

信息化技术在高速公路机电工程中的应用研究

王学强

浙江中控信息产业股份有限公司 浙江 杭州 310053

摘要: 随着高速公路网不断完善和交通量持续增长,机电工程作为高速公路的神经系统,其运行效率直接影响道路通行能力与运营安全。信息化技术的快速发展为高速公路机电工程升级提供了新的解决方案。本文系统阐述了高速公路机电工程与信息化技术的体系构成,分析了我国机电工程发展现状,深入探讨了信息化技术在收费、监控、通信、供配电等子系统中的应用,针对当前面临的问题提出了相应对策。研究表明,信息化技术与机电工程的深度融合,能够显著提升系统运行效率、降低运维成本、增强应急处置能力,是推动高速公路高质量发展的关键路径。

关键词: 信息化技术;高速公路;机电工程;应用研究

引言: 高速公路机电工程涵盖监控、通信、收费、供配电、照明等多个子系统,是保障高速公路安全、畅通、高效运行的重要基础设施。近年来,我国高速公路通车里程持续增长,路网规模不断扩大,对机电系统的智能化水平提出更高要求。同时,物联网、云计算、大数据、人工智能等信息化技术的迅猛发展,为机电工程升级注入了新的活力。本文从机电工程与信息化技术的体系构成入手,分析应用现状,探讨各子系统的信息化实践,并提出问题与对策,以为行业提供参考。

1 高速公路机电工程与信息化技术概述

1.1 高速公路机电工程体系

高速公路机电工程是综合性技术领域,涵盖监控、通信、收费、供配电、照明及隧道机电等系统。监控系统利用车辆检测器等设备,实时采集、传输与显示交通运行状态,及时感知并发布交通拥堵、事故及恶劣天气信息。通信系统借助光纤数字传输等手段,为其他子系统搭建数据传输通道,构成信息传输骨干网。收费系统承担通行费征收,电子不停车收费技术提高了收费效率。供配电系统为全线机电设备提供电力保障,确保关键设备持续运行。照明系统保障夜间及隧道行车安全。隧道机电系统是特殊环境下的综合系统。各子系统相对独立又相互关联,共同构成完整体系。

1.2 信息化技术体系

信息化技术涵盖信息全链条,在高速公路机电工程中作用重大。物联网借助射频识别等手段,实现机电设备状态感知与数据采集,连接物理设备与信息系统。云计算提供可扩展资源,支持海量数据集中处理与共享,降低成本。大数据深度挖掘设备运行等数据,优化运维、预测交通^[1]。人工智能在视频分析等领域应用,提升系统智能化水平。地理信息系统结合设备位置与地图,实现可

视化管理与空间分析。5G为新型应用提供网络支撑。边缘计算实现实时响应与带宽节省。这些技术相互协同,形成完整技术链条。

1.3 信息化技术与机电工程的耦合关系

信息化技术与高速公路机电工程深度融合,形成相互依存、促进的耦合关系。感知层面,物联网让机电设备具备数字化感知能力,成为信息网络节点。传输层面,通信系统成为海量数据通道,先进技术保障传输实时可靠。平台层面,云计算与大数据构建数据汇聚处理中心,形成全网设备运行视图。应用层面,人工智能分析数据,为运行管理提供支持。控制层面,信息化系统决策指令下达至前端设备,实现远程控制。这种闭环耦合使机电系统从被动执行向主动智能转变,提升高速公路运营效能。

2 我国高速公路机电工程发展与信息化应用现状

我国高速公路机电工程伴随着高速公路建设经历了从无到有、从点到网的发展历程。二十世纪九十年代初期,机电工程主要集中在东部沿海地区的重点路段,设备以进口为主,功能较为单一,各子系统相对独立。进入二十一世纪,随着高速公路向中西部延伸和联网收费的推进,机电工程进入快速发展阶段,设备国产化率提升,系统集成度提高,通信骨干网逐步形成。近年来,在国家交通强国战略和新型基础设施建设政策推动下,机电工程加速向数字化、智能化转型。当前,信息化技术在高速公路机电工程中的应用已取得显著成效。在收费领域,全国ETC用户已超过2亿,ETC门架系统实现全覆盖,收费数据实现联网汇聚,为高速公路运行监测提供了丰富的数据资源。在监控领域,高清视频逐步替代标清设备,视频智能分析技术实现交通事件自动检测,部分路段建成雷视融合感知系统,提升了交通状态监测精度^[2]。在通

信领域, 光纤骨干网覆盖全国高速公路, 部分省份启动第五代移动通信专网建设, 为车路协同奠定基础。在运维领域, 部分省份建成机电设备运维管理平台, 实现设备在线监测、故障自动预警、工单移动处置, 运维效率明显提升。

然而, 信息化应用仍面临发展不平衡问题。东部地区与西部地区、省际高速公路与省内路段之间存在明显差距, 老旧路段设备更新滞后, 标准不统一导致数据共享困难, 系统网络安全风险日益凸显。部分信息化应用仍停留在功能实现层面, 数据价值挖掘不够深入, 对运营管理的支撑作用有待加强。总体而言, 我国高速公路机电工程信息化已具备良好基础, 正处在从分散建设向系统集成、从业务电子化向数据智能化转变的关键时期。

3 信息化技术在高速公路机电工程各子系统的应用

3.1 收费系统

收费系统是信息化技术应用最早且成熟的机电子系统。电子不停车收费技术普及后, 车辆过收费站时间从人工收费的15秒以上大幅缩短至3秒以内, 通行效率显著提高。基于ETC门架系统的自由流收费技术逐步推广, 取消省界收费站后, 车辆在高速主线行驶即可完成里程计费, 有效消除收费站拥堵。收费数据汇聚与应用不断深入, 海量ETC交易数据不仅用于通行费拆分结算, 还成为交通运行监测的重要数据源, 通过分析断面流量等数据, 为路网运行研判提供有力支撑。移动支付技术引入, 丰富了收费方式, 车主绑定车辆信息可实现无感或后支付。人工智能应用于收费稽核, 通过车牌识别比对等自动发现逃费行为。收费系统还与多部门数据共享, 助力套牌车稽查和重点车辆监管。部分省份探索高速自由流收费与城市拥堵收费技术衔接, 为交通需求管理打基础。其信息化升级提升了通行效率和用户体验, 让收费设施成为路网感知体系重要一环。

3.2 监控系统

监控系统信息化应用涵盖感知、传输、显示、管控四个层面。感知上, 高清视频摄像机取代标清设备, 部分路段采用雷视融合感知设备, 融合毫米波雷达与视频优势, 实现全天候、全断面精准监测交通运行。视频智能分析技术成熟, 能自动检测异常停车等多种交通事件, 检测准确率从早期60%升至90%以上, 响应达秒级。传输方面, 工业以太网与光纤环网保障数据可靠传输, 5G为移动监控设备提供灵活接入^[3]。显示上, 基于地理信息系统的监控平台叠加多种信息, 形成交通态势图; 部分路段试点数字孪生技术, 构建三维虚拟场景, 实现直观态势感知。管控上, 智能分析系统依实时交通状态, 自动生

成可变情报板内容、推荐管控策略, 并与收费、诱导系统联动, 达成路网协同管控。气象监测系统集成多源数据, 预警恶劣天气, 为安全管控提供决策支持。

3.3 通信系统

通信系统作为机电工程的信息传输骨干, 其信息化发展体现在传输能力提升、网络架构优化、业务承载多元、运维管理智能四个方面。同步数字体系干线逐步被光传送网取代, 单波传输速率从2.5Gbps提升至100Gbps以上, 满足高清视频、海量数据回传的带宽需求。在网络架构方面, 基于多业务传输平台的综合业务接入网实现了数据、语音、视频的统一承载, 简化了网络层级, 提升了可靠性; 软件定义网络技术的引入, 使网络资源可按需灵活调度, 满足不同业务的差异化服务要求。通信系统不仅服务于传统机电业务, 还支撑着移动支付、视频会议、应急指挥、车路协同等多元化应用。第五代移动通信专网建设在部分省份启动, 为自动驾驶测试、远程操控等低时延业务提供网络保障。通信网络管理系统实现对全网设备的集中监控与配置管理, 基于大数据的网络性能分析可预判故障风险, 光缆自动监测系统可快速定位断点位置, 大幅缩短故障修复时间。通信系统还通过多路由冗余、设备备份等措施保障高可靠性, 满足高速公路关键业务的不间断通信需求。通信系统的持续升级, 为机电工程各子系统的信息化应用提供了坚实的传输保障。

3.4 供配电系统

供配电系统的信息化应用主要体现在电力监测自动化、能耗管理精细化、备用电源智能化、故障处理快速化四个方面。在电力监测方面, 智能电表与电力参数监测模块的普及, 实现了对变配电设备运行状态、电能质量、负荷变化的实时采集, 数据汇聚至电力监控平台, 管理人员可远程掌握全线电力运行状况。在能耗管理方面, 基于监测数据的能耗分析系统可识别高耗能设备与异常用电, 为节能改造提供依据; 智慧照明控制技术根据车流量、环境照度自动调节灯具亮度, 实现按需照明, 节电率达30%以上; 隧道通风系统根据一氧化碳浓度、能见度自动控制风机启停与转速, 避免无效运行。在备用电源方面, 柴油发电机组配备自动启动装置, 主电源中断后数秒内即可恢复供电; 不间断电源配备远程监控模块, 电池状态、剩余备电时间实时可查; 部分服务区试点光伏发电与储能系统, 探索绿色能源供给模式。在故障处理方面, 电力监控系统可自动判断跳闸、过载、缺相等故障类型, 精确定位故障点, 通过移动终端向维护人员推送告警信息与处置建议。供配电系统的信息化不

仅提升了供电可靠性,降低了运行能耗,还为高速公路实现碳达峰碳中和目标提供了技术支撑。

3.5 其他子系统

除收费、监控、通信、供配电四大核心系统,信息化技术在照明、隧道机电、服务区管理系统等子系统广泛应用。照明系统中,智能照明控制系统依据交通量、时段、天气自动调亮度,部分路段试点雷达感应路灯,实现车来灯亮、车走灯暗;照明回路有漏电监测与故障报警,保障用电安全。隧道机电系统是信息化应用重点,通风、照明、消防、监控等子系统联动协同运行,火灾自动报警系统与消防设施联动,火灾时自动启动排烟风机、指引疏散;隧道口光强检测仪自动调节洞内外亮度差,消除黑洞效应。智慧停车系统实时监测车位占用,通过入口诱导屏指引停车;充电桩管理系统远程监控充电状态、提供预约服务;能耗管理系统对服务区水电气消耗分类分项计量,支撑节能管理。道路沿线设施中,桥梁健康监测系统布设传感器,实时采集桥梁振动等数据,评估结构安全;边坡监测系统利用北斗定位等设备监测边坡变形,预警滑坡风险。这些子系统信息化应用,让高速公路沿线设施互联互通、主动预警,提升安全保障与服务水平。

4 信息化技术应用面临的问题与对策

4.1 面临的问题

信息化技术在高速公路机电工程应用成效显著,但也面临诸多挑战。标准规范不统一问题严重,各省份在设备接口等方面存在差异,跨省数据共享困难,影响全国路网协同管理。老旧路段设备改造困难重重,早期机电设备老化、智能化低,加装或更换设备需中断交通,成本高、周期长。数据孤岛现象依旧存在,不同厂商建设的系统数据分散,难以融合分析^[4]。网络安全风险凸显,机电系统开放后,网络攻击面扩大,勒索病毒等事件频发,威胁关键基础设施。运维保障能力滞后,部分路段缺乏专业运维队伍,故障响应不及时,数据质量难保障。投资回报机制不清晰,信息化升级需持续投入,但直接经济效益难量化,影响企业积极性。另外,新技术应用带

来新问题,如人工智能算法可解释性不足、数据隐私保护与共享利用难平衡、技术迭代致设备过早淘汰等,这些问题相互交织,制约信息化技术深入应用。

4.2 对策建议

针对上述问题,需综合施策。标准规范上,加快制定全国统一标准,推动各省份改造升级,消除数据壁垒。统筹规划方面,制定中长期规划,明确目标与路线,新建路段严格执行标准,既有路段分年度改造。数据治理上,建立省域数据汇聚平台,打通数据通道,形成全生命周期数据库,制定共享目录与规则,释放数据价值。网络安全方面,构建全链条防护体系,实施等级保护,定期测试演练,提升响应能力。运维保障上,推行外包服务,建立两级支撑体系,开发智能运维平台。人才培养上,加强复合型人才培养,引进专业人才。机制创新上,探索多元化投融资模式,建立效益评估体系,量化应用成效,为持续投入提供依据。

结束语

信息化技术在高速公路机电工程中的应用,正在深刻改变着高速公路的运营管理模式。从收费系统的自由流通行,到监控系统的智能感知,从通信系统的宽带承载,到供配电系统的精细管控,信息化赋能机电工程各子系统,显著提升了运行效率与服务品质。未来,随着车路协同、自动驾驶、数字孪生等新技术的成熟应用,高速公路机电系统将向着更加智能、高效、绿色的方向持续演进,为公众出行提供更安全、便捷、舒适的交通服务。

参考文献

- [1]李健,付镭,邓云方,等.高速公路机电工程物资采购中信息化管理的应用研究[J].工程技术研究,2025,7(1):218-220.
- [2]陈曦.信息化背景下高速公路机电工程通信系统技术的应用研究[J].移动信息,2025,47(5):43-45.
- [3]孟凡全.高速公路机电设备维护管理系统信息化研究[J].中国航班,2022(21):203-206.
- [4]王远望.高速公路机电信息化建设中的现代通信技术应用分析[J].车时代,2024(1):103-105.