

智能交通技术支撑下的公路安全设施与路线优化设计

江永洛珠

西藏交通勘察设计院有限公司 西藏拉萨 850000

摘要：随着我国交通运输规模持续扩张，公路安全与通行效率正遭遇前所未有的考验。沿用被动防护与静态设计的传统设施已难以回应现代交通的复杂场景。本文聚焦大数据、物联网与人工智能，探讨智能交通技术如何为安全设施布设和路线优化注入变革动力。研究系统梳理该技术在实时风险感知、动态预警及主动防护中的实践，阐明其推动安全设施由“事后应对”转向“事前干预”的机理；同时解析融合多源数据的路线动态仿真与优化框架，使通行能力与安全性同步提升。结果表明，深度嵌入智能交通技术是构建安全、高效、绿色、可持续公路体系的核心路径，对加快交通强国建设具有现实战略价值。

关键词：智能交通系统；公路安全；主动防护设施；路线优化

公路如同国家经济的动脉，其安全与通行效率直接影响发展质量。然而，传统设计思路和安全设施往往依赖静态模型和历史数据，更新滞后、适应性有限：固定警示牌无法随突发天气即时调整，路线方案也难以匹配实时车流变化。借助感知、通信、决策与执行一体化技术，智能交通系统可对“人-车-路-环境”全要素进行实时感知并做出动态响应。本文将探讨这些技术如何具体推动公路安全设施的智能升级和路线设计的精细优化，为未来智慧公路建设提供理论支撑与实践路径。

一、智能交通系统架构设计

智能交通系统并非单一技术，而是一个复杂的技术生态系统。其核心在于构建一个从感知到决策再到执行的闭环，为公路安全与效率的提升提供全方位支撑。

(1) 感知层。感知层犹如系统的神经末梢，沿道路布设微波检测器、高清摄像头、气象与路面传感器，并接入出租车、货车等浮动车的GPS轨迹和移动信令，全天候捕捉流量、车速、车型、排队长度、事故、停车、能见度、风速、降水、路面温度、干湿及结冰等全要素数据。

(2) 网络与通信层。此层依托5G、C-V2X蜂窝车联网和光纤等高速低时延链路，将感知层的数据实时送往处理中心，并快速将决策指令回传至路侧单元与车辆，保障传输的时效性与可靠性^[1]。

(3) 数据处理与决策层。该层相当于系统的“神经网络”，依托云计算与边缘计算平台，借助大数据分析、人工智能及机器学习算法，对汇聚而来的海量数据进行

深度融合与挖掘。AI视频分析可自动识别交通事故；结合历史与实时数据，可预测短时交通流量及事故风险；仿真模型则用于评估不同管控策略的效果，进而生成最优的交通诱导、信号配时、限速调节和风险预警方案。

(4) 应用与执行层。这是系统的“手脚”，由可变信息标志、智能信号灯、自适应匝道控制、车载终端、路侧广播以及智能化安全设施组成，负责将决策层的指令转化为可见的控制动作和出行服务，并直接作用于交通参与者。

二、智能技术驱动的公路安全设施升级

(一) 动态风险预警系统

传统静态标志牌信息固定，缺乏实时更新，警示作用有限。面对复杂多变的交通场景，它们难以及时提示突发险情。依托智能技术的动态风险预警系统，把先进感知设备、通信网络和数据处理平台整合为一体，能够精准识别交通风险并按情景发出预警，道路安全防护由此明显增强。系统在长下坡、急弯、隧道出入口及高速公路合流区等高危路段布设毫米波雷达、激光雷达或智能视频事件检测器，实时采集交通流状态。传感器精确记录车辆速度、加速度、车距与轨迹，边缘计算单元同步完成分析。一旦检测到超速、跟车过近、异常变道或潜在碰撞，路侧单元立即联动前方可变信息标志、LED发光标志或投影装置，推送“前方危险，请减速慢行”“保持车距”等定向警示。新一代光学投影技术甚至把警示图案直接投射到路面，形成强烈视觉刺激，进一步吸引驾驶员注意。

另外，在特殊气象条件下，系统的预警优势更为明显。以团雾路段为例，气象传感器持续采集能见度、湿度与温度，一旦能见度跌破设定阈值，雾区防撞诱导装置立即启动^[2]。道路两侧的智能警示灯按既定频率闪黄，灯带勾勒出车道边界，亮度与闪频随能见度动态调整，提示前后车保持间距。部分高阶方案还能同步修正限速标志，实现分档控速。

（二）主动防护设施

传统护栏与避险车道等装置，只在事故发生或已发生后才介入，目的在于降低损失，属于被动防护。相比之下，智能技术支撑的主动防护设施通过实时监测、智能分析并主动干预，把安全策略从“事后减损”前移到“事前预防”，使道路的主动安全水平明显提升。智能路侧障碍物预警系统是这一思路的典型落地场景。施工、养护或出现临时障碍的路段会布设带通信功能的智能锥桶、电子标牌等设备；它们既能自发光，又内置定位与C-V2X通信模块，可把精确位置、障碍物类型等信息实时广播给周边300-500 m内的车辆。装有车载单元（OBU）的车辆收到数据后，可在显示屏呈现可视化警示，也能通过语音提醒驾驶员提前避让；若车辆配备高级辅助驾驶（ADAS）或自动驾驶系统，信息将直接输入控制层，触发自动减速或安全变道，最终形成“人-车-路”协同的一体化防护体系^[3]。

此外，针对长陡下坡路段频发的货车制动失效事故，失控车辆主动介入系统给出了一种新的应对思路。系统在坡道沿线布设雷达测速仪和红外测温装置，持续采集货车车速与刹车片温度，并结合车辆特征参数智能评估制动失效风险。一旦判定风险等级较高，路侧单元立即向目标车辆下发最高优先级的引导指令，同时联动前方智能避险车道。该避险车道在长度与坡度上经过重新优化，并配备可升降阻尼装置和柔性制动材料；车辆驶入后，系统依据其质量、速度等实时调整阻尼，使能量平稳耗散，最大限度保障驾驶员与货物安全。

（三）车路协同安全增强

车路协同把单车智能升级为系统智能，借助V2V、V2I、V2P等通信手段，将安全视角从局部拓展到全局，为新一代交通安全体系奠定技术底座。在无信号交叉口、高速匝道合流区等复杂节点，路侧摄像头与雷达实时捕捉各方向交通参与者的动态，人工智能算法据此预判潜在冲突；一旦判定两车可能相撞，系统立即经V2I向涉事车辆推送预警。交叉口可提示“左侧来车，请让行”，

合流区则提醒“汇入车辆接近，谨慎驾驶”。预警经车载终端以图像或声音呈现，弥补驾驶员盲区与反应迟滞，使通行由主观判断转为系统辅助的协同决策。

除了车辆间的冲突预警，车路协同在道路危险提示方面同样关键。前方若发生交通事故、散落物或其他突发险情，路侧感知设备一旦确认事件，便借助V2I通信在毫秒级把位置、类型等信息播发给后方数公里内的车辆。驾驶员由此提前获知险情，有充裕时间减速或变道，从而有效遏制次生事故。

三、数据赋能的公路路线优化设计

（一）基于大数据的路线规划与方案比选

项目可行性研究与初步设计阶段，传统做法只能依赖抽样交通调查和经济预测。借助手机信令、互联网导航和POI数据，区域OD分布、出行特征及潜在需求可被前所未有地精细刻画。以新建城际高速为例，规划者通过亿级手机信令绘制城市群人口流动时空图谱，锁定真实交通走廊与主客流OD；再耦合用地规划与经济模型，预测远景交通量，并对路线走向、互通位置与形式做多方案仿真。系统对比各方案行程时间、油耗、排放及对既有路网的分流效果，最终选出综合效益最优的线路。

（二）微观仿真驱动的线条设计与交叉口优化

进入详细设计后，面对互通立交或复杂平面交叉口，智能交通数据驱动的微观仿真已不可替代。以立交匝道为例，先将预测流量与车型比例导入软件，再搭建精细的局部模型，便可比较不同圆曲线半径、缓和曲线参数、车道数及合流段长度对安全与效率的作用。仿真输出车辆轨迹、速度、加速度序列，并标出潜在冲突点的数量与严重程度；设计者据此反复微调，直至线形既保证行车舒适，又把冲突风险压到最低^[4]。另外，视频检测器实时回传排队长度和车头时距，仿真模型据此即时校正信号配时；若与自适应信号控制系统联动，灯色切换可随车流波动自动微调。与此同时，仿真还能比较左转或直行待行区等不同渠化方案的效果，为路口精细设计提供量化依据。

（三）全生命周期的性能监测与动态优化

公路开通后，性能提升并未结束。借助ITS的实时数据流，可为道路构建动态“数字孪生”。运营阶段，系统持续记录断面车速、密度及事故信息；经大数据分析，若发现某段路在特定天气下事故骤增，工程师即可调用孪生模型，回故事发场景，锁定诱因——线形组合缺陷

或标志标线设置不当。随后，在虚拟空间试装改造方案：增设线形诱导标、微调超高或布设前述动态预警系统。模拟确认有效后再落地施工，并以新监测数据闭环验证，形成“监测-诊断-优化-验证”的滚动迭代。

结语

智能交通技术的深度融合，正推动公路系统从传统静态设计向动态智能响应转型。安全设施通过感知、通信与决策技术的赋能，实现了从被动防护到主动干预的跨越；路线设计则依托多源数据与仿真平台，实现了从经验驱动到数据优化的演进。未来，随着5G-V2X、高精地图与自动驾驶技术的普及，公路将逐步演变为具备自我感知、协同决策能力的“生命体”。实现这一愿景，

需加强跨行业协同、完善标准体系、强化政策支持，共同构建安全、高效、可持续的下一代公路交通系统。

参考文献

- [1] 刘丹, 刘玉. 公路交通安全设施的优化设计要点探究[J]. 时代汽车, 2024 (7): 166-168.
- [2] 梁海峰. 公路交通安全设施的优化设计要点探究[J]. 工程建设与设计, 2023 (3): 113-115.
- [3] 胡梅. 公路交通安全设施的优化设计[J]. 中国储运, 2024 (9): 131-132.
- [4] 白玉凤. 高速公路隧道交通安全设施优化设计研究[J]. 山东交通科技, 2021 (3): 3. DOI: 10.3969/j.issn.1673-8942.2021.03.027.