

城轨车站自动售检票设备维护策略优化

贾尚文 朱东琴 刘涛

河北科技学院汽车工程学院 河北唐山 063000

DOI: 10.12238/ems.v7i5.13204

[摘要] 我国开通轨道交通的城市越来越多, 开通线路总里程每年都在增加, 大量的自动售检票系统设备在线路开通后要进行日常维护。其中, 早期开通的轨道交通线路, 自动售检票系统设备逐步进入了模块大修、设备更新改造的阶段。城市轨道交通自动售检票(AFC)设备是票务系统的核心载体, 其维护策略影响乘客服务质量与运营效率。因此需要定期的维护保养, 以此保障其稳定运行。基于此, 本文从城轨 AFC 设备维护现状与核心问题入手, 首先分析基于全生命周期的维护策略优化体系构建, 然后探究其技术支撑与实施保障, 希望可以借此给相关的研究提供一定的参考。

[关键词] 自动售检票设备; 维护; 智能运维

1 引言

城市轨道交通自动检票机作为现代城市交通的重要组成部分, 其稳定运行对于保障乘客顺畅出行至关重要。为确保检票机的高效工作, 定期的维修保养工作不可或缺。当前在城市轨道交通系统中, AFC 设备承担着售票、检票、结算等核心票务功能, 是连接乘客与运营服务的关键界面。但是随着城轨网络规模的扩大和设备复杂度的提升, 传统维护策略出现了响应滞后、资源错配、技术应用碎片化等问题, 难以满足高频次票务交易与高服务质量的需求。因此, 需要以全生命周期管理理论为指导, 构建贴合 AFC 设备特性的维护策略体系。通过策略创新与技术融合, 实现设备维护的精准化、智能化与高效化, 为城轨运营的可持续发展提供保障。

2 城轨AFC设备维护现状与核心问题

2.1 AFC 设备的功能构成与运行特性

2.1.1 设备功能架构与核心模块

AFC 系统由终端设备、车站计算机、线路中心及清分中心四级架构组成, 其中终端设备直接面向乘客, 是票务服务的物理载体, 主要包括三类核心设备:

(1) 票务处理设备: 自动售票机(TVM)与半自动售票机(BOM)是票务交易的核心所在, TVM 集成纸币识别、硬币处理、票卡发售等模块, 可实现自助购票、充值等功能。BOM 则支持人工干预的票务处理, 如异常票卡处理、退票等, 是 TVM 的补充与应急设备。

(2) 通行控制设备: 自动检票机(AGM)通过机械闸门、传感器组与控制模块的协同运作, 可实现乘客进出站权限的自动识别与通行控制。它是划分付费区与非付费区的关键节点, 直接影响客流疏导效率。

(3) 辅助服务设备: 充值查询机(TCM)与验票机(TC)能提供票务信息查询、余额充值等自助服务, 可辅助提升乘客服务的便捷性, 减少人工窗口压力。

上述这些设备具有显著的机电一体化特征, 融合机械传动、电子控制、嵌入式软件、网络通信等多领域技术, 形成复杂的系统架构。其运行特性为:

(1) 高频次交互性: 了日均处理数万次交易, 机械部件如 AGM 闸门、TVM 票仓传动机构处于高频动作状态。这也导致磨损速率远高于一般工业设备, 因此对润滑、紧固等维护措施的依赖性强。

(2) 服务敏感性: 如果设备故障会直接导致乘客滞留、票务处理中断, 可能引发区域性客流拥堵, 对运营服务口碑与乘客体验产生直接影响。

2.1.2 维护需求的特殊性

AFC 设备的维护需求较为特殊, 主要体现在如下:

(1) 连续性要求严格: 作为公共服务设施, AFC 设备需 7×24 小时运行, 可用于停机维护的窗口主要集中在非运营时段(如凌晨 1-4 点)。因此要求维护作业高效精准, 需避免因维护导致服务中断。

(2) 故障影响扩散性强: 单台的设备异常可能会引发连锁反应, 如 TVM 故障导致乘客聚集至 BOM 窗口, 增加人工处理压力。若故障持续, 可能进一步影响 AGM 通行效率, 甚至触发系统级通信拥塞或数据同步异常。

2.2 传统维护策略的核心缺陷

2.2.1 缺乏动态适应性

传统维护以“定期巡检+故障维修”为主, 采用统一的维护周期。这忽视设备实际使用强度与健康状态差异, 导致维护策略与设备需求脱节。具体的问题如下

(1) 资源的错配: 高客流车站的关键设备因维护不足引发故障率上升, 而低客流车站的备用设备因过度维护造成人力、物力浪费。据行业调研, 此类过度维护可导致单站年维护成本增加 15%-20%左右。

(2) 内容的同质化: 当前缺乏针对不同设备模块的差异化维护策略, 如对 TVM 纸币识别器与 AGM 闸门驱动电机采用相同的维护内容, 所以在很多情况下很难精准应对各部件的失效模式。

2.2.2 故障诊断依赖人工经验

当前的设备维护过程高度依赖人工现场排查, 数字化水平低, 其中的主要问题包括:

(1) 故障的定位效率低: 当前在维修中故障定位效率相对较低, 以 AGM 闸门卡顿故障为例, 维护人员需逐一检查机械部件润滑情况、传感器信号是否正常、控制软件逻辑是否异常, 平均诊断时间超过 30 分钟, 且易因备件储备不合理导致二次维修。

(2) 数据利用不足: 故障记录多以纸质台账为主, 没有形成系统化的知识沉淀。同类故障重复发生时仍需从头排查, 维修经验传递效率低下。根据相关统计, 传统模式下同类故障重复发生率超过 30%。

2.2.3 备件管理粗放

备件管理沿用传统库存模式, 存在的问题如下:

(1) 库存策略不合理: 关键备件的安全库存设置更多的是依赖经验估算, 这就导致缺货与积压并存。另外, 高价值备件积压占用资金, 而且紧急采购周期长, 可能因备件短缺延长故障修复时间。

(2) 全生命周期追溯缺失: 备件更换记录没有实现数字化管理, 故障件的生产批次、更换时间、失效模式等信息等也难以追溯, 无法通过闭环管理识别供应商缺陷或设计隐患, 制约设备可靠性提升。

3 基于全生命周期的维护策略优化体系构建

3.1 理论基础与策略设计框架

全生命周期管理(Lifecycle Management)理论是将设备视为有机整体, 通过对规划设计、采购安装、运行维护、报废更新全流程的统筹管理, 实现可靠性、经济性与安全性的平衡。在 AFC 设备维护中的应用核心包括:

(1) 阶段协同: 打破传统维护的孤立性, 将运行维护阶

段与前期规划设计阶段联动,如在设备选型时纳入维护便捷性指标,降低后期维护难度。

(2) 数据贯通: 建立设备全生命周期数据库,整合运行参数、维护记录、备件履历等信息。以此为精准维护决策提供数据支撑,避免因信息割裂导致的决策偏差。

(3) 目标统一: 以全生命周期成本最小化为目标,平衡初期采购成本与后期维护成本,可避免因过度追求低价导致长期维护支出增加。

基于上述框架,可构建“预防维护—状态监测—资源调度—持续改进”的闭环策略体系。其中包含三大核心模块:

(1) 预防性维护模块: 通过设备分级与部件级维护周期优化,以此实现故障前的主动干预,降低突发故障概率。

(2) 智能监测模块: 借助传感器网络与数据分析技术,实时评估设备健康状态,借助数据预测潜在风险,为维护决策提供科学依据。

3.2 预防性维护策略

3.2.1 设备重要性分级机制

设备分级机制十分重要,可根据设备对运营服务的影响程度与使用频率,建立起三级维护等级,实施差异化维护策略。具体措施如下:

(1) 一级设备: 高客流车站的 AGM 与 TVM 直接决定乘客通行效率与票务处理能力,所以此类设备需实施高频次巡检与深度维护。重点监测票务处理模块与机械传动部件,确保其高峰期稳定运行。

(2) 二级设备: 低客流车站的 BOM 与 TCM 承担辅助票务功能,故障影响范围较小。因此可采用常规巡检与基础维护,确保基础服务连续性。

(3) 三级设备: 备用设备及非运营时段启用设备,其使用频率低且故障影响可隔离。因此以基础巡检与定期保养为主,避免长期闲置导致性能退化。

3.2.2 关键部件维护周期优化

针对故障率较高的核心部件,可采用“失效模式分析—周期动态调整—维护内容标准化”的三层策略,具体如下:

(1) 失效模式分析: 借助故障树分析 (FTA) 识别关键失效点,明确各部件的主要失效机理。如机械部件的主要失效模式为磨损、卡阻,电子部件为热失效、信号干扰,软件为逻辑错误、数据异常。

(2) 维护周期的动态化: 依据设备的使用频繁程度、重要性,再结合设备厂家给出的建议等因素,来制定科学合理的检修周期。还要基于部件设计寿命、历史故障数据及实时运行负荷等建立“基准周期±修正系数”模型,如 TVM 纸币模块的清洁周期可根据日均交易次数调整,在高负荷场景下从 7 天缩短至 5 天,低负荷场景下延长至 10 天。

(3) 维护内容的标准化: 制定部件级维护作业指导书,明确操作步骤与质量标准。如 AGM 闸门驱动电机的润滑作业需明确使用特定型号润滑油,润滑量控制在 5-10ml,不能超出此范围,避免因操作差异影响维护效果。

3.3 状态监测与预测性维护

3.3.1 多维度状态监测指标体系

部署智能传感器可实现设备运行状态的全维度感知,在实际的使用中,核心监测指标主要包括:

(1) 机械系统: 该部分主要是监测闸门开合阻力、传动机构振动幅值、票仓位移精度等,用于评估机械部件的磨损程度与卡阻风险。如振动幅值超过 0.5g 时提示传动机构可能存在松动。

(2) 电子系统: 该部分主要是监测模块温度、电压波动、通信延迟率等,是监测电子元件的热稳定性与信号传输质量。

(3) 业务系统: 该部分主要是监测交易处理时长、票卡读写成功率、纸币识别准确率,反映的是设备的业务处理效能与用户交互质量。

通过物联网技术可实时采集数据,建立设备健康指数 (HI) 计算模型,之后综合各指标权重形成设备健康状态的量化评估。HI 值范围为 0-100,数值越低表示健康状态越差。当 $HI < 60$ 时触发黄色预警,提示维护人员关注。 $HI < 40$ 时触发红色预警,自动生成紧急维护工单,借此实现从“故障响应”到“风险预控”的转变。

3.3.2 故障预测与智能决策

为实现故障预测与智能决策,可利用机器学习算法构建故障预测模型。在模型中输入历史状态数据、维护记录及环境参数,由模型输出潜在故障类型与发生概率。该模型构建的关键点主要如下:

(1) 特征工程: 需要筛选对故障敏感的关键参数,如 AGM 闸门机电流异常波动与机械卡阻的关联性,TVM 纸币模块温度升高与夹钞风险的相关性等。

(2) 模型优化: 通过交叉验证与参数调优提升预测准确率,确保对高频故障提前 24 小时预警。

(3) 决策支持: 将预测结果与维护策略库匹配,之后自动生成针对性维护建议。如提前更换接近寿命周期的部件、增加特定模块的巡检频次等,借此避免突发故障对服务的影响。

3.4 资源管理策略

为实现资源的优化管理,可采用 ABC 分类法对备件进行差异化管理,提升库存效率。具体的措施如下:

(1) A 类备件 (高价值、低周转): 票卡读写模块、主控制板等占备件总数的 20%,但价值占比 70%。为实施精准库存控制,可依托供应商寄售模式缩短供货周期,安全库存设置为 3-5 天用量,降低资金占用与缺货风险。

(2) B 类备件 (中价值、中周转): 闸门电机、纸币找零器等占备件总数的 30%,价值占比 25%。这类备件可采用安全库存+定期补货策略,根据历史消耗数据动态调整库存阈值。补货周期设置为 2 周,平衡响应速度与库存成本。

(3) C 类备件 (低价值、高周转): 传送带、指示灯等备件占备件总数的 50%,价值占比 5%。该类备件可实施零库存管理,通过集中采购与本地供应商合作,实现 24 小时内快速响应,减少库存积压。

4 结语

城轨 AFC 设备对于整个城轨系统的稳定运行有着重要的意义,但是传统管理模式却存在一定的问题。基于此,本文构建的城轨 AFC 设备维护策略优化体系以全生命周期管理理论为指导,分析了分级维护、智能监测、资源协同三个维度的管理策略,可系统性解决传统维护模式的问题,能够为实践提供理论指导。

【参考文献】

- [1] 孙凯奇. 轨道交通售检票机电系统设备安装标准化研究 [J]. 人民公交, 2025, (04): 109-111.
- [2] 姚剑. 铁路客站设备健康管理及智能管控关键技术研究 [D]. 中国铁道科学研究院, 2023.
- [3] 龙建春. 昆明地铁 AFC 设备维护管理系统的分析与设计 [D]. 云南大学, 2021.
- [4] 江斌, 严龙, 韩洁. RFID 技术在自动售检票设备巡检维护中的应用设想 [J]. 铁路通信信号工程技术, 2015, 12 (06): 79-82+88.
- [5] 宋奇峰. 自动售检票设备应用中存在的问题和对应措施探讨 [J]. 科技创新与应用, 2014, (11): 288.
- [6] 赵时旻, 武志磊, 杨建国, 等. 智能故障诊断在城轨车站设备维护中的应用 [J]. 现代城市轨道交通, 2008, (03): 21-22+89.

作者简介: 贾尚文 (2023.-), 男, 汉族, 河北沧州人, 在校生, 主要从事城市轨道交通运营管理。