

## 高速公路机电设备预防性维护与定期检修制度优化

盖梦炜

石家庄市交投津石高速公路建设管理有限公司深正分公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]高速公路机电设备作为交通关键系统,其运行稳定性对路网通行效率与安全水平有着直接的影响。然而,当前我国高速公路机电设备维护多采用传统模式,无法满足在智能化升级背景下设备运维的高质量需求。文章聚焦预防性维护与定期检修的协同优化,构建科学高效的维护检修制度以及设计配套保障措施,促进高速公路机电设备安全稳定长效运行,以供参考。

[关键词]高速公路;机电设备;预防性维护;定期检修;制度优化;可靠性管理

DOI: 10.33142/sca.v9i1.18952

中图分类号: U231.8

文献标识码: A

### Optimization of Preventive Maintenance and Regular Overhaul System for Mechanical and Electrical Equipment on Highways

GE Mengwei

Shenzheng Branch of Shijiazhuang Communication Investment Jinshi Expressway Construction Management Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** As a key transportation system, the operational stability of highway electromechanical equipment has a direct impact on the efficiency and safety level of road network traffic. However, the current maintenance of mechanical and electrical equipment on highways in China mostly adopts traditional modes, which cannot meet the high-quality requirements of equipment operation and maintenance in the context of intelligent upgrading. The article focuses on the collaborative optimization of preventive maintenance and regular maintenance, constructing a scientific and efficient maintenance and repair system, and designing supporting measures to promote the safe, stable, and long-term operation of highway electromechanical equipment for reference.

**Keywords:** highway; mechanical and electrical equipment; preventive maintenance; regular maintenance; institutional optimization; reliability management

#### 引言

随着我“智慧交通”战略的深入推进,机电设备已成为保障高速公路全天候、全时段安全畅通的核心支撑。高速公路机电设备体系承担着交通数据采集、收费服务、安全预警等职能,因其运行环境较为苛刻、维护作业窗口严格等特点。维护检修的主要任务是确保系统能够更加稳定的运行,从而延长机电设备的使用寿命,当前主要分为两大类,一种是定期检修,另一种是预防性维修,后者主要是通过密切监测设备运行的具体情况,提前预判事故的风险,并及时采取相应的处理措施。定期检修则是定期全面检查设备的运行状况,及时发现渐进性缺陷。两者的有机协同,可以有效降低故障的发生率。当前,我国高速公路机电设备维护检修周期依赖经验设定,缺乏完善的管理体系,预防性维护的应用尚处于起步阶段,难以实现故障精准预判,制约了维护检修工作的效能。基于此,本文针对现有制度存在的核心问题,开展预防性维护与定期检修制度优化研究,为我国高速公路机电设备运维管理的转型升级提供参考。

#### 1 理论基础与核心概念解析

##### 1.1 核心概念界定

###### 1.1.1 高速公路机电设备

高速公路机电设备具有系统性、专业性、环境适应性

要求高的特征,具体分类及核心功能如下表所示。

表1 高速公路机电设备核心子系统分类及功能

子系统类型	核心设备	核心功能
监控系统	摄像头、雷达、情报板、气象站、车辆检测器等	实时采集交通流量、路况、气象等数据,发布预警信息,辅助交通管控
通信系统	光纤、交换机、路由器、通信基站、光端机等	实现各子系统数据传输、指令交互,保障路网信息互联互通
收费系统	ETC门架、车道控制器、读卡器、栏杆机、称重设备等	完成车辆收费、交易记录、数据统计,保障收费服务高效便捷
供配电系统	变压器、UPS电源、配电箱、电缆、防雷设备等	为各类机电设备提供稳定电力供应,防范供电故障

##### 1.1.2 预防性维护

预防性维护主要是指在设备发生故障之前,通过预判及时发现潜在的故障风险,并及时采取相应的处理措施,从而减少非计划停机时间,降低设备故障的发生率以及故障处置成本。

##### 1.2 理论基础

可靠性理论是预防性维护与定期检修制度优化的核

心理论支撑，其核心是研究设备在规定时间内、规定条件下完成规定功能的能力，通过分析设备的故障规律、性能退化趋势，为维护策略制定提供科学依据。

早期故障期主要源于设备安装缺陷、零部件磨合不足等，此阶段的维护重点是加强状态监测，及时优化设备运行参数；偶然故障期故障发生率较低且相对稳定，此阶段的维护重点是定期检修与日常巡检结合，保障设备正常运行；耗损故障期故障发生率快速上升，此阶段的维护重点是强化预防性维护，增加检修频次必要时进行设备更新。

生命周期管理理论是将设备视为一个生命周期，对不同生命周期阶段的适配状态进行个体化的管控，采购安装阶段，为了减少后期维护的隐患，重点关注设备的质量。在运行中期，设备随着长时间的运行性能也逐渐退化，进一步提高了故障的发生风险。运行后期设备老化严重，维护成本激增，评估设备更新需求，实现维护成本与运行可靠性的平衡。

## 2 高速公路机电设备维护检修制度现状及问题分析

### 2.1 维护检修制度现状

目前高速公路机电设备的维护检修主要通过定期检修，主要以行业规范为依据，制定统一的检修周期，主要检测设备的基础项目，例如功能测试、接线紧固。同时采用预防性维护为辅的模式，部分发达地区试点部署状态监测系统，虽然可以对 ETC 门架、变压器等核心设备进行监测，但是整体的覆盖率并不高，且监测数据的分析应用多停留在数据采集层面。随着机电设备的复杂性大幅增加，传统维护检修制度的局限性日益凸显，导致我国高速公路机电设备的故障发生率较高，也增加了维护成本。

### 2.2 核心问题分析

目前多数高速公路的定期检修主要根据运营经验以及行业规范进行合理的设定，但是因检修周期时间过长，因此，未能第一时间发现隐患，未能及时处理，导致故障频发。低负荷设备检修的周期比较短，这也会造成资源的浪费。检修周期的设定对处于耗损故障期的设备未增加检修频次，检修工作缺乏针对性与系统，难以发挥定期检修的核心作用。当前我国高速公路机电设备状态监测技术覆盖率低，未能实现真正的主动防控，难以全面捕捉设备运行异常，缺乏专业的数据分析平台，只是简单的记录监测数据，未能通过数据分析预判故障风险，难以消除潜在故障隐患。振动传感器、红外热像仪等智能化监测设备的应用普及率低，多数路段主要依赖人工巡检。维护内容不全面，部分运营单位忽视软件系统的调试与漏洞修复，缺乏标准化的作业指导书、维护质量验收机制，无法消除隐患，导致维护工作流于形式。多数运营单位未建立有效的协同机制，加之人员专业能力不足，不利于维护检修制度的落实。高技能运维人员集中在核心路段与管控中心，偏远路

段运维人员专业能力不足，且人员数量不足。

## 3 高速公路机电设备预防性维护与定期检修制度优化设计

### 3.1 检修周期动态优化：基于设备分类与生命周期的差异化设定

根据机电设备的重要性、运行负荷、故障影响范围，将设备分为核心设备、重要设备、一般设备三个等级，不同等级设备的检修优先级与周期设定不同，具体分类标准如下表所示。

表 2 高速公路机电设备分类分级标准

设备等级	划分标准	典型设备	检修优先级
核心设备	直接影响路网安全与通行效率，故障后造成重大损失	变压器、UPS 电源、主干光纤、核心交换机、ETC 门架控制器	最高
重要设备	影响局部路段运行，故障后造成较大影响	摄像头、雷达、收费站车道控制器、通信基站	中等
一般设备	辅助性设备，故障后影响较小，易修复	应急照明、情报板、辅助读卡器、小型配电箱	最低

针对不同等级、不同生命周期阶段的设备，设定差异化的定期检修周期，并建立周期动态调整机制，具体周期设定如下表所示。

表 3 不同生命周期阶段设备定期检修周期设定

设备等级	早期故障期 (1~2 年)	偶然故障期 (2~8 年)	耗损故障期 (8 年以上)
核心设备	日常巡检(每日)、 常规检修(每月)、 全面检修(每半年)	日常巡检(每日)、 常规检修(每2个月)、 全面检修(每年)	日常巡检(每日)、 常规检修(每月)、 全面检修(每半年)
重要设备	日常巡检(每周)、 常规检修(每2个月)、 全面检修(每年)	日常巡检(每周)、 常规检修(每3个月)、 全面检修(每年)	日常巡检(每周)、 常规检修(每2个月)、 全面检修(每年)
一般设备	日常巡检(每月)、 常规检修(每3个月)、 全面检修(每2年)	日常巡检(每月)、 常规检修(每6个月)、 全面检修(每2年)	日常巡检(每月)、 常规检修(每3个月)、 全面检修(每年)

### 3.2 维护内容标准化：分系统、分等级明确维护要点

**硬件：**定期清洁摄像头镜头、雷达探头、交换机等设备；校准摄像头云台、气象站传感器；检查情报板、防护外壳、接线及供电；排查光纤接头、通信线路问题；测试通信信号、端口状态、基站运行，升级软硬件，优化网络，测试应急链路。**软件：**调试监控平台功能，更新固件，修复漏洞，测试系统联动性能。**收费设备维护：**清洁 ETC 门架等设备；校准读卡器、栏杆机；检查接线；备份收费数据。**定期检修：**测试车道控制器等设备，换故障件；检查供电，升级软件，更新费率，修复漏洞，测试数据交互；清洁变压器等，检查电缆、接线端子；测试 UPS 电源，校准参数，换老化电池；检查防雷设备，测试性能。**供电设备维护：**测试变压器，排查绝缘隐患；检查配电箱开

关等，换故障部件，调试保护装置，排查隐患，做好接地、防雷防护。

### 3.3 技术手段智能化：强化预防性维护的技术支撑

#### 3.3.1 构建全范围状态监测体系

扩大状态监测覆盖范围，实现四大子系统所有核心设备与重要设备的全覆盖，构建“感知层-传输层-应用层”的智能化状态监测架构，实时采集设备运行参数将监测数据实时传输至运维管理平台，确保数据传输的实时性与完整性，实现数据的集中管理与统一展示

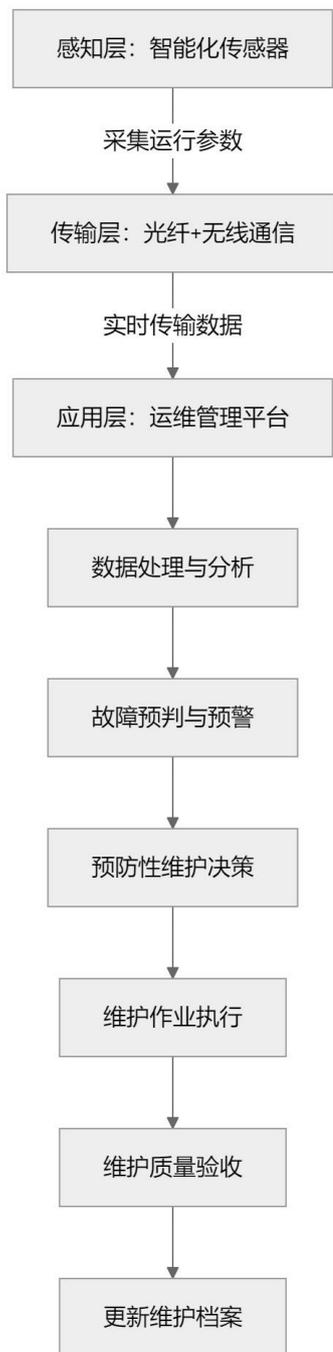


图1 智能化状态监测与预防性维护流程

#### 3.3.2 建立大数据驱动故障预判模型

基于运维管理平台整合的多源数据利用大数据分析人工智能算法，建立设备故障预判模型对采集的监测数据进行标准化处理，消除噪声数据等，提取有效特征，利用历史故障数据与维护记录，挖掘设备运行参数与故障发生的关联关系通过模型对实时监测数据进行分析，提醒运维人员及时采取干预措施，定期利用新的故障数据与维护记录，提升故障预判的精准度。

#### 3.3.3 推广智能化维护设备与技术

加大智能化维护设备的投入与应用，提升维护检修的效率与精准度推广应用智能巡检替代人工巡检，提升巡检效率，推广应用红外热像仪、光纤测试仪、振动分析仪等专业检测设备，及时发现早期故障隐患应用远程调试与远程维修技术，减少现场维护工作量，缩短故障处置时间。

#### 3.4 管理体系规范化：完善协同与考核机制

组建运维管理领导小组，对于维护检修制度的制定与落实进行统筹负责，协调解决设备维护检修工作中的问题。对于部成员的职责进行明确，管控部门主要实时监控设备的运行状态，运维部门主要负责设备维护检修的执行以及故障处理，采购部门的主要职责是负责设备以及备件的采购与供应。建立专业化的运维人员队伍，招聘具备物联网、机电设备维护等专业技能的人才，完善建立人员考核与激励机制，定期组织运维人员开展技术交流活动，提升整体运维水平。依路段设备数量、等级合理配备运维人员，使高技能人员均衡分布于各路段，并建立调配机制，保障故障及时处理。构建标准化备件储备体系，按设备故障频率与备件需求合理储备，实施备件库存动态管理，避免积压。

### 4 制度优化的保障措施

在结合行业规范的同时，充分考虑到地方的实际情况，基于具体情况构建完善的政策支持体系，对于制度执行的具体要求与标准进行明确。另外，为了保障制度的有效执行，成立监督小组，定期监督检查设备维护检修制度的执行情况，对于违反制度的单位以及个人，及时进行相应的批评，并责令期限进行整改。加大政府财政的投入力度，确保高速公路机电设备维护检修资金，充足及时到位，对于维护检修资金的使用申请等各个环节进行全面的监管，进一步提高资金的使用效益。建立完善的安全事故应急预案，对于检修期间可能发生的各类安全事故，及时制定明确的应急处理流程，对各部门各岗位的职责进行明确的划分，以确保在事故发生之后能够第一时间启动并响应应急预案，从而最大限度的降低事故的影响。加大科研投入，充分融入人工智能技术手段，在设备状态监测方面，系统通过实时采集和分析各类传感器数据，能够精准识别设备运行异常，及时预警潜在风险。这种主动式管理模式有效避免了传统被动维修带来的经济损失，大幅提高了设备的使用寿命和运行效率。其次，故障自动派单功能则实现运

维工作的智能化与信息化管理。维保记录分析模块通过对历史数据的深度挖掘,可以帮助运维人员发现规律性问题,优化维护计划,降低运维成本。

## 5 结论与展望

高速公路机电设备预防性维护与定期检修制度优化是关键举措,本文基于相关理论分析当前制度核心问题,从检修周期动态优化、维护内容标准化、技术手段智能化、管理体系规范化四个维度构建优化体系,并制定四大配套保障措施。优化后制度实现协同,降低故障率、延长寿命、控制成本,推动维护工作转变,提供理论支撑与实践路径。智慧交通发展下,未来可从融合数字孪生技术、推广区块链技术、构建智能化运维云平台、探索 5G 技术远程维护与智能巡检等方面深化维护检修制度优化完善。

### [参考文献]

- [1]张新斌.浅谈高速公路机电设备的维护保养[J].四川水泥,2018(11):62.
- [2]郝焱伟.高速公路机电设备的常见故障与防范措施[J].中国高新科技,2018,11(20):112-114.
- [3]王鹏.高速公路机电设备故障及其预防策略[J].黑龙江科学,2020(10):108-109.
- [4]欧楚锐.高速公路机电设备故障的预防及控制[J].欧楚锐.中国交通信息产业,2010(2):24-25.
- [5]邵志鹏.论高速公路机电设备故障的维护和维修的高效管理策略[J].电子元器件与信息技术,2018(5):28-31.
- [6]隆忠华.高速公路机电设备故障维护和维修的高效管理[J].科技创新与应用,2015(31):231.
- [7]周东坚.高速公路机电设备维护和管理措施研究[J].运输经理世界,2022(36):160-162.
- [8]郭鑫.高速公路机电设备故障维护分析及维修的高效管理[J].交通世界,2021(12):219-220.
- [9]杜森.高速公路机电设备故障的维修与维护研究[J].黑龙江交通科技,2021,44(2):240-241.
- [10]胡鱼园,庄发彬.高速公路机电设备故障维修与维护措施探讨[J].科技风,2021(2):166-167.

作者简介:盖梦炜,当前就职单位:石家庄市交投津石高速公路建设管理有限公司深正分公司。