

无损检测探伤方法及其在钢轨探伤中的应用研究

孙慧军

国家能源集团有限公司包神铁路集团神朔铁路公司阴塔站区 山西 忻州 036507

摘要：无损探伤技术是一种在不破坏被检测对象的前提下，依据物质缺陷与物理量变化间的关系进行检测的技术。超声波、磁粉、涡流、渗透及射线照相检测是常用的无损探伤方法。在钢轨探伤中，超声波探伤可评估裂纹、焊接质量和磨损情况；涡流探伤能评估硬度和导电性；射线探伤可进行材料分析和尺寸测量；磁粉探伤和渗透探伤则用于检测焊缝质量和材料结构。此外，无损超声导波技术在钢轨探伤中的应用也日益广泛，包括传播特性数据计算、激励频率及导波模态选择、导波信号处理等步骤。

关键词：无损检测；探伤方法；钢轨探伤；应用

引言

无损探伤技术作为一种特殊的检测技术，因其不破坏被检测对象原有性能的特点，在多个领域得到了广泛应用。本文旨在探讨无损探伤技术的特点及其在钢轨探伤中的具体应用，特别是超声波、涡流、射线、磁粉和渗透等探伤方法以及无损超声导波技术的使用。通过深入了解这些技术，我们可以更好地评估钢轨的质量和安全性，为铁路交通的安全运行提供有力保障。

1 无损探伤方法概述

无损探伤又称无损检测（NDT）技术，通常是指在不破坏被检测对象原有性能（包括物理性能与化学性能）及几何完整的前提下，依据各种物质的缺陷、结构差异与相关物理量变化间关系对其展开检测，从而将被检测对象的性质、状态、质量、内部结构等各方面信息明确下来，是一种相对特殊的检测技术，在航空航天、医疗卫生、船舶与汽车制造、桥梁建筑、铁路等诸多领域中，都有着比较广泛的应用。另外，从具体的检测操作方法上来看，无损探伤方法的种类非常之多，其中最为常用的主要有超声波检测、磁粉检测、涡流检测、渗透检测、射线照相检测几种，不同无损探伤方法虽然远离不同，在操作要求、适用范围、检测灵敏度、检测成本、检测效率、优势作用等方面也存在着明显差异，但基本都具有可实现100%检验、不破坏被检对象、可准确判断被检对象缺陷等特点，目前在探路无损检测工作中均有着较为良好的应用。

2 无损检测技术的特点

无损检测技术，作为现代工业检测的重要手段，凭借其独特优势在多个领域发挥着不可替代的作用。其特点主要体现在以下三个方面：首先，非破坏性是其最显著的特点。与破坏性检测不同，无损检测无需破坏被检

对象即可获取其内部缺陷信息，从而避免了因检测而造成的资源浪费和性能损失。这一特性使得无损检测在高端设备、精密部件等领域具有极高的应用价值。其次，全面性也是无损检测的一大亮点。它不仅能对原材料进行检测，还能对加工过程中的半成品以及最终成品进行全面检查，确保产品质量无虞。这种全程监控的能力，使得无损检测在质量控制方面发挥着至关重要的作用。最后，全程性体现了无损检测技术的实时性和预防性。对于压力容器、压力管道等特种设备，无损检测技术能够实时监测其运行状态和质量状况，及时发现并处理潜在的安全隐患，从而有效避免安全事故的发生。这种能力不仅提高了设备的安全性和可靠性，还为企业的安全生产提供了有力保障。

3 超声波检测技术在钢轨探伤中的具体应用

3.1 超声波探伤技术的应用

超声波探伤的原理是利用超声波在材料中传播的特性。超声波是一种频率高于人耳听力范围的机械波，它可以在固体材料中传播，并在遇到材料内部的缺陷和裂纹时发生反射和散射。超声波的传播速度和传播路径会受到材料的性质和缺陷的影响，通过测量超声波的传播时间和强度等参数，可以确定缺陷的位置、大小和形态。

超声波探伤在钢轨探伤中具有重要的应用价值。首先，超声波探伤可以进行裂纹评估，确定裂纹的深度、长度和形态等参数，为钢轨的修复和替换提供参考依据。此外，超声波探伤还可以用于焊接质量检测，检测焊缝中的质量问题，如气孔、夹渣等。通过对焊缝的检测，可以确保焊接质量符合标准要求^[1]。最后，超声波探伤还可以进行磨损检测，检测钢轨的磨损情况，及时进行维修和更换，保证钢轨的使用寿命和安全性。

3.2 涡流探伤技术的应用

涡流探伤的原理是利用涡流感应现象。当交流电流通过导体时，会在导体表面产生一个交变磁场。当导体表面有缺陷或裂纹时，这个交变磁场会发生变化，从而产生涡流。涡流会生成一个与缺陷形状和尺寸相关的磁场，通过检测涡流的变化，可以确定缺陷的位置、大小和形态等信息。

涡流探伤的方法主要包括激励电流、涡流感应和信号检测。首先，通过通入交流电流来激励导体表面的涡流感应。当涡流遇到钢轨内部的缺陷或裂纹时，会发生磁场变化，这个变化会影响到涡流的流动路径和电阻。接下来，通过使用探测线圈或磁场传感器来检测涡流产生的磁场变化。探测到的信号经过放大和处理后，可以通过信号分析来确定缺陷或裂纹的位置、大小和形态等信息。

涡流探伤在钢轨探伤中具有重要的应用价值。涡流探伤可以进行硬度评估，通过测量涡流的变化来评估钢轨的硬度情况，为钢轨的维护和维修提供参考依据。此外，涡流探伤还可以用于焊接质量检测，检测焊缝中的质量问题，如气孔、夹渣等。通过对焊缝的检测，可以确保焊接质量符合标准要求。最后，涡流探伤还可以进行导电性检测，检测钢轨的导电性能，及时发现和处理导电性能异常的问题。

3.3 射线探伤技术的应用

射线探伤的原理是利用射线的穿透能力。射线可以穿透物体并在背后的探测器上产生影像。当射线通过钢轨时，如果钢轨内部有缺陷或裂纹，射线会受到阻挡而产生不同程度的吸收。通过检测射线的吸收情况，可以确定缺陷的位置、大小和形态等信息。

射线探伤在钢轨探伤中具有重要的应用价值。首先，射线探伤可以进行材料分析，通过测量射线的吸收情况来确定钢轨材料的成分和结构，为材料的质量评估提供参考依据。此外，射线探伤还可以用于焊接质量检测，检测焊缝中的质量问题，如气孔、夹渣等。通过对焊缝的检测，可以确保焊接质量符合标准要求。最后，射线探伤还可以进行尺寸测量，通过测量射线吸收的程度来确定钢轨的尺寸和形状，为钢轨的维护和维修提供参考依据。

3.4 磁粉探伤技术的应用

磁粉探伤的原理是利用磁场和磁粉的相互作用。首先，在钢轨上施加一个磁场，使钢轨成为一个磁体。然后，在钢轨上涂覆磁粉，磁粉会在磁场作用下产生磁化，形成一个磁粉图案。当钢轨内部存在缺陷或裂纹时，磁粉会在缺陷或裂纹处产生聚集和漏磁现象，形成

明显的磁粉图案。通过观察磁粉图案，可以确定缺陷的位置、形态和大小等信息。

磁粉探伤在钢轨探伤中具有重要的应用价值。磁粉探伤可以进行材料分析，通过观察磁粉图案的变化来确定钢轨材料的性质和结构，为材料的质量评估提供参考依据。此外，磁粉探伤还可以用于焊接质量检测，检测焊缝中的质量问题，如气孔、夹渣等。通过对焊缝的检测，可以确保焊接质量符合标准要求。

3.5 渗透检测技术的应用

渗透探伤的方法主要包括表面处理、渗透液涂覆、渗透时间、显像剂涂覆和显像处理等步骤。首先，对钢轨表面进行清洗和处理，去除表面的污物和涂层，确保渗透液能够充分渗透进入钢轨的缺陷中^[2]。然后，将渗透液涂覆在钢轨表面上，渗透液会通过表面张力的作用，渗透进入钢轨的缺陷中。渗透液一般是由低粘度的液体组成，如水、溶剂或油。渗透液的渗透时间一般根据钢轨的材料和缺陷的性质来确定，渗透液渗透后，将显像剂涂覆在钢轨表面上，显像剂会与渗透液发生化学反应，形成一种可见的显像剂图案。最后，通过显像处理，观察和分析显像剂图案的变化，确定钢轨中存在的缺陷和裂纹。

渗透探伤在钢轨探测中具有重要的应用价值。首先，渗透探伤可以进行质量评估，通过观察显像剂图案的变化，可以确定钢轨材料的质量和结构，为材料的评估提供参考依据。此外，渗透探伤还可以用于焊接质量检测，检测焊缝中的质量问题，如气孔、夹渣等。通过对焊缝的检测，可以确保焊接质量符合标准要求。最后，渗透探伤还可以进行尺寸测量，通过观察显像剂图案的变化来确定钢轨的尺寸和形状，为钢轨的维护和维修提供参考依据。

3.6 自然光透视检测技术的应用

自然光透视检测技术的原理是利用材料内部缺陷对光的散射和吸收作用，产生透视图案。当自然光透过钢轨时，会受到缺陷和裂纹的干扰，形成明暗不均匀的透视图案。通过观察和分析透视图案的变化，可以确定钢轨中存在的缺陷和裂纹。

自然光透视检测技术的步骤主要包括光源选择、照射角度和观察角度的确定、透视图案的观察和分析等。首先，选择适当的光源，使得透过钢轨的光线足够亮，能够清晰地观察透视图案。然后，确定照射角度和观察角度，使得光线能够充分透过钢轨，并形成明暗不均匀的透视图案。透视图案的观察和分析可以通过肉眼直接观察或借助光学工具进行。观察透视图案时，需要注意

观察角度和光线的照射方向,以确保能够清晰地观察到透视图案。

自然光透视检测技术在钢轨探测中具有重要的应用价值。自然光透视检测技术可以进行质量评估,通过对透视图案的观察和分析,可以确定钢轨材料的质量和结构,为材料的评估提供参考依据。此外,自然光透视检测技术还可以用于尺寸测量,通过观察透视图案的变化来确定钢轨的尺寸和形状,为钢轨的维护和维修提供参考依据。

4 无损超声导波技术在钢轨探伤中的应用方法

4.1 传播特性数据计算

无损超声导波技术在钢轨探伤中的应用方法,关键在于精确计算超声导波的传播特性数据。由于钢轨具有多模态特性,不同模态下的超声导波传播特性各异,因此,必须针对每种模态进行具体分析,以避免模态叠加导致的信号解析难题。在计算超声导波传播特性数据时,传统方法往往基于规则截面波导的传播特性进行计算,但钢轨的异型截面使得这种方法不再适用。因此,需要综合考虑钢轨截面形状、波导频率等因素,以确保计算结果的准确性。在国外,半解析有限元方法被广泛应用于钢轨超声导波传播特性的计算。该方法通过计算钢轨横截面的离散值,并利用谐波指数函数解析钢轨的频散关系,从而得到相速度和群速度的频散曲线。实验证明,该方法计算出的频散曲线与理论结果高度一致,验证了其有效性。此外,三维固有频率分析法等计算方法也是有效的选择。

4.2 激励频率及导波模式选择

无损超声导波技术在钢轨探伤中的应用,关键在于激励频率及导波模式的选择。钢轨结构复杂,存在多种导波模式,且模式数量随激励频率增加而增多。因此,选择合适的激励频率和导波模式至关重要。研究表明,普通钢轨中通常存在8种模式,但并非所有模式都适用于钢轨探测。在排除无法集中于单一部位的模式后,F3、T2、F2三种模式被证明是有效的。进一步地,通过频率调整,70kHz被选定为主要激励频率,因为在此频率下,

这三种模式的导波相速度保持一致,且探测精度较高。此外,针对轨头下方的钢轨横向裂纹,低频导波表现出更高的敏感性。低频导波能够更有效地探测横向裂纹,同时减少因钢轨剥离导致的质量损坏风险。无损超声导波技术在钢轨探伤中的应用,需精心选择激励频率和导波模式。70kHz激励频率和F3、T2、F2模式的组合,以及低频导波在横向裂纹探测中的应用,都是提高探测准确性和效率的关键。这些选择基于深入的研究和实验验证,确保了无损超声导波技术在钢轨探伤中的有效性和可靠性。

4.3 导波信号处理

在钢轨探伤中,无损超声导波技术通过解析导波回传信号,依据不同模式下的表现形态来判断钢轨状况。为提高信号检测的准确性,需采用信号增强技术,有效削弱实验环境对检测信号的干扰。在处理导波信号时,常用的方法包括时域分析、频域分析、时频分析以及小波变换等。然而,单一方法往往难以获得理想的处理效果,因此,通常需要将多种方法有机结合,以达到最佳的处理效果^[1]。这种综合处理策略能够确保信号处理的精确性和全面性,为钢轨探伤提供更加可靠的依据。

结束语

综上所述,无损探伤技术在钢轨探伤中发挥着至关重要的作用。各种无损探伤方法各有优势,适用于不同的检测场景和需求。随着技术的不断发展,无损超声导波技术等新兴方法的应用也越来越广泛,为钢轨探伤提供了更加准确、高效的手段。未来,我们应继续深入研究无损探伤技术,推动其在更多领域的应用和发展,为工业生产和安全保障作出更大的贡献。

参考文献

- [1]杨尚.钢轨无损检测中的超声导波技术分析[J].中国设备工程,2020(04):137-138.
- [2]王黎黎.钢轨探伤中的无损探伤技术应用[J].技术与市场,2019,26(09):116-117.
- [3]张曦.浅析超声波探伤技术在钢轨探伤中的应用[J].中国设备工程,2023,(05):130-132.