

车路协同背景下城市道路附属设施设计优化

韩晓霞

内蒙古城市规划市政设计研究院有限公司 内蒙古自治区呼和浩特市 010000

DOI:10.32629/ems.v8i6.20525

[摘要] 车路协同技术依托通信、感知、智能控制实现车-路-云-人信息交互,推动城市道路由传统通行载体向智慧交通基础设施转型,道路附属设施作为感知传输、信息交互的关键载体,传统设计模式已难以适配智慧化需求。本文立足车路协同运行逻辑,剖析现有道路附属设施在功能适配、空间布局、智能集成、运维适配等方面的短板,从设施功能重构、模块化智慧集成、多维度空间优化、全生命周期协同设计层面提出优化路径,完善附属设施与智能交通系统的耦合机制,为新时期城市智慧道路附属设施标准化、精细化、智能化设计提供理论支撑。

[关键词] 车路协同; 城市道路; 附属设施; 智慧设计; 设施优化; 交通基础设施 引言

随着新一代信息技术与城市交通深度融合,车路协同成为智慧城市交通建设核心方向,对道路基础设施的智能化、协同化提出全新要求。道路附属设施涵盖交通标志、照明、管线、护栏、排水、监测设备等,是保障道路运行安全与信息传输的基础单元。当前传统附属设施设计多侧重静态防护与基础服务,缺乏与智能感知、数据交互的系统统筹,难以适配自动驾驶、动态管控等新场景。基于此,开展车路协同视角下附属设施设计优化研究,对完善智慧道路体系具有重要意义。

1 车路协同对城市道路附属设施的功能变革与设计新需求

1.1 车路协同运行机制对附属设施的功能重塑

车路协同以车端感知、路端感知、云端调度、动态反馈为闭环运行逻辑,颠覆了传统交通被动管控、静态服务的模式。传统道路附属设施功能单一、相互独立,仅具备安全防护、标识指引、照明排水等基础功能,无信息联动能力;而车路协同体系下的附属设施转型为集感知、传输、管控、防护于一体的复合型智能基础设施,集成雷达、摄像、通信、边缘计算及环境监测等设备,可实时采集、传输、反馈车况、路况及交通流数据,主动参与交通动态管控。同时,设施服务对象从传统驾乘人员,拓展至自动驾驶车辆、驾乘人员、交通管控平台三类主体,设计目标不再局限于基础通行安全,进一步兼顾数据稳定传输、精准感知覆盖、动态交通管控等智能化需求,其物理形态、空间布局、结构与集成方式均需适配智慧交通升级变革。

1.2 新时期附属设施设计的核心新需求

车路协同智慧附属设施设计需满足四大核心需求:一是集成兼容,采用一体化设计,统一各项标准,解决传统设施接口、管线、防护等短板,适配各类智能硬件;二是空间协

同,结合探测、通信、交通流等条件优化布局,消除盲区、避免干扰遮挡;三是动态适配,依托感知与反馈能力,根据路况、气象等变化,智能调整功能以适配多类应用场景;四是全周期运维,兼顾结构与维保性能,实现状态监测、故障预警、远程运维,打造建维更新一体化管理体系。

2 传统城市道路附属设施现存核心问题与适配短板

2.1 功能单一化,与智能交通系统耦合性不足

城市现有道路附属设施沿用传统设计,功能偏静态且相互割裂,缺乏动态信息发布、感知通信及数据传输能力,与车路协同体系脱节,难以支撑自动驾驶与动态交通管控。加之未提前规划智能设备安装条件,设备多后期外挂,不仅导致结构、布线、防护存在隐患,也影响数据传输稳定。

2.2 空间布局不合理,存在感知盲区与设施干扰

传统道路附属设施仅按断面、等级及规范间距布设,忽视智能设备感知与通信需求。各类设施相互遮挡、间距不当,易形成探测盲区、信号断点与电磁干扰。复杂路段设施杂乱、布局缺乏统筹,感知覆盖不连贯,加之未结合自动驾驶、V2X通信要求优化间距,造成车路信息交互延迟、中断,影响协同运行。

2.3 结构形式标准化滞后,智慧集成化程度低

现有道路附属设施按传统标准设计,未考虑智能设备附加荷载,结构稳定性不足;缺少管线、供电接口及专用舱体,集成与防护设计缺位。设施预制模块化程度低,设备拆装升级不便,杆件布局有碍景观与通行,防护设施也不适配自动驾驶车辆碰撞要求。

2.4 全生命周期设计缺失,运维体系不协同

传统附属设施设计侧重建设期一次性投入,未统筹后期智能设备运维、软件升级、硬件更换、设施检修。智慧化附

属设施涉及通信、传感、供电、软件系统,后期运维专业性强,传统道路养护体系无法适配;设施之间运维独立,数据无法共享,故障排查效率低。同时,设计未考虑设施耐久性与智能设备更新周期的匹配,硬件迭代速度快于道路基础设施使用寿命,设施复用性差,造成资源浪费。

3 车路协同背景下城市道路附属设施设计优化关键技术路径

3.1 功能重构技术:多源感知-通信-防护一体化复合功能体系构建

传统道路附属设施功能离散单一,仅独立保障基础交通通行需求,与车路协同闭环运行体系相互割裂。为此,本研究创新性提出分层式复合功能重构技术,以路侧数据采集、信息交互、主动安全预警为核心,对各类附属设施进行功能解构与重组,实现物理防护、信息感知、数据传输与动态管控的深度融合。

针对交通标志杆件,打破传统静态指示的单一功能,构建“静态标识+动态发布+多源感知”的复合功能体系。杆件保留指路、禁令、警告等基础静态标识,上部预留毫米波雷达、高清采集、高精度定位及5G-V2X通信设备一体化安装位,中部集成可变信息屏与边缘计算终端,可实时接收云端动态限速、气象预警、路况提示等指令,同时回传车辆轨迹、交通流、道路障碍物等路侧数据,实现车路双向高效交互。

针对照明设施,采用智慧路灯一体化集成方案,融合道路照明、环境监测、路侧感知、应急供电四大功能。在保障照明质量的基础上,搭载温湿度、能见度、路面湿滑度等传感器,采集车路协同环境数据;依托内置边缘计算单元完成视频数据本地预处理,减轻云端传输压力,有效解决海量路侧数据传输延迟问题。

针对护栏、隔离设施,摒弃被动防护模式,搭建主动感知智慧防撞体系。护栏内置振动、应变、碰撞识别模块,可实时监测车辆撞击、行人闯入、设施形变等状态;隔离设施配套近距毫米波雷达,精准感知非机动车与行人,弥补高处感知设备的近距离探测盲区。针对地下排水、管线设施,布设渗漏、水位、应力传感器,实时监测道路基础设施健康状态,丰富车路协同全域感知数据维度。

同时结合道路等级分级配置功能:快速路、主干路全覆盖智慧功能,适配L3及以上自动驾驶需求;次干路聚焦动态管控与基础感知;支路侧重安全防护与简易信息交互,精准匹配道路功能,杜绝资源冗余与浪费。

3.2 空间布局优化技术:基于感知覆盖与通信链路的全

域协同布设

传统布局仅依托道路几何参数与规范间距,未考虑智能设备探测范围、信号传播损耗、视距遮挡等关键因素,易造成感知断点、通信盲区、电磁干扰等问题。本文构建基于感知-通信耦合约束的量化布局技术,以毫米波雷达探测距离、摄像头有效视距、V2X通信覆盖半径、电磁干扰阈值为约束条件,建立附属设施空间位置与间距的量化设计方法。第一,推行多杆合一集约化布设技术。整合交通标志杆、路灯杆、通信杆、监控杆,统一杆件布设点位,实现“一杆多用”,减少杆件数量,消除杆件之间的视距遮挡与信号遮挡;通过竖向分层布设,杆件上部布设通信、定位、远距离雷达设备,中部布设视频感知、动态信息屏,下部布设近距感知单元,实现垂直空间功能分层,避免设备之间的信号遮挡。第二,建立基于感知盲区消除的点位加密技术。针对平曲线内侧、交叉口转角区、匝道出入口、道路分合流区等传统感知薄弱区域,加密智慧附属设施布设密度,通过高低点位设备互补布设,消除近距离、侧向、弯道处的感知盲区;利用护栏式感知设施补充路面低空域感知能力,实现全域无死角覆盖。第三,优化设施水平间距,构建连续通信链路。结合5G-V2X通信传输损耗、自动驾驶车辆通信时延阈值,确定杆件式附属设施布设间距;隔离护栏、防护设施布局避开雷达探测主瓣方向,控制与感知设备最小安全距离,规避电磁反射干扰;排水、检查井、管线设施避让信号传输路径,减少对无线通信链路的物理遮挡。第四,兼顾慢行系统空间安全。在人行道、非机动车道区域,控制杆件高度、基座尺寸,优化护栏线形与布设位置,在保障行人通行安全前提下,实现路侧感知设备对慢行交通的全覆盖,满足车路协同对行人、非机动车的主动预警需求。

3.3 结构与模块化创新技术:适配智能设备集成的构件标准化升级

开展附属设施结构形式、构件模块、防护体系的创新设计,满足智能设备集成、耐久性、可迭代性需求。杆件类设施优化截面形式,提高抗弯、抗风、抗震性能,预留标准化设备舱、管线通道、供电接口,统一防水、散热、防雷设计标准;护栏设施优化缓冲结构,采用柔性防撞+智能感知一体化形式,提升对自动驾驶车辆的碰撞防护能力,同时实现碰撞数据实时采集。全面推行模块化、预制化设计,将设施本体、感知模块、通信单元、供电系统拆分为标准化模块,实现快速安装、拆装更换、升级迭代;统一接口标准,兼容不同厂商智能设备,避免设备兼容壁垒;优化设施外观与尺寸,

兼顾城市道路景观需求, 实现智慧功能与空间美学统一。针对极端天气、车辆碰撞、电磁干扰等工况, 开展设施耐久性设计, 提升设备防护等级, 保障车路协同系统全天候稳定运行; 优化荷载组合, 计入智能设备自重、风荷载、电磁荷载, 完善结构安全验算体系。

3.4 多系统耦合技术: 附属设施与车-路-云一体化协同机制

建立附属设施与感知网络、通信网络、云端管控平台、自动驾驶系统的深度耦合机制。附属设施采集的交通流、环境、路况、设施状态数据, 通过 5G-V2X、光纤传输至边缘计算节点与云端平台, 经处理后反向下发动态管控指令, 通过附属设施实现信息发布与预警。统筹供电系统协同, 构建路侧附属设施统一供电网络, 整合市政供电、光伏供电、应急储能, 保障智能设备不间断运行; 优化电磁环境, 规范通信、感知设备布设位置, 减少信号干扰; 实现设施间数据联动, 智慧路灯、护栏、标志杆信息互联互通, 构建全域协同的路侧智慧节点网络。同时, 附属设施设计适配车路协同信息交互协议, 统一数据传输格式、接口协议, 实现车-路-云数据无缝对接, 避免系统孤岛, 提升整体协同运行效率。

3.5 全生命周期协同设计技术: 建设-运维-迭代一体化管控模式

转变传统重建轻运维的设计模式, 将运维需求前置至设计阶段, 构建全生命周期优化体系。设计阶段统筹设施结构耐久性、智能设备更新周期, 实现基础设施长期使用与硬件软件快速迭代的适配; 预留设备升级空间, 采用模块化设计实现硬件快速更换, 软件远程迭代升级。在附属设施中集成状态监测模块, 实时监测结构安全、设备运行、供电通信状态, 实现故障自动预警、远程诊断; 建立标准化运维体系, 明确智慧附属设施检修、维护、更新流程, 整合交通、市政、通信部门运维资源, 实现一体化运维。开展全生命周期成本分析, 平衡建设成本、运维成本、更新成本, 优化设计方案, 实现经济、安全、智慧多重效益统一。

4 车路协同下附属设施设计优化的实施保障与技术规范完善

4.1 完善智慧化设计标准与规范体系

当前城市道路附属设施设计规范多基于传统交通模式, 缺少车路协同智慧化设计条款。需结合自动驾驶、V2X 通信、智能感知技术发展, 修订完善附属设施空间布局、结构设计、设备集成、接口标准、防护等级、运维要求, 明确不同等级

道路附属设施智慧化配置标准, 形成标准化设计体系, 指导工程实践。

4.2 强化跨专业协同设计机制

车路协同附属设施涉及道路工程、交通工程、通信工程、电气工程、信息技术等多专业, 传统单一专业设计模式难以适配。需建立多专业协同设计机制, 统筹道路线形、附属设施、智能设备、通信供电系统, 实现整体设计优化, 避免专业割裂造成功能缺陷。

4.3 兼顾安全、经济与可持续发展

优化设计过程中, 严格遵循交通安全、结构安全、数据安全要求, 保障设施运行稳定; 结合城市经济水平、交通发展阶段, 分级分区域推进智慧化升级, 避免过度建设; 采用节能供电、环保材料、模块化预制构件, 实现绿色低碳可持续设计。

结语

本文基于车路协同技术发展背景, 从功能重构、空间布局、结构创新、系统耦合、全生命周期设计层面, 系统剖析了城市道路附属设施的传统短板, 提出针对性优化技术路径。车路协同推动城市道路附属设施由静态基础服务设施向智慧交通核心节点转型, 设计优化核心在于打破传统功能边界, 实现附属设施与智能感知、通信网络、管控平台深度耦合。后续可进一步结合智能交通技术迭代, 完善量化设计参数与标准体系, 推动附属设施智慧化、精细化、一体化升级, 为智慧城市道路建设提供坚实支撑。

[参考文献]

- [1] 徐志刚; 张梦; 高赢; 徐志航; 李宏海. 智能车路协同系统测评方法研究进展[J]. 中国公路学报, 2025 (06)
- [2] 史海涛; 李朔; 程璐明; 毛大伟. 高速公路车路协同系统分阶段应用场景探索[J]. 中国交通信息化, 2024 (09)
- [3] 郭岚; 任斯奇; 陈茜; 韩辰球. 基于车路协同的快速路合流区可变限速控制方法[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2024 (09)
- [4] 孙伟; 张梦雅; 马成元; 朱际宸; 杨晓光. 新型混合交通交叉口信号与车辆轨迹协同控制方法[J]. 交通运输系统工程与信息, 2023 (01)
- [5] 郝威; 梁聪; 张兆磊; 吕能超; 易可夫. 车路协同下避让紧急车辆协同换道策略[J]. 交通信息与安全, 2022 (04)
- [6] 胡锦超. 面向合流区安全和效率提升的车路协同路端智能辅助决策方法研究[D]. 东南大学, 2023