

城市轨道交通接触网供电故障及定位方法研究

崔吉道

宁波市轨道交通集团有限公司运营分公司 浙江 宁波 315100

摘要: 本文全面探讨了城市轨道交通接触网供电系统的结构、工作原理及其面临的故障类型,包括短路、断线和绝缘子击穿等。针对这些故障,文章详细分析了基于电气量检测的行波法和阻抗法,以及基于非电气量检测的视频监控法和声学检测法的故障定位原理与特点。另外,还介绍了智能融合定位方法作为新兴技术的发展趋势。通过对比,本文揭示了现代城市轨道交通接触网供电故障定位方法在不受故障接地阻抗、线路接线方式影响以及定位误差优于现有技术等方面的显著优势。这些研究为提升城市轨道交通系统的运行效率和可靠性提供了重要参考。

关键词: 城市轨道交通; 接触网; 供电故障; 故障定位方法

1 城市轨道交通接触网供电系统概述

1.1 接触网供电系统的基本结构

城市轨道交通接触网供电系统主要由牵引供电系统和接触网两部分组成。牵引供电系统负责将电力从外部电网引入城市轨道交通系统,并通过一系列变换和分配,为列车提供所需的电能。该系统通常由主变电所、牵引变电所、馈电线、接触网、回流线以及相关的控制和保护设备构成。主变电所是接触网供电系统的起点,它负责将城市电网的高压电能转换为适合城市轨道交通系统中压或低压电能。牵引变电所则进一步将中压电能转换为列车牵引所需的直流电或低频交流电。馈电线则将电能从牵引变电所输送至接触网,供列车取用;接触网是列车获取电能的关键部件,它悬挂在轨道上方,通过受电弓与列车顶部接触,将电能传递给列车。接触网主要由导线、承力索、绝缘子、吊弦、支柱等基础元件组成。导线是电能传输的主要载体,承力索则用于支撑导线并保持其位置稳定。绝缘子则用于确保导线与大地之间的电气隔离,防止电流泄漏。吊弦则用于连接导线与承力索,保持导线在空中的张力。支柱则用于支撑接触网的整体结构,确保其稳定可靠。

1.2 接触网供电系统的工作原理

接触网供电系统的工作原理相对复杂,但简单来说,就是实现电能的转换、传输与分配。当列车在轨道上运行时,其顶部的受电弓与接触网的导线紧密接触,形成一个导电回路。牵引供电系统通过馈电线将电能输送至接触网,列车通过受电弓从接触网上获取电能,驱动电机运行,从而推动列车前进;在电能传输过程中,为了保证列车能够持续、稳定地获取电能,接触网供电系统需要保持一定的电压和电流水平。这要求牵引供电系统具备良好的调压、调频和电流限制能力,以适应列

车在不同工况下的电能需求^[1]。同时,为了确保列车运行的安全性和可靠性,接触网供电系统还需要具备完善的保护和故障定位功能,一旦出现故障或异常情况,能够迅速切断电源,防止事故扩大。

1.3 接触网供电系统运行环境与要求

城市轨道交通接触网供电系统的运行环境相对复杂,面临着多种因素的影响和挑战。首先,城市轨道交通系统通常位于城市中心或繁华地段,空间有限,对接触网的布局 and 安装提出了很高的要求。同时,由于城市环境的多样性,接触网还需要承受各种气候条件的影响,如高温、低温、雨雪、雷电等。这些环境因素可能导致接触网的性能下降,甚至引发故障。为了满足城市轨道交通系统的运行要求,接触网供电系统需要具备良好的适应性、可靠性和耐久性。适应性是指接触网能够适应不同城市轨道交通系统的特点和需求,包括线路类型、列车类型、运行速度等。可靠性是指接触网在长时间运行过程中能够保持稳定的性能,减少故障和维修次数。耐久性则是指接触网能够承受长期运行和恶劣环境条件的考验,延长使用寿命。

2 城市轨道交通接触网供电故障分析

2.1 短路故障

短路故障是城市轨道交通接触网供电系统中最为常见的故障之一。当接触网的导线或其他导电部分之间发生直接或间接的接触时,就会形成短路回路,导致电流急剧增大,可能引发火灾、设备损坏等严重后果。短路故障的发生原因多种多样,包括但不限于设备老化、安装工艺不良、外界物体侵入等。例如,接触网的导线在长期运行过程中可能会因为风吹日晒、腐蚀等原因导致绝缘性能下降,从而增加短路的风险。另外,如果接触网的安装工艺不良,如导线之间的间距不符合要求,

也可能在列车通过时因振动或风压等因素导致短路。另外,一些外部因素,如树木枝叶、建筑垃圾等侵入接触网区域,也可能导致短路故障的发生。

2.2 断线故障

断线故障是指接触网的导线或其他关键部件因各种原因发生断裂,导致供电中断的故障。断线故障的发生会严重影响列车运行的安全性和效率,甚至可能导致列车停运。断线故障的原因主要包括材料疲劳、机械损伤、环境影响等。例如,接触网的导线在长时间承受列车受电弓的摩擦和振动后,可能会因为材料疲劳而发生断裂。如果接触网在安装或维修过程中受到机械损伤,或者在恶劣天气条件下(如极端温度、强风、冰雪等)受到环境因素的影响,也可能导致断线故障的发生^[2]。

2.3 绝缘子击穿故障

绝缘子击穿故障是指接触网的绝缘子因各种原因发生击穿,导致电流泄漏或短路,进而影响列车运行安全的故障。绝缘子是接触网中用于支撑和隔离导线与大地之间的重要部件,其性能直接关系到接触网的绝缘水平和运行安全;绝缘子击穿的原因主要包括雷击、污秽积累、材料老化等。例如,在雷雨天气条件下,绝缘子可能会因为雷击而发生击穿。此外,如果绝缘子表面长期积累污秽物,如灰尘、油污等,也可能导致绝缘性能下降,增加击穿的风险。另外,绝缘子在长时间运行过程中可能会因为材料老化而导致绝缘性能下降,从而引发击穿故障。

3 城市轨道交通接触网供电故障定位方法研究

3.1 基于电气量检测的故障定位方法

3.1.1 行波法

行波法是利用故障产生的行波信号在输电线路中的传播特性来进行故障定位的一种方法。当接触网发生短路或断线等故障时,会产生一系列的电流行波和电压行波,这些行波以一定速度沿线路传播。行波法的核心原理是通过测量行波到达测量点的时间差来确定故障点的位置。当故障发生后,产生的行波会向线路两端传播。在测量端,通过检测行波的到达时间,并与行波在健康线路上的传播速度相结合,可以计算出故障点到测量端的距离。由于行波的传播速度接近光速,且行波信号在传播过程中不易受到线路分布电容和电感的影响,因此行波法具有定位精度高的优点。然而,行波法在实际应用中也受到一些限制,如线路参数的变化、故障点的反射特性以及外部电磁干扰等都可能影响行波的测量精度。此外,行波信号的检测和处理也需要较高的技术水平和设备支持。

3.1.2 阻抗法

在接触网供电系统中,线路的阻抗主要包括电阻和电抗两部分,它们与线路的长度、导体材料、截面面积以及周围介质的导电性能等因素有关。当故障发生时,故障点到测量点之间的阻抗会发生变化,通过测量这一变化并结合线路阻抗与故障距离的关系式,可以求解出故障点的位置。阻抗法可以分为单端阻抗法和双端阻抗法两种。单端阻抗法仅利用故障后一端测量到的电压和电流信息,通过计算故障回路的阻抗来定位故障点。这种方法简单方便,但定位精度受到过渡电阻、线路参数变化以及负荷电流等因素的影响。双端阻抗法则利用故障后线路两端测量到的电压和电流信息,通过计算故障回路的两端阻抗差来定位故障点。这种方法在理论上具有更高的定位精度,但需要两端信息同步采集和传输,实现起来相对复杂。尽管阻抗法在原理上相对简单且易于实现,但其定位精度受到多种因素的制约,特别是当故障点存在过渡电阻时,阻抗法的定位误差会显著增大。此外,线路参数的变化、负荷电流的影响以及测量误差等也会对阻抗法的定位精度造成一定影响。因此,在实际应用中,阻抗法通常需要与其他方法相结合以提高定位精度和可靠性。

3.2 基于非电气量检测的故障定位方法

3.2.1 视频监控法

视频监控法通过在接触网关键位置安装摄像头,实时监测接触网的运行状态。摄像头的布局策略应根据接触网的结构特点、运行环境以及故障发生的概率进行合理规划,确保能够全面覆盖潜在故障点。利用图像识别技术,可以自动检测接触网的异常状态,如导线断裂、绝缘子污秽等,并准确定位故障点。视频监控法的优势在于直观性和实时性。通过视频监控,运维人员可以实时了解接触网的运行状态,及时发现并处理潜在故障。然而,该方法也受到环境因素的影响,如光照条件、天气状况等,这些都可能影响摄像头的拍摄效果和图像识别精度。因此,在实际应用中,需要采取相应措施,如增加照明设备、采用防雨防尘摄像头等,以提高视频监控的稳定性和准确性^[3]。

3.2.2 声学检测法

声学检测法则是利用接触网故障产生的异常声音来定位故障点。当接触网发生故障时,如导线断裂、绝缘子击穿等,往往伴随着特定的声音信号。通过布置声学传感器,可以捕捉这些声音信号,并利用声源定位技术确定故障点的位置。声学检测法的关键在于准确捕捉并识别故障声音;由于城市轨道交通环境复杂,噪声干扰

大,因此需要采用先进的信号处理技术和声源定位算法来提高检测精度。此外,声学传感器的布局和数量也需要根据接触网的结构和运行特点进行合理规划,以确保能够全面覆盖潜在故障点。

3.3 智能融合定位方法

随着信息技术和人工智能技术的不断发展,智能融合定位方法逐渐成为城市轨道交通接触网供电故障定位的新趋势。该方法将电气量检测和非电气量检测相结合,通过多源信息融合和智能算法处理,实现故障点的精确定位。智能融合定位方法的核心在于多源信息的融合和智能算法的应用。通过将电气量检测得到的电流、电压等信号与非电气量检测得到的视频、声音等信号进行融合处理,可以利用各自的优势互补,提高故障定位的精度和可靠性。同时,采用先进的智能算法,如深度学习、机器学习等,可以对多源信息进行智能分析和处理,进一步提高故障定位的准确性和效率。

4 城市轨道交通接触网供电故障定位方法的优势

4.1 不受故障接地阻抗影响

传统的故障定位方法往往受到故障接地阻抗的显著影响,特别是在高阻抗接地故障中,定位难度大大增加。现代城市轨道交通接触网供电故障定位方法,如基于行波理论或智能算法的方法,在很大程度上克服了这一难题。这些方法通过精确捕捉故障产生的行波信号或分析多源信息,能够独立于接地阻抗准确地定位故障点。这意味着,无论故障点的接地阻抗大小如何,这些方法都能提供可靠的定位结果,从而极大地提高故障处理的效率和准确性。

4.2 不受线路接线方式影响

城市轨道交通系统的线路接线方式多样且复杂,这给传统的故障定位方法带来了挑战。传统的基于阻抗的方法,在复杂的线路接线中,可能因线路参数的不均匀性或分支线的存在而产生较大的定位误差。现代故障定位方法,特别是基于多源信息融合的智能定位方法,能够综合考虑线路的电气特性和非电气特性,如线路结构、电流分布、声音信号等,从而实现故障点的精确定位,不受线路接线方式的限制。这使得这些方法在复杂的城市轨道交通系统中具有更强的适应性和实用性^[4]。

4.3 定位误差优于现有技术

相较于传统的故障定位方法,现代城市轨道交通接触网供电故障定位方法在定位误差方面表现出显著优势。传统的基于阻抗或时间差的方法,在定位精度上往往受到多种因素的制约,如线路参数的不确定性、测量误差等。而现代方法,如基于行波原理的方法、智能算法融合的方法等,通过引入高精度的测量技术和先进的信号处理算法,能够显著减小定位误差^[5]。这不仅提高了故障定位的准确性,还为运维人员提供更可靠的故障信息,有助于他们更快地定位故障点并采取有效的修复措施,从而缩短停运时间,提高系统的运行效率和可靠性。

结束语

综上所述,城市轨道交通接触网供电故障定位方法的研究对于保障列车运行安全和提高系统运营效率具有重要意义。随着技术的不断进步,现代故障定位方法以其高精度和适应性强的特点,正逐渐成为主流。面对城市轨道交通系统日益复杂的运行环境和多样化的故障类型,仍需不断探索和创新,以进一步优化故障定位技术,提升定位速度和准确性。未来,智能融合定位方法将发挥更加重要的作用,为城市轨道交通的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]吴可伟.城市轨道交通接触网供电故障及定位方法研究[J].电力设备管理,2023(13):178-180.
- [2]周昌.城市轨道交通接触网供电故障及定位方法研究[J].工程学研究与应用,2023,4(20).DOI:10.37155/2717-5316-0420-25.
- [3]武承晨.城市轨道交通供电系统中接触网技术性能和常见故障分析[J].中国设备工程,2020,000(008):54-55.
- [4]施伟峰.城市轨道交通供电系统中刚性接触网常见故障与优化思考[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(13):4-6.
- [5]石磊.浅析城市轨道交通供电系统中接触网技术性能和常见故障[J].电子元器件与信息技术,2021,5(03):106-107+109.