

# 火灾后连廊钢结构加固施工质量验收中 无损检测设备的应用标准研究

周正捷

中铁九局集团有限公司大连分公司 辽宁大连 116100

**摘要:** 火灾后连廊钢结构加固施工的安全与质量控制对高层建筑安全至关重要。无损检测作为钢结构加固施工质量验收的核心技术,已成为判断结构修复效果和后续安全性能的重要手段。本文结合凯旋国际大厦连廊火灾修复工程实际,系统梳理火灾后钢结构加固的特殊需求,分析无损检测设备的选型与应用标准,归纳检测流程、数据判读与质量控制要点。通过对当前国家与行业相关标准的梳理,提出适用于火灾后连廊钢结构加固质量验收的无损检测设备配备建议及操作规范,为类似工程的安全实施与科学管理提供理论和实践支撑。

**关键词:** 火灾后加固;连廊钢结构;施工质量验收;无损检测设备;应用标准

## 引言

近年来,随着城市高层建筑和大型公共建筑数量的不断增加,钢结构在复杂空间结构中的应用日益广泛。连廊结构作为连接多塔高层建筑的重要交通和结构单元,在建筑火灾事故中往往首当其冲。火灾对钢结构材料性能造成不可逆的损伤,尤其是结构关键节点、主梁和受力构件。火灾后结构加固修复是确保建筑物恢复功能和提升安全性的必要举措。施工质量验收环节直接决定加固修复效果,而无损检测技术因其对结构不造成损伤、能实时掌控内部状态等优势,成为火灾后钢结构加固施工中不可或缺的手段。本文以凯旋国际大厦连廊火灾修复工程为例,梳理火灾后钢结构加固无损检测设备的实际应用,分析各类设备的适用性及相关检测标准,力求为火灾后连廊钢结构加固施工质量控制提供全面的理论与技术参考。

## 一、火灾后连廊钢结构加固的特殊性与无损检测需求

### 1. 火灾对连廊钢结构的损伤机理与修复挑战

火灾对钢结构连廊造成的损伤复杂多样,不仅表现为温度作用下的强度与刚度下降,还包括材料组织性能退化、局部变形、节点损伤和保护层剥离等。火灾后的连廊主桁架梁、次梁、节点板及连接件等往往出现不同程度的塑性变形、开裂甚至截面损失,部分构件因高温而失去设计强度,安全储备严重降低。火灾后加固修复必须根据检测结果进行科学评估,对损伤构件实施补强、

替换或整体更换。同时,火灾现场往往伴随拆除、焊接、切割等高危工序,加固结构体系复杂,作业空间有限,对安全施工和质量验收提出更高要求。传统的目测和局部拆检难以满足全面、精准评价加固效果的需求,必须依赖于高效、科学的无损检测手段。

### 2. 火灾后钢结构加固工程的质量验收痛点

火灾后加固施工工序多、周期长,涉及主桁架梁加固、斜杆加固、次梁更换、节点板增补、连接板加设等多项作业。每道工序完成后都需进行严格的质量验收,不仅要确保加固材料与母材的连接质量,还要评估整体受力性能恢复情况。加固施工通常在高空、狭小、复杂的环境下进行,常规检测手段难以覆盖所有关键部位。火灾后结构内部可能存在裂纹、空洞、组织变化等隐患,这些缺陷常常隐藏在钢结构内部或焊缝深处,难以通过肉眼发现。为确保加固后连廊结构的安全性与耐久性,施工质量验收亟需采用无损检测设备进行全面评估。无损检测不仅能及时发现加固中的缺陷和隐患,也为施工过程中的动态调整和修复提供科学依据。

### 3. 无损检测设备在火灾后钢结构加固中的作用

无损检测技术在火灾后钢结构加固施工质量验收中具有多重优势:一是能够对构件内部和连接部位的隐蔽缺陷进行定量检测,二是可实现加固过程中不同阶段的动态跟踪,三是对提升整体工程的质量安全水平具有关键作用。超声波检测、磁粉检测、射线检测、涡流检测等多种无损检测方法被广泛应用于钢结构焊缝、母材、节点板、螺栓连接等关键部位的质量检查。随着检测仪

器智能化和数据分析能力的提升,检测精度和效率显著增强。为此,制定科学合理的无损检测设备应用标准,规范操作流程和质量判定,是保证火灾后连廊钢结构加固工程安全、可靠的基础。

## 二、火灾后钢结构加固施工的无损检测设备选型及应用标准

### 1. 主要无损检测方法及设备类型

钢结构加固工程涉及的无损检测方法以超声波检测、射线检测、磁粉检测、渗透检测与涡流检测最为常见,这些设备各自具备不同的物理探测原理和适用对象。超声波检测设备因其良好的穿透能力和高分辨率优势,能够对主桁架梁、次梁等厚板结构内部焊缝进行有效缺陷探查,尤其适用于火灾后钢结构内部可能存在的层状缺陷、夹杂和未焊透等隐患;射线检测设备则可以以影像形式直观呈现焊缝及关键部位的内部缺陷状态,对于焊接区的气孔、裂纹、杂质等判读直观明确,便于形成直观的检测依据;磁粉检测对表面及近表面缺陷反应灵敏,常用于节点板、螺栓区等焊接连接部位,可精准捕捉表面裂纹、拉裂等连续性缺陷,是重要的辅助筛查手段;渗透检测则擅长发现构件表面可能存在的微小裂缝或开口性气孔,特别适合对加固区域进行大范围、快速的初步筛查;涡流检测则以电磁感应为基础,能够对导电材料的表层及局部加强区进行灵敏检测,适合对局部复杂几何、异型连接部位的快速巡查和隐患复查。工程检测实践中,各类无损检测设备可根据钢结构不同构件的受力特点、火灾后损伤类型以及加固工艺要求合理选配,常常以多种方法协同组合、互为补充,从表层到内部、从大面到细节全面覆盖,构建系统化的质量管控网络。通过科学组合与规范操作,可以有效提升火灾后钢结构加固施工的验收精准性,为结构安全和长期耐久性提供强有力的技术保障。

### 2. 检测设备配置与技术参数要求

火灾后钢结构加固检测应根据结构形式、构件类型和加固工艺选择合适的检测设备。以凯旋国际大厦连廊加固工程为例,主桁架梁、水平梁等重要承重部位选用超声波和射线检测设备,节点板、斜杆等采用磁粉与渗透检测设备,紧固件与连接件可配合使用涡流检测。设备应具备良好的探测深度、信号分辨率及数据存储分析能力。不同检测方法的技术标准如:超声波检测需满足GB/T 11345、GB/T 29712等标准要求,射线检测应符合GB/T 3323、GB/T 5117等规范,磁粉检测需依据GB/T

15822,渗透检测遵循GB/T 9445,涡流检测应执行GB/T 37645等国家或行业标准。检测设备应定期校准,确保其灵敏度、可靠性和检测精度。数据采集与分析系统需具备数字化记录和追溯功能,便于后续的质量追查和维护管理。

### 3. 火灾后钢结构加固无损检测操作规范

施工现场检测操作应严格按照相关标准流程进行。检测前需对被检测部位进行表面清理,排除油渍、锈蚀及焊渣。对于高空或狭小空间作业,应采用便携式、无线化检测设备,并配置专业操作人员。检测过程中需分阶段、分部位有序进行,焊缝检测可采用分段扫描,母材和节点检测应进行全覆盖抽检。对检测中发现的缺陷,应根据规范进行等级评定和修复处理。检测记录应真实、完整,便于后续工序和验收环节的追溯。针对火灾后结构材料可能出现的组织变化和残余应力,还可辅以红外热像、金相分析等手段进行综合评估。检测过程中需加强施工与检测单位的协作,保证检测数据的独立性和公正性。验收标准上,建议结合国家现行标准与本工程实际,制定火灾后钢结构加固的专项检测评价体系。

## 三、火灾后钢结构加固工程无损检测流程与质量控制要点

### 1. 加固前检测与损伤评估

火灾后钢结构连廊的加固前检测主要是查明损伤范围、程度和关键隐患,为制定修复与加固方案提供依据。通过无损检测设备,对主梁、节点板、螺栓、焊缝等构件全面扫描,识别因高温引起的塑性变形、裂纹、层间分离和截面减损等问题。加固前需保存完整的原始检测数据,便于加固后对比。检测结果应结合结构鉴定报告和设计图纸,综合分析火灾对结构安全性的影响,作为后续修复工艺选择和加固材料设计的重要参考。此阶段要求检测覆盖率高、判读标准严,不能遗漏任何可能影响安全的隐患。

### 2. 加固施工过程中的动态检测

钢结构加固施工过程涉及焊接、切割、螺栓连接、节点加固等多道工序,随时可能因操作不当引入新缺陷。为此,需在关键工序节点采用无损检测设备进行动态跟踪。例如,加固焊缝完成后及时进行超声波检测与磁粉检测,螺栓紧固区采用涡流或磁粉检测,确保每道工序合格后方可进入下一步操作。施工过程中应注重环境温度、焊接应力和残余应力变化等对结构性能的影响,必

要时辅以残余应力测试与金相分析等方法。检测记录应细致到每个加固单元和连接节点，确保数据完整性和可追溯性。通过动态检测，可及时发现施工中出现的隐患，提升整体加固施工的可靠性。

### 3. 加固后质量验收与后评估

加固施工完成后，需进行最终的无损检测验收。验收应依据国家相关标准、设计规范及施工组织方案，明确检测范围、方法和评定标准。加固焊缝、连接件、节点板等部位需逐一检测，对发现的缺陷分类处理，制定修复和补充检测计划。合格的加固结构应在检测报告中记录关键参数，并与加固前检测数据进行比对，评估结构承载力和耐久性恢复情况。对加固后检测中发现的不可接受缺陷，需实施返工或补强处理，直至满足规范要求。最终质量验收报告应归档备案，为后续运维管理和结构健康监测提供数据支撑。

## 四、无损检测设备应用标准与未来发展趋势

### 1. 无损检测设备应用的现行标准体系

目前我国钢结构无损检测设备及检测过程主要依据国家标准和行业标准。包括《钢结构焊接规范》GB50661、《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB50550、《钢结构设计标准》GB50017、《金属材料超声波检测方法》GB/T11345等。现场检测设备选型与操作应符合上述标准，设备应具备相应的检定与校准证明。各类无损检测设备的数据管理、结果判读、异常处理、操作人员资质等亦有相应的标准化要求。对于火灾后连廊钢结构加固等特殊工程，应根据损伤类型和工程实际，制订补充的专项操作规程和评价指标，强化检测结果的可比性和操作的规范性。

### 2. 无损检测技术的发展与智能化应用

随着新一代信息技术、人工智能、大数据等的融入，钢结构无损检测设备日益向智能化、数字化、便携化方向发展。自动化超声扫描机器人、全自动射线成像系统、无线磁粉检测仪、数字渗透分析平台等新型设备，极大提升了检测效率和数据精度。智能检测仪器结合三维建模和数据分析软件，可实现缺陷自动识别、趋势预测和健康状态评估，为高危、高难度结构加固工程提供更为科学的数据支撑。未来火灾后钢结构加固无损检测设备应用标准将更加重视检测全过程的信息化、智能化与可追溯性。

### 3. 无损检测设备在复杂环境下的适应性与安全保障

火灾后连廊钢结构加固施工多在高空、狭小、受限空间进行，对无损检测设备的体积、重量、能耗、环境适应性等提出更高要求。设备需具备抗振动、抗干扰、便于操作等特性，并配置多重安全保护措施，保证检测人员和设备本身的作业安全。对于涉及高空、强风等极端环境的检测作业，应优先采用无线、远程或机器人检测设备，减少人工高危作业的暴露。相关标准需补充设备适应性测试和应急操作规程，提升工程全周期的检测安全保障能力。

## 结束语

火灾后连廊钢结构加固施工质量验收是保障高层建筑安全运营和结构耐久性的关键环节。无损检测设备的科学配置与标准化应用，是判定加固质量、提升工程安全性的重要基础。本文通过对典型工程案例的分析，系统梳理了火灾后钢结构加固的检测需求、设备选型、标准体系和应用要点。研究表明，基于多种无损检测设备的组合应用和严格执行国家、行业标准，能有效提升加固工程的验收科学性和安全性。面向未来，随着智能化检测技术的发展，检测设备的信息化、自动化水平将不断提升，为极端工况下的火灾后钢结构加固工程提供更有力的技术保障。工程实践中应不断完善无损检测设备应用标准，加强检测人员培训与跨学科协作，持续提升火灾后连廊钢结构加固工程的施工质量和安全管理水平，助力我国高层建筑安全和城市韧性提升。

## 参考文献

- [1] 史山虎. 基于材料性能参数的建筑主体结构承载力检测研究[J]. 实验室检测, 2025, 3(18): 274-276.
- [2] 周程锦, 刘汉昆, 刘珉巍. 探析钢结构无损检测技术[J]. 建筑安全, 2024, 39(08): 8-12.
- [3] 蒋镇繁, 吴少杰, 许典茂, 等. 基于监管视角的高空钢结构连廊整体同步提升施工的安全和质量关键要素研究[J]. 建筑安全, 2024, 39(10): 13-18.
- [4] 李新超. 基于健康监测的火灾后钢结构连廊加固评价研究[D]. 大连海洋大学, 2023.
- [5] 张国松, 俞嘉俊, 毛建光, 等. 钢结构连廊加工制作、安装过程中的变形值与预留量的控制[J]. 建筑施工, 2017, 39(09): 1375-1376.