



智能网联汽车网络技术路线图 (2025-2030)



2025年10月

指导单位（按字母排序）

- IMT-2020（5G）推进组 C-V2X 工作组
- 移动通信与车联网国家工程研究中心
- 中国汽车工程学会
- 中国通信学会
- 中国通信标准化协会

主编单位（按拼音排序）

阿里云计算有限公司
北京六分科技有限公司
北京万集科技股份有限公司
北京数字认证股份有限公司
车联网技术创新与测试评价工业和信息化部重点实验室
宸芯科技股份有限公司
格尔软件股份有限公司
国家智能网联汽车创新中心
华为技术有限公司
浪潮电子信息产业股份有限公司
联通数字科技有限公司
联通智网科技股份有限公司

晟安信息技术有限公司
上海方位角数据科技有限公司
上海国际汽车城（集团）有限公司
天翼交通科技有限公司
西部科学城智能网联汽车创新中心
兴唐通信科技有限公司
中电信智能网络科技有限公司
中国电信集团有限公司
中国联合网络通信集团有限公司
中国信息通信科技集团有限公司
中国信息通信研究院
中国移动通信集团有限公司
中国移动通信有限公司研究院
浙江时空道宇科技有限公司
中信科移动通信技术股份有限公司
中信科智联科技有限公司
中兴通讯股份有限公司
中移（上海）信息通信科技有限公司
郑州信大捷安信息技术股份有限公司

编写组名单

专家组成员（按拼音排序）

陈山枝 代晓慧 葛雨明 公维洁 张延川

主编人员（按拼音排序）

陈建华	陈庆磊	陈 晓	崔士弘	丁 旭	丁 郁
邓婷婷	杜部致	房 骥	房家奕	高晔晔	巩金亮
韩 波	胡 风	胡功胜	胡金玲	黄 丹	黄舒宁
侯迎龙	金 霆	井文胜	康绍丽	李伯雄	李 斌
李 凤	李 光	李广超	李俊峰	李 宁	李 岩
李 鑫	梁承志	梁筱斌	雷凯茹	刘 洁	刘为华
林昆勇	马 帅	毛祺琦	钱厚才	乔新昱	宋 军
沈 旭	沈学明	商建伟	孙鑫红	田高辉	王本海
王 琳	王新华	王 永	王 宇	王紫薇	王志国
汪建球	武云辉	辛 亮	徐 畅	许 俊	许 玲
易 非	余 霞	杨晓华	曾闹闹	郑加希	郑银香
周光涛	周国平	周云冲	张宏怡	张 平	张 楹
祝 峰					

引 言

随着汽车智能化、网联化的加速演进，汽车已从传统机械产品转变为集通信、计算、控制于一体的智能移动终端。当前，智能网联汽车对网联技术的需求从基础数据传输升级为全域覆盖、无缝连接、在不同场景下满足大带宽、低时延、高可靠等差异化传输需求的多维能力体系；汽车网联技术的应用边界持续拓展，已从早期车载信息娱乐、远程诊断等基础功能，演进至多源协同感知、实时决策支持等驾驶自动化类高级应用场景，跨行业融合加速深化。

在此背景下，5G、C-V2X 直连通信与卫星通信等多种技术并行发展，虽为行业提供多元化技术路径选择，也带来跨行业技术标准协同、基础设施能力与车端应用需求匹配、成本投入与收益平衡、安全风险叠加等系统性挑战，影响汽车与信息通信深度融合发展进程。为破解上述挑战，本报告聚焦“人-车-路-云”要素的全面连接与深度协同演进，提出“连接-计算-安全”三大技术方向，系统规划技术演进路径：通过 5G/5G-A 蜂窝移动通信网络、C-V2X 直连通信网络、卫星通信网络及基础设施数据传输网络，构建全天候全域覆盖的高效连接通道；依托分级部署的算力基础设施与算网协同服务，打造弹性智能的计算能力底座；以纵深防御机制贯穿全链路，确保数据可信与系统安全。三者有机协同，根据车辆应用场景的差异化需求，合理选择连接通道、分配智能计算能力与采取安全防护策略，实现从基础安全防护到高级智能服务的全栈技术支撑，最终达成智能网联汽车在驾驶安全性、出行效率、用户体验上的全面提升，为产业高质量发展提供可持续的技术驱动力。

本报告旨在为产业提供清晰的技术演进路线和时间表，明确各技

术方向的发展重点与阶段性目标，期望能够打破行业壁垒，促进产业链上下游协同创新，推动标准互通、设施共建、数据共享，构建开放、协同、安全、可持续发展的产业生态，为我国智能网联汽车在全球汽车产业竞争中占据领先地位提供坚实支撑。

一、 智能网联汽车网络技术整体视图

智能网联汽车网络架构包含通信网络和算力基础设施两大核心部分，共同构建支撑车辆智能化发展的技术底座。

一方面，通信网络作为“人-车-路-云”各要素互联互通的基础通道，包括车用无线通信网络与基础设施数据传输网络两大部分：

车用无线通信网络是车辆与外部环境交互的关键通道，包含 5G 蜂窝通信网络的广域覆盖、C-V2X 直连通信网络的近程交互和卫星通信网络的全球覆盖，构建覆盖的立体化网络连接能力。5G 蜂窝移动通信网络是汽车与平台之间的基础通信通道，可提供高速率、低时延、大连接的通信能力，实现车辆状态数据的实时回传、交通信息的即时获取与智能座舱的流畅交互，为车辆提供大范围的连接基础。C-V2X 直连通信网络支持车辆与车辆(V2V)、车辆与基础设施(V2I)、车辆与行人(V2P)之间低时延、高可靠性的直接通信，支持紧急制动预警、交叉路口碰撞预警、盲区预警等关键安全场景，可显著提升行车安全性，降低交通事故发生率。卫星通信网络依托卫星星座部署的全球覆盖通信系统，是地面通信网络的有效补充，可在偏远山区、沙漠等地面网络覆盖薄弱区域提供广域、连续、稳定的通信保障，实现在自然灾害、交通事故等紧急情况下的应急通信、全球范围内的远程车辆追踪等特殊应用场景，为车辆提供无死角的通信保障。

基础设施数据传输网络是通过部署在道路上光纤等固定通信设施，构建高效的数据传输通道。该网络将路侧感知设备采集的交通信息等数据实时传输至云端平台，支撑车路云一体化数据闭环。对汽车而言，该网络虽未直接与汽车进行连接，但是为汽车提供了交通流量优化、道路安全预警、智能信号灯协同等应用的数据，使车辆能够获

取更全面的交通环境信息。

另一方面，算力基础设施集信息计算力、网络运载力、数据存储力于一体，为车辆提供从感知、决策到执行的全链路计算能力，实现车辆从被动响应到主动智能的转变，最终达成安全、舒适、节能、高效的智能出行体验，是智能网联汽车智能化的核心支撑。

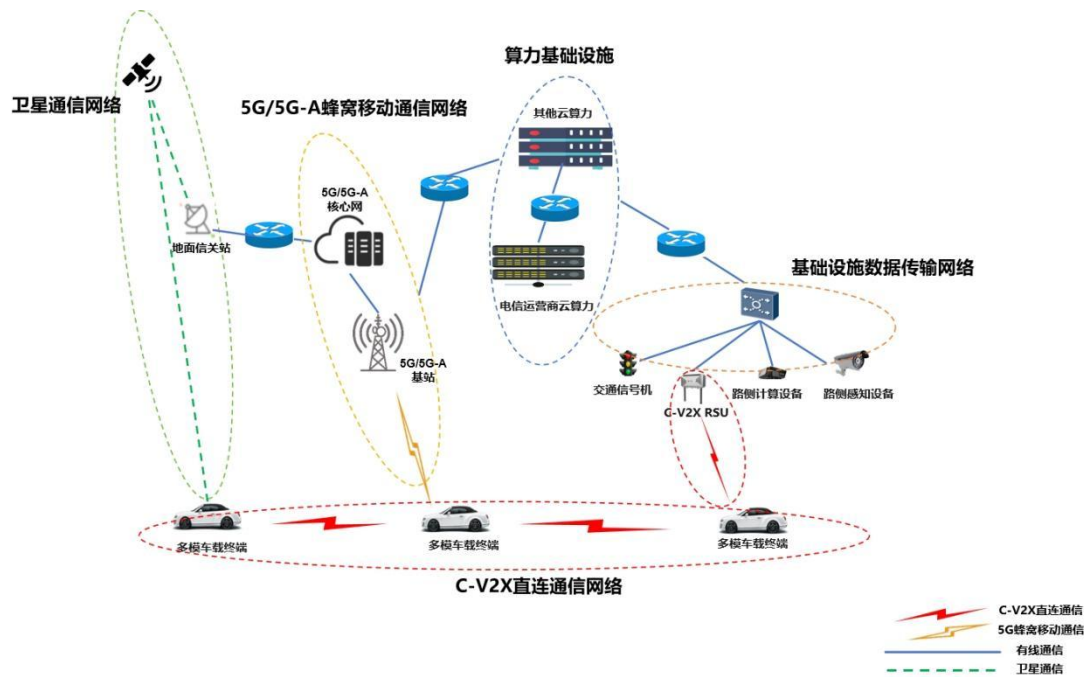


图 1 -智能网联汽车网络架构图

二、 智能网联汽车网络发展现状与趋势

在整体视图框架下，从各类网联通信技术的发展态势看，已逐渐从基础通信工具升级为支撑“功能升级-用户体验-驾驶安全”全场景服务的关键基础能力。全球汽车产业与信息通信技术的深度融合正进入新阶段，国际组织协同加速推进，主要国家和地区持续深化战略布局，我国凭借汽车制造与信息通信产业链的协同优势，已在 5G-V2X 融合应用、路侧基础设施部署等领域形成全球领先态势。

国际组织系统性加速推进汽车网联通信技术的全球化协同与落

地实施，为产业生态构建提供核心支撑。国际电信联盟（ITU）于 2024 年通过首个针对车联网新兴领域的独立决议，全面支持车联网信息通信标准制定与全球互联互通，同步成立自动驾驶通信技术专家组，为网联通信技术支持自动驾驶法规提供顶层设计。国际电信标准组织（3GPP）持续深化蜂窝移动通信技术演进，通过提升传输容量、时延可靠性及移动切换性能，拓展直连通信单播组播、定位与节能等关键特性，并推动地面蜂窝移动通信、短距直连通信与卫星通信一体化网络体系，增强网络全域覆盖能力。国际自动机工程师协会（SAE）完善轻型车、校车等 V2X 道路安全应用标准，制定后装 OBU 标准，多维度提升车端渗透率；面向 L4/L5 级自动驾驶，制定物流、工厂等特殊场景下自动驾驶车辆调度标准，加速自动驾驶规模应用；并同步开展基于蜂窝网络的 V2N2X 服务研究及路侧感知共享 profile 标准，填补感知共享空白并强化超视距预警能力。5GAA 汽车协会（5GAA）致力于跨行业合作，于 2024 年 12 月发布路线图 3.0，聚焦 V2X 与 ADAS 融合、地面网络和非地面网络融合以及 MEC 部署等关键方向，加速 Day 1 业务商用进程，并推进 C-V2X 直连通信演进、6G 车联网等前沿技术研究，持续深化网联化与智能化融合。

国际主要汽车强国与地区，政府与产业界积极部署重大项目，加速推动核心技术突破与应用推广。美国加强全国范围车联网部署，推进一致性服务。2024 年，美国交通部（USDOT）发布《用连接挽救生命：加速车联网部署计划》，为全国的 C-V2X 技术应用提供发展路径引导，通过“增强出行能力”等项目投资 7000 余万美元，重点开展 C-V2X 路侧部署及车路协同测试验证，截至 2025 年 8 月犹他州 60%路口完成网联化升级。欧盟加大网联驾驶技术研发和应用示范投

入，加速大规模可互操作网联基础设施部署。依托 Horizon2020 与 Horizon Europe 研发框架，欧盟推动跨区域的网联驾驶技术测试与商业化探索，并计划于 2026 年规模部署 8 个道路安全相关交通信息应用场景。此外，由欧盟成员国和道路运营商共同发起的 C-Roads 平台，面向道路施工预警、危险位置通知等通用服务制定统一的通信协议，实现来自不同国家的车辆与当地基础设施互联互通，已在欧洲范围内部署超过 2000 个可互操作的 C-ITS 站点。韩国政府机构、电信运营商和本土汽车制造商协同推进车辆网络技术应用发展，形成高度协同的产业发展态势。韩国坚持国家智能交通系统（K-ITS）战略，四部委联合设立 1.1 万亿韩元资金，支持车辆智能化、ICT、基础设施、出行服务、标准等核心技术研发。现代摩比斯、KT 与现代 MnSOFT 公司合作，在瑞山试验场测试验证 5G、C-V2X 在实时高清地图更新、碰撞避免等应用场景性能。

我国在汽车网联通信领域已形成全球领先的综合优势。标准体系方面，我国率先形成包含汽车、信息通信、电子、交通等跨行业联合的顶层标准体系建设指南，以中国通信标准化协会（CCSA）为核心组织，已制定完成 LTE-V2X 直连通信系列通信行业标准，涵盖接入层、网络层、消息层、应用层及设备技术要求等。强制性国家标准 GB 45672-2025《车载事故紧急呼叫系统（AECS）》将于 2027 年 7 月 1 日实施，预示着我国新车将实现 100% 网联；推荐性国家标准 GB/T 45315-2025《基于 LTE-V2X 直连通信的车载信息交互系统技术要求及试验方法》的发布，解决了不同厂商车辆间基本安全消息的互联互通问题。车端和基础设施渗透率持续提升，2025 年 1-7 月，我国乘用车新车网联渗透率超过 80%，5G 和 C-V2X 装配量超过 300 万辆，先

进网联技术应用规模快速提升；5G 基站总数达 459.8 万个，覆盖所有地级市城区、县城城区；30 余城市和多条高速公路部署 RSU 超过 11000 台，网联基础设施部署持续深入。示范应用方面，全国已建成 17 个国家级测试示范区、7 个国家级车联网先导区以及 16 个“双智”试点城市，正加快推进 20 个“车路云一体化”试点城市建设，累计开放测试示范道路 35000 多公里、发放测试示范牌照超过 1 万张。无锡、长沙等地的红绿灯信息推送服务已显著提升通行效率，北京、上海等地的自动驾驶出租车与智能重卡运输作业正加速落地。

未来，随着智能网联汽车规模化应用，网联通信技术与智能网联汽车发展螺旋上升的共生关系更加突出。一方面，网联通信技术深入汽车全生命周期环节，加速推动汽车产品向系统化、智能化方向跃迁。在汽车产品研发环节，网络连接构建数据闭环机制，实现驾驶训练数据的实时汇聚与云端高效处理，使自动驾驶算法迭代周期由月度压缩至周级，显著突破车端算力与成本约束，并在车云协同模式下，车辆聚焦实时感知与决策，云端承担复杂模型训练，形成研发-部署的敏捷闭环。在汽车产品使用环节，网联功能渗透率持续提升，OTA 技术成为核心功能更新载体，手机 APP 控车、数字钥匙等服务深度融入用户场景，“人-车-家”场景互联正在构建跨产业协同生态，推动智能座舱从单一形态向第三生活空间演进。以驾舱为交互底座，手机、智能家居及外部服务平台扩展场景服务边界，实现跨生态联动。另一方面，汽车业务呈现新变化，推动网络通信技术不断优化和演进。一是推动网络通信资源不断优化。自动驾驶训练数据的上传以及车云即时信息的双向交互，与传统手机智能终端“重下行、轻上行”的模式呈现显著差异，部分智能网联汽车每月所产生的数据量，上下行比例各

占到 50%，驱动 5G 等蜂窝移动通信无线资源分配做适配性优化。二是前沿技术融合程度加深。随着网联自动驾驶规模化应用、智能座舱内云游戏、AI 多模态实时交互等新兴场景发展，对网络通信技术提出超大带宽、超低时延与高可靠、网络覆盖连续性、高连接密度等需求，成为 5G-A、算网融合等新一代信息通信技术演进的重要驱动力。

三、 智能网联汽车网络发展需求与模式分析

面向 2030 年，智能网联汽车将向“人-车-路-云”要素的全面连接与深度协同演进，智能网联汽车将支撑从基础安全监控、远程诊断维护、智能座舱交互，到高级驾驶辅助、自动驾驶及跨域协同决策的全场景应用。在此背景下，网联技术将面临“长周期持续可用、稳定可靠传输、多场景适配、高安全可信”的综合需求。一是汽车产品生命周期长达 10-15 年，要求网络连接必须具备长周期持续可用特性，避免因技术迭代导致车端通信能力与基础设施不匹配。二是驾驶自动化等高级应用场景对网络时延、可靠性提出极高要求，需要网络实现“可靠稳定”传输，而非传统“尽力而为”的网络服务。三是汽车网联化应用的全面渗透，推动网络提供全域覆盖、无缝连接的通信能力，支持从城市道路到偏远地区、从日常通勤到应急救援的全场景应用；此外，为了降低车端计算压力，海量计算任务将从车端部分卸载，需要构建端-边-云协同的算力基础设施，通过“算网融合”技术，将算力像网络一样按需、弹性地调度给车辆，支撑智能化决策。最后，安全是产业发展的压舱石，网络必须具备高安全防护能力，确保数据传输安全与系统运行可靠。

从发展模式来看，与移动通信网络的迭代发展周期相类似，服务于车辆的网联通信技术发展也同样遵循“布局一代、应用一代”的内在

规律；与此同时，汽车网联通信技术的规模化应用通常滞后于网络基础设施的部署和消费电子产品的应用，例如 5G 在车端的应用普及相比于手机等移动终端存在一定的滞后性。因此，汽车网联通信技术应采取分阶段、差异化的推进策略。对于 5G 蜂窝移动通信网络、LTE-V2X 直连通信网络、基础设施数据传输网络、算力基础设施等已具备商用基础的成熟技术方向，需要通信与汽车行业深度协同，共同推动其规模化部署与应用落地，形成可复制、可推广的应用模式。对于 5G-A 蜂窝移动通信网络、NR-V2X 直连通信网络等处于早期验证阶段的前沿新技术，需要加强跨行业、跨领域的协同创新，开展充分的技术验证与应用试验，重点探索其在复杂场景下的可行性、性能边界与潜在优化方案，并同步推进相关标准体系的构建与商业模式的探索，为未来的大规模应用奠定坚实基础。通过“成熟技术应用”与“前沿技术探索”双轮驱动，实现技术迭代与产业发展的良性循环，为汽车产业智能化网联化发展下半场打好坚实基础。

四、 智能网联汽车网络发展总体目标

为满足智能网联汽车对于网络“长周期持续可用、稳定可靠传输、多场景适配、高安全可信”的综合需求，需要系统性结合多种通信网络、分布式算力基础设施以及网络安全技术，构建“泛在接入、能力协同、安全可信”的智能网联汽车立体化网络体系，为智能网联汽车提供广覆盖、多层次、按需服务的稳定可靠连接与计算能力，支撑智能网联汽车的高速发展。该体系能够打破单车智能的局限，通过超视距感知、协同决策和全局调度，全面提升智能网联汽车驾驶的安全与效率；同时，还将催生出丰富的商业模式，如数据服务、高精度地图更新、车辆保险创新等，为产业高质量发展注入持久动力。为实现这

一总体目标，需在连接、计算和安全三大方向上协同发力，制定如下发展目标：

● 构建泛在接入、多网联动的连接能力

通过 5G/5G-A 蜂窝移动通信网络、C-V2X 直连通信网络和卫星通信网络协同组网，支持车辆网络连接的泛在接入；由高速光网络承载路侧基础设施数据传输以获取车辆以外来源的数据。在车端渗透上，乘用车新车 5G 渗透率达 95%，LTE-V2X 直连通信渗透率达 30%，中高端车型卫星通信搭载率提升，提升车端多网络接入能力。在网络覆盖上，城市区域道路 5G/5G-A 蜂窝移动通信网络与 LTE-V2X 直连通信融合组网覆盖率达 98%以上，卫星通信实现全球覆盖，形成“天地”无缝衔接的立体网络覆盖，保障车辆获得稳定可靠的网络连接。在网络性能上，5G/5G-A 网络支持单向端到端 50ms@99%、100ms@99% 传输性能，LTE-V2X 直连通信网络平均时延低于 30ms，车载卫星通信实现近百 Kbps 传输速率，由不同网络提供差异化服务能力；基础设施数据传输网络可靠性达到 99.999%，保障数据高效可靠传输。

注：100ms@99%和 50ms@99%指端到端时延低于 100ms 或 50ms 的百分比。

● 打造端边云一体的算力资源底座

算力基础设施形成“端-边-云”分级部署、能力协同的体系，支持计算资源与网络传输能力深度融合。路侧计算设备的可靠性及环境适应性显著提升，新建路侧计算设备的算力纳管率不少于 90%。电信运营商边缘云升级改造，具备智算能力的边缘云不少于 90%。建立相对成熟的端边云协同计算体系，实现端算力之间，以及端边云算力之间的资源共享及按需调度，为车辆提供即取即用、精准匹配的算力服务能力。

● 建立全链路、主动式的纵深安全防御体系

构建覆盖“端-管-云”全链路，融合人工智能、密码技术和跨行业信任机制的纵深防御体系，通过人工智能技术全面赋能网络安全防护，实现网络异常行为检测、应急响应与联动处置等全链条自动化、智能化能力；形成车联网统一身份认证体系架构，基于零信任架构实现跨平台跨应用互信互认；商用密码算法占比逐步扩大，密码技术全面保护车路云安全，从而确保网络通信和数据资产的安全保障数据和通信的机密性、完整性和可用性。

五、 分领域技术路线发展目标

（一）通信网络

在车用无线通信网络方面，基础设施采用 5G 蜂窝移动通信网络、C-V2X 直连通信网络、卫星通信网络协同组网，车辆具备多通道数据传输能力，支持使用不同网络传输方式实现差异化应用场景需求。在基础设施数据传输网络方面，采用城市光纤网络或电信运营商承载网等多种形式进行路侧数据的传输和云平台间的互联，支持在云平台上实现路侧数据与车云数据的汇聚融合使用，最终实现“人-车-路-云”互联互通与数据流转。

1. 5G/5G-A 蜂窝移动通信网络

5G/5G-A 蜂窝移动通信网络实现车辆与平台之间通信，不仅支持智能座舱的实时音视频、车载游戏和多模态 AI 助手等个人消费类应用，还支持车辆运行数据采集，异常事件上报等相关功能，实现网联车辆事故回溯、事故紧急救援等辅助服务场景。此外，5G/5G-A 蜂窝移动通信网络还有效赋能驾驶自动化领域，支持将交通信息、交通状态、智能驾驶建议等信息发送给车辆，实现网联驾驶辅助、网联自

动驾驶场景。

(1) 技术与产业现状

在技术标准方面，5G 第一阶段标准（R15-R17）已于 2022 年完成制定，确立了增强移动宽带（eMBB）、低时延高可靠通信（uRLLC）和海量机器类通信（mMTC）三大核心应用场景，构成当前 5G 网络的基础。5G-A 作为 5G 演进的第二阶段（R18-R20），R18 标准已于 2024 年 6 月冻结，在持续提升网络传输速率、时延、可靠性、网络容量等性能指标的基础上，拓展网络智能化等新方向，进一步提高网络自适应性与智能决策能力。

在技术产业化方面，基础设施建设上，我国已建成全球规模最大、技术领先的 5G 网络，截至 2025 年 7 月，5G 基站总数达 459.8 万个，覆盖所有地级市城区、县城城区，为智能网联汽车提供了坚实的网络基础。中国移动超 73.2 万基站已开通 5G 轻量化（RedCap）功能，实现全国县城以上区域连续覆盖，中国电信、中国联通已在全国超 300 城市规模开通 5G RedCap 功能，为大规模应用奠定基础。我国三大运营商已启动全球最大规模的 5G-A 网络部署，中国移动在 330 个城市实现 5G-A 商用部署，中国联通、中国电信在超 300 个城市部署载波聚合。车端应用上，我国 5G 车载终端产业链日趋成熟，联发科、紫光展锐等国内厂商相继推出车载 5G eMBB 芯片，主流芯片厂商已推出车载 5G RedCap 芯片产品，移远通信、中兴、高新兴、广和通、鼎桥、有方、美格智能、国汽智端等企业推出车载 5G 模组，东软、经纬恒润、联友、高新兴等企业均已实现 5G T-Box 的量产上车。此外，高通、联发科、紫光展锐、翱捷等芯片企业正全力开发支持 5G-A 特性的车载芯片产品，为未来应用提供硬件支撑。

(2) 当前发展挑战

随着智能网联汽车应用场景的不断深化，对蜂窝移动通信提出了更高、更严格的要求。

一是确定性低时延，演进的智能网联汽车业务，如自动驾驶协同、紧急制动预警等，要求通信网络具有极高的可靠性和确定性时延，而现有 5G 网络可能受到网络拥塞、信号干扰等多种因素影响，难以保障传输的确定性。

二是移动性保障，智能网联汽车移动速度快、位置变化频繁，高速移动带来的网络频繁切换问题会导致信号中断或通信质量下降，影响用户体验。

三是跨域连续性，车辆在行驶过程中可能面临跨运营商区域，出现信号切换不及时、通信质量不稳定等问题，影响业务的连续性。

(3) 2030 年发展目标

当前，智能网联汽车 5G eMBB 产品已基本成熟，5G 轻量化（RedCap）、确定性网络服务已开始小规模产业化部署，网络智能化等 5G-A 关键技术成熟应用仍需一定时间。结合当前产业现状，面向 2030 年，5G 网络以提升面向智能网联汽车的网络服务连续性、稳定性，提供性能可预期、有保障的服务能力，加速推进智能网联汽车 5G 全面应用为主线，并适度超前进行极致网络性能和智能网服务能力探索，形成如下目标：

● 成熟技术应用

网络覆盖增强。在现有 5G 网络基础上进一步增补基站和开展网络优化，实现城市区域道路覆盖率 98%以上，路口、停车场等重点区域连续覆盖。5G RedCap 实现全国县级以上城市连续覆盖，满足多样

化终端需求。

网络性能显著提升。车辆到算力基础设施单向端到端网络通信时延及可靠性达到 50ms@99%、100ms@99%，满足智能网联汽车高可靠、稳定性服务需求。

车载 5G 渗透率提升，通信能力稳定完善。具备 5G 通信功能的新车渗透率达到 95%。优化车载 5G 终端的硬件接口设计、软件协议适配及跨系统兼容性能，提升 5G 终端整体运行稳定性与适配灵活性。

● 前沿技术探索

极致网络性能提升。在小范围探索车辆到算力基础设施单向端到端网络通信时延及可靠性达到 20ms@99%等增强服务能力，支撑极低时延、高可靠的网联驾驶辅助/自动驾驶场景应用。

开展网络智能化技术应用验证。制定面向智能网联汽车业务的网络智能化技术方案，整合交通流量、业务类型、网络资源占用等多维历史数据，精准预测不同区域、不同场景下的业务流量分布特征，启动动态网络负载均衡机制，实现网络资源与业务需求的精准匹配，为不同区域、不同场景下的智能网联汽车业务提供差异化网络服务，满足不同等级智能网联汽车业务的通信需求，并降低因网络拥堵导致的业务中断风险。

(4) 重点发展方向

为支持上述目标实现，面向智能网联汽车的 5G/5G-A 蜂窝移动通信网络将围绕确定性网络、轻量化 RedCap、网络智能化等方向持续演进。

确定性网络通过超可靠低时延通信特性（uRLLC）、资源预留、下沉边缘计算、网络切片、站间双激活协议栈（DAPS）切换、多连

接等技术，实现数据的稳定可靠传输，满足智能网联汽车在远程操控指令执行、自动驾驶协同决策等场景的极致可靠通信需求。

轻量化 RedCap 通过硬件简化、功耗优化等降低终端成本和功耗，可提供中低速场景下的稳定连接能力，同时具备 5G 网络演进功能，适配智能网联汽车在车辆状态实时监测、远程诊断运维等场景的通信需求，可有效平衡性能与成本，支持 5G 车载终端的大规模前装部署。

网络智能化，通过引入人工智能驱动流量自动调度、实时感知决策、故障自愈机制及数据闭环分析等核心能力，显著提升网络的自主化与自适应水平，提升网络在车辆高移动场景下的连接可靠性与响应速度，为不同等级的智能网联汽车业务优先分配差异化网络资源，实现高优先级业务的优先保障，并显著降低因网络拥堵导致的业务中断风险。

2. C-V2X 直连通信网络

C-V2X 直连通信网络支持车-车、车-路、车-人间近程通信，用于实现状态共享类、意图共享类、协同决策类、协同调度类等各类网联协同场景，支撑有人驾驶、驾驶辅助、自动驾驶发展。

(1) 技术与产业现状

C-V2X 直连通信网络支持车-车、车-路、车-人间近程通信，用于实现状态共享类、意图共享类、协同决策类、协同调度类等各类网联协同场景，支撑有人驾驶、网联驾驶辅助、网联自动驾驶发展。

在技术标准方面，C-V2X 国际标准化工作已完成从 R14 到 R18 多个版本的标准制定，内容涵盖 LTE-V2X 和 NR-V2X 两个阶段。国内标准化工作方面，我国 LTE-V2X 直连通信标准基本完备，NR-V2X 的标准化工作尚未启动。在汽车场景应用方面，基于 C-V2X 的阶段

一（状态共享类）应用场景标准已经过充分研究与验证。

在技术产业化方面，我国已基本构建形成涵盖 LTE-V2X 芯片模组、车载终端、路侧设备、整车制造、运营服务、测试仪表及测评等完整产业生态。全国已累计部署超过 1.1 万台路侧设备（RSU），十几家车企发布 20 余款搭载 C-V2X 技术的量产车型。状态共享类场景支持交通信号机、路侧融合感知等信息通过直连通信方式同时向多车辆进行高效播发，以及多车辆之间的车辆状态、位置等信息交互，实现紧急制动提醒、交叉路口碰撞预警、盲区预警等功能，已经过充分产业验证。C-V2X 技术已被纳入汽车测评体系，2024 版 C-NCAP 和 C-ICAP 均引入 C-V2X 主动安全测试项目，对全球汽车安全测评体系发展带来引领性影响。

(2) 当前发展挑战

C-V2X 直连通信的发展面临车端渗透率与基础设施覆盖率不足、投资建设运营模式不明确两大核心挑战。一方面，车载终端搭载率虽逐年提升但仍然不高，路侧通信单元（RSU）虽多地部署但覆盖率仍然较低，均导致车路协同场景受限，已搭载 C-V2X 技术的车辆用户体验感不强；乘用车前装周期较长，尚未形成规模效应，跨品牌、跨区域的车-车联网通信协同成功率低。车企普遍存在相互观望、期待他人先部署的博弈心理。另一方面，路侧设备需要持续高质量运维以保证服务效果，当前缺乏可持续的商业闭环，导致投资建设运营模式不明确，产业化落地及部署速度缓慢。

(3) 2030 年发展目标

当前，LTE-V2X 直连通信技术已具备成熟商用能力，NR-V2X 直连通信技术仍处于技术特性、频谱需求等早期研究阶段。面向 2030

年，智能网联汽车直连通信网络以加速 LTE-V2X 技术与状态共享类场景应用，切实提升驾驶安全和效率为主线，并适度超前探索先进技术 NR-V2X 和驾驶意图共享等场景，实现功能互补与技术长期共存，形成如下发展目标：

● 成熟技术应用

车载终端规模化渗透。对于乘用车，LTE-V2X 直连通信在新车中的搭载渗透率达到 30%：在 L2 及以下新车搭载率达到 30%，L3 及以上新车搭载率达到 100%，支持交叉口碰撞预警、交通信号灯上车、网联紧急制动、网联式自适应巡航、网联式领航辅助、网联式自动驾驶等典型应用。对于公共道路上出行频次高、道路交通事故风险较大的车辆（含 12 吨以上货车、9 座以上客车、危化品运输车等车辆）以及公共客运车辆（公交车/出租车等），新车搭载率达到 100%，存量车改造搭载率达到 80%；支持前后向碰撞预警、交叉口碰撞预警、交通信号灯上车、异常车辆提醒等典型应用。

路侧基础设施覆盖提升。城市区域道路 5G/5G-A 蜂窝移动通信网络与 LTE-V2X 直连通信融合组网覆盖率达到 98%以上；所有信控路口、遮挡严重或事故高发的非信控路口、快速路匝道出入口、隧道、停车场和其他交通隐患高发区域实现 LTE-V2X 直连通信网络全覆盖。LTE-V2X 直连通信网络平均时延低于 30ms。部署的 RSU 应通过标准化接口为车辆提供服务。

路侧通信网络运行保障。构建 LTE-V2X RSU 网络服务监控及运维体系，开展常态化监控和日常巡检，建立异常状况快速响应机制，确保网络稳定、安全、高效，满足各类场景应用需求。

● 前沿技术探索

提升 C-V2X 直连通信网络性能。通过优化自动化调度算法、压缩处理时延、研发 NR-V2X 新型帧结构等手段，实现平均时延满足 10-20ms。

从车-车、车路协同向车-人协同的先进场景发展。以弱势交通参与者安全预警为典型场景，面向道路施工人员/行人/电动自行车/摩托车等弱势交通参与者，探索便携设备、手表、手环等多种 LTE-V2X 直连通信设备形态，降低设备功耗、提升定位性能，对外播发自身位置状态，鼓励车端基于此类信息开展安全预警等应用。

(4) 重点发展方向

为支持上述目标实现，C-V2X 直连通信技术将围绕通信技术与业务演进、网联数据质量提升、网联与单车智能融合三大方向发展。

在通信技术与业务演进方面，大力推动 LTE-V2X 直连通信技术规模化应用，支撑 L0/L1/L2 车辆的状态共享类网联协同场景。面向车载后装市场，设计大规模设备发行及维护机制。通过分场景、分业务设计传输路径，终端双发选收等方式，深化直连通信与蜂窝通信的业务协同。开展意图共享类、协同决策类、协同调度类等增强类别的网联协同场景研究，研究 NR-V2X 技术的业务需求、频谱资源及技术特性。

在提升网联数据质量方面，聚焦单车智能感知局限等重点场景，设计并识别强需求、可复制的车路协同典型场景，打造高质量数据源。提升路侧感知能力，基于 AI 技术持续提升感知算法精度、可靠性。完善网联协同环境下的多实体间数据信任机制。

在网联与单车智能融合方面，深化人因工程设计，改进应用界面和提示逻辑；研究网联信息与端到端智能驾驶融合，网联产品相关功

能安全要求、网联技术对自动驾驶设计运行域的扩展；构建并应用高质量的网联+单车多模态数据集。

3. 卫星通信网络

卫星通信网络具有不受时间、地域、距离限制，实时双向传输等特点，可在山区、荒漠、森林等地面网络覆盖盲区，实现实时导航、车辆位置监测、远程车辆故障诊断、紧急救援等各类网联应用场景，可有效弥补地面通信网络的覆盖盲区，确保车辆网联系统在极端环境下的稳定运行，为智能网联汽车的全场景应用提供坚实保障。

(1) 技术与产业现状

在技术标准方面，国际上 3GPP R17 标准将 NTN 纳入 5G 架构，聚焦卫星内移动性管理，引入条件切换、时间和位置触发切换等机制，优化卫星快速移动场景下的切换效率，减少中断时延。R18 标准增强 NTN 与地面网络协同（TN-NTN），支持 10GHz 以上高频段部署及星上本地数据交换技术，提升系统容量和覆盖能力。2024 年启动的 R19 标准聚焦星上再生技术，研究星上再生模式下的卫星通信架构，重点解决下行覆盖增强、上行容量提升等技术难点。R20 标准将深化 6G 星地融合，构建“地面网络+多层卫星（GEO/LEO/VLEO）”的一体化网络，提升全域覆盖能力。2025 年，中国主导制定的《5G 卫星无线电接口技术规范》获 ITU 采纳，为全球星地融合标准提供重要支撑。国内在汽车网联通信领域率先规划车载卫星通信标准，《国家车联网产业标准体系建设指南》已发布《车载卫星终端通用技术要求》《电磁兼容性测试方法》等规范。2024 年全国汽车标准化技术委员会启动“智能网联汽车卫星通信标准领航项目”，组织行业开展低轨通信需求调研与标准体系规划。

在技术产业化方面，Ka/Ku/Q/V 等高频段广泛应用，高通量卫星单星容量提升至数百 Gbps；多频段融合技术（如 Ka/Ku/C/L 波段）通过卫星验证，支持海洋、航空等高带宽场景。国内在低轨星座规模化部署、高通量卫星与地面网络融合及核心技术自主可控等方面取得显著进展，中国星网已发射 80 余颗低轨组网卫星，构建全球宽带通信能力，其星间链路技术实现卫星自主协同；千帆星座（G60 星链）完成 90 颗卫星发射，中星 9C 等国产高轨卫星实现 100%国产化。中国电信依托天通一号卫星移动通信系统，推出汽车直连卫星业务，为车主提供可靠的双向卫星语音通话和短信通信能力，提升汽车安全能力，目前比亚迪、吉利、赛力斯、奇瑞等车企均已推出直连卫星车型。在低轨（LEO）技术方面，国汽智端联合中国星网应用实现了 S-Box 的小批量量产，支持语音、短信及部分数据上送功能。

(2) 当前发展挑战

信号覆盖与稳定性问题。在偏远山区、戈壁荒漠等地面网络覆盖薄弱区域，卫星通信虽能提供接入，但车辆高速移动时易受地形（如山脉、高楼）遮挡，导致信号中断或衰减；车辆在城市峡谷或密集建筑群中行驶时，卫星信号可能经多条路径反射到达接收端，产生多径干扰，同时低轨卫星高速移动会引发多普勒频移，影响通信质量。

终端设备设计与集成难度高。车载终端需兼顾天线尺寸（如卫星通信天线需对准卫星）和车辆空间限制，难以在紧凑结构中实现高增益、宽频段通信。在功耗与成本控制方面，卫星通信终端（尤其是相控阵天线）功耗较高，可能增加车载电源负担；同时，芯片和模组产业化不成熟，导致设备成本较高。

通信协议与标准不统一。目前多个卫星通信系统协议及功能不统

一，且部分私有卫星通信与地面 5G 网络的融合缺乏统一协议，导致车载终端难以在“空天地一体化”网络中无缝切换。

服务运营与管理复杂。对于运营商需构建覆盖全球的卫星车联网管理平台，对跨区域、跨卫星的通信进行计费，且卫星通信易受窃听和干扰，需强化数据加密和身份认证机制，保障车载通信安全。

(3) 2030 年发展目标

当前，智能网联汽车卫星通信产品与服务刚迈入初级发展阶段，卫星网络基础设施建设仍在持续开展，车载终端产品有待进一步演进优化，5G-NTN 等关键技术成熟应用仍需一定时间。结合当前产业现状，面向 2030 年，智能网联汽车卫星通信网络以提升车端产品性能、完善基础设施建设，加速推进智能网联汽车卫星通信初步应用为主线，形成如下发展目标：

● 成熟技术应用

车端卫星通信能力渗透提升。中高端车型卫星通信能力搭载率提升。完成卫星通信车载终端与地面 5G 设备的一体化集成，推出模块化终端产品，实现卫星通信、5G 通信、车规级 MCU 三核融合，支持多模通信无缝切换，集成边缘计算能力（算力 $\geq 5\text{TOPS}$ ），可实时处理车载摄像头、雷达数据并通过卫星回传。

低轨卫星等基础设施完成建设并提供运营服务。低轨卫星星座完成数千颗卫星部署，完成全面覆盖。卫星通信地面站与三大运营商核心网完成互联互通，支持车载终端的卫星-5G 自动切换。支持车载终端在海外等环境下的稳定通信。卫星互联网运营商推出车载通信套餐，支持车载紧急呼叫等场景大规模商业化运营。

(4) 重点发展方向

为支持上述目标实现，卫星通信技术将向高频段与多频段融合、车载终端通导一体化集成、小型化与高性能天线设计、空天地一体化网络架构优化、高可靠时频同步技术方向持续演进。

一是高频段与多频段融合。拓展 Ka/Q/V 等高频段用于车载通信，利用更宽频谱提升容量与抗干扰能力。推动多频段融合技术，使终端能智能切换或融合使用多频信号，增强稳定性。

二是车载终端通导一体化集成。推动通信与导航功能深度集成，共享天线、射频等硬件资源，研发一体化芯片，实现小型化、低功耗与高可靠性。

三是终端小型化与高性能天线突破。采用柔性材料、超材料等先进工艺，研发小型化、高增益、宽波束天线。推广相控阵天线，支持波束动态调度与多用户 MIMO。开发可折叠、可隐藏式天线，在不影响外观与风阻的前提下保障信号接收。

四是空天地一体化网络架构优化。支持卫星作为 gNB 接入 5G 核心网，采用容器化架构实现星上资源调度。通过轨道预测、快速 RRC 重建、多连接（MR-DC）等技术实现星地无缝切换。打通卫星与地面运营商核心网，研发融合管理平台，智能调度资源，保障服务质量。

五是高可靠时频同步。攻关“动中通”业务下的快速同步技术，解决车辆颠簸、抖动导致天线对准困难问题，确保上行信号在 500ms 内安全关闭，避免干扰。

4. 基础设施数据传输网络

基础设施数据传输网络提供路侧设备之间、路侧设备与云平台之间，以及云平台间的互联通信，支持感知数据、交通信号机数据、设备运维管理数据等交互。此外，基础设施数据传输网络还可提供高精

度时钟信号，使全网网络设备具备统一的时间信息，便于网络监测和管理。

(1) 技术与产业现状

在技术标准方面，IMT-2020 (5G) 推进组已完成城市场景、高速公路、港口等多场景车路协同网络需求与方案研究报告。中国智能交通产业联盟聚焦路侧设备与中心系统数据交互。中国汽车工程学会构建了覆盖车路云系统架构、数据交互的标准体系，推进相关规范编制。

在技术产业化方面，基础设施数据传输网络形成“接入网 + 汇聚骨干网”两层架构，采用数据通信、光传输、PON 等通信技术，满足路侧数据传输对时延、带宽、可靠性的严苛要求。国内三大电信运营商已具备覆盖全国的光纤接入网，可满足路云设施的接入和带宽需求；华为、中兴等企业具备全链条研发与集成能力，为规模化落地提供保障，国产化设备兼具国内应用与国际竞争力，形成自主可控产业生态。

(2) 当前发展挑战

基础设施数据传输网络的发展面临建设方案不统一和场景化应用适配性挑战。当前缺乏面向车路云一体化的系统性网络规范，且不同场景（如城市交通、高速公路）对网络指标要求差异大，路侧回传网络相关通信设备规格、功能不统一，各地部署差异显著，导致路侧回传网络难以形成高效整体的网络建设方案，影响自动驾驶规模化应用覆盖。

(3) 2030 年发展目标

当前，电信运营商已规模部署超大容量 OTN 网络，支持 SDN、网络切片等技术实现灵活的资源自动调度和网络能力保障，网络内生智能等技术正在开展技术验证。结合当前产业现状，面向 2030 年，

基础设施数据传输网络以提供高可靠的按需服务为主线，并适度超前进行极致网络性能和新型服务能力探索，形成如下发展目标：

● 成熟技术应用

网络能力和资源实现敏捷自动调度。规模化应用网络内生智能和智能化运维等技术，面向多任务网络性能保障场景，为不同任务提供差异化转发保障，优化网络负载，提升网络资源的利用效率和调度灵活性。

提供业务隔离、灵活大小带宽、确定性低时延的网络连接。具备 fgOTN 细颗粒光传送网络技术的设备能力稳定成熟，推进 fgOTN 细颗粒光传送网络技术、硬隔离 PON、随流检测、城域传送网细颗粒度单元、网络切片等技术规模部署，提升成熟化运营能力，为不同业务提供符合其需求的网络连接。

支持高精度时钟同步。全面支持基于数据链路层时间戳和基于物理层时间戳的纳秒级同步，为卫星授时盲区的道路感知等场景提供高精度的时钟同步服务，保障业务的正常运行。

● 前沿技术探索

探索超高性能确定性网络在路侧数据回传场景的应用，切片以太网技术采用细颗粒度单元时隙交叉技术，三层分组交换技术可采用 TSN 技术和确定性 IP 融合切片技术等，实现毫秒级确定性时延和微秒级确定性抖动，满足基于路侧感知的网联驾驶辅助、网联自动驾驶中超高时延敏感场景需求。

探索高精度时钟同步增强，服务于在复杂场景开展高级别自动驾驶辅助的高精度融合感知和定位。切片以太网每设备节点的时钟同步精度可达 5ns。PON 技术未来可与通感融合结合，利用光纤网络的高

精度时钟同步能力，实现车辆，路侧与云端的时空同步，辅助隧道，地下停车场等 GPS/北斗信号弱环境下的定位。

(4) 重点发展方向

为支持上述目标实现，基础设施数据传输网络将围绕宽带保障、低时延保障、网络可靠性保障、确定性网络、支持不同业务的软硬切片和智能化网络运维方向发展。

网络性能保障方面，数据大带宽传输方面，路侧设备间连接可选切片以太网、三层分组交换、工业以太网及 PON 技术，骨干网可采用光传输、三层分组交换、切片以太网技术，支持 100Gbps 以上大带宽。低时延保障方面，可通过波长一跳直达、切片以太网时隙交叉、SRv6 显式路径等技术实现微秒级单跳时延。传输可靠性保障方面，切片以太网技术支持保护倒换过程中的业务损伤时间降低到 50μs；光传输技术对重要业务可提供无损保护倒换。

网络服务能力方面，通过 TSN、fgOTN、SRv6 切片、城域传送网细颗粒度单元等技术实现毫秒级确定性时延和微秒级抖动，实现确定性网络。支持端到端软硬切片结合，实现业务刚性隔离与带宽高效利用。全面支持 IEEE 1588v2，设备节点时钟同步精度可达 5ns 级，实现高精度时钟同步。

智能化网络运维方面，提供网元即插即用、业务质量监控、AI 根因告警识别、网络在线仿真、风险链路识别、AI 大模型自然语言问答助手等多样化运维工具，实现全流程智能化运维。

(二) 算力基础设施

算力基础设施是集信息计算力、网络运载力、数据存储力于一体

的新型信息基础设施，可实现信息的集中计算、存储、传输与应用。算力基础设施包括端算力、边算力和云算力等算力设施，以及算网融合服务能力。技术架构上，端算力一般是部署在道路侧的路侧计算单元，支撑路口级实时智能服务；云算力部署在数据中心，支撑宏观交通态势分析等广域非实时服务；边算力介于两者之间，提供区域级高实时计算服务。算网融合服务是在算力基础设施基础上，通过新一代信息通信技术，将算力资源与网络资源进行深度融合与协同调度，实现“算力”与“运力”的一体化供给，突破智能网联汽车车端算力瓶颈，实现“车-端-边-云”算力协同，支撑车辆各类型业务服务。

1. 技术与产业现状

在技术标准方面，算网融合技术在智能网联汽车领域的应用仍处起步阶段，缺少与智能网联汽车业务紧耦合的端边云、跨运营商算力互通等关键技术标准。

在技术产业化方面，基础设施方面，端算力呈现高密度、低能效比和强环境适应性趋势；边缘算力向“通算+智算”融合架构升级；云端智算算力以大规模部署、集中式训练服务为主。头部企业加速布局智算中心，小米、吉利、小鹏等企业算力储备均达 10EFLOPS 以上。算网融合服务方面，该路线已成为行业共识，电信运营商积极开展算网融合能力研究与验证，推动边端、同级算力协同发展。

2. 当前发展挑战

在支撑智能网联汽车发展过程中，算力基础设施当前面临运营商算网能力开放不足、边缘云池智算资源适配缺口、异构算力协同与 AI 框架生态短板、算力国产化及产业链协同薄弱等方面的挑战，制约高阶自动驾驶与车路云一体化落地。

运营商算网能力开放与业务连续性保障不足。算网能力开放程度难适配业务需求，边缘计算移动性服务在车辆高速场景易断连，网络切片等核心能力无标准化接口，车企难灵活调用；路侧计算设备未开放算力，缺乏统一管理协同；端边云及跨运营商算力融合标准缺失，车辆跨边缘算力切换时，自动驾驶业务连续性难保障，影响行车安全。

边缘云池智算资源适配性不足。电信运营商 5G 边缘机房已部署数千个且实现地市级覆盖，但前期以通算算力为主，智算资源占比较低；而智能网联汽车自动驾驶环境感知、车路协同数据实时分析等业务需毫秒级低时延智算支撑，当前智算能力缺口导致业务响应效率下降，难支撑高阶自动驾驶规模化落地。

异构算力协同适配短板。当前异构算力缺乏高效协同调度机制，自动驾驶模型训练/推理任务分配方案有待优化，存在资源利用率不充分的情况，难满足复杂路况实时决策需求。

3. 2030 年发展目标

当前，算力基础设施已基本实现对智能网联汽车车路云一体化、自动驾驶大模型推理训练等场景的支撑，国产算力设备与应用生态发展态势积极，端边云算力之间、算网服务协同性、灵活性、开放性等能力建设仍在起步阶段。面向 2030 年，算力基础设施以完善功能、提高性能，形成灵活调度、相互协同的体系化算网协同能力为主线，并适当开展跨运营商算网能力协同、网络能力开放等先进技术验证，形成如下发展目标：

● 成熟技术应用

算力设备功能性能突破，服务智能网联汽车车路云一体化应用。基于车路云一体化等场景需求，研发国产化端侧算力设备，实现抗电

磁干扰、高抗震等特性，搭载自主芯片且总算力 $\geq 200\text{TOPS}$ 。通过端端/端边协同构建分布式算力网络，实现大型路口多源数据实时接入与毫秒级推理，支撑复杂场景自动驾驶决策。

低时延智算服务体系升级落地。构建智能网联车辆低时延智算资源池与管理平台，推进运营商边缘云智算升级，2030 年智算边缘云覆盖率 $\geq 90\%$ ，端到端时延 $\leq 20\text{ms}$ 。实现新增端算力与算网平台对接，统一纳管率 $\geq 90\%$ ，提供定制化智算服务。

多层次异构算力协同应用。建立面向车路云一体化的多层次异构算力体系，构建端边云协同架构，实现车-车、车-路及车-路-云算力共享。搭建跨层级算网融合调度平台，集成需求预测、负载均衡功能，动态匹配算力资源，支撑自动驾驶规模化落地。

● 前沿技术探索

通感算智一体化与“IPv6+”在算力基础设施的应用验证。探索通感算智一体化、“IPv6+”新技术与算力基础设施的融合路径，依托“IPv6+”网络架构实现算力基础设施互联。基于 SRv6 路径调度、iFIT 流量感知、APN6 业务适配等特性，构建算力与网络资源全域感知、统一调度机制，提升算网资源利用率，优化智能网联汽车业务体验。

跨运营商边算力互通架构与标准体系验证。制定跨运营商多层次边算力互通架构及安全认证方案，采用国密算法保障数据安全。建立跨运营商算力互通共享技术与标准体系，规范算力资源调度、迁移等关键接口，支撑面向智能网联汽车的算力跨域规模服务。

构建面向智能网联汽车的算网能力开放体系。基于 GSMA OpenGateway 能力，搭建面向智能网联汽车的算网能力开放体系，将云网的核心能力封装为标准化 API 对外开放。通过搭建 API 管理平

台，完成调用鉴权、计费统计、实时监控等功能部署，保障能力开放的安全性与可靠性，支撑智能网联汽车场景化应用。

4. 重点发展方向

为支持上述目标实现，算力基础设施将围绕互联互通与标准化、跨运营跨边缘切换与业务连续性、端边云多级算力智能编排调度、算网能力共享开放、异构算力协同与国产 AI 框架适配等方向发展。

推动算力基础设施互联互通与标准化。围绕智能网联汽车跨域算力协同需求，制定端边云算力互联统一标准，构建含国密算法的安全认证方案与全国统一算力资源管理系统。将异构计算、存储资源及自动驾驶算法模型抽象为标准化调度单元，实现算力资源全局可视、可管、可调度。通过该技术打通跨地域、跨运营商算力壁垒，保障车云协同中算力服务连续性，为高级别自动驾驶实时决策提供稳定支撑。

强化跨运营跨边缘切换与业务连续性。针对车辆高速移动场景痛点，研发边缘节点动态协同、服务无缝迁移与状态同步技术。基于全域资源感知协议，设计多链路智能选路机制，实现用户上下文与自动驾驶任务状态的毫秒级迁移。结合 5G+MEC 边缘云的低时延特性，解决跨运营商网络、跨边缘节点切换时的数据传输中断问题，保障 AI 推理、车路协同信息交互的连续性，提升移动性服务稳定性。

攻关端边云多级算力智能编排调度。攻关分布式算网调度、多维算力度量模型等核心技术，构建“感知-路由-调度-管控”全链条体系。通过算网融合调度平台，实现车-路-云之间的空闲算力的动态调度，结合自适应智能路由策略，匹配自动驾驶场景的实时算力需求。为大规模车队协同感知、复杂路况决策提供低时延、弹性伸缩的算力保障，提升资源利用率。

推动面向智能网联汽车的算网能力共享开放。依托 GSMA OpenGateway 全球框架，扩展车联网增强型 API 接口集，标准化开放网络切片管理、毫秒级低时延保障、动态带宽分配等核心能力。同步构建多层级算力互认体系，推动路侧与边缘算力 API 开放，支持车企、服务商等第三方灵活调用。通过统一 API 管理平台实现调用鉴权与监控，提供适配车辆移动轨迹的就近算力接入服务，破解运营商能力开放不足问题。

强化异构算力协同。打造跨 GPU/NPU/FPGA 的算力抽象层与中间件，屏蔽底层硬件差异，实现异构算力标准化接入与管理。针对自动驾驶训练/推理场景，设计高带宽低延迟通信协议，优化任务与算力资源的智能匹配效率。

（三）网络安全

为应对复杂外部威胁，保障智能网联汽车网络安全，需要强化网络安全防护与态势感知能力，建立可信身份（如数字证书），并依托密码技术，为核心数据传输与存储提供机密性、完整性及抗抵赖性保障，从而系统性地提升整体安全水平。

1、技术与产业现状

在技术标准方面，《车联网网络安全和数据安全标准体系建设指南》《国家车联网产业标准体系建设指南（智能网联汽车）（2023版）》等标准体系建设指南发布以来，全国汽车标准化技术委员会（SAC/TC114）、全国通信标准化技术委员会（SAC/TC485）、全国智能运输系统标准化技术委员会（SAC/TC268）等标委会陆续制定一系列车联网安全标准，涵盖整车网络安全和数据安全、云平台安全、数据分类分级、数据出境等，有力保障车辆联网业务运行安全性和稳

定性。《汽车整车信息安全技术要求》（GB 44495—2024）《汽车软件升级通用技术要求》（GB 44496-2024）及《汽车数据通用要求》（GB/T 44464-2024）等为核心的标准体系已初步建成，为整车网络安全与数据安全筑牢了技术根基。在研强制性国家标准《汽车密码应用技术要求》将重点规范汽车密码技术的合规应用，为构建自主可控、安全可靠的车辆网络环境补齐关键一环。

在技术产业化方面，整车立体防御体系逐步完善，覆盖车内外通信、云平台及供应链。汽车网络安全的运营中心平台融合车云日志，基于 AI 技术实现攻击链分析与应急响应。软件升级 OTA 安全体系趋于成熟，新车型普遍建立含签名验证、双向认证及回滚机制的软件升级流程。身份认证体系多层次发展，基于数字证书的身份认证技术已广泛应用，保障在车云、车车、车路通信身份真实性和消息完整性。密码技术呈现“双轨并行”特征，国际标准算法（RSA/ECC/AES/SHA）与商密算法（SM2/SM3/SM4）协同应用，兼顾兼容性与自主可控。车载安全芯片、硬件安全模块（HSM，Hardware Security Module）和软件密码模块应用于 T-BOX、V2X 终端、SoC/MCU 及零部件，覆盖多维度安全需求。

2、当前发展挑战

应对以 AI 技术为代表的新型网络攻击能力存在明显不足。攻击者利用 AI 生成的恶意数据具有高度的隐蔽性与动态演化能力，例如通过生成对抗网络（GAN，Generative Adversarial Network）构造出可欺骗视觉识别模型的对抗样本，导致车辆感知系统误判路况信息（如将停车标志识别为通行标志），或借助强化学习技术持续探测车载网络、

车云通信协议中的未知漏洞，实现自适应攻击，使得传统基于规则和特征匹配的防御机制难以有效响应。

V2X 身份认证面临跨行业、跨体系协同不足的挑战。各企业 V2X 证书管理系统分散建设，缺乏全国统一信任根平台的接入与调度机制，导致跨车企、跨地域、跨行业主体之间的互信互认尚未全面建立。V2X 异常行为检测仍处于示范验证阶段，仅有少数路侧设备与车载终端具备基础检测能力，检测结果未能与证书签发、吊销机制形成有效联动，难以实现对恶意节点的实时隔离与处置。V2X 证书与 X.509 证书不能互信互认，缺少跨技术体系互信互认机制。

密码应用技术面临量子计算考验。随着量子计算技术不断演进，当前广泛使用的 RSA、ECC、国密 SM2 等公钥密码算法预计在未来面临被破解的风险，车辆通信与数据存储的长期安全性将受到挑战，亟需推动抗量子密码算法的标准化与软硬件协同部署，构建面向未来的密码保障体系。

3、2030 年发展目标

当前，智能网联汽车网络安全已初步构建覆盖多层次的立体防护体系，形成基于密码技术的数据安全机制与多重身份认证架构，整车网络安全防护产品正逐步实现规模化上车，基本具备对已知网络攻击的有效抵御能力。结合当前产业发展阶段，面向 2030 年，以实现智能网联汽车网络安全的全方位、自动化保障能力为方向，重点推动成熟防护技术规模化落地应用，并前瞻布局新一代安全技术的研究验证，形成如下发展目标：

● 成熟技术应用

构建以人工智能为核心的“感知-决策-响应”全链条自动化智能防

护体系。AI 技术广泛应用于网络入侵检测和安全态势感知，车端入侵检测与云端 VSOC 平台形成资源互补、一体化安全防护体系，利用云端强大的计算和存储能力，实现对安全攻击和异常网络流量的处理和分析，全面提高智能网联汽车对未知网络攻击的检测能力，实现网络安全事件自动识别和响应。

构建统一身份认证体系，实现全国范围跨行业、跨体系互信互认。按照国标 GB/T 45112-2024 完成 V2X 证书管理系统、异常行为管理系统建设/升级工作，V2X 证书配置合理有效，接入统一车联网信任根管理平台实现跨地区、跨企业、跨部门互信互认。构建智能网联汽车统一身份认证体系，实现 V2X、X.509 等数字身份互信互认。

采用密码技术全面保护车路云安全，商用密码范围逐步扩大。推动采用车规级安全芯片和密码模块等产品，实现车云通信、车内以太网/CAN-FD 通信、C-V2X 直连通信、OBD 接入认证及重要数据安全保护等多重功能。逐步改变以 RSA 等国际算法为主的现状，形成以国产商用密码算法为主、国际密码算法为补充的应用格局。

● 前沿技术探索

有序开展国产抗量子密码算法试点验证，构建智能网联汽车抗量子密码应用体系。分阶段在车云通信及车内认证等典型场景中开展抗量子密码算法验证，有序推动证书管理系统、安全芯片、软硬件安全模块等关键组件的算法升级与替换，逐步实现智能网联汽车抗量子密码能力的初步构建与有效覆盖。

4、重点发展方向

为支持上述目标实现，网络安全将在人工智能网络安全态势感融合、跨行业身份认证和抗量子密码技术方面开展突破。

推动人工智能技术与汽车网络安全态势感知深度融合。通过引入AI技术，对车辆内外海量网络流量、系统日志与行为数据进行实时分析，精准识别传统基于规则的检测方法难以发现的复杂攻击模式，包括零日漏洞利用、高级持续性威胁(APT, Advanced Persistent Threat)等。在识别威胁后，系统可自动触发并执行预设的响应策略，实现安全事件的闭环处置，从而将安全事件管理、应急响应、联动处置、评估决策与持续改进等环节有机贯通，显著提升安全运维的智能化水平与响应效率。

构建跨行业、跨体系互信互认的轻量化身份认证体系。建立全国跨行业可信根证书管理机制，通过部署第三方协议网关，完成 V2X 证书与 X.509 公钥证书等不同格式证书间转换与互认。开展无证书和隐式证书等轻量化认证技术验证和应用，在满足强安全性和隐私匿名性的前提下，降低车辆及路侧设备等资源受限设备的计算与通信开销。

前瞻布局并构建智能网联汽车网络抗量子密码应用体系。紧密跟踪我国抗量子密码算法标准化情况，开展标准验证与产品适配工作，形成完善的智能网联汽车抗量子密码产业链。适时启动智能网联汽车抗量子密码算法迁移与应用示范工作，推动通信安全、数据保护与身份认证等关键环节逐步、平稳地过渡到抗量子密码算法，以保障车辆网联系统面临量子计算威胁时仍能保持长期、可靠的安全性。

六、 总结与展望

汽车与信息通信的深度融合正以前所未有的深度与广度重塑产业生态，不仅推动产品的迭代升级，催生网联信息预警等创新应用场景，更引发研发模式、制造体系与商业模式的全方位变革，为产业高质量发展注入强劲动能。本报告通过系统性地梳理智能网联汽车产业

对网络通信提出的“长周期持续可用、稳定可靠传输、多场景适配、高安全可信”综合需求，剖析了当前产业发展的核心挑战，并制定面向 2030 年的技术演进路径与发展目标。其核心目的在于凝聚汽车、通信、交通、安全等跨行业共识，确立统一的技术愿景与协同发展框架，从而有效推动技术创新与产业需求的精准匹配，为我国在全球智能网联汽车的下半场竞争中构筑坚实的技术领先优势。通过深入研究，本报告得出以下核心结论：

一是智能网联汽车的发展已进入场景驱动的新阶段。从协同智能的安全驾驶需求、全域连续的体验需求，到沉浸交互的座舱需求和数据闭环的研发需求，这些复杂的应用场景共同定义了下一代智能网联汽车网络技术的核心指标向高可靠、低时延、广覆盖、大带宽、高安全的多类型服务能力持续演进。

二是多网协同是未来网络发展的必然选择。单一网络技术已无法满足智能网联汽车多元化的场景需求，未来的网络体系必然是多网深度融合、协同工作的有机整体，通过智能的连接管理与切换，实现优势互补，为车辆提供“永不离线”的泛在连接。

三是分布式计算和算网一体是实现高阶智能的关键路径。伴随“软件定义汽车”时代的到来，算力的重要性与连接同等关键。构建涵盖“端-边-云”协同的算力基础设施，并通过先进网络技术实现算力资源的统一感知、智能编排与弹性调度，形成“算网一体”的服务能力，是突破单车智能瓶颈、支撑大模型等人工智能技术在汽车领域广泛应用、最终实现高阶自动驾驶的必由之路。

安全是产业健康发展的根本保障。在万物互联的背景下，网络安全已不再是附加功能，而是必须内生于系统架构与设计之初的底线。

构建覆盖终端、网络、云平台、数据全生命周期的纵深防御体系，前瞻性地布局抗量子密码等下一代安全技术，是确保智能网联汽车产业长期、健康、可持续发展的生命线。

为加速我国智能网联汽车产业的高质量发展，需要进一步加强顶层设计与跨部门协同，构建产业发展合力，为技术创新与商业应用创造稳定、可预期的宏观政策环境。此外，要坚持技术创新与产业应用双轮驱动，加速商业模式闭环。持续加大关键核心技术的研发投入，鼓励产学研用联合攻关，通过推动高价值应用的规模化落地，实现产业的内生性增长。最后，要推动标准先行与开放合作，构建国际化产业生态，积极主导和参与国际标准组织的制定工作，加速构建国际化的产业链与供应链生态，鼓励国内外企业在技术研发、标准制定、市场开拓等方面开展广泛合作，在全球汽车产业发展中贡献中国智慧、提出中国方案，实现创新性引领。未来，随着融合创新的持续深化与战略举措的全面落地，汽车与信息通信行业的深度融合将实现质的飞跃，中国智能网联汽车品牌形象将更加鲜明、更具全球影响力，引领汽车产业迈向高质量发展新阶段。

附录 缩略语

3GPP	第三代合作伙伴计划 (3rd Generation Partnership Project)
5G	第五代移动通信技术 (5th Generation Mobile Communication Technology)
5G-A	5G-Advanced(5G-Advanced)
5GAA	5G 汽车协会 (5G Automotive Association)
5G-NTN	5G 非地面网络 (5G Non-Terrestrial Networks)
5G RedCap	5G 轻量化 (5G Reduced Capability)
6G	第六代移动通信技术 (6th Generation Mobile Communication Technology)
ADAS	高级驾驶辅助系统 (Advanced Driver Assistance Systems)
AECS	车载事故紧急呼叫系统 (on-board Accident Emergency Call System)
AES	高级加密标准 (Advanced Encryption Standard)
AI	人工智能 (Artificial Intelligence)
API	应用程序编程接口 (Application Programming Interface)
APN6	应用感知型 IPv6 网络 (Application-specific IPv6 Networking)
APP	应用程序 (Application)
APT	高级持续性威胁 (Advanced Persistent Threat)
C 波段	C 波段 (C band)
CAN-FD	具有灵活数据速率的控制器局域网 (Controller Area Network with Flexible Data-Rate)
C-ICAP	中国智能网联汽车应用规程 (China Intelligent-Connected Application Protocol)
C-ITS	协同式智能交通系统 (Intelligent Transportation Systems)
C-NCAP	中国新车评价规程 (China New Car Assessment Program)
C-V2X	蜂窝车联网 (Cellular Vehicle-to-Everything)
DAPS	双激活协议栈 (Dual Active Protocol Stack)
ECC	椭圆曲线密码学 (Elliptic Curve Cryptography)
EFLOPS	每秒一百京 (10^{18}) 次浮点运算 (Exa-Floating-point Operations Per Second)
FPGA	现场可编程门阵列 (Field-Programmable Gate Array)
eMBB	增强移动宽带 (enhanced Mobile BroadBand)
fgOTN	细颗粒光传送网络技术 (fine-granularity Optical Transport Network)
GAN	生成对抗网络 (Generative Adversarial Network)
Gbps	吉比特每秒 (Gigabits per second)
GEO	地球静止轨道 (Geostationary Earth Orbit)

GHz	吉赫兹 (Gigahertz)
gNB	下一代基站 (the next Generation Node B)
GPS	全球定位系统 (Global Positioning System)
GPU	图形处理器 (Graphics Processing Unit)
GSMA	全球移动通信系统协会 (Global System for Mobile communications Association)
HSM	硬件安全模块 (Hardware Security Module)
ICT	信息与通信技术 (Information and Communications Technology)
IEEE	电气与电子工程师学会 (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
iFIT	随流检测 (in-situ Flow Information Telemetry)
IP	互联网协议 (Internet Protocol)
IPV6+	增强版互联网协议第六版 (IP version 6 +)
ITU	国际电信联盟 (International Telecommunication Union)
Ka	Ka 波段 (K-above band)
K-ITS	韩国智能交通系统 (Korea - Intelligent Transportation Systems)
KT	韩国电信 (Korea Telecom)
Ku	Ku 波段 (K-under band)
L4	四级 (自动驾驶) (Level 4)
L5	五级 (自动驾驶) (Level 5)
LEO	低地球轨道 (Low Earth Orbit)
LTE-V2X	基于长期演进的车用无线通信技术 (Long-Term Evolution - Vehicle-to-Everything)
MCU	微控制器 (Micro Controller Unit)
MEC	多接入边缘计算 (Multi-access Edge Computing)
MIMO	多输入多输出 (Multiple-Input Multiple-Output)
mMTC	海量机器类通信 (massive Machine-Type Communications)
MR-DC	多无线接入-双连接 (Multi-RAT Dual Connectivity)
ms	毫秒 (millisecond)
NPU	神经网络处理器 (Neural Processing Unit)
NR-V2X	基于新空口的车用无线通信技术 (New Radio - Vehicle-to-Everything)
ns	纳秒 (nanosecond)
NTN	非地面网络 (Non-Terrestrial Network)
OBD	车载诊断系统 (On-Board Diagnostics)
OBU	车载单元 (On-Board Unit)
OTA	空中下载技术 (Over-The-Air)

OTN	光传输网络（Optical Transport Network）
PON	无源光网络（Passive Optical Network）
Q	Q 波段（Q band）
R14	第 14 版（Release 14）
R15	第 15 版（Release 15）
R17	第 17 版（Release 17）
R18	第 18 版（Release 18）
R19	第 19 版（Release 19）
R20	第 20 版（Release 20）
RRC	无线资源控制（Radio Resource Control）
RSA	一种非对称加密算法（Rivest–Shamir–Adleman）
RSU	路侧单元（Road Side Unit）
SAC/TC114	全国汽车标准化技术委员会（Standardization Administration of China/ Technical Committee 114 - Automotive）
SAC/TC268	全国智能运输系统标准化技术委员会 （Standardization Administration of China/ Technical Committee 268 - Intelligent Transport Systems）
SAC/TC485	全国通信标准化技术委员会（Standardization Administration of China/ Technical Committee 485 - Communication Services）
SAE	国际自动机工程师学会（Society of Automotive Engineers）
S-Box	卫星通信终端
SDN	软件定义网络（Software-Defined Networking）
SHA	安全散列算法（Secure Hash Algorithm）
SoC	片上系统（System-on-a-Chip）
SRv6	基于 IPv6 的段路由（Segment Routing over IPv6）
T-Box	远程信息处理盒子（Telematics Box）
TN-NTN	地面网络-非地面网络（Terrestrial Network - Non-Terrestrial Network）
TOPS	每秒万亿次操作（Tera Operations Per Second）
TSN	时间敏感网络（Time-Sensitive Networking）
uRLLC	超高可靠低时延通信 (ultra-Reliable and Low-Latency Communications)
USDOT	美国交通部（United States Department of Transportation）
V2N2X	车到网络到万物（Vehicle-to-Network-to-X）
V2X	车联网（Vehicle-to-Everything）
VLEO	甚低地球轨道（Very Low Earth Orbit）
VSOC	汽车网络安全运营中心（Vehicle Security Operations Center）