

高速公路机电养护标准化管理实施路径研究

徐学云

广东新粤交通投资有限公司 广东 广州 510000

摘要：高速公路机电系统是保障路网安全高效运营的核心基础设施，其养护管理质量直接影响道路通行效率与公众出行体验。针对当前机电养护中存在的作业规范不统一、运维流程不闭环、备件管理粗放等突出问题，本文从标准化管理视角出发，分析了高速公路机电系统的运行特征与养护管理现状，构建了涵盖原则层、架构层、实施层和评估层的四层级标准化管理体系框架，提出了以组织责任落地、分类分级作业推进、数字化赋能、安全应急管理和人员能力建设为核心的多维实施路径，并建立了多维效果评估与动态迭代改进机制。标准化管理是提升机电养护质量、降低运维成本的有效手段，研究成果可为同类运营单位提供实践参考。

关键词：高速公路机电养护；标准化管理；智能运维；实施路径

引言：高速公路机电系统涵盖监控、通信、收费、供电与照明、隧道机电五大子系统，是高速公路的“神经中枢”与“动力心脏”，其运行状态直接决定路网的通行效率与安全保障能力。随着我国高速公路通车里程突破 18 万公里，机电设施总量持续攀升，养护任务日益繁重。标准化管理作为现代运维体系建设的重要抓手，可有效破解上述难题。本文从运行特征分析入手，系统研究高速公路机电养护标准化管理的体系框架与实施路径，旨在为行业管理提升提供系统性的方法指导。

1 高速公路机电系统运行特征与养护管理现状分析

1.1 高速公路机电系统核心构成与运行特点

高速公路机电系统按功能划分为监控、通信、收费、供电与照明、隧道机电五大子系统。监控系统由外场摄像机、可变情报板、交通流及气象检测器、监控中心大屏与服务器等组成，负责路段状态实时采集与调度指挥。通信系统依托 SDH/MSTP 或 OTN 光传输设备、光纤配线架及以太网交换机，承担数据、语音和图像传输任务。收费系统包括 ETC 门架系统（RSU 天线、车道控制器）、混合车道设备及站级服务器与网络安全设备，完成通行费计收。供电与照明系统涵盖高压进线、变压器、配电柜、UPS/EPS、发电机组及路灯等设施。隧道机电系统集成通风（射流风机、轴流风机及 CO/VI 检测器）、照明（基本、加强及应急照明）、消防（消火栓、火灾报警探测器、紧急电话）及监控（洞内摄像机、车道指示器、横洞卷帘门）等专属设施。五大子系统呈“线长、点多、面广”分布，设备繁杂、品牌多样，具有高技术含量、高安全要求、高时效要求的

养护特点。

1.2 当前机电养护管理的现存痛点

当前机电养护管理存在四方面突出问题。作业规范不统一，监控摄像机清洁周期与清擦方法、收费车道设备巡检项目、供电设备预防性试验内容等，不同路段执行各自标准，养护质量一致性难以保证。运维流程不闭环，从监控中心告警发现、报修派单、现场处置到修复验收各环节缺少标准化衔接，隧道机电故障等紧急事件信息传递靠口头、进度跟踪靠电话，工单闭环率低^[1]。备件管理粗放，ETC 门架天线、摄像机、光收发器等高频故障件储备凭经验估算，常用型号缺货与淘汰型号积压并存，紧急抢修因备件不到位延误恢复。人员能力参差，一线维护人员对光纤熔接、PLC 编程、ETC 天线调试等专业技术掌握水平差异大，新员工缺乏系统培训即上岗，直接影响养护质量。

1.3 标准化管理的核心价值阐释

标准化管理的核心价值体现在四个层面。在质量保障层面，通过统一作业流程、技术标准和验收规范，消除因人员、路段差异造成的质量波动，将少数骨干经验转化为全员可复制的规范操作。在效率提升层面，标准化明确各环节的时限要求和责任归属，减少信息传递损耗，使故障响应和修复更加高效有序。在成本控制层面，标准化备件管理和预防性维护计划可降低备件积压和重复采购，延长设备寿命，减少非计划停机损失。在知识传承层面，标准化将隐性经验显性化，形成可积累的组织知识资产，降低人员流动对养护质量的影响。四方面协同发力，推动机电养护从“因人而异”的经验驱

动向“有标可依”的制度驱动转变。

2 高速公路机电养护标准化管理体系的框架设计

2.1 标准化体系构建的核心原则

机电养护标准化体系的构建应遵循四项核心原则。统一性原则——同一运营管理单位管辖范围内，相同类型设备执行统一的巡检周期、维护内容和验收标准，消除因人员、路段不同造成的质量波动。系统性原则——体系设计覆盖设备巡检计划编制、日常维护作业执行、故障应急抢修处置到养护效果评估改进的全生命周期，形成完整管理闭环。可操作性原则——标准文件应具体到每个设备的操作步骤和工艺参数，使一线人员“看得懂、用得上”。动态更新原则——随着设备技术升级和运营要求变化，体系应建立定期评审和修订机制，确保标准的适用性和先进性。四项原则相互支撑，共同构成标准化管理的价值导向和行动准则。

2.2 体系的层级化架构设计

机电养护标准化管理体系采用“四层递进”的层级化架构。第一层为原则层，即上述四项核心原则，是体系构建的价值遵循和顶层指导。第二层为架构层，即“制度标准—运维流程—备件管理—考核评价”四维框架：制度标准维度解决“依据什么干”，涵盖设备台账管理标准、各子系统维护保养技术标准、巡检作业标准、故障分级与响应标准等；运维流程维度解决“怎么干、谁来干”，覆盖故障报修、工单派发、现场作业、质量验收全流程；备件管理维度解决“用什么修”，涵盖备件编码、库存定额、出入库和消耗分析；考核评价维度解决“干得好不好”，涵盖质量标准、量化指标和奖惩机制^[2]。第三层为实施层，即组织责任、分类分级作业推进、数字化赋能、安全应急管理和人员能力五个维度的具体实施路径。第四层为评估层，即多维效果评估与持续改进机制，对标准化运行效果进行量化评价并驱动体系迭代优化。四层之间形成“原则指导架构、架构统领实施、实施接受评估、评估反馈优化”的闭环联动关系。

3 高速公路机电养护标准化管理的实施路径

3.1 全层级组织责任体系落地

标准化管理的成功推行首先依赖于组织责任的全面落实。应建立“决策层—管理层—执行层”三级组织架构：决策层由运营管理单位分管领导牵头，负责标准化战略决策、资源调配和重大问题协调；管理层由机电养护管理部门负责，承担标准体系建设、推进计划制定、过程督导和效果评估等职能；执行层由路段养护中心和

一线维护班组组成，负责标准的日常执行和现场落实。在责任体系方面，应建立标准化管理责任制，将标准化工作的推进成效纳入各部门和岗位的绩效考核指标，明确各级人员在标准化建设中的具体职责。同时建立标准化工作联席会议制度，每月召开一次推进会，通报进展、协调问题、共享经验。通过“定责—履责—督责—问责”的闭环机制，确保标准化管理责任层层传导、压力层层传递、工作层层落实。

3.2 分类分级养护作业标准化推进

养护作业标准化应按照设备类型和作业性质实施分类分级推进。在横向分类上，按监控、通信、收费、供配电与照明、隧道机电五个子系统分别编制技术标准和作业指导书。监控系统重点规范摄像机清洁与角度校准、视频信号测试、可变情报板显示检测等作业；通信系统重点规范光缆线路巡检、光传输设备维护、以太网交换机配置管理等作业；收费系统重点规范 ETC 门架天线调试、车道设备巡检、称重检测器校准、网络安全加固等作业；供配电与照明系统重点规范变压器与配电柜预防性试验、UPS/EPS 电池组检测、照明灯具更换与照度检测等作业；隧道机电系统重点规范风机轴承润滑与振动检测、照明回路巡检、火灾报警探测器测试、消防设施压力检查等作业^[3]。在纵向分级上，采用“三层标准体系”：管理标准层定位于制度框架和总体要求，技术标准层定位于各子系统的维护技术规范，作业标准层定位于一线岗位的具体操作指导书，采用“一作业一卡”形式，关键步骤附操作示意图。按照“先试点、后推广”的原则逐步铺开。

3.3 数字化技术赋能标准落地

数字化技术是标准化管理从“制度文本”转化为“刚性约束”的关键支撑。应重点推进三方面的数字化应用。一是运维工单系统数字化，实现故障报修、任务派发、作业记录、质量验收的全流程线上闭环管理，将标准要求固化为系统中的必填项和必选项，工单流转状态实时可视、超时自动预警。二是设备资产管理数字化，建立全线机电设备的统一电子台账，每台设备从入库、安装、运维到报废的完整履历均可查询，光纤配线架端口占用、摄像机 IP 地址分配、ETC 天线运行时长等关键信息动态更新。三是巡检作业智能化，引入移动终端开展电子化巡检，巡检人员按照系统推送的标准检查表逐项确认，现场拍照上传、数据实时回传，巡检轨迹可追溯、检查结果可量化。同时逐步探索 AI 视频识别技术在设备状态巡检中的应用，通过图像识别自动判断设备异常状态并生成告警工单。

3.4 安全与应急管理标准化建设

安全与应急管理的标准化是机电养护标准化体系的重要组成部分。在作业安全管理方面,应针对机电养护的高风险作业场景(隧道带电作业、隧道风机高处检修、供配电倒闸操作、高空摄像机维修等),编制专项安全操作规程和标准化作业安全卡,明确作业前的安全条件确认、作业中的安全防护措施和作业后的安全检查程序,实施作业许可和监护制度。隧道机电系统养护作业涉及有限空间和有害气体环境,安全标准须单独细化。在应急管理方面,应建立机电系统故障分级响应标准,根据故障对路网运行的影响程度划分等级,明确各等级的响应时限、资源调配标准和处置流程。编制典型故障应急处置预案(通信光缆中断、隧道照明系统失效、ETC 门架系统瘫痪等),每季度至少组织一次实战演练或桌面推演。同时建立故障案例库,形成“故障—分析—改进”的知识积累机制,将典型案例纳入标准化培训教材。

3.5 人员能力标准化建设

标准化管理最终依靠人来执行,人员能力的标准化是标准化管理落地的人才保障。应建立“岗位能力标准—培训体系标准—考核评价标准”三位一体的人员能力标准化体系。岗位能力标准明确各类岗位(监控员、通信维护技术员、收费系统维护员、隧道机电维护员、供配电维护技术员等)应具备的知识结构、操作技能和资格要求,隧道机电维护员需掌握风机控制原理、PLC 编程基础、火灾报警系统调试等专项技能。培训体系标准规范新员工入职培训、在岗年度轮训和专项技术培训的内容、时长和考核方式,新员工实施“师带徒”制度跟岗带教 3~6 个月。考核评价标准将标准化作业执行情况纳入个人技能考核,考核结果与岗位晋升和薪酬待遇挂钩。同时建立“技术带头人”培养机制,打造标准化管理的核心人才梯队。

4 实施保障与持续改进机制

4.1 标准化养护的多维效果评估体系

从四个维度构建效果评估框架。运行效率维度——核心指标包括平均故障响应时间、平均故障修复时间、工单闭环率、预防性维护计划完成率,以及各子系统设备完好率(监控图像完好率、通信传输中断次数、ETC 交易成功率等)。质量稳定性维度——核心指标包括同类故障重复发生率、养护作业一次性验收合格率等。成

本控制维度——核心指标包括单位设备养护成本、备件库存周转率、非计划停机损失等。人员能力维度——核心指标包括标准化作业考核合格率、技能等级达标率、培训覆盖率等^[4]。评估应建立常态化数据采集机制,每季度形成评估报告,通过量化数据客观反映标准化管理的运行状态和短板弱项,为持续改进提供方向。

4.2 动态迭代的持续改进机制

持续改进应遵循 PDCA 循环建立闭环迭代流程。计划阶段根据季度评估结果和运营管理新要求制定改进计划,明确目标与时间节点。执行阶段按计划推进标准文件修订、流程优化和新技术应用。检查阶段通过日常监督、专项审核和数据分析验证改进效果。改进阶段将验证有效的措施固化到标准文件中,形成新版本并组织宣贯培训;对未达预期的措施分析原因、调整方案后重新进入 PDCA 循环。同时建立标准文件动态更新机制,当设备系统升级、新技术应用或法规标准变化时,即时启动专项评审与修订,确保标准体系始终与运营实际保持同步。

结束语

高速公路机电养护标准化管理是提升养护质量、降低运维成本、保障路网安全的重要路径。本文从实际问题出发,构建了四层级标准化管理体系框架,提出了以组织责任落地、分类分级作业推进、数字化赋能、安全应急管理和人员能力建设为核心的多维实施路径,并建立了多维效果评估与动态迭代改进机制。标准化管理的本质是建立“有标可依、有标必依、执标必严、违标必究”的长效机制,其核心价值在于将少数人的经验转化为多数人可复制的规范,将偶然的高质量转化为必然的高水准。随着智慧高速等新技术的发展,机电养护标准化管理将持续向智能化、精细化方向演进。

参考文献

- [1] 王永成. 高速公路机电设施养护标准化实施策略[J]. 科学与信息化, 2026, 47(7):157-159.
- [2] 杜国明. 高速公路机电养护维修的有效措施研究[J]. 运输经理世界, 2025(34): 151-153.
- [3] 胡汉桥, 陆由, 雷伟. 高速公路机电系统运维管理一体化探究与实践[J]. 中国交通信息化, 2022(1):36-39.
- [4] 林忆谕. 高速公路隧道机电系统的管养研究[J]. 运输经理世界, 2022(10): 143-145.