

装配式建筑钢结构无损检测技术研究

王 雷

河北天博建设科技有限公司, 河北 保定 071000

[摘要]随着装配式建筑技术的快速发展, 钢结构作为其核心组成部分, 在提高施工效率、保障建筑安全性方面发挥着重要作用。然而, 钢结构在施工过程中容易出现焊接缺陷、腐蚀和应力集中等问题, 这些问题直接影响建筑物的结构稳定性与耐久性。文中分析当前技术的应用状况与挑战, 并提出相应的改进措施和发展方向, 以期为未来钢结构检测技术的优化提供理论支持。

[关键词] 装配式建筑; 钢结构; 无损检测技术

DOI: 10.33142/ect.v3i5.16481

中图分类号: TU391

文献标识码: A

Research on Nondestructive Testing Technology for Prefabricated Building Steel Structures

WANG Lei

Hebei Tianbo Construction Technology Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071000, China

Abstract: With the rapid development of prefabricated building technology, steel structure, as its core component, plays an important role in improving construction efficiency and ensuring building safety. However, steel structures are prone to welding defects, corrosion, and stress concentration during construction, which directly affect the structural stability and durability of buildings. The article analyzes the current application status and challenges of technology, and proposes corresponding improvement measures and development directions, in order to provide theoretical support for the optimization of steel structure detection technology in the future.

Keywords: prefabricated building; steel structure; nondestructive testing

引言

装配式建筑因其施工效率高、环境友好、可持续性强, 正日益成为现代建筑工程发展的重要方向。在这一建筑模式中, 钢结构作为核心构件之一, 凭借优异的力学性能与便捷的装配性, 已在各类工程项目中得到广泛推广。然而, 钢结构本身的质量水平直接影响到建筑整体的安全性与使用寿命, 因此, 如何有效开展质量监测, 及时发现结构隐患, 已成为工程技术领域亟待解决的关键问题。目前, 常用的传统检测手段普遍存在流程繁琐、操作破坏性强、检测效率低等不足之处, 难以适应当前对施工进度、结构完整性以及质量管控提出的更高要求。与此相比, 无损检测技术因具备在不损伤结构的前提下识别内部缺陷的能力, 逐渐成为钢结构质量检验的主要技术路径。通过应用如超声波、射线、磁粉等无损检测方法, 焊接质量问题、腐蚀状况及裂纹分布得以快速准确地识别, 从而提升了整体结构的安全保障水平。尽管无损检测技术在钢结构工程中展现了显著优势, 但在装配式建筑的实际应用过程中, 仍面临一系列制约因素。检测精度不足、适用环境受限、成本控制困难等问题, 制约了其推广的深度与广度。为此, 开展系统研究并探索更契合装配式建筑特性的无损检测方案, 已成为提升建筑施工质量、保障结构安全性以及延长建筑使用周期的重要手段。

1 装配式建筑钢结构的施工特点

装配式建筑中钢结构的施工特点, 主要体现在施工效

率高、设计标准统一以及具备良好的可持续发展潜力等方面。在具体实施过程中, 该类型结构常采用“工厂预制+现场拼装”的建造模式, 从而显著缩短了整体工期。通过在生产车间对钢构件进行批量化、标准化制造, 不仅提升了构件的尺寸精度与质量一致性, 而且有效降低了现场施工对环境与气候条件的依赖, 减轻了外部因素对施工进度的影响。装配式钢结构强调构件的标准化设计与模块化拼装, 每一构件均依据统一技术规范加工, 同时具备灵活组合的特点, 使得结构布置方式能够根据实际建筑需求快速调整。此模式在提升建造效率的同时, 有效减少了建筑材料浪费与施工过程中的环境污染, 体现了良好的绿色建造属性。现场施工量较小, 依赖技术工人的程度得以降低, 管理流程得以简化, 这有助于控制施工过程中潜在的安全隐患。与此同时, 这种结构体系具有较好的适应能力, 广泛应用于多种建筑形式中, 尤其在高层建筑及复杂结构体系中, 展现了突出的稳定性与较强的承载性能, 进一步拓展了其工程应用的广度与深度。

2 装配式建筑钢结构无损检测技术应用

2.1 钢结构焊缝无损检测技术

2.1.1 超声波检测

在钢结构焊缝的无损检测技术中, 超声波检测因其适用性广泛而被大量采用。该技术依赖于高频声波在焊缝材料中传播时的物理特性, 声波遇到缺陷时所产生的反射或

折射现象被分析,以识别焊缝内部是否存在裂纹、气孔或夹杂物等异常情况。当超声波信号射入焊缝后,一旦遇到结构不连续的区域,声波便会发生明显变化,接收装置可通过回波的强度、传播时间及频率变化,进一步判断缺陷的位置和性质,从而对焊缝质量作出评估。与其他常见的检测手段相比,超声波检测在探测深度、灵敏度以及适应不同工况方面展现出了显著优势。不仅深层和浅表的缺陷能够有效识别,且为钢结构焊接质量的精准判断提供了重要的数据支持。该技术还适用于形状复杂或尺寸较大的焊缝结构,具备现场实时检测的能力,检测过程直观,结果的可视化程度高,便于操作者及时分析和判断。然而,检测的准确性在很大程度上依赖于操作人员的专业水平及设备的性能表现。较强的技术能力与丰富的实践经验,操作者需要具备,才能保障检测过程的有效实施与最终结果的科学性^[1]。

2.1.2 射线检测

射线检测作为钢结构焊缝无损检测中的关键技术之一,常采用X射线或 γ 射线对焊缝内部结构进行透视成像,以识别隐藏的缺陷问题。该技术的基本原理在于:当高能射线穿透钢材时,射线会因材料的密度、厚度差异或内部缺陷的存在而发生不同程度的吸收或散射,进而在感光材料或数字成像系统中形成影像,通过图像分析即可识别焊缝中是否存在裂纹、气孔、夹杂物等结构异常。具有良好穿透性能,这种检测方式,尤其适用于较厚钢板或形状复杂部位的内部质量评估。借助其成像直观、精度高的优势,射线检测在焊接接头质量控制中被广泛应用,并可为工程安全提供可靠的技术保障。尽管该技术具备高可视化和精密诊断的特点,但在实际操作中,较高的技术规范与安全管理要求被提出。由于涉及放射性源的使用,检测过程中存在一定的辐射风险,专业的技术人员必须配备,并制定完善的防护措施。

2.1.3 磁粉检测

磁粉检测是一种主要针对钢结构焊缝表面及近表面缺陷的无损检测手段,常用于识别如裂纹、夹杂、气孔等微小结构异常,尤其在表层质量控制中发挥着重要作用。该技术基于磁场泄漏原理,即在对钢构件施加外部磁场后,若焊缝表面存在不连续性结构,磁力线会在缺陷区域发生异常变化,并形成局部磁场泄漏。此时,撒布在表面的磁粉会聚集于这些磁场异常位置,从而显现出可视化的缺陷痕迹,供操作者进行判读和分析。磁粉检测因操作简便、成本较低以及检测效率较高而受到工程实践中的广泛青睐,尤其适用于现场快速评估,无需复杂的前期处理便可实施,节省了大量人力与时间。其检测效果在识别浅层裂纹、表面划痕等问题方面尤为显著,为焊缝的初步质量把关提供了可靠依据。

2.1.4 渗透检测

渗透检测是一种广泛应用于钢结构表面质量评估的无损检测技术,主要用于识别如裂缝、针孔及其他极细微的表面缺陷。该技术的检测机制依赖于渗透液的毛细作用,通过将液态渗透剂均匀施加在构件表面,使其自动渗入存在开口缺陷的部位。渗透完成后,表面多余的渗透剂需要被清除,并喷涂显像剂。显像剂将渗透液从缺陷中“吸出”,并在表面形成清晰可见的标记,从而直观地展示出缺陷的具体位置与形态。该检测方式因操作流程简洁、成本投入较小、检测分辨率高等特点,特别适用于非磁性材料或磁粉检测不适用的场景。在处理形状复杂或边角繁多的构件时,渗透检测展现出了较强的适应性与有效性,能够对微小裂纹或表层微孔进行精准识别。

2.2 钢结构腐蚀无损检测技术

2.2.1 电化学方法

电化学检测技术是一种常见的无损手段,主要用于评估钢结构在服役过程中所遭受的腐蚀状况。该方法基于电化学反应原理,通过监测钢材表面或周边环境中的电流、电位、电阻等参数的变化,反映出腐蚀过程的动态特征。在检测过程中,通常通过施加外部电流或电压以激发钢结构与其接触介质之间的电化学反应,再通过对相关电化学数据(如腐蚀电流密度、电极电位等)的解析,判断腐蚀的程度与速率。这种检测方式因灵敏度高、精度优良而著称,能够实现对腐蚀进展的连续监控,适用于大面积钢结构系统的腐蚀状态评估。应用范围涵盖多种电化学手段,如极化曲线测试、电阻率分析、工作电极测试等。极化技术可直接测得腐蚀速率,并通过腐蚀电流强度的变化反映腐蚀程度;而电阻率测量则通过判断材料电阻的波动趋势,推断腐蚀的存在与发展^[2]。该技术的一个显著优势是其非破坏性操作特点,在不影响结构正常使用的前提下,长期观测即可开展,尤其适合如桥梁、输油管道等对连续性要求较高的工程设施使用。

2.2.2 超声波检测

超声波检测作为无损检测技术中的一种常用手段,广泛应用于钢结构腐蚀状况的评估中。该方法依赖于超声波在金属内部传播时的物理特性,通过分析声波在钢材中传播过程中遇到缺陷或腐蚀区域所产生的反射、散射或能量衰减现象,来判断结构的完整性与腐蚀程度。检测过程中,高频声波信号由探头发射,一旦声波在传播中遇到如裂纹、空洞、减薄等不连续界面,便会产生回波,返回至接收装置。通过对这些回波信号的波形、强度和传输时间进行综合分析,钢材内部异常的位置、范围与性质便可确定。在腐蚀检测领域,超声波技术尤其擅长测量构件壁厚的变化情况,从而推断出材料的腐蚀深度及其发展趋势。其显著优势在于检测过程高效、数据准确,且不会对被检测结构

造成任何损伤。该方法不仅能够揭示肉眼难以察觉的细微腐蚀损伤，还能发现隐藏于构件内部的潜在缺陷。

2.2.3 涡流检测

涡流检测是一种基于电磁感应原理、常用于评估钢结构腐蚀状况的无损检测技术。该方法利用电磁探头发出交变电流，在钢材表面及其近表层区域激发出涡流。当材料表面存在裂纹、锈蚀、腐蚀坑等缺陷时，局部电磁特性发生改变，进而导致涡流的分布和强度产生扰动。通过分析这些异常信号的响应特征，缺陷的位置、尺寸及其性质便可判断。此项检测技术响应速度快、灵敏度高，特别适用于表面或近表面腐蚀的快速筛查，即使是极细小的裂缝或微小的腐蚀区域也能被及时发现。相比传统检测方式，涡流探头在检测过程中能够实现非接触操作，既避免了对表面条件的严格要求，也提升了在不规则结构或难以接触部位上的应用便利性。

2.2.4 射线检测

射线检测通过射线穿透钢结构，根据射线在腐蚀缺陷处的吸收和散射程度来评估内部腐蚀情况。然而，射线检测需要使用放射源，这使得其操作成本较高，并伴随一定的安全风险。因此，在进行钢材腐蚀状态检测时，应谨慎选择该方法，并严格遵守相关的安全制度和规定，以确保操作的安全性。

2.2.5 红外热像检测

红外热像检测作为一种利用物体表面温度分布差异来识别钢结构腐蚀情况的无损检测手段，其核心原理在于通过红外热像仪扫描钢材表面，捕捉因热传导特性变化而引发的温度异常。钢结构某一部位发生腐蚀时，热导率与热容量往往会偏离正常区域，从而引起局部温度与周边区域之间产生差异。这些微小的温度变化能够迅速被红外设备感知，并以图像形式直观呈现，从而辅助技术人员精准定位潜在缺陷位置^[3]。非接触式测量特点使得该检测方法能够在不干扰结构本体的前提下，高效覆盖大面积区域，尤其适用于结构复杂、空间受限或高空部位的检测作业，如密闭构件、吊挂系统以及难以人工近距离接触的位置。红外热像检测在多种环境条件下均可开展，特别在低温或伴随热循环的工况下，较强的适应性得以展现，能够有效揭示因温差引发的腐蚀现象。

2.3 钢结构应力与缺陷无损检测技术

钢结构的应力与缺陷无损检测技术在装配式建筑中的应用至关重要，特别是在保障结构安全性和延长建筑使用寿命方面。通过这些技术，结构的状态可在不造成任何破坏的情况下实时监测，潜在的缺陷，如裂纹、腐蚀、疲劳损伤及变形等，可以及时发现并定位。常见的无损检测方法包括超声波检测、声发射检测、激光扫描技术以及磁共振成像等。超声波检测技术通过向材料内部发射高频声

波，遇到裂纹或空洞时，声波在介质中的传播会发生反射或折射，从而揭示隐藏的缺陷。声发射检测则通过监测钢结构在使用过程中因应力集中或裂纹扩展而产生的高频声波信号，有效预测可能发生的结构破坏或疲劳失效。激光扫描技术则能够精准测量钢结构表面的微小变形与偏差，点云数据通过获取后，用于构建三维模型，从而评估应力分布和结构变形，进而判断整体健康状况。磁共振成像技术则利用磁场扫描钢结构，特别适用于发现早期的腐蚀或微裂纹，高效检测表面及内部缺陷。

3 装配式建筑钢结构无损检测技术发展建议

3.1 提高人员技术水平

提升装配式建筑钢结构无损检测技术应用效果的关键，在于提高相关人员的技术水平。随着无损检测技术的不断创新以及钢结构复杂性的提升，对检测人员的专业能力和实践经验提出了更高要求。不同无损检测方法的原理、适用范围、操作技巧及其局限性，必须被技术人员深入理解，从而能够在实际工作中灵活应对多样的检测挑战^[4]。为确保技术水平的不断提高，定期开展培训和技能考核显得尤为重要。通过持续的学习和技能训练，最新的技术设备不仅能够被检测人员掌握，还能紧跟行业发展趋势，从而增强问题分析与解决的能力。此外，加强与工程设计、施工以及其他技术部门的沟通与合作，对于确保检测工作的顺利进行，亦至关重要。

3.2 制定完善的检测制度

完善的检测制度，是提升装配式建筑钢结构无损检测技术有效性的关键保障。一个科学且规范的制度，能够确保无损检测过程的标准化、系统化及高效性，从而提升检测质量，确保结构的安全与稳定。各种无损检测技术的适用范围及操作流程，应在制度中清晰界定，覆盖从原材料进场到结构竣工的整个过程，确保每个环节都有明确的标准可供遵循。此外，合理的质量控制措施与检验标准，应包括在检测制度内，详细规定检测设备、操作人员资质、检测频次及数据记录等方面，以确保所有环节得到充分重视与实施。对于不合格项的处理流程，也应作出明确规定，若发现问题，迅速采取措施进行修复或替换，并形成整改报告，确保问题得以有效解决。检测制度的完善，还需根据施工环境及现场实际情况灵活调整检测频率和方法，以适应不同的检测需求及外部条件。最后，建立定期检查与评估机制至关重要，检测工作应进行审查与总结，优化操作流程，不断提升检测质量。

4 结语

随着装配式建筑行业的迅猛发展，钢结构的广泛应用，对建筑质量与安全提出了更高的要求。在这一背景下，为确保钢结构质量的重要手段，无损检测技术，在提升建筑的安全性、稳定性及延长使用寿命方面，起着至关重要

的作用。通过及时检测和评估钢结构焊缝、腐蚀及其他缺陷问题,工程事故的发生可以有效减少,建筑物的长期安全得到保障。尽管无损检测技术在钢结构应用领域取得了显著进展,仍然面临一些技术瓶颈和挑战,亟需进一步的创新与完善。随着技术的不断发展以及行业需求的提升,装配式建筑钢结构的无损检测技术,在未来的建筑行业中,将发挥更加重要的作用,为建筑的质量与安全,提供更为坚实的保障。

[参考文献]

[1] 葛德,李俊杰. 装配式建筑钢结构无损检测技术研究

[J]. 张江科技评论,2024(7):141-143.

[2] 玉剑兵. 装配式建筑钢结构无损检测技术研究[J]. 江西建材,2023(3):102-103.

[3] 朱峰. 探讨无损检测技术在建筑工程检测中的应用[J]. 建材与装饰,2019(36):54-55.

[4] 王子平,朱永恒. 加强装配式钢结构质量控制[J]. 建筑技术,2018,49(1):157-158.

作者简介:王雷(1988.6—),毕业院校:河北建筑工程学院 专业:土木工程专业,当前就职单位:河北天博建设科技有限公司,职称级别:工程师。