
基于人工智能的智慧公路应用 技术研究报告

中国智能交通产业联盟

2022年12月

编写单位及人员

参编单位：东南大学、华为技术有限公司、浙江大学、同济大学、北京交通大学、西南交通大学、交通部公路科学研究院、交通运输部路网监测与应急处置中心、苏州市交通运输局、浙江智慧交通研究院、山东高速集团有限公司、华设设计集团股份有限公司、浙江高信技术股份有限公司、广东省交通规划设计院、中国路桥工程有限责任公司、上海市政工程设计研究总院有限公司、南京国通智能交通科技有限公司、苏州未来智能交通产业研究院、中国市政工程中南设计研究总院公司、苏州规划设计研究院股份有限公司、江苏中设集团股份有限公司

参编人员：

刘攀、刘志远、于琦、符海芳、金盛、谢驰、吴建军、谢军、焦伟赞、张纪升、李茹、张云、董雷宏、陆庄伟、李炎、张玉杰、刘少韦华、卢瑜、万剑、谢斌、党倩、邵勇、杨赞、钱公斌、季心怡、王林、汪淼、王强、付炜、樊钧、邓立瀛、杨航

前言

当今时代，人工智能技术已经成为国家战略科技力量，是新一轮产业变革的核心驱动力。2018年12月，中央经济工作会议把5G、人工智能、工业互联网、物联网定义为“新型基础设施建设”。伴随着“新型基础设施建设”的提出，人工智能也逐渐成为热点。2019年，在中共中央、国务院印发的《交通强国建设纲要》中明确指出“大力发展智慧交通，推动大数据，人工智能等新技术与交通行业的深度融合”。2020年3月，中共中央政治局常务委员会召开会议提出，要加快5G网络、数据中心等新型基础设施建设进度。之后，在“十四五”规划和2035年远景目标纲要中也6次提及人工智能。由此可见，从国家政策层面，旨在利用发展智慧交通、新型基础设施建设等举措为我国数字经济发展注入新动能，而在交通强国的战略背景下，人工智能技术已经成为加快推动数字产业化，加强数字技术创新应用的关键。

为响应国家号召，推动智慧交通与人工智能的融合，本报告以智慧公路为切入点，开展了人工智能在智慧公路领域应用的研究工作。在中国智能交通产业联盟(C-ITS)的支持下，于2021年11月通过了2021年第六批团体标准修订项目：基于人工智能的智慧公路应用技术研究报告(T/ITS 0204-2021)(以下简称研究报告)。该项目联合包括东南大学在内的共计15家单位联合起草，围绕建设、管理、运营及养护对公路管理部门、业主单位、设计院等，针对现有人工智能技术应用公路场景和存在的问题展开调研，摸清行业痛点与难点，结合人工智能在公路领域的应用现状，整体评估人工智能技术在公路领域的应用效果，推导国内智慧公路人工智能行业发展建议，分发展阶段对从业者提出技术发展方向建议。

本报告的调研主要从三个角度展开。第一是针对国内外交通领域人工智能发展趋势及现状进行调研，重点在于发展现状、存在问题及调整与发展方向。第二是国内外交通领域人工智能标准现状调研，重点在于标准化必要性、相关政策与当前标准化情况。第三是行业调研，前往全国各地不同的行业单位和科研高校，覆盖产学研三大领域，针对公路人工智能应用场景现状与问题进行调研，包括公路建设、公路管理、公路养护、公路运营四个领域，梳理公路人工智能应用前景发展路线，提出人工智能公路应用行业发展建议，并对人工智能技术实现优先级进行排序，是此次调研的重点任务。

基于人工智能的智慧公路应用技术研究报告

在行业调研中，主要通过圆桌会议、线上访谈、问卷调查的调研方式，共调研包括北京公路院、华设设计集团、华为、浙江省数智交院、山东省高速集团在内的业内 20 余个单位或部门，覆盖北京、山东、江苏、浙江等省市。对行业调研的结果，分别从横向与纵向两个维度进行梳理，横向从公路“建、管、养、运”四大领域分别梳理，纵向按研究报告的逻辑进行梳理，主要包括业务介绍、现状问题、人工智能引入后方案与预期效果、使用的人工智能技术及输入输出。

基于调研结果，总结发现人工智能在公路领域应用的五点“卡脖子”问题。一是顶层设计缺乏，人工智能建设较为零散，二是各部门平台间存在信息孤岛，不能有效协同；三是大数据底座缺失，无法打通各类大数据；四是资源配置不合理，建设精细化程度缺少标准；五是落地效果不佳，未能实现“少人化”，减少一线工作人员作业量。同时，梳理了人工智能在公路领域的未来首要应用业务场景。对于公路建设，为外业勘测、智能穿戴设备与定线设计；对于公路养护，为公路表面病害巡查与检测、养护决策、标志标线安全设施；对于公路运营，为收费稽核、自由流收费、紧急情况预警与预案生成；对于公路管理，为交通数据感知、异常事件检测管控与伴随式信息服务。基于以上调研分析结果，进一步推导出人工智能能在公路领域的发展趋势、应用技术架构与技术路线以及应用系统架构，最终提出人工智能在公路领域未来发展的建议。

本报告将分为五个章节展开。第一章为人工智能与智慧公路发展概述，包括了人工智能及其发展概述、智慧公路及其发展概述、人工智能对于公路系统赋能作用以及人工智能在公路领域应用的关键技术；第二章为国内外人工智能在公路领域发展现状，从不同地区、国家介绍国内外应用现状；第三章为人工智能在公路领域应用现状，从公路“建、管、养、运”四大领域展开，梳理应用现状与主要问题，并总结各场景都存在的共性问题，高度概括了当前应用现状；第四章为人工智能首要应用场景，基于调研结果，分析各领域首要应用场景，绘制人工智能在公路领域发展趋势图、应用技术架构图等；第五章为人工智能在公路领域未来发展建议；附录部分为典型应用案例与调研过程展示。本报告内容涉及面广泛，可作为高校、研究机构以及交通、通信、互联网等智慧公路行业的技术发展现状参考，也可作为政府部门制定政策的参考。

目录

前言 I

目录 III

一、 人工智能与智慧公路发展概述 1

 1.1 人工智能及其发展概述 1

 1.2 智慧公路及其发展概述 2

 1.3 人工智能对于智慧公路产业的赋能作用 2

 1.4 人工智能在公路领域应用的关键技术 3

 1.4.1 计算机视觉 3

 1.4.2 知识图谱 4

 1.4.3 智能体仿真 5

 1.4.4 数字孪生 6

 1.4.5 自然语言处理 8

二、 国内外人工智能在公路领域发展现状 10

 2.1 北美地区 10

 2.2 亚太地区 11

 2.3 欧洲地区 12

 2.4 中国 13

 2.4.1 智慧公路方面 13

 2.4.2 人工智能方面 14

 2.5 本章小结 15

三、 公路领域人工智能应用现状 18

 3.1 公路建设领域人工智能应用现状 18

 3.1.1 建设前期工作 18

 3.1.2 建设施工 20

 3.1.3 质量、安全管理与工程监理 21

 3.1.4 小结 21

 3.2 公路管理领域人工智能应用现状 22

 3.2.1 人员管理 22

 3.2.2 交通控制系统管理 23

 3.2.3 道路管理 26

 3.2.4 信息管理与服务 26

 3.2.5 小结 28

 3.3 公路养护领域人工智能应用现状 29

 3.3.1 养护前期工作 29

 3.3.2 养护巡查与检测 31

 3.3.3 养护施工 33

基于人工智能的智慧公路应用技术研究报告

3.3.4 养护评价	34
3.3.5 公路资产养护管理	35
3.3.6 小结	35
3.4 公路运营领域人工智能应用现状	36
3.4.1 高速收费	36
3.4.2 路政执法	38
3.4.3 服务区	41
3.4.4 小结	41
3.5 共性问题	42
3.5.1 顶层设计缺乏，未考虑人工智能等新技术对智慧公路建设规范体系的影响	42
3.5.2 数据缺乏标准输入输出规范，导致算法模型调整与优化能力不足，后续难以维护升级	43
3.5.3 行业算力基础设施匮乏，投资成本高，导致基于场景的人工智能开发推广困难	44
3.5.4 人工智能应用场景缺少效果评估与反馈，落地产生的实际价值缺少量化手段	45
四、人工智能首要应用场景	47
4.1 公路建设领域首要应用场景	47
4.1.1 外业勘测	47
4.1.2 道路桥隧定线与设计	48
4.1.3 智能穿戴设备	48
4.1.4 工程建设	49
4.2 公路管理领域首要应用场景	49
4.2.1 交通数据感知	50
4.2.2 异常交通事件检测与管控	51
4.2.3 常态化交通检测与管控	52
4.2.4 数据库建设与管理	52
4.2.5 伴随式信息服务	53
4.3 公路养护领域首要应用场景	53
4.3.1 养护决策	54
4.3.2 公路表面病害检测	55
4.3.3 桥隧病害检测	55
4.3.4 标志标线安全设施	56
4.4 公路运营领域首要应用场景	57
4.4.1 收费稽核	58
4.4.2 自由流收费	58
4.4.3 治超执法	59
4.5 人工智能在公路领域的发展趋势	60
4.6 人工智能在公路领域应用技术架构与技术路线	61
4.7 人工智能在公路领域应用系统架构	63

基于人工智能的智慧公路应用技术研究报告

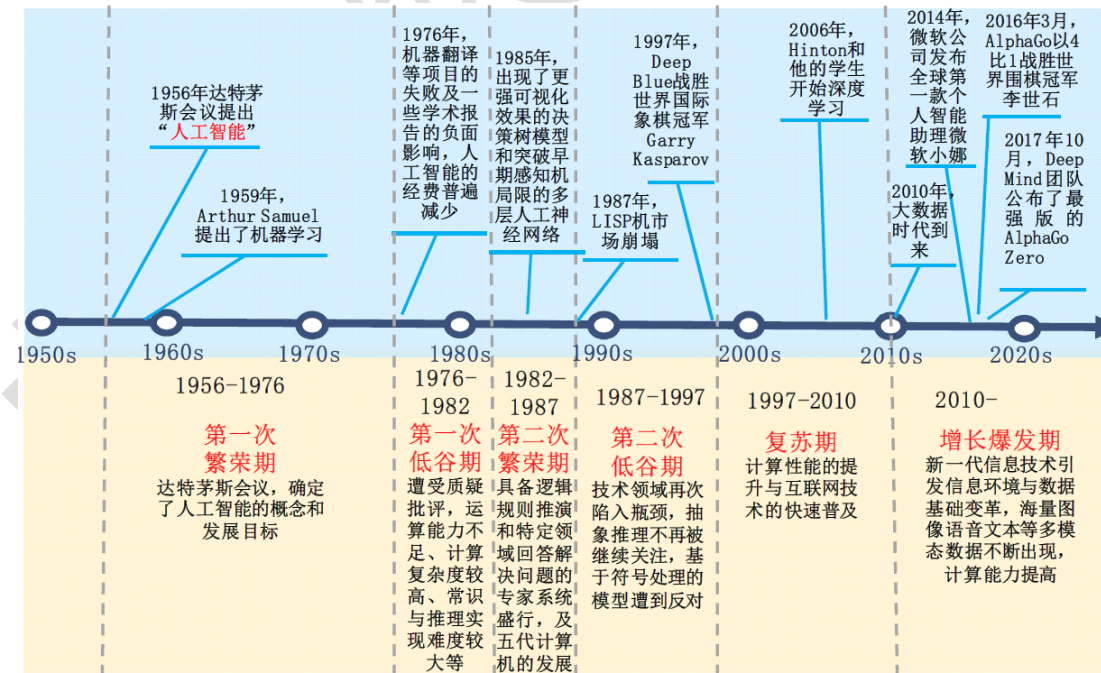
4.8 面向公路人工智能标准体系	64
五、 人工智能在公路领域未来发展建议	66
附录一：典型应用案例	69
(一) 五峰山过江通道绿色智慧公路建设	69
(二) 沪杭甬高速公路智慧化提升改造项目	72
(三) 雄安新区重点公路建设项目	76
(四) 收费稽核项目	78
(五) 视频云联网 2.0 事件检测项目	81
(六) 江北新区公路管理平台项目	83
附录二：调研过程展示	85
(一) 调研单位	85
(二) 调研形式	87
(三) 调研结果梳理	88

一、人工智能与智慧公路发展概述

1.1 人工智能及其发展概述

人工智能是一门研究、模拟人类智能的理论、方法及应用系统的技术科学，其使用机器代替人类实现认知、识别、分析、决策等功能，其本质是对人的意识和思维的信息过程的模拟。

回顾人工智能的发展史，自 20 世纪 50 年代诞生后，至今大致分为三个发展阶段：第一阶段 (20 世纪 50—80 年代)，此时基于抽象数学推理的可编程数字计算机已经出现，符号主义 (Symbolism) 快速发展，但由于很多事物不能被形式化表达，建立的模型存在一定的局限性，此外，随着计算任务的复杂性不断加大，人工智能发展一度遇到瓶颈；第二阶段 (20 世纪 80—90 年代末)，在这一阶段，专家系统得到快速发展，数学模型有重大突破，但由于专家系统在知识获取、推理能力等方面的不足，以及开发成本高等原因，人工智能的发展又一次进入低谷期；第三阶段 (21 世纪初—至今)，随着大数据的积聚、理论算法的革新、计算能力的提升，人工智能在很多应用领域取得了突破性进展，迎来了又一个繁荣时期。人工智能具体的发展历程如图 1 所示。



来源：《人工智能标准化白皮书》

图 1 人工智能发展历史

1.2 智慧公路及其发展概述

智慧公路是指通过 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。

智慧公路的建设与发展应从面向使用者与管理者两个维度出发，考虑从通行能力、运行车速、行驶安全、设施管养等各方面提升现有公路系统的服务水平，发掘各个业务环节的效能潜力。智慧公路最早追溯到 1991 年美国提出的自动高速公路系统，随着通讯技术的发展，各国开始打造以感知、通讯技术为核心的智慧公路建设。当前我国智慧公路建设主要从全域高精度感知、伴随式信息服务、自动驾驶车路协同、数字孪生、智能养护等方面展开。2020 年起浙江、江苏、北京、山东等地均结合不同的地方特色发布了《智慧高速建设指南》，这代表了国内智慧高速发展进入了关键时期。智慧公路具体的发展历程如图 2 所示。

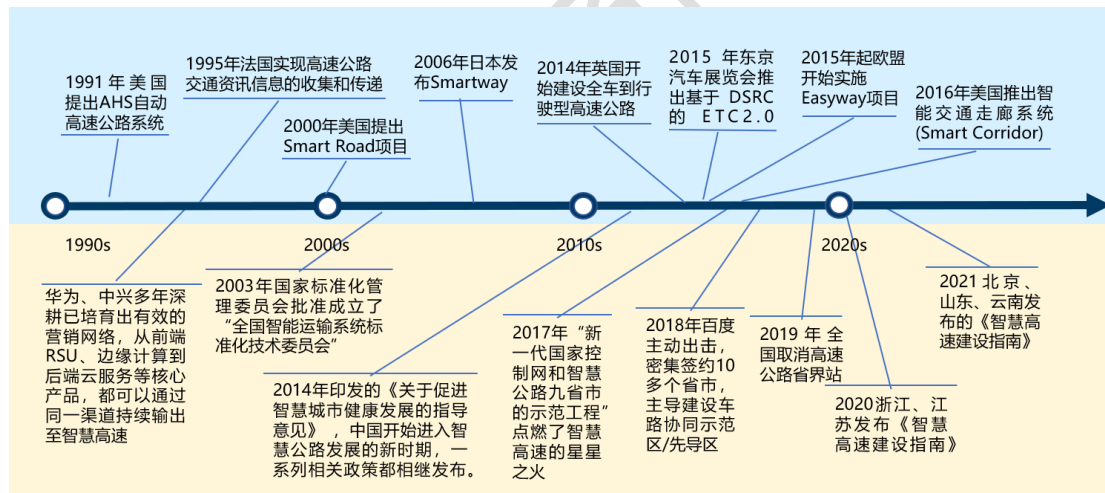


图 2 智慧公路发展历史

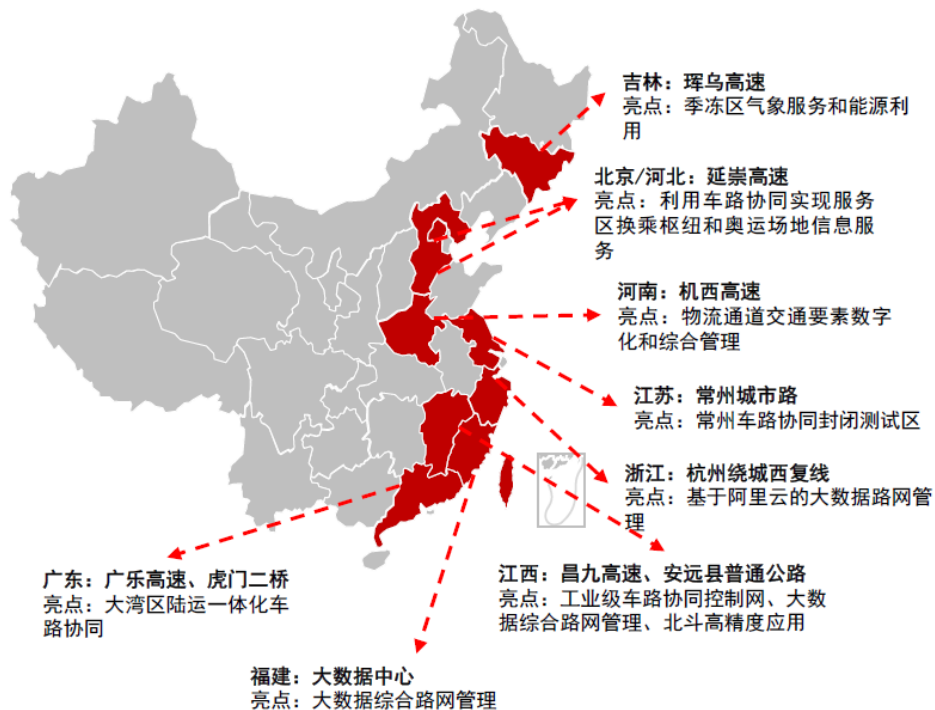
1.3 人工智能对于智慧公路产业的赋能作用

交通运输是国民经济构成中的基础性和先导性产业，随着新一轮科技革命和产业变革的孕育兴起，全球科技创新呈现新的发展态势。人工智能、自动驾驶等新技术不断取得突破，这些技术的发展进一步推动交通行业的发展与变革。以人工智能为代表的先进技术，不断突破传统交通行业的局限，赋能智能交通，提升交通行业资源配置优化能力、公共决策能力、行业管理能力、公众服务能力。

基于人工智能的智慧公路应用技术研究报告

人工智能作为新一轮科技革命和产业变革的重要驱动力量,是助力公路转型升级的关键技术。2017年,交通运输部启动了新一代国家交通控制网和智慧公路试点,在九个省市布局了一批各有侧重的试点项目,如图3所示。作为国内智慧公路建设与发展的先行者,期望以试点应用经验指导国家智慧公路的转型升级。

智慧公路的发展应以人工智能为技术基点,结合其他先进的信息化技术作为支撑,对于人工智能在智慧公路的赋能作用,不能仅仅是算法的迁移应用,更应该是在结合业务场景实现仿人思考、决策、操作等认知的能力,从而达到模拟人类甚至一定程度上超越人类的表现,以期利用机器减少人工使用成本,提高工作效率的目标。



来源:交通运输部网站

图3 新一代国家交通控制网和智慧公路试点

1.4 人工智能在公路领域应用的关键技术

1.4.1 计算机视觉

计算机视觉 (Computer Vision), 顾名思义, 是分析、研究让计算机智能化的达到类似人类的双眼“看”的一门研究科学。计算机视觉技术是一门包括了计算机科学与工程、神经生理学、物理学、信号处理、认知科学、应用数学与统计等

多门科学学科的综合性的科学技术。由于计算机视觉技术系统在基于高性能的计算机的基础上,其能够快速的获取大量的数据信息并且基于智能算法能够快速的处理信息,也易于将设计信息和加工控制信息进行集成。

计算机视觉 40 多年的发展中,尽管人们提出了大量的理论和方法,但总体说,计算机视觉经历了三个主要历程,即:马尔计算视觉、多视几何与分层三维重建和基于学习的视觉。计算机视觉本身也包括了诸多不同的研究方向,比较基础和热门的方向包括:物体识别和检测 (Object Detection), 语义分割 (Semantic Segmentation), 运动和跟踪 (Motion & Tracking), 视觉问答 (Visual Question & Answering) 等。

在公路领域,计算机视觉是最早被应用的人工智能技术之一,目前在交通事件识别、轨迹分析、车牌识别、养护巡查等多个场景均有广泛应用,技术成熟度较高,并易于同其他技术相结合,发挥更大的价值。

1.4.2 知识图谱

随着大数据与人工智能等技术的飞速发展与普遍应用,各类终端时时刻刻都在产生海量交通业务数据,如手机信令及公共交通的刷卡数据,道路卡口、门架、视频、雷达数据等。交通数据种类众多,包含的对象较广泛,数据体量大,重视时效性等特点。但海量数据关联使用明显不足,造成数据条块化、碎片化、业务横向融合不足,尚未形成统一且完备的城市交通知识体系,也就无法进行更深的信息挖掘。因此,探索海量数据之间的关联性成为了必然的发展趋势之一。

知识图谱作为一种用图模型来描述知识和建模世界万物之间关联关系的大规模语义网络,由节点 (实体、概念、属性值) 与边 (联系) 构成。知识图谱技术刚提出时主要用于提升搜索引擎返回的答案质量与用户的查询效率;过去十年以来,知识图谱已被广泛应用于多个领域,如搜索引擎、推荐算法、金融等,实现了将多源异构数据中的知识融合到知识库中。知识图谱能够用可解释的图形结构描述现实世界,提供了一种更好的组织、管理和理解海量信息的能力,能够以更加清晰、动态、图形化的方式展示交通领域中的知识。

国内目前构建的中文通用知识图谱有 Zhishi.me、CN-DBpedia、ownthink,它们主要使用从中文百科网站中提取到的文字信息。知识图谱也普遍应用于智能搜索引擎中,以改善检索结果的准确性,代表性的有百度搜索中的知心,它将碎片

化的知识整合为结构化知识，实现搜索结果即答案的效果。搜狗搜索中的知立方能够理解用户的意图，直接将查询结果返回给用户。它们的数据源主要为用户的搜索日志和网页库的 WEB 数据。随着通用知识图谱的普遍应用，目前各个行业也开始研究及着手构建垂直领域知识图谱。如中国中医科学院构建的面向中药领域的知识图谱 HerbNet，关于乳腺癌疾病的知识图谱，关于海上危险品的知识图谱。在交通领域，知识图谱可用于用户画像，如高速系统基础画像等。

1.4.3 智能体仿真

交通仿真是上世纪 50 年代以来，随着计算技术的进步而发展起来，采用计算机数字仿真或半实物仿真方式来复现交通流时间空间变化、解析复杂交通系统现象的交通分析技术。经过半个多世纪的发展，交通仿真广泛地应用于道路交通设计、智能交通系统方案设计与技术研发、网络交通流理论研究等诸多方面，如图 4 所示。21 世纪以来，随着大数据与人工智能技术的快速发展，传统的基于动力学的仿真方法已难以解决现有的复杂交通问题，而基于智能体的仿真技术作为基于个体的离散系统建模仿真方法，能够使智能体具备学习特性，正适合于此类问题的解决。

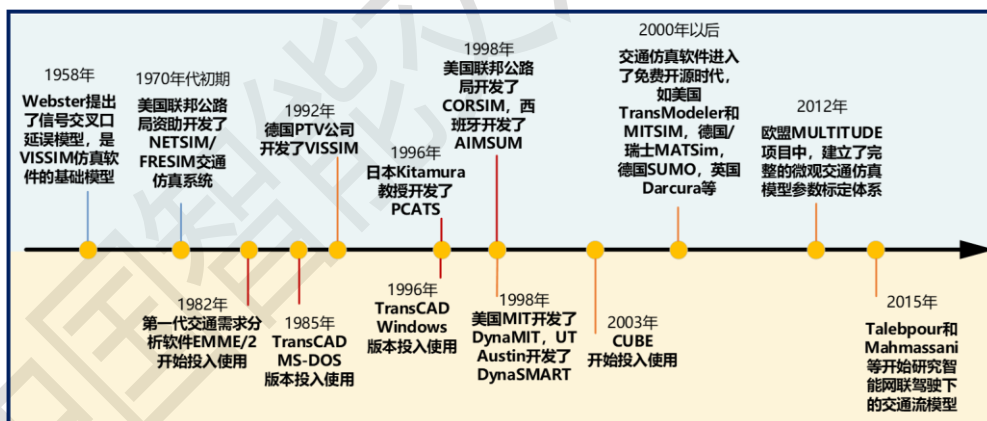


图 4 交通仿真发展

智能体是指在某一环境下，能够根据自身遇到的情况，自主地发挥作用并做出适应性的反应的计算实体。智能体仿真较之以上几种仿真模型有以下几种优势：

1) 能够实现复杂交通系统仿真建模。通过基于智能体的建模，描述各类交通实体(出行者和驾驶员)行为的异构性、适应性等特征，分析复杂、自适应交通系统的动态演化规律。

2) 完美融合自动驾驶、车路协同等技术。自动驾驶汽车、智能路测设备、数

数字孪生等新兴交通元素的涌现,增加了交通参与实体之间的通信和系统运行的复杂性,智能体仿真技术能够从个体建模的角度出发,实现运输系统之间的相互依存、交互和信息反馈关系。

3) 对城市交通流进行更加精准的刻画。通过基于活动的出行计划,精确反应出行者的出行行为与出行特征,为指定需求式响应公交等提供理论基础。

4) 为城市交通管理提供理论指导。精准地模拟复现城市交通环境,挖掘大数据环境下居民出行的出行演变特征,便于交通管理者进行规划与决策。

5) 实现城市多模式交通优化。解决各模式交通之间各自为政的缺点,为城市各类出行模式之间实现协同优化提供理论基础。

6) 支持数字孪生平台搭建。基于多模式多智能仿真技术,搭建城市数字孪生平台,基于仿真优化方法,为城市交通管理与优化,智能网联汽车测试等提供平台支撑。

随着人工智能与计算机技术的发展,现有的交通仿真软件基本无法满足现今大数据时代下的仿真需求,由于以上各代际中的仿真软件开发时间较早,具有很强的封装性,且功能单一,难以与新兴的技术相融合。因此,面向人工智能等新兴技术的交通仿真软件平台,面向人工智能、自动驾驶、车路协同等基于活动的多模式智能体仿真等应运而生,智能体仿真技术具有很大的发展潜力与应用价值。

1.4.4 数字孪生

数字孪生 (Digital Twin), 也被称为数字映射、数字镜像或数字克隆体。它存在于与现实世界相映射的数字空间里,具有全生命周期属性的动态克隆体,通过导入历史和实时数据以及算法模型,在数字世界操作、验证、自我迭代,可反向实时驱动现实世界,甚至能提供先知感应的超体。

近年来,数字孪生得到越来越广泛的传播。同时,得益于物联网、大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术的发展,数字孪生的实施已逐渐成为可能。现阶段,数字孪生已广泛深入各产业领域,为行业带来了许多改变。

“数字孪生”的具体操作是在要素全面完整、信息丰富的交通出行三维虚拟场景基础之上,叠加动态性交通出行的状态信息,生成一套与现实世界同步,可展示、可测量、可控制的动态性虚拟场景,不但能够在虚拟场景中同步现实世界,而且充分利用搭建交通信息模型,还能够在三维虚拟空间中实现对交通管理控制

基于人工智能的智慧公路应用技术研究报告

的仿真模拟，以实现在虚拟空间中对现实世界的科学研究与预测分析。

数字孪生的概念模型最早出现于 2003 年，由密歇根大学教授的 Grieves 提出，当时被称为“镜像空间模型”(Mirrored Spaces Model)，由虚空间、实空间和虚实联结机制三部分组成。Grieves 认为，物理设备能够在赛博空间中构建一个表征该物理设备的虚拟实体，并通过双向的联结将两者紧密关联。这种联结需要鲁棒、精确且实时，真实的设备数据通过该联结输送给赛博空间，然后通过虚拟世界信息反馈指导真实运作，将两者在整个产品的生命周期中都联系在一起。这个“镜像空间模型”基本描述了数字孪生的早期形态，但由于受到当时计算能力的限制，初期研究只停留在概念设计阶段，未能实现全生命周期的管理。直到 2010 年以后，“数字孪生”(Digital Twin)这个词才由美国空军研究实验室 (AFRL) 和美国国家航空航天局 (NASA) 正式提出。他们利用数字孪生对飞机结构寿命及状态进行评估研究，并结合历史观测数据开展飞行活动效果仿真，进而减轻飞机的维护成本，提高飞机的可用性、安全性和适航性。此后，美国通用电气公司在为美国国防部提供 F-35 联合攻击机解决方案的时候，也发现数字孪生是工业数字化过程中的有效工具，并开始利用数字孪生体去构建工业互联网体系以实现资产性能管理 (APM)。系统通过机器间的信息交互、改善人机交互效果，以提高工业生产效率，改变世界的运行方式。此后，德国工业 4.0 的代表企业西门子公司也加入数字孪生技术的研发，并致力于帮助制造企业在赛博空间中构建完整的生产制造流程及数字模型，从而实现从产品设计到生产制造的全过程数字化。随着通用电气、西门子等公司的大力推广，数字孪生技术近年来在工业制造领域发展迅速。世界著名咨询公司 Gartner 连续三年将数字孪生列为十大战略性科技趋势之一。

2015 年左右，中国也开始跟进，包括工业 4.0 研究院在内的多家国内研究机构和企业纷纷启动了与数字孪生相关的研究课题。随着物联网、大数据分析、人工智能等技术的快速发展，数字孪生的对象将不再局限于单个物理设备或生产流水线，而向着工厂、社区、城市乃至整个人类社会大范围辐射，实现信息、物理和社会三元空间的无缝融合与仿真分析。

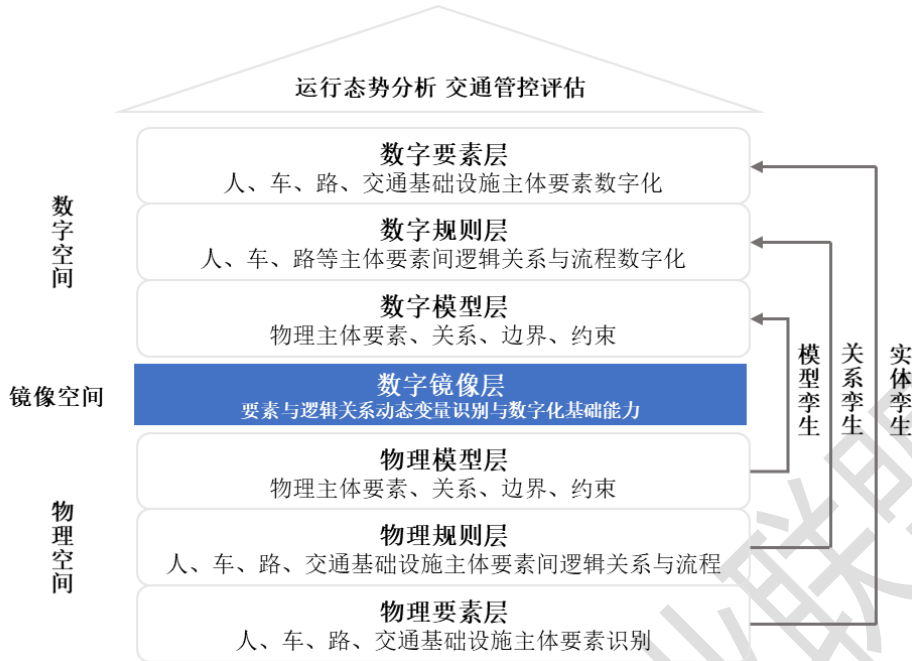


图 5 交通数字孪生体系框架

时代的发展、信息技术的不断进步，赋予了数字孪生新的意义，数字孪生也将在交通领域及其应用场景发挥重要的作用。将交通基础设施物理实体映射到数字空间的数字孪生概念框架如图 5 所示，它主要包含实体孪生、关系孪生、模型孪生三种映射关系。“交通数字孪生”是指利用数字孪生的技术手段，用来解决交通相关工程项目中遇到一系列现实存在的问题。它以数字化的形式创建出交通系统中各类交通虚拟实体，包含交通参与者、交通环境、交通基础设施，通过导入历史或实时数据以及交通算法模型等，以达到对各类交通物理实体的全生命周期和交通运行过程进行模拟、控制、分析、预测，最终实现科学的全局决策。“交通数字孪生”推动交通要素数字化、交通运行可视化、交通管理智能化、交通服务个性化，借助交通仿真、模型推演、数据分析、迭代优化等手段，实现数据驱动、智能决策的交通管理和服 务，最终达到现实交通系统和数字交通系统同步运转、双向互动，实现综合交通运输效能提升的交通运输系统新形态。

“交通数字孪生”理念为交通规划、建设、运营、管理和服 务提供了新的发展空间，将成为未来智慧交通运输系统发展的新方向。

1.4.5 自然语言处理

自然语言处理的研究和应用在各个方面都处于持续发展中，这种发展的趋势在近几年尤为有力。因为自然语言处理领域在近几年出现了一个非常好的发展时

期。

由于来自互联网产业和传统产业信息化的各种应用需求的推动，更多的研究人员和更多的经费支持进入了该领域，有力地促进了自然语言处理技术和应用的发展。语言数据的不断增长、可用的语言资源的持续增加、语言资源加工能力的稳步提高，为研究人员提供了发展更多语言处理技术、开发更多应用、进行更丰富评测的平台。机器学习技术、深度学习技术的飞速发展，刺激了对新的自然语言处理技术的探索。同时，来自其他相近学科背景、来自工业界的人员的不断加入，也为自然语言处理技术的发展带来了一些新思路。计算和存储设备的飞速发展，提供了越来越强大的计算和存储能力，使得研究人员有可能构建更为复杂精巧的计算模型，处理更为大规模的真实语言数据。但是，在未来很长一段时间中，自然语言处理还只能作为一种技术工具在有限深度上对语言进行处理，不可能完全达到人类理解自然语言的水平。

在交通领域，自然语言处理有着广阔的应用空间，目前以下两种最为常见，一是辅助公路“建管养运”决策，例如微博、微信等社交媒体上的道路交通信息数据能够有效补充传统交通数据，为交通分析提供一个新维度。同时，可以采用模糊推理方法进行数据融合，综合评价多人用自然语言描述同一路段道路通行状况时该路段的交通拥堵程度。二是助力出行信息服务，例如车载语音助手，利用自然语言处理来理解用户的请求，并执行各种任务，发起呼叫、切换电台或提供车辆状况信息等。

二、国内外人工智能在公路领域发展现状

2.1 北美地区

本报告调研了北美地区，主要选择了美国和加拿大两个国家，针对人工智能在公路领域的发展现状进行了梳理与阐述。其中，美国对于智慧公路的研究起步较早，从 20 世纪 80 年代起，美国联邦公路管理局开始开展有关自动公路系统 (automated highway system) 的研究。通过 730 万起交通事故的分析和统计，美国高速公路管理局 (NHTSA) 预测车联网系统部署能够减少近 80% 的车辆碰撞事故。为着力强化高速公路运行安全，美国持续开展基于 5.9GHz 短程无线通信技术的车联网产品研究，尤其是恶劣环境条件下的大载重货物运输车辆防碰撞应用。重点推进专用无线通信带宽设置、路测 RSU 及车载 OBU 设备、超视距感知协同等技术研究，当前开展车联网设备部署应用的州已超过 50%，并在相关高速公路开展智能网联汽车测试。2020 年 8 月，美国白宫科学技术政策办公室 (OSTP)、美国国家科学基金会 (NSF) 和美国能源部 (DOE) 宣布为人工智能和量子计算领域的新研究机构提供超过 10 亿美元资金。在推进人工智能与交通行业发展方面，如美国众议院于 2017 年通过了《自动驾驶法案》、美国交通部于 2018 年发布《准备迎接未来交通：自动驾驶汽车 3.0》、美国卫生与公众服务部发布《数据共享宣言》等，规范和管理自动驾驶汽车设计、生产、测试等环节，确保用户隐私与安全。

加拿大对智慧公路的试点与探索也起步较早。蒙特利尔市智慧公路交通管理系统于 1994 年 7 月开始实施，采用了当时较为先进的电子通信技术和交通监控计算机系统，以提高道路使用者的安全性和便利性为目标，其管理范围是进出蒙特利尔市的几条重要高速公路，其中 A-720 高速公路的重要部分是 Ville-Marie 和 Viger 两条隧道。另一方面，加拿大也是全球首个发布 AI 全国战略的国家。2017 年的财政预算详细介绍了一份五年计划——《泛加拿大人工智能战略》

(Pan-Canadian Artificial Intelligence Strategy)，政府计划拨款 1.25 亿加元支持 AI 研究及人才培养。近些年加拿大将自主加热融雪技术应用到了智慧公路建设中。依托于智能融雪技术的智慧公路嵌有特殊合金制成的金属带网，每单条金属带直径为 25 毫米，当电流通过时，能够实现迅速加热。金属带网能在 15 分钟内

完全融化一条已经被冰冻了的公路。金属带网配有高科技传感器，这种传感器不仅能随时监测金属带网的表面温度，还能把这个表面温度数据和天气预报数据结合起来，计算出防止路面冷冻或融冰所需的功率，从而决定金属带网是否要运行，以及运行多久。而且，这整套融冰防冻系统不怕冷，它能够在-50℃的低温下运作。

2.2 亚太地区

本报告调研了亚太地区，主要是日本和韩国的人工智能在公路领域的发展现状。日本国内所有高速公路及大部分的收费道路都已支持使用 ETC 出行，截至 2020 年 3 月，日本全国安装 ETC 的车辆累计达到 7053 万台，高速公路 ETC 使用率约为 92.9%。依托于《日本 2020 年国土交通白皮书》与 Smartway 系统，日本致力于推出 ETC2.0。相比于 ETC1.0，ETC2.0 的车载终端能够与在全国高速公路上设置的约 1700 个 ETC2.0 路侧装置进行双向信息交互，一方面能够接收来自路侧机的实时道路拥堵等信息，为车辆出行时的路径选择提供主动诱导，另一方面也能够向路侧机上传车辆的行驶速度、利用路径、急刹车等车辆运行数据，在应对路面拥堵、提高驾驶安全性和智慧性方面发挥着重要作用。ETC2.0 是世界上第一个通过 DSRC 实现的高容量双向通信的路车协同系统(智慧公路)。该系统不仅能够自动收费(ETC)，给车辆提供实时交通信息，同时还能够收集车辆的行驶信息。ETC2.0 的商业车辆行驶管理则是通过对商业车辆，大型特殊车辆，危险物品运输车辆等行驶轨迹数据和路车通讯 (V2I) 把握车辆的行驶位置，提高物流公司对车辆的管理效率以及高速公路公司的交通管理与交通运营。日本基于 VICS 和 ETC 建设 ITSSpots (DSRC 路侧设备) 已覆盖全日本高速公路，并示范验证提高交通安全，ETC2.0 所提供的信息能够自动的通过路侧 ITS-SPOTS 基站发送给车辆。

韩国从 1990 年开始发展 ITS，2001-2003 进入发展期，开始示范城市项目建设，并开始 ETC 试点工作。从 2004 年起 ITS 快速发展，包括高速公路，国道和城市主干线，同时，各个地方的公交信息系统蓬勃发展，ETC 系统建设覆盖整个高速公路。2014 年后，侧重于协作式智能交通(C-ITS)的发展。韩国在建设和交通部的领导下，从 2007 年起开始推动智慧高速公路项目，其推广的 SmartHighway 方案希望通过先进的信息通信技术，以安全、便捷、可靠和环境友好为核心理念。

基于人工智能的智慧公路应用技术研究报告

目前韩国智能交通系统建设已经完全覆盖高速公路，在国道上已实现 20%的覆盖，覆盖里程约为 2607 公里。各类设备安装数量，高速公路上 CCTV(闭路电视监控系统)1953 套，VMS(交通诱导系统)1070 套，VDS(交通流量采集系统)3247 套，DSRC(专用短程通信)916 套，AVC(自动车辆分类系统)227 套;国道上 CCTV 721 套，VDS 1960 套，DSRC 202 套，VMS 592 套，AVI(自动车型识别系统)601 套。ATMS 覆盖 5488 公里，公交信息系统 5210 条，服务了 76%韩国公交线路;BIT 公交 18517 覆盖 23%的公交车站，OBE(车载装置)34888 套，已覆盖 98%的公交车。

2.3 欧洲地区

本报告调研了欧洲地区智慧公路人工智能应用的发展现状。自 2015 年起欧洲开始以主动交通管控为基本路径推进智慧高速建设，开启了 Easyway 项目：针对全部路网开展网络化管理，根据统一规则进行关键路段的判别；通过跨国数据交换构建同步管理体系，覆盖 27 个国家和地区、3 万公里公路。项目将欧洲分为 8 个地区，按照区域特点开展协同管理和服务，以信息服务、主动交通管理为手段，侧重服务协同。2019 年 1 月，欧盟启动 AI FOR EU 项目，建立人工智能需求平台、开放协作平台，整合汇聚 21 个成员国 79 家研发机构、中小企业和大型企业的数据库、计算、算法和工具等人工智能资源，提供统一开放服务。2020 年 2 月，欧盟颁布《人工智能白皮书-通往卓越和信任的欧洲路径》(以下简称《白皮书》)，指出人工智能是数字经济最重要的应用之一，欧洲必须作为一个整体开展行动，打造成为未来数字市场的新领袖。《白皮书》旨在促进欧洲人工智能发展的同时，解决人工智能所带来的风险问题。与美国持续加大在人工智能的投入一样，欧盟也在不断地加大人工智能基础研究、应用投资。欧盟在“地平线 2020”计划中增加人工智能投入，并将在下一届欧盟年度金融框架 (2021-2027 年) 中加入人工智能支持。同时，欧盟还希望在自动驾驶领域处于全球领先地位，在 2018 年 5 月，欧盟委员会发布了《欧盟 2030 自动驾驶战略》，提出 2030 年步入完全自动驾驶社会。

2.4 中国

2.4.1 智慧公路方面

2017 年“新一代国家控制网和智慧公路九省市的示范工程”点燃了智慧高速的星星之火。交通运输部决定在北京、河北、吉林、江苏、浙江、福建、江西、河南、广东九省(市)加快推进新一代国家交通控制网和智慧公路试点。通知将基础设施数字化、路运一体化车路协同、北斗高精度定位综合应用、基于大数据的路网综合管理、“互联网+”路网综合服务、新一代国家交通控制网 6 个方向作为重点。

2018 年以来,如百度等集团主动出击,密集签约 10 多个省市,主导建设车路协同示范区/先导区,推出车路协同解决方案——ACE 智慧交通引擎, Apollo GO 自动驾驶出行服务、面向 C 端用户的 Carlife 和度小镜,构建了“车、路、网、云、图”的智慧交通生态,同步覆盖城市交通和高速公路,绘制了未来交通的宏伟蓝图。

2019 年全国取消高速公路省界站以来,在高速公路收费稽核和数据中心为代表的大数据应用和云计算等方面,以 BATH 为代表的高科技企业推出“AI 收费稽核、“数字中台”、“云控平台”、“视频上云”、“车路协同”等一系列拳头产品来撬动高速公路机电市场。百度 2019 年进入高速公路领域,以车路协同、自动驾驶为切入点,将车路协同系统与高速公路建设相结合。百度在过去两年左右时间里,通过这些应用场景的技术实践与打磨,成功完成了一系列具有代表性的智慧高速项目建设。

浙江、江苏(2020)和北京、山东、云南(2021)发布的《智慧高速建设指南》,由各省交通厅统筹本省高速公路投资集团、省交通规划设计院、省信息化集成商及科研院所作为编制单位,体现了高速公路机电系统投资、设计、集成、养护运营各阶段的需求和特点。其中浙江《指南》来自于沪杭甬、杭绍甬高速建设经验的总结,江苏《指南》来自于五峰山过江通道连接线建设经验的总结,山东《指南》来自于京台高速建设经验的总结,浙江、江苏和山东三省的解决方案,都是在本省智慧高速实践的基础上,总结、凝聚了业内的共识编制而成。居于目前业内各类“智慧高速综合解决方案”前列,但又自成一体,各有千秋,具有较高的参考价值。

2.4.2 人工智能方面

随着人工智能的快速发展,国家相继出台一系列政策支持中国人工智能的发展,推动中国人工智能步入新阶段。2017年7月20日,国务院印发了《新一代人工智能发展规划》。规划中提到分三步走,第一步,到2020年人工智能总体技术和应用与世界先进水平同步,人工智能产业成为新的重要经济增长点,人工智能技术应用成为改善民生的新途径,有力支撑我国进入创新型国家行列和实现全面建成小康社会的奋斗目标。第二步,到2025年人工智能基础理论实现重大突破,部分技术与应用达到世界领先水平,人工智能成为带动我国产业升级和经济转型的主要动力,智能社会建设取得积极进展。第三步,到2030年人工智能理论、技术与应用总体达到世界领先水平,成为世界主要人工智能创新中心,智能经济、智能社会取得明显成效,为跻身创新型国家前列和经济强国奠定重要基础。

2017年12月,《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划(2018-2020年)》的发布,它作为对7月发布的《新一代人工智能发展规划》的补充,详细规划了人工智能在未来三年的重点发展方向和目标,每个方向的目标都做了非常细致的说明,足以看出国家对人工智能产业化的重视。2019年7月,交通运输部印发《数字交通发展规划纲要》,提出数字交通的发展要以“数据链”为主线,构建数字化的采集体系、网络化的传输体系和智能化的应用体系,加快交通运输信息化向数字化、网络化、智能化发展,为交通强国建设提供支撑。纲要提出“大力发展智慧交通。推动大数据、互联网、人工智能、区块链、超级计算等新技术与交通行业深度融合。推进数据资源赋能交通发展,加速交通基础设施网、运输服务网、能源网与信息网络融合了需要重点发展的智能汽车技术,还提倡人工智能、互联网、通信公发展,构建泛在先进的交通信息基础设施”。

2021年8月由交通运输部、科学技术部颁布《关于科技创新驱动加快建设交通强国的意见》(以下简称《意见》),进一步强调了发展人工智能对于交通行业的重大意义,在总体要求方面,《意见》围绕推动交通高质量发展,建立支撑加快建设交通强国科技创新体系,着力突破交通运输“卡脖子”技术难题,确立了两个阶段性目标:一是到2025年,交通运输基础研究和应用基础研究显著加强,关键核心技术取得突破,前沿技术与交通运输加速融合,初步构建适应加快建设交通强国需要的科技创新体系。二是到2035年,交通运输基础研究和原始创新

能力全面增强，关键核心技术自主可控，前沿技术与交通运输全面融合，基本建成适应交通强国需要的科技创新体系。在任务布局部分，《意见》明确提出了强供给、兴产业、促融合、提能力、优机制“五大任务”。“促融合”中明确提到促进人工智能与交通深度融合：“立足交通运输多学科交叉特点，积极推动大数据、人工智能、北斗导航、工业机器人、生物安全等前沿技术深度融合应用。比如开发新一代智能交通系统，促进自动驾驶、智能航运等加快应用。”

2.5 本章小结

国外一些发达国家如美国、加拿大、日本等对于智慧公路的发展起步较早，不同国家针对特有的地域、地形特征进行了不同维度的建设与发展探索，形成了各具特色的智慧公路发展路线。结合国外的发展经验，国内虽然起步较晚，但在近些年取得了快速的发展。特别是国内关于人工智能与数字交通的相关政策，数字化、智能化发展成为交通领域发展的主流。然而关于人工智能的关键技术应用、指导智慧公路的发展，大部分的政策与报告并未详细涉及。

基于人工智能的智慧公路应用技术研究报告

表 1 人工智能在交通行业中的应用部分国家政策

时间	政策	内容
2015 年 5 月	《中国制造 2025》	加快推动新一代信息技术与制造技术融合发展，把智能制造作为两化深度融合的主攻方向；蓄力发展智能装备和智能产品，推动生产过程智能化装备和智能产品，推动生产过程智能化
2015 年 7 月	《国务院关于印发“互联网+”行动的指导意见》	将人工智能为其 11 项重点行动之一。具体行动为：培育发展人工智能新兴产业；推动重点领域智能产品创新；提升终端产品智能化水平。主要目标是加快人工智能核心技术突破，促进人工智能在智能家居、智能终端、智能汽车、机器人等领域的推动应用
2016 年 3 月	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》	加快信息网络新技术开发应用，重点突破大数据和云计算关键技术、自主可控操作系统、高端工业和大型管理软件、新兴领域人工智能技术，人工智能写入“十三五”规划纲要
2016 年 5 月	《“互联网+”人工智能三年行动实施方案》	到 2018 年，打造人工智能基础资源与创新平台，人工智能产业体系基本建立，基础核心技术有所突破，总体技术与产业发展与国际统计、应用及系统级技术局部领先
2016 年 7 月	《“十三五”国家科技创新规划》	发展新一代信息技术，其中人工智能方面重点发展大数据驱动的大类人工智能技术方法，在基于大数据分析的大类人工智能方向去的重要突破
2016 年 11 月	《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》	发展人工智能、培养人工智能产业生态，推动人工智能技术向各行业全面融合渗透。具体包括：加快人工智能支撑体系建设；推动人工智能技术在各领域应用，鼓励各行业加强与人工智能融合，逐步实现智能化升级
2017 年 7 月	《国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知》	确定新一代人工智能发展三步走战略目标，人工智能上升为国家战略层面。到 2020 年，人工智能技术和应用与世界先进水平同步，人工智能核心产业规模超过 1500 亿元，带动相关产业规模超过 1 万亿元；2025 年人工智能基础理论实现重大突破，部分技术与应用达到世界领先水平，核心产业规模超过 4000 亿元，带动相关产业规模超过 5 万亿元；2030 年，人工智能理论、技术与应用总体达到世界领先水平，核心产业规模超过 1 万，带动相关产业规模超过 10 万亿元

基于人工智能的智慧公路应用技术研究报告

时间	政策	内容
2017年10月	十九大报告	人工智能写入十九大报告，将推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合
2017年12月	《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划(2018-2022)》	《行动计划》从推动产业发展角度出发，结合“中国制造2025”，对《新一代人工智能发展规划》相关任务进行细化和落实，以信息技术与制造技术深度融合为主，以新一代人工智能技术产业化和集成应用为重点，推动人工智能和实体经济深度融合
2019年7月	《数字交通发展规划纲要》	提出数字交通的发展要以“数据链”为主线，构建数字化的采集体系、网络化的传输体系和智能化的应用体系，加快交通运输信息化向数字化、网络化、智能化发展，为交通强国建设提供支撑。
2019年6月	《新一代人工智能治理原则—发展负责任的人工智能》	提出人工智能治理框架和行动指南，强调和谐友好、公平公正、包容共享等八条原则。
2019年9月	《交通强国建设纲要》	提出“大力发展智慧交通。推动大数据、互联网、人工智能、区块链、超级计算等新技术与交通行业深度融合。推进数据资源赋能交通发展，加速交通基础设施网、运输服务网、能源网与信息网络融合了需要重点发展的智能汽车技术，还提倡人工智能、互联网、通信发展，构建泛在先进的交通信息基础设施。”
2020年2月	《智能汽车创新发展战略》	为智能汽车产业的未来发展指明方向。不仅划出了需要重点发展的智能汽车技术，还提倡人工智能、互联网、通信公司等信息与通信技术(ICT, Information and Communications Technology)企业发展成为智能汽车技术供应商，大力发展智慧交通等产业形态。
2021年8月	《关于科技创新驱动加快建设交通强国的意见》	确立了两个阶段性目标：一是到2025年，交通运输基础研究和应用基础研究显著加强，关键核心技术取得突破，前沿技术与交通运输加速融合，初步构建适应加快建设交通强国需要的科技创新体系。二是到2035年，交通运输基础研究和原始创新能力全面增强，关键核心技术自主可控，前沿技术与交通运输全面融合，基本建成适应交通强国需要的科技创新体系。并提出了强供给、兴产业、促融合、提能力、优机制的“五大任务”。

三、公路领域人工智能应用现状

基于行业调研结果，本章将从公路“建、管、养、运”四个领域展开，分别列出人工智能技术在公路领域应用现状以及不足，最后总结了四方面在各个应用场景都存在的共性问题。

3.1 公路建设领域人工智能应用现状

公路建设是公路全生命周期中的第一个阶段。随着感知、通信、控制等新技术逐渐成熟、智慧高速公路建设产业快速发展，智慧高速公路建设将成为拉动区域经济发展的重要手段。对于勘测-设计-规划-施工的全建设流程，交通运输部公路科学研究院专家提出，能够考虑从 BIM 的角度开展公路基础设施数字化；浙江数智交院科技股份有限公司专家提出，不同施工方案对比困难，能够结合人工智能技术来做施工前的方案智能化比选、模拟。国通公司专家提出，智慧公路的投资预算和设备标准化程度低，传统机电设施预算很好做，但智慧公路一公里的投资范围和-content 难以界定，没有标准指导和相应分级规范。本报告将从建设前期工作、建设施工及质量、安全管理与工程监理三个方面入手，说明人工智能在公路建设领域的应用现状。

3.1.1 建设前期工作

(1) 外业勘测

道路勘测工作是根据设计任务书提出公路路线，或按照城市规划所拟定的城市道路路线，进行查勘与测量，取得必要的勘测设计资料，以便按照规定编制设计文件，是道路工程设计的基础，而设计又是施工的依据和基础，因此道路勘测质量的好坏对整个道路建设质量起着重要的作用。

定测即定线测量，是指施工图设计阶段的外业勘测和调查工作。具体任务是：具体核实路线方案，现场确定路线或放线，并进行详细测量和调查工作，其目的是为施工图设计和编制工程预算提供资料。

现有方法一般由人工前往道路测绘实地确定中线位置，主要存在以下问题：

■ 道路实地测绘效率低且安全性差

一方面,道路测绘一般偏远且环境复杂,测绘生产作业存在一定的安全风险;对于城市道路,两旁建筑密集,路标、路牌、摄像头、交通信号灯等附属设施分布广泛,测绘要素多。另一方面,由于普通大众对道路实时性的需求,期盼新建道路早日通车,改建道路尽快通行,对测量时限提出了更高要求;由于社会管理对数据形式和精细化程度的要求不断提升,对实景模型、街景影像、高清图像都有了新的需求,对车道线、路向标志、路面材质、平整度等等都需要精细化表达。基于这些综合需求,传统测绘中的平板测图、全站仪测量,效率低、时间长、成本高,对大比例尺道路现状地形图的快速获取和更新受到局限。

(2) 道路桥隧定线与设计

道路定线与设计内业决定道路走向与中线,一般包括平面线形设计、纵面线形设计、横断面设计与平纵组合设计。随着我国道路事业发展速度的不断提升及环境保护意识的不断增强,公路工程路线设计在公路工程建设中的地位也越来越重要,为满足社会经济的发展要求,为确保路桥工程的质量,施工企业必须重视线形,规范施工工艺,严格按照施工要求进行有效施工,只有这样才能提高路桥工程的整体质量,实现其经济效益。

公路定线根据公路等级、要求和条件,一般有纸上定线、实地定线和航测定线三种方法。对技术等级高的、地形、地物复杂的路线,必须先纸上定线,然后把纸上所定的路线敷设到实地上;实地定线就是省略了纸上定线这一步,直接在现场实地定线,一般适用于公路等级较低和地形等条件简单的路线;航测定线是利用航摄像片、影像地图等航测资料,借助于航测仪器建立与实地完全相似的立体光学模型,在模型上直接定线。目前主要存在以下问题:

■ 路桥隧定线设计自动化水平低,决策缺乏科学性

传统内业数据输入与数据处理多采用人工配合辅助软件作业,效率较低;无法实现自动生成定线建议,定线过程严重依赖人工经验;定线难以综合利用大量勘测数据,缺乏大数据采集条件下的数据融合手段;难以根据土壤和岩石的物理力学性质输入准确估计公路建设工程量。

(3) 建设方案比选

建设方案比选，即在考虑交通流量、服务水平以及横断面设计、道路及交叉口等级、项目区域的整体路网情况、项目片区周边的用地性质、道路布局位置形式选择等内容的前提下，在已经生成的多个设计方案中选择一个合理、可行的方案，为建设施工提供依据。

传统建设方案由预算限制，由经验丰富的设计工程师决定，方案选择随机性大缺乏科学性。公路建造试错成本高，需要在施工前进行不同方案的比选，而目前缺少科学有效的方法，能够对不同施工方案成本、影响、效果等进行智能化对比与模拟，从而选出最优方案。

3.1.2 建设施工

(1) 桥隧建造施工控制和健康监测

路桥隧建造施工控制和健康监测一般指通过路桥隧安装的传感器监测施工过程中路桥隧设备及施工状况的安全与健康。传统的路桥隧施工状况和健康状况监测过程中自动化、信息化、智能化水平较低，主要以步行探照灯检测的人工巡查为主，受无电无网环境的限制大。中西部因为山区众多，道路建设桥隧比常在60%以上，甚至广东省都存在南中高速公路桥隧比100%的情况。

(2) 土木和机电工程

土木和机电工程一般包括物料准备与预制件、物料生产等，主要是物料与预制件的规划生产、仓储与物流过程。现有物料生产主要是现场拌料，对人工经验的要求高，对预制件的使用尚处于起步阶段。混凝土构件主要靠混凝土搅拌站，混凝土件生产线，运输车等机械完成。目前智能化水平较低，急需人工智能辅助拌料。此外，灯杆等道路附属设施的生产过程不够智能，且灯杆杆件缺乏智慧化功能匹配。

(3) 工程建设

工程建设一般包括土木与机电材料的使用。对于路面铺装作业，目前主要依据人工经验确定沥青与混凝土拌料的拌料比例与时长；对于压实作业，目前主要通过人工经验确定压实机压实重量。土木与机电材料的生产与装配都在工厂而不是工地进行，工业化程度相对较高，但智能化水平低。目前不能做到针对设计方

案自动生成材料生产计划，依赖于人工经验。

(4) 智能穿戴设备

智能穿戴设备是新兴工地作业设备种类之一。建设施工中一线作业人员需要穿戴防护措施以及辅助设备，如安全帽、手表、探照灯等耐用且适用性强的设备。现有防护措施及辅助设备包括安全帽、探照灯、手提探测设备等。目前安全帽等安全防护设备及探照灯等辅助设备功能单一，智能化程度低，作为辅助设备和安全载体的功能边界有待扩充。

3.1.3 质量、安全管理与工程监理

(1) 监理和质量管理

监理和质量管理中用到的检测设备众多，需要手动进行数据采集分析与管理。监理数据由人工核查纸质台账，并制作相关报表。传统上数据台账的输入都是手动完成，设备间数据不互通，历史数据多为纸质记录，容易出错且耗时耗力。监理和质量管理中使用的沥青针入度测试仪、沥青软化点测试仪、马歇尔稳定度测试仪等型号繁杂，有手动、数显和自动的，技术水平不一。

(2) 施工工地管理

施工工地管理包括安全管理、人员管理、设备管理等。目前主要通过操作规程、安全知识竞赛、绩效考核、人工固定资产录入与监控等方式展开安全管理、人员管理、设备管理等。管理事项众多、管理规程繁杂且发生事故后难以准确定位与追责。

3.1.4 小结

人工智能在公路建设领域的应用主要集中在建设前期工作、建设施工和质量管理安全管理与工程监理三个方面。

建设前期工作中，“AI+倾斜摄影”技术的引入，提高了外业作业效率，降低事故发生率；基于机器学习模型的控制点标定与识别、横断面自动生成与设计方案推荐可辅助人为决策，提高决策效率与科学性；基于多源数据融合技术的 BIM、CIM、CAD 与传感器输入的融合为建设方案的必选带来诸多便利。

建设施工过程中，“人工智能+有限元模型”可实现桥梁健康状况的预测与突

发异常的提前预警；使用基于 RPA 自动化技术的预制件生产与仓储流程优化为土木和机电工程提供了流程全息感知与仿真的工具；基于深度学习的路桥隧无电无网的设备布设计划自动生成技术为恶劣环境下的工程建设提供了新的解决方案；智能安全帽、智能背心等可穿戴设备为一线施工人员提供了安全保障。

质量安全管理与工程监理中，采用人机交互的数据自动化采集与试验报告输出技术提升了监理和质量管理的效率与可靠性；采用数字孪生技术及智能语音技术的智慧工地公共平台建设技术与基于模式识别的物资材料、机械设备与场地管理技术为施工工地管理带来了新思路。

人工智能在公路建设领域应用的主要问题在于人工智能技术在建设过程中的应用如建模精度要求、仿真流程规范、可穿戴设备参数与设计、工地管理流程等，缺乏顶层设计与标准规范。并且建设过程繁复冗杂，涉及部门较多，各部门平台及数据不互通，为公路建设的开展带来复杂的审批与决策流程，难以满足人工智能的数据要求。此外，基于机器视觉的算法受样本量大小、算力大小等的限制，目前还不够成熟，精度尚不能达到落地应用要求。

3.2 公路管理领域人工智能应用现状

公路管理贯穿在公路全生命周期的各个阶段，围绕公路日常监控管理的需求，实现路段级全时段、全方位的监控监测，对综合运营情况及时管控。人工智能技术在公路管理领域中的应用业务主要包括行人非机动车及业务人员管理、车辆交通控制系统管理、道路管理和信息管理与服务四大场景。其中车辆交通控制系统管理的应用的关注度和融合度相对较高。本报告结合各调研专家意见，梳理当前智慧公路管理现状痛点问题，这些问题主要集中在交通控制系统的数据感知、异常交通事件检测与管控、常态化运营状态下的检测与管控和信息服务系统建设等业务。得益于人工智能技术的快速发展和配套基础设施产业的成熟，本报告将从各主要业务入手，介绍人工智能技术在公路管理领域的应用现状。

3.2.1 人员管理

(1) 行人、非机动车管理

行人及非机动车的管理，主要针对专供机动车高速行驶，实施全封闭式管理

的高速公路。根据《中华人民共和国道路交通安全法》第八十九条规定：行人、乘车人、非机动车驾驶人违反道路交通安全法律、法规关于道路通行规定的，处警告或者5元以上50元以下罚款；非机动车驾驶人拒绝接受罚款处罚的，能够扣留其非机动车。现实中，徒步高速公路的背包客及安全意识淡薄的老人和小孩是进入高速公路的主要人群。

然而目前只能依靠巡逻人员和机动车驾驶员被动发现并上报公路管理部门，发现困难。且国家法律处理力度小，导致“全封闭”路段上的行人、非机动车仍屡见不鲜。

(2) 业务人员管理

公路业务人员包括公路巡检作业人员、收费站服务人员、服务区管理人员的调度与管理，如管理与巡逻方案，档案管理等。

目前对各类作业人员的管理，大多依靠工人经验自行约束，缺乏标准化的培训规范，且作业流程仍保留纸质档案管理。部门间存在信息壁垒，科室、部门之间信息共享程度低，人员管理流程落后；智能化程度低，巡逻人员的安全得不到有效保障，存在重大隐患。

(3) 管理机制

管理机制的制定，主要是确定公路与所属部门的管理架构，明确相关责任主体。现状按照相关法律法规、管理办法进行事后管理，不同部门、公司按不同的管理机制，各自运营，即使同一路段的多方信息也不互通，数据使用效率低下。

3.2.2 交通控制系统管理

(1) 交通数据感知

交通数据感知的主要来源包括：卡口数据，视频数据，雷达数据，车辆种类、数量、速度、密度。数据内容主要来自清晰度低的视频监控数据、线圈、微波传感器。特别是针对车流量比较大，车辆密度比较高的区域，或者出入口附近以及事故易发区安装一些摄像机，通过视觉数据的方法掌握有关区段的交通情况，主要存在以下问题：

- 监控系统覆盖范围小，智能化水平低

目标跟踪时间短、获取的特征不全面，导致后续的交通行为分类不细、识别

不准等问题。且一般视频监控设备视野窄小、功能单一、运算力差，大场景和低照度环境下全天候感知高速运动目标和高清晰场景成像能力不足。

■ 雷达点云数据

归并和语义识别目前还存在问题，检测范围已经能够达到 600-700m，但公路领域中实际应用较少。

■ 新旧设备并存

新旧设别并存的局面导致获取的数据质量不一，且各种感知数据的应用场景不明确，数据融合效果差，缺乏对各种采集设备进行统一的管理与应用。

(2) 异常事件监测与识别

检测主要是对车辆事故、车辆停驶、交通拥堵、车辆慢行、车辆逆行、遗弃物、烟和火灾检测等异常事件识别和监测、报警上传监控中心；其次对车道流量、车道平均车速、排队长度、车头时距等交通流数据的检测分析，为交通规划和指挥调度提供数据支持。

目前依赖于公路管理人员，且重点针对历史事故黑点远程观看视频监控识别异常；依靠事故现场人员主动上报信息，管理人员被动发现。主要存在以下问题：

■ 人工效率低

人工查看监控方式效率低，人力资源投入大，且对于没有监控的区域难以管理，需要投入更多的设施设备。

■ 使用案例与经验积累不足

机器视觉已逐步应用，但积累和学习不够、造成识别率不高，没有发挥较大作用，信息处理过程中还需要考虑算法自适应性。

(3) 异常事件交通管理控制

针对突发的异常交通事件，实施具体的管控方案，如可变限速、动态路径诱导、入口匝道限流管控等；需要有配套的管控设施，一般部署于异常拥堵、特殊路段（桥、隧）、分合流路段。目前道路主管部门的管理人员依靠工作经验决策，完全人工，或者半自动化的决策过程、现场管理人员靠经验人工指挥交通，主要存在以下问题：

- 主要依赖人工，智慧化水平低

异常事故段上游人工被动指挥，亟需通过信息化、智能化手段实现路网综合运行监测、重点车辆路径追踪、应急事件预警等，提升对路网的监测管控能力。

- 异常事件的完全手动或半自动化识别

对道路通行状态实时检测的主动性和智能化程度不高，存在监测信息孤岛、路况识别人工为主、路况信息发布不精准等监管痛点问题。

- 缺少有效协同管控方法，交通出行需求和服务水平不平衡

缺少对处理突发事件以及计划事件，查看相关资源，关联高德路况信息并记录处理过程直至完成归档的业务管理流程。

(4) 常态化管理控制

保证公路的正常运行，预防异常事件的发生，实现准全天候的通行顺畅；通过数字模型实现道路状态监控、设备管理、场景仿真，为道路后续运行、改进和维护提供精准、实时、个性化的决策依据。当前的日常运行状态下，大部分时间不进行主动交通管控，存在以下问题：

- 缺失事故前管理

事故前缺少主动干预与常态化管理措施，特别是缺少对亚稳定状态的交通流干预，缺乏对常态化运行状态下的环境和能源问题的关注。

- 信息化、智能化水平较低

缺乏车道级别的交通管控，安全性有待提升，监测管控能力不足导致道路的异常事件频发。

(5) 决策预案

根据应急事件自动生成应急解决预案、快速匹配调动应急人员、车辆和应急物资。各省、各地区的公路管理部分的应急预案编制于事前，仅针对常规事件、有限场景和需求编制应急决策预案，缺少在线可编辑的全自动控制策略库，进行路网运行监测决策支持功能，实现设施设备性能评价、路网交通需求预测、路网运行态势分析、路网交通风险等分析。

3.2.3 道路管理

(1) 道路数据感知

公路、桥梁、隧道等土建结构运行状态信息采集设施设备；针对管控业务，收集的数据主要包括质量与安全两个方面。检测数据主要通过建设期间预埋的传感器收集数据，通过按照编制的公路养护制度进行道路定期或不定期巡检进行少部分数据的收集，现状存在问题如下：

■ 综合信息考虑缺失

缺乏对公路上的其他多源信息的结合和考虑，根据道路的交通流车道分布特征，分析识别路面状况。

■ 数据来源单一

受限于预埋传感器、道路数据来源单一，检测精度无法校核，准确性只能完全取决于传感器的质量。

(2) 道路异常状况检测

路面异常状况信息，如桥梁状态感知，包括桥梁环境、作用、结构响应和结构变化；隧道信息主要包括飘落物、车辆冒烟起火、异常行车、行人闯入。桥隧的监测主要分析来自以预装检测器收集的数据，其次，对定期和不定期的人工巡逻数据处理分析，主要存在以下问题：

■ 全流程的信息融合度较低

道路设计及施工过程中涉及大量的图纸，多个环节后，很多细节信息可能发生缺失或被忽略，参照原有的设计图纸中所包含的信息对实际运营中的桥梁和设备进行管理，可能造成运营管理上的失误。

■ 依赖人工经验分析

依赖于分析人工收集的数据，导致重要的道路异常偏重大，较小的异常容易被忽略。

3.2.4 信息管理与服务

(1) 数据库建设与管理

按规定技术要求确保全系统数据、命令、图像及语音信息的及时性和准确性；

信息采集的数据上云，多源数据的融合管理，按业务场景对数据进行分类管理和存储。传统方法中数据零散化管理，参与部门多，存储与采集纸质化；单组织、单系统的数据简单协同处理，且以人工处理为主、自动处理为辅。主要存在以下问题：

■ 缺乏体系标准规范

数据资源规划缺乏体系标准规范，不同部门之间的数据库共享、相互之间的信息交流受到不同程度的阻碍。

■ 数据融合不充分，准确性待考证

与收费等数据的融合较少；数据真实性有待考证，依靠车检器及视频采集的数据，缺乏其他方式采集的结构化数据，对实时数据的分析处理能力较弱。

(2) 面向道路使用者的辅助信息服务

提供交通信息，如交通、事故和道路情报、发布命令或建议，如限速、关闭匝道等信息。向交通拥挤地段的驾驶员提供建议路径等，以促使出行人员选择合理的出行方式及路线，使道路交通流量分布均匀，以提高道路利用率，加强高速公路可视化运营等，达到交通控制与管理的目的。

目前以静态设施提供信息为主，对管控措施的支持仅限公路重点段。内部缺乏路段与路网之间的联动，外部可实现与交警、火警等相关方联动。缺乏动态指标标牌的信息展示之间的协同联动。

(3) 面向管理人员的管理中心信息终端建设

交通态势感知，对高速路段路、车、人、环境进行全面监测、监控与分析管理；并基于 GIS 平台在电子地图上展示高速全线实时交通路况；目前控制中心建设的信息可视化大屏，重点关注可视化大屏的建设，重可视化，轻数据和业务管理；对于展示指标的选择具有盲目性，实际展示指标与实际问题的相关性低。

(4) 面向道路使用者的移动端数据信息服务

移动信息发布内容包括但不限于公路基础设施信息、服务设施状态信息、交通运行状态信息；同时也包括交通突发事件信息、公路施工养护信息、公路气象环境信息、应急救援信息及其他信息等。各管理部门分别通过专门的信息发布 APP、微信小程序发布移动端信息。

■ 信息获取渠道繁多

各省市，甚至同一省的各部门的信息发布 APP 种类繁多，获取信息的渠道繁杂。

■ 信息质量管理与定义存在差异

缺乏对发布信息的整合，急需建立公路路网上的 MaaS¹ 系统。

(5) 伴随式信息服务

伴随式信息服务的信息发布终端包括但不限于智慧情报板、车载智能终端、智慧化呼叫服务、互联网、FM 广播等方式；支持车路协同与自动驾驶，近期重点实现车路协同，支撑安全辅助驾驶，为全方位服务、全业务管理提供更便捷的手段，远期支撑实现自动驾驶，提升高速公路整体技术水平与服务能力。

传统与现有方法中，单一信息服务渠道，人工手动发布面向群体的服务信息；基于人工的应急救援服务，服务和管理以人为主，智慧为辅。

■ 政策推动效果差

2018 年交通运输部印发《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》，面向北京、浙江、广东等 9 个省市差异化开展新一代国家交通控制网和智慧公路试点示范，提出基础设施数字化、路运一体化车路协同；但是各省市的最终建设效果与评估标准不一，实际应用效果差。

■ 实验场景有限

车路协同应用场景建设太浅，缺乏多业态、多网络、多行业的协同，缺乏异常状态下的快速响应、动态处置的服务能力。

3.2.5 小结

人工智能在公路管理方面的应用主要集中在车辆与交通控制系统、信息管理与服务两个场景。对于车辆与交通控制系统管理，针对公路上的各种异常事件，从保障通行效率和提升安全性能方面均有相应的理论研究和策略，当前各省市的智慧高速示范项目中（如浙江沪杭甬高速、江苏沪宁高速无锡硕放至东桥路段）也都涉及相应的技术应用，并且取得了较为理想的效果。但是大部分都存在成本

¹ MaaS (Mobility as a Service, 出行即服务)

高和推广难的问题，主要是示范路段获取的数据质量和管理手段难以在其他路段实现。普通路段的感知设施布设范围覆盖不足，感知手段不全面，智能化程度低等因素，导致在后续的智能分析和精准管控分析推广过程中，得不到有效的数据支撑。

对于信息管理与服务系统，各级公司和部门之间的系统服务和管理平台，解决问题不同、侧重的场景不同，同时后期缺乏有效的维护，多数平台在项目验收一段时间后就被废弃，甚至存在建成即“死亡”的情况。同时各平台之间的数据缺乏标准输入输出规范体系，依靠车检器及视频采集的数据，缺乏其他方式采集的结构化数据之间实时分析处理，例如与收费等数据的融合严重不足。管理设备及系统的运行维护尚处于被动模式，亟需一个综合的管控网络和运维平台进行统一、高效、自动化的管理和服 务，以全面提升综合管控水平。

3.3 公路养护领域人工智能应用现状

公路养护是公路正式建成并投入使用后，对公路的保养和维护的阶段，对提高公路的使用寿命有着至关重要的作用。而现有检测技术限制了对大范围公路的巡查与检测，特别在养护施工、养护评价等场景中存在诸多问题。江苏高速公路养护技术公司专家提出“目前公路病害种类太多，识别难度大，未来可考虑与无人驾驶、机器视觉识别技术结合”。华设设计集团智能交通研发中心专家提出“在养护施工中，现场作业效果、人员分布情况都需要被实时感知，这是‘十四五’期间工作重点之一”。江苏省公路事业发展中心专家提出“在巡查和检测中，缺少对于设备运营状况的判断，而这个也非常重要”。基于现实情况，本报告将从养护前期工作、养护巡查与检测、养护施工、养护评价及公路资产养护管理五个方面入手，说明人工智能在公路养护领域的应用现状。

3.3.1 养护前期工作

(1) 养护计划编制与工程设计

基于相关标准规范规定的检测指标和频率，制定对公路路基、路面、桥梁、隧道、附属设施等的检测与养护计划方案，包括预防养护、修复养护、专项养护和应急养护。目前主要采用人工的方法，查阅相关资料，标准，手动编制养护计

划。目前存在的主要问题是：

■ 公路养护需求日益增大，科学的养护计划编制迫在眉睫

公路养护工程具有独特的施工组织。养护工程的作业、施工条件等不同于新、改建项目的规模化作业，养护作业的施工条件也不同于新、改建项目。同时，由于公路养护的保通、交通组织，造成了养护工程的工效低、措施费用高等难题。

■ 人工手动编制计划效率低下

在手动编制计划的过程中，依然以沿用历史计划为主，无法针对问题进行合理的动态调整，智能化程度低。

(2) 养护决策

综合考虑公路建设历史、养护历史、客观环境条件、自然环境条件、社会与服务要求等核心因素，从养护时间、养护路段、养护措施等各个方面形成总体养护决策方案，以确保公路养护措施的针对性和有效性。目前养护决策大部分采用专家经验的方式进行养护决策。一般基于单指标参数采用单养护模式（如层次分析法(AHP)、马尔可夫方法等）；不同和/或相同道路基础设施参数之间的养护决策模型很少，导致难以评估项目级和路网级道路基础设施结构之间或相同结构的不同参数之间的维护决策。具体问题如下：

■ 决策主观性与随意性大，缺乏科学性与计划性

部分养护工程还停在发现问题再养护、留量入为出的状态，全生命周期成本理念贯彻落实不到位。宏观层面，从路网整体运行角度提出养护工程安排的思路较少。项目级层面，对病害成因的分析、对策的研究不足，缺乏长期的维修效果评价，缺乏以目标为导向科学安排养护工程的意识，在设计中确定路况维修标准时对衰变规律认识不足，错过“养早、养小”的时机。

■ 未能与资金分配匹配，形成合理的营收规划

受资金限制，存在根据年度营收预算确定投资额及维修对策的情况，最终未实现较好的维修效果。究其根本是定量的测算分析不足，养护决策不科学，未形成申请资金的可靠依据。

3.3.2 养护巡查与检测

(1) 高精地图与基础养护数据库建立维护更新

针对道路养护需求，构建面向养护需求的高精地图与养护数据库，包括基础养护数据库、桥梁、隧道数据库等。通过路网可视化、数据信息整合、资产数据对接等手段为养护工作提供数据基础。目前养护以固定周期、预定的养护内容为特征，基于静态的地图信息进行养护工作，且养护记录等数据无法以数字化的方式进行共享与存储，导致工作效率不高，智能化程度低，具体问题如下：

■ 国内桥梁数据库构建较为完善，但公路养护基础数据库建设稍显不足

相比于桥梁数据库，各个地区构建公路养护基础数据库质量参差不齐，利用率不高，尚未能形成完善的养护数据库体系。

■ 养护地图质量参差不齐，未能最大化体现数据价值

针对高精度养护地图构建存在传统方法地图更新不及时，精度差等问题，各个地区存在较大差异，未体现养护数据价值。

(2) 公路表面病害检测

针对公路在投入使用之后出现的表面病害问题，以路面病害为例，涉及公路平整度、坑洞、抗滑能力、裂缝检测、结构承载力检测等。目前现有的公路巡查与养护方式以人工巡查为主，自动化、信息化、智能化水平较低，具体如下：

■ 人工巡查方式，效率低下

在传统的发现病害的方式中，存在着巡查车车速较低、病害发现有遗漏、定位不够准确、图像不够清晰、巡查效率低下、多巡查人员同时上路等问题；

■ 采用人眼、拍照等方式识别病害，准确性与覆盖面不足

在高速公路养护巡查中，传统发现病害的手段往往是驾驶巡查车通过巡查人员肉眼搜索检查，发现病害后拍照片并简单记录病害特征，由专家和技术人员依赖照片开会讨论确定病害类型以及修复方式，当照片不够清晰或者位置不准确，技术人员需亲临现场确定病害细节。

■ 传统检测设备成本高，巡检速度慢

以传统高精度检测车为代表的传统路面病害检测，依赖重型检测设备，虽然能较精确地检测出路面病害，形成对道路养护有效的结构化数据，但成本价格较

高，并且巡检速度缓慢，很难满足我国大体量中低等级道路的运维管养，大部分道路常年少检，甚至是无检，错过最佳养护时期。

(3) 公路内部病害检测

在长期的荷载以及环境因素的作用下，公路除了路表所反映的病害以外，通常还伴随着结构强度的下降，结构内部的层间不良、不密实、松散等结构缺陷，养护人员需结合内部病害检测结果制定相关养护计划。

公路内部病害检测主要包括两种，一是钻心取样，根据现场调查及对道路病害现状的分析研究确定钻心位置，钻心位置主要选择在不同病害成都段落的代表性病害位置，并选取完好位置以做对比。但该方法费时费力，检测时间长，易造成损坏，可能诱发突发性的灾害，且检测效率极低，无法满足大范围养护检查的需求。

二是二维探地雷达技术，该技术检测点按线性布置，检测效率低，且容易遗漏重要的结构病害信息造成漏检，如纵向检测时，易遗漏内部纵向开裂病害，而横向检测时，易遗漏内部横向裂缝病害等。

(4) 桥梁检测

目前，对于高速公路桥梁病害的检测主要以熟练的作业人员人力检测为主，桥梁外观病害检查是桥梁结构检测的基础，具体是通过使用裂缝观测仪、数码照相道机、卡尺等工具对桥梁进行观察与测量，初步评估桥梁的外观损坏状况，为后期的桥梁结构检测提供依据。主要问题如下：

■ 国内桥梁“老龄化”严重

据统计，当前，全国已建成的桥梁中 40% 属于“老龄”桥梁，同时近 20 年内，国内桥梁坍塌事故便有 80 多起，对人民的生命财产安全与城市安全带来重大隐患。

■ 人工检测方法工作量大，执行难度高

传统的检测方法存在效率低、工作量大、拍摄取证难度高、作业危险、准确率不高等问题。当前有关桥梁整体的智能化监管与养护少之又少，导致桥梁安全隐患丛生、无法及时预警，信息数据残缺、养护落后。

(5) 隧道检测

在养护人员针对公路隧道病害进行检测、识别并进行计划养护的过程中，由于外力、材料劣化、火灾、洪水、地震等造成的影响隧道使用功能的损伤及劣化状态，称为隧道病害。传统公路隧道结构病害检查大多采用各类升降平台，由人工对到达部位开展检测工作。

传统隧道检测方法局限性大，检测效率低，一定程度上影响车辆通行，给一线人员带来安全隐患，并且覆盖范围有限，检测手段比较单一，智能化与数字化程度不足。

(6) 事件检测

事件检测主要指养护人员对于如路面抛洒物、路侧堆积物、护栏等事件进行识别与检测。目前以人工方式为主，视频应用多停留在视频图像获取、调看等基本功能，仍主要采用“盯屏幕”、人工轮询方式辅助监测。虽然国内已出现利用机器视觉技术实现交通设施信息采集系统，但是一方面，依靠车载移动视频进行监测，易受到车载视频观测视角的制约，难以适应随机性强、发生频率高的路面抛洒物、路侧堆积物事件检测；另一方面，抛洒物等事件随机性强、样本少，对于人工智能算法特别是监督学习方法带来挑战，缺少足够的样本数据量，也会影响到最终检测结果。

3.3.3 养护施工

(1) 标志标线与安全设施

安全设施主要包括植被边坡、护坡、挡墙、排水设施、照明设施。目前标志标线与安全设施的养护主要依靠定期人工巡逻，养护维修施工状况和健康状况监测跟新过程中自动化、信息化、智能化水平较低，养护运维效率低、成本高，缺乏数据支撑。

(2) 施工方案评估与比选

养护人员需在保证安全、车辆通行效率的情况下开展进行养护维修工作，对于养护施工方案进行评估，选择最优的方法进行施工，并在过程中动态调整。但在实际工程中，一方面，养护工程与维修施工区域的范围设计等需要耗费大量的时间，同时依赖于经验，缺少一定的客观性与科学性，且无法智能化评估不同方

案合理性与养护施工区域的合理范围；另一方面，公路交通存在动态随机性，养护施工期间难以自适应调整，方案一经实施便难以调整，试错成本高。

(3) 养护人员安全保障

养护人员在养护过程中的安全措施保障主要包括标识服、安全帽佩戴、危险行为。公路上车速较快，而养护人员在作业过程中，直接暴露于外部环境，缺少安全保障，存在很大的安全隐患。目前养护现场大多在施工现场放置警示牌，而缺少对公路上驾驶员的提前警示，比如依靠动态路牌的信息提示，在车速过快的情况下，驾驶员存在一定可能性因不能及时作出反应而对一线作业人员的生命安全造成威胁。

3.3.4 养护评价

(1) 公路绩效评价

公路绩效评价是面向公路路面、桥、隧等结构通过给定的使用性能标准，对设施状况进行性能评价，对养护需求进行分析，对养护维修项目和预算资金进行优化，从而为编制年度计划和中长期规划提供参考依据。

目前在施工过程，分别进行各种养护维修工作之间的施工，各部门间相互协调施工以减少对交通的影响。现有绩效指标采用基于专家经验的权值确定方式，依赖于专家经验，存在较强的人为因素干预，可能造成评价结果与实际不符或不准确等问题，并缺少养护效果自动反馈。

(2) 实施效果后评价与养护计划调整

根据养护计划实施后的养护效果进行评价，作为调整养护计划、资金使用等的依据。对养护作业机械使用记录，维修保养状况、油耗情况等进行全面的监督管理是养护作业不可缺少的重要一环。

目前对于养护效果，以人工评价考核效果为主，基于考核效果对来年养护计划进行调整，缺少养护效果的自动反馈。人工制定考核管理养护标准，指标主观性过大，责任认定不明确，偏向于形式主义。

3.3.5 公路资产养护管理

(1) 公路基础设施及附属设施监测

公路基础设施及附属设施主要包括标志、标线、路牌、护栏、边坡等。公路养护工作要求对这些公路资产进行监测，具体包括资产台账、维护、保养及统计等。目前主要采取的监测方式是通过巡查车，由人工记录其台账、维护、保养和统计等信息。而人工记录的方式准确率存疑且巡查车巡检耗时耗力，效率低下，流程自动化、智能化程度低，目前缺少有效替代巡检方法。

(2) 路桥隧健康监测

路桥隧健康监测即养护人员对于道路、桥梁和隧道的健康状况进行监测，提前预防路桥隧发生问题。路桥隧健康监测传统上采用人工巡检记录，关键点位拍照并整理成台账的方式；由运营中的桥梁结构与其环境所获得的信息不仅是理论研究和实验室调查的补充，还能够提供有关结构行为和环境规律的最真实的信息；通过布设在桥隧上的传感器能够测量并记录桥隧的行为；包含对桥隧处环境的监测(温度、风、交通荷载等)；各系统联动进行桥梁动力加速度、速度的监测。目前存在的主要问题有：

■ 人工方式无法实现全天候监测

对于桥梁，隧道等的检测采用人工的方式，无法实现全天候，准确的检测与评估。

■ 现有监测系统智能化水平不高，误报率高

路桥隧健康监测系统无法获取桥梁相对准确的信息，难以实现系统大容量、网络化的数据自动采集、自动入库，人力消耗大且不能及时反馈。

3.3.6 小结

随着国内公路建设进入“后建设期”，公路养护需求逐年增长，养护里程逐年增加。然而目前养护前期工作、养护巡查与检测、养护施工、养护评价及公路资产养护分别存在重多问题，为养护工作带来了巨大的阻力。其中，养护决策不智能、养护资金分配不合理、病害检测不及时、人工监测不高效等是制约发展的关键。现有一些省、市也尝试将信息化技术与公路养护业务相结合，但仍没有形成

成熟的方法与体系，针对典型场景的应用效果也不够理想。特别地，公路养护数据由于采集需要昂贵的设备，大部分小中型企业无法获取足够样本的高质量数据，导致算法训练困难，这也导致了基于人工智能养护算法的开发与维护困境。

为适应国内公路养护新的发展形势要求，促进养护管理高质量发展，需要加强人工智能等技术与公路交通发展深度融合，加强公路养护科学决策方法，研发基于人工智能的养护智能化应用，全面提高公路养护管理效能。同时坚持统筹发展和安全，注重风险评估与隐患排查，强化应急处置和保通保畅，基于先进的信息化技术来发挥公路交通“生命线”作用。

3.4 公路运营领域人工智能应用现状

公路运营是公路正式建成并投入使用后，对公路的收费、运输、安全、服务等组织、规划、控制和协调的阶段，其目标是使高速公路企业获得最大的经济收益，使人民的出行更加便利舒适。目前在公路运营领域，智能化水平普遍不足，公路院智能交通研究中心专家提出“路政领域人工智能的应用主要存在于大件运输、超宽超高件的运输可能损坏路产的场景，应通过人工智能生成预案进行交通诱导及监管”。华为行业标准部专家提出“在收费稽核方面，由于数据采集不精准而造成的费用漏收、少收情况严重”。基于现实情况，本报告将从高速收费、路政执法及服务区建设三个方面入手，说明人工智能在公路运营领域的应用现状。

3.4.1 高速收费

(1) 收费稽核

在取消省界收费站，打造全国“一张网”的背景下，在提升车辆通行效率，减少拥堵时间的同时，也产生了新的问题，即新 ETC 计费系统数据采集不精准。由于干扰、串扰、人为等原因导致 ETC 识别准确率不达标；由于牌识流水丢失、牌识与交易不匹配、车辆特征识别不准等原因导致车牌识别准确率不达标。上述原因导致：

■ 逃漏费行为频发

目前逃漏费行为频发，给收费稽核带来很多困难。一方面，全国取消省界收费站，车辆跨省通行单次缴费额增加，面对偷逃通行费带来的非法利益诱惑，大

车小标、屏蔽通行卡、倒换通行卡等新型逃漏费行为时有发生,造成通行费流失;另一方面,车牌识别易受天气及工作环境等因素影响,导致过车信息无法全量且准确抓拍,从而无法为收费稽核提供可信扣费证据,导致交易失败,造成通行费流失。

■ 稽核追缴困难

人工稽核工作流程非常漫长,首先须查询流水数据库的缴费记录,然后搜索车辆的路径,再去车辆属地取证,其中任何一个环节中的证据不足,都可能导致“打逃”过程不能顺利继续。而由于数据采集不精准,稽核追缴过程经常存在证据链缺失的情况,导致车辆路径无法还原,从而无法形成完整证据链,稽核追缴无法顺利进行。同时,在证据链缺失的情况下进行稽核追缴,极易造成收费争议,引起群众的不满与投诉。

■ 费用少收

由于证据链缺失,车辆路径不完整,只能在已有证据基础上,采用最短路径还原车辆路径,进行费用追缴,进而导致稽核少收。

(2) “绿通”问题

“绿通”是指鲜活农产品公路运输绿色通道。在绿色通道上行驶的鲜活农产品运输车辆(合法运输并且符合规定的品类)即可享受免收通行费的便利待遇。最初于1995年组织实施,自2010年12月1日起,全国所有收费公路全部纳入鲜活农产品运输“绿色通道”网络范围,对整车合法装载运输鲜活农产品车辆免收车辆通行费。“绿通”政策实施已久,但实际运营效果仍不尽人意,主要有以下问题:

■ 人工查验耗时长,易拥堵,易造成货物损坏

现阶段对绿通车的检查为每车必检,检查流程基本上一致,大量的重复性工作会导致检查人员检查不仔细等情况出现,还有可能在检查中造成货物损坏。同时,由于人工查验耗时较长,在流量较大的站点极易出现拥堵,这与高速公路保畅的管理目标相冲突,给工作人员带来极大的困扰。

■ 假绿通车辆难治理,专用检查设备难普及

面对绿色通道减免政策的诱惑,“假绿通”现象时有发生,采用专用检查设备可在一定程度上快速检测出假绿通车辆,但设备造价昂贵,难以全面普及。另

一方面,假绿通车辆可能会选择在未安装检查设备的收费站出站,导致“假绿通”治理效果不理想。

■ 绿通数据未充分利用

目前绿通车检查数据仅用于简单存档,未打破信息孤岛与其他业务数据进行联动,不能对数据进行再利用,没有发挥数据价值。

(3) 自由流收费

自由流收费就是采用电子收费技术自动完成对多条车道上自由行驶车辆完成收取通行费的方式。目前我国高速公路收费方式主要包括人工收费、人工半自动收费 (MTC) 和电子不停车收费 (ETC)。ETC 技术随着高速公路建设不断发展,2015 年全国联网后更是成为各省高速公路重要的缴费方式。ETC 技术以其自动化程度高、免停车快速通行等特点逐渐被高速公路营运方、车辆用户所接受,但我国 ETC 技术主要布局于收费站车道,还未探索 ETC 自由流收费的大规模应用实践。目前 ETC 收费主要存在的问题为:

■ ETC 收费交易时间长、交易异常率高

两片式组合 ETC 收费技术 (即电子标签 OBU+IC 卡模式) 的灵活性特质在我国现阶段表现不再突出,相反,因交易时与 OBU 和 IC 卡安全认证带来的多次通信握手、IC 卡自身读写异常所带来的通行问题越来越突出。

■ ETC 车道普及度不高,与 MTC 矛盾凸显

我国 ETC 车道建设规模不够超前,日本高速公路绝大部分为 ETC 收费,每个收费站仅保留一条人工自助收费车道,而我国 ETC 车道级覆盖率 (ETC 车道占总车道比例) 不足三成,绝大部分收费站仅有 1 入 1 出两条 ETC 车道,且 ETC 车流量占收费站总车流量普遍不超 50%,人工收费仍是主流,在车道资源有限的情况下,ETC 车道超前建设需求与 MTC 仍是主流车道之间的矛盾越发凸显。

3.4.2 路政执法

(1) 治超执法

执法方式能够分为现场执法和非现场执法,目前以现场执法为主,结合人工智能技术的非现场执法为未来的发展方向。现场执法主要针对超载超限车辆,大件运输、超宽超高件的运输可能损坏路产。治超以人工检查方式为主,实行抽检

的治超模式，但这样的方式容易出现漏检，且监管力度不够、不到位，同时，不同地区标准的不同也会给治超带来困难。目前主要存在的问题有：

■ 现场执法管理人员素质不高，易引起冲突

现场执法时，由于工作人员素质不高或管理体制不顺，很容易引起争端，不仅影响被检车辆的通行，也会降低整体检查效率，造成拥堵。

■ 各部门的组织协同性较差

在对跨省界超载车辆进行处罚时，需要依据车辆的通行数据，这些数据主要掌控在各地区的路政或交警部门系统中。但部门之间的系统和数据并不互通，部门之间的协调难度大，使得对车辆的处罚力度和处罚标准难以准确校订，在进行高速公路治超管理问题时多以较低的标准进行处罚，无法起到震慑作用。

■ 各地区治超标准不一

受到各地区经济发展需求和建设标准的影响，各省市地区之间的治超标准也不尽相同，于是在高速治超领域出现了一种“地方不保护”的现象，即当某省市牌照的车辆出现超载现象时，需要依据牌照所属地的治超标准进行处罚。因此当其他牌照车辆在所属地之外的省市地区出现问题时，严重影响治超执法的运行效率。

■ 高速公路治超的管理漏洞

受到各地区的经济发展和地域环境的影响，在部分的省市地区，高速公路入口处回转空间小，劝返、复磅等业务操作容易致使车辆拥堵，收费站人员便放松了对进入高速公路车辆的治超标准。还有部分较偏远地区或小型收费站采用分时段管理模式，即在车辆通行较多的时间段对进入车辆进行集中的治超管理，反之在车辆通行率较低的时间段放宽通行。因此有部分超载车辆选择在管理放松的时间段进入高速。

■ 治超设备存在一定问题

当前，有部分地区因为称重设备原因，所获得的测量数据不精准，导致车辆驾驶人员对治超数据持怀疑态度并要求复磅，直接造成了 ETC 通道的阻塞。特别是在车辆高拥堵时段，收费站只能将已建成的 ETC 通道再次改成人工通道进行相关的业务处理，对提升高速公路通行效率起到了反作用。

(2) 紧急情况预警及应急预案生成

面对异常情况，目前主要是通过驾驶员拨打电话或工作人员查看监控视频进行通知，智能化程度低，并且响应速度不及时，容易错过最佳救援时机，甚至造成二次事故。对于紧急情况，如天气异常、自然灾害、车辆事故等，只能被动防护，没有办法提前预警。对于应急预案，目前缺少智能化应急预案处理库，主要依靠传统的人工经验，遇上严重的突发事件时，容易造成误判、错判。

(3) 清排障工作

高速公路清排障是高速公路服务中的重要内容，也是体现高速公路安全、快捷、畅通的重要保证。清排障工作主要包括日常监督检查与救援工作。在实际运营中，清排障工作最主要的矛盾点为服务态度、救援响应时间与收费合理性，具体如下：

■ 车辆状态检测方法过少

对于车辆状态的检测，目前只有车辆年检标志的检测，缺少系统化车辆状态检测方法，包括车辆检修情况、车辆故障问题（如轮胎、汽车油箱、制动装置等）。若能够在车辆驶入高速公路之前，排查潜在安全隐患车辆，会对高速公路上事故率的降低起到正面作用。

■ 高速公路上清排障的救援系统不完善

在高速公路作业中，亟需一个完整的清排障救援系统来协助高速公路工作人员进行清排障施救工作，但要建立这样的系统，要投入的工作量极大，所需的技术水平要求较高，目前尚没有形成完整的清排障救援系统。

■ 收费制度不完善

因高速公路上的收费制度不完善，对清排障工作无法进行整体的安排和筹划，导致清排障救援工作的进度受到影响。

■ 没有专业的清排障条件

高速公路清排障工作中专业救援人员、排障机械设备的数量较少，救援设备的布置不合理，忽略了高速公路上的特殊路段、行车数量和意外频发几率的因素，从而丧失了高速公路上清排障工作的及时有效性。

■ 清排障期间容易造成二次事故

清排障作业时，缺少道路交通提示和交通诱导，特别是如遇人员伤亡、起火等严重情况，在专业救护人员到来之前需要对现场合理控制，否则极易诱发二次事故。

(4) 辅助执法

辅助执法主要应用于对于犯罪车辆、涉疫车辆等的车辆追踪与交通事故责任判定。对于车辆追踪，目前主要依靠监控录像、照片等进行人工查找，效率低，缺少智能化手段，且车牌识别存在限制条件，当处于夜晚或雨雪条件下车牌号码会出现模糊不清或显示不完整的情况。

对于交通事故责任判定，公安机关交通管理部门主要通过现场调查、回放监控视频、当事人描述来判断当事人责任。但这样的方法带有一定主观性，且受视角、遮挡物的影响，通过监控视频确定事故责任容易导致判断失误的情况。

3.4.3 服务区

高速公路服务区作为公路运营的一个重要部分，服务质量成为了其中的关键。然而，高速公路服务区人员的服务质量参差不齐，对于服务人员服务质量不佳等的投诉问题也成为改善服务区建设的一大重点。另一方面，服务区智能化水平也普遍不足，群众的服务体验差，服务区数据未得到有效利用。不同地区的服务区建设水平也不一致，中东部地区的高速公路相对比较完善，休息区、餐饮区、加油站等等相对健全，而西部偏远地区相对落后。另外，部分服务区存在路面损坏，维护不到位的问题。针对以上问题，人工智能技术的引入能够一定程度实现优化与服务升级。

3.4.4 小结

人工智能在公路运营方面的应用主要集中在高速收费、路政执法、服务区建设三个方面。对于高速收费，收费稽核场景的技术相对成熟，华为、阿里等公司纷纷介入该领域，已经初具产业规模；自由流收费技术同样具有更优先实现的可能性，我国南方部分地区（如江西、广东等省份）已经展开相关的试点工作，并取得良好的验证效果；“绿通”问题相应的研究较少，解决方案主要针对绿通车辆

的检测，缺少对于绿通数据、人车诚信系统的深入研究。

对于路政执法，治超执法场景已有部分初步应用的案例，这些应用主要集中于建立非现场治超执法中心与超载车辆识别方面；紧急情况预警与应急预案生成场景目前人工智能应用较少，但技术难度不大，相对来说容易实现；清排障工作是公路领域一直以来的难点与问题，但是人工智能在此方面应用较少，有待挖掘与扩展；辅助执法场景下已有部分人工智能的应用，但应用较浅，高速系统基础画像等关键应用目前尚无实践。

对于服务区建设，人工智能在此方面具有非常广阔的应用空间与商业潜力，能够很大程度上提高服务满意度，但是目前国内智慧服务区建设仍处于起步阶段，成熟案例较少。

在公路运营方面，人工智能应用主要存在数据与算法存在泛性化、规范性差等问题，并且对于人工智能等新技术产生的应用价值，暂无可靠的量化方法，缺少落地效果反馈。

3.5 共性问题

在以上现状的基础上，总结了人工智能在公路领域应用的四个共性问题，分别为顶层设计缺乏、数据缺乏标准输入输出规范、行业算力基础设施匮乏且投资成本高及人工智能应用场景缺少效果评估与反馈。

3.5.1 顶层设计缺乏，未考虑人工智能等新技术对智慧公路建设规范体系的影响

顶层设计体现在人工智能的方方面面，在交通领域，目前智慧公路的实施比较离散，缺少具有指南性规范性的纲领。对于新的智能基础设施与旧的传统设施区别或进步缺少系统性规划，对于“建、管、养、运”流程缺少新技术下的新指导，对于智慧公路的理论体系和技术体系缺乏更深入的思考。在数字化的背景下，如何进行交通基础设施的数字化转型，如何建立业务中的数据传递模型，都是目前亟需解决的问题。

现行的标准体系并没有覆盖到智慧公路的所有领域，从底层的电气化、工程

化、数据化、信息化到面向应用的智慧交通“建、管、养、运”具体场景，均缺少明确的规范体系，未顾及到智能化、智慧化场景产生的新标准。由于标准规范的缺乏，导致智慧公路的实施处于一个较为混乱、模糊的状态，商业模式也不够清晰，并没有达到人工智能在公路领域实施的预期效果。

3.5.2 数据缺乏标准输入输出规范，导致算法模型调整与优化能力不足，后续难以维护升级

近年来，各种可视化大屏、信息化平台层出不穷，但这些产品大多具有针对性，只能用于一个项目、一个场景、一段时期，后期维护差，时效性短，通用性差，甚至存在建成即“死亡”的情况，未考虑好整个流程便急于开展建设，导致很多平台的废弃、无用。同时，各部门间由于接口、标准等不一致，无法完成信息交换、资源共享，致使各部门间彼此孤立，存在壁垒，并没有形成一个整体，达到相互协同、相互协调的效果，造成不通现状的主要有以下两个原因：

(1) 数据方面

进入大数据时代后，虽然每天都会产生海量的数据，如手机信令数据、卡口数据、视频数据等，但是它们比较分散，各数据格式、实现方式不相同，难以协同，没有起到大数据真正的作用，具体体现在：

■ 数据采集不足

虽然目前进入大数据时代，每天都会产生海量的数据，但当前交通 AI 应用相关数据处于较为原始状态，交通 AI 场景训练数据集并未有效收集，造成训练不充分、效果不理想的情况。

■ 数据处理环节缺失

交通数据的处理工作比较考验专业性，部分环节需要专业人士才能够实现，例如原始交通视频的事件标定工作，而当前缺少资源投入，导致交通数据的处理环节缺失。

■ 数据标注缺乏

目前各种可视化大屏应用丰富复杂，而其背后数据代表意义尚不明确，其间应用比较模糊。因此，智慧公路系统及平台结果的呈现形式和表征解读亟需具体

标准和规范。

■ 标准化程度低

与人工智能相关的系统输出数据多为结构化数据，各部门实现方式不同，会给各部门间协同合作带来阻碍，并且由于标准化程度低，目前数据还未达到训练模型的标准。

(2) 人工智能算法方面

算法作为支撑各平台、各系统运营的核心，虽然技术、种类繁多，但依然存在以下问题：

■ 可调整性差

目前算法不够稳定，可调整性差，无法进行后期优化与改进。如果将算法放在云端，则存在难以保持实时性和成本高的问题。

■ 自适应能力有待增强

对于同一个场景，不同部门经常会有不同的需求，因此在算法方面需要具备面对不同需求给出不同结果的自适应能力。

■ 训练不足

目前一些人工智能算法实际效果应用不佳，一方面，行业算法水平受制于无法获取行业内数据，无法通过数据训练获取高精度算法，提供有效解决方案，交通场景应用和数据不足，未积累足够学习经验，导致实施效果不理想。

另一方面，当前交通 AI 应用受限于数据来源和算法成熟度，算法投入意愿低，新算法应用少，更难产生有效训练数据，形成恶性循环。

3.5.3 行业算力基础设施匮乏，投资成本高，导致基于场景的人工智能开发推广困难

人工智能技术应用有三大关键资源：数据、算力和算法，其中数据是新生产资料，算力是新生产力，算法是新生产关系，构成数字经济时代最基本的生产基石。具体而言，算力是计算机等设备通过处理数据，实现特定结果输出的计算能力。现阶段云计算、大数据、物联网、人工智能等技术的快速发展，推动数据的爆炸式增长和算法的复杂程度不断提高，在应用过程中也提升了对算力规模、算

力能力的需求。

公路行业数据获取困难，对外开放情况存在较大差异，由于各级机构各自为政、缺乏共享互通、激励和问责机制不全等导致不愿开放数据，同时数据开放的边界不清（引发的负面舆论或影响）、权责机制缺失等导致不敢开放数据。对于已经开放共享的数据，实际上也较难获得各部门的最新数据。多重标准、多头管理的局面，不利于数据开放的顺利推进。各级交通运输厅、公路管理公司，是最大的数据生产者和拥有者，缺乏有效的算力能力和算力基础设施，第三方平台高昂的算力计算成本，再加上自身缺乏对算法的掌握，导致数据的拥有部分，无法对数据进行分析处理，造成数据资源的浪费，不利于实现社会利益的最大化。

在开放共享标准、数据资源管理、运行与维护等方面，缺乏专门机构统一管理；在数据处理方面，存在数据格式和质量参差不齐、没有统一的标准等问题，导致数据质量不高、数据分类不清晰、数据更新不及时、数据格式不规范，位数不多的数据开放也仅流于形式，降低了数据利用率和利用价值。最终导致，拥有算力能力和规模的单位无法获取及时有效的数据，而拥有数据的单位却不具备算力进行处理分析的两难局面。

3.5.4 人工智能应用场景缺少效果评估与反馈，落地产生的实际价值缺少量化手段

人工智能的提出是为了解放劳动力，实现自动化，达到少人化，甚至无人化的效果，而目前在人工智能于公路领域的实施中，由于标准不明确、平台不通用、缺少数字底座、资源未合理配置等问题，导致落地效果并不理想。

对于一线作业人员，智慧公路落地效果差，没有真正减轻一线人员作业强度与作业难度，反而由于新增的技术手段一定程度上加重了工作程序、工作内容；对于设计管理人员，缺少智慧公路实施效果测评，缺少对于落地后产生实际价值的量化手段，智慧不能长期沉淀再反馈到业务中；对于道路使用者，实际的服务水平与驾驶体验也并未得到显著改善或提升。

落地效果是检验智慧公路作用的根本方法，智慧公路应做到“前端自动化、后端智能化”，如果在实际应用中无法让一线工作人员任务减轻、将更多的工作人

员转移至后台,无法对交通出行提质增效,那么智慧公路接下来将面临严峻的“存活”问题。

中国智能交通产业联盟

四、人工智能首要应用场景

根据行业调研结果，本章将从公路“建、管、养、运”四个领域展开，归纳总结来自行业内 20 余个单位与部门的专家意见，结合文献资料与实际应用情况，确定人工智能在公路领域的首要应用场景与应用优先级，并考虑人工智能在公路领域的发展趋势、应用技术架构与应用系统架构方面，给出切实意见与结论。

4.1 公路建设领域首要应用场景

人工智能在智慧公路中的应用主要包括建设前期工作、建设施工、质量安全管理与工程监理中，具体应用架构如图 6 所示。其中外业勘测、定线与设计、工程建设和智能穿戴设备是人工智能在智慧公路领域的重要应用。

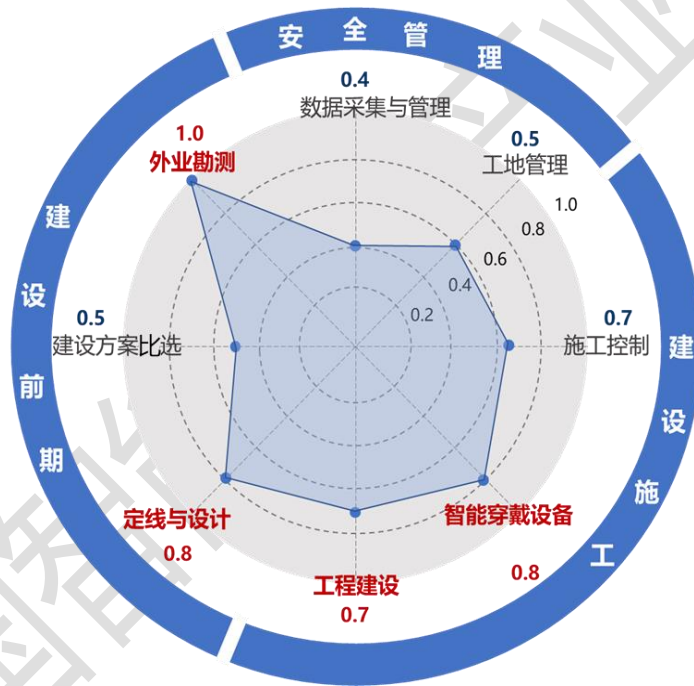


图 6 公路建设业务-场景应用优先级示意图

4.1.1 外业勘测

人工智能在外业勘测业务中的主要应用包括：使用 AI+倾斜摄影的数字孪生建模技术；基于流程自动化 RPA 的数据输入技术；结合 BIM、CIM 的 3D 场景建模技术。输入包括倾斜摄影图像、无人机参数数据、纸质图纸及台账数据、BIM、CIM 三维模型等；输出包括三维数字地图模型、数字化图纸及台账数据库、公路建设全生命周期数字孪生模型等。引入人工智能技术后的预期效果如下：

■ 使用基于 AI 的倾斜摄影和数字孪生技术改进测绘流程

基于 AI+倾斜摄影的数字孪生技术的诞生，颠覆传统测绘的作业方式，推动地形测绘向高科技、立体图形、内业测绘方向革命性的变化，解决由于天气等外因造成的工作延误，把原本大量的外业工作转变成内业工作，极大减少一线人员的劳动时间和劳动强度。

■ 结合人工智能与无人机技术增强道路勘测安全性

人在山区复杂地形勘测时的安全性难以保证，使用人工智能技术的无人机倾斜摄影技术在山区与城市道路大比例地形图测绘能够避免勘测事故发生。

4.1.2 道路桥隧定线与设计

人工智能在道路桥隧定线与设计业务中的主要应用包括：基于深度学习的地形地物、控制点等静态目标的目标识别技术；基于增强现实与类脑智能计算的横断面自动切割建模技术；基于推荐算法的桥梁自动化设计与多样化定线设计技术。输入包括倾斜摄影/雷达感知数据、设计图纸、物理特性参数、多套桥梁定线与设计方

■ 通过 AI 算法实现地形地物、控制点的识别

通过智能算法实现地形地物、控制点的识别，实现路桥纵断面的智能提取，实现横断面的自动切割建模，最后基于识别的控制点，实现干线铁路桥梁或高速公路桥梁的智能化自动布孔，增加方案的科学性与自动化水平。引入人工智能能够实现内业作业的数据全自动识别输入与多样化定线设计推荐，辅助人为决策。

4.1.3 智能穿戴设备

人工智能在智能穿戴设备业务中的主要应用包括：基于模式识别技术的无线传感自组网安全感知设备；基于人机交互技术的定位追踪预警技术；基于多源大数据融合的员工管理技术。输入包括模式识别大数据、人机交互设计经验、现有管理流程及经验等；输出包括无线传感自组网安全感知设备、定位追踪预警设备、智慧员工管理技术。引入人工智能技术后的预期效果如下：

■ 研发智能穿戴设备强化安全感知与作业辅助

研发可穿戴无线传感自组网的安全感知设备，专注环境监测，同时多功能集成。连接到可穿戴设备帮助人们在实时跟踪时更多地了解自己的身体，包括心率、步数、运动、海拔水平以及压力水平等，对作业现场的安全与效率能够有效提升；将此信息整合到安全帽或背心中能够让管理人员更好地了解员工的感受，并为员工提供更安全的工作场所。将人工智能添加到现有设备中不仅不会影响工人及其日常生活，还能够提供有关工人健康和安全的的大量信息；整合集成实时定位与追踪服务，在发生事故或危险时，管理人员能够定位穿着带定位系统背心的工人；如果桥隧挖掘现场意外坍塌，现场管理人员将能够快速追踪受影响的人员，将数据接入安全管理平台，协助工地安全管理。

4.1.4 工程建设

人工智能在工程建设业务中的主要应用包括：基于深度学习的智能压实技术；基于智能材料的低碳预制道面技术；输入包括传感器数据与机器学习模型、现有道面建设大数据与经验；输出包括智能压实技术、低碳预制道面。引入人工智能技术后的预期效果如下：

■ 研发智能压实作业与低碳道面改进工程建设流程

研发智能压实方法，基于计算机技术、高精密传感技术以及定位技术等，采集压实反馈信息调节压路机性能参数；依据推荐算法选择最低的碳排放方案；基于人工智能算法的压实车进行压实作业；选取智能材料研发预制道面，加快铺装速度。

4.2 公路管理领域首要应用场景

如图 所示，人工智能技术在公路管理中的首要应用涉及交通数据感知、异常交通事件检测与管控、常态化交通检测与管控、数据库建设与管理、伴随式信息服务共 5 个具体的业务场景。

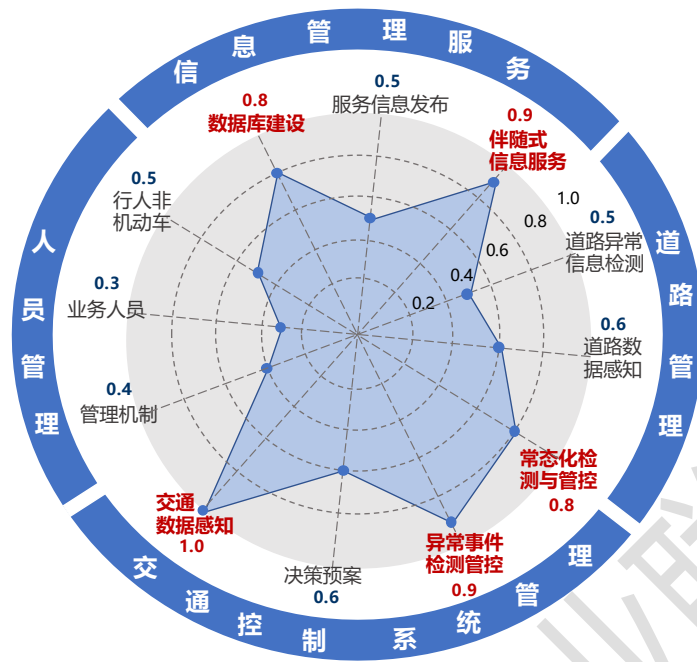


图 7 公路管理业务-场景应用优先级示意图

4.2.1 交通数据感知

交通数据感知与发布系统是公路交通安全保障体系的重要组成部分，是交通管理者及时向道路使用者发布指令或提供信息、确保行车安全的有效手段。目前能够使用多种设备对交通流信息进行采集，但通过视频和微波雷达采集原理采集实时交通流由于其本身巨大的优势，在工程运用中越来越受到重视。

现有的视频监控系统的架构设计上采用多级联网的管理架构，一般由省监控中心、路段监控分中心、基层监控单元三级管理架构构成。在数据获取的过程中，升级引入雷视一体机，新增雷达数据，结合人工智能技术，实现交通参数的联合分析，预期效果如下：

■ 感知设备的智能化布设

针对视频数据中车辆目标相互遮挡等问题、能够考虑基于人工智能算法处理，增设智能化设备，确定车辆车道级别的精确位置。实现视频感知和特征提取算法与视频监控设备实现一体化集成，提高高速公路视频监控系统的实时性与智能性。

■ 雷视一体机

引入雷视一体机，雷视融合数据的获取与融合，发挥雷达数据的优势，弥补现有视频数据的不足。从数据感知和采集层面上保证数据质量，提供更好的融合

建设感知底座。

■ 交通视频结构化分析

对视频内容按照语义关系,采用时空分割、特征提取、对象识别等处理手段,组织成可供计算机和人类理解的结构化信息的技术。将视频中的行人、机动车、非机动车、沿线设施、路域环境进行智能化提取与分析,让公路上的视频变成可以针对目标对象进行快速检索的信息库,极大的提升线索查找的速度。实现视频数据向信息化、情报化、智能化的应用转化,辅助于交通运行状态监测、智慧管控等应用。

4.2.2 异常交通事件检测与管控

对事故、拥堵、违停等多种交通异常事件的智能检测与发现。基于异常所在位置信息自动关联周边视频点位,结合质量提升交通流信息,实现异常事件的自动化检测,针对具体异常事件,实现对交通流的主动引导。特别对拥堵、事故等异常事件的动态监测与实时响应,基于在线可编辑的全自动控制策略库以及高密度部署的可变电子情报板,对分车道动态限速、临时路肩开放等管控信息的发布。引入人工智能技术后,预期实现效果如下:

■ 多源信息、多部门数据融合

跨管理部门、跨系统的多源数据融合处理;自主可控的机器学习等深度智慧处理;实现协同式感知,支持完全自主智慧决策,同时人工可干预。

■ 提升极端恶劣天气的管理效果

基于交通状态的动态绕行引导、拥堵响应处理、动态货车管理、车距保持警示、极端恶劣天气监测预警等智能应用。

■ 实现全量交通要素感知和智能协同管控

针对高速公路上发生的交通事故处置,协同指挥调度系统涵盖日常及应急情况,实现了事件从综合预警、事件启动、态势分析、应急响应、事件通知、应急处置、协作调度、信息报送、事后总结评估的全生命周期闭环管理。比如协作式变道、协作式车道管理、协作式优先车辆通行。

4.2.3 常态化交通检测与管控

保证公路的正常运行，预防异常事件的发生，实现准全天候同行通行。最佳的管控时机是在发生异常交通事件之前的预防管控。将信息感知系统采集到的交通流量、车速、车道占有率和车辆排队长度、车头时距等交通流数据，结合宏观交通流理论，通过一定的人工智能技术融合处理分析后，形成对某一个匝道或者某一主线段是管控的结果，抑制交通事故的发生。引入人工智能技术后的预期效果如下：

■ 智慧路测设备

常态化运营的过程中，通过智能路侧设备引导车辆汇入，通过路侧单元获取车辆运行信息和行驶意图，生成汇入引导方案，发送至车载终端或情报板，引入协同管控体系避免管控结果仅是实现路段事件的转移，实现动态车道管理。

■ 与节能减排综合考虑

考虑面向相关政策、AI 技术，预测与估计公路交通碳排放量，确保交通碳排放可量化、可评估、可对比。

4.2.4 数据库建设与管理

通过多源实时数据接入，融合 Oracle、MySQL、Clickhouse 等多种数据库技术进行数据处理，考虑数据融合分析技术、云边端架构技术等，通过与高精地图匹配，实现拥有高度数据统计与集成的智慧交通可视化应用，为建设、管理、养护、运营提供数据支撑，实现自运维、自管理、自调优、故障自诊断和自愈，建设后的预期效果如下：

■ 云边端架构技术、数字孪生等技术的引入

数据库的建设过程，考虑云边端架构技术、数字孪生等技术，减低对云端数据库的压力，减低通信需求，提高数据管理的效率，为智慧化管理和智慧化服务提供高效的 AI 及大数据支撑。

■ 基于最优化理论，基于深度强化学习的自调优算法

人工智能技术融入分布式数据库的全生命周期，实现自运维、自管理、自调优、故障自诊断和自愈。在交易、分析和混合负载场景下，基于最优化理论，基

于深度强化学习的自调优算法。

4.2.5 伴随式信息服务

面向道路使用者的移动信息和管理中心终端信息服务,是公路管理业务中各流程分析生成信息的最终展示平台。面向道路使用者的信息展示通过 APP 或与路侧单元设备(摄像头、RSU、边缘计算设备等)进行联动。面向道路中心的信息展示能够使用 ECharts 等图表库进行多样化数据展示。提高公路有序的管理与控制水平、提高公路交通运行稳定性和路网可靠性。

■ 基本智慧化,建立车路协同数字孪生平台,提升高速公路通行效率

增加路公司的通行费收入,从而实现交警、路政、高速公路运营企业的资源共享、协同联动与安全共治,推动调度指挥高水平管理,公众出行高品质服务,路网营运高质量发展。

■ 中级智慧化,能以智慧化的方式对道路交通运行进行管理

对交通参与者提供精准的信息服务。能实现车道级的流量统计,能对交通事件进行监测,对交通风险进行识别、处理并实时发布安全预警。

■ 高级智慧化,网联协同的智慧化管控环境

具备对路网进行全自动、全方位的服务和监管的能力。能实现全时空高精度感知,对所有道路参与者轨迹的数字化处理并开展交通分析,对路网的交通运行状态进行精确计算,对不同路段、不同层级的交通运行系统进行精准决策和管控。

4.3 公路养护领域首要应用场景

如图 所示,人工智能技术在公路养护中的首要应用包含养护决策、公路表面病害检测、桥隧病害检测和标志标线安全设施共 4 个具体的业务场景。

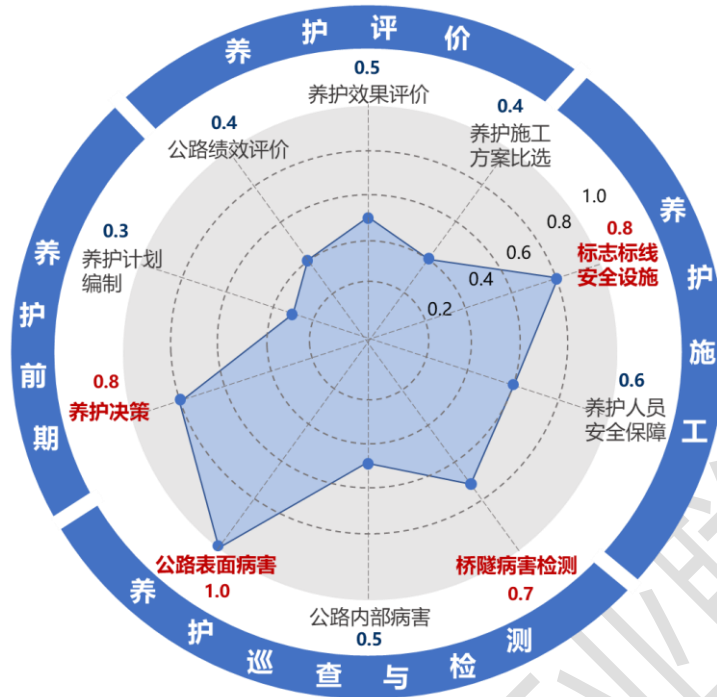


图 8 公路养护业务-场景应用优先级示意图

4.3.1 养护决策

预防性养护的核心理念是通过“早养护”实现“少养护”，通过“早投入”实现“少投入”，是养护理念的科学发展方向。在恰当的时间对路段运用合适的预防性养护措施，正确实施预防性养护能够保持道路良好的使用性能，延长道路的使用周期，减少全生命周期的养护维修费用。

结合人工智能技术构建公路养护决策大脑，将多源公路数据、深度学习算法等深度融合。将收费业务、路政业务、气象数据、公路路况、行驶车辆情况、监控设备、路侧感知设备、地理信息系统等数据与养护工程直接相关的数据作为基础，为决策者和管理者提供多层次、多方位的养护辅助决策信息。如基于高速路网络多源数据，通过大数据分析建立模型，针对不同基础设施属性建立对应的性能预测模型，实现对高速路基础设施使用性能衰变的科学预测。在资金或目标水平控制下，对不同时间段内采取的养护措施进行经济寿命周期费用分析，确定对不同病害采取最佳的养护措施，进而确定出全寿命周期内高速公路可采取的养护策略。

4.3.2 公路表面病害检测

公路路面在通车使用一段时间之后,会陆续出现各种损坏、变形及其它缺陷,统称为路面病害。常见的有裂缝、坑槽、车辙、表面破损等。二维图像检测方式是目目前较为成熟的检测方式,很多公路所配备了相应的公路检测车服务于各个路段,但是可巡查病害类型较少。为进一步提高公路预防性养护水平,保障检测数据的真实性、准确性、完整性。引入人工智能技术后,预期实现效果如下:

■ 基于机器视觉的公路表面病害检测

应用人工智能技术能够使查找公路病害过程更加简单高效。巡查车利用安装在车上智能巡查设备,在 60km/h 以上速度下完成采集捕捉高速公路病害的高清图像,高效的完成病害检测任务。巡查车智能巡查设备和后台服务能够做到随时巡查、随时定位、随时留影、随时检查。在这个过程中以人工智能的图像识别为基础,利用多种技术如高清图像采集、4G/5G、北斗、大数据分析等相结合完成病害发现、采集、查看、确认、上报一体化工作,充分解决人工巡查所面临的遗漏、安全和准确性不足等问题。人工智能在养护巡查中也存在一些不足,例如巡查捕捉范围较窄,尤其是双向八车道的高速公路,至少需要单向两台巡查车共同巡查,无法实现单台车或设备一次完成所有车道的巡查任务;另外,当前可巡查病害类型较少,病害产生样本的不确定性,导致人工智能巡查判断有偏差。

■ 智能颗粒病害检测技术

部分地区使用基于传感器的预埋式采集手段来进行表面病害检测,比如智能颗粒技术,由于颗粒和集料的大小、形状类似,不仅能够采集路面结构应力应变,更能够模拟沥青混合料中集料的运动规律,为沥青路面内部结构信息提供更多的数据,如苏州 256 省道、G15 沈海高速及 G18 荣乌高速段等。通过智能骨料实时采集的骨料运动数据,对路面的力学性能进行评估,从而对路面路用性能进行预测,为路面养护提供数据支持。

4.3.3 桥隧病害检测

不同于公路病害检测,桥梁和隧道属于整体构造物,无损检测是桥隧病害检测的首选技术。以不损害被检验对象的使用性能为前提,应用多种物理原理和化

学现象，对工程材料结构件进行有效的检验和测试，借以评价它们的完整性、连续性、安全可靠性及相关的物理性能。针对需要了解的质量缺陷特性，利用一种或者多种地球物理勘探方法确定隧道结构健康情况。

桥隧病害检测主要有两种核心技术：摄像测量病害快速检测技术和激光扫描病害快速检测技术，它们能改善传统病害检测的不足，是隧道病害快速检测技术的发展方向，能过为病害检测提供指导作用。引入人工智能技术后，预期实现效果如下：

■ 结合无人机航拍与 BIM 技术的高速公路桥梁养护综合管理系统

如以 BIM 为核心，结合 GIS 技术、数据库技术、三维仿真与人工智能算法，将桥梁资产管理与养护集成到系统与平台中，以三维仿真方式将桥梁构造物、局部和细节信息更加直观的呈现，方便查看桥梁属性信息、维修记录、结构病害等级等。

■ 摄像测量隧道病害快速检测技术

由于工业相机的分辨率很高，尤其是线阵工业 CCD，分辨率高达 0.2mm/像素，经扫描后得到的衬砌影像，能够更加精准的检测出隧道内较细微的裂缝。但是，摄像测量隧道病害快速检测技术需要均匀性好的光源，光源均匀性的优劣，直接影响了图像成像的质量，进而决定图像识别算法的效果。此外，这种检测技术需要人工修正和计算机自动识别相结合才能完全自动识别隧道病害，由此产生的人工修正工作量就很大，能够探索结合人工智能全自动化识别的模型方法。

■ 激光扫描隧道病害快速检测技术

利用激光扫描器扫描，其优点是不需要特定的光源，从而成像质量较高。但其图像分辨率较低，例如瑞士 GPR5000 检测系统的图像分辨率仅是 5Mm/像素，而且不能对隧道病害进行自动识别。这种检测技术目前以人工分析为主，可探索将该技术与人工智能算法结合。

4.3.4 标志标线安全设施

公路交通标志、标线对保障驾驶员安全、顺畅行车具有重要作用，目前我国在交通标志、标线领域已经有了明确的设计、施工及验收标准规范，但标志、标线养护标准尚为空白，无法切实指导标志、标线的日常养护和管理，亟需开展标

志、标线养护技术标准的研究工作。《公路养护工程管理办法》、《公路工程标准体系》等均对交通标志、标线等道路附属设施养护的技术流程做出了明确的规定。结合现阶段检测技术的发展，引入人工智能技术后，预期实现效果如下：

■ 公路资产数字化管理系统

使用数字孪生的方式按照地形地貌影像、高速公路主路、互通立交、收费站、服务区、桥梁、隧道、出入口匝道、监测设备、标志标线、里程桩牌、情报板、照明设施、降噪设施、隔离带、反光设施等分层提供三维模型展示，实现高速公路基础设施的可视化巡查浏览，并可根据设备编号或桩号快速定位查询设备属性信息，为高速公路资产管理提供支撑，自动化生成台账、维护、保养和统计等的周报和月报。

■ 基于机器视觉的路面标线养护状态检测

结合视频数据对标志标线等静态设施进行自动化识别和智能化管理，特别是对于夜晚路面标线的反光性能等进行评估。

4.4 公路运营领域首要应用场景

如图 所示，人工智能技术在公路管理中的首要应用涉及收费稽核、自由流收费、治超执法共 3 个具体的业务场景。

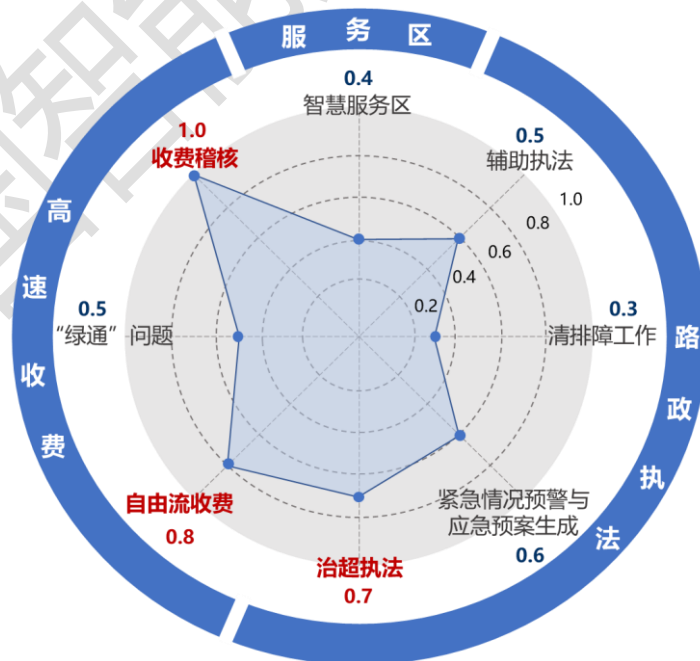


图 9 公路运营业务-场景应用优先级示意图

4.4.1 收费稽核

收费稽核主要应用机器视觉识别、知识图谱等算法，结合云边端计算、北斗导航等技术，完成目标功能。目前各项技术较为成熟，且具有迫切的市场需求，收费稽核领域具有更优先应用的可能性，引入人工智能技术后，其预期实现效果如下：

- 借助 AI 识别技术，快速感知车辆特征，实时稽核

当车载设备被恶意破坏、车牌与车载设备不符、车牌遮挡的情况下，借助 AI 识别技术，能够快速感知车辆特征。车辆信息与交易信息融合，通行与账务信息融合，提前分发至收费站，实现秒级实时稽核。

- 还原车辆行驶轨迹，精准收费

结合数据技术，在图片、视频全部上云的基础上，通过实时多流水路径融合、以及基于路网模型的可达路径还原，实现行车路径精准还原，突破以往单个设备只能提供有限依据的限制，助力精准计费。

4.4.2 自由流收费

自由流收费主要应用机器视觉识别、高速基础画像等算法，结合北斗导航、数字孪生、云边端计算、云服务平台等技术，完成目标功能。考虑到目前的技术水平与其预期效果，自由流收费领域具有更为优先应用的可能，引入人工智能技术后，其预期实现效果如下：

- 基于北斗系统的自由流收费技术

融合了高精度定位和路径识别技术、云计算、5G/4G、互联网、大数据等多种信息技术，通过北斗高精度路径识别结合云收费系统，可在不增加地面设施建设成本的前提下，通过高精度路径计算，实现车辆无感结算收费。北斗系统有厘米级的精确度，自由流收费技术下的车辆在行驶过程中不受车道隔离的限制，提高车辆通行效率，缓解拥堵程度；该技术衍生的识别技术、云计算、5G 等产业也符合智慧交通产业要求。

- 搭建云端服务平台，形成信用出行支付体系

采用“车辆终端定位+云端平台+高精度基准站”的组合技术解决方案，以车辆

为单位，以开放式互联网技术为依托，实现新型高速公路和市区用途综合收费模式。基于北斗高精度定位、云计算等新技术，实现北斗应用创新，形成符合我国国情的信用支付出行体系。由北斗高精度车载智能终端、高精度增强服务系统、道路服务云中心、信用评估系统、传输系统等构成，真正解决车辆行驶与静止情况下的车辆精准识别、路径精确识别、移动支付、实时精准结算等方面的问题。

■ 基于仿真自动化构建的不同场景下准自由流收费方案评价

基于高精度电子地图，构建与 BIM 系统等基础设施的数字孪生技术自动融合的多模式交通数字孪生，实现一键式仿真环境搭建。利用大数据发掘规律，建立收费站拥堵状态的预警模型，根据实时收集的收费站上下游交通流信息，输入到仿真系统中，对路网中可能产生的拥堵收费站进行预测。根据不同场景下的建立收费站收费方案，建立数学模型，在仿真平台中对收费方案进行分析、评价。

4.4.3 治超执法

治超执法主要应用机器视觉识别、机器语音识别、高速基础画像等算法，结合数字孪生、云边端计算、云服务平台等技术，完成目标功能。目前部分技术较为成熟，且具有广阔的应用场景，治超执法领域具有较为优先应用的可能，引入人工智能技术后，其预期实现效果如下：

■ 基于机器语音识别进行现场执法监查

在现场执法过程中，经常会出现执法人员态度不佳，激化与群众矛盾的情况。基于机器语音识别，管理人员能够携带录音设备或语音检测设备，通过关键词识别或音量识别等判断执法语气。

■ 建立治超非现场执法信息中心

建立治超非现场执法信息中心，一方面能够弥补交通安全管理空当，提高交通安全管理工作效率。非现场执法系统通过各种监测设备流动地、无规律地设置在重点路段，实现了对道路交通的全天候 24 小时不间断监控，同时节省了警力使其更多投入到路面管控中，提高路面见警率。另一方面非现场执法重事实、重证据，减少了人为因素干扰，进一步促进了公正执法。非现场执法针对的是各种交通违法行为，不会因违法对象的身份不同而区别对待，采集的违法数据真实确凿，录入计算机系统后，确定专人管理，严格设定管理权限，不能随意更改删除

违法数据，较大限度保障了公正执法。

■ 超载实现智能“自识别”

在不依赖外界检测设施、不加装车载传感设备的情况下，利用车辆和发动机网联数据，实现低成本、大规模的货车超载实时“自识别”。针对不同车型、速度、载重、坡度、道路类型等影响因素，建立高分辨率的车辆和发动机工况图谱库，建立车辆载重自学习人工智能算法与平台系统。

4.5 人工智能在公路领域的发展趋势

根据上述梳理与总结，结合当前人工智能技术的发展趋势，能够将人工智能在公路领域的发展分为四个阶段，分别是传统公路、初步智慧化公路、高度智慧化公路与完全智慧化公路，以此为基础上的人工智能在公路领域的发展路线图如图 7 所示。

阶段一：传统公路阶段。由于计算资源与数据采集手段的限制，公路建、管、养、运各环节数字化程度低，大部分依赖于人工的方式进行作业。如人工定线与外业勘测；人工巡查路、桥、隧病害；人工查看监控的方式发现事件等。这一阶段历经了较长的时间，数字化应用程度低。

阶段二：初步智慧化公路阶段。随着摩尔定律的发展，计算机的算力发展有了质的提升，人工智能算法开始涌现。同时，一些数字化的数据自动化采集手段被用于公路相关的业务领域，如毫米波与激光雷达、无人机等。然而，由于人工智能算法处于初步发展阶段，并未有效应用到公路领域各个业务环节，大部分人工智能的应用还是以机器视觉为主，如基于视频的车辆计数、交通事故、交通拥堵等典型事件检测。

阶段三：高度智慧化公路阶段。初步智慧化公路发展阶段由于各个业务环节数据尚未打通，导致许多人工智能算法无法完全应用。而随着多源数据的融合助力，人工智能算法应用趋于成熟。多种人工智能算法开始应用于建设、管理、养护、运营各个阶段如强化学习、数字孪生、自然语言处理等。基于数字孪生实现公路全生命周期的模拟与实时推演；基于成熟的推荐算法实现公路养护的自动化评价、资金分配与公路养护计划制定；结合多源公路数据，实现全天候高精度的

公路事件识别与应急处理等，人工智能呈现出多模态发展。

阶段四：完全智慧化公路阶段。随着数据采集处理技术、人工智能算法、计算机硬件等的发展与升级，人工智能在公路领域已有了成熟的应用，各个业务环节不再存在壁垒。如智慧公路元宇宙、新一代的智慧公路车路协同系统与自动驾驶等，人工智能百花齐放，开始进入新的发展时代。



图 7 人工智能在公路领域的发展趋势图

随着阶段的演化与发展，边端侧的计算能力与中心侧的训练能力均会经历由弱到强的转变，且由于人工智能等算法的发展，对算力的需求与依赖也逐步增强，算法的训练与部署也会由边侧转变为边、端、云协同的方式。当前我国人工智能在公路领域的发展正处在由阶段二向阶段三进行演化的阶段，伴随着数据规模与精准性的提升以及人工智能算法与模型的深入研发，人工智能在公路领域各个业务环境的应用会向多模态发展。

4.6 人工智能在公路领域应用技术架构与技术路线

公路领域的人工智能技术应用技术架构包括：“A 基础共性”、“B 人工智能基础技术”、“C AI 应用场景”、“D 公路领域应用领域”、“E 安全伦理”、“F 测试评估”六大部分。如图 8 所示。

基础共性：人工智能技术的应用是一个复杂的系统工程，涉及到多方面的基础性问题，规范其所涉及的基础性问题，是人工智能科学全面应用的前提。该部分重点开展内容包括人工智能软件、硬件设施和大数据底座。

人工智能关键技术和公路领域应用场景之间对应关系,结合行业调研及分析结果,按其应用技术的成熟度对两者的关联关系进行分类如表 2 所示。

表 2 人工智能关键技术和公路领域应用场景之间关联关系

技术成熟度	人工智能关键技术	公路领域应用场景
较成熟	<ul style="list-style-type: none"> · 计算机视觉识别 · 基于语义分析、机器视觉和智能分类技术的交通流数据处理分析技术 	<ul style="list-style-type: none"> · 养护期公路表面病害检测 · 养护期桥隧病害检测 · 管理期交通数据感知 · 管理期常态化交通检测与管控
初步应用	<ul style="list-style-type: none"> · 结合 BIM、CIM 的 3D 场景建模技术 · 基于人机交互技术的定位追踪预警技术 · 基于数据融合分析的云边端架构技术 	<ul style="list-style-type: none"> · 建设期外业勘测 · 养护期标志标线安全设施 · 运营期收费稽核 · 运营期治超执法 · 管理期异常事件检测与管控 · 管理期数据库建设与管理
实验室阶段	<ul style="list-style-type: none"> · 基于深度学习的地形地物、控制点等静态目标的目标识别技术 · 基于增强现实与类脑智能计算的横断面自动切割建模技术 	<ul style="list-style-type: none"> · 建设期定线与设计 · 建设期工程建设 · 建设期智能穿戴设备 · 养护期养护决策 · 运营期自由流收费 · 管理期伴随式信息服务

4.7 人工智能在公路领域应用系统架构

公路领域的人工智能技术应用系统架构包括：“AI 应用”、“AI 算法”、“AI 应用使能”、“AI 基础设施及工具”六大部分，如图 9 所示。

AI 应用：涵盖公路建设、管理、养护、运营四个方向，可包含相关的 AI 产品和 AI 服务这两大部分，AI 产品主要是服务于具体应用领域的智能化、信息化具体产品；AI 服务面向公路领域的具体需求，位于人工智能公路应用中的最顶层，强化及支撑公路领域的具体应用落地与需求对接。

AI 算法：由机器视觉识别、数据模型融合、人机交互智能设备、推荐算法、知识图谱、多源数据融合、高速路网画像等核心算法构成，能够为公路人工智能应用提供支撑。

AI 应用使能：包括边云协同、智能边缘、倾斜摄影、数字孪生、北斗导航等，能够为 AI 算法和应用实现提供支撑。

AI 基础设施及工具：归纳为公路人工智能应用涉及的软件开发平台和硬件计算平台两方面。软件平台包含 AI 开发工具和 AI 计算框架等，硬件计算平台包含 AI 端侧设备、AI 边缘设备和 AI 算力中心等。

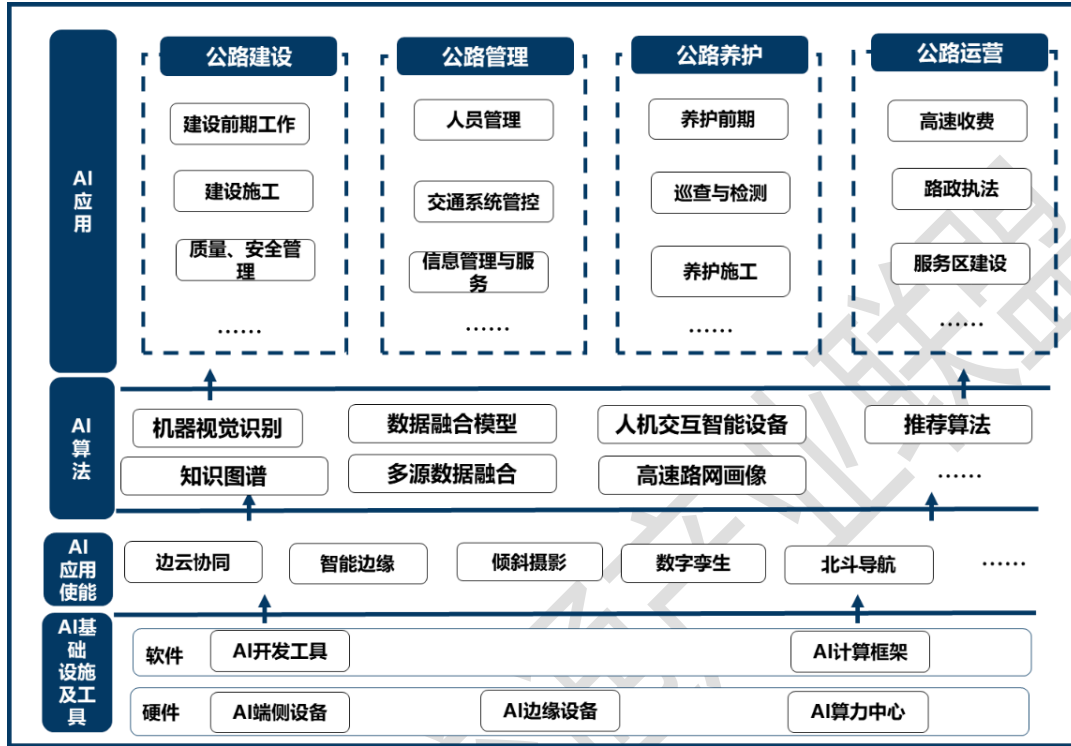


图 9 人工智能在公路领域应用系统架构图

4.8 面向公路人工智能标准体系

面向公路人工智能标准体系包含通用、共性技术、标准样本库及评价方法四个部分，如图 13 所示。

通用：包括术语、典型场景。典型场景包括在公路建设、管理、养护、运营四大场景的人工智能产品应用标准、安全规范等；

共性技术：包括数据采集、数据交互、算法库、模型库及平台架构标准；

标准样本库：包括文本样本、影像样本及语音样本，其中，文本样本主要指卡口、地图、浮动车、位置信息等标准数据库，影像样本主要指视频图片、地形地势等标准数据库；

评价方法：包括数据质量评价、算法性能评价、设备评价、应用水平评价及安全伦理，其中，应用水平评价主要包括应用成熟度评价、应用效果评价、产品

服务评价等，安全伦理主要包括隐私保护、安全可信及伦理符合性等。

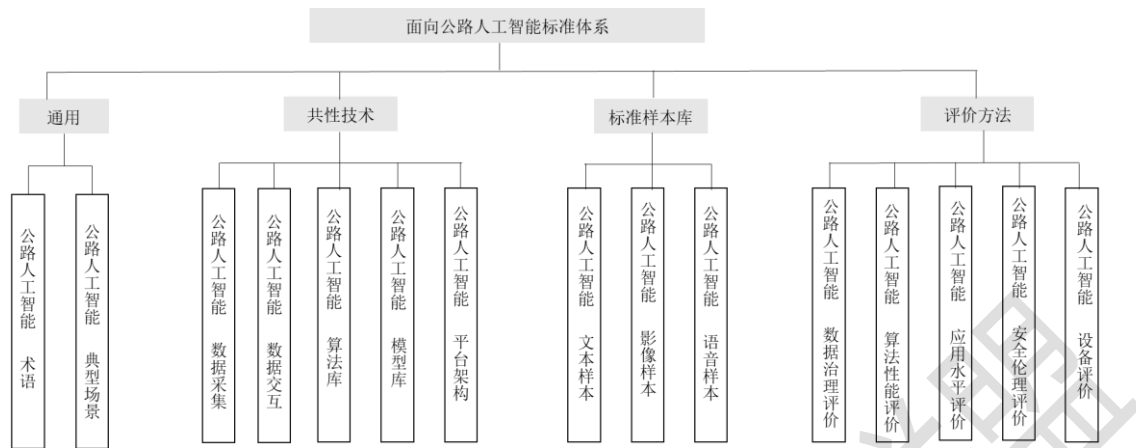


图 10 面向公路人工智能标准体系

五、人工智能在公路领域未来发展建议

本章在深入剖析人工智能应用于智慧公路的五点“卡脖子”问题的基础上，针对需要优先攻克的技术和政策关键问题，提出人工智能应用于智慧公路“建、管、养、运”领域业务未来的发展建议。

(1) 推进交通行业顶设，通过公路人工智能标准体系达成行业共识

人工智能在各行各业带来的颠覆性变革已经证明了其在提升传统业务职能和解放生产力的巨大作用。建议各智慧公路建设业主坚持适度超前原则，合理规划人工智能在智慧公路中的技术应用路线，推进行业标准建设。同时，各人工智能企业合理确定企业技术发展方向。通过利用人工智能为代表的有效技术手段，破解收费站服务区、车辆、道路路侧设施、交通流运行状态等与交通运行之间的复杂关联规律，发挥各部门所长，实现信息共享，积极实现交通事故风险状态的精确感知、道路交通事故风险的应急处置、道路交通设施多目标协同优化设计与主动安全调控，为解决交通安全技术难题提供科学依据和技术原型。同时，强化人工智能认证检验检测体系建设，完善认证认可管理模式。

(2) 加强多部门平台联动，建立信息协同机制

建议优化人工智能在智慧公路中的产业规划加速成熟。参考例如通信、电网等基础设施运营商的模式，建立由智能公路业务驱动的商业体系。辅以配套的投融资体制，鼓励多样化资本参与，探索市场化建设运营模式，完善针对智慧公路的财税金融体系，发挥政策性金融和商业金融各自优势，加大对人工智能在“建、管、养、运”领域的支持力度。

交通部公路科学研究院、交通部规划研究院、交通部科学研究院等相关规划研究部门为人工智能在智慧公路中的应用把好“运行控制关”。探索政府、地方国企、科技企业以及智慧公路业主四方在各自领域的协同。政府的定位是主导和指定规则，为产业赋能；地方国企的定位是贯彻政府的指导，开展商业化的运作，为科技企业提供资源；科技企业的功能类似发动机，提供技术支持；智慧公路业主做软硬件的运维，同时整合科技企业的能力，开展数据的采集使用和开放。通过人工智能具体技术在试点路段的应用推广，鼓励原始创新，强化资源统筹，有序推动重点路段人工智能落地应用。

(3) 建立大数据平台，促进人工智能生态共建共享

建议构建适合于人工智能算法的大数据底座，同时平衡数据隐私和开放使用。机制层面，建立政府间跨部门常态化协作和数据拉通的常态化机制。整合有关公路部门的管理职能，加强跨部门的顶层设计与动态评估。技术层面，积极探索例如联邦学习等分布式机器学习新技术在公路数据应用中的作用，做到“数据不出，事件照管”。此外，在数据和能力开放的同时，能够通过开源和低代码开发平台让更多生态企业获得更友好的支持。打通彼此设备信息，充分整合与利用人工填报及机器采集的数据。属地管理部门在日常业务开展过程中进行监督检查，并及时将数据及行为上报行业管理部门，在行业部门进行处置后，属地管理部门继续跟进落实整改情况，形成良好互动。研发数据融合标准规范，通过贴合实际场景持续升级的人工智能车路协同算法，满足服务的持续性和未来新需求升级的扩展性，提升整个路段的效率，同时服务于政府和合作伙伴，形成智慧公路数字运营的商业闭环。

(4) 推行精细化管理，促进资源合理配置

建议探索建立人工智能持续服务的机制和能力，通过精细化管理，促进资源合理配置。智慧公路基础设施的空间位置基本限定了各项业务在开始之初的地方属性，这种属性对标准化产品和服务提出了挑战，需要在一套标准的体系和规范的基础上深入了解不同省份不同路段的业主需求，以及对符合地方产业特点的生态企业持续开放，同时还要有持续打磨产品效果总结运营经验对客户推广的能力。各公路业主和人工智能服务企业应在人工智能信息化系统建立初期便商定周期性软硬件运维与服务机制，以实现人工智能可持续赋能场景应用。

(5) 降低一线工作人员作业量，注重落地应用效果评价

考虑到能力范围、时间效率、成本优化等因素，把人和机器作为整体部署的人机协同将成为未来智慧公路人工智能落地应用的主流模式。人机协同的模式是以人工智能算法为支撑进行推理推荐，并进行人和机器资源的合理配置，解决复杂问题。根据场景需求不同，具体的人机交互方式包括冗余、互补和混合三种方式。例如在交警场景，现阶段事件判别机器还是会收到静态（车道线、护栏等）和

动态（树荫、光照等）干扰物的影响。通过人机协同应用，由机器判断出重点可疑方向，结合交通管理专家的经验 and 洞察进行深入搜索，能够大幅度提升效率；在智慧工地场景中工件辅助测量工具等人工智能辅助装备也是应用之一。只有帮一线作业人员切实降低工作量，解放他们的生产力，人工智能技术才能在相应业务场景生根发芽，才能通过一线作业人员对使用人工智能技术的工具的好评与信赖，促进人工智能企业智慧公路相关业务的发展。

中国智能交通产业联盟

附录一：典型应用案例

结合行业调研及分析结果，选取当前人工智能在智慧公路领域前沿的应用案例，从应用背景、技术方案、主要功能等方面进行梳理，旨在体现人工智能赋能交通领域公路行业的初步成效，为读者提供参考。

(一) 五峰山过江通道绿色智慧公路建设

应用场景：安全保障全天候、出行服务全方位、运营维护全数字、绿色监管全寿命。

案例提供者：江苏省交通工程建设局、江苏交通控股有限公司、江苏宁沪高速公路股份有限公司、华设设计集团股份有限公司。

1、客户需求和方案简介

智慧高速践行交通强国战略，构建安全、便捷、高效、绿色、经济现代交通运输体系。近年来，交通运输部连续下发了关于交通领域的新型基础设施建设，加快推进交通强国建设文件，并开展新一代国家交通控制网和智慧公路试点工作。2019年中共中央国务院印发《交通强国建设纲要》，强调“交通装备要先进适用、完备可控，广泛应用智能高铁、智能道路、智能航运等”。2020年3月在中共中央政治局常务委员会召开的会议上，“新型基础设施建设”被再次提及，5G基建、特高压、城际高速铁路和城际轨道交通、新能源汽车充电桩、大数据中心、人工智能、工业互联网等七大高新科技领域受到了越来越多人的关注。

五峰山长江大桥南北公路接线位于江苏南北中轴线，是长三角高速公路网和江苏省“十五射六纵十横”高速公路网规划中“纵四”的重要组成部分，北接京沪高速，南连沪宁高速，是江苏的南北中轴，也是京津冀和长三角之间南七向最便捷的过江通道。五峰山长江大桥于2021年6月30日接线开通，工程全长33公里，概享投资93.58亿元，融合5G、车路协同、雾天诱导等前瞻性、先进性技术应用，是国内首条以“安全保障全天候、出行服务全方位、运营维护全数字、绿色建弯全寿命”为核心的“未来智慧高速”。目前线路的运营面临以下五个问题：交通流量大，重车比例高；高墩施工，节段预制箱梁；经济发达，资源环境条件敏感；桥梁比例高，芒稻河大桥难度大；软土分布广，处理困难。针对以上问题，

五峰山通道接线公路建设需要智慧化和综合化的解决方案。

五峰山过江通道绿色智慧公路建设以“打造未来高速，引领高速未来”为目标引领，基于以人为本的建设理念，创建绿色、智慧、平安的全国首条未来高速示范工程，在以下五个领域寻求突破：

(1) 车路协同技术在高速公路开放环境下的应用

实现基于手机终端的高速公路车路协同系统应用，构建面向未来的高速公路车路测试和示范应用体系架构和基于高速公路车路协同的异构多源信息融合系统理论框架，提出基于成本控制的高速公路车路协同路侧高精度感知技术路线，搭建了一个基于模式通信的车路协同仿真平台。

(2) 5G 网络全覆盖，并应用于高速公路

在 5G 网络环境下，设计基于高清视频和图像传输的技术方案，研究解决高清图传和飞行监控的关键创新技术，为现有视频监控平台的应用结合做好准备，涉及到无人机设备选型、5G 网络环境与配套工程建设、数据采集与现有平台应用结合、系统拓展(多源异构数据处理)等问题研究。

(3) 高速公里行车安全保障

首次提出和应用车道级雾天行车安全诱导系统，首次实现超微功率、超低功耗的车道级地面诱导灯应用。

(4) 感知路面技术与应用

基于相变感温调节、铁氧体增强感知及导热等原理分析，实现路面温度主动感知与调节、雷达监测效果增强、结冰监测预测等功能。

(5) “全数字 BIM+GIS”管养平台

通过 BIM 和 GIS 两个系统的集成利用，能够明显提高建模质量、分析精度、决策效率和成本控制水平，并实现设备自动巡检和实时在线状态评估。

2、具体解决方案介绍

五峰山过江通道绿色智慧公路建设考虑从设施选用、运行维护、系统兼容、可持续发展等多个维度综合统筹考虑，着眼于效果落地，通过研究、设计、实施，探索智慧高速建设路径，依托新建工程，展现未来高速场景，多维度融合，对建设方案进行体系化设计。图 1 为五峰山过江通道绿色智慧公路建设的系统层级

图：

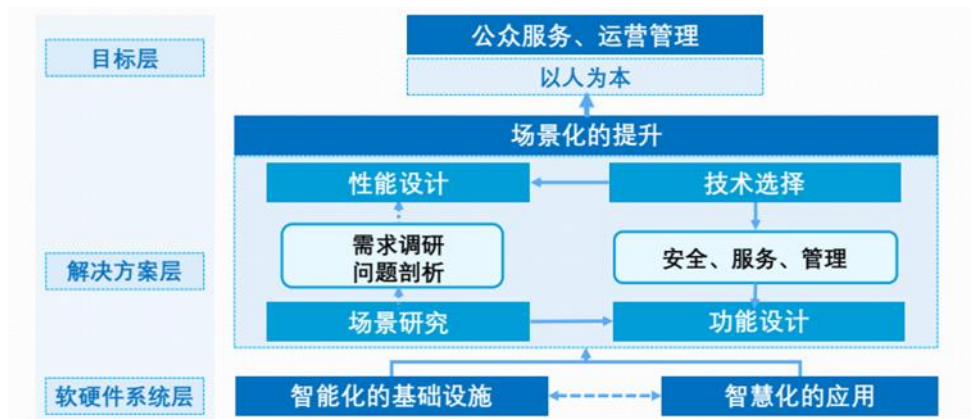


图1 五峰山过江通道绿色智慧公路建设系统层级图

项目建设分为目标层、解决方案层、软硬件系统层：

(1) 目标层-以人为本的建设理念

结合智慧公路的发展趋势，目标层考虑车路协同和资源整合趋势、信息处理智能化趋势、交通绿色化发展趋势、公路实用化发展趋势，以“以人为本”为核心建设理念，从安全保障、出行服务、运营维护和绿色建管四个方面出发，探索智慧高速建设和运营需要，探索前瞻性技术和试点示范创新技术在运营管理和服务业务中的应用需要，建设典型示范工程，为公众提供更加便利的服务，为相关部门提供更具价值的数据以及运营管理依据。

(2) 解决方案层-面向场景化提升

解决方案层主要分为性能设计、技术选择、场景研究和功能设计四块，通过前期对公路目前遇到问题的总结，以及针对性调研分析，对典型场景提出具体解决方案，对项目难点进行专题研究。主要场景包括安全保障全天候、出行服务全方位、运营维护全数字和绿色监管全寿命。项目难点包括车道级雾天行车诱导研究、车路协同技术研究及应用、基于无线探针的交通状态识别研究、基于4K+5G的无人机数据采集与分析研究和多维度主动感知沥青路面技术研究与应用。

(3) 软硬件系统层-关注智能化的基础设施和智慧化的应用

软硬件系统层分为“智能设施”和“智慧应用”两大块，两大块内容紧密联系，相互影响。智能设施涉及到基础设施的信息化和数字化，借助高精度地图、传感设施、高速发展的通信设备、云化计算资源、和安全系统提高基础设施的信息化水平，从状态感知、状态监测、大数据、综合管控等方面实现基础设施和状态的

数字化建设。智慧应用分为平安、服务和运维三大块。平安是考虑到恶劣天气（主要是雨雪大雾天气）、匝道处交通流引导、构造物结构等方面，服务应用电子支付、5G通信、信息发布、车路协同等技术支持，运维关注车辆识别、事件感知、车道级感知等方面，并提供管控和养护决策。以上丰富的智能硬件与一体化智能平台建设，是本集成建设的核心，并在运行数字化能力、管控智能化能力和服务运维现代化能力三方面进行赋能，为交通参与者和行业管理者提供更优质的服务。

3、方案实施后的价值或成果

2021年6月30日下午，五峰山长江大桥南北公路接线建成开通现场会举行，意味着五峰山长江大桥南北接线正式开通。这条高速全长35.8公里，北起正谊枢纽，南至大港枢纽，它是中国第一条未来智慧高速，也是江苏省内第一条新建八车道高速公路，是京津地区和长三角地区间南北向最便捷的过江通道。该项目借助5G通信技术、推进BIM、大数据、物联网、云计算等技术与高速公路建设深度融合建立全息感知的数据采集及传输系统，构建全数字管养平台，能够保障全天候条件下行车安全、全面提升了高速公路服务能力和数字化运维能力，让高速公路更智慧、更安全、更畅通。

(二) 沪杭甬高速公路智慧化提升改造项目

应用场景：高速公路主动管理、公路出行服务场景、路网运行综合监管和智慧服务数据处理平台、全方位多维度的道路运行路侧感知。

案例提供者：浙江沪杭甬高速公路股份有限公司、浙江高速信息工程技术有限公司。

1、客户需求和方案简介

沪杭甬高速公路作为浙江首条高速公路，全长247.9 km，串联环杭州湾内上海、杭州、宁波三个顶点城市、中心城市，承担着干线公路的功能，全线流量最大路段——红垦-沽渚段高峰日均流量可达12万辆次，大流量趋于常态化，交通事故率逐年增多。同时对应的感知、数据挖掘、信息服务、行车诱导、事故处理等能力不足，如何运用新一代信息技术，改善道路安全、提高通行效率成为沪杭甬智慧高速公路重点关注问题。同时作为我省营运高速公路智慧化提升改造的

示范工程，沪杭甬智慧高速公路立足于“快”，为我省营运高速公路智慧化提升改造打造一套可复制、可应用的方案，示范引领高速公路发展转型升级。

该项目主要亮点包括以下四点：

(1) 主动发现

以全方位多维度道路运行路侧感知设施为基础，试点多类前沿智能感知设备，通过集成多样单体设备的采集能力，融合智慧算法，初步形成全天候道路感知能力，提高主动发现率。

(2) 主动管控

以主动管控门架为主要载体，构建 8 套涵盖大部分交通事件的预案化信息发布场景，开发交通态势感知、特殊车辆跟踪、驾驶行为分析等 13 个算法，实行分车道通行指引、一键式实时发布事件预警等方式，初步实现车道级管控。

(3) 主动服务

以实施醒目工程为途径，在提升行车环境和客户体验的同时以提供情报板、时空标志牌、服务短信、广播等方式拓宽公众出行服务场景，实现多元化路况信息服务。结合互联网导航地图的信息推送，初步构建主动服务数字化能力。

(4) 协同管理

以施救一体化、施工审批一体化、路产理赔一体化等平台，联动交警、路政、保险公司等管理单位，在道路救援、施工管理、路损管理上形成联勤联动，初步构建一路三方的协同管理。

2、具体解决方案介绍

沪杭甬高速公路智慧提升改造的预期目标包括：建设安全之路，较大等级行车事故率降低 10%；建设效率之路，平均车速提升 8%，进出高速“零等待”，通行能力提高 20%；建设聪慧之路，交通全要素数字化，具有主动管控能力，公众出行全新体验。针对目前存在的问题，采用以下解决对策：增加前端感知设备，提升道路监测能力；建设综合大数据平台，挖掘分析数据潜力；完善信息诱导系统，建立主动管控能力；实施施救一体化，加强各方联勤联动；全面实施醒目工程，改善安全行车环境。

具体解决建设方案包括以下六个方面：

(1) 实时交通信息监测系统

该部分的建设涉及到交通流检测设备、交通事件检测设备和移动信息采集设备的选择和布置。主要借助固定摄像机、毫米波雷达、热成像摄像机、车载摄像机等设备完成交通运行状态信息实时监测、交通突发事件检测、无盲巡查、快速反应和处理、实时录像和按需调取等功能，并采用悬停技术来预防二次事故。

(2) 云控平台

云控平台包括路段级云控平台软硬件设备建设和数据算法层涉及。路段级云控平台软硬件设备建设内容包括大数据平台集群建设和虚拟化应用服务器部署。路段级云控平台数据算法层包含交通态势的实时计算、短时交通路况预测、智能交通应急疏导、驾驶行为分析、行程时间预测计算、偷逃通行费行为识别、事故现场勘查图绘制等交通智慧算法。

(3) 伴随式信息服务系统

在现有的可变信息标志基础上，新增枢纽区域可变信息标志和基于手机应用程序的伴随式信息服务，实时为用户提供伴随式信息服务。可变信息标志的设置具体为在沪杭高速乍嘉苏枢纽、沈士枢纽东侧分别安装 1 块可变信息标志，提示沪杭甬、杭浦、申嘉湖杭、乍嘉苏、嘉绍大桥、钱江通道、杭州绕城等路段通行情况；在宁波往杭州方向过境车辆远程诱导，在杭甬高速齐贤枢纽，红垦枢纽东侧分别安装 1 块可变信息标志，提示沪杭甬、钱江通道、杭州绕城、杭金衢等路段通行情况。

(4) 车道级交通控制系统

该系统包括基于车道控制标志的车道级交通控制和基于手机应用程序的车道级交通控制。基于车道控制标志的车道级交通控制依托沪杭甬智慧高速公路建设，通过间隔设置车道控制标志和交通指示信号灯、车道可变化管理，实现高速公路车道级管控，其中车道管控中心设在沪杭甬高速公路绍兴管理处监控中心，由高速交警绍兴支队一大队和绍兴管理处共同负责驻勤指挥和日常管理，根据通行时段、路面流量、占道施工、事故警情和天气条件等状况，采取相应管控方案。基于手机应用程序的车道级交通控制通过将可变车道路段起始和结束位置信息植入高德、百度等导航软件及“智慧高速”应用软件，利用手机应用程序，为用户

提供车道级交通控制信息。

(5) 服务区智能化系统和自由流收费系统

通过对长安服务区进行智慧化提升改造，提升服务区服务效率、服务能力和服务品质，降低综合能源消耗，“服务全程化、设施感知化、信息共享化、管理信息化、经营数字化”的建设目标。外场实施内容包括无线网络全覆盖、智能停车诱导设施、智慧路灯、智慧垃圾桶、客流、车流检测设施建设以及 4G/5G 的相关应用。自由流收费系统根据《深化收费公路制度改革取消高速公路省界收费站实施方案》（国办发〔2019〕23 号）、《交通运输部关于印发取消高速公路省界收费站总体技术方案的通知》（交公路函〔2019〕320 号）要求，完成收费管理与计算平台、收费站车道系统、主线 ETC 门架系统的建设，实现主线自由流收费。

(6) 基础配套系统

基础配套系统和设施包括设施智能运维系统、紧急停车带预警系统和智能装备研发。设施智能运维系统对主要运营设备运行状况的实时监测，集中显示各类运营设备工作状况，实现重大故障自动报警。紧急停车带预警系统，通过语音提醒规范正确停车、驶离、避让等驾驶行为，通过语音和显示屏提醒、警示过往车辆注意避让。智能装备研发包括球型绿化修剪机、移动作业智能警示装置、智能多功能预警车、吸铁车、运行设备“智慧用电 E 管理系统”等。

3、方案实施后的价值或成果

截至 2020 年，已经基本完成基本级智慧高速的初步建设与一级智慧高速的初步试点工作。沪杭甬一期工程针对沪杭甬试点路段进行了一般路段基本级智慧高速内容建设和完善，同时以 10 公里试点路段为基础探索和应用了一级智慧高速相关内容，主要包括对分车道交通流数据采集和异常事件秒级监测、交通流诱导与控制以及用户信息服务，最终评估认为行车时间标志牌、时空情报板、综合大数据平台、应用平台与存量系统升级和醒目工程达到基本级，智慧高速 APP、全方位多维度道路运行路侧感知设施、主动管控系统和服务区增量服务达到一级，相关应用技术成熟可靠，能显示多样化信息，社会接受度高，成本可接受。但受限于数据源的密度和质量，部分算法推广难度较高，需要更多数据支撑才能达到

更好效果。

(三) 雄安新区重点公路建设项目

应用场景：运行路侧感知，车路协同，路网运行综合监管，智慧服务数据处理平台。

案例提供者：交通运输部公路科学研究院。

1、客户需求和方案简介

自2019年8月，京雄、荣乌新线、京德高速公路陆续开工建设，到2021年5月底4条高速公路、3条普通干线全部建成，雄安新区“四纵三横”对外骨干高速网、主要干线公路网全部构建。京雄高速按照“世界眼光、国际标准、中国特色、高点定位”要求，着力打造便捷舒适高效畅行、安全耐久品质示范、绿色生态资源节约、智能运维车路协同、路域经济协同发展“五个全国先行样板路”。

作为雄安新区规划纲要中“四纵三横”区域高速公路网的重点项目，京雄高速对推动京津冀交通一体化有着重要意义。2020年，交通运输部智库专家一行到京雄高速进行智慧公路建设调研，指出当地要进一步明确智慧高速建设思路、实施路径、运行模式、技术手段，综合运用北斗高精定位、窄带物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术，努力实现路网调度智能化、出行服务精细化，着力打造成为“国际领先、世界一流”的新时代示范性智慧高速路。

京雄高速的设计将智慧创新理念贯穿始终，除了为实现车路协同和自动驾驶而进行建设准备，同时进行基础设施数字化和智慧收费方面的研究应用。为了推进创新“智”造，全面打造智慧高速，京雄高速建立如下计划：通过试用无人驾驶施工机械集群进行作业，无人驾驶施工设备搭载北斗定位系统，可实现自动预警、紧急停车、自动避障等安全防护；使用超高性能混凝土材料，使桥梁结构具有优良的抗腐蚀、抗磨损性能，基本达到与主体钢结构同寿命；建设智慧基础设施，提供车路通信、高精度导航和合流区预警等服务。

2、具体解决方案介绍

雄安新区对外骨干路网的总体建设特点包括三个方面：一是拼出了“雄安速度”，河北省交通运输厅从2017年开始，利用两年时间编制完成涵盖铁路、高速

公路、普通干线公路、水上交通的雄安新区综合立体交通规划；二是创造了“雄安质量”，在安全性、耐久性、舒适性方面均重点研究，提供高标准、高质量道路和交通服务；三是创制了“雄安标准”，创建高速公路建设“地方工作包干、项目业主包建”新模式，为解决建设用地、房屋征收、附属物补偿、地方工作等影响高速公路建设因素提供了河北样本。

相应的，京雄高速智慧高速建设的具体解决方案包含以下内容：

(1) 智慧车道建设

京雄高速项目担负着车路协同在高速公路领域的应用测试、拿牌取证，实现高速公路无人驾驶的先行示范的使命。京雄高速在设计之初，在两侧的车道都各预留了一道智慧出行专用的车道，能够实现准全天候驾驶和智慧驾驶的功能。通过在道路两侧设置的监测和气象、车况的采集设备，把采集到的数据经过智慧中心进行处理之后，实时通过道路上的显示屏或者 wifi 信号基站，然后投送到在路上行驶的车辆，达到路况和天气的准确预报。同时将车道用于车路协同应用场景测试，实现无人驾驶公交、网联车队的上路运行，并在远期实现全路段所有车道的车路协同，也就是无人驾驶。

(2) 智慧管控建设

在智慧管控建设方面，京雄高速以准全天候、精准化的出行服务和科学决策、智能管控的综合管理为主线，综合运用北斗高精定位、窄带物联网、大数据、人工智能、自动驾驶等新一代信息技术，提供车路协同、准全天候通行、全媒体融合调度、智慧照明、综合运维公众化等智能服务，逐步实现管理决策科学化、路网调度智能化、出行服务精细化、应急救援高效化。

(3) 智慧基础设施建设

京雄高速将在国内首次设置智慧高速专用车道，实现无人驾驶公交、网联车队的上路运行测试。同时，京雄高速在全线设置了 3700 余根智慧灯杆，使用的智慧灯杆是以照明灯杆为基础，整合了能见度检测仪、边缘计算设备、智慧专用摄像机、路面状态检测器等新型智能设备，利用北斗高精度定位、高精度数字地图、可变信息标志和车路通信系统等，能够提供车路通信、高精度导航和合流区预警等服务，具备了智能感知、智慧照明、节能降耗‘一杆多用’的功能，实现全

线照明“车来灯亮、车走灯暗”的效果，保障行车安全，有效降低能耗。

3、方案实施后的价值或成果

截至 2021 年年底，京雄高速六环至市界段已经主体完工，进入桥面铺装阶段。京雄高速北京段建成后，全线将成为北京连接雄安新区最便捷的公路通道，两地通行时间将缩短至 1 小时。同时，它也是北京中心城区、北京大兴国际机场连接雄安新区最便捷的高速公路通道，对推动京津冀协同发展交通一体化发展具有重要意义。如今，京津冀地区的铁路、港口、机场等方面的交通基础设施均在加速推进。随着交通一体化建设的不断完善，也有力带动了三地的经济社会发展，增进民生福祉。

(四) 收费稽核项目

应用场景：收费稽核，自由流收费，大数据稽核云平台。

案例提供者：华为技术有限公司。

1、客户需求和方案简介

(1) 客户需求

高速稽核工作的目的不仅是为了加强营运管理，而且是完善高速公路内部检查监督机制，对通行车辆收费情况及营运工作的各个环节进行适时监督、指导及考核。

当前传统稽核业务模式以人工为主，缺乏与物联设备联动，稽核手段单一，能力低下。各现有业务系统之间数据不互通，业务创新难，无法形成稽核生态，难以满足新形势下的高速公路收费需求，整体在稽核管理方面，普遍存在如下痛点：

1) 稽核手段单一，偷逃费行为难以遏制

传统人工方式人力成本高，效率低；车辆通行数据庞大，人工稽核难以确保精准；业务系统存在信息孤岛，未能形成链路，缺乏证据链；换卡逃费、缩短缴费里程；甩挂运输，重车短缴；干扰收费设备。

2) 稽核信用体系缺失

行车信息与社会信用未形成关联，无法针对人车黑名单、灰名单、预警名单

等信用低下的情况通过专项规则制约社会信用，从而形成良好行车规范。

3) 稽核业务体系老化

各业务系统存在信息壁垒，无法形成稽核生态；稽核执行方式、计费方式、协同方式老化；告警误报率高；偷逃费行为数据库落后，稽核模型落后。

4) 统一运维需求

为保障系统的安全可靠运行，提高整体系统的可用性，需在省/区域联网中心部署统一的网络管理系统，通过分权分域向省/路段中心提供运维账号，实现对全网设备的统一管理。

(2) 方案简介

现阶段，我国高速公路收费稽核主要依靠人工实施，缺乏科学的思路方法以及行之有效的管理手段。如何保证汽车通行路径还原准确性、收费证据采集可靠性、收费数据传输过程中的安全性等问题，构成了当前高速收费稽核模式的巨大挑战。

项目在设计时应该基于稽核本身的业务出发，结合当前信息新技术来实现。通过信息化的手段实现高速公路常态化运营管理，确保对收费从业人员的合理合法管控，对外部车辆的收缴费情况、内部人员的工作情况，以及其他重要生产经营性业务进行的稽核与监督。

1) 建立基于高速边缘一体机+AI 视频图像智能分析系统，为稽核业务应用提供多维基础数据支撑

完整、正确地接收高清卡口标识点设备的数据，利用 AI 图片智能识别、AI 图片压缩、业务流水网关、边缘计算技术等，完成车辆多特征识别、驾驶员多特征识别、图片压缩、数据传输、证据图片上传、证据链生成等系列功能，实现多流水数据融合，以得到完整、有说服力、实时的收费稽核证据，为稽核业务应用提供基础数据支撑。

2) 以业务场景为基准，建立稽核基础应用平台

通过路网模型、图搜服务、标签体系、稽核模型、路径拟合、海量图片管理等多维 AI 稽核引擎，支撑多个稽核应用场景。优化稽核业务支撑体系，完整还原车辆行驶路径、人车信息，进行行车行为预测、监督、统计、分析等，为稽核

应用提供准确信息支撑。

3) 构建稽核生态体系，形成稽核业务闭环“一张网”

建立全省高速公路全方位、多层次稽核运营中心，以有效分析稽核业务情况，建立稽核模型；以“内外部稽核、专项稽核+稽核证据链”方式，形成稽核闭环，构建稽核生态体系；赋能公共服务，提升稽核生态能力。

2、具体解决方案介绍

云-边-端总体方案如图 2 所示：

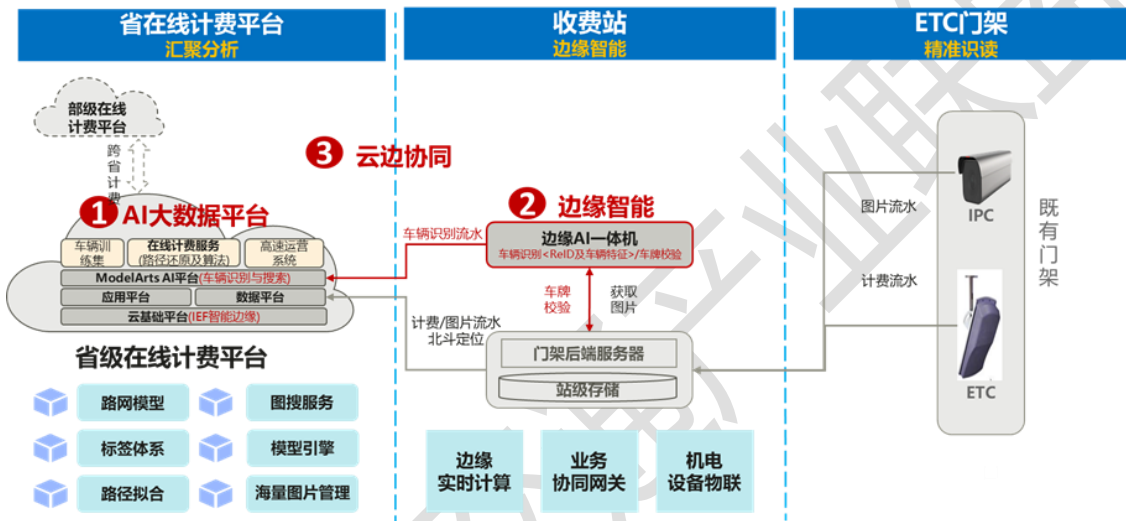


图 2 云-边-端总体方案

如图 2 所示，本项目方案基于云边协同能力，提供端到端的一体化收费稽核解决方案。边侧（含收费站、路侧以及路段分中心的边缘计算节点）、云端大数据平台（省中心）形成云边协同能力，以数据（收费流水、车辆视频/图片、车辆 ReID 等）为生产要素，通过智能化边缘、大数据平台协同进行智能分析实现精准实时收费稽核业务。

高速收费稽核联合解决方案涵盖了“云边端”的全联接服务，由端侧、边缘侧、云侧三个部分组成。

端侧包含了各种物联设备和其他数据。其中终端设备包含 RSU 天线、摄像头等设备。其他数据中，源系统包含了车道系统、门架系统等源数据；外部系统包含了车管所、部中心等外部源数据。

边缘侧为华为提供的收费稽核一体机。其中包含了设备物联协议适配服务产品，通过集成向下联接物联端和设备端，能够全方位监测管理端侧设备；通过多

级图片压缩、传输、存储处理服务产品，实现云端传输时减少设备响应时间，降低从设备到云端的数据流量。华为侧包含 Atlas 系列服务器、昇腾 310 处理器、鲲鹏 920 处理器等相关产品，实现边缘计算+AI+物联网的组合。

云侧包含了路网模型、图片服务、标签服务在内的稽核引擎、计费引擎底座和常用的 PaaS、大数据等 ICT 技术，华为云数据处理相关产品。提供业务应用信息稽核、计费、设备运行监测业务场景。

3、 方案实施后的价值或成果

某省是全国 4 个最早按实际路径收费的省份，取消省界收费站前，120 个识别点牌识流水补充的计费精准度 99.99%，根据最短路径和实际路径系统并行运行，对比分析结果为：实收提升稳定在 2 亿/年左右，取消省界收费站后，1200 门架牌识+AI 加持，计费准确率：99.99%，边缘实时计费为 MTC/ETC 提供多维融合的按实际路径精准计费，实收提升的同时降低舆情。

(五) 视频云联网 2.0 事件检测项目

应用场景：视频云联网，高速视频事件检测。

案例提供者：华为技术有限公司。

1、 客户需求和方案简介

(1) 客户需求

2019 年开始，交通运输部开始推进全国高速公路视频联网及上云工作，视频多数停留在观看展示等层面，分析、响应严重滞后。同时存在高速公路数据无法对外提供，行业 AI 算法厂家缺少获取数据优化训练、提升算法效果途径，导致高速公路数据资产无法转化为实际行业积累。部分路段、隧道已应用的交通事件分析设备，实际应用中存在大量误报，导致用户体验不佳，智能成为摆设。

XX 省视频联网的对于高速视频检测需求如下：

1) 高速视频事件实时 AI 分析：通过统一部署 AI 推理平台，对高速路段接入视频进行 AI 事件检测分析，对高速公路视频不止实现“看到”，同时实现“感知”。

2) 数据持续本地训练：以云边协同的理念构建业务架构，中心侧建设轻量

化 AI 训练推理平台，通过对高速公路数据进行本地化持续训练，优化事件检测 AI 模型，提升准确率，使能业务持续演进。

3) AI 手段辅助优化路网管理运维：高精度的视频事件 AI 分析结果上报至省平台，使能省平台实时感知高速路况，帮助业主更好地实现路网管理运维。

(2) 方案简介

为满足部级视频联网监测应用需求，视频云联网，构建“云、管、端”一体化的部、省两级视频云联网平台。通过云服务实现全国高速公路沿线视频监测设备资源汇聚并联网应用的云平台，该平台方案采用云边协同架构的人工智能技术，优化线网高速事件检测能力，提升响应效率（如图 3 所示）。

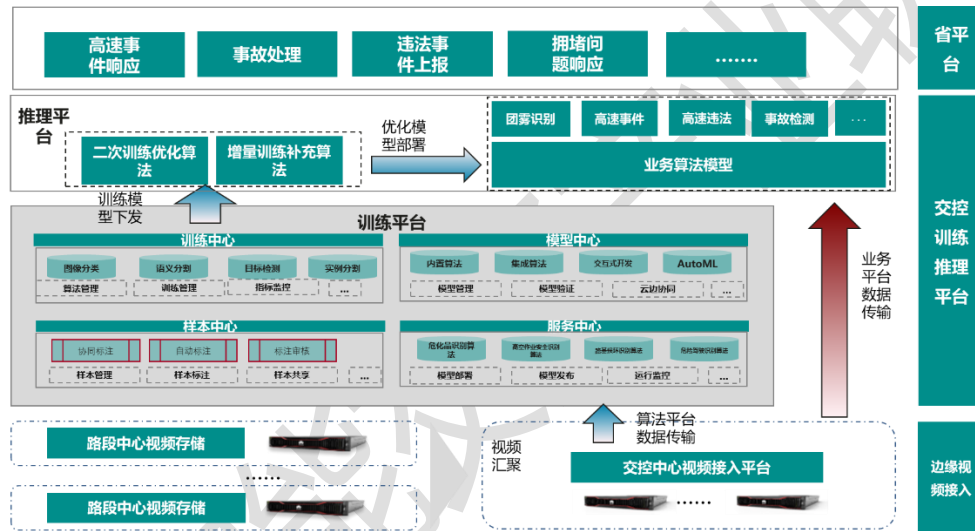


图 3 视频云联网平台

2、具体解决方案介绍

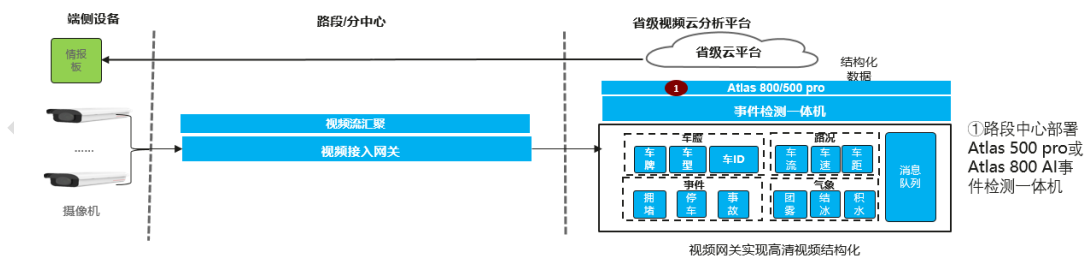


图 4 省/区域联网中心部署中心云平台

省/区域联网中心部署中心云平台。中心云平台为上层应用提供计算/网络/存储基础设施、数据服务和 AI 服务。路段中心部署安全网关、交换机等设备，实现一体化视频站点数据汇总及上传。

一体化视频站点系统部署工业交换机，视频监控摄像机，实现视频数据采集及前端处理等功能。

智能视频网关系统支持视频转码处理、管控和视频智能分析等功能，进而上传到省级视频云平台做视频共享。在路段侧实现对路况、事件和气象等特征库的提取，基于此特征库对拥堵事件、交通事件、平均速度、公路流量、公路气象等开展监测分析，同时能够扩展至车流量监测、拥堵治理、收费稽核等场景，进而达到降低高速公路运营成本，提高公路出行效率的业务系统目标。

3、 方案实施后的价值或成果

部署在东部某省涉及 80 路视频实时分析，常见关键事件（行人检测、交通拥堵等）准确率 $\geq 94\%$ ；非常见关键事件（倒车、逆行等）平均准确率 $\geq 87\%$ 。

(六) 江北新区公路管理平台项目

应用场景：人工智能公路管理辅助决策、路长制公路管理机制。

案例提供者：东南大学交通学院。

1、 客户需求和方案简介

加快推荐智慧交通发展，大力发展“互联网+”交通运输，提供行业科技创新能力，完善治理体系，江北新区智慧公路管理平台，面向公路管理人员进行统揽全局管理工作而系统建设，有助于为辖区内公路畅通提供有利的养护与路政管理保障，可进一步发挥公路资源信息优势和综合管理效能，提升公路的社会服务品质。该平台能够支持路网可视化、路长制管理、公路建设、公路管理、公路养护、公路运营等功能。

2、 方案实施后的价值或成果

(1) 强化顶层设计，优化管理模式

该平台系统设计结合交通理论和信息化发展优势，着重关注构建智慧化交通顶层设计。通过接入公路交通基础设施信息，交通业务管理信息，交通执法相关信息，创建整合管理数据库，实现全方位统一应急、全视角立体指挥，建立统一综合的大数据中心，整合各管理科室和部门的业务数据，通过数据融合，分析日常管理业务的潜在规律，做好提前预警和规范交通管理，提高交通防灾、减灾、

和应急保障能力。在进行交通顶层设计时，主要考虑解决以下问题：

- 解决科室、部门之间信息共享程度低的问题：由于江北新区公路管理站之前采用纸质化材料管理，且科室部门数量多，导致信息无法互联互通或信息延迟的问题，交通数据呈现碎片化分布、信息利用率低且融合程度差。因此，本管理平台首先需要从交通顶层设计出发，解决信息共享程度低的问题。
- 解决海量交通数据难以得到充分利用问题：各个科室存在数据标准和格式不相同，海量数据无法及时共用，导致对交通信息的感知和收集能力有限，数据潜在价值没有得到有效挖掘，使得数据没有发挥其应有的价值，缺乏数据分析在交通监控、交通指挥等场景下发挥事前预测、事中管理和事后评估的智慧化决策支持的作用。

(2) 全方位感知公路管理业务

该平台系统使用车载定位、高清视频终端和可穿戴式高精度北斗定位终端对一线养护人员、车辆设备进行养护监管。同时，平台 APP 端实现对养护、路政管理人员的养护作业轨迹查询，及形成了利用高端物联网、云计算、大数据分析、机器视觉、人工智能技术、电子传感技术、电子监控技术、电子控制技术以及计算机处理技术等对路网状态、公路养护管理实现“可视”、“可测”和“可控”。

(3) 建立面向大数据分析处理的数据仓库

选用关系数据库管理系统和 GIS 地理信息系统为基础，包含数据应用和图形处理等子系统，利用复杂数据模型、动态分析等新技术，革新了公路养护管理工作的方式，提高了工作效率、对数据分析处理的能力，建立养护方案库和提前养护研判。通过成熟的数据仓库数据加载技术，极大的提高了表格数据加载的运行速度，随着数据量的不断增大，这一优势将更加明显。

(4) 建立智慧化四好农村公路管理机制

该平台通过实现四好农村公路建设项目管理、基础设施信息档案管理、路长制网格化+实名制管理、考核评定、养护路政智能巡查，应急事件管理、GIS 地图管理、机料管理功能，全面建立智慧化四好农村公路管理机制。主要对农村公路基础设施、人员、项目、事件、车辆信息化统一管理，实现数据互联互通。在

手机 APP 进行养护巡查，以文字、图片多形式记录快速上传巡查情况。实现对路长信息、管辖范围、路线、路段、桥梁、涵洞、隧道、沿线附属设施、绿化、路域环境等管控基础数据的信息化管理，打通各级管理责任主体的沟通反馈渠道(如图 5 所示)。



图 5 南京江北新区智慧公路管理平台

附录二：调研过程展示

(一) 调研单位

为全方位、多角度的反映人工智能在公路领域的现状与问题，提高报告的准确度与规范性，敏锐洞察行业内的痛点与难点，摸索未来发展趋势，在撰写本报告的过程中，选取行业内 20 余个单位与部门，涵盖了省部级单位、市级交通事业单位、设计院等行业部门、高新技术企业，从公路建设、公路管理、公路养护、公路运营四个方面切入，开展了为期 3 个月的调研。调研单位列表如表 1 所示。

表 1 调研单位列表

单位名称	具体部门
交通运输部公路科学研究院	国通集团 智能交通研究中心 基础研究创新中心 道路交通安全研究中心
交通运输部路网监测与应急处置中心	收费公路联网结算管理中心 路况监测处 信息与技术保障处
华设设计集团股份有限公司	综合规划研究院 交通事业部 智能交通研发中心
华为技术有限公司	公路军团 中央研究院 行业标准部
山东高速集团有限公司	养护技术中心 道路技术研究中心
浙江高信技术股份有限公司	云研究院 智慧建设事业部 智慧交通事业部
浙江数智交院科技股份有限公司	公路设计研究院 建造与养护中心 智能交通研究中心 BIM 技术中心
江苏省交通运输厅公路事业发展中心	路网管理科 养护管理科 建设管理科 农村公路管理科

江苏高速公路工程养护有限公司	桥梁养护处 京沪养护处
江苏省高速公路联网运营管理中心	联网中心信息服务中心
苏州市交通运输指挥中心	智慧交通事业部 运营支持中心
苏州公路事业发展中心	科技信息科 路网管理科 建设管理科
浙江智慧交通研究院	智慧高速中心

(二) 调研形式

在调研过程中，受疫情影响，开展线上与线下两种形式的调研，线上调研主要包括线上会谈与问卷调查，线下调研主要包括圆桌会议与专家访谈。图6展示部分调研记录。





图 6 部分调研记录

(三) 调研结果梳理

对于调研结果，从横向与纵向两个维度进行梳理，全面且清晰的总结了此次调研成果，共计梳理出 50 余场景并进行分析。横向分公路建设、公路管理、公路养护、公路运营四个领域进行梳理，纵向按照调研报告逻辑进行梳理，包括业务介绍、传统与现有方法、现状问题、人工智能引入后方案与预期效果、使用的人工智能技术、输入与输出、已有成熟案例、参考资料、调研单位九个模块。

中国智能交通产业联盟

北京市海淀区西土城路8号（100088）

中国智能交通产业联盟印刷

网址：<http://www.c-its.org.cn>

2022年12月第一版 2022年12月第一次印刷