

基于 4S 融合的新一代智能汽车创新发展战略研究

刘宗巍^{1,2}, 宋昊坤^{1,2}, 郝瀚^{1,2}, 赵福全^{1,2}

(1. 汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084; 2. 清华大学汽车产业与技术战略研究院, 北京 100084)

摘要: 基于智能汽车与智能交通、智慧城市、智慧能源融合(4S 融合)的新一代智能汽车,是可灵活移动的智能网联终端,可充分打通城市的人流、物流、能源流、信息流,战略价值远超传统汽车。本文旨在阐明基于 4S 融合的新一代智能汽车的重要价值,论证产业创新发展的技术路径,构建新型技术体系并完成关键技术分析。研究表明,基于 4S 融合的新一代智能汽车是对智能汽车在价值、功能、技术等方面的全面升级,我国应当选择车路协同的智能汽车技术路径,把握战略机遇、实现创新引领;基于 4S 融合的新一代智能汽车技术体系应促进汽车自动化水平与网联化水平同步进步,全面提升大数据、云计算、信息通信等共性基础技术以及车、路、云等核心关键技术。研究提出了顶层设计、产业融合、技术创新、落地应用等方面的措施建议,以期为我国智能汽车产业长远发展提供理论参考。

关键词: 新一代智能汽车; 智能交通; 智慧城市; 智慧能源; 4S 融合; 车路协同

中图分类号: F407 **文献标识码:** A

Innovation and Development Strategies of China's New-Generation Smart Vehicles Based on 4S Integration

Liu Zongwei^{1,2}, Song Haokun^{1,2}, Hao Han^{1,2}, Zhao Fuquan^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Beijing 100084, China; 2. Tsinghua Automotive Strategy Research Institute, Beijing 100084, China)

Abstract: The new-generation smart vehicles are intelligent network terminals that integrate smart vehicle, smart transportation, smart city, and smart energy (i.e., 4S integration). They move flexibly to connect the flow of people, materials, energy, and information of a city, and have more strategic values than traditional vehicles. This study aims to clarify the significance in developing the new-generation smart vehicles based on 4S integration, determine the technology path for the innovative development of the new-generation smart vehicle industry, and establish a novel technology system by summarizing relevant key technologies. The new-generation smart vehicles based on 4S integration is an upgrade of smart vehicles in terms of value, function, and technology. China should select a smart vehicle technology path considering vehicle infrastructure cooperation to acquire the leadership in scientific and technological innovation. To establish the technology system of the new-generation smart vehicles based on 4S integration, the automation and connectivity levels of vehicles should be coordinated simultaneously, and common basic technologies such as big data, cloud computing, information, and communications should be promoted, together with the core key technologies related to vehicles, roads, and cloud. Furthermore, we propose suggestions from the aspects of top-level design, industrial integration, technological innovation, and practical implementation, hoping to provide theoretical references for long-term development of China's smart vehicle industry.

Keywords: new-generation smart vehicles; smart transportation; smart city; smart energy; 4S integration; vehicle infrastructure cooperation

收稿日期: 2020-11-27; **修回日期:** 2021-03-01

通讯作者: 赵福全, 汽车安全与节能国家重点实验室教授, 研究方向为汽车产业发展、企业运营与管理;

E-mail: zhaofuquan@tsinghua.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“中国智慧城市、智能交通与智能汽车深度融合发展战略”(2019-XZ-04); 中国工程院咨询项目“突破智能汽车核心瓶颈, 实践交通治理智能化”(2019-XZ-55)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

以互联网、大数据、云计算、人工智能（AI）、第五代移动通信（5G）等为代表的新一轮信息技术革命，正在驱动汽车产业的深刻变革 [1~3]。融合诸多高新技术的智能汽车（SV，也称智能网联汽车），提供更加安全、便捷、低碳的出行综合解决方案，成为未来汽车的必然形态 [4~8]，将实现车与“人、路、云”等的智能信息交换与共享 [9]。在传统上，SV 发展研究更多着眼于车辆本身，即追求单车智能化水平的不断提升；而实际上这是明显不够的，SV 具有远超传统汽车的重要战略价值。

智能交通（ST）指将信息、通信、传感、控制、计算机等技术与交通运输管理体系融合形成的高效综合运输系统 [10]。智慧城市（SC）指运用物联网、云计算等技术改变城市各主体的交互方式，快速响应各类社会需求，构建高效运作的新型宜居城市 [11]。在 SC 中，交通出行是居民生活的必要组成部分，因此交通的智能化发展是智慧城市的重要基础；能源系统与城市生产生活密切相关，也是智慧城市的关键环节 [12]，消纳清洁能源、可再生能源的区域微网智慧能源服务模式是发展重点 [13]。可以展望，SV 与 ST、智慧能源（SE）、SC 融合发展，缓解 SV 端面临的严苛技术需求并推动规模化应用，加速 ST、SE 落地，形成 SC 运作模式（见图 1）；未来可产生万亿元级别的综合效益 [14]。①在交通效率和效益方面，SV 达到一定的渗透率后，可缩小车头时距，与前后车交换信息将明显提升道路通行能力 [8,15]。②在节能减排效果方面，SV 通过车联网（V2X）、驾驶辅助等技术，减少怠速工况，优化行驶行为，显著降低燃油消耗和污染物排放 [16,17]。③在交通安全效益方面，SV 可通过 V2X 技术实现超视距感知，显著减少碰撞概率 [18]；借助智能驾驶辅助功

能来协助驾驶员规避事故发生 [19]。

已有研究较多关注 SV 或智能道路的若干单项、单类技术，而立足于 4S 协同融合的层次开展 SV 发展研究较为缺乏。针对于此，本文创新性地提出基于 4S 融合的新一代 SV 概念：与 ST、SC、SE 互联互通，实现“人、车、路、云”协同感知、决策与控制，连接丰富的外部服务生态；在宏观层面开展较为系统的研究，在促进 SV 与其余 3S 协同融合发展的基础上，为城市智能化建设、国家能源网络清洁化、智能化转型提供启发与借鉴。

二、新一代智能汽车的战略定位

（一）升级对智能汽车的认识

新一代 SV 概念的提出，意味着汽车产品的本质与内涵正在发生深刻变化。汽车先后经历机械产品、机电一体化产品、智能网联产品的转变 [20]。后续，汽车将进一步升级为社会、产业协同化的产品（即新一代智能汽车），推动人类社会和诸多相关产业智能化水平的全面升级。

新一代智能汽车将在 4S 融合发展中发挥核心枢纽作用。作为 ST 系统的重要组成部分，SV 为智能交通平台传递路况、事故、出行需求等关键信息，接受平台的实时调度与管理。作为可灵活移动的智能网联终端，SV 以运载工具的形式服务居民出行、货物运输。作为可灵活移动的储能供能终端，SV 成为分布式 SE 网络的重要组成部分，发挥“削峰填谷”的作用，缓解电网用电负荷，促进清洁能源消纳利用。

新一代智能汽车将是多产业融合的产物 [5]，不仅可以有效缓解快速城市化带来的交通拥堵、交通事故、环境污染、能源低效利用等诸多社会问题 [21]，还能以其复杂的产业链、丰富的商业模式，支撑并引领城市中产业、经济、生活、工作的重新



图 1 新一代智能汽车的核心枢纽作用

布局和转型发展。以新一代智能汽车为中心,多个行业、不同主体共同参与汽车、出行、交通、能源乃至整个城市的再升级和再创造,有望引发人类社会生产模式、生活方式的重大改变。

(二) 升级智能汽车产品

SV 与 ST 融合促进 SV 产品升级。未来交通基础设施将全面实现智能化、信息化升级,配置众多的先进传感器,具备 AI 能力,与 SV 互联互通来开展车路协同的感知、决策与控制。SV 通过 ST 系统提供的实时路况信息,更合理地规划行驶路径,减少行程时间,获得更为高效的基于位置的服务。

SV 与 SC 融合促进 SV 产品升级。SV 通过物联网与未来城市中的其他智能终端互联互通并相互赋能,构建丰富的网联生态系统,提升城市智能治理能力。SV 支持城内、城际的客运与货运需求,成为解决“最后一千米”出行问题的不可替代且灵活高效的运载工具。未来基于高度智能化的汽车共享出行模式,有望大幅提升汽车的使用效率,缓解城市公共交通压力,节约社会运行综合成本。

SV 与 SE 融合促进 SV 产品升级。电动汽车是 SV 的最佳产品平台,智能电动汽车作为可移动的储能供能单元,将是分布式智慧能源网的重要组成部分 [22]。通过车辆到电网 (V2G) 技术,智能电动汽车与电网高效互动,不仅发挥“削峰填谷”的电网平衡作用,也将促进清洁能源消纳,从而推动电力结构朝着低碳化方向发展。

(三) 升级智能汽车技术

相比于单车智能的 SV,基于 4S 融合的新一代智能汽车将融合更多领域的前沿技术;SV 技术与信息、通信等技术融为一体,实现同步升级,产生“1+1>2”的协同效应。

在车辆智能化方面,单车智能的 SV 需搭载高性能传感器、高算力计算平台、快响应高精度控制器,据此实现自动驾驶、打造智能座舱。融合型的 SV 则注重运用大数据、云计算、AI 等技术,通过“人、车、路、云”的协同感知、决策与控制,以“让聪明的车跑在聪明的路上”的形式实现自动驾驶,打通车辆外部生态与内部控制,打造更高层次的智能座舱。

在车辆网联化方面,单车智能的 SV 联网水

平不高,网联应用集中在资讯、娱乐信息获取方面。融合型的 SV 则利用 5G 技术进行“人、车、路、云”实时信息交互,借助云平台实现云端计算、实时地图更新等功能,具有多元数据融合的多样化服务能力。

在外部生态支撑方面,单车智能的 SV 缺乏外部网联服务生态,仅有少量功能开发者生态给予一定的服务支持。融合型的 SV 同时具备丰富的网联服务生态和功能开发者生态,可充分支持用户的个性化需求,实现“千车千面”“千人千面”。

三、新一代智能汽车的技术发展路径

(一) 国际智能汽车技术发展路径分析

工业强国较早启动了 SV 研发工作,关注重点为自动驾驶。在早期,各国多以提升车端智能化为切入点;在认识到车路协同的重大价值后,积极在国家层面布局自动驾驶、智能交通的发展与协同 [23]。①美国联邦政府制定政策来阐明 SV 发展方向,引导各州政府制定相应的政策法规以落实总体规划;颁布了《自动驾驶法案》、自动驾驶系统发展战略,明确了 SV 作为 ST 系统发展的核心地位。②日本积极发挥政府引导作用,发布了多项 SV 相关的国家级规划;鼓励自动驾驶技术的研发和商业化探索,支持“政、企、学、研”充分合作,争夺国际标准话语权;在《官民 ITSD 构想 / 路线图》中提出,发展 ST 系统为 SV 提供行驶环境。③欧盟注重各成员国协同的总体战略布局,在《未来出行战略》中制定了完全自动驾驶汽车的普及时间表;颁布了《地平线计划》,旨在推进 SV 研发,构建 ST 系统,实现欧洲交通一体化;一些成员国积极落实相关战略规划,如德国将自动驾驶上升到法规层面进行规制,法国批准外国汽车制造商在公路上测试自动驾驶汽车。④企业层面也高度关注并投入资源开展 SV 研发工作,一些传统车企基于成熟的汽车开发经验,整合专业信息技术公司提供的车端自动驾驶系统,通过不断优化车端软硬件配置以提升自动驾驶水平;还有一些车企践行车路协同的发展理念,开展 V2X 技术研发与应用测试。

也要注意,国外 SV 的发展面临一些问题,核心在于:虽然认识到了 SV 在 4S 中的关键作用、已在 4S 各领域分别制定发展规划,但缺少有关 4S

系统性的协同战略布局。难以集中调配优势资源建设相关基础设施可能是主导因素。

（二）智能汽车技术发展路径的对比

各国 SV 技术的发展路径主要有两类：以单车智能为主，基于车路协同。以单车智能为主的技术发展路径难以实现 SV 的大规模产业化，主要原因有：技术存在瓶颈，仅靠车载传感器很难在复杂环境中实现精准感知，加之受体积和功耗限制，车载计算平台很难满足需求；为确保行车安全，需要对关键技术和系统设置冗余，进一步加重了单车负担；成本居高不下，具有高级自动驾驶能力的单车智能系统必须搭载昂贵的传感器和计算平台，商业化落地难度较大；社会效益偏低，单车智能与周边环境没有充分互联互通，难以结合交通、城市、能源等进行全局优化 [24]。

基于车路协同的技术路径因其明显优势，将是未来 SV 发展的必由之路：基于路端基础设施及相关技术，支持车辆实现更精准的感知、决策与控制；借助路端智能为车辆提供安全冗余保障；将部分车端成本转移至路端，有望显著提高 SV 商业化普及的速度；从车路协同角度进一步向 4S 融合拓展，彻底打通 SV 与交通、城市、能源的联络，在更高维度上创造社会效益。虽然基于车路协同的 SV 技术具有相对复杂、部署难度更大等客观因素，然而在 V2X 的支持下，将显著提升交通效率和安全性、促进节能减排，还可引领整个汽车出行先进科技集群的发展，推动形成全新的 SV 出行产业生态系统。因此，应由政府组织推动车路协同 SV 产业的发展，合理支持智慧道路、智能充电桩等基础设施建设，设计科学机制来分担车端向路端转移的智能技术应用成本，由此保障 SV 的快速落地及推广应用。

（三）我国智能汽车技术发展路径分析

1. 相关行业发展现状

目前，我国已经明确了基于车路协同的 SV 发展方向 [9]，在 4S 各方面均有具体的规划布局，为新一代智能汽车的发展提供了良好基础。①在 SV 方面，《车联网（智能网联汽车）产业发展行动计划》《智能汽车创新发展战略》等多项发展规划已经颁布，《智能网联汽车技术路线图》持续更新；

成立了“智能网联汽车分技术委员会”，从技术研发、标准体系建设、测试示范推广等多个角度明确了 SV 中长期发展战略；北京市、上海市、长沙市等城市高度重视 SV 技术与产业的创新发展并制定了地方性发展规划。②在 ST 方面，《交通运输信息化“十三五”发展规划》《交通强国建设纲要》等多项规划发布，积极布局和建设智慧公路、ST 系统，推动示范应用和商业化落地。③在 SC 方面，各级城市均在开展各有侧重的城市智能化、数字化建设，超过 500 个城市明确提出了构建 SC 的相关方案 [25]；上海市、重庆市、雄安新区等地以智能网联示范、自动驾驶为发展重点，而深圳市、贵阳市等地选择了“城市大脑”建设作为发展突破口。④在 SE 方面，《关于加快电动汽车充电基础设施建设的指导意见》指出，大力推进充电基础设施建设，有利于解决电动汽车充电难题，是发展新能源汽车产业的重要保障；“互联网+”SE 是能源发展的新形态，而智能电动汽车与智慧电网良性互动的潜能获得更多重视。

我国正在积极布局多个相关高新技术产业，为 SV 技术运用提供了良好的基础条件。在通信产业方面，5G 通信环境建设和商业化落地进程较快，V2X 获得了特定的无线电使用频段；在信息产业方面，构建了软件开发能力强、网联生态资源丰富、AI 算法领先等技术优势；在高精度地图及定位方面，明确了测绘资质要求，卫星导航系统实现全球覆盖。

2. 有关重要发展机遇的判断

发展 SV 成为汽车产业新一轮国际竞争的重中之重 [26]，按照车路协同路径发展新一代 SV，将为我国相关产业发展提供重要的战略机遇（见图 2）。我国在体制机制、基建能力、信息通信产业等方面具有优势，直接选择车路协同的技术路线，避免了由单车智能路线进行技术转轨所需的较长周期，也提高了 SV 发展的可达层次。虽然相关发展路径缺乏参照且有一定的不确定性 [27]，但是原创性技术创新是未来汽车产业高质量发展、汽车出行科技群革命性突破的必然选择，也是我国力求后发赶超的唯一途径。因此，基于 4S 融合打造新一代 SV，可以此为契机带动相关产业链、企业集群、技术体系的转型升级。

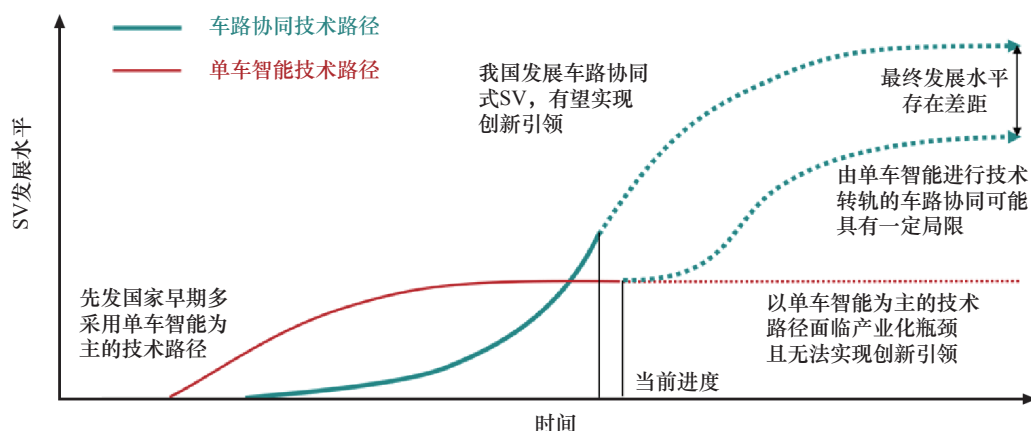


图2 单车智能与车路协同技术路径的差异分析

也要注意，我国在SV核心技术方面还存在部分瓶颈和短板，主要表现在：专业芯片设计、制造能力不足，难以满足高性能车载计算平台的研发生产需求；底层操作系统（OS）研发能力薄弱，已有的少数国产操作系统也无法自主可控；高性能传感器技术相对落后，高分辨率摄像头、高性能雷达等关键传感器较多依赖进口；车用信息技术研发能力欠缺，车用AI算法、信息安全核心技术储备不足。因此，应着力开展这些方面的技术突破和产业转化，逐步夯实SV发展所需的科技基础。

四、新一代智能汽车技术体系

（一）新一代智能汽车的总体技术体系

本文采用目标导向、多维分解的方法系统研究了新一代SV技术体系。新一代SV的总体发展目标设定为：发展更高性价比的SV，推动快速落地应用；以SV为核心，带动ST、SC、SE共同发展，优化居民出行体验，间接支持制造强国、科技强国建设以及环境保护事业。

从4S融合发展的视角出发，明确和细化了SV、ST、SC、SE的发展目标。在此基础上，构建了新一代SV的三维技术体系：一是4S，分别对应SV、ST、SC、SE的发展需求；二是自动化，基于感知、决策与控制展开；三是网联化，基于“端、管、云”展开。智能化水平取决于自动化、网联化的能力，从自动化、网联化的技术体系角度入手，论证形成基于4S深度融合的新一代智能汽车总体技术体系（见图3）。

（二）新一代智能汽车的自动化技术体系

在新一代SV的自动化技术体系中（见图4），SV与ST、SC融为一体，开展协同感知、决策与控制；SE则为三者协同过程提供能源支撑。

1. 多源协同感知与多源感知融合

车载传感器、路侧传感器、各类云端设备向SV提供满足行驶需求的环境信息，经由AI算法进行多源感知融合，支持多源协同感知。这类操作可提升SV的感知广度，支持非视距感知，同时保持感知的精度与鲁棒性。基于更为全面的行驶环境信息，SV的行驶状态、路径规划均可进行实时调整，因而对于ST乃至SC系统而言，多源协同感知、多源感知融合在降低事故率的同时，最大限度地发挥道路通行能力，提高城市居民的出行效率。

2. 基于AI、大数据、云平台的协同决策

在硬件层面，SV基于车载计算平台，ST、SC基于边缘云平台和“中央城市大脑”，通过高速率、低时延、大带宽的新一代通信技术实现资源共享，共同处理多源协同感知获得的庞大数据，为车端、路侧基础设施及SC参与者提供决策支撑。在系统层面，“车、路、云”系统均需预留标准接口以支持4S系统连通，车端自动驾驶算法与路端车路协同算法、信号优化算法不断协同优化，共同提升车辆乃至4S的自动化水平。

3. 车、路、云协同控制

为实现控制集中化、软硬件解耦化，新一代SV将搭载可充分扩展、可灵活配置的模块化整车级控制架构。ST的边缘云控中心将根据实时路况，对车辆行驶路线、信号配时、车道功能进行优化

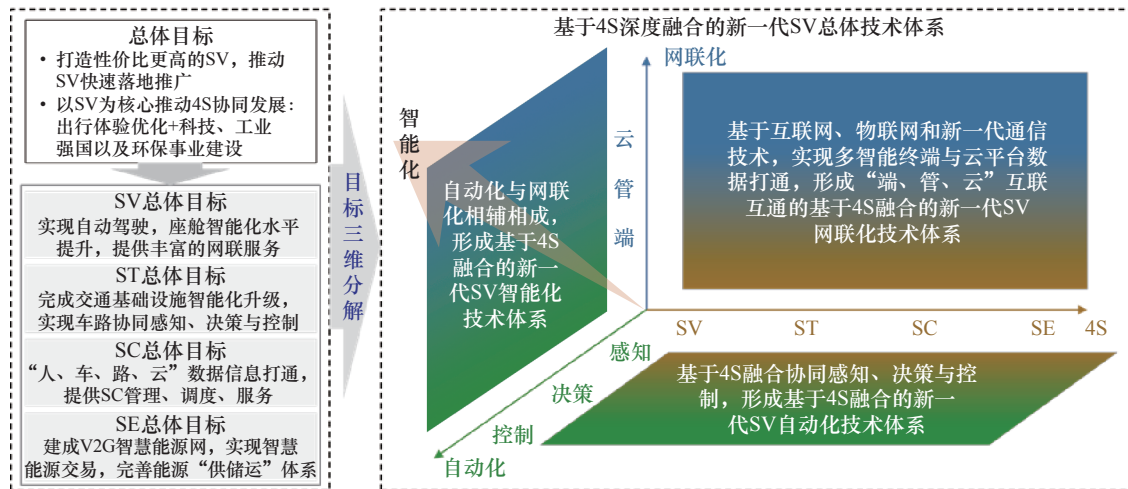


图3 新一代SV的总体目标与技术体系

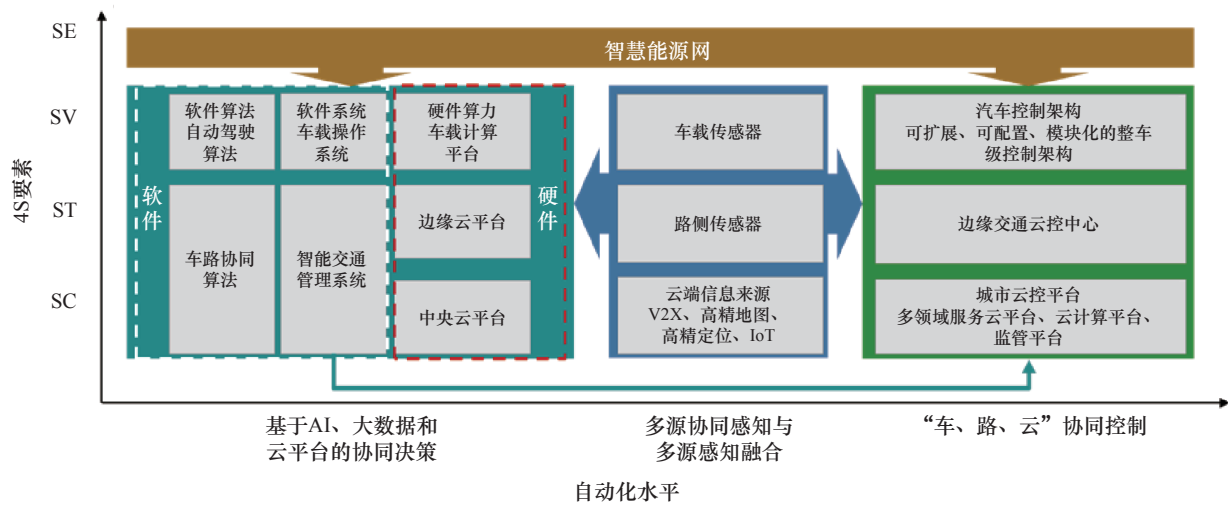


图4 新一代SV的自动化技术体系

注：IoT表示物联网。

调整；车辆行驶状态及路况信息上传至智慧城市的云控平台，为城市综合治理及相关服务提供支撑。

（三）新一代智能汽车的网联化技术体系

新一代SV的网联化技术体系的核心在于：基于“信息管道”，实现多智能终端与云平台的充分打通（见图5）。

1. 物联网“信息管道”

随着5G的不断成熟与扩大覆盖，连接人与人的互联网朝着连接物与物的IoT方向扩展，人类社会将进入万物互联的信息时代。IoT是运输信息的“管道”，为4S智能终端的协同交互提供可靠的通信支撑。

2. 智能终端与云平台连通

由SV、ST基础设施、SC智能终端、SE设施等产生或采集的数据，通过“信息管道”上传至云端。在云端，路侧边缘计算平台对车路感知数据、交通流数据等进行初步处理，直接辅助SC决策及ST管理；城市云控基础平台打通多领域的云平台，接入丰富的城市服务生态资源，在分析处理各种智能终端、边缘云平台的数据信息后，通过“信息管道”向4S智能终端传达控制指令或提供服务。

（四）新一代智能汽车的关键技术

1. 共性基础关键技术

新一代SC的共性基础关键技术包括5G、IoT、云平台、大数据、AI、信息安全等，这些技术共同

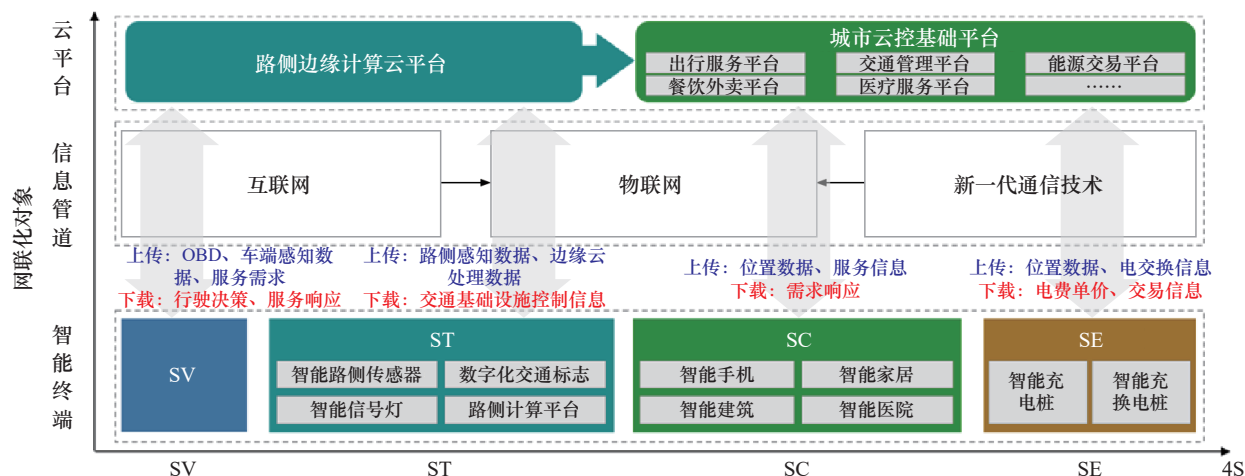


图5 新一代SV的网联化技术体系

注：OBD表示车载自诊断系统。

支撑4S的互联互通与深度融合。作为IoT的重要组成部分，V2X将SV接入网联服务生态，实现不同智能终端的协同控制。5G支持V2X对通信能力的严苛要求，为IoT提供可靠的通信环境。云平台为SV提供云端计算服务，分担车端算力负荷，成为各种网联服务的控制中枢，实现SV的降本增效。大数据技术以有效采集、存储、分析和使用多元海量数据为核心，构筑汽车智能化水平升级的基础。AI通过挖掘大数据价值，为自动驾驶、车路协同、人机交互、定制化网联服务等提供支持。自主可控的信息安全技术既是SV产业化应用的基本保障，也涉及国家信息安全。

2. 核心关键技术

新一代SV主要涉及车端、外部两类核心关键技术。

车端核心关键技术主要包括：车辆关键算法，旨在提升自动驾驶与人车交互水平；车载OS作为“软件定义汽车”的基础，将由功能域集成逐步转向整车级；以高分辨率摄像头、高性能雷达为代表的先进传感器，低能耗、高算力的计算芯片，共同支撑高等级自动驾驶的海量数据处理需求；全新的整车控制架构，成为SV的信息化平台。

外部核心关键技术细分为云端技术、能源类技术两类。①在云端技术方面，高精度地图为SV提供超视距的感知能力，是高级别自动驾驶的必备技术且涉及国家地理信息安全；高精度定位使SV实现厘米级定位，同属高级别自动驾驶的必备技术；

云端算法，如智能信号配时、无信号交叉口通行等车路协同算法，提升交通系统的整体效率与安全性；网联服务算法提升相关服务的精准性与有效性。②在能源类技术方面，支持V2G的充电基础设施成为打通智能电动汽车、智慧能源网的关键因素；分布式智慧电网建设有利于电网运行负荷平衡，促进能源结构低碳化转型的能力建设；智慧能源交易平台为SV提供灵活、便捷的线上能源交易服务，助力SE服务的商业化落地。

五、基于4S融合的新一代智能汽车创新发展战略

（一）新一代智能汽车发展路线

自动化与网联化水平必须协同进步，才能根本性提升SV的智能化水平。如果只在自动化方面寻求突破，将使得新一代智能汽车发展退化到单车智能的层次，既无法取得4S融合的预期效果，也无法实现更高层次的智能化。本文将自动化、网联化分别定义为3个阶段（初级、中级、高级），经交叉组合后获得新一代SV的3个发展阶段及各阶段目标。基于自动化、网联化发展阶段及目标，绘制我国新一代智能汽车技术路线图（见图6）。依据对我国不同等级SV市场渗透率的预测[9,14]，本文将2050年前基于4S融合的新一代SV发展阶段进行划分，针对性提出各阶段创新发展的实施策略（见表1）。

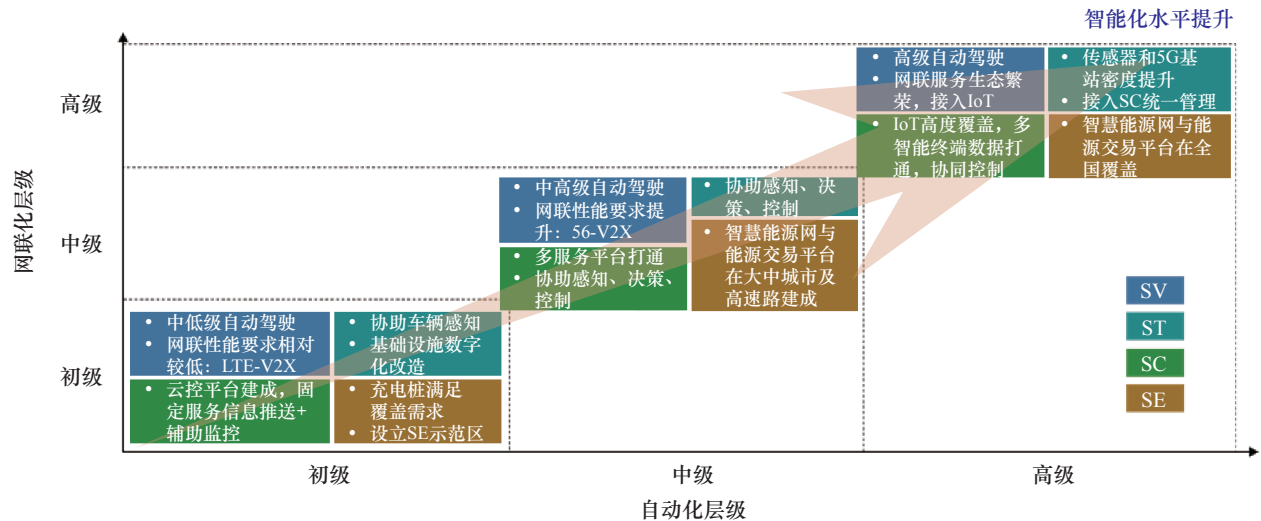


图 6 新一代 SV 技术路线图

注：LTE 表示长期演进技术。

表 1 新一代 SV 技术创新发展阶段及实施策略

发展阶段	实施策略
初级阶段（2020—2030 年）	突破技术瓶颈，培育一批优势企业 发挥优势产业带动作用，促进相关产业融合 完善ST、SE基础设施建设 推进SV示范应用
中级阶段（2030—2040 年）	加速高精度地图产业布局与技术创新 打造域控制级整车电子电气架构 加速AI、大数据产业与汽车产业融合 搭建城市云控平台 加速5G环境布局 完善各类相关基础设施建设 加大示范应用力度
高级阶段（2040—2050 年）	实现SV产品全面升级 推动相关企业协同升级 深度融合的产业生态升级

（二）新一代智能汽车创新发展保障措施

第一，加强政策引领，完善顶层设计。建议将新一代 SV 创新发展战略明确为国家战略，结合实际进展持续完善政策组合体系，充分发挥政府在跨行业发展统筹方面的主导作用；发挥“新型举国体制”的优势，建立跨机构的分工协作机制，通过“政、产、学、研、用”高效协同和深入合作，推动以 SV 为核心的 4S 融合发展。

第二，激励全面创新，构建创新体系。贯彻落实创新驱动发展战略，制定创新激励政策，合理保持公共资源投入力度；加强产业人才培育和知识工程建设，以重点成果示范应用带动“政、产、学、研、用”协同创新环境建设与完善。

第三，整合优势资源，推进产业融合。建议着力推动相关技术产业、服务产业与汽车、交通、能源、城市建设的深度结合，以市场机制促进各领域优势资源的高效利用，突出跨产业、跨领域协同发展，实现“1+1 > 2”的综合效益。

第四，建立科创体系，夯实技术支撑。SV 具有系统工程特征，需要政府、企业、学术界各方参与，构建涵盖 AI、通信、信息、网络安全在内的新一代 SV 科技研发体系。加快 AI 落地应用，全面提升车规级芯片的设计、制造、定制化水平；突破网络切片、自主进化网络等核心技术，尽快规划并制定相关行业标准，固化商业模式，解决成本与能耗问题；完善信息安全认证机制，构建系统安全架

构, 维护智能终端、网络、云端的数据安全。

第五, 完善设施建设, 保障技术落地。建议按照稳妥推进、适度超前的原则, 完善 5G 基站、卫星地面定位基站、ST 基础设施、智慧电网等 4S 相关基础设施建设, 促进技术应用与迭代, 保障新一代 SV 的运营需求和产业成长空间。

第六, 开展示范应用, 优化商业模式。加快新一代 SV 示范区建设, 推进自动驾驶、车路协同、云平台等各项新技术的测试验证。建议在国家、地方协同推进不同层次的 ST、SC 平台建设, 解决差异化的交通运输需求; 整合 ST、SC 相关的共性与个性资源, 开放并共享道路、交通、车辆、用户、商业服务等数据, 打通各类交通工具, 构建一体化出行服务平台; 完善 V2X 运营, 实现人、车、服务实时在线, 提供主动式、智能化、规模化的网联服务。

参考文献

- [1] 钟志华, 乔英俊, 王建强, 等. 新时代汽车强国战略研究综述 (一) [J]. 中国工程科学, 2018, 20(1): 1-10.
Zhong Z H, Qiao Y J, Wang J Q, et al. Summary of strategy research on automobile power in new era (I) [J]. Strategic Study of CAE, 2018, 20(1): 1-10.
- [2] 刘宗巍. 赵福全论汽车产业 (第一卷) [M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.
Liu Z W. Zhao Fuquan's insights on the automotive industry (Volume I) [M]. Beijing: China Machine Press, 2017.
- [3] 赵福全, 刘宗巍, 杨克铨, 等. 汽车技术创新 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.
Zhao F Q, Liu Z W, Yang K Q, et al. Automotive technology innovation [M]. Beijing: China Machine Press, 2019.
- [4] Kuang X, Zhao F Q, Hao H, et al. Intelligent connected vehicles: The industrial practices and impacts on automotive value-chains in China [J]. Asia Pacific Business Review, 2018, 24(1): 1-21.
- [5] 李克强. 中国智能网联汽车产业化过程中的挑战及发展对策 [J]. 机器人产业, 2019 (6): 54-57.
Li K Q. Challenges and development countermeasures in the process of China's intelligent connected automobile industrialization [J]. Robot Industry, 2019 (6): 54-57.
- [6] 李克强, 戴一凡, 李升波, 等. 智能网联汽车 (ICV) 技术的发展现状及趋势 [J]. 汽车安全与节能学报, 2017, 8(1): 1-14.
Li K Q, Dai Y F, Li S B, et al. State-of-the-art and technical trends of intelligent and connected vehicles [J]. Journal of Automotive Safety and Energy, 2017, 8(1): 1-14.
- [7] 胡鑫, 谢卉瑜, 赵鹏超, 等. 智能网联汽车产业发展形势研究 [J]. 时代汽车, 2019 (18): 135-137.
Hu X, Xie H Y, Zhao P C, et al. The research on the development situation of intelligent connected automobile industry [J]. Auto Time, 2019 (18): 135-137.
- [8] van Arem B, van Driel C, Visser R. The impact of cooperative adaptive cruise control on traffic-flow characteristics [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2006, 7(4): 429-436.
- [9] 节能与新能源汽车技术路线图战略咨询委员会, 中国汽车工程学会. 节能与新能源汽车技术路线图2.0 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2020.
Strategic Advisory Committee of Energy-saving and New Energy Vehicle Technology Roadmap, China Society of Automotive Engineering. Technology roadmap for energy saving and new energy vehicles 2.0 [M]. Beijing: China Machine Press, 2020.
- [10] 王云鹏, 严新平. 智能交通技术概论 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2020.
Wang Y P, Yan X P. Introduction to intelligent transportation technology [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2020.
- [11] 王玉艳. 智慧城市理念与未来城市发展分析 [J]. 城市住宅, 2020, 27(11): 128-129.
Wang Y Y. Smart city concept and future city development analysis [J]. City & House, 2020, 27(11): 128-129.
- [12] 王成山, 董博, 于浩, 等. 智慧城市综合能源系统数字孪生技术及应用 [EB/OL]. (2021-01-20)[2021-02-25]. <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=ZGDC20210119002&v=MTc1MDI1N1QzMmx-V00wQ0xMN1I3cWRadVpZrkMzbFVyM09KVjQ9UHlyUGJiRzRITkRNcm81TVpPc05ZdzlNem1SbjZq>.
Wang C S, Dong B, Yu H, et al. Digital twin technology and its application in the integrated energy system of Smart City [EB/OL]. (2021-01-20)[2021-02-25]. <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=ZGDC20210119002&v=MTc1MDI1N1QzMmx-V00wQ0xMN1I3cWRadVpZrkMzbFVyM09KVjQ9UHlyUGJiRzRITkRNcm81TVpPc05ZdzlNem1SbjZq>.
- [13] 俞学豪, 袁海山, 叶昀. 综合智慧能源系统及其工程应用 [J]. 中国勘察设计, 2021 (1): 87-91.
Yu X H, Yuan H S, Ye Y. Integrated intelligent energy system and its engineering application [J]. China Engineering & Consulting, 2021 (1): 87-91.
- [14] 匡旭. 智能汽车综合效益及商业模式研究 [D]. 北京: 清华大学 (博士学位论文), 2019.
Kuang X. Research on the benefits and business models of intelligent connected vehicles [D]. Beijing: Tsinghua University (Doctor's thesis), 2019.
- [15] Olia A, Razavi S N, Abdulhai B, et al. Traffic capacity implications of automated vehicles mixed with regular vehicles [J]. Journal of Intelligent Transportation Systems, 2018, 22(3): 244-262.
- [16] Lu Y G, Xu X T, Ding C, et al. A speed control method at successive signalized intersections under connected vehicles environment [J]. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 2019, 11(3): 117-128.
- [17] 秦严严, 王昊, 冉斌. CACC车辆跟驰建模及混合交通流分析 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2018, 18(2): 60-65.
Qin Y Y, Wang H, Ran B. Car-following modeling for CACC vehicles and mixed traffic flow analysis [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2018, 18(2): 60-65.

- [18] Kuehbeck T, Hakobyan G, Sikora A, et al. Evaluation of performance enhancement for crash constellation prediction via car-to-car communication [C]. Offenburg: International Workshop on Communication Technologies for Vehicles, 2014.
- [19] Tan H, Zhao F, Hao H, et al. Estimate of safety impact of lane keeping assistant system on fatalities and injuries reduction for China: Scenarios through 2030 [J]. Traffic Injury Prevention, 2020, 21(2): 156–162.
- [20] 刘宗巍, 史天泽, 郝瀚, 等. 中国汽车技术的现状、发展需求与未来方向 [J]. 汽车技术, 2017 (1): 1–6.
Liu Z W, Shi T Z, Hao H, et al. Current situation, development demand and future trend of automotive technologies in China [J]. Automobile Technology, 2017 (1): 1–6.
- [21] Milakis D, van Arem B, van Wee B. Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research [J]. Journal of Intelligent Transportation Systems, 2017, 21(4): 324–348.
- [22] 何宣虎. 含移动储能单元的微网控制的研究 [D]. 北京: 北京交通大学(硕士学位论文), 2011.
He X H. Research on control methods of micro-grid with mobile power storage [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University(Master's thesis), 2011.
- [23] 李克强. 中国智能网联汽车产业发展报告 (2019) [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2019.
- Li K Q. Annual report on the development of China intelligent connected vehicle industry (2019) [M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2019.
- [24] 王云鹏, 鲁光泉, 于海洋. 车路协同环境下的交通工程 [J]. 中国工程科学, 2018, 20(2): 106–110.
Wang Y P, Lu G Q, Yu H Y. Traffic engineering considering cooperative vehicle infrastructure system [J]. Strategic Study of CAE, 2018, 20(2): 106–110.
- [25] 中国经济信息社. 2016—2017中国物联网发展年度报告[R]. 无锡: 中国经济信息社, 2017.
China Economic Information Society. 2016—2017 annual report on the development of Internet of Things in China [R]. Wuxi: China Economic Information Society, 2017.
- [26] 边明远, 李克强. 以智能网联汽车为载体的汽车强国战略顶层设计 [J]. 中国工程科学, 2018, 20(1): 52–58.
Bian M Y, Li K Q. Strategic analysis on establishing an automobile power in China based on intelligent & connected vehicles [J]. Strategic Study of CAE, 2018, 20(1): 52–58.
- [27] Schilling M A. 技术创新的战略管理 [M]. 谢伟, 王毅, 李培馨, 等译. 北京: 清华大学出版社, 2005.
Schilling M A. Strategic management of technology innovation [M]. Translated by Xie W, Wang Y, Li P X, et al. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.