

基于物联网的城市轨道交通车辆关键部件状态监测与预警系统开发

徐满洲 党永伟

济南轨道交通集团运营有限公司 山东 济南 250014

【摘要】：基于物联网的城市轨道交通车辆关键部件状态监测与预警系统的开发，旨在提升轨道交通运营的安全性及智能化水平。通过传感器网络实时采集车辆运行数据，并借助物联网平台实现远程传输与集中管理，系统能够对车轴、制动系统、受电弓等关键部件进行动态状态监测。结合大数据分析机器学习算法，预警机制能够提前识别潜在故障隐患，减少突发性事故的发生率，提升设备维护的科学性与及时性。该系统在提升城市轨道交通运行效率、保障乘客安全和降低运营成本方面具有重要价值，为智能交通体系的建设提供了有力支撑。

【关键词】：城市轨道交通；物联网；状态监测；关键部件；预警系统

DOI:10.12417/2811-0528.25.21.050

引言

城市化进程加快与公共交通需求不断增长，使轨道交通成为城市出行的核心方式。然而，列车在高频率与高负荷运行中，关键部件的安全状态直接关系到整体运营的可靠性。传统人工巡检方式存在监测滞后、数据碎片化与响应不及时等问题，难以满足智能化管理需求。基于物联网技术的状态监测与预警系统，能够实现关键部件的实时感知、远程传输和智能分析，不仅提高了运行安全性，还优化了运维效率。研究该系统的开发与应用，不仅契合智慧交通的发展趋势，也为未来轨道交通装备的智能管理提供了切实可行的路径。

1 城市轨道交通车辆关键部件运行风险与监测需求分析

城市轨道交通系统在高速、大运量运行中对关键部件的安全性提出了极高要求。车辆在长期高频率的运营中，车轴、轮对、制动盘、转向架等部件承受着巨大的动载荷和疲劳应力，这些因素一旦累积会引发金属疲劳、裂纹扩展甚至断裂等严重隐患。制动系统在多次高强度使用后，摩擦片磨损和温度过高可能导致制动效能下降，直接影响列车制动距离和运行安全。受电弓作为电力传输的重要装置，在高速运行中频繁接触接触网，碳滑板磨损和接触压力异常会导致供电中断甚至电弧放电。以上部件一旦出现异常，不仅会影响列车运行效率，还可能造成重大安全事故，因此如何对这些关键部件进行实时状态监测成为轨道交通领域必须面对的核心问题。

传统的人工巡检模式虽然在过去发挥了重要作用，但在当前复杂运行环境下存在明显不足。人工检测周期长、覆盖范围有限、受人为经验影响较大，难以及时发现潜在故障。在车辆密集运行的高峰时段，依赖人工巡检往往无法实现对关键部件

的实时掌握，容易出现延误发现隐患的情况。人工检测的数据多以定性描述为主，缺乏系统化的定量指标，这对于科学判断故障趋势和预测剩余寿命具有明显局限。随着列车运行速度和运量的不断增加，仅依靠人工检测已无法满足安全与效率的双重要求，急需更加精准、实时和智能的监测手段加以补充和替代。

在此背景下，轨道交通运营对基于物联网的监测系统提出了迫切需求。通过布设多类型传感器，能够对关键部件进行多维度参数采集，例如振动、温度、应力、磨损量、电流等指标，并借助无线网络实现远程传输与集中管理。这种方式能够大幅提高监测的实时性与精确度，形成完整的数据链路，为后续的大数据分析和智能预警奠定基础。通过对长期运行数据的积累和建模，可以建立关键部件的健康状态档案和寿命预测模型，从而实现从被动维修向主动预防的转变，真正满足轨道交通安全与智能化发展的需求。

2 基于物联网的状态监测与智能预警系统设计与实现

状态监测与预警系统的设计首先依托物联网的分层结构，在感知层通过布设高灵敏度传感器实现关键部件状态参数的实时获取。对于车轴和轮对，可采用加速度传感器和应变片来监测振动和应力变化；制动系统可利用温度传感器和磨损传感器记录摩擦片热态与剩余厚度；受电弓部分则结合电流传感器和接触力检测装置来确保供电稳定。各类传感器节点具备自校准与低功耗特性，通过车载局域网将采集到的原始数据进行本地预处理，既降低了冗余信息的传输量，又提升了数据的有效性和可靠性。感知层的全面覆盖，使得关键部件的状态能够得到全方位的量化描述，为后续分析奠定坚实基础。

在网络层,系统依赖车地无线通信技术实现数据的高效传输。轨道交通运行环境对通信的实时性和稳定性提出了严格要求,因此系统普遍采用5G专用网络、车地无线局域网或多协议融合的方式来保障传输的低时延与高可靠性。数据在传输过程中经过加密与压缩处理,确保信息的完整性与安全性。对于部分核心数据,车载网关具备边缘计算能力,可以在本地完成初步分析和异常识别,从而在网络传输延迟或中断的情况下依然能够实现局部预警。这种云边协同的架构,有效提升了系统在复杂场景下的适应性与鲁棒性。

在应用层,系统引入大数据分析机器学习模型,实现对关键部件状态的深度解析与预测。通过对历史运行数据的聚类与回归建模,可以形成典型故障模式库,对实时数据进行比对,从而快速识别异常状态。结合神经网络与支持向量机算法,能够对部件的剩余使用寿命进行预测,为运维人员提供科学决策依据。预警模块则根据故障严重程度划分不同等级的报警策略,确保潜在风险在早期即可被发现并处理。整个系统实现了从数据采集、传输、分析到预警反馈的闭环管理,不仅提高了监测效率,也为轨道交通的安全运营提供了坚实保障。

3 系统应用效果与轨道交通安全运行保障价值

基于物联网的状态监测与预警系统在实际应用中展现出显著效果。通过对关键部件进行实时监测,运维人员能够第一时间掌握车辆运行状态,避免了因隐患未及时发现而导致的突发故障。大规模运行数据的积累使得故障模式与寿命预测模型不断优化,预警的准确率显著提升。实践证明,该系统能够将关键部件故障率降低数十个百分点,有效减少列车晚点与停运事件的发生频率,极大地提高了轨道交通运营的稳定性与可靠性。在高客流密度的城市中,这种技术优势直接转化为乘客出行

体验的提升。

在经济价值层面,该系统有助于实现设备维护由计划检修向状态检修的转变。传统定期检修往往存在资源浪费和维修过度的问题,而基于物联网的状态监测能够精准识别真正需要维护的部件,从而显著降低备件消耗和人工成本。通过延长关键部件使用寿命和减少突发事件,整体运营维护费用得以大幅下降。对于轨道交通运营企业而言,这不仅意味着经济效益的提升,更代表了在安全与服务质量上的双重竞争力。系统应用的成功,为行业树立了智能化运维的新范式。

在社会层面,该系统的推广应用增强了轨道交通整体的公共安全保障能力。城市轨道交通作为公共服务的重要组成部分,其安全运行直接关系到社会稳定与民生福祉。通过物联网监测系统的部署,能够有效提升政府与企业对突发事件的应对能力,为城市交通管理提供科学依据。长期来看,这种智能化系统将推动轨道交通从传统安全管理模式向数字化、智能化方向迈进,促进智慧交通与智慧城市的建设。物联网与轨道交通的深度融合,不仅是技术升级的结果,更是未来交通系统可持续发展的必然趋势。

4 结语

本文围绕基于物联网的城市轨道交通车辆关键部件状态监测与预警系统进行了研究与论述,重点分析了运行风险与监测需求、系统设计与实现以及应用效果与安全价值。通过将传感器技术、大数据分析智能预警机制有机结合,系统不仅提升了轨道交通运行的安全性,也优化了运维模式,降低了经济成本。研究表明,物联网的深度应用将成为推动轨道交通向智能化、数字化方向发展的重要动力,为未来智慧城市建设提供坚实技术支撑。

参考文献:

- [1] 刘晨,周凯.基于物联网的城市轨道交通设备智能监测研究[J].城市轨道交通研究,2022,25(6):45-52.
- [2] 陈浩,孙媛.轨道交通车辆关键部件状态评估与故障预警方法探讨[J].铁道机车车辆,2023,43(2):33-40.
- [3] 郑涛,林洁.智慧交通背景下轨道交通运维智能化发展路径[J].交通运输工程学报,2021,21(5):77-85.