

城市轨道交通接触网供电故障及定位方法研究

吴楠

乌鲁木齐城市轨道交通集团有限公司运营分公司 新疆乌鲁木齐 830011

摘要: 近几年来,随着科学技术的进步与电子信息技术的进步,接触网故障检测与定位技术也有了长足的进步。从初期的人工巡检,到如今的智能化、自动化的巡检体系,大大提高了接触网的维修与故障处理能力。然而城市轨道交通接触网结构复杂,城市环境多变,使得接触网系统在运行过程中仍存在断线、绝缘体损伤、接触线过度磨损等多种失效风险。这些故障的出现,不仅会影响供电品质,而且会对周围的环境产生危害,因此如何对接触网供电系统进行准确、快速的定位,对接触网供电管理提出了更高的要求。

关键词: 城市轨道交通; 交通接触网; 供电故障; 定位方法

一、城市轨道交通接触网供电的重要性

1. 确保运营安全

城市轨道交通,特别是地铁、轻轨,其运行完全依靠接触网供电,一旦电力供应中断,将造成严重的后果:列车有可能在轨道上突然停止运行,造成乘客被困,严重的甚至会引发踩踏事故^[1]。另外供电系统故障也会对信号系统造成影响,导致列车排班混乱,从而极大地增加列车碰撞等重大事故的发生。因此建立高效、稳定的接触网供电系统,是保证供电连续性的重要保证,也是保障城市轨道交通安全的重要保证。

2. 提高运行效率

面对日益增长的城市交通需求,提高行车频次和缩短行车间隔时间已成为提高交通运输效率的重要途径。接触网供电系统的高效率、高稳定性,不仅能保证列车准时发车,而且对列车运行速度也有一定的促进作用。供电系统可以根据列车实际运行需求,实时调整供电量,以保证列车在行驶过程中获得充足的功率,避免因动力不足而导致的减速。另外接触网供电系统的先进之处在于,它可以对可能出现的供电问题进行智能管理,对可能出现的供电问题进行预测和及时处理,降低因故障检修造成的列车延时,从而极大地提升城市轨道交通的整体运营效率。

3. 增强网络灵活性

随着我国城市化进程不断加快,人口不断增加,城市交通需求日趋多元化、复杂化,尤其是早、晚高峰时段,如何对交通需求进行快速、高效的响应成为衡量一座城市轨道交通发展水平的重要指标。接触网供电系统

以其高可调节性、快速响应性等特点,对城市轨道交通网提供强有力的支持,通过对接触网供电系统进行优化设计,使电力分配更为灵活^[2]。可以利用智能化管理系统,可根据实时运行需要,对供电量进行自动调节,保证在高峰时段能快速增加电力,以满足车辆高负荷运行的需要;在非高峰时间,可减少用电负荷,达到节能、高效的目的,这种灵活性不仅可以提高城市轨道交通的运行效率,而且可以降低运营成本,提高整个系统的经济与可持续发展能力。

二、城市轨道交通接触网供电故障及定位方法探究

1. 断丝故障

在城市轨道交通接触网供电系统中,断丝故障是一种常见的故障类型,其发生往往对城市轨道交通的正常运营产生不良影响,这主要是由于接触网导线长时间工作在复杂外部环境下,受疲劳、腐蚀或外力等因素的影响,造成导线内、外导线的断裂。巡检是一种最直观、最传统的故障辨识方法,通过对接触网导线进行定期和不定期的巡视,可对接触网导线表面状况进行观测,若发现明显断丝,可及时采取检修措施。但是这一方法对人员的专业技术要求很高,并且在一些复杂的线路情况下,人工巡检很难做到全面覆盖,易漏检。因此利用声波探测技术进行故障定位具有十分重要的意义,声波探测技术就是利用声波在管道中的传播特征来进行故障诊断,接触网导线断丝后,其断裂处将产生一定频率的声波信号,该方法是利用声波探测装置对信号进行采集,并根据其传播速度及时间差来确定故障位置^[3]。例如,在实际应用中,需在接触网关键部位安装声波探测设备,

当系统检测到异常声波信号时，设备会及时记录信号出现的时间及强度，然后由专门的分析软件对这些数据进行分析、处理，并根据声波的传播特征来确定故障点的大概位置，该方法的优点是能够实时监测接触网导线的整个线路，从而提高故障定位的精度和效率。为提高声波探测技术的定位精度，可采用多点探测方式，通过在接触网导线中布设多个声波检测点，实现对故障信号的同步采集，通过对多个检测点的声波时延进行分析，可进一步缩小故障定位范围，提高定位精度（断丝故障常见因素如表1所示）。

表1 断丝故障常见因素

故障原因分类	具体原因	可能后果
材料老化	接触线、承力索和绝缘子长期暴露在自然环境下，导致性能下降	断丝、绝缘性能降低，可能引起短路故障
设计问题	接触网设计不当，如接触线张力设计不足	增加断丝可能性，降低运行安全性
施工与维护不当	施工时接触线张力控制不准确，或维护保养不足	引起接触线过早老化，断丝
外部环境和意外因素	恶劣天气（如大风、冰雹）、外力撞击等	直接导致接触线断丝
运营负荷	运营车辆重量超标，或频繁急加速、急减速	增加接触线疲劳，导致断丝

2. 绝缘子损坏

绝缘子是电力系统的关键部件，它起着支撑、绝缘电缆、确保电能安全传输的作用，接触网绝缘子长时间受环境及电应力的影响，有可能发生断裂、破坏，从而引起接触网供电系统故障，因此对故障点进行准确、快速的定位对于恢复系统的正常运行至关重要。近几年来，随着科学技术的不断进步，红外热像技术以其独特的优势，逐渐成为故障检测与定位的一种重要方法，该技术可以捕捉设备表面的热量分布，从而产生热图像，帮助技师迅速找到故障。相较于传统检测手段，红外热成像技术具有非接触性、快速响应、抗光干扰等优势，尤其适合城市轨道交通等大型复杂系统的故障检测和定位。例如，在实际应用中，需要对接触网系统进行全面的热红外热像扫描。在扫描过程中，工作人员手持红外线热成像仪，沿铁轨行走，逐一检查接触网及其附属设备。利用红外热成像屏，可实时观察绝缘子及其它设备的温度分布状况，当绝缘子出现裂纹、破损时，由于电流的作用，在破损部位会产生不正常的发热，从而引起局部温

度的异常升高。红外热图可以清楚地显示出这种异常的温度变化，使其呈现出与周围环境截然不同的色彩，有助于技术人员快速找到受损绝缘子^[4]。确定绝缘子受损位置后，技术会根据热图给出的具体情况对绝缘子的损伤程度进行评估，然后再决定是否在现场维修或更换绝缘子，一旦决定采取措施，立即进行相应的维护保养工作，使系统尽快恢复正常运转。红外热像技术不仅可对故障进行定位，而且能为设备的预防性维修提供有效的手段，定期开展城市轨道交通系统的红外热像检测，可提前发现绝缘子表面微裂纹、早期损伤等隐患，在故障演变为严重故障前及时维修或更换，提高系统运行的稳定性与安全性。

3. 接触线下垂

接触线下垂是接触网的一种常见故障，其原因有接触线松弛、夹具损坏、温度变化等，如果处理不好，会对列车运行产生很大的影响。目前接触线下垂故障的检测与定位主要依靠人工进行，效率低、精度难保证，随着科学技术的进步，采用激光测距机或无人飞行器搭载的测量设备对地面下的垂向位置进行快速、精确的测量与定位已经成为一种新的发展趋势。激光测距机是一种利用激光束精确测量激光发射点与被测物体表面的距离的高精度测量仪器，在测量接触线下垂时，通过测量接触线的正常位置与实际位置的差值，可准确定位接触线的垂度，该方法具有操作简单、测量精度高等优点，可以有效地提高故障定位的效率与精度。除激光测距机外，由无人机携带的量测设备也是一种有效的探测方法，无人机在空中灵活机动，能轻易抵达接触网任意位置，实现全方位探测。该方法利用无人机搭载高清摄像机、测量设备等设备，实时传输接触线的图像及数据，实现对接触网下垂位置的快速、准确定位，这样既可以提高检测效率，又可以避免人员直接操作带来的安全隐患^[5]。无论是采用激光测距机还是无人机搭载的测量仪器，其核心是利用现代科技手段快速准确地定位城市轨道交通接触网供电故障，这既是科学技术在城市轨道交通维修领域的应用，也是保障列车运行安全的重要技术支撑。例如，采用激光测距法测量时，需先测定接点的正常高程，再对多点测得实际高程，比较二者之差，即可精确定位，在采用无人机探测时，操作者需根据实际情况规划无人机的飞行路径，以保证无人机能完全覆盖接触线探测区域，并根据实时图像及数据分析，准确定位坠落点（接触线下垂如图1所示）。



图1 接触线下垂

4. 接触网短路

造成接触网短路的原因有很多，外来物的入侵是最普遍的一种，这些异物可能是树枝、鸟窝、飞出的塑胶袋等，这些物件会在接触网与行车线路间形成传导通路，造成短路，另外由于接触网老化、维护不当或安装过程中存在的缺陷，都会引起接触网绝缘性能的降低，从而引发短路事故。断路器作为接触网供电系统的重要保护设备，在电网短路时能快速动作，切断故障线路，保护电网安全，通过对断路器动作信息的分析，可对短路故障的时间、位置进行初步判断。在接触网短路点定位中，对电流波形进行分析是另外一种重要手段，短路过程中电流变化很大，记录并分析短路点的变化情况，可以更加准确地判断短路点，尤其是与高速采样技术相结合，可实现短路瞬间电流波形的高精度捕获，从而实现短路点的精确定位。地理信息系统（GIS）是一个整合了地理信息，能提供准确的地理位置信息的系统，利用GIS强大的数据处理与分析功能，可快速定位短路点位置，极大地提高了定位精度和速度。例如，在应用时需要通过采集断路器动作信息及短路电流波形数据，对短路点进行初步定位，并采用高速采样技术对短路瞬间电流波形进行分析，进一步确定短路点可能的位置范围，最后通过GIS地理信息系统对短路点进行精确定位。

5. 接触网电压异常

接触网电压异常是一种常见的故障现象，其原因主要有供电不畅、接触网断线、绝缘子损坏、供电线路故障等，这不仅严重影响了列车的正常运营，还可能造成列车停运，给旅客及运营单位带来很大的不便与经济损失。为及时发现和处理故障，利用在线电压监控系统实

时监测接触网电压是一种行之有效的方法，在线电压监控系统通过在接触网关键部位布设电压传感器，实现对接触网电压的实时采集，并通过无线网络向中心监测系统传输数据，该系统可使运行维护人员实时掌握接触网电压状况，一旦发现异常电压，可及时采取相应措施，大大缩短故障响应时间。在实际应用中，需要对接触网线路上的电压进行实时采集，并根据所设置的正常电压范围来判断是否有异常电压，当检测到不正常的电压时，系统会自动记录一些重要的信息，如时间、地点、电压值等。同时通过对周边各监测点的电压值进行比对，根据电压值的变化趋势及幅度，可迅速定位出可能的故障区域^[6]。

结束语

综上所述，对接触网供电故障进行准确定位是保证城市轨道交通安全可靠运行的一项关键技术。快速、准确地定位故障，可有效地减少因故障造成的停机时间，提高系统运行效率，提高旅客满意度。虽然在定位精度、故障类型识别能力、复杂环境下的稳定性等方面仍存在诸多挑战，但随着技术的不断创新与应用，上述问题正在逐步得到解决。随着技术水平的不断提高，城市轨道交通接触网供电故障的检测和定位将更有效、更精准，为城市轨道交通安全运行提供技术支持。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 王涛, 沈延辉.城市轨道交通供电设备故障统计分析[J].设备管理与维修, 2021, (19): 63-65.
- [3] 石磊.探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.
- [4] 敬学德.基于改进LSSVM的城市轨道交通供电故障诊断方法[J].信息技术, 2021, (01): 109-114+120.
- [5] 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, (08): 54-55.
- [6] 孔维珍.城市轨道交通供电故障排查与应急策略[J].设备管理与维修, 2019, (20): 51-52.