

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2022.8.005

# 支撑交通治理升级的智能汽车科技创新发展战略

刘宗巍<sup>1, 2</sup>, 朱光钰<sup>1, 2</sup>, 郝瀚<sup>1, 2</sup>, 赵福全<sup>1, 2</sup>(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:** 智能汽车可实现城市资源的统筹调度、优化分配和顺畅流动, 是实现交通治理智能化升级的重要突破口。为促进中国实现交通治理的智能化升级, 从车端视角对智能汽车科技群进行系统梳理, 建立涵盖人工智能、通信、地理信息数字化和计算机科学四大领域的基本框架, 通过综合评估发现中国在5G通信技术、应用软件开发能力、导航与定位领域具有部分优势, 但在高性能芯片、车用人工智能算法以及信息安全等核心技术领域存在明显的瓶颈和短板。在此基础上, 描绘面向交通治理能力升级的中国智能汽车科技创新协同发展策略和技术路线图, 提出由智能汽车提供商、软硬件提供商及平台运营等多方共同主导的网状生态系统的未来智能汽车产业生态理想图景, 并梳理分析各类相关企业在实践中有效分工协作的特色商业模式。最后分别从国家和企业层面给出践行智能汽车科技创新发展战略、支撑交通治理智能化升级的方向性建议。

**关键词:** 智能汽车; 交通治理; 智能汽车科技群; 人工智能; 技术路线图

中图分类号: F416.67; TP18; G301

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695(2022)8-0034-08

## Intelligent Vehicle Technology Innovation Development Strategy Supporting the Upgrading of Traffic

Liu Zongwei<sup>1,2</sup>, Zhu Guangyu<sup>1,2</sup>, Hao Han<sup>1,2</sup>, Zhao Fuquan<sup>1,2</sup>(1. State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Beijing 100084, China;  
2. Tsinghua Automotive Strategy Research Institute, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Intelligent vehicles can realize the overall dispatching, optimal allocation and smooth flow of urban resources, and is an important breakthrough to the intelligent upgrading of transport governance. In order to promote the intelligent upgrade of transport governance in China, the intelligent vehicle technology cluster has been systematically summarized from the vehicle end and a basic framework has been established covering four major fields: artificial intelligence (AI), communication, geographic information digitization and computer science. Through a comprehensive assessment, this paper finds that China has some advantages in the fields of 5G technology, application development capability, navigation and positioning, but there are obvious bottlenecks and shortcomings in terms of core technologies such as high-performance chips, automotive AI algorithms, and information security. On this basis, the collaborative development strategy and technology roadmap of China's intelligent vehicle technology innovation with the aim of transport governance capacity upgrade is described, an ideal picture of the future intelligent vehicle industry featuring an ecosystem network co-dominated by intelligent vehicle providers, hardware and software providers and platform operators is painted, and the characteristic business models of various related enterprises in the practice of effective division of labor and collaboration is sorted out and analyzed. Finally, the paper gives some suggestions on the directions for implementing the development strategy for intelligent automobile science and technology innovation and supporting the intelligent upgrading of transport governance from the national and enterprise levels respectively.

**Key words:** intelligent vehicle; traffic governance; intelligent vehicle technology group; artificial intelligence; technology roadmap;

收稿日期: 2021-10-09, 修回日期: 2021-12-28

基金项目: 中国工程院重点项目“突破智能汽车核心瓶颈, 实践交通治理智能化”(2019-XZ-55)

人类文明不断发展的进程就是资源的聚集度持续提高、生产力持续提升的过程，城市也由此应运而生。然而城市在不断集聚资源的同时，也带来了安全、拥堵、能源、环境等一系列问题，反而制约了生产力的进一步提升。对于跑步进入工业社会的中国来说，此前对城市发展和交通布局缺乏系统性和前瞻性的规划，没有充分考虑如何持续提升城市运行效率，人口往往在城市中央区域过度集聚，导致城市交通拥堵问题更加严重；同时，中国的城镇化率到2030年将达到80%<sup>[1]</sup>，意味着未来中国人口还将进一步在城市聚集。为此，突破城市资源集聚瓶颈、实现城市可持续发展迫在眉睫，关键在于实现交通治理的智能化升级，使所有交通参与要素全面联通、多种交通工具各司其职，从而确保城市信息流、人流、物流和能源流高效畅通流动<sup>[2]</sup>。交通治理和城市发展是全球性的重大挑战，中国一旦实现城市和交通治理问题的突破，有望形成引领全球的创新范式。对于实现交通治理智能化来说，智能汽车至关重要。当前以物联网、大数据、云计算、人工智能等技术为代表的新一轮科技革命正在驱动汽车产业步入前所未有的深刻变革期<sup>[3]</sup>。融合诸多高新技术于一体的智能汽车可以提供更加安全、便捷、环保的出行解决方案已成为未来汽车产业发展的必然趋势<sup>[4]</sup>，是解决城市交通治理问题的关键突破口。而中国复杂的城市形态、庞大的出行需求以及解决汽车社会问题的迫切性将推动新一代智能汽车的普及应用<sup>[5]</sup>。未来以智能汽车为枢纽和载体的智慧出行体系，将有效支撑智慧城市，显著提升城市的承载力和便捷性，解决城市人口聚集带来的负面问题，进一步释放城市的生产力，最终实现城市的可持续发展。

## 1 交通治理智能化的内涵与智能汽车的地位

### 1.1 交通治理智能化的内涵

在未来智能交通体系中，智能汽车将与智能基础设施和其他各类交通工具相互连接、充分打通、有效协同，在统一的智能平台调配下为用户提供一体化的智能出行服务，更好地满足人与物的移动需求，同时也让城市交通体系更高效、更安全、更节能。显然，如果仅仅考虑智能汽车，而不是站在交通、能源、城市等角度进行更高维度的统筹规划与优化，将难以产生更广泛的社会效益<sup>[6]</sup>。在此背景下，本研究将交通治理智能化的内涵定义为：所有交通参与要素全面网联化、智能化，多种交通工具各司其职、互联协同、充分智能，最终实现用户按需出行、资源高效流通。

### 1.2 智能汽车在交通治理智能化中的核心地位

智能汽车是智能交通体系中自由度最大、难度最大、效能最佳的核心枢纽，作为连接各种要素实现协同智能的关键，在交通治理智能化中占据核心地位，具有不可或缺的重要作用。

(1) 不可替代性。只有智能汽车能够实现城市之间点对点的交通，解决城市“最后一公里”的出行和运输问题；同时在发生疫情等公共安全事件时，自动驾驶的智能汽车可实现非接触式、灵活的人流和物流<sup>[7]</sup>。

(2) 连接性。打通飞机、高铁、地铁等各种交通工具的出行方式，实现各交通工具之间无缝连接。

(3) 终端性。智能汽车作为可灵活移动的智能网联终端，与海量、离散用户直接接触，可实时获得大量有价值的用户数据，从而满足用户的个性化出行需求，同时这些数据可以促进整个智能交通体系的效率提升。

(4) 协同性。基于车路协同的智能汽车技术发展路径已逐渐成为全球产业共识<sup>[8]</sup>，车端与路端相向而行、相互依托，方能提供智能交通的最优解决方案，从而真正实现交通治理智能化。

## 2 智能汽车科技创新发展的战略价值

发展智能汽车需要实现智能汽车科技的突破性创新，而智能汽车科技是“汽车+智能+网联+出行+服务”等多领域的综合科技群，这些领域彼此关联、相互影响，因此其创新发展将产生重大战略价值。

### 2.1 科技实力升级

汽车是科技创新、技术应用的最佳载体，智能汽车涉及的技术领域极广，是通信、人工智能、芯片、地理信息数字化、系统软件、信息安全等技术的集成应用平台。以智能汽车为载体推动相关技术在智能汽车的产业化应用，将引领全新技术集群取得创新突破，驱动我国科技实力的整体升级。

### 2.2 制造业升级

汽车产业具有规模大、带动效应强、涉及领域多、影响范围广、产品数量多、质量要求高、需求多元化以及资源、技术、资金、人才密集等特点，是制造业的集大成者，汽车产业的转型升级对整个制造业具有引领和拉动作用<sup>[4]</sup>。

### 2.3 经济增长动能升级

汽车产业本身就是国民经济的支柱产业，是实现经济稳增长的重要支点，当前发展智能汽车已成为汽车产业新一轮国际竞争的重中之重<sup>[9]</sup>。未来智能汽车产业生态链将向广度和深度空前扩展，与交

通系统、能源体系、城市布局和社会生活紧密结合，从而为经济增长创造强劲的新动能；同时，智能汽车科技创新将拉动新型基础设施建设，发挥以用促建的重要作用。

2.4 现代治理能力升级

智能汽车是未来交通及城市治理升级的关键环节，依托智能汽车，打通城市的信息流、人流、物流、能源流，构建智能交通体系，将全面提升现代社会综合治理能力，实现未来城市的可持续发展。此外，以智能汽车为突破口，探索建立面向个人消费品的民用工业体系和满足新一轮科技革命创新需求的新型举国体制具有深远的意义。

3 智能汽车科技群的总体战略和技术框架

如前所述，智能汽车的发展不是孤立的。事实上，未来智能汽车科技群将全面涵盖智能汽车（SV）、智能交通（ST）、智慧城市（SC）、智慧能源（SE）（以下简称“4S”）的协同创新<sup>[10]</sup>，并涉及数据、通信和信息安全等3层架构。其中，实现数据采集、处理、应用涉及算法、系统等软件技术，芯片、计算平台等电子硬件技术，车端、路端传感器技术，地理信息数字化技术、整车架构技术以及云控平台技术等。具体如图1所示。

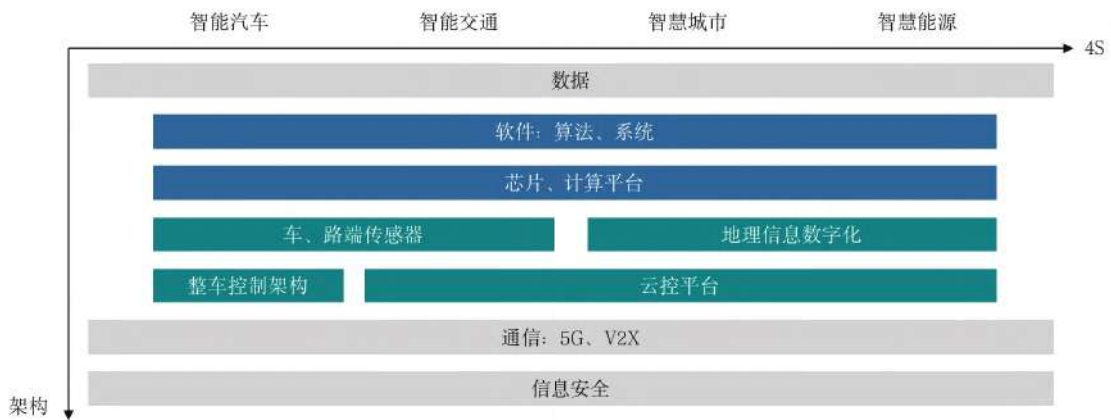


图1 智能汽车科技群的总体战略及技术

注：V2X指车联网。下同。

聚焦车端，从车路协同视角对智能汽车的技术框架进行系统梳理。一方面，城市交通云平台将成为“城市大脑”，另一方面，智能汽车将成为智能交通体系中的移动感知、计算、决策和执行的终端，最终以路侧感知弥补车端感知不足，以云端计算分担车端计算压力，以5G-V2X保证车、路、云之间的实时通信，实现“车-路-云”的协同感知、规划、

决策和控制。就车端而言，其软件架构包括操作系统内核、基础软件平台（作为管道、桥梁实现云平台与车端的互联互通）以及应用层（实现与云端应用生态打通）；其硬件架构以中央计算平台为核心，可借助云端的计算和存储能力实现车端智能传感器和路侧智能基础设施的协同感知，同时对智能汽车的执行系统实施有效控制。具体如图2所示。

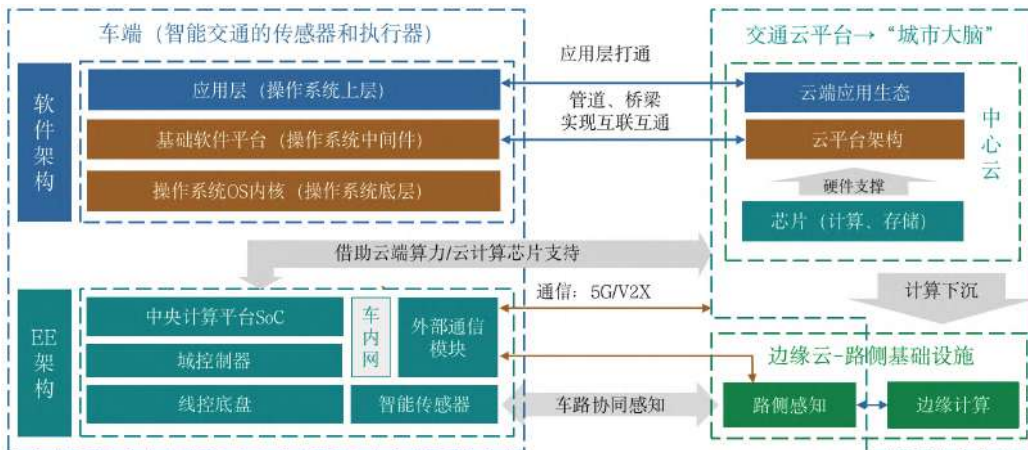


图2 智能汽车科技群车端技术框架

#### 4 智能汽车科技群的相关领域及评价

基于智能汽车科技群的基本内容,可将相关技术分解为人工智能领域、通信领域、地理信息数字化领域和计算机科学领域,如图3所示,4个基础

科技领域相互交织、相互关联,形成了一个有机整体。显然,智能汽车科技群创新依赖于4个基础科技领域的共同突破和融合发展。

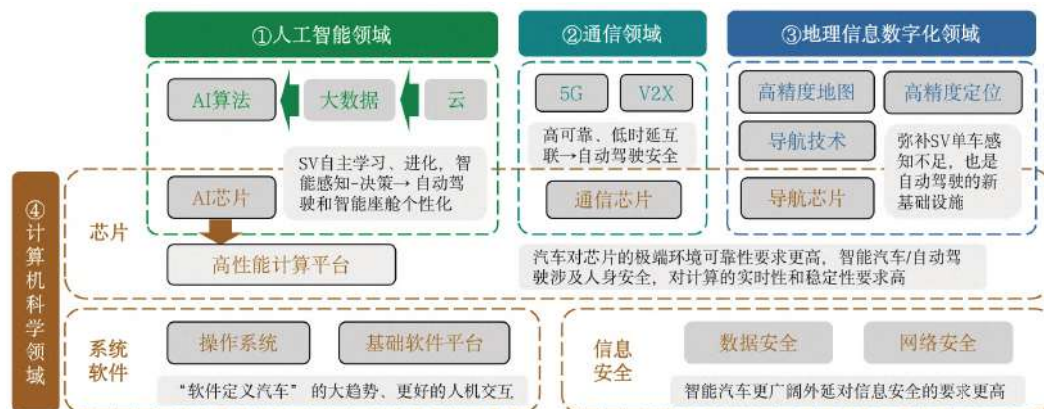


图3 智能汽车科技群的相关领域

中国在5G通信技术、应用软件开发能力、导航与定位领域具有部分优势,但在高性能芯片、车用人工智能(AI)算法以及信息安全等核心技术领域存在明显的瓶颈和短板。当前,关键技术缺失已成为制约中国智能汽车持续发展进步和交通治理智能化升级的重要因素<sup>[11]</sup>,只有通过5G-V2X、云控技

术等原创性创新才能实现中国智能汽车科技群的突破。虽然原创性创新存在较大的不确定因素<sup>[12]</sup>,但这是中国摆脱国外技术限制、实现交通治理智能化的必经之路。对智能汽车科技群相关领域技术的国际发展现状、未来发展方向以及中国的优势与瓶颈进行系统分析,所得主要结论如表1所示。

表1 中国智能汽车科技相关领域主要发展情况

领域	技术	总体情况	单项评价	综合评价
人工智能领域	AI算法	重应用技术,但基础理论和底层技术积累薄弱	★★★	★★
通信领域	AI芯片	国内市场优势巨大,缺乏通用芯片技术支持	★★	★★★★
	云	国内海量数据支撑,但风险集中,用户掌握灵活度低	★★	
	5G	技术发展较早,有一定技术优势,但成本和能耗较高	★★★★	
地理信息数字化领域	V2X	C-V2X技术路线的优势,有待大规模建设应用	★★★★	★★★★
	通信芯片	基础芯片技术薄弱,射频芯片和器件技术落后	★★	
计算机科学领域	高精度地图	起步较晚,没有统一标准,缺乏商业模式支撑	★★	★★★
	导航与定位	核心技术的自主化,产业较为完善,但导航芯片适配度较低	★★★★	
计算机科学领域	系统软件	缺少自主研发底层操作系统(OS)及生态,智能车控、软硬件兼容适配需强化	★★	★★
	芯片	芯片市场巨大,但关键环节技术缺失,高性能芯片依赖进口	★	
	信息安全	处于起步阶段,汽车网络在设计时基本没有考虑网络安全问题	★	

注:最高评价为五星。

#### 5 智能汽车科技创新发展战略与技术路线图

##### 5.1 智能汽车科技创新的协同发展体系

为实现控制集中化和软硬件解耦化,新一代智能汽车必须打造可充分扩展、可灵活配置的模块化整车级控制架构<sup>[13]</sup>;同时,智能汽车将与智能交通、智慧城市和智慧能源深度融合,形成4S融合的科技协同发展体系,如图4所示。其核心是基于协同感知进行协同决策和协同控制,具体要点如下:

(1) 基于5G-V2X、高精度地图/定位的多源协同感知,融合高分辨率摄像头、激光雷达、毫米

波雷达、超声雷达等车端与路端高性能传感器的感知数据。基于北斗导航卫星与路侧定位基站的车辆高精度位置信息以及云端高精度地图、天气等服务信息,实现多源协同感知,通过5G-V2X实现“车-路-云”之间多源感知信息的高速率、低时延、高可靠性的传输与交互,提升智能汽车的感知精度、广度和实时性。

(2) 基于人工智能、大数据和云平台的协同决策。面对多源协同感知带来的庞大数据处理需求,在硬件方面,智能汽车需不断提升车载计算芯片的

算力，并融合路侧边缘云计算平台和城市中央云计算平台的算力，实现车、路、云端硬件计算资源共享；在软件方面，借助交通场景数据库和驾驶行为大数据，不断优化 AI 算法，提升自动驾驶与车路协同关键算法的计算效率与准确性，实现不同算法之间的相互融合。同时，还需打造开放的操作系统，以打通车、路、云端算法与硬件设备。

(3) 车路云协同控制。面对不断增加的软件代码数量以及不断更新的电子元器件，智能汽车需打造整车级控制架构，具备灵活扩展配置的能力和模

块化的结构，实现控制集中化和计算资源共享，有效支撑车辆功能、硬软件升级迭代；同时，边缘交通云控中心将根据路况实时调整车辆行程路线、信号灯配时、道路限速、车道功能等，从而实现车路协同控制。另外，车辆行驶状态信息、路况信息将上传至城市云控平台，可以实现自动识别违法行为、监控营运车辆等。基于出行需求数据对智能共享汽车进行自动调度的同时，基于智慧能源平台为智能汽车合理分配充电基础设施，并提供智能的电量交易服务。

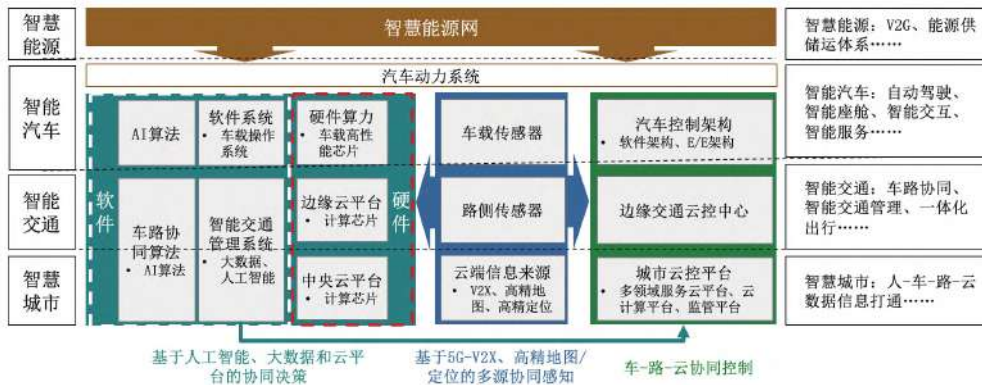


图 4 基于 4S 融合的智能汽车科技创新协同发展体系

5.2 智能汽车科技创新的协同发展技术路线图

基于中国实现交通治理智能化的需求，按照 4S 融合的智能汽车科技创新发展体系，针对智能汽车科技涉及的四大领域，并结合我国不同等级智能汽

车市场渗透率的预测<sup>[14]</sup>，确定面向交通治理智能化升级的中国智能汽车科技创新协同发展技术路线图以及智能汽车科技四大领域的细分技术路线图(见图 5 ~ 图 9)。



图 5 中国智能汽车科技创新协同发展的技术路线

注：1) CA 指有条件自动驾驶；2) HA 指高度自动驾驶；3) PA 指部分自动驾驶；4) ICT 指信息与通信技术。



图6 人工智能领域智能汽车科技创新的技术路线

注：ASIC 指专用集成电路。



图7 通信领域智能汽车科技创新的技术路线



图8 地理信息数字化领域智能汽车科技创新的技术路线

注：IT 指信息技术。

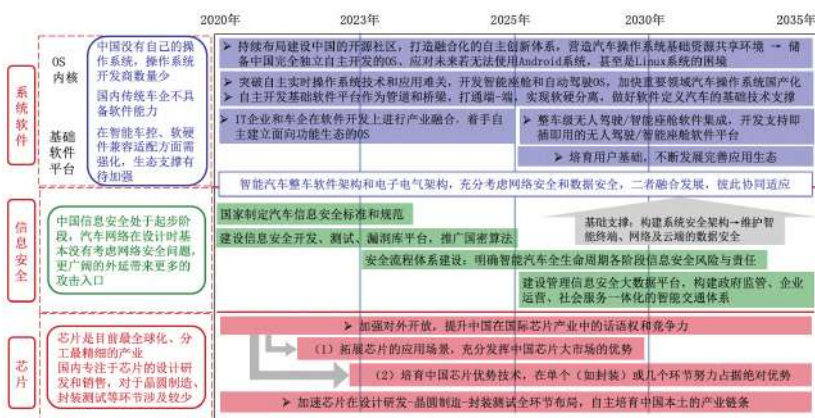


图9 计算机科学领域智能汽车科技创新的技术路线

注：OEM 指代工生产。

## 6 中国特色智能汽车科技创新的商业模式与发展策略

### 6.1 智能汽车产业的理想生态

由于智能汽车科技群涉及要素广、关键领域多、

相互影响强、发展变数大<sup>[15]</sup>，没有任何一类企业能够拥有智能汽车产业所需的所有核心技术，因此未来智能汽车产业一定呈现生态化发展态势，各类主体需要共同参与生态建设，融合创新、协同发展。

在此情况下，准确识别关键技术领域及其相互关系至关重要，而理清智能汽车产业生态图景并确定各类不同企业在其中的角色和分工，将是有效推动智能汽车科技创新发展、实现交通治理智能化的关键。基于未来智能汽车与智能交通、智慧城市、智慧能源协同发展的前景，系统梳理智能汽车产业不同类型企业的主要任务和相互关系，得到理想的智能汽

车产业生态图景（见图 10）。未来，智能汽车产业将从传统由整车企业主导的线型产业链转变为智能汽车提供商、软硬件提供商及平台运营商等多方共同主导的网状生态系统，各主体之间互为支撑、紧密关联，任何环节的缺失或不足都会影响整个生态系统的有效运行。

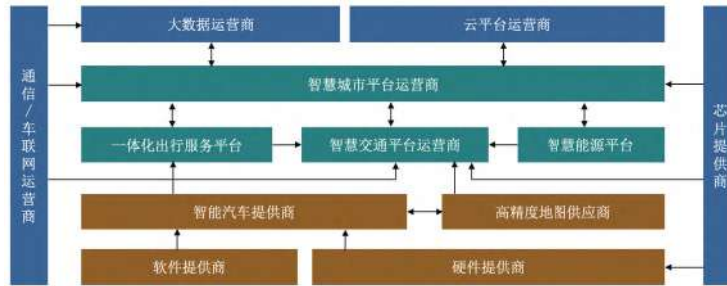


图 10 理想的智能汽车产业生态

### 6.2 智能汽车产业生态中的分工协作关系

参与智能汽车产业生态建设的主要有整车企业、零部件供应商、IT 企业和通信企业等 4 类企业。其中，整车企业和零部件供应商是智能汽车产品载体的提供者；而 IT 企业和通信企业在软件开发、数据处理、互联通信等技术领域具有一定优势，两者均在智能汽车科技群中处于关键位置。这 4 类企业各司其职、分工协作，是驱动智能汽车产业生态进化的核心力量（见图 11），但在核心能力的培育方向上各有不同。整车企业应致力于形成可扩展、多方参与的开放设计体系，为新技术落地应用提供硬件平台，同时做好产品、服务的软硬件集成，形成价值载体。零部

件供应商特别是有实力的一级供应商，应重点提升对本领域关键技术的掌控能力。IT 和通信企业应利用信息的采集与处理能力优势，相互组合，进行产品与功能升级，在新兴产业中充分发挥创新引领和共性支撑作用，加速转变业务方向匹配智能汽车新需求。以此为基础，不同类型企业的不同特色能力相互组合，就可以胜任智能汽车产业生态中的诸多不同角色，从而适应产业生态不断扩展且边界渐趋模糊的发展态势。在这个过程中，政府应以交通治理智能化乃至整个城市综合治理能力升级为目标，积极推动资源整合。

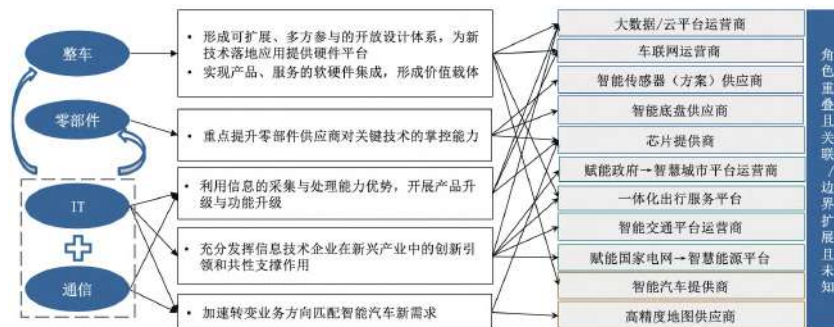


图 11 各类企业在智能汽车产业生态中的分工协作关系

### 6.3 智能汽车产业的特色商业模式

智能汽车具备自动化的物理移动能力以及智能化的信息采集和交互能力，将催生多种全新商业模式，而智能汽车产业将在这些特色商业模式中获得发展，因此，智能汽车特色商业模式是各类企业实践有效分工协作的突破口，这也是相关企业参与智能汽车生态建设必须关注和思考的方向。未来可能

出现以下 3 种智能汽车商业模式：

（1）城市交通运营平台。由地方政府提供良好的政策环境，同时加快智能化道路、云计算平台等城市新型基础设施建设；各类企业共同参与，加强技术合作和数据共享，使智能道路与智能汽车协同演进，实现车辆利用率优化、信号灯配时优化、道路交叉口预警等功能，驱动城市交通治理的智能化

升级。

(2) 一体化出行服务平台。以开放共享的道路、交通数据与商业服务数据相融合,并将各类交通工具平台打通,实现飞机、轨道交通、路面公交和智能汽车等各种交通方式的全面接入和优势互补。通过对各交通工具系统运行的实时数据,道路、停车场等基础设施的动态数据,以及在出行期间的用户数据进行分析,根据乘客的出行目标和偏好提供多样化、定制化、全过程、高质量的出行服务,以此将多模式交通系统进行有效整合,实现最优的路径配置与换乘衔接,提高出行效率和体验,为用户乃至社会节约出行成本。

(3) 大数据和云平台运营体系。未来的数据量将呈现爆发式增长,包括城市交通平台的道路交通数据、智慧能源平台的能源数据、智能汽车提供商的车辆数据等。为了更有效地将这些数据资产转化为实际收益,智能汽车生态的各类参与者应共同参与大数据和云平台运营。通过对道路交通数据、车辆数据、用户数据、能源数据等进行实时采集和处理,并构建有效的数据监管机制和安全的数据交易机制,确保最大化实现多元数据价值,进而围绕数据价值链建立和完善各类企业共赢互利的合作关系。

## 7 结论

新一代智能汽车作为可灵活移动的智能网联终端,可充分打通城市的人流、物流、能源流和信息流,将成为实现交通治理智能化升级的重要突破口。本研究通过构建智能汽车科技相关领域的基本框架,综述了智能网联汽车技术的发展现状和趋势,评估识别出中国在智能汽车相关领域的优势和短板:虽然中国在车联网通信技术、高精度定位等方面发展出自己的特点和优势,但高性能芯片、信息安全等关键技术缺失已成为制约中国智能汽车持续发展进步和交通治理智能化升级的重要因素。

在由智能汽车提供商、软硬件提供商及平台运营商等多方共同主导的智能汽车网状生态系统中,将催生城市交通运营平台、一体化出行服务平台、大数据和云平台运营体系等多种全新的商业模式。这也需要不同类型企业的不同特色能力相互组合,从而适应产业生态不断扩展且边界渐趋模糊的发展态势。下面分别从国家和企业层面给出智能汽车科技创新发展战略建议:

(1) 国家层面,以交通治理智能化乃至整个城市综合治理能力升级为目标,建设智能汽车科技创新发展体系,搭建产业平台,进行产业协同攻关和技术融合创新,积极探索并建设面向个体消费品的

民用工业体系和新型举国体制。

(2) 企业层面,智能汽车产业中的相关企业都应形成自己的特色能力和不可替代性,并逐步扩大自己的边界,参与生态的竞争;同时,各类企业应认准产业进化方向、彼此相向而行,并在实践中优化、细化自身的行动策略。占据智能汽车产业生态关键环节的优势企业中,汽车企业应在软硬件集成的基础上向服务型企业转型,信息通信技术企业则应融合数据分析和软件开发能力,最终二者强强联合,提供汽车产品的全生命周期服务,共同打造具有中国特色的智能汽车品牌。

## 参考文献:

- [1] 万广华. 2030年:中国城镇化率达到80% [J]. 国际经济评论, 2011(6):99-111.
- [2] ATKINS. Research on the impacts of connected and autonomous vehicles (CAV) on traffic flow [R]: Epsom: Atkins, 2016.
- [3] 刘宗巍, 宋昊坤, 郝瀚, 等. 基于4S融合的新一代智能汽车创新发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2021, 23(3):10.
- [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] 郑常龙. 基于效用理论的城市居民出行方式选择分析 [D]. 北京: 北京工业大学, 2013.
- [6] 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.
- [7] 刘向龙, 刘好德, 李香静, 等. 中国出行即服务(MaaS)体系框架与发展路径研究 [J]. 交通运输研究, 2019, 5(3):1-9.
- [8] 中国汽车工程学会, 国汽(北京)智能网联汽车研究院有限公司. 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, 2019:10-26.
- [9] 边明远, 李志强. 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.
- [10] 刘宗巍, 宋昊坤, 郝瀚, 等. 基于4S融合的新一代智能汽车创新发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2021, 23(3):153-162.
- [11] 刘宗巍, 匡旭, 赵福全. 中国车联网产业发展现状、瓶颈及应对策略 [J]. 科技管理研究, 2016, 36(4):121-127.
- [12] 李晓培. 原始创新与模仿创新特征初探 [J]. 合作经济与科技, 2008(18):26-27.
- [13] 赵世佳. 汽车产业进入“软件定义”时代 [J]. 中国工业评论, 2018, 2(3):42-49.
- [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, 2019.
- [15] 赵福全, 刘宗巍. 赵福全论汽车产业:第三卷 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2021:252-264.

作者简介: 刘宗巍(1978—), 男, 辽宁辽阳人, 副研究员, 博士, 主要研究方向为汽车企业管理、产品开发流程与项目管理、技术路线评估; 朱光钰(1995—), 男, 山东淄博人, 博士研究生, 主要研究方向为智能网联汽车产业链及商业模式; 郝瀚(1985—), 男, 吉林通化人, 副教授, 博士, 主要研究方向为汽车产业低碳发展; 赵福全(1963—), 通信作者, 男, 辽宁铁岭人, 教授, 博士, 主要研究方向为汽车产业、企业运营与管理、研发体系建设及技术路线战略。