

钢结构焊缝质量无损检测技术及应用分析

马文承

河北帝安工程检测有限公司 河北石家庄

【摘要】随着钢结构在建筑等诸多领域的广泛应用，焊缝质量成为关乎结构安全的核心要素。无损检测技术可在不损伤工件的前提下，精准探测焊缝缺陷。本文将详细阐述超声、射线、磁粉、渗透等常见检测技术的原理、优势与局限，深入对比分析其不同场景下的应用实效，为保障钢结构焊缝质量、优化检测流程提供科学依据，助力行业提升工程质量。

【关键词】 钢结构；焊缝质量；无损检测；超声检测；射线检测

【收稿日期】 2025 年 2 月 24 日 **【出刊日期】** 2025 年 3 月 28 日 **【DOI】** 10.12208/j.jer.20250119

Nondestructive testing technology and application analysis of steel structure weld quality

Wencheng Ma

Hebei Di'an Engineering Testing Co., Ltd, Shijiazhuang, Hebei

【Abstract】 As steel structures are widely used in construction and many other fields, the quality of welds has become a core factor concerning structural safety. Non-destructive testing techniques can accurately detect weld defects without damaging the workpiece. This article will detail the principles, advantages, and limitations of common inspection methods such as ultrasonic, radiographic, magnetic particle, and penetrant testing. It will also conduct an in-depth comparative analysis of their practical applications in different scenarios, providing scientific evidence to ensure the quality of steel structure welds and optimize inspection procedures, thereby assisting the industry in improving engineering quality.

【Keywords】 Steel structure; Weld quality; Nondestructive testing; Ultrasonic testing; Radiographic testing

引言

在现代工程的壮阔蓝图中，钢结构凭借诸多卓越特性，成为大型建筑、桥梁等关键领域的“顶梁柱”。现实中焊缝饱受考验，长期处于高温、潮湿、强风等恶劣环境，还要承受车辆碾压、重物牵拉等反复荷载。微小的裂纹、气孔等缺陷，在日积月累下，可能如“蚁穴”般侵蚀结构根基，引发桥梁垮塌、建筑倾颓等悲剧，造成不可估量的生命财产损失。探寻精准、高效的钢结构焊缝质量无损检测技术，刻不容缓，意义非凡。

1 钢结构焊缝检测需求

在现代工程建设的宏大版图中，钢结构凭借其强度高、自重轻、施工便捷等显著优势，广泛应用于大型建筑、桥梁等关键基础设施领域。高耸入云的摩天大楼，其坚固的骨架多由钢结构搭建；横跨江河湖海的壮丽桥梁，钢结构更是撑起了交通动脉的脊梁^[1]。而在钢结构体系里，焊缝无疑占据着至关重要的地位，它宛如精

密仪器中的关键连接部件，承担着传递和分散结构应力的重任。每一条焊缝都经过精心设计与焊接操作，将各个钢结构部件紧密相连，确保整个结构协同受力，稳定运行。

在实际服役条件下，焊缝面临着诸多严峻考验。长期暴露在自然环境中，高温、高湿、强风等恶劣气候因素持续侵蚀着焊缝；与此结构承受的长期反复荷载，像大型桥梁上往来车辆的频繁碾压，使焊缝时刻处于复杂的应力状态之下。在这种双重夹击下，焊缝中一旦出现裂纹、气孔、夹渣等缺陷，便犹如埋下了一颗定时炸弹。这些微小的瑕疵会在日积月累中持续发展、扩大。以桥梁为例，焊缝处的缺陷极易引发局部应力集中现象，当车辆频繁通行，产生的振动荷载不断冲击时，原本细微的裂纹就如同被注入了生长的“催化剂”，迅速扩展延伸。曾经，就有因焊缝缺陷未及时发现，导致桥梁垮塌的惨痛案例^[2]。那一瞬间，桥梁轰然倒塌，不

仅对过往车辆和行人的生命安全造成了毁灭性打击，无数家庭因此支离破碎，而且从经济层面考量，桥梁重建、交通中断带来的间接损失更是难以估量，对区域经济发展产生了巨大的负面影响。

鉴于此，实现对钢结构焊缝质量的精确检测，已然成为保障结构安全稳定运行的核心环节，是工程建设与运维过程中不可有丝毫懈怠、必须高度重视的重要任务。从工程建设初期的严格把控，到运维阶段的定期监测，只有借助先进的检测技术与科学严谨的检测流程，及时发现并处理焊缝缺陷，才能让钢结构在漫长的服役期内始终坚守岗位，为人们的生产生活筑牢安全屏障，助力社会稳步发展。

2 无损检测技术原理

超声检测作为一种广泛应用于钢结构焊缝质量无损检测的重要手段，其核心原理在于巧妙利用超声波于材料内部传播时所展现出的独特特性，以此精准实现对焊缝缺陷的有效检测^[3]。在质地均匀的钢结构材料体系中，超声波传播时的路径与波幅通常处于相对稳定的状态，呈现出规则且可预测的传播模式。一旦遭遇焊缝中诸如气孔、夹渣等各类缺陷，超声波的传播特性便会瞬间发生显著改变，进而产生反射与折射现象。检测设备在整个过程中扮演着至关重要的角色，它能够精准接收并深入分析这些经反射和折射后的超声波信号，通过对信号的细致解读与处理，得以准确识别材料内部存在异常的区域，并且进一步凭借先进的算法和丰富的经验，精确判断出缺陷的具体位置、实际大小以及大致的形状轮廓，为后续的质量评估与修复决策提供坚实可靠的数据支撑。

射线检测技术依托于射线所具备的强大穿透工件的能力，以及射线与材料相互作用时所引发的一系列物理现象。当射线以特定角度和强度穿透含有潜在缺陷的焊缝时，由于缺陷部位与正常材料在对射线的吸收和衰减能力方面存在明显差异，这种差异最终会在成像介质上以不同灰度的影像形式清晰呈现出来^[4]。技术人员凭借专业的知识和丰富的经验，对这些呈现出不同灰度的影像进行仔细观察与深入分析，能够极为直观且清晰地勾勒出焊缝内部缺陷的真实轮廓，不仅可以精准判断出缺陷的具体类型，无论是裂纹、未焊透还是其他形式的瑕疵，还能精确测量出缺陷的尺寸大小，并准确确定其在焊缝中的具体位置坐标，为后续的质量评估提供了直观、精确的依据，也为制定科学合理的修复方案奠定了坚实基础。

磁粉检测技术主要适用于对铁磁性材料的焊缝进

行检测。当对铁磁性材料的焊缝施加外部磁场后，磁力线在材料内部会呈现出均匀分布的状态，确保材料整体磁性能的稳定。但一旦焊缝内部存在诸如裂纹、未焊透等缺陷，这些缺陷处的磁力线分布将发生严重畸变，进而形成漏磁场。此时，在焊缝表面均匀喷洒经过特殊处理的磁粉，这些磁粉会迅速被漏磁场吸附，从而在焊缝表面清晰勾勒出缺陷的位置与形状，使得检测人员能够快速、直观地发现并评估缺陷情况。

3 技术应用场景对比

在建筑高层钢结构施工中，工程规模宏大，施工面积广袤，焊缝数量更是数以万计。超声检测技术在此类项目中占据重要地位。其设备轻巧便携，检测人员能够灵活穿梭于施工现场的各个角落，无论是高空作业面，还是狭窄的钢梁拼接处，都能轻松开展检测工作^[5]。凭借快速的检测速度，超声检测能够在短时间内对大面积焊缝进行系统性实时扫查。就像在一片茂密的森林中，快速定位可能存在病害的树木。通过超声检测，能迅速初步筛查出焊缝中可能存在缺陷的区域，为后续更为精确的检测工作清晰地指明方向。如此一来，不仅大幅提高了检测效率，避免了盲目检测带来的时间浪费，还能有效降低检测成本，使资源得到更为合理的配置，让建筑高层钢结构施工的质量把控工作高效有序推进。

建筑或桥梁钢结构中的复杂节点部位，堪称整个结构的“咽喉要道”。其结构设计错综复杂，承受的应力情况也极为特殊，是保障整体结构安全稳定的关键所在。正因如此，对这部分焊缝质量的要求近乎严苛。射线检测技术宛如一把精准的“透视眼”，专门用于攻克此类复杂难题。在检测时，射线能够穿透复杂节点的重重结构，对焊缝内部细微缺陷进行清晰成像^[6]。无论缺陷多么微小，是隐藏在焊缝深处的气孔，还是细微的裂纹，在射线检测的呈现下都无所遁形。它精准地将缺陷的具体形状、位置、大小等情况完整展现，为工程人员提供详细且准确的信息。也正因如此，射线检测常用于此类关键部位的精确诊断，成为确保复杂节点处焊缝质量完全符合设计与安全标准的“定海神针”，为建筑和桥梁的安全稳固筑牢根基。

桥梁钢结构大多采用铁磁性材料构建，磁粉检测技术在桥梁钢结构现场焊缝检测中独具魅力。其操作流程简单易懂，检测人员无需复杂的培训就能熟练上手。检测时，仅需简单几步操作，就能快速在现场对焊缝进行抽检。在阳光照耀下的桥梁施工现场，磁粉检测如同敏锐的卫士，迅速排查出焊缝表面及近表面的缺

陷,无论是因焊接工艺不当产生的表面裂纹,还是隐藏在浅层的未焊透缺陷,都能及时发现。这对于保障桥梁在建设过程中的质量,以及在后续长期运营过程中的结构安全,都发挥着不可替代的重要作用。而在涉及非铁磁性材料的钢结构项目,如部分铝合金结构中,渗透检测则成为检测表面开口缺陷的不二之选。通过特定的渗透液,能够巧妙地渗入材料表面极其微小的裂纹等开口缺陷中,经过后续的显影处理,这些缺陷便清晰可见。如此一来,有效确保了非铁磁性材料制成的钢结构在使用过程中的安全性与可靠性。

4 检测技术综合运用策略

在钢结构工程领域,焊缝质量直接关系到整个结构的稳定性与安全性。单一的无损检测技术在面对复杂多样的钢结构焊缝质量检测需求时,存在着显著的局限性^[7]。超声检测虽对内部缺陷较为敏感,但对缺陷的定性与精确尺寸测量存在不足;射线检测虽能清晰成像,却在检测效率与对微小裂纹的检测能力上有所欠缺。

在大型钢结构项目的前期检测阶段,超声检测凭借其高效的检测速度,成为大面积焊缝普查的首选。通过超声检测设备,能够快速地对大面积焊缝进行扫描,利用超声波在不同介质中的传播特性,迅速锁定疑似存在缺陷的区域。一旦发现可疑部位,射线检测便紧随其后。射线检测技术通过穿透焊缝,在底片上形成缺陷的清晰影像,能精准地呈现缺陷的轮廓与位置。这种精确定位成像的优势,使得检测人员能够准确判断缺陷的详细情况,如缺陷的形状、大小、深度等,为后续的修复工作提供极为精准的依据^[8]。而对于重要受力焊缝,因其在结构中承担着关键作用,检测要求更为严格。

钢结构的服役环境复杂多变,随着服役年限的增长,所处环境的湿度、酸碱度等因素都会对焊缝质量产生影响。为了有效应对这些变化,检测策略也需动态调整。对于服役时间较长且处于恶劣环境中的钢结构,其焊缝面临更高的失效风险,因此需要适当增加检测频次。通过多技术协同作业,持续跟踪焊缝状态,确保能够及时发现可能出现的新缺陷,或者原有缺陷的发展

变化情况。从前期检测到服役期监测,多种无损检测技术相互配合、优势互补,构建起一套全方位的检测体系,为钢结构的长期安全可靠运行提供坚实保障。

5 结语

无损检测技术为钢结构焊缝质量保驾护航,当前各技术不断优化,未来随着人工智能、大数据融入,有望实现智能检测设备实时监测、自动诊断。跨学科研究将拓展检测边界,新算法提升缺陷识别精度,持续推动钢结构工程向更高质量、更安全方向发展,满足日益增长建设需求。

参考文献

- [1] 林国键.焊缝无损检测在跨高速公路钢结构桥梁中的应用[J].江西建材,2023,(10):132-134.
- [2] 张鸿强.超声波无损检测在钢结构桥梁工程中的应用分析[J].江西建材,2023,(05):111-112+115.
- [3] 武建鹏.钢结构工程焊缝无损检测技术应用探讨[J].科技与创新,2022,(12):29-31+34.
- [4] 刘文超.无损检测技术在建筑工程检测中的应用浅析——以某钢结构厂房单体建筑工程为例[J].房地产世界,2022,(12):61-63.
- [5] 尚孝振.钢结构检测技术及其应用[J].中华建设,2022,(04):151-152.
- [6] 张明,田涛.无损检测技术在钢结构厂房检测中的应用[J].机电工程技术,2021,50(07):256-258.
- [7] 曹国梁.超声波探伤技术在钢结构无损检测中的应用[J].黑龙江水利科技,2021,49(04):202-203.
- [8] 杨羿,张建东,李昊.钢结构桥梁焊接无损检测技术应用及发展[J].轻工科技,2020,36(12):70-71+114.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

