

高速公路收费站机电设备稳定运行保障措施研究

赵会全

云南省交通科学研究院有限公司 云南 昆明 650011

【摘要】：随着高速公路网络化、智慧化发展，收费站机电设备已成为保障通行效率与服务质量的支撑。然而，当前部分路段机电设备因老化、运维不规范、环境适配不足等问题，频发故障导致通行拥堵，影响公众出行体验。为提升设备运行可靠性，本文结合某省高速公路实地调研数据，分析设备运行中存在的“老化适配差、运维不系统、应急响应慢”等核心问题，明确“预防性运维、智能化支撑、全生命周期管理”等稳定运行原则，从设备全流程管理、智能化运维、环境改造、应急机制、数据协同、人员建设六大维度，构建综合保障措施体系。实践验证表明，该体系可将设备故障率从15%降至8%以下，故障处置时间缩短至40分钟内，通行效率提升30%，为高速公路收费站机电设备稳定运行提供切实可行的技术方案，具有较高的工程应用价值。

【关键词】：高速公路收费站；机电设备；稳定运行；全生命周期管理；智能化运维；应急保障机制

DOI:10.12417/2705-0998.25.19.014

引言

高速公路作为国家综合交通运输体系的核心组成，其通行效率与服务质量的关系到经济社会发展与公众出行体验。收费站作为高速公路“出入口关键节点”，机电设备是实现“收费、监控、管控”一体化的核心载体。据交通运输部2023年数据，我国高速公路ETC覆盖率达95%以上，机电设备日均运行时长超18小时。随着智慧交通建设推进，收费站机电设备向“集成化、智能化”升级，但其运行环境复杂、负载波动大，传统“事后维修”模式已无法满足稳定运行需求。因此，研究高速公路收费站机电设备稳定运行保障措施，对提升设备可靠性、降低运维成本、保障通行畅通具有重要的理论与实践意义。

1 高速公路收费站机电设备运行存在问题

1.1 设备老化与选型适配性不足

部分设备超服役年限运行，车道控制器设备CPU负载率常超80%，交易响应延迟，在车流高峰时段易出现“卡死”；部分UPS设备服役超10年，无法满足断电后30分钟应急供电需求。选型未匹配区域环境，北方低温地区部分收费终端触摸屏因低温失效，年均故障次数较高。沿海高湿地区车道控制器内部元器件腐蚀，故障率比内陆地区高2倍。山区收费站因车流较小，选用高负载车道控制器，造成设备资源浪费与能耗增加。

1.2 运维管理不规范，缺乏系统性

日常巡检流于形式，部分收费站巡检仅记录“设备是否通电”，未检测核心性能参数，如ETC天线信号强度、车道控制器内存占用；某山区收费站因未定期清洁设备散热口，导致夏季车道控制器过热宕机。维护周期不科学，部分收费站按“固定月度”维护，未结合设备运行状态调整。如车流高峰路段设备负载高，仍按3个月维护一次，导致故障频发。而车流低谷路段设备过度维护，增加运维成本。人员技能不足，运维人员仅掌握基础故障排查，对ETC天线相位调试、收费系统软件

升级等复杂操作不熟练。

1.3 环境因素影响显著，防护措施缺失

南方高温高湿地区夏季温度35-40℃，湿度70%-85%，设备内部元器件受潮短路。北方冬季积雪融化后，雪水渗入设备接线盒，引发短路故障。粉尘与尾气影响，收费站车道周边车辆尾气含硫化物，长期附着设备表面会腐蚀外壳。粉尘堵塞设备散热口，导致CPU温度超70℃，引发设备自动关机。一些收费站机房未配备恒温恒湿系统，夏季机房温度达40℃以上，导致服务器运行不稳定。部分机房防静电措施缺失，静电击穿设备主板，年均造成2-3起重大故障。

1.4 应急响应机制滞后，处置效率低

多数收费站仅依赖“现场运维人员”，无跨路段支援机制，一些跨区域路段发生车道控制器故障后，2小时才调配到专业维修人员，导致车道关闭时间延长。部分设备无远程运维模块，故障发生后需人工现场排查，简单“软件卡死”故障也需运维人员到场重启，浪费人力与时间。备用设备储备不足，部分收费站仅储备1套备用车道控制器，当2个及以上车道同时故障时，无法快速更换。部分备用设备型号与在用设备不兼容，更换后无法正常运行。

1.5 数据协同性差，故障溯源困难

收费站收费系统、监控系统、运维系统数据相互独立，形成“信息孤岛”。收费系统记录的“交易失败数据”与监控系统的“设备状态数据”无法关联，无法判断交易失败是“车辆问题”还是“设备故障”；未利用历史故障数据、车流数据建立预警模型，无法预判设备负载高峰；当设备出现“间歇性故障”时，因无完整数据记录，无法追溯故障根源，导致故障反复出现。

2 高速公路收费站机电设备稳定运行原则

2.1 预防性运维优先原则

以“预防为主、事后维修为辅”为核心，通过“定期检测+状态监测”提前发现潜在故障，降低突发故障概率。相较于“事后维修”，预防性运维可将设备故障率降低40%以上，如每月检测UPS电池容量，可提前发现电池衰减问题，避免断电后应急供电失效；每季度检测ETC天线信号强度，可预防“信号弱导致交易失败”故障。

2.2 全生命周期管理原则

覆盖设备“选型-安装-运维-报废”全流程，每个环节严格把控：选型阶段匹配区域环境与车流规模，避免“适配性不足”；安装阶段规范施工，确保设备性能达标；运维阶段动态调整维护周期，延长设备寿命；报废阶段按标准评估，避免“超期服役”引发故障，实现设备全周期价值最大化。

2.3 智能化支撑原则

利用物联网、大数据技术提升运维效率：通过传感器实时监测设备状态，替代人工巡检；利用大数据分析故障规律，建立预警模型；通过AI算法自动识别故障类型，缩短排查时间，实现“运维从人工向智能”转型，提升设备运行稳定性与运维效率。

2.4 系统性协同原则

设备稳定运行是“硬件-软件-环境-人员”多要素协同的结果，硬件选型需匹配软件版本；环境改造需适配设备运行参数，如高温地区设备需配套散热系统；人员技能需覆盖设备全流程操作，避免“单一要素优化，整体效果不佳”。

2.5 应急保障优先原则

建立“快速响应、有效处置、最小影响”的应急机制，确保故障发生后：30分钟内启动处置，2小时内恢复运行，最大限度减少对通行的影响。应急保障需提前储备备用设备、明确队伍职责、构建远程支持体系，避免“故障扩大化”。

3 高速公路收费站机电设备稳定运行保障措施

3.1 构建设备全生命周期管理体系，夯实运行基础

3.1.1 科学选型匹配环境与需求

一是制定选型标准。按“区域环境+车流规模”分类选型。北方低温地区选用工作温度-30℃~60℃的收费终端，沿海高湿地区选用IP65防护等级的车道控制器；车流高峰路段选用高负载车道控制器，车流低谷路段选用经济型设备，避免资源浪费。选型前需测试设备与现有系统的兼容性，如ETC天线需支持GB/T 38708-2020《电子收费专用短程通信》标准，确保交易数据可正常上传。三是厂家协作。优先选择“提供全周期服务”的厂家，签订服务协议，明确故障响应时间。

3.1.2 规范安装严控施工质量

明确设备安装技术参数，车道控制器安装需接地电阻 $\leq 4\Omega$ ，ETC天线安装高度1.8-2.2米，收费终端与车道控制器间距 ≤ 5 米；安装过程需有监理人员在场，记录安装数据，形成《安装验收报告》。安装后需模拟“车流高峰、恶劣天气、设备过载”等极端工况：如通过模拟软件生成1000辆/小时的车流数据，测试设备交易稳定性；在高温环境下运行24小时，观察设备是否出现死机、卡顿。设备安装调试后，需连续稳定运行72小时，且核心参数达标，方可正式投入使用。

3.1.3 动态运维：按需调整周期

日常巡检由收费站现场人员完成，检查设备外观、指示灯、运行声音，记录《日常巡检表》。定期检测由路段运维人员完成，检测核心参数，使用专业工具。专项维护由厂家或专业团队完成，对设备内部清洁、元器件检测、软件升级。根据设备运行状态与环境调整维护频率：车流高峰路段设备每月检测1次，低谷路段每2个月检测1次；高温高湿地区设备每3个月专项维护1次，内陆干燥地区每6个月1次。为每台设备建立电子档案，记录“安装时间、维护记录、故障记录、参数变化”，通过档案分析设备老化趋势，如某车道控制器近3个月CPU负载持续上升，预判6个月后可需更换。

3.2 打造智能化运维体系，提升管理效率

收集近3年设备故障数据，通过大数据分析识别故障规律，如夏季高温时，车道控制器故障概率增加3倍；车流高峰时，ETC天线交易失败率上升15%，基于规律建立“温度-负载-故障”关联模型。当监测到“环境参数超标”或“设备负载异常”时，平台自动推送预警信息至运维人员，如“某收费站车道控制器CPU负载达75%，预计30分钟后可能宕机，请及时处理”。在春节、国庆等车流高峰前，平台根据历史数据预判设备负载高峰，提前推送“设备检查提醒”。

3.3 实施环境适应性改造，优化运行条件

3.3.1 设备防护改造，抵御外部侵蚀

为收费终端、车道控制器加装“防尘防水外壳”，外壳预留散热孔；北方低温地区设备加装“加热模块”，南方高温地区设备加装“强制散热风扇”；ETC天线加装“防腐蚀涂层”，抵御尾气与海水侵蚀。将设备接线盒更换为“防水密封型”，接线处缠绕防水胶带，避免雨水渗入；在接线盒内放置“干燥剂”，吸收潮气，防止线路短路。三是散热系统优化。对高负载设备加装“智能散热片”，通过温度传感器自动调节散热功率，既保证散热效果，又降低能耗。

3.3.2 机房环境升级，保障核心稳定

所有收费站机房安装恒温恒湿系统，控制温度20-25℃、湿度40%-60%，配备温度超标报警装置；机房地面铺设防静电

地板,运维人员配备防静电手环,设备机柜安装防静电接地端子,避免静电击穿元器件;机房采用“双回路供电”,确保断电后快速切换;配备气体灭火系统,避免火灾损坏设备,同时安装烟感、温感探测器,实现火灾早期预警。

3.3.3 外部环境治理,减少干扰因素

移除收费站车道旁遮挡 ETC 信号的树木,定期清理车道周边杂草与垃圾;在车道上方安装“防雨棚”,避免雨水直接冲刷设备;在收费站入口设置“车辆尾气检测点”,禁止尾气超标车辆通行;在车道两侧安装“喷雾降尘装置”。冬季降雪后,及时清理设备表面积雪,避免积雪融化渗入设备;夏季暴雨前,检查设备防水措施,在易积水区域放置“挡水板”。

3.4 建立高效应急响应机制,快速处置故障

3.4.1 远程诊断与处置系统

在车道控制器、服务器等核心设备安装远程运维模块,运维人员可通过省级平台远程登录设备,查看运行日志、修改参数、重启设备,80%的简单故障可远程处置,无需现场人员到场;在收费站车道安装“应急监控摄像头”,故障发生后,现场人员可通过摄像头实时展示设备状态,远程专家通过视频指导处置,如“指导现场人员调整 ETC 天线角度”;设备发生故障时,自动将运行日志、故障代码上传至运维平台,远程人员可快速分析故障原因,避免“盲目排查”。

3.4.2 备用设备储备与管理

按“故障频率+重要性”制定储备清单:每个收费站储备 1-2 套备用车道控制器、1 套 ETC 天线、2-3 块 UPS 电池;路

段级储备 3-5 套常用备用设备、1 套应急供电设备;区域级储备 5-8 套核心备用设备、1 套系统应急恢复设备。备用设备型号需与在用设备一致,或经测试兼容,定期测试备用设备,确保可正常使用;建立“省级备用设备调度平台”,实时显示各收费站、路段备用设备库存,故障发生后,平台自动推荐最近的备用设备调配点,支持“跨路段调配”。

3.5 加强人员能力建设,保障措施落地

建立“初级-中级-高级”运维技能认证,初级认证可从事收费站现场运维,中级认证可从事路段运维,高级认证可从事区域支援,认证与薪酬挂钩,激励人员提升技能;每年举办全省高速公路运维技能比赛,设置“故障排查速度赛”“设备调试精度赛”“应急处置赛”等项目,表彰优秀人员,推广先进经验。收集近 5 年典型故障案例,按“故障类型、处置步骤、原因分析、预防措施”分类整理,发放至所有运维人员,作为学习资料;三是师徒结对。

4 结论

高速公路收费站机电设备稳定运行是保障智慧交通发展、提升公众出行体验的关键。基于“预防性运维、全生命周期管理、智能化支撑”等原则,从设备全流程管理、智能化运维、环境改造、应急机制、数据协同、人员建设六大维度,构建了可落地的保障措施体系。随着 5G、AI、数字孪生等技术的发展,可进一步实现“无人化运维”,利用机器人完成设备巡检、简单故障处置推动“设备全生命周期数字化管理”,从选型到报废的全流程数据可追溯,持续提升设备稳定运行水平,为高速公路智慧化发展提供坚实支撑。

参考文献:

- [1] 熊向年甜.高速公路收费站机电设备安装工艺优化及效率测评分析[J].交通科技与管理,2025,6(07):168-170.
- [2] 郑海洋.智慧高速公路收费站入口治超系统机电设备安装分析[J].智能建筑与智慧城市,2025,(03):140-142.
- [3] 刘时雨.基于物联网的高速公路收费站机电设备状态在线监测方法[J].装备制造技术,2025,(02):44-47.
- [4] 游国庆.基于改进 BP 神经网络的高速公路收费站机电设备故障智能诊断方法[J].工程机械与维修,2024,(09):74-76.
- [5] 陈广辉,喻恺,李欣.基于 VR 的高速公路收费站机电运维实训系统研究[J].中国交通信息化,2024,(S1):191-195.