

高速公路智能交通信号控制系统与交安设施协同应用分析

刘昊源

云南云交科智慧园区科创产业发展有限公司 云南 昆明 650101

【摘要】：高速公路智能交通信号控制系统与交安设施的协同运作，是化解路网通行效率与交通安全矛盾的关键途径。伴随交通流量的持续攀升与路况复杂程度的加深，单一管控设施渐难适配动态化交通需求。二者借助数据互通达成时序联动与场景精准匹配，借由智能信号的实时调控效能，联动交通标志标线、防护设施及监测设备的功能互补优势，搭建全链条交通管控架构。这一模式能够动态优化交通流配置，提前预警道路风险，切实缩短车辆通行延误，压低交通事故发生概率，同步提升路网管理的智能化与精细化水准。该协同途径为高速公路交通治理提质增效提供了可行方案，拥有突出的工程应用价值与推广潜力。

【关键词】：高速公路；智能交通信号控制；交安设施；协同应用；交通运行优化

DOI:10.12417/2811-0722.26.01.040

引言

高速公路是交通运输体系的核心枢纽，其通行效率与安全水平深刻影响路网运行质量与社会经济发展。现阶段交通流量的持续攀升与交通需求的多元化，让单一管控手段的局限性渐趋显著，传统模式下信号控制与交安设施孤立运作的状态，难以适配动态复杂的路网环境。智能交通信号控制系统与交安设施的协同应用，破除了二者功能割裂的壁垒，凭借技术融合与功能互补搭建一体化管控框架。本文围绕这一核心导向，系统梳理协同应用的技术逻辑与实践路径，厘清二者在场景适配、数据互通、效能提升中的内在关联，为高速公路交通治理的智能化升级提供理论依据与实践借鉴。

1 高速公路交通管控发展现状与协同应用背景

1.1 高速公路交通管控的基础技术配置现状

当前高速公路已逐步构建起多类型管控硬件体系，智能交通信号控制系统涵盖区间信号机、车路协同信号终端、动态相位调节模块等设备，可实现对路段通行节奏的初步调控；交安设施方面，除传统反光型轮廓标、防撞护栏外，动态警示标志、车道状态指示器、护栏配套监测传感器等智能化设施已在长下坡、互通立交等关键路段普及，形成“信号调控+物理防护”的基础管控框架，但两类设施的运行数据尚未形成有效交互，多处于独立作业状态。

1.2 高速公路交通运行需求的动态变化特征

伴随路网覆盖规模拓展，高速公路交通运行呈现多层次演变：一则，潮汐式流量特征日趋凸显，平峰与早晚高峰时段的通行需求差异突出，跨区域货运与客运车辆的混行态势同步加剧；再者，暴雨、团雾等恶劣天气及临时施工等突发状况，对通行安全的干扰作用持续强化，传统固化管控模式难以契合交通场景的动态演变，为管控设施的联动响应效能赋予更高标准。

1.3 单一管控设施适配现状的局限性凸显

现有管控模式中，智能交通信号控制系统大多依托流量数

据开展独立调控，缺乏与交安设施所传递安全警示信息的有效融合，诸如前方路段发生车辆故障占道的情形下，信号系统难以快速协同调整后方车道的通行相位；与之相应，交安设施大多采取静态提示形式，难以依托信号系统反馈的实时流量变化优化警示信息呈现形式，使得管控效能呈现分散化态势，难以达成“效率提升-安全保障”的协同效应，这一情形构成二者协同应用的现实需求前提。

2 高速公路信号控制与交安设施应用的现存困境

2.1 数据交互标准不统一导致协同基础缺失

信号控制系统与交安设施在数据采集及传输环节存在显著脱节，两类设施的数据标准尚未形成统一准则。智能信号系统多采集实时流量、相位时长等结构化数据，采集频率多为秒级；反观交安设施诸如动态警示标志、护栏监测传感器，输出信息多为警示等级、设备状态等半结构化内容，采集周期常以分钟级计量。数据格式与采集频率的这类差异，造成二者难以直接达成数据互通，诸如信号系统难以实时捕捉前方路段动态标志传递的“事故警示”信号以调整通行相位，交安设施亦难以获取信号系统反馈的车流拥堵信息以优化引导内容，最终造成协同管控缺乏数据支撑。

2.2 场景管控适配性不足引发功能断层

不同路况场景中，信号控制与交安设施的功能协同存在显著短板。互通立交路段上，信号系统聚焦调控车流转向优先级，交安设施的车道引导标志多采用固定标识形式，信号系统临时调整转向相位时，引导标志难以同步更新，容易引发驾驶员对车道功能的误判；隧道出入口等特殊路段中，交安设施的限速警示与信号系统的车速引导往往存在不同步现象，若隧道内突发事故，交安设施已启动“禁止通行”警示，信号系统却依旧保持原有通行相位，进而引发后方车辆滞留，致使交通风险进一步攀升。

2.3 运维管理协同机制脱节加剧问题积累

信号控制与交安设施的运维管理分属独立体系，尚未建立

统一协同运维架构。信号控制系统运维主要由交通管控部门承担，核心围绕设备信号传输与相位调节效能；交安设施巡检多由公路养护部门负责实施，重点关注设施物理状态的完好性^[1]。若发生管控异常情况，例如信号相位错乱引发车流拥堵，养护部门巡检交安设施过程中难以发现信号系统的关联性故障，管控部门排查信号故障时亦难以同步核实交安设施引导功能是否匹配，使得问题排查耗时增加，部分隐性故障长期累积，持续降低管控整体效能。

3 信号控制与交安设施协同应用的实施路径

3.1 统一数据交互标准与搭建协同平台

实现两类设施高效协同的核心前提，是构建全域统一的交互规范体系，需从信息分类规则、格式适配准则、传输安全协议三方面全面界定。既要明确信号控制与交安设施各自的信息输出类型与适配要求，又要规范跨设施信息传输的兼容性与稳定性标准，将信号系统的实时通行态势、相位调节指令，与交安设施的警示状态、设备运行反馈等内容，均纳入标准化规整形式，同步统一秒级信息采集频次，彻底消除格式异构、传输延迟等阻碍，确保跨设施信息实时流转无壁垒^[2]。在此基础上搭建云边协同管控平台，平台一端深度接入信号机、车路协同终端等设备的运行状态，另一端全面汇总动态警示标志、护栏监测传感器等设施的状态反馈，通过内置信息筛选提纯、异常校验及多维度融合算法，搭建跨设施信息共享中枢与联动分析机制，形成实时响应、智能反馈的信息交互闭环，为后续场景化协同管控筑牢坚实可靠的信息支撑根基。

3.2 分场景构建协同管控策略

针对高速公路不同路况特征与运行场景，制定靶向性差异化协同管控方案。互通立交路段交通流交织频繁，信号系统依据实时通行态势调整转向车道通行相位时，云边协同管控平台即刻向该路段动态车道引导标志下达指令，更新车道功能提示内容与行驶优先级标识，规避驾驶员因相位与标志不同步产生的车道选择困惑，保障车流转向有序衔接；隧道出入口光线与车速转换集中，若交安设施的烟雾传感器捕捉到异常信号，平台迅速将预警信息传导至信号系统，信号系统自主优化隧道入口通行相位，合理拉大车辆通行间距、放缓行驶速度，同步触发隧道内应急警示标志与声光提醒，为风险处置预留缓冲；恶劣天气下通行能见度受限，交安设施监测到能见度下滑时，信号系统联动开启低速通行相位，协同道路两侧动态限速标志与轮廓强化提示，引导车辆保持安全间距平稳有序行驶，降低恶劣环境下的事故风险。

3.3 建立协同运维管理机制

打破交通管控与公路养护部门的职能壁垒，整合双方管理流程、运维力量与技术资源，组建兼具跨部门协作意识与专业能力的专项联合运维团队。明确从日常巡检、隐患预警、联合

排查到闭环处置的全流程职责划分，细化两类设施协同运维的操作规范、衔接节点与责任清单，实现责任到人、流程闭环。日常巡检环节，运维人员在全面核查信号机运行状态与功能稳定性的同时，同步校验周边交安设施的信号交互顺畅度、功能适配性，定期校准二者联动参数，及时排查连接松动、响应延迟、指令偏差等潜在隐患，建立详实巡检台账，保障两类设施联动基础的持续可靠。设施出现异常时，联合运维团队依托管控平台快速定位问题源头与影响范围，启动故障处置联动预案，若为信号系统故障，同步排查交安设施是否因交互中断出现引导偏差；若为交安设施问题，即刻同步信号系统调整管控策略，明确响应时限，规避单一故障诱发连锁风险、扩大影响范围^[3]。此外，定期组织协同运维专项培训、技术交流研讨会与实操演练，结合典型故障案例复盘深化运维人员对两类设施联动逻辑的认知，配套建立考核评估机制，全面提升跨设施问题研判、快速响应与协同处置能力，形成常态化协同运维模式，全程保障运维环节的协同效能。见图1所示：



图1 信号与交安设施协同实施路径

4 高速公路信号控制与交安设施协同应用的实践效能

4.1 提升交通运行效率

信号控制与交安设施的深度协同，能动态适配不同时段、不同区域的车流运行特征，从根源提升高速公路通行效率。潮汐流量突出的路段中，早高峰时段车流集中涌向主车道，信号系统依据实时通行态势延长主车道通行相位，交安设施的动态车道引导标志同步切换“优先通行”提示与车道优先级标识，清晰引导车辆快速驶入主车道，避免车道选择混乱；平峰时段车流分布均衡，系统自动调整为各车道均衡通行相位，衔接标志的“正常通行”指引，最大化利用车道资源，规避闲置浪费。互通立交区域车流转向复杂、交织频繁，二者协同通过精准的相位调控与引导标识联动，明确车流行驶路径指引，减少转向车流与直行车流的交汇冲突，此前因相位与标志不同步引发的

车辆减速迟疑、加塞抢道等现象大幅减少^[4]。路段整体通行节律更趋平稳有序，车辆排队等候现象显著缓解，高峰时段拥堵消散速度加快，切实提升路网整体通行流畅度。

4.2 强化交通安全保障

特殊路段通行风险较高、突发状况频发，信号控制与交安设施的协同应用能显著增强风险预警的及时性与应急处置的精准性。隧道出入口光线突变、车流交汇集中，若交安设施的烟雾传感器捕捉到火灾、浓烟等异常信号，信号系统即刻启动“减速通行”专项相位，同步调整入口车流放行节奏，隧道入口的动态警示标志同步亮起“前方故障，减速慢行”提示，引导车辆提前放缓行驶速度，为现场救援、故障清理预留充足操作空间。团雾天气下视线严重受阻，交安设施的能见度传感器捕捉到能见度持续下滑信号后，迅速将预警信息传导至信号系统，信号机自主缩短通行相位间隔、降低车流放行密度，配合道路两侧的频闪警示标志与雾区诱导设施，强化视觉提醒，引导驾驶员主动保持安全车距、放缓行驶速度，大幅降低因视线受阻、跟车过近诱发的追尾事故风险^[5]。施工路段车道缩减、通行空间受限，二者协同构建“信号管控-物理引导”的双重防护体系，信号系统动态调整施工区域前后车流放行节奏，交安设施的施工警示标志、导向牌同步明确车道通行规则，引导车辆有序避让施工区域，显著压低刮擦、碰撞等事故发生概率。

4.3 优化路网管理成本

信号控制与交安设施的协同应用，从运维协同与资源高效利用两大维度，实现路网管理成本的精细化优化。运维层面，

打破部门职能壁垒的联合运维机制，大幅缩减设施故障排查的时间与人力成本。过往需交通管控与养护部门分别开展独立巡检，如今依托协同平台可快速定位问题关联根源，减少跨部门沟通内耗与重复作业的无效投入；同时，两类设施通过功能互补与信息共享，无需额外增设辅助监测设备，直接省去新增设备的采购、安装与调试成本，实现现有资源的高效复用。资源利用层面，二者的协同调控能优化车流通行节奏，减少车辆怠速等待与无效行驶时长，降低路网整体能源消耗与车辆机械损耗；而设施功能的互补性避免了单一设施长期超负荷运行引发的快速老化问题，有效延长设备服役周期，减轻设施更新换代的资金压力，同时降低频繁维修带来的人力与物料成本，从直接与间接两方面实现路网管理成本的合理管控。

5 结语

本文聚焦高速公路智能交通信号控制系统与交安设施的协同应用展开分析，以管控现状、需求变化及单一设施局限为切入点，明晰协同应用的现实基础；继而剖析数据交互、场景适配与运维机制的现存困境，锁定协同落地的核心障碍；进而提出统一数据标准、分场景施策与协同运维机制的落地路径，提供实践可行方案；最终从效率提升、安全强化、成本优化三方面，论证协同应用的核心价值。综合来看，二者协同是破解高速公路动态管控难题的关键路径，既填补单一设施功能短板，又为路网治理提质增效提供坚实支撑。后续可进一步深化技术融合、拓展协同场景、健全跨部门联动机制，使其在复杂路网环境中充分发挥效能，持续推动高速公路交通治理向更智能、精细的方向进阶。

参考文献：

- [1] 方可.高速公路交安设施维护工程施工控制要点[J].四川水泥,2025,(07):169-171.
- [2] 王建发.高速公路交安设施维护工程施工控制要点研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(05):134-137.
- [3] 周享.高速公路交安设施工程设计优化与评价研究[J].交通科技与管理,2024,5(23):109-111.
- [4] 王珊珊,李辉,胡晓庆,等.公路交通安全设施智能养护决策系统研发与应用[J].山东交通科技,2023,(06):27-30.
- [5] 赵龙.高速公路交安设施施工创新管理分析[J].产品可靠性报告,2023,(10):102-103.