

车路协同自动驾驶系统
(车路云一体化系统)
协同发展框架

**Cooperative Architecture Design of
Collaborative Automated Driving
System**

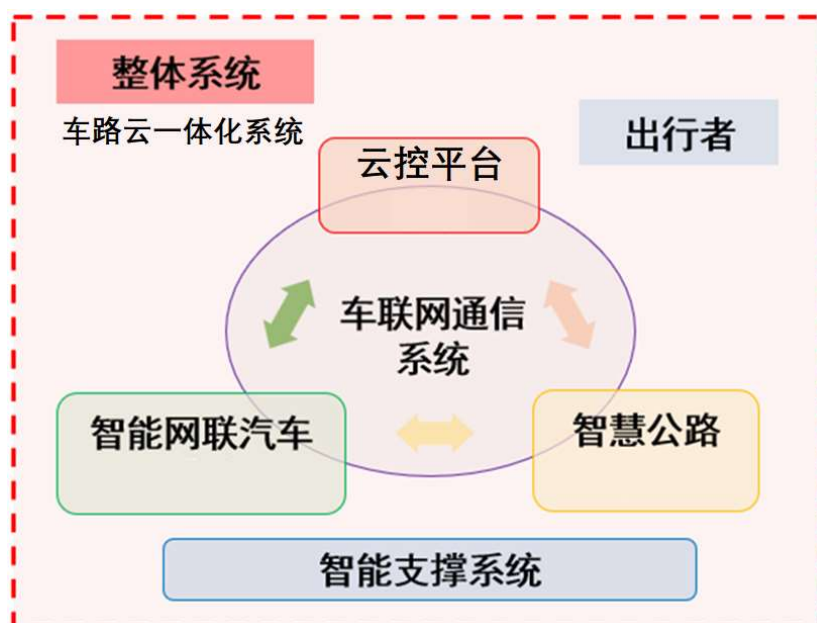
中国公路学会

中国汽车工程学会

中国通信学会

2023年01月

车路云协同自动驾驶是交通、汽车、信息与通信产业的协同发展成果，交通、汽车、信息与通信三大产业交叉融合、互为前提、相互促进、相互支撑，形成以“聪明的车+智慧的路+融合的云”为基础架构，以高精地图、导航定位等产业为支撑，融合信息安全、大数据、人工智能等关键技术，面向交通应用提供安全、高效的出行服务，形成车路云协同自动驾驶系统，是实现高等级自动驾驶的必由之路。



车路云协同自动驾驶系统框架图

车路协同自动驾驶系统（车路云一体化系统） 协同发展框架

发布机构：

中国公路学会
中国汽车工程学会
中国通信学会

编写单位：

1. 中国公路学会自动驾驶工作委员会
2. 中国智能网联汽车产业创新联盟
3. 中国通信学会车联网委员会
4. 东南大学
5. 清华大学
6. 中国信息通信科技集团有限公司
7. 中信科智联科技有限公司
8. 移动通信及车联网国家工程研究中心
9. 国汽（北京）智能网联汽车研究院有限公司
10. 交通运输部公路科学研究院
11. 北京航空航天大学
12. 北京交通大学
13. 北京科技大学
14. 公安部道路交通安全研究中心
15. 长安大学
16. 武汉理工大学
17. 北京邮电大学
18. 大连理工大学
19. 北京工业大学

序 言

车路云协同自动驾驶系统（车路云一体化系统）是交通、汽车和通信三大产业，与互联网、人工智能、云计算、大数据等多领域深度融合的硬核产物，也是最终实现完全自动驾驶的必由之路，更是未来中国国民经济发展的重要发力点和数字经济关键抓手，将为经济发展提供新动能。全力发展车路云协同自动驾驶，将深刻影响中国未来 30 年甚至更长时期的产业格局，全面带动包括交通运输、汽车制造、信息通信等产业集群的发展，引领包括资本、人才、技术、产业链等各项经济要素的快速进步，提升人民群众日常出行的获得感和幸福度，有助于中国引领世界科技的发展，早日实现交通强国、汽车强国、网络强国、数字中国的战略目标。

中国公路学会、中国汽车工程学会、中国通信学会牵头多家单位共同开展了本报告《车路协同自动驾驶系统（车路云一体化系统）协同发展框架》的起草和制定工作。本报告在“车路云一体化”架构下，以提升车路云协同自动驾驶能力为核心，以道路交通数字化、智能网联汽车及车联网通信技术为保障，立足全局性、科学性、系统性和前瞻性，统筹谋划、协同一致，加快形成科学的车路云协同自动驾驶协同研发体系，切实提升自动驾驶应用的安全性、舒适性、经济性和便利性。

除参与本报告发布的相关单位和个人外，在本报告的制定过程中，相关工作也得到了国内外其他多家单位的大力支持，在此向对本报告的完成给予支持的相关单位和个人表示敬意和感谢！衷心感谢为编写本报告付出辛勤劳动的专家和项目组织单位的有关人士。

由于时间和水平所限，本报告还存在缺失和不足，阐述观点未必全面准确，文字论述方面或也有待改进。同时，随着车路云协同自动驾驶相关技术的不断发展和进步，该报告所涉及的相关技术发展目标和途径也将不断进行优化和改进，敬请业界同仁批评指正。

1. 产业背景

当前，新一轮科技革命和产业变革蓬勃发展，汽车、交通、信息与通信等领域的技术加速融合，推动形成车路云协同自动驾驶系统。车路云协同自动驾驶系统是基于路侧感知、边缘计算、云端信息融合以及 C-V2X 和 4G/5G 通信技术，实现“车-路-云”之间的全方位协同配合（如协同感知、协同决策规划、协同控制等），从而满足不同等级自动驾驶车辆行驶安全、高效、节能与舒适需求的车路云一体化系统，以达到自动驾驶车辆性能和交通全局最优化的发展目标。

在各个国家和地区建设智慧交通、智慧城市的过程中，交通、汽车、信息与通信三大产业历史性地交叉融合、相互促进、协同发展，已经成为全球产业竞争的战略制高点。同时，通过新技术赋能，有效解决交通事故、交通拥堵、环境污染等问题，具备显著的社会价值。

1.1 国家发布系列政策和规划，为规范车路云协同自动驾驶产业的发展提出了具体要求

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》提出，要积极稳妥发展工业互联网和车联网。2018 年交通运输部下发《交通运输部办公厅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》，其中首次提出要进行车路云协同自动驾驶的试点工作，坚定地走车路云协同的技术路径。2019 年发布的《交通强国建设纲要》中明确提出到 2035 年，基本建成交通强国，加强智能网联汽车（智能汽车、自动驾驶、车路云协同）研发，形成自主可控完整的产业链。2020 年由国家发改委等 11 个部委联合发布《智能汽车创新发展战略》，提出 2035 到 2050 年，安全、高效、绿色、文明的智能汽车强国愿景逐步实现，智能汽车充分满足人民日益增长的美好生活需要。2020 年国务院办公厅印发《新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）》，提出促进新能源汽车与能源、交通、信息通信深度融合路径。2021 年中共中央、国务院印发《国家综合立体交通网规划纲要》，提出到 2035 年智能网联汽车（智能汽车、自动驾驶、车路云协同）技术达到世界先进水平。2022 年国务院印发实施《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》，明确提出推进交通基础设施数字化、网联化、智能化，推动传统基础设施数字化升级改造，推动发展自动驾驶等技术

发展与试点应用。

1.2 智能化、网联化是交通、汽车产业的重要发展方向，通过车路云一体化逐步实现自动驾驶成为行业共识

随着智能网联汽车的快速发展，融合路径成为未来发展方向。近年来，随着产业的发展，单车智能的局限性日益突出，车路云协同自动驾驶通过信息交互协同、协同感知与协同决策控制，可以从根本上解决单车智能自动驾驶遇到的技术瓶颈，保证自动驾驶安全。同时，车路云协同自动驾驶系统的发展与推广，还能融合各领域先进技术，从而有效降低对单车智能设备的需求和整车成本，带动信息通信、智慧道路、信息安全等协同发展。当前，全球持续加强智能化网联化融合路径探索，逐步形成发展共识。中国汽车工程学会牵头的《节能与新能源汽车技术路线图》提出车路云一体化融合的发展路径，以及网联化分级方法，持续推动智能化网联化深度融合探索。为支持车路云协同路径落地，中国汽车工程学会还制定了《智能网联汽车云控系统系列标准》，旨在为行业提供标准化指引。

中国不断加大智能交通建设力度，促进道路交通自动驾驶技术发展和应用，加强自动驾驶技术研发，提升道路基础设施智能化水平，推动自动驾驶技术试点与示范作用以及健全适应自动驾驶的支撑体系。中国目前已拥有超过 16 万公里的高速公路、超过 12 万公里的一级公路和超过 42 万公里的二级公路。智慧公路的建设主要基于问题导向和需求导向，着力发展协同感知技术、协同决策技术和协同控制技术，通过优先在关键路段安装具有网联通信功能的路侧设备，并与交通监控设备进行连通，提升公路信息化和智能化水平。针对不同发展阶段关键场景下对自动驾驶功能的需求程度，中国公路学会制定了《车路协同自动驾驶系统分级标准》。针对不同等级智能网联道路的自动驾驶功能实现程度，中国公路学会还制定了《车路协同自动驾驶智能网联道路分级标准》，促进车路云协同自动驾驶标准化发展。

1.3 车联网通信已经具备充分赋能智慧交通、智能网联汽车的技术能力

目前，中国已经建成全球规模最大、性能领先的 4G 和 5G 蜂窝移动通信网络。中国信科集团（原大唐电信集团和烽火科技集团合并）等中国企业提出蜂窝车联网 C-V2X（包括 LTE-V2X 及演进的 NR-V2X）系统架构和技术路线，在国

际标准化组织 3GPP 主导标准研制，由于其技术优势和可演进性，得到产业界认可，从而超越竞争性技术，成为全球事实上唯一的车联网通信标准。基于 C-V2X 技术，国内已形成包括车联网通信芯片、模组、终端设备、路侧设备、测试认证、安全服务等完整的产业生态。

中国正在发展出一套领先的智能网联汽车和智能交通发展模式——基于 C-V2X 的“聪明的车+智慧的路+融合的云”的车路云协同发展模式，即车路云协同自动驾驶系统。它将支撑中国的交通产业、汽车产业和智慧城市变革，并将培育智能化道路基础设施建设与运营商、出行服务提供商等新业态和新商业模式。中国建设车路云协同自动驾驶系统迎来关键的战略机遇期。

2. 战略意义

发展车路云协同自动驾驶，有利于融合智能交通网络、车用无线通信网络、智能网联汽车、云控平台、高精地图、高精度时空基准服务等共性交叉技术；有利于发展复杂环境感知、车路交互、人机交互、智能决策控制、网络安全等基础前瞻技术的研发。

发展车路云协同自动驾驶，有利于提升产业基础能力，促进汽车、交通、信息与通信等多领域之间相互赋能、协同发展；有利于增强产业发展动力，激发市场活力，带动基础设施改造升级，形成互融共生、合作共赢的产业发展新格局。

发展车路云协同自动驾驶，有利于促进能源消费结构优化，提高交通效率，促进节能减排；有利于整合优势资源，拉动经济发展，提高交通体系和城市运行智能化水平；有利于减少事故损害、保障生命安全，提升社会治理水平。

发展车路云协同自动驾驶，有利于促进交通、汽车、信息与通信产业高质量发展，有利于加快制造强国、科技强国、网络强国、交通强国、数字中国、智慧社会建设，增强新时代国家综合实力。

3. 目标愿景

依托蜂窝车联网 C-V2X 技术，形成以“聪明的车+智慧的路+融合的云”为基础架构，以高精地图、导航定位等产业为支撑，融合信息安全、大数据、人工

智能、北斗定位等关键技术，面向交通参与者提供安全、高效、便捷的出行服务，形成车路云协同自动驾驶系统，为中国的自动驾驶产业发展提供安全、高效、高可靠度、高韧性与低成本的解决方案，大幅提升交通效率、降低交通事故率、提升人民群众日常出行的获得感和幸福度。

在**车路云协同自动驾驶阶段 I**，中国标准车路云协同自动驾驶的技术创新、产业生态、基础设施、法规标准、产品监管和网络安全体系基本形成。至 2025 年，部分自动驾驶和有条件自动驾驶的智能网联汽车占当年汽车市场销量超过 50%，高度自动驾驶的智能网联汽车开始进入市场，C-V2X 终端新车装配率达 50%，具备网联协同决策功能的汽车进入市场；在全国多个主要城市和高速公路开展架构统一、标准一致、逻辑协同的云控平台建设，单一城市可支持十万量级规模智能网联汽车接入，覆盖城市面积范围超过 20%，支撑多种场景的智能交通和智慧城市管理应用；在主要城市和高速公路的重点路段基本完成 C-V2X 网联和基本感知定位基础设施建设，智慧公路设计、招投标实施等工作逐步开展；智能交通系统和相关设施建设取得积极进展，基本建成智慧公路网，覆盖“三重一突出”，即重点路段（拥堵或事故易发）、重要通道（结合主骨架改造）、重大构造物（重大桥隧边坡）、突出问题（重大事件或事故应急响应、准全天候安全保障、降低养护成本），高速公路和具备条件的国省干线基本实现智慧化。交通基础设施需要为单个自动驾驶车辆提供周围车辆和环境的实时动态信息，从而提升通行能力和道路安全性。

在**车路云协同自动驾驶阶段 II**，中国标准车路云协同自动驾驶的技术创新、产业生态、基础设施、法规标准、产品监管和网络安全体系逐渐完善。至 2035 年，高度自动驾驶和完全自动驾驶的智能网联汽车具备与其他交通参与者间的网联协同决策与控制能力，各类高度自动驾驶汽车取得广泛应用；云控平台在全国大部分城市和高速公路开展建设，单一城市可支持百万量级规模智能网联汽车接入，覆盖城市面积范围超过 80%，提供协同感知和协同决策服务；在全国的大部分城市、高速公路和主要国省干线基本完成 C-V2X 网联、基本感知定位、云控协同决策基础设施；全面建成智慧化路网，实现“两全”（即全面普及“基本智慧”能力，重点部分全面升级“中等智慧”能力），部分智慧高速公路达到国际一流水平，从而助力实现车路云协同感知和决策。

在车路云协同自动驾驶阶段 III，中国标准车路云协同自动驾驶的技术创新、产业生态、基础设施、法规标准、产品监管和网络安全体系全面建成。至 2050 年，智能网联汽车具备完全自动驾驶能力；建成覆盖全国范围公路的 C-V2X 网联、感知定位、云控平台等基础设施，提供完整的协同感知、协同决策和协同控制服务；全面建成高水平的智慧公路网，全路网具备“高等智慧”能力，同时部分智慧高速公路达到国际领先水平，实现全场景全天候开放道路的无人驾驶。

4. 公路、汽车、车联网通信产业与技术发展现状分析

鉴于智能网联汽车对提升行车安全、改善交通环境、促进经济发展与社会进步等方面的巨大作用，世界各国和主要整车制造企业均将其作为汽车产业发展的战略方向，并通过发布系列战略规划营造良好发展环境，引导产业发展。

4.1 国外车路协同自动驾驶的发展现状及趋势

(1) 美国车路协同自动驾驶的发展现状

美国高度重视自动驾驶技术的产业化，为保持自动驾驶的全球领先地位，2014 年起，美国交通部（DOT）连续发布智能交通系统战略规划（2010-2014）、（2015-2019）、（2020-2025）等顶层规划，针对交通系统在安全性、机动性、环境友好性等方面存在的问题，提出发展目标和方向。2016 年，美国交通部发布《联邦自动驾驶汽车政策指南》（自动驾驶系统 1.0），为生产、设计、供应、测试、销售、运营和应用智能网联汽车提供具备指导意义的前期规章制度框架。2017-2020 年，美国交通部相继发布了《自动驾驶系统 2.0：安全展望》、《自动驾驶汽车 3.0；准备迎接未来交通》、《自动驾驶汽车 4.0；确保美国自动驾驶汽车技术的领先地位》，逐步放宽对智能网联汽车创新和发展的限制，持续不断优化政策产业环境、推动建立市场规范，加强不同部门之间的协作统一，以保持美国在该领域的技术和商业化领先优势。

同时，美国也很重视发展车路云协同自动驾驶，提出了网联自动驾驶（CAV）的概念。美国联邦公路管理局（FHWA）开发了 CARMA 平台和 CARMA 云，以支持协同驾驶自动化（CDA）的研究和开发；美国联邦通信委员会（FCC）为 C-V2X 分配了 5.905GHz~5.925GHz 专用频谱，并把 5.895GHz~5.905GHz 频段的

10MHz 从专用短距离通信 DSRC 转为 C-V2X。在车辆与智能交通系统深度融合方面，由 DOT 主导的美国国家智能运输系统（ITS）参考架构 ARCIT 已经演进到 9.0 版本，考虑了车路云协同自动驾驶。

（2）欧洲车路协同自动驾驶的发展现状

欧洲在发展单车智能自动驾驶的同时，高度重视单车智能与车路云协同自动驾驶协同发展。与美国类似，欧洲智能网联汽车发展起源于 ITS，并逐步通过车辆的智能化和网联化，实现车辆与交通系统的协同发展。欧洲 ITS 开发和应用是与欧盟的交通运输一体化建设进程紧密联系的，在 Horizon2020 等计划的资金支持下，通过 AdaptIVe、C-ITS、PEGASUS、SCOOP、INFRAMIX 等项目的实践，在智能网联汽车、ITS、基础设施建设方面积累了丰富经验。

2015 年，欧洲道路交通研究咨询委员会（ERTRAC）发布智能网联汽车技术路线图，以加强顶层规划，促进各国协同推进。随着技术产业的不断发展，ERTRAC 多次更新技术路线图。2019 年 3 月，ERTRAC 更新发布了“Connected Automated Driving Roadmap”，强调自动驾驶的协同互联，丰富了网联式自动驾驶的内容，同时明确提出了基于数字化基础设施支撑的网联式协同自动驾驶（Infrastructure Support levels for Automated Driving, ISAD）架构。同时，欧盟战略交通研究与创新议程（Strategic Transport Research and Innovation Agenda, STRIA）围绕智能交通、出行服务等领域，也发布了相关路线图。

此外，欧盟委员会于 2018 年发布《通往自动化出行之路：欧盟未来出行战略》，明确提出到 2020 年在高速公路上实现无人驾驶，在城市中心区域实现低速无人驾驶；到 2030 年普及高度自动驾驶。

（3）日本车路协同自动驾驶的发展现状

日本车路云协同基础设施优势较强。日本通过 ITS 发展协同推动智能网联汽车产业进步，并将 ITS 和智能网联汽车纳入国家重点发展战略，由警察厅、总务省、经济产业省、国土交通省共同负责推进工作，以 2020 年东京奥运会为时间节点开展自动驾驶技术示范验证。

2016 年，日本第五期（2016-2020 年）科学技术基本计划中提出“Society 5.0”（5.0 社会），将人工智能、大数据、物联网等革新技术与现实社会相连，作为实现 Society 5.0 的技术平台。2016-2020 年期间的投资战略重点围绕 Society 5.0 的内容及目标展开，提出要改变日本的生活生产，构筑下一代机动性系统，将自

自动驾驶在生产生活中的应用服务列为该战略实施的重要考核指标。2014 年，日本内阁府制定《战略性创新创造项目自动驾驶系统研究开发计划》（SIP_adus），针对四个发展方向设立了 32 个研究课题，旨在推进政府和民间协作所必要的基础技术以及协同式系统相关领域的开发与商业化，并牵头成立了自动驾驶基础地图平台公司。2019 年，SIP_adus 进入 2.0 阶段，已经取得多项领先成果。此外，为推动战略部署，完成规划目标，日本积极制定并发布自动驾驶路线冬、整備大纲、安全技术指南等内容，不断加大落实力度。2016 年，日本政府制定《官民 ITS 构想路线图》，制定发展目标、自动驾驶系统场景以及商用化时间表，并于 2017-2019 年期间持续修订年度动态，优化、调整发展过程中所面临的时间表和投入方向。

日本在车路协同方面，2007 年就完成了 Smartway 东京地区部分公路的试验，2009 年完成大规模测试和推广应用。2011 年，基于 Smartway 项目发展的 ITS SPOT System 在全日本高速公路上开始安装使用，已经在全国安装了 1600 个 ITS SPOT System 路侧设备，城际高速公路安装间隔为 10 至 15 公里，城市高速公路安装间隔约为 4 公里。ITS SPOT System 为智能车路提供了自适应巡航、安全行驶、盲区检测、道路汇集援助、电子付费等服务，这些道路基础设施为发展车路云协同自动驾驶提供了良好基础。

通过对美国、欧洲、日本自动驾驶发展路线的分析，从技术和成本在车侧和路侧的分配出发，未来自动驾驶的发展演化出单车智能和车路云协同两条技术路线。单车智能基于各种感知信息，通过人工智能技术进行决策和车辆控制，在一定程度上单个车辆即可实现自动驾驶。但随着单个车辆自动驾驶技术进步空间的饱和、技术提升的瓶颈以及交通环境复杂性的增加，自动驾驶越来越依靠智能道路设施的进步。智能道路基础设施和智能网联汽车之间的交互与耦合，将逐渐对自动驾驶起到辅助甚至主导作用。在这样的发展背景下，车路协同自动驾驶等相关创新技术的进步，能够加速自动驾驶商业化的实现，并促进通信、互联网、汽车电子、路侧设施等领域的加快发展，推动 IT、智能制造与交通、汽车产业走向深度融合。车路云协同自动驾驶产业创新体系一旦形成，其产业链潜力巨大，将成为新一轮科技创新和产业竞争的制高点。

4.2 中国技术标准体系基本完善，有关法规体系不断出台

在国家制造强国建设领导小组车联网产业发展专委会的指导下，工信部、公安部、交通运输部等多部委联合组织制定并发布《国家车联网产业标准体系建设指南》总体要求及各分册，汽车、交通、通信和智能运输系统四个标准化技术委员会积极落实 C-V2X 标准合作的框架协议，密切配合开展车联网标准体系建设，并积极促进 C-V2X 技术标准在汽车、交通、公安等跨行业领域的应用推广和各领域重要标准制订工作。目前中国已完成 LTE-V2X 相关的空口、网络层、消息层、安全机制和测试标准等核心通信技术标准制定，形成较为完善的 LTE-V2X 技术标准体系。围绕《国家车联网产业标准体系建设指南（智能网联汽车）》，目前由全国汽车标准化委员会牵头的智能网联汽车标准体系建设第一阶段目标任务已圆满完成，有效满足了产业发展和管理需求，已经修订形成了《智能网联汽车标准体系建设指南（2022 年版）》，并在国际标准法规协调中做出了积极贡献。中国汽车工程学会从车路云协同自动驾驶理念出发，发布《智能网联汽车团体标准体系建设指南》，建立适应中国国情并与国家标准、行业标准协调互补的智能网联汽车团体标准体系。中国公路学会于 2021 年发布了《车路协同自动驾驶标准体系》，并梳理了车路云协同自动驾驶行业内相关标准的研究情况，包括智能路侧系统标准、智能车载系统标准、智能通信系统标准、支撑系统标准、实施及应用标准规范。2022 年，北京市高级别自动驾驶示范区正式发布示范区标准体系及车路云协同基础设施、智能车辆自动驾驶功能测试系列标准，将标准体系定义为智能网联汽车技术、车路云协同基础设施、云控基础平台、专用通信网络、基础地图、安全管理等 6 个部分，构建示范区相关标准共计 71 项。

中国持续推动智能网联汽车政策法规体系的完善。2021 年 4 月，《道路交通安全法（修订建议稿）》公开征求意见，探索明确智能网联汽车测试和上路通行的合法性。此外《智能网联汽车道路测试与示范应用管理规范（试行）》《关于开展智能网联汽车准入和上路通行试点工作的通知》（征求意见稿）、《关于试行汽车安全沙盒监管制度的通告》、《自动驾驶汽车运输安全服务指南（试行）》（征求意见稿）、《汽车数据安全若干规定（试行）》等政策法规，为智能网联汽车测试示范、准入、准营、使用监管、数据安全等提供参考。地方上也加强了政策法规创新力度，多个地区开展地方立法与政策先行区探索，见表 1。

表 1 车路云协同自动驾驶地方立法与政策先行区

地方	政策法规名称
深圳	《深圳经济特区智能网联汽车管理条例》
北京	《北京市智能网联汽车政策先行区总体实施方案》
上海	《上海市浦东新区促进智能网联汽车创新应用规定（草案）》
无锡	《无锡市车联网发展促进条例（草案）》
重庆	《重庆市智能网联汽车政策先行区总体实施方案》
武汉	《武汉市智能网联汽车道路测试和示范应用管理实施细则（试行）》
长沙	《长沙市智能网联汽车道路测试管理实施细则（试行）》
杭州	《杭州市智能网联车辆道路测试管理实施细则（试行）》

4.3 中国技术上整体处于国际领先

（1）道路信息化、智能化、自动化技术国际领先

以信息化、智能化、自动化为代表的中国智慧高速在云控平台、数据处理设备和路侧设施等方面成果显著。其中中国企业设计的云控平台可为车路云协同场景提供全局掌控能力，计算系统可满足车路云协同场景的数据处理需求，路侧感知设备可提供全方位的感知需要，并借助先进的通信系统将道路实时运行状况反馈给车辆，实现交通网、信息网、算力网三网合一。浙江 5G 车联网应用示范区充分利用 C-V2X 车路云协同技术、智能路侧检测技术、5G 技术和 MEC 边缘计算能力等，重点实施危险场景预警、连续信号灯下的绿波通行、路侧智能感知、高精度地图下载、5G 视频直播和基于 5G 的车辆远程控制六大场景应用。沪宁智慧高速示范工程以解决在役高速公路行业痛点为出发点，以全景感知网联化、安全保障预控化、出行服务定制化、运营管理数智化为目标，大力发展高精地图、5G、车路云协同等前沿技术，以数字为驱动，以智慧为手段，推动管理模式变革，全面提升高速公路运营管理数智化水平，保障司乘人员安全、高效通行。

（2）智能网联汽车产业发展加速，处于全球“并跑”水平

在各方共同努力下，中国智能网联汽车产业发展取得积极成效，基本与全球先进水平处于“并跑”阶段。关键零部件取得突破，车规级激光雷达产品具备国际竞争力，实现前装量产。计算芯片满足 L2-L4 级自动驾驶算力要求，在部分领

域实现国产化应用突破；道路测试与示范应用广泛开展，全国累计发放道路测试和示范应用牌照超过 1600 张，开放测试道路超过 8500 公里，有效支撑了技术研发与商业部署的发展。C-V2X 应用全球领先，主流车企纷纷发布搭载 5G 和 LTE-V2X 技术的量产车型，量产进程全球领先，车联网产业化加速来临。产业化进程提速，2022 年 L2 级智能网联汽车乘用车渗透率达到 30%。高等级自动驾驶在 Robotaxi、园区、港口、矿山、停车场、环卫清扫等特定场景实现小规模应用。

(3) C-V2X 技术成为全球事实车联网通信标准

在技术标准上，全球主要有两大车联网通信标准。一是中国信科集团等中国企业主导的蜂窝车联网（C-V2X）国际标准，既支持长距离的蜂窝通信实现车云信息服务（V2N）和远程信息服务（Telematics），也支持短距离直通通信，实现车与车（V2V）、车与路（V2I）、车与人（弱势交通者）（V2P）的近程低时延高可靠通信及协同感知等。二是专用短距离通信 DSRC（IEEE 802.11P），由美国主导。

相比 DSRC，C-V2X 既能提供低时延、高可靠短距通信，又能提供大范围、大带宽通信，具有清晰明确的演进路线。2018 年，工信部率先向全球宣布将 5.9GHz 频段的 20MHz 带宽分配给 LTE-V2X 使用。2020 年，欧盟委员会正式由原来仅支持 DSRC 转变为技术中立。2020 年，美国联邦通信委员会（FCC）决定将原分配给 DSRC 的频段划拨给 Wi-Fi 和 C-V2X 使用，其中 30MHz 带宽分配给 C-V2X，意味着美国正式放弃 DSRC 并转向 C-V2X。2021 年，美国汽车工程师协会（SAE）终止了 DSRC 技术委员会的工作，全力推动 C-V2X 技术委员会工作。C-V2X 已得到中、美、欧等全球主要汽车与交通大国认可，成为全球事实车联网通信标准。

4.4 中国车路云协同示范项目不断深化，产业生态逐渐完善

国内车路云协同道路基础设施建设有序推进，全国已建设 17 家国家级测试示范区，4 个国家级车联网先导区，16 个“双智”试点城市。在产业界的共同努力下，C-V2X 车联网产业化进程加快，规模化试验活动不断落地。共有近 50 个省和地级市发布了道路测试实施细则，完成车联网智能化道路改造超过 3500 公里。多个城市和多条高速公路完成了云控平台建设与规模 LTE-V2X 路侧通信单元部署。落地项目如表 2 所示。与此同时，中国举办了“三跨”“四跨”和“新

四跨” “2021 C-V2X 四跨（沪苏锡）” “2022 年‘智行杯’ C-V2X 应用示范” 等大型车联网互联互通测试活动，证明中国已经具备实现 C-V2X 相关技术商业化基础，车联网产业落地进程不断提速。

表 2 车路云协同自动驾驶应用落地项目

落地类别	项目名称
示范公路	冬奥会延崇高速、京雄高速、山东京台高速、沪宁高速、沿江高速、济青高速、鄂州花湖机场高速、杭绍甬高速和国家智能网联汽车测试区智慧高速等。
试验示范区	17 家国家级测试示范区。
城市快速路智慧升级改造	深圳桂庙路和侨香路快速化改造、绍兴智慧快速路、苏州工业园区智能网联示范区公共测试道路等。
基于 5G 技术的“车路云协同”的公交专线智能交通体系	厦门集美 BRT 智能辅助驾驶试验段、郑州智慧岛公交自动驾驶专线、上海无人驾驶 APM（乘客自动运输系统）浦江线、深圳福田保税区 1.2km “阿尔法巴” 驾驶辅助公交环线、天津滨海新区中新天津生态城 2.5km 自动驾驶公交专线、济南“特定区域低速自动驾驶公交” 4.8km 测试线、长沙国家智能网联汽车 5G 公交自动驾驶测试区等。
其他应用	2017 年戴姆勒和博世联手打造的“自动代客泊车服务”、上海的“公共停车信息平台”等。长安自动驾驶车穿越秦岭终南山隧道、景驰自动驾驶车穿越广州珠江隧道、延崇高速公路隧道等。上汽“全球首次 5G+AI 智能化港区作业”、浙江首个快递行业无人驾驶应用研究载体——“德邦快递无人驾驶货运车实验基地”。

中国企业围绕 C-V2X 已形成包括通信芯片、通信模组、终端设备、测试认证、安全服务、应用运营及整车制造等完整的车联网产业生态。车规级 C-V2X 芯片成功研制后，通信模组企业不断发布基于上述芯片的多种通信模组；终端企业积极推广部署车载终端和路侧设备产品；多家企业推动车联网安全体系确立；产业相关企业积极打造测试验证体系，为产业发展提供可靠保证。

从目前具体技术的应用现状来看，C-V2X 车联网正在优先从提升驾驶安全

和交通效率层面考虑，助力智能网联辅助驾驶（L1/L2）和特定场景的中低速无人驾驶（L4）应用落地。在开放道路场景下，如北京、无锡、长沙等城市路口和危险路段（匝道、隧道等）已经实现 C-V2X 应用落地，实现驾驶员的安全提醒及交通信号灯信息同步等，提升交通通行效率，降低事故率。在特定场景和限定区域如工业园区、厂区、港口、矿山、机场等场景内，C-V2X 正在助力中低速智能网联无人驾驶（L4）的实现。

5. 协同发展路线

车路云协同自动驾驶系统通过先进的车、路感知设备以及 I2X 和 V2X 的信息交互对道路交通环境进行实时高精度感知，按照约定的通信协议和数据交互标准（网络互联化），并涵盖不同程度的车辆自动化驾驶等级（车辆自动化），以及考虑车辆与道路、云控平台供需间不同程度的分配协同优化（系统集成化），从车辆自动化、网络互联化和系统集成化三个维度构建车路云协同自动驾驶系统，进而高效协同地执行车辆和道路的感知、预测、决策和控制功能，最终形成一个能够整合、协调、控制、管理和优化所有车辆、信息服务、设施设备、智能化交通管理的以车路云协同自动驾驶为核心的新一代智能交通系统。

如图 1 所示，广义上的车路云协同自动驾驶系统涵盖和整合了智能网联汽车、智慧公路、云控平台、车联网通信系统和智能支撑系统等。

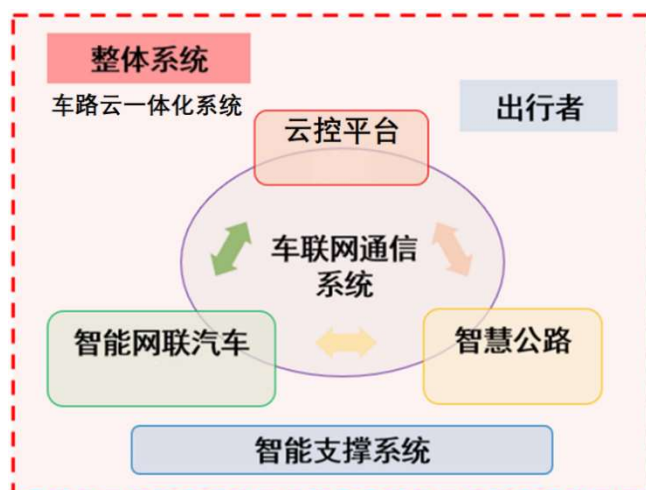


图 1 车路云协同自动驾驶系统框架图

车路云协同自动驾驶是一个由低至高的发展历程。车路云协同自动驾驶系统包括协同感知、协同决策、协同控制，如图 2，按不同等级逐个实现突破，最终

实现一体化。该系统主要包括以下几个车路云协同发展等级：（1）等级 I，以协同感知为主，车路云协同感知，车车、车路、车云、路云等进行信息交互和共享，实现车辆与道路、云控平台的信息交互和共享；（2）等级 II，以协同决策为主，在等级 I 基础上，又可协同完成数据融合、状态预测和行为决策；（3）等级 III，以协同控制为主，在等级 I 和 II 基础上，协同完成感知、预测、决策和协同控制功能，车辆和道路实现全面协同，支持全天候、全路网、全光照的自动驾驶。且感知、决策、控制能力随等级的提升而逐步上升。具体要求见表 3。

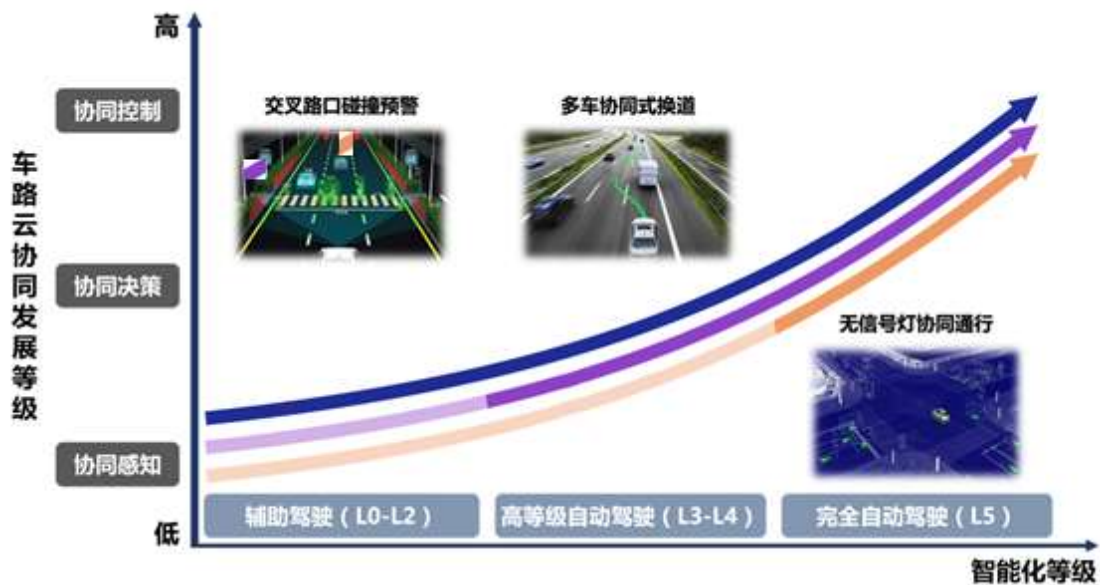


图 2 车路云协同发展路线表

3 车路云协同发展等级划分

车路云协同等级	车辆要求	道路要求	信息通信要求	典型应用场景
等级 I: 协同感知、辅助驾驶	具有 EE 架构（域集中阶段），具备环境智能感知能力和接口、人机交互功能和信息安全防护功能。	更新道路探测传感器，支持多维度信息采集，安装智能路侧设备，完成红绿灯信号机网联化改造，支持基础预测	车路、车车等短距离直通，支持行驶状态信息的近程协同；车云、路云等远程信息服务。	预警类辅助驾驶应用

等级 II: 协同感知、协同决策	具有 EEI 架构（中央计算阶段），具备环境智能感知、智能决策、底盘执行能力，具备人机交互和信息安全防护功能。	升级道路探测传感器，支持高精度车辆运动检测传感功能；升级智能路侧设备，完成红绿灯信号机网联化改造，支持多模式驾驶	车路、车车等短距离直通，支持增强驾驶安全信息的近程协同；车云、路云等远程信息服务，支持自动驾驶脱困等。	常规道路控制类辅助驾驶应用、特定道路与封闭区域的无人驾驶
等级 III: 协同感知、协同决策、协同控制	具有 EEI 架构（车路云一体化阶段）和线控底盘，具备环境智能感知、智能决策，具备人机交互和信息安全防护功能。	升级道路探测传感器和智能路侧设备，优化信号灯设备，支持车辆全面接管，全面建成高水平的智慧公路网	车路、车车等短距离直通增强近程信息交互，车云、路云等远程通信能力增强，车路云协同自动驾驶感知决策控制等	多车协同换道、信控优化、无信号灯协同通行和特殊事件下的紧急救援等

(1) 车路云协同自动驾驶等级 I

全方位实现车车、车路、车云、路云等动态实时信息交互和共享，并对智能设备获取的部分动态实时数据进行初步处理与融合，辅助车辆实现智能驾驶，其主要体现在系统参与者对环境信息的采集与融合层面。

在该等级，车辆需要具备域集中电子电气架构，支持网联信息参与环境感知，实现对车辆感知能力的提升，同时在人机交互、信息安全等方面提供保障。该等级主要包括的技术：EE 架构技术（域集中阶段）、车辆智能感知技术、人机交互技术、信息安全技术。基于关键技术，该等级主要在通信芯片模组、智能车载终端、智能路侧设备等产业链有所突破和布局，参与方包括芯片厂商、设备厂商、电信运营商、行业组织等。

在该等级，道路基础设施具备微观传感和基础预测功能，可以支持低空间和时间解析度的交通信息服务、交通管理和驾驶辅助。具体来说，道路基础设施系统通过更新道路探测传感器支持多维度信息采集，将道路基础设施的静态信息数

字化并进行储存,道路基础设施感知设备能实时获取连续空间的车辆和环境等动态数据。通过安装智能路侧设备,自动处理非结构化数据,并结合历史数据实现车辆行驶的短时、微观预测。部分数据可以在车辆与车辆之间、车辆与道路基础设施之间信息共享,基本建成智慧公路网。

在该等级,需要 LTE-V2X PC5、4G/5G 蜂窝 (Uu) 通信技术支持,实现车车、车路间的信息共享能力,向驾驶员提供网联信息,实现开放道路的智能网联辅助驾驶;云控平台可以覆盖全国多个重点城市和高速公路,单一城市可同时支持百万量级规模智能网联汽车接入,支撑多种场景的智能交通和智慧城市管理应用。

基于上述信息通信技术,形成 C-V2X 产品体系,推动 C-V2X 网联能力对车路信息的初步协同感知。通信模组初步上车实现 C-V2X 前装,辅助车辆 ADAS 功能协同感知。车载终端 C-V2X OBU 得到应用,并逐渐与其他技术融合,初步在“两客一危”、政府公务车辆、社会营运车辆等上车应用。路侧设备 RSU 在智能网联汽车测试示范区、城市示范道路及高速公路重点路段展开初步部署,形成一定覆盖。

1) 典型场景

在辅助驾驶状态下,通过 C-V2X 和 4G/5G 通信技术实现协同感知,包括交叉路口碰撞预警、前向碰撞预警、闯红灯预警、限速提醒、道路危险事件、车道偏离预警、安全车距预警等预警类辅助驾驶应用以及网联式自动紧急制动、绿波车速通行、公交优先、预测性巡航等控制类辅助驾驶应用,提升道路安全和交通效率。

2) 部分典型场景解读

限速提醒:利用通信技术、可变情报板等发布智能交通控制中心根据交通、天气及指挥调度部门的指令制定的道路限速信息,及时有效的向驾驶人员传递道路安全限速信息。

闯红灯预警:通过通信技术获取交叉口信号灯状态,根据车辆当前速度计算闯红灯概率并在事件发生前发出警报。

绿波车速通行:通过协同感知技术和智能决策技术,基于道路交通流量和主路交叉口分布分析绿波车速和主路信号灯相位方案。

公交优先：利用车路云协同和智能驾驶技术实现公交优先，通过公交车主动向交通灯发出优先通行请求，实现自适应的路权分配，缓解高峰出行拥堵，实现低碳出行。

(2) 车路云协同自动驾驶等级 II

除借助车联网通信技术进行实时信息交互和共享外，自动驾驶感知和决策的实现不仅仅依赖于雷达、摄像头等先进的车载设备，而且越来越依靠于智能道路设施及车车协同进行全时空动态交通环境信息的感知，并在复杂交通环境下完成对多辆智能网联汽车以及后续的数据融合、状态预测和行为决策等功能，其主要体现在系统参与者对环境信息的全面采集以及对驾驶行为的优化决策层面。

在该等级，车辆需要具备中央集中电子电气架构，支持网联信息参与环境感知和协同决策，具备高可靠性线控执行系统，实现对车辆感知能力和决策能力的提升，同时在人机交互、信息安全等方面提供保障。该等级主要包括的技术：EEI 架构技术（中央计算阶段）、车辆智能感知技术、智能决策技术、线控执行技术、人机交互技术、信息安全技术。基于关键技术，该等级主要在保持通信芯片模组、智能车载终端、智能路侧设备等产业稳步发展的基础上，在整车制造、云端控制、边缘计算等产业链有所突破和布局，参与方包括芯片厂商、设备厂商、电信运营商、主机厂、行业组织等。

在该等级，道路基础设施具备复杂传感和深度预测功能，可以支持较高空间和时间解析度的自动化驾驶辅助和交通管理。具体来说，除了等级 I 中提供的功能外，智能道路通过加装毫米波雷达、激光雷达、雷视一体机等设备升级道路探测传感器，实现道路基础设施等静态数据在时空上的连续监测和更新，具备更高精度的车辆运动检测传感功能。通过升级智能路侧设备，数据之间能够高度融合，道路系统能够根据感知信息进行长期预测和深度分析，优化车辆驾驶决策，为车辆提供横向和纵向控制的建议或指令，同时，车辆向道路反馈其最新规划决策信息，从而实现初步自动驾驶，支持车辆多模式驾驶。

在该等级，需要 LTE-V2X PC5、NR-V2X PC5、5G 蜂窝（Uu）等通信技术支持，具有支持车路云协同感知和决策的能力；云控平台覆盖全国大部分城市和高速公路，单一城市可支持百万量级规模智能网联汽车接入，提供协同感知和协同决策服务。

基于上述通信技术，C-V2X 和 5G 路侧覆盖率和车端渗透率大幅提升，通过网联能力大力提升协同感知能力，为协同决策提供更多依据。C-V2X 通信模组批量上车，实现 C-V2X 规模前装，C-V2X 网联车辆渗透率逐渐提升。车载终端 C-V2X OBU 与其他技术发生深度融合，在“两客一危”、政府公务车辆、社会营运车辆逐渐普及，乘用车搭载率逐渐提升。路侧设备 RSU 在智能网联汽车测试示范区、城市示范道路及高速公路重点路段形成规模部署，路侧覆盖率大幅提升。

1) 典型场景

该等级通过 C-V2X 技术，实现车车、车路等各交通参与者之间信息交互融合，道路决策中心与车辆自身感知决策系统融合，提升自动驾驶智能驾驶决策水平。在常规道路上实现车速引导等典型应用；在特定道路与封闭区域，可在无人驾驶状态下，基于 C-V2X 提供的通信和连接能力实现网联化，支撑特定道路与封闭区域的自动驾驶（S3）所需要的信息实时共享与交互、协同感知，为无人驾驶车辆运行提供路径规划协同服务，如协作式变道、协作式匝道汇入等，事故率明显降低，交通效率明显提升。

2) 部分典型场景解读

车速引导：利用高精度定位及区域地图信息进行车辆车道的识别，获取当前车道信号灯状态，并预测车辆能否以匀速、加速或减速通过路口，最终给出建议车速。

协作式匝道汇入：在高速公路或快速道路入口匝道处，路侧单元获取周围车辆运行信息和行驶意图，计算并发送车辆引导信息，协调匝道和主路汇入车道车辆，辅助匝道车辆安全、高效地汇入主路。

(3) 车路云协同自动驾驶等级 III

除可采集全时空动态环境信息、实施车车、车路等动态实时信息交互、状态预测和行为决策外，还可实现车路云协同自动驾驶控制功能，进而完成对整个自动驾驶关键步骤的全覆盖，进一步提供开放道路的广域协同决策和控制能力，实现车辆和道路全面的智能协同和配合，对所有自动驾驶车辆进行接管与控制，即在所有场景下实现协同感知、协同决策以及协同控制等系统一体化功能，进而改善车辆自动驾驶的商用化落地途径。其主要体现在系统参与者对环境信息的全面采集、驾驶决策和控制执行整个层面。

在该等级，车辆需要具备中央集中电子电气架构，支持网联信息参与环境感知和协同决策，具备高可靠性线控执行系统，实现对车辆感知能力和决策能力的提升，同时在人机交互、信息安全等方面提供保障。该等级主要包括的技术：EEI 架构技术（车路云一体化阶段）、车辆智能感知技术、智能决策技术、线控执行技术、人机交互技术、信息安全技术。基于关键技术，该等级主要在保持通信芯片模组、智能车载终端、智能路侧设备整车制造、云端控制、边缘计算等产业稳步发展的基础上，在云端协同控制、边缘计算等产业链有所突破和布局，参与方包括芯片厂商、设备厂商、电信运营商、主机厂、行业组织等。

在该等级，道路基础设施进一步升级道路探测传感器和智能路侧设备，并优化信号灯设备，可以满足所有单个自动驾驶车辆（自动化等级 1.5 及以上）在所有场景下完全感知、预测、决策、控制等功能，并优化部署整个道路基础设施网络，实现完全自动驾驶，支持车辆全面接管，全面建成高水平的智慧公路网。

在该等级，需要 C-V2X PC5 增强、5G 蜂窝（Uu）及 6G 后续增强演进技术支持云控平台提供开放道路的协同感知、协同决策和协同控制能力。

基于上述通信技术，相关 C-V2X 产品应用服务能力得到极大提升，形成车路云一体化系统，助力车路云协同自动驾驶完全实现。通信模组规模上车，实现 C-V2X 网联车辆前装基本完全覆盖，赋能高级别自动驾驶。车载终端 C-V2X OBU 集成度进一步提升，渗透率得到量级提升，在存量车市场实现基本渗透。路侧设备 RSU 成为路侧智能协作设备，在全国重点城市及区域形成完全覆盖，实现高度网联，支持高级别自动驾驶，支持智慧交通和智慧城市发展。

1) 典型场景

该等级将支持全场景全天候开放道路的无人驾驶，可实现协同感知、协同决策、协同控制下的社会道路自动驾驶，具体包括多车协同换道、无信号灯协同通行和特殊事件下的紧急救援等，因此事故率大幅降低，交通效率大幅提高。可通过车路云协同自动驾驶实现高密度大流量交通组织，实现道路承载效率的革命性提升。它还将助力交通治理实现全面提升，助力智慧交通和智慧城市实现。

2) 部分典型场景解读

多车协同行驶：通过获取感知区域范围（如交织区、入口匝道区、出口匝道区）的车辆运行信息和行驶意图，规划车辆行驶轨迹，并向车辆发送控制指令。

无信号灯高效通行：基于交叉口车道布局、实时流量数据和车辆行驶意图，规划多车协同通行策略，保障不同方向的车辆队列通过同一无信号交叉路口的安全性和高效性。

紧急救援全路径引导：通过持续的道路运行信息监测，主动识别事故类型，基于车辆信息、道路信息以及第三方救援单位的信息，生成救援车辆的全局行程路线以及道路通行策略，引导控制其他车辆优化行驶路径，以保障救援顺利执行。

6. 发展建议

（1）坚持车路云协同发展，制定统一技术发展路线图

基于中国公路学会和中国汽车工程学会、中国通信学会已制定发布的车路云协同自动驾驶和智能网联汽车、C-V2X 车联网产业与技术发展路线图，协同车端、路端、云端系统已有的发展路径，优化车、路、云三者的角色及功能划分，确定“车路云协同自动驾驶系统”的发展目标与方向，制定“车路云协同自动驾驶系统”的统一技术发展路线图。

（2）突破具体场景，推进产业落地发展

针对干线物流、无人公交、封闭港口园区、无人配送、自主代客泊车等突破性、引领性的车路云协同自动驾驶具体场景，突破需求痛点从“小切口”向“大场景”质变的“天花板”，协同基础设施建设和车载搭载率的提升，制定具有前瞻性的智能网联道路与智能网联汽车、C-V2X 车联网产业落地发展路径。

（3）加强标准协同，支撑跨行业融合发展

加强汽车与交通基础设施、信息通信、交通管理等跨行业、跨领域的标准协同、协作，推动 C-V2X 等新一代信息通信技术标准研究、应用示范、实施效果评估及技术研究研讨等。加快推进汽车网联化等级划分以及 LTE-V2X 车载信息交互系统标准制定，有序推进基于网联技术的信息辅助系统以及交互接口规范等标准的研制，协同推动智慧城市网联基础设施相关标准制定，支撑智能网联汽车与智慧城市基础设施、智能交通系统、大数据平台等的互通互联。

（4）坚持跨部门协同，加强跨产业协同创新

搭建“车路云协同自动驾驶”跨部门沟通协调机制。由国务院领导统筹，负责组织制定产业发展规划、政策和措施，协调解决产业发展重大问题，统筹推进

产业发展。从协同与一体化的角度重构车辆、交通基础设施、通信、计算服务等智能网联交通产业核心领域间的技术链与价值链，形成以车-路-云业务实时融合计算、数据安全开放和可靠共享为主要特征的统一技术方案，打通智能网联道路和智能网联汽车两大领域，促进“车路云协同自动驾驶系统”的协同发展，并最终提升道路的综合性能。

(5) 加大政策支持力度，推动 C-V2X 路侧设备覆盖率和车端渗透率

借鉴我国新能源汽车的成功发展经验，加大政府资金在产业发展初期的推动作用。如在国家级测试示范区、车联网先导区、双智试点城市建设中，将 C-V2X 路侧设备的覆盖率、覆盖质量等作为试点城市考核的重要指标，研制城市道路智慧交通指标体系要求等标准，研究城市智慧道路建设对城市交通效率、交通事故率、城市治理方面的影响，为全面推广树立样板。对整车企业前装 C-V2X 网联设备提供资金补贴，促进前装渗透率提升，在双智试点城市验证车路云协同效果。在智慧道路建设尚不完善的区域，也可验证 C-V2X 车车通信对交通安全产生的影响。总体来说，超前提升车端 C-V2X 网联设备渗透率，优先在城市道路和主要交通干线建设 C-V2X 路侧设备，争取在 2050 年实现全域 C-V2X 车联网覆盖。