

高速公路机电系统的运维管理与优化策略

姚泽维

广西交通投资集团梧州高速公路运营有限公司, 广西 梧州 543000

[摘要]随着全球经济的持续发展和城市化进程的加速,交通基础设施,尤其是高速公路,已经成为国家经济发展的重要支柱之一。高速公路的机电系统在确保交通顺畅、保障行车安全以及优化交通管理等方面发挥着至关重要的作用。该系统涉及多个领域,包括收费管理、监控设施、照明设备及信息传输系统等。随着技术的快速发展及信息化的推进,机电系统的技术复杂性不断增加,这在提升交通效率的同时,也给运维管理带来了前所未有的挑战。复杂的设备类型与高度集成的系统增加了运维管理的难度,在保证设备正常运行、减少故障发生、提升运维效率等方面,亟需更有效的管理手段。尤其是智能化、自动化技术的引入,为提升运维效率提供了全新的解决路径。此文将重点探讨高速公路机电系统的运维现状,分析目前存在的主要问题,并结合先进的技术手段,提出一系列优化策略,旨在为未来智能交通系统的建设提供参考与支持。

[关键词]高速公路; 机电系统; 运维管理; 智能化; 全生命周期管理

DOI: 10.33142/sca.v8i5.16442

中图分类号: U418.7

文献标识码: A

Operation and Optimization Strategies for the Electromechanical System of Highways

YAO Zewei

Guangxi Communications Investment Group Wuzhou Expressway Operation Co., Ltd., Wuzhou, Guangxi, 543000, China

Abstract: With the continuous development of the global economy and the acceleration of urbanization, transportation infrastructure, especially highways, has become one of the important pillars of national economic development. The electromechanical system of highways plays a crucial role in ensuring smooth traffic, ensuring driving safety, and optimizing traffic management. This system involves multiple fields, including fee management, monitoring facilities, lighting equipment, and information transmission systems. With the rapid development of technology and the advancement of informatization, the technical complexity of electromechanical systems continues to increase, which not only improves traffic efficiency, but also brings unprecedented challenges to operation and maintenance management. The complex types of equipment and highly integrated systems increase the difficulty of operation and maintenance management. In order to ensure the normal operation of equipment, reduce the occurrence of failures, and improve operation and maintenance efficiency, more effective management methods are urgently needed. Especially with the introduction of intelligent and automated technologies, a new solution path has been provided to improve operational efficiency. This article will focus on the current operation and maintenance status of highway electromechanical systems, analyze the main problems that exist, and propose a series of optimization strategies based on advanced technological means, aiming to provide reference and support for the construction of future intelligent transportation systems.

Keywords: highway; mechanical and electrical systems; operation and maintenance management; intelligentization; whole life cycle management

随着交通需求的增加与技术的发展,高速公路已成为现代交通网络中的核心部分。机电系统作为高速公路的重要组成部分,涵盖了收费系统、监控系统、照明设备、隧道通风等设施。这些设备通过信息化管理、设备监测与数据分析等手段,实现了高速公路的高效运转。然而,随着设备种类日益增多,系统集成度不断提高,运维管理面临的挑战也愈加严峻。机电设备在复杂多变的环境下运行,受到恶劣气候等外部因素的影响,导致设备故障频发,影响了高速公路的整体稳定性与安全性。此外,传统的人工巡检与手动操作模式已不再能满足现代高速公路对高效运维管理的需求,智能化管理成为行业发展的新趋势。在此背景下,引入先进的技术,如物联网、大数据、人工智

能等,成为提升运维管理效率、降低故障率的关键。

1 高速公路机电系统运维的现状与挑战

1.1 设备运行及技术应用面临的挑战

机电设备的分布范围较广,长期处于户外环境运行,对外部气候条件的适应能力要求较高。在冰冻、暴雨等极端天气影响下,设备的物理结构易受损害,导致其稳定性下降^[1]。例如,线路因老化出现安全隐患,绝缘层在长期使用过程中可能发生破损,进而引发设备短路或故障。据统计,硬件问题所导致的机电系统故障比例高达40%,其中,绝缘性能降低和线路老化成为主要原因。与此同时,机电系统的复杂性不断增加,系统集成度日益提高,设备的更新换代速度加快,给运维工作带来了新的挑战。

1.2 维护管理体系的不足

1.2.1 设备维护标准尚未统一

不同地区的高速公路在机电设备选型、技术标准和品牌规格上存在较大差异,但针对设备维护的统一标准尚未建立。在运维过程中,由于各路段设备型号不一,技术参数和操作规范存在明显差异,使得设备诊断与维修流程变得更加复杂。技术人员在排查故障时,需要针对不同设备采取个性化的维护措施,降低了故障处理的效率,也增加了维护的难度。

1.2.2 预防性维护体系尚不完善

目前的运维模式仍以被动维修为主,基于设备运行状态的预测性维护尚未得到广泛推广。机电设备通常在发生故障后才进入检修流程,导致维修响应时间较长,平均修复时长已超过 4 小时^[2]。长期依赖此类维护方式,不仅增加了运维成本,也难以确保设备长期稳定运行。特别是对于收费系统、通信设备等关键机电设施而言,因故障未能及时排除而导致的停机现象,将直接影响道路运营和数据安全。

1.2.3 应急处置能力存在短板

针对突发故障的快速响应能力仍然存在明显不足。许多高速公路在应对紧急事件时,由于备件储备量有限,抢修方案不够完善,导致重大设备故障发生后,系统恢复时间延长。例如,服务器宕机、数据传输异常等问题,在抢修预案不健全的情况下,往往需要较长时间才能修复,直接影响联网收费系统的稳定运行。此外,在故障处置过程中,由于缺乏统一的调度机制和应急管理体系,道路通行也会受到一定程度的干扰。

1.3 人力资源配置的制约

运维工作的高效开展依赖于专业技术人员的支撑,但当前行业内具备深厚专业知识和实践经验的技术人才储备仍显不足。与此同时,技术人员的流动性较大,导致经验积累缓慢,影响机电系统运维工作的连续性和稳定性。一些高速公路路段,由于维护团队整体经验不足,在过去一年的机电设备故障率出现明显上升。随着物联网、大数据等智能化技术的深度应用,机电设备的维护对运维人员的知识结构提出了更高的要求^[3]。然而,传统的培训体系在课程内容和技能培养方式上,仍然难以满足当前机电系统智能化运维的需求。部分技术人员对交叉学科的理解有限,难以精准掌握新型设备的运维技能,导致整体维护水平受到一定制约。

2 运维管理优化策略

2.1 构建全生命周期管理体系

2.1.1 设备全流程管理的系统化设计

为了提升机电设备的运行稳定性,必须在设备规划、采购、使用、维护及报废的全过程中实施系统化管理。针对选型环节,应优先采用模块化设计方案,以增强设备的

兼容性,提高备件的通用率,进而减少维护工作中因零部件匹配问题导致的延误。管理环节衔接的紧密程度直接影响运维工作的顺畅度,统一的标准化体系在落实后,不仅使各环节的责任分工更加清晰,也在很大程度上降低了安全隐患。合理的全生命周期管理模式,不仅能优化设备资源配置,还能提高维护工作的科学性,最终推动高速公路机电系统向更加高效和智能的方向发展。

2.1.2 分级维护机制的优化

由于高速公路机电设备的功能不同,其维护需求和重要性也存在较大差异。针对核心设备,如收费服务器、通信枢纽等,通常采用预防性维护方式,并配置双机热备系统,以最大限度减少因设备故障导致的业务中断。而对于显示装置、照明系统等辅助设备,则采取定期检修的方式,以控制维护成本。研究表明,运维策略经过优化调整后,整体故障率明显下降,维护资源的利用效率也得到提升。在实施分级维护管理后,设备的检修频率得以合理分配,突发故障的响应时间相较过去大幅缩短,系统的稳定性也随之增强。

2.1.3 数据驱动下的决策优化

机电设备运行过程中产生的大量数据,为科学制定维护策略提供了支撑。构建高效的设备数据库,将故障类型、维修记录、运行时长等关键信息进行存储和分析,使设备运行状态的评估更加精准。基于大数据分析技术,可对设备故障模式进行预测,识别潜在风险并提前介入,以优化维护周期,降低突发故障的发生概率。数据驱动的决策模式,不仅能够减少不必要的人工干预,还使维护工作的计划性和可控性得到加强,资源配置的合理性也随之提高。

2.2 智能化技术的深度应用

2.2.1 物联网技术助力实时监测

物联网技术的广泛应用,使得机电设备的远程监测和智能运维成为现实。通过部署传感器、GIS 平台等智能监控手段,对 UPS 电池电量、隧道通风系统等关键参数进行实时监测,一旦数据异常,系统便可立即发出预警信号,以便运维人员迅速采取应对措施。广西某高速公路在 2024 年春节期间的运行监测数据表明,借助运行监测系统,成功识别拥堵事件 161 起,整体应急响应速度提升近 40%。智能化的监测系统不仅提高了对设备运行状态的感知能力,同时也为管理决策提供了精准的数据支持。

2.2.2 人工智能推动故障诊断效率提升

在设备故障排查过程中,传统依赖人工巡检的模式往往存在效率低、误判率高的问题。人工智能技术的引入,使得故障诊断逐步向自动化方向发展。基于机器学习算法,历史故障数据可被深入分析,以精准识别问题发生的规律并快速定位故障源。以湖南潭衡西高速公路为例,AI 辅助诊断系统的应用使机电故障的定位时间缩短至 20 分钟以内,较以往方式相比,响应速度大幅提升。智能诊断系

统的不断完善,将使故障预警和维修流程更加高效,减少因突发故障导致的交通运营中断。

2.2.3 区块链技术确保数据安全

收费系统的稳定性和数据安全性在高速公路机电运维中占据关键地位。区块链技术的应用,使收费数据能够以不可篡改的方式进行存储,进而降低逃费、数据篡改等违规行为的发生概率。同时,智能合约技术的使用,使得数据审核和财务结算流程更加透明。基于区块链技术构建的数据管理体系,使高速公路收费系统的安全性得到显著提升,并有效减少人工干预所带来的潜在风险。

2.3 强化应急保障与冗余设计

2.3.1 多层次应急响应机制的构建

突发事件如供电故障、网络攻击等,对高速公路机电系统的稳定性构成巨大挑战。针对不同类型的紧急情况,应建立多层次应急响应机制,并结合定期演练,使运维人员在面对突发状况时能够迅速作出判断并采取相应措施。对于设备密集区域,如省界收费站,应配置柴油发电机和备用光纤链路,以确保在紧急情况下,系统仍可保持至少72小时的持续运行。完善的应急管理体系,使设备的恢复时间大幅缩短,同时降低突发事件对道路运营的影响。

2.3.2 备件供应链的优化

设备的高效维护离不开完善的备件供应体系。面对传统备件供应链响应缓慢的问题,应建立区域级备件共享库,并采用“中心仓库+移动仓储”模式,以缩短备件调配时间。结合智能调度系统的应用,关键零部件的配送时间被压缩至2小时以内,极大地减少了因备件短缺导致的维修延误现象。备件供应链的优化,使运维工作更加高效,为机电系统的长期稳定运行提供了有力保障。

3 人员培训与团队建设

3.1 精准化培训体系

随着高速公路机电系统设备日益复杂,单纯依赖传统的培训方式已显得捉襟见肘。为应对这种挑战,培训体系的精准化显得尤为重要。通过将培训内容与运维人员的技术水平相匹配,可以提高培训的针对性和实效性。分层培训、案例库建设、实战模拟等手段将帮助员工提高故障诊断能力、应急处置能力,并增强其在实际工作中的适应性。

3.1.1 分层培训模式的实施

高速公路机电系统涉及的设备种类繁多,岗位要求各异,不同层级员工对技能的要求存在差异。因此,实施分层培训策略显得至关重要。根据岗位的技术需求,可以将运维人员分为“新手—熟手—专家”三个等级,分别设计适应不同技能水平的培训课程。对于新入职的员工,应重点讲授设备的基础知识、常见故障的排查技巧及标准操作流程等内容;而有一定经验的员工则应进一步提升对设备故障的诊断与修复能力,特别是针对一些复杂的技术难题,提升其解决问题的独立性。专家级别的人员,除了强化对

设备优化、数据分析、故障趋势预测等方面的能力,还应提升其在突发情况中的指挥能力及团队管理能力。

3.1.2 实战模拟与案例库的建设

在运维人员的培训中,理论学习固然重要,但面对复杂多变的工作场景,实战演练的价值更加突出。通过建立虚拟仿真平台,模拟车道设备故障、网络攻击、电力中断等常见故障场景,员工可以在没有实际风险的情况下进行应急处置演练,从而提升应急反应能力。与此同时,建立包含不同类型设备故障案例的案例库,可以让运维人员在面对具体故障时,迅速查找解决方案。

3.2 激励机制与职业发展

3.2.1 绩效考核与激励机制的实施

对于高速公路机电系统的运维人员来说,明确的绩效考核体系能有效提高员工的工作动力。绩效考核应根据各岗位的工作特点,制定科学的评价标准,包括设备完好率、故障修复时间、备件周转率等关键指标^[4]。通过这些指标与奖金、晋升等挂钩,能够激励员工更加高效地完成任务。建立与职业发展的激励机制,能让员工看到自身努力的成果,从而激发其持续学习与提升的动力。

3.2.2 跨部门协作机制的构建

在高速公路机电系统的运维过程中,常常需要不同部门的协作才能顺利解决复杂的设备故障问题。为此,跨部门的协作机制非常关键。通过设立技术攻关小组,电力、通信、运维等多个部门能够共同讨论、分析并解决设备出现的复合型故障,如雷击导致的通信中断等。通过跨部门的密切合作,各部门的专业技能可以互补,有效提升问题处理的效率。例如,在处理突发事件时,电力部门负责排查供电问题,通信部门修复线路,运维人员则通过监控系统检查设备状态,并协调各部门的工作。为了进一步提升跨部门的协作效率,定期举行技术研讨会和经验分享活动也显得尤为重要。通过这些活动,不仅增强了各部门之间的沟通与了解,还促进了技术的共同进步,提升了团队的凝聚力。

4 智慧协同与生态化运维体系建设

4.1 车路协同技术的深度融合

在智能网联技术快速发展的背景下,机电系统与车载终端的双向数据交互能力得到显著增强。通过路侧感知单元(RSU)与车载OBU的协同通信,构建了实时动态的运维响应网络。当车辆传感器检测到路面异常或设备运行故障时,系统能够自动生成工单并触发多级预警机制,实现“前端感知—云端分析—终端处置”的闭环管理。例如,江苏沪宁高速通过部署车路协同平台,实现了对设备状态的主动监测,异常事件的发现与处置效率达到行业领先水平。该模式不仅提升了设备维护的时效性,还为未来自动驾驶与道路基础设施的深度协同奠定了基础。

4.2 数字孪生技术的深度应用

基于数字孪生技术构建的机电系统三维可视化模型,

实现了物理设备与虚拟空间的实时数据映射与交互。通过在虚拟环境中模拟设备运行工况,可精准预测关键部件的剩余寿命,并制定针对性的维护计划。广东虎门大桥通过数字孪生平台对桥梁机电设备进行全维度监测,显著提升了故障预判能力,为大型交通基础设施的运维管理提供了创新范式。该技术还可用于应急预案的数字化推演,通过构建多场景仿真模型,形成最优处置策略库,大幅提升突发事件的应对效率。

4.3 能源管理体系的绿色转型

针对隧道群等能耗集中区域,构建了融合光伏发电、储能系统与智能调控的能源管理体系。通过整合光照传感器、车流量预测算法与设备控制系统,实现了照明亮度、通风强度的动态优化调节。秦岭终南山隧道应用该体系后,在确保行车安全的前提下,有效降低了能源消耗。同时,通过建立设备能效评价标准,将能耗指标纳入设备采购与更新决策体系,推动高耗能设备的技术迭代,促进高速公路机电系统向低碳化方向转型。

4.4 开放式运维生态构建

通过搭建行业级协同平台,整合设备制造商、技术研发机构与养护单位的资源优势,形成多方参与的运维生态系统。浙江“智慧高速运维云”平台通过标准化 API 接口开放设备数据接口,吸引第三方开发者开发专业化运维工具,目前已形成涵盖设备健康评估、环境风险预警等功能的智能应用集群。这种开放共享模式不仅提升了运维工具的创新活力,还通过生态伙伴的技术互补,有效解决了单一主体技术能力不足的问题。

4.5 标准化与区域协同发展

针对跨区域设备兼容性问题,推动建立省级行政单元间的技术标准协同机制。长三角地区通过统一设备通信协议、共享备件仓储资源、互认维保资质等措施,构建了区

域运维联盟。成渝双城经济圈开展的联合应急演练表明,标准化协同机制可有效提升省界设备的故障处置效率。这种区域协同模式打破了传统行政壁垒,通过技术标准互认与资源共享,为全国高速公路机电系统的互联互通提供了可复制的实践范例。

5 结语

在智能化技术革新与交通需求升级的双重驱动下,高速公路机电系统运维管理正经历着从传统模式向智慧化生态体系的深刻转型。本研究通过构建全生命周期管理体系、深化智能技术应用、完善应急保障机制等策略,系统性地解决了设备异构性突出、维护标准缺失、应急响应滞后等关键问题。实践表明,基于物联网的实时监测体系可使设备异常识别效率大幅度提升,人工智能诊断系统将故障定位时间压缩较传统模式大幅下降,区块链技术更实现了收费数据篡改率的突破性下降。未来,车路协同技术的深度整合将推动运维模式向“移动端预警-云端决策-路端处置”的立体化架构演进,而区域协同运维联盟的建立则为跨行政边界的设备管理提供了创新范式。建议行业进一步强化标准化建设,加快构建包含设备厂商、科研机构、养护单位等多方参与的开放式运维生态,通过数据共享与技术创新持续提升系统韧性,最终实现机电系统“全要素感知、全周期管控、全链条服务”的智慧化运维目标,为交通强国战略实施提供坚实的技术支撑。

[参考文献]

- [1] 费志雄. 高速公路机电系统智能化运维管理体系探究[J]. 电子元器件与信息技术, 2024, 8(4): 83-84.
 - [2] 毕仕昌, 简皓亮, 杨传鑫. 高速公路机电设施智能运维系统设计研究[J]. 运输经理世界, 2024(27): 124-126.
- 作者简介: 姚泽维 (1995.10—), 性别: 男, 职称: 助理工程师, 籍贯: 广西苍梧县。