

无损检测技术在钢结构建筑工程检测中的应用

文 / 胡翔 深圳生富检测股份公司

摘要：钢结构建筑在现代建筑工程中占据重要地位，其质量与安全性直接关系到建筑的整体性能和使用寿命。无损检测技术作为一种非破坏性检测方法，在钢结构建筑工程检测中展现出显著优势。本文探讨无损检测技术在钢结构建筑工程中的应用优势，分析常用无损检测技术的特点，列举钢结构常见的缺陷类型，并提出提升无损检测技术应用效果的策略。通过研究，无损检测技术不仅提高了检测精度和效率，还减少了对结构的破坏，实现了连续监测，为钢结构建筑工程的质量保障提供了有力支持。

关键词：无损检测技术；钢结构；建筑工程检测

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.036

引言

钢结构建筑因其高强度、轻质和施工速度快等优点，广泛应用于现代建筑工程中。然而，钢结构在制造、运输、安装和使用过程中可能出现各种缺陷，影响其安全性和耐久性。传统的检测方法往往需要对结构进行破坏性取样，不仅效率低下，还可能对结构造成二次损伤。无损检测技术通过非破坏性手段，能够在不影响结构完整性的前提下，准确识别和评估钢结构的内部和表面缺陷。深圳生富检测股份公司在钢结构检测领域积累了丰富的经验，致力于推动无损检测技术的创新与应用。

一、无损检测技术在钢结构建筑工程中的应用优势

（一）有利于提高检测的精度和效率

无损检测技术在钢结构建筑工程中的广泛应用，显著提升了检测工作的精度与效率。传统检测方法往往依赖人工目视或破坏性取样，难以全面反映结构整体状态，而无损检测则借助超声波、磁粉、射线、涡流等多种手段，在不破坏材料完整性的前提下获取精确数据。这些技术能够有效识别焊接缺陷、裂纹、腐蚀、夹渣等潜在问题，具有较高的灵敏度和可靠性。此外，现代无损检测设备集成自动化与智能化功能，使得检测过程更加快速高效，减少了大量人力与时间成本。随着计算机图像处理与人工智能算法的引入，检测结果的分析也更加客观准确，降低了人为判断误差的可能性。

（二）有利于减少对结构的破坏

在钢结构建筑的检测过程中，避免对结构造成损伤是保障其长期安全使用的关键。无损检测技术的最大优势在于能够在不改变材料性能和结构完整性的前提下完成检测任务，相较于传统的破坏性检测方法，如切割取样或局部拆除，无损检测不会影响结构承载能力或使用寿命。这种方法特别适用于已经投入使用的大型钢结构建筑，例如桥梁、高层建筑、工业厂房等，避免因检测作业带来的二次损害风险。此外，无损检测还能在不影

响施工进度的前提下进行实时监测，确保工程质量与安全性同步提升。

（三）实现连续监测

无损检测技术的进步使得钢结构建筑工程的连续监测成为可能，为结构健康状况的动态掌握提供了技术支持。传统检测方式多为阶段性操作，难以及时发现突发性缺陷或缓慢演变的损伤问题。而现代无损检测系统可集成传感器网络与远程数据采集装置，实现对关键部位的实时监控。这种持续性的监测模式能够捕捉到结构在不同荷载、环境变化下的响应特征，从而提前预警潜在风险。尤其在地震、风荷载、温差变化等复杂外部因素影响下，连续监测有助于评估结构稳定性与耐久性。同时，结合大数据分析云计算平台，检测数据可以被长期存储并进行趋势分析，为后期维护、加固决策提供科学依据。

二、钢结构建筑工程检测中常用的无损检测技术

（一）超声波检测技术

超声波检测技术是钢结构建筑工程中应用最广泛的无损检测方法之一，其原理基于高频声波在材料内部传播时遇到缺陷或界面会发生反射、折射和散射的特性。通过探头发射和接收超声波信号，分析其传播时间、幅度及波形变化，可以判断材料内部是否存在裂纹、气孔、夹渣、未熔合等缺陷。该技术具有较高的穿透能力和灵敏度，适用于厚壁焊缝、板材、管材等多种结构形式的检测。相比其他检测手段，超声波检测不受工件形状限制，可在复杂构件中实施，并能实现对缺陷深度、长度和位置的准确定位。此外，该技术不依赖放射性源，操作安全性高，适合现场作业。随着数字信号处理技术和相控阵超声技术的发展，检测效率与图像清晰度显著提升，能够更直观地呈现缺陷形态。由于无需破坏结构即可获得高质量数据，超声波检测已成为钢结构质量控制和安全评估中的核心技术之一，在工程验收、定期巡检及维修决策中发挥着重要作用。如图一的超声波检测。

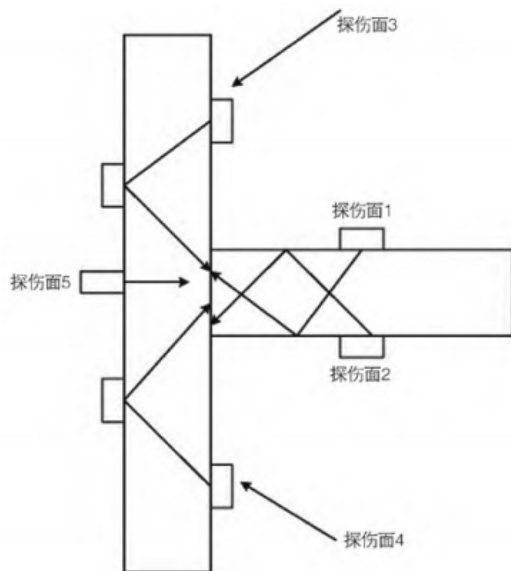


图 1: 超声波检测

(二) 射线检测技术

射线检测技术是一种基于 X 射线或 γ 射线穿透材料后因缺陷部位吸收差异而形成影像对比的无损检测方法。在钢结构建筑工程中，该技术主要用于焊接接头的质量评定，能够清晰显示内部气孔、夹渣、未熔合、裂纹等缺陷的分布情况。检测过程中，射线源置于被检工件一侧，另一侧放置胶片或数字成像系统，根据射线穿透后的衰减程度生成影像，从而判断材料完整性。射线检测具有成像直观、结果可记录的优点，特别适用于对焊接质量要求较高的关键部位。尽管该技术需要一定的防护措施以避免辐射风险，但其检测精度和可重复性强，广泛应用于桥梁、压力容器、高层建筑等重要结构的检测任务中。近年来，随着数字化成像技术的普及，传统胶片方式逐渐被平板探测器和计算机成像系统取代，不仅提高了检测效率，还降低了环境影响和后期存储成本。射线检测技术以其高分辨率和良好的适应性，在钢结构工程质量控制体系中占据重要地位。

(三) 磁粉检测技术

磁粉检测技术是一种适用于铁磁性材料的表面及近表面缺陷检测方法，在钢结构建筑工程中常用于焊接接头、螺栓连接区、钢材表面裂纹等部位的质量检查。其基本原理是通过对被检工件施加磁场，使其达到磁饱和状态，当材料表面存在缺陷时，磁力线会因不连续而发生畸变，形成局部漏磁场。此时将磁粉施加于工件表面，磁粉会在漏磁场作用下聚集并显示出缺陷轮廓，从而实现缺陷的可视化识别。该技术操作简便、响应迅速，能够有效发现微小裂纹、折叠、夹层等缺陷，且不需要复杂的设备支持，适合现场快速检测。此外，磁粉检测可根据使用介质的不同分为干法和湿法，湿法因磁粉悬浮液流动性好，更适用于复杂曲面或细小缺陷的检测。虽然该方法仅适用于铁磁性材料，不能检测非金属或奥氏

体不锈钢等材质，但在钢结构领域仍具有不可替代的优势。

(四) 涡流检测技术

涡流检测技术是一种基于电磁感应原理的无损检测方法，广泛应用于钢结构建筑工程中对导电材料表面及近表面缺陷的检测。该技术通过通有交变电流的检测线圈在被测材料中感应出涡流，若材料中存在裂纹、腐蚀、分层或其他异常结构，涡流路径将发生变化，进而引起线圈阻抗的变化。通过测量这种变化，可以判断缺陷的存在及其特征参数。涡流检测具有非接触、速度快、灵敏度高的优点，适用于各种复杂几何形状的构件，尤其适合检测薄壁钢管、紧固件、焊接区域等易出现疲劳损伤的部位。此外，该技术可配合自动化扫描装置进行大面积检测，提高检测效率与一致性。近年来，多频涡流、脉冲涡流及远场涡流等新技术的发展进一步提升了检测深度与分辨能力，使其在钢结构腐蚀评估、涂层厚度测量等方面也得到广泛应用。涡流检测无需耦合剂，适用于高温、潮湿等恶劣环境，便于现场灵活操作，在钢结构质量监控和长期健康监测中展现出良好应用前景。

三、钢结构建筑工程常见的缺陷

(一) 裂纹缺陷

裂纹是钢结构建筑工程中最为严重的缺陷之一，具有高度的危险性和扩展性。其形成原因主要包括焊接过程中热应力集中、材料塑性不足、冷却不均匀或外部荷载作用下的疲劳损伤等。裂纹通常出现在焊缝及其热影响区域，也可能在钢材加工或安装过程中因操作不当而产生。该类缺陷会显著降低结构的承载能力和稳定性，成为潜在的断裂源，在持续受力状态下可能引发连锁破坏。由于裂纹尺寸细小且隐蔽性强，常规检测手段难以及时发现，因此必须借助高灵敏度的无损检测技术进行识别和评估。为保障工程安全，裂纹一旦被确认存在，通常需要立即采取修复或更换措施，防止进一步扩展造成严重后果。如图二所示。



图二: 裂纹缺陷

（二）夹杂缺陷

夹杂缺陷是指在钢材冶炼、铸造或焊接过程中，熔渣、氧化物或其他非金属杂质未能完全排出而残留在材料内部的现象。此类缺陷多存在于焊缝区域，表现为点状、条状或团聚状分布，对材料的力学性能和耐久性造成不利影响。夹杂物的存在会破坏材料的连续性，降低其抗拉强度与韧性，并可能成为裂纹萌生的起点。尤其在承受交变荷载的结构部位，夹杂缺陷容易引发局部应力集中，进而导致疲劳损伤扩展。由于其形态多样且分布复杂，夹杂缺陷的检测难度较大，需依赖超声波或射线等高精度无损检测方法进行识别，提高原材料质量控制水平和优化焊接工艺是减少夹杂缺陷的关键措施。

（三）厚度不均缺陷

厚度不均缺陷主要指钢材在轧制、加工或焊接过程中出现的壁厚偏差现象，常见于钢板、钢管及焊接接头区域。这种缺陷可能由设备调整不当、材料流动不均匀或焊接填充不充分引起，导致构件实际承载能力偏离设计标准。厚度不均不仅影响结构的整体刚度，还可能在受力时形成局部薄弱区，增加发生屈曲或断裂的风险。特别是在承受高压或动载荷的工程环境中，该类缺陷更容易诱发早期失效。此外，厚度变化区域常伴随应力集中效应，可能促进裂纹的产生与发展。采用精确测量工具和无损检测技术对关键部位进行厚度评估，有助于及时发现并处理该类问题，确保结构安全运行。

（四）表面腐蚀缺陷

表面腐蚀是钢结构建筑工程中较为常见的自然劣化现象，主要由环境中的水分、氧气、盐分及其他化学介质长期作用引起。腐蚀会导致钢材表面形成氧化铁层，逐渐削弱材料的有效截面积，降低结构的承载能力和使用寿命。特别是在潮湿、沿海或工业污染严重的区域，腐蚀速率明显加快，严重影响建筑的安全性和耐久性。除外观损坏外，腐蚀还可能引发局部应力集中，诱发裂纹扩展，甚至导致突发性结构失效。部分腐蚀形态如点蚀、缝隙腐蚀等隐蔽性强，不易通过目视检查发现，需借助涡流或超声波等技术进行深入检测。为延缓腐蚀进程，工程中常采用涂层保护、阴极防护等措施，同时定期开展腐蚀状态监测，以实现钢结构健康状况的动态管理。

四、无损检测技术在钢结构建筑工程检测中应用的策略

（一）提升技术人员的专业水平

无损检测技术的高效应用依赖于技术人员具备扎实的专业知识和熟练的操作能力。随着检测设备不断升级与智能化发展，从业人员不仅需要掌握传统检测方法的基本原理，还需熟悉新型数据分析工具和图像处理技术。为确保检测结果的准确性和可重复性，应定期组织系统化培训，提升技术人员对各类缺陷特征的识别能力及判断水平。同时，建立完善的资格认证体系，推动行业标准化建设，提高从业门槛，确保检测人员具备相应的职

业素养。通过加强继续教育与实践锻炼，使技术人员能够灵活应对不同工程环境下的检测需求，从而充分发挥无损检测技术在钢结构建筑工程质量控制中的作用。

（二）加强设备更新和技术研发

无损检测技术的持续进步离不开先进设备的支持与核心技术的创新。当前，部分检测设备仍存在精度不高、适应性差或数据处理能力有限的问题，难以满足复杂结构检测的需求。因此，有必要加大对高精度传感器、自动化扫描装置以及智能分析系统的研发投入，提升检测效率与准确性。同时，加快老旧设备的淘汰与更新，推广便携式、数字化和集成化检测仪器，以适应施工现场多样化的工作条件。结合人工智能、大数据等新兴技术，开发具有自主判断能力的智能检测系统，有助于实现缺陷自动识别与趋势预测。

（三）扩大无损检测技术的应用范围

随着钢结构建筑形式日益多样化，其受力特性与使用环境也更加复杂，对检测技术的适应性提出了更高要求。目前，无损检测主要集中在焊缝质量和表面缺陷的检查上，未来应进一步拓展至整体结构健康监测、疲劳损伤评估及施工过程质量控制等多个领域。通过构建多技术协同检测体系，将超声波、射线、磁粉、涡流等多种方法有机结合，实现从局部到整体的全面覆盖。此外，在桥梁、高层建筑、工业厂房等不同类型工程中推广应用无损检测，使其成为工程质量管理与安全评估的重要手段。

结语

无损检测技术在钢结构建筑工程检测中展现出不可替代的优势，为钢结构的安全性和耐久性提供了有力保障。通过超声波、射线、磁粉和涡流等多种技术的综合应用，能够全面识别钢结构的各类缺陷。未来，随着技术的不断进步和应用的深入，无损检测技术将在钢结构建筑工程中发挥更加重要的作用。深圳生富检测股份有限公司将继续致力于无损检测技术的创新与推广，为建筑行业的高质量发展贡献力量。

参考文献

- [1] 武超超. 无损检测技术在钢结构建筑工程检测中的应用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023(5): 135-138.
- [2] 陈明铭. 浅谈无损检测技术在钢结构建筑工程检测中的运用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023(6): 69-72.
- [3] 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.
- [4] 卢永源. 无损检测技术在建筑钢结构工程质量控制中的应用[J]. 建材发展导向(上), 2022, 20(4): 172-174.
- [5] 刘文杰. 无损检测技术在建筑工程检测中的应用研究[J]. 四川建材, 2016, 42(5): 34-35.