

# 北京市自动驾驶汽车产业发展研究报告

自动驾驶汽车（国际通用称谓：Automated Vehicle、Intelligent Vehicle、Autonomous Vehicle、Self-driving Car、Driverless Car）又称为智能汽车（国家发改委采用该称谓）、智能网联汽车（工信部采用该称谓）、自动驾驶汽车（科技部、交通部、公安部采用该称谓），各表述内涵相同。

## 一、自动驾驶汽车技术概述

### （一）自动驾驶汽车定义

自动驾驶汽车是指搭载先进的车载传感器、控制器、执行器等装置，并融合现代通信与网络技术，实现车与X（人、车、路、云端等）智能信息交换、共享，具备复杂环境感知、智能决策、协同控制等功能，可实现“安全、高效、舒适、节能”行驶，并最终可实现替代人来操作的新一代汽车。自动驾驶汽车又被称为智能汽车、无人驾驶汽车、智能网联汽车等。

按国际自动机工程师学会（SAE International）提出的《标准道路机动车驾驶自动化系统分类与定义》，自动驾驶分为驾驶辅助（DA）、部分自动化（PA）、有条件自动化（CA）、高度自动化（HA）和完全自动化（FA）组成的由低到高的L1-L5级。我国节能与新能源汽车技术路线图战略咨询委员会、中国汽车工程学会发布的《节能与新能源汽车技术路线图》提出，自动驾驶汽车分级分为智能化与网联化两个层面。智能化层面，参考国际自动机工程师学会、美国高速公路安全管理局（NHTSA）、德国汽车工业联合会（VDA）等组织的分级方案，以SAE分级定义为

基础，并考虑中国道路交通情况的复杂性，加入了对应级别下智能系统能够适应的典型工况特征，给出了中国自动驾驶汽车的智能化分级标准，并按照智能化和网联化两个发展方向分别进行了定义，如下图所示。

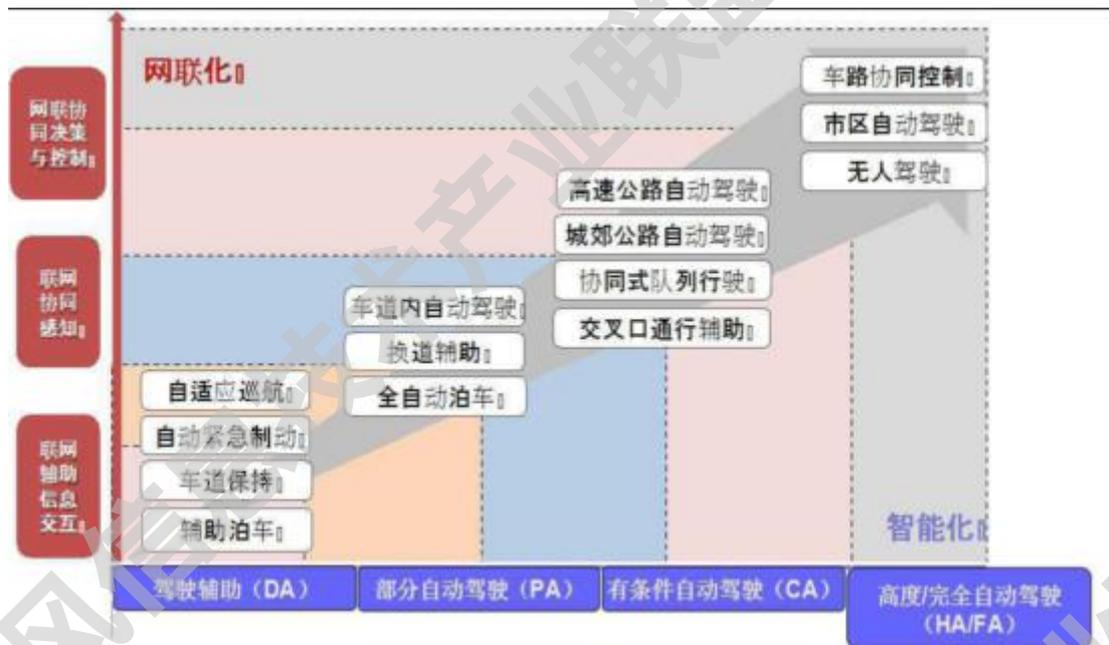


图 1. 我国自动驾驶汽车（乘用车）分级

## （二）自动驾驶汽车模式分类

自动驾驶汽车有自主式（仅靠车载传感器）和网联式（利用通信技术与车联网集成）两种解决方案。自主式自动驾驶汽车主要依靠安装于汽车上的传感器进行环境感知，依赖车载控制器进行控制决策，具有驾驶操作上的自主性；在自主式自动驾驶汽车构架中，从环境感知到中央决策，再到控制执行，都依托于汽车本身自主实施，而不太依赖于外部帮助，可简单理解为“机器在开车”。

网联式自动驾驶汽车除了依靠汽车自带的传感器外，还通过车主通信、车路通信等方式获取环境信息，并可通过云计算产生控制决策指令下发到汽车终端，从而对车辆产生控制作用，以实

现各交通要素间的信息共享与控制协同，简单理解就是“远程控制”。网联式自动驾驶汽车综合运用了测量传感、信息融合、模式识别、网络通信及自动控制等技术；目前受到网络连接和通信技术发展水平制约，车辆与后台云计算中心的实时交互和响应会存在“滞后”现象。

当前自动驾驶汽车先期从自主式导入，并逐步发展到网联式与自主式协同。目前较为成熟的自动驾驶汽车如 L3 级奥迪 A8、L4 级谷歌无人驾驶车辆 Waymo 均以自主为主、网联为辅，即大部分环境感知由自车传感器完成，V2X 提供高精度地图及定位，未涉及车辆决策或控制。随着商业化程度的提高，未来商业化应用的 L4 级、L5 级的自动驾驶将通过自主式和网联式的高度协同化实现。随着 5G 商用，未来网联式的技术占比将越来越大。

### （三）自动驾驶汽车分级

自动驾驶汽车包括智能化和网联化两个技术层面，其分级对应智能化等级和网联化等级两个层面。

#### 1. 智能化等级

Level 1（简称 L1）：辅助驾驶（DA），车辆对单一横向（转弯）或纵向（加减速）进行控制，其余操作由人完成。

Level 2（简称 L2）：部分自动驾驶（PA），车辆可同时对横向和纵向进行控制，其余操作由人完成。

Level 3（简称 L3）：有条件自动驾驶（CA），车辆完成所有驾驶操作，人需根据车辆请求进行干预。

Level 4（简称 L4）：高度自动驾驶（HA），车辆完成所有驾驶操作，无需人干预，限定环境（即限定环境的完全自动驾驶）。

Level 5（简称 L5）：完全自动驾驶（FA），车辆完成所有驾驶操作，无需人干预，不限定环境。

## 2. 网联化等级

在网联化层面，按照网联通信介入程度的不同，工信部《节能与新能源汽车技术路线图》将网联化等级划分为网联信息辅助交互、互联协同感知、网联协同决策与控制三个等级。

网联化等级 1：网联辅助信息交互，基于车-路、车-后台通信，实现导航等辅助信息的获取以及车辆行驶与驾驶员操作等数据的上传。

网联化等级 2：网联协同感知，基于车-车、车-路、车-人、车-后台通信，实时获取车辆周边交通环境信息，与车载传感器的感知信息融合，作为自车决策与控制系统的输入。

网联化等级 3：网联协同决策与控制，基于车-车、车-路、车-人、车-后台通信，实时并可靠获取车辆周边交通环境信息及车辆决策信息，车-车、车-路等各交通参与者之间信息进行交互融合，形成车-车、车-路等各交通参与者之间的协同决策与控制。

### （四）自动驾驶汽车关键技术

自动驾驶汽车涉及的技术，按照《节能与新能源汽车技术路线图》的定义，可分为车辆关键技术、信息交互技术、基础支撑技术三大部分。

#### 1. 车辆关键技术

车辆关键技术主要涉及车辆本身，具体表现为车辆上所搭载的各类传感器为车辆提供环境感知功能，搭载的计算处理系统通过智能决策算法将环境信息进行处理，并输出给控制执行机构控

制车辆运动。将以上三类关键要素集成起来，还涉及到系统集成技术。

### （1）环境感知技术

环境感知技术利用传感器为自动驾驶汽车提供内外部环境信息。主要的环境感知传感器包括：激光雷达、毫米波雷达、摄像头和惯性导航等。

#### 1) 激光雷达技术

激光雷达是高级别自动驾驶的重要感知器件。激光雷达具备精确的距离探测和三维场景构建能力，采用主动光探测，受自然光线明暗的影响较小，白天黑夜均可用，业内普遍认为是高级别自动驾驶的必备传感器；但因雨、雪、雾影响激光传播，受雨、雪、雾等天气的影响较大。

#### 2) 毫米波雷达技术

毫米波雷达是已成熟量产并广泛使用的车载传感器。通常将 30~300GHz 的频域（波长为 1-10 毫米）的电磁波称毫米波，车载毫米波雷达通常使用 24GHz、77GHz 频段。毫米波雷达价格便宜，探测距离远，雨雪雾天穿透性好，具有全天候特征的优点；但对物体分类识别能力较弱，受金属反射干扰较大，无法识别颜色。

#### 3) 视觉成像技术

基于摄像头的视觉系统已广泛应用。摄像头价格低廉，信息丰富，分辨率高，能够获取物体外观形状、读取标识等环境细节，对机动车、非机动车、行人、交通标识等关键交通要素的识别率接近 100%；同时价格较为便宜（几百至数千元），是自动驾驶的

必备传感器。但摄像头受环境及极端条件影响较大，在逆光、黑夜、雨雾天等环境下效果不佳。

#### 4) 位姿感知技术

位姿感知技术是车辆获取位置和姿态的技术。车辆通过惯性导航系统、轮速计等传感器完成速度、位置、姿态等的计算。其优势在于没有外部依赖，可以提供短时高精度的定位结果，对卫星定位是很好的补充，是提高安全冗余的有效手段。惯性导航系统是L4、L5级自动驾驶必须的传感器。

#### 5) 感知融合技术

感知融合是提高自动驾驶感知能力的必要技术。目前，任何单一传感器都无法满足全天候、全工况的自动驾驶感知要求，需要采用多感知传感器融合技术；即将多个感知传感器的信息数据，在一定的准则下加以自动分析和综合，以完成所需要的决策和估计而进行的信息处理，提高对环境的感知能力。

感知融合存在后融合和前融合两种技术方案。后融合是当前普遍采用的技术，即每个传感器各自独立处理生成的目标数据，给出识别结论后，再由决策系统进行处理。前融合即各传感器从原始数据层面即把数据融合在一起，用一类感知算法进行数据处理形成结论后再给决策系统，理论上目标识别的效果比后融合好；但对计算能力和算法的要求更高，对各种传感器的特性要有更强的把握能力。前融合是感知融合的发展趋势。

### (2) 智能决策技术

决策技术直接体现汽车智能化水平。决策任务是根据全局行车目标、自车状态及环境信息等，决定采用的驾驶行为及动作的

时机。当前自动驾驶领域普遍采用基于规则的决策技术，对复杂场景的适应性有限。

决策技术未来发展方向是与人工智能技术结合，实现复杂场景的有效应对。当前智能决策技术常用的决策算法有状态机、决策树、深度学习、增强学习等。决策算法要与搭载的控制器、芯片配合，根据所要实现的自动驾驶功能完成决策算法设计。

### （3）控制执行技术

控制执行技术涉及控制系统和执行系统。汽车的执行机构包括车辆的驱动、转向、制动机构，控制系统指相应的域控制器。控制执行部件的技术发展趋势是线控技术。该技术取消机械连接，通过数据线传递控制信号实现控制，适合自动驾驶，但对可靠性有很高的要求。目前世界上唯一量产的线控转向系统由英菲尼迪 Q50 车型搭载，曾因控制单元程序偏差问题而召回。

### （4）系统集成技术

当前的自动驾驶传感器布置有两种主流方案。一是以视觉系统为主导的多传感器融合方案，典型代表是特斯拉；特斯拉 CEO 马斯克认为激光雷达非自动驾驶系统必备。特斯拉的车型上装配了摄像头、毫米波雷达、超声波雷达，并期望通过在线升级 (OTA) 的方式最终升级到完全自动驾驶。考虑到当年比尔盖茨在微软 DOS 系统与苹果公司的“视窗+鼠标”系统竞争时也表达过类似的态度，背后却悄悄研发 Windows 3.0 操作系统，行业猜测马斯克是在给目前较低成本的特斯拉自动驾驶解决方案背书，并为激光雷达的价格下降争取时间（有网友在 Twitter 上曝光，在加州道路上拍摄到车顶装有激光雷达的特斯拉车型在做道路测试）。

二是以激光雷达为主导，其他传感器为辅助的技术方案，典型代表如谷歌、百度等。这些类型的企业追求跨过低级别的自动驾驶，一步实现 L4 级以上的自动驾驶；当前该类型的企业产品多数未实现产业化，处于研发试验阶段。不同应用环境和不同自动驾驶能力应有的传感器布置方式，行业内尚无定论，还有待通过大量的技术试验进行充分验证。

## 2. 信息交互技术

信息交互技术包括了车与外界通信（V2X）技术、云控技术和信息安全技术。车与车、车与基站、基站与基站之间能够通信，从而使车端和云端能够协同工作，更加高效的完成自动驾驶。

### （1）V2X 技术

V2X 技术在国际上存在两大技术阵营。一是 DSRC（专用短程通信）技术，基于 IEEE 802.11p 标准（WiFi 基础）的通信技术，由美国主推，其特点是：不需要基站，只要两两靠近就可以交互；快速接入、高可靠、低延时。二是 LTE-V2X 技术，基于蜂窝通信技术，是我国力推的技术。LTE 为 4G 标准，LTE-V 是将其应用于车上。LTE-V 支持两个协议：UU、PC5，PC5 是直连、UU 是 4G 的升级，两个协议完全不同，接口也不同。国家给 PC5 制定了标准的通信通道 5.905GHz~5.925GHz。

当前的 V2X 并未应用到 5G 技术。5G 是分场景的无线通信装置，不同场景应用不同标准。一是低延时、高可靠；二是大带宽；三是海量接入。目前大带宽的标准已经固化并开始产品化。低延时、高可靠的标准需今年或明年才能固化标准，3 年或 5 年后出

产品。现有测试场等提的 5G 本质上是 4.5G,为了区分,形成了新概念: C-V2X 或者 5G-V2X。

自动驾驶对通信指标的需求。LTE-V 的延时为 20ms, 5G 延时为 5ms。目前的商用化是 LTE-V,未来 5G 会与 LTE-V 长期共存。LTE-V 可直接支持 L1、L2 级,也可支持特定场景的 L4 级。5ms 的需求在于远程遥控驾驶,必要的需求场景目前尚未出现。

### (2) 云控平台技术

云控平台技术即自动驾驶汽车全部或部分的计算功能放到云端进行,可有效降低单车成本。自动驾驶技术的智能化与网联化两大技术路径不断融合,需要强有力的基础数据平台作为支撑。同时,自动驾驶、移动互联网、大数据和云计算等新一代信息技术的革命性突破,也为基础数据平台奠定了技术基础。

当前云控平台存在着技术和政策问题。国内外尚无成熟应用。接入大量车辆和基础设施的云控平台面临负载均衡、分布式存储、集群部署、高性能存储与算力、信息安全防护等一系列技术难题。同时,云控平台关乎国家信息战略安全,其底层应由政府主导建设,上层开放给企业进行开发使用;底层和上层的界定和关系需要政府部门牵头研究并实施。

### (3) 信息安全技术

自动驾驶汽车面临信息安全问题。车辆联网后,风险分为两个层次:一是在网联化等级 1 和 2 的条件下,有隐私泄露的风险;二是在网联化等级 3 (直接涉及车辆控制) 的条件下,有直接危害公共安全的风险。信息安全技术可分为基础支撑技术、主动防御技术、被动防御技术和面向管理的信息安全技术四个层次。

基础支撑技术：主要是提供包括机密性、完整性和抗抵赖性等在内的基本信息安全服务。密码、认证、数字签名和其他各种密码协议统称为密码技术，如现在开始在车辆上应用的声纹识别等生物体防护技术，是信息安全基础支撑技术的核心。主动防御技术：主要是提供阻断和控制信息安全威胁的技术，如防火墙、虚拟专用网络、反病毒、VPN 等技术是经典的主动防御技术。该领域技术主要来自传统的杀毒公司，力图将 PC 端和移动端的主动防御技术应用到车载端，比较重视云端和软件攻防技术，对硬件安防关注不多。被动防御技术：主要着眼于信息安全威胁的发现和如何在信息安全威胁发生后将损失降低到最低，如 IDS（入侵检测系统）、网络扫描、密钥、数据备份与恢复、信息安全审计等。面向管理的信息安全技术：是一种综合技术手段，主要包括安全网管系统、网络监控、资产管理、威胁管理等技术。

自动驾驶汽车信息安全工作还处于起步阶段。其原因是车联网尚未广泛应用。国际标准化组织成立了汽车信息安全工作组，正在制定国际标准 ISO/SAE 21434 “Road vehicles - Cybersecurity Engineering”（道路车辆-信息安全）。针对汽车信息安全威胁分析与风险评估工作，大多数单位或研究机构还仅处于概念或框架阶段。

### 3. 基础支撑技术

车控操作系统、车规级芯片、导航地图、高精度定位、人机交互、标准法规和测试示范为自动驾驶的实施提供重要支撑。

#### (1) 车控操作系统

车载控制操作系统是各种自动驾驶软件应用的底层软件平台。其直接参与车身管理，负责车辆速度、轨迹、刹车等方面的控制和决策管理，主要内容包含传感器管理、车身控制、数据传输、功能安全等功能模块。车控操作系统对于功能和安全方面有着很高的要求，需高安全、高实时、高性能、分布式可拓展、数据量大等特殊需求。

操作系统对于构建自动驾驶汽车生态至关重要。上可支持差异化应用软件和生态环境，实现各主机厂的自主生态开发和差异化开发；下可以融合底层硬件包括芯片、传感器、雷达、摄像头等，促进零部件企业和互联网企业的发展。

## （2）车规级芯片

车规级芯片是指通过了车规级认证的芯片。国际上从芯片的研发、生产到测试，有一整套的标准进行规范。车规级芯片从功能上区分，可分为计算/控制类芯片、传感器芯片（车辆感知与环境感知芯片）、功率芯片、存储芯片和通讯芯片。

汽车芯片的市场广阔。高工产研（GGII）预测，2020年全球车规级芯片市场规模将增至430亿美元。目前，一辆普通的新车芯片数量超过600个，芯片在每辆汽车中的价值超过2000元。未来自动驾驶汽车向L3以上升级的过程中，则需要更多的CMOS传感器、MEMS传感器、以及雷达来感知周围环境。同时，新能源汽车广泛应用使得功率器件、电源管理芯片大幅增加。在自动驾驶和新能源两者的驱动下，汽车芯片将迎来市场爆发。据高德纳咨询公司预测称，到2020年，车规级芯片的利润增长率将是全球芯片市场的两倍。

### (3) 高精度地图

高精度地图尤其是动态地图是高级别自动驾驶技术应用的关键，包含静态地图和动态地图。静态地图是目前图商生产的主要数据，包含车道模型、道路部件、道路属性和其他的定位图层。动态地图是自动驾驶用高精地图的发展方向，主要是指自动驾驶体系下所有的动态信息，包括交通动态信息、车辆传感器信息、驾驶行为信息、天气、道路、管控等方面。

### (4) 高精度定位

自动驾驶对定位有着较高需求。包括精度到厘米级，及高可用性。高可用性包含定位结果的精准性、定位频率的实时性、定位架构的稳定性、定位场景的包容性等。高可用性定位系统需要在卫星信号丢失、无 4G/WIFI 网络、雨雪天气、道路环境巨大变化等的场景下，依然能够高可靠的保证定位的精度。

多传感融合定位是高精度定位技术发展趋势。普通的多星（GPS、北斗、伽利略）定位的定位不足以支撑自动驾驶。其精度大约为 1-2 米，需要通过多传感融合定位技术（基于信号定位、基于航迹推算定位、基于环境特征匹配定位、基于激光点云定位等）确保精度和高可用性。

### (5) 人机交互

人机交互技术是以有效的方式实现人与车辆交流的技术。车辆通过图像、声音、震动等方式与人进行交流与互动，使人充分了解车辆及交通环境信息，使车充分认知人的意图与需求，从而保障驾驶安全舒适。人机交互技术正在从按键、触屏交互向着语

音、手势、姿态、表情等多交互技术转变。目前语音识别方面，向着语义理解方向发展。

#### （6）标准法规

国际的自动驾驶标准法规起步较早。美国国家公路交通安全委员会（NHTSA）于2013年5月发布指导性文件《关于自动驾驶汽车法规的意见》，提出了对各州自动驾驶汽车立法的建议，明确自动驾驶汽车上道路行驶监管和试验规定。欧盟于2016年4月推动《联合国道路交通公约》关于自动驾驶汽车的修正案正式生效。日本警察厅于2016年5月颁布《自动驾驶汽车道路测试指南》，允许自动驾驶汽车上道路测试试验。

国内的自动驾驶由工信部和交通部分别牵头推进。工信部与国家标准化管理委员会于2017年12月联合发布了《国家车联网产业标准体系建设指南》（智能网联汽车）。同时，国家标准化管理委员会体系下的全国汽车标准化技术委员会正在推进自动驾驶汽车相关的标准制定工作。交通部由其下属的公路科学研究院推进相关标准化工作。

#### （7）测试示范

封闭测试是自动驾驶汽车进行公开道路测试前的必要措施。美国较早开展自动驾驶封闭测试，密歇根州于2015年建成面积1295亩的无人驾驶虚拟之城MCity，专为测试无人驾驶汽车和V2X技术。北京市科委于2016年立项支持交通部公路院在通州马驹桥公路交通试验场内建成3.2公里的自动驾驶封闭测试道路，涵盖高速、城市道路等多种场景，为百度、华为等多家企业

提供测试服务；在项目的带动下，交通部公路院规划将占地 24000 亩的公路交通试验场全部转型成为自动驾驶测试基地。

公开道路测试是加速自动驾驶技术发展的重要手段。美国、日本、德国、英国、瑞典等国家允许自动驾驶汽车进行公开道路测试。其中美国高速公路安全管理局（NHTSA）、也是硅谷所在的加州最为先进，通用、谷歌 Waymo、苹果、特斯拉等先进公司均在加州开展道路测试。国内各地于 2018 年逐渐开始开放道路测试，与美国仍有较大差距。

## 二、国内外自动驾驶汽车技术发展现状

随着人工智能、物联网、大数据、信息通信等技术的快速发展，汽车与电子、通信、互联网等领域加快融合，自动驾驶汽车成为全球新一轮产业竞争热点。

### （一）全球各大经济体加速布局

目前，以美国、欧盟、日本等为代表的全球主要发达国家和地区，都将自动驾驶汽车作为汽车产业发展的重要方向，纷纷加快产业布局、制定发展战略，通过政策支持、技术研发、标准法规、示范运行等综合措施，加快推动产业化进程。

表 1. 国外自动驾驶汽车战略规划及政策

国家	政策内容
美国	2015 年，美国交通运输部发布《美国智能交通系统（ITS）战略计划 2015-2019 年》，明确了美国 ITS 战略升级为网联化与智能化的双重发展战略。
	2016 年，美国交通运输部发布《联邦自动驾驶汽车政策指南》，将自动驾驶的安全监管首次纳入联邦法律框架。
	2017 年，美国交通运输部发布《自动驾驶系统 2.0：安全展望》，鼓励各州重新评估现有的交通法律法规，为自动驾驶技术的测试和部署扫除法律障碍。
	2018 年 10 月，美国交通运输部发布《自动驾驶汽车 3.0：准备迎接未来交通》，继续致力于推动自动驾驶技术与地面交通系统多种运输模式的安全融合。
欧盟	2010 年，欧盟委员会制定《ITS 发展行动计划》，是欧盟范围内第一个协调部署 ITS 的法律基础性文件。
	2014 年，欧盟委员会启动《Horizon 2020》项目，推进自动驾驶汽车研发。

	<p>2015年，欧盟委员会发布《GEAR2030战略》，重点关注高度自动化和网联化驾驶领域等推进及合作。</p> <p>2016年，欧盟委员会通过“合作式智能交通系统战略”，旨在推进2019年在欧盟成员国范围内部署协同式智能交通系统（C-ITS）服务，实现V2V、V2I等网联式信息服务。</p> <p>2018年5月，欧盟委员会发布《通往自动化出行之路：欧盟未来出行战略》，明确到2020年在高速公路上实现自动驾驶，2030年进入完全自动驾驶社会。</p>
日本	<p>2013年，日本内阁发布日本复兴计划《世界领先IT国家创造宣言》，其中自动驾驶汽车成为核心之一。以此为蓝本，日本内阁府制定国家级科技创新项目《SIP战略性创新创造项目计划》，其中自动驾驶系统的研发也上升为国家战略高度，并提出自动驾驶商用化时间表和《ITS 2014-2030技术发展路线图》，计划在2020年建成世界最安全道路，在2030年建成世界最安全和最畅通道路。</p> <p>2014年，日本内阁制定《SIP（战略性创新创造项目）自动驾驶系统研究开发计划》，制定四个方向共计32个研究课题，推进基础技术以及协同式系统相关领域的开发与实用化。</p> <p>2017年，日本内阁发布的《2017官民ITS构想及路线图》，自动驾驶推进时间表是，2020年左右在高速公路上实现自动驾驶3级，2级以上卡车编队自动走行，以及特定区域内用于配送服务的自动驾驶4级。</p> <p>2018年3月，日本政府发布《自动驾驶相关制度整備大纲》，明确自动驾驶汽车的责任划分，原则上由车辆所有者承担赔偿责任，将自动驾驶汽车与普通汽车同样对待；在外部黑客入侵汽车系统导致事故的损害由政府赔偿。</p> <p>2018年9月，日本国土交通省发布《自动驾驶汽车安全技术指南》，明确规定了L3、L4级自动驾驶汽车所必须满足的10大安全条件。</p>

我国高度重视自动驾驶汽车发展，自动驾驶汽车成为关联众多重点领域协同创新、构建新型交通运输体系的重要载体，并在塑造产业生态、推动国家创新、提高交通安全、实现节能减排等方面具有重大战略意义，已经上升到国家战略高度。工业和信息化部、交通运输部、科学技术部、发展改革委、公安部等部委出台一系列规划及政策推动我国自动驾驶汽车发展。

表 2. 我国自动驾驶汽车战略规划及政策

时间	发布机构	政策	内容
2016年5月	发改委、科技部、工信部、中央网信办	《“互联网+”人工智能实行三年行动实施方案》	加快自动驾驶汽车关键技术研发，实行智能汽车试点工程，推动智能汽车典型应用，同时加强自动驾驶汽车及相关标准化工作
2016年8月	发改委、交通运输部	《推进“互联网+”便捷交通促进智能交通发展的实施方案》	提出了我国智能交通（ITS）总体框架和实施举措

2017年 4月	工信部、发改委、 科技部	《汽车产业中长期发展规划》	以自动驾驶汽车为突破口之一， 引领整个产业转型升级
2017年 4月	科技部	《国家重点研发计划新能源汽车试点专项实施方案》	重点布局了电动汽车智能化技术任务
2017年 7月	国务院	《新一代人工智能国家发展规划》	将自动驾驶汽车自动驾驶应用放到重要地位
2018年 1月	发改委	《智能汽车创新发展战略（征求意见稿）》	将自动驾驶发展提升至国家战略层面

## （二）全球自动驾驶汽车发展趋势

随着自动驾驶汽车对数据需求量的不断增加，技术革新正在成为自动驾驶汽车发展的强大驱动力。计算技术的变革推动硬件成本快速下降、运算时间大幅缩短，人工智能算法的集成创新提高了准确性以及运算效率。

美国、欧盟、日本等汽车发达国家和地区在自动驾驶汽车关键技术上具有一定的领先优势。英伟达凭借在深度学习训练平台领域的优势，推出自动驾驶处理器 Xavier，运算性能可达到 30TOPS（万亿次运算/秒），而功耗仅为 30W。英特尔通过一系列并购与投资打造了由 CPU、FPGA、EyeQ、5G 构成的通信和计算平台。奥迪于 2017 年发布了全球首款 L3 自动驾驶量产车 A8。通用汽车加大在新兴技术方面的投入，2018 年旗下凯迪拉克 CT6 搭载了 Super Cruise（超级巡航）辅助驾驶技术，并宣布于 2019 年上线自动驾驶服务，甚至直接取消方向盘和刹车踏板。谷歌一直深耕自动驾驶技术，2018 年 9 月 Patent Result 发布的全球自动驾驶技术专利竞争力显示，谷歌以 2815 分居首。与此同时，整个产业链的合作日益加强，汽车与电子、通信等技术深度融合成为重要发展趋势。博世联合英伟达开发出基于人工智能技术、可大规模量产的车载计算平台，每秒可进行 30 万亿次的深度学习运算，并可实现 L4 级的自动驾驶。德尔福联合 Mobileye 力

图推出市场上首个 L4/L5 级自动驾驶系统，预计 2019 年实现量产。

我国汽车企业、互联网企业、通信科技企业等在多个层面全面实现自动驾驶汽车技术创新。2018 年 CES 展上，全志科技发布车规（AEC-Q100）平台型处理器 T7，支持 Android、Linux、QNX 系统。2018 年 4 月，地平线发布基于征程 2.0 处理器架构的高级别自动驾驶计算平台 Matrix1.0，支持面向 L3 / L4 的自动驾驶解决方案。10 月，华为发布支持 L4 级别自动驾驶能力的计算平台 MDC600，算力高达 352TOPS，整体系统的功耗算力比低至 1 TOPS/W，MDC600 符合最高级别的车规标准。百度发布 Apollo 开放计划，L4 级自动驾驶小巴“阿波龙”实现量产。长安、吉利等均已推出 L2 级量产车型，上汽、广汽等车企正在开展 L3、L4 级车型的研发和测试。我国提出的 LTE-V2X 车联网专用通信标准已经成为国际车联网通信标准的重要组成部分，在 5G 通信方面具备先进技术优势与产业规模，为我国自动驾驶汽车快速发展提供了重要支撑。

### （三）国内外自动驾驶标准和法规

美国、欧盟、日本等汽车发达国家及地区以政府为主，推动适用于自动驾驶汽车的法律法规制修订，研究制定促进技术研发和推广应用的支持措施，加强网络基础设施建设和道路智能化改造，通过出台标准、制修订法律法规等方式为自动驾驶汽车产业发展营造良好环境。

表 3. 国外自动驾驶汽车标准及法律法规

国家	标准法规
----	------

美国	2016年，在ADAS法规标准方面，NHTSA计划于2022年之前，在美国销售的所有新车都安装自动制动辅助系统（AEB），使AEB成为美国新车标配，推动单车智能化加速发展。
	2016年，在网联化法规标准方面，美国交通运输部提案强制美国销售的所有轻型车辆必须安装V2V通讯设备，但该提议尚未正式推行。
	2016年，密歇根州颁布四项法案，使其成为美国首批由州政府颁布的自动驾驶法律。目前，除密歇根州外，美国已有包括加利福尼亚州和内华达州等10多个州以及哥伦比亚特区颁布了自动驾驶相关法律。
	2017年，美国众议院批准了《自动驾驶法案》，该法案草案旨在发挥联邦职能，通过鼓励自动驾驶汽车的测试和研发以确保车辆安全。该法案一旦发布，它将是美国第一部加速自动驾驶车辆上市的美国家联邦法律，具有标杆性的价值和意义。
欧盟	2014年，在ADAS标准法规方面，欧盟要求所有在欧盟销售的新车配备AEB，未装配AEB的汽车无法获得Euro-NCAP（欧洲汽车安全评鉴机构）五星级安全认证。
	2014年，在网联化标准法规方面，欧盟委员会以ITS Directive 2010/40/EU作为法律框架，并考虑未来服务内容的扩展。
	2016年，法国政府正式批准国外汽车厂商在公路上测试自动驾驶汽车。
	2017年，瑞典发布一项关于自动驾驶汽车开展测试的法令，由瑞典运输机构负责审查并有条件地授予许可证。
	2017年，德国联邦交通和数字化基础设施部对德国《道路交通安全法》进行了新的修订，允许自动驾驶在特定条件下代替人类驾驶，该修正案已经生效，2019年将进行第一次修订。
日本	2016年，日本着手修订《道路交通安全法》和《道路运输车辆法》，提出要在2020年之前实现自动驾驶汽车方面的立法。
	2016年，日本警察厅公布了公路自动驾驶公路实证试验规范草案，以司机乘车并遵守《道路交通安全法》等法律法规为条件，允许开展自动驾驶的公路行驶试验。
	2017年，政府将自动驾驶期间的交通事故列入汽车保险的赔付对象。
	2017年，日本警察厅发布《远程自动驾驶系统道路测试许可处理基准》，允许汽车在驾驶位无人的状态下进行上路测试。

我国积极开展自动驾驶汽车共性基础、关键技术、产业急需的标准以及相关法律法规的研究制定。工信部、交通部、公安部等部门与相关研究机构、企业和组织联合积极推进车路协同（V2X）标准、公共道路测试规范和专用无线频段等工作。近年来，出台了多项关于自动驾驶汽车的标准及法律法规，包括标准体系建设指南、道路测试管理规范、封闭场地建设技术指南等。此外，北京、上海、重庆等城市也出台了地区智能网联汽车/自动驾驶车辆道路测试管理细则，明确了测试车辆、测试主体、测

试驾驶人、测试管理、测试路线等基本要求，提出了测试申请及审核程序、交通违法和事故处理等方面的具体要求。

表 4. 我国自动驾驶汽车标准及法律法规

时间	发布机构	标准法规	主要内容
2016年	工信部、公安部、交通部	《智能网联汽车公共道路适应性验证规范》	对测试车辆、测试道路、测试驾驶人、路试申请、路试信息记录等相关要素提出了基本要求。
2016年	中国汽车工程学会、智能交通联盟	启动 ADAS 相关标准研究与制定工作	主要包括 AEB、LKA、DSB、自动泊车等标准，并发布了 C-NCAP 的 2018 版的详细试验及评分方案。
2016年	交通部	《营运客车安全技术条件 (JT/T1094-2016)》	要求 9m 以上的营运客车加装车道偏离预警系统 (LDWS) 以及符合标准的自动紧急自动系统 (AEBS) 功能。
2017年	中国智能网联汽车产业创新联盟	《合作式智能交通系统车用通信系统应用层及应用数据交互标准》	中国汽车工程学会的团体标准，填补了国内 V2X 应用层标准的空白。
2017年	工信部、国家标准委	《国家车联网产业标准体系建设指南 (智能网联汽车)》	明确智能网联汽车标准体系建设的指导思想、基本原则、建设目标和标准体系框架。
2018年 4月	工信部、交通部、公安部	《智能网联汽车道路测试管理规范 (试行)》	明确道路测试的管理要求和职责分工，规范和统一各地方基础性检测项目和测试规程。
2018年 6月	工信部	车联网 (智能网联汽车) 直连通信使用 5905-5925MHz 频段的管理规定 (征求意见稿)	拟规划 5905-5925MHz 频段作为 LTE-V2X 技术的车联网 (智能网联汽车) 直连通信的工作频段。
2018年 6月	工信部、国家标准委	《国家车联网产业标准体系建设指南 (总体要求)》等系列文件	全面推动车联网产业技术研发和标准制定，促进自动驾驶等新技术新业务加快发展。
2018年 7月	交通部	《自动驾驶封闭场地建设技术指南 (暂行)》	国家部委出台的第一部关于自动驾驶封闭测试场地建设技术的规范性文件。

#### (四) 国内外道路测试和示范现状

道路测试和示范运行是全球自动驾驶汽车产业化和商业化的基础。美国、欧盟、日本等汽车发达国家及地区十分重视自动驾驶汽车示范运行，纷纷开展自动驾驶汽车测试示范区建设，通过模拟多种道路和场景，测试实际自动驾驶汽车运行中的关键系

统的技术能力。美国密歇根州、亚利桑那州、加利福尼亚州以及俄亥俄州等批准自动驾驶汽车测试，其中加州已经允许开展无人驾驶测试。德国允许高度或全自动驾驶系统代替人类自主驾驶，并已在高速公路上专门开辟测试路段。日本开展了自动驾驶汽车测试与示范运营。

表 5. 国外典型自动驾驶汽车测试示范区概况

国家	示范区/项目	概况
美国	M-city	由密歇根大学和密歇根州交通部共同出资建立，是世界首个专门为测试无人驾驶汽车、V2V/V2I 车联网技术而打造的无人驾驶测试试验区。M-city 位于安娜堡市，占地 32 英亩，主要包括用于模拟高速公路环境的高速实验区和用于模拟市区和近郊的低速实验区两个区域。目前已与福特、通用、本田、日产、丰田、德尔福等 15 家车企及零部件供应商以注资方式展开合作。
	Willow Run	位于密歇根州伊普斯兰提小镇，面积超过 335 英亩，由密歇根大学主导建设。Willow Run 将作为 M-city 2.0 版本，拥有更加复杂的交通环境布局，如供测试使用的高速路，以及三层立交桥，路面上还有天然的坑洞。目前基地已经得到了密歇根州政府 2000 万美元财政补贴，预计用两年时间建设完毕，并在 2018 年初对外开放。
	GoMentum 基地	位于旧金山硅谷以北 40 英里，是一座废弃的海军基地，占地 2100 英亩。目前，已经铺好 20 英里的公路和街道，建有立交桥、隧道、铁路等模拟基础设施。具有距离硅谷距离较近的地理位置优势，谷歌、苹果等互联网公司，以及奔驰、大众和日产等汽车企业的本地研发部门开展合作。
	Castle 空军基地	2014 年，谷歌租用 Castle 空军基地内 60 英亩的土地(目前已增加至约 100 亩)，用来测试谷歌的无人驾驶汽车并培训在无人驾驶汽车运行时的监控司机。该示范区距谷歌总部仅 2.5 小时路程。
欧盟	瑞典 AstaZero 测试场	位于瑞典哥德堡市附近，总投资 5 亿瑞典克朗，由 AsteZero 集团建设。总占地面积约 200 万平方米，设置 4 个 40×25 米的活动模块用以模拟城市环境；同时还有一个直径 240 米的环形高速测试区，通过减速带与另一条 700 多米长的多车道道路相连。瑞典科技研究所和查尔姆斯大学共同拥有该测试场，目前已和沃尔沃、斯堪尼亚等公司开展合作。
	德荷奥三国 ITS Corridor 项目	2013 年，德国、荷兰、奥地利三国签订协议，实施 Cooperative ITS Corridor 项目，即在一条连接三国的高速公路上建设智能交通设施。
	瑞典 Drive Me 项目	2013 年，沃尔沃汽车集团宣布与瑞典哥德堡政府和交管部门合作，在瑞典哥德堡市内及周边的公共道路上进行无封闭自动驾驶测试，代号“Drive Me”。
	德国 A9 高速公路测	2015 年，德国交通部启动无人驾驶汽车测试项目，测试地点位于连接慕尼黑和柏林 A9 高速公路区间。

	试项目	
	英国	2015年，英国政府在布里斯托、格林威治、考文垂、米尔顿凯恩斯等四个城市启动无人驾驶测试项目。
日本	茨城县日本汽车研究所	2016年，日本政府在茨城县日本汽车研究所内建设一个15万平方米的自动驾驶汽车测试基地。
	“Robot Taxi”项目	2016年，机器人出租车公司研发的自动驾驶出租车开始在神奈川县藤泽市试运营，乘客可利用手机APP软件叫车。

我国积极推进自动驾驶汽车测试示范区建设工作，初步形成了“5+2”的建设格局。各地区结合自动驾驶汽车发展状况，依托地区优势、特色资源，积极探索和建设示范区。北京-河北、上海、重庆、浙江、长春、武汉、无锡等地已建设自动驾驶汽车测试示范区，积极推动半封闭、开放道路的测试验证。北京-河北示范区具有独特的北方平原地貌特点、夏季酷热冬季冰雪四季分明的气候环境以及北京、天津、河北等地异常复杂的交通流环境，为示范区建立更加全面的自动驾驶汽车、智慧交通测试环境创造了有利条件。上海示范区已完成多个测试场景建设，为多家国内外企业提供测试服务。重庆i-VISTA示范区具有独特的多雾气候、山川地貌特征繁杂等山城环境，可以提供多样的自动驾驶汽车测试场景。

表 6. 中国自动驾驶汽车示范区概况

名称	场景功能	特色分析	参与机构	
国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区	分为高速公路试验区、城市交通试验区及乡村交通试验区	封闭测试（高速+城市交通+乡村交通）与实际道路测试结合，京津冀地区联动	千方科技、亦庄国投、百度、北汽、大唐、中兴、长城汽车等15家	
国家智能网联汽车（上海）A NICE CITY 示范区	设有模拟隧道、林荫道、加油站、室内停车场等场景	GPS/北斗；DSRC、LTE-V、城市化道路网、新产业协同发展	上海国际汽车城、上汽集团、同济大学等	
浙江示范区	杭州云栖小镇	设有小微站、宏站、车联网指挥中心等	LTE-V、5G 车联网指挥中心、互联网汽车	浙江移动、华为、上汽、西湖电子等
	桐乡乌镇	智能停车、紧急避让等多种场景	智能停车功能测试	中电海康、诺基亚、上海贝尔等

重庆 i-VISTA 智能汽车集成系统试验区	设有直道、弯道、隧道、桥梁、淋雨道、林荫道、ABS 低附路等	GPS/GLONASS/北斗、4G/5G 通信网络、DSRC/LTE-V、中国西部地形特征和气候环境	中国汽研、长安、一汽、易华录等
武汉“智慧小镇”示范区	封闭测试区+智慧小镇进行新能源+智能网联轿车/客车/专用车自动驾驶测试	DSRC/LTE-V、通信网+物联网+智慧网三网、无人驾驶示范小镇	武汉·中国光谷汽车电子产业技术创新战略联盟(CECOV)牵头
长春智能网联示范测试基地	智能驾驶、智慧交通技术，拥有冰雪天气条件	专注 LTE-V/5G 高速试验网络功能测试	车载信息服务产业应用联盟(TIAA)理事单位一汽、启明信息主导推动
国家智能交通综合测试基地(无锡)	智能交通管理技术综合测试平台、交通警察实训平台、智能网联汽车运行安全测试平台	构建实际道路测试场景和管理平台推动解决智慧交通、车联网等交通问题	公安部交通管理科学研究所(无锡所)

### 三、北京市自动驾驶汽车技术发展现状

北京市自动驾驶汽车技术加速布局，形成了种类齐全、配套完整的产业体系，并具备电子、通信、人工智能算法、大数据、智能基础设施建设等多方面的有利条件，具有在国内领先的自动驾驶汽车政、产、学、研、用配套体系，科研创新能力强，产业基础雄厚、人才优势明显，为北京市自动驾驶汽车产业发展提供了强有力支撑。

北京市在政策创新、标准制定、测试环境的开放程度和测试牌照发放与道路测试方面，正在向国际领先水平追赶。根据《北京市自动驾驶车辆道路测试 2019 年度工作报告》披露的数据显示，截止到 2019 年底，北京市已累计开放 4 个区县的自动驾驶测试道路，共计 151 条，503.68 公里；开放全国首个自动驾驶测试区域，面积约 40 平方公里；开放全国首个车联网（智能网联汽车）和自动驾驶地图应用试点区域；累计为 13 家自动驾驶企业 77 辆车发放一般性道路测试牌照；首次为百度公司 40 辆车，

发放了允许载人测试的联席审查意见；测试里程超 100 万公里，整体安全可控。开放测试道路、区域、服务规模、测试牌照及测试里程均居全国第一。

### （一）北京市自动驾驶汽车产业环境

自动驾驶产业的发展离不开政策、标准、基础环境等方面全方位支撑。为促进自动驾驶技术发展，北京市自动驾驶测试管理联席工作小组持续督导中关村智通智能交通产业联盟、北京智能车联产业创新中心（以下简称“智能车联”）等不断完善标准建设、开放测试环境，解决企业从技术验证到商业化验证发展过程中的实际问题。

#### 1. 政策持续创新

北京市政府积极顺应自动驾驶汽车产业发展的新形势、新机遇，在产业规划、标准制定、创新激励、示范应用等方面制定多项政策措施，引导相关主体把握机遇，为自动驾驶汽车产业发展营造良好环境。2016 年 11 月，北京市经信委发布《北京市鼓励发展的高精尖产品目录(2016 年版)》，将自动驾驶汽车列为创新前沿产品。2017 年 12 月，北京市发布《北京市加快科技创新培育新能源智能汽车产业的指导意见》，提出构建新能源智能汽车产业体系。为鼓励、支持、规范自动驾驶汽车研发和推进应用，支持自动驾驶车辆开展相关测试工作，北京市经信委先后联合市交通委、市公安局相继发布了《北京市关于加快推动自动驾驶车辆道路测试有关工作的指导意见（试行）》《北京市自动驾驶车辆道路测试管理实施细则（试行）》及相关技术文件。

表 7. 北京市自动驾驶汽车政策持续创新情况

序号	政策迭代方向	实施细则 2017.12	实施细则 2018.8	联席会 2018.10	联席会 2019.3	实施细则 2019.12
1	车牌续发		可续发 1 次（三个月）		可续发 3 次（一次三个月）	可续发 3 次（一次三个月）
2	支持规模化测试	一批次不超过 5 辆，每批次累积完成 5000 公里及能力评估		符合条件的，可一次申请多批次，一批次不超过 5 辆，多批次累积完成 5000 公里，每批次完成能力评估		符合条件的，一批次不限 5 辆，累积完成 5000 公里及能力评估
3	丰富测试内容					增加载人、载物、编队行驶测试
4	测试方法多样化	封闭试验场测试				封闭试验场测试、仿真+封闭试验场测试

2019 年 6 月，北京市自动驾驶测试管理联席工作小组发布了《北京市自动驾驶车辆测试道路管理办法（试行）》，鼓励各区县依据技术要求，因地制宜遴选测试道路，并允许选取开放自动驾驶测试区域。

2019 年 9 月，自然资源部、工业和信息化部、北京市经济和信息化局、北京市规划和自然资源委员会共同启动车联网（智能网联汽车）和自动驾驶地图应用试点（以下简称“地图应用试点”）。

2019 年 12 月，自然资源部、工业和信息化部与北京市人民政府正式签约全国首个地图应用试点，并将地图应用试点落地国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区亦庄基地及北京经济技术开发区，智能车联网作为试点依托单位，将在保障地理信息安全基础上，分阶段、分步骤地有序开展地图试点工作，推进我国自动驾驶地图政策、管理和技术等方面创新发展。

## 2. 标准不断完善

在北京市自动驾驶测试管理联席工作小组的指导下，北京市科委、中关村管委等单位的支持下，中关村智通智能交通产业联盟联合产业上中下游龙头企业、科研院所等，共同研制自动驾驶相关标准，解决产业发展中的瓶颈问题。联盟自成立以来，累计已发布 8 项团体标准，已立项待发布 1 项。其中，3 项被北京市认定为自动驾驶相关评价标准，1 项入选工信部百项团标，3 项被认定为“中关村标准”，并面向全国推广应用。具体工作如下：

不断分析研究道路交通组成，拆解复杂交通环境构成因素，结合自动驾驶技术的演进，不断迭代更新以道路交通复杂度划分自动驾驶车辆能力的测试方法与标准。

继 2018 年推出服务型电动自动行驶轮式车技术要求之后，研究并发布了场(厂)内专用自动驾驶纯电动小型巴士技术规范，进一步完善多种自动驾驶产品形态的测试方法。

研究自动驾驶仿真测试场景集定义，推动场景库的建立。

新增并更新自动驾驶测试道路及开放测试区域的选取要求。

研究并制定道路测试安全管理规范，保障自动驾驶车辆道路测试过程中的安全。

研究了自动驾驶车辆道路测试数据采集技术要求，参与研究车联网相关的通信协议，推进自动驾驶与车联网的通信、接口协议等相关标准，支持中国特色自动驾驶路线的技术发展。

### **3. 环境支撑稳固**

北京市具有良好的移动网络环境，4G 网络已实现城乡全覆盖，并率先启动 5G 试验网建设，部分区域已开展 5G 远程驾驶、自动驾驶等应用。北京市是国内最早发展智能交通系统的城市之

一，城市公交车辆已实现卫星定位全覆盖，机场高速等 7 条高速公路实现视频监控及断面交通流检测全覆盖，智能化交通运行管理系统基本建成。交通管理指挥控制系统可以 24 小时自动采集遍布全市快速路、主干路网的路面交通流量、流速、占有率等运行数据。北京交通运行监测调度中心每天新增 30G 数据，能够从海量数据中快速、准确提取出高价值信息，为管理决策人员提供可靠的解决方案。京津冀区域一体化综合交通运行协调指挥平台、北京市停车资源管理与综合服务应用平台、交通数据开放共享平台、便民信息服务建设综合交通出行信息服务平台正在加快建设。

## （二）北京市自动驾驶汽车产业基础

### 1. 汽车产业体系完备

北京市汽车产业形成顺义区、北京经济技术开发区、昌平区、房山区的多点布局、集聚发展态势，整体产业发展处于全国前列。2018 年，北京市汽车产业规模以上企业达到 240 家，实现工业总产值 4046.5 亿元。目前，北京市已形成以北汽集团为核心，涵盖乘用车、商用车、关键零部件等完善的汽车产业体系，整车设计、工程化开发和智能制造水平稳步提升，产品谱系齐全。同时，北京市具有较为完备的新能源汽车整车及零部件供应链体系，基本掌握电池、电机、电控等三大关键核心技术及系统集成技术，新能源汽车推广成效显著。

### 2. 骨干企业实力雄厚

北京市自动驾驶汽车上下游企业在整机产品、关键技术、研发设计、应用服务等方面取得积极进展，为产业快速发展奠定了良好基础。

北汽集团位列全球汽车行业第 14 位，世界 500 强第 124 位，旗下北汽新能源是我国纯电动乘用车业务的领跑者，纯电动汽车销量连续 5 年位居全国第一，目前已与百度、博世、科大讯飞等国内外知名企业在自动驾驶、车联网、在线导航、语音交互等领域开展深度合作，并有望在 2021 年实现 L4 级自动驾驶技术量产应用。

百度是国内布局无人驾驶汽车最早的企业，基于自身在 SD 地图、ADAS 地图、高精地图、人工智能、大数据等方面的技术优势，正在全力实施“Apollo”自动驾驶平台开放计划，着力打造自动驾驶汽车新生态，目前已与国内外超过 130 家整车汽车企业以及出行服务商、通信企业、初创企业、高等院校开展自动驾驶软件服务、车联网解决方案以及汽车大数据服务等方面合作。

大唐电信、新岸线等公司在车联网、5G 核心网络架构、5G CU/DU 架构设计等 5G 标准化领域处于国际领先水平，拥有信息通信相关自主知识产权、安全技术、芯片设计、软件平台、集成应用和一站式解决方案的产业优势。

### **3. 重点领域优势突出**

北京市在自动驾驶系统、出行服务、测试示范等领域具备国内领先乃至世界先进的优势。百度在国内率先实现了城市、环路及高速道路混合路况下的全自动驾驶，全球首款 L4 级自动驾驶

巴士“阿波龙”量产下线；滴滴在超过 400 个城市为 4.5 亿用户提供出行服务，日订单超过 2500 万，全球 60%网约车订单来自于滴滴出行服务平台。北京企业还建设了全球首条自动驾驶汽车潮汐试验道路，开发的低速无人环卫车已经服务于雄安新区，累计测试超过 30 万公里。

#### 4. 创新资源集聚形成

北京市拥有突出的教育资源优势，清华大学、北京大学、北京航空航天大学、北京理工大学等知名高校的理工类学科全国领先，10 余所高校均将智能车辆、智能交通作为重要研究方向。中科院自动化研究所、中国信息通信研究院、交通运输部公路科学研究院、中国电子信息产业发展研究院、中国电子技术标准化研究院、中国软件评测中心、中国北方车辆研究所等一大批科研院所均在自动驾驶汽车产业政策研究、关键技术研发、测试与评价等方面均有布局。同时，北京市自动驾驶汽车创新平台不断涌现，国家新能源汽车技术创新中心、国汽(北京)智能网联汽车研究院、北京智能车联产业创新中心、中国智能网联汽车产业创新联盟、中关村智通智能交通产业联盟相继成立。科技部批复百度建设自动驾驶国家新一代人工智能开放创新平台。北京经济技术开发区正在加快推进国家级自动驾驶汽车创新中心建设，顺义区支持国家汽车质量监督检验中心深入开展自动驾驶汽车检测验证及标准制定，推进自动驾驶汽车研发设计、检测验证业务。

#### (三) 北京市自动驾驶汽车测试现状

##### 1. 测试环境加快开放

2019 年度，持续推进自动驾驶车辆测试的“场（封闭试验场）—路（开放测试道路）—区（开放测试区域）”三级测试环境的建设与开放。

（1）认定北京首个最高级别（T5 级）封闭试验场，支持更高级别测试需求

截止到 2019 年底，北京共有封闭试验场地 3 个。2019 年 5 月，北京市认定了首个 T1-T5 级别的封闭试验场地国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区亦庄基地。亦庄基地，面积为 650 亩，拥有高速、城市、乡村场景，覆盖京津冀地区 85%以上的城市场景、90%高速公路场景，可满足 12 米以下自动驾驶车辆以及无人配送、外卖、监管巡逻等轮式车的全天候多气象条件的测试评估需求。

（2）扩增测试道路，支持更多实际场景测试需求

2019 年，北京经济技术开发区、顺义区新增了 107 条，380.68 公里的自动驾驶测试道路，公里数增加比例达 309%。截止到 2019 年底，已累计在海淀区、顺义区、北京经济技术开发区和房山区开放 151 条，503.68 公里的测试道路。

（3）开放测试区域，推进自动驾驶产品形态、应用场景、商业模式探索

2019 年，在北京经济技术开发区开放了全国首个 40 平方公里的测试区域，可为自动驾驶车辆进行 Robotaxi、接驳、分时租赁、编队行驶等商业模式探索提供测试环境。

（4）加大 V2X 设备部署规模，满足车路协同测试需求

2017年，在北京市经济技术开发区已建设支持车路协同的测试道路12公里（7个路口）。2019年，扩建到40公里（36个路口）。

截止到2019年底，智能车联联合北京千方科技股份有限公司在中关村自动驾驶创新示范区环保园、北京经济技术开发区、北京CBD等道路上已部署近百套V2X设备。

（5）创建全国首个车联网（智能网联汽车）和自动驾驶地图应用试点，推进产业化

2019年，依托北京市自动驾驶道路测试以及智能车联工作成果，全国首个车联网（智能网联汽车）和自动驾驶地图应用试点设立在北京经济技术开发区40平方公里测试区及国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区亦庄基地（以下简称“亦庄基地”）。试点将加强5G、RTK基准站地基增强网络、车联网等试验基础环境，全面支持自动驾驶产业创新。



图 2. 北京市场-路-区三级测试环境的开放图

## 2. 牌照发放与测试情况

截止到2019年12月31日，共有13家企业，涵盖6家互联网企业、6家主机厂、1家地图厂商共计77辆车，参与了北京市自动驾驶车辆一般性道路测试，路测里程达104万公里。申请企业数、车辆数、路测里程均位居全国第一。其中，2019年度，有12家企业，73辆车参与北京市自动驾驶车辆一般性道路测试，并首次为百度公司40辆车，发放了允许载人测试的联席审查意见。

表 8. 北京市测试牌照发放与道路测试情况

测试主体名称	2018-2019 年度		2019 年度		
	累计车辆数 (辆)	累计里程数 (万公里)	道路测试车辆数 (辆)	载人测试车辆数 (辆)	测试里程数 (万公里)

北京百度网讯科技有限公司	52	89.39	52	40	75.4
上海蔚来汽车有限公司	2	0.35	1	/	0.11
北京新能源汽车股份有限公司	1	0.02	0	/	0.00
戴姆勒大中华区投资有限公司	2	0.09	2	/	0.04
北京小马智行科技有限公司	7	12.13	5	/	11.12
腾讯大地通途（北京）科技有限公司	1	0.42	1	/	0.39
苏州滴滴旅行科技有限公司	2	0.14	2	/	0.13
奥迪（中国）企业管理有限公司	1	0.10	1	/	0.09
北京智行者科技有限公司	2	0.14	2	/	0.14
重庆金康新能源汽车设计院有限公司	1	0.00	1	/	0.00
北京四维图新科技股份有限公司	1	0.12	1	/	0.12
丰田汽车研发中心（中国）有限公司	4	1.11	4	/	1.11
北京三快在线科技有限公司	1	0.01	1	/	0.01
合计	77	104.02	73	/	88.66

#### （四）北京市自动驾驶汽车发展趋势

##### 1. 车型国产化趋势明显

测试主体在改装车辆时，选择国产车型的趋势明显增加。2018年，获取道路驾驶牌照的国产车型有哈弗、蔚来、北汽共3款车型。2019年，新增红旗、东风风光、WEY、比亚迪4款车型，国产车型种类增长率达133%。

##### 2. 车辆量产化方案初现

2019年，由百度和一汽合作生产的红旗E届在北京开展测试。这款车型从传感器布置、设备选型和整车布置等方面都已经进入小规模量产阶段—这是目前在封闭试验场出现的专业性最强、集成度最高的测试车型。

### 3. 高端零部件对外依赖降低

2019年，测试主体在激光雷达的品牌选择上开始向国产化靠拢，国产品牌占比由2018年的20%提升至2019年的40%；测试主体不再选用业内高线数（128线及以上）的激光雷达，线数选择上比前一年有明显的降低。主激光雷达采用40线（含）以下的比例从2018年的50%上升到2019年的73%。

随着技术的不断革新发展，测试主体对高线数激光雷达依赖度逐渐降低，逐步开始向低成本、可量产、可落地的方向上发展。

## 四、北京市自动驾驶汽车技术的问题与建议

### （一）北京市自动驾驶汽车产业面临的挑战

整体来看，我国自动驾驶汽车产业基础与技术研发相对薄弱，尤其在整车研发、传感器、计算平台等领域仍处于起步阶段，相关标准、法律法规相对滞后，道路交通智能化发展与国外发达国家相比较晚。

北京市在推进自动驾驶汽车产业发展的过程中，仍然需要解决一些关键问题，一是在传感器、控制器、执行器等自动驾驶汽车核心电子件、车载智能化软硬件平台、智能感知部件、先进能源动力平台、车载通信系统等方面，关键技术掌控能力仍需进一步提升。二是自动驾驶汽车制造及配套体系仍需完善，传统汽车

制造领域在自动驾驶汽车技术积累与产品研发方面存在局限性，适应自动驾驶汽车制造的新型智能化汽车制造能力尚有不足。三是传统汽车设计制造与计算、通信等能力的融合与协同还需加强，从而进一步适应快速发展的汽车网联化、智能化需求。四是智能交通还需加强统筹规划，在智能路网、云管云控平台、应用示范等方面有待统一标准、提升能力。

## （二）北京市发展自动驾驶汽车产业的建议

### 1. 建设车规级芯片产业生态

北京尚无满足 ISO16949 的代工厂 (Foundry) 和封装厂，导致部分设计企业到境外的车规级代工厂流片。据了解，大陆地区代工厂有无锡上华，封装厂有江苏长电、南通富士通、天水华天满足 ISO16949。目前国内汽车电子的流片和封装主要集中在功率器件上，对于多引脚的汽车电子功能芯片的流片和封装，因为量小，接单意愿较弱。

建议由亦庄政府牵头，组织中芯国际、燕东微电子流片线和中科院微电子所试验线，研究培育专注于满足车规标准 (TS16949+AECQ100) 的流片和封装线，并给予汽车芯片企业一定的流片补贴，推动汽车芯片产业的聚集发展。

### 2. 强化整车智能化带动作用

整车企业智能化技术水平不高，缺乏自主高端智能化车型，难以形成零部件企业聚集效应。建议支持整车企业研究智能化车辆应具备的传感器配置方案、与决策和控制执行的融合方案、信息传输方案等需求，并开展自动驾驶需求条件的技术验证。

一是以电子电气架构为切入点，研发未来自动驾驶汽车的信息物理架构，形成未来汽车架构。充分利用北京自动驾驶系统集成领域创新资源丰富的优势，帮助整车企业在系统集成、总线架构方面予以突破，提升车辆智能化水平。

二是对不同驾驶环境、不同自动驾驶等级所需求的感知能力、通信能力、计算能力配置进行系统研究，研提对应的传感器配置、通信系统配置、处理器配置并进行技术验证，研究网联式和自主式的融合演进关系，并进行技术验证。

### 3. 加大对关键零部件企业的支持

自动驾驶汽车关键零部件领域集中了大量的高精尖企业，其普遍研发在北京，生产制造有外流趋势。

建议加强对多传感器融合高精定位系统、成像级毫米波雷达、固态激光雷达、人工智能视觉处理系统和决策系统、线控底盘、智能座舱等关键零部件高精尖企业的支持；支持5G车联网（C-V2X）技术验证及应用，培育通信+汽车的高精尖企业。引导高精尖企业将制造环节留在北京，形成自动驾驶汽车核心零部件规模化制造能力。

### 4. 建设新型整车制造体系

发挥北京在车载计算平台的优势，积极促进传统车企与车载计算平台的结合，支持互联网企业创新设计制造模式，加快量产L3、L4级别新车。加快研究自动驾驶、虚拟仿真、车辆在环等整车系统级评价方法和测试环境。推动整车企业、互联网公司和出行服务平台之间的竞合生态建设，形成个性化定制、网络化协同的智能制造产业链。

## 5. 加快推进智能网联通信基础设施建设

积极推动北京成为 5G 车联网重点示范应用城市，2020 年在重点区域完成 5G 车联网建设，形成连接车与云的车联网服务能力。整合网络运营商、设备提供商、研究院所等多方力量，形成自动驾驶汽车车内网、车际网和互联网互连标准。支持 5G 车联网芯片、通信基站、路侧单元、车载终端等联网关键设备的研发与产业化。

## 6. 建设动态高精度地图基础数据平台

面向智能网联汽车高级自动驾驶地图应用需求，整合地图服务商、汽车厂商、零部件供应商、基础设施供应商、科研院所以及交通管理数据资源，推动北斗高精度定位、多源辅助定位及相关新型定位定姿技术的深度融合，建设动态高精度地图基础数据平台。支持地图服务商基于地图基础数据平台，开展个性化深度处理和自定义应用。建立包括理论研究、动态数据采集、大数据处理、数据测试认证等在内的高精度地图产业生态体系，形成高精度三维地图自动化、标准化生产能力，推动地图数据快速更新和精准发布，实现高精度地图的多领域应用。