

无损检测技术在钢结构建筑工程检测中的应用

邵 祥

(南京南大工程检测有限公司, 江苏 南京 210000)

摘 要 钢结构建筑因强度高、跨度大等优势广泛应用于工程领域, 无损检测技术是保障其质量的关键手段。本文聚焦无损检测技术在钢结构建筑工程检测中的应用, 阐述该技术的非破坏性、全面覆盖、动态监测等核心特点, 以及超声波检测、射线检测、磁粉检测、涡流检测等主流技术形式, 结合钢结构建筑工程检测场景, 详细剖析各类无损检测技术的实操要点, 旨在为改善现场检测条件、提升检测质量、推动钢结构建筑工程检测体系升级提供参考。

关键词 钢结构建筑工程; 无损检测; 超声波检测; 射线检测

中图分类号: TU765

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.32.009

0 引言

无损检测技术凭借不损伤被测构件、检测效率高、结果精准的优势, 在建筑工程检测领域展现出广阔的应用前景, 其综合性能远超传统有损检测技术, 已成为建筑工程检测体系的重要发展方向。然而, 无损检测技术专业性强、操作流程复杂, 在钢结构建筑工程检测实践中, 仍存在技术应用不规范、检测过程难管控等问题, 影响检测结果的可靠性。因此, 系统梳理无损检测技术的特点与形式, 明确其在钢结构建筑工程检测中的具体应用方法, 并探索未来发展路径, 对扫清技术应用障碍、保障钢结构建筑工程质量、推动检测体系转型升级具有重要意义。

1 无损检测技术概述

1.1 技术特点

无损检测技术泛指在不破坏检测物体结构完整性的前提下, 采取物理/化学手段来检测内部状态及表面质量, 精准获取缺陷信息。相比钻芯法等传统检测技术, 无损检测技术具备非破坏性、全面覆盖、动态监测的鲜明特点。

一是非破坏性。在检测后, 建筑构件仍能保持完好状态和原有功能, 无需经过修补处理, 即可投入使用, 这也使得无损检测技术在建筑竣工验收、在役构件定期安全评估等场景中逐步取代有损检测技术。二是全面覆盖。一次性完成外观检测和内部检测任务, 精准获取构件尺寸信息、评估表观质量和定位内部缺陷, 有助于减少检测次数、缩短检测周期^[1]。三是动态监测。无损检测系统具备较高自动化程度, 可选择在钢结构建筑内部长期部署无损检测系统, 如超声波检测系统,

预设检测频率, 自行采集、处理检测数据, 出具检测报告, 跟踪检测缺陷发展过程, 在第一时间消除安全隐患。

1.2 技术形式

无损检测形式多, 必须围绕被检测物体构造特点、材质和质量缺陷类型选择技术类型。从钢结构建筑工程检测角度来看, 无损检测形式包括超声波检测、射线检测、磁粉检测、渗透检测和涡流检测。

一是超声波检测。向被检测物体发射并接收声波, 根据声波信号分析结果来识别、定位缺陷问题, 适用于检测钢结构内部缺陷病害。二是射线检测。向钢结构照射 X 射线、γ 射线在内的穿透性射线, 射线传播期间出现衰减现象, 衰减程度取决于材质密度, 利用穿透后射线来生成检测图像, 直观展示缺陷问题, 适用于检测体积型缺陷与平面型缺陷病害。三是磁粉检测。在钢构件表面均匀播撒磁性粉末, 在磁场作用下, 磁粉出现聚集现象, 根据磁粉畸变情况来锁定缺陷位置、识别缺陷形状与类型, 用于检测铁磁性材质构件, 无法用于检测不锈钢、混凝土等非磁性材质构件。四是涡流检测。基于电磁感应效应实现检测目的, 钢构件周边部署检测线圈, 线圈通电状态下形成涡流, 根据涡流参数来判断是否存在缺陷病害, 多用于检测管道类构件和薄壁类构件^[2]。

2 无损检测技术在钢结构建筑工程检测中的实践应用

2.1 超声波检测

超声波检测技术落地应用期间, 优先检测钢构件焊接接头质量和内部缺陷问题, 重点掌握耦合验证、

标准化扫查、缺陷识别、检测结果复核与记录的技术要点,确保检测结果准确。

第一,耦合验证。清理钢结构表面垃圾杂物,探头表面和钢构件表面均匀涂抹适量耦合剂,探头贴近钢构件表面,不得存在空隙。为验证探头—钢构件耦合效果,检测人员轻压探头缓慢移动,同步观察底波信号和界面波信号稳定状态,信号波动表明耦合效果不佳,需要清理钢构件表面和补注耦合剂。同时,还要求检测人员条件检测仪灵敏度,提前检测标准试块人工缺陷病害,要求缺陷波达到80%屏幕满刻度。

第二,标准化扫查。正常工况下,按照格栅形或是锯齿形轨迹,在钢构件表面匀速移动探头,移动速度不得超过150 mm/s,以焊接接头作为检测部位时,扫查轨迹和焊缝保持平行或是垂直状态,直至扫描仪接收缺陷波信号后,停止探头位置,细微调整探头角度,确认缺陷波最高峰值点,计算缺陷位置。另外,还应关注探头角度问题,以斜探头为例,探头声束轴线和焊缝中心线保持 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 夹角,禁止声束垂直射入焊缝中心部位,无法识别到横向缺陷问题^[3]。

第三,缺陷识别。要求检测人员提前掌握缺陷波、干扰信号和正常信号的区分标准,缺陷波具备清晰波峰和稳定位置,干扰信号表现为杂乱无序杂波,重复探查疑似缺陷位置,如果各次探测信号基本一致,并具备清晰波峰,即可判定存在缺陷病害,记录缺陷参数和拍摄缺陷区域照片。进一步根据信号波型来判断缺陷类型,以夹渣缺陷为例,信号波型为多波峰,波高值较低且无法保持稳定状态。

第四,检测结果复核与记录。完成初步检测后,需选取10%~15%的检测区域进行复核,采用不同角度探头或调整检测仪灵敏度,再次验证缺陷的位置、大小及性质,避免因操作误差导致误判。同时,需按规范填写检测记录,详细标注检测部位编号、探头参数、缺陷坐标、波型特征及判定结果,并附上检测数据图谱与缺陷区域影像,确保记录可追溯,为后续钢结构质量评估与整改提供完整、准确的技术依据。

2.2 射线检测

射线检测技术简称为RT技术,用于检测铸铁构件与焊接接头内部缺陷,清晰展示缺陷形状、大小等信息,但射线本身具备危害性,也不适用于厚壁构件,必须采取严格防护措施和管控现场作业流程。射线检测技术落地应用期间,需重点掌握辐射防护、系统部署、图像评定三方面的技术要点。

第一,辐射防护。组合采取个人防护和环境防护措施,确保射线不会危害现场人员健康安全。个人防

护是检测人员完整穿戴安全防护装备,包括剂量计、铅眼镜、铅衣、铅手套等,定期检测防护用品完好与否,并要求无关人员远离检测区域。环境保护是根据射线类型和功率,现场划定检测区域,边界处部署辐射剂量检测仪和铅屏风作为屏蔽设施。

第二,系统部署。检测区域部署胶片,钢构件表面紧密贴合带增感屏的胶片,有效检测范围包括焊缝部位和两侧1 cm母材,如果检测面为曲面,则在胶片和检测面间额外设置铅垫作为补偿块,用于填补曲面间隙。继续部署射线源,完全对准胶片中心点和射线束,射线束和检测面保持垂直状态,角度误差限制在 5° 以内。如果所检测焊缝宽度超过20 mm,为消除检测盲区,必须采取双源法,同时部署2处射线源。射线检测系统部署就位后,即可正式开展检测作业,启动射线机,检测人员远程下达曝光指令,中途不得随意调整曝光参数,获取多组胶片,再把胶片送入暗室进行处理^[4]。

第三,图像评定。出具底片后,初步检查底片质量是否合格,不得存在伪影、划痕等问题,底片黑度和清晰度达标,如要求底片黑度保持在2~4区间,清晰显示构件编号、焊缝边界等信息。通过查阅底片上缺陷形态来判定病害类型,同步测量缺陷尺寸,客观评估钢结构建筑受损程度,以焊接接头未焊透病害为例,底片上表现为连续/断续状态的黑色直线,直线位于焊缝中心部位,直线宽度均匀,以两端超出缺陷端点1 mm作为未焊透病害的有效长度。

2.3 磁粉检测

磁粉检测技术基于钢构件磁化特性,缺陷周边形成漏磁场,播撒磁性粉末来显示钢构件表面缺陷和近表面缺陷问题,无法用于检测内部缺陷。磁粉检测技术落地应用期间,重点掌握磁化操作、磁粉施加观察、缺陷判定和退磁处理四方面的技术要点。

第一,磁化操作。优先采取线圈磁化方法,钢构件上套设线圈,检测面和线圈中心相互对齐,根据构件长度来确定线圈匝数和电流值,向线圈通入电流,并在构件两端额外部署铁磁性材质的延伸块,解决端部磁场衰弱问题;也可采取穿棒法,钢构件螺栓孔内穿过铜棒,铜棒和孔壁间隙值不超过2 mm,接入设备两极后通电1~2 s,中途不得触摸铜棒。

第二,磁粉施加观察。钢构件经过磁化处理后,利用喷粉器在检测面上喷洒磁性粉末,喷射压力保持在0.1~0.2 MPa,轻敲钢构件来去除多余磁粉,肉眼观察磁粉聚集情况;也可选择在检测面上涂抹湿磁粉悬浮液,涂抹厚度为1~2 mm,利用手电筒照射观察

磁粉聚集情况, 光线照射方向和钢构件表面夹角限制在 45° 以内。

第三, 缺陷判定。初步把磁痕判定为相关磁痕和非相关磁痕, 相关磁痕描述构件真实缺陷, 要求各次检测结果中的相同磁痕位置、形状保持一致; 非相关磁痕即为干扰因素, 也被称为假磁痕, 具备松散特征, 重复多次检测进行排除。进一步观察相关磁痕形态, 把连续/断续直线状磁痕判定为裂纹等线性缺陷病害, 把点状和圆形磁痕判定为气孔等圆形缺陷病害。

第四, 退磁处理。重要钢构件必须进行退磁处理, 逐步把磁化电流减小为 0, 或是缓慢移走电磁轭进行退磁, 普通承重构件无需进行退磁处理。

2.4 涡流检测

涡流检测技术用于检测具备导电特性的建筑构件, 精准识别表面缺陷与近表面缺陷, 无法识别内部缺陷。技术落地应用期间, 要重点掌握参数适配、探头扫查、缺陷信号验证三方面的技术要点。

第一, 参数适配。核心参数包括探头类型、检测频率等, 提前确认钢构件形状和缺陷部位, 合理设定检测参数。对于探头类型, 选用平面探头检测平板类构件、环形探头检测曲面构件、微型探头检测焊缝部位。对于检测频率, 检测表面缺陷时选择 $50\text{ kHz} \sim 2\text{ MHz}$ 高频模式, 检测近表面缺陷时选择 $1 \sim 50\text{ kHz}$ 低频模式。

第二, 探头扫查。探头紧密贴合结构检测面, 贴合压力保持在 $5 \sim 10\text{ N}$, 间隙值不得超过 0.01 mm , 按照直线或是螺旋形状, 平稳转动探头, 扫查速度限制在 50 mm/s 以内, 相邻路径重叠率保持在 50% 以上, 同步在仪器屏幕上生成“幅度—相位图”, 确认相位偏移后, 暂停扫查作业, 调整探头位置, 锁定信号峰值点。

第三, 缺陷信号验证。精准区分干扰信号和缺陷信号, 干扰信号具备单次波动特性, 缺陷信号具备重复波动特性, 连续多次开展涡流检测作业来去除干扰信号。提前掌握各类缺陷性质的判定依据, 提取信号特征, 精准判断缺陷问题, 以裂纹缺陷为例, 判定标准为信号幅值高、相位稳定、沿特定方向延伸^[5]。

2.5 渗透检测

渗透检测技术适用于检测钢结构表面开口缺陷, 不受构件材质磁性限制, 尤其适配不锈钢、铝合金等非磁性钢构件检测, 技术落地需重点掌握渗透剂选择、操作流程控制、缺陷显示判读三方面要点。

第一, 渗透剂选择。需根据检测环境温度与缺陷类型确定: 常温环境 ($15 \sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$) 优先选用水洗型荧光渗透剂, 适配一般表面缺陷检测; 低温环境 ($5 \sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}$)

选用油基渗透剂, 避免因低温导致渗透剂流动性下降; 检测宽度 $\leq 0.1\text{ mm}$ 的细微裂纹时, 需选用高渗透力的着色渗透剂, 提升缺陷吸附效果。同时, 需确保渗透剂与后续清洗剂、显像剂兼容, 避免化学反应影响检测结果。

第二, 操作流程控制。先对钢构件表面进行预处理, 用砂纸打磨去除氧化皮、锈蚀, 再用无水乙醇擦拭油污, 确保表面无杂质; 随后均匀喷涂渗透剂, 涂层厚度控制在 $0.1 \sim 0.2\text{ mm}$, 渗透时间根据环境温度调整, 常温下保持 $10 \sim 15$ 分钟, 低温下延长至 $20 \sim 25$ 分钟; 渗透完成后, 用专用清洗剂沿 45° 方向轻擦表面, 避免过度擦拭带走缺陷内渗透剂; 最后喷涂显像剂, 涂层厚度 $0.05 \sim 0.1\text{ mm}$, 静置 $5 \sim 10$ 分钟待显像剂干燥。

第三, 缺陷显示判读。在自然光或紫外线灯下观察显像剂表面, 着色渗透剂会显示红色缺陷痕迹, 荧光渗透剂会发出黄绿色荧光。线性缺陷表现为连续或断续的直线状痕迹, 圆形缺陷表现为点状痕迹。需测量缺陷痕迹长度与宽度, 当线性缺陷长度超过 5 mm 、圆形缺陷直径超过 3 mm 时, 需标记为不合格, 记录缺陷位置并拍照留存, 为后续整改提供依据。

3 结束语

无损检测技术是钢结构建筑工程的重要检查手段, 能够精准识别钢结构的内部缺陷和位置。检测人员要重视无损检测技术的应用, 根据任务要求合理选择技术手段, 并准确掌握各项技术标准化操作方法, 推动无损检测技术向智能化、集成化方向发展, 为钢结构建筑建设质量提供技术保障。未来, 随着钢结构建筑更复杂, 无损检测技术需持续创新, 进一步提升检测效率与智能化水平, 持续为钢结构建筑的安全、稳定与高质量发展保驾护航, 助力推动我国工程建设领域技术升级与行业进步。

参考文献:

- [1] 岳双令. 无损检测技术在钢结构建筑工程检测中的应用[J]. 石材, 2023(01):118-121.
- [2] 韦智. 浅议无损检测技术在钢结构建筑工程检测中的应用[J]. 中国建筑装饰装修, 2024(13):82-84.
- [3] 钟飞鹏. 无损检测技术在钢结构建筑工程检测中的应用[J]. 大众标准化, 2023(13):169-171.
- [4] 胡小群. 钢结构建筑工程中的无损检测技术应用研究[J]. 房地产世界, 2023(19):142-144.
- [5] 朱海旺. 建筑钢结构工程无损检测技术研究[J]. 城市开发, 2025(14):34-36.