

# 高速公路智能交通信号控制系统与交安设施协同应用策略

杨梅蕊

云南省交通科学研究院有限公司 云南 昆明 650000

**【摘要】**：高速公路智能交通信号控制系统与交安设施的协同应用是提升路网安全水平与通行效率的关键举措。本文通过界定智能交通信号控制系统与交安设施的核心内涵及协同价值，剖析当前两者在规划布局、技术融合、运营管理等方面存在的脱节问题，从协同规划、技术融合、运营管控三个维度提出针对性应用路径，结合实际案例验证协同成效，为高速公路交通系统的智能化升级与安全保障提供理论支撑和实践参考。

**【关键词】**：高速公路；智能交通；信号控制；交安设施协同应用；安全效率

DOI:10.12417/2811-0722.26.02.019

## 1 引言

随着高速公路路网密度提升与交通流量持续增长，单一依赖智能交通信号控制系统或交安设施已难以满足现代交通对安全、高效、有序的需求。智能交通信号控制系统通过动态调节通行权限优化交通流，交安设施通过物理防护与信息警示降低事故风险，两者的协同应用能实现“主动调控+被动防护”的双重保障。当前，高速公路建设中普遍存在信号控制与交安设施各自为政的现象，导致协同效应未充分发挥，交通拥堵与安全事故隐患仍较为突出。基于此，本文系统研究两者协同应用的核心逻辑与实践路径，为高速公路交通系统高质量发展提供解决方案。

## 2 智能交通信号控制系统核心特征

高速公路智能交通信号控制系统以物联网、大数据、人工智能技术为支撑，核心应用于互通立交、收费站、施工路段、应急管控等场景，具备动态配时、流量调控、应急响应等功能。其核心特征体现为实时性，通过交通流检测器实时采集车流量车速排队长度等数据；适应性，根据交通状态动态调整信号策略；联动性，可与其他智能交通系统实现数据互通与协同控制。

### 2.1 交安设施核心类型与功能

高速公路交安设施包括主动警示类被动防护类信息引导类三大类型。主动警示类包括可变限速标志避险车道提示牌轮廓标等，用于提前警示交通风险；被动防护类包括防撞护栏防眩板避险车道等，用于降低事故损失；信息引导类包括指路标志可变信息标志车道控制标志等，用于引导车辆有序通行。各类设施通过物理防护与信息传递，构建高速公路安全保障体系。

### 2.2 协同应用核心价值

两者协同应用的核心价值体现为安全增益与效率提升的双重目标。安全层面，通过信号控制与交安设施的联动，实现风险提前预警流量精准调控事故快速响应，降低交通事故发生率；效率层面，基于交安设施的布局特征优化信号配时，通过信号控制引导车辆适应交安设施功能，减少交通延误与拥堵，

提升路网通行能力。

表1 智能交通信号控制系统与交安设施协同应用核心要素对应表

协同维度	核心要素	交安设施类型	智能信号控制策略	协同目标
规划布局协同	互通立交区域	指路标志防撞护栏轮廓标	匝道动态放行信号 合流区优先信号	减少合流冲突提升通行秩序
规划布局协同	收费站区域	车道控制标志减速带警示灯	收费车道动态分配 信号车流疏导信号	缩短排队时间避免收费站拥堵
规划布局协同	施工路段	施工警示标志可变限速标志导流设施	施工区域限流信号 交替放行信号	保障施工安全减少交通拥堵
规划布局协同	应急管控区域	应急警示标志避险车道可变信息标志	应急车道优先信号 车流分流信号	快速疏散车流降低事故影响
技术融合协同	数据互通	各类检测型交安设施	数据驱动的动态配时策略	实现供需精准匹配
技术融合协同	联动控制	可变信息标志智能测速设备	信号与设施状态联动调整策略	提升控制精准度

## 3 高速公路智能交通信号控制系统与交安设施协同应用现状与问题

### 3.1 应用现状

当前高速公路智能交通信号控制系统与交安设施的协同应用处于初步探索阶段。部分高速公路在互通立交与收费站区域实现了基础协同，例如通过可变信息标志发布信号控制状态，根据车流量调整收费车道开放数量。但从整体来看，协同应用范围较窄深度不足，多数路段仍采用传统模式，信号控制仅依据交通流量数据，未充分考虑交安设施的布局特征与功能需求；交安设施缺乏智能联动机制，无法根据信号控制状态动态调整警示信息，两者形成“信息孤岛”。

### 3.2 存在问题

规划阶段信号控制与交安设施分属不同设计体系，缺乏联合规划流程，导致信号控制点位与交安设施布局不匹配，例如在急弯路段未同步设置信号预警与警示标志。两者采用的技术规范数据格式不一致，智能信号控制系统与交安设施的监测数据无法直接互通，联动控制响应滞后。信号控制系统的运维由

交通运营部门负责，交安设施的维护由养护部门负责，缺乏协同运维机制，导致一方出现故障时另一方无法及时调整运行策略。缺乏针对两者协同应用的成效评价指标，无法科学化协同带来的安全与效率提升效果，难以指导后续优化升级。

## 4 高速公路智能交通信号控制系统与交安设施协同应用路径

### 4.1 协同规划构建联合设计体系

建立高速公路智能交通信号控制系统与交安设施联合规划机制，将协同要求纳入项目前期设计阶段。在路线设计时，根据路段安全等级交通流量特征地形条件，同步规划信号控制点位与交安设施布局：在互通立交合流区，结合防撞护栏位置设置信号控制感应区，通过信号调节控制汇入车流速度；在长下坡路段，联动避险车道位置设置可变限速信号与警示标志，提前引导车辆减速；在施工路段规划中，同步设计施工区域信号限流方案与临时交安设施布置，确保交通疏导与安全防护协同。

### 4.2 技术融合搭建智能联动平台

制定两者协同应用的技术规范，明确数据采集格式通信协议联动响应时间等要求，实现智能信号控制系统与交安设施的硬件兼容与软件互通。整合信号控制数据交安设施状态数据交通流数据气象数据，搭建统一的协同管理平台，通过物联网技术实时采集可变限速标志智能测速设备防撞护栏状态监测器等数据，为信号控制策略优化提供支撑；信号控制系统的运行状态同步反馈至交安设施，例如将信号放行计划推送至可变信息标志，引导车辆提前调整行驶状态。基于大数据与人工智能技术，开发协同控制算法，根据交通流变化交安设施状态动态优化信号配时。例如在雨雾天气，通过交安设施的能见度检测器数据，自动调整信号放行间隔，降低车速限制，同步激活轮廓标与警示灯增强可视性。

### 4.3 运营管控建立协同管理机制

整合交通运营设施养护技术保障等专业力量，建立协同运维团队，实行统一巡查统一检修统一调度，当交安设施出现损坏或智能信号系统故障时，及时启动应急联动方案，避免因单一系统故障引发交通风险。定期分析协同应用数据，根据交通流量变化事故发生规律道路养护计划，动态调整信号控制策略与交安设施布局。例如在节假日高峰时段，优化收费站信号放行方案，增加开放车道数量，同步调整指路标志信息引导车流分流；在事故高发路段，加密信号预警点位，增设防撞设施与警示标志。建立涵盖安全效率服务三类指标的协同应用成效评价体系，定期开展量化评估，持续优化协同方案。

表2 协同应用成效评价指标体系

评价维度	具体指标	计算方式	评价标准
------	------	------	------

安全指标	事故率下降幅度	(协同前事故数-协同后事故数)/协同前事故数×100%	≥30%为优秀 20%-30%为良好 10%-20%为合格<10%为不合格
安全指标	事故严重程度指数	(轻微事故数×1+一般事故数×3+重大事故数×5)/总事故数	≤1.5 为优秀 1.5-2.5 为良好 2.5-3.5 为合格>3.5 为不合格
效率指标	通行效率提升幅度	(协同后平均车速-协同前平均车速)/协同前平均车速×100%	≥20%为优秀 15%-20%为良好 10%-15%为合格<10%为不合格
效率指标	拥堵时长缩短幅度	(协同前拥堵时长-协同后拥堵时长)/协同前拥堵时长×100%	≥40%为优秀 30%-40%为良好 20%-30%为合格<20%为不合格
服务指标	驾驶员满意度	问卷调查满意度评分平均值	≥85 分为优秀 75-85 分为良好 65-75 分为合格<65 分为不合格
服务指标	应急响应时间	从事件发生到信号与设施联动处置完成的时间	≤5 分钟为优秀 5-10 分钟为良好 10-15 分钟为合格>15 分钟为不合格

## 5 案例实践分析

### 5.1 案例背景

某高速公路段全长 96 公里，途经 3 个互通立交 2 个主线收费站，沿线包含长下坡急弯等危险路段，日均交通流量达 1.2 万辆次，高峰时段拥堵问题突出，年均事故发生率为 3.2 起/百公里。为提升路段安全与通行效率，该路段实施智能交通信号控制系统与交安设施协同升级改造，改造内容包括搭建协同管理平台优化信号控制点位与交安设施布局建立协同运维机制，项目实施周期为 2022 年 3 月至 2023 年 6 月。

### 5.2 协同应用实践

#### 5.2.1 分阶段分层落地设计

互通立交合流区按“感应区+设施强化”双原则设计，信号控制感应区设置在距合流点 500 米 300 米 100 米处，对应增设 3 处防撞护栏加强段与可变信息标志；长下坡路段结合 3 处避险车道位置，在距车道入口 1000 米 500 米 200 米处设置可变限速信号与警示标志联动装置，限速值按坡长动态调整。收费站按“动态放行+设施引导”设计，信号放行方案区分工作日节假日高峰平峰时段，预设 8 套车道分配模式；同步完善车道控制标志与减速带布局。

#### 5.2.2 分模块逐步推进融合

制定交通流数据设施状态数据统一采集格式，明确车流量车速等 16 类核心数据的采集频率精度要求，统一通信协议，确保设备兼容。组织技术团队开发 12 套数据接口，实现智能信号控制系统与 45 套交安设施状态监测设备的硬件对接，接口响应时间≤0.5 秒。分三批次完成 120 套交通流检测器 45 套交安设施状态监测设备的数据接入，第一批次接入互通立交区域设备，第二批次接入长下坡路段设备，第三批次接入收费站区域设备，每批次接入后开展 72 小时稳定性测试。采用云服务器架构搭建协同管理平台，划分数据存储分析展示三大功能模块，实现交通流数据设施状态数据气象数据的实时汇聚（更

新频率1分钟/次),平台并发处理能力 $\geq 1000$ 条/秒。模拟正常通行雨雾天气交通拥堵设备故障4类场景,开展联调测试20次,验证信号控制与交安设施联动响应的准确性。针对测试中发现的3类联动延迟问题,优化平台数据传输路径,调整算法响应参数,确保系统稳定运行。

### 5.2.3.全流程闭环管理

明确团队的岗位职责,建立与交警气象养护部门的月度沟通机制,每月5日前召开联动会议,共享交通运行气象预警设施养护等信息。运维巡查组分为4个小组,实行24小时三班运转制度,每组负责24公里路段,按“设备状态数据传输联动效果”三类指标开展巡查,每日提交巡查报告,发现一般问题当日整改,重大问题4小时内上报。每季度开展1次全路段设备检修,对120套交通流检测器45套交安设施状态监测设备信号控制终端进行全面检测校准,检修合格率 $\geq 98\%$ ;每年开展1次系统升级,优化平台功能与算法模型。

将故障分为三级,一级故障响应时间 $\leq 3$ 分钟,由应急处置组现场处置;二级故障响应时间 $\leq 8$ 分钟,由巡查组现场处置;三级故障响应时间 $\leq 24$ 小时,纳入日常整改。每半年开展1次综合应急演练,模拟设备故障恶劣天气交通事故等场景,检验协同处置流程,累计开展4次演练,故障处置平均耗时从初始的12分钟缩短至4.2分钟。每月5日前由数据分析师完成上月协同应用成效评估,采用表2评价指标体系开展量化分析,形

成评估报告并提出优化建议。根据评估结果动态调整信号配时方案与交安设施布局,如在节假日高峰前1周优化收费站信号放行模式,增加2条临时开放车道;在事故高发路段新增信号预警点位2处防撞设施加强段3处,持续提升协同效果。

### 5.3 应用成效

项目运营1年后,该路段事故率降至1.8起/百公里,下降幅度达43.75%,未发生重大交通事故,安全指标达到优秀标准;平均车速从协同前的65公里/小时提升至79公里/小时,通行效率提升21.5%,高峰时段拥堵时长从90分钟缩短至45分钟,缩短幅度达50%;通过问卷调查,驾驶员满意度达88分,应急响应时间平均为4.2分钟,整体协同应用成效显著。

## 6 结论

高速公路智能交通信号控制系统与交安设施的协同应用是破解当前路网安全与效率矛盾的有效途径。本文通过分析两者协同的核心价值与现状问题,从规划协同技术融合运营管控三个维度构建了协同应用路径,结合实际案例验证了协同应用的可行性与有效性。实践表明,通过建立联合规划机制搭建智能联动平台完善协同管理体系,能够实现安全事故率下降通行效率提升服务质量改善的多重目标。随着车路协同自动驾驶等技术的发展,应进一步深化两者的协同深度,探索全场景全时段的智能协同模式,为高速公路交通系统的可持续发展提供更强有力的支撑。

## 参考文献:

- [1] 张洋洋,庞梦月.针对高速公路收费站处微拥堵的智能交通控制系统[J].智能城市,2021,7(13):1-2.
- [2] 张红丽.高速公路智能交通管理与控制系统工程[J].黑龙江交通科技,2014,37(04):189.
- [3] 王蕾.基于大数据分析的智能交通信号控制系统优化策略研究[J].交通科技与管理,2025,6(07):4-6.