

旧厂房加固改造中承重梁修复技术探讨

程俊飞¹, 裴新新²

1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司河南分公司, 河南 郑州 450003

2. 启东方正建设工程质量检测有限公司, 江苏 启东 226200

DOI:10.61369/ERA.2026010015

摘要 : 针对旧厂房承重梁修复技术难题, 首先, 对常用粘钢加固、截面增大加固、碳纤维加固及预应力加固等方法进行了归纳总结; 其次, 说明各修复方法的技术属性、实施步骤及适用领域; 最终, 以材料性能、工艺水平及理念发展为切入点探索新的加固方案, 其中涉及新型复合材料应用改良、智能化技术施工整合、绿色可持续理念修复融合等多个方面。以期探索出新的旧厂房承重梁修复方法, 实现加固技术升级与低碳发展协同。

关键词 : 旧厂房加固改造; 承重梁修复技术; 多维应用; 创新实践

Discussion on the Repair Technology of Load-Bearing Beams in the Reinforcement and Renovation of Old Factory Buildings

Cheng Junfei¹, Pei Xinxin²

1. China Municipal Engineering North China Design and Research Institute Co., Ltd. Henan Branch, Zhengzhou, Henan 450003

2. Qidong Fangzheng Construction Engineering Quality Inspection Co., Ltd., Qidong, Jiangsu 226200

Abstract : In response to the technical difficulties in repairing load-bearing beams in old factory buildings, this paper first summarizes commonly used methods such as bonded steel reinforcement, section enlargement reinforcement, carbon fiber reinforcement, and prestressed reinforcement; Secondly, explain the technical attributes, implementation steps, and applicable fields of each repair method; Ultimately, new reinforcement solutions will be explored from the perspective of material performance, technological level, and conceptual development, involving various aspects such as application improvement of new composite materials, integration of intelligent technology construction, and integration of green and sustainable concept restoration. In order to explore new methods for repairing load-bearing beams in old factory buildings, and to achieve synergy between reinforcement technology upgrades and low-carbon development.

Keywords : reinforcement and renovation of old factory buildings; repair technology for load-bearing beams; multidimensional applications; innovation practice

引言

旧工业厂房随着使用年限增长, 必然面临环境条件复杂性与荷载波动的双重挑战, 厂房建材在湿热条件和化学腐蚀双重作用下表现出更快的老化速率与损伤积累; 由于生产设备更替、工艺改进与企业规模扩张, 现有荷载水平经常超出厂房原设计承载值^[1]。诸多原因共同作用, 致使工业旧厂房的结构可靠性明显下降, 承重梁作为旧厂房的关键支撑部件, 若检测到开裂、翘曲或承载力衰退现象, 将迅速引发厂房结构的稳定性破坏, 乃至造成整体垮塌, 引发不可挽回的生命损失和经济破坏。因此, 对既有厂房承重梁的修复加固, 是保证厂房安全运行的关键手段, 也为旧厂房空间功能优化与再生利用的核心要素。

一、旧厂房承重梁现存问题剖析

(一) 设计施工遗留隐患

工业厂房最初设计阶段, 受当时经济基础与科技水平限制,

对结构安全的考量较为粗浅片面, 部分厂房在规划阶段, 虽荷载计算留有裕度, 但缺乏对生产规模增长的预见性考量。比如, 部分早期建设的机械厂房, 早期设计仅适配小型机床安装, 承载要求相对宽松, 伴随生产体系升级, 厂区投用了重型数控加工中

心, 现有设备的重量与工作荷载已超出梁体最初设计极限, 致使承重梁长期承受超出设计标准的荷载, 埋下重大事故隐患。

项目施工实施期间, 当初的施工工艺存在不规范现象, 质量管理体系存在明显缺陷。混凝土搅拌阶段, 存在混合料分散度不足的风险, 引发混凝土强度与耐久性衰退; 混凝土实施振捣操作期间, 振捣不到位将引发混凝土内部孔洞及结构松散现象, 造成功能衰减^[2]。钢筋绑扎安装作业阶段, 或存在钢筋间隔与设计不符、混凝土保护层过薄等缺陷, 此类施工缺陷将影响钢筋与混凝土的协同受力特性, 继而减弱梁的荷载支撑能力。建筑运营初始阶段, 施工过程的质量瑕疵往往没有明显征兆, 随着年限不断累积, 会慢慢显现, 结构安全冗余降低, 加剧承重梁结构破坏倾向。

(二) 长期使用损伤累积

结构建成后, 混凝土构件经历长期风化侵蚀和荷载影响, 外表面呈现持续性的风化片状剥离。位于海岸线周边及高污染工业区, 空气中积聚着可观的盐分及酸性污染物, 其中酸性成分等会明显促进混凝土结构破坏; 若干化工企业的早期厂房, 空气中的污染物能与混凝土氢氧化钙产生化学变化, 产生可水溶的生成物, 引发混凝土颗粒间粘结力减弱。以上环境因素, 随着时间增长混凝土表面覆盖层逐步发生剥离, 造成钢筋层外露, 进而引起结构性缺陷的连锁反应。

钢筋与大气介质接触后, 易出现锈蚀变化。钢筋出现锈蚀后, 钢筋与混凝土之间的机械咬合力显著下降, 进而引起构件承载效能衰退。若锈蚀状况持续恶化, 钢筋锈蚀会引发材料膨胀力, 最终引起混凝土保护层开裂, 进而促使钢筋锈蚀进一步加剧。如此往复加剧, 部分存在潮湿问题的历史厂房区域, 下部钢筋普遍呈现较深锈蚀, 外层保护层脱落严重, 钢筋的实际工作截面面积下降, 梁体承载能力衰退严重^[3]。对于钢结构构件及连接节点, 长期服役会面临锈蚀的威胁, 其中截面锈蚀会引发构件横截面收缩而引起结构承载力衰减。

(三) 环境因素侵蚀破坏

恶劣自然环境将对旧厂房支撑梁造成不可逆的侵蚀损害。受持续风吹日晒侵蚀的混凝土屋面板, 外露面形成风化痕迹, 钢筋因表层剥落而暴露, 以致钢筋出现锈蚀, 日久天长后, 混凝土块呈现渐进式脱落, 既危及下方人员安全又威胁设备安全, 也会阻碍厂房的正常运营。由于夏季酷热与冬季严寒的轮替, 温度波动使屋面混凝土产生尺寸变化, 形成开裂缺陷, 已有裂纹将逐步扩展延伸, 导致屋面结构的荷载承受力与耐用度下降, 这种现象北方厂房较为普遍, 冬季低温引发混凝土收缩开裂现象, 而夏季高温又引起混凝土体积膨胀, 造成裂隙不断加宽, 直接危及厂房的主体结构完整性。

地基承载能力不足同样是造成老旧厂房承重梁缺陷的关键原因之一。基于岩土体性状变化与地下水位周期性升降, 引起地基局部沉降差异, 不均匀的地基沉降将引起房屋墙体开裂, 从而在承重梁上形成额外的应力分布, 进一步加重结构的破坏, 而在土

质软弱地段, 地基沉降的空间差异性明显放大, 对既有厂房结构安全的危害更大^[4]。

二、传统承重梁修复技术梳理与应用考量

(一) 粘钢加固法

粘钢加固法借助粘结剂与锚栓实现固定, 在混凝土梁的外表面采用钢板粘贴锚固补强技术。基本原理是促成钢板-混凝土的共同受力, 一起分担外部荷载, 由此提升构件抵抗剪力与弯矩的承载力, 进而提升原建筑物的抗力水平, 限制裂缝延伸, 优化钢筋及混凝土的应力条件。

实际操作阶段, 首先是对混凝土梁表面做预处理, 彻底去除混凝土表面沾染的灰尘、油渍等杂质; 其次, 需用打磨方式处理混凝土梁的粗糙面, 以实现钢板-混凝土界面的有效结合; 最后, 依照设计规格进行钢板的切割施工, 并对钢板表层实施除锈作业, 从而优化钢板与粘结剂的界面结合^[5]。

(二) 增大截面加固法

增大截面加固法采用增大构件截面的方式实现加固, 辅以钢筋补强, 进而增大混凝土构件的有效高度, 从而提升构件的抗剪与抗弯承载力。该方法主要施工步骤分为以下几个阶段: 首先, 完成梁面杂质清除, 铲除表面松动的混凝土层及附着油垢, 再对梁表面开展凿毛施工, 增强新旧混凝土的界面结合力; 其次, 搭建外包模板结构, 需将模板牢固装设, 防止浇筑时混凝土浆体外泄, 按设计参数调配高强度细石混凝土或者采用灌浆料进行替代, 然后实施浇筑工作, 在混凝土浇注阶段, 需分层进行振捣, 实现混凝土的充分密实, 杜绝空隙等成型缺陷; 最后, 混凝土强度达到预期水平后, 拆除模板, 紧接着进行养护事宜。该技术优点是大幅提升混凝土构件的承载能力, 适合抗弯强度与抗剪能力均欠缺的梁体结构。同时, 本方法也存在明显的局限性, 模板的支撑系统要满足刚度要求, 防止振捣时浆料外溢^[6]; 需按技术规范要求实施混凝土的浇筑及养护工序, 以实现混凝土质量管控; 工程周期偏长, 会造成工期拖延及成本超支; 采用更大尺寸构件会牺牲部分功能区域, 对结构空间利用率形成制约; 项目实施环节, 需按现场需求调整作业顺序, 精准把控工期, 从而降低对生产活动的干扰。

(三) 碳纤维加固法

碳纤维加固法依托碳纤维材料表现出的高强度、韧性及抗腐蚀能力, 针对混凝土承重梁实施结构加固的修复方案。开始前必须将混凝土梁表面清理干净, 借助清洗剂对梁面实施去污处理, 重点清除油脂与粉尘, 再采用砂纸打磨形成粗糙界面, 从而强化碳纤维布与混凝土的黏结力, 按既定方案进行碳纤维布裁剪, 保证裁切后的几何参数符合补强规范。采用浸渍胶对混凝土梁进行表面涂覆, 均匀施涂浸渍胶层, 保证浸渍胶对碳纤维布充分渗透, 把预制碳纤维布覆盖到已刷胶的混凝土梁表面, 而后采用刮板轻压整平, 实现碳纤维布与混凝土的完全接触, 完成胶体固化阶段后, 对碳纤维布表层实施相应处理, 以延长其工程应用周期。

该加固方法优点, 材料采购价更低, 价格仅为同类加固材料的三成左右, 且加固成效十分显著, 可大幅压缩施工周期及预算开支; 其次, 几乎不增加构件尺寸, 节约空间, 不改变原建筑

功能。

(四) 预应力加固法

实施时首先在梁的预应力作用区布置张拉机具，接着配置预应力钢筋及钢绞线系统，借助张拉设备完成钢筋或钢绞线的预应力施加，继而在梁体相应位置完成锚固，待张拉力完全卸除后验收结构。本方案特别适合动态载荷显著及需采用高性能加固材料的混凝土梁进行加固设计。采用预应力加固方式可有效改善混凝土梁的承重效能，还能有效抵抗腐蚀并延长结构寿命，采用预应力技术，能有效调控混凝土梁的内力分布，强化梁结构抗弯及抗剪能力，减少梁的弯曲变形及裂缝延伸。同时，预应力施工存在明显的工艺难度，实施人员的技术门槛相对较高，作业者需掌握全面的专业知识并积累充分的实际经验，熟练掌握张拉设备运用及预应力工艺控制，用以实现安全施工和质量控制。

三、承重梁修复技术的多元化创新及工程应用拓展

(一) 新型复合材料的引入与应用优化

伴随材料工程领域的显著进展，为既有厂房承重梁的修缮创造了新契机。FRP 复合材料兼具卓越的强度特性、轻量化及抗腐蚀能力，因此其可作为承重梁修复的优选材料。通过在混凝土承重梁表面粘贴 FRP 实现加固效果，FRP 与混凝土协同受力，进而提升梁体抗弯刚度与抗剪强度。

实际作业中，初始阶段应对混凝土梁表面进行技术处理，维持表面干净平整，以提升 FRP-混凝土界面的结合强度，分析梁体的受力模式及损伤等级，调整 FRP 加固的敷设工艺及层数配置。若梁构件存在抗弯承载力缺陷，在梁受拉区采用 FRP 布粘贴工艺，借助 FRP 布的多层粘贴实现抗弯能力强化；对于存在抗剪缺陷的混凝土梁，可采用 U 型或封闭式 FRP 箍进行粘贴加固，从而优化抗剪承载力。不同纤维排布取向的 FRP 均可被采用，以适应多样化的加固要求，强化加固的针对性与实施效果。

(二) 智能化施工技术的应用与融合

依托智能化的厂房承重构件修复技术应用日趋成熟，参照承重梁的破坏程度，3D 打印技术可针对性调整，定制化输出高匹配度的结构补强构件，就局部损伤明显的承重混凝土梁而言，借助数字化打印手段制作与损伤部位贴合的增强型套箍，使套箍与损伤部位结合，以此提升受损区域的荷载能力，3D 打印技术具备设计自由度大、成型精度优异及施工效率高等优势，可适配各类异

形加固构件的尺寸规格要求。

采用该技术，施工效率与工程质量将得到明显改善，减轻人工操作引起的偏差。采用智能机器人开展碳纤维布施工，实现碳纤维布均匀铺设与密实粘合，提升结构强化水平，借助精准的控制模块，依照工程要求将碳纤维布精准施贴于混凝土梁面层，抑制了人工操作时气泡及褶皱的生成现象。

同时，承重梁修复离不开智能化监测技术的支持，采用承重梁安装传感器方式，实现对梁体承载时的应力水平、变形量及位移的连续观测，进而实现及时预警梁的潜在故障。若检测到梁体应力超出限值或变形量超标时，需快速采取补强手段或调节受力分布，防范结构坍塌。

(三) 绿色可持续修复理念的融入与实践

就现阶段而言，各产业领域的发展趋势明显向绿色可持续倾斜。在既有工业建筑梁体修复阶段，实施环境友好型修复方案意义重大，针对加固材料的筛选，宜优先采用环保型加固材料，降低对生态系统的干扰，采用有机挥发物 (VOC) 浓度低的粘合与涂覆材料，削弱工程实施阶段的大气环境负荷。在工程实施阶段，可要求材料商出具环保认证相关证明，保障施工材料与环境要求相一致，应关注材料是否具备回收及再利用特性，实现资源高效利用。

推动资源的循环利用，在厂房拆除施工阶段，对可二次利用的物料进行归类回收，诸如钢材与木材等资源，经处理加工后，该类型再生骨料可作为加固工程的理想替代材料，废旧钢材可加工为建筑加固所需的钢板与钢筋，废旧木料经再加工能形成临时建筑支撑及模板体系。采用资源循环利用方式，有利于压缩项目预算支出，可降低自然资源开采压力，实现资源永续利用。

四、结论

存量工业建筑承重梁从设计施工到环境暴露全过程面临多重压力，存在原始设计施工弊端、长期力学损伤、环境腐蚀劣化等挑战，此类问题大幅削弱了承重梁的荷载能力与结构安全度，干扰厂房的标准化运营管理。在既有厂房承重构件修复实施阶段，传统的粘钢、增大截面、碳纤维及预应力等加固技术仍具有工程应用价值，但应针对不同工况筛选最优修复方案，全面考量力学性能、破坏程度、功能要求与周边环境等变量，实现技术特性的最优组合，获得最佳结构强化效果。

参考文献

- [1] 罗晓春. 城市更新背景下老旧厂房保护与创意改造的策略研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (18): 7-9.
- [2] 于海龙. 某钢筋混凝土框架结构旧厂房改造关键施工技术 [J]. 四川水泥, 2025, (04): 128-130.
- [3] 姜晓璐, 张贺, 赵雨萌, 等. AI 在建筑设计过程中的应用初探——以老旧厂房改造为例 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (03): 61-63.
- [4] 肖益民, 黄文虎. 铸钢砂冷却圆筒设备选用及在旧厂房改造中的应用 [J]. 世界有色金属, 2025, (02): 35-37.
- [5] 陈鹏程. 旧厂房改造项目结构加固设计及施工 [J]. 石材, 2024, (08): 62-64.
- [6] 施丁平. 城市更新背景下老旧厂房转型升级改造设计实践 [J]. 上海建设科技, 2024, (02): 17-19+26.