

Innovative development of non-contact laser scanning and electromagnetic imaging composite maintenance equipment for subway overhead contact line (rail)

Chongli Huang

Shenzhen Metro Operation Group Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

With the rapid development of urban rail transit, the safety and operational efficiency of subway systems have become a core focus in urban traffic management. The subway overhead contact system (OCS) and track system are crucial for ensuring the safe and stable operation of the subway. Efficient and precise maintenance and repair have become urgent issues to address. Traditional manual inspection methods are inefficient and pose certain safety risks. In recent years, non-contact laser scanning and electromagnetic imaging technologies, as advanced detection methods, have been increasingly applied to the maintenance of subway OCS (tracks). This paper introduces an innovative maintenance device that combines non-contact laser scanning and electromagnetic imaging technology. It provides a detailed analysis of the device's development process, working principle, and application advantages, exploring its potential applications in the maintenance of subway OCS (tracks). Research indicates that the combined maintenance device, which integrates laser scanning and electromagnetic imaging technology, offers high precision, efficiency, and low risk, providing robust technical support for the maintenance and management of subway OCS (tracks).

Keywords

subway overhead contact line; track; non-contact laser scanning; electromagnetic imaging; composite maintenance equipment

地铁接触网（轨）非接触式激光扫描与电磁成像复合检修设备创新开发

黄崇礼

深圳地铁运营集团有限公司，中国·广东 深圳 518000

摘 要

随着城市轨道交通的快速发展，地铁系统的安全性和运行效率已经成为城市交通管理的核心。地铁接触网与轨道系统是确保地铁安全稳定运行的重要组成部分，如何高效、精准地进行检修和维护，成为当前亟待解决的问题。传统的人工检修方式效率较低，且存在一定的安全隐患。近年来，非接触式激光扫描技术和电磁成像技术作为先进的检测手段，逐渐应用于地铁接触网（轨）检修中。本文提出了一种基于非接触式激光扫描与电磁成像复合技术的创新检修设备，通过对该设备的研发过程、工作原理及其应用优势进行详细分析，探讨了其在地铁接触网（轨）检修中的应用前景。研究表明，结合激光扫描与电磁成像技术的复合检修设备具有高精度、高效率、低风险的特点，为地铁接触网（轨）的维护和管理提供了强有力的技术支持。

关键词

地铁接触网；轨道；非接触式激光扫描；电磁成像；复合检修设备

1 引言

地铁系统是城市交通的重要组成部分，承担着大量的客运任务，保障其安全运行是城市交通管理的重点之一。地铁接触网系统作为供电系统的关键部分，直接关系到列车的安全与效率。接触网的检修工作传统上依赖人工检查，虽然这种方式能够及时发现故障，但由于人工操作受限于环境因

素，工作效率较低，且存在一定的安全风险。因此，如何提高检修效率、减少人工干预并提高检测精度成为当前地铁接触网检修领域的重要课题。

本文将从地铁接触网（轨）检修的现状出发，分析非接触式激光扫描与电磁成像复合检修设备的工作原理，探讨该设备的创新开发及其在地铁接触网检修中的应用优势，最后展望其在未来地铁运维中的应用前景。

【作者简介】黄崇礼（1979-），男，中国湖南武冈人，助理工程师，从事供电系统接触网（轨）研究。

2 地铁接触网（轨）检修现状及面临的问题

2.1 地铁接触网（轨）系统的作用与重要性

地铁接触网系统是为地铁列车提供动力的关键设施，其主要由接触线、悬挂系统、支撑结构等组成。接触网的良好运行对于地铁列车的安全、稳定和高效运行至关重要。接触网的作用是为地铁列车提供持续的电力供应，因此它必须保持稳定的电气性能和机械结构。任何接触网的故障或损坏，都可能导致电力供应中断或列车故障，甚至可能引发重大安全事故 [1]。

随着城市轨道交通网络的不断扩展，地铁接触网的运维管理愈发复杂，传统的人工检查和维护方式无法满足快速、高效、精准的要求。因此，如何提高接触网的检修效率和精准度，已经成为提升地铁运营效率和安全性的重要课题。

2.2 传统检修方式的不足

当前，地铁接触网的检修主要依赖人工巡检和部分设备的机械检测。这些传统方法虽然可以确保接触网系统的基本运行安全，但其效率较低，无法满足现代化地铁运营对检修精度和速度的要求。具体问题包括：

检修效率低：传统的人工巡检方式通常依赖人工定期检查接触网的各个部位，检查过程中常常受到天气、时间等因素的制约，无法全面、及时地发现潜在问题。

安全隐患：人工检修需要工作人员进入轨道区域，存在较大的安全风险。特别是当接触网出现故障时，人工检测的反应速度较慢，可能会延误故障排查和修复的最佳时机。

检测精度不足：人工检修的检测精度有限，可能忽略细小的缺陷或隐患，导致部分问题无法及时发现，造成长期积累，进而引发更严重的故障。

2.3 非接触式激光扫描与电磁成像技术的引入

随着技术的发展，非接触式激光扫描技术和电磁成像技术逐渐被应用于地铁接触网（轨）检修中。激光扫描技术利用高精度的激光测距原理，可以精确获取接触网的三维信息，帮助检修人员更好地了解接触网的具体状态；电磁成像技术则通过检测接触网的电磁响应，能够发现金属疲劳、腐蚀等缺陷，并且可以在不接触的情况下进行精确诊断。这两种技术的结合为地铁接触网的检修提供了更加高效、精准、安全的手段。如图一所示。

3 非接触式激光扫描与电磁成像技术的原理与应用

3.1 非接触式激光扫描技术

激光扫描技术基于激光束与物体表面相互作用的原理，通过激光测距技术获取接触网（轨）表面的三维坐标信息。这一技术在地铁接触网（轨）检测中的应用，能够快速获取接触网的三维形态数据，包括接触网的悬挂情况、磨损程度、支撑结构等多方面信息 [2]。



图一

激光扫描的工作原理：激光扫描系统通过发射激光束并测量激光从物体表面反射回来的时间，计算出距离，从而获取物体表面的三维数据。通过扫描设备的快速扫描，能够在短时间内收集大量的空间数据，生成高精度的三维点云图。

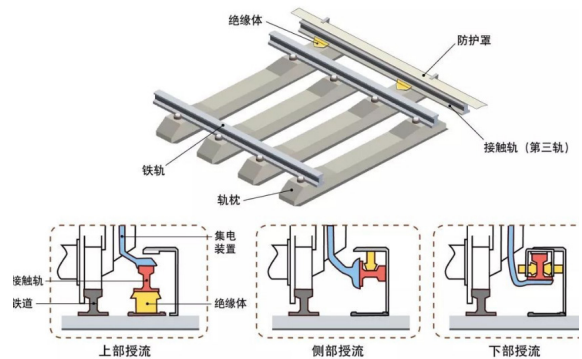
激光扫描在接触网检测中的应用：激光扫描技术能够实时获取接触网的三维数据，并通过数据处理分析，准确诊断接触网的状态，如线网形态是否正常、悬挂系统是否松动、接触网与支撑结构的距离是否合规等。通过对比历史数据，还能发现接触网的变形、磨损等问题。

3.2 电磁成像技术

电磁成像技术是一种通过电磁波探测物体内部结构的非破坏性检测方法。该技术通过激发接触网或轨道的电磁响应，检测物体内部缺陷的电磁波反射情况，从而判断物体的内外部状态。其原理是基于材料在电磁场中所产生的响应信号，通过分析这些信号，可以推断出物体的内部缺陷。

电磁成像的工作原理：电磁成像技术通过高频电磁波向目标区域发射信号，并接收目标区域反射回来的信号。根据反射波的时间延迟、强度等特征，分析其背后的物理现象，进而诊断出物体表面或内部的缺陷。例如，针对地铁轨道或接触网的检测，可以识别出金属腐蚀、疲劳裂纹等缺陷。

电磁成像在接触网检测中的应用：电磁成像技术可以用于检测接触网及其支撑结构的内部缺陷，如腐蚀、裂纹、疲劳等，且不需要接触物体表面。与激光扫描结合使用时，能够为接触网的健康状况提供更加全面、精准的诊断结果。如图二所示。



图二

3.3 复合检修设备的创新开发

结合非接触式激光扫描与电磁成像技术的复合检修设备,通过集成激光扫描系统与电磁成像探测系统,能够同时实现对接触网(轨)的三维扫描与内部缺陷的电磁成像检测。该复合检修设备的主要优势在于其高效性、精准性和安全性。

高效性:复合检修设备能够同时进行接触网的形态扫描与缺陷检测,减少了传统人工检查的时间和步骤,显著提高了检修效率[3]。

精准性:通过激光扫描与电磁成像的双重检测手段,可以全面、准确地发现接触网的各类隐患,包括表面缺陷和内部损伤,从而为后续的维修和更换提供准确依据。

安全性:复合检修设备采用非接触式检测方式,避免了工作人员进入危险区域进行检修,有效减少了安全事故的发生。

4 复合检修设备在地铁接触网(轨)中的应用前景

4.1 提升检修效率与精度

引入复合检修设备后,地铁接触网(轨)的检修工作能够显著提高效率和检测精度。传统的接触网检修依赖人工巡检和局部检测,存在工作量大、时间长、检查死角多等问题。而复合检修设备通过结合非接触式激光扫描与电磁成像技术,可以全面扫描和分析接触网的各项数据,实现精准、高效的无死角检测。激光扫描技术能够在短时间内生成接触网的三维模型,从而对接触网的悬挂、磨损、变形等情况进行精确评估。与此同时,电磁成像技术则能够检测接触网轨道内部的腐蚀、裂纹、金属疲劳等隐患。

这种复合检测方式不仅可以全面、精准地发现接触网的各类缺陷,而且能够在实际运行中提高检测速度。相比传统的人工巡检和简单机械检测,复合检修设备能够高效地完成轨道和接触网的全面检查,显著缩短了检修周期。通过智能化的数据分析平台,检修人员可以实时获取详细的检修数据和故障定位,极大提高了检修工作的精准度和效率。此外,复合设备能够在夜间或高风险时段进行工作,减少对地铁运营的干扰,保障系统的稳定性与安全性[4]。

因此,复合检修设备不仅在提高检修效率方面具有巨大的优势,还能提供更为准确、可靠的检测结果。随着设备技术的进一步优化和算法的不断提升,复合检修设备将在地铁接触网(轨)的运维中发挥越来越重要的作用,确保接触网系统长期、稳定、安全地运行。

4.2 降低维护成本与风险

复合检修设备通过非接触式检测技术的应用,极大降低了人工干预和设备损坏的风险。在传统的检修方式中,人工检修不仅面临工作环境危险的问题,还由于其依赖人工判断和检查,难以达到高效的故障诊断。而智能化复合检修设备通过非接触式激光扫描和电磁成像技术,能够高效完成对

接触网(轨)及其附属设备的检查,减少了人工操作的介入,降低了操作过程中的人为错误和安全隐患。

首先,复合检修设备能够通过激光扫描技术快速收集接触网的三维数据,精准地监测接触网的空间位置和形态变化。与人工巡检相比,激光扫描可以在不接触物体的情况下,获得更精确的数据,大幅减少人工操作带来的误差。其次,电磁成像技术能够有效检测接触网轨道表面和内部的缺陷,及时识别出腐蚀、裂纹、疲劳等潜在问题,而不需要接触物体表面,这不仅提高了检测的效率,也减少了设备受到人为干扰的可能[5]。

此外,非接触式检修技术还具有显著的成本优势。在传统检修方式中,人工巡检和传统检测设备往往需要大量的人员、物资和时间,导致维护成本高昂。而复合检修设备的自动化检测功能不仅提高了工作效率,还减少了设备损坏和维护过程中所需的人工成本。通过智能化数据分析,设备能够自动生成检修报告,精确定位问题区域,进一步优化维护计划,避免无效的检修和更换工作,降低整体维护成本。

5 结语

地铁接触网(轨)的安全运行是保障城市轨道交通稳定运营的核心,传统的检修方式已无法满足现代化地铁运营对检修效率和精准度的需求。非接触式激光扫描与电磁成像复合检修设备的创新开发,为地铁接触网(轨)提供了更为高效、精准、安全的检测手段,极大提高了检修效率,降低了维护成本与风险。随着技术的不断进步,复合检修设备在未来地铁运维中的应用将变得更加普及和智能化,能够实时、精确地检测接触网的各类隐患,为地铁的安全稳定运行提供强有力的保障。

未来,复合检修设备将不仅仅在检测精度和效率上有进一步的提升,还将借助人工智能、大数据分析等技术实现更高层次的智能化运维。通过智能化算法,设备将能够自主学习、优化检测策略,从而为地铁接触网的运维提供更加精准、个性化的服务,推动地铁系统向更加绿色、智能、可持续发展的方向发展。同时,随着技术的不断发展,复合检修设备将在全球范围内的城市轨道交通系统中得到广泛应用,为地铁行业的现代化、智能化运维提供更为强大的技术支持。

参考文献

- [1] 陈唐龙.高速铁路接触网检测若干关键技术研究[D].西南交通大学,2006.
- [2] 冯超.接触轨几何参数高精度动态测量方法研究[D].西南交通大学,2014.
- [3] 陈晓亮.靴轨受流在线监测系统研究及在广州五号线的应用[D].华南理工大学,2018.
- [4] 朱胜蓝.高铁站内接触网巡检车控制系统设计研究[D].湖南大学,2021.
- [5] 钟鸣睿.基于无人机的接触网停电检修作业挂接地线关键技术研究[D].西安理工大学,2022.