

智慧城市道路体系架构与发展路径研究

刘艺, 游克思, 孙培翔

(上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海 200092)

摘要: 针对当前国内外智慧城市道路建设面临的问题和体系空白, 对中国智慧城市道路的概念和特征进行辨析, 提出智慧城市道路体系架构、发展路径并进行工程应用。对国内外智慧道路交通基础设施研究及应用进展进行梳理, 考虑规划建设方、运营管理方、道路使用者需求, 提出涵盖建设和运营全生命周期, 覆盖城市快速路、主干路、次干路、支路全类型, 包含全部参与者在内的智慧城市道路体系架构。依据城市道路智能化成熟度和智能化等级, 从感知、决策分析、管控与服务不同能力维度, 提出了分步实施、由点到面、逐步完善的4阶段智慧城市道路发展路径, 并应用于长沙市东方红路智慧城市道路建设项目。

关键词: 智能交通系统; 智慧城市道路; 体系架构; 应用场景; 发展路径

Framework and Development Path of Urban Smart Road Systems

LIU Yi, YOU Kesi, SUN Peixiang

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: Addressing the challenges and institutional gaps in both domestic and international urban smart roads construction, this paper analyzes the concept and characteristics of urban smart roads in China, and proposes a framework of urban smart road systems with a development path for engineering applications. The paper reviews the research and application progress of domestic and international urban smart road traffic infrastructure, and proposes an urban smart road system framework that spans the entire life cycle of construction and operation to meet the needs of planners, operators, and road users. This framework incorporates all stakeholders and covers all road types, including urban expressways, arterials, collectors, and local roads. Based on the level of maturity and intelligence of urban roads, the paper presents a four-stage development pathway for urban smart roads, implemented in a step-by-step manner from pilot projects to comprehensive systems and progressively improving across the capabilities of sensing, decision-making analysis, control, and services. This approach has been applied to the Dongfanghong Road urban smart roads construction project in Changsha.

Keywords: intelligent transportation system; urban smart road; system framework; application scenarios; development path

收稿日期: 2024-02-21

基金项目: 上海市2022年度“科技创新行动计划”社会发展科技攻关项目“融合基础设施驱动的空港智慧货运通道”(22dz1203403)、上海市交通委2024年度科研计划项目“基于全无人驾驶技术的地下高速车行道关键技术研究”(JT2024-KY-018)

作者简介: 刘艺(1979—), 男, 江西上饶人, 博士, 教授级高级工程师, 研究方向为道路交通工程, 电子邮箱liuyi@smedi.com。

0 引言

中国城市道路交通基础设施不断完善, 对城市经济发展起到重要支撑作用。但同时城市道路交通系统发展依然存在不足, 智能化水平较低: 管控不合理, 通行效率低, 拥堵问题日益突出; 公共汽电车交通体系结构

不完善, 服务品质不高, 用户体验差; 非机动车交通系统安全性不高, 服务品质低, 景观环境体验不佳; 静态交通系统存在停车难、停车乱现象; 等等。

随着城市发展和精细化管理的推进, 构建万物互联、多元化、多维度的全息感知交通体系成为城市交通系统管控的基础条件。

管控的重点需要从关注交通设施技术能力,逐步转向出行者获得感、可达性等高品质交通服务。因此,传统道路交通基础设施和技术需要突破局限性,依靠智慧化新技术赋能、提质升级。

近年来国家及地方出台的《交通强国建设纲要》《智能汽车创新发展战略》等系列政策文件为智慧城市道路的建设提供了顶层设计,有力推动了智慧城市道路的发展。但目前中国智慧城市道路建设总体处于起步阶段,各城市建设投入和发展水平不均衡,也暴露出一些不足和短板。

1 国内外智慧道路发展现状

20世纪80年代,为了解决交通问题、提升交通系统运行效率,美国、日本、欧洲等交通基础设施相对完善地区开始考虑采用智能交通系统手段提高既有交通基础设施效率、满足新的交通需求。美国“弗吉尼亚州智慧道路”项目始于20世纪80年代,具备自动驾驶、网联技术与智慧交通系统测试等功能。日本1973年开始进行第一个智能交通项目“汽车综合交通控制系统”研究,是世界上最早的自动导航系统。“欧洲高效安全交通系统计划”(PROMETHEUS)从1986年开始实施,进行了交通运输信息化领域的研究、开发与应用。

2010年开始,美国相继推出了《美国交通部智能交通系统战略计划(2015—2019)》(USDOT's Intelligent Transportation Systems (ITS) Strategic Plan 2015—2019)、《智能交通系统联合项目办公室:战略计划(2020—2025)》(Intelligent Transportation Systems (ITS) Joint Program Office: Strategic Plan 2020—2025)等计划,描述美国智能交通系统领域的重点任务和关键举措,加速智能交通技术普及,提高交通安全性、移动性和运输效率。澳大利亚2016年发布了《智慧高速公路指南》(Guide to Smart Motorways)^[1],规定了智慧高速公路规划设计的一般流程、分析原则、运营策略、功能和布局要求等,旨在为智慧高速公路建设提供指导。世界道路协会(World Road Association)2021年对智慧道路分级进行了规定^[2]。

中国智慧高速公路、智慧公路、支持自动驾驶的智能交通基础设施相关建设标准和指南陆续发布^[3-4],但主要集中在公路领域。2020年,中国智能交通产业联盟发布团体标

准《智慧高速公路信息化建设总体框架》(T/ITS 0125—2020),规定了包含内场系统、通信系统、外场系统的高速公路信息化建设总体体系架构。2020年,交通运输部行业标准《公路信息化技术规范》公开征求意见。2023年交通运输部发布《公路工程施工支持自动驾驶技术指南》(JT/T 2430—2023),对公路智能化、信息化等级以及智能化附属设施技术要求进行了规定。

2021—2023年,浙江、江苏、宁夏、山东、北京、云南、重庆、四川、甘肃、河北、河南、上海等陆续发布智慧高速公路建设指南,明确了智慧高速公路的建设目标、分级标准、建设内容等,为各地智慧高速公路建设提供指导和依据。

反观城市道路领域,尽管也开展了智慧赋能的应用探索,但还存在许多问题。1)对建设需求和场景应用研究不足。城市道路是城市公共空间,是交通出行、路内停车、公共交通服务等各种交通场景的空间载体,涉及部门主体多、服务对象种类多、道路功能类型多。因此相比公路领域,智慧城市道路建设的需求更多、建设内容范围更广。2)对智慧城市道路的认识缺乏统一性或存在局限性。将智慧城市道路建设等同于建设服务智能网联、自动驾驶的道路,忽略了高效通行、安全运行、出行服务等城市道路基本需求;将智慧城市道路建设理解为信息化系统或等同于系统平台的集成,盲目追求新技术、新平台等,忽略了城市道路交通设施和智能化系统的完善,为“智慧”而“智慧”,功能缺乏真实价值,偏离智慧城市道路建设初衷;对智慧城市道路建设目标和效果缺乏认识,导致存在两个极端——过度建设造成设施投资浪费或因设施不足无法发挥智慧赋能的作用。3)对智慧城市道路系统性以及可持续发展实施路径缺乏认识^[5-7]。

基于上述现状,本文提出智慧城市道路的体系架构,将具体建设内容分为支撑体系和应用体系,并将智慧城市道路的发展路径划分为4个阶段,为智慧城市道路工程设计提供参考。

2 智慧城市道路的概念

行业对智慧城市道路尚未有统一定义。各城市根据当地道路建设需求对智慧道路进行的定义可以作为参考。2021年1月,江苏省交通运输厅发布《江苏省普通国省道智慧

公路建设技术指南》，其中对智慧公路的定义为“通过5G、北斗、BIM、人工智能、大数据、车路协同自动驾驶等新一代信息技术，在公路设计、建造、养护、运营管理全生命周期集成应用，形成智能感知、智能管控、智能服务的综合管理服务系统，实现公路网的高效治理和高品质出行”。2021年6月，山东省交通运输厅印发《智慧高速公路建设指南(试行)》，其中对智慧高速公路的定义为“基于业务需求，以数据为核心，充分利用现代技术，提升多源感知、融合分析以及决策支持能力，促进人车路环境的深度融合，实现建设、管理、养护、运营、服务全过程数字化和智能化的高速公路”。

参考上述定义可知，城市道路智慧化建设的目标是交通运行更安全高效、运营管理更精细、交通服务更便捷。智慧城市道路的内涵包含3个要点：1)智慧城市道路本质上仍然是城市道路，不是信息化系统或管理平台，也不是特定的智能化外场设施；2)智慧城市道路需要依赖信息感知、通信传输、分析处理和地理信息等智能化技术；3)通过智能化技术提升城市道路系统的运行效率、管理能级和服务水平。因此，智慧城市道路是一种新型的城市道路，也是国家发展改革委提出的新基建中融合交通基础设施的重要类型之一。

由此，本文将智慧城市道路定义为以城市道路为基础，配置信息感知、通信传输以及分析处理等技术和设施，能够主动感知、分析决策、智能控制，提供安全、高效和绿色交通服务的城市道路。

3 主要特征

1) 智慧城市道路的建设目标。

以问题为导向开展城市道路智慧化建设，提升城市道路的交通服务能力、安全与抗灾减灾能力和设施耐久性等。

2) 智慧城市道路建设与传统道路工程的关系。

以城市道路行业管理者、运营者和用户的需求为出发点，以道路运行效率和交通安全等问题调查和分析为前提，智慧城市道路建设应做好交通组织、标志标线、交通附属设施设计以及交通执法管理等传统道路工程建设内容，并在各个环节和建设内容中融入智慧城市道路建设理念、完善智慧城市道

路建设体系、提升城市道路智能化水平。

3) 智慧城市道路的建设内容与优先级。

应根据设计的智能化等级、道路功能等级、实际需求，结合工程建设阶段、工程特征、服务水平、运营特征和交通特性等确定智慧城市道路建设内容。城市道路类型较多，不同类型道路的交通特征、安全防灾以及运营管理的需求差异明显，从功能等级上分为快速路、主干路、次干路和支路4种类型；从建设形式上分为地下道路、地面道路、高架道路等。除了考虑不同类型道路的智慧化建设需求外，智慧城市道路还应考虑未来发展需要，做好功能的预留和拓展，采取统筹规划、一次设计、分期实施的方式进行建设。

考虑到投资建设成本、技术成熟度以及技术更新迭代，智慧城市道路建设过程中应对建设内容进行优先级考虑。优先利用相对成熟的技术，充分与现有道路弱电、机电设施融合，优先建设可实施落地、迫切性强、实施效益高的应用场景，例如解决局部交通拥堵、改善事故黑点、提升公共交通服务能力等。

4 体系架构

4.1 总体框架

基于交通稳静化、完整街道、可持续城市移动性规划等规划理念的普及和应用，智慧城市道路的建设内容应覆盖各类型道路以及运营、养护、出行等需求。智慧城市道路工程具体建设内容分为支撑体系和应用体系(见图1)。

支撑体系包括数字化交通设施、通信设施、载体设施、感知设施、供电能源设施、位置服务设施以及交通安全设施。数字化交通设施包括数字化交通标志标线和控制与诱导设施。通信设施一般包括有线通信网络和无线通信网络。载体设施包括综合杆、综合箱、综合沟等土建基础设施，为智慧化功能拓展提供基础。感知设施主要针对交通运行状态、环境状态、设备设施状态开展感知监测服务。

应用体系包括运营管理、养护运维、出行服务3个模块，分别服务行业管理部门、运营养护管理部门、道路使用者，重点提升行业管理部门效率、运营养护单位作业效率、交通参与者的出行效率以及获得感。

4.2 典型应用场景

1) 运营管理。

运营管理模块服务道路相关的交警、城管、交通运输等行业管理部门。该模块根据城市道路类型特点、智能化等级要求开展交通管控、安全应急、监管执法等功能建设。交通管控包含交通违法事件检测、出入口管控、车道控制、交通信号控制等功能；安全应急包含安全管理、交通事故处置、应急预案、智慧防灾等功能；监管执法主要支撑交通管理部门开展交通执法管理工作。

运营管理模块的典型应用场景为全息交叉口(见图2)，通过配置摄像头、视频雷达车检器、智能网联终端等，实现对交叉口范围内的车辆、道路、行人、环境、交通事件

等全要素实时监测，实时呈现道路运行状态，支撑精细化交通管控及车路协同服务。

2) 养护运维。

养护运维模块服务道路运营养护管理部门。该模块基于城市道路类型特点、各类设施运营及养护业务需求开展检测巡检、性能评价、养护决策等功能建设。检测巡检包含结构设施监测与预警、设备监测与预警、能耗监测、移动智慧巡检等功能；性能评价是对设施设备的服役状态进行评估；养护决策实现养护数据分析、养护方案制定等功能。

养护运维模块的典型应用场景为城市快速路智慧运维(见图3)，通过现场布设传感器实现对高架桥的状态监测，降低人工巡检工作量、提升巡检效率和准确度；通过预设阈值、评估算法实现对基础设施异常状态的警示，及时发现重大设施运维问题；通过在线养护计划制定、巡检移动终端下发实现养护计划的科学制定和跟踪管理。

3) 出行服务。

出行服务模块服务道路使用者，结合不同道路智能化等级要求，提供不同精细化程度的信息发布服务。该模块包含伴随式信息服务、辅助驾驶、公共服务等功能建设，为出行者提供特殊路段预警、停车信息服务、准全天候通行支持、车路协同信息服务支持等。

出行服务的典型应用场景为面向复杂地下道路的地上地下一体化交通信息诱导服务(见图4)。通过在外围路网、地下道路入口、地下道路内部、周边停车场(库)等连续设置多级诱导标志，发布路况、交通管制、周边停车信息；同时通过设置地下位置服务系统设施，实现地上地下一体化定位导航服务，即车辆路径诱导、车位级导航、动态交通信息发布等功能。

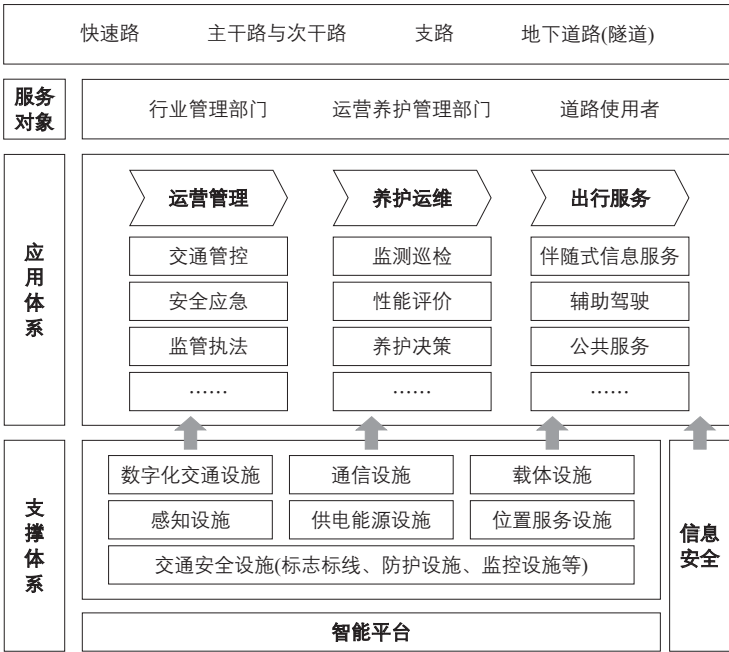


图1 智慧城市道路体系架构
Fig.1 Framework of urban smart road systems
资料来源：文献[8]。



图2 全息交叉口设备布置示意
Fig.2 Layout illustration of holographic intersection equipment

5 发展路径

综合考虑技术的发展成熟度、投资建设成本、实施效果等，智慧城市道路建设应分步实施、由点到面、逐步完善。本文依据智能化成熟度和智能化等级将智慧城市道路发展路径划分为4个阶段(见表1)。感知能力是指对基础设施交通运行状态、环境状态和设备设施状态感知的覆盖范围、颗粒度、时延等性能水平以及对决策分析与管控服务的支撑程度。决策分析能力是指针对各应用场景

管控决策需要，对感知数据进行统计分析、状态研判预警和预测推演的能力。管控与服务能力是指控制装备自动化、精细化程度，控制系统协同管控能力以及结合预警预测信息的主动管控能力。

5.1 现阶段

该阶段要求与现有城市道路设施建设水平大致相当，除满足道路交通运行基本要求外，可单点少量采集交通流信息，为交通管理提供辅助支撑，是智慧城市道路建设的基础等级。

5.2 近期建设阶段

该阶段是智慧城市道路近期建设的重点，其特征是在现阶段基础上加强对道路感知能力的建设，重点建设基础设施的数字底座，适当提升分析及管控水平，为更高级智慧分析与管控应用奠定数据基础。1)感知层面：进一步增加土建设备设施、交通流数据采集点位，全面提升感知范围、对象、精细度等以满足基础交通管控要求。2)决策分析层面：增加独立的分析模块进行采集数据分析和当前状态研判。3)管控与服务层面：增加自动化控制及信息发布设施，以部分代替

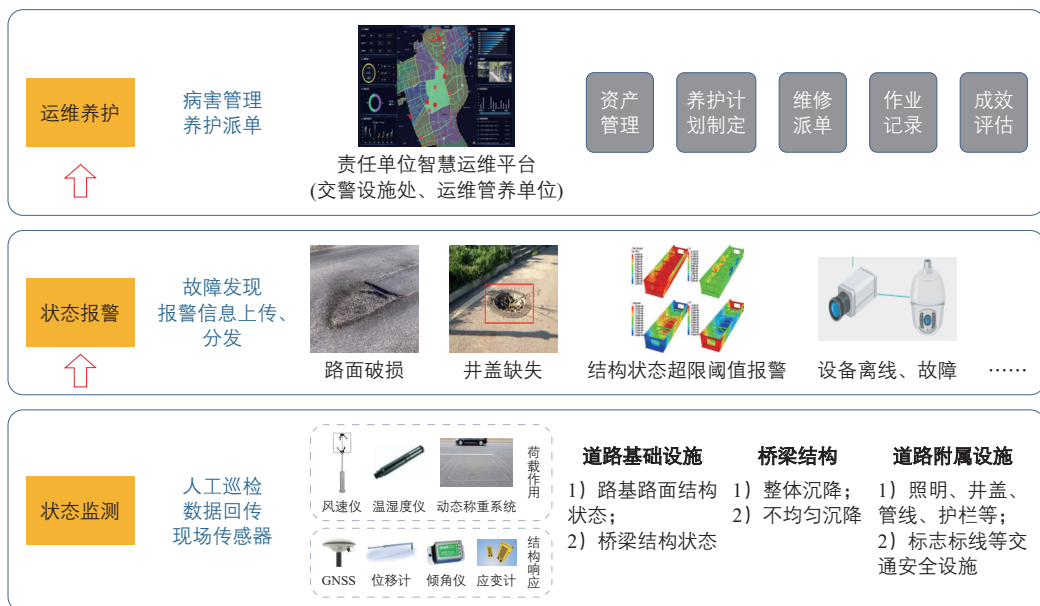


图3 城市快速路智慧运维示意

Fig.3 Smart operation and maintenance for urban expressways

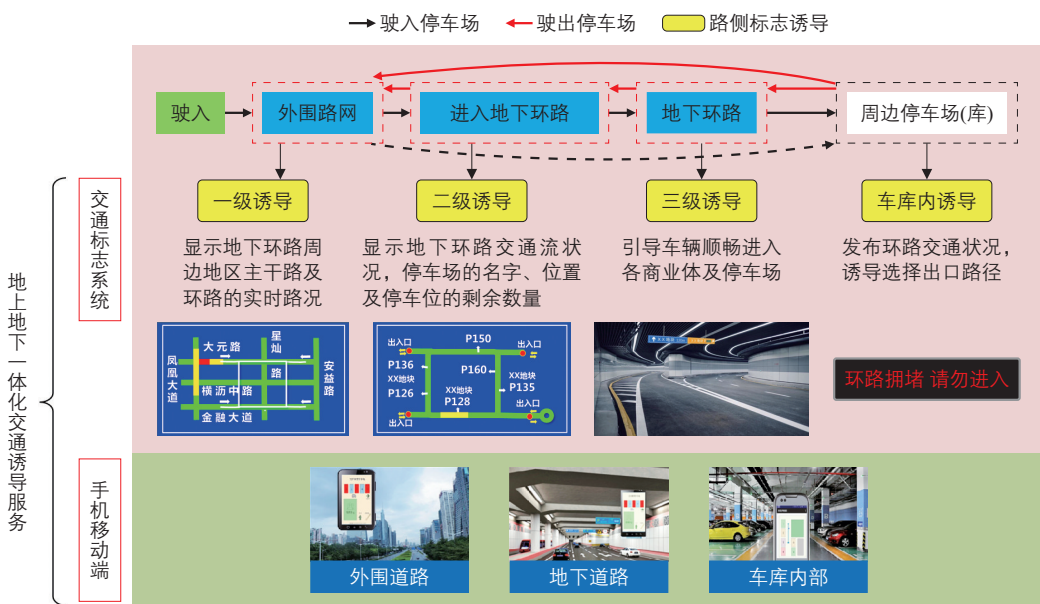


图4 面向复杂地下道路的地上地下一体化交通信息诱导服务

Fig.4 Integrated aboveground-underground traffic information guidance services for complex underground roads

表1 智慧城市道路发展路径
Tab.1 Development path of urban smart roads

阶段	感知能力	决策分析能力	管控与服务能力	建设时序
现状阶段	单点少量采集交通流信息	基础数据统计功能为主	自动化设施少，以传统交通设施为主	与现有城市道路设施建设水平大致相当，可参照《城市道路交通设施设计规范》(GB 50688—2011)
近期建设阶段	全面提升感知范围、对象、精细度等以满足基础交通管控要求(增加土建设备设施、数据采集点位)	具备独立的分析模块进行采集数据分析和当前状态研判	增加自动化控制及信息发布设施，以部分代替道路现场管理人员工作、提升管理效率	开展城市道路智慧化提升工作，应作为近期建设重点
中期建设阶段	进一步优化感知准确率、延时等关键指标性能，支撑大数据分析模拟及预警功能	具备通过交通仿真、预测推演等功能对未来趋势进行预测和预警的能力	根据现场情况自适应控制(提升软件算法能力，达到主动控制)	作为下阶段建设重点，技术和数据等尚需一定实践积累
远期建设阶段	进一步优化感知准确率、延时等关键指标性能，支撑车路协同需求	预测推演能力准确率、覆盖场景等相关性能全面提升	增加车路协同控制模式	智能网联和车路协同技术全面应用，以局部示范试点为主

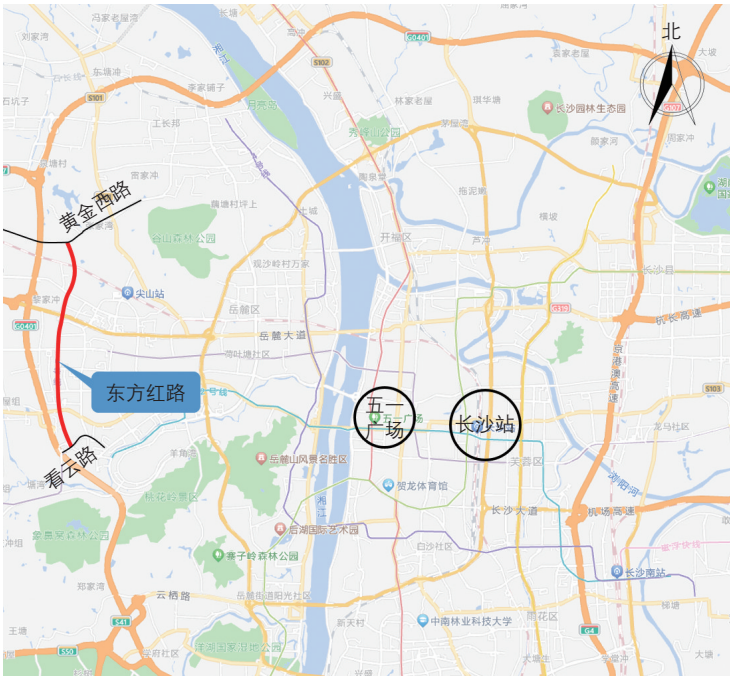


图5 长沙市东方红路区位
Fig.5 Location of Dongfanghong Road in Changsha

现根据现场情况自适应反馈，达到主动控制。

5.4 远期建设阶段

该阶段重点是智能网联和车路协同技术的全面应用，实现智慧城市道路主动管控和车路协同管控。考虑到智能网联技术成熟度和普及率，这一阶段宜作为智慧城市道路远期建设目标，近期以局部试点测试为主。1)感知层面：进一步优化感知准确率、延时等关键指标性能以支撑车路协同需求。2)决策分析层面：相较于中期建设阶段，预测推演能力准确率、覆盖场景等相关性能全面提升。3)管控与服务层面：增加车路协同控制模式。

6 应用案例

以湖南省长沙市东方红路作为智慧城市道路建设项目案例。该道路是位于长沙高新技术产业开发区的一条交通主干路，北起黄金西路，南至看云路，北通望城区，南达湘江新区，是该片区唯一一条贯通南北的交通大动脉。

通过调研发现该道路主要存在以下问题：1)全线公共空间缺乏，虽偶有街角绿地及广场，但空间布局不均衡、配套设施不完善，且道路与周边建筑的协调关系不佳。2)高峰时段道路通行效率低，信号控制系统有待优化，沿线各类杆件杂乱无序、造型各异、功能单一，存在杆件重复建设问题。3)前端感知系统覆盖面不足，机动车道、道路交叉口、停车场以及公共汽车站信息化水平低，无法做到实时引导，智能化程度低。

道路现场管理人员工作、提升管理效率。

5.3 中期建设阶段

该阶段是以近期建设阶段道路建设实施并积累大量数据作为基础，是智慧城市道路中期以后的建设目标，侧重于对数据分析能力的强化，并实现道路预测预警及主动控制等功能。1)感知层面：进一步提升感知技术和关键指标性能，如提升感知准确率、降低延时等。2)决策分析层面：在近期建设阶段基础上具备通过交通仿真、预测推演等功能实现对未来趋势进行预测和预警的能力。3)管控与服务层面：提升软件算法能力，实

以提升出行服务水平为核心，长沙市全面提升东方红路沿线道路交通管控效率、改善非机动车服务品质，并将其作为建设智慧城市道路的示范工程。确定该项目以远期建设阶段的智慧城市道路为建设目标，从支撑体系、平台大脑、应用模块、具体场景等方面对东方红路进行智慧化设计，主要内容如图6所示。

1) 支撑体系。

支撑体系包括全息感知设施、网络设施、基础载体、高精度地图以及综合监控中心。全息感知设施实现对人、车、道路、公共汽车站台等的监控和信息采集，并实现“全路段+交叉口”的空间全覆盖。网络设施将各类全息感知设施设备、行人信号灯、停车诱导屏、智慧非机动车设施、违法停车抓拍机等统一接入视频专网系统，通过运营商的裸光纤直接连接至交警的视频专网局域网。基础载体包括综合箱、综合杆等，综合杆按照“一杆一设计”的原则，同时满足照明、交通安全、交通监控、通信、指示牌等各类设施的设置需求。综合监控中心基于高新区已有平台应用软件、支撑软件、服务器、存储设备、网络及安全设备等，利用既有大屏幕显示系统满足日常运营管理需要。

2) 应用模块。

涵盖智慧交管、智慧公交、运维管养、智慧停车、出行服务等功能。为打造智慧交管全息交叉口，在交叉口4个方向分别部署一套近景一体机和雷视融合一体机，同时安

装一套边缘计算工控机进行采集数据的融合分析。智慧公交提供公共汽车交通综合感知、系统联动控制、乘客智慧服务等功能场景；安装电子信息显示屏，利用可触摸交互的多功能电子信息屏，集成实时公共汽车信息、个性出行推荐、路线规划等功能，打造大数据时代的路侧公共汽车微枢纽，提升公共汽车交通信息服务水平。智慧停车构建智慧化三级停车诱导体系，除了建设常规的三级停车诱导屏发布实时停车位信息外，还基于高新区智慧停车平台向驾驶人提供实时停车位信息，实现“全程全量”停车引导。出行服务模块包含的智慧行人信号灯可以检测等待行人的位置、数量和停留时间，检测行人闯红灯违法行为，拍摄取证图片和录像，播放预警行人的提醒语音。

7 结束语

本文从分析中国智慧城市道路建设面临的问题出发，梳理提出智慧城市道路的概念，分析其主要特征，进而提出智慧城市道路体系架构。依据城市道路智能化成熟度和智能化等级，从感知、决策分析、管控与服务不同能力维度将智慧城市道路发展路径划分为4个阶段。以长沙市东方红路为例对智慧城市道路建设进行应用说明。本文提出的智慧城市道路体系架构及应用场景是当前研究和工程建设的热点，其所依赖的关键技术在国内外已开展多项测试、试点、示范工程

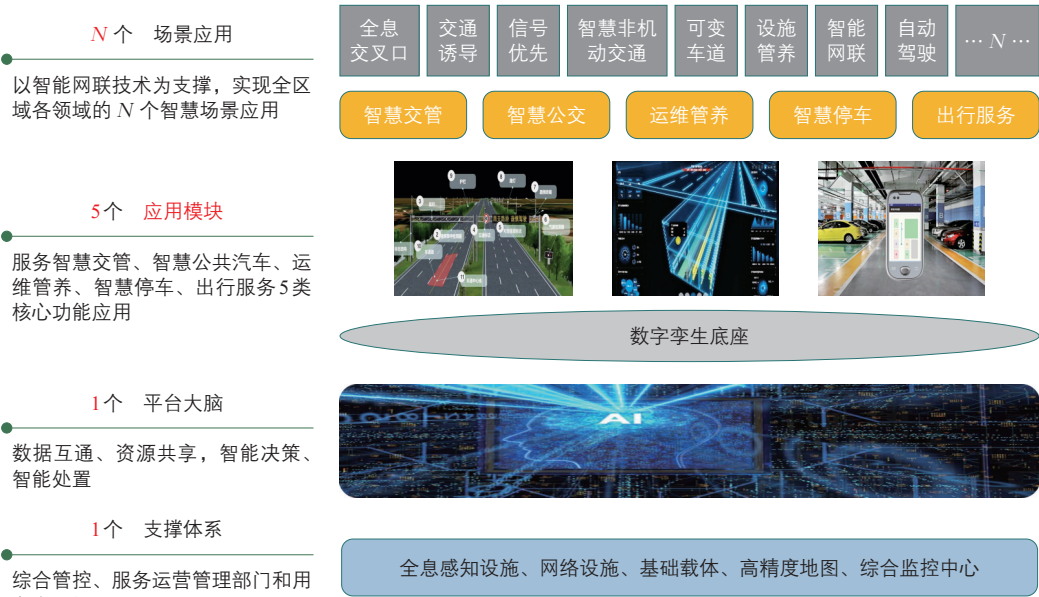


图6 东方红路智慧城市道路体系结构

Fig.6 Framework of urban smart road system for Dongfanghong Road

建设,但整体运行情况尚未经大量工程实践验证,后续还需进一步建立系统性的智慧城市道路评价体系,结合具体项目案例运行情况对其提升效果、经济和社会效益进行科学评价和迭代优化。

参考文献:

References:

- [1] Austroads. Guide to smart motorways[R]. Australia: Austroads, 2016.
- [2] PIARC. Smart roads classification[R/OL]. 2021SP01, (2021-09-01)[2024-01-01]. <https://www.piarc.org/en/order-library/36443-en-Smart%20Roads%20Classification>.
- [3] 中国公路学会. 智能网联道路系统分级定义与解读报告[R/OL]. (2022-03-23)[2024-01-01]. http://www.chts.cn/fzjg/zdjsgzwyh/XZZX/art/2022/art_13c2d91f3a554ecc9f337bc42c56414e.html, 2022-3-23/2023-7-13.
- [4] 中国智能交通协会. 智慧高速公路建设总体技术要求: T/CI TSA 32—2023[S/OL]. (2023-07-12)[2024-01-01]. <https://its-china.org.cn/ds/24034a9e42.html>. China Intelligent Transportation Systems As-

- sociation. General technical requirement of smart expressway construction: T/CI TSA 32—2023[S/OL]. (2023-07-12)[2024-01-01]. <https://its-china.org.cn/ds/24034a9e42.html>.
- [5] 叶卿, 金照, 邵源, 等. 智慧城市道路的设计与实践[C]//中国城市规划学会城市交通规划学术委员会. 创新驱动与智慧发展: 2018年中国城市交通规划年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018: 86-89.
- [6] 黄昕, 王黎, 郑铁丽, 等. 浅析“双智”试点工作下成都市智慧道路建设路径[J]. 公路, 2023, 68(5): 229-233.
- [7] 慈明. 城市智慧道路设计创新路径探析[J]. 中国建设信息化, 2024(2): 56-59.
- CI Ming. Analysis on the innovative path of urban smart road design[J]. Informatization of China construction, 2024(2): 56-59.
- [8] 中国工程建设标准化协会. 智慧城市道路设计标准: T/CECS 1490—2023[S]. 北京: 中国计划出版社, 2024: 4.
- China Association for Engineering Construction Standardization. Standard for design of smart urban road: T/CECS 1490—2023[S]. Beijing: China Planning Press, 2024: 4.

(上接第8页)

- [12] 郭磊, 王克文, 文福拴, 等. 电动汽车充电设施规划研究综述与展望[J]. 电力科学与技术学报, 2019, 34(3): 56-70.
- GUO L, WANG K W, WEN F S, et al. Review and prospect of charging facility planning of electric vehicles[J]. Journal of electric power science and technology, 2019, 34(3): 56-70.
- [13] 北京市城市管理委员会. 北京市城市管理委员会关于印发《“十四五”时期北京市新能源汽车充换电设施发展规划》的通知(京管发〔2022〕13号)[A/OL]. (2022-08-05)[2023-09-28]. https://csglw.beijing.gov.cn/zwxx/2024zwcwj/202405/t20240516_3685728.html.
- [14] 上海市人民政府办公厅. 上海市人民政府办公厅印发《关于本市进一步推动充换电基础设施建设的实施意见》的通知(沪府办规〔2022〕1号)[A/OL]. (2022-02-24)[2023-09-28]. <https://www.shanghai.gov.cn/nw12344/20220224/b2effcc0bbde45d28c21f4>

- afd5b67fb1.html.
- [15] V2G Hub. V2G projects around the world [EB/OL]. 2023[2023-09-28]. <https://www.v2g-hub.com/>.
- [16] International Energy Agency (IEA). Global EV outlook 2021[R/OL]. 2021[2023-09-28]. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>.
- [17] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于进一步构建高质量充电基础设施体系的指导意见(国办发〔2023〕19号)[A/OL]. (2023-06-19)[2023-09-28]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202306/content_6887168.htm.
- [18] 国家发展改革委, 国家能源局, 工业和信息化部, 市场监管总局. 国家发展改革委等部门关于加强新能源汽车与电网融合互动的实施意见(发改能源〔2023〕1721号)[A/OL]. (2023-12-13)[2024-01-10]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202401/content_6924347.htm.