工程与管理科学
Engineering and Management Science
第 8 卷◆第 10 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

# 地铁机电设备故障预测与智能维修策略研究

刘辉
乌鲁木齐城市轨道集团有限公司　新疆乌鲁木齐　830000

DOI：10.32629/ems.v8i10.22575

［**摘　要**］地铁机电设备是轨道交通系统安全稳定运行的核心支撑，涵盖通风、给排水、低压动照、环控、站台门、电扶梯等多类设备，其运行状态直接决定地铁运营效率与出行安全性。为破解传统运维短板，本文立足地铁既有运维体系现状，依托综合监控平台等现有系统，结合人工智能、机器学习、物联网感知等智能化技术，探索设备故障智能预测、实时监测的落地路径，分析当前机电运维存在的核心痛点，针对性构建适配地铁场景的智能维修策略，形成“预判-监测-诊断-维修-复盘”的全流程智能运维体系，为地铁机电设备精细化、智能化运维提供实操参考。

［**关键词**］地铁机电设备；故障预测；智能监测；智能维修；运维平台

## 引言

伴随着国内城市轨道交通网络化、规模化快速发展，地铁运营里程不断攀升，机电设备长时间高频次、高负荷运转，设备老化、隐性故障、突发故障等现象越来越突出。传统的以人工巡检、定期维保为主的模式已经不能满足现代化地铁的运营需要，存在过度检修、漏检误检、故障处置滞后等弊端，不但造成运维成本增加，而且容易造成运营安全问题。智能化运维是地铁行业发展的必然趋势，将现有的监控资源进行整合，加入智能监测和预测技术之后，可以提前预知机电设备故障，并且能够准确地找到故障所在的位置，从而达到快速处理的效果。本文根据地铁运维的实际环境，利用现有的综合监控系统,考虑技术的可实施性以及成本的可控性，研究机电设备故障智能预测方法和差异化维修措施，使地铁运维由被动抢修、定期检修向主动预判、精准维保转变。

## 一、地铁机电设备智能运维概述

### （一）核心运维设备范围

地铁机电设备系统复杂、联系紧密，是保证车站和列车正常运转的基本硬件系统，主要包括低压配电系统、环控通风系统、给排水系统、站台门系统、电梯扶梯系统和消防机电系统六个主要部分[1]。各种设备工况差别很大，站台门、电扶梯等设备启停频繁、动态负荷大，故障突然发生；通风、给排水等设备长时间连续工作，容易出现老化、积垢、损耗等隐性故障，单个设备故障很容易引起连锁反应，影响线路的政策运营。与轨道交通信号、车辆系统相比，机电设备数量多、分布广、运维点多，人工运维难度大，智能化改造的实用性、必要性更加明显。

### （二）智能故障预测与监测核心手段

地铁机电设备智能运维的核心就是依靠数据驱动技术，实现故障的提前预测和状态的实时监测，抛弃传统的经验化运维方式，目前主流的落地手段是以感知采集、算法分析、平台赋能为主，兼顾既有系统的复用和新系统的升级。

数据感知采集部分，以物联网传感技术为基础，在机电设备的重要位置安装温度、振动、电流、压力、转速等高精度传感器，持续采集设备运行工况数据、环境数据以及启停日志数据，较好地改善了传统运维数据缺失、滞后状况。对站台门、扶梯等运动设备进行振动和位移采集，对低压配电、环控通风设备进行电流、温度、负荷采集，完成所有种类机电设备运行状态的量化采集。

故障智能预测方面,采用成熟的机器学习算法进行应用，抛弃复杂的理论化模型，根据地铁运维的实际场景选择合适的算法[2]。使用 LSTM 长短期记忆网络对设备时序运行数据进行分析，发现设备长期老化、性能下降的趋势，从而达到预测设备剩余使用寿命的目的；用支持向量机算法区分设备正常工况和异常工况，准确地找到微小的隐性故障；用贝叶斯网络模型整理出多设备故障之间的联系，解决多系统交叉故障很难定位的问题，实现故障概率的量化预判。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

状态智能监测方面，使用的是既有平台复用加新平台补充的轻量化创建办法。一方面，依靠地铁已有的综合监控系统（ISCS），把平台原有的设备监控、数据采集、实时告警等功能整合进来，对平台存量数据进行二次挖掘，优化传统的阈值告警模式，实现故障初步监测；另一方面，针对现有的平台数据分析能力差、没有预测功能的不足，建立轻量化的智能运维子平台，增加数据建模、趋势分析、智能诊断、工单联动等功能，防止重复建设、控制改造成本。

## 二、地铁机电设备运维现存核心问题

（一）既有平台利用率低，数据孤岛问题突出

目前中国大部分地铁线路都配备了综合监控系统，但是该系统的功能主要是对实时画面的监控、简单的超限报警以及历史数据的保存，并没有进行深层次的数据挖掘和智能分析。平台只能对已经发生的设备故障进行被动告警，不能预测出故障的隐患和趋势，没有趋势分析、隐患识别的能力。综合监控平台、设备运维台账系统、故障工单系统各自为政，数据不能互相流通共享，机电设备运行数据、历史故障数据、维修记录数据断层，无法形成完整的数据链条，造成智能预测算法缺少有效的数据支撑，智能化运维无法落地。部分线路仍然使用人工录入的方式进行运维数据的录入工作，造成数据的时效性和准确性不高，从而加重了数据孤岛现象。

（二）故障预测技术落地片面，监测精准度不足

目前大多数地铁智能运维改造重硬件、轻算法、重监测、轻预测，智能化手段的应用只是停留在表面[3]。部分线路只完成了传感器加装、设备可视化监测改造，没有建立适合机电设备的故障预测模型，仍然依靠人工经验来判断设备的状态。同时现有的预测模型通用性较强，没有根据地铁机电设备多场景、多工况的运行特点进行优化，对于设备微小损耗、间歇性故障、隐性故障的识别能力较弱。环控风机低频振动、管道轻微堵塞等早期隐患不能被智能模型识别出来，仍然需要人工巡检排查，智能化替代的效果很有限，很难从根本上杜绝设备突发故障的发生。

（三）维修模式固化，资源配置不合理

大部分地铁机电运维仍然采用固定的周期性检修方式，不管设备运行状况好坏、负荷高低，都按统一周期进行维保工作，缺乏针对性。高风险、高损耗设备维保频次不足容易造成安全隐患的积累，低损耗、稳定运行设备过度检修造成人力、物力、时间资源的浪费。维修工作缺少智能调度系统，故障出现之后依靠人工发单、人工查找，故障查找时间长，处理过程繁杂。备品备件采购、储备没有数据支撑，不能按照设备故障预测趋势提前备货，经常出现备件短缺或者库存积压的情况，运维成本居高不下。

（四）智能运维体系不完善，人员适配能力不足

地铁机电智能运维不是简单的某一项技术改造，它是一个包含数据、平台、算法、管理等在内的完整的体系，但是目前大多数线路只完成了局部的技术改造，没有建立相应的管理制度。故障预测、智能监测的结果不能直接用于维修工作，智能研判和现场操作相脱离。现有的运维人员一直适应着传统的手工运维模式，只掌握了设备的基本维修技能，没有数据分析、智能平台的操作以及故障模型的判断能力，智能化设备运维、系统调度、故障复盘的能力欠缺，致使智能运维设备、平台、技术不能发挥出应有的作用，出现“有设备不会用、有数据不会分析”的落地难题。

## 三、地铁机电设备智能故障预测与维修优化策略

（一）盘活既有平台资源，搭建一体化数据运维体系

立足成本可控、落地方便的原则，以现有的综合监控平台为基础，对综合监控平台进行轻量级的升级改造，消除数据孤岛现象，创建起一体化的智能运维数据平台[4]。首先对综合监控平台进行功能扩容，增加数据对接、数据清洗、趋势分析模块，打通监控平台、运维台账系统、工单系统、备件管理系统之间的数据接口，实现设备运行数据、故障数据、维修数据、备件数据的互联互通，形成全周期设备数据链条。其次，抛弃大拆大建的改造方式，依靠已有平台的存量数据，创建轻量级智能分析子模块，不需要新建完整的运维平台，就能达成故障趋势预估，异常数据辨识，隐患等级评定等目的。最后，创建起标准化的数据管理制度，对传感器采集到的数据、人工维护的数据加以规范，定时清理无效、异常数据，保证数据的准确性，给故障智能预测赋予可靠的支撑。

（二）精准落地智能预测技术，提升故障监测精度

根据地铁各种机电设备的运行特点，采用差异化的智能


Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

化预测和监测技术，杜绝通用化、形式化的使用，提高技术落地的实效性。对站台门、扶梯等运动类的机电设备，主要依靠振动、位移传感数据，并且结合改进型 LSTM 算法来捕捉设备零部件磨损、卡滞等隐性故障的趋势，从而达到对剩余使用寿命进行预测的目的，及时发现并预警部件的老化风险；对于低压配电、环控通风、给排水等稳态运行的设备，利用电流、温度、压力时序数据，使用支持向量机算法建立异常识别模型，准确区分正常工况和微小异常工况，解决传统阈值告警滞后、误报率高的问题；对多系统交叉故障，用贝叶斯网络模型整理设备故障关联逻辑，迅速找到故障根源，缩减排查时间。另外根据地铁隧道、车站潮湿多尘的特点来改进算法的抗干扰性，消除环境噪声数据，提高故障预测和监测的准确性。

（三）推行差异化智能维修策略，优化资源配置

彻底抛弃传统的统一化定期检修方式，用智能故障预估的结果以及设备的实时健康状况作为主要参照，实行分类分级的精确维修手段。一是预测性主动维修，对低压配电系统、站台门系统等重要高危设备，依靠设备寿命预估、故障走向剖析的结果，提前制订维保计划，在设备性能衰退初期执行有针对性的检修工作，从源头上避免出现突然的故障；二是状态化按需维修，对通风、给排水等运行稳定、故障可控的设备，取消固定的检修周期，依照平台实时监测到的运行状况、异常数据，按需实施巡检、清洁、更换等工作，削减过度的维护；三是智能化应急维修，依靠一体化运维平台，达成故障自动告警、自动定位、智能派单，同步推送故障成因、处置方案、需要的备件信息，缩减应急处置时间。根据历史故障数据以及预测趋势来对备件的需求进行智能分析，从而改善备件库存的结构，进而达到精准备货、科学调度的目的，进而降低运维成本[5]。

（四）完善智能运维管理体系，强化人员能力建设

创建起技术、管理、人员三者共同参与的完整的智能运维体系，保证智能化技术真正落地生效。首先要建立配套的智能运维管理制度，对故障预警分级处置标准、智能维保作业流程、数据更新规范、设备复盘机制等进行明确，使智能研判的结果全面指导现场维修工作，打通监测、预测、维修、复盘全流程闭环。其次对运维人员进行分层分类的技能培训，对于一线运维人员侧重于智能平台的操作、异常数据的识别、智能工单的处置，对于技术管理人员侧重于数据分析、算法模型的应用、运维策略的优化，全方位适应智能运维的工作模式。最后，创建运维复盘机制，依靠平台数据对设备故障处理过程展开定期复盘，改良预测模型参数，更新维修方案，不断加强智能运维的准确程度。

**结语**

地铁机电设备智能运维是轨道交通行业高质量发展的一种必然选择，本质就是利用现有的综合监控平台的优势，对设备进行轻量化智能化改造，并结合不同的应用场景，使用预测算法和差异化的维修策略来解决传统运维模式存在的各种问题。本文通过对地铁机电运维实际问题的分析，确定了物联网感知、机器学习算法具体的应用场景，提出了盘活存量平台、精准智能预测、差异化维修、体系化保障的全流程优化策略，很好地解决了数据孤岛、监测滞后、资源浪费、落地困难等实际问题。未来地铁机电运维要继续加强数据赋能，不断改善智能算法模型，健全运维管理体系，持续推动地铁机电设备运维向精细化、智能化、高效化方向发展，全方位保证地铁网络安全稳定运行。

**[参考文献]**

[1]梁从昊.地铁机电设备智能运维技术与应用[J].人民公交,2025,(22):140-142.

[2]余俊杰,陆经玉.暂态电压引发地铁机电设备的故障分析及应对策略[J].新一代信息技术,2025,8(1):30-34.

[3]詹鹏,刁姝文,张淳,马晓蕾,甘楠,张凯.基于红外弧光监测技术的机电设备故障预警装置在线监测应用[J].现代城市轨道交通,2023,(11):32-35.

[4]娄亭.轨道交通车站机电设备智能运维系统研究与实践[J].交通世界,2022,(18):57-60.

[5]左旭涛,李世明,程中国,岳阳,丛龙斌.基于大数据的机电设备故障模型研究[J].现代城市轨道交通,2021,(6):65-68.

作者简介：刘辉（1993 年 5 月），男，汉族，河南夏邑人，本科，中级工程师，研究方向：地铁机电专业设备维修。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.