车载网联能力技术研究报告

（上篇）



编写组成员：

联合牵头单位

国家智能网联汽车创新中心	陈桂华、夏宁、李昆、常伟、杨莉华
中国信息通信研究院	葛雨明、李凤、毛祺琦

参编单位

重庆长安汽车股份有限公司	孙欣、郭志涛、李瑞科、张清、李增文、刘西蒙
吉利汽车研究院（宁波）有限公司	尚军辉、廖为强、尚欣、张国震、张剑、金东浩
上海蔚来汽车有限公司	尹菲、董宇、王国栋
小米汽车科技有限公司	孙长宇、郝清清、岳明
联通智网科技股份有限公司	周光涛、沈旭、辛亮
华为技术有限公司	夏媛、高林毅、乔新昱、姚佳、彭建芬、马洪峰
杭州云动智能汽车技术股份有限公司	丁杰
上海优咔网络科技有限公司	徐立宇、刘杰
北京天行探索科技有限公司	徐雷、蒋兆坚、夏延钊
中信科智联科技有限公司	胡金玲、张学艳
高通无线通信技术（中国）有限公司	殷悦
北斗智联科技有限公司	何天翼
北汇信息科技有限公司	龙懿涛

目录

1 智能网联融合已从行业探索期进入规模化落地期

2 整车无线通信规模化应用面临的行业挑战

3 整车网联化典型功能及通信需求分析

4 车载网联域的通用技术架构与关键支撑机制

5 总结

1 智能网联融合已从行业探索期进入规模化落地期

1.1 行业现状：汽车全生命周期网联价值重构

（1）乘用车网联化功能已进入“标配”阶段，5G 渗透率持续攀升

回顾中国乘用车的网联化历程，车联网功能最初以远程信息服务的形态搭载于少数高端车型，随着 4G 网络的普及和智能手机使用习惯向车内迁移，在线导航与远程控制逐步成为主流用户期待，自主品牌率先将网联化功能作为标配配置推向更广泛的车型区间，网联功能由此进入快速普及期。2023 年以来，汽车智能化和网联化融合发展的趋势进一步加速，智能座舱的沉浸式体验与 AI 交互等网联化服务成为产品定义的核心内容，而网联化功能的差异化配置也成为车企产品的核心卖点，直接推动了车载 5G 渗透率的快速提升。如图 1-1 所示，根据智能网联汽车产业创新联盟数据，截至 2026 年 8 月，5G 网联渗透率达到了 33.56%，预计到 2030 年中国乘用车 5G 网联渗透率将达 95%。

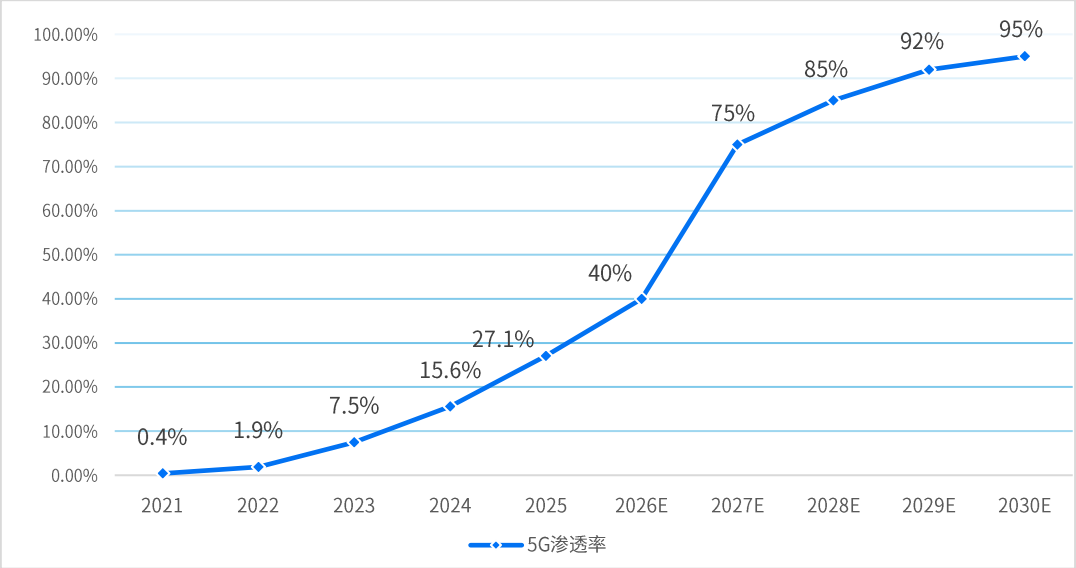


图 1-1 5G 车载渗透率预测

（2）OTA 功能全面普及，网联价值潜力进一步释放

尽管 OTA 功能在 2025 年受到监管降速的影响，但 OTA 功能装配率和 OTA 的升级功能数量仍在快速提升。根据威尔森统计数据，2025 年中国乘用车市场 OTA 整体装备率已达 82%，新势力品牌更是高达 97%，2025 年全年 OTA 升级功能数量达到 10844 项。OTA 装配率的提升意味着网联功能由一次性交付的静态配置，转变为可在全生命周期内持续运营的软件资产，驱动汽车网联价值潜力进一步释放。

（3）车载通信业务需求呈现差异化特征，无线通信走向多技术协同

随着智能座舱、远程服务与驾驶自动化数据业务的普及，整车无线通信承载的业务结构发生了根本变化。座舱流量类业务追求大带宽与低交互时延的稳定体验；紧急呼叫等安全保障类业务对弱网或无网覆盖条件下的可达性与接入优先级最为敏感；远程控车等远程服务类业务要求指令交互的时延确定性与链路永远在线；OTA 更加关注大文件传输的完整性、断点续传和升级窗口内的成功率；驾驶自动化相关业务则更加关注上行能力需求、低时延、可靠性、连续性和失效后的安全降级；人车及近场交互类业务则要求低延时、低功耗、高可靠。不同业务在带宽、时延与可靠性上的要求差异显著，且往往需要多业务并发承载。这种差异化需求对通信能力提出了远超单一连接的要求，包括高速移动下的平滑切换、按业务优先级的分级调度，以及位置等敏感数据的端到端安全防护。更为关键的是，没有任何一种通信技术能够在覆盖、容量、时延与成本上同时满足全部业务需求，整车无线通信由此走向多技术协同，蜂窝网络承担广域主体承载，短距通信负责近场本地交互，卫星通信提供无网区域的补充兜底。

1.2 趋势研判：汽车网联化发展迈入全面落地期

（1）5G eMBB 已成中高端标配，未来 5G RedCap 低成本支撑中高端走向全系，实现 5G 全面互联

当前 5G eMBB 中高端车型基本已经成为标配，上车率已达 50%。中低端车型成本较为敏感，5G RedCap 技术进一步降低 5G 上车门槛，是 5G 全面部署的关键推力。整车网联化业务对带宽能力的需求存在明显分层，面向高端车型差异化诉求以及无人车远程接管与脱困的场景，对网络大带宽和低时延有强烈诉求；面向

中低端车型算力有限的先决条件，部分车企通过车云协同方式持续提升智能辅助驾驶体验效果，助力驾驶自动化全面推进。通过高低组合能力，5G 得以由中高端车型配置向各系车型全面渗透，形成性能与成本梯次衔接的产品组合，从而支撑 5G 渗透率在 2030 年前向 95%的目标演进。

（2）网联价值由基础功能向“人-车-家”全场景互联延伸

网联承载的价值边界正在由基础连接向全场景服务延伸。网联功能最初服务于远程解锁、在线导航等基础场景，当前已向“人-车-家”全场景互联、沉浸式座舱娱乐以及云端数据闭环拓展，汽车由交通出行工具向第三空间转变的产业判断正逐步成为共识。网联化价值延伸的直接影响是业务形态的改变，音视频流转、高清视频与直播、多模态 AI 交互与驾驶数据回传等数据密集型业务占比持续上升，此类业务对传输时延与服务可靠性的要求远高于语音时代的连通性诉求。因此，整车无线通信系统设计的重心由建立连接转向保障数据服务的确定性。

（3）卫星通信开始进入量产上车周期，全域覆盖能力初步形成

车规级卫星通信正处在由技术验证走向量产搭载的起步阶段，这一进程由基础设施与车载方案两端共同推动。在天基基础设施侧，吉利已于 2025 年完成一期 64 颗低轨卫星组网，为车载卫星通信提供了可用的空间段资源；在车载方案侧，华为推出的星河通信技术将卫星与地面通信能力融合于同一方案并支持三网连接，卫星通信具备了与蜂窝协同部署的工程条件。此外，吉利、比亚迪、奇瑞等多家整车企业将卫星通信纳入量产车型的配置清单，标志着卫星链路的全域通信覆盖体系正初步形成。

2 整车无线通信规模化应用面临的行业挑战

随着智能网联汽车从“具备联网功能”转向“依赖网络能力提供持续服务”，整车无线通信已不再是单一零部件或某一项增值功能的支撑条件，而是贯穿车型定义、电子电气架构、通信方案选型、软件开发、整车测试、量产交付和全生命周期运营的系统能力。

对车企而言，真正的挑战不是把蜂窝、短距或卫星通信模块量产装车，而是要把多种通信能力稳定地转化为可感知、可验证、可运营、可持续演进的整车产品能力。当前行业仍存在功能定义与通信能力脱节、网络性能与用户体验脱节、零部件指标与整车表现脱节、研发验证与量产质控脱节、车端策略与网络资源脱节等问题。这些问题在 4G 时代往往可以通过功能降级、人工补偿或较低的业务复杂度得到掩盖；但在 5G、卫星通信、短距通信等能力逐步融合后，通信链路的稳定性、连续性、可靠性和安全性将直接影响车辆功能的可用边界及品牌体验。

2.1 网联类应用业务体验差异难以显性感知

车企对网联类应用业务要求从早期的“有无网络”逐步转向“业务是否持续可用”，但对网联功能的评价仍停留在是否注册成功、是否能够建立连接、峰值速率是否达标、基础通信功能是否正常等层面，而用户实际感知的是语音交互是否及时、在线导航是否连续、远程控车是否成功等业务结果，业务体验与通信指标之间缺少可衔接的映射关系。这种错位在真实使用环境中被进一步放大，同一车型在不同区域、不同运营商网络、不同车辆姿态、不同天气和不同道路环境下，可能表现出明显差异；同一项业务在网络质量下降时，也可能呈现“还能用但体验变差”、“偶发失败”、“连续失败”等不同状态。如果车企只关注模块或实验室测试结果，就难以解释用户投诉，也难以将通信问题准确归因到天线、射频、模

组、软件策略、云平台或网络侧。

2.2 整车无线通信一体化性能评价标准缺失

随着整车网联能力向蜂窝、短距、卫星多模融合方向演进，通信性能评价对象相应地由单技术终端级转向全技术整车级，但配套标准供给明显滞后。现行整车无线通信标准按对象分立，终端类标准止于部件级技术要求，业务类标准限于单一业务链路合规，技术类标准未考虑多通信技术共存时的相互干扰与跨技术链路切换问题，始终未形成覆盖全技术路线的整车级一体化评价框架。在标准评价内容方面，直接决定网联化数据类业务可用性的关键性能指标缺乏统一量化阈值，指标定义、试验方法与限值要求均未达成行业共识，导致整车网联化功能的规模化应用缺乏统一的质量基准，网联配置的商业价值难以显性呈现。总体来看，亟需在整车网联通信统一评价框架、关键指标量化阈值与标准试验方法等方面加快构建标准体系，推动网联化技术优势转化为可识别的产品竞争力，为我国智能网联汽车产业引领全球汽车网联化发展提供关键性的基础标准支撑。

2.3 整车出厂通信性能检验存在体系盲区

整车出厂检验是将研发设计能力转化为量产交付质量的关键环节。对于整车无线通信而言，通信模组或终端通过研发验证，并不意味着每一辆完成装配的车辆均能达到预期通信性能。天线安装、射频线束连接、整车电磁环境以及软件配置等因素，均可能影响车辆最终的通信表现。如果出厂检验主要依赖故障码读取、网络注册和简单业务连通性检查，难以充分识别“能够联网但性能不足”的车辆，也难以保障同一车型、同一配置车辆的通信性能一致性。面向网联化功能的规模化应用，整车通信质量控制仍需打通从零部件检验、装配过程管控到整车下线验证的完整链条，但当前出厂检验体系在多个环节仍存在盲区，如基础连通性检查难以覆盖通信性能缺陷；射频装配质量与整车通信表现之间缺少有效关联；多模通信及整车工作状态的检验覆盖不足；下线检测、量产抽检与问题追溯之间衔接不足。

2.4 端网协同适配机制不完善

当前端网协同不足主要体现在以下几个方面：一是车企网络需求描述与运营商网络规划之间缺少中间的业务指标模型，双方容易出现“网络已满足指标、车辆仍然体验不佳”的争议；二是车端选网与降级策略多以固定阈值或单一信号强度为依据，与网络实际状态联动不足，难以适应多技术融合的动态环境；三是网络变化对车辆全生命周期的影响缺少前置管理，网络制式演进、频段调整、运营商策略变化、区域覆盖差异和云平台接口升级等可能导致在后续运营中面临通信能力衰减、功能不可用或改造成本过高的问题；四是问题定位缺少端到端数据共享，车辆侧、网络侧和云平台侧的数据若无法在合规前提下关联，端网协同只能停留在经验判断。因此，有必要建立车企牵引、运营商、供应商、云平台和应用服务商等多方参与的端网协同机制，通过业务分级、联合规划、动态适配与全生命周期保障等机制，支撑车联网链路的稳定性、确定性和安全性。

3 整车网联化典型功能及通信需求分析

随着汽车智能化、网联化水平持续提升，整车无线通信已由支撑远程控制、在线导航等基础功能的连接能力，逐步发展为保障智能座舱、车辆服务、驾驶自动化及车云协同等多类业务的重要基础能力。不同业务在数据方向、流量规模、实时性、可靠性、覆盖连续性及安全要求等方面存在显著差异，单纯依靠通信制式、理论峰值速率或网络信号强度，已难以全面表征整车网联体验。因此，有必要首先从整车业务和用户场景出发，对典型网联功能进行系统梳理，并进一步分析不同业务对通信能力的差异化需求。

本章从整车业务场景出发，梳理典型网联功能及其通信需求，分析蜂窝、卫星、短距通信的功能定位、适用边界及能力演进方向，形成面向整车产品定义的通信需求矩阵，为后续车载网联域架构设计、端网协同优化及整车通信性能测试评价提供需求输入。

需要说明的是，本文聚焦以车辆为主体的车载网联通信能力，重点研究蜂窝、卫星和短距通信在整车业务中的功能定位、能力边界及融合应用。对于依赖路侧基础设施和车路协同体系的 C-V2X 直连通信，以及车车、车路之间的协同感知、协同安全和协同控制等内容，因其涉及路侧单元、边缘平台、道路基础设施及车路云协同部署，不属于本文重点研究范围，本文仅在相关业务或通信能力分析中作必要涉及，不作专题展开。

3.1 整车网联功能体系及场景分类

典型网联功能分为应急安全保障、车辆远程服务、座舱信息娱乐、驾驶自动化服务、人车及近场交互五大类，如图 3-1 所示。

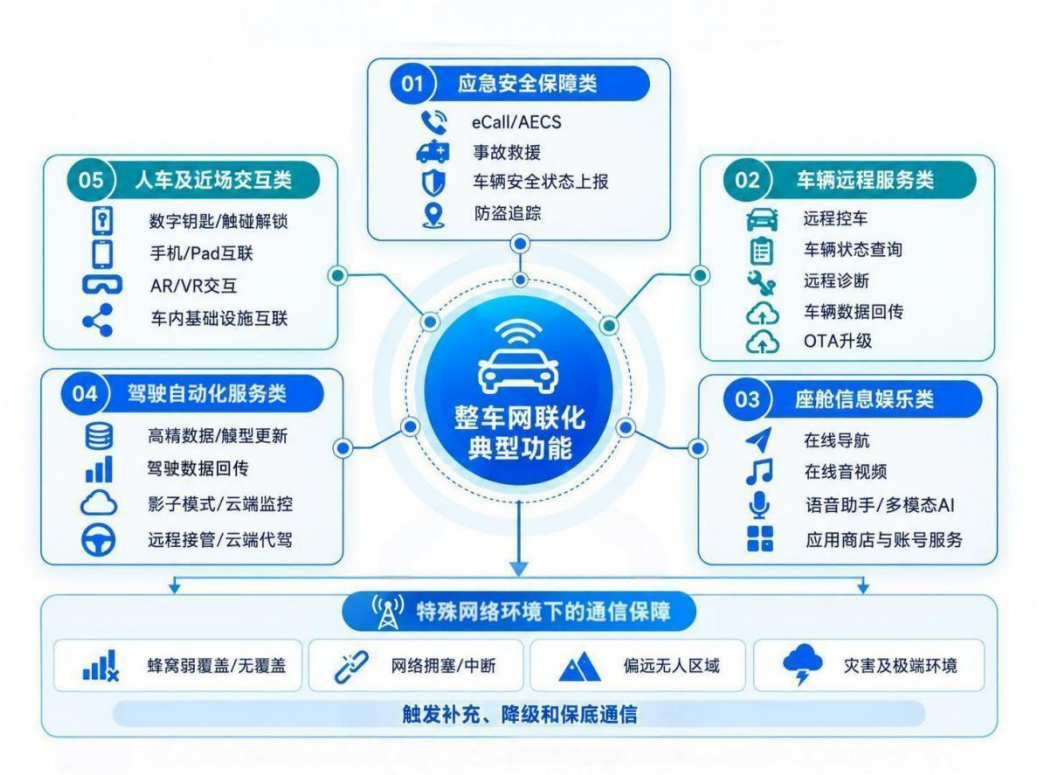


图 3-1 整车网联化典型功能全景图

应急安全保障类包括 eCall、事故救援和安全状态上报，重在关键时刻的可达性；车辆远程服务类包括 OTA、远程控车、状态查询和诊断，业务流量与实时性差异较大；座舱信息娱乐类包括导航、高清影音和多模态 AI，关注持续带宽与交互体验；驾驶自动化服务类包括数据更新和驾驶数据回传，突出上行能力与连续连接；人车及近场交互类包括数字钥匙、手机互联和近场设备连接，关注安全认证、低功耗与本地交互。此外，弱覆盖、无覆盖、网络拥塞或中断、偏远无人区域及灾害等属于跨业务的特殊网络环境，可影响上述不同功能的承载方式，但不作为独立业务功能分类。

对于蜂窝、卫星、短距通信来说，上述的同一业务功能并不与单一通信技术一一对应，可随车辆状态、网络条件和服务要求选择承载。整车无线通信能力应从业务需求出发进行统一定义，再确定通信链路组合。

3.2 整车网联功能及通信需求

3.2.1 应急安全保障类功能及通信需求

典型功能主要包含碰撞或人工触发的 eCall/AECS、事故信息上传与紧急救

援、车辆安全状态上报及防盗追踪，需送达位置与状态并建立必要的语音联系。欧盟 eCall 面向 112 公共服务应答点，国内 AECS 面向紧急呼叫服务平台，eCall 补充非紧急救援。欧盟 NG-eCall 要求按 2026 年新车型式批准、2027 年新车注册等节点分阶段实施（(EU) 2024/1180）；中国强制性国家标准 GB 45672-2025《车载事故紧急呼叫系统》自 2027 年 7 月 1 日起实施，适用于 M1 类、N1 类车辆并纳入整车型式认证。

表 3-1 应急安全保障类业务数据特征及关键通信能力需求

典型功能场景	eCall/AECS	事故救援	车辆安全状态上报	防盗追踪
业务数据特征	✧ 数据量小：标准最小数据集（MSD）上限 140 字节，NG-eCall 扩展附加数据后总体达 KB 级； ✧ 触发偶发：仅紧急事件触发，单车全生命周期可能仅使用数次，属于典型“低频高优先级”业务； ✧ 双向交互、数据上行为主：语音会话为双向实时交互，数据上报主要为上行； ✧ 触发时刻可用性要求极高：网络需常年待命、用时必通，业务可用性优先于日常吞吐能力。			
关键通信能力需求	✧ 高可用性与接入优先级：弱覆盖、网络拥塞场景下优先接入，具备高优先级接入与高QoS保障； ✧ 覆盖连续性：支持隧道、地下车库、山区等弱覆盖区域，需网络广覆盖及无网覆盖时具备必要补充手段； ✧ 高精度定位：中国AECS配套标准（GB/T 45086.1-2024）要求开阔天空场景水平定位误差优于 2 米、城市峡谷场景优于 10 米，采用北斗优先/北斗单模方案；支持A-GNSS等辅助定位； ✧ 语音与数据并发：支持语音链路与最小数据集传输并发完成； ✧ 安全与合规：位置等敏感信息加密传输，满足个人信息保护相关法规要求。			

3.2.2 车辆远程服务类功能及通信需求

主要包括车控与数据服务、OTA 升级两类业务。两类业务均依托车辆与云端之间的广域通信连接，但数据特征和通信需求存在明显差异：车控与数据服务以小数据、双向交互、持续在线为主要特征，重点关注业务可达性、响应时延和通信可靠性；OTA 升级则以大流量、下行为主、可调度为主要特征，更关注持续下

行带宽、传输完整性及流量成本。

（1）车控与数据服务类业务

典型功能包括远程控车（通过手机 App 远程控制空调、车门、车窗、充电、座椅加热及远程召唤等）、车辆状态查询、远程诊断、车辆数据回传。

表 3-2 车控与数据服务类业务数据特征及关键通信能力需求

典型功能场景	远程控车	车辆状态查询	远程诊断	车辆数据回传
业务数据特征	✧ 小数据包、双向、高频次：状态查询与控车指令通常为百字节级，交互频繁； ✧ 周期性回传与事件触发并存：数据回传为 KB～MB 级周期上报，异常事件叠加即时触发上报； ✧ 实时交互敏感：控车指令端到端时延期望在数秒内完成“下发-执行-反馈”闭环； ✧ 多业务并发：同一车辆可同时远程控车、数据回传与状态查询。			
关键通信能力需求	✧ 低时延与确定性：端到端时延控制在秒级以内，控车类指令对时延抖动和可达性敏感； ✧ 高可靠与高安全：控车指令涉及车辆控制安全，需双向身份认证、指令加密与防重放机制； ✧ 永远在线与快速唤醒：车端通信终端维持IP连接与心跳保活，支持远程唤醒并保留短信唤醒兜底通道； ✧ 海量连接：平台侧支撑千万级至亿级车辆并发连接与消息吞吐，随着车联网渗透率持续提升。			

（2） OTA 升级类功能及通信需求

OTA 升级类典型功能主要包括实现智能座舱、驾驶自动化、控制器及地图升级，覆盖下载、校验、安装、激活、回滚全流程。升级通常在车辆驻车、充电、夜间停放等场景错峰进行。

表 3-3 OTA升级类业务数据特征及关键通信能力需求

典型功能场景	智能座舱/驾驶自动化/控制器/地图升级等
业务数据特征	✧ 超大流量、下行为主：单次全量升级包可达数 GB 至数十 GB，差分包通常为百 MB 级； ✧ 流量集中且可调度：下载可在网络空闲时段或 Wi-Fi 环境进行，对实时性不敏感，对流量成本与调度策略敏感； ✧ 完整性与安全性要求高：通过分片校验、断点续传与签名验签机制兜底； ✧ 多目标协同：整车升级涉及多个控制器的版本协同与顺序控制。
关键通信能力需求	✧ 高下行带宽：数GB级包体在可接受时间内完成下载，缩短升级窗口； ✧ 传输可靠性：支持断点续传、分片校验与防篡改，下载中断后可自动恢复； ✧ 低成本大流量：需运营商大流量套餐或专属通道支撑； ✧ 云端可调度：支持统一灰度发布、错峰调度、限速控制与失败重试策略。

3.2.3 座舱信息娱乐类功能及通信需求

典型功能包括在线导航、在线音视频娱乐、视频通话、语音助手与 AI 交互、应用商店与账号服务，业务贯穿驾驶全程，是用户感知最强的网联体验来源。

表 3-4 座舱信息娱乐类业务数据特征及关键通信能力需求

典型功能场景	在线导航	在线音视频娱乐	视频通话	语音助手与AI交互	应用商店与账号服务
业务数据特征	✧ 流量规模跨度大：导航为持续 KB/s 级，高清视频 Mbps 级，但业务创建时的突发流量可达 10Mbps 级；云游戏与云端大模型交互可达数十 Mbps，时延要求低至百毫秒级； ✧ 会话型、时长长、突发明显：业务以长连接会话为主，流量随用户行为波动； ✧ 体验敏感：卡顿、缓冲、交互迟滞直接影响用户评价，但一般不涉及行车安全； ✧ 多终端并发共享：车机与多个乘员终端共享同一蜂窝链路。				
关键通信能力需求	✧ 持续带宽与低抖动：音视频业务要求稳定吞吐，避免缓冲与降质； ✧ 低时延交互：语音交互端到端响应通常要求 1～1.5 秒以内，云端大模型问答要求百毫秒级，云游戏对时延要求更高，需要云节点下沉靠近车端；				

典型功能场景	在线导航	在线音视频娱乐	视频通话	语音助手与AI交互	应用商店与账号服务
	✧ 移动连续性：高速移动与跨基站切换时业务不中断，体验无感，经过无网或弱网区域后业务应快速恢复； ✧ 并发QoS区分：多终端共享链路时按业务优先级进行资源调度与隔离。				

3.2.4 驾驶自动化服务类功能及通信需求

面向驾驶自动化数据闭环与车云协同，典型功能包括驾驶数据回传、高精地图与模型在线更新、云端监控与影子模式、远程接管与远程驾驶辅助、区域内车辆的运营调度。

表 3-5 驾驶自动化服务类业务数据特征及关键通信能力需求

典型功能场景	驾驶数据回传	高精地图与模型在线更新	云端监控与影子模式	远程接管与远程驾驶辅助	区域内车辆的运营调度
业务数据特征	✧ 上行主导、超大流量：多传感器原始数据回传峰值可达数百 Mbps，结构化或压缩数据为数十 Mbps，常态化回传为 MB 级/分钟； ✧ 上行突发性强：回传由场景触发，瞬时并发高； ✧ 时延分层明显：V2N 安全预警类消息要求百毫秒级以内，数据回传类可容忍秒级至分钟级； ✧ 规模化成本敏感：车队级数据闭环需平衡总吞吐、流量成本与回传策略。				
关键通信能力需求	✧ 大上行带宽：上行是驾驶数据回传的主要瓶颈，需要显著增强的上行能力； ✧ 低时延高可靠：V2N安全类消息端到端时延百毫秒以内、可靠性达到99.99%以上； ✧ 算网协同：业务在车端、边缘（MEC）与中心云之间动态分配，需要确定性网络连接与边缘算力支撑； ✧ 数据合规：符合汽车数据安全、个人信息保护、测绘地理信息管理及数据出境安全评估等法规要求。				

3.2.5 人车及近场交互类业务

（1）车辆进入类业务

典型功能主要包括车辆与便携终端之间的身份鉴别、近场遥控、测距定位、近场感知与访问控制。通信模组需具备常态低功耗侦听能力和较强的安全防护能力。典型的应用场景为数字钥匙和触碰解锁，数字钥匙应用依托手机、智能手表

等穿戴终端实现自动解闭锁、迎宾、后备箱感应开启，支持钥匙权限分享授权，触碰解锁应用实现触碰车辆感应区域完成身份校验，可作为车辆进入兜底手段。

表 3-6 车辆进入类业务数据特征及关键通信能力需求

典型功能场景	身份鉴别	近场遥控	测距定位	近场感知	访问控制
业务数据特征	✧ 小包交互：身份鉴权信令、密钥校验、钥匙授权等消息均为小包交互； ✧ 低功耗约束：日常待机侦听，终端进入近场才产生业务交互，所以车端与便携终端需长期待机，不能持续高功率发射； ✧ 安全敏感：密钥、身份凭证属于敏感数据，报文必须加密。				
关键通信能力需求	✧ 交互时延：无钥匙进入端到端响应时延需要亚秒级； ✧ 传输可靠性：复杂车库、多射频干扰环境下需保障交互成功率； ✧ 定位精度：高级数字钥匙功能需要亚米级测距和定位能力； ✧ 功控能力：车端与便携终端需具备长周期低功耗侦听能力； ✧ 安全能力：需具备双向身份认证、报文加密、防中继攻击、防重放、密钥安全存储等安全保护能力； ✧ 并发能力：需具备多套钥匙/穿戴设备同时侦听接入能力。				

（2）车与移动终端互联类业务

主要功能为车辆与外部移动终端的本地短距数据交互，运行在车内及近场空间，车内射频环境复杂，需兼顾多设备并发、媒体流传输质量与交互时延。典型应用场景包括车与手机/Pad 互联（支撑设备配对、通讯录同步、媒体互传、应用接续等）、车与 AR/VR 终端互联（支撑沉浸式座舱交互）。

表 3-7 车与移动终端互联类业务数据特征及关键通信能力需求

典型功能场景	车与手机/Pad互联	车与AR/VR终端互联
业务数据特征	✧ 带宽跨度大：控制信令为 kbps 级别，高清媒体交互可达十几 Mbps； ✧ 流式持续传输：AR/VR 画面、流媒体业务为长会话流； ✧ 多流并发：支持多台移动终端同时接入，多路数据流并行处理； ✧ 时延敏感：AR/VR 交互、终端操作反馈对端到端时延有严格约束； ✧ 周期性+事件触发混合：设备配对为事件触发，媒体传输为周期性持续传输。	

典型功能场景	车与手机/Pad互联	车与AR/VR终端互联
关键通信能力需求	✧ 交互时延：AR/VR沉浸式交互单向时延需要毫秒级，普通互联业务保障需亚秒级响应； ✧ 传输带宽：高清 AR/VR单路业务带宽需要 10Mbps级； ✧ 传输可靠性：可根据高清流媒体业务、AR/VR业务与普通信息交互业务的需求进行分级保障传输可靠性； ✧ 并发能力：支持多台手机、Pad、AR/VR终端同时接入； ✧ 同步能力：多终端并行交互场景，保障媒体流时序对齐； ✧ 抗干扰能力：需具备多射频共存条件下业务不卡顿的抗干扰能力。	

（3）车载基础设施互联类业务

典型功能主要包括车内设施之间的互联，涵盖多媒体输出、噪声抑制、状态感知等功能，部分属于闭环控制业务，对时延、时钟同步、传输可靠性要求严苛。典型应用包括显示投屏、主动降噪、胎压监测、无线 BMS 等，其中显示投屏应用主要是将终端或车机画面投射至车载显示屏，支持多屏并发，属于长会话流式业务；主动降噪应用主要是传输噪声采集数据与抵消音频信号，噪声抑制效果对时延极其敏感；胎压监测应用主要是将轮胎端无线传感器周期性采集数据上报车机，属于周期小包上报业务，数据丢失带来行车安全隐患；无线 BMS 应用主要是电芯采集单元通过短距通信向主控单元上报安全数据，业务安全等级高。

表 3-8 车载基础设施互联类业务数据特征及关键通信能力需求

典型功能场景	显示投屏	主动降噪	胎压监测	无线BMS
业务数据特征	✧ 带宽跨度大：传感数据为 kbps 级别，投屏高清视频可达十几 Mbps； ✧ 流式持续传输与周期上报并存：投屏、主动降噪为流式持续传输，胎压、BMS 为周期性上报； ✧ 多流并发：多路传感器数据、音视频流并行传输； ✧ 时延敏感：主动降噪业务单向时延需微秒级，投屏业务单向时延需毫秒级。			
关键通信能力需求	✧ 交互时延：主动降噪单向时延需要微秒级，其他业务单向时延需要毫秒级； ✧ 传输带宽：高清投屏单路需要 10Mbps级带宽，传感器采集业务百kbps级即可满足；			

典型功能场景	显示投屏	主动降噪	胎压监测	无线BMS
	✧ 传输可靠性：主动降噪、胎压监测、BMS等应用需具备多重遮挡环境下的通信可靠性保障能力； ✧ 并发能力：需具备多路传感器、显示屏、音频设备并行接入能力； ✧ 同步精度：需具备毫秒甚至亚毫秒级时间同步能力。			

3.3 整车网联功能的主流通信技术

基于 3.2 所述整车网联功能及通信需求，本节进一步从通信技术角度分析蜂窝、卫星和短距通信的功能定位、当前能力及发展演进。三类通信技术分别侧重广域主体连接、广域覆盖补充与特殊场景兜底、本地近场连接，其能力边界和适用场景存在明显差异。

3.3.1 蜂窝通信

（1）功能定位

蜂窝通信是当前整车广域网联的主体承载方式，正处于 4G/5G 并存、5G-A 规模商用阶段，3GPP Rel-20 已启动面向 6G 的研究。蜂窝通信在上下行吞吐、时延、连接容量及网络能力开放等方面持续演进，支撑汽车网联业务由基础连接向增强智能体验发展。

需说明的是，4G、5G 与业务不存在绝对一一对应关系，业务体验取决于网络部署、频谱资源、覆盖质量、终端能力、网络负载等多因素。4G 可满足多数基础业务，5G 能够为部分高带宽、低时延和高上行业务提供更好技术条件，但不意味着所有基础业务必须采用 4G，也不代表具备 5G 标识即可在所有场景获得稳定高性能体验。

（2）当前能力

当前 4G 在基础车联网中仍有广泛应用，5G 向高流量与增强交互深化。5G RedCap 已有车规模组应用基础，整车导入仍需网络、终端及服务适配。表 3-9 比较各类能力，所列参数为 3.2 节已有业务负载，用于说明适用范围，不是网络保

证速率。

表 3-9 当前车载蜂窝通信典型能力及应用边界

能力分支	代表技术	当前应用基础	代表性通信参数	车载应用边界
4G	LTE/VoLTE	语音与双向数据广泛应用	eCall MSD上限 140 B；控车百B级；数据KB～MB级；	应急安全保障、普通远程服务及导航/音乐可较好支持；大包与高并发仍依赖可用带宽
5G	NR	用于车联网及高流量业务	OTA数GB至数十GB；高清视频数Mbps；云游戏/AI及压缩智能辅助驾驶数据数十Mbps，原始智能辅助驾驶峰值数百Mbps	增强远程服务的OTA、座舱视频/AI及驾驶数据回传、车辆远程服务等；大上行依赖部署与终端，不默认保障远程驾驶闭环
	RedCap	已有车规模组，需网络和服务适配	小包指令和状态交互；吞吐依配置及部署	车辆远程服务：控车、状态和轻诊断，兼顾功耗成本；宽带、大上行及语音需核对配置和服务

结合上述能力分级，蜂窝通信按照业务优先级和能力特征形成差异化的分级承载机制：

①高优先级安全与控制类业务：应急呼叫、远程控车等以高可达性、高可靠性为核心，采用 4G/5G 多模接入并配置高优先级 QoS，保障弱覆盖、拥塞场景下的优先接入与资源抢占；车辆以 IP 连接和心跳保活维持永久在线，远程唤醒保留短信兜底通道，控车指令配套双向身份认证与防重放。

②大流量可调度类业务：OTA 升级、座舱影音等以带宽效率与成本控制为核心，支持错峰调度、限速控制与多通道聚合，优先利用 5G 大带宽缩短传输时长，结合 Wi-Fi 与网络闲时降低流量成本；通过分片校验、断点续传与签名验签保障传输完整性。

③驾驶自动化上行类业务：驾驶数据回传、高精地图更新等采用分级回传策略，基础数据与压缩数据由蜂窝常态化承载，大容量原始数据优先 Wi-Fi 回传；依托边缘计算与车端数据筛选、预处理降低无差别上行压力，随着 5G-A 上行增

强落地，逐步提升实时回传规模。

（3）发展与演进

蜂窝通信将沿着 5G-A 规模商用、6G 预研的路径持续演进，从提供基础连接向保障业务体验、支撑车云协同升级。整体发展将经历三个阶段：当前为 4G/5G 并存的基础连接阶段，以满足分级承载需求为主；近期进入 5G-A 能力增强阶段，支撑高带宽、低时延、强上行及确定性保障业务规模化落地；中长期向 6G 空天地一体化架构演进，实现蜂窝与卫星网络的深度融合与统一调度。

具体演进方向包括四个维度：

①网络技术演进：5G-A 持续提升上下行速率与连接容量，下行峰值速率向 10Gbps 级演进，上行能力显著增强，缓解驾驶数据回传瓶颈；网络切片、NEF 网络能力开放与 MEC 边缘计算下沉，为不同优先级业务提供确定性 QoS 与端到端时延保障；VoNR、基于 IMS 的多媒体紧急呼叫支持语音与事故影像、传感器数据等多媒体化上传。

②终端设备演进：RedCap 以更低功耗、更低成本提供原生 5G，车规级模组已量产并逐步成为远程服务与数据回传的主力承载；多模多频终端、多运营商 eSIM 智能选网与多链路智能聚合，提升弱覆盖、跨区域及出海场景的接入成功率与业务连续性，出海车型同步配置国际漫游与本地化连接。

③业务形态演进：5G MBS 组播广播面向车队 OTA、全域内容一次性分发，避免逐车单播，显著降低网络拥塞与流量成本；CDN 与边缘分发架构优化大文件下载体验；云端大模型、生成式 AI 与云游戏、云端代驾等业务驱动上行增强与车云协同，蜂窝、Wi-Fi 与卫星宽带通道实现智能聚合与统一调度。

④标准生态演进：3GPP Rel-20 及后续版本启动 6G 研究，NTN 技术持续演进并与 6G 空天地一体化架构衔接，构建卫星与地面一张网、统一核心网与业务无感漫游；车云通信协议向 SOA 化、事件驱动化演进，压缩交互开销并提升指令链路可管理性。

3.3.2 卫星通信

（1）功能定位

与蜂窝通信相比，卫星通信具有广域覆盖优势，可在地面网络覆盖不足区域

提供补充连接能力，是构建多技术整车网联体系的重要技术方向。海外市场相对领先，例如 Starlink 已推出车载服务，采用“后装终端+订阅服务”模式提供 10～100Mbps 级宽带接入；铱星等推出“卫星+蜂窝”混合终端，提供 Mbps 级宽带通信服务。

我国当前车载卫星通信设备主要提供短消息、语音通话等窄带业务，核心价值是地面弱网/无网区域的应急兜底通信。随着低轨卫星网络、卫星宽带终端及整车集成技术发展，卫星通信未来将逐步向更丰富的数据业务拓展。

卫星通信在整车网联中的定位分为三层：

①常态补充：蜂窝覆盖正常时，作为蜂窝的补充，在弱覆盖、拥塞场景提供辅助连接；

②应急冗余和兜底：应急场景下与蜂窝互为冗余，双通道并行传输，显著提升应急场景通信可靠性。

③盲区主承载：无蜂窝覆盖区域，转为主要乃至唯一通信手段，独立承担应急求助、位置上报、远程控车等关键业务。

整车通信系统设计应按此定位实现双模终端的常态驻网、自动切换与应急并发能力。

（2）当前能力

当前国内已形成多轨道、多速率的卫星通信资源体系，可匹配车载不同层级的业务需求，各类卫星资源的能力分级如表 3-10 所示。

表 3-10 当前车载可用卫星通信资源典型能力及应用边界

能力分支	代表技术	当前应用基础	代表性通信参数	车载应用边界
高轨移动语音及窄带数据	天通一号	已有汽车前装语音、短信及道路救援应用	语音 1.2/2.4/4.8kbps；短信 140B（70 个汉字）；模组数据 1.2～9.6kbps；ToB 业务最高 128kbps；物联网 42B/包	双向语音、小数据，适用于应急安全保障、无蜂窝地区必要通信
北斗短报文	北斗三号区域及全球短报文服务	已有消息通信服务体系	区域二级民用卡：约 229B/条（131 个汉字，尚未在已售车型上规模应	消息型、频度受限，适合 SOS、位置及远程服务的关键状态上报、简

能力分支	代表技术	当前应用基础	代表性通信参数	车载应用边界
			用）；发送 120s/条；接收不限频度	短控制功能；区域依托 GEO、全球依托 MEO；定位接收与短报文收发
高轨宽带	中星 16 号、中星 26 号、亚太 6D 等	已有高通量资源、宽带服务及车载动中通产品	中星 26 号 Ka 频段：系统容量超过 100Gbps；0.35 m 口径终端下行 100Mbps、上行 10Mbps	Mbps 级 IP，适合座舱视频/互联网及远程文件传输；传播时延较大，需专用终端
低轨窄带及物联网	天启星座、时空道宇星座等	已有行业终端，相关企业已获卫星物联网商用试验批复	时空道宇 1900B/条；天启 120B/条，其公开车载终端 268～1200bps	小包周期/事件传输，适合位置、状态、告警及消息；报文容量、上下行速率及业务窗口依系统和服务而异
低轨宽带	GW 星座、千帆星座等	持续组网与验证，车载适配逐步推进	面向宽带与连续上行，能力随覆盖和终端确定	面向座舱宽带接入、连续上行与交互业务

结合上述卫星通信定位分层和能力分级，面向地面网络受限场景，按照网络条件和业务重要度形成三类差异化承载机制：

①车辆状态上报与数据服务采用自动切换与缓存补报机制：在蜂窝弱覆盖、拥塞或短时断联场景下，卫星作为补充链路，车端可自动切换至卫星链路，优先传输车辆位置、安全状态、关键故障码及轻量诊断等小数据，其余数据本地缓存。待蜂窝恢复或卫星通信窗口可用后按需补传。以 KB 级小数据为主，交互时延可由蜂窝秒级放宽至数十秒，非实时数据可容忍分钟至小时级传输，不适合日志批量回传和持续大流量业务。

②应急通信与紧急救援采用“常态备份-失联切换-应急并发-降级传输-恢复补报”机制：车辆碰撞或驾乘人员触发 SOS 后，北斗短报文、低轨卫星物联网可承担位置、事件及最小必要信息传输，天通一号可进一步提供双向语音。双模终端日常以蜂窝为主、卫星保持备用；蜂窝失效时自动切换，紧急事件可采用蜂窝与卫星双通道并行传输。卫星兜底期间优先保障事件标识、时间、位置等最小必要信息，并在蜂窝恢复后自动回切和补传缓存数据。典型呼叫建立时间小于 10 秒，基本求助消息约 30～120 秒送达。隧道、地下车库、密林及城市峡谷等严重

遮挡环境下，卫星链路可用性受到限制。

③无蜂窝地区通信采用卫星主承载与业务降级机制：在无人区、高原、戈壁、沙漠等长期无蜂窝覆盖区域，卫星通信由补充链路转为主要甚至唯一广域通信方式。车辆进入蜂窝覆盖盲区后，安全和基础车控业务自动切换至卫星通道，并根据链路能力缩减业务范围；恢复蜂窝覆盖后自动回切并补传缓存数据。前装北斗短报文和低轨卫星物联网终端主要承担 KB 级消息、位置、状态及基础车控数据的传输，天通终端可提供语音服务，高轨高通量卫星终端可在特定条件下提供 Mbps 级 IP 宽带能力，实际能力仍受终端配置、卫星可见性、网络覆盖和业务资费等条件约束。

（3）发展与演进

卫星通信受终端集成、波束覆盖、网络容量、资费和业务运营等因素约束，当前尚未实现规模化应用，近期仍以蜂窝网络补充为主，无法完全替代地面蜂窝网络。整体能力发展将经历三个阶段：当前为应急补盲阶段，以短报文、语音、小数据业务为主；近期进入低速持续连接阶段，支撑车辆状态与运营数据回传、卫星物联网等业务；中长期实现局部宽带补充，随着低轨宽带网络和车规终端成熟，在特定场景提供宽带连接能力。

具体演进方向包括四个维度：

①星座与链路能力演进：GW 星座、千帆星座等低轨宽带星座预计 2026-2029 年逐步实现区域连续覆盖，届时卫星可承载驾驶数据回传、高精地图更新、云端模型下发等非实时大流量业务，以及驻车和行车场景下的座舱宽带业务。随着星座能力不断完善，未来有望逐步具备接近地面蜂窝网络的宽带接入和业务承载能力。

②车载终端演进：车载低轨相控阵终端已完成从样机到产品的跨越，当前成本仍在数万元量级；围绕小型化、车顶集成、低剖面低风阻、宽温抗振的车规化攻关与规模化降本持续推进，预计 2028-2030 年逐步实现前装上车。

③业务融合演进：“通导遥一体”与车端算力结合，将衍生广域协同感知、全域车队智能调度等新业务形态；多链路聚合与端网协同的智能切换，将推动卫星通信从独立兜底通道演进为整车网联的常规组成部分。

④标准化演进：3GPP NTN 技术持续演进，并与 6G 空天地一体架构衔接，实

现卫星与地面一张网、统一核心网与业务无感漫游；车规级 NTN 芯片与模组量产后，“蜂窝＋卫星”双连接车载终端成本将显著下降，有望成为越野、皮卡、房车及出口车型等的标准配置。

3.3.3 短距通信

（1）功能定位

短距通信主要服务于车辆与人员、移动终端、车内设备及近场环境之间的连接与交互，与蜂窝、卫星广域连接形成能力互补。典型技术包括蓝牙、Wi-Fi、UWB、NFC、星闪等，不同技术在通信距离、吞吐能力、定位感知、功耗及安全机制等方面各具特点。

需要说明的是，短距业务不与单一接入层技术制式绑定，同一业务可根据终端能力、电磁环境、功耗约束等因素灵活选用接入层承载技术。因此应根据具体业务需求合理选择蓝牙、Wi-Fi、UWB、NFC、星闪等技术，并通过多制式协同提升连接的稳定性和业务体验。

（2）当前能力

当前车载短距通信已形成多技术分工、分场景承载的格局，蓝牙、NFC、Wi-Fi 及专用射频已广泛用于车载互联，UWB 增强精确测距，星闪 SLE/SLB 向低功耗和高速连接拓展。各种技术依据业务在带宽、时延、定位、功耗与安全上的差异灵活选用，覆盖车辆进入、移动终端互联、车内基础设施互联三类场景。各类能力及应用边界如表 3-11 所示。

表 3-11 当前车载短距通信典型能力及应用边界

能力分支	当前应用基础	代表性通信参数	车载应用边界
蓝牙	已有钥匙、配对及媒体互联	BLE 低功耗小包；钥匙业务响应预算亚秒级	车辆进入/终端互联：BLE 用于待机发现及小数据，经典蓝牙用于音频等；精确测距、实时闭环需结合其他能力

能力分支	当前应用基础	代表性通信参数	车载应用边界
NFC	已用于触碰解锁、认证	触碰式、小包身份交互	车辆进入：触碰认证及兜底，纯 NFC 不具备无感进入能力
UWB	增强数字钥匙测距定位	厘米级测距，受终端及环境影响	车辆进入：精确距离判别，需与发现、认证组合，并考虑成本及安全
Wi-Fi	已用于终端互联、投屏	AR/VR、投屏以 10Mbps 级业务为参考；AR/VR 要求毫秒级	移动终端/车内设施互联：大流量和多屏；受并发、干扰影响，不直接保障微秒级闭环
专用射频	TPMS 已无线应用；BMS 仍以有线为主	周期小包状态传输	车内设施互联：低功耗传感上报；无线 BMS 另需安全、遮挡及可靠性验证
星闪 SLE/SLB	面向钥匙、终端及车内互联推进适配	SLE 低功耗、SLB 高速及低时延潜力；主动降噪微秒级、同步亚毫秒级为业务目标	人车及近场交互：低功耗设备及高速终端连接；主动降噪、无线 BMS 需系统验证

结合三类场景的业务特征，短距通信按照带宽、时延、定位与安全等级形成分级承载与制式选型机制：

①车辆进入类采用多模融合与分级认证机制：以 BLE/星闪 SLE 承担中远距离低功耗侦听与通信，UWB 承担近距离高精度测距，NFC 作为触碰兜底，实现不同距离承载自动切换；鉴权报文全程加密，配套双向认证、防中继攻击与防重放，并支持多用户分级钥匙权限。

②移动终端互联类采用按业务分级承载机制：Wi-Fi/星闪 SLB 承担高清媒体与 AR/VR 等大流量、低时延业务，经典蓝牙/BLE 承担设备配对与小数据交互；通过业务级 QoS 与多链路无缝切换规避局部射频干扰，保障多终端并发下的媒体时序对齐。

③车内基础设施互联类采用按时延与安全等级分级保障机制：主动降噪等微秒级业务、胎压与 BMS 等安全类业务优先保障，采用专用射频或星闪并提升遮挡环境可靠性；投屏等大流量业务由 Wi-Fi 承载，依托亚毫秒级时间同步保障多

设备协同。

（3）发展与演进

短距通信正由基础连接向身份认证、感知定位、高带宽传输和多设备协同的综合能力演进。整体发展将经历三个阶段：当前为多技术分工的基础连接阶段，各制式分场景独立承载；近期进入多模融合与能力增强阶段，补齐超低时延、高并发、高精度与抗干扰短板；中长期向车内全无线、统一近场互联阶段演进，实现多制式协同与广泛终端适配。

具体演进方向包括四个维度：

①接入技术演进：星闪 SLB 与 SLE 双模及 Wi-Fi7/8、BLE6.0 等技术持续成熟，在多路并发、超低时延、抗干扰与高精度定位上补齐传统蓝牙、Wi-Fi 短板，满足车规严苛环境要求。

②终端设备演进：星闪/UWB+BLE+NFC 多模融合模组提升集成度，降低功耗、体积与成本，强化长周期低功耗侦听与多设备并发接入能力，推进车规级规模上车。

③业务形态演进：数字钥匙向多用户分级权限、乘员身份识别、座椅账号近场同步等场景延展；高清互联、AR/VR 沉浸式交互、无线主动降噪、高清投屏逐步落地；胎压监测、无线 BMS 加速无线化，丰富车内全无线业务。

④标准生态演进：完善短距协议栈业务级 QoS 与多链路无缝切换机制，实现 Wi-Fi 与星闪等制式协同；健全车规认证与近场互联适配标准，推动多品牌、多类型终端广泛接入。

3.4 多技术通信能力功能映射及融合需求

3.4.1 蜂窝、短距与卫星通信能力定位

综合前述分析，三类通信技术分别承担不同业务角色：蜂窝通信是整车广域网联的主体承载方式；卫星通信主要提供广域覆盖补充和特殊场景应急兜底，并随技术成熟逐步拓展增强型数据业务；短距通信主要服务近场连接、车辆进入和车内终端交互。

三类通信技术在覆盖、容量、时延、成本及终端条件方面各具优势，不存在

全维度同时最优的单一通信技术。因此，整车网联能力应根据业务需求进行组合，而非简单追求通信制式数量增加，如图 3-2 所示。



图 3-2 蜂窝、卫星和短距通信的能力定位与互补关系

3.4.2 典型业务的多技术承载关系

同一业务可能在不同场景下采用不同承载方式，同一通信链路也可能同时承载多个业务。整车通信需求分析需同时考虑业务重要度、数据特征、通信性能需求及承载方式，形成统一的业务—通信能力映射，典型映射见表 3-12。

表 3-12 典型业务与通信技术映射矩阵

典型业务	重要程度	数据特征	带宽需求	时延需求	可靠性	连续性	适应性	蜂窝	短距	卫星
eCall/AECS	极高	小数据、双向、关键事件触发	低	高	极高	高	极高	●	—	○
远程控车与状态查询	高	小数据、双向、高频交互，周期与事件触发并存	低	高	高	高	高	●	—	△
OTA 升级	中	大流量、下行为主、可错峰调度	高	低	高	中	中	●	○	△
座舱信息娱乐	中	流式长会话、流量跨度大、多业务并发	中～高	中～高	中～高	高	中	●	○	△
驾驶数据回传与更新	高	上行为主、突发大流量、时延分层	高～极高	中～高	高	高	高	●	○	△
数字钥匙/车辆进入	高	小包鉴权、事件触发、低功耗、安全敏感	低	高	高	中	高	○	●	—

典型业务	重要程度	数据特征	带宽需求	时延需求	可靠性	连续性	适应性	蜂窝	短距	卫星
车与手机/Pad、车与AR/VR 互联	中	小包与流媒体并存、多终端并发、时延敏感	中～高	高	高	高	高	—	●	—
车载基础设施互联	中～极高	周期上报与流式传输并存，业务跨度大	低～高	高～极高	高～极高	高	高	—	●	—
无蜂窝地区通信服务	极高	小数据、事件/周期触发、降级服务	低	中～高	极高	高	极高	—	△	●

注：●主承载；○可承载/补充；△未来可能或特定场景补充；—未列为典型承载。

综上，整车通信能力的演进并非单一速率或单一通信制式的持续升级，而是由基础连接向数据可用、业务体验保障和多技术协同管理发展。基于上述需求，有必要将蜂窝、卫星、短距等通信能力由相互独立的功能配置进一步抽象为整车统一的车载网联域，实现面向业务需求的通信资源统一管理与协同调度，为后续车载网联域技术架构研究奠定基础。

4 车载网联域的通用技术架构与关键支撑机制

4.1 车载网联域总体技术架构概述

4.1.1 车载网联域需求背景和定义

（1）车载网联域的需求背景

汽车智能化与网联化的深度融合，驱动了整车无线通信架构范式的重构，由各技术路线独立通信正逐渐转变为整车多模融合通信。一方面，网联功能已由语音通话、在线导航等基础服务，扩展至驾驶自动化数据回传、云端协同驾驶、沉浸式座舱娱乐等高阶功能，整车无线通信的功能形态由单业务驱动转向多业务并发；另一方面，同一业务还可能支持多种技术、多种制式承载，整车无线通信系统可以根据业务需求来实现通信链路切换，以保证最优的整车网联能力。网联功能需求的升级带动了整车网联通信走向了多模融合通信，其中，蜂窝网络承担广域移动连接，Wi-Fi、蓝牙、超宽带（UWB）、星闪等短距技术承担近场连接交互，卫星通信则作为地面网络覆盖盲区的补充手段。在蜂窝通信、短距通信和卫星通信等多技术融合的趋势下，各技术链路之间何时切换、如何配合，在以模组为单位分散集成的原有架构中并未得到统一设计，整车无线通信架构的变革势在必行。

在原有的整车无线通信架构下，各通信功能以独立的模组、天线、协议栈与处理单元分散部署和独立运行。这种通信架构无法满足多业务并发、多技术融合的通信需求，其问题在整车层面集中暴露。第一，整车缺乏统一仲裁，多套模组对天线、射频、频谱、算力与供电等有限资源无序竞争和相互干扰；第二，各模组独立选网、独立切换，整车层面对连接质量无从管控，用户体验随制式与场景剧烈波动；第三，多条链路分别直连外部网络，攻击面成倍扩大，分散部署的安全机制难以形成统一防线；第四，车端与网络侧缺乏信息交互与能力协商，车端

不知网络能提供何种能力，网络亦不知车辆需要何种保障，连接质量只能停留在尽力而为的水平。

上述问题均无法通过单一通信技术的局部优化得到解决，资源冲突的化解需要整车层面统一的资源调度，体验波动的消除需要统一的连接决策，安全敞口的收敛需要统一的防护体系，端网失配的弥合需要统一的交互接口。因此，通信能力的域化整合由此成为架构演进的下一步，网联能力将以独立域控制器的形式集中承载车对外的通信接入与管理。通过在整车电子电气架构中需要设立一个统一管理车辆对外无线通信连接的功能域，将分散的通信硬件与软件纳入统一的抽象、调度与安全框架，车载网联域正是在这一需求背景下提出的。

（2）车载网联域的概念和构成要素

车载网联域是智能网联汽车中统一管理车辆与外部世界全部无线通信连接的功能域，承担多模通信接入、网联类业务算力调度、连接管理、数据路由、通信安全、定位授时等核心功能，为驾驶自动化域、座舱域、车控域提供全域、全时、可靠的车对外连接服务。其核心定位是打通“车-云-路-人-端”全链路通信通道，是智能汽车实现网联化能力的核心载体。

在功能定位上，网联域面向整车提供车对外通信连接服务，导航、娱乐、驾驶等业务逻辑仍归属各业务域，网联域专注于连接的建立、管理与保障，域的边界即车与外部世界之间的一切无线通信。在存在形式上，网联域以独立域控制器的形式存在于整车电子电气架构中，是和驾驶自动化域、座舱域、车身域等平级的功能域。在服务方式上，网联域经标准化接口向各业务域开放连接能力，各业务域按需调用而不直接操作底层通信硬件。

作为整车电子电气架构中的一个功能域，网联域的完整性可由功能域的六项构成要素加以判别。就功能目标与边界而言，网联域统一管理车与外部世界之间的全部无线连接，解决整车对外的无线通信这一类核心问题；就域控制器而言，作为该域的计算核心，承担网联类业务的算力调度、数据传输、协议适配、安全管控与功能迭代；就外设集合而言，蜂窝、短距、卫星各类通信模组与多模天线、射频系统归属网联域管辖，构成域的专属外设。就芯片与软件栈而言，网联域配置与自身算力需求、实时性要求和安全等级相匹配的通信算力单元、协议栈及链路管理软件，形成域专属的软硬件基座；就安全等级而言，网联域多链路直连外

部网络，信息安全要求需独立定义，贯穿网联域全流程，包含通信通道加密、敏感数据加密、入侵检测、权限管控、固件安全校验等能力；就域间接口而言，网联域经车载以太网、CAN、SOME/IP 等服务化机制同驾驶自动化域、座舱域、车身域交互，接口契约保持标准化。

4.1.2 车载网联域的通用技术架构

车载网联域的通用技术架构包含了通信接入层、硬件抽象层、功能框架层、跨域接口/应用业务层、安全保障层五部分，如图 4-1 所示。

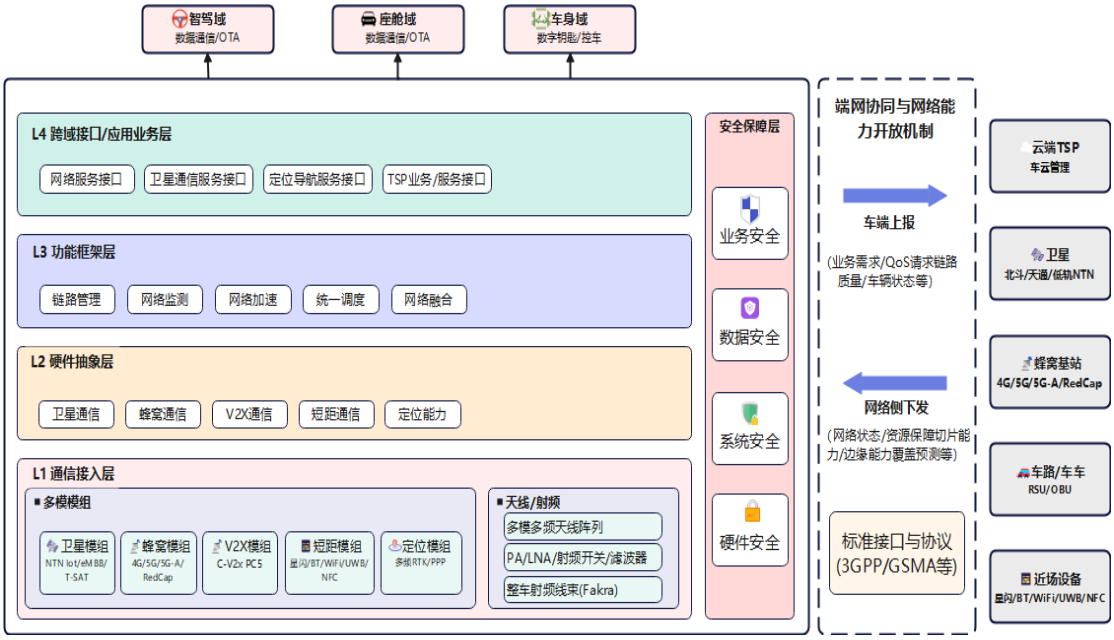


图 4-1 车载网联域的通用技术架构

L1 通信接入层：是网联域的硬件接入底座，负责将物理世界的无线信号接入整车，分为车内通信硬件与车外通信硬件两类。车内通信硬件以车载通信模块为核心，搭配以太网、CAN 等总线，实现网联域与座舱、驾驶自动化等域之间的数据互通；车外通信硬件包含 5G/4G/V2X 通信模组、GNSS 定位模组、卫星通信模组、短距模组，负责车辆与云端、路侧设施、其他车辆、外部网络互联，构建车外全域通信链路。

L2 硬件抽象层：软硬解耦的承载层，多制式硬件统一抽象接口。承担能力封装、资源调度、业务管控的核心作用，实现底层硬件能力向上层业务的标准化输出。该层主要为上层提供抽象的卫星通信、蜂窝通信、V2X 通信、短距通信和定位能力接口。

L3 功能框架层：是网联域的功能中枢，承担域内核心功能。为上层提供统一链路管理、网络监测、网络加速、统一调度、网络融合等能力。

L4 跨域接口/应用业务层：面向整车网联业务，为整车提供跨域的网络服务、卫星通信、定位导航及 TSP 业务接口能力，包含功能接口与数据通道接口两类。功能接口面向专用功能提供标准化调用；数据通道接口面向驾驶自动化域、座舱域等业务域提供带 QoS 契约的数据传输通道。

安全保障层：应从硬件安全、系统安全、数据安全和业务安全等维度建立网联域的统一安全保障框架。

4.1.3 车载网联域部署关键问题研究

车载网联域受车载复杂工况、动态网络环境、多设备协同交互、多场景业务并发、网络安全风险等因素影响，面临整车性能保障、跨域安全协同、多链路协同调度、复杂场景适配等多项核心难题，需针对性开展关键技术研究，保障网联域架构高效、稳定、安全落地。

（1）运行机制：多链路并存下的动态调度与切换决策

面向业务域对连接要求的实时变化，比如驾驶自动化在不同工况下对时延与可靠性的要求不同，以及智能座舱不同业务对带宽的差异性要求，网联域须实时获取这些要求并动态调整链路配置。具体包括三个方面：一是针对如驾驶自动化域、座舱域等网联业务优先级进行分类，如针对驾驶自动化、成员语音识别、紧急协同预警等核心时延敏感业务划分业务优先级；二是网络时延与带宽优化技术，针对划分的高时延敏感业务，设计优先级调度机制，对不同网联业务进行分级管控，保障核心业务优先占用带宽资源，规避非核心业务抢占资源导致的时延超标问题，同时通过链路优化、数据精简、就近传输等技术降低端到端时延；三是故障容错与冗余保障技术，针对异常场景，设计多链路冗余备份、故障快速切换等机制，避免网联故障导致的整车功能失效，保障行车过程中整车性能稳定。

（2）安全机制：多制式融合通信环境下的安全内生贯穿

网联域多链路直连外部网络，且与驾驶自动化域、座舱域、车身域等深度联动，单一域的安全风险极易引发整车安全问题，是受攻击风险很高的功能域，且安全威胁具有攻击路径不可枚举、防护有效性随威胁演化而衰减的特点，事后加

固式的外挂安全无法适应这一动态对抗态势。

网联域安全设计的核心包括：一是全链路安全加密与校验机制，针对不同类型数据采用分级加密算法，对核心数据进行高强度加密，同时建立数据收发校验机制，防范数据篡改、伪造攻击；二是搭建网联域与整车其他功能域的安全联动体系，当网联域检测到入侵攻击时，可快速联动驾驶自动化等核心域进行风险规避，阻断风险扩散；三是动态权限管控与设备准入机制，建立车载外部设备、云端平台、路侧设施的准入认证体系，实现设备身份唯一校验、交互权限分级管控，杜绝非法设备接入。

（3）协同机制：车端与网络侧的双向能力协同

在网络侧通信性能确定的前提下，整车无线网联通信能力很大程度上取决于车端和网络端协同能力，如何充分利用好网络侧的通信资源，来保障各通信技术支持的网联化功能需求，是车载网联域走向量产上车必须解决的关键任务。

车网协同一方面需要建立车网协同 QoS 与网络切片动态调度机制，另一方面需要建立基于行驶轨迹的车网协同预调度机制，车端网联域结合导航路线与网侧预判的网络态势，联动 MEC 边缘节点实现前置数据预分发，提前在车端完成业务需求数据的本地化缓存。

4.2 融合通信与链路转换机制

4.2.1 融合通信的需求背景与驱动因素

在车载网联域的总体架构下，融合通信与链路转换是实现多模通信协同工作的核心技术机制。蜂窝网络承担广域移动连接，Wi-Fi、蓝牙、UWB、星闪等短距技术承担近场连接与交互，卫星通信则作为地面网络覆盖盲区的补充手段。在蜂窝通信、短距通信和卫星通信等多技术融合的趋势下，各技术链路之间何时切换、如何配合，在网联域的统一管理框架下需要一套系统化的机制予以保障。融合通信的核心需求源于以下几个方面：

①业务需求的多样化与差异化：不同业务对通信能力的要求存在显著差异，比如应急安全保障类业务要求“用时必通”，对可用性和可靠性要求苛刻但流量小；OTA 升级以超大下行流量为特征且可调度；座舱信息娱乐类的带宽与时延需求跨度最大且体验敏感；驾驶自动化服务类以上行大流量、低时延高可靠为突出

约束。单一承载难以同时满足所有业务的最优需求，必须依靠多技术协同实现差异化保障。

②网络环境的复杂性与动态性：车辆在高速移动过程中，网络环境持续变化，在城市密集街区、高速公路、隧道、地下车库、郊区偏远地区等不同场景下，各通信技术的覆盖质量、信号强度、网络负载均存在显著差异。单一通信技术难以在所有场景下保持最优性能，需要动态选择最佳通信路径。

③用户体验的连续性与一致性要求：用户对网联业务的期望是“随时随地、稳定可用”，不因网络环境变化而出现明显感知。这要求车载通信系统能够在不同制式间平滑切换，保障业务连续性，避免因链路切换导致的卡顿、中断或体验降级。

④成本与效率的优化需求：不同通信技术的资费结构、功耗特性、部署成本差异显著。通过智能的链路选择与流量调度，可以在保障业务体验的前提下，实现通信成本的最优化，延长车辆续航，降低运营成本。

4.2.2 链路切换机制

链路切换是融合通信的核心能力，决定了多技术协同的效率与用户体验。切换机制设计需综合考虑业务需求、链路质量、网络环境、成本约束等多维因素，实现智能化的动态决策。

（1）切换触发条件

链路切换的触发条件可分为以下几类：

①业务需求驱动：当业务对通信能力的需求发生变化时，触发链路切换。例如，驾驶自动化数据回传业务启动时，需要切换至具备大上行带宽能力的通信链路；OTA 下载任务启动时，优先选择具备高下行带宽且资费低廉的通信链路。

②链路质量驱动：当前链路的通信质量劣化至无法满足业务需求时，触发切换。质量劣化的判定依据包括信号强度低于阈值、误码率升高、时延增大、丢包率超标等。

③网络环境驱动：当车辆移动至新的网络环境时，触发切换。例如，驶入隧道前预切换至卫星通信；驶出地下车库后切换回蜂窝通信；进入 Wi-Fi 覆盖区域后切换至 Wi-Fi。

④成本优化驱动：当存在多个可选通信链路时，优先选择成本更低的链路。例如，在 Wi-Fi 覆盖区域内，优先使用 Wi-Fi 而非蜂窝网络进行大流量下载。

（2）切换决策机制

切换决策是链路切换的核心，需要在多个候选链路中选择最优目标。决策机制应遵循以下原则：

①业务感知优先：切换决策以业务需求为首要依据，而非仅凭信号强弱。不同业务对带宽、时延、可靠性、成本的敏感度不同，需建立业务需求模型，将业务需求量化为可比较的指标。

②多维度综合评估：建立包含链路质量、网络能力、业务匹配度、成本、功耗等多维度的评估体系，为每个候选链路计算综合得分，选择得分最高的链路作为切换目标。

③预测性切换：基于车辆轨迹预测、网络覆盖地图、历史连接数据等信息，预判网络环境变化，提前触发切换，避免在链路质量严重劣化后才被动切换，减少切换时延与业务中断。

④快速回退机制：当切换至目标链路后发现链路质量不及预期时，能够快速回退至原链路或其他备选链路，避免因切换失败导致的业务中断。

（3）切换执行流程

链路切换的执行流程包括以下步骤：

①切换准备：在触发切换后，首先进行目标链路的可用性验证，包括网络注册状态、信号质量、认证状态等。同时，准备切换所需的上下文信息，如业务会话状态、数据传输进度等。

②切换执行：在目标链路上建立新的连接，并将业务数据流迁移至新链路。切换过程中，需保障关键业务的连续性，对于时延敏感业务，可采用“先建后断”的方式，即在新的连接建立并验证稳定后再断开原连接。

③切换完成：切换完成后，更新链路状态记录，通知业务域切换结果，并启动切换后的性能监控。若切换失败，则触发快速回退机制，恢复至原链路或切换至其他备选链路。

4.2.3 车载双卡业务

（1）车载双卡的需求

随着辅助驾驶的发展，以及将汽车打造成具身智能体的需求，传统的单 SIM 卡无法满足新的需求。另外，单一运营商存在网络覆盖不均的问题，在城市、山区、地库、隧道的覆盖差异明显，且单 SIM 卡硬件故障或运营商核心网故障可能导致全车失联的风险，因此车载双卡技术可以有效完善新的需求。

车载双卡的驱动因素如下：

①网络覆盖不均：5G 基站建设尚在发展期，不同运营商在城市/山区/地库/隧道覆盖差异明显。

②业务可靠性要求提升：NG-eCall 紧急呼叫、远程车控、OTA 升级、驾驶数据回传等业务要求链路永不中断。

③业务隔离需求：车厂管理类业务（eCall/OTA/车控）与用户娱乐类业务需要网络和计费分离。

④单点故障风险：单 SIM 卡硬件故障或运营商核心网故障可能导致全车失联。

（2）车载双卡切换策略

按通信模组支持能力，双 SIM 卡分为三种工作模式，包括双卡单待单通、双卡双待单通和双卡双待双通，功能逐步增强，成本与能力逐级递增。切换方式分类如表 4-1 所示：

表 4-1 切换方式分类

切换方式	发起方	说明
车端本地手动切换	用户	车机大屏显示双卡信号强度，用户手动选择运营商
车端本地自动切换	TBOX	基于信号质量阈值自动切换，无需用户干预
云端远程手动切换	TSP/MNO 平台	运营人员通过管理平台远程下发切换指令

（3）车载双卡切换机制

以通信域控制器自动切换为主，根据网络信号质量进行自动切换，自动切换触发条件，车端自动切换通常基于多维度指标综合判定，避免频繁乒乓切换，例

如：

- ✧ 信号强度：RSSI/RSRP 低于阈值持续 N 秒（如 RSSI < -100dBm 持续 300s）；
- ✧ 误码率：BER 超过门限判定链路质量恶化；
- ✧ 网络时延：RTT 延迟持续高于设定阈值；
- ✧ 丢包率：数据业务连续丢包判定链路不可用；
- ✧ 场景感知：AI 引擎识别地库、隧道、山区等弱信号场景，提前预判切换通信链路；
- ✧ 防抖设计：切换需满足“持续劣化时间窗”+“恢复滞后阈值”双重条件，防止临界状态频繁切换。

包括但不局限于根据基站覆盖密度、当地车辆保有量、车辆当前使用的功能、同时针对应用软件做网络加速，整体为用户匹配更佳的网络。可以通过如图 4-2 业务机制来完成。



图 4-2 车载双卡切换业务流程图

4.2.4 业务感知与 QoS 保障

融合通信的核心目标是保障不同业务的差异化 QoS 需求。业务感知与 QoS 保障机制包括以下方面：

（1）业务识别与分类

网联域需具备业务识别能力，能够根据数据流的特征（如目标地址、端口号、协议类型、数据特征等）识别业务类型，并将其映射至预定义的业务类别。典型的业务类别包括：应急安全保障类、远程车辆服务类、OTA 升级类、座舱信息娱

乐类、驾驶自动化服务类等。

（2）QoS 映射与保障

针对不同业务类别，定义差异化的 QoS 保障策略：

- ✧ 应急安全保障类：最高优先级，要求“用时必通”，具备资源抢占能力，支持多制式冗余传输，确保在极端场景下的通信可用性。
- ✧ 远程车辆服务类：高优先级，要求低时延、高可靠，支持快速唤醒与连接保持，保障用户交互的实时性。
- ✧ OTA 升级类：中等优先级，要求高带宽、高可靠性，支持断点续传与失败重试，可调度至网络空闲时段执行。
- ✧ 座舱信息娱乐类：中低优先级，要求持续带宽与低抖动，支持码率自适应与缓存策略，保障用户体验的流畅性。
- ✧ 驾驶自动化服务类：高优先级，要求大上行带宽、低时延、高可靠，支持数据预处理与边缘分流，保障数据闭环的完整性。

（3）动态资源调度

基于业务优先级与链路状态的动态变化，实时调整资源分配策略。当高优先级业务启动时，可抢占低优先级业务的带宽资源；当链路质量劣化时，自动降低非关键业务的带宽占用，保障关键业务的传输质量。

4.3 车载网联域安全保障机制

4.3.1 四维搭建网联域安全保障机制

网联部件是智能网联汽车实现远程交互的核心硬件出入口，承载车辆远程控制、数字车钥匙认证、行车数据上传、OTA 远程升级、V2X 通信、车云链路交互等全部远程业务功能，是车端与外部网络、云端平台、第三方服务互联互通的唯一核心通道。根据《Upstream 2026 Automotive & Smart Mobility Global Cybersecurity Report》统计数据，2025 年全球 67%的汽车网络攻击均依托网联部件链路发起，该设备已成为当前车端攻击的首要目标与最大攻击面。

若网联域与驾驶自动化域、座舱域等车载域共用硬件载体，一旦网联域遭受

外部网络攻击，攻击者可依托共享硬件环境横向渗透至其他功能域，篡改驾驶自动化、车身控制相关数据，引发行车安全风险，同时造成地理信息等敏感数据泄露。

网联域包括 GNSS，包括坐标位置数据的输入和处理后的数据，若网联部件允许安装应用，恶意应用获得运行权限后，可读取本地存储的地理信息、车辆状态、位置等敏感数据；还可监听模块通信报文，截获传输中的数据，并将窃取的数据外发至恶意服务端，造成敏感信息泄露。

若远程控制指令接收部件开放面向用户的交互接口，恶意用户可利用该交互入口尝试篡改、伪造远程控制指令，越权发起车辆远控操作，影响行车安全；也可通过该接口窥探远控指令报文，带来指令被劫持的安全隐患。

从安全维度和地理信息数据管控要求考虑，网联域的设计遵循两项核心原则。

①硬件载体独立：网联配置独立硬件单位，不与驾驶自动化域、座舱域、车控域等其他车载域共用硬件。

②封闭系统设计：具有地理信息保密信息处理功能或者负责接收远程控制指令的部件采用封闭系统设计，不向用户开放交互入口，禁止用户自主安装、卸载应用；系统仅运行出厂预置的可信程序，软件变更仅能通过授权的 OTA 签名升级完成。

为了保障网联域的安全，基于业务安全、数据安全、系统安全、硬件安全四个维度，搭建网联域的安全保障机制，如图 4-3 所示。



图 4-3 网联域四维安全架构

硬件安全：网联部件采用了基于硬件芯片的安全能力，并辅以安全的软件解决方案提供整体安全性，其中硬件芯片安全是其中解决方案安全体系的核心，包括主板安全、安全启动、端保护和安全存储。TEE 安全 OS 的可信存储支持安全文件系统存储，将密文存储到特定的安全存储分区。

系统安全：系统安全旨在确保网联部件基于硬件芯片的安全能力，为运行在系统上的应用程序提供软硬件结合的基础安全能力，主要从内核漏洞防利用、安全升级、系统隔离、权限管控、安全编译选项、安全审计几个方面进行构筑。其中系统隔离中 TEE 安全 OS 是基于 TrustZone 技术实现的可信执行环境，TrustZone 是硬件级别的安全，兼顾了性能、安全和成本的平衡。TrustZone 技术将处理器的工作状态分为安全世界（Trusted Execution Environment ，TEE，也叫可信执行环境）和非安全世界（Rich Execution Environment，REE，也叫普通执行环境）。通过特殊指令在 CPU 的安全世界和普通世界之间切换来提供硬件隔离。在安全世界下，提供了对硬件资源的保护和隔离，包括内存、外设等，通过执行过程保护、密钥保密性、数据完整性和访问权限实现了端到端的安全，可防止来自非安全世界中的恶意软件攻击。

TEE 安全 OS 的目标是持续构建没有漏洞的可信执行环境，为产品提供更高的安全保证。最后，TEE 安全 OS 通过构筑主动防御能力，识别程序的异常行为，识别 REE 侧系统异常，做到安全响应提前一步，保护敏感信息。

数据安全：数据采用分类分级的方式进行保护，个人敏感和密钥等重要数据应加密存储。除此之外，用户数据应进行完整性保护，在系统启动时进行完整性校验，校验通过后加载使用。网联部件在某些情况下需要恢复出厂设置，进行安全擦除，保护用户设备转售、废弃后的数据安全。

业务安全：针对网联部件的应用程序等业务相关的安全机制。由于网联部件本身是一个独立封闭的 Linux 系统，不对外开放三方应用程序的安装，所有应用程序在出厂时都已确定，故相对安全可控，除此之外仍部署相关的业务安全技术，防止应用漏洞被攻击而导致系统的安全性、稳定性以及用户个人数据的安全风险提升。包括防火墙、业务安全、网络通信安全、IDS 入侵检测和供电安全冗余机制。

4.3.2 建立常态化漏洞防护管理机制

围绕产品全生命周期构筑全供应链的端到端漏洞管理，是降低现网风险、保障业务连续运行的重要手段。漏洞管理应遵循五项基本原则，七个漏洞处置阶段和相应的行为准则。

（1）漏洞管理的原则

漏洞管理包括减少伤害和降低风险、减少和消除漏洞、主动管理、持续优化、开放协同五大原则。

（2）漏洞处置流程

企业应重视产品开发和维护的漏洞管理，并遵循 ISO/IEC 30111、ISO/IEC 29147 等标准建立完整的漏洞处置流程。漏洞处置关键流程包括漏洞处理准备、漏洞感知、漏洞验证、漏洞修补、发布漏洞公告、修补部署、参与漏洞修补后活动等。

（3）漏洞处置过程管理行为准则

为了更好地指导各业务部门开展漏洞管理活动，针对漏洞处置过程的关键活动，提出以下漏洞管理行为准则：

- ✧ 在漏洞处理准备阶段，需建立漏洞处理的组织与流程，明确漏洞处置目标，并与外部建立沟通渠道。
- ✧ 在漏洞感知阶段，应建立广泛的内外部漏洞感知渠道，全面感知与产品相关的漏洞信息，以便及时对漏洞进行验证和修补。
- ✧ 在漏洞验证阶段，验证感知到的漏洞对生命周期内版本的影响情况，在此期间保持与漏洞上报者持续、清晰的沟通。
- ✧ 在漏洞修补阶段，应积极采取行动对漏洞进行修补和消减。同时基于漏洞严重等级，对漏洞进行分级响应，确保所有漏洞都得到合理处置。
- ✧ 在发布漏洞公告阶段，需遵循受影响告知的原则，即漏洞信息仅披露给受影响的利益相关方，同时做好内外部协同。
- ✧ 在修复部署阶段，供应商/主机厂应开展高风险漏洞的主动沟通，积极开展补丁管理建设，鼓励用户主动关注安全更新公告，及时感知并消减。

同时倡议监管机构建立定期审视机制，确保主机厂/用户及时更新最新的漏洞修补补丁。

- ✧ 在参与漏洞修补后活动阶段，产品团队应开展漏洞的根因分析来改进安全活动。另外通过外部沟通、产业链上下游的协同，持续发展和培养全员安全意识与能力。

4.4 端网协同通信机制

4.4.1 端网协同通信能力提升策略

（1）车载终端网络质量探针及监控平台

①场景需求分析

端网协同的基础需要实现网络质量可观测、网络问题可定位。对终端和网络可感可知，以便于根据端网的能力，进行端网协同提升网络服务。智能汽车的网联应用在实际无线网络中会面临诸多问题，尤其是智能网联汽车遇到无网络或网络质量下降的环境时，缺乏高效的定位手段，车主或车企无法判断是车辆本身通信模块故障、运营商网络覆盖问题，还是应用侧服务器问题；车企和运营商之间也缺少统一的网络质量数据视图，导致排障周期长、责任边界模糊，严重影响车主满意度，容易引发客户投诉。

②功能定义

车载终端网络质量探针及监控平台整体上实现端侧数据采集功能并上报到平台，提升网络质量监控水平与平台数据创新应用能力。

网络性能监控 SDK 软探针：车端 SDK 主要用于采集车端的业务可用性、云侧应用触达 SLA、无线网络质量、业务质量等关键信息，在平台进行指标可视、异常分析、统一监测预警，满足车联网网络路测及质量感知需求。

车联网业务监控平台：网络数据实时采集、探针任务管理、业务状态和指标可视化展示、车端业务异常预警、分析等。可以将采集的信息按照平台协议对数据重新封装，报送给平台，以可视化方式展示网络质量等关键数据。平台侧还可以包含功能模块如车辆终端管理、车辆历史和实时轨迹与网络质量监控，通过可视化模块进行功能展示。

实时定位网络异常：通过端侧探针与平台侧数据的联动，可以实时定位网络异常，快速排障提升满意度，为网络优化或车企应用提供数据支撑。

数据开放与协同：在合规前提下，向车企、运营商网络优化部门、第三方服务商开放脱敏后的网络质量数据，支撑应用侧自适应调整（如码率自适应、缓存策略优化）和网络侧精准优化。

③产品部署形态

车载终端探针 SDK：在车载网联部件中内置网络质量探针，负责采集 5G 空口数据、执行业务拨测、采集无线侧关键信息、注册状态、异常日志等。然后可以按照国标协议或者平台协议对数据进行重新封装，并按一定周期或事件触发方式上报给平台。

平台侧汇聚与分析：构建网络质量监控平台，汇聚海量车辆上报数据，结合地理信息、时间信息、业务类型进行多维分析，形成网络质量热力图、异常事件告警、趋势预测等能力。

（2）车联网网络切片

①功能定义与典型场景

基于车联网业务的 QoS 保障，现网默认承载切片传输优先级默认，对时延、速率无优先级保障。对于车企驾驶自动化类业务、影音娱乐类业务，根据不同的业务流进行切片配置，保证不同业务时延带宽要求。

②关键技术要求

切片标识与映射：在车载终端与网络侧之间建立统一的切片标识与业务流映射规则，确保不同业务流能够正确进入对应切片。

QoS 参数配置：针对不同切片配置差异化的 5QI（5G QoS Identifier）、调度优先级、带宽保障、时延预算等参数。

端到端保障：切片能力需要从无线接入网、承载网、核心网到应用侧端到端贯通，避免局部瓶颈。

动态调整：车端网联域根据整车业务需求，向网侧动态发起切片申请、QoS 带宽适配与资源释放请求。同时建立车端业务优先级与网侧空口调度、切片资源的动态映射规则，实现车端内部流量整形与网侧资源调度深度联动，保障高安全、高实时业务的传输确定性，兼顾普通娱乐业务的带宽体验，实现网络资源高效合

理利用。

注：QoS 特性列表参见 3GPP 23.501 第 5.7.3 节。

③部署形态

车企与运营商协商签约：车企需明确业务 QoS 需求，运营商需提供切片能力开放接口，双方协同完成切片配置与验证。

切片配置开通：按照签约信息，为业务流分配 QFI（QoS Flow Identifier）标识关联 5QI。将业务流映射至数据无线承载，配置调度优先级、DRB 映射、RLC 模式、HARQ 策略、DRX 设置等。

动态调整与智能保障：构建业务感知－切片自动配置-QoS 动态保障的智能切片体系，实现网络资源与业务需求的实时匹配。

（3）上行增强

①场景需求分析

传统公众移动通信网络以下行优先为设计基准，下行资源配置远大于上行，设计逻辑面向手机等消费终端的业务模型，用户主要进行视频观看、网页浏览、文件下载等下行密集型操作。然而智能网联汽车的业务模型与此不同，车辆作为数据生产者，车云的上行数据回传速率要求较高。

②技术方案

上行增强的核心是在网络侧针对车载业务的上行密集型特征，通过时频资源配置优化、上行增强技术、边缘分流等手段，提升上行带宽、降低上行时延、保障上行可靠性。

时频资源配置优化，可以针对车载业务上行占比高的特点，调整增加上行时隙比例，在网络规划中调整 TDD 时隙配比，提升上行容量。

上行载波聚合（UL CA），将多个上行载波聚合，多载波捆绑，提升上行峰值速率。

超级上行（SUL），在多个频段上协同调度，通过多频段聚合补充上行资源，提升上行覆盖与容量。

上行 MIMO 增强，通过多天线技术提升上行频谱效率。以上上行增强技术需要车载终端支持 UL CA、SUL、上行 MIMO 等技术。

边缘计算与上行分流：在靠近车辆的区域部署 MEC 节点，配合 DNN 配置或 ULCL 分流方案，将驾驶数据回传、V2X 协同感知等业务在边缘侧完成处理与分流，减少回传至核心网的带宽压力，同时降低时延。

弱网上行增强：在隧道、地下停车场、偏远地区等弱网场景，通过上行覆盖增强技术（如重复传输、低阶调制、上行覆盖补偿）保障基础上行业务可用。

③部署方案

以上上行增强方案在部署时需要注意部署条件和前提。时频资源配置优化，需要在封闭区域场景，避免与周边公网宏站同频相邻。载波聚合、超级上行、上行 MIMO 增强等上行增强技术需要车载终端支持 UL CA、SUL、上行 MIMO 等技术特点。

（4）特定区域专网网络增强

①功能定义与典型场景

典型场景车辆工厂下线：大批量车辆需要同时进行 OTA 更新，传统公网方案带宽不足、易断网。

园区/港口/矿区：在特定区域内部署专网，保障车辆通信质量与数据安全。

4S 店/维修站：车辆维修、召回时需要批量 OTA 更新。

②部署方案

方案一：5G MEC 边缘增强

在重点工厂园区构建公网+专网+边缘协同的 OTA 下载体系。车厂的 OTA 平台与运营商 5G MEC 上部署的 OTA 调度管理平台对接，用于存储需要下发的升级包。车端调整 DNN 配置，或在核心网配置 ULCL 分流策略，实现终端流量就近连接。可以实现 OTA 业务不出核心网安全性更高，在大规模升级的场景下，不消耗互联网带宽资源。在工厂园区等完成 5G MEC 方案试点，验证 OTA 下载效率提升。

方案二：MBS 广播方案

2022 年冻结的 5G R17 标准引入广播服务 MBS，相对于单播可以多终端并发 OTA 只占一份空口。该广播模式对于车辆大规模 OTA 并发场景适用并带来增益，OTA 模式各个车辆需要传输接收的数据包一致，由基站进行对外广播，各支持 MBS 的车载终端只需要占用一份空口资源，就可以在广播信道上接收到相同的数据发送，极大地降低了空口资源的抢占和网络压力。

MBS 基站升级部署：在工厂园区内的基站上升级 MBS 广播服务，可以在现网基站上插入硬件模块并升级软件模块实现广播功能。

车载终端：硬件上需要支持 MBS 的 5G 模组，软件层面中间件和应用层接口接收广播业务。

OTA 应用服务器：和 5GS 对接传输路径不变，由车厂提供内容。软件层对接网络 MBS 接口，按需调用 1 个或多个广播频道，循环下发 OTA 升级包。

（5）人车家互联

面向车联网未来发展，以人为中心，打通家庭空间和车辆空间的全场景感知与服务，营造人、车、家共融的智慧生活空间，使用户可以随时随地获得高品质网联体验。

①场景需求分析

典型场景车载大屏娱乐影音：车载场景下，基于车载大屏、车载游戏、车载影音的娱乐方式，打通家庭娱乐新空间，可使乘客体验在家玩游戏和看大片的体验感。该场景关键要求是大带宽带来沉浸式体验，低时延带来稳定可靠连接。

②技术方案

人车家协同：面向车家互联场景，引入融通数据面实现手机-家-车跨域互联，使车辆直接、安全地接入家庭融合边缘应用，无需经过公共互联网，从而提升连接体验及安全性。

车联差异化保障：根据车辆特征识别车载用户，基于用户等级和业务类型动态分配资源，为高价值车联用户、特种车辆与关键业务提供专属 QoS 加速，提升速率与时延稳定性。

4.4.2 端网协同演进建议

网络侧通信能力协同提升，不是单一技术的堆砌，而是需要端网协同的系统性推进。结合前文分析，提出以下演进建议：

- ✧ **建立端网协同标准**：推动车企、运营商、设备商、信通院等联合制定端网协同接口、数据格式、QoS 映射等标准，打破“各自为战”局面。
- ✧ **能力开放与接口统一**：运营商能力开放接口不统一是当前痛点之一。建议推动统一的能力开放平台，向车企提供网络质量、切片配置、QoS 保

障等标准化 API。通过网络能力开放（NEF）等接口，使车端能够获取网络侧的 QoS 保障、切片资源、边缘计算能力等信息，优化制式选择与业务调度策略。

- ✧ **高安全业务专属保障：**eCall 等高安全业务需要专属切片与端到端 QoS 保障，建议在标准层面明确其网络资源保障要求。
- ✧ **数据驱动网络优化：**依托车载终端网络质量探针及监控平台，构建“车端采集-平台分析-网络优化-车端验证”的数据闭环，实现网络质量的持续优化。

5 总结

本册作为系列研究报告的上篇，围绕车载网联能力的规模化应用，按照“产业研判-挑战识别-需求分析-架构设计”的主线展开研究，在研判产业现状与发展趋势的基础上，识别出整车无线通信规模化应用面临的四重挑战；进而从业务场景出发，梳理整车网联化典型功能及其差异化通信需求，厘清蜂窝、卫星、短距三类通信技术的能力边界与承载关系；最终提出车载网联域概念，给出其通用技术架构，以及融合通信与链路转换、四维安全保障、端网协同通信等关键支撑机制，回答了“为什么要以独立域控制器的形式组织整车通信能力、网联域是什么、如何构建网联域”的问题。

上册回答了整车无线通信能力“应当如何组织”，但“设计能力”如何转化为每一辆交付车辆的“一致性体验”，仍有赖于车端软硬件的持续优化和整车级网联性能测评的客观验证。因此，国家智能网联汽车创新中心将联合信通院共同牵头编制《车载网联能力技术研究报告（下篇）》，系统研究车端通信性能的优化提升策略与整车级网联能力的测试评价方法，保障车载网联域的设计能力稳定转化为量产一致性体验。