

高速公路机电系统数字化运维与交通控制优化研究

唐海文

云南省交通科学研究院有限公司 云南 昆明 650011

【摘要】：当前高速公路机电系统数字化运维与交通控制优化的协同发展成为智能路网建设核心，但二者在协同机制、技术融合、标准体系、安全防控及管理联动层面仍存不足。本文构建数据互通、决策联动、效能评估三维协同机制，剖析技术融合不足、标准滞后、安全薄弱、管理缺失四大挑战，提出“协同兼容+同步应用”技术体系、“数据+流程+技术”标准体系、“数据+网络+操作”安全体系、“主体联动+责任明晰+人员协同”管理机制四大优化路径，为二者高效协同提供支撑。

【关键词】：高速公路；机电系统；数字化运维；交通控制优化

DOI:10.12417/2811-0536.26.03.024

随着高速公路智能化转型加速，机电系统数字化运维与交通控制优化的脱节问题愈发突出，严重制约路网运行效能与安全。亟需通过梳理二者协同逻辑、破解现存瓶颈、探索科学优化路径，推动“运维-控制”从分散运行转向协同联动，为高速路网智能运营提供理论与实践参考。

1 数字化运维与交通控制优化的协同机制

数字化运维与交通控制优化的协同机制，需通过多维度环节联动形成完整运转体系。

1.1 数据互通机制

数字化运维与交通控制优化的协同，需以数据互通打破信息壁垒，构建运维输出与控制反馈的双向流转体系。一方面，数字化运维需向交通控制定向输出核心数据，包括机电设备运行状态数据、道路环境感知数据、交通流实时数据，为交通控制策略制定提供基础数据支撑，确保控制指令符合实际路网条件；另一方面，交通控制需向数字化运维精准反馈效果数据，涵盖调控效果数据、异常关联数据，为运维策略优化提供效果参照，例如当控制反馈“某区域视频检测器数据异常”时，运维系统可立即启动设备诊断、参数校准流程^[1]。此外，需建立统一数据标准，通过数据加密传输、权限分级管理，保障数据在二者间顺畅流转、安全存储，避免因数据不兼容导致的协同断层。

1.2 决策联动机制

决策联动是实现运维与控制同频行动的关键，需遵循问题共判、策略共定、行动共推的核心逻辑。当监测到路网异常时，二者需通过联动接口同步启动决策流程：若为机电设备故障，数字化运维系统需立即生成故障处置方案，同时将故障信息实时推送至交通控制系统，交通控制需同步调整该区域控制策略，避免因设备故障导致控制失效；若为交通流异常，交通

控制系统需快速制定调控方案，并将拥堵成因反馈至运维系统，运维系统需强化该区域设备监测频率，为调控效果验证提供数据支持。通过线上实时会商、责任分工明确的决策流程，确保二者在问题处置中同步行动，提升路网异常的解决效率。

1.3 效能评估机制

效能评估是保障协同机制长效运行的核心，需建立“评估—优化—验证”的闭环体系。首先，需从三维度设定评估指标：运维效能指标、控制效能指标、协同效能指标，所有指标需基于协同过程数据计算，避免单一维度评估偏差；其次，需依托协同效能评估模型，定期开展量化评估，生成评估报告，明确优势环节与薄弱点，并附问题归因分析^[2]；最后，需针对薄弱点制定优化方案，例如针对决策联动慢，可简化会商审批环节、升级联动技术接口，通过小范围试点验证后，再全面推广应用，形成“评估→优化→验证→再评估”的闭环，持续提升二者协同水平。

2 高速公路机电系统数字化运维与交通控制优化的现存挑战

高速公路机电系统数字化运维与交通控制优化的现存挑战，覆盖技术融合、标准建设、安全防控、管理联动多维度短板。

2.1 技术融合深度不足

当前数字化运维与交通控制优化的技术融合仍停留在表层，核心问题体现在：技术架构不兼容。多数运维系统与交通控制系统由不同厂商开发，采用独立技术框架，缺乏统一协同接口，数据交互需依赖第三方转换工具，易引发数据传输时延、数据失真，导致协同响应滞后；技术应用不同步。运维端已引入“AI+大数据”等技术实现本地数据处理，而控制端部分仍依赖传统云端决策，无法有效承接运维端的智能分析

结果，形成技术应用脱节，难以发挥协同效能。

2.2 标准体系建设滞后

协同运行所需的标准体系存在明显滞后，主要表现为三类标准缺失：数据协同标准。虽有单独的运维数据标准或控制数据标准，但数据传输协议、数据共享权限、数据质量阈值未统一，导致数据互通需反复格式适配；流程协同标准。针对故障协同处置、拥堵协同调控的流程无明确规范，不同路段执行差异化流程^[3]；技术选型标准。感知设备、AI算法的应用参数未形成全国统一规范，厂商产品兼容性差，增加协同系统的建设和维护成本。

2.3 安全风险防控薄弱

“运维-控制”协同依赖网络传输、数据共享，但安全防护体系存在明显短板：数据安全风险。传输敏感数据时，若未采用端到端加密，易遭遇数据窃取、数据篡改，影响决策准确性；网络安全风险。协同系统需接入高速专用网、5G公网，网络边界缺乏智能防火墙、入侵检测系统，易遭受黑客攻击、病毒注入，导致系统瘫痪；操作安全风险。未建立精细化权限管理，易出现误删数据、误发调控指令；且安全应急预案缺失，安全事件发生后难以及时止损和恢复。

2.4 协同管理机制缺失

“运维-控制”协同需多主体联动，但管理机制存在明显漏洞：主体协同松散。运维由高速运营公司负责，控制由交通管理部门主导，二者缺乏常态化协同平台，信息传递依赖人工对接，易出现信息滞后、信息遗漏；责任划分模糊。当协同过程中出现问题时，运维责任与控制责任无明确界定，易引发责任推诿；人员协同不足。运维人员侧重设备技术，控制人员侧重交通调控，二者未开展交叉培训，难以理解对方的技术需求、决策逻辑，导致协同决策时易产生认知偏差^[4]。

3 高速公路机电系统数字化运维与交通控制优化的路径

高速公路机电系统数字化运维与交通控制优化的路径，是针对现存挑战构建的技术、标准、安全、管理多维度解决方案。

3.1 构建“协同兼容+同步应用”技术体系

为解决技术架构不兼容与技术应用不同步问题，需从架构统一与技术协同双维度发力。首先，推进技术架构兼容化改造，打破不同厂商独立技术框架的壁垒。由行业主管部门牵头，联合运维系统与交通控制

系统厂商，共同研发统一协同接口，实现操作系统统一化、数据库兼容化、开发语言适配化，替代传统第三方转换工具，从源头减少数据传输时延、数据失真，确保运维端与控制端数据交互无阻碍、高精度。其次，推动技术应用同步化落地，建立“运维-控制”技术联动机制：一方面，将运维端“AI+边缘计算”技术的应用范围延伸至控制端，协助控制端从传统云端决策转向边缘与云端协同决策，使其能够直接承接运维端输出的设备故障预测结果、交通流趋势预判数据；另一方面，制定技术应用适配标准，明确运维端智能分析结果的输出格式、传递频次、应用场景，确保控制端在开展交通信号调控、车流引导决策时，可直接调用运维端数据，避免技术应用脱节，真正发挥“1+1>2”的协同效能^[5]。此外，还需建立技术更新联动机制，当运维端或控制端引入新技术时，需同步开展跨端技术适配测试，确保双方技术应用始终保持同频、协同，从根本上消除“运维-控制”技术协同断层。

3.2 完善“数据+流程+技术”三维标准体系

针对标准体系滞后问题，需构建覆盖“数据、流程、技术”的三维标准体系，为协同运行提供统一规则支撑。

第一，制定数据协同统一标准，弥补当前数据传输、共享、质量标准缺失的短板：明确数据传输协议的选用规则（如规定高频实时数据采用UDP协议、高安全性数据采用TCP/IP协议），划分数据共享权限层级，设定数据质量阈值基准，避免数据互通时反复进行格式适配，提升数据协同效率。

第二，规范流程协同统一标准，针对故障协同处置、拥堵协同调控两类核心场景，明确信息传递顺序、决策时间节点、责任主体衔接：例如故障协同处置需遵循“运维端发现故障→实时推送故障信息至控制端→控制端同步调整交通控制策略→运维端开展维修→维修完成后反馈控制端→控制端恢复原策略”的流程，消除不同路段差异化流程导致的协同混乱。

第三，建立技术选型统一标准，围绕感知设备、AI算法等关键要素，制定全国统一应用参数，要求厂商产品必须符合该标准才能进入市场，减少产品兼容性差问题，降低协同系统建设和维护成本。

3.3 搭建“数据+网络+操作”全维安全体系

针对安全风险防控薄弱问题，需从“数据安全、网络安全、操作安全”三方面构建全维度安全防护体系。

其一，强化数据安全防护，针对敏感数据传输，

强制采用端到端加密技术（如 SSL/TLS 协议全覆盖数据传输环节），同时建立数据加密密钥动态管理机制，定期更新加密密钥，防范数据窃取、数据篡改；此外，对传输数据开展实时完整性校验，一旦发现数据失真或被篡改，立即触发数据重传、异常报警，确保进入协同系统的数据真实、可靠。

其二，筑牢网络安全防线，针对“高速专用网+5G公网”双网络接入场景，在网络边界部署智能防火墙、入侵检测系统，实现黑客攻击拦截与病毒注入阻断双防护；同时建立网络流量实时监测机制，对异常网络流量进行自动识别与阻断，避免网络入侵导致系统瘫痪；此外，定期开展网络安全漏洞扫描、渗透测试，及时修补网络漏洞，提升网络抗风险能力。

其三，规范操作安全管理，建立精细化权限管理机制，依据角色分工（如运维管理员、控制操作员、系统审计员）划分操作权限，明确不同角色可操作的功能模块与数据范围，同时开启操作日志全程追溯功能，记录每一次操作的操作人员、操作时间、操作内容，避免误删数据、误发调控指令^[6]；另外，制定安全应急预案，明确安全事件发生后的应急响应流程、止损措施、系统恢复步骤，并定期组织应急演练，确保安全事件发生时能够快速止损、高效恢复，减少安全事故造成的损失。

3.4 建立“主体联动+责任明晰+人员协同”管理机制

为解决协同管理机制缺失问题，需从“主体、责任、人员”三方面构建完善的管理机制。

第一，搭建主体联动平台，打破高速运营公司与交通管理部门协同壁垒：建立常态化协同平台，整合信息共享模块、指令传递模块、应急协同模块，替代传统人工对接方式，实现运维端与控制端信息实时共享、指令快速传递，例如运维端发现设备故障时，可

通过平台直接推送故障信息至控制端，控制端调整策略后也能实时反馈至运维端，避免信息滞后、信息遗漏；此外，制定协同工作制度，明确双方每日、每周、每月的协同对接频次与内容，确保主体协同常态化、规范化。

第二，明确责任划分细则，针对协同过程中可能出现的调控失准、设备维修延误等问题，制定责任划分清单，清晰界定运维责任边界、控制责任范围：例如因设备故障预警不及时导致调控失准，责任归属运维端；因未根据运维端故障信息调整策略导致交通拥堵，责任归属控制端；同时建立责任追溯机制，当出现问题时，通过操作日志、协同记录追溯责任主体，避免责任推诿。

第三，强化人员协同培训，针对运维人员侧重设备技术、控制人员侧重交通调控的认知差异，开展交叉培训计划：组织运维人员学习交通调控基础理论、控制决策逻辑，使其理解控制端的策略制定需求、数据应用方向；安排控制人员了解机电设备技术原理、运维工作流程，使其掌握运维端的故障处理周期、数据输出特点^[7]；此外，定期开展协同模拟演练，让运维人员与控制人员共同参与故障协同处置、拥堵协同调控的模拟场景，提升双方的协同配合能力、问题解决能力，消除协同决策时的认知偏差，确保协同过程高效顺畅。

4 结语

本文围绕高速公路机电系统数字化运维与交通控制优化，搭建协同机制框架、明确现存挑战、提出针对性路径，形成“机制-问题-方案”的完整研究链条，可有效助力二者打破协同壁垒、提升运营效能。后续可进一步深化“AI+大数据”在协同体系中的应用，推动“运维-控制”向自主感知与动态决策的高阶协同升级。

参考文献：

- [1] 刘博.BIM技术在高速公路机电工程项目管理中的应用探究[J].科技资讯,2022,20(13):73-75,100.
- [2] 尹鹏.高速公路机电工程中交通诱导设施的智能化应用与发展趋势研究[J].中国设备工程,2025(3):26-28.
- [3] 田霖.智慧化建设在高速公路机电系统中的应用[J].工程技术研究,2025,10(4):217-219.
- [4] 朱悦敏.基于模糊控制的高速公路改扩建工程机电设备智能监控系统[J].中国交通信息化,2023(3):96-98.
- [5] 杨国良.高速公路机电系统数字监测与运维探析[J].交通世界,2024(18):121-123.
- [6] 张明,杨永春.高速公路机电设备维护与管理模式研究[J].模型世界,2025(11):24-26.
- [7] 袁学文.高速公路交通机电系统设计优化探究[J].电子元器件与信息技术,2021,5(7):211-212,214.