

# Coordinated Control and Optimization Strategies for High-Speed Electromechanical Engineering Systems in the Context of Smart Transportation

Shuyi Jing

Shanxi Transportation Holding Group Co., Ltd. Shuozhou Expressway Branch, Shuozhou, Shanxi, 036000, China

## Abstract

With the deep integration of the smart transportation concept and technology, the electromechanical engineering system of highways is transitioning from independent operation to a new stage of integrated and intelligent collaboration. Based on the development background of smart transportation, this paper first analyzes the core issues in collaborative control within traditional highway electromechanical systems. Subsequently, it systematically elaborates on key control strategies for achieving data and functional collaboration among subsystems such as toll collection, monitoring, communication, and power supply in the context of smart transportation. Finally, from a systemic perspective, a multi-level optimization strategy is proposed, grounded in data-driven approaches, model construction, and mechanism innovation. The aim is to enhance overall operational efficiency, safety levels, and service quality of highways, providing theoretical references and practical pathways for the future construction and development of smart highways.

## Keywords

Intelligent transportation; Expressway; Electromechanical engineering; Collaborative control; System optimization

## 智慧交通背景下高速机电工程系统协同控制与优化策略

景淑祎

山西交通控股集团有限公司朔州高速公路分公司, 中国·山西 朔州 036000

## 摘要

随着智慧交通理念与技术的深度融合, 高速公路机电工程系统正从独立运行走向集成化、智能化协同的新阶段。本文立足于智慧交通发展背景, 首先剖析了传统高速公路机电系统在协同控制方面存在的核心问题。进而, 系统性地阐述了在智慧交通框架下, 实现收费、监控、通信及供配电等子系统间数据与功能协同的关键控制策略。最后, 从系统全局出发, 提出了基于数据驱动、模型构建与机制创新的多层次优化策略, 旨在提升高速公路整体运行效率、安全水平与服务品质, 为未来智慧高速公路的建设与发展提供理论参考与实践路径。

## 关键词

智慧交通; 高速公路; 机电工程; 协同控制; 系统优化

## 1 引言

高速公路作为国家交通网络动脉, 运营管理水平直接同国民经济的活力、公众出行的体验相联系。机电工程系统作为高速公路“神经中枢”与“感觉器官”, 包含收费、监控、通信、照明、供配电等子系统, 是维系高速公路稳定、高效、安全畅行的核心依托。在传统模式的状态中, 这些子系统往往各自搞一套, 面临信息孤岛、联动不力、响应迟钝等难题, 难以招架逐渐复杂的交通流状态以及多样化的用户需求。智慧交通步入兴起阶段, 采用物联网、大数据、云计算及人工

智能等先进技术, 为冲破交通困局带来了历史性机遇。在现有的背景中, 深度剖析高速公路机电工程系统的协同控制方式与全局优化办法, 引领其自分散独立转变至深度融合, 对于构建“感知精准、决策智能、控制协同、服务主动”的现代化智慧高速公路具备极其关键的意义。

## 2 智慧交通背景下机电系统协同控制的理念

智慧交通的核心要义是“联”与“智”, 通过全面互联实现数据共享, 凭智能计算达成决策的优选, 这一理念深刻地革新了高速公路机电系统的控制模式, 协同控制的理念主要反映在下面三个方面。

【作者简介】景淑祎(1991-), 男, 中国山西朔州人, 本科, 助理工程师, 从事机电工程研究。

## 2.1 数据融合与信息共享

数据成为协同控制的根基。在传统机电系统的架构中，收费、视频监控、交通流、设备状态等方面的数据分散在各子系统中。然而在智慧交通的背景环境下，以构建统一的数据中台或云控平台为途径，消除各子系统间的数据隔阂，使多源异构数据能完成标准化接入、集中存储及融合处理。这让系统得以取得前所未有的综合视角，为精准识别交通状态、诊断设备故障、预测运行走向提供了坚实的数据后盾。

## 2.2 系统联动与功能协同

以数据共享为依托，各子系统不再如“自动化岛屿”一样孤立地开展运行，而是构建了一个可相互响应、协同工作的有机整体<sup>[1]</sup>。若监控系统发现某路段出现交通事故或者陷入异常拥堵状态，会自动引发收费系统的费率调整。利用情报板发布诱导信息，即刻通知救援力量前往处置；照明系统会依照监控系统所测得的车流量以及天气状况，自动调节灯具亮度，从而达成节能与安全保障的契合。跨系统的此类功能协同，使事件响应速度与资源利用效率显著提高。

## 2.3 智能决策与自适应控制

智能化成为协同控制的最高层次。智慧交通系统采用引入人工智能算法与大数据分析模型，让机电系统实现自学习、自决策、自适应能力。系统可依照实时与历史数据，测算交通流走向，就潜在风险实时预警，还会自动生成与执行最有效的控制方法。遇上节假日大流量的阶段，系统会自适应地采用匝道控制、主线限速、潮汐车道管理等组合举措，实现全网交通负荷的动态化平衡，达成从被动反应到主动介入、前瞻管控的转变。

# 3 高速公路机电系统协同控制的关键策略

为达成上述核心理念，要在技术和管理维度实施具体的协同控制策略，核心聚焦于下面几个关键范围。

## 3.1 收费与监控系统的协同控制策略

收费系统和监控系统高效地配合，搭建起智慧交通管理的核心数据链路。收费系统通过交易记录，准确了解每辆车的行程起讫点（OD）、通行时间与路径选择，构建了高精度的车辆轨迹数据库。监控系统凭借在路网各处均匀分布的摄像头与检测器，实时采集道路的视频图像、交通流量、平均速度等动态数据。把这两大系统的数据做深度整合，可精准追踪到车辆的行驶路径，并且可科学考量不同收费策略下交通流分布与运行效率的费效水平。

从具体应用策略的视角出发，可把实时与历史的收费数据，跟视频事件检测系统所捕捉到的交通事故、拥堵等信息开展时空上的关联。通过关联分析，可以揭示特定路径、特定时段上突发事件的发生模式与交通构成规律。若监控系统检测到异常事件，即刻能反向调取该时段路过此路段的车辆收费记录，为快速搞清楚事件根源、明确相关责任提供关键的数据证据集合。以收费数据为依据对短时车流高峰预测完后，能预先给监控系统发出预警通告，让其强化对关键路

段的重点巡视，并且联合可变情报板向驾驶员发布预告与诱导资讯，进而提升路网整体主动管理及应急应对能力。

## 3.2 监控与信息发布系统的协同控制策略

实现收费系统与监控系统的深度协同，是直接提升针对公众的交通信息服务时效性及有效性的技术手段，该协同策略核心就是构建一个高效的“感知-决策-发布”闭环管理流程。处于该闭环内，监控系统挑起“感知”的重担，采用视频图像智能分析、微波雷达检测等技术，可实时且自动地识别出路网上像交通事故、异常拥堵、临时施工以及恶劣天气这类的各类事件，为后续的决策精准输入相关数据。

信息发布系统充当闭环的“执行”终端，其载体有交通广播、智能手机应用程序以及路侧的可变情报板等，作为连接感知跟执行的要素，协同控制平台作为具备“决策”能力的大脑<sup>[2]</sup>。该平台凭借感知系统上报的事件种类、具体地点以及预估影响范畴，依靠内置的规则库以及算法模型，采用自动或辅助手段生成个性化交通诱导方案。这些信息精准送达对应路段的情报板，或者依靠移动互联网把信息定向传递到可能受影响的出行者手机，实现从“人找信息”过渡到“信息找人”的转变，实现信息服务定制化及精准化的目的。

## 3.3 供配电与全线设备的协同管理策略

能源供应的稳定可靠是保障高速公路全线机电设备正常运行的前提。在通信、监控、收费等系统正常运行的基础支撑方面，一套先进的协同管理策略具有重要意义。该策略的主要目标在于达成能源使用的精细化管理，并能够快速、精准地定位供电故障。这一目标的实现是通过构建一套集成化的智能供配电监控系统来达成的。该系统能够对全线的变压器、配电柜、不间断电源（UPS）等关键节点的电压、电流、功率及开关状态实时开展监测与数据采集工作，还会把这些能源数据同后端各核心机电系统的设备运行状态开展深度关联和综合分析。

当系统中的某处供电回路出现波动、中断的异常状况时，智能监控平台能迅速在拓扑图上精确识别故障点。更核心的是，系统会通过既定的逻辑关系，自动分析和判断该电力故障对后端具体哪些机电设备（比如某个门架的摄像头或收费亭的工控机）造成了损害，随后智能地执行相应的应急预案。预案措施涉及自动切换到备用供电线路、远程启动柴油发电机等，系统会迅速借助短信、APP推送等形式，向运维人员发送包含故障位置与性质的告警通告。这套闭环处理流程极大地降低了从故障发生到应急应对的响应时长，切实让高速公路运营服务的连续性与稳定性得到保障。

# 4 面向智慧交通的机电系统全局优化策略

协同控制成功解决系统间“如何联动”的问题，全局优化试图从更高维度增进整个系统的综合效能，收获“1+1>2”的效果。

## 4.1 基于大数据驱动的动态优化策略

全面借助各类信息系统汇聚的全部数据，构建依靠数

据驱动的分析与优化模型,是实现高速公路智慧运营的核心手段。在对收费策略进行优化方面,通过实时OD数据、历史交通流量以及路段饱和度等信息,建成精细化的交通流仿真模型。凭借该模型可动态评估不同时段、不同路段的差异化费率,接着进行调整,采用价格杠杆引导车辆挑选最优路径,进而主动去调节整个路网交通流量的时空分布,切实化解常态化的交通拥堵问题。

在机电设施养护推进优化的阶段,采用数据模型可让运维模式实现根本性的变革。通过连续采集去深度钻研关键设备,比如摄像头、情报板、服务器等装置的历史运行参数、告警日志以及维修档案,可以构建起预测性维护模型<sup>[3]</sup>。该模型有能力精准识别设备性能的衰减趋向以及潜在故障特性,在设备发生功能性中断的阶段提前发出信号并安排维护事项。从传统所采用“坏了再修”的被动响应情形,往“防患于未然”的主动干预转变,能大幅降低紧急维修发生的频率与总体运维成本,还可大幅增进关键机电系统的整体可用性与可靠性。

#### 4.2 构建系统效能综合评估与反馈优化模型

确立一套科学的机电系统效能综合评估指标体系,对衡量以及提升高速公路整体运营管理水平意义重大。此体系应系统地包括通行效率、安全水平、能源消耗、用户服务满意度以及设备可用性等多个核心范围,把不同源头的信息转化为可量化的评估分数,由此客观、详尽地体现机电系统的综合运行态势<sup>[4]</sup>。按照固定时段开展此项综合评估工作,可准确估量各项协同控制与管理优化策略的实际实施成果,为管理决策赋予可靠的数据依据。

依照评估结果,务必要构建一个动态、灵敏的反馈优化机制。采用机器学习的先进数据分析技术,可以对评估中暴露出的薄弱之处进行深度归因研究,还可以辅助或自动修正原有的控制参数,进而调整策略模型的算法权重。这一过程让整个管理系统得以从实际运行效果中不断学习,由此构建一套完整的“评估-反馈-优化”持续改进闭环。稳定地运行该闭环,最终会引导机电系统从静态的自动化管理过渡,朝着拥有自我学习、自我调整与自我进化能力的智慧化阶段发展。

#### 4.3 推动“建管养运”一体化的全生命周期优化

为从本质层面增强机电系统的整体效力,应当打破传

统建设、管理、养护以及运营环节彼此的阻隔,开展全生命周期一体化的优化策略。遵循这一理念,在项目规划设计的初始阶段,便前瞻性地融入未来协同控制与智慧运维的核心需求。处于工程建设的阶段,把所有关键机电设备的物理接口及数据通信协议强制进行统一,为之后各子系统的无缝对接与数据深度融合建立稳固的技术支撑,防止形成“信息孤岛”局面。

当处于长期运营维护这个阶段,要把设备的资产身份实际信息、历史养护留存记录、部件更换的具体详情等静态数据,与实时监控系統所获取的运行状态、性能参数等动态数据进行深度关联与统一管控<sup>[5]</sup>。这种综合性管理模式,形成了完整的设备数字档案,达成了自采购、安装、运营、维护至报废的全生命周期精细管控。开展这种从源头把控的系统性规划,可有力降低系统集成的全面复杂程度,有效减少后期因接口不一致、数据不畅通引发的改造及维护支出,进而让系统在全生命周期内实现综合效益的最大程度提升。

### 5 结语

基于智慧交通的推动力量,高速公路机电工程正从分散、被动的管控向协同、智能、自适应的一体化控制方式过渡。采用数据融合、系统联动与智能决策,实现收费、监控、信息发布跟供配电等系统的深度配合,另外结合数据驱动与全生命周期管理,最大程度挖掘系统潜能。未来,随着5G、车路协同和数字孪生等技术成熟后,机电系统协同控制会进入更高的阶段,为创建安全、高效、绿色、智慧的现代交通体系提供坚实后盾。

#### 参考文献

- [1] 郭伟,许明.基于人机协同的智慧车站构建方法与实践[J].城市轨道交通,2023(4):57-59.
- [2] 肖尧,蔡铭,黄敏.智慧交通专业“双基础三技术四实验”立体培养架构[J].高等工程教育研究,2024(2):64-70.
- [3] 左志强,刘正璇,王一晶.基于车路云一体化的混合交通系统优化控制综述[J].控制与决策,2023,38(3):577-594.
- [4] 徐超,王璐.车路协同在高速公路区域控制中的应用探讨[J].中国交通信息化,2023(1):102-104.
- [5] 陆由,詹玮,梅小海,等.智慧隧道三级协同综合管控系统设计与应用[J].中国交通信息化,2024(S01):406-409.