

动车走行部件无损检测技术研究 with 评估

韩吉虎

青岛四方阿尔斯通铁路运输设备有限公司

DOI:10.12238/etd.v5i6.10921

[摘要] 本文深入探讨了动车关键走行部件的无损检测技术,旨在提升检测效率与准确性,确保列车运行安全。通过实验验证,对比分析了各技术在实际应用中的性能。特别关注了新型检测技术,此外,还探讨了各类技术的集成应用,以期优化检测效果,提高故障诊断的准确性和完整性。论文的评估与展望部分,对当前无损检测技术在动车走行部件中的应用效果进行了系统评估,分析了存在的问题与挑战,同时,结合未来动车技术发展趋势,提出了无损检测技术的改进方向,包括智能化检测系统的研发、检测标准的统一和完善,以及检测数据的深度学习分析,以适应更复杂、更高效的动车维护需求。

[关键词] 动车走行部件; 无损检测; 超声波检测; 磁粉检测; 涡流检测

中图分类号: TN934.85 **文献标识码:** A

Research and Evaluation of Non destructive Testing Technology for Running Components of High Speed Vehicles

Jihu Han

Qingdao Sifang Alstom Railway Transport Equipment Co., Ltd.

[Abstract] This article explores in depth the non-destructive testing technology for key running components of high-speed trains, aiming to improve testing efficiency and accuracy, and ensure the safety of train operation. Through experimental verification, the performance of various technologies in practical applications was compared and analyzed. Special attention was paid to new detection technologies, and the integrated application of various technologies was also explored in order to optimize detection effectiveness, improve the accuracy and completeness of fault diagnosis. The evaluation and outlook section of the paper systematically evaluates the application effect of current non-destructive testing technology in the running components of high-speed trains, analyzes the existing problems and challenges, and proposes improvement directions for non-destructive testing technology based on the future development trend of high-speed train technology, including the research and development of intelligent testing systems, the unification and improvement of testing standards, and deep learning analysis of testing data to adapt to more complex and efficient high-speed train maintenance needs.

[Key words] high-speed train running parts; Non destructive testing; Ultrasonic testing; Magnetic particle testing; Eddy current testing

前言

随着全球对高速铁路技术的持续投入与列车运行速度的不断提升,动车组的安全运行问题愈发引人关注。无损检测技术作为预防性维护的关键工具,在动车走行部件的性能评估与故障早期预警中扮演着不可或缺的角色。本文旨在深入研究并评估动车走行部件的无损检测技术,以期提升检测效率与准确性,确保列车安全运行,降低维修成本,延长列车使用寿命。动车走行部件无损检测技术的研究与评估是对当前铁路运维模式的革新,是高铁安全运行的重要保障,也是推动轨道交通行业科技进步

的驱动力。通过本章的深入探讨,我们旨在为铁路行业提供一种科学、经济、高效的无损检测技术应用策略,为未来动车组的维护与管理提供有力的技术支撑。

1 动车走行部件无损检测技术概述

1.1 无损检测技术基本原理

无损检测技术(NDT, Non-Destructive Testing)是一种不破坏或仅轻微破坏被检测对象的前提下,评估其完整性和性能的技术。在动车走行部件的维护中,无损检测扮演着至关重要的角色,它能检测出内部或表面的潜在缺陷,而不会影响部

件的后续使用。本节将概述几种主要的无损检测技术及其基本原理。

超声波检测 (UT, Ultrasonic Testing) 利用超声波在固体中传播的特性, 通过探头将超声波能量发送到工件内部, 当声波遇到缺陷时, 会发生反射或折射, 被探头接收并转换为电信号, 通过分析这些信号, 可以判断缺陷位置、大小和性质。超声波检测适用于金属、非金属和复合材料等多种制件缺陷的检测, 尤其在探伤内部面积型缺陷缺陷时表现出色, 但对不规则、复杂形状或表面粗糙的材料检测效果有限。

射线检测 (RT, Radiographic Testing) 使用X射线或伽马射线穿透工件, 被吸收程度不同的部位会在接收屏幕上形成明暗不同的影像, 以此识别内部缺陷。射线检测适用性广泛, 不受零件形状和表面粗糙度限制, 但其放射性对环境和操作人员构成潜在威胁, 且对平面缺陷的检测灵敏度较低。

涡流检测 (ET, Eddy Current Testing) 基于电磁感应原理, 通过检测导电材料内部涡流的变化来判断其性能。涡流检测对导电材料如车轮和轴承的表面缺陷检测有高灵敏度, 且可实现自动化, 特别适用于连续性的表面和近表面缺陷检测。

磁粉检测 (MT, Magnetic Particle Testing) 则利用铁磁性材料在磁场中的磁化特性, 将磁粉喷洒在工件表面, 缺陷处的磁场泄漏使得磁粉聚集, 形成明显的可见标记。该方法直观、灵敏, 但不适合多孔材料和非磁性材料。

渗透检测 (PT, Penetrant Testing) 是将渗透液施加在工件表面, 渗透液渗入缺陷后, 清洗掉表面多余渗透液, 再施加显像剂, 缺陷内的渗透剂回渗到显像剂中被显示, 适用于快速、经济的检测表面开口缺陷。

还有一些新型无损检测技术正在逐步崭露头角, 如磁记忆检测、激光全息检测、微波检测和红外检测等。这些技术利用了不同的物理现象, 如材料磁化状态的改变、光的干涉特性、微波的穿透性和温度的微小变化, 为动车走行部件的缺陷检测提供了新的可能, 但其应用效果和局限性仍需进一步研究和评估。

通过理解这些无损检测技术的基本原理, 我们可以选择最合适的检测手段, 确保动车走行部件的健康状态, 为列车的安全运行提供坚实保障。随着技术的不断进步, 无损检测技术将在动车组的维护与管理中发挥越来越重要的作用, 为实现更加高效、智能的铁路运维模式奠定基础。

1.2 动车走行部件常见问题与检测需求

动车走行部件作为列车运行的关键组件, 其性能和可靠性直接影响列车的安全与效率。常见问题主要包括车轮的磨损异常、踏面损伤、车轴疲劳裂纹、轴承滚道磨损、齿轮箱的齿轮磨损与裂纹、润滑系统的油品劣化等。这些问题可能源自高速运行时的摩擦、冲击、振动以及极端温度变化等多种因素。因此, 对这些部件进行定期无损检测, 及时发现潜在问题, 是动车组维护工作的核心^[1]。

车轮, 作为走行部件中最直接与轨道接触的部分, 其状态直

接影响列车的行驶平稳性和安全性。车轮踏面的擦伤、剥离、凹陷和裂纹等缺陷, 可能导致轮轨接触不良, 引发振动、噪声甚至脱轨。对此, 磁粉检测和超声波检测是常见的检测手段, 分别针对表面缺陷和内部裂纹进行排查^[2]。

轴承是保证车轮与车轴顺利转动的关键, 轴承内部的滚道磨损、疲劳裂纹以及润滑系统的油品污染等, 将导致轴承过热、振动增大, 影响列车运行的稳定性。电磁涡流检测可以高效地检测轴承的表面缺陷, 而超声波检测则对内部裂纹具有高灵敏度。

齿轮箱作为动力传递的重要环节, 齿轮的磨损、裂纹, 以及箱体的疲劳变形都可能影响动力传递效率, 加速部件老化。射线检测因其对复杂结构的穿透力, 常用于齿轮箱内部缺陷的检查, 而涡流检测则能有效监控齿轮箱的表面缺陷。

润滑系统的油品劣化, 如氧化、乳化或污染物的存在, 虽然不直接导致结构性损坏, 但会加速部件磨损, 降低机械效率。虽然无损检测在油品分析方面的作用有限, 但定期的油样分析和视觉检查仍是预防性维护的重要一环^[3]。

随着技术进步, 新型无损检测技术, 如声发射检测, 可实时监测动车部件的振动特征, 预测疲劳损伤; 光纤光栅传感技术则可以实现高精度的温度和应变监测, 为早期故障预警提供有力支持^[4]。这些技术的应用将进一步提升动车走行部件的维护水平, 确保列车的长期稳定运行。

动车走行部件的无损检测需求是多样的, 且随着技术发展, 更高效、精准的检测手段将不断涌现。结合具体问题类型和部件特性, 灵活选用和综合运用无损检测技术, 是提升动车组维护效率和保障列车安全的关键。同时, 这也有助于推动无损检测技术的创新性发展, 以应对未来高速铁路中更复杂、更严苛的检测挑战。

2 动车走行部件无损检测技术研究

2.1 超声波检测技术应用

超声波检测技术在动车走行部件的无损检测中占据重要地位, 尤其在铝合金结构的缺陷探伤中表现卓越^[5]。它利用机械波的特性, 将高频声波能量通过耦合介质 (如耦合剂) 传递到工件内部, 当声波遇到材质界面上的缺陷时, 会发生反射或折射, 这些反射波被内置在探头中的接收器捕捉, 通过信号处理和分析, 可以揭示缺陷的存在、位置、大小及形状, 从而评估部件的健康状况。

在动车维护中, 超声波检测主要用于钢结构的缺陷检测, 如转向架产品的裂纹和偏析等。由于钢的声学特性, 超声波能够穿透其表面, 深入内部进行探伤, 这使得超声波检测在直观性、灵敏度和深空探测能力上具有显著优势。例如, 对于车轮轮毂与制动盘的压装部位, 超声波检测技术能够有效检测出内部的裂纹或松动, 确保轮对组装的完整性。

然而, 超声波检测并非万能, 它在面对不规则、复杂形状和表面粗糙的零部件时效果有所下降。例如, 车轮踏面的检测, 由于其表面的不规则性和磨损情况, 超声波信号的传播和反射会受到干扰, 使得缺陷的定位和确定性更具挑战性。因此, 在实际

应用中,通常需要对车轮踏面进行镟修或结合其他检测技术,如磁粉检测,以弥补超声波检测的局限性。

随着技术的不断进步,新型超声波检测技术如相控阵超声检测和扫查技术的引入,提升了检测的分辨率和自动化水平,使得超声波检测在动车走行部件检测中的应用更加广泛和精确。这些技术通过控制超声波束的发射方向和聚焦,可以实现对特定区域的精细探伤,提高检测的针对性和效率。

超声波检测技术在动车走行部件无损检测中扮演着不可或缺的角色,它能够有效识别铝合金结构的内部缺陷,为车辆的安全运行提供保障。通过优化探头设计、提高信号处理能力以及与其他检测技术的融合,超声波检测的应用将进一步拓展,为动车的维护与管理提供更为科学的依据。

2. 2磁粉与涡流检测技术应用

磁粉和涡流检测技术是动车走行部件无损检测中的重要工具,它们在检测表面和近表面缺陷方面表现出色,尤其适合于铁磁性材料。在动车组的关键走行部件中,如车轮、齿轮和轴承等,这些部件的铁磁性材质使得磁粉检测和涡流检测成为不可或缺的检测手段。

磁粉检测(MT)基于材料的磁导率差异,通过外部磁场将磁粉吸引到表面缺陷处,形成明显的磁痕,从而识别出裂纹、折叠、缝隙等表面缺陷。在动车走行部件检测中,磁粉检测主要用于车轴的表面缺陷检测。例如,车轴的磕碰伤、裂纹和发纹等可以通过磁粉检测直观地识别出来,这种检测方法快速、简单且具有较高的灵敏度。然而,由于磁粉检测主要依赖于铁磁性材料,因此对非铁磁性材料如铝合金或多孔材料的检测效果较差。

涡流检测(ET)则是利用电磁感应原理,当交流电通过检测线圈时,会在被检测的导电材料内部产生涡电流,涡电流在遇到缺陷时产生变化,这些变化可以通过测量线圈中涡电流的变化来识别。涡流检测对导电材料的表面和近表面缺陷有极高的灵敏度,特别适合于车轮、轴承滚道和齿轮等部件的检测。例如,轴承滚道的磨损、表面裂纹以及车轮的局部热处理缺陷,都可以通过涡流检测来检测。涡流检测能够实现自动化和连续检测,使得检测过程高效且适合大规模应用。

然而,涡流检测也有其局限性。它对非导电材料的检测效果不佳,且对于内部缺陷的检测能力有限,主要适用于表面和近表面缺陷的检测。此外,涡流检测结果受材料导电率、厚度和温度等因素影响较大,因此在实际应用中需要对这些变量进行适当校准。

随着技术的发展,这两种检测技术的集成应用在动车走行部件检测中展现出更大的潜力。通过将磁粉检测的直观性和涡

流检测的高效性相结合,可以在更全面的范围内识别出各种类型的缺陷,同时提高检测的准确性和完整性。例如,可以先使用涡流检测对表面进行初步筛查,再利用磁粉检测对可能的缺陷部位进行深入分析,确保缺陷的早期发现和准确识别。

3 动车走行部件无损检测技术评估与展望

从无损检测技术的性能评估来看,超声波检测在铝合金结构的探伤中表现出色,尤其在车体焊接部位的裂纹检测中具备高灵敏度。然而,面对车轮踏面的检测,其效果受限于表面的不规则性。磁粉检测在车轮表面缺陷的识别上具有直观性和高速性,但对多孔材料的检测效果有限,在评估现有技术的同时,我们也应关注其集成应用的可能性。通过结合超声波、磁粉和涡流检测,可以实现对动车走行部件全方位的监控,提高故障诊断的准确性和完整性。例如,磁粉检测与涡流检测的组合,可以互补各自在表面和内部缺陷检测上的优势,为缺陷的早期发现提供更为全面的解决方案。

面对未来,无损检测技术的改进方向应当聚焦于智能化和自动化。研发智能化检测系统,可以结合人工智能和大数据技术,实现对检测数据的深度分析,提高故障预测的准确性。此外,标准化检测流程和统一的检测标准是提升行业水平的关键,这将有助于降低不同检测结果的差异,提高整体系统的可靠性。

4 结束语

综上所述,动车走行部件无损检测技术研究 with 评估论文系统地研究了动车走行部件的无损检测技术,为提高动车维护的科学性和经济性提供了理论支持和技术参考,对推动无损检测技术在轨道交通领域的应用具有重要价值。

【参考文献】

- [1]任文亮,铁晓艳,李鲁江,等.动车组走行部件关键部位轴承的失效模式分析[J].铁道机车与动车,2023,(10):6-10.
- [2]马楠.基于射频识别技术的动车组走行部件关键部位螺栓防松脱预警系统管理软件[J].甘肃科技纵横,2021,50(1):11-14.
- [3]杨梁崇,马楠.基于射频识别技术的动车组走行部件关键部位螺栓防松脱预警系统[J].甘肃科技纵横,2019,48(11):28-31.
- [4]吴莉.“无损检测技术”课程思政教学案例设计及实践[J].交通科技与管理,2024,5(19):186-188.
- [5]刘志刚,王丽娟,喜冠南,等.苹果成熟度机器视觉无损检测方法研究[J/OL].机械设计与制造,1-6[2024-11-02].

作者简介:

韩吉虎(1981--),男,汉族,青岛莱西人,本科,工程师,研究方向:无损检。