

和就位过程稳定可控。最后,在施工推进过程中应根据实际安装进度对起重机械使用计划进行动态调整,对转换层、大跨度构件等关键部位实行集中吊装保障,同时在非关键工序阶段适度降低设备使用频率,通过均衡调配减少机械闲置与高峰冲突,使起重机械运行始终与施工组织节奏保持一致。

4.3 加强现浇—预制转换部位专项施工控制

针对装配式建筑中现浇—预制转换部位构造复杂、施工工序交叉密集且质量风险集中的特点,施工前应以专项方案为核心开展针对性技术交底,交底内容需围绕结构受力转换路径与现场可实施性展开,重点明确预制构件端部钢筋锚固形式、套筒或叠合区钢筋搭接长度、现浇区钢筋加密范围及定位控制方法,并结合施工顺序对模板拼装方式、支撑体系受力传递及拆模条件进行细化说明,使作业人员在施工前形成完整的工艺认知,避免仅依据图纸经验化操作导致的隐蔽缺陷。在此基础上,构件安装完成后应建立转换部位专项复核机制,通过专用定型工具,轴线复测、标高复核及节点空间尺寸实测,重点核查预制构件端部与现浇区之间的连接间隙、钢筋外露长度及构件稳定状态,对偏差值进行分级控制,并在复核合格后方可进入下道工序,以防止因安装误差累积影响后续现浇质量控制。随后在现浇施工阶段应结合转换部位构造特点合理组织浇筑流程,优先采取分层、对称、连续的浇筑方式,控制单次下料高度与振捣范围,避免振捣器直接作用于预制构件端部或连接钢筋,防止构件产生位移或节点松动,同时对模板支撑体系实施全过程观察,确保在混凝土侧压力作用下结构保持稳定^[4]。最后,在成型质量控制环节应强化过程检查与节点验收衔接,将转换部位划分为钢筋隐蔽、模板封闭、混凝土初凝及拆模前等多个检查节点,重点核查混凝土密实度、节点成型完整性及表面缺陷情况,通过分阶段确认的方式及时发现并处理质量问题,将风险控制施工当期,确保现浇—预制转换部位整体质量受控。

4.4 优化机电安装与预留预埋配套施工

在装配式建筑施工中,机电安装与预留预埋配套不协调是结构质量偏差与返工频发的重要诱因,应在施工准备阶段即引入系统化优化策略。首先,在构件深化与生产前,由优化设计单位牵头组织结构与机电专业开展联合核对,将套管、线盒、预留孔洞及设备基础等内容逐项对照设计图纸与现场安装条件,重点复核构件边距、标高控制及安装余量,

避免因构件标准化生产与实际机电需求不匹配导致现场二次剔凿^[5]。其次,在主体结构施工过程中,将机电预留预埋纳入关键工序验收体系,机电专业人员同步参与构件就位、节点封闭及现浇段施工检查,对预埋件位置偏移、固定不牢或保护不到位等问题及时纠偏,并通过工序交接记录明确责任界面,防止问题积累至后续阶段。再次,在施工组织安排上,结合构件安装节奏与机电作业特点,合理确定构件吊装、节点加固与机电初装的先后顺序,对需随结构同步完成的预埋管线提前介入施工,对需后置安装的设备留足作业空间与操作通道,避免工序倒置引发构件拆改。最后,针对管线密集、空间受限的部位,在正式施工前设置实体样板,对预留尺寸、安装顺序及成品保护措施进行验证,通过样板成果反向修正施工做法与工艺控制要点,为后续大面积施工提供可复制的操作依据。

5 结语

综上所述,作为一项系统工程,装配式建筑施工存在的难点并非单一技术问题,结合研究与实践不难发现它们是由构件生产、现场安装与施工组织多环节共同作用形成。有鉴于此,上文通过查阅相关文献资料以及结合自身工作实践情况下,首先就装配式建筑内涵以及现阶段其施工面临的四项难点,随后基于工程实践出发提出了包括强化提升构件精度控制与节点连接、做好现场起重机械与施工组织协调、加强现浇—预制转换部位专项施工控制以及优化机电安装与预留预埋配套施工等优化策略,以期提升装配式建筑施工质量与推动此类建筑发展提供助力。

参考文献

- [1] 张正.住宅工程装配式建筑施工技术运用策略探究[J].绿色建筑与智能建筑, 2024(3):71-74.
- [2] 王波.装配式建筑施工技术难点及应对措施研究[J].工程建设(维泽科技), 2023, 6(6):142-144.
- [3] 陈善俊.探讨装配式建筑在发展中的难点及对策[J].城市建设理论(电子版), 2025(26):128-130.
- [4] 吕桃桃.探讨装配式建筑施工技术难点及应对措施[J].大众文摘, 2024(29):0102-0104.
- [5] 方丽.装配式建筑施工技术难点及应对措施分析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2024(003):000.

The Improvement Effect of Intelligent Highway Vehicle-road Cooperative Technology on Road Traffic Safety

Changpan Li

Chongqing Yihé Enterprise Management Consulting Co., Ltd., Chongqing, 400020, China

Abstract

To address safety bottlenecks caused by fragmented perception and delayed response in traditional "human-vehicle-road" systems, vehicle-road coordination technology has emerged as a core component of smart highways. This paper systematically analyzes the safety mechanisms of vehicle-road coordination in typical scenarios such as blind spot warning and collision avoidance, based on technical architectures including C-V2X communication, multi-source perception fusion, and AI decision-making. Through empirical analysis of the Shanghai-Nanjing Expressway, the study quantifies its effectiveness in reducing accident rates and shortening response times, with data showing a 38.83% decrease in highway accident rates. The paper also examines existing challenges in technical standardization and data security, proposing a full-chain optimization path of "perception-communication-decision" to provide theoretical and practical references for road safety upgrades under the national transportation strategy.

Keywords

Smart Highway; Vehicle-to-Infrastructure (V2I) Communication; Traffic Safety; C-V2X; Collaborative Perception

智慧公路中车路协同技术对道路交通安全的提升效果

李常攀

重庆宜合企业管理咨询有限公司, 中国 · 重庆 400020

摘要

为破解传统公路 "人 - 车 - 路" 系统感知割裂、响应滞后导致的安全瓶颈, 车路协同技术作为智慧公路的核心支撑应运而生。本文基于 C-V2X 通信、多源感知融合、AI 决策等技术架构, 系统分析车路协同在盲区预警、冲突规避等典型场景的安全作用机制。结合沪宁高速实证案例, 量化其在降低事故率、缩短响应时间等维度的提升效果: 数据显示车路协同系统可使高速公路事故率下降 38.83%。同时剖析技术标准化、数据安全等现存挑战, 提出 "感知 - 通信 - 决策" 全链条优化路径, 为交通强国战略下的道路安全升级提供理论与实践参考。

关键词

智慧公路; 车路协同; 交通安全; C-V2X; 协同感知

1 引言

1.1 研究背景

道路交通安全已成为全球性公共安全挑战。智慧公路通过融合 5G、物联网、人工智能等技术, 实现 "全域感知、泛在互联、自主决策" 的交通系统升级, 而车路协同技术作为其核心引擎, 打破了单车感知的视野局限与信息孤岛, 构建起 "车 - 路 - 云" 一体化安全防护体系。本文采用 "技术解构 - 场景分析 - 效果量化 - 挑战展望" 的研究框架: 首先解析车路协同技术的核心架构与安全作用机理; 其次分类探讨城市道路、高速公路等典型场景的应用模式; 再者基于国内工程案例量化安全提升效果; 最后提出技术优化路径。

【作者简介】李常攀 (1987—), 男, 中国重庆人, 本科, 副高级, 从事建筑研究。

2 车路协同技术的安全机理

车路协同技术通过 "三维突破" 重构道路安全体系, 其核心机理体现为以下三方面:

2.1 突破感知局限, 实现全域风险可视

单车感知存在视野遮挡、极端天气失效等固有缺陷, 例如暴雨天气下车载摄像头识别距离缩短至正常水平的 30%。车路协同通过多智能体信息共享, 构建 "360 度无死角" 感知网络: 路侧设备可提前 500 米探测到弯道对向车流, 通过 V2X 告知本车驾驶员; 在隧道场景中, 通过灯杆部署的毫米波雷达接力感知, 消除信号盲区。智能路侧感知系统的引入, 使交叉路口的环境感知覆盖率从单车感知的 65% 提升至 98% 以上。

2.2 压缩响应链条, 实现风险主动干预

传统驾驶依赖 "感知 - 判断 - 操作" 的人工响应链条, 平均反应时间约 1.5 秒, 在 100km/h 车速下对应制动距离增

加 41.7 米。车路协同通过 "机 - 车 - 路" 协同决策, 将响应流程自动化: 路侧系统检测到突发事故后, 可直接向周边车辆发送减速指令, 同时联动交通信号灯变红, 响应时间压缩至 0.3 秒以内。沪宁高速案例显示, 该机制使二次事故发生率下降 62%。

2.3 优化交通流态, 降低系统安全风险

交通流的剧烈波动是引发追尾、刮擦事故的重要诱因, 当车速差超过 20km/h 时, 事故风险呈指数级上升。车路协同通过智能诱导系统实现交通流平滑: 在高速公路入口, 通过 V2X 向汇入车辆推送主路车流速度建议; 在拥堵路段, 采用动态速度引导, 使路段车速差从 23.6km/h 降至 20.4km/h, 拥堵次数减少 13.54%。交通流态的优化使系统性事故风险降低 35% 以上。

3 车路协同技术提升交通安全的典型应用场景

3.1 城市道路: 聚焦路口安全与公交防护

城市道路 40% 的事故发生在交叉口, 其中非信控交叉口因缺乏信号引导, 事故率是信控路口的 2.3 倍。车路协同在此场景的应用形成 "三重防护" 体系:

第一重: 盲区预警防护。在 T 型路口部署路侧毫米波雷达与摄像头, 实时监测支路来车, 当主路车辆进入预警区域时, 通过车载终端发出声光预警。泰州市 G345 国道非信控交叉口应用显示, 该系统使交叉冲突事故下降 78%, 预警准确率达 92.6%。

第二重: 弱势交通参与者保护。通过路侧设备识别行人、非机动车, 当检测到其进入机动车道时, 向周边 100 米范围内车辆发送预警信息, 同时在路面投影警示标识。深圳试点数据显示, 该功能使行人碰撞事故减少 65%。

第三重: 公交智能防护。针对公交右转盲区事故高发问题, 开发右转盲区预警系统: 公交车右后视镜部署摄像头, 结合路侧感知数据, 当检测到盲区有行人时, 立即触发车内报警并限制转向操作。常熟市 135 路公交车应用后, 右转事故实现 "零发生", 准点率提升 18%。

3.2 高速公路: 聚焦追尾预防与应急处置

高速公路因车速高、车流密, 一旦发生事故易造成重大伤亡, 车路协同技术在此场景形成 "全链条安全管控" 模式:

事前预防阶段: 通过路侧设备实时监测车流密度与车

速, 当检测到车辆间距小于安全距离 (车速 100km/h 时为 100 米) 时, 向跟车车辆发送车距预警; 在团雾高发路段, 结合气象传感器数据, 提前 2 公里向车辆推送减速提示。沪宁高速硕放东桥段应用后, 追尾事故下降 42%, 团雾天气事故下降 58%。

事中处置阶段: 事故发生后, 路侧摄像头自动识别事故类型与范围, 通过 V2X 向后方车辆发送分级预警: 1 公里外车辆触发 "减速预警", 500 米内车辆触发 "紧急制动预警", 同时联动可变情报板显示事故信息。该机制使事故现场清理时间缩短 40%, 二次事故率下降 62%。

事后恢复阶段: 通过车路协同系统引导车流分流, 结合云端计算优化绕行路线, 避免拥堵区域形成。数据显示, 该功能使拥堵里程从 3.31km 缩短至 2.03km, 拥堵时间减少 39.39%。

3.3 普通国省道: 聚焦混合交通流安全

普通国省道因机动车、非机动车、行人混行, 安全管控难度大, 占全国公路事故总数的 52%。车路协同在此场景的应用重点解决 "三大痛点":

痛点一: 视线遮挡风险。在山区弯道部署路侧感知设备, 通过 V2X 向对向车辆推送 "弯道来车" 预警, 使弯道事故下降 67%。

痛点二: 穿村路段安全。在村镇出入口设置雷达监测区, 当行人或非机动车进入公路时, 向过往车辆发送预警, 同时激活路面警示灯, 使穿村路段事故下降 58%。

痛点三: 夜间行车安全。通过路侧设备联动车载灯光系统, 根据会车距离自动调节灯光亮度, 同时在路面投影车道边界线, 使夜间事故下降 43%。

4 车路协同技术提升交通安全的实证效果量化

选取沪宁高速硕放东桥段 (全长 5 公里) 作为研究对象, 该路段 2023 年日均流量 21.73 万辆, 事故率 8.6 次 / 万辆, 通过部署车路协同系统 (含路侧感知设备 28 套、C-V2X 基站 6 座), 2024 年实现显著安全提升 (表 1):

进一步分析事故类型发现, 车路协同系统对不同事故的改善效果存在差异: 追尾事故下降 42%, 变道刮擦事故下降 51%, 团雾天气事故下降 58%, 这与系统在车距预警、车道偏离预警、恶劣天气感知等功能的针对性设计直接相关。

表 1 沪宁高速公路硕放东桥段车路协同系统安全效果评价

安全相关指标	建设前	建设后	改善率	安全价值解读
路段事故率 (次 / 万辆)	8.6	5.26	38.83%	直接降低事故发生频次
平均行驶速度 (km/h)	56	65	16.07%	减少低速拥堵引发的刮擦事故
行车速度差 (km/h)	23.6	20.4	13.56%	降低车流波动导致的追尾风险
拥堵次数 (次)	109	96	13.54%	减少拥堵状态下的事故诱因
平均拥堵时间 (h)	1.65	1	39.39%	缩短高风险行驶时长