

5G 赋能交通运输智能化发展

白皮书

(征求意见稿)

中国智能交通产业联盟

中国智能交通产业联盟

IMT-2020 (5G) 推进组 C-V2X 工作组

2023 年 11 月

目 录

1. 5G 赋能交通运输智能化发展概述	1
1.1 政策持续推动 5G 与交通运输智能化融合发展	1
1.2 产业持续发力 5G 赋能交通运输智能化发展	3
1.3 小结	7
2. 5G 赋能交通运输智能化发展的场景研究	8
2.1 高速公路场景	9
2.2 港口作业场景	19
2.3 城市交通场景	23
2.4 小结	29
3. 5G 赋能交通运输智能化发展的关键技术	30
3.1 概述	30
3.2 网络优化与终端优化关键技术	32
3.3 网络性能增强关键技术	36
3.4 业务可靠性提升关键技术	38
3.5 小结	42
4. 5G 赋能交通运输智能化发展的发展建议	44
4.1 加强政策规划牵引	44
4.2 强化技术标准创新	45
4.3 推进产业生态融合	46

引言

以 5G 为代表的新一代信息技术与交通运输智能化融合发展已成为支撑交通强国、网络强国、数字中国等战略部署的重要发展方向。当前，我国 5G 网络覆盖不断完善、服务能力不断提升，已具备赋能交通运输智能化发展的先发优势；另一方面，交通运输智能化发展需求迫切，在智慧高速、智慧港口、智慧城市交通等场景下已经开展了诸多探索。二者跨行业融合发展的强耦合形态已经形成，当前正处于基础设施建设与场景落地齐头并进的重要窗口期。

本白皮书从政策和产业方面分别总结了 5G 赋能交通运输智能化发展的整体情况；从高速公路、港口作业、城市交通三个场景具体阐述了 5G 赋能交通运输智能化发展的场景价值及技术需求；从网络优化与终端优化、网络性能增强、业务可靠性提升三方面分析了 5G 赋能交通运输智能化发展的关键技术。最后，为推动 5G 与交通运输智能化融合发展走深向实、应用规模化落地，本白皮书从加强政策规划牵引、强化技术标准创新、推进产业生态融合等方面提出了发展建议。

1. 5G 赋能交通运输智能化发展概述

1.1 政策持续推动 5G 与交通运输智能化融合发展

当前，全球新一轮科技革命和产业变革深入发展，数字化转型已成为交通运输发展的大势所趋。党的二十大报告明确提出建设交通强国、网络强国、数字中国。国家“十四五”规划要求大力发展数字经济，提出加强数字基础设施建设，协同推进数字产业化和产业数字化，赋能传统产业转型升级，培育新产业、新业态、新模式；提出推动 5G 商用部署和规模应用；提出有序推进基础设施智能升级，加快推进能源、交通运输、水利、物流、环保等领域基础设施数字化升级。由此可见，5G 与交通运输智能化融合发展已成为落实党和国家战略部署的重要方向。

一方面，政策支持我国 5G 网络服务能力不断提升。2020 年 4 月，国家发展改革委明确“新基建”范畴，明确 5G 网络是重要的信息基础设施。工业和信息化部先后编制印发《关于推动 5G 加快发展的通知》《“双千兆”网络协同发展行动计划（2021-2023 年）》《5G 应用“扬帆”行动计划（2021-2023 年）》《“十四五”信息通信行业发展规划》等政策文件，支持 5G 网络建设，推进其赋能行业应用。截至 2023 年 9 月底，我国 5G 基站累计达到 318.9 万个，占全球 5G 基站总数的 60%以上，完成所有地市、县城城区和几乎所有乡镇镇区的室外连续覆盖，京津冀、长三角、珠三角等地区的部分行政村也实现了 5G 网络覆盖。我国 5G 行业虚拟专网建设数量呈现爆发式增长，截至 2023

年9月底，5G行业虚拟专网数量超2万个，可为行业提供稳定、可靠、安全的网络设施。《“十四五”信息通信行业发展规划》提出，力争到2025年，每万人拥有5G基站数达到26个，5G用户普及率从2020年的15%提高到56%；加大5G在工业、能源、文旅、交通等重点行业领域的推广应用，形成一批5G应用示范标杆。全国31个省市自治区发布了与5G行业相关的政策，重点任务主要集中在5G网络建设、5G与智慧城市或智慧交通基础设施融合等方面。

另一方面，政策推进5G深入赋能交通运输智能化发展。在交通强国战略背景下，2019年7月，交通运输部印发了《数字交通发展规划纲要》，提出推动交通运输基础设施与信息基础设施一体化建设，构建5G应用场景和产业生态。2020年8月，交通运输部印发《关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见》，推进5G协同应用，逐步在高速公路和铁路重点路段、重要综合客运枢纽、港口和物流园区等实现固移结合、宽窄结合、公专结合的网络覆盖。2021年交通运输部发布的《数字交通“十四五”发展规划》，明确将部署5G应用网络纳入“一脑、五网、两体系”的数字交通发展格局，提出以应用为导向，稳步推进5G与交通基础设施融合发展。《国家综合立体交通网规划纲要》中明确到2035年，交通基础设施数字化率要达到90%这一量化指标。《加快建设交通强国五年行动计划（2023—2027年）》提出实施智能交通先导应用试点工程，在自动驾驶等方面组织试点项目50个，实施公路数字化专项行动，推进智慧港口建设。此外，交通运输部先后出台《关于推进公路数字化转型加快智慧公路建

设发展的意见》《公路工程设施支持自动驾驶技术指南》等，提出推动公路设计、施工、养护、运营等全生命周期的智能化发展，对公路工程设施中的通信设施、定位设施、路侧计算设施以及技术指标进行了统一，明确了 5G 技术在多个环节的深度融合应用。

1.2 产业持续发力 5G 赋能交通运输智能化发展

一方面，信息通信行业积极提出 5G 赋能交通运输智能化发展的解决方案。随着 5G 网络基础设施的部署范围逐步扩大、服务能力逐步提升，5G 赋能智慧公路、智慧港口、城市交通等领域的落地方案逐渐增加。自 2019 年起，工业和信息化部“绽放杯”5G 应用征集大赛智慧交通专题赛已经连续举办 5 届，参赛项目总数逐年增加，有效推动我国 5G+智慧交通应用发展不断创新并走深向实，在行业内产生了显著影响。其中，智慧公路、智慧港口、城市交通、智慧物流等方向项目占比高达 58%，且 5G 已全链融入基础设施建管养运、公众出行信息服务、交通行业治理等领域。

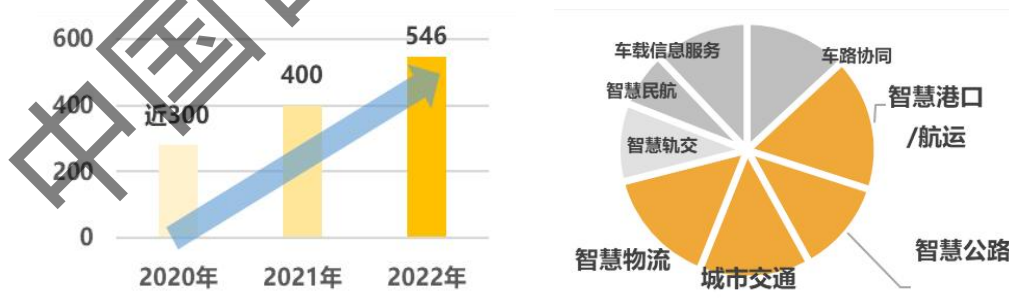


图 1 “绽放杯”5G 应用征集大赛智慧交通专题赛项目情况

电信运营商积极入局交通运输智能化发展。中国电信、中国移动、中国联通等电信运营商发挥 5G 网络建设与运维、信息化专业技术能

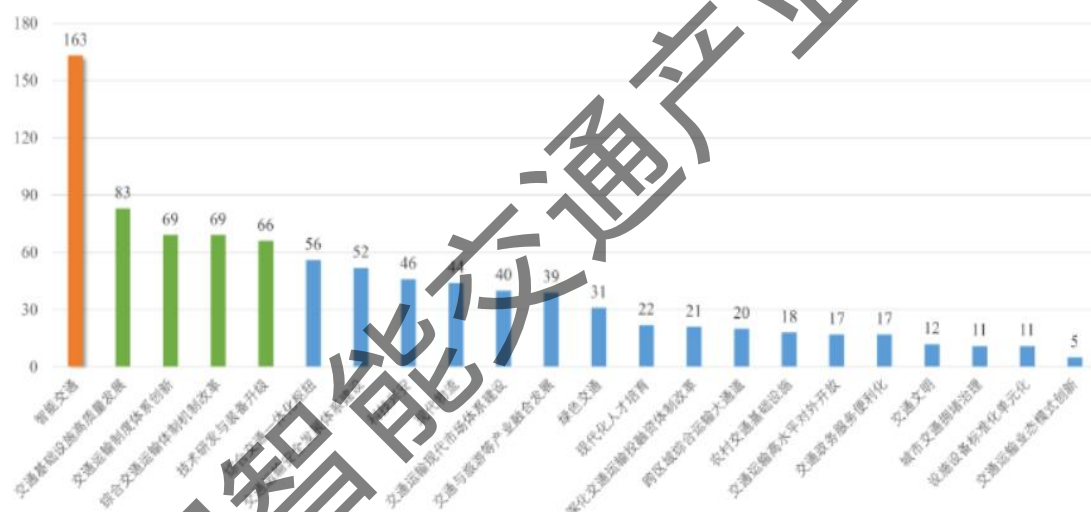
力、C 端用户规模庞大等优势，逐渐成为交通运输智能化发展的关键解决方案商。中国电信组建了天翼交通科技有限公司，致力于成为面向自动驾驶的国家级车路协同智能交通运营及服务提供商，发布了 ITS Wing 交通运输数字大脑和 Hello Way 数字道路等产品；中国移动获批交通强国建设试点，承担 5G 智能交通信息基础设施、5G 车路协同和智慧公路、5G 智慧航运技术创新及应用试点，发布了 OneTraffic 智慧交通平台等产品能力；中国联通依托联通智网科技公司组建智慧交通军团，整合 5G、云（计算）、大（数据）、物（联网）、智（能）、安（全）、（区块）链等基础底座能力，发布智慧交通中台产品、综合车队管理产品、5G 车路协同产品，输出交通行业综合解决方案。



图 2 运营商形成的智慧交通相关产品能力

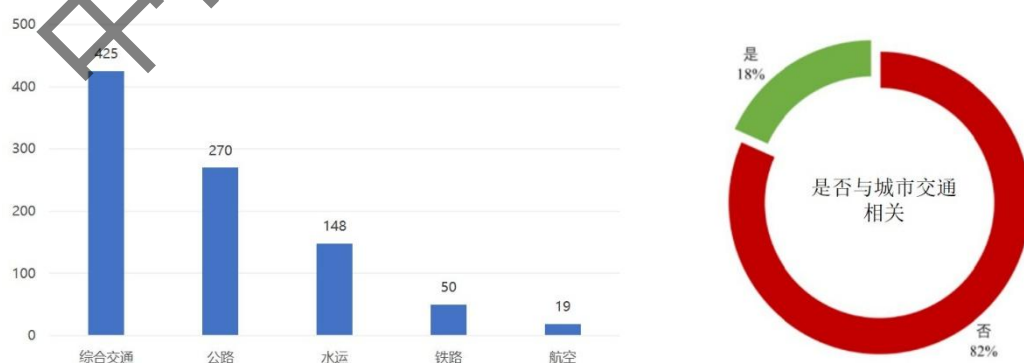
另一方面，交通行业持续布局 5G+智慧交通项目试点。2017 年起，交通运输部指导九省市开展新一代国家交通控制网和智慧公路试点示范，广东、北京、河北等探索了 5G 创新应用，例如广东相继在南沙大桥、乐广高速南段和深圳外环高速建设了全覆盖的 5G 网络全覆盖，新建或改造基站约 120 座，港珠澳大桥也全线开通 5G 网络。2019 年交通运输部启动交通强国试点工作，先后三批次批复 75 个试点，涉及 68 家试点组织单位、335 试点任务、430 家试点实施单位、

912 项具体试点内容任务。试点共分为 22 项具体类型，其中“智能交通（数字交通）”试点单位覆盖面最广，相关试点内容有 163 项，占比为 18%，涵盖智慧高速、智慧港口与自动化码头、智慧公交、车路协同等。此外，按照运输方式划分，综合交通（含城市交通）、公路交通、水运（港口）等领域成为关注热点。由此可见，智慧高速、智慧港口、智慧城市交通等场景已成为交通运输智能化发展的最重要领域，各地市在试点过程中取得了显著建设成效，并通过出台技术指南、规范标准等方式总结经验、固化成果。



来源：同济大学中国交通研究院-

图 3 交通强国试点任务内容分布情况



来源：同济大学中国交通研究院

图 4 按运输方式划分的交通强国试点任务

在智慧高速公路方面，截至 2023 年 10 月，全国建设智慧高速项目超 100 个，建设里程超过 9000 公里。全国已有包括浙江、江苏、北京等在内的 14 个省市发布智慧高速公路建设的技术指南，对智慧高速涉及的感知数据采集、机电设备布设、通信网络、平台软件功能等进行指导。例如，山东省《智慧高速公路建设指南》提出可考虑通信专网与互联网、5G 网络、卫星通信网络的多网联通融合应用，在安全可控、技术成熟的前提下，可优先选择超低时延、超高可靠、超大带宽的无线通信服务。

表 1 全国 14 个省份发布的智慧公路相关建设技术指南

序号	省份	发布文件名称	发布时间
1	浙江	智慧高速公路建设指南(暂行)	2020 年
2	江苏	江苏省智慧高速公路建设技术指南	2020 年
3	宁夏	宁夏公路网智能感知设施建设指南(试行)	2021 年
4	山东	智慧高速公路建设指南(试行)	2021 年
5	川渝	智慧高速公路系列标准	2021 年
6	云南	云南省智慧高速公路建设指南(试行)	2022 年
7	北京	智慧高速公路建设指南(试行)	2022 年
8	甘肃	甘肃省智慧高速公路建设技术指南	2022 年
9	河南	河南省智慧高速公路建设技术指南(试行)2022 年版	2022 年
10	广东	广东省智慧高速公路建设指南(试行) 广东省智慧高速公路建设指南 (2023 年版)	2022 年 2023 年
11	上海	上海市智慧高速公路建设技术导则	2022 年
12	吉林	智慧高速公路建设技术指南	2023 年
13	贵州	贵州省智慧高速公路建设指南(试行)	2023 年
14	河北	智慧高速公路建设指南	2023 年

来源：中国信息通信研究院整理

在智慧港口方面，智能化程度已成为衡量港口竞争力的重要指标，我国沿海港口基本都发布了智慧港口建设计划，大部分港口应用了5G网络进行信息化、智能化升级。江西省港口集团发布《智慧工地建设技术指南》，充分考虑5G、大数据、AI等前沿技术，明确了智慧港口必须建设和可选建设内容、设备布设要求和技术参数等。深圳市《5G智慧港口网络建设规范》面向场桥/岸桥远控、水平运输、智能理货、智能巡检场景，从网络总体架构、上行大带宽方案、稳定低时延方案、网络高可靠方案等维度明确5G网络架构、5G接入终端、无线、承载、核心网要求。

在智慧城市交通方面，各地市依托工信部批复的国家级车联网先导区、住建部和工信部联合批复的“双智”试点城市、交通部批复的自动驾驶试点等机制，推动智慧公交、无人驾驶出租车、无人物流、无人配送等测试验证与示范应用。《上海市智慧公交顶层设计方案》提出强化路侧感知设备、监控设备、网联通信单元、边缘计算单元等设备布设，深化5G和车路协同技术应用。浙江（德清）国家级车联网先导区计划于2023-2025年推进面向车联网的5G虚拟专网在全域主要道路覆盖，并与LTE-V2X网络协同部署、融合应用。

1.3 小结

从政策方面来看，5G与交通运输智能化融合发展是落实党和国家交通强国、网络强国、数字中国战略部署的重要方向；工信部大力支持5G网络基础设施部署，推动不断丰富5G应用场景；交通部高

度重视并出台系列政策促进公路、港口、城市等交通场景的智能化发展。从产业方面来看，以电信运营商为代表的信息通信行业发挥技术赋能优势，已具备供给解决方案的综合能力；交通行业的转型需求迫切，驱动智慧高速、智慧港口、城市交通等多类场景的智能化发展，各地、各企业积极开展试点工作、总结经验成果，强化与 5G 网络融合应用，发布相关技术指南和标准规范。总而言之，5G 与交通运输智能化融合发展已成为跨行业共识，正处于基础设施完善与场景落地齐头并进的重要阶段。本白皮书尝试阐述典型场景的应用价值及技术需求，分析 5G 赋能的关键技术发展趋势，提出跨行业协同发展建议，尽力而为地为 5G 深度赋能交通运输智能化提供参考。

2. 5G 赋能交通运输智能化发展的场景研究

如第 1 章所述，高速公路、港口作业、城市交通三类交通方式的智能化发展已成为跨通行业重点关注、重点投入的方向。其中，高速公路投资规模大、建设周期长、运营要求高，在“建-管-养-运-服”全生命周期均存在智能化转型需求；港口作业涉及大量如港机、集卡等重型机械和载具，存在作业难度高、用工成本大的挑战，无人化、少人化趋势明确；城市交通出行的服务对象多元、出行需求庞大，有需求通过智能化改造提升综合通行效率及公共服务水平。

故本白皮书聚焦高速公路、港口作业、城市交通三类交通方式的智能化发展需求，针对下表所示的典型应用场景，尝试从产业供需两方面视角分别开展分析：从产业需求方（交通业主或运营者）的视角

分析 5G 赋能的场景价值，从产业供给方（电信运营商及解决方案提供方）的视角分析场景对 5G 技术及解决方案的需求，从而综合得出各应用场景的“生命力”和“自驱力”。

表 2 交通运输智能化发展场景分类

序号	类型	智能化发展场景
1	高速公路	智慧建设：智慧工地
		智慧管理：路网管控
		智慧养护：巡检养护
		智慧运输：编队行驶
		智慧服务：出行服务
2	港口作业	港口无人作业
		港口智慧运维管控
3	城市交通	城市智慧公交
		无人驾驶出租车
		无人物流/配送车

2.1 高速公路场景

2.1.1 智慧建设：智慧工地

(1) 场景价值

高速公路智慧工地通常基于数字化设计阶段的 BIM 模型，将图纸设计参数导入自动化生产系统，对道路、桥梁、隧道、交叉口、交通安全设施、管理设施、服务设施等的施工进行自动化控制，配合人员智能穿戴设施、场地进出闸口处的网联传感器，实现“人、机、料、法、环”等关键场景的全过程动态实时管理。在高速公路建设期间，现场环境较为复杂，光纤专用网络一般尚未搭建或临时断线，需要无线通信网络的支持；且部分桥隧工程在地下、水上或山间等较恶劣环境施工，对通信网络的穿透性、可触达性提出更高的要求。5G 网络

可以在施工期间提供灵活可靠的通信服务，保障高速公路施工过程中的数字化管理质量，提升作业效率、降低作业成本。当前，智慧工地已在山东、重庆、广州等多个地区的高速公路进行试点示范。

案例 1：广连高速公路花从段智慧工地

广连高速公路花从段打造“5G 定制网+智慧工地”，采用定制 5G 网络、物联网、SD-WAN、云计算、大数据等信息通信技术与 BIM 相结合，构建基于场景的线上“工地孪生体”安全数字化能力底座，形成“云-网-安-物-BIM”融合的先进方案，实现工地统一指挥调度、精细化可视管理。

案例 2：江西遂大高速山岭隧道施工远程控制和实时设计

江西遂大高速山岭隧道使用仿真操作台内嵌的远程指挥控制系统，基于 5G 网络实现对施工现场的实时视频监控、对施工凿岩台车的实时状态监测、对隧道实体 BIM 的实时数据更新，并可远程控制装备行驶和施工作业。同时，基于自主研发的智慧服务系统，将钻凿过程产生的岩石信息实时回传、形成三维图像，辅助进行地质状况判断，优化钻孔爆破方案，实现动态实时设计。

(2) 对 5G 网络技术及解决方案的需求

智慧工地的管理平台需要实时呈现工地信息，要求工地上的高清监控视频数据、作业车辆车载监控数据、智能安全帽等大量传感器产生的位置或状态数据等实时回传至管理平台，对 5G 网络提出了低时延、大连接、高上行带宽的技术需求。前期，国内外标准化组织针对

智慧工地开展了广泛的研究，例如中国通信标准化协会（CCSA）制定《泛在物联应用 智慧工地总体技术要求》（T/CCSA 285-2020），针对智慧工地人员监控、视频监控、设备监控、气象监控等物联功能进行规范；国际电信联盟（ITU-T）制定“Requirements and functional architecture for smart construction site services”（Y.4478）国际标准，对智慧工地典型应用场景、设备及功能需求等做出规定。但针对5G赋能智慧工地的网络技术需求相关标准尚未明确、仍处于试点验证阶段。在实践中，由于高速公路智慧工地多处于乡村、山区、河流等公众5G网络未重点覆盖地方，所以在实际情况下，高速公路业主或施工单位可委托电信运营商对公众5G网络进行针对性优化或增强。对于长期定点施工、且智能化水平较高的智慧工地，可酌情考虑建设5G虚拟专网，进一步提升5G网络的服务质量。

2.1.2 智慧管理：路网管控

（1）场景价值

高速公路路网管控功能是高速公路实现安全、效率运营的重要需求，是“保通行”的重要手段，通常集成在高速公路云管理平台中。该功能可对道路视频监控、微波检测、气象监控等感知数据进行全面统一的汇总，并利用大数据、人工智能等技术对交通流、交通事故、气象状态等数据进行分析，实现公路“数字孪生”功能；并可进一步对交通态势进行预测研判，支撑交通控制与诱导、应急救援等路网主动管理功能。虽然，当前我国高速公路基本配套了光纤专网，但在实现路网管控功能时，需要增加部署大量路侧感知设备、气象设备，且

部分设备需要根据路网运行情况而流动性部署，对于网络可靠性、灵活接入同时提出需求。5G 网络可支持各类终端灵活接入，也可作为光纤专网的有效备份，目前利用了 5G 的高速公路路网管控解决方案在全国多条高速公路已有实践探索。

案例 3：成都第二绕城高速数字孪生应用

成都第二绕城高速利用感知系统采集道路环境数据和车辆动态实时数据，通过 5G 网络实现多感知系统数据上传，结合高精度地图、云计算、实时渲染、自动化场景等技术构建了实时、动态、可计算的数字孪生道路环境。

案例 4：河北荣乌高速路网交通状态监测

河北荣乌高速新线将部分路侧交通状态监测设备数据，如交通视频检测器、微波检测器、激光雷达等，通过 5G 传输至平台，实现路网交通状态的全天候、高精度监测，并实现了灵活覆盖、灵活组网：除了固定布设点位外，在偶发性交通拥堵以及车辆故障、道路施工等路段，利用可移动的检测器获取实时车流量、速度、密度、轨迹等信息，更精确的监测路网交通状态。

(2) 对 5G 网络技术及解决方案的需求

路网管控功能涉及路网感知及数字孪生、路网主动管理两类功能，需要大范围内大量路侧感知设备的数据高质量、实时的回传至平台，以及路网管控决策数据可靠的下发至路端，对 5G 网络提出了低时延、上行大带宽、下行高可靠的技术需求，并要求 5G 网络可与高速公路

光纤专网有效协同、实现网络和业务备份。多地出台的智慧高速建设指南中，对 5G 网络提出了相对明确的需求。例如，山东省出台的《智慧高速公路建设指南》中明确提出“建设多网融合通信系统时，应考虑高速公路有线通信网络、无线通信网络与 V2X 的深度融合”，并要求无线通信网络“应为高速运动的交通要素提供可靠的通信接入，支撑交通要素全 IP 化的主动信息推送和双向信息交互”以及“在安全可控、技术成熟的前提下，优先选择超低时延、超高可靠、超大带宽的无线通信服务”。考虑到路网管控应用通常涉及的路段较长，在实际情况下，高速公路业主或运营单位可委托电信运营商对公众 5G 网络进行针对性优化或增强，并与已有光纤网络互联互通。对于在部分重点路段上需要长期部署流动性感知设备、开展路网主动管控的，可考虑建设 5G 虚拟专网，进一步提升网络利用效率和服务质量。

2.1.3 智慧养护：巡检养护

(1) 场景价值

高速公路逐段人工检测效率低，且存在安全风险高、数据可靠性差的问题。随着高速公路大规模养护时代的到来，道路巡检养护正在面向智能化、实时化发展。智慧巡检养护是指通过自动化巡检系统采集路面、桥隧的相关技术参数并实时上传至平台，借助大数据、AI 分析等技术进行数据挖掘，辅助专业养护运维人员进行管养决策、精准养护和闭环管理。一方面，如巡检车、巡检无人机等道路巡检设备需要沿线灵活移动，对于通信网络的灵活接入提出要求；另一方面，特殊路段如长大桥隧往往位于偏远无网络地区甚至地理孤点，难以部

署光纤专网，且桥隧的 24h 健康监测一般包括结构、荷载等多类传感器，5G 网络可支持多种终端大量接入。目前山东高速、蜀道集团、首发高速、贵州高速等均已开展了智慧巡检养护的应用实践。

案例 5：山东高速公路智能化检测养护

山东高速应用公路智能化检测系统，对公路平整度、行驶舒适性、路面病害、铺面质量指数 RQI 等多参数进行自动化检测，通过 5G 网络将大量高清视频、图像数据实时传输至数字平台，构建丰富的样本数据库，实现实时识别路面主要病害且提升识别精准率高达 90%，提升了管养工作数字化协同水平。

案例 6：海南海文跨海大桥监测

海南海文跨海大桥使用 300 余个定制化高精度传感器，对通航主桥以及海口侧跨断层进行重点监测，包括环境监测、结构监测、荷载监测等 20 余项监测内容。监测方案采用网络切片方式构建 5G 虚拟专网，通过智能网关设备组建桥梁监测物联网，支持大量传感器接入，并支持无人机和巡检车对传感器误报信息进行实地确认，实现将监测数据实时、稳定、安全地传送至监测平台，支撑桥梁结构状态的损伤识别、分级预警和安全评估。

(2) 对 5G 网络技术及解决方案的需求

道路路面巡检养护过程中的视频、图像及多设备监测信息，以及桥隧状态的 24h 实时在线监测，均需要大量设备的实时接入、大量数据的可靠回传，对 5G 网络提出了大连接、低时延、上行大带宽的技

术需求。部分地方或高速公路业主围绕智慧巡检养护编制出台技术规范，例如安徽省地方标准《高速公路路面养护信息化建设技术规范》（DB34/T 3702-2020）提出“各养护工区与数据中心之间根据具体情况和使用需求，可通过高速公路现有通信网络接入，也可通过租用运营商有线或无线通信资源实现网络接入”，在性能指标上“骨干网带宽应不小于 1Gbps；视频源小于 10 个链路时，接入带宽应不小于 100Mbps，每增加一路视频源带宽增加应不小于 4 Mbps”。考虑到巡检养护对公专网的业务隔离有一定要求，高速公路业主或运营单位可与电信运营商合作，共建 5G 专用网络或对 5G 公网进行切片的方式，满足巡检养护场景的数据传输需求。

2.1.4 智慧运输：编队行驶

(1) 场景价值

物流卡车编队行驶是指多辆卡车通过数据共享和协同决策，在高速公路上保持队列，以一定的驾驶策略进行自动驾驶，从而降低物流的人力成本和驾驶员劳动强度，降低车辆油耗，提升高速公路吞吐量。编队行驶一般通过车与车之间的直连通信（LTE-V2X）实现车队间的数据交互，但仍需要平台与车辆建立连接，进行车队路径规划、远程调度及必要时的远程接管，以保障行车安全。5G 网络是实现以上功能的必要通信保障。当前，物流卡车编队行驶受限于政策法规原因，尚未有大规模应用，但上海、天津、成都等多地已开展测试验证。

案例 7：都汶高速龙池段浓雾情况下车辆编队行驶通行

都汶高速龙池段在浓雾条件下，利用 5G 网络将头车轨迹、头车感知数据、路侧传感数据、后车跟车数据等上传至 MEC 平台进行低时延的融合计算，形成整体车队行驶的全景数据，并对车队中每一辆车独立进行路径规划，通过 5G 网络将结果下发到车辆，实现了编队行驶，并可提升高速公路在浓雾等恶劣天气环境下的通行承载能力。

(2) 对 5G 网络技术及解决方案的需求

编队行驶的作业调度、路径规划、远程接管等功能，要求车载摄像头等大带宽感知数据实时上传，以及作业调度与路径规划数据、远程遥控数据等的实时可靠下发，对 5G 通信网络提出了超低时延、上行大带宽、下行超高可靠的技术需求。结合车与车之间的 LTE-V2X 直连通信，可进一步实现车辆状态数据共享及协同。CCSA 和部分地方团体针对 5G 赋能高速公路编队行驶的网络技术需求开展研究和标准制定工作。CCSA 编制《基于 5G 的远程遥控驾驶信息交互系统 高速公路车队远程遥控技术要求》，规定了编队行驶过程中远程遥控功能的数据交互要求和通信性能要求。上海市发布团体标准《支持高级别自动驾驶的 5G 网络性能要求》（T/SHV2X 2—2023）中明确了编队驾驶的应用定义、业务流程，并明确了对于 5G 网络的性能要求如下表所示。

表 3 上海市团体标准中关于编队驾驶应用的 5G 网络性能要求

		用例	
		稳定状态下编队驾驶	
性能指标	业务方向（上行/下行）	上行	下行
	发包频率（Hz）	20	20
	速率（Mbps）	0.048	0.048
	端到端时延（ms）	100	100
	传输可靠性	99.9%	99.9%

由于编队行驶场景中通信数据涉及车辆控制，所以对通信网络的可靠性、安全性要求较高，一般可由高速公路业主或运营单位与电信运营商合作，在编队行驶路段部署 5G 虚拟专网，同时考虑 5G 与 LTE-V2X 的网络融合，满足编队行驶的通信需求，提升场景可靠性、降低安全风险。

2.1.5 智慧服务：出行服务

(1) 场景价值

高速公路出行的伴随式信息服务是指建立全过程出行信息服务平台，通过公路沿线信息发布设施、公路出行服务平台、广播电视、移动终端、互联网导航平台、车载终端等方式，提供基于当前位置的交通路况、车辆安全辅助驾驶信息、突发事件等全过程信息服务，实现 C 端触达和信息闭环。出行服务的及时性、覆盖面、有效性是群众出行与高速公路运营的关注重点，5G 网络覆盖广、终端类型多、成熟用户多的特点可有效支持该场景。目前，基于 5G 的高速公路伴随式出行服务已在四川、河北、山东等省份进行试点应用。

案例 8：成宜高速基于 5G 的伴随式信息服务

成宜高速基于全天候车道级精准导航蜀道·高德行业版 APP，利用 5G 公网以及 LTE-V2X 网络，通过车道级导航、超视距事件预警等，实现面向 C 端用户的行车诱导和驾驶辅助信息精准推送，为用户及时提供“出行前”、“出行中”、“出行后”等不同阶段的信息服务，实现雨雾天安全通行交通事故数量同比下降 20%。

(2) 对 5G 网络技术及解决方案的需求

伴随式出行信息服务主要需要车辆定位数据和服务请求数据的实时上传、以及平台服务数据的实时下发，尤其是车辆安全辅助信息服务要求端到端时延在百毫秒级，对 5G 提出了低时延的技术需求。CCSA 编制了《基于移动互联网的车路协同应用场景及技术要求》，对异常车辆提醒、道路危险状况提示、限速预警等 11 个可基于 5G 实现的车路协同应用场景进行了定义，对每个场景的数据交互、技术需求也做了规范，其中部分场景适用于智慧高速出行服务。以异常车辆提醒场景为例，标准中明确“感知数据传输延迟 $\leq 100\text{ms}$ ”，该指标是指感知设备输出感知结构化数据后，经过云端平台，再到终端应用层接收到风险提醒的时间间隔。该延迟包含云端决策或车端决策的处理延迟。由此可见，场景对于 5G 网络时延要求应明显小于 100ms。同时，考虑 C 端用户体验度，对 5G 网络的全路段连续稳定服务也提出了明确需求。在实际情况下，高速公路业主或运营单位可委托电信运营商对 5G 公众网络进行适当优化或增强，为伴随式信息服务提供可靠的通信网络，提升信息触达效果。

2.2 港口作业场景

2.2.1 港口无人作业

(1) 场景价值

港口无人作业主要包括港机远控与无人集卡作业。港机远控作业是指对龙门吊、桥吊、岸桥、轨道吊、轮胎吊等港口大型机械设备进行远程遥控，实现港区内“垂直运输”的现场无人化作业。无人集卡作业是指在港口内实现集装箱卡车、智能导引车（Intelligent Guided Vehicle, IGV）或自动引导车（Automated Guided Vehicle, AGV）等“水平运输”载具的无人化作业。以上两类场景可将传统现场作业转变为遥控作业、自动化作业，有效改善工人工作环境、解决传统司机招工难和流动性大的问题，同时显著提升港口作业效率、降低港口运营成本。同时，两类场景均需要可靠的网络支持。对于港机远控作业场景，虽然部分港口通过光纤专用网络实现可靠数据传输，但 5G 网络仍可作为光纤专用网络的备份网络；或对于短期内没有大规模基建升级计划的港口，5G 网络可以发挥其灵活部署的优势成为支持该场景的首选方案。对于无人集卡作业场景，当前无人化载具主要以单车智能的技术路线为主，但 5G 网络是支持实现远程监测和紧急接管控制的必要保障。两类场景在东疆港、日照港、宁波港、龙拱港等国内多个海运、内河智慧港口中实现了常态化运营。

案例 9：龙拱港基于 5G 的港机设备远程遥控

山东济宁龙拱港建设了 5G 虚拟专网和港机设备远程遥控系统，支持集装箱装卸桥、轮胎吊等大型集装箱作业机械的自控系统状态信息、视频监控数据等通过 5G 网络实时传输至控制平台，并与港口管理系统（TOS）平台打通；调度人员可结合 TOS 平台的管理信息，通过 5G 网络向港机的 PLC 远程下达作业指令，控制港机自动化运行。

案例 10：日照港基于 5G 的无人集卡远程驾驶

山东日照港实现无人集卡自动驾驶和远程驾驶的作业协同：将云控平台、港口管理系统通过 5G 与无人集卡建立连接，可实现无人集卡的安全监管和作业调度。在港区对应切片的边缘计算平台上部设远程遥控驾驶舱，基于低时延的 5G+MEC 技术，可实现对无人集卡进行远程控制。同时，云控平台兼容多类型终端接入，可实现不同载具的统一调度、实时监管及远程控制。

（2）对 5G 网络技术及解决方案的需求

港口无人作业场景涉及港机远控和无人集卡远程遥控两类功能，需要港口侧及机械或载具侧的大量视频监控数据、状态数据实时回传，以及控制数据高可靠的下发，对 5G 网络提出了超低时延、上行大带宽、下行超高可靠的技术需求，部分已建设光纤专用网络的港口还要求 5G 网络可与光纤专网有效协同、实现网络和业务备份。CCSA 编制的《基于 5G 的远程遥控驾驶信息交互系统 港口遥控作业技术要

求》中对港机远程控制和无人集卡远程接管两类场景的信息交互流程、数据交互内容做了规定，同时提出了对 5G 网络性能的需求如表 4 所示。

表 4 CCSA 标准中关于港口无人作业场景的 5G 网络性能要求

应用类型	性能要求					应用场景信息模型			
	定位精度 ^a	可靠性	用户体验数据速率 ^b (bps)	单基站覆盖(m)	应用层数据传输时延 ^d (ms)	车辆密度 ^e (个/KM2)	消息发送频率 ^f (Hz)	参考车速范围 ^g (km/h)	服务区域
港机远控	相对无人集卡位置偏差 ≤ ± 10CM	下行 ≥ 99.999%； 上行 ≥ 99.99%	上行：≥30M； 下行：≥2M	≥300	下行：≤20； 上行：≤200（音视频）	1-2台	≥60Hz	小车移动速度：14.4km/h，起升满载状态移动速度5.4km/h，空载移动速度：10.8km/h； 大车移动速度：2.7km/h	港机操作区域，要求直线通信无遮挡，基站建设应尽可能高
无人集卡远程接管	二级：厘米级定位	下行 ≥ 99.999%； 上行 ≥ 99.99%	上行：≥25M； 下行：≥2M	≥200	下行：≤20； 上行：≤50（音视频，5G专网环境下）	20辆	≥20Hz	主干道的时速为0~35km/h，船边岸桥下道路的时速≤10km/h，通过场内道路的时速≤15km/h	港口集装箱区域，信号遮挡较严重

^a定位精度：指标详细内容参考 YD/T 3936-2021 中 4.1 节内容。其中，港机远控对定位精度无具体要求，和无人集卡对位时的位置偏差要求 10cm 范围内。

^b用户体验数据速率：港机远控上行带宽占用主要为港机采集的图像、音视频等数据，根据实际业务部署，建议上传 5-8 路画面直播，每路视频分辨率 720P 以上，帧率为 30FPS；无人集卡上行带宽占用主要为无人集卡采集的图像、音视频等数据，根据实际业务部署，建议上传 4-6 路车外画面直播，分辨率 720P 以上，帧率为 30FPS。一般每路视频流数据占据 1.5-2Mbps，考虑到不同方案有其他画面要求，外加业务逻辑数据、状态数据等，整体上行带宽要求见上表。

^c覆盖：指单个基站满足所需应用通信服务质量要求的最大通信距离，按照港口的实际环境和运营商实际部署，港机操作区应不小于 300m，集装箱区应不小于 200m。

^d应用层数据传输时延：基于港口场景下的 5G 远程遥控驾驶业务架构，从港机设备或无人集卡到服务器的数据传输时延，不包括数据处理的时间。

^e车路密度：根据港口业务需求和设备部署，单位面积内处于远程遥控状态港机设备应不多于 2 台，无人集卡应不多于 20 辆。

^f消息发送频率：无人集卡远控应用中，依据车辆 CAN 总线频率一般为 20Hz-50Hz，因此建议消息频率不低于 20Hz。对

音视频数据的发送频率在本标准中不做限定。港机设备一般心跳保活报发送周期为 15ms，建议消息频率不低于 60Hz。

*参考车速范围：来自港口行业的实际作业调研结果。

考虑到港口作业范围通常有限、且港口无人作业场景对于 5G 网络的服务质量需求较高，港口业主或运营单位可与电信运营商合作建设 5G 专网，探索合作部署 MEC 平台，并与港口的光纤专网、业务平台互通，保障港口整体网络服务质量和无人化业务可靠性。

2.2.2 港口智慧运维管控

(1) 场景价值

港口智慧运维管控需要建立港口智能运营、态势感知、智慧航道系统等子系统，构建智慧运维管控平台，实现港口船舶进出港、智能理货、状态监测等智慧运维与管控。港口智慧运维管控系统对港口的整体信息化水平要求较高，通常需要建设以光纤网络为主的综合承载网络。但随着基于 5G 的港口无人作业逐步商用推广，5G 网络在智慧港口已经几乎成为“标配”，催生通过 5G+MEC 的云网融合系统支撑智慧运维管控平台，实现全业务综合管理。当前，智慧运维管控平台已在山东港、镇江港、盐城港等国内多个海运和内河智慧港口常态化运营应用，有效提升了港口的运维管理效率与运营收入。

案例 11：镇江港 5G 散杂货港口

镇江港主要以散货为主，装卸方式流程工艺复杂，传统的作业方式存在着效率不高、危险系数大、劳动力短缺等问题。基于已搭建的 5G 专网，镇江港不仅实现了斗轮堆取料机、装船机、铁路道口、智慧拖轮等生产作业的远程控制，还特别打造第五代散杂货生产云平台，实现了港机在线监控监测、智能理货、污水处理、智慧照明、安全监管等智慧运维管控，整个台时效率提升 10%，船时效率提升了 8%。

(2) 对 5G 网络技术及解决方案的需求

港口智慧运维管控系统通常需要支持海量货物数据、航道导引、异常事件等信息交互，但其对于 5G 网络的需求整体低于港口无人作业场景。故在各港口已经开展常态化无人作业的背景下，港口智慧运维管控无需额外需求，基本可直接复用已建设的 5G 网络。

2.3 城市交通场景

2.3.1 城市智慧公交

(1) 场景价值

城市智慧公交的场景价值主要体现在公交车辆智能化改造和数字化运营管理两方面。在公交车辆智能化改造方面，通过对公交车的车载设备进行信息化升级，可实现公交精准停靠、车载影音娱乐等功能，结合 LTE-V2X 直连通信还可以实现公交优先、红绿灯信息透传等功能，助力解决城市道路中公交车拥堵、驾驶员风险等行驶效率与

安全问题。在数字化运营管理方面，基于智慧公交升级，结合智慧站台、智慧场站构建智慧公交云平台与运营调度中心，可实现智能排班、智能调度指挥、综合运行监测以及统计决策分析等，为乘客提供个性化出行服务，为运营方实现运营治理优化服务。考虑到公交运营线路通常都已实现 5G 网络的全覆盖，车载 5G 终端设备相对成熟，5G 赋能城市智慧公交已成为主流解决方案，可有效提升公共交通过程中的安全和运行效率，为乘客提供个性化出行服务。当前，智慧公交已经在长沙、厦门、广州、无锡、重庆等多个城市常态化运营；数字化运营管理平台已经在厦门、南京、长沙、成都、邯郸、长春等多个城市建成运行。

案例 12：南京江心洲智慧公交应用

南京江心洲在智慧公交车加装车载 5G 终端、LTE-V2X OBU、摄像头、中控屏、尾部 LED 屏等智能化设备，一方面实现车内信号灯配时、尾屏交通信号显示、驾驶员检测、360°环视、车内乘客流量统计等功能，另一方面通过 5G 将车辆状态信息、高精度定位信息传输至后台，可预测到站时间，并通过新增电子智慧站牌推送精准到站、车辆拥挤度等信息，通过手机端 APP 推送车辆到站信息，提升乘客服务体验。

案例 13： 厦门城市智慧公交大脑

厦门 3500 多辆公交车配装 5G 智慧“公交大脑”，实现“5G 智慧公交”规模化运营。一方面在 MEC 平台上搭建灵活调度平台，通过对车载、路侧和基础人群的数据进行融合，提取城市级公共出行各级关键性指标，实现公交车的综合性智能调度，同时可支持司机在智能座舱屏上快速查阅车辆的任务状态，包括充电、维修、回场以及运营线路上下行切换等；另一方面，通过采集公交车端的基础数据，如车速，累计里程、电流、电池电量、油门刹车踏板深度等，实现对公交车状态、司机驾驶行为的精准监测。

(2) 对 5G 网络技术及解决方案的需求

城市智慧公交场景涉及公交车辆智能化改造和数字化运营管理两方面，中信科移动、百度、希迪智驾等 ICT 企业与电信运营商以及厦门金龙、宇通客车等公交车企业开展合作，已形成公交车辆智能化改造的系列解决方案；中国移动、百度、湘江智能等形成了较完整的数字化运营管理系统方案。该场景需要支持车载视频、站台视频数据回传，支持车辆状态信息、进出场信息、驾驶员信息、车辆调度信息等数据交互，5G 大带宽、低时延、高可靠的特性可以匹配。此外，结合 LTE-V2X 直连通信，可进一步实现公交优先、红绿灯信息透传等场景。对于公交车辆智能化改造中的信息服务类应用，其对于 5G 网络的技术需求可参考 2.1.5 节中提到的 CCSA《基于移动互联网的车路协同应用场景及技术要求》标准的要求；对于车辆监管类应用，其对于 5G 网络的技术需求可参考上海市团体标准《支持高级别自动

驾驶的 5G 网络性能要求》（T/SHV2X 2—2023）中远程驾驶应用的远程实时监控性能要求，如表 5 所示。

表 5 上海市团体标准中关于远程驾驶应用的 5G 网络性能要求

		用例				
		远程实时监控	驾驶指引		远程接管	
性能指标	业务方向（上行/下行）	上行	上行	下行	上行	下行
	发包频率（Hz）	/	/	20	/	30
	速率（Mbps）	10	10	1	20	1
	端到端时延（ms）	50	50	50	50	20
	传输可靠性	99%	99%	99.999%	99%	99.999%

由于该场景中的交互数据不涉及对车辆的控制，所以对 5G 网络可靠性的需求相对不高，但需求公交线路沿线的 5G 网络连续覆盖，以及在通过繁忙路段时需求 5G 网络提供必要的资源保障，要求电信运营商需要针对性的对 5G 公众网络进行优化和完善。

2.3.2 无人驾驶出租车

(1) 场景价值

无人驾驶出租车已经成为城市场景下自动驾驶的典型应用，主要基于高级别的单车自动驾驶提供客运服务，可有效在保障安全的前提下提升出租车的运营效率。无人驾驶出租车对网联功能提出明确需求，一方面通过路侧或平台的网联信息扩展感知范围、降低盲区，另一方面实现在线路径规划或运力调度等功能，最重要的是通过 5G 网络支持实现远程遥控（或称“平行驾驶”），类似港口无人作业场景，在云端实现对出租车的监测或必要时人工接管。目前，无人驾驶出租车

已经在北京、上海等 10 余个城市内常态化测试或试运行。

案例 14：百度 Apollo Robotaxi

2021 年 5 月，百度 Apollo Robotaxi 在北京首钢园正式开启常态化商业运营，2023 年 9 月，百度 Apollo 旗下萝卜快跑在北京亦庄部分区域开启“车内无人、车外远程”的 Robotaxi 商业化试点运营。用户可通过 App 呼叫共享无人车，享受无人驾驶出行服务。2022 年，百度发布的量产无人车 Apollo RT6 上配备了平行驾驶功能，利用 5G 网络实现了车-云实时数据传输、车辆间通信和远程控制，辅助应对各种复杂道路的无人驾驶场景。

(2) 对 5G 网络技术及解决方案的需求

无人驾驶出租车的感知共享、路径规划、作业调度、远程接管等功能是实现无人驾驶的必要环节，涉及到路侧感知数据和车辆多传感器数据上传、规划调度信息下发、远程遥控指令下发等数据交互需求，对 5G 网络提出超低时延、上行大带宽、下行超高可靠的技术需求。具体需求可参考 2.3.1 节中提到的上海市团体标准《支持高级别自动驾驶的 5G 网络性能要求》（T/SHV2X 2—2023）中远程驾驶应用的驾驶指引和远程接管性能要求，如表 5 所示。考虑到无人驾驶出租车对车辆功能安全（包含网联通信部分）的要求很高，需要在出租车运行范围内对 5G 公众网络进行充分的优化，或者有条件的地方可考虑建设 5G 专网或配置专用切片。

2.3.3 无人物流/配送车

(1) 场景价值

物流订单与运力供给不平衡的现状在逐年加剧，城市无人物流/配送车作为新的运力补充形式是市场的选择和刚需。与无人驾驶出租车类似，无人物流/配送车主要基于高级别的单车自动驾驶提供运输/配送服务，可有效在保障安全的前提下提升作业效率，满足客户定制化需求，打通城市物流/配送的“最后一公里”。同时该场景也对网联功能提出扩展感知范围、在线规划和调度、远程接管和遥控等需求。目前，城市无人物流车已经在柳州、重庆等地常态化运行；无人配送车已经在北京、常熟等地常态化运行，京东、美团、新石器等企业可实现产品自研自产自用。

案例 15：上汽通用五菱 5G 云控物流车

上汽通用五菱汽车以宝骏新能源车作为运输载体，在柳州宝骏基地、河西基地开启无人物流常态化运营。案例中建设了 5G 专网和边缘计算平台，实现车路云协同的物流无人化、可视化及智能化操作。车辆作业全过程通过 5G 链路实现超低延时监控，数据高速回传至后台控制室，实现工厂园区内无人物流与传统物流的混流作业运营。可支撑园区物流 7*24 小时的稳定运行，预计提升物流效率 50%以上，大幅度降低物流运力成本，以综合运力 500 吨/趟次计算，5 年预计人力成本将节省 4.5 亿元。

案例 16：山西阳泉新石器无人配送快递车

山西阳泉采用新石器无人配送车，能够准确感知周围环境，实现自动导航功能，后台安全员通过 5G 信号可对发货地点到收货地点的路径规划，实现高效精确车辆调度且能实现智能避障；可在必要时对车辆进行远程实时操控，确保作业安全。经过几年的产品迭代，无人配送车的最高设计时速从 5 公里提升到 60 公里，整车成本下降超过 50%。

(2) 对 5G 网络技术及解决方案的需求

与无人驾驶出租车类似，无人物流/配送车的感知共享、路径规划、作业调度、远程接管等功能涉及到路侧和车载感知数据上传、规划调度和远程遥控指令下发等数据交互需求，对 5G 网络提出超低时延、上行大带宽、下行超高可靠的技术需求。考虑到无人物流/配送车的运行速度相对更低，路线相对固定，故该场景对 5G 网络的需求可略低于无人出租车，但仍可参考 2.3.1 节中提到的上海市团体标准《支持高级别自动驾驶的 5G 网络性能要求》（T/SHV2X 2—2023）中远程驾驶应用的驾驶指引和远程接管性能要求，如表 5 所示。在实践中，可在作业范围内对 5G 公众网络进行充分的优化，或者有条件的地方可考虑建设 5G 专网或配置专用切片。

2.4 小结

综合 5G 赋能高速公路、港口、城市交通三种交通运输环境下的智能化发展典型场景对网络的需求分析，可以看出不同场景对于 5G

网络的功能、性能需求具有差异。结合业务覆盖范围、业务对网络性能的要求、业务对数据传输分离等方面的需求，部分场景可复用广域覆盖的 5G 现网支撑相关业务应用，例如高速公路中的智慧工地、路网管控、巡检养护、出行服务场景，和城市交通中的智慧公交、无人车物流/配送车场景，其典型业务大多发生在开放道路，且多为无超高实时性、可靠性要求的业务。因此，这类场景应用需要大面积网络覆盖并适配其业务传输特性，可以由大范围、广域覆盖的 5G 现网提供服务。另外一部分场景，例如高速公路编队行驶、港口无人作业、城市无人驾驶出租车等，多分布在小范围的固定路线上，其业务类型除作业调度、设备状态监控以外，还需要支持网联自动驾驶、远程遥控驾驶等对网络有严苛性能要求应用，同时还有数据不出园区、业务隔离等需求，需要 5G 现网在当前基础上进行技术升级，进一步提升网络服务能力满足应用需求。

3. 5G 赋能交通运输智能化发展的关键技术

3.1 概述

交通运输智能化发展典型场景的多样化业务，分别面向 5G 网络提出不同的技术需求。为了达到复用已部署的 5G 网络降低成本的目的的同时保证场景中各类业务的顺利开展，需要根据业务范围和业务特性，保证 5G 现网能提供端到端的基础传输性能保障。为提供上行大带宽，下行低时延高可靠的增强型传输性能，需要应用更多的 5G

新特性、新技术进行网络传输性能增强，充分释放 5G 面向行业应用赋能的潜能。为了实现全程全网的业务稳定性，需要提升业务可靠性。

高速公路灵活监测、巡检养护、城市智慧公交视频监控等典型场景，其核心业务是进行业务沿线实时的视频、图像回传，且该类业务对于网络传输时延、可靠性和业务稳定性的要求相对较低。因此，其核心需求是依托 5G 现网做好**网络优化与终端优化**、保障基础传输性能。具体来说，一方面其核心业务是上行业务，这与传统以服务下行传输为主的网络规划、优化目标有所差异；另一方面由于交通场景中的移动终端形态与功能需求都有所不同，如巡检车辆、安防机器人、港口龙门吊等，其搭载的 5G 通信终端包含车载 T-Box（Telematics Box）、CPE(Customer Premises Equipment)、工业网关等多种类型，与 5G 现网通常服务的手机移动终端的功能与性能也存在差异。为了实现行业应用的端到端基础传输性能保障，需要 5G 网络和行业应用终端的功能与性能都适配和满足行业应用的业务需求。因此，需要通过适配应用中载具运行范围和业务模型的稳定网络覆盖，以及车载终端功能完善性两方面的关键技术支撑这一目标的实现。

港机远程遥控作业、港口无人集卡遥控驾驶、城市无人驾驶出租车等场景，除基础的网络传输性能保证以外，需要将车辆收集到的视频图像等实时回传至业务平台，将占用大量的上行带宽。这类场景与巡检养护、公交监控等场景的区别在于，回传的视频图像用于支撑网联自动驾驶、远程遥控驾驶等应用，实时性要求更高，且有多路高清视频同时传输，将占用大量的上行网络带宽；同时，平台还需要向车

辆下发驾驶建议、遥控驾驶指令等，对网络提出了下行低时延、高可靠传输的需求。例如，部分无人集卡远程遥控驾驶应用提出了单辆车需求 20Mbps 上行传输速率，下行 20ms 传输时延、99%可靠性的网络性能要求。在这些需求的驱动下，在 5G 现网提供基础的网络传输性能保证以外，还需要提供上行大带宽、下行低时延、高可靠的网络性能增强，满足网络传输性能要求。

此外，由于网联自动驾驶和生产作业功能稳定性的要求，无人驾驶出租车、港口无人作业、编队驾驶远程等业务场景还提出了全程全网的网络性能稳定要求，需要通过网络备份传输、服务质量保障等业务可靠性提升相关关键技术。

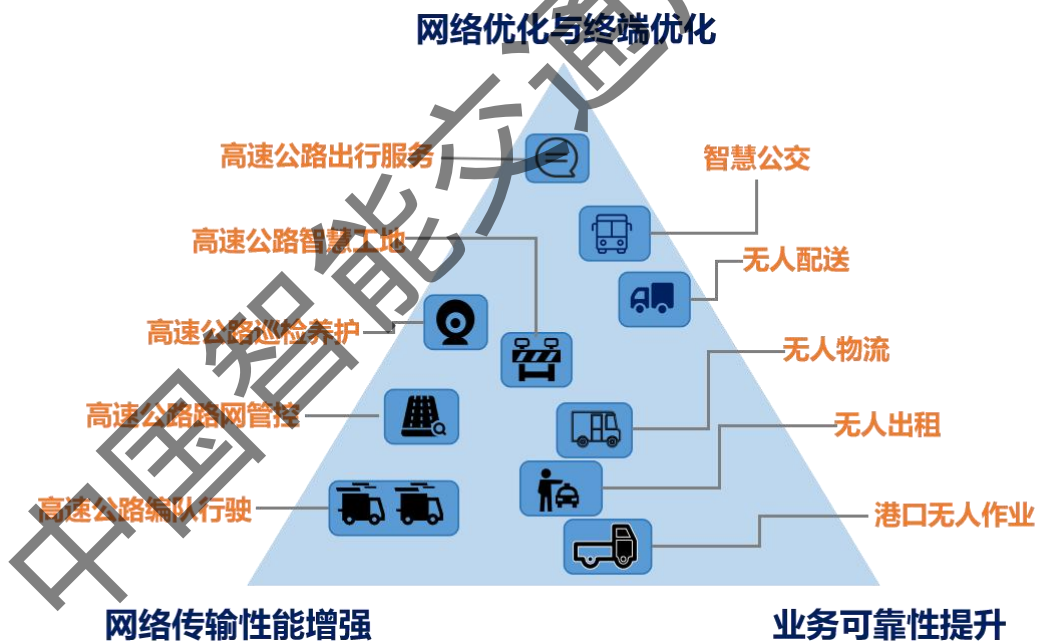


图 5 5G 赋能交通运输智能化发展的关键技术的三个维度

3.2 网络优化与终端优化关键技术

3.2.1 网络侧网规网优方案演进

目前 5G 现网以服务手机移动终端为主进行组网规划，网络规划、网络优化的主流场景划分包含商业区、居民楼、地铁、高速公路与普通公路等。从网规网优技术方面考虑，其核心参数受手机移动终端的分布、移动速度、上下行业务需求等因素影响。交通行业业务与个人用户业务之间具有明显的差异，例如车辆高速移动带来更强的多普勒效应与更频繁的小区切换，从而出现的无线传输性能变化；交通业务类型以上行传输（视频、图像）为主，对网络的上行覆盖与带宽提出了更高的要求等，这些都与 5G 现网面向以下行个人用户业务为主的网络覆盖设计规划有所差异。

因此，当前的网规网优需要针对性地增强网络覆盖与交通业务特性之间的匹配程度，一方面通过测试验证当前网络传输能力，另一方面结合实际结果，针对性增强网规网优，推动网络服务能力满足业务需求。

在网络传输能力验证方面，当前业界已开展相关测试验证活动，并建立网络性能测试能力。中国信通院联合中国移动、中国联通、中国电信等网络运营商，华为、中兴等设备商，以及广汽等车企，在无锡、上海、重庆、常州等地验证了不同 5G 现网网络架构下的车联网信息交互类、协作感知类的辅助驾驶业务，为 5G 车联网商用提供数据支撑。中国信息通信研究院研发 5G+车联网网络性能评估工具，可提供多种真实业务传输模型和自定义业务配置下的网络性能测试能力，提供端到端时延、可靠性、抖动等网络性能指标。

在网规网优增强方面，网络运营商已具备成熟的技术方案，并开

展相应的产业应用与推广。其核心方案，一是需要进行组网优化及网络移动性策略优化，例如采用覆盖区域重叠设计，利用多个基站减小网络波动，在对组网方式进行设计时，注重减少网络切换次数；二是需要修根据覆盖范围内业务车辆的分布、业务传输需求，修订上行业务模型，提升网络覆盖，提高上行业务传输能力。当前这些增强技术已开展相关的产业实践，例如中国移动在盐城市部分现网区域进行试点，应用网络切换门限参数设置尽量保证用户驻留在 2.6G 频段发挥带宽优势，700M 频段作为次有保证用户驻留 5G，当服务小区的 SINR 不满足要求时，将考虑切换到 LTE 网络，保证网络连接。该方案实施后 700M 频段切换成功率明显改善，实现目标区域上行覆盖能力较大提升。

总的来说，网规网优作为通信运营商持续应用和迭代升级的技术，技术方案发展已经成熟，且在各地有大量的产业实践案例。下一步，需要进一步推动实际交通行业业务开展时的网络性能测试评估工作，验证真实网络环境针对于交通行业应用需求的供给能力，为 5G 网络的服务能力提供参考依据。

3.2.2 终端侧功能与性能提升

车辆、巡检机器人、头戴式安全帽等交通行业应用终端的通信性能与手机移动终端具有显著差异。在硬件方面，由于受到天线数目、车辆穿透损耗、通信模组功能等影响，行业应用终端的无线通信能力大不相同；在软件或策略配置方面，由于行业应用终端采用物联网卡，其网络配置策略、支持/开通的网络能力也各有不同，影响最终的通

信性能。因此，在相同的网络覆盖下，出现手机移动终端可以达到预期的通信效果，而车辆、巡检机器人、监控等交通行业应用终端的通信性能无法满足业务预期的情况。例如在进行实车测试时，车载终端小区切换频繁、FTP 业务性能明显低于手机终端等现象，达到支撑应用完美开展仍需进一步提升终端功能和性能。

为此，当前产业界积极推动产品标准化和测试验证工作。一方面，业界积极制定面向不同应用场景需求的车载通信终端规范标准，明确终端功能性能要求。中国信通院联合产业链上下游、产学研用各方力量，开展面向远程遥控驾驶、高级别自动驾驶等应用需求的车载终端技术规范制定，推进创新技术成果向标准转化。另一方面，通过建立终端性能测试评估方案与工具，实际验证业务环境下的通信性能。创远信科等通信仪表厂商提供外场环境下的 5G 车载终端测试方案，支持高通、海思、晨芯、MTK 等多芯片平台，已面向多家车载终端厂商，在北京、厦门、上海多地开展性能测试。该方案通过被测件（T-Box/OBU）、对比件（商用手机）和真值（扫频仪）联合测试，提供网络覆盖、网络接入/驻留、移动性能，Ping/FTP 上行/FTP 下行业务等测试能力，验证不同车载终端的蜂窝网络通信能力。

面向交通行业应用的通信终端种类繁多，功能与性能各异，当前仍处于自由发展与应用实践的阶段。下一步，需要依托标准固化终端功能性能要求，通过检测认证等方式，引导面向交通场景应用的终端产品规范化发展；另外，需要加强实际外场业务环境下的终端功能、性能测试，进一步完善终端侧通信能力，为规模化产业发展提供坚实

基础。

3.3 网络性能增强关键技术

3.3.1 上行大带宽传输

为支持远程遥控驾驶等应用，车端采集的视频数据需要通过 5G 网络回传到遥控驾驶平台。车端一般需要上传 4-6 路视频数据以提供 360 度全视野视频，同时为保证画质可辨识（每帧码率建议达到 200Kbps 以上）和视频直播相对流畅（帧率建议 15Hz 以上），单车视频数据将占用 12-18Mbps。另外考虑还需采集车内或其他车的视频数据，外加业务逻辑数据，单车的上行带宽可要求达到 20Mbps 以上，对当前 5G 现网的传输能力提出挑战。

面向上行大带宽传输需求，当前已有多种关键技术方案，包括高低频协同组网、特殊时隙配比、补充上行等。高低频协同组网方案支持进行业务分流，低频段可快速实现大片区域连续覆盖，普通业务可分配到该频段；中高频进行热点容量提升，满足高带宽业务需求。特殊时隙配比方案引入新的时隙配比 2:3 (DSUUU)，相比于传统时隙配比 4:1 (DDDSU)，理论上可达到 2.7 倍的上行容量。补充上行提供额外的上行可用时频资源，例如在 C-Band 频谱的上行时隙，使用 C-Band 频谱进行上行数据发送；在 C-Band 下行时隙，使用空闲的 Sub-3G 频谱补充进行上行数据发送，实现上行数据可以在全时隙发送，从而支持上行大带宽传输。

由于产业技术供给较为充足，相关关键技术已经完成研发与验证，

网络设备已实现量产，因此已经形成了港口、园区等小范围特定区域内成熟的 5G 专网部署方案。同时，当前 5G 专网主要由业主投资按需建设，已在多地的港口、封闭园区或小范围城市道路区域实际部署，并支撑业务常态化运营。江村铁路编组站数智化改造中应用 4.9G 超级上行增强技术，引入 1D3U 的帧结构，为局部热点区域的监控视频上传等上行业务提供网络能力支撑，上行峰值速率可达到 800M 以上。宁波舟山港应用上下行解耦技术，在 3.5GHz 频段出现上行覆盖受限的区域采用非对称频谱，将上行传输转移到覆盖性能更好的 1.8GHz 频段，提高业务传输性能。

总的来说，上行大带宽传输关键技术已在小范围内实现成熟的商业化部署，下一步随着应用部署与推广的需求，面向高速公路等大范围场景时，1D3U 特性造成的小区干扰、多频网络覆盖等问题有待进一步研究与验证。

3.3.2 下行低时延、高可靠传输

网联自动驾驶、远程遥控驾驶等应用，遥控平台需要向车端下发驾驶建议、遥控驾驶指令等信息，为了保障车辆的安全行驶和龙门吊等作业工具的正常使用，提出了应用层下行 20ms 传输时延，网络层 99.999%可靠性的要求¹，这对 5G 网络提出了严格的性能要求。

面向下行低时延、高可靠的传输需求，当前已有多种关键技术方案。例如通过专用数据网名称（Data Network Name, DNN）限定接入用户，提高数据可靠性；通过用户面功能（User Plane Function，

¹ 《基于 5G 的远程遥控驾驶信息交互系统 总体技术要求》

UPF)下沉、部署多接入边缘计算(Multi-access Edge Computing, MEC),实现数据流不经骨干承载网,在本地完成中转和卸载;采用无线网切片技术,进行无线5G QoS标识符(5G QoS Identifier,5QI)预调度或资源块(Resource Block, RB)资源预留,实现低时延、高可靠、大带宽等传输能力;采用承载网切片技术,基于VPN+QoS和灵活以太网(Flexible Ethernet, FlexE)切片,综合承载多类型业务。

与上行大带宽传输技术相同,当前下行低时延、高可靠相关关键技术已经完成研发与验证,网络设备已实现量产,因此已经形成了港口、园区等小范围特定区域内成熟的5G专网部署方案,并在多地的港口、封闭园区或小范围城市道路区域实际部署,支撑业务常态化运营。山东青岛港、龙拱港等多个港口已实现5G专网部署,龙拱港的无人集卡上下行传输双向时延平均值可达35ms(ping包测试),并实现了港区公网/专网数据隔离、生产管理数据不出港区的安全目标。

总的来说,下行低时延、高可靠传输关键技术已在小范围内实现成熟的商业化部署。下一步随着应用部署与推广的需求,大范围部署时业务路由配置和部署、跨域MEC业务迁移、网络切片资源预留对其余业务造成的性能影响等问题有待进一步研究和验证。

3.4 业务可靠性提升关键技术

3.4.1 多网络冗余备份

远程遥控驾驶等应用对网络服务提出超高可靠性要求,期望获得“全程全网随时能用”的业务保障。然而受信道状态、业务负载等影响,

无线通信的性能天然具有随机性与不稳定性，单一网络覆盖及业务服务稳定性有限，导致出现小区切换导致速率“掉坑”、覆盖“空洞”、多业务并发时资源不足导致业务性能降低等问题，对保证全程全网的性能稳定带来一定挑战。

当前业界针对不同的道路交通环境，提出了不同的解决方案。面向港口、园区等封闭区域，单一运营商通过多频段的冗余传输实现备份，保障高可靠网络通信，已开展大量应用实践。中国移动在天津港采用 700M 和 2.6G 双频段进行网络备份，满足无人集卡对网络严苛的 SLA 要求。中国电信在日照港针对远程遥控场景，通过双发选收技术方案实现港口数据的冗余传输，其中关键远程操控数据以 2.1G+3.5G 双频组网冗余传输，降低 5G 空口丢包率；5G CPE 设备实现数据双发，实现空口稳定传输；UPF 实现选收，降低无线数据转发的时延和抖动，并提升可靠性；针对开放道路，通过多运营商网络重复传输相同数据提升可靠性，服务端根据数据包抵达顺序，将数据送达应用端。晟元通信联合文远知行在广州开展多运营商网络多发选收解决方案验证，实现多运营商网络切换下的数据稳定传输。

面向无线通信的多网络冗余备份传输，当前业界已形成相对成熟的两种解决方案。单一运营商的多链路备份已实现实际部署应用，多运营商多链路冗余传输有待结合行业应用需求进行商业化验证。

3.4.2 服务质量保障

服务质量保证是使能 5G 网络从提供统一的“尽力而为”服务能力，向可提供差异化的“确定性服务质量保障”服务能力转变的关键，

也是通过可量化、可实现的方式满足交通行业多样化的业务场景和应用需求的有效方法。服务质量保障可从服务等级协议指标定义、实时网络服务状态指标采集、交通行业用户体验质量（Quality of Experience, QoE）评估三个方向，量化网络服务能力，建立网络能力与垂直行业业务之间的沟通桥梁。其中 SLA 指标的衡量对象是网络切片，是行业用户和网络运营商之间约定的服务质量标准，用以明确网络提供的能力。结合 GSMA 和 3GPP 规范以及 5G 切片业务实践，当前业界初步总结出了 5G 切片相关的通用 SLA 指标集，可支撑交通行业应用需求，如表 6 所示。实时网络服务状态指标采集用于实时掌握网络状态。在网络即服务（NaaS）模式下，交通客户对于网络的可视化管理是基本共性需求。而对于部分 ICT 技术能力较强的行业，还需要对网络实现一定程度的自管理、自运维，甚至一定程度的自服务、自运营。面向这一需求，需要提供网络指标采集功能，协助用户直观地感受 5G 网络效果、洞察网络异常。最终，QoE 是行业用户对应用或业务质量和性能的主观感受，用于最终衡量网络是否能支持业务正常开展。网络状态指标采集和交通行业 QoE 评估这两方面的能力产业仍在积累过程中。

表 6 通用 SLA 指标集

SLA 指标	定义
网络可用度	产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的能力。(来源：GJB451-90、IEC61907)
用户带宽 (UL/DL)	获得足够质量体验所需的最低网络带宽，广播类业务的情况除外(其给定的值是所需的最大值)。(来源：3GPP TS 22.261 / 22.104)
时延	端到端时延：在通信接口处测量的，从源点处传输到目的地成功

	接收所花费的时间。(来源: 3GPP TS 22.261)
包可靠	在网络层数据包传输的上下文中, 在目标业务所需的时间约束内成功传送到给定系统实体的网络层数据包的数量除以已发送的网络层数据包总数的百分比值(通常使用丢包率、抖动来表征包可靠)。(来源: 3GPP TS22.261)
定位准确度	定位准确度: 描述 UE 测量位置与真实位置值的接近程度。(来源: 3GPP TS 22.872)
授时精度	参考 3GPP 中 Clock Synchronicity 定义如下: 主时钟和任何单个 UE 时钟之间同步域内允许的最大时间偏差。(来源: 3GPP TS 22.104)
网络安全	保障在网络中传输、交换和存储的信息的机密性、完整性, 不被未经授权的篡改、泄露和破坏, 同时, 保障系统连续可靠地运行, 不中断的提供连续通信服务。
隔离度	租户业务需求对资源的隔离要求。不共享: 租户要求切片资源完全隔离租户业务与其他业务不能共享一个 NSI; 共享: 租户对资源的隔离没有强制要求, 运营商可以按自有部署策略来满足切片 SLA。

在实时网络服务状态指标采集方面, 面向交通应用已形成网络服务状态指标采集能力相关产品与服务。中国信息通信研究院研发了 5G 车联网场景的“网络+业务”一体化测试工具, 可在港口无人作业、智慧公交、自主泊车、5G 远程遥控驾驶等场景开展 5G 网络性能、视频传输质量评估等, 促进 5G 网络与应用需求的衔接匹配。中国移动、联通等纷纷推出 5G 车联网质量探针, 可采集车端基础信息、状态指标、性能指标和相关事件数据, 提供网络实时状态监测能力, 实现车联网端到端轻量化、智能化运维。

在 QoE 评估方面, 面向视频传输业务的 QoE 指标已初步形成,

包括业务成功率、业务速率、数据传输完整性、视频完整性、视频流畅度、画面质量等；而针对其他交通行业业务的业务体验指标尚未形成，有待进一步研究。同时，为了明确业务对于网络能力的需求，需要将 QoE 与 SLA 指标形成映射关系，业界尚未针对这一方面达成明确的共识，仍需进一步研究。当前通过利用人工智能/机器学习等新技术，通过大数据建模的方式，业界正积极探索业务体验评估新方案，中国联通研究院提出切片业务体验模型，基于历史业务体验值和网络数据，利用大数据分析和人工智能/机器学习算法进行训练和建模，表征用户业务体验值与切片网络数据之间的关系。

总的来说，面向交通行业业务需求的服务质量保障技术与方案整体仍处于研究探索阶段，下一步需加快业务体验评估方案的研究，并推进服务质量保障方案在交通行业应用时的方案与性能验证。

3.5 小结

5G 赋能数字交通的关键技术与解决方案聚焦网络优化与终端优化、网络性能增强、业务可靠性提升三个方面。针对网络优化与终端优化，在网络侧应结合交通业务需求与特性进行网络性能测试，针对性增强网规网优，提升网络服务能力；在终端侧应建立车载终端功能、性能相关标准与测试能力，推动外场端到端性能测试，完善终端侧通信能力。针对 5G 网络性能增强，上行大带宽、下行低时延高可靠传输需求，小范围特定区域部署方案较为成熟，已在多地支撑业务常态化运营，需要进一步研究与验证大规模部署时方案可行性与实际性能。

针对业务可靠性提升，多网络冗余备份已形成相对成熟的两种解决方案，有待结合行业应用需求进行商业化验证；SLA 性能保障仍处于方案探索与验证阶段，需加快在交通行业应用时的方案与性能验证。

表 7 5G 赋能交通运输智能化发展关键技术发展总结

技术分类	细分方向	发展现状	下一步推进方向
网络优化与终端优化	网络侧网规网优方案演进	具备成熟的技术方案，已商业化应用	结合交通业务需求与特性进行实际业务环境下的网络性能测试，针对性增强网规网优
	终端侧功能与性能提升	产品标准化和测试验证工作推动的阶段	建立车载终端功能、性能相关标准与测试能力，推动外场端到端性能测试
网络性能增强	上行大带宽传输	具备成熟的技术方案，已在小规模场景商业化应用	研究与验证大规模部署时方案可行性与实际性能
	下行低时延、高可靠传输	具备成熟的技术方案，已在小规模场景商业化应用	研究与验证大规模部署时方案可行性与实际性能
业务可靠性提升	多网络冗余备份	已形成相对成熟的两种解决方案	结合行业应用需求进行商业化验证
	服务质量保障	方案探索与验证阶段	加快技术研究与方案验证

4. 5G 赋能交通运输智能化发展的建议

当前，我国 5G 行业迎来规模化应用关键时期，作为新型基础设施建设的七大领域之一，5G 网络建设正同步推进智能交通新型基础设施的建设进程。随着 5G 网络的覆盖、保障和赋能，降本增效、安全性提升、出行服务拓展等价值效益在交通场景下持续推陈出新；在灵活架构、统一承载等方面 5G 网络也能够形成强有力的服务支撑，持续深化与交通行业核心业务的融合发展。

纵观行业发展趋势，5G 应用正从一系列“外围环节”向生产的“核心环节”延展，赋能作用日渐突显。但相较于交通行业应用部署周期，5G 技术演进节奏较快，5G 融合应用在交通场景落地使用时，仍需要在跨行业统一推进、5G 和行业技术深度融合、释放 5G 应用规模效应等方面持续发力，积极从政府、行业、企业多层次加强跨行业协同，共同推进 5G 与交通行业融合创新，引导产业健康积极发展。

4.1 加强政策规划牵引

一是实现 ICT 领域牵引。在政策落实层面，持续贯彻落实信息通信领域“5G+交通”“算力+交通”等相关政策；在基础设施层面，持续支持扩大 5G 网络覆盖范围、提升 5G 网络服务水平，推动 5G+交通商业化产品名录建立、5G+车联网基础设施监测等组合动作；在终端推广层面，加强车载终端渗透率等具体政策的立项和落实。**二是推动部际协同。**建议跨部门进一步明确交通运输智能化发展的技术路线、阶段性应用推广目标与具体安排计划，合作开展“5G+交通”典

型应用案例征集和专题宣传，深度挖掘“5G+交通”的创新解决方案，遴选行业标杆成果，发挥典型引领的积极作用。**三是强化央地联动。**建议鼓励并指导相关地方政府先行先试，制定出台具有针对性的产业政策，积极探索“5G+交通”创新发展路径。通过举办行业创新应用大赛、实用场景关键技术揭榜挂帅等方式，推动各地政府充分挖掘行业发展空间，扎实推进示范应用实践工程。

4.2 强化技术标准创新

一是深化交叉技术融合创新。以“5G+交通”融合发展需求为导向，加强对于通信芯片模组等重点环节技术创新的支持和引导，探索5G现网增强、5G-A、5G-Redcap、云网融合等网络技术与交通数字孪生、综合业务承载等业务环节融合的研究与开发，加快车用无线通信技术的应用与推广。**二是加强标准引领与协同。**快速推进团体/地方标准并规范尚未成熟的技术，先行先试发挥ICT赋能作用，加快行业/国家标准中共性基础标准的制定，满足产业发展需求。强化通信、汽车、ITS、交通管理等标准组织的协同，促进各方在立项范围等方面达成共识，加快相关标准的推进速度，共同持续维护标准体系建设。**三是开展跨行业协同的测试验证。**面向应用需求的重点产品和系统，依托行业相关组织开展测试验证活动，探索更明确的体系架构、更详细的技术要求、更丰富的应用场景，推动标准技术切实落地应用。推动产业各方在功能、性能等多方面要求形成共识，促进5G网络等相关技术产品与应用需求的衔接匹配，支撑产业从有标可依到实现大规

模实施推广。

4.3 推进产业生态融合

一是合力打造成**成熟合作生态**。加强政府、产业、科研机构、高校及企业等主体多方合作，打造开放聚合的融合生态圈。充分发挥政府在政策激励和机制协调方面的有为作用，通过专策、专款、专项等方式引导市场和产业良性健康发展，推动智慧高速公路、智慧港口、智慧城市交通等**5G 赋能交通运输**典型场景落地，强化事前事后监管，实现投入产出的闭环管理。二是积极探索**潜在商业模式**。树立产业需求导向，推动多模式多场景的运营示范工作，探索构建**5G 赋能交通运输智能化发展**试点应用，挖掘智慧高速、港口、城市交通场景中的业务数据价值，推动业务数据向数据资产转化，并探索数据后服务市场的潜在可能。三是着力推广**典型应用案例**。抓好用好产业联盟等跨行业企业之间**连结纽带**，通过开展联合研究并发布白皮书、研究报告等方式梳理行业标杆，加快优秀成果总结推广，促进**5G 与智慧交通融合应用**发展走深向实，推动典型应用规模化落地。