截面高度/宽度一般不小于原尺寸的1/3,且需验算新增部分对相邻构件(如门窗、管线)的影响^[2]。

2.2 外包钢加固法

(1) 湿式外包钢与干式外包钢对比: 湿式外包钢通

过在型钢(角钢、钢板)与原构件表面间隙灌注环氧树脂砂浆或水泥浆,使型钢与混凝土形成整体,共同受力,适用于需提高构件抗震性能、承载力且环境潮湿的场景,优点是协同工作性好、加固效果稳定,缺点是施工周期长、对作业环境要求高;干式外包钢仅将型钢贴合原构件表面,通过螺栓或焊接固定,型钢与混凝土无粘结层,主要依赖型钢自身受力,适用于构件承载力略不足、环境干燥且需快速加固的情况,优点是施工便捷、工期短,缺点是抗震性能差、长期使用易出现型钢与混凝土脱离^[3]。(2)节点连接与防腐处理:节点连接需保证型钢与原构件、型钢之间可靠传力,柱体加固时,角钢需延伸至基础或上层楼板,通过预埋钢板或植筋锚固;梁体加固时,型钢端部需与柱体可靠连接,可采用焊接或螺栓锚固,避免节点成为薄弱点。防腐处理是关键,需对型钢表面进行除锈(喷砂或酸洗),涂刷防锈漆(底漆+面漆),湿式外包钢还需确保灌注材料饱满,隔绝空气与水分;干式外包钢需在型钢与混凝土间隙填充防火防腐材料,外露型钢需加装防火保护层,满足耐火极限要求。

2.3 粘贴加固法

(1)碳纤维布(CFRP)加固技术:利用碳纤维布高强度、轻质、耐腐蚀的特性,通过胶粘剂粘贴于构件受拉区或薄弱部位,替代或补充钢筋受力,提高承载力与抗裂性。施工流程为“表面处理→涂刷底胶→粘贴碳纤维布→涂刷面胶→养护”,需注意碳纤维布方向(沿受力方向铺设),且搭接长度不小于100mm,适用于梁、板、柱受拉加固,尤其适合空间受限、对自重敏感的场景,但不适用于高温(超过60°C)或强腐蚀环境。(2)粘钢加固技术:通过胶粘剂将钢板粘贴于构件受拉区或剪切薄弱部位,利用钢板高强度弥补原构件不足。钢板厚度需根据承载力需求确定,通常为2-6mm,过厚易导致粘贴不密实,过薄则加固效果有限;胶粘剂需选用环氧类结构胶,需满足抗拉强度 $\geq 30\text{MPa}$ 、抗压强度 $\geq 60\text{MPa}$,且具备良好的耐老化性与粘结性能,施工时需确保钢板表面除锈(打磨至露出金属光泽)、构件表面平整,胶粘剂涂抹均匀,加压固化时间不少于7天,适用于梁、柱承载力不足加固,尤其适合受剪加固场景。

2.4 预应力加固法

(1)体外预应力与体内预应力技术:体外预应力通过在构件外部(如梁体下方、柱体外侧)设置预应力筋(钢绞线、钢丝束),张拉后形成预应力,抵消部分荷载产生的内力,适用于大跨度梁、板加固,优点是施工便捷、不影响构件内部结构、可更换预应力筋,缺点是预应力筋暴露在外,需做好防护;体内预应力需在原构件

上钻孔或开槽,植入预应力筋并张拉,使预应力筋位于构件内部,与混凝土协同工作,适用于构件内部空间允许的场景,优点是预应力损失小、加固效果稳定,缺点是施工复杂、对原构件损伤较大^[4]。(2)预应力损失控制与张拉工艺:预应力损失需重点控制锚具变形、钢筋松弛、混凝土收缩徐变等因素,可通过选用低松弛预应力筋、采用超张拉工艺(张拉控制应力提高5%-10%)、延长养护时间减少收缩徐变来降低损失;张拉工艺需遵循“分级张拉、对称张拉”原则,体外预应力张拉时,先张拉至10%控制应力,持荷5分钟后张拉至50%,再分级张拉至100%,持荷10分钟后锚固;体内预应力需根据构件受力特点确定张拉顺序,避免构件产生附加内力,张拉过程中需实时监测构件变形,确保不超过允许值。

2.5 其他新型加固技术

(1)形状记忆合金(SMA)加固:利用SMA材料(如镍钛合金)受热后恢复预设形状的特性,在构件薄弱部位粘贴或植入SMA筋,通过加热使SMA产生预应力,抵消荷载内力,提高构件承载力与抗裂性。优点是体积小、耐腐蚀、可重复使用,适用于复杂节点或隐蔽部位加固,缺点是成本高、高温激活条件对施工环境要求高。(2)3D打印混凝土修复技术:通过3D打印设备,按设计模型逐层打印高性能混凝土,修复构件表面缺陷(如裂缝、剥落)或局部增大截面。技术核心是采用高流动性、早强型打印混凝土,确保打印层间粘结强度,适用于不规则构件修复或个性化加固,优点是施工精度高、无需支模、工期短,缺点是打印高度受限、不适用于大荷载受力部位。(3)微生物诱导碳酸钙沉淀(MICP)修复技术:利用特定微生物(如巴氏芽孢杆菌)代谢产生脲酶,分解尿素生成碳酸钙,填充混凝土内部裂缝或孔隙,提高密实度与抗渗性。施工时通过注射或浸泡方式将微生物菌液、营养剂注入构件缺陷处,适用于微小裂缝(宽度 $\leq 0.2\text{mm}$)修复或表面防护,优点是环保、无二次损伤、与混凝土相容性好,缺点是修复周期长(需7-14天)、不适用于受力裂缝加固。

3 混凝土建筑结构加固技术关键问题与优化设计

3.1 界面粘结性能研究

(1)胶粘剂与混凝土界面力学行为:界面是加固体系的薄弱环节,其力学行为直接决定加固效果。胶粘剂与混凝土界面需传递剪力、拉力,力学性能受界面微观结构影响——混凝土表面粗糙度不足会导致粘结面积减小,胶粘剂自身韧性不足易引发脆性破坏。研究表明,界面剪切强度与混凝土表面处理程度正相关,当混凝土表面经喷砂处理(粗糙度 $R_a \geq 10\mu\text{m}$)时,界面剪切强

度可提升30%以上；同时，胶粘剂需具备“刚柔平衡”特性，弹性模量宜控制在1.5-3GPa，既保证应力有效传递，又避免因刚度差异过大产生应力集中。（2）界面应力分布与剥离破坏机理：界面应力分布呈非均匀性，在构件端部、转角处易出现应力集中，当局部应力超过界面粘结强度时，会引发剥离破坏。按破坏形式可分为胶粘剂内聚破坏、混凝土表面粘结破坏、混合破坏三类，其中混凝土表面粘结破坏占比最高（约60%），多因混凝土表层强度不足。优化设计需通过“应力扩散”手段改善，如在加固端部设置U型箍或延伸段（长度 $\geq 100\text{mm}$ ），将集中应力分散至更大范围；同时采用阶梯式界面过渡设计，通过胶粘剂厚度渐变（从2mm过渡至5mm），降低应力突变风险。

3.2 耐久性提升策略

（1）防水、防腐、抗老化措施：防水需构建“多道防线”，对加固区域缝隙采用遇水膨胀止水条密封，表面涂刷聚合物水泥基防水涂料（厚度 $\geq 1.5\text{mm}$ ）；防腐针对金属构件（如外包钢、预应力筋），采用热镀锌处理（锌层厚度 $\geq 85\mu\text{m}$ ）+环氧富锌底漆（干膜厚度 $\geq 60\mu\text{m}$ ）+氟碳面漆（干膜厚度 $\geq 40\mu\text{m}$ ）的复合涂层体系；抗老化需选用耐紫外线胶粘剂（如改性环氧胶），对碳纤维布暴露区域粘贴防火防腐盖板，避免长期光照导致材料性能衰减。（2）环境适应性设计：高温环境下，需选用耐高温材料，如耐高温胶粘剂（使用温度 $\leq 120^\circ\text{C}$ ）、玄武岩纤维布（耐温 $\geq 600^\circ\text{C}$ ），并在构件表面设置防火隔热层（厚度 $\geq 50\text{mm}$ ）；冻融环境（冻融循环次数 ≥ 300 次）需提高混凝土密实度，掺入引气剂（含气量4%-6%），同时对界面采用抗冻型胶粘剂，避免冻融导致界面剥离；氯离子侵蚀环境（如沿海建筑），需在加固前清除混凝土表面氯离子（含量 $\leq 0.06\%$ ），采用阻锈剂（如氨基醇类阻锈剂）灌注，外包钢构件需在型钢与混凝土间隙填充氯离子隔离层（如环氧树脂砂浆）^[5]。

3.3 施工工艺优化

（1）精细化施工控制：表面处理需实现“无尘、无

油、粗糙”标准，采用高压水枪（压力 $\geq 10\text{MPa}$ ）清除浮灰，砂纸打磨（目数80-120目）去除油污，对混凝土缺陷（孔洞、露筋）采用聚合物砂浆修补，确保表面平整度 $\leq 3\text{mm/m}$ ；锚固方式优化需根据构件类型选择，梁体加固优先采用植筋锚固（植筋深度 $\geq 10d$ ， d 为钢筋直径），柱体加固采用螺栓+植筋组合锚固，螺栓间距控制在200-300mm，确保锚固力满足设计要求（抗拉承载力 $\geq 15\text{kN}$ ）。（2）机械化与智能化施工设备应用：推广机械化设备提高施工效率，如采用自动喷砂设备（效率 $\geq 20\text{m}^2/\text{h}$ ）替代人工除锈，碳纤维布自动粘贴机（粘贴精度 $\pm 0.5\text{mm}$ ）确保铺贴平整；引入智能化监测设备，如采用应力传感器（精度 $\pm 0.1\text{MPa}$ ）实时监测界面应力，无人机巡检（分辨率 ≥ 2000 万像素）排查高空加固区域缺陷，BIM技术模拟施工流程（如预应力张拉顺序），提前规避施工冲突，将施工误差控制在5mm以内。

结束语

混凝土建筑结构加固技术的研究，对保障既有建筑安全意义重大。通过深入探究结构损伤机理、精准评估安全性能，我们明确了各类加固技术的适用场景与优化方向。实践表明，合理选用加固方法并规范施工，能显著提升结构承载力与耐久性。未来，随着新材料、新工艺不断涌现，加固技术将更趋高效环保。我们应持续探索创新，推动该领域发展，为建筑安全保驾护航。

参考文献

- [1]徐兴国.混凝土建筑结构加固技术分析[J].砖瓦,2021,(06):167-168.
- [2]李虎林,李亚民.混凝土结构加固改造技术在建筑中的应用[J].建筑结构,2023,53(S2):154-155.
- [3]孙亚男.混凝土建筑结构加固技术分析[J].砖瓦,2021,(10):100-101.
- [4]雷良龙.加固施工技术在房建混凝土结构中的应用[J].中华建设,2024,(07):131-133.
- [5]肖东甲.某房建工程混凝土结构加固技术分析[J].科学技术创新,2024,(16):175-177.