智慧高速公路机电设备智能化管理策略分析

文 / 徐恩彬　浙江高信技术股份有限公司

摘　要：现阶段高速公路机电设备种类增多，需专业工作人员加大管理力度，所需的管理成本更高。为延长机电设备使用寿命，可借助智能系统，收集机电设备结构参数及运维参数，及时发现并解决机电设备运行管理期间的各类问题，确保设备始终处于安全可控的运行状态下。对此，本文首先阐述高速公路机电设备种类，设备智能化管理的重要性，提出智能化管理技术在机电设备故障预测、风险管理、数据管理中的应用要点，以供参考。

关键词：智慧高速公路；机电设备；智能化管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.11.075

引言

高速公路是城市重要基础设施，随着公路行业逐渐趋向智慧化发展，机电设备种类增多、结构更加复杂。通过在机电设备智能化管理过程中运用专业运维系统与数据采集技术手段，可精准预估机电设备故障问题，提高机电设备管理质量及效率。

一、智慧高速公路机电设备种类

（一）监控设备

在智慧高速中，监控设备最为关键，是作为智慧化系统眼睛的存在。传统高速公路存在摄像头密度小，以远距离监控为主，收集的道路信息较少，无法及时感知道路状况，存在监控盲区等情况。智慧高速通过增加主线摄像头数量，降低单个摄像头监控范围，提升监控精细度，采用视频事件检测器进行监控内容分析，对停车、逆行、行人、拥堵、抛洒物、施工等事件进行检测，确保道路事件秒级发现并推送至监控中心，人工巡查结合软件监测极大地提高了道路状态感知能力。

（二）供配电设备

高速公路系统中，供配电设备运行水平可直接影响到设备运行情况。供配电系统是为高速公路现代化管理系统工作服务的，是电子技术工作和管理机构生活用电的保证，在公路机电工程中属于基础性工程。用电设施中，监控设施、监控外场设备、通信设备、收费设备等设施都要求供电系统有较高的可靠性。各收费站、服务区变电所均采用 1 路 10kV 电源进线并配备柴油发电机组作为低压备用电源，并且设置快速自启动和电源自动切换装置，正常情况变电所由市电供电；当市电停电时由柴油发电机组在 15s 以内快速启动，维持一级负荷和重要负荷的供电；当市电恢复后，机组自动退出运行，恢复市电供电。收费站厂区内另外配置 UPS 电源，作为三大系统内一级负荷的第三保障性电源。采用电力监控系统，实施检测供配电系统状态，确保供配电系统有效运行。

图 1　高速公路电力设备综合监测

（三）管控设施

智慧高速中通过定向喊话喇叭、门架式主动管控情报板、车道指示器、无人机等设备进行道路管控，确保在发生道路险情的情况下，及时进行管控干预，确保司乘人员的人身财产安全。定向喇叭有着很好的警示效果，用于主线事故、主线拥堵、枢纽匝道通行等情况进行预警，考虑到喇叭有效距离约为 200 米，因此喇叭每套间隔约 200 米，进行分阶段预警。门架式主动管控情报板为应对车道级主动管控需要，采用轻量化分段式屏幕，主动管控应用场景主要包含以下：货车车道限制、硬路肩开

关、分车道限速、变道提示、匝道开关、危化品车管理等。无人机针对于管控盲区有着补充作用，可以及时响应并抵达事件发生地进行道路管控，存在强大的机动性。

图 2 高速公路管控设施

二、智慧高速公路机械设备智能管理重要性

由于大部分高速公路机电设备位于室外，在长时间运行的情况下易出现腐蚀、磨损与老化问题。为使设备始终处于安全可靠运行状态，延长设备全寿命周期，还需要运维单位依据机电设备种类、设备功能以及运行要求，做好设备巡查、维修、保养等工作。具体而言，高速公路设备智能化运维重要性主要体现在以下几点：

第一，通过开展设备智能化运维工作，能够使设备始终处于安全可靠地运行状态，充分发挥设备应有功能，减少设备运行环节的安全隐患。虽然开展设备运维工作一定程度增加了高速公路运营成本，但机电运维工作带来的间接经济效益远大于设备故障、更换环节需要的成本；

第二，机电智能化运维工作开展水平与高速公路运行期间的经济效益在密切关联。在没有做好机电运维工作的情况下，故障问题无法及时发现，后期维护难度更大。通过使用设备管理系统、物联网等技术手段实时监测不同机电设备运行状态，能够预先发现设备可能存在的安全隐患问题，制定预先对策，确保道路司乘人员安全；

第三，高速公路智能化运维工作能够借助科学检测技术方式，减少设备维修时间，提升设备完好率，降低设备维护成本，人工巡检结合运维软件监测，可较大提升人效利用率，具备可拓展性、可推广性、实时性等多种优势，将是未来高速机电设备运维的主要趋势。

三、智慧高速公路机电设备故障预测管理

故障预测体系能够及时监控设备状态，及时发现潜在事故，避免重大事故发生。借助故障预测系统，结合故障预测结果制定前期智能化管理方案，有效减少设备故障停机时间，控制设备后续智能化管理成本，充分发挥出机电设备应有功能。故障预测也能够为故障分析及决策提供建议，帮助管理人员做出更加科学、合理的管理决策。

（一）故障预测体系结构

在先进科学技术下建立机电设备故障预测体系，主要由数据采集层、数据处理层、模型训练层、决策支持层与应用服务层组成。这些层次共同协作，可对设备展开实时监控、故障预测及优化决策。使用模型训练及验证手段，机器学习及深度学习方式建立故障预测模型，对模型进行不断更新及优化，提升预测结果精准度。故障预测体系主要由以下几种结构组成：

1. 数字模型

数字模型应以几何模型、规则模型为基础，结合高速公路机电设备要求与环境特征形成完善的传输数据系统，明确子系统及结构动态变化规律。在数字模型中应体现虚拟空间中的不同状态、不同空间特征，使用虚拟传输方式保障模型完整度，提升系统控制及优化水平。

2. 数据分析

将故障预测系统中的可观测数据作为数字模型重要结构，明确系统运行时的内部规律。使用数字分析手段分析数据特征，确定状态系统及系统响应间的对应关系。数据分析对智能化管理设备运行状态具有重要意义，可有效描述、诊断并预测故障预测系统行为，将数据传递给故障预测系统数字模型中，不断完善数字系统参数数值。

3. 策略库

单独使用仿真技术难以明确系统本质，应通过构建策略库的方式对故障预测系统展开全面故障评估及分析，由故障维修报告构建设备健康评定策略库。设置完善故障模式、健康指标、诊断规则以及操作风险，提高设备系统运行期间的抗风险水平。

（二）故障预测体系关键技术

1. 数据采集

物联网数据采集就是使用各类传感器及设备，包括数据连接、延迟、温湿度、流量等，运用多源感知技术获取不同类型的实时数据。在数据融合算法环节，不同传感器数据存在较大差别及冲突，结合数据融合算法对这些数值进行整合处理，提高数据处理质量及精度。提升数据采集环节的实时性及可靠性，确保设备能够在正确时间内准确获取，避免出现重要信息丢失问题。

2. 数据预处理

物联网数据预处理工作涉及数据清洗、数据转换、数据价值提取等内容。其中，数据清洗就是剔除原始数据中的干扰、异常数据与缺失数据，借助数据过滤、纠正等方式，保障数据采集质量。为做好数据分析工作，需进行规划及标准化操作，进一步提升数据的可比性与兼容性。特征提取过程中，能够从大量原始数据中选择具有代表性的特征进行预处理，借助降维、聚类、分类等方式实现。

3. 数据分析

借助物联网技术手段能够利用带有标签的训练数据构建预测模型，常见学习方式为回归分析、决策与神经网络等。利用未标记数据开展聚类及异常监测等任务，将物联网中某些问题转化为智能体与环境交互过程，强化学习策略。

4. 大数据存储及管理

使用海量物联网数据、分布式数据库等方式，提供高可用性、扩展性及并发性能。在数据索引与检测过程中。高效数据检测机制能够保障系统响应速度，建立导

排索引、时空索引支持查询需求。对数据展开合理分类、分级与版本控制，根据应用场景、法律法规等实施数据保存及销毁。

四、智慧高速公路机电设备风险管理

高速公路机电设备智能化管理工作就是运用智能手段对机电设备运行风险展开全面预测评估，明确设备运行环节发展形态。运用智能管理系统中的深度学习能力、自适应能力，预测设备运行风险，确保始终处于安全可靠运行状态。借助智能化管理平台、数据统计分析方式，帮助管理人员明确维护重点，节约运维时间。

（一）环境安全指标

环境安全是保障机电设备安全可靠运行状态的重要基础。设备运行风险多来源环境变化，需实时监测环境中的温度、湿度。机电设备在公路中的分布状态也是评估风险的重要因素。不同位置设备发生风险不同，评定等级也存在一定差异，因此需结合环境安全指标做好设备风险管控工作。

（二）运行状态指标

运行状态可直接反映出设备运行情况，也是机电设备风险预测及评估的重要因素。在设备出现故障的情况下，也极易发生风险事故，影响行车安全。不同机电设备运行状态指标评估差异较大，在配电系统运行状态管理过程中，需监测电流、电压、温度等参数，及时发现设备运行异常问题，制定科学合理运行管理对策。

（三）维修保养指标

维修保养也是保障机电设备正常运行的状态指标。在机电设备运行环节需定期进行检修保养，明确设备故障问题与故障发生部位，降低故障风险问题发生规律。机电设备历史巡检保养记录也是风险管理重要内容，在设备维修次数较多的情况下，风险事故发生概率就越高。维修保养指标包括历史运行时间、历史维修次数、巡检次数与保养周期等。

构建完善的高速机电设备智能化风险管理体系，借助环境安全指标、运行状态指标及维修保养指标，反映机电设备运行状态。在风险管理过程中也可将静态指标、动态指标结合在一起，增强设备风险管理的全面性、精准性。

五、智慧高速公路机电设备信息管理

（一）信息采集系统结构

智慧智能化管理平台中的信息采集系统主要包括后端中心平台及前端采集服务器。借助前端采集服务器能够收集并汇总设备智能化管理信息，将处理后的数据完整地输入到服务器模块中，由服务器模块进行进一步处理。

1. 前端数据采集模块

高速公路工程机电设备智慧智能化管理平台中的前端数据采集模块负责数据的整理及收集，应安装在公路收费站所节点处，收集设备运行数据，结合采集模块反馈的设备运行实际情况，设计运行状态及运行参数，使连接节点状态发生自动转化。

2. 采集接收服务模块

智慧智能化管理平台信息采集系统的采集接收服务模块是重要的后端装置，开发及运行管理的要求更高。为充分发挥出接收服务模块的积极作用，保障信息接收水平，还需要在条件允许的情况下建立服务器集群，进一步提升设备运行环节的吞吐量，对收集到的数据进行高效处理，保障系统运行安全。

（二）信息采集系统关键技术

1. 机电设备网络通信

现阶段高速公路机电设备增多，因机电设备型号及参数差异较大，导致机电智能化管理工作难度进一步提升。现阶段机电设备中，部分设备通过高速三大系统网络传输，其他部分由于 IP 地址有限性采取车道及门架局域网形式。通过收费软件监测车道及门架局域网内设备，确保机电设备全接入、全监测。

2. 人工巡检结合运维管理平台

在现阶段机电设备智能化阶段，仍存在部分设备无法有效远程监控，通过人工巡检进行查漏补缺，结合机电智能运维平台的部署，能确保降低人员投入的同时，保证高速公路机电设备安全有效运行。通过人工巡查持续提升智能运维平台的更新迭代，有着较高的可行性。

结语

总而言之，将智能技术应用在高速公路机电设备管理环节，建立功能完善的智能化管理系统，可对设备展开全方位、实时管控，确保各类设备稳定可靠运行。为切实提高设备管理水平，管理部门还应顺应高速公路智慧化发展趋势，积极探索智能技术在高速公路智能化管理中的应用路径，在节约管理成本的同时，使各设备能够持续发挥应有价值。

参考文献

[1] 孔霄．浅谈高速公路机电设备智能化技术 [J]．中国设备工程，2024,(22):26-28.

[2] 李晓雨，陈俊杉．高速公路电气设备的智能化技术分析 [J]．集成电路应用，2024,41(08):232-233.

[3] 杨京生，杨德仁，姜广财，等．智慧高速公路机电设备智能化管理策略分析 [J]．运输经理世界，2024,(18):60-62.

[4] 许兆锋．高速公路机电设备故障及其预防策略分析 [J]．中国设备工程，2024,(09):190-192.

[5] 唐煌．一种基于智能化技术的高速公路机电设备状态监测方法 [J]．装备制造技术，2024,(04):155-157.

[6] 张业雁．高速公路机电设备智能化技术研究 [J]．运输经理世界，2024,(06):154-156.

[7] 杨晓波．基于概率统计模型的高速公路机电设备故障智能评估方法 [J]．交通世界，2024,(Z2):309-311.

[8] 杨朋成．基于高速公路机电设备的维护管理研究 [J]．中国设备工程，2024,(01):37-39.

[9] 孙晓宁．高速公路机电设备智慧运维分析 [J]．工程建设与设计，2023,(14):91-93.

[10] 洪双．智能管理技术在高速公路机电设备管理中的应用 [J]．运输经理世界，2023,(20):147-149.