

# 面向车城协同的智慧道路建设框架与路径探析

司胜营, 张长宝, 刘子薇, 孙恩泽, 李可欣, 丁哲, 张一帆, 芮小虎

(中汽创智科技有限公司, 江苏 南京 211100)

**摘要:** 智能网联汽车已成为我国战略性新兴产业。然而, 城市道路作为智能网联汽车的载体, 发展却相对缓慢。推动传统道路设施系统智能化升级, 以适配智能网联汽车和智慧城市发展, 成为当下城市道路建设的重要方向。通过聚焦车城协同功能和场景应用需求, 明确了智慧道路建设总体目标, 进而研究了智慧道路分级方法, 搭建面向车城协同的智慧道路建设基本框架, 并提出基于智慧灯杆的智慧道路建设改造实现路径。最后, 从车辆驾驶、城市管理、交通管理等角度探讨了智慧道路的多场景应用, 为车城协同建设提供解决思路和推广样板。

**关键词:** 车城协同; 智慧道路; 智慧化分级; 建设路径; 智慧灯杆

中图分类号: U412

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)01-0001-06

## Further Analysis on Framework and Path of Smart Road Construction for Vehicle-city Collaboration

SI Shengying, ZHANG Changbao, LIU Ziwei, SUN Enze, LI Kexin, DING Zhe, ZHANG Yifan,

RUI Xiaohu

(China Automotive Innovation Technology Co., Ltd., Nanjing 211100, China)

**Abstract:** Intelligent connected vehicles (ICVs) have become a strategic emerging industry in China. However, the development of urban roads, as the carriers of ICVs, has been relatively slow. Promoting the intelligent upgrading of traditional road facilities system to adapt to the development of ICVs and smart cities has become an important direction of current urban road construction. Focusing on the vehicle-city collaboration function and scene application requirements, the overall goal of smart road construction is clarified, then the intelligent road classification method is established. The basic framework of the smart road construction facing the vehicle-city cooperation is built. The realization path of smart road construction and reconstruction based on smart light pole is put forward. Finally, the multiple scenario applications of smart roads are explored from the perspectives of vehicle driving, urban management and traffic management, which provides the solution and the promotion template for vehicle-city cooperation construction.

**Keywords:** vehicle-city cooperation; smart road; intelligent classification; construction path; smart light pole

## 0 引言

为推动我国汽车产业智能化升级, 破解当前城市治理难题, 住房和城乡建设部、工业和信息化部于2021年启动智慧城市基础设施与智能网联汽车协同发展试点工作<sup>[1]</sup>, 开启了车城协同建设浪潮。同时, 智慧道路作为智慧城市的关键基础设施和智能网联汽车的数字底座, 日益成为车城协同建设的一项重大战略任务和切入点, 受到广泛关注。

收稿日期: 2024-05-13

作者简介: 司胜营(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事智能驾驶、车城协同、智能网联示范应用工作。

近年来, 我国从中央到地方陆续出台指导文件, 智慧道路相关政策标准逐渐完善。与此同时, 政府部门联合学术界和工业界在智慧道路建设领域也展开了积极探索<sup>[2-4]</sup>, 主要通过在城市道路基础设施中部署感知、计算设备, 进行车辆与城市道路基础设施之间的信息交互, 以期实现安全预警和效率提升。然而, 在智慧道路建设过程中, 仍暴露出一些亟待解决的痛点: 一是各地区之间无法实现有效的协同联动, 导致管理分散、重复建设<sup>[5]</sup>; 二是关于智慧道路分级、体系架构等方面尚缺乏统一性的技术标准和规范指导, 难以形成可推广的方案<sup>[6]</sup>; 三是智慧道路建设成本较高, 但用户体验感、运营管理的效力等未实现相匹配的提升, 经济效益不明显。

本文针对上述问题:首先,聚焦车城协同功能和场景应用需求,以集约性、普适性和经济性为原则,提出智慧道路建设总体目标;然后,研究智慧道路分级方法,用以指导智慧道路分步建设,进一步搭建面向车城协同的智慧道路建设基本框架;最后,探索智慧道路设施的选型、部署和应用,提出基于智慧灯杆的经济可行的智慧道路建设实施路径,为车城协同建设提供解决思路和推广样板。

## 1 智慧道路建设总体目标

针对目前智慧道路建设中存在的问题,以集约性、普适性和经济性为原则,确定智慧道路建设总体目标。

### (1) 设计具有集约性的智慧道路基础设施

集约化和设施整合是智慧道路发展的必然趋势。基于“多杆合一、多箱合一、多井合一”等原则整合道路设施,将照明、通信、交管等部门常用的传统杆件进行合杆建设,同时融合智慧照明、5G微基站、环境监测、视频监控等功能,有效释放道路空间,节约建设成本。

### (2) 形成具有普适性的可推广智慧道路建设模式

通过对试点区域道路的智能化升级研究,从技术实现、成本降低等多个维度,形成具有普适性的智慧道路设施建设方案,并在政府部门、建设单位达成统一建设理念的基础上,开展整体建设与部署,提升城市智能化管理水平,降低大规模改造智慧道路的建设成本。

### (3) 探索更具经济性的低成本智慧道路部署方案

以城市需求为出发点,围绕设备选型和部署要求,论证分级、分步建设实现可持续迭代和运营的智能基础设施的经济性和可行性,探索低成本的智慧道路建设和改造途径。其中:“分级”强调针对不同场景需求建设不同等级的智能网联基础设施;“分步”强调迭代式建设,以动态的、不断补充设施功能的建设模式,逐步实现全域、全景智能设施建设。

## 2 智慧道路分级方法

对城市道路的智慧化水平进行科学分级是智慧道路建设的前提和依据。同时,不同类型的城市道路对智能化的需求因其所属地区不同和自身条件各异而不同。本文在对国内外自动驾驶分级和基础设施智慧化

分级进行研究的基础上,结合我国车城协同应用示范情况,提出面向车城协同的智慧道路分级方法。

2014年美国汽车工程协会(SAE)将自动驾驶汽车分为L0至L5 6个级别。基于SAE自动驾驶汽车分级模型以及基础设施对自动驾驶汽车的支持能力,欧洲道路运输研究委员会以及世界道路协会对智慧道路等级率先进行了划分<sup>[7]</sup>。在国内,中国公路学会从基础设施系统的信息化、智能化、自动化角度,提出了智能网联道路系统的分级方法<sup>[8]</sup>。《北京市智慧高速公路建设指南(试行)》<sup>[9]</sup>考虑了感知能力、处理能力以及服务和管理能力3个指标,实现了智慧高速公路智慧等级的划分。《上海市智慧高速公路建设技术导则》<sup>[10]</sup>根据智慧赋能的对象和程度,创新提出了涵盖初级、中级、高级和未来的智慧高速建设等级。余朝玮等<sup>[11]</sup>从感知、决策分析和管控等不同指标维度,提出了城市道路智慧化的4个等级。

以上分级方法描述了不同智慧化等级的道路特征,但在车城协同应用场景中所需的智慧化能力覆盖方面仍显不足。因此,本研究从数字化水平、智能化水平、自动化水平、应用场景、混合交通和主动安全系统等角度出发,基于决策控制和数据交互能力,构建了智慧道路分级模型(见表1)。该模型包括以下具体要素:一是智慧道路感知能力,即是否具备全部关键节点和标准路段的本体和服务对象的时空信息感知;二是数字道路通信能力,即是否支持区域级或城市级通信网络(5G、C-V2X、北斗、光纤等)信号全覆盖;三是数字道路计算能力,即是否支持道路基础设施边缘计算、城市操作系统计算。

## 3 面向车城协同的智慧道路建设基本框架

### 3.1 智慧道路总体架构

智慧道路总体架构包含设施层、平台层和应用层(见图1)。设施层是智慧道路信息获取的触媒,实现信息的感知、收集和上报;平台层包含边缘云、区域云和中心云,是智慧道路信息处理中心,实现信息的汇聚、统计和推演;服务层包含面向高阶自动驾驶的车路协同应用、面向普通车辆的车路协同应用、面向城市管理的应用和面向交通管理的应用等,是智慧道路的窗口,负责向用户提供定制化的服务。

### 3.2 智慧道路建设基本规定

#### 3.2.1 智慧道路建设流程

智慧道路建设改造应根据智慧城市总体规划、

| 表 1 智慧道路分级模型 |       |                                                                           |                              |          |                                       |        |
|--------------|-------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------|---------------------------------------|--------|
| 智慧化等级        | 含义    | 道路+网络+决策控制+数据交互能力                                                         |                              |          |                                       |        |
|              |       | 道路附属设施                                                                    | 道路通信能力                       | 协同决策控制能力 | 感知数据交互能力                              | 道路计算能力 |
| I0           | 无智能化  | 无智能化设备                                                                    | 无                            | 无        | 无                                     | 无      |
| I1           | 较低智能化 | 安装有监控摄像头、违法抓拍等交通设施                                                        | 4G (可选)                      | 无        | 无                                     | 无      |
| I2           | 初级智能化 | 1. I1 所有设施;<br>2. 按需建设路侧单元;<br>3. 建有单一传感器                                 | 1. 4G/5G;<br>2. C-V2X 重点路口覆盖 | 无        | 1. 初级协同感知;<br>2. 行人、机动车、非机动车感知识别      | 无      |
| I3           | 部分智能化 | 1. I2 所有设施;<br>2. 必须建设路侧单元;<br>3. 按需建有边缘计算单元;<br>4. 建有多类传感器,至少实现部分路口/路段覆盖 | 1. 4G/5G;<br>2. C-V2X 全路口覆盖  | 无        | 1. I2 所有数据交互功能;<br>2. 高级协同感知能力        | 特定路口有  |
| I4           | 高度智能化 | 1. I3 所有设施高密度部署(路口、路段全覆盖);<br>2. 必须建有路侧计算单元;<br>3. 高密度部署激光雷达              | 1. 5G;<br>2. C-V2X 全路段覆盖     | 特定场景     | 1. I3 所有数据交互功能;<br>2. 特定场景协同决策控制      | 有      |
| I5           | 完全智能化 | 1. I4 所有设施<br>2. 建有高精度辅助定位设施                                              | 1. 5G/6G<br>2. NR-V2X        | 所有环境     | 1. I4 所有数据交互功能,全时空全量感知<br>2. 完全协同决策控制 | 有      |

城市智慧交通规划和专项规划,协调统一社会效益、环境效益与经济效益<sup>[12]</sup>,综合考虑道路建设、管理、

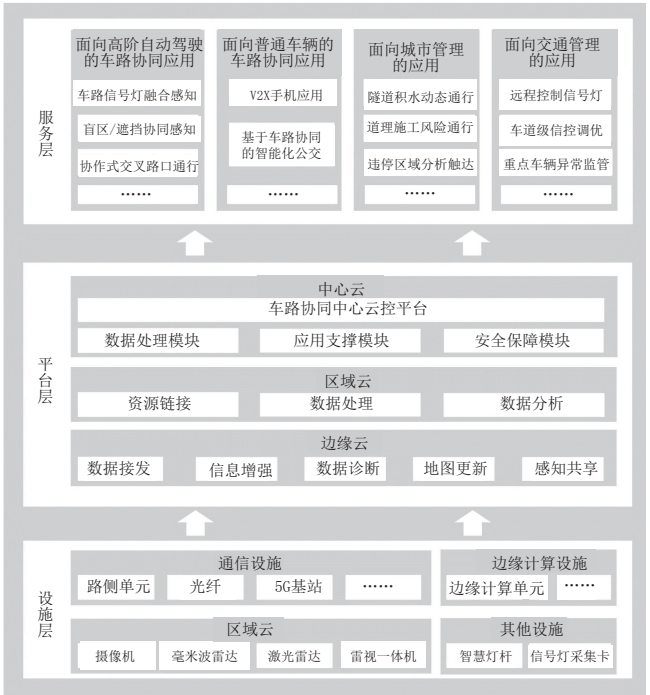


图1 智慧道路总体架构

养护和运营全过程需求,确定总体方案。其建设流程应包括需求分析与规划、投建运模式研判、可行性研究、现场勘测、初步设计、招标采购、施工前准备、智慧道路建设、测试调优和竣工验收。

3.2.2 设施分区部署要求

智慧道路基础设施应分区部署,规定道路交叉口进口道停车线上游 150 m 至出口道对向停车线下游 60 m 的范围为交叉路口部署区,相邻交叉路口部署区之间的城市道路视为路段部署区,设施部署基本要求见表 2。

4 基于智慧灯杆的智慧道路建设实施路径

智慧灯杆是将智慧道路基础设施与传统灯杆进行融合设计的复杂综合体,可实现杆体资源及供电、通信等支撑系统的共建共享,减少重复建设,提升设施利用率。因此,本节以设施集约、降低成本和可推广性为导向,提出基于智慧灯杆的智慧道路建设实

表2 智慧道路基础设施分区部署基本要求

| 设施类型     | 路段部署要求                                                    | 交叉路口部署要求             |
|----------|-----------------------------------------------------------|----------------------|
| 摄像机      | 保证观测视野首尾相接,不留死角和遮挡盲区;建议重点区域加密部署                           | 应监测覆盖所有进口道车辆的来向和去向   |
| 毫米波雷达    | 覆盖当前道路所有车道;建议重点区域加密部署                                     | 应监测覆盖所有进口道车辆的来向和去向   |
| 激光雷达     | 覆盖当前道路所有车道;建议重点区域加密部署                                     | 应监测覆盖交叉口中心区域         |
| 雷视一体机    | 保证观测视野首尾相接,不留死角和遮挡盲区;建议重点区域加密部署                           | 应监测覆盖所有进口道车辆的来向和去向   |
| 路侧单元     | 覆盖范围与感知覆盖区域匹配,避免重叠浪费;建议部署间距不超过 500 m                      | 建议按照单路口部署不少于 1 台路侧单元 |
| 边缘计算设施   | 与感知设施、通信设施就近部署,部署数量和间距应根据管辖范围和设备接入性能匹配                    |                      |
| 外场设施一般要求 | 部署于单个路口的功耗应控制在 1.5 kW,启动电流不超过 3 kW;部署于单个杆件上的总承重应不高于 20 kg |                      |

施路径,为车城协同应用提供支撑。

4.1 智慧灯杆部署要求

在合杆部署时,智慧灯杆应满足表3和图2所示基本要求。

| 表3 杆件部署一般要求 |                                                       |
|-------------|-------------------------------------------------------|
| 类目          | 要求                                                    |
| 设备安装高度      | 一般5.5~6.5 m,推荐为6 m                                    |
| 摄像机部署       | 部署于场景正中央,避免出现遮挡摄像机视线的对象,避免覆盖到出现较多无关运动对象的区域            |
| 毫米波雷达部署     | 部署在摄像机两侧,建议俯仰角14°~18°,雷达波束不能被遮挡,探测路段不被树木、广告牌、交通标志牌等遮挡 |
| 激光雷达        | 建议俯仰角14°~18°,雷达波束不能被遮挡,探测路段不能被大面积遮挡,不建议安装雷达对射         |
| 雷视一体机       | 部署于场景正中央,建议俯仰角14°~18°,避免出现遮挡摄像机视线的对象,探测路段不能被大面积遮挡     |
| 路侧单元        | 避免出现树木、标志标牌等遮挡物,避免强电磁环境影响                             |
| 边缘计算设施      | 根据算力要求部署在落地机箱位置                                       |
| 异常应对        | 设备能够应对特殊天气(大风)或者常规车辆扰动                                |

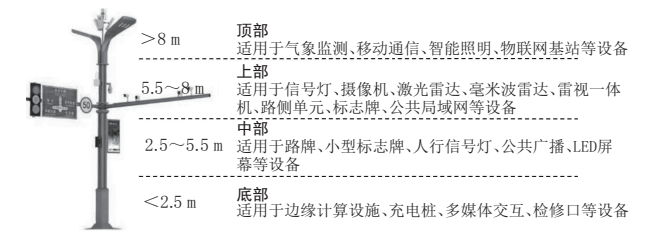


图2 智慧灯杆分层设计示意图<sup>[13]</sup>

4.2 路段部署方案

路段部署方案应根据道路等级、道路宽度、特殊路段、行车视距等情况确认。路侧单元、边缘计算设备为必备设备,感知设备可在摄像机、毫米波雷达、激光雷达、雷视一体机等设备中根据成本、性能需求等要求选用。

城市道路分为快速路、主干路、次干路和支路,根据是否存在主线路和被交路的情况将路段类目分为I型路段(双向4车道以上或中间有绿化带等隔离设施)和II型路段(双向4车道及以下或中间无隔离设施)。部署方案见表4。

4.3 路口部署方案

由于立体交叉口占地较大且结构复杂,一般须单独规划设计,故本文所述路口特指平面交叉口。考虑交叉口布设密度、几何特征和交通特征,选定十字交叉口和丁字交叉口作为智慧道路建设的典型交

表4 路段部署要求

| 类目      | I型路段                         |        | II型路段                 |        |
|---------|------------------------------|--------|-----------------------|--------|
| 道路智慧化等级 | I3                           | I4     | I3                    | I4     |
| 杆件部署方式  | 双向部署,同向200~250 m间距           |        | 上下行交错部署,交错间距200~250 m |        |
| 摄像机     | —                            | 单杆部署2套 | —                     | 单杆部署2套 |
| 毫米波雷达   | —                            | 单杆部署1套 | —                     | 单杆部署1套 |
| 激光雷达    | —                            | 单杆部署1套 | —                     | 单杆部署1套 |
| 雷视一体机   | 单杆部署1套                       | —      | 单杆部署1套                | —      |
| 路侧单元    | 上行或下行部署间距不大于500 m,满足一侧间距要求即可 |        |                       |        |
| 边缘计算设施  | 按需配置                         |        |                       |        |

叉口场景进行单杆部署,为普通交叉口的智慧化升级提供方案参考。

I型交叉口定义为含1条及以上主干路交叉,或双向4车道及以上道路交叉形成的交叉口;II型交叉口为除大型交叉口外的所有交叉口。十字交叉口和丁字交叉口的具体部署方案见表5、表6。

表5 十字交叉口部署要求

| 类目      | 十字交叉口I型    |    | 十字交叉口II型 |    |
|---------|------------|----|----------|----|
| 道路智慧化等级 | I3         | I4 | I3       | I4 |
| 摄像机     | —          | 8套 | —        | 6套 |
| 毫米波雷达   | —          | 4套 | —        | 2套 |
| 激光雷达    | —          | 4套 | —        | 4套 |
| 雷视一体机   | 8套         | —  | 4套       | —  |
| 路侧单元    | 1套         |    |          |    |
| 边缘计算设施  | 按需配置       |    |          |    |
| 信号机采集卡  | 部署至交通灯信号机内 |    |          |    |

表6 丁字交叉口部署要求

| 类目      | 丁字交叉口I型    |    | 丁字交叉口II型 |    |
|---------|------------|----|----------|----|
| 道路智慧化等级 | I3         | I4 | I3       | I4 |
| 摄像机     | —          | 8套 | —        | 6套 |
| 毫米波雷达   | —          | 4套 | —        | 2套 |
| 激光雷达    | —          | 4套 | —        | 4套 |
| 雷视一体机   | 8套         | —  | 4套       | —  |
| 路侧单元    | 1套         |    |          |    |
| 边缘计算设施  | 按需配置       |    |          |    |
| 信号机采集卡  | 部署至交通灯信号机内 |    |          |    |

5 车城协同应用场景

5.1 面向行驶车辆的应用实践

智能网联车辆与普通车辆在较长一段时间内将

处于混行的状态,可通过车路协同的方式,有效解决车辆在弱势场景、盲区场景、极端天气下的感知缺陷,增强车辆的驾驶安全性。面向行驶车辆的应用实践如图 3 所示。

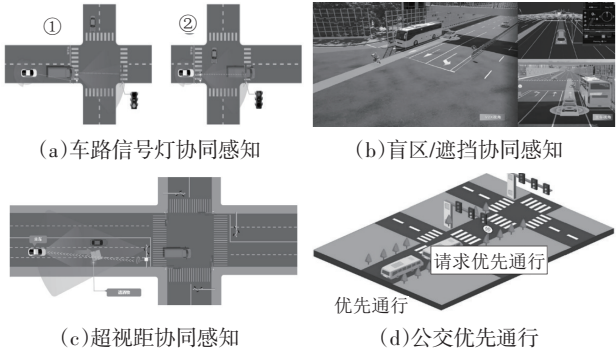


图 3 面向行驶车辆的应用实践示意图

(1)车路信号灯融合感知

通过路端融合感知、信号灯数据接入、云端信号灯数据对接等技术实时获取信号灯颜色和倒计时信息,经多源信号灯数据融合处理后,通过车路协同技术发送给车辆,车辆在距信号灯很远的位置提前获取信息,提前进行决策控制。

(2)盲区/遮挡协同感知

通过路端多传感器部署,实现多方位、长距离连续检测识别,并与车辆感知进行融合,实现自动驾驶车辆对盲区内车辆或行人的准确感知,辅助车辆提前进行决策研判,避免相撞。

(3)超视距协同感知

通过路端多传感器部署,实现对全路段的环境感知,为车辆提供超视距范围内对车辆或行人的准确感知识别,进而辅助智能驾驶的安全应用,并降低事故风险。

(4)智能公交

路侧感知设施精准识别公交车的运营状态和运行状态,结合公交系统的排班、线路信息,实时计算公交车在当前道路上的通行速度、通行效率,并通过调控信号灯、智能推送提醒等方式,为公交车提供优先通行权,进而提升公交线路整体运营效率,提升市民乘坐感受。

5.2 面向城市管理的应用实践

在城市化进程中,时常遇到积水、拥堵等问题,可以通过智能道路设施的改造和融合技术的加持,重点解决隧道积水、道路施工、车辆违停等城市问题的精细化监管,向上对接数字政府平台,在道路交通领域实现管理联动。

(1)隧道积水动态通行监管

实时监控各个城市隧道的水位状态,并接入车城中枢,在水位达到限度后,与隧道口的信号灯、道闸联动,进行隧道通行管控。同时,水位信息可实时分发给各局委办,实现事件跨局闭环处理,并联动隧道外诱导屏、地图导航等设施,实现C端触达。

(2)道路施工风险及通行监管

定位施工区域,监管施工过程,识别违规违法行为,同时也可自动识别施工范围内的地下管网分布情况,提前进行风险预警及管控,避免施工开挖对管网的破坏。此外,施工占道信息可触达区域交警及地图软件,提前疏导交通,提醒车主提前绕行。

(3)违停区域分析及触达监管

将违停信息以短信形式下发到驾驶人,提醒挪车,避免不必要的处罚,同时结合历史违停数据,分析出经常违停的地点,指导停车场、停车位的规划,提高交警警务工作效率。

5.3 面向交通管理的应用实践

(1)远程控制交通信号灯基础设施

通过智慧道路升级对交通整体运行情况进行监测、预测和分析,结合车辆位置、信号灯调控周期、交规限制等,优化控制区域信号灯,为车辆制订个性化通行建议,如建议车速等,提升交通通行效率,降低车均延误时间。

(2)车道级智能信控调优

基于智能道路设施,输出交通流量、排队长度、车道时间占有率等不同时空纬度的路口车道级微观交通流评价指标,经过交通建模分析计算,与现有智能信号灯控制系统协同,实现信号灯的智能动态配时方案下发,优化路口交通放行策略,有效缓解交通拥堵。

(3)重点车辆异常情况监管

由工程车辆以及专用作业车辆构成的城市重点车辆是城市交通中重要且特殊的组成部分,影响着各重大项目的日常管理和进度,但重点车辆在城市中的违规运营、违章驾驶也给城市居民的生命财产安全造成了极大危害。通过智能车载终端与智能路端基础设施的升级,可实现对重点车辆的监管。

6 结 语

本文针对当前我国智慧道路建设存在的问题,结合车城协同功能和应用需求,确定智慧道路建设的总体目标。在国内外自动驾驶分级和基础设施智慧化分级的基础上,提出了基于感知能力、通信能力

和计算能力的智慧道路分级方法,搭建了面向车城协同的智慧道路建设基本框架,并从技术实现、成本降低等多个维度,提出基于智慧灯杆的智慧道路建设改造实现路径,探索试点智慧道路设施的选型和部署,以实现面向行驶车辆、城市管理和交通管理的车城协同多场景应用。

#### 参考文献:

- [1] 张永伟. 创新驱动智能网联汽车和智慧城市协调发展[J]. 中国建设信息化, 2022(24): 10-13.
- [2] 文龙, 刘思铨, 吕润华, 等. 面向智慧驾驶的道路基础设施功能设计[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2023, 51(8): 1143-1156.
- [3] 王锋. 车路协同在智慧道路中的应用展望[J]. 交通科技与管理, 2023, 4(21): 5-8.
- [4] 岑晏青, 宋向辉, 王东柱, 等. 智慧高速公路技术体系构建[J]. 公路交通科技, 2020, 37(7): 111-121.
- [5] 傅志寰, 翁孟勇, 张晓璇, 等. 我国智慧公路发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2023, 25(6): 150-159.
- [6] 尹富秋, 孙培翔, 游克思, 等. 地下道路智慧化分级研究综述[J]. 交通与运输, 2022, 38(2): 67-72.
- [7] ERTRAC. Connected Automated Driving Roadmap[EB/OL]. (2019-08-03) [2024-04-10]. <https://www.etrac.org/wp-content/uploads/2022/07/ERTRAC-CAD-Roadmap-2019.pdf>.
- [8] 中国公路学会. 智能网联道路系统分级定义与解读报告[EB/OL]. (2022-03-23) [2024-04-10]. <http://www.chts.cn/fzjg/zdjsqzwyh/XZZX/art/2022/art13c2d91f3a554ecc9f337bc42c56414ehtml>.
- [9] BJJ T/0060—2021, 北京市智慧高速公路建设指南(试行)[S].
- [10] 上海市道路运输管理局. 上海市智慧高速公路建设技术导则[Z]. 上海: 上海市道路运输管理局, 2022.
- [11] 余朝玮, 孙培翔, 于棋峰. 城市道路智慧化分级研究[J]. 交通与港航, 2023, 10(6): 82-85.
- [12] 丁飞, 张楠, 李升波, 等. 智能网联车路云协同系统架构与关键技术研究综述[J]. 自动化学报, 2022, 48(12): 2863-2885.
- [13] 张宏征. 在智慧城市建设的道路照明体系[D]. 天津: 天津大学, 2017.

---

### 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: [roadfloodbridge@163.com](mailto:roadfloodbridge@163.com)

