

钢结构焊缝缺陷的现场检测方法研究

王灿权

浙江循正检测有限公司 浙江 杭州 311251

【摘要】：钢结构焊缝作为连接钢构件的重要部分，其质量直接影响到结构的安全性与耐久性。焊缝缺陷如气孔、裂纹、夹渣等常常在焊接过程中产生，可能导致结构性能下降，甚至发生安全事故。因此，精确的焊缝缺陷检测成为确保钢结构安全的关键。本文主要探讨了钢结构焊缝的常见缺陷及其检测方法，重点分析了超声波检测、射线检测、磁粉检测与渗透检测等传统方法的应用及其优势。同时，随着技术的进步，新兴的自动化检测技术，如基于超声波导波技术和人工智能的焊缝缺陷检测方法，逐步投入实际应用，提升了检测效率与准确性。本文旨在为钢结构焊缝缺陷检测提供理论依据与实践指导，推动该领域的技术进步与发展。

【关键词】：钢结构；焊缝缺陷；现场检测；超声波检测；射线检测

DOI:10.12417/2811-0528.26.06.013

1 钢结构焊缝缺陷的常见类型与检测需求

钢结构焊缝缺陷的存在严重影响着结构的承载能力与使用寿命。焊缝缺陷通常包括气孔、夹渣、裂纹、未熔合等，这些缺陷可能在焊接过程中产生，也可能在后期使用中逐渐显现。为了确保钢结构在长期使用过程中的稳定性，必须对焊缝缺陷进行有效的检测。焊缝的质量直接影响钢结构的整体性能，尤其是在承载压力、抗震、抗风等方面的表现。针对不同类型的焊缝缺陷，检测需求也有所不同。

气孔是最常见的焊缝缺陷之一，通常发生在焊接过程中，主要由于焊条或焊丝表面油污、潮湿或氧气不足所致。气孔的存在会影响焊缝的强度与耐腐蚀性，严重时甚至导致焊缝断裂。为了检测气孔，通常采用超声波检测技术，通过高频声波反射原理，能够有效识别气孔分布及大小^[1]。射线检测则能够更加精确地检测出气孔在焊缝内部的位置与形状，特别是在检测深层气孔时具有明显优势。夹渣缺陷通常由焊接过程中未清理干净焊渣所造成，夹渣缺陷影响焊缝的冶金结构，可能导致焊接强度不足。磁粉检测和渗透检测是检测夹渣的常见方法，其中磁粉检测尤其适合表面缺陷的检测，能有效地发现焊缝表面夹渣的分布情况。渗透检测则主要通过液体渗透作用来检测焊缝表面裂纹或孔洞。

裂纹是另一种严重影响钢结构安全性的问题。裂纹的存在通常意味着焊接过程中受到外部应力或温度变化的影响，可能会进一步扩展并导致焊缝断裂。超声波检测和射线检测是两种常见的裂纹检测方法，能够识别焊缝内外表面的裂纹位置及深度，从而有效评估焊接质量。针对不同类型的缺陷，钢结构焊缝的检测需求日益增加，且检测技术的多样性与精确性对保障焊接质量至关重要。随着新技术的发展，智能化和自动化的检测方法逐步成为现场检测的重要趋势。

2 现有钢结构焊缝缺陷检测方法的比较与应用

目前，钢结构焊缝缺陷的检测方法主要包括超声波检测、射线检测、磁粉检测、渗透检测等传统方法，以及近年来出现的数字化和自动化检测技术。不同的检测方法有各自的优缺点，适用于不同的检测需求和现场环境。超声波检测技术因其高效率和高精度，成为焊缝缺陷检测的重要手段。超声波检测原理基于声波在不同介质中的传播速度差异，通过探头发射声波并接收回波信号来判断焊缝中缺陷的位置和尺寸。该方法对于检测气孔、夹渣、裂纹等缺陷具有较高的灵敏度和分辨率，特别适用于厚钢板和大直径管道的检测。其缺点在于受操作人员技能水平和设备状态影响较大，且对表面不平整的焊缝检测效果较差。

射线检测技术广泛应用于钢结构焊缝的质量检测，尤其是在检测焊缝内部缺陷方面具有独特优势^[2]。该技术通过对焊缝进行X射线或 γ 射线照射，并利用探测器接收透射或反射的射线信号，从而得到焊缝内部缺陷的影像。这种方法能够清晰地显示焊缝中的气孔、夹渣、裂纹等缺陷的位置、形态及其尺寸，尤其适用于复杂结构、密闭空间或难以接触的焊缝部位，能够有效识别深层次的缺陷。射线检测不仅可以提供高分辨率的图像，还能进行定量分析，有助于对焊缝质量进行全面评估。射线检测的设备较为复杂，操作时需要严格的安全防护措施，以避免辐射对操作人员的危害。射线检测对现场条件要求较高，并不适合大范围的现场检测，尤其是在无法实现屏蔽和防护的情况下。因此，射线检测更适用于对精确度要求较高的关键部位和特殊焊接结构的检测。

磁粉检测和渗透检测是常用于表面缺陷的检测方法。磁粉检测通过在焊缝表面施加磁场，再使用磁粉检测表面裂纹和夹渣。这种方法操作简单，适用于现场施工中的快速检测，但只

能检测表面缺陷,且对焊缝的表面处理要求较高。渗透检测则通过使用带有颜色或荧光的液体渗透剂检测焊缝表面缺陷,能准确发现微小裂纹,但操作较为繁琐,且渗透剂的选择和使用要求较高。随着技术的发展,自动化和智能化的检测方法逐渐成为研究热点。结合人工智能和图像识别技术的数字化检测方法,能够有效提高检测效率与精度。基于计算机视觉技术的焊缝缺陷自动检测系统能够在短时间内完成大面积焊缝的检测,并对缺陷进行分类和定量分析。这些新兴技术的发展,推动了钢结构焊缝检测技术的革新。

3 提升钢结构焊缝检测准确性与效率的研究方向

为了进一步提升钢结构焊缝检测的准确性与效率,近年来,各类新型检测技术逐步投入应用,推动了焊缝检测技术的创新。基于超声波导波技术的焊缝检测方法,能够在较远距离内对焊缝进行高效检测,显著减少了检测时间和费用。导波技术利用波动在不同材料中的传播特性,能够穿透较大范围的结构,从而快速检测钢结构焊缝的整体状态。与传统的局部检测方法相比,导波技术不仅大大提高了检测效率,还减少了检测人员的工作强度,尤其适用于桥梁、大型工厂等复杂结构中的焊缝检测。由于其能够在不拆除或破坏现有结构的情况下进行检测,导波技术在现场检测中展现出了明显的优势,并且能够在复杂的结构中提供全方位的焊缝质量评估。

机器学习与深度学习技术的引入,推动了焊缝缺陷检测的自动化与智能化。通过训练人工智能算法,机器可以学习并识别不同类型的焊缝缺陷,包括气孔、裂纹、夹渣等,甚至在一

些复杂且模糊的环境下,仍然能够保持较高的识别准确率^[3]。人工智能系统能够分析大量的焊缝检测数据,并自动筛选出缺陷图像,实现全自动缺陷判定,这大大降低了人工操作的误差。AI算法的不断优化,使得检测过程不仅更加高效,还能及时发现微小缺陷,保证了焊缝的质量。

随着新材料和新工艺的不断出现,未来焊缝缺陷检测方法将变得更加精细化,能够适应更加复杂和多变的检测环境。针对特殊钢材或复合材料的焊接,新的检测技术将能够提供更为精确的检测结果。对于钢结构焊接缺陷的自动化检测、在线监控和数据分析等方向的研究,将为钢结构工程的质量控制提供更为高效的解决方案。未来,随着物联网技术的发展,焊缝的实时监控将变得更加普及,检测设备能够在线传输数据,及时反馈检测结果,极大提高了工程的质量保障水平。这些技术的不断创新,将确保钢结构在长期使用过程中的稳定性和安全性,为钢结构工程的质量控制提供坚实的技术支持。

4 结语

钢结构焊缝缺陷的检测技术在近年来取得了显著进展,特别是在超声波导波、人工智能等新兴技术的应用上,极大地提升了检测效率与准确性。随着技术的不断发展,未来的检测方法将趋向智能化和自动化,能够更好地适应复杂环境,保障钢结构的安全性和长期稳定性。焊缝检测技术的不断创新为钢结构工程的质量控制提供了坚实的基础,对提高工程建设的安全性和耐久性具有重要意义。

参考文献:

- [1] 杨德成,魏晓东,王冠,等.钢结构焊接施工技术中焊缝缺陷检测试验[J].安装,2025,(12):70-72.
- [2] 曹小龙.钢结构焊缝超声波损伤检测研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(22):4-6.
- [3] 樊亚运.钢结构焊缝缺陷超声波探伤参数的确定及对焊缝质量的影响[J].科学技术创新,2024,(20):117-120.