

无损检测技术在钢结构桥梁检测中的应用

王鲁生

深圳市交通工程试验检测中心有限公司

摘要：桥梁作为城市和乡村交通的重要纽带，承担着车辆和行人的通行任务，其安全性和稳定性直接关系到交通运输的畅通和人民生命财产安全。随着交通运输业的快速发展和桥梁结构的老化，桥梁检测成为保障公路交通安全的重要环节。传统的桥梁检测方法往往存在着效率低、破坏性大等问题，无损检测技术的出现为桥梁的安全评估和监测提供了新的途径。本文分析了钢结构桥梁检测过程中无损检测技术的原理以及分类，并探讨了钢结构桥梁检测中无损检测技术应用的必要性，在此基础上以钢桥焊缝检测为例，分析了无损检测技术的具体应用策略，旨在为桥梁施工质量的优化与管理效率的提高提供参考性意见。

关键词：无损检测技术；超声检测；钢结构桥梁；应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.17.055

前言：桥梁作为重要的交通基础设施，在现代社会中发挥着不可替代的作用，随着桥梁使用年限的增加和环境变化的影响，桥梁结构可能出现各种隐患和缺陷，对其安全性和可靠性提出了严峻挑战。焊缝作为钢结构桥梁中的重要组成部分，其质量直接影响着桥梁的整体结构强度和稳定性，针对焊缝进行有效的检测和维护至关重要。无损检测技术作为一种非破坏性的检测方法，具有不破坏、高效率、准确性等优点，已成为钢结构桥梁健康监测和维护的重要手段。针对钢结构桥梁焊缝超声检测的研究具有重要的理论和实际意义，为桥梁结构的安全性和可靠性提供科学依据，促进交通运输事业的发展。

一、无损检测技术的概述

（一）原理

无损检测技术是一种非破坏性的测试方法，用于评估材料、构件或结构的完整性、质量和性能，而无须破坏被测试物体的表面或内部。其通用原理可以总结为利用物理场（如声波、电磁场、热场等）与被检测物体的相互作用，通过测量和分析物理场的变化，推断被检测物体的内部结构、缺陷和性能。

其一，无损检测技术通常使用传感器来探测被测物体的物理特性，并将这些信息转化为电信号，对应的传感器可以是声波发射器、电磁感应线圈、热传感器等。信号源提供了产生物理场的能量，如超声波发生器、电磁线圈发生器等。其二，物理场与被测物体相互作用，

产生相应的物理响应。例如，超声波通过材料时会遇到界面、缺陷或材料变化等，导致声波的反射、折射、衍射等变化。这些变化被传感器探测并记录下来。其三，传感器采集到的信号被传输到信号处理单元进行放大、滤波、时序处理等，以提高信号质量和准确性。然后，对处理后的信号进行数据分析，通过比较、图像处理等手段，将信号转化为有关被测物体内部结构、缺陷和性能的信息。其四，通过分析处理后的数据，进行结果评估和诊断，包括检测到的缺陷的类型、尺寸、位置以及对被测物体整体性能的影响等方面的信息，评估结果可以用于制定维护计划、确定结构安全性、制造质量控制等方面。在无损检测技术中，不同的物理场和传感器组合形成了各种检测方法，如超声波检测、涡流检测、磁粉检测等。这些方法在工业领域、建筑结构、航空航天等领域都得到了广泛的应用。无损检测技术的通用原理和基本原理为确保材料和结构的安全性、质量和性能提供了重要的手段。

（二）分类

无损检测技术是一种非破坏性的测试技术，主要用于评估材料、构件或结构的完整性、质量和性能，无须破坏被测试物体的表面或内部。根据不同的原理和应用领域，无损检测技术可以分为多种分类。

1、超声波检测技术

超声波检测技术是利用超声波在材料中传播时的声速、衰减、反射等特性来评估材料内部结构和缺陷的一种技术。常见的超声波检测方法包括纵波、横波、表面波、相控阵超声波等，可用于检测材料的裂纹、气孔、夹杂物、未焊透、未熔合等缺陷。

2、磁粉检测技术

磁粉检测技术是一种通过在被检测材料表面涂覆磁粉，并施加磁场来检测材料表面或近表面缺陷的技术。当磁场遇到材料表面的裂纹或缺陷时，会导致磁粉在该处聚集形成磁粉线或磁粉斑，从而实现材料表面缺陷的检测。

3、涡流检测技术

涡流检测技术是利用交变磁场在导体中产生涡流的原理来检测材料表面或近表面的缺陷。当交变磁场作用于导体表面时，会在导体内部产生涡流，而当涡流遇到材料表面的缺陷时，会引起涡流的扰动，通过检测这种涡流扰动的变化可以判断出材料的缺陷情况。

4、磁力检测技术

磁力检测技术是一种利用磁场对材料的吸引力或排斥力来检测材料内部或表面缺陷的技术。当磁场作用于材料时，会在材料内部或表面形成磁场分布，而当磁场遇到材料内部或表面的缺陷时，会引起磁场的异常变化，通过检测这种磁场变化可以确定材料的缺陷位置和大小。

5、热成像检测技术

热成像检测技术是利用红外热像仪对被检测物体的表面温度进行监测和分析，从而实现对材料的内部结构和缺陷的检测。当材料内部存在缺陷时，其表面温度分布会发生变化，通过观察这种温度变化可以确定材料的缺陷情况。

6、X射线检测技术

X射线检测技术是利用X射线对被检测物体进行透射、吸收和散射的特性来实现对材料内部结构和缺陷的检测。通过X射线的透射，在胶片上获得缺陷投影所产生的潜影，经过暗室处理后可以获取材料内部的信息，如缺陷、夹杂物等。

二、钢结构桥梁中无损检测技术应用的必要性

桥梁作为交通基础设施的重要组成部分，直接关系到公众的出行安全。通过无损检测技术，可以及时、准确地评估桥梁结构的安全性，发现潜在的结构缺陷、疲劳裂纹等问题，从而采取及时的维修和加固措施，有效地保障公众的安全。

首先，桥梁是长期暴露在自然环境下的建筑结构，受到诸如风吹雨打、温度变化、交通载荷等多种因素的影响，易于出现结构疲劳、腐蚀、裂纹等问题。通过无损检测技术，可以及时发现并监测这些潜在问题，及早采取维护措施，延长桥梁的使用寿命，降低维护成本。其次，与传统的破坏性检测方法相比，无损检测技术具有不破坏性、高效率的特点，能够在不影响桥梁结构完整性的情况下，对结构缺陷进行准确诊断和评估，避免了因维修过程中产生的额外损伤，从而降低了维修成本和维护周期。此外，桥梁的安全性直接关系到交通运输的畅通和效率，通过无损检测技术的应用，可以及时发现桥梁结构的问题并进行维修加固，避免了因桥梁损坏造成的交通拥堵和交通事故，提高了交通运输的安全性和效率。最后，无损检测技术能够提供准确、可靠的数据和信息，为桥梁维护、管理和决策提供科学依据。通过对桥梁结构的定期无损检测，可以建立完善的档案资料和数据数据库，为桥梁的长期管理和决策提供重要支持。

三、钢结构桥梁中无损检测技术的应用策略——以钢桥焊缝超声检测为例

（一）技术选择标准

在桥梁维护中，钢桥焊缝的超声检测是关键

的检测技术，在选择适合的技术时，针对钢桥焊缝的超声检测技术应具备较高的检测精度，能够可靠地检测出焊缝中的缺陷，如气孔、未熔合、疲劳裂纹、受腐蚀厚度减小等，以确保检测结果的准确性。其次，技术的适用性也是决定因素，在此基础上考虑到钢桥焊缝通常位于桥梁结构的重要部位且有时难以接近，选择的超声检测技术应具备较强的适应能力，能够对各种形状、厚度和材料的焊缝进行有效检测，并能在不同环境条件下稳定运行。此外，技术的操作简便性和实用性也是重要考量。

考虑到在实际工程中，操作人员可能具备不同的技术水平，因此所选技术应易于操作且能够快速获得准确的检测结果，以提高工作效率并降低操作风险。综上所述，针对钢桥焊缝的超声检测技术应具备可靠性高、适用性强、操作简便等特点，以保障桥梁的安全性和可靠性。

（二）检测频率和时间安排

在桥梁维护中，钢桥焊缝进行检测的过程中，检测频率应根据桥梁的使用情况、环境条件和焊接质量等因素进行合理确定。一般而言，对于频繁受力、高载荷的钢桥，建议定期进行超声检测，以监测焊缝的健康状态，及时发现并修复潜在的缺陷，保障桥梁的结构安全性。针对不同类型的焊缝，可以制定不同的检测频率。对于关键部位和重要焊缝，如支座区域、跨中连接处等，建议增加检测频率，以确保及时发现潜在问题。根据国内外相关研究和实践经验，针对不同类型的钢桥和环境条件，可以选择不同的检测频率。

其一，对于频繁受力、高载荷的桥梁，如高速公路、大型跨海大桥等，建议将超声检测频率设置为每年一次。根据美国公路和运输研究协会（TRB）的相关报告，对于高速公路桥梁，建议进行至少每年一次的定期检测，以及在重大气候事件或地震等特殊情况下进行额外的检测。这样可以及时发现潜在缺陷，保障桥梁结构的安全。其二，对于一般公路桥梁，如市政钢结构桥梁、县乡钢结构桥梁等，可以将超声检测频率设置为每两年一次，这样的频率可以在一定程度上平衡了安全需求和维护成本，并保证了及时发现可能存在的结构问题。其三，针对钢桥的特殊部位，如支座区域、跨中连接处等，建议增加超声检测的频率，相关部位的焊缝疲劳裂纹发生的可能性较高，因此应该加强监测，将检测频率设置为每年一次或根据具体情况进行调整。

此外，检测时间的安排应考虑到交通流量、施工时间、气候条件等因素，选择在交通相对较少、施工方便、天气稳定的时段进行检测，以最大限度地减少对交通和施工的影响。一般来说，选择在天气晴朗、无风、气温适中的季节进行检测，可以减少外部环境因素对检

测结果的影响,提高检测的准确性。避免在降雨、大风、雪天等恶劣天气条件下进行检测,以确保操作安全和检测结果的可靠性,需要根据桥梁的使用情况和维护需求,合理安排检测时间,尤其是对于频繁使用、受力较大的桥梁,可以选择在夜间交通量较小时进行检测,以避免对桥梁正常运行造成过多干扰。对于长期闲置或低负荷使用的桥梁,可以灵活安排检测时间,以确保检测的及时性和有效性。结合有效的实际安排,可以最大限度地减少外界干扰,保障超声检测的准确性和可靠性,深入考虑桥梁的使用情况、天气条件、交通流量等因素,选择合适的时间进行检测,有助于提高检测的效率和精度,为桥梁结构的安全性和可靠性提供保障。

(三) 数据处理与分析方法

在桥梁维护中,钢桥焊缝的超声检测是一项关键的无损检测技术,而数据处理与分析方法是确保检测结果准确性和可靠性的关键环节,针对超声检测所得到的大量原始数据,需要进行有效的数据处理,包括信号滤波、放大、时域/频域转换等,以消除噪声干扰、提高信号质量,并将数据转化为更易于分析的形式。其次,针对处理后的数据,需要选择合适的分析方法。常用的分析方法包括时域分析、频域分析、相位分析等。时域分析可用于观察信号的振幅、幅值、时间延迟等特征;频域分析可用于检测信号的频率成分,从而判断可能存在的缺陷类型;相位分析则可用于识别不同材料的边界或缺陷位置。同时,还可采用图像处理技术,将数据转化为图像,直观地展现焊缝的结构及潜在缺陷,便于进一步分析和判断,应采用合适的评估方法,对分析结果进行综合评价,并制定相应的维护措施。

进一步的,在数据算法优化阶段,可以通过预处理方式对原始超声信号进行滤波、增益调整等处理,以减少噪音干扰、提高信噪比。选择合适的滤波算法和参数,如中值滤波、小波变换等,以充分保留有效信号,并消除噪声干扰,在数据处理过程中,通过特征提取算法从预处理后的信号中提取出与焊缝缺陷相关的特征参数,对应优化的算法应该能够有效地提取出缺陷特征,并且具有较高的稳健性和准确性,可以采用时域分析、频域分析等方法提取信号特征,以及采用自适应滤波、小波包分析等方法进行特征选择,以提高检测的效果。除此之外,可以针对钢桥焊缝超声检测的特点,优化数据处理与分析算法,提高处理速度和实时性。

(四) 预防性维护措施建议

钢桥焊缝超声检测是一项重要的无损检测技术,为确保桥梁结构的安全性和延长使用寿命提供了关键支持,建立定期的检测计划是预防性维护的首要步骤。制定合理的检测周期,对桥梁中的钢桥焊缝进行定期超声检测。通常,检测频率应根据桥梁的使用情况、环境条

件和焊接质量等因素确定,以及及时发现潜在缺陷。

其一,在桥梁建设和维护过程中,应严格控制焊接质量,确保焊缝的完整性和质量,应该采用符合标准要求的焊接工艺和材料,严格执行焊接工艺规程,避免因焊接质量不佳导致的焊缝缺陷。其二,钢桥焊缝易受腐蚀和氧化的影响,因此应采取防腐保护措施,保护焊缝及周围结构免受腐蚀的侵害。常用的防腐措施包括防锈涂层、防腐漆涂覆、防腐膜覆盖等,以延长焊缝的使用寿命。其三,针对检测中发现的焊缝缺陷,应及时采取修复措施,避免缺陷的进一步扩展和损害,具体的修复措施可以包括局部修补、重焊、加固补强等方法,确保焊缝的结构完整性和强度。其四,对于桥梁周围环境条件恶劣的地区,应加强环境监测和保护工作,防止大气污染、海水侵蚀等因素对焊缝造成的损害,应该建立环境监测系统,定期对桥梁周围环境进行监测,及时采取相应的环境保护措施。其五,需要建立完善的桥梁维护档案管理系统,记录每次检测的结果和维护措施,及时更新档案信息,尤其是对于历次检测发现的问题和采取的维护措施,应进行详细记录和分析,为今后的维护工作提供参考依据。

结语

综上所述,钢桥焊缝超声检测作为一项重要的无损检测技术,在钢结构桥梁维护中具有重要意义,在具体实施的过程中,应该通过建立定期检测计划,严格控制焊接质量,采取防腐保护措施,及时修复缺陷,加强环境监测与保护,以及做好维护档案管理,能够有效预防焊缝的损坏和疲劳裂纹,延长桥梁的使用寿命,确保桥梁的安全可靠运行。预防性维护措施的制定和实施是保障桥梁结构安全的重要保障,对于提高桥梁维护的科学性、有效性和可持续性具有重要意义。因此,钢结构桥梁焊缝超声检测技术的应用策略及预防性维护措施的实施将为桥梁维护管理提供重要参考,促进桥梁结构的安全性和可靠性,推动交通运输事业的发展。

参考文献

- [1]朱秋燕.无损检测技术在公路桥梁桩基检测中的应用[J].运输经理世界,2023(4):95-97.
- [2]赵海新.无损检测技术在公路桥梁检测中的应用研究[J].2020.
- [3]赖小俊.浅析无损检测技术在公路桥梁检测中的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(5):2.
- [4]刘沐宇,袁卫国.桥梁无损检测技术的研究现状与发展[J].中外公路,2002,22(6):4.
- [5]蔡文军.无损检测技术在公路桥梁中的应用[J].交通世界,2015(9):2.