

人工智能在公路安全管理与决策支持中的探索

朱俊恒 宋志昊 徐婉婷

山东交通职业学院 山东潍坊 261041

【摘要】公路作为交通运输网络的重要组成部分，其安全性直接关系到人民生命财产安全和社会经济发展。随着车辆保有量的不断增加和交通流量的持续增长，公路安全管理面临着前所未有的挑战。传统的人工监测和管理方式已难以满足当前复杂多变的交通环境需求，亟需引入新技术提升管理效能。人工智能技术以其强大的数据处理、模式识别和决策支持能力，在公路安全管理领域展现出巨大潜力。基于此，本文首先阐述人工智能在公路安全管理与决策支持中的应用优势，其次提出几条人工智能在公路安全管理与决策支持中的应用策略，最后对人工智能在公路安全管理与决策支持中的应用进行展望，以供参考。

【关键词】人工智能；公路安全；决策支持；安全管理

引言：

随着公路里程数和汽车保有量的增加，交通运输给人们带来了极大方便，针对高速公路交通需求激增所带来的拥堵、安全及管理挑战，人工智能技术的发展提供了新契机和新思路。为深入贯彻习近平总书记关于安全生产的重要指示精神，秉持“人民至上、生命至上”的理念，紧紧围绕防事故、保安全、保畅通，人工智能在公路安全管理与决策支持中的应用是必经之路。

一、人工智能在公路安全管理与决策支持中的应用优势

（一）实时路况精准洞察与智能预警

人工智能技术依托其高效的数据处理与解析功能，在交通状态实时感知领域展现出显著技术优势。通过在道路基础设施中布设多源传感设备（包括视频采集装置、地磁感应器等），系统能够持续获取多维度的交通运行参数，涵盖车辆密度、移动速率、车距保持等关键指标。基于深度神经网络架构的动态分析模型，可实现对交通流时空特征的精确建模与演化预测。研究结果表明，该技术能够以分钟级时间精度判定拥堵事件的初始区位、扩散范围及演化路径，相较传统基于人工巡检与离散监测点的被动式管理模式，显著提升了路况监测的空间覆盖度与时间响应效率。当系统检测到突发交通事故或道路结构异常等紧急状况时，可通过多模态信息发布系统（含电子可变情报板、移动终端应用程序等）实现交通参与主体与管理机构的协同响应，形成闭环式应急管理机制。这种主动干预策略不仅优化了出行者的路径决策过程，同时增强了管理部门的

资源调度效能，在降低平均行程延误率与事故风险系数方面具有显著效果^[1]。

（二）智能交通信号优化调配

针对传统信号控制系统中配时方案静态化、适应性不足的技术瓶颈，人工智能技术提出了动态优化调控的创新解决方案。通过构建基于强化学习的自适应控制模型，系统可对交叉口多向交通流的时空分布特征进行持续感知与动态响应。当局部路网出现异常交通事件时，区域协同控制算法可实时重构相邻节点的信号配时方案，引导交通流进行网络化均衡分布。这种智能调控机制有效降低了交叉口停车延误率（最高降幅达28%），并减少了车辆启停过程中的能源消耗与污染物排放量。据美国交通研究委员会统计，该技术的应用使典型城市路网通行效率提升19%，同时通过降低交通冲突点发生率，显著改善了道路安全水平。

（三）车辆行为精准分析与异常检测

基于机器学习算法的车辆运动模式识别技术，为微观交通行为分析提供了新的研究范式。通过构建车辆轨迹数据的多维度特征空间（包括速度变化率、加速度矢量、车道保持稳定性等指标），系统可建立正常驾驶行为的基准模型。当检测对象出现偏离基准模式的异常操作（如紧急制动、频繁车道变换、非正常低速行驶）时，实时预警机制将被触发。高速公路监控数据显示，针对低速车辆的早期预警可降低潜在追尾事故发生率。在驾驶员状态监测方面，通过融合车辆操控特征（方向盘转角变化频率、踏板操作模式）与行驶轨迹参数（横向偏移标准差、跟车间距变异系数），系统可构

建疲劳驾驶识别模型。这种基于数据驱动的分析方法突破了传统人工巡查的时空局限性，形成了全天候、全路网的安全风险监测体系，保证道路安全^[2]。

（四）基于大数据的事故预测与预防

多维交通数据融合分析技术为事故预防提供了新的理论框架。研究团队通过构建深度卷积神经网络模型，整合历史事故记录、实时交通流量、气象环境参数、道路几何特征等多源异构数据，揭示了交通事故的潜在致因链。基于此，智能决策支持系统可生成分级预警信息，指导管理部门实施预防性管控措施，包括动态限速控制、增强型照明部署、应急资源配置优化等。通过时空热点预测模型，系统能够实现安全管理资源的精准投放，提升重点区域的巡逻密度，形成“预测-预警-处置”的全周期风险管理闭环，从根本上提升路网安全韧性水平。

二、人工智能在公路安全管理与决策支持中的应用策略

（一）构建多源数据融合感知体系

在公路安全管理领域，建立多源异构数据协同感知架构具有重要理论价值与实践意义。现有基础设施中部署的传感设备（包括视频监控装置、地磁检测单元等）虽能独立获取局部数据，但存在信息孤岛效应与数据关联性缺失问题。为实现数据价值的深度挖掘，需构建跨平台物联网集成框架，将车载诊断系统的实时车辆状态参数（涵盖瞬时速度、加速度矢量、胎压监测数据等）、气象观测站的环境变量（温度梯度、湿度分布、风速剖面等）以及路面巡检获取的结构化信息（平整度指标、摩擦系数矩阵等）进行时空对齐与特征融合。研究团队建议采用卡尔曼滤波理论驱动的多源数据融合算法，通过状态空间建模与协方差优化，生成高置信度的道路运行状态全景图谱。该技术框架使公路管理者能够突破单设备感知的局限性，准确识别复合环境条件下（如雨雪天气叠加重载车辆通行）的路网脆弱性特征，从而为构建主动式安全预警体系提供多维度数据支撑^[3]。

（二）开发自适应智能预警模型

传统基于静态规则的预警机制存在环境适应性不足的固有缺陷，亟需构建具有动态演化能力的智能预警范式。通过引入自适应神经模糊推理系统等混合机器学习架构，可建立交通状态参数（流量密度、速度方差、车头时距离散度）与预警等级之间的非线性映射关系。当检测到特定时

空域内流量突变（如小时流量增长率超过阈值基线）伴随速度分布异常（标准差突破历史分位点）时，系统将自主触发预警机制升级协议。在极端天气场景下，该模型可整合实时水文监测数据（积水深度时序变化率）与车辆动力学参数（横摆角速度、侧向加速度），通过贝叶斯网络推断事故风险概率，生成分级预警指令。

（三）打造人机协同决策支持平台

为突破单一智能决策系统的局限性，需构建人机混合增强的协同决策框架。该平台采用分层式架构设计：底层部署基于运筹学原理的优化算法库（如线性规划模型、动态交通分配算法），中层设置多目标决策评估模块（考虑通行效率、安全系数、环境成本等约束条件），顶层集成可视化交互界面。在典型应用场景中，系统可生成N种交通管制预案，并通过蒙特卡洛仿真评估各方案的风险收益矩阵。管理人员借助三维态势感知界面（包含热力图层、风险扩散模型、资源部署拓扑），能够直观对比不同决策路径的预期效果^[4]。

（四）实施基于 AI 的智能养护策略

公路基础设施的智能化养护需要构建“感知-诊断-预测”三位一体的技术体系。在路面状态监测层面，采用深度卷积神经网络（ResNet-50架构）对高分辨率路面图像进行多尺度特征提取，实现裂缝拓扑结构（长度、宽度、分支数）与病害类型（横向裂缝、网状裂缝、坑槽）的自动分类识别。针对养护决策优化问题，建立基于LSTM网络的时序预测模型，整合历史养护记录、轴载谱数据、冻融循环次数等多元变量，预测特定路段的路面性能指数衰减轨迹。当模型预测某沥青路段在未来120天内PCI值将下降至临界阈值时，养护管理系统将自动生成预防性养护工单（需补充养护标准来源）。在结构物健康监测方面，部署无人机电多光谱传感系统，通过振动模态分析与应变场重构技术，检测桥梁构件的隐性损伤（如微裂缝扩展、螺栓松动位移）。

三、人工智能在公路安全管理与决策支持中的应用展望

（一）量子计算赋能的 AI 深度分析

量子计算技术的引入为公路安全管理领域的人工智能应用开辟了新的范式转移路径。传统经典计算架构在处理大规模交通数据时面临算力约束与时间复杂度瓶颈，而量子计算依托量子叠加态与纠缠态特性，可实现指数级并行运

算能力。在交通流预测场景中，经典机器学习模型需耗费数小时处理多年度、多维度路网数据以构建预测模型，而量子支持向量机等算法可将训练周期压缩至分钟量级。这种计算能力的跃迁使得系统能够实时执行高精度交通态势推演，例如通过量子蒙特卡洛模拟在毫秒级时间内生成交通事故的多情景演化图谱。公路管理机构可基于此类预测结果动态优化应急资源配置方案，将事故响应时间缩短，大幅度提升路网风险防控的时效性与决策精度。

（二）基于情感计算的驾驶员状态干预

驾驶员心理生理状态的实时监测与干预是智能交通安全管理的关键技术突破方向。通过部署多模态生物特征采集系统（包括红外微表情识别模块、语音情感分析单元及可穿戴生理信号传感器），人工智能平台可构建驾驶员情绪状态的多维度评估模型。当系统检测到驾驶员处于高风险心理状态时，将触发分级干预协议：初级预警阶段启动车载环境调节系统（如释放负氧离子与调节光照色温）；中级干预阶段激活触觉反馈装置（方向盘振动频率与座椅脉冲强度动态适配）；危急状态则直接接管车辆控制权，从根本上实现交通安全管理的主动防护。

（三）区块链保障的 AI 数据可信共享

针对公路安全管理中的多主体数据孤岛问题，区块链技术为构建可信数据交换网络提供了分布式解决方案。通过设计联盟链架构，交通管理部门、气象监测机构及道路养护单位可建立跨域数据共享机制。每个参与节点的数据上传需通过智能合约验证，并以哈希值形式存储于不可逆区块链结构中。例如，路侧单元采集的实时车流数据与气象部门发布的极端天气预警信息，经区块链网络同步至AI分析中心后，可生成复合风险指数矩阵，此类去中心化数据治理模式能提升多源信息融合效率，同时通过零知识证明技术确保数据隐私性。当AI系统检测到桥梁结构异常时，可追溯区块链中的历史养护记录与荷载数据，精准定位潜在失效节点，形成全生命周期基础设施监管闭环。

（四）AI 驱动的智能交通设施自优化

新一代智能交通设施通过嵌入式AI芯片实现自主感知-

决策-执行闭环控制。以量子点传感路灯为例，其集成多光谱环境传感器与车辆通信模块，能够依据实时车流密度（辆/分钟）与环境照度动态调节发光强度与光束聚焦角度。实证研究表明，该技术可提升道路照明能耗降低，同时将夜间事故率下降三分之一。自适应交通标志系统采用电子墨水显示技术，通过V2X通信接收AI中央控制器的指令，在200ms内完成信息内容更新（如事故预警或车道管制提示）。在速度管理领域，智能液压减速带基于毫米波雷达监测车辆速度，当检测到超速车辆时，在短时间内增高其凸起高度，通过触觉反馈强化驾驶员速度依从性。此类设施构成的智能路网系统，从根本上提升公路整体通行效率，形成“人-车-路”协同优化的交通生态。

结束语

人工智能技术的持续创新正在重构公路安全管理的技术体系与实施路径。量子计算突破、生物特征识别、分布式数据治理及智能设施协同等领域的技术融合，推动安全管理模式从被动响应向主动预防转型。随着边缘计算、神经形态芯片等支撑技术的成熟，未来公路安全管理将实现全域实时感知、动态风险评估与自主决策控制的深度集成。这种技术演进不仅提升路网运行效率与安全韧性，更通过人机共智机制实现交通系统与社会需求的精准适配，为可持续交通发展提供核心驱动力。

参考文献：

- [1] 张成洪, 陈刚, 陆天, et al. 可解释人工智能及其对管理的影响: 研究现状和展望[J]. 管理科学, 2021, 34(3): 17.
- [2] 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.
- [3] 王乐宁. 基于人工智能的高速公路车辆安全驾驶预警系统识别方法与系统设计[J]. 山西交通科技, 2020, (05): 104-107.
- [4] 张宏, 黄星, 刘时雨, 等. 基于人工智能的公路施工区交通安全设施研究[J]. 黑龙江交通科技, 2016, 39(09): 162-163+165.