

我国智慧公路发展战略研究

傅志寰^{1*}, 翁孟勇², 张晓璇², 孙虎成², 孙静², 付振茹²

(1. 中国国家铁路集团有限公司, 北京 100080; 2. 中国公路学会, 北京 100011)

摘要: 智慧公路建设是积极应对当前公路网在交通安全、运行效率、服务水平、管理能力等方面面临的诸多挑战, 实现我国公路交通高质量发展的有效途径。本文梳理了智慧公路概念的内涵特征, 结合国情和发展实际提出了智慧公路总体架构; 在总结我国智慧公路发展现状的基础上, 明晰了认知及规划、标准规范、政策规章、治理机制等方面的发展挑战, 进而从近期、中期、远期3个层面详细论证了我国智慧公路的详细建设目标。研究认为, 我国智慧公路建设的重点任务包括智慧化建造、基础设施数字化、车路协同自动驾驶、新一代公路智能税费征收系统、智慧养护、智慧服务区、智慧安全应急、智慧公路“四网融合”, 需要在制定行业指导文件、完善协同推进机制、研制标准规范体系、研究公路里程税改革、实施支持性产业政策和举措等方面开展积极行动。相关研究成果突出了系统性、前瞻性、可实施性, 以期促进智慧公路健康发展、深化智慧公路技术探索与应用实践。

关键词: 智慧公路; 总体架构; 数字化; 智慧养护、智慧服务; 车路协同

中图分类号: F512.3 **文献标识码:** A

Development Strategy of Smart Highways in China

Fu Zhihuan^{1*}, Weng Mengyong², Zhang Xiaoxuan², Sun Hucheng², Sun Jing², Fu Zhenru²

(1. China State Railway Group Co., Ltd., Beijing 100080, China; 2. China Highway and Transportation Society, Beijing 100011, China)

Abstract: Smart highways are vital for actively coping with various challenges regarding traffic safety, operation efficiency, service level, and management capabilities of current road networks, and for realizing the high-quality development of road networks in China. This study clarifies the implications and characteristics of smart highways and proposes an overall structure of smart highways based on national conditions and development realities. Subsequently, it summarizes the development status of smart highways in China, clarifies the development challenges in terms of cognition and planning, standards and norms, policies and regulations, and governance mechanisms, and proposes the short-, medium-, and long-term goals of smart highway construction in China. Moreover, key tasks for smart highway construction in China include intelligent construction, infrastructure digitization, automatic driving based on vehicle – road collaboration, new-generation intelligent systems for highway tax and fee collection, intelligent maintenance, intelligent service areas, intelligent emergency response, and integration of infrastructure, communications, energy, and service networks for intelligent highways. Further efforts should focus on the formulation of industry guidance documents, improvement in collaborative promotion mechanisms, development of standards and norm systems, study of highway mileage tax reforms, and implementation of supportive industrial policies and measures. Results of this study are systematic, forward-looking, and implementable, and are hoped to promote the healthy development of smart highways and deepen the research and application of relevant technologies.

收稿日期: 2023-08-01; **修回日期:** 2023-10-27

通讯作者: *傅志寰, 中国国家铁路集团有限公司研究员级高级工程师, 中国工程院院士, 研究方向为铁路和综合交通运输;

E-mail: fuzhihuan138@sina.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“智慧公路发展战略研究”(2022-XBZD-19)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

Keywords: smart highway; overall structure; digitization; intelligent maintenance and service; vehicle-road coordination

一、前言

经过30多年的大规模建设,我国公路网规模超过 5×10^6 km(含高速公路里程约 1.7×10^5 km)。我国公路网规模虽然居于世界首位,但面临着诸多问题和挑战:道路安全事故频发,气候和欠养护导致的限制通行时有发生,智能化信息服务水平不高,用户出行体验欠佳;道路交通在交通全行业中的碳排放占比较高,绿色发展压力较大^[1]。相关学术研究和国际经验均表明,积极且高效地建设智慧公路是解决上述问题和矛盾、构建智慧交通体系、践行交通强国战略的主要途径^[2],有助于切实提升道路安全保障、运行效率、服务管理、绿色发展水平。

就智能交通技术发展看,以人工智能(AI)、第五代移动通信(5G)、物联网、大数据等数字化技术主导的世界新一轮科技革命和产业变革风起潮涌,逐渐从导入期转向拓展期^[3],成为推动传统行业转型升级的关键因素;相对地,传统要素的边际效益明显减弱。可以认为,科技创新为交通运输高质量发展带来了广阔空间^[4]。围绕新型基础设施建设(“新基建”)、数字中国等重大部署,积极发展智慧公路,成为公路交通高质量发展的必由之路,也在《交通强国建设纲要》《国家综合立体交通网规划纲要》中得到进一步明确。

目前,已有不少关于智慧公路建设的理论探讨与地区性政策文件,如14个省份发布了智慧公路建设指南。然而,已有成果侧重高速公路、聚焦具体场景/工程/地区,在智慧公路建设的全局性、长期性方面存在局限,缺乏全国智慧公路发展的总体研究;较多关注近期建设,缺乏全国智慧公路中长期的前瞻研究。也要注意,地方性的建设指南缺乏对智慧公路的基本共识,导致智慧公路的定义、技术架构、建设内容等存在表述差异。整体上,我国智慧公路发展的顶层设计及中长期路径规划缺失,局部成体系、发展不协同的问题较为突出。

为了促进我国智慧公路总体研究的深化以及交通行业健康可持续发展,中国工程院咨询项目“智慧公路发展战略研究”着重开展相关顶层设计与系

统规划;贯彻新发展理念、倡导可持续交通,协调目标导向与现实需求,融合理念突破与科技创新,力求提出中国特色、世界领先的智慧公路体系方案。本文是相关项目研究的学术性成果,剖析智慧公路的内涵特征并提出总体架构,梳理发展现状与面临挑战,进而论证中长期建设目标并阐明重点任务。相关内容可为推动我国智慧公路建设、深化智慧公路理论研究提供基础参考。

二、智慧公路的内涵特征与总体架构

(一) 智慧公路的内涵特征

智慧公路指着眼安全、高效、创新、可持续发展目标,综合运用大数据、云计算、物联网、AI等信息技术,智能装备、新材料、新能源等工程技术,构建全域感知、泛在互联、融合计算、自主决策、智能协同、服务触达等能力,实现建设、运营、养护、服务全寿命期智慧化的新一代公路系统。在智慧公路的目标要求中,安全是交通发展的核心和根本;高效是对交通供给效率的根本要求;创新是智慧化发展的内生要求,主要依托科技创新和理念创新,提升公路体系的现代化水平;可持续要求公路发展与环境生态和谐、资源节约且可循环利用,具有绿色低碳和经济可负担的特征,体现人文精神和服务至上的理念。

本研究认为,智慧公路主要有6个功能特征。
① 全域感知。整合多种信息采集手段,具备“人-车-路-环境-事件”链条中多要素或全要素的实时、连续信息获取能力。
② 泛在互联。从公路与公路之间、公路与路域环境、路网与其他“三网”(运输服务网、信息网、能源网)3个角度,全面实现不同区域公路基础设施之间的信息互联、道路基础设施与车及路域环境之间的信息互联,公路与“三网”之间的互联互通。
③ 融合计算。以云计算能力为主要特征,基于行业云、公共云等形成对多类型数据的处理、融合、挖掘能力,实现多模态数据的综合处理,海量、多源、异构数据的融合计算和开发利用。
④ 分析决策。综合采用计算仿真、数字孪生等技术,基于海量数据、丰富的模型算法、充裕的算力资源,实现预判及预警、解决方案比选

等智慧分析能力，支持数据驱动辅助决策、预决策、自主决策。⑤ 智能协同。以公路设计、建造、养护、运营、管理、服务各环节的智能协同，实现跨区域业务协同和车路协同，形成智慧公路业务智能协同的管理和服务能力。⑥ 服务触达。综合利用车载终端、路侧及路面设施、交通广播、地图导航等应用程序和服务设施，提供实时、方便、准确、可触达的用户出行服务，涵盖预报及预警、在途信息、应急救援、服务区保障、一站式出行、车路协同等场景。

(二) 智慧公路总体架构

本研究立足感知、通信、计算、控制等技术底层逻辑，论证并构建了智慧公路总体架构（见图1）。融合应用大数据、云计算、物联网、AI等信息技术，具备“人-车-路-云”信息交互能力，保障公路智慧建设、养护、运营管理、服务的具体业务需求，为行业主管部门、建设单位、养护运营单位、社会公众、车辆用户等各类型、各层级的用户提供服务。智慧公路总体架构“自下而上”分为4个层次：物理资源、操作系统、业务应用、用户。

物理资源是基础层，基于感知、通信等设施获取“人-车-路-环境-事件”信息。物联中台和操作系统用于信息交互，公路原有的信息系统、外部平台数据等通过数据交换的形式与操作系统进行交互；所有接入的原始数据在操作系统内进行处理、融合、分析等；操作系统向下管理物理资源、向上支撑业务应用和服务，应对不同的服务需求，为社会公众提供的信息服务可以直接发布到电脑端、智能终端等^[9]。智慧公路采用云（中心云）-边（边缘云）-端（路端和车端）协同运行的分布式云部署架构（见图2），适应公路网分层管理、跨层级数据交换等专门需求，支持多形态（公有云/分布式云/私有云）、多位置（区域/路段/节点/终端）部署，开展多源异构数据的大规模挖掘，保障全天候管理与服务。

值得指出的是，智慧公路总体架构是开放式平台，具有可持续扩展、迭代、演进的基本特征；智慧公路建设应以实际需求为导向，在总体架构下合理配置功能模块及所需资源，不宜过度超前建设。此外，相较于普通国（省）干线、农村公路，高速公路的应用基础良好，应用场景和服务类型更加丰

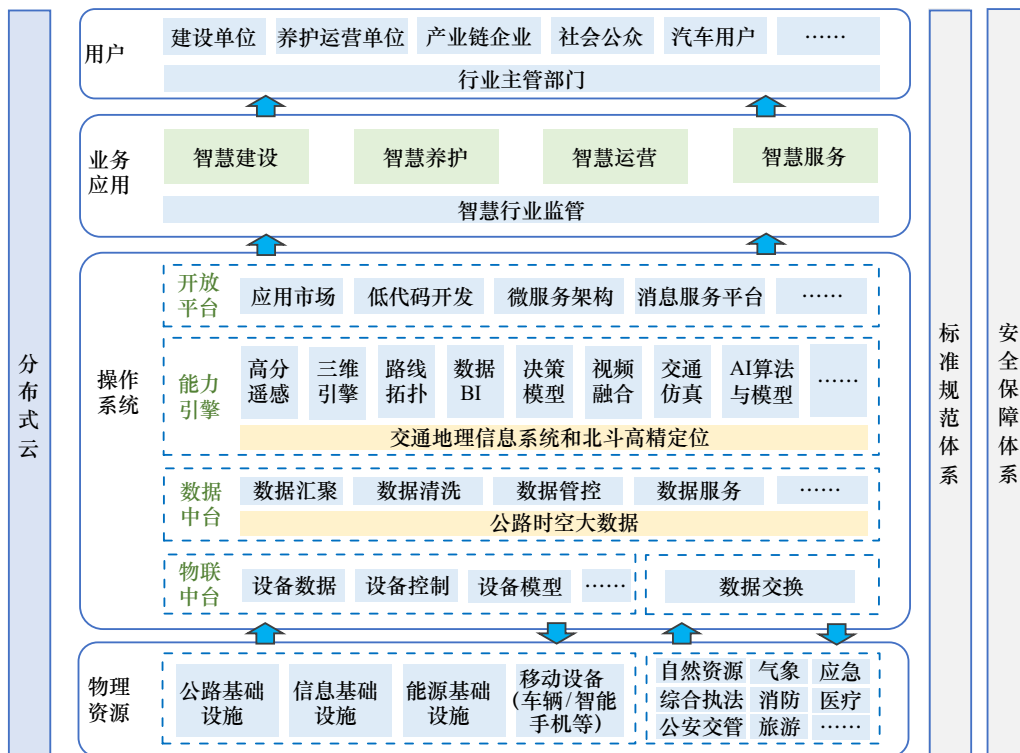


图1 智慧公路总体架构
注：BI表示商业智能。

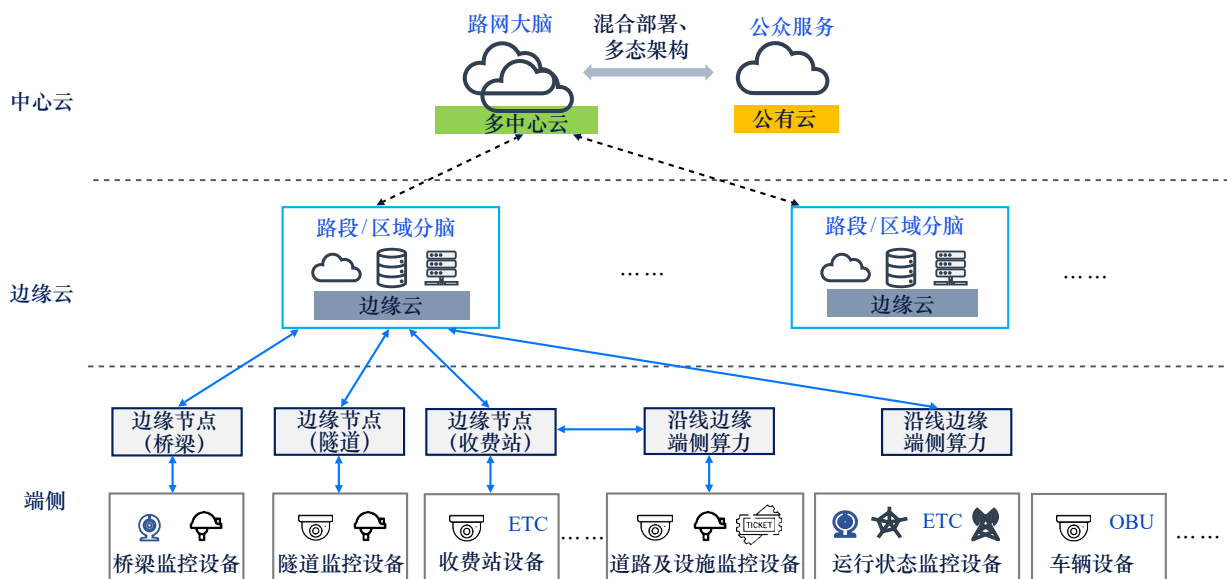


图2 智慧公路分布式云部署架构

注：ETC表示电子不停车收费；OBU表示车载电子标签。

富，因而智慧高速公路是率先开展的智慧公路建设类型。在智慧公路总体架构下，增加适应高速公路应用场景的建养平台、管控平台、车路协同平台等能力要素，即形成智慧高速公路总体架构，以匹配高速公路系统中智能建造、智慧工地、智慧养护、收费稽核、路网运行监控、主动交通管控、全天候通行、伴随式信息服务、车路协同、自动驾驶等典型应用需求。

三、我国智慧公路发展现状与面临的挑战

（一）我国智慧公路发展现状

智慧公路建设与发展得到各级行业主管部门的高度重视，各地区也在加快推进。自《关于加快推进新一代国家交通控制网和智慧公路试点的通知》（2018年）发布以来，已有北京、浙江、广东等9个省份开展了智慧公路建设试点示范，配套发布了《智慧高速公路建设指南（暂行）》（浙江省，2020年）、《江苏省智慧高速公路建设技术指南》（2020年）、《智慧高速公路建设指南（试行）》（山东省，2020年）等地方性文件。此外，在国家推动“新基建”、数字中国等重大战略的背景下，《关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见》（2020年）、《数字交通“十四五”发展规划》（2021年）、《交通运输部关于服务构建新发展格局的指导意见》（2021年）

等指导性文件都提出建设智慧公路。

在行业主管部门的积极引导下，各地加快推进智慧公路的建设。紧扣公路高效通行、安全保障、管理水平提升等核心发展目标，围绕智能建造、交通流精准监测、全天候通行、结构健康监测、智能养护、准自由流收费、伴随式信息服务、车路协同、自动驾驶等开展技术创新及应用实践，推进信息技术与高速公路深度融合。例如，江苏省的五峰山、沪宁智慧高速公路，山东省的京台智慧高速公路，浙江省的杭绍台、杭绍甬智慧高速公路^[6]，四川省的成宜智慧高速公路，广东省的机荷智慧高速公路，河北省的京雄、延崇智慧高速公路等先后建成，充分验证了智慧赋能公路安全、效率、通过能力、服务水平等的有效性。

（二）我国智慧公路发展面临的挑战

1. 有关智慧公路的统一认识和整体规划缺乏

交通行业对智慧公路建设的必要性和迫切性已有共识，但对智慧公路的内涵理解存在较大差异，没有形成共识，存在“为智慧而智慧”的不良发展势头^[7]。从14个省份发布的智慧公路建设指南等指导性文件来看，各地对智慧公路的发展目标、总体框架、建设内容、分级分类等具有不尽相同的认识和追求。有关智慧公路建设的发展理念、指导文件等参差不齐，造成智慧公路规划建设缺乏系统性，

难以发挥公路网的整体效益，也易产生重复建设、铺张浪费等情况，亟待成体系研究和完善智慧公路发展建设策略^[8]。

2. 智慧公路建设标准规范体系不健全

整体上，智慧公路建设仍处于探索阶段，没有形成完整的标准框架体系。当前，智慧公路涉及的标准规范集中在基础通用标准和服务标准层面，而智慧公路建设所需的诸多设施/设备仍处于研究和试验阶段，导致促进新技术应用的关键性技术标准明显缺失。同时，智慧公路建设普遍存在“一地一方案”“一路一方案”的情况，全国统一的智慧公路建设标准体系框架仍为空白。数据系统之间、设施/设备之间的衔接与融合存在困难，难以实现高效的互联互通^[9]。

3. 支持智慧公路发展的创新性政策规章缺失

智慧公路建设需要建设单位、运营管理部门、用户部门、政府部门等多元主体参与，但智慧公路的投资主体、投融资模式、服务内容以及收费定价、收费方式等都未以政策规章的形式予以明确。由于上位法律法规的支持缺失，导致创新性政策规章滞后于实际发展需求，制约了智慧公路的可持续发展。例如，需要深化阶段性法律法规、各级管理政策、社会共识、人文伦理等研究，才能明晰并探讨解决车路协同自动驾驶商业运行面临的责任归属、市场监管、成本分摊、价值分配、商业保险等诸多复杂因素。

4. 跨部门协同治理机制尚未理顺

实现智慧公路的功能价值，需要跨行业、跨区域、跨部门的协同治理。除了交通主管部门，还需气象部门开放技术数据、公安部门完善安全通行标准、工信部门研究车辆设备前装准则等。目前，我国缺乏多部门协同推进智慧公路发展的机制，规划、建设、运营等方面的统筹协调力度不够，造成信息不共享、政策不完善、标准不统一^[9]。

四、我国智慧公路建设目标

我国智慧公路建设主要分为近期（到2028年）、中期（到2035年）、远期（到2050年）3个阶段。近期，完善顶层设计，构建发展框架，解决突出问题，建立标准规范体系，深化示范试点，确保取得初步成效。中期，全面提升相应技术的路网应用范

围、数智驱动管理服务能力，建成区域级智慧路网，基本建成智慧公路网络体系。远期，关键技术全面自主可控，支持公路全要素、全流程、全场景、全天候应用，全面建成智慧路网，以产业化发展提高对国民经济的贡献度。

（一）近期建设目标

1. 重点区域实现“保安全、疏拥堵、强服务”

在长江三角洲城市群、珠江三角洲城市群、京津冀城市群、成渝城市群，重点针对主干道、易拥堵道路提升精准感知、精准管控、应急响应能力，建设区域级智慧路网，实施跨路段、跨区域、跨部门的协同管控和整体服务。面向易受恶劣天气影响、位于灾害多发区域、历史事故多发的高风险路段，采用智慧化监测、预警、引导手段提升安全保障能力。针对高速公路的城市出入口、城镇过境和主通道的拥堵路段，以智慧扩容等形式提升通行能力10%以上。

2. 重要通道实现“强衔接、重配套、优功能”

对于国家综合立体交通网主骨架中的公路通道，新建项目实现全生命周期建筑信息模型（BIM）应用，改扩建项目实现“改扩建-运营养护”全链条的数字化运行管理与服务以确保道路通畅，在役公路有序推进基础设施全要素、全周期的数字化改造。重点运输通道实现全天候、全要素、全过程实时监测，综合采用车道级管控、特别通行管理、恶劣天气安全保障等管控方式支持实现准全天候通行；部分具备条件的繁忙通道提供车路协同安全提醒和信息服务；主骨架高速公路快充网络有效覆盖；重点区域及若干主通道实现出行服务的智能化、个性化、便利化。此外，推动数字化、智能化设施/设备的跨地区统筹布局，统一标准、同步建设，形成全国性的协同管理和服务能力。

3. 重大构造物实现“全测、全控、全防”

以跨江、跨海、跨峡谷桥梁为重点的重要桥梁，全面实现设施健康状况、交通运行状态的实时监测，强化安全隐患排查和风险管控，形成关键信息主动安全预警能力。有条件的长大隧道建成智能监控及运行、风险应急处置能力，高边坡、支挡结构等构造物应用结构安全监测和灾害风险防控措施。

4. 消除路网的共性突出问题

采用应急指挥智能协同,全天候通行保障,准自由流收费,重点车辆精准监控,数字化、智能化养护管理等技术,使高速公路、具备条件的国道/省道有序提供“全天候、秒过站、快响应”的道路通行保障服务,人性化的服务区服务,经济高效的养护管理。完善“两客一危”车辆安全监控能力,建成部、省两级的智慧路网云控平台,覆盖监测、调度、管控、应急、服务等综合功能。

(二) 中期建设目标

1. 数字化转型成效凸显

在长江三角洲城市群、珠江三角洲城市群、京津冀城市群、成渝城市群,全面建成智慧路网,实现协同管控和服务。新建国家公路基本实现全生命周期数字化,在役干线公路数字化覆盖率大幅提升,重大桥梁和隧道具备基于数字孪生的智能运行及安全事件应急处置能力。建成部、省两级联网的公路行业大数据中心,聚集行业数据资源,实现多源数据深度融合和智能分析。在公路全生命周期各环节普及大数据技术应用,优化并完善设计、建造、管理、养护、服务全过程。BIM设计、智能建造、路网云控平台、全生命周期预防性养护、自由流收费、伴随式出行服务、车路协同、自动驾驶等智慧化场景得到推广应用,推动经济社会及交通行业生产方式变革。

2. 科技创新应用全面增强

大数据、云计算、物联网、卫星导航等信息技术,自助设施、智能服务终端、自动化作业、无人机、AI/虚拟现实、无人驾驶等智能装备实现规模化应用。BIM设计、智能建造、自由流收费、车路协同、自动驾驶、新能源、卫星导航服务等方向的关键核心技术全面实现自主可控。国产化设施/设备普及应用,部分国内技术标准上升为国际标准,具备较强的国际市场影响力。

3. 公路网运行效率显著提升

在具备条件的城市群,高速公路拥堵路段全面实施智慧扩容,使通过能力提升20%以上。重点区域及国家高速公路主通道实现车道级管控,显著提升车辆通行速度;具备条件的重要运输通道实现车路协同辅助驾驶,大幅提升通行安全和效率水平;个别通道实现货车自动驾驶运行。大规模实施快速

化、集约化、自动化、智能化养护作业,精准开展养护决策,使道路拥堵情况明显缓解,因养护或天气原因封路次数大幅减少,显著降低养护的时间、人力、资金等成本。

4. 安全应急能力显著增强

全国干线公路网基本形成准全天候的通行保障能力,具备条件的通道实现全天候通行。综合应用智能化应急响应及灾害救援技术、“一路多方”协同平台,大幅提升对突发事件尤其是重大事故的应急处置效能。基于公路基础设施监测预警体系、自然灾害综合风险相关数据构建“公路综合风险一张图”,实现全部高速公路、重点国道/省道的路网风险辨识及应急管理智能化。

5. 经济社会价值更为突出

国家公路基础设施网与运输服务网、信息网、能源网的融合更为深入,智慧公路相关的数字经济形成规模,有效提高在国家数字经济中的占比。在具备条件的地区全面实现准自由流收费,智慧服务区功能完备、服务便利;丰富信息服务的渠道数量和内容质量,提高社会公众对公路服务水平的满意度。

6. 治理效能大幅提升

省级路网云控平台建设覆盖率达到100%,全部实现部、省两级联网,全面形成全国高速公路、普通国道/省道运行状态的精准监测与管控调度能力。全面部署不设站的新一代智能收费系统,提供对公路上里程税的技术支持。部、省两级公路综合养护系统建成并投入运行,支持路网资产养护管理的全面管控与科学部署。部、省两级农村公路数字化综合监管体系初步建成,形成农村公路“一张图”管理能力,支持实现农村公路“四好”建设目标。

(三) 远期发展目标

到2050年,我国全面建成智慧公路网络体系,智慧化能力实现全要素、全场景、全天候、全周期覆盖。车路协同、自动驾驶普及化应用,智慧公路工程广泛实施,关键技术系统自主可控,通道运输能力及运行效率、路网安全水平均大幅提升。智慧建造、智慧养护、智慧运营、智慧服务发展水平进入国际前列,智慧公路综合技术水平达到世界领先。

智慧公路服务“人民满意交通”，在构建综合运输体系、保障国家发展安全中发挥关键作用，形成良好发展生态，驱动公路行业可持续发展，支持实现交通强国建设。

五、我国智慧公路建设的重点任务

（一）公路智慧化建造

公路智慧化建造追求“智能化设计、自动化作业、工厂化建造、精细化管理、数字化交付”，主要分为智能化设计、智能建造。公路智能化设计利用对地遥感、地理信息系统、BIM等技术，提升勘测、设计、成果交付等环节的可视化、数字化和智能化水平，实现设计模型与实际地形的交互，支持开展创新设计、优化设计和高效设计。公路智能建造获得信息技术赋能，通过技术和管理创新对公路建造过程进行有效改进，以智能化手段提高建造过程管理水平，改善公路工程建设效率、安全水平和质量，提升施工资源优化配置能力，降低工程建设成本、能耗、碳排放，确立公路全生命周期数字化的基础。

（二）基础设施数字化

基础设施数字化面向全路网，围绕公路全部资产设施、全周期业务展开。以数据为生产要素，以信息技术和业务数据模型为支撑，构建标准统一、信息全面、融合共享的公路全生命周期数据体系；推动公路建设、管理、养护、运营全过程业务的数据化、在线化、协同化，提升业务效率与质量、优化资源配置、支撑科学决策。公路基础设施数字化的实施路径是，按照“整合资源、统筹集约、数字增能”的理念，加速新一代信息技术与实体业务的融合应用创新，全面推进公路建设、管理、养护、运营业务的数据化、在线化、协同化；构建标准统一、信息全面、融合共享的公路数据体系，开展公路行业大数据治理与应用，支撑跨部门、跨层级、跨区域数据交换共享，全面提升公路行业管理和公共服务水平。

（三）车路协同自动驾驶

车路协同自动驾驶系统以单车智能自动驾驶为基础，进一步实现车-车、车-路、车-人的信息

交互与共享；依托蜂窝车联网（C-V2X）技术，形成以“聪明的车+智慧的路+协同的云”为基础架构，高精地图、卫星导航定位等产业为支撑，融合信息安全、大数据、AI等关键技术，面向交通参与者提供安全和高效出行服务的“车路云”一体化系统。针对智慧公路，通过自动驾驶云控平台、交通感知设施、交通控制与诱导设施等，联合或独立实现车路协同自动驾驶功能。面向车路协同自动驾驶需求，智慧公路着重建设路侧协同感知融合、路侧协同决策、路侧协同控制、C-V2X通信、高精度定位、与基础设施相结合的智能决策及规划等关键技术。

（四）新一代公路智能税费征收系统

新能源汽车发展迅速，燃油汽车的市场占有率持续下降，导致建立在燃油汽车基础上的“燃油税”覆盖率急速降低。论证提出了新一代公路智能税费征收系统开发方案（见图3），旨在基于北斗卫星导航系统计量车辆行驶里程，合理征收车辆“里程税”以替代“燃油税”。采取“用路者付费”原则，将单车税收与车辆行驶里程挂钩，反映车辆对公路的磨损和损害程度；征税体系透明、公平、合理，适用所有类型车辆、全国公路网（含城市道路），是构建新的公路税费制度的基础设计。系统采用“云-端”技术架构实现“里程税”的计费、收费功能，无需新建收费站及附属设施，具有开放性、全网络、无感自由流收费、快速通行、高信用、实时动态监控等技术特征。对于收费公路，系统可以取代现有的收费技术来征收通行费；对于普通开放道路、城市拥堵路段，可收取（必要的）拥堵费、城市道路停车费。通过差异化收费、拥堵收费等策略，实现调节路网拥堵路段的交通流、优化高速公路网与普通公路网资源配置的目的。

（五）智慧养护

基于公路的全生命周期数据，在智慧养护管控平台上开展多源感知、融合分析、决策支持等的集成运用。应用智慧化养护装备、材料和技术，对公路及其附属设施开展全领域、全过程、全周期、全要素、全天候，科学化、智能化、主动式、预防性的维护和提升，实现全生命周期理念凸显、基础信息在线管理、巡查管理智能闭环、养护决策科学精准、工程实施标准先进、后期评估及时有效的公路

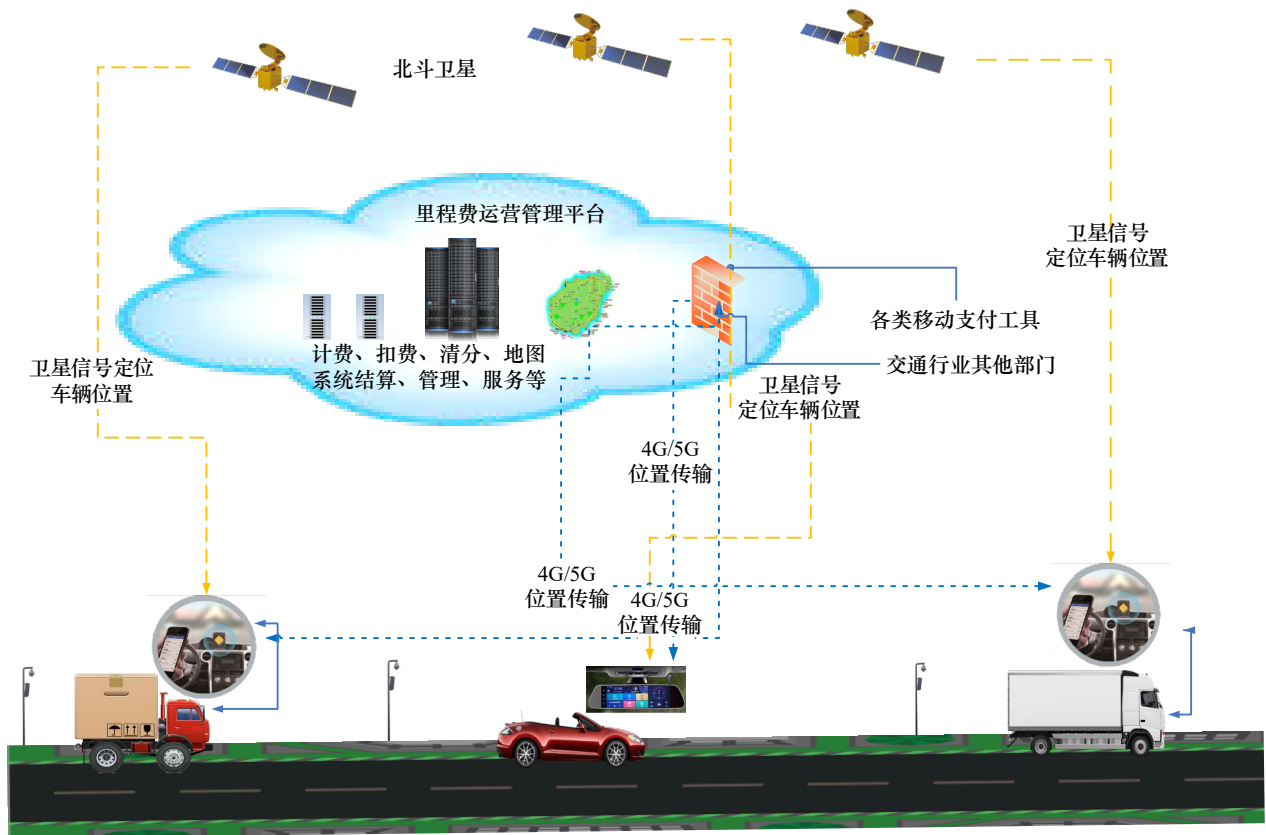


图3 新一代公路智能收费系统开发方案

注：4G表示第四代移动通信。

养护新模式。

(六) 智慧服务区

面向公共服务、运营管理、经营管理、产业服务、应急保障、社会治理等智慧服务区的主要业务场景，基于“服务区操作系统”构建新型基础设施管理模式，具备科技智能、高效安全、绿色舒适、顾客满意的基本特征，实现服务区“一本账管理、一张网管控、一站式浏览、一平台调度、一体化生产、一标准保障”。采取多级管控、多方连通形式的全国高速公路智慧服务区总体架构，建设部级综合管理平台，与省级、管理公司级、服务区级平台实现垂直贯通，与公共数据平台、高速监控中心、高速集团公司、行业监管，第三方出行信息服务平台等保持数据的互联互通。

(七) 智慧安全应急

融合应用信息技术、智能装备技术，构建智慧公路安全应急保障系统，形成精准感知、快速反

应、主动管控、协同联动能力，实现公路事故“预防-反应-处置-反馈”全过程的智慧化。智慧公路安全应急保障系统具有“1+M+N”的总体架构：“1”为基础支撑，包括数字化采集、网络化传输、智能化应用；“M”为配套体系，包括产业生态、网络安全、标准规范、管理制度；“N”为应用场景，建立在“1+M”之上，包括伴随式信息服务、车道级诱导管控、自动派单救援、突发事件智能诱导、多部门应急联动、主动安全管控。

(八) 智慧公路“四网融合”

着眼智慧公路基础设施网、通信网、能源网、服务网的“四网融合”，以服务公路用户为根本目标，以公路基础设施、能源基础设施、信息基础设施为载体，形成交通、能源、信息、服务一体化的新型公路基础设施网络。在公路基础设施空间通道内，合理布设能源和信息基础设施，实现线网互通、资源互补、数据互联，驱动公路、能源、信息的供给与调度从粗放管理转向精准可控、从局部平

衡转向全局优化。创新利用路域资源发展新能源和清洁能源，以“交能融合”推进近零碳智慧公路、智慧服务区、智慧收费站等基础设施建设，支持公路行业绿色低碳和可持续发展。智慧公路支持汽车电动化、网联化、智能化发展，适应公路交通运行及衍生服务的新模式、新业态，从单一的交通运行服务逐步转向公路、能源、信息以及衍生产品的综合运行服务。

六、我国智慧公路发展建议

（一）制定行业指导文件

建议交通运输部研究并制定智慧公路建设的指导文件和顶层方案，明确智慧公路的发展目标与实施路径。发布全国统一的智慧公路分级分类建设指南，兼顾需求导向和目标导向，采取因路施策、循序渐进的发展理念，差异化、针对性地指导各类智慧公路有序建设与稳健发展。发布体制机制、标准规范、产业协同、关键技术攻关、投融资、人才培养等方面的配套政策，综合性、全方位推进智慧公路建设。

（二）完善协同推进机制

建立中央和地方、各部门之间的协同推进机制，合力解决智慧（高速）公路规划、建设、运营方面的重大问题。针对车路协同自动驾驶、“车路云”一体化的发展需求，建立跨部门沟通协调机制，编制中长期发展战略，促进产业融合与协同创新。统一制定全国性的智慧公路发展路线图、分级分类标准，构建涵盖法律规章、产业政策、技术标准、效能评价的整体架构。

（三）研制标准规范体系

及时开展智慧公路建设标准规范的研究与制定，形成层次清晰、统一协调、框架合理、科学衔接、先进适用的标准规范体系，满足研发、建设、运行、示范等重点环节发展需求，支持创新技术成果的有效转化。针对分级分类的智慧公路制定相应的标准指南，兼顾信息技术发展特点，建设开放、包容、可迭代的智慧公路标准框架及技术服务标准。应对智慧公路的建设亟需，重点研制基础性、关键性标准，匹配技术研发和产业培育需要。

（四）研究公路里程税改革，研发新一代公路智能税费征收系统

近年来新能源车发展迅猛，未来燃油车市场占有率将持续下降；在新能源车取代燃油车主体地位不可逆转的趋势下，“燃油税”的覆盖率急速降低，征税系统的完整性面临挑战。建议适时启动公路里程税改革，在技术实施层面基于北斗卫星导航系统、新一代公路智能税费征收系统，精准计量车辆行驶里程并据此对车辆征收使用税。“里程税”相较“燃油税”更具公平性、可持续性，可为两个路网体系（收费的高速公路网、不收费的普通公路网）融合创造条件，促进解决“大车跑小路”问题，使道路资源利用趋向合理。

（五）实施支持性产业政策和举措

建议实施一揽子支持智慧公路发展的产业政策和举措，解决上位法律支撑、全国统一标准、重大关键技术、有效的投融资模式等方面的问题。推进支持智慧公路发展的相关法律规章研究和制定/修订，适时设立国家级政府引导性智慧绿色公路产业投资基金。建议结合国家重要公路通道扩容改造，加快实施智慧公路技术应用，形成智慧公路赋能工程示范项目；将在役公路的智慧化建设纳入工程改扩建范畴，争取资金、收费政策的支持，总结形成可复制推广的发展模式，再逐步向全国其他路段、路网推广应用。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: August 1, 2023; **Revised date:** October 27, 2023

Corresponding author: Fu Zhihuan is a professor-level senior engineer from China State Railway Group Co., Ltd., and a member of Chinese Academy of engineering. His major research field is railway and comprehensive transportation. E-mail: fuzhihuan138@sina.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Strategic Research of Smart Highway Development” (2022-XBZD-19)

参考文献

- [1] 生态环境部宣传教育中心, 中国人民大学应用经济学院, 滴滴发展研究院. 数字出行助力碳中和研究报告 [R]. 北京: 生态环境部宣传教育中心, 2021.

Center for Environmental Education and Communications of Ministry of Ecological Environment, School of Applied Economics of Renmin University of China, Didi Development Research Institute. Research report on digital mobility assisting carbon neutral-

- ity [R]. Beijing: Center for Environmental Education and Communications of Ministry of Ecological Environment, School of Applied Economics of Renmin University of China, Didi Development Research Institute, 2021.
- [2] 高晓波, 丛侃. 智慧高速公路建设研究探析 [J]. 公路, 2021 (7): 209–213.
Gao X B, Cong K. Research and analysis on the construction of smart highways [J]. Highway, 2021 (7): 209–213.
- [3] 张晓春, 邵源, 孙超. 面向未来城市的智慧交通整体构思 [J]. 城市交通, 2018, 16(5): 1–7.
Zhang X C, Shao Y, Sun C. The overall concept of intelligent transportation for future cities [J]. Urban Transport of China, 2018, 16(5): 1–7.
- [4] 加快构建现代综合交通运输体系 [EB/OL]. (2022-04-29)[2023-07-15]. https://www.mot.gov.cn/buzhangwangye/lixiaopeng/zhongyahuodonghejianghua/202204/t20220429_3653417.html?eqid=e07a6269001aacac000000066458ef2c&eqid=a617fb8f00002dae0000006646c7d23.
Accelerating the construction of a modern comprehensive transportation system [EB/OL]. (2022-04-29)[2023-07-15]. https://www.mot.gov.cn/buzhangwangye/lixiaopeng/zhongyahuodonghejianghua/202204/t20220429_3653417.html?eqid=e07a6269001aacac000000066458ef2c&eqid=a617fb8f00002dae0000006646c7d23.
- [5] 张锦, 徐君翔, 郭静妮, 等. 我国智慧高速公路总体架构设计研究 [J]. 综合运输, 2020, 42(2): 1–6, 31.
Zhang J, Xu J X, Guo J N, et al. Research on the overall architecture design of domestic smart expressway [J]. China Transportation Review, 2020, 42(2): 1–6, 31.
- [6] 崔优凯, 周义程, 杜逸, 等. 浙江智慧高速公路建设顶层设计研究 [J]. 中国交通信息化, 2020 (4): 18–23.
Cui Y K, Zhou Y C, Du Y, et al. Research on top-level design of Zhejiang intelligent highway construction [J]. China ITS Journal, 2020 (4): 18–23.
- [7] 刘鞞堃. 国外高速公路信息化发展现状简析及其启示 [J]. 中国管理信息化, 2018, 21(15): 134–136.
Liu W K. A brief analysis of the current situation of expressway informatization development abroad and its enlightenment [J]. China Management Informatization, 2018, 21(15): 134–136.
- [8] 孙超, 黄愉文, 张永捷. 数字时代全球智慧高速公路发展趋势及建设思考 [J]. 公路, 2022 (4): 237–242.
Sun C, Huang Y W, Zhang Y J. Trend analysis and development thinking of global smart expressway in digital age [J]. Highway, 2022 (4): 237–242.
- [9] 丁金学, 李卫波. 推进智慧高速公路建设 [J]. 中国投资, 2023 (3): 80–81.
Ding J X, Li W B. Promoting the construction of smart highways [J]. China Investment, 2023 (3): 80–81.