

中国自动驾驶 行业研究报告

2022 年 1 月

36Kr

CHINA 汉能®

前言

2022 年对于中国的自动驾驶行业而言将意义非凡。

在刚刚过去的 2021 年，11 月 25 日，北京市智能网联汽车政策先行区，正式对外发布《北京市智能网联汽车政策先行区自动驾驶出行服务商业化试点管理实施细则（试行）》，并向部分企业颁发国内首批自动驾驶车辆收费通知书。

北京成为国内首个明确认可自动驾驶“Robotaxi”商业化试点的城市，这也标志着国内自动驾驶赛道终于迎来了“下半场”——商业化运营阶段。而高速干线、末端物流、矿区、港口、环卫等应用场景的自动驾驶也将正式进入商业化元年。

在国际上，中国自动驾驶领域的头部参与者已逐渐成为国际自动驾驶行业领先选手，据 2021 年加州 DMV 发布的《2020 年自动驾驶接管报告》数据显示，AutoX 与 Pony.ai 的 MPI（Miles per Intervention，平均每次接管的行驶里程间隔）指标上榜前五名，紧随 Waymo、Cruise 之后。

据天眼查数据显示，自动驾驶赛道自 2016 年开始进入爆发期，之后融资持续攀升，2021 年相关融资高达 94 起，热度在整个汽车出行领域最高，披露融资金额超过 435 亿，同比历史最高。

在这一整年汽车领域超过 3 亿美元的十余笔大额融资中，自动驾驶及相关赛道占据了五席，分别是：地平线、Momenta、斑马智行、文远知行、禾赛科技。

站在产业的角度，随着自动驾驶技术的成熟与商业化落地，汽车产业链原有的价值分配格局将被颠覆，汽车将不再是从属于人的驾驶工具，而是成为自主导航的运输类机器人。

展望未来，自动驾驶将深刻改变汽车产业，汽车很可能会分为两类，一类是有人驾驶的汽车，一类是移动服务汽车。传统的汽车制造商将逐步向运营服务商转型，为用户提供 MaaS（Mobility as a Service）/TaaS（Transportation as a Service）的一站式服务。

客观来说，自动驾驶是一个长坡厚雪的超级赛道，当前正处于爬坡的关键阶段，政策方面有待完善、技术方面仍在持续迭代、商业模式也在从根本上发生着转变，与此同时，行业内还充斥着诸多争议话题。

本报告共有超过 5 万字研究内容，希望从如下方面拆解中国自动驾驶领域，从不同的角度还原中国当下的自动驾驶行业、细分赛道、创投情况，以及我们对于未来自动驾驶乃至汽车、出行产业的预判。

目录

1. 自动驾驶行业现状.....	4
1.1. 中国自动驾驶现状.....	4
1.2. 中美行业发展情况对比.....	7
1.3. 行业整体融资情况.....	8
1.4. 自动驾驶产业链结构分析.....	8
2. 自动驾驶主要应用领域分析.....	10
2.1. Tier 1.....	11
2.2. ADAS.....	13
2.3. 芯片.....	17
2.4. 激光雷达.....	19
2.5. 高精定位.....	25
2.6. Robotaxi.....	27
2.7. 高速干线.....	32
2.8. 末端物流.....	35
2.9. 矿区.....	39
2.10. 港口.....	42
2.11. 环卫.....	44
3. 当前行业面临的挑战和破局点.....	49
3.1. 政策有待完善.....	49
3.2. 技术仍在持续迭代.....	52
3.3. 成本下降是关键.....	53
4. 当前行业争论话题.....	56
4.1. 单车智能 VS 车路协同.....	56
4.2. 视觉 VS 融合.....	59
4.3. 全栈 VS 非全栈.....	63
4.4. 渐进式 VS 一步到位.....	64
4.5. 场景降维打击是否可行.....	66
5. 未来行业趋势判断.....	67
5.1. 商业模式转变.....	67
5.2. 不同阶段需要关注指标：技术、量产、商业化.....	69

1. 自动驾驶行业现状

1.1. 中国自动驾驶现状

1.1.1. 发展历程

1) 2009-2012: 科研探索, 学术积累

国家自然科学基金委员会 2009 年起每年举办一届“智能车未来挑战赛”，研发具有自然环境感知与智能行为决策能力的无人驾驶汽车，并通过真实道路环境下的自主行驶来检验研究成果。2011 年国防科技大学与一汽合作研发的红旗 HQ3 无人驾驶车完成了从长沙至武汉 286 公里的高速全程无人驾驶实验，标志着我国无人车在复杂环境识别、智能行为决策和控制等方面实现了新的技术突破。

2) 2013-2016: 互联网巨头下场, 初创厂商涌入

2013 年百度开启无人驾驶项目，陆续于北京、加州进行路测，并在乌镇开放无人驾驶车辆试运营。华为与百度同年起步，与车企进行合作逐步迈入车联网供应商序列。AutoX 于本阶段尾声入场，2016 年成立后于同年完成开放道路测试。小马智行于 2016 年 12 月创立，切入 Robotaxi 领域。景驰、Roadstar 等相继入局，自动驾驶浪潮袭来。

3) 2017-2021: 巨头发力, 迈入领先

此阶段中国自动驾驶实现跨越式发展。百度发布 Apollo 计划并经 4 年演绎实现 Robotaxi 落地商用探索，同时 L4 级自动驾驶解决方案也已降维装车量产；华为明确其市场定位，为主机厂提供优质智能汽车解决方案，以自动驾驶、车联网等核心技术赋能主机厂；自动驾驶独角兽与小马智行技术进程不断推进，陆续推出、完善产品及服务。同时期，自动驾驶产业链逐渐成熟，上游核心传感器厂家不断涌现，下游场景解决方案纷纷开始落地。

据 2021 年加州 DMV 发布的《2020 年自动驾驶接管报告》数据显示，中国自动驾驶领域的头部参与者已逐渐成为国际自动驾驶行业领先选手，AutoX 与 Pony.ai 的 MPI（脚注：Miles per Intervention，平均每次接管的行驶里程间隔）指标上榜前五名，紧随 Waymo、Cruise 之后。

1.1.2. 发展驱动因素

1.1.2.1. 政策：国内多部门出台政策护航自动驾驶发展

计划到 2025 年，中国标准智能汽车的技术创新，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。

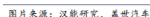
除了积极推进政策立法，2018 年开始，智能网联汽车示范区也在全国陆续开花。除工信部合作推进的一批智能网联或自动驾驶示范区成立外，陆续有部分省市通过与机构合作，或资本合作等形式，打造基于自身产业需求的智能网联汽车测试场景。其中，以北京经济技术开发区全域为核心的北京市高级别自动驾驶示范区，是全球首个网联云控高级别自动驾驶示范区。2021 年成立至今，目前已累计开放 1,000 公里自动驾驶测试道路，测试里程超过 300 万公里，开通 5G 基站 5.64 万个¹。

日期	发布单位	政策名称	政策内容
2019.09	中共中央、国务院	《交通强国建设纲要》	推动大数据、互联网、人工智能、区块链、超级计算等新技术与交通行业深度融合。
2019.12	天津市工信局	《天津市车联网（智能网联汽车）产业发展行动计划	加快核心技术攻关（视觉传感器、超声波雷达等），加强基础设施建设包括数字化升级改造、车联网大数据中心及云平台建设等。
2020.02	国家发改委等11部委	《智能汽车创新发展战略》	到2025年智能交通系统和智慧城市相关设施建设取得积极进展，新一代车用无线通信网络（5G/6G）在部分城市、高速公路逐步开展应用，高精度时空基准服务网络实现全覆盖。
2020.04	工信部	《2020年智能网联汽车标准化工作要点》	加快推进汽车智能化标准制定，协同推动汽车网联化标准制定。
2020.06	四川省经信厅等	《关于推进智能网联汽车产业发展的通知》	对复杂环境感知、智能决策控制、人机交互及人机共驾等前瞻性关键技术记忆性突破，并推进高精度传感器、车规级芯片等产品研发与产业化。
2020.01	国务院	《新能源汽车产业发展规划（2021-2035年）》	发展一体化智慧出行服务。加快建设涵盖前端信息采集、边缘分布式计算、云端集中管控的新型智能交通管控系统。
2020.11	中国智能网联汽车创新中心	《智能网联汽车技术路线图2.0》	“人-车-路-云”高度协同，提高通信网络、道路交通、地图定位等智能化基础设施覆盖度。
2021.04	工业和信息化部	《智能网联汽车生产企业及产品准入管理指南（试行）》	规定了L3、L4级自动驾驶企业级产品的准入纲领性要求，行业准入门槛很高，企业级产品准入成本将更高。
2021.08	公安部、交通运输部	《智能网联汽车道路测试与示范应用管理规范（试行）》	推动汽车智能化、网联化技术应用和产业发展，规范智能网联汽车自动驾驶功能测试与示范应用。
2021.09	工业和信息化部等8部委	《物联网新型基础设施建设三年行动计划（2021-2023年）》	打造车联网（智能网联汽车）协同服务综合监测平台，加快智慧停车管理、自动驾驶等应用场景建设，推动城市交通基础设施、交通载运工具、环境网联化和协同化发展。

1.1.2.2. 技术：汽车电子电气架构由分布式走向集中，软硬件解耦提高软件开发效率

传统汽车主要采用分布式电气架构，即每个车载功能对应一个或多个 ECU（汽车电子控制器），各 ECU 之间通过 CAN 总线进行信号传输。ECU 主要用于接收来自传感器的信息，进行处理后，输出相应的控制指令给到执行器执行。整车企业电控系统开发的主要工作（软件算法、匹配标定等）都依托于 ECU 完成。

¹ 截止至 2022 年 1 月数据

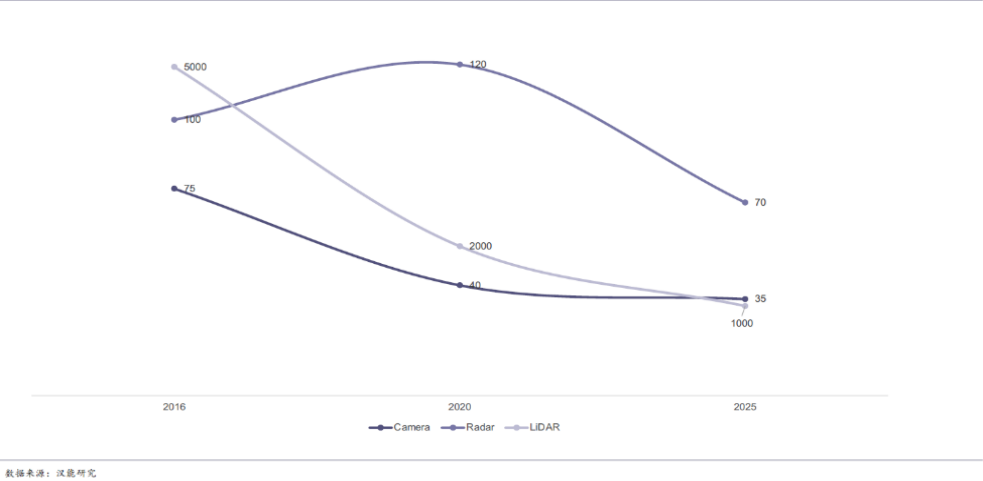


EE架构演进趋势

图片来源：汉能研究，博世，麦肯锡

加上未来自动驾驶技术发展带动供货量上升，将有较大降幅空间。2019 年，Luminar 发布了价格不到 1,000 美元的 LiDAR 解决方案。Velodyne 公司则计划到 2024 年将平均售价从 2017 年的 17,900 美元降至 600 美元。2020 年，华为宣布其将量产的激光雷达单价在 200 美元以下。

传感器下降趋势



1.2. 中美行业发展情况对比

从技术端来看，美国单车智能高度领先。作为人工智能企业数量位居全球首位的国家，美国人工智能领域全球领先，人才储备充足、基础科研实力强，相关企业数量遍布基础层、技术层和应用层。另外，美国拥有发达的集成电路技术，高端芯片设计领域一直保持领先态势，为高性能车载芯片的发展打下了良好的基础。

相比之下，我国“云+车+路”技术路线具备弯道超车的机会。我国 4G 和 5G 基站数量多、覆盖范围广，加上中国政府大力推动 5G 网络、物联网、卫星互联网、数据中心等新型基础设施建设，支持 LTE-V2X 向 5G-V2X 演进，车路协同技术优势较为明显。

从商业端来说，美国由于存在较大人力缺口，企业更愿意为人员替代付费，进展更多集中在 Robotaxi 及无人物流领域。2018 年，Waymo 率先在亚利桑那州向其早期用户免费开放无人出租车服务，2020 年 10 月，Waymo One 在凤凰城首次向公众开放无人驾驶出租车业务。同年 2 月，美国国家公路交通安全管理局（NHTSA）批准 Nuro 率先部署无人送货车。相比之下，中国对人工智能的接受力度较大，更愿意从安全提升、效率提升层面为自动驾驶买单，特殊场景的商业化进展相对更快。



- 政策大开绿灯，目前已有7个州允许公开道路测试，19个州允许商业运营
- 美国因为人才、高端制造产业链、资本等方面的实际优势，在单车智能上高度领先
- 美国存在较大人力缺口，企业更愿意为人员替代付费，进展更多集中在Robotaxi及无人物流领域

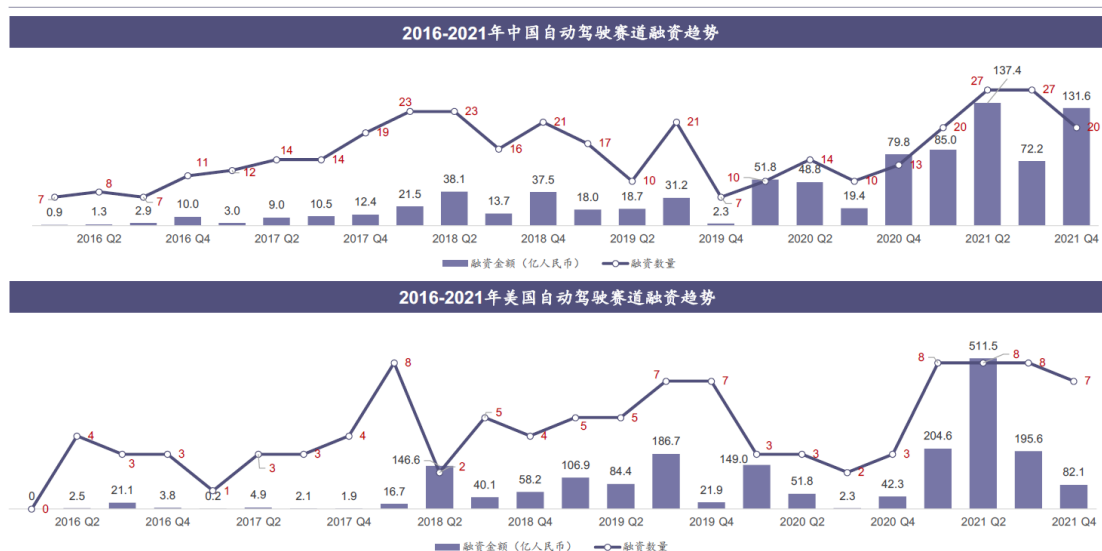


- 中国路线以安全为重，监管十分严格，目前仅开放有限的道路测试和试运营，政策开放相对平稳
- 中国大力推动 5G、车路协同，「云+车+路」技术路线具备弯道超车机会
- 中国对人工智能的接受力度较大，更愿意从安全提升、效率提升层面去买单，特殊场景的进展相对更快

1.3. 行业整体融资情况

据天眼查数据显示，自动驾驶赛道自 2016 年开始进入爆发期，2016 年全年共有 38 起自动驾驶相关融资。随后，自动驾驶赛道融资持续攀升，2021 年相关融资高达 94 起，披露融资金额超过 435 亿。

中美自动驾驶赛道融资情况



行业融资额的增长，一方面是因为流动性充裕的情况向一级市场扩散。更重要的是自动驾驶技术的发展和落地，使得行业逐渐获得资本认可，受到互联网巨头和汽车龙头的重视程度提高。

1.4. 自动驾驶产业链结构分析

自动驾驶汽车功能的实现需要汽车制造商、零部件供应商、车载计算平台开发商、出行服务商供应商等多方主体参与。上游包括感知、传输、决策和执行层；中游为平台层，包括整合的智能驾舱平台、自动驾驶解决方案及传统的车联网 TSP 平台；下游主要为整车厂及第三方服务商。

自动驾驶产业链：面向终端交付产品或服务的中游玩家具备最高的行业价值



数据来源：汉能研究

上游包括感知、传输、决策和执行层。感知层由车载摄像头、雷达系统、高精度地图、高精度定位、导航系统、路侧设备等组成；传输层基于通信设备和服务为自动驾驶提供信号传输，主要包括通信设备和通信服务；决策层包括计算平台、芯片、操作系统、算法等；执行层是对决策命令进行执行，包含线控、电子驱动/转向/制动、系统集成及其他汽车零部件厂商。四条系统环环相扣，实现汽车网联化功能。

- 1) 感知层用于感知外部环境变化、获取相关信息。主要包括智能硬件（传感器、RFID 及车载视觉系统等）、导航（GPS、北斗以及惯性导航系统）、路侧设备等。智能硬件是智能汽车的“眼睛”，无人驾驶硬件系统包括有传感器、RFID、车载视觉系统等。随着车联网、智能互联成为未来趋势，相关硬件产品需求量也日益增大。导航系统是智能汽车的指南针，无人驾驶汽车的导航定位主要通过全球定位系统（GPS）、北斗卫星导航系统（BDS）、惯性导航系统等实时获取车辆的位置、航向、速度。路侧设备是保证自动驾驶实现“车路协同”的必要条件。自动驾驶若仅只有车端的数据，难以实现安全、准确的驾驶，路端的一系列设备也必不可少。车联网路侧建设重点包括 RSU、路侧智能交管设施、MEC 设备等。
- 2) 传输层是基于通信技术将感知层获得的环境信息转换成信号传导到决策层，类似人体的传输神经。传输层主要包含通信设备和通信服务，其中通信设备以元器件、信息交互终端等为主，通信服务主要为 DSRC 和 C-V2X 两种服务自动驾驶的无线通信技术。
- 3) 决策层通过利用感知层、传输层反映回来的信息，建立相应的模型，制定出适合的控制策略。由于真实路况的复杂程度，以及不同人对于不同路况的不同解决对策，决策算法需要覆盖多数罕见路况的海量数据以及完善高效的人工智能技术。从功能上看，决策层主要包含操作系统、芯片、算法、高精度地图以及云平台等核心构成元素。当

前自动驾驶技术真正实现的门槛在于决策层上。

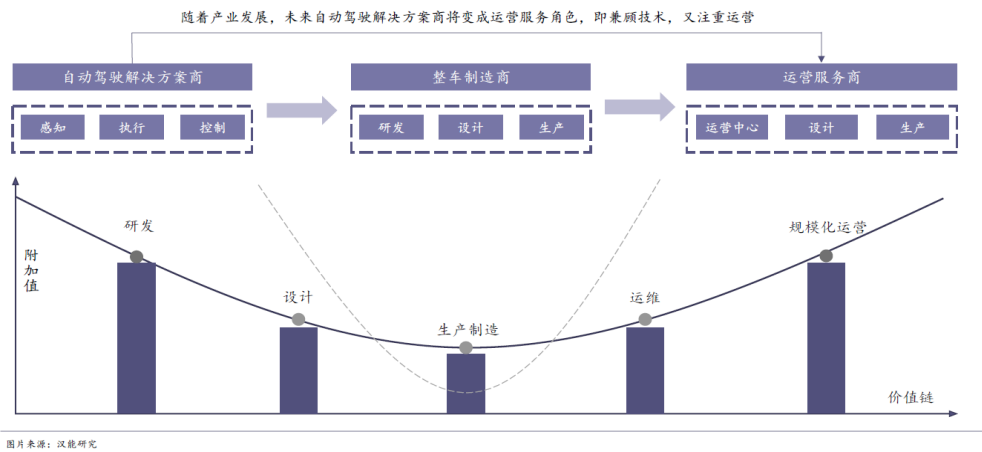
- 4) 执行层是无人驾驶系统的最底层，其核心任务是通过驱动、制动及转向控制系统，相互配合，使汽车能够按照决策部分规划的轨迹稳定行驶，并且同时能够实现避让、保持车距、超车等动作。随着自动驾驶的发展，执行层由驾驶员施加人力、通过真空和液压等推动的方式逐渐被电子化、电动化系统所替代，电信号替代机械力的线控技术在自动驾驶时代全面渗透。

经过各层级的技术研发，最终由整车厂进行技术集成与生产组装，完成无人驾驶产品的生产末环。整车厂商为关键技术企业提供应用、实践平台，科技企业直接向整车厂商提供解决方案、部件。

生产组装完毕的整车，一部分直接销售到消费者端，一部分成为第三方服务商的服务供应车辆。此类服务商一般为移动出行服务商，提供服务所得的数据反馈将协助整车厂及科技企业调整产品研发。部分整车厂也在向第三方服务商转变，或与之开展深度合作，整个无人驾驶产业链呈现生态化、网状化趋势。

未来面向终端交付产品或服务的中游厂商具备最高的行业价值。随着自动驾驶技术的成熟与商业化落地，汽车产业链原有的价值分配格局将被颠覆，汽车将不再是从属于人的驾驶工具，而是成为自主导航的运输类机器人。未来核心零部件由体现动力和驾驶操控体验的传动系统，转向体现自动驾驶技术水平的智能软件系统和处理器芯片，价值链由传统主机厂转向科技公司。非核心零部件和整车制造的利润将被进一步压缩，而产业链两端的利润将大幅提升，未来专注设计研发环节的解决方案提供商、以及与用户更贴近的出行服务和运营服务商利润会更高。

自动驾驶产业链价值分析



2. 自动驾驶主要应用领域分析

自动驾驶产业链复杂，上下游涵盖丰富细分领域。本篇报告中，我们选取各个环节中有代表性场景进行覆盖，重点介绍上游 Tier 1、ADAS、芯片领域，下游针对各种应用场景的解决方案提供商。其中，由于自动驾驶应用场景广泛，根据其功能又可以进一步分为以 Robotaxi 为主的载人场景解决方案，和以高速干线、末端配送、矿区、港口等为主的载货场景解决方案，以及环卫清洁场景解决方案等。

2.1. Tier 1

在自动驾驶时代，新的智能化技术、设备应用在汽车领域，对于中国新兴的 Tier 1 公司来说，是百年难遇的历史性机遇。

据罗兰贝格预测，至 2025 年，在全球范围内，预计只有 14% 的车辆没有 ADAS 功能，40% 的车辆具有 L1 级功能，36% 的车辆具有 L2 级功能，10% 的车辆具有 L3 级或更高功能。

据高工智能研究院数据，2020 年 1-4 月，前视感知方案供应商方面，Mobileye 排名榜首，和第二位的大陆、博世仍有接近 10 个百分点的领先优势。大陆集团受益于部分丰田 TSS2.0 方案陆续上市并从电装开始切换，1-4 月市场份额排名略领先于博世。

但是，由于国家鼓励自主创新，在智能网联领域，已有大量的初创公司从雷达、摄像头、泊车等方面切入，并且其中的一部分公司已经做到了一定的规模。

	感知层				决策	执行层	通用场景		
	摄像头	LIDAR	Radar	高精地图 高精定位			城市	高速	停车
博世	●	●	●	●	●	●	●	●	●
大陆	●	●	●	●	●	●	●	●	●
法雷奥	●	●	●	●	●		●	●	●
采埃孚	●	●	●		●	●	●	●	
维宁尔	●	●			●	●	●	●	●
电装	●	●	●		●		●	●	●
摩比斯	●	●			●	●	●	●	●
麦格纳	●	●			●	●	●		
百度				●	●		●	●	●
腾讯				●	●				
阿里				●	●		●	●	
华为		●	●	●	●		●	●	
德赛西威	●	●			●		●	●	●
东软睿驰	●				●			●	
四维图新				●	●			●	
大疆	●	●	●		●		●	●	●

从国际及国内与自动驾驶相关的主要 Tier1 产品分布领域及场景化布局来看，博世、大陆具备了 Tier1 中最全面产线及布局。

2.1.1. 主要厂商

1) 大陆集团

以受访企业大陆集团为例，据其财报数据显示，在 2018 年到 2020 年间，大陆集团在 ADAS

领域获得来自全球汽车制造商的订单总额超过 90 亿欧元。

大陆集团最新一代多功能摄像头 MFC500 系列以及 4D 成像雷达都将进入规模量产上车周期，同时，其汽车 AI 芯片预计将在 2026 年开始批量投产。大陆集团表示：随着芯片这一环的补齐，大陆向未来车辆高性能计算机所需的高度专业化的传感器模块和控制单元迈出了关键一步。

根据其最新披露的信息，大陆集团将在今年开展复杂路况下的自动驾驶和无人驾驶道路测试，并在制动系统、5G 联网、超宽带 (UWB) 技术、材料开发以及人机交互等多个领域实现新技术落地，同时启动多个量产项目。

2) Mobileye

目前，超过 70% 的 L2 及以上的高级辅助驾驶都在使用 Mobileye 的视觉方案。甚至很多之前自研视觉算法的 Tier1 都选择了放弃自研，直接和 Mobileye 合作，以求快速占据市场。

Mobileye 在前装市场处于明显优势位置，特别是发布 EyeQ4 之后，在 Intel 的助力下，其目标已不再是单纯的视觉方案供应商，而是要成为自动驾驶领域的头部企业。Mobileye 的方案则采用黑盒模式，传统 Tier1 已不能从 Mobileye 获得足够的服务支持。头部 Tier1 意识到 Mobileye 一家独大带来的危机，纷纷寻求其他方案。博世、大陆、电装，坚持使用自研算法，对标 Mobileye 的 EyeQ4 的方案。

2.1.2. 国内主要厂商

国内的 Tier1 觉醒相对较慢，近几年也开始奋起直追。与博世、大陆等不同，国内 Tier1 更多是采取与主机厂深度合作或成立合资公司的捆绑式合作方式，联合研发、落地自动驾驶等技术，助力主机厂拓展全新的高端品牌，并且加快新四化转型，比如：

吉利控股与百度组建智能电动汽车公司，百度将人工智能、Apollo 自动驾驶、小度车载、百度地图等技术全面赋能合资公司；上汽与阿里巴巴合资成立高端纯电汽车品牌“智己汽车”，智己汽车应用阿里的斑马车联网系统，并采用上汽集团的三电核心、智能驾驶等技术；长安与华为、宁德时代将联合成立全新高端智能汽车品牌，三方共同开发 CHN 智能电动汽车平台，搭载华为智能座舱平台 CDC、自动驾驶域控制器 ADC 以及部分三电零部件。启明创投合伙人周志峰认为，智能化和新能源化是公认的汽车行业两大趋势，这两个大的趋势在同一时间点的耦合，也造就了近些年汽车行业的最大机会所在。但汽车智能化的被接受程度和整体落地速度明显超出市场预期，传统 tier1 并没有足够的时间为产品升级做充足准

备，现在处于加速补自己短板进程的态势。但汽车行业的基本 know-how，如汽车的底盘电控等还是掌握在传统 tier1 手里，市场依然对他们有很大依赖度。

除了传统 Tier1 厂商在自动驾驶领域的尝试，以智行者、宏景智驾等为代表的创业公司也凭借着前沿技术研发和业务快速落地推进而跻身领先 Tier1 行列中。

2.1.3. Tier1 现状与未来发展畅想

根据现状推演，未来会出现两种类型的 Tier1：一种深耕垂直领域技术，通过和主机厂建立深度合作关系，为其高效定制开发；另一种以传统 Tier1 为代表，注重广度，为大量主机厂提供通用型整体解决方案，同时帮助主机厂，在功能、安全、硬件、测试、验证等标准化环节快速落地方案。即 Tier1 层面，既要适配主机厂标准化的降本需求，又要满足车企差异化的增效需求。

另外值得注意的是，国际 Tier 1 在实现多层面功能落地的同时，已经开始重启底层系统研发，作为系统与软件应用之间的桥梁，Tier 1 在相继发布中间产品，通过全面的传感器产品布局，为主机厂集中配置自动驾驶方案，降低系统集成的复杂性、降低开发成本、并加快产品落地。

2.2. ADAS

目前行业整体对于 ADAS 的理解存在很大的差异。

之前 ADAS 普遍是在对标 Mobileye 提供完整的 L2、L2+、L3 级前装整体解决方案。

目前 ADAS 已经在跨域车辆、座舱智能的界限、尝试越过 L4 的鸿沟，并进入量产前装、后装市场。Minieye、Momenta 等国内初创公司也在这个领域有了一些变化，这也是资本持续关注这条赛道的原因。

受访企业 Minieye 表示：从下游应用市场来说，ADAS 普及速度加快，L3 级别以下的功能渗透率正在不断增长。从上游产业链来说，ADAS 厂商的竞争长跑进入到下半场，具有优秀技术实力和量产经验的公司开始脱颖而出。

业内认为，L4/5 的爆发，可能还需要 5-10 年甚至更长的时间。但是目前 L2+及以下级别的自动驾驶技术已经爆发，未来的 5-10 年，这个细分赛道将会产生巨大的商业价值。

Momenta			
2021/9/15	C+轮	超5亿美元	通用汽车；上汽投资
2021/3/19	C 轮	5亿美元	领投机构：云锋基金、博世、丰田、淡马锡、上汽投资；跟投机构：顺为资本、凯辉基金、IDG 资本、纪源资本、腾讯投资、相城金控、恒旭资本、Mercedes Benz
2018/10/17	战略融资	2亿美元	元禾控股、蔚来资本、建银国际、腾讯投资、招商局创投、高达资本、尚信资本

Minieye			
2021/7/6	D 轮	未透露	领投机构：中金甲子、东风资管；跟投机构：嘉实投资、元璟资本
2020/10/28	C 轮	2.7亿人民币	嘉实投资、元璟资本、康成亨投资、四维图新、杉杉创投、东方富海、华勤通讯
2019/4/8	B 轮	数亿元人民币	浙商资本、四维图新

福瑞泰克			
2021/7/5	A 轮	超亿美元	领投机构：中国互联网投资基金；跟投机构：恒信华业、惠友资本、卓毅资本、云享乌镇（桐乡）股权投资有限公司、湖南高新投、交银国际控股

禾多科技			
2021/10/29	C 轮	未透露	广汽集团
2021/6/29	B 轮	未透露	同方投资 四维图新，郁林投资
2020/8/27	A+轮	未透露	混沌投资，IDG 资本，四维图新，源星昱瀚基金

通过差异化，和国际范围的头部企业形成错位竞争，拓展新应用领域的能力，成为资本关注的重点。

2.2.1. 主要参与者

1) Momenta

该领域融资势头强劲的 Momenta，已累计获超过 10 亿美元的融资。投资者当中，既有通用、丰田、上汽、梅赛德斯等头部车企，又有博世这样的 Tier1 巨头，当然还有云锋、淡马锡、IDG 等各路知名投资公司。

Momenta 自身定位明确，成为服务车企完成智能化转型的供应商。作为一家自动驾驶公司，Momenta 类似特斯拉 FSD 技术路线，通过初级自动驾驶能力，大量收集所反馈的真实驾驶数据，从辅助驾驶升级无人驾驶，实现渐进式的演进。

目前，Momenta 覆盖两条产品线，一条是 L2 级系统 Mpilot，针对量产车开发，包括了面向

城市道路、高速/封闭道路、泊车场景的高级辅助驾驶；另一条是 L4 级自动驾驶方案 MSD，2020 年底，搭载 MSD 技术的 Momenta GO 正式发布，并计划于 2022 年在部分车辆车端实现无安全员试运营。Mpilot 和 MSD 在底层数据流与算法层面实现共通，加速自动驾驶能力的迭代，通过 Mpilot 的真实道路驾驶数据，训练和优化 MSD 算法，帮助 L4 级自动驾驶能力提升。

从这个角度来说，Momenta 和 Mobileye 都在独立完成整套自动驾驶的软件和算法，Momenta 避开 Mobileye 已经大量占据市场的低端产品线，将自身定位瞄准中高端市场，快速跻身独角兽层级。

2) Minieye

Minieye 专注 L2，研发可量产高级辅助驾驶行车、泊车方案。对于城市道路及高速场景，提供车辆和舱内感知的全域解决方案，包含 L2+ 及其以下级别的 ADAS 解决方案和驾驶员监测 DMS、乘客检测 OMS 以及舱内交互等功能；面向泊车场景，Minieye 开发了自动泊车辅助系统 APA 和自主泊车系统 AVP。

目前，Minieye 的前装量产客户包括东风、柳汽、吉利商用车、上汽、比亚迪、潍柴、江淮、重汽、陕汽等自主品牌，以及江西五十铃、江铃福特等合资品牌。2021 上半年交付量 23 万套，同比增长 245%，全年预估交付智能驾驶产品 50 万套。

3) 宏景智驾

宏景智驾成立于 2018 年，是一家全栈式自动驾驶解决方案服务商，具备完全自主研发的车规级自动驾驶计算平台、全栈的软件算法和完整的系统集成能力，可针对不同客户需求提供定制化的高性能智能驾驶解决方案，全周期赋能 L1-L4 级别智能驾驶。目前主要在干线物流和 ADAS 领域实现落地。

公司在成立初期就获得华登、高瓴、线性、蓝驰等顶尖机构的投资，与英特尔建立智能驾驶创新中心，被评为毕马威 2020 中国汽车科技新锐企业，2019Venture 被评为“中国最具投资价值企业 50 强”。2021 年宏景智驾荣获“世界人工智能大会全球创新最佳项目奖”。

目前，公司已经走过了产品打磨阶段（2,018-2,019），进入了推进量产阶段（2,020-2,021），已推出 5 款车规级自动驾驶解决方案产品，并且已经与江淮汽车成立了合资公司。

宏景战略的核心是“收入+数据+技术”的三角循环：公司通过推出可快速大规模量产的 L1/L2/L2+ 级 ADAS 产品来创造收入和利润、实现自我造血和可持续发展的同时，将借助量产落地的车型来积累大量数据，反哺 L3/L4 高等级自动驾驶系统的技术迭代优化。

此外，专注该场景的初创企业还包括纵目科技、极目智能、追势科技、福瑞泰克、中天安驰等。

2.2.2. 发展趋势

对于 ADAS 赛道未来的现状和变局，主机厂和初创企业具有高度共识：

1) 目前自动驾驶对于车辆的识别技术比较稳定，但对于行人、天气、环境的识别其实还有很大的改善空间。

首先，就用车场景而言，如何让车辆在行人比较多的路况下进行稳定的工作，其实对于目前量产的自动驾驶技术来讲都是比较难的。

其次是自动驾驶对于天气的适应性。因为自动驾驶是构建在传感器技术与识别算法基础上的一个设备，当传感器受到严重影响的时候，自动驾驶需要快速实现车与人安全接管的转换。

第三是交通设施环境设计，这一点需要国家标准的实施，以此推进交通环境不断完善，比如更清晰的道路标识、更标准的隔离带护栏，这些也会有效提升自动驾驶的安全和保障。

2) 整个环境的完善，包括传感器技术的发展，对现阶段来说都是破局的地方。

第一是改善传感器，目前就是通过搭载更高级的激光雷达，与视觉技术进行更精确的融合，以此来实现更准确更安全的自动驾驶。

第二是传感器成本，如何提升算力降低成本，这需要整个行业共同推进，驱动全产业链的规模化进程。

第三是宏观层面的支持，包括国家政策、技术实施、基础设施建设等。

2.2.3. 评判 ADAS 系统的标准

关于如何评价 ADAS 系统的优劣，受访企业 Minieye 表示：

自动驾驶系统是服务于用户的，终极目标是为用户提供更为舒适性和安全性的驾乘体验。

从这个角度而言，对 ADAS 的评价是有一定的主观判断在里面的。在自动驾驶研发的过程中，Minieye 开发了各种评测系统，去评估自动驾驶系统工作的稳定性，并对相关功能的完成度进行标准量化。

比如 Minieye 设计了评测指标，像障碍物识别以及通过交通标识进行测距和测速等，它所完成的精准度就可以衡量我们当前自动驾驶系统的相关功能水平。另外，采用不同的传感器比如激光雷达，再通过多传感器与视觉技术的高度融合来实现一套更精确的系统，这也可以说是判断 ADAS 技术的一种路径。

2.3. 芯片

据 IDC 预计，2020 年全球汽车领域的半导体市场收入约为 319 亿美元，2024 年将达到约 428 亿美元。汽车主控 SoC 系统级芯片的需求逐年增加，到 2030 年，每辆汽车的车载 AI 芯片平均售价约在 1,000 美元，全球车载 AI 芯片市场的规模将达到 1,000 亿美元。当前 L1-L3 级自动驾驶算力芯片单车价值分别为 50 美元、150 美元、500 美元，L4/L5 级自动驾驶算力芯片单车价值约为 1,500 美元，随着技术逐渐成熟，至 2030 年有望下降到 41 美元、111 美元、315 美元、931 美元。

虽然目前我国汽车芯片的进口率高达 95%，但近几年来随着政策、投资力度加大，国内自动驾驶算力芯片企业高速扩张。同时国内 AI 产业规模目前在全球处于领先地位，在 AI 算法人才储备、应用场景设计、数据和落地能力等方面均具备一定优势。

从市场表现来看，尽管几家国内自动驾驶芯片行业的创新企业已经在市场落地，但是在中高端市场，国内芯片企业的表现还有很大的上升空间。

在国际市场上处于领先位置的厂商中，除特斯拉只服务于自家的闭环生态，其余 3 家分别是 Mobileye、英伟达、高通。

据 ADAS 领域国际头部企业 Mobileye 年初报告，2020 年全年，Mobileye EyeQ 系列芯片的出货量达到 1,930 万片，服务于全球 28 家 OEM 厂商共 49 个项目，处于全球市场的绝对领先地位。

2021 年下半年，基于 Mobileye EyeQ5 芯片的自动驾驶方案开启量产，极氪 001 是首款量产车型，预计 2022 年将有更多车型采用基于 EyeQ5 芯片的 ADAS 方案。

今年来，英伟达的高算力芯片在自动驾驶领域异军突起，大量 L4 级自动驾驶公司采用基于英伟达 Orin 芯片进行方案开发。奔驰、沃尔沃、现代、奥迪都已宣布将采用英伟达的解决方案。

而量产车中小鹏 P7 使用了英伟达 Xavier 自动驾驶芯片。明年，蔚来、上汽 R 汽车、智己汽车等造车新势力也将使用英伟达的自动驾驶芯片。

此外，2022 年，高通将量产 Snapdragon Ride 自动驾驶解决方案，长城汽车已经确定搭载使用。高通的 Snapdragon Ride 或将是首款 5nm 制程的自动驾驶芯片，其效能表现让诸多整车厂和自动驾驶公司保持高度关注。

地平线			
2021/6/10	C++++++轮	未披露	韦豪创芯、京东方
2021/5/1	C+++++轮	3亿美元	黄浦江资本、君联资本
2021/4/1	C++++轮	未披露	未披露
2021/3/1	C+++轮	未披露	众为资本、舜宇光学、中金佳成、比亚迪、中源基金
2021/2/9	C++轮	3.5亿美元	众为资本、舜宇光学、上海人工智能产业基金、首钢基金、长江汽车电子、国投招商、星宇股份、中金资本、渤海创富、朱雀投资
2021/1/7	C+轮	4亿美元	云锋基金、中信产业基金、中信建投资本、宁德时代、元钛长青基金、Baillie Gifford、和暄资本、思柏投资、日本ORIX集团、山东高速资本
2020/12/22	C轮	1.5亿美元	今日资本、高瓴资本、KTB、五源资本、国泰君安
2020/9/26	战略融资	未披露	广汽资本
2019/2/27	B轮	6亿美元	云晖资本、海松资本、SK中国、线性资本、高瓴资本、泛海投资、五源资本、民银资本、CSOBOR基金、SK Hynix

黑芝麻智能			
2021/9/22	C轮	数亿美元	领投机构：小米长江产业基金 跟投机构：FutureX 天际资本、联想创投、武岳峰资本、临芯投资、元禾璞华、闻泰科技股份有限公司、北京经济技术开发区国创芯联汽车芯片技术研究中心
2021/7/30	战略融资	未披露	小米长江产业基金、富赛汽车
2019/4/12	B轮	近亿美元	北极光创投、SK中国、达泰资本、招商局创投、上汽投资、风资本、君海创芯

芯驰半导体			
2021/7/26	B轮	10亿人民币	领投机构：云晖资本、国开装备基金 跟投机构：和利资本、祥峰投资、上海科创基金、中银国际、经纬中国、张江高科、晨道投资
2020/9/28	A轮	5亿人民币	和利资本、天壹资本、祥峰投资、红杉基金、联想创投、经纬中国、精确力升、中电华登
2019/5/20	Pre-A轮	数亿元人民币	祥峰投资、联想创投、经纬中国

2.3.1. 主要厂商

1) 地平线

地平线是全球瞩目的人工智能企业之一，拥有一支软硬兼顾，同时具备有算法、芯片和云架构三方面研发能力的强大团队。作为自动驾驶行业的先行者，地平线在图像识别领域获得过多项世界第一，比如曾获 ImageNet 图像识别测评第一名等等。

基于创新的人工智能专用计算架构 BPU，地平线已成功流片量产了中国首款边缘人工智能芯片——专注于智能驾驶的征程 1 和专注于 AIoT 的旭日 1；2019 年，地平线又推出了中国首款车规级 AI 芯片征程 2 和新一代 AIoT 智能应用加速引擎旭日 2；2020 年，地平线进一步加速 AI 芯片迭代，推出新一代高效能汽车智能芯片征程 3 和全新一代 AIoT 边缘 AI 芯片平台旭日 3。

地平线已成为唯一覆盖 L2 到 L4 的全场景整车智能芯片方案提供商。从 2019 年量产中国首款车规级 AI 芯片征程 2，到 2020 年推出第二代车规级芯片征程 3。目前，征程 2、征程 3 已在长安、长城、东风岚图、广汽、江淮、理想、奇瑞、上汽等多家自主品牌车企的多款主力爆款车型上实现前装量产。

2) 黑芝麻智能

黑芝麻智能科技有限公司是一家专注于视觉感知技术与自主 IP 芯片开发的企业。公司主攻领域为嵌入式图像和计算机视觉，提供基于光控技术、图像处理、计算图像以及人工智能的嵌入式视觉感知芯片计算平台，为 ADAS 及自动驾驶提供完整的商业落地方案。

黑芝麻智能首款芯片与上汽的合作已实现量产，第二款芯片 A100 正在量产过程中，预计可于一年内在商用车领域实现 10 万片量级以上的量产，明年将在乘用车领域量产落地。黑芝麻智能已与一汽、蔚来、上汽、比亚迪、博世、滴滴、中科创达、亚太机电等企业在 L2、L3 级自动驾驶感知系统解决方案上均有合作。

黑芝麻智能科技最新的华山二号(A1,000)芯片具备 40-70TOPS 的强大算力、小于 8W 的功耗及优越的算力利用率，工艺制程 16nm,符合 AEC Q-100、单芯片 ASIL B、系统 ASIL D 汽车功能安全要求，是目前能支持 L3 及以上级别自动驾驶的唯一国产芯片。为了应对不同的市场需求，黑芝麻同步发布了华山二号 A1,000L。

2.4. 激光雷达

2.4.1. 市场规模

到 2025 年，我国无人驾驶领域激光雷达市场规模可达 216 亿元²。

	2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
乘用车数量 (万辆)	2,017.8	2,078.9	2,141.9	2,206.7	2,273.6	2,342.4	2,413.4	2,486.5	2,561.8	2,639.4	2,719.4
激光雷达价格 (元)	5,200	3,830	3,190	2,600	2,068	1,547	1,042	650	605	563	522
L2/L3 渗透	15%	22%	29%	36%	43%	50%	54%	58%	62%	66%	70%

² Source: Livox、沙利文研究、禾赛科技招股说明书、《智能网联汽车技术路线图 2.0》

率											
L2/L3 销量 (万辆)	302.7	457.4	621.2	794.4	977.6	1,171.2	1,303.2	1,442.2	1,588.3	1,742.0	1,903.6
L2/L3 配置 激光雷达比 例		1%	6%	16%	28%	43%	65%	82%	90%	96%	100%
L2/L3 单车 用激光雷达 数量 (个)		2.4	2.45	2.5	2.55	2.6	2.65	2.7	2.7	2.7	2.7
L4 渗透率		0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	1.00%	4.50%	15.50%	17.50%	18.90%	20.00%
L4 销量 (万 辆)		0.1	0.4	0.7	1.1	23.4	108.6	385.4	448.3	498.8	543.9
L4 配置激光 雷达比例		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
L4 单车用激 光雷达数量 (个)		3	3.2	3.4	3.6	3.8	4.2	4.5	4.5	5	6
L2/L3 激光 雷达规模 (亿元)		4.2	29.1	82.6	144.4	202.6	233.9	207.5	233.5	254.2	268.3
L4 激光雷 达规模 (亿 元)		0.1	0.4	0.6	0.8	13.8	47.5	112.7	122.0	140.4	170.3
市场空间 (亿元)		4.3	29.5	83.2	145.2	216.3	281.4	320.3	355.6	394.6	438.6

2.4.2. 技术路径

激光雷达通过发射、接收、处理激光信号进行目标探测和识别。激光雷达的工作原理是向指定区域发射探测信号(激光束)，经过目标物反射后，将收集到的反射回来信号与发射信号进行处理比较，即可获得待测区域环境和目标物体的有关空间信息，如目标距离、方位角、尺寸、移动速度等参数，从而实现对特定区域的环境和目标进行探测、跟踪和识别。按照测距原理的不同，激光雷达可以划分为飞行时间测距法、基于相干探测的 FMCW 测距法、以及三角测距法等。其中 ToF 与 FMCW 可实现室外阳光下较远的测距，是目前市场车载中长距激光雷达的主流方案。

- (1) ToF 飞行时间法，全称 Time of Flight，能够根据发射和接收的时间差直接算出距离，具有响应速度快、探测精度高的特点，在激光雷达传感器领域应用多年；
- (2) FMCW，全称为 Frequency Modulated Continuous Wave，使用三角波进行调制，利用相干光学检测技术，通过在时间上调制激光频率并检测发射与回波间的拍频信号，完成

对目标的距离及速度（多普勒频移）的同时探测。

对于 ToF 和 FMCW 这两种技术路线来说，目前以 TOF 为技术路线的激光雷达公司数量众多、当属主流，常见的光束操纵分类如机械式、混合固态、固态式均采用了 ToF 的原理进行测距。但 FMCW 高灵敏度（高出 ToF 10 倍以上）、长距离探测、低功耗、抗干扰、直接获取即时速度的优势日益明显，越来越受到行业的重视。未来随着 FMCW 激光雷达整机和上游产业链的成熟，FMCW 有望逐渐改善体积大、成本高、速度慢等劣势，ToF 和 FMCW 激光雷达将在市场上并存。

2.4.3. 主要厂商

1) 禾赛科技

禾赛科技为中国机械式激光雷达解决方案主要厂商。2014 年成立于上海，致力于开发基于激光的机器人传感技术。依靠 500 多人的团队打造出一系列创新型传感器解决方案，兼顾业内顶尖的产品性能、可量产的设计以及出众的可靠性。禾赛凭借自主研发的微振镜和波形加密技术，始终引领传感器创新的发展方向。经过多年深耕，禾赛在核心元器件、自研芯片、车规级生产能力、功能安全、主动抗干扰技术以及基于深度学习的激光雷达感知方面都有深厚的积累。目前公司在全球范围内均有专利布局，客户遍布全球 30 个国家和地区的 70+座城市。迄今为止，禾赛已完成累计数亿美元融资，投资方包括德国博世集团、高瓴、小米、美团、CPE、光速、百度等全球知名的行业企业和投资机构。

公司凭借在无人驾驶领域激光雷达的技术积累，针对不同场景的特点与需求，陆续开发了多个产品线，如适用于无人驾驶领域的 Pandar128、PandarQT 等，适用于 ADAS 领域的 PandarGT 等，适用于机器人领域的 PandarXT，适用于车联网领域的 PandarMind，不断丰富产品类型和应用场景。2021 年 8 月 13 日，禾赛正式公布面向 ADAS 前装量产的长距混合固态激光雷达——AT128，AT128 是 ADAS 激光雷达的各项核心指标一次质的飞跃，也是市场上唯一同时满足远距（200m@10%）和超高点频（153 万每秒，单回波）的车规级前装量产激光雷达。截至 2021 年 8 月 13 日，AT128 已获得多家顶级汽车厂商总计超过 150 万台的定点订单，将在 2022 年大规模量产交付。

2) 速腾聚创

总部位于深圳，公司成立于 2014 年 8 月，2016 年开始布局低线束激光雷达的设计。根据 2021 年 9 月 2 日 Yole 最新发布的统计，截至 2021 年 8 月 29 日已知的定点订单总数，速腾聚创在汽车和工业应用领域的在手定点订单数量全球市场占比 10%，排名中国第一、全球

第二。

速腾聚创通过激光雷达硬件、感知软件与芯片三大核心技术闭环，为市场提供具有信息理解能力的智能激光雷达系统。硬件方面，公司布局机械式 LiDAR、MEMS 固态式 LiDAR 和静态三维激光扫描仪三大类；感知软件方面，公司分别针对 RoboTaxi LiDAR、中低速 LiDAR、V2X LiDAR 提供感知系统，并能利用 RS-Reference 真值系统提供针对各传感器的自动化测评。

3) 图达通 (Innovusion)

图达通智能科技(苏州)有限公司成立于 2016 年，是目前国内外技术较为领先的 300 线激光雷达高新企业，总部位于美国硅谷。公司旗下的激光雷达产品运用在自动驾驶、车路协同、城市轨道交通、智慧高速、矿山、轨道等多个领域。目前已有多家主机厂测试激光雷达产品，计划作为平台化标准产品，应用于 L3 及以上的智能驾驶车型。

近期均胜电子完成对图达通战略投资，与均胜电子子公司均联智行等多家业界重量级供应商开展合作，为蔚来汽车近期发布的首款轿车 ET7 提供超远距离高精度激光雷达，使之真正实现从辅助驾驶到自动驾驶的跨越。未来，双方将在激光雷达感知融合、V2X 数据融合、自动驾驶域控制器决策算法等方面深度合作，共同推进智能网联汽车产业化和国际化落地。目前公司产品主要包括车用的猎鹰系列、路用的猎豹/捷豹系列和 OminiSense 解决方案。猎豹与捷豹系列产品是 300 线高性能远距离激光雷达产品，可广泛应用于智慧城市、智慧高速以及轨道和矿山等场景，感知交通状况以及路况管理。猎鹰系列是目前世界上应用在自动驾驶领域探测距离最远的激光雷达，其超远距及超高清等性能，有助于提高自动驾驶的安全性和可靠性。OmniSense 是结合了图达通首款 300 线图像级远距离激光雷达，针对智慧交通行业而设计的软件解决方案。能够提供高质量的 3D 点云图像，以及先进的目标感知算法，同时配备了界面友好的可扩展开发平台，通过此平台能够满足各种智慧交通的应用场景实现。

此外，专注该场景的初创企业还包括镭神、一径等。

2.4.4. 高精地图

2.4.4.1. 市场规模

国内高精地图行业正在稳步向前发展，但是高精地图的商业模式仍未完全成型，按照 3 亿汽车保有量测算，市场规模估计如下，预计到 2025 年可达 385 亿元。

	2020	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E
车辆服务费：	100 元/车					
汽车保有量：（亿）	2.81	3	3.2	3.4	3.6	3.85
市场规模：（亿元）	281	300	320	340	360	385

p.s. 2021 年 9 月中国汽车保有量为 2.97 亿辆；汽车保有辆估计来自前瞻

2.4.4.2. 技术路线

关于建立高精度道路导航地图的方法研究也有很多，例如通过配备 GPS-RTK 的采集车沿特定线路采集数据；使用激光雷达与广角摄像头结合的方法提取道路信息，加上配备高精度全球卫星导航系统（GNSS）则能够达到 10 厘米精度，但这种采集方案成本较高，也有研究者提出使用低成本传感器创建车道级地图的方法，通过全球定位系统和惯性导航系统（GPS/INS）的紧耦合完成定位，从正射影像图中获取相关地图信息。

目前，高精度地图的生产与更新出现了三种技术模式：

- 1) 基于“激光雷达+人工智能处理”模式。该模式稳定性高，但是采集设备成本高，是各大图商采用的主流模式。
- 2) “众包采集+AI 识别提取”模式。该模式成本低，但是精度和稳定性待提升，是主流图商更新和初创图商采用的主流模式。
- 3) “车辆动态上传+动态地图自动下发更新”模式。该模式是最为理想的高精度地图生产与更新模式，尚处于论证阶段，需要随着智能网联汽车产业的发展不断完善。

2.4.4.3. 商业模式

传统图商的盈利模式是销售离线的 license，单车平均价值大约在 200 元左右。高精度地图具有实时更新的特点，盈利模式逐渐转变为提供一系列基于高精度地图数据服务并收取服务费的形式，高精度地图厂商也逐渐从图商向地理信息服务型企业转变。当前业内较为公认的收费模式是在车厂签下订单时支付一笔订单费用以供图商进行高精度地图的开发，后续在搭载车辆上收取一次性的 License 费用以及按每车每年收取的服务费，License 与服务费分别对应汽车增量和存量。目前来说，订单费用大约为几千万；License 费用大约 1,000 元/车左右，即传统地图的 5 倍，服务费在 100-500 元/年/车区间。

1) 传统图商：

售卖的大部分是离线地图，通过向车企售卖 Licence 以及提供少量的后期更新服务获利，交易方式为一次性付清。而高精度地图由于存在动态信息的实时交互，图商将为此向数据服务商方向转变。在高精度地图时代，图商需要构建云平台为车主提供道路的实时信息，根据提供的数据量的多少计费。目前的高精度地图企业在开发高精度地图产品的同时也在努力构建自身的云服务平台以适应商业模式的转变。如 Here 开发的实时交通云产品，凯立德开发的云端服务平台等。

2) 互联网企业

如 Waymo，他们希望的是高精度地图最终能成功服务于自动化驾驶，从而推动其无人出租车业务的展开。从这一角度来看，该类企业的盈利模式更多偏向于 To C。类似这样做无人出租车的，最后为高精度买单的都是消费者，按照使用次数来付费了。

还有一种商业可能，类似现在车联网模式，车企卖给用户的时候前面两年流量费，后面用户需要使用互联网功能，就自己缴纳流量费用，高精度地图到了一定量级也完全可以采用这种模式，基本的高精度地图费用由车企买单（当然羊毛出在羊身上，最终体现还是在用户身上），但是后续的高精度使用及更新地图部分的费用由用户来买单，而且如果使用量级大了以后，可以按照使用次数或者包月等灵活的使用费用。

2.4.4.4. 主要参与者

中国高精地图商业化格局主要呈现两极分化，聚集了各大传统图商、初创企业和互联网巨头。主要市场份额依旧被 BAT 把持。

	四维图新	凯立德	易图通	立德空间
成立时间	2002	1997	1997	1999
产品和技术	-四维图新已经完成了全国范围超过32万公里高速公路的高精度地图覆盖，以及超过5000公里复杂城市道路的覆盖 -面向高精地图量产及实施更新，四维图新也在构建一个云+端的生态体系，在数据生产之外，独立出一个专门用于自动驾驶的云服务平台-HDMS	-凯立德在导航电子地图领域深耕20年，拥有覆盖全国范围的高现势性、高精度的导航电子地图数据库 -凯立德集成三维激光点云设备、全景相机产品和技术GNSS、数据采集软件，形成高精度地图采集系统，获取高精地图数据	-易图通拥有自主研发的高精度地图制图能力全时空中大数据数管技术、GNSS差分增强定位应用技术及二三维地图一体化显示等系列核心技术 -在自动驾驶领域，易图通自主研发的高精度产品应用地图生产	-运用移动测量系统（MMS，包括：路基MMS、无人机、倾斜摄影、航测激光LIDAR等）制作高精度地图（达到厘米级、分米级），提供给政府、公共事业机构及企业，同时提供地图引擎、导航引擎、GIS解决方案、OA等
主要合作车企及动态	主要客户有宝马、戴姆勒、Mobileye、上汽集团、博世、腾讯、滴滴、搜狗、京东等	2020年7月，与地平线达成合作协议，联合打造高精地图及智能交通车联网动态综合解决方案	2020年2月，福特宣布选择易图通为福特的Connected Blue Zone提供自动驾驶高精度地图服务	主要客户有一汽、上汽、东风等。2019年，公司将自动驾驶高精地图的业务分离，与旗下车联网平台公司秀友科技合并

1) 互联网企业

	百度万方	高德	腾讯-大地通途	华为
产品和技术	采取“激光雷达+高精度地图+人工智能控制系统”的路线，使用搭载激光雷达、IMU、GNSS等设备的专业采集车，将环境信息转化为地图数据 利用 Learning-Map 平台以众包模式收集更新道路数据，只要安装了百度地图和传感器	高德开放平台是国内技术领先的LBS服务提供商，拥有先进的数据融合技术和海量的数据产品和技术处理能力。服务超过30万款移动应用，日均处理定位请求及路径规划数百亿次 2014年11月，高德就开始与上海通用进行高产品应用地图的合作，成为中国最早布局高精地图的玩家之一	大地通途目前主要承接腾讯车联网和自动驾驶部门的测绘的数据，对地图进行编辑、修改、提交，为腾讯地图、腾讯LBS、车联等提供基础道路、POI、背景等数据 腾讯高精地图由自动驾驶业务事业部团队负责，数据采集、研发、数据处理及自动化、过审提交等工作由大地通途技术团队来完成	华为地图主要包括四大特征：自定义地图实时路况与规划、精准定位、AR导航与标记 华为Cyberverse数据平台是支撑华为地图服务MapKit的一款AR导航与标记的底层应用，主要功能提供是提供全场景高精度的空间计算
最近动态	已进入“三步走”发展路径的高级阶段，即支持面向城市复杂道路的ANP高级别智能驾驶解决方案以及ANP自主泊车方案	2021年，发布第三代车载导航，这一系统利用车辆的视觉感知和高精最新动态地图进行融合，实现车道级导航	腾讯已经完成了对全国高速和快速路的高精度地图制作，向合作伙伴提供包括高精度地图数据、车端应用，和高精度地图云服务	华为计划2021年将其高精度地图商业化，并将很快开放一批新一线和二线城市来制作高精度地图

2) 智能驾驶及软件信息企业

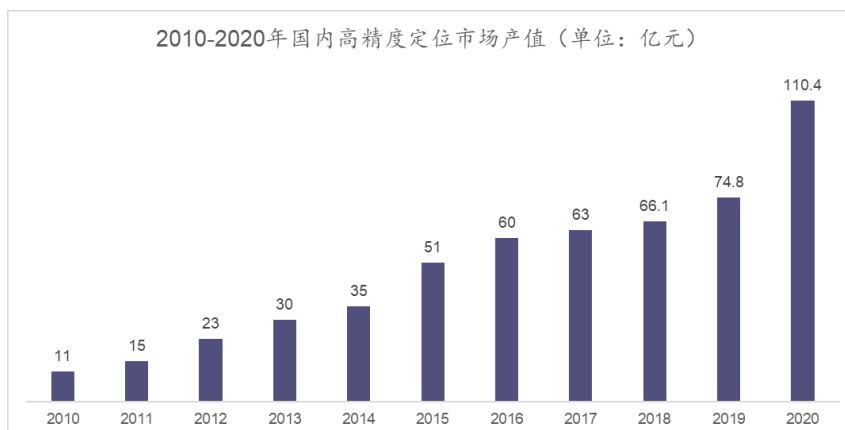
	Momenta	宽凳科技	晶众地图
产品和技术	基于视觉方案，结合深度学习的感知技术和SLAM技术，仅适用消费级传感器（摄像头、GPS、IMU）即可实现自动化的高精地图建图，相对精度可达10cm级	在高精地图领域拥有完整自主知识产权，具备从采集设备到数据制作全流程自主研发能力，建立了自身的成本优势	产品主要有两类。一类是软件产品，一类是数据产品。其中，软件产品有三款，自主研发的地图引擎产品是晶众地图主要的基础软件产品之一，还有两款产品分别是二、三维产品技术高精度生产工具产品和三维数字沙盘系统应用产品
	通过提取众包车辆拍摄的2D图像语义，融合GPS和IMU数据重建周围环境的3D位置。采用量产传感器众包的方式，提供满足自动驾驶需求的地图服务	众包高精地图商业模式，进一步通过云端平台为自动驾驶提供完整的数据服务	数据产品有两款，主要是三维高精度道路地图服务和三维高精度停车地图服务
最近动态	2020年3月，宣布与丰田达成战略合作，将为该汽车厂商在中国的自动驾驶研测提供完整的高精地图和地图服务	2020年7月，与全球知名汽车厂商达成合作，将为该汽车厂商在中国的自动驾驶研测提供完整的高精地图和地图服务	主要客户有上汽集团、东风集团、江铃集团等

2.5. 高精定位

2.5.1. 市场

融合了 RTK、DR 等技术的高精度 GNSS 技术正逐渐成为自动驾驶领域最主流的高精度定位方式。据 GSA 数据统计，未来十年全球 GNSS 设备出货量将持续增长——从 2019 年的 18 亿台增长至 2029 年的 28 亿台。

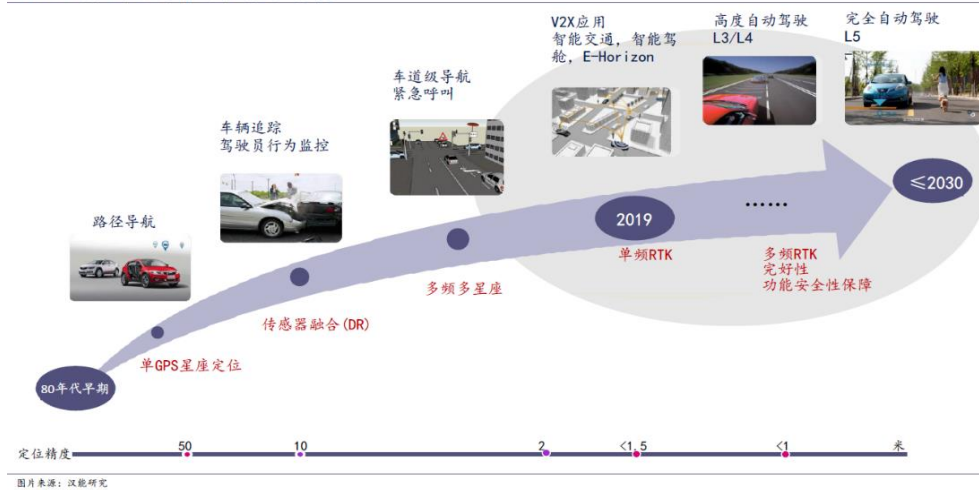
高精度定位市场 2020 年同比增长 47.5%，总产值达到 110.4 亿元。从 2010 年到 2020 年的 11 年之间，高精度定位产品年销售收入增长了 10 倍，年均复合增长率高达 26%，并且在 2020 年大幅加速增长。自动驾驶和无人机属于高精度定位的新兴应用级赛道。总体来说，市场还未爆发，处于新技术建设与应用培育期。



Source: 《2021 中国卫星导航与位置服务产业发展白皮书》

2.5.2. 技术路线

GNSS定位在汽车领域的发展



相比于 L3 级自动驾驶, L4 级测试研发车辆对高精度位置和姿态信息的精度要求更高。各主机厂和自动驾驶方案商在 L4 级研发车辆上所采用的感知传感器融合技术方案相近, 包括 GNSS/IMU 组合导航设备、激光雷达、毫米波雷达、摄像头、超声波雷达等。L4 级研发测试车辆的高精度定位方案与 L3 级准量产自动驾驶车辆的方案有比较大的不同, 极少数的主机厂 L3 级准量产自动驾驶车辆的方案选用了激光雷达, 而针对 L4 级研发测试车辆的硬件感知方案, 大多数主机厂和自动驾驶方案商均选择以激光雷达为主, 部分主机厂选择以摄像头为主, 但是不管以哪种硬件方案为主, 高精度的 GNSS/IMU 组合导航是必不可少的传感器。

限定区域内的高度自动驾驶应用定位方案大致相同, 均采用高精度 GNSS/INS 组合导航、激光雷达、摄像头、毫米波雷达、超声波雷达等多种感知传感器融合的高精度定位方案。

2.5.3. 商业模式

第一种商业模式以软硬件产品和解决方案的销售为主, 主要与渠道商合作, 共同拓展项目; 第二种商业模式为数据服务, 通过分析各类定位导航终端返回的数据, 提供各类分析应用类增值服务。

2.5.4. 主要参与者介绍

目前主要参与者有互联网、图商、通讯、传统测绘企业等。

公司	产品及方案	应用案例&合作
中国移动	中国移动高精度定位网络及 5G 网络，为 L3 及以上智能驾驶车辆提供实时厘米级定位服务；车辆可将 GNSS 定位信息与车载多种传感器进行融合定位，结合高精度地图，实现车辆在隧道、城市高楼峡谷等复杂环境下的连续定位	中国移动联合上汽集团、上港集团等打造洋山港-芦潮港智能重卡自动驾驶道路，路段共约 42km。中国移动提供 5G+北斗精准定位服务，高精度定位平台实时播发差分数据，实现智能集装箱队自动驾驶、集装箱智能转运应用。提升东海大桥通行效率 100%，提升单点装卸作业效率 10%
千寻位置	基于云计算和数据技术，构建精准时空服务平台。已经在全国建设 2500 个北斗地基增强站，初步组成“全国一张网”，这张网覆盖除西部无人区外的全国区域。在千寻位置最初落地的汽车市场，千寻位置在汽车高精度定位市场已经初获捷报，中国大约有超过 60 万辆车内置千寻位置的服务；每 4 台中国出产的手机里，就有 1 台使用千寻位置提供加速定位服务。	一汽红旗在 2020 年推出的豪华车型 E-HS9，该车型搭载了千寻位置 FindAuto 高精度定位服务，可以获得最高精度为 20 厘米的卫星定位结果，帮助车载系统精准判断车辆在主辅路、高架上等复杂场景所处的车道，从而实现 L3 级自动驾驶与 C-V2X 的功能，该车型也是行业首款在多个 LTE-V2X 通信场景下实现 100% 辅助预警验证的量产车型。
六分科技	六分科技使用遍布全国的 2200+ 个自建 CORS 站点，通过自研 VRS 算法，基于腾讯云建设的云解算与云服务平台，以“网-云-端”一体化解决方案，为智能驾驶多场景应用，提供商业级、连续、稳定、可靠的高精度北斗/GNSS 位置服务。	2021 年 11 月 24 日，四维图新官宣旗下高精度定位服务提供商六分科技与仙途智能达成战略合作。双方基于优势互补，互利共赢的原则，将在城市环卫领域联手打造定位精度达到厘米级的高精度无人驾驶环卫清洁服务，共同助力环卫作业智能化升级。

2.6. Robotaxi

2.6.1. 市场规模

Robotaxi 赛道是市场空间最大的自动驾驶场景之一，2020 年我国网约车日订单已经突破 2,100 万单。麦肯锡预测在 2031 年中国 Robotaxi 市场规模有望达到 2.8 万亿。

测算逻辑³:

项目/年份	2021E	2031E
人口（亿人）	14.12	14.6
城市化率	63.89%	70%
城镇人口数量（亿人）	9.02	10.22
日均出行人数（次/日）	2.6	2.6
平均单次出行里程（公里）	8.3	10
年度总出行里程（亿公里）	71,046.8	96,987.8
出租车+私家车+网约车/顺风车出行占比	62%	40%
自动驾驶共享车渗透率	0%	30%
自动驾驶出行里程（亿公里）		11,638.5
每公里收费（元）		2.4
总市场规模（亿元）		27,932.5

2.6.2. 痛点：目前仍是一个“伪概念”

- 1) L4 最低指标未达标：要实现 Robotaxi 全无人驾驶出租车（取消安全员）的概念，Robotaxi 自动驾驶等级必须在 L4 级以上。而 L4 级汽车的最低路测里程数要求为 10 亿公里，达千亿公里级别才能确保具备充足数据进行 AI 训练及仿真测试，从而确保行驶

³ 数据来源：汉能研究

安全，相当于100万辆车以每天10个小时的频率不间断行驶1年。因而，目前Robotaxi仍未达到L4级别，且仍需较长时间进行路测数据的积累。

- 2) 资金消耗大、技术迭代慢：Robotaxi 年技术研发成本巨大，但受限于数据积累的缺失，整体技术迭代周期漫长。
- 3) 运行模式不清晰：中国部分 Robotaxi 车辆存在只能在固定线路或者小范围封闭园区运行的问题，其运行模式与 Robobus 存在冲突，而 Robobus 单次载人数量更多、终端场景可取代人力成本的迅速程度更快，在固定路线或封闭场景下优势更为明显、竞争力更强。
- 4) 法规尚不成熟：Robotaxi 的运行关乎人身安全及道路所属权划分，受到政策管控。中国在无人驾驶的相关政策上比美国更为谨慎，当前阶段，中国关于道路开放、路权界定、权责划分的政策尚未完善出台；介于技术、商业模式、法规等各方面的不成熟，Robotaxi 仍处在“伪概念”阶段，当下的 Robotaxi 公司也因此无法实现短期盈利，如 Drive.ai、Starsky Robotics 因盈利问题而直接倒闭，赛道历史热门公司 Cruise 和 ArgoAI 则被通用、福特收购。

2.6.3. 商业模式

- 1) 模式 1：自动驾驶公司提供技术+投资公司提供资金+地方创新机构&出行公司提供本土支持；再成立合资公司负责运营。如：百度与长沙先导产业投资公司、湘江智能科技创新中心成立湖南阿波罗智行、文远知行与科学城（广州）投资集团、广州白云出租汽车集团合资成立文远粤行。
- 2) 模式 2：自动驾驶公司（提供技术）与出行服务公司（提供车辆、运营平台）合作。如：AutoX 与深圳鹏程电动合作；滴滴出行与滴滴自动驾驶公司合作。
- 3) 模式 3：自动驾驶公司组建内部运营团队负责 Robotaxi 运营。如：小马智行在广州的试运营项目。

2.6.4. 竞争格局

核心厂商优劣势分析：

	代表企业	主要发展模式	优劣势
第一阵营：车企	福特、上汽集团、通用	a. 自主研发：特斯拉Autopilot系统 b. 投资收购：通用汽车收购Cruise c. 战略合作：蔚来与英特尔、Mobileye合作开发	优势：整车控制能力与硬件技术强、品牌认知度高、市场占有率高 劣势：需提高AI等技术能力
第二阵营：互联网科技公司	百度、华为、阿里巴巴	a. 自主研发：百度开发Apollo系统平台 b. 战略合作：华为与东风、广汽等主机厂合作开展自动驾驶车辆技术测试	优势：AI、大数据等技术能力突出 劣势：平台需要跨车型整合、系统平台需突破互通性
第三阵营：共享出行服务平台	滴滴	a. 自主研发：滴滴成立人工智能实验室AI Labs，开展“智能驾驶”与“智慧交通”领域的研究 b. 战略合作：Uber与沃尔沃汽车合作开展自动驾驶车辆技术测试	优势：拥有丰富的客户数据，了解用户需求 劣势：硬件能力欠缺

不同企业布局 Robotaxi 情况对比：

公司名称	运营范围	运营面积	端点	车队规模	C端入口	启动时间	用户审核	用户数	订单数量
百度	长沙、阳泉、合肥、重庆、银川、广州、成都、美国加州等27座城市	391平方公里	620个	3,000	百度地图、Dueros小程序	2013年	预约+审核	21万+人次	/
AutoX	深圳、上海、广州、武汉、芜湖、美国加州	65+平方公里	根据乘客附近位置进行安全停车	100+	高德地图	2016年	无需审核	未透露	未透露
小马智行	广州、北京、上海、美国加州	1,080平方公里	200+个	200+	PonyPilot BotRide	2016年	需要审核	/	10万+
文远知行	广州、安庆、美国加州	144+平方公里	209+个	100	WeRide Go 高德地图	2017年	无需审核	60,000+人次 (2020/11)	147,128人次
滴滴（沃芽科技）	上海、北京、苏州、合肥、美国加州	27+平方公里	/	100+	滴滴出行	2016年	需要审核	未透露	未透露

其中，百度布局 Robotaxi 赛道时间早，其在运营范围、车队规模、用户人数等方面已具备深厚积累。

文远知行在订单积累方面表现优异，截至 2020 年 11 月，其共安全完成 147,128 次出行，服务用户数超 60,000，无任何主动责任事故，且用户五星好评率高达 94.2%。此外，文远知行于 2021 年 2 月获广州交通运输局颁发的网约车运营许可，是中国第一家拥有开展网约车业务资质的自动驾驶企业。

虽现阶段滴滴运营进展仍较慢，但考虑到滴滴（沃芽科技）作为出行服务公司，基于其网约车平台运营积累，其在运营调度经验、数据辅助及车辆运力等方面皆具备优势，未来有望将其在传统燃油网约车的运营经验反哺至 Robotaxi 领域，推动其自动驾驶业务的商业化进程。

2.6.4.1. 赛道竞争力核心指标

- 1) 测试里程数（技术）：中国是全球交通和路况最复杂的地区之一，复杂的路况环境助力中国团队迅速积累更多复杂的自动驾驶场景。政府对于自动驾驶的利好政策则推动了自动驾驶的落地测试与运营展开。现阶段，中国 Robotaxi 赛道已进入车队测试及服务试运营的阶段，未来行业的竞争核心也将会转向运营规模与测试里程的比拼。此外，里程的积累将反哺技术的迭代，Robotaxi 参与者的技术情况可从其 MPI 指标反映出来。
- 2) 政府关联度：Robotaxi 涉及人身安全，且驾驶环境较为复杂，政府出于安全考虑对于路权的开放较为谨慎。此外，地方政府对于自动驾驶的落地测试与运营展开的支持程度起到关键作用，因此与地方政府保持良好关系将是 Robotaxi 相关企业把握路权开放节点以及寻求政策支持的重要环节。
- 3) 产业链整合能力：掌握的产业链资源越完整，Robotaxi 相关企业的先发优势将愈明显，比如通过与整车厂的深度合作可真正将无人驾驶技术前置至车辆的生产研发环节，避免“实验室造车”。
- 4) 资金实力：Robotaxi 资金消耗大、技术迭代慢，因而资金是各方在现阶段“做蛋糕”大背景下的重要“武器”，掌握资金则意味着有更充足的“弹药”支撑技术的研发、人才的培

养以及商业化运营。

- 5) 运营能力：Robotaxi 行业处在“以测试方式运营，以运营方式测试”阶段，平台的运营调度经验、车辆管理能力是决定 Robotaxi 服务商业化效率的重要因素，是衡量相关企业生存潜力的重要指标。

2.6.5. 主要厂商

1) 百度 Apollo

作为百度发布的面向汽车行业及自动驾驶领域合作伙伴的一款软件平台，Apollo 既是面向整车厂提供的完备自动驾驶解决方案，也是为开发人员提供的开放式平台，旨在为合作伙伴提供面向 L4/L5 级别的自动驾驶研发生态。目前 Apollo 的商业模式主要有三种：一是为主机厂提供解决方案；二是参与造车，通过集度汽车整合百度自动驾驶方面的创新，把最先进的技术第一时间推向市场；三是基于 Apollo 平台打造 Apollo GO 自动驾驶出行服务平台，并于 2021 年 8 月升级为新品牌“萝卜快跑”。用户可以从百度地图及 Apollo 官网预约体验 Robotaxi，计划将于 2023 年部署超过 3,000 量车。截止至 2021 年 8 月，Apollo 共享无人车自动驾驶已完成累计超过 1,200 万公里的测试里程积累，获得 27 个自动驾驶测试城市的许可牌照，安全停靠点达到 620 个，路网覆盖规模约 391 万平方公里，完成 21 万次的自动驾驶出行服务，无人驾驶出租车规模达 500 辆以上。

Apollo Moon 作为“萝卜快跑”自动驾驶出行服务平台的重要车型，目前成本可降至 48 万元，搭载 2 个激光雷达、13 个摄像头和 5 个毫米波雷达，计算平台算力超过 800 TOPS。同时，Apollo Moon 基于“ANP-Robotaxi”自动驾驶产品架构打造，在领航辅助驾驶 ANP 独立闭环的基础上，增加 1 颗定制激光雷达和相应无人驾驶冗余，即可实现完全无人驾驶能力。该架构可以进一步打通 Robotaxi 与前装量产辅助驾驶产品的数据，实现数据闭环、完成对自动驾驶长尾场景的收集。

2) 小马智行

小马智行作为一家以自动驾驶软件为核心壁垒的企业，全速推进乘用、商用两大核心业务。自动驾驶乘用车和商用车是两大市场前景广阔的领域，小马智行在这两大领域发力，积累了丰富的技术。在乘用车出行领域，小马智行早在 2018 年便正式推出了 PonyPilot 自动驾驶出行服务，在中国广州以及美国加州落地 Robotaxi 服务。目前小马智行的测试范围覆盖中美五大城市，达 560 平方公里，已积累 500 万公里的测试里程。此外，小马智行在商用车领域也在不断加大投入。2019 年 4 月，公司首次宣布进入货运领域；2020 年 12 月，卡

车事业部成立，并获得广东首张自动驾驶卡车测试牌照；2021年7月，获得北京首批自动驾驶卡车测试牌照和卡车首批高速公路测试许可。意味着小马智行在广州和北京均开启卡车道路测试。截至2021年7月，小马智行自动驾驶卡车已完成约13,650吨货运运输，商业运营里程达37,466公里。

技术方面，与Waymo相同，小马智行采用全栈解决方案，即软件与硬件解决方案相结合。硬件方面，小马智行已经更迭至第五代——PonyAlpha X，并自主研发了车载计算平台、摄像头、传感器网关等24项核心硬件模块。PonyAlpha X在供应链管理、硬件设计、改造总装、下线标定等方面实现环环打通，建立了标准化流程，使自动驾驶汽车量产成为可能，该系统已批量搭载于雷克萨斯RX450h车型上，并在2021年2月从标准化生产线正式下线。感知层面，小马智行L4级自动驾驶系统采用了自研的多传感器融合技术，能够更好保障感知结果的稳定及安全冗余。面对复杂的路况和场景，多传感器方案为障碍物检测、分类、追踪和场景理解提供更扎实的技术支撑，更保障了后续技术模块的准确运行。

目前公司已达数百人规模，研发团队成員大多来自Google、Apple、Uber、百度、广汽等知名科技公司或汽车公司，有着丰富的自动驾驶软硬件研发及工程化经验。

3) 文远知行

2017年成立于美国硅谷，是拥有领先L4级别自动驾驶技术的智能出行公司，致力于为广大提供安全便捷的出行服务。公司是全国首个全对外开放的Robotaxi运营服务公司。目前，团队规模超过400人，其中85%以上为研发工程师，是首家获得全球汽车制造商（雷诺日产三菱联盟）和全球客车制造商（宇通集团）战略领投的自动驾驶企业。2019年11月在广州推出全国首个对外开放的Robotaxi运营服务，截止至2020年11月，运营一周年攻完城147,128次出行，服务用户数超过60,000。截止至2021年5月，文远知行拥有测试车队数超100辆，测试里程超过500万公里。

4) 元戎启行

元戎启行是一家国际化的L4级自动驾驶解决方案提供商，成立于2019年，自成立以来聚焦于两大业务，即出行业务和同城货运业务，主要有RoboTaxi和轻卡两条产品线。RoboTaxi在全国有将近80台车；在同城货运上，元戎启行已经展开了自动驾驶轻型卡车的研发测试，并通过了内部的技术验证。下一阶段，元戎启行将在自动驾驶轻卡道路测试上加大投入，进行全方位的产品打磨。未来将重点在一两座城市中重点发展，在这些城市增加自动驾驶汽车的数量，打造自动驾驶的精品样板。

5) 轻舟智航

轻舟智航成立于 2019 年，自成立之初，轻舟智航便提出自动驾驶“超级工厂”的战略目标，以高效实现自动驾驶的商业化及规模化落地。目前轻舟智航主要有 3 条产品线：龙舟 ONE、龙舟 SPACE 和智慧公交。龙舟 ONE 是基于 5.9 米小巴打造的 Robobus，主要用于地铁接驳、城市微循环等场景；是国内覆盖城市最多的无人小巴，包括苏州、深圳、武汉、北京、无锡都有落地应用。龙舟 SPACE 是一款轻舟智航与车企合作打造，面向城市未来出行设计的新车型。定位是城市移动空间，未来可作为 Robotaxi 使用。智慧公交：面向大巴的辅助驾驶方案，这套方案目前已在国内两个城市落地车队。但这一产品的定位不以无人化为目标，而是以辅助驾驶为目标。主要的目的是提高安全性，避免司机的误操作而造成的事故，降低司机的驾驶负担。

2.7. 高速干线

2.7.1. 市场规模及商业前景

我国是物流大国，2020 年中国社会物流总额已突破 300 万亿。其中公路货运为主要运输方式，占比超过 70%。在公路物流运输成本中，司机及燃油成本超过 50%，占比极高。据受访企业智加科技介绍，传统货运行业主要以个体承运商为主，人员管理困难，同时劳动力无法组合实现降本提效，自动驾驶技术的引入可以让管理具备结构性、更加高效。无人驾驶卡车能节省一半乃至全部的人力成本和部分燃油成本，具备 20%~30%的提升空间。仅按照司机替代逻辑进行测算，我国目前在运行的用于公路运输的集卡、重卡等近 500 万台，按照平均每车 2 名司机，每司机年薪 8-10 万进行测算，干线无人驾驶的市场规模已经达到近万亿。锴明资本合伙人应丽认为，物流行业是自动驾驶最先开始广泛商业应用的场景。随着技术进步，更安全、更高效、更经济的自动驾驶解决方案会对物流行业的成本和效率带来显著的优化。

2.7.2. 商业模式

高速干线的商业模式主要由托运人、第三方车队或物流企业运营车队，利用干线长途重载无人驾驶卡车运输货物。目前有两类较为成熟的商业模式，分别是轻资产、重资产。

- 1) 轻资产模式：自动驾驶科技公司与传统汽车主机厂和物流平台方建立第三方合作关系：自动驾驶科技公司向物流平台方提供自动驾驶解决方案和技术服务，传统主机厂向物流平台方销售重卡或者科技企业直接赋能主机厂，由主机厂向物流平台销售无人驾驶重卡；物流平台方根据托运人的需求划分自营和第三方车队，这两类车队也与传统主

机厂、自动驾驶科技公司和物流金融服务商形成合作关系。

- 2) 重资产模式：自动驾驶科技公司起主导作用：自动驾驶科技公司向传统汽车主机厂购买自动驾驶重卡，将其与自动驾驶解决方案和技术一同售卖给物流平台；此外物流自营车队和第三方物流车队也可以向自动驾驶科技公司租赁自动驾驶重卡汽车，需付费为按里程或时间计费的租赁费用和自动驾驶技术服务费。

2.7.3. 发展难点

- 1) 技术难点：重卡车身较高，车辆视觉盲区大，需要重点覆盖的感知范围更大；而重卡较长的车身导致所需变道时间较长，对感知距离与预判时间要求更高；重卡车头与车挂之间的柔性连接也让自动驾驶车身姿态控制难度增大。同时，由于重卡载重波动在 14 吨至 49 吨之间，巨大波动对车身高度、重心有较大影响，对自动驾驶车身控制要求较高；在行驶过程中，车身悬挂抖动明显，传感器在线标定比较困难。另外一方面，重卡躲在高速道路行驶，时速高、载重大，在雨天路滑的情况下，安全制动距离需要至少 300m，因此对比其他场景的车型，自动驾驶重卡所需的感知距离更长、要求的反应速度更快且控制更加精准。
- 2) 供应链薄弱：从供应链层面来看，高速干线商业化目前仍然存在三大难点：一是激光雷达、计算平台等关键部件的车规级产品量产供应难。激光雷达、计算平台等关键部件车规级产品的量产供应是实现 L3 自动驾驶重卡量产关键的一环，但目前仍然缺少规范技术及产品的行业标准文件，一方面，政府及行业协会应该尽快加速行业标准制定的推进工作，另外一方面，关键部件供应商也应该积极参与，促进业内产品标准化和规范化发展。二是本土商用车主机厂与供应商在线控底盘技术与产品积累较为薄弱，自主供应能力弱，掌握在国际零部件巨头手中。三是适应更高阶自动驾驶系统的关键技术与部件研发难度较大，随着 L3 自动驾驶重卡向 L4 自动驾驶重卡发展，对自动驾驶的感知、计算与执行能力要求进一步提升。
- 3) 政策标准滞后：自动驾驶高速干线场景作为跨产业融合创新产物，其道路测试、示范应用、上路运营相关的标准制定权与监督机制分散在汽车、交通、安全等多部门。现行相关法律法规当中，产品管理、交通管理、责任界定、保险监管、网络安全管理、地理信息管理等方面的部分规定，存在制约高速干线应用发展的矛盾点和可能潜在风险的空白点。在道路测试方面，目前缺失针对道路测试数据的管理依据，数据收集缺少后期脱敏处理，测试数据价值未能完全发挥，针对道路测试数据收集与处理的相关

标准亟待完善；在上路运营层面，L3 自动驾驶重卡上路运营过程中将产生海量实时道路运营数据，涉及国际地理信息安全与数据安全，且缺少针对自动驾驶汽车网络安全

的指导性文件，《网络安全法》难以充分应对自动驾驶汽车带来的网络安全问题。

2.7.4. 竞争格局

	自动驾驶科技公司	汽车主机厂	物流场景方	跨场景企业
企业介绍	初创公司较多，主要进行自动驾驶汽车技术自主研发与应用，代表企业有图森未来、智加科技、赢彻科技等	以传统主机厂为主，传统重卡企业转型为智能汽车厂，自主研发或与科技企业合作，代表企业有一汽解放、中国重汽等	以快递企业为主，提供信息平台，为自动驾驶奠定数据和资金基础，代表企业有京东物流、安能、德邦等	包括Robotaxi、汽车技术研发商和汽车电子供应商，代表企业有百度、小马智行、清智科技等
商业路径	分两类： 一是分别在中国和海外建立研发中心，搭建无人驾驶货运网络，提供干线物流自动驾驶重卡及运输服务；二是与主机厂联合研发自动驾驶重卡	分两类： 一是与自动驾驶科技公司建立深度合作，推进干线物流自动驾驶重卡研发及落地使用；二是对自动驾驶技术企业投资，改进传感器配置，形成差异化竞争	分两类： 一是通过与自动驾驶科技公司投资或合资的方式，该方式也是物流公司主要采取的；二是通过自主研发自动驾驶技术的方式，参与干线物流自动驾驶产业进行布局	一种： 以差异化优势如自动驾驶技术、消费和行驶数据等，和商用车主机厂资源获取资本等青睐，加速干线物流自动驾驶商业化进程

科技公司和主机厂因具备技术优势占据有利位置，成为推动干线物流自动驾驶生态的主动

力。头部科技公司厂商定位明确专攻物流场景，研发能力强劲，掌握核心技术，与物流商、主机厂等形成合作关系，代表公司例如图森未来、智加科技、赢彻科技等；重卡企业具有明显的资源和生产优势，但通常要借助科技公司完成在干线物流自动驾驶的布局；跨场景厂商成为干线物流自动驾驶造车主力军，同时利用客户流量优势拓展布局业务。

2.7.5. 主要厂商

1) 图森未来

图森成立于 2015 年，提供计算机视觉为主的可商用 L4 级自动驾驶解决方案、高速场景及港内集装箱卡车的无人驾驶解决方案。2016 年 8 月在自动驾驶算法公开排行榜 KITTI 和 Cityscapes 评测数据集上均获得世界第一。公司于 2021 年正式在美国上市，据其招股书显示，公司拥有核心专利技术超过 240 项，在全球拥有 70 辆自动驾驶卡车，其中 50 辆在美国、20 辆在中国，车上均配备有安全员。图森目前已与 UPS、McLANE、Navista 和 Traton 等物流方和主机厂建立紧密合作，公司通过创建无人驾驶货运网络，接入自有或承运人、车队拥有的自动驾驶卡车，为货主提供按流程收费的货运服务，并向车队所有者提供 TuSimple Path 订阅服务。图森预计其 L4 级别的无人驾驶车队在 23/24 年或可实现规模化落地。

2) 智加科技

智加 2016 年创立于美国硅谷，创始团队大部分为斯坦福背景，具备丰富的连续创业以及技术研发经验，国内在北京、苏州、上海等地设有研发中心。在中国，智加凭借监督式 L4 方案从当前物流市场中所占价值最大、最快能实现商业化的环节--仓到仓的干线物流切入，

并与一汽解放在 2019 年成立了合资公司——挚途科技，同年推出了其首款产品——一汽解放 L2 量产级智能驾驶商用车，2020 年率先推出全球首款量产自动驾驶重卡 J7 L3 并于 2021 年开始投放市场，智加投资人锴明投资合伙人应丽介绍，J3 的量产已经可以显著优化物流客户的成本和效率，正在规模化交付落地，将加速扩大智加在行业内的领先优势。在美国，智加科技 2021 年 2 月开始向亚马逊交付首批 1,000 台量产订单，并投入车队运营服务，据悉双方长期规划 10,000 台量产订单。据智加介绍，其 L3 级解决方案脱胎于其 L4 技术并行开发，目前可以实现在极低前装成本的情况下，提供超过 10% 节油效率以及长途运输当中节省司机的效果。另外，公司与满帮集团达成战略合作，基于 L3 级自动驾驶重卡开展商业化运营。其新车型将接入满帮平台，在满帮助推下，量产级别自动驾驶重卡可快速达到万辆级规模，每年产生数十亿公里的真实路测数据。智加可通过在真实运营中产生的庞大高质量数据反哺 L4 无人驾驶算法，通过不断自主学习和 OTA 软件升级，最终实现高速公路 L4 级无人重卡商业运营的成功落地。

3) 赢彻科技

赢彻成立于 2018 年 4 月，聚焦于干线物流场景，自主研发 L3 和 L4 级自动驾驶技术，致力于为物流客户提供新一代 TaaS 货运网络。公司于 2021 年 3 月发布自动驾驶系统“轩辕”，该系统直接面向量产、全栈自研的卡车自动驾驶，包括算法、软件系统、计算平台和线控底盘集成。公司与东风商用车、中国重汽分别联合研发的两款 L3 重卡将搭载轩辕自动驾驶系统，于 2021 年底量产交付，未来可通过 OTA 升级至 L4。同时，公司于 2018 年与上海国际汽车城汽车创新港联合发起成立了干线物流联合创新中心，目前已有 24 家成员单位，主要成员包括一汽解放、重汽和福田汽车在内的主机厂、零部件供应商、物流企业、技术合作伙伴、图商、高校和科研机构等。

4) 主线科技

主线成立于 2017 年，定位为自动驾驶卡车服务提供商，从港口物流枢纽到高速干线物流场景提供自动驾驶卡车及运营服务。目前主线与福佑卡车成立自动驾驶运营合资公司，共同打造新一代“智慧物流平台”，探索自动驾驶干线物流商业化运营。此外，公司还与德邦快递、京东物流、普洛斯等建立了合作关系。其与德邦开展干线物流自动驾驶合作，运营“天津-苏州”路线，并于 2019 年入选科技部十三五重点研发计划。

此外，专注该场景的初创企业还包括行猩、千挂等。

2.8. 末端物流

2.8.1. 市场规模

目前末端物流最主要的场景是快递和即时配送，后者包括外卖、生鲜宅配、商超零售、医药配送等，无论哪个场景都蕴含着巨大的市场价值。启明创投合伙人周志峰认为，中国有近 500 万快递人员，日均快递 3 亿多单。但电商体量在未来还会快速增长，再叠加各种新消费习惯，2025 年日均快递单量将突破 10 亿单。只凭现有人力结构，人均送件件数会很快到达瓶颈，无人化方案的引入是大势所趋。

目前我国快递末端配送成本平均 1.2 元/件，以 2021 年快递业务单量预计 955 亿件计算，快递末端配送市场规模超过 1,100 亿元；即时物流配送单价约 7-9 元/件，以 2021 年即时配送订单预计 300 亿单计算，即时配送市场规模将超过 2,000 亿元。

综合来说，2021 年快递和即时物流末端配送市场规模将超过 3,000 亿元，并且快递和即时物流单量还在快速上涨。

2.8.2. 痛点

- 1) 法律法规仍待完善：目前我国无人配送行业的相关文件指引主要以技术标准层面为主，北京宣布发布《无人配送车管理实施细则》试行版，但具体政策细节还未正式对外露出，且属于地方政策，全国其他城市未有更多政策颁布，未能形成统一的法律规范。一方面，无人配送车的类别归属尚未明确（机器人/车辆）；另一方面，交通法规层面缺乏对无人配送车这类交通参与者的规定，包括路权、车辆经营权、责任主体等。
- 2) 供应链、价格和标准：虽然国内拥有较为完整的无人配送车上游供应链，但是核心零部件的技术、性能和质量还有待进一步提升。无人配送车的采购价格和使用成本是需求方决策的关键，价格目前仍然是制约无人配送车规模应用进程的重要因素；标准方面，无论是道路测试标准还是产品安全标准，无人配送产品标准体系还需要完善；同时，产品生产管理体系没有形成行业规范，容易导致产品良莠不齐，存在安全隐患。相关车规标准目前也亟待完善。
- 3) 商业闭环尚需产业链各环节持续推动。无人配送刚刚起步，部分场景下的商业模型已经初步形成，但需要更多场景方的尝试和支持，不断推动产业上下游合作。同时无人配送发展还需要通信基础设施的支持，包括推动 5G 网络覆盖等，以及大规模商业化为导向，拓展保险、运维等服务保障。

2.8.3. 商业模式

目前无人配送的商业模式主要有三种：移动零售平台、无人配送车队服务、无人配送车辆

供应商。

无人车配送：领先企业的商业化模式通常有三种



图片来源：汉能研究，BCG分析

2.8.4. 竞争格局

目前参与者主要有三类：互联网巨头、解决方案提供商、底盘或整车供应商。

1) 互联网巨头

由于当前自动驾驶技术、产业链都还不成熟、各个细分场景解决方案均需要深耕场景进行技术研发和产品开发，因此互联网巨头在自动驾驶产业链的应用接入段占据非常重要的位置。在外卖、电商物流、快递、社区团购等行业不断扩张的背景下，配送环节的效率、成本、服务已经成为了各大电商巨头、外卖平台的核心竞争力之一。企业代表包括京东、阿里巴巴、美团、顺丰等。

企业	京东	阿里巴巴	美团
研发起步时间	2016年	2015年	2016年
代表车型	京东第四代无人车	G3、小蛮驴	魔袋20
车辆运营情况	全国7个城市开放道路配送点和13所高校，101辆在运营	杭州、上海、成都、北京等城市的多所高校，杭州等地多个社区、小区	目前在北京顺义运营，30余辆车，北京亦庄、上海、深圳等地开展测试
配送场景	京东物流快速站点、超市到小区门口，用户自行取件；到物业接驳中心，集包取件	社区：菜鸟快递驿站到每栋楼门口，用户自行取件；校园：菜鸟驿站到宿舍、教学楼，用户自行取件	美国某门店送到周边小区门口，外卖员接力上门配送或用户自行取件；零售店到固定站点，用户自行取件
是否去安全员	是	是	否（顺义公开道路有安全员跟车，首钢园区无人配送无安全员跟车）
团队人数	150+人	未披露	300+人
未来规划	2021年预计达到千太规模，2022年5000台以上，后续3年实现5万台规模	未公开最新车辆投放计划	预计三年内落地万台无人配送车
特点	常熟、天津、北京等市区公开道路复杂情况运营；高校场景运营	杭州、上海、成都等地高校场景运营成熟，采用预约制，和淘宝系打通	重点落地公开道路，人机协同；自研整车，委托毫末智行代工

2) 解决方案商

无人物流车整体解决方案提供商，需要打通软件、硬件、车辆底盘以及整体运营系统形成闭环，从而创造价值形成壁垒。尤其在该领域缺乏标准和车规的情况下，利用数据和软件来定义硬件和车辆就变得尤为重要。另一方面，因为该领域的初创公司并不容易满足各个方面的综合要求，因此大多数存在明显的长短板，较难组成综合型的核心团队。长远来看，无人物流车的整体解决方案提供商在产业链中尤为重要，其产品标准化、规模化以及低成本

本化的程度将直接决定末端物流领域的发展速度。

企业	新石器	向犀牛	一清创新	行深智能
团队	围绕无人车的产品化组建团队，创始人拥有物流行业10+年经验，核心团队分别来自自动驾驶公司、主机厂和移动互联网	近百人，其中研发人员占比70%以上；核心团队主要来自百度等公司无人驾驶算法团队	100+人，研发人员占比80%，核心团队来自香港科技大学等著名高校，技术背景跨越自动驾驶、人工智能、电子工程等多个学科领域	核心技术团队来自于国防科技大学，团队在无人车、无人驾驶领域有多年研发经验，此前担任军方服务
技术路线	具备软硬件全栈技术，自研比例达80%+；视觉采用多传感器融合方案，车联网云平台可实现AI智能调度，通过C端数据持续迭代提升运营效率	多传感器融合方案	基于自动驾驶技术和商用车底盘技术积累，提供软硬件开发、车体设计生产和TaaS运营的无人驾驶运力解决方案	致力于提供无人物流车产品、关键零部件及整体解决方案，目前聚焦于末端物流无人车领域，具备从底盘、结构、硬件到软件的全线设计能力
运营	目前常态化运营车队规模约为300+辆，无人车网络累计交付100+万单，服务超过20万C端客户；参与主导多项国家标准和行业标准制订，目前已获得9个国家、超过40个城市的牌照	目前已落地10+台车辆，主要服务于永辉超市和大润发超市	在上海大学校园内开展测试和试运行	场景包括校园、园区和景区等
商业模式	移动零售平台：以无人车为载体向终端消费者销售不同商品，并按GMV的百分比向商家抽佣	以按单计费等多种形式收取服务费	技术输出方，提供无人驾驶的基础平台，赋能各个领域，产品形态包括解决方案和无人车整车，此外还提供无人驾驶技术服务支持	早期定位为无人驾驶的方案提供商，与京东合作；后期自己开始提供相关运营服务
融资	2019年完成近亿元人民币A轮融资；2020年完成近2亿元A+轮融资；2021年完成数亿元人民币B轮融资	2019年获得种子轮融资；2021年初获得某零售场景方战略投资	2018年获得天使轮融资；2020年获数千万元人民币Pre-A轮融资	2017年获得数千万元天使轮融资；2019年获得数千万元Pre-A轮融资；2021年获得1亿元人民币A轮融资

3) 底盘或整车供应商

无人物流车底盘因为有配送、零售、安防、清扫等多种可能的应用场景，已经成为汽车产业链企业锚定的新赛道。从近两年的趋势来看，投资机构整体布局力度逐渐加强。从商业模式上来看目前主要有两种模式：纯供应商模式、供应底盘或整车的同时输出解决方案。

企业	易咖智车	金龙客车
团队	创始团队是微型车场、L4创业公司研发背景，团队人员构成主要集中在研发生产领域，包括研发线、生产线、运维服务等与量产直接相关的岗位	2020年专门成立了智能车事业部和智能网联研究所。智能车事业部包括产品中心、生产中心、营销中心等，专门应对5G应用和无人驾驶落地应用
产品	已打造两款成熟数字化运载平台，分别适用于不同的应用场景。同时易咖智车正在建设全新专门为L4级无人配送车定制的标准化工厂线	拥有不同平台的线控底盘技术和自动驾驶运行模块化设计。已应用于自动驾驶售卖车、自动驾驶物流车及清扫车等领域
商业模式	定位为智能数字运载平台产品+服务一体化方案提供商，聚焦线控底盘的研发和生产	定位为无人物流车运营企业供应商，主要进行硬件开发生产，不涉及场景运营；京东为主要客户，
融资	2018年获得天使轮融资；2021年初获得数千万元Pre-A轮融资	

总之，互联网巨头具有场景优势，初创公司与独立第三方头部客户是天然盟友，可实现差异化竞争。互联网巨头如京东、阿里和美团有一定优势，他们既是解决方案商也是场景需求方。目前他们是赛道的主要厂商，但初创公司在组织管理和商业选择上更加灵活，仍然有巨大的市场机会。我国零售业有诸多厂商，它们与巨头存在潜在竞争，与独立第三方无人配送公司则是天然盟友，其线上业务体量正在快速增长，将产生大量即使配送订单，这些需求和场景有很强的地域性、多样性、且难以被巨头垄断，可以支撑新的商业模式和无人配送服务商。

2.8.5. 未来发展

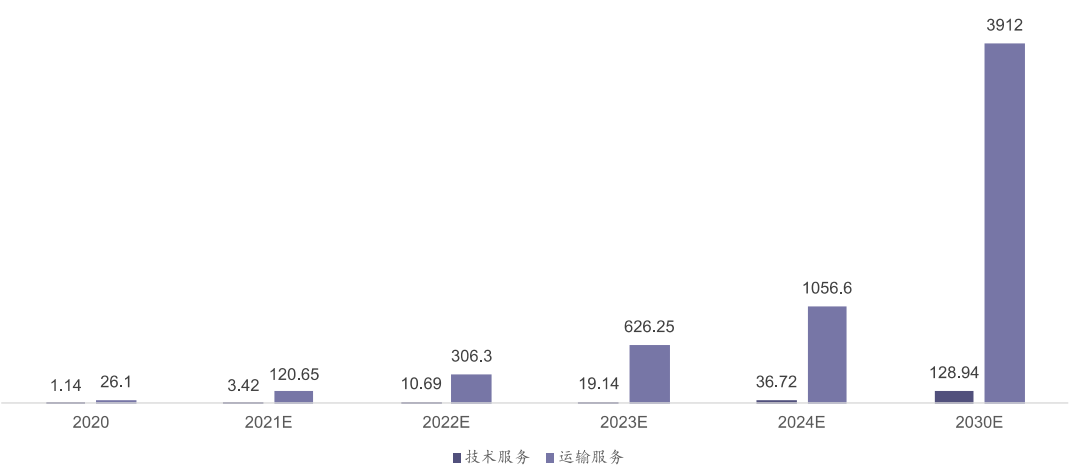
无人配送的商业模型已经初步形成，技术已经能够支撑部分场景需求，行业进入批量商业应用前夜。自 2020 年起，末端无人配送头部厂商已陆续去掉安全员进入常态化运营，并在实际运营中产生真实的商业收入。例如受访企业新石器，在上海张江和北京高级别自动驾驶

驶示范区已开展了数百台车队的无人车零售运营，开始服务普通消费者早餐与午餐。这意味着无人配送车已超越 Robotaxi 等赛道的测试或者开放体验阶段，离真正的规模化、商业化落地更进一步。京东、阿里、美团等均表示未来 3 年计划投放车辆超过万台。

由于无人配送车行驶速度相对低，整车成本相对低，财务模型清晰，这一规模化的车辆投放计划将相对其他赛道更为可信。未来三年，无人配送车整车成本会逐步下降至 10 万元以内，无人配送赛道将率先迎来爆发。其中，直接面向 C 端的移动零售模式也会随着规模化落地而产生爆发。

2.9. 矿区

2.9.1. 市场规模



我国矿山资源丰富，目前全国在开采矿区超 5,000 座，其中仅煤、石灰石、铁、铜四种主要矿物的年开采量就已经接近 100 亿吨。矿区整体作业环境分为露天和井下两种，其中露天场景的主要运输工具为矿用卡车、矿用宽体车、矿用重卡，井下场景的主要运输工具为无轨胶轮车，此外还有不同类型的多种作业设备如挖掘机、铲车、平路机等。无人驾驶在矿区的落地以改造旧有设备为先，后期则可以叠加全矿数字化服务及运输代运营服务等。以矿区内近 100 万的设备量进行测算，矿内设备改造市场潜在市场规模超过千亿；以主要矿种每年近 300 亿方的运输量进行测算，运营服务市场潜在市场规模近 3,000 亿。目前矿山无人驾驶主要聚焦于露天矿运输，国外主要是用大型矿卡，国内采用宽体自卸车。矿区自动驾驶市场规模预计涨幅显著，2,020 至 2030 年符合增长率为 65%，市场以运输服务为主。自动驾驶在矿山的优势明显，可显著减少矿区人员数量、提升作业人员安全水平，大幅降低成本，和提升作业效率，矿企付费能力极强，使用意愿也非常高，近几年落地迅猛等。

2.9.2. 痛点

- 1) 产业链关系：矿区自动化的产业链比较复杂，主要有零部件供应商、矿卡生产商、宽体车生产商、煤矿公司、运输队和自动驾驶初创公司。初创公司需要找对合作对象，否则会发展艰难。一方面需通过与主机厂合作布局前装市场，减少改装成本，未来量产才可获得规模优势；另一方面需通过与矿企合作布局后装市场，可以迅速落地，快速迭代软硬件。
- 2) 无人化运营：无人矿区的运营需要各个车种设备之间的配合沟通，因此对后台控制的要求极高。后台的调度、沟通和执行是智慧矿山最大的难点。
- 3) 盈利模式的可持续性：国外已经有多个成熟的无人化矿区实现运营盈利，基础在于海外矿区自动驾驶方案基本都嵌在整体矿山自动化解决方案中间，行业主导为矿车主机厂商，并且走的是高价路线；而国内现阶段主要在运输无人化上，目前行业主导是自动驾驶的初创公司，难点在于完成区域化测试和落地之后如何大规模在不同矿区“铺开”，以及如何将这套自动驾驶系统应用到矿区外更广泛的场景。
- 4) 技术难点：一方面，封闭场景的单车无人驾驶难度并不高，但实际生产作业时需要以车队编组调度作业，同时运输车队需要连接挖掘、装卸等其他作业流程，对平台调度能力及车辆决策能力提出更高要求，通常，一个大的工作面有 6、7 个编组交叉作业，这样有的路口可能有几十辆车交汇，长期看，调度算法对提高生产经营效率的价值要超过无人驾驶单车智能算法；另一方面，各种矿区不同的工况特点会给技术可靠性和通用性带来挑战，例如金属矿石的电磁特性会影响毫米波雷达的性能，高寒地区矿区的温度会影响电气电子设备的稳定性等。

2.9.3. 商业模式

目前主要有三种商业模式：

- 1) 矿卡自动驾驶解决方案商成为主机厂前装供应商；主机厂直接销售具备自动驾驶能力的矿卡，并从矿卡销售中盈利。
- 2) 自动驾驶解决方案商牵头与大型剥离队成立合资公司，成为新型智能化剥离队，以更低的成本承接剥离项目。
- 3) 智慧矿山解决方案商面向采矿企业提供包括自动驾驶应用的矿山智能化整体解决方案。采矿企业前期投入较大，用以改造或新购各类工程机械，建设矿区“云平台、通信网络、智能化终端”软硬件设施、培训管理作业人员等，后期通过节省的司机人工成本、油耗

成本等逐步收回成本，并提升效益。

2.9.4. 竞争格局

中国矿山自动驾驶市场由本土企业占据，包括初创公司及部分主机厂，目前逐步已出现头部分化的情况。

1) 慧拓智能

成立于 2014 年，其孵化于中科院自动化所青岛智能产业技术研究院，自主研发了云端智能调度与管理系统、矿车无人驾驶系统、挖机协同作业管理系统等六大核心子系统组成的“愚公 YUGONG”无人矿山整体解决方案，目前已完成域控制器、远程驾驶系统、V2X 车路感知协同系统、线控 VCU、防碰撞系统等产品的研发和批量交付，已在国家能源集团、华能集团、国家电投集团、大唐集团、中国宝武、中煤集团等国内顶级能源、资源集团下属的 20 多个矿区实现了规模化商业落地。并且，公司从去年开始布局井工矿无人化，目前已完成关键技术的落地转化，在井工矿无人运输、井下定位等关键技术进展显著。

2) 踏歌智行

成立于 2016 年，主要为露天矿等封闭场景提供无人驾驶解决方案及无人驾驶运输运营服务，适配于大型矿卡与宽体自卸车等多种车型。为实现智慧矿山，其推出了端、边、云的整体系统规划，可实现由云端调度管理、车联网通信、车载智能终端组成的整套矿山运输无人驾驶解决方案。

此外，专注该场景的初创企业还包括易控智驾、路凯智行等。

目前第一梯队厂商已经从实地测试阶段迈入试运营阶段，领先第二梯队 1-2 年左右时间。已经有 1-2 年的实际矿山运营数据，关注其车辆稳定性、平台调度及车辆决策能力（整体运营效率及可靠性）、针对不同环境的矿区的适应性问题、夜间作业情况等。

对于第二梯队的厂商，目前正处于刚改装完宽体车，即将进行实际落地测试的阶段，暂时无法得到实际运营数据。可关注其创始团队过往履历、团队对行业方向和技术理解深度。

2.9.4.1. 未来发展

矿区自动驾驶的场景特点是终端客户多为产业集中度较高的国企，对于服务商要求较高。

同时，需要广泛与不同工程机械厂商合作，实现矿山全时空多源信息实时感知，生产现场全自动化作业，搭建全流程的人-机-环-管数字互联高效协同运行。

未来，当矿区自动驾驶服务商在完成难度较大的运输环节自动化后，将有机会深入其他环节，实现全矿区的自动化、提供智能化解决方案。

2.10. 港口

2.10.1. 市场规模

我国拥有港口近 100 座，其中大型港口十余座，港内用于集装箱运载的集卡在 2,0,000 台左右。2021 年全球贸易逐渐恢复，预计未来中国港口集装箱吞吐量增速范围为 5%-30%。随着自动驾驶技术的成熟，引入自动驾驶集卡车的港口增多，起销量将稳步增长，预测到 2023 年国内港口码头自动驾驶集卡车销量将超 5,000 辆，市场规模约为 50 亿元。未来港口集装箱吞吐量增速将加速中国港口码头自动驾驶行业的发展，预计在 2026 年市场规模将超过 100 亿。

目前国内已有 13 个港口落地自动驾驶集卡，是自动驾驶实现商业化应用最快的场景。目前我国港口自动驾驶的主要应用领域在东南沿海港口，尤其是新建或者扩建港口应用项目较多，深圳妈湾智慧港、上海洋山港、宁波舟山港以及天津港是港口自动驾驶应用最多的海运港口。现阶段港口集装箱码头水平运输自动化解决方案主要分为三种：自动导引运输车 AGV (Automatic Guided Vehicle)、无人跨运车 ASC(Autonomous Straddle Carrier)和无人驾驶集卡。

2.10.2. 痛点

- 1) 封闭场景的挑战：封闭不意味着简单，港区内没有交通灯控制，每个路口都没有保护，考验自动驾驶集卡的感知能力和行为预测能力。自动驾驶集卡仅承担港口作业中的水平运输环节，和桥吊、场桥的配合十分重要，要求定位误差要维持在厘米级范围内。对于车身长、惯性大的港口集卡，需要进行适应调整；对于码头遍布金属集装箱将对信号有所干扰的情况，还需解决影响卫星导航系统定位精度的问题。
- 2) 场景标准化差异：中国各个港口在港口泊位数和万吨级泊位数等基础设施条件方面存在差异，致使运输能力有差异，而目前落地实施的自动驾驶解决方案是针对标准化港口所设计的，因此需要丰富自动驾驶应用场景，且增加解决方案的适用性。
- 3) 通信建设制约：港口通信要做到低延时、覆盖面积广和保密性好等要求，但目前采用的光纤和 Wi-Fi 通信无法满足同时要求，且存在基建成本高、施工难度大和信号干扰能力弱等问题。虽然这些问题能使用 5G 技术解决，但目前 5G 基站基数较少且其运营成本较高。

2.10.3. 商业模式

国内港口智能化改造的主要方向是无人驾驶集卡，主要有三种商业模式：重资产、轻资产、

合资重资产。主机厂和自动驾驶技术解决方案商开展双向合作，互为提供零部件、整车或自动驾驶系统的产业链。主机厂为上游提供商时，向自动驾驶技术方案提供整车和零部件；自动驾驶解决方案为上游供应商时，向主机厂提供自动驾驶系统和整车。目前多数合作的项目已落地使用，合作格局形成。

2.10.4. 竞争格局

1.1) 主线科技

成立于 2017 年，专注于 L4 级自动驾驶卡车技术研发与应用，面向港口物流枢纽与高速干线物流场景，提供更安全、更高效、更经济的自动驾驶卡车技术与运输服务。两大商业化场景解决方案包括“Trunk Port 港口物流枢纽自动驾驶解决方案”与“Trunk Highway 干线物流自动驾驶解决方案”。其中“Trunk Port”由标准化技术打造的 L4 级无人驾驶电动集卡与港口无人驾驶云服务平台组成，“Trunk Highway”是主线科技面向公路货运客户提供的自动驾驶运力服务产品，包括适用于百万公里级运营的 L4 级自动驾驶重卡，以及为自动驾驶货运提供全流程运营管理服务的云平台。

1.2) 西井科技

成立于 2016 年，业务板块分为“智慧大宗物流板块”与“智慧大城运”，其具备全栈式开发能力，通过自研底层算力+算法的支撑，结合图像识别、无人驾驶等技术，融入用户作业流程的每一个环节与过程。到目前为止，西井科技的业务已遍及中国、东南亚、北欧、中东等海内外 70 余个签约客户。中国市场主要应用无人驾驶集卡方案，结合自动驾驶公司的技术方案，引入智能路侧设备，满足无人驾驶集卡的商业化应用；其在海外市场已经发展出两条清晰的产品线，第一个是他们自主开发的，基于人工智能的无人驾驶重型卡车；另一个是其助力振华重工一同开发的港口无人跨运车，已经卖到了瑞典。

1.3) 斯年智驾

成立于 2020 年，主要研发港口全栈式无人集卡运输解决方案，目前已完成单车和云控系统的研发和产品化，开创了销售+运营协同模式，实现飞轮式数据闭环。重资产”模式下，与主机厂合作前装研发，向主机厂采购具备无人驾驶能力的合格车，完成车辆无人化改造和系统部署后投放在码头，并且提供自动驾驶运输服务服务，“重资产”模式下，港口接受程度高，并且利于建造壁垒，提高可持续的利润获得能力，是专注泛港口领域无人驾驶行业内唯一提供运营服务的无人驾驶科技公司。

此外，专注该场景的初创企业还包括飞步科技、畅行智能等。

2.10.5. 趋势

- 1) 网络通信 5G 化：“港口自动驾驶”对通信连接有低时延、大带宽、高可靠性的严苛要求，自动化码头的大型特种作业设备的通讯系统要满足控制信息、多路视频信息等高效、可靠传输，5G V2X 技术为“智慧港口”建设注入新动力。
- 2) 电动化/氢燃料化：自动驾驶港口运输车辆多采用电力驱动，控制响应时间更短，且能为自动驾驶系统直接提供电源，相比燃油车效率更高，电力驱动车型是自动驾驶港口应用趋势；目前已经在港口运营的自动驾驶集卡中，8 款集卡是电力驱动，占比 61.5%。
- 3) 顶层设计：就整个行业数字化水平而言，港口场景比较落后，包括数字化理念、新技术应用，比不过其他场景，要加强对新技术开放和做顶层设计，数据流+业务流发展规划，基于技术来做技术，应用来做技术无法联通；顶层设计是对现有港口信息化、智能化建设资源的重构。
- 4) 车路协同：港口环境比较封闭，但是场景较多，自动驾驶集卡需要与其他集卡、其他车型、港口设备、集装箱等进行交互，车队运营和车路协同是港口自动驾驶发展的趋势。

2.11. 环卫

2.11.1. 市场规模及商业前景

近年来，智慧环卫被越来越多的政府部门、环卫服务公司作为发展重点，基于自动驾驶技术的无人环卫车辆正作为智慧环卫的重要组成部分、开始在北京、上海、广州、长沙、成都、厦门等数十个城市逐渐实现落地。2020 年中国环卫服务市场整体规模近 2,000 亿，其中道路清扫保洁服务规模为近 1,300 亿，按 2025 年无人驾驶渗透率达到 30%进行预测，2025 年无人驾驶在环卫场景的市场规模将达到 400 亿。

传统环卫服务业存在老龄化、用工成本高、招聘和管理难、安全事故频发等痛点，与此同时，随着我国社会 and 经济发展，城乡清洁卫生要求也在不断提升。自动驾驶环卫车能够显著降低环卫行业的人员和管理成本、同时减少安全事故的发生。同时，由于环卫场景下车辆的行驶速度低（约 5-10km/h）、硬件要求低、行驶路线固定、人机交互简单，使得环卫成为自动驾驶实现快速落地的理想场景。

据盈峰环境数据，以湖南省长沙市某项目为例，该区域为居民区，包含背街小巷、学校等多种作业场景，以往采取纯人力作业方案，需要 65 名工人；引入 8 辆智能小型环卫机器人装备后，仅需要 15 名环卫工人和 8 名安全员。整个作业队伍人员缩减了 64.6%，年度综合

成本降低了 38.8%。

智能化环卫方案成本低于传统人力环卫方案		
项目	传统人力方案	智能化作业方案
环卫作业工人数	65人	15人
驾驶员人数	0人	8人
智能驾驶环卫作业车数	0辆	8辆
年人力成本	260万元	108万元
年能源消耗成本	0万元	14.4万元
人力作业工具维护成本	7.8万元	1.8万元
智能驾驶环卫作业车维护成本	0万元	3.2万元
年折旧费	0万元	36.5万元
年支出总成本	267.8万元	163.9万元
智能化作业方案总成本缩减		38.8%

数据来源：汉能研究，盈峰环境2019年产品发布会，中国电动汽车百人会

根据路况特征，环卫可以进一步细分为三类场景，每类场景对于自动驾驶车辆有不同要求。一类场景是市政普通道路、街道等，该场景对环卫车辆需求大、机械化程度高、商业价值也较高，适合中小型自动驾驶扫路车作业；二是公园、工业园区、以及学校等全封闭或半封闭场景，商业价值相对低、适合小型自动驾驶扫路车作业；三是城区高架、桥梁、隧道等半封闭场景，机械化程度较高，商业前景高，但对自动驾驶技术要求和车辆本身的产品性能也更高，适合大型自动驾驶扫路车作业。

2.11.2. 商业模式

- 1) 自动驾驶科技公司作为解决方案提供商，为环卫运营企业提供技术服务：包括软硬件系统、无人环卫整体解决方案和针对项目地区的运营数据服务。其特点是：无人环卫车归环卫运营企业（或市政管理部门）所有，环卫企业向客户提供清扫服务，科技公司是环卫运营企业的技术服务商，从后者收取技术服务费和数据运营维护费。
- 2) 自动驾驶科技公司打造自动驾驶环卫车并组建自有运营服务车队，为客户提供道路清扫或垃圾清运服务。其特点是：无人环卫车归自动驾驶科技公司所有。自动驾驶科技公司向环卫公司/物业公司提供无人环卫服务，或直接面向客户提供无人环卫服务，收取环卫服务费。
- 3) 自动驾驶科技公司和环卫服务企业或环卫装备企业合资成立公司，共同推广自动驾驶环卫车的应用，对外售卖无人驾驶环卫车辆，或自建无人环卫车队提供环卫服务。未来亦有可能实现自动驾驶环卫车规模化量产。其特点是：科技公司和传统环卫服务企业/装备企业的深度合作，能结合甲方需求、环卫项目特点，推出更好的车型或者服务方案，但合作过程中的双方信任和默契需要长期培养，新业务、新产品对传统公司原

有业务的替代冲击和利益分配也是需要解决的问题。

- 4) 环卫企业自建自动驾驶技术研发部门，推动无人环卫商业化。由于传统环卫服务和环卫装备行业均比较成熟，龙头企业资金实力雄厚，可能通过收购的方式吸纳先进技术和技术团队，从而实现产业升级。但是，从传统行业切入到高科技行业，需要克服技术、人才、管理、资金等多方面差异和障碍，自建自动驾驶研发部门或者收购自动驾驶科技公司，对于环卫企业来说都有一定挑战。

2.11.3. 发展难点

- 1) 政策：目前在国家层面缺乏环卫无人驾驶车辆生产、检验、道路测试、路权管理方面的统一标准。部分城市规定，小型无人环卫车将按照环卫设备或环卫机械管理，只需在环卫局或其他当地环卫管理部门上环卫设备类牌照，即可在非公开道路合规运营。目前，全国已有上千台小型无人扫路机在封闭场域、非机动车道或人行道路上运营。10-30吨车型在有安全员的状态下，已实际参与许多环卫项目的运营。通过公开招投标方式发布的公开道路无人环卫项目，在主管部门或者业主方允许情况下，自动驾驶车辆也可运营服务。
- 2) 技术：自动驾驶扫路车对精细贴边清扫、自主路线规划等有比较高的要求，而且会面临大量树荫、隧道、高架桥等对卫星信号的干扰，同时行驶和作业环境中也会面临坑洼、边缘死角等问题。早期无人环卫车多采用人工驾驶录入路线后循迹的方式实现无人驾驶，至今仍有大量公司和项目采用这种方式，更智能、先进的方式是自动驾驶系统自动规划路线，实现区域内全覆盖清扫。这种方式技术难度更高，但适用范围更广泛，更适宜后期规模化商业应用。
- 3) 运营管理：对科技公司来说，运营管理能力是需要重点突破的难题。环卫运营管理是个复杂的系统，涉及大量设备和人员，各地也有不同的环境、标准和要求。当前无人环卫应用尚处于探索示范的早期，无人环卫车需要和环卫工人、有人驾驶环卫车辆大量交互配合。因此，科技公司必须深入环卫项目管理和运营，搭建智能化的管理和运营体系，而不仅是提供无人驾驶技术或设备。

2.11.4. 主要参与方类型

目前深耕环卫场景的科技公司主要有三类：

- 1) 自动驾驶科技公司：掌握自动驾驶核心技术，自研或者联合传统车企研发生产自动驾驶环卫车，以智行者、仙途智能和于万智驾为代表。

- 2) 服务机器人公司：掌握机器人的设计和制造技术，生产封闭和半封闭场景下的清扫机，现在逐步转向室外环卫场景，以高仙机器人和酷哇机器人代表。
- 3) 泛人工智能应用公司：定位于人工智能技术的应用，提供多场景 AI 解决方案，环卫是其覆盖场景之一，以希迪智驾和深兰科技为代表。

除此之外，传统环卫设备公司也在努力探索无人环卫。自 2018 年起，盈峰环境（中联环境）、北京环卫、龙马环卫等传统环卫公司开始进行产业布局。北京环卫旗下京环装备携手百度 Apollo，于 2018 年推出 7 款自动驾驶系列环卫作业产品。宇通重工业正式发布了旗下首款纯电动无人驾驶扫路机以及全新宇通智慧环卫云平台。

相比科技企业，环卫设备公司更加了解环卫行业的真实需求、拥有一定的运营管理经验，同时，多年发展也积累了客户优势。但传统公司对自动驾驶核心技术的掌握仍有限，很难将自动驾驶功能真正融合到传统环卫车辆中。通过与科技公司进行合作，可以缩短研发周期、减少研发成本，尽早实现经济效益。

2.11.5. 主要厂商

1) 智行者

成立于 2015 年，定位无人驾驶大脑提供商和行业赋能者，产品线覆盖清洁环卫、物流配送、军工特种及出行领域。环卫领域是智行者无人驾驶大脑最先落地的场景，早在 2017 年 9 月智行者就携手百度 Apollo 在北京奥林匹克森林公园进行“蜗小白”无人驾驶扫路车的投放；2018 年 10 月，智行者和北京环卫集团旗下环卫装备有限公司合作发布环卫作业产品；2019 年 6 月，智行者旗下无人驾驶环卫产品进军欧洲市场，目前已实现在欧洲、美国、阿拉伯、以色列等地区实现清扫作业。截止目前，智行者 L4 级无人环卫清扫车已经在国内外 20+ 国家落地，已成功交付近千台，在 L4 级室外环卫领域一枝独秀。

2) 仙途智能

成立于 2017 年，定位无人自动驾驶技术研发商。2018 年，发布全球首个自动驾驶清洁车队，覆盖 3-16 吨所有环卫车型；2020 年 1 月，仙途无人环卫车亮相苏州高铁新城，开始进行无人环卫车常态化商业试运营；2020 年 6 月，仙途智能和瑞士知名环卫设备制造企业 Boschung 集团成立合资公司 WIBOT 并推出 Urban-Sweeper S2.0 自动驾驶智能清扫车。2021 年 6 月，仙途无人清扫车，落地唐山港、郑州新郑国际机场。

3) 于万智驾

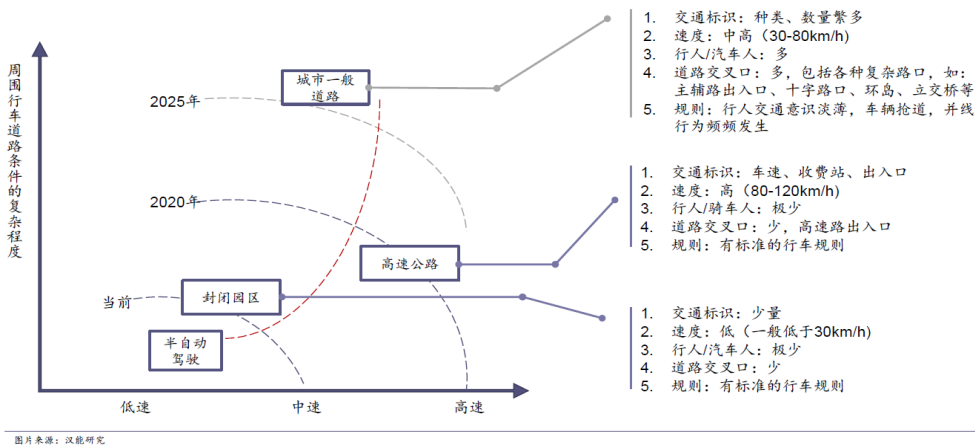
成立于 2020 年，定位环境卫生智能化整体解决方案提供商。2020 年 9 月，与龙马环卫战

略合作，并发布了两款产品。2020 年 12 月，和龙马环卫达成合作，完成了在集美大学全覆盖清扫的运营验收。2021 年 3 月，签约阿克苏市环卫一体化项目。2021 年 6 月，和碧桂园满国合作，批量销售无人环卫车。

2.11.6. 商业化速度比较

高级别自动驾驶最大的优势和风险均来自系统对于人类驾驶员的替代。因此从运行环境的角度讲，越简单的路况环境和越标准的作业流程，就越能够批量落地自动驾驶系统，带来成本规模效益；从驾驶主体的角度讲，越能代替人类驾驶员疲劳驾驶、高危作业的场景，越有替代价值。

随着道路密度、路况复杂度上升，自动驾驶实现难度攀升

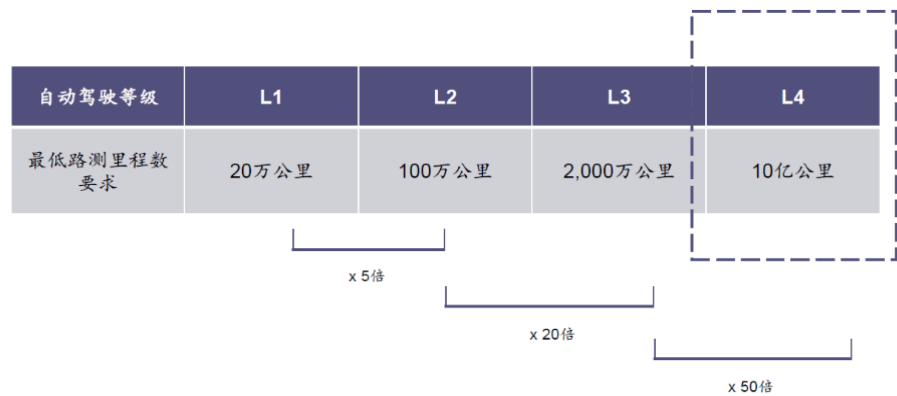


载货场景的主要落地动力来自于效率提升和成本下降。根据场景特点又可以继续划分为封闭场景（港口和矿区）、半封闭场景（最后一公里、市政环卫、无人零售）和开放场景（干线物流）。封闭场景和半封闭场景由于运行线路固定、场景相对简单、行驶速度较低，因此落地进展较干线更快。同时，以矿区、清洁为代表的多个场景由于条件不适合人类长期工作，面临安全性、职业病等方面挑战，导致劳动力短缺日益明显，也成为推送自动驾驶急速落地的驱动因素。目前多家自动驾驶公司已在港口、矿区、环卫和零售领域实现了批量化落地，从测试阶段向跑马圈地、订单抢夺阶段过渡。

载人场景主要动力在于安全性提升，其次是成本下降。要实现绝对安全，离不开积累大量路测里程、收集足够多的 Corner Cases 来对自动驾驶算法进行训练。据测算，要实现 L4 级别自动驾驶，最低路测里程数要求为 10 亿公里，达到千亿公里级别才能确保充足数据进行 AI 训练及仿真测试，从而确保行驶安全。目前公共道路路测数据领先的 Waymo 公司路测数据仅达千万公里级别（3,219 万公里），主打高速城市公开道路场景的 Robotaxi 要实现大规模商业化落地仍需要较长时间。相较而言，主打中低速场景、且行驶路线较为固定的

Robobus 或有望更快实现落地。

各自动驾驶等级对应的路测里程数最低要求



图片来源：汉能研究，华为，头豹研究院

从受法律法规的影响程度来看，自动驾驶商业化应用路径将遵循先封闭后开放，先载货后载人的原则，率先应用在限定场景下的封闭或半封闭区域，比如封闭园区内物流运输，其次是干线物流、末端配送、固定线路的环卫领域、公共交通、网约车等，最后才是私人场景的自动驾驶。私人场景的自动驾驶所面临路况较为复杂，且主要面向人，安全问题就成了重中之重。

受访企业元戎启行认为，Robotaxi 行业壁垒高，仍需较长落地时间，需要坚持长期主义，也要自我造血，才能将公司经营下去。小马智行相关受访者也表示，RoboTaxi 目前仍处于行业发展早期阶段，自动驾驶相关厂商众多，包括自动驾驶初创公司、互联网巨头、新能源造车、汽车厂商自动驾驶研究院等，未来随着行业成熟，马太效应会明显，资源会更多向头部企业集中。

3. 当前行业面临的挑战和破局点

3.1. 政策有待完善

自动驾驶正处于大规模商用的初级阶段，政策的支持与引导、法律法规的创新与适用对于加速自动驾驶技术演进，推送产业快速发展起到至关重要的作用。截止至 2021 年 10 月，我国在自动驾驶立法领域已建立初步体系，并取得初步成果。目前的立法大多以政策性、规范性文件为主，侧重于宏观调控与地方试点相结合。

在发展规划方面，2015 年国务院印发的《中国制造 2025》中，提出将推动智能交通工具等产品的研发和产业化。2017 年 4 月，工业和信息化部等三部门联合发布的《汽车产业中长期发展规划》，同年 7 月国务院印发《新一代人工智能发展规划》，2020 年 2 月，国家发

改委、科技部等 11 个部委发布《智能汽车创新发展战略》，对自动驾驶的发展计划、发展战略、未来愿景等方面做出规划设计。在自动驾驶分级标准方面，工业和信息化部于 2021 年 3 月 9 日公示，并于 2021 年 1 月 1 日正式实施国家标准《汽车驾驶自动化分级》，对自动驾驶技术等级及其划分要素做出规定。

分级	名称	持续车辆横向和纵向运动控制	目标和事件探测与响应	动态驾驶任务接管	设计运行范围
0 级	安全辅助	驾驶员	驾驶员和系统	驾驶员	有限制
1 级	部分驾驶辅助	驾驶员和系统	驾驶员和系统	驾驶员	有限制
2 级	驾驶辅助	系统	驾驶员和系统	驾驶员	有限制
3 级	有条件自动驾驶	系统	系统	动态驾驶任务接管用户（接管后成为驾驶员）	有限制
4 级	高度自动驾驶	系统	系统	系统	有限制
5 级	完全自动驾驶	系统	系统	系统	无限制 *

*排除商业和法规因素。

在道路测试和市场准入方面，工业和信息化部、公安部和交通运输部于 2018 年 4 月发布《智能网联汽车道路测试管理规范》并于 2021 年公布《智能网联汽车道路测试与示范应用管理规范（试行）》（征求意见稿），并在北京、上海、重庆、长沙等 12 个城市中颁布相关试行规定。另外 2021 年 3 月 24 日，公安部发布了《道路交通安全法（修订建议稿）》在法律层面明确了具有自动驾驶功能的汽车进行道路测试和通行的相关要求。2021 年 4 月 7 日工业和信息化部装备工业一司发布了《智能网联汽车生产企业及产品准入管理指南（试行）》（以下简称“《准入指南》”）

在数据和网络安全方面，2017 年 12 月国家标准化管理委员会、工业和信息化部联合发布了《国家车联网产业标准体系建设指南（智能网联汽车）》系统性提出汽车信息安全标准建设指导规划，2021 年 5 月，国家互联网信息办公室发布《汽车数据安全若干规定（征求意见稿）》，对汽车数据合规提出详细的规定，2021 年 6 月 21 日，工信部就《车联网（智能网联汽车）网络安全标准体系建设指南》公开征求意见，并于 2021 年 6 月 23 日，工信部就《关于加强车联网（智能网联汽车）网络安全工作的通知（征求意见稿）》公开征求意见。

我国的立法性文件集中于发展规划、自动驾驶分级标准、道路测试和市场准入以及数据和网络安全四方面，并且在道路测试上从中央和地方两层面出发表明对自动驾驶技术发

展的支持。另外我国以地方为首先切入点，在北京、深圳设立先行区并在广州、上海和雄安新区等地区开展道路测试。真正做到宏观调控与地方试点相结合，逐渐稳步推进自动驾驶的立法和实践发展。

长久以来，我国自动驾驶领域的法规政策多以规范性、政策性文件为主，因此其以过于抽象、缺乏具体可操作性而遭遇诟病。然而自迈入 2021 年以来，这一方面已取得初步突破。

2021 年 3 月 24 日公安部发布的《道路交通安全法（修订建议稿）》（以下简称“修订建议稿”）第 155 条首次以立法的形式明确了自动驾驶汽车在道路测试和车辆准入方面的规定，明确指出具有自动驾驶功能的汽车开展道路测试应当在封闭道路、场地内测试合格，并且要求自动驾驶汽车取得临时行驶车号牌。虽然此次《修订建议稿》在自动驾驶方面的立法修改暂时只有这一条内容，但这也是我国首次在上位法领域做出对自动驾驶的相关内容予以明确规制。

同时，2021 年 3 月 23 日，深圳市人大常委会发布了《深圳经济特区智能网联汽车管理条例（征求意见稿）》并向全社会征求意见，虽然目前尚处于征求意见阶段，但其内容已涵盖道路测试、市场准入、责任承担、数据与安全保护多方面内容。这是我国首次进行对自动驾驶领域的专项立法，此次突破对于我国后期在自动驾驶领域逐渐建立一套切实可行、覆盖全面的法律体系而言不可谓不是一次重要开场。

然而，与飞速变化的科学技术相比，相关立法的发展仍然存在速差。在技术日益成熟的当下，法律发展逐渐与科技发展不相匹配，若强行沿用过去传统法律只会愈加凸显双方的水土不服，另外对于已做出规定的方面不仅情形不甚全面，其内容也有待细化，存在多个立法关键点亟待逐个击破。

第一，事故责任主体规定不够明晰，责任分担规则尚未确定。《修订建议稿》中将自动驾驶汽车分为“具有自动驾驶功能且具备人工直接操模式的汽车”和“具有自动驾驶功能但不具备人工直接操作模式的汽车”两种，前者对应《汽车驾驶自动化分级》中 L3 及其以下级别的汽车，后者对应 L4 及其以上级别的汽车。在规定事故责任承担主体时，《修订建议稿》规定如果发生道路交通安全违法行为或者交通事故的，应当依法确定驾驶人、自动驾驶系统开发单位的责任，并依照有关法律、法规确定损害赔偿责任。构成犯罪的，依法追究刑事责任。这一规定明确了驾驶人、自动驾驶系统开发单位的事故责任，然而首先责任承担人仅指向以上两种人群是否严谨，其他主体例如平台研发者、监管者等主体是否承担责任尚有待讨论，若其承担责任又应当适用何种责任认定规则同样未予以明确。另外该条规定对

于不具备人工直接操作模式的汽车的责任主体却缺乏规定，仅规定由国务院有关部门另行规定。由此可见目前我国对于自动驾驶的法律规定过于粗糙并且依然留有“真空地带”。

第二，道路安全保障有待加强。目前《道路交通安全法（修订建议稿）》中强调道路测试中应当在封闭道路上进行，并安排驾驶人处于车辆驾驶座位上，监控车辆运行状态及其周围环境以免意外发生，然而缺乏对路测主体的要求，路测主体应当负担诸多义务，保障路测的安全进行。另外引入路测远程控制同样具有必要意义，若仅将驾驶人做为监控车辆运行的监控主体，无法从外部保障车辆运行安全，目前《修订建议稿》未对监控操作人提出要求，对远程保障的重视不足。自动驾驶汽车具有智能性、自主性，并会在发展中逐渐完善自身认知，因而当事故发生时，自动驾驶汽车或许会基于自身判断做出不同行为，如何确使自动驾驶汽车最大化保障乘客利益，仍是后续立法应当予以重视的部分。

第三，当前法律规范无法完全保障信息安全。为了保障自动驾驶安全前行，自动驾驶汽车务必要更加全面、详细的信息，其中包括自动驾驶地图数据采集、周边环境信息、位置数据以及驾驶人及乘客的个人信息等，在收集信息的过程中务必要要求个人或集体让渡自身隐私。如何界定合理收集信息与侵犯隐私权的界限需要后续法律继续加以关注。目前虽然《民法典》以及《网络安全法》对此有所规制，但想要尽量避免信息泄露带来的隐患，仍需要针对自动驾驶的特征予以专门分析并详细立法。

3.2. 技术仍在持续迭代

从技术端来看，自动驾驶技术的成熟依赖于技术栈中软硬件各环节的有效支撑和落地，具有明显的短板效应。目前，高级自动驾驶的相关硬件，包括各类传感器及芯片等，其技术及性能（如功耗水平）不断升级，对高级自动驾驶大规模商业化的掣肘日益减弱。但软件模块，包括算法训练和软件开发仍面临大量复杂难题。

自动驾驶技术栈开发进展

	L4/L5技术堆栈	技术开发进展 (部分示例)	仍需解决问题的难度
硬件	A 传感器与融合	对不同传感器和组合模式（摄像头、激光雷达、雷达）的有效融合 在各种天气和光照条件下探测、分类和解析静态物体（如基础设施、汽车、道路标志等） 在各种天气和光照条件下探测、分类和解析移动物体（如行人、摩托车/自行车、汽车等） 商业上可行、成本可以接受的车规级平台（如激光雷达）	
	B 计算 (CPU+GPU)	自动驾驶车规级设备已推出 (如英伟达、MobilEye) 功耗和制冷技术仍需进一步改进以支持大规模商业化	
自动驾驶软件	C 地图采集+定位	嵌入特征数据且持续更新的地图，支持高精度定位 在大规模商业化之前，为绘制高精度地图搜集精准数据仍需要大量测绘车辆（包括众包）	
	D 感知（物体分类和跟踪）	语义场景和环境理解 对罕见场景的应对能力（如建筑工地、交警指挥交通、乱穿马路的人、不遵守交通规则的车辆等） 预测物体移动方向（如行人和骑自行车的人在3-5秒内将如何移动）	
	E 行驶规划	与城市交通中的其他参与方沟通，包括路权/优先权 与包括行人在内的众多类型人群沟通（如警察和建筑工人；为此drive.ai公司在车辆外部安装显示屏）	
后台	F 软件开发（包括工具链和模拟）	支持高效大规模软件开发的开发流程和工具 保护对安全至关重要的代码的架构 关键工具的标准化工具仍然有限，特别是模拟验证依赖众多专有解决方案	

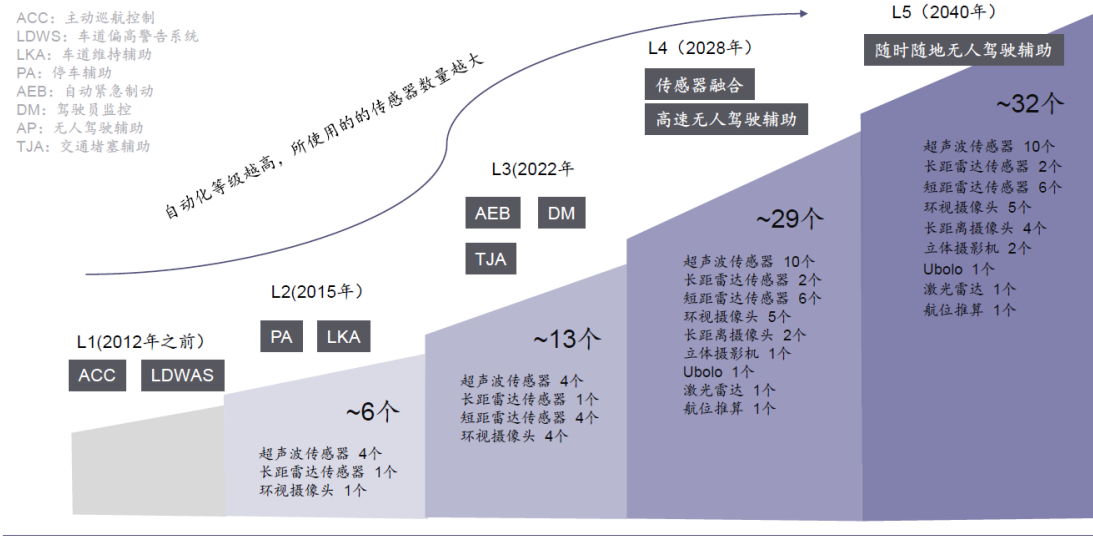
图片来源：汉能研究，麦肯锡

自动驾驶算法训练的关键在于积累大量具备丰富场景信息的驾驶数据。为了实现关键数据的获取，部分领先的自动驾驶初创企业采用重资产模式，即购置车辆并改装成自动驾驶测试车辆，雇佣安全驾驶员进行道路测试，积累必要的里程数以进行算法训练。除了实际路测，通过仿真系统模拟实际路况对算法进行训练，以及在用户汽车上加装传感器、收集驾驶场景相关数据并传回的“影子模式”也被采用以提升算法的迭代速度。目前，也有不少企业开始转向轻资产模式，作为解决方案供应商向主机厂提供算法、并与其打通用户场景数据，以实现自动驾驶算法训练的关键在于积累大量具备丰富场景信息的驾驶数据。为了实现关键数据的获取，部分领先的自动驾驶初创企业采用重资产模式，即购置车辆并改装成自动驾驶测试车辆，雇佣安全驾驶员进行道路测试，积累必要的里程数以进行算法训练。除了实际路测，通过仿真系统模拟实际路况对算法进行训练，以及在用户汽车上加装传感器、收集驾驶场景相关数据并传回的“影子模式”也被采用以提升算法的迭代速度。目前，也有不少企业开始转向轻资产模式，作为解决方案供应商向主机厂提供算法、并与其打通用户场景数据，以实现数据的快速积累。

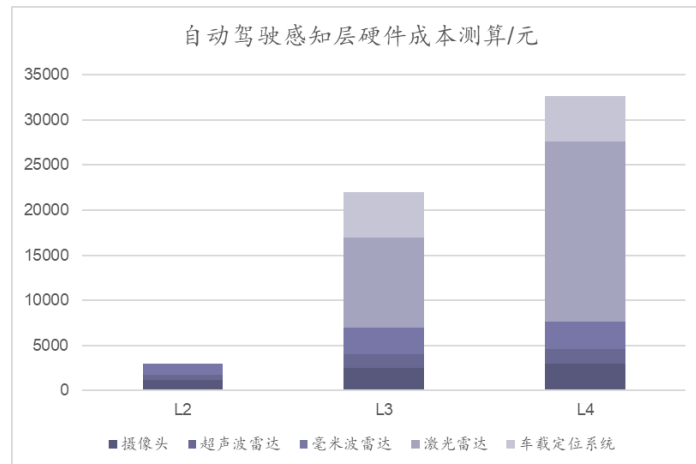
3.3. 成本下降是关键

想要达到规模化商业落地，当前企业必须在量产成本与安全性之间进行权衡。未来随着自动驾驶级别的提升，对汽车感知能力的要求也越来越高，会直接带来感知层传感器数量、技术以及种类等多方面的相应提升。

不同等级自动驾驶所需传感器数量



据公开数据显示，高级别自动驾驶主流的技术方案为：L3 自动驾驶乘用车/商用车搭载 1-3 颗前向激光雷达，需要传感器约 13 个；L4/L5 自动驾驶乘用车/商用车搭载 4 颗激光雷达，所需传感器数量达 29-32 个。除此之外，L4 自动驾驶的硬件设备还包括感知层的 8-11 台摄像头，12 台超声波雷达，5-8 台毫米波雷达和 GNSS/IMU 定位系统等。据此测算可得 L2-L4 级自动驾驶感知层的硬件成本，L2 级的 3,600 元左右跃升至目前 L3 级的 22,000 元左右，L4 则高达 32,600 元。



在未来，以激光雷达为主的传感器价格下降有望带来的自动驾驶整体硬件成本的大幅下降。

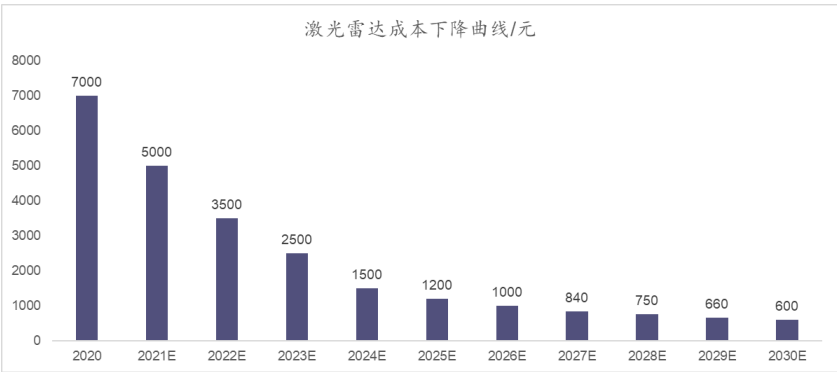
以激光雷达为例，成本可拆分为研发成本、生产成本与 BOM 成本。

未来降低成本的主要方向包括：

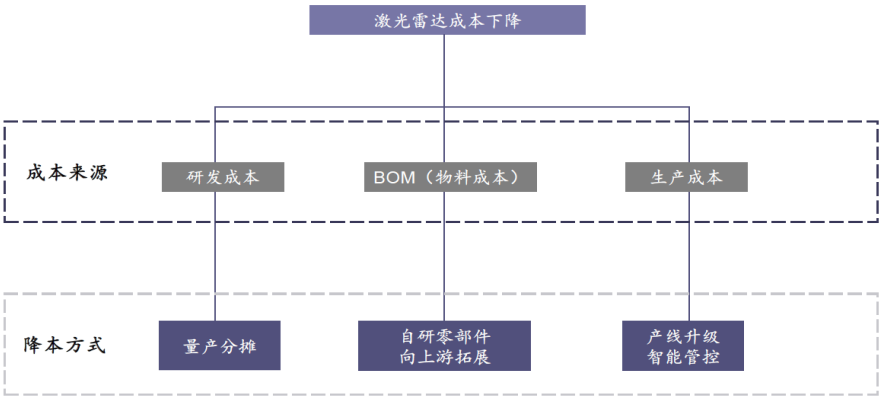
- 1) 大规模量产。研发成本与生产成本可随量产规模的扩大显著分摊。据某激光雷达产生披露，其旗下某激光雷达目前万台级供货价定在 743 美元；在十万台级别，其单价为

498 美元；在百万台级别，单价则可降为 289 美元。量产带来的价格下探幅度显著。

- 2) 控制上游元件成本。企业可通过自研光学元件、芯片等上游产品进而控制激光雷达产品的 BOM 成本。如 2019 年法雷奥激光雷达产品 Scala 的主板成本占比达 45%、激光单元占比 23%、机械镜单元占比 13%、机械式激光硬件占比 10%，若激光雷达厂商可自研并量产芯片及光学元件，BOM 成本将显著降低。
- 3) 技术路径迭代。由成本较高的机械式向纯固态迁移、由人工成本较高的 EEL 向可机器量产的 VCSEL 发展等，此外厂商积极开发成本较低的 FMCW 方案及进一步开发 1,550nm 的方案，持续探索成本降低的路径。从硬件成本来看，不同技术路线激光雷达的成本占比情况不一，如 1,550nm 光源激光雷达的光纤激光器成本占比高达 80%，约为 2,000 美元；905nm MEMS 产品的核心控制点在于 MEMS 微振镜，发光-振镜-接收系统成本占比约为 40%。通过采购供应链管理、规模化流水线生产、提升良品率、提高标准化及模块化水平等方式，硬件成本可得到较大幅度降低。



激光雷达降成本路线

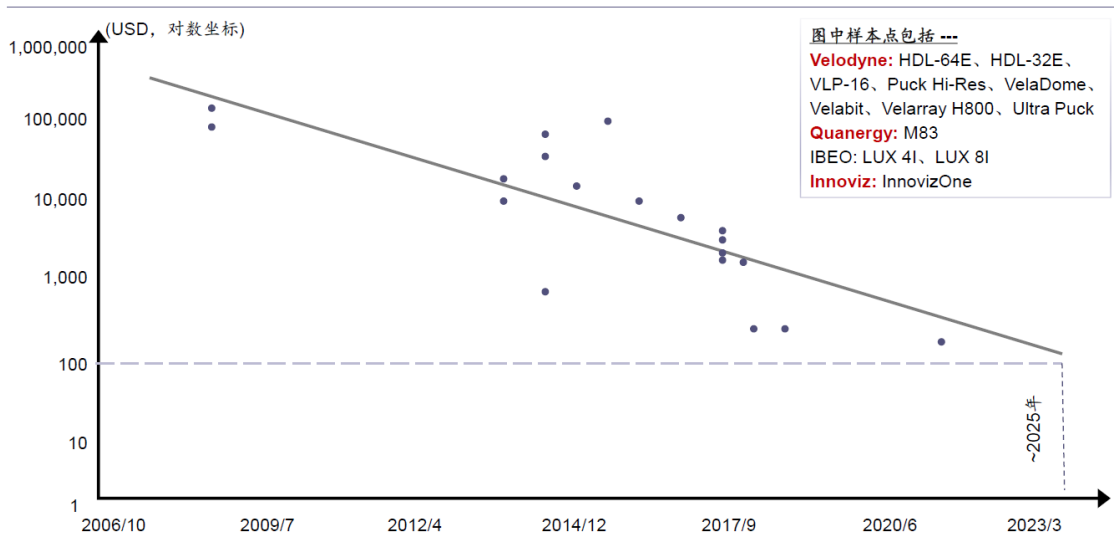


图片来源：汉能研究，光大证券

参考计算机发展过程中著名的“摩尔定律”：计算机的性能每隔 18 个月翻一倍，即每过一年半时间，价格降为二分之一，硬件的降价趋势将为自动驾驶提供成本可行性与商业利润空间。

曾投资元戎启行和新石器的云启资本合伙人陈昱在受访时表示，随着技术和产业链逐渐成熟，L4 套件成本将加速下降。

激光雷达价格下行趋势明显



图片来源：汉能研究，汽车之家，中金公司

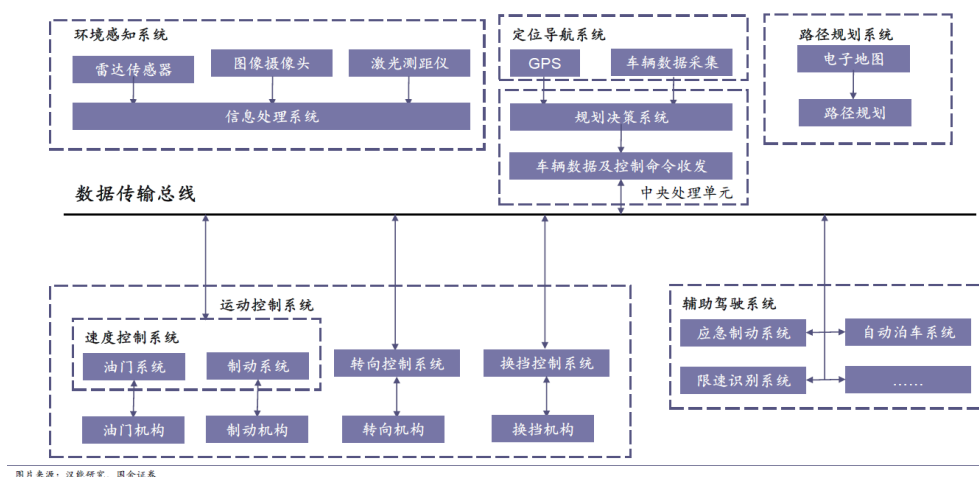
4. 当前行业争论话题

4.1. 单车智能 VS 车路协同：基础设施差异决定路线选择，长期来看会趋于协同

自动驾驶当前存在两张主流的实现路径：一是基于单车感知和高效算法决策的单车智能模式，二是基于道路基站和车辆进行通信、通过云端调控的车路协同模式。

单车智能模式痛点难以回避。从目前表现来看，单车智能存在较多弱点：多传感器融合对芯片性能提出了较高要求，同时导致单车成本较高，难以进入私家车领域；无人驾驶依靠 AI，但 AI 黑箱效应难以克服；自动驾驶 110 亿英里的道路检测难以实现；全自动驾驶有高达百万的 Corner Cases 需要解决，光靠软件设计很难在短期内覆盖到所有极端情况，难以保障行驶安全。

单车智能技术框架



图片来源：汉能研究，国金证券

相比之下，车路协同是单车智能的延伸和拓展。单车智能是车路协同的基础，如果没有单车智能，智能网联就缺少基础平台，更重要的是在路侧没有铺设智能设备、通讯受到干扰、智能路侧设备出现故障时，单车智能摆正汽车安全行驶。此外，在车路协同无法覆盖的区域以及极端场景中，还是需要依赖单车智能自动采取行动。而由于单车智能不可忽视的痛点，车路协同形成单车传感器的性能延伸，缓解计算平台算力压力，对于高级别自动驾驶不可或缺。车路协同的应用能够加速汽车产业化落地。

车路协同联网体系示意图



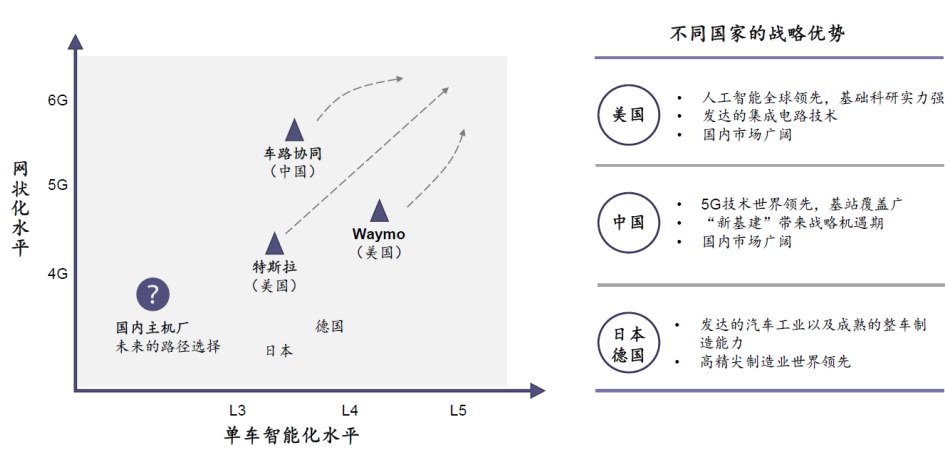
图片来源：汉能研究，中国信息通信研究院，国金证券

单车智能和车路协同的本质是技术和成本在车侧和路侧的平衡。虽然L4-L5级的自动驾驶最理想模式是实现“车端-路端-云端”的高度协同，智能的车配合聪明的路，车端智能和路侧智能协同呼应，但车端智能和路端智能的发展不完全是同步的关系，自动驾驶的路线选择面临感知能力、决策能力（算力）等不同能力在车侧和路侧分配的问题，所对应的成本也不同。

车路协同模式下，路侧的感知与决策主要依赖于路侧感知设备和边缘计算，未来路灯杆有

望安装多类传感器进行信息融合，安装高度提升可以获取更好的视距、最大化减少盲区，提高数据获取准确性，通过节省车端的激光雷达降低自动驾驶的单车成本。同理，通过路侧边缘计算单元为车辆提供决策甚至指令，可以降低车载平台对算力的要求，对功耗和散热性能的要求也会随之下降，从而降低自动驾驶汽车对高性能车载芯片的依赖。

不同国家的战略优势与路径选择



图片来源：汉能研究，德勤

然而，车路协同的实现离不开公路的智能化改造和基础设施投资。据天风证券和中银国际证券测算，高速公路的单公里智能化改造成本是 100 万左右，包含了 RSU、边缘计算、摄像头等设备，考虑到中国的高速公路里程 14.96 万公里，一级公路 11.17 万公里，高速公路和一级公路的智能化改造市场规模约为 2,613 亿元。由于二级公路和更低等级的公路路况较为复杂，有更多机动车与非机动车和行人混行的情况，需在十字路口、事故易发路段等关键场景铺设更多路侧设备，不同路况的单公里智能化改造投资差异较大，难以进行估算。车侧智能和路侧智能的分配和发展受到诸多因素的影响，不同国家从自身国情出发，基于相关产业的发展情况与核心能力，整合各自的战略优势，形成了以美国为代表的“单车智能”路线和以中国为代表的“车路协同”路线。美国在人工智能领域全球领先，人才储备充足，基础科研实力强，人工智能企业数量位居全球首位。另外，美国拥有发达的集成电路技术，在高端芯片设计领域一直保持领先态势，为单车智能所需的高性能车载芯片发展打下了良好基础。相比之下，中国在网联化建设方面成果显著。以华为为代表的通信企业在 5G 技术方面世界领先，且 5G 基站铺设速度快、覆盖广。工信部预计 2020 年底中国 5G 基站数量将超过 60 万个。同时，中国政府大力推行 5G 网络、物联网、卫星互联网、数据中心、智能交通基础设施等新型基础设施建设，由我国主导设立的 C-V2X 已成为世界智能驾驶发展的主流。从道路情况来看，中国高速公路总里程世界第一，公路总里程和公路网密度快速增加，且收费公路里程远高于美国，这些基础设施建设方面的特殊性将有力推动车路协同

的发展。

中国与美国车路协同基础设施的对比

	中国	美国
 高速公路里程	~14.96万公里	~10.84万公里
 收费公路里程	~16.81万公里（其中高速公路占82%）	~8000公里
 4G/5G基站数量	~640万个/~15.6万个	~30万个/~5万个
 政府参与度	政府主导，政府参与度高	市场主导，政府参与度较低

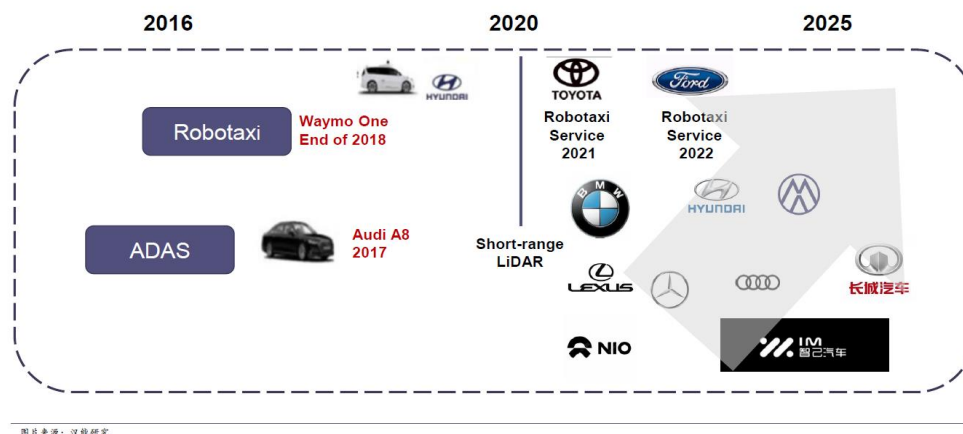
图片来源：汉能研究，德勤

基础设施差异决定了我国自动驾驶选择了车路协同路径。虽然自动驾驶更早起源于美国，但是未来随着人才建设加强、基础设施更加完善、法规不断健全，中国自动驾驶产业有望实现弯道超车。

4.2. 视觉 VS 融合：成本下降趋势下，融合是实现安全冗余的必经之路

自动驾驶的感知层从技术上又可以分为纯视觉和多传感器融合两种方式：

- 1) 摄像头主导的纯视觉解决方案：由摄像头主导，配合毫米波雷达等低成本传感器构成纯视觉计算，典型代表为特斯拉。其自建芯片和算法团队，认为通过视觉系统优化自身 AI 算法就可以达到较高的智能驾驶水平。代表企业特斯拉推出基于纯视觉方案的 FSD Beta，彻底放弃毫米波雷达，以及百度发表 L4 级别纯视觉方案 Apollo lite。
- 2) 激光雷达主导的强感知方案：该方案由激光雷达主导，配合摄像头、毫米波雷达等传感器组成，典型代表企业为 Waymo、Uber 等科技和出行公司。对于特斯拉之外无法通过 AI 弥补硬件缺陷的汽车厂商而言，采用更多类型传感器是更好的选择。



图片来源：汉能研究

相比之下，纯视觉技术路线把更多精力放在研发强大的视觉算法及专用 AI 芯片的能力来处理自动驾驶可能遇到的所有情况。2021 年 8 月 20 日，特斯拉在年度人工智能日（AI Day）上发布了新一代自研芯片 D1 及基于 D1 的超算单元 Dojo，并展示了完全基于摄像头的自动驾驶方案。其纯视觉方案依托八个摄像头的视频融合形成矢量数据，使用 HydraNets（九头蛇网络）多任务学习神经网络算法将这些数据分给不同神经网络。该方案涉及在多目标优化的难题下同时处理复杂的优化问题，展现了特斯拉深厚的 AI 能力。同时，特斯拉的大量车主在实际道路上所产生的海量数据源也极大推动了公司算法的精度。特斯拉的纯视觉方案背后是远超市场上大部分公司的强大硬件研发能力和巨大数据源。但即使如此，之前也仍然有因为视觉方案在行驶过程中错误识别所导致的事故。曾经同样以视觉为核心的 Mobileye 在 2025 年自动驾驶汽车传感器系统发展计划中提出了将使用内置的激光雷达传感器。

激光雷达本质上是激光探测和测距，其原理是通过发射与接收激光来探测与目标物之间的距离，再根据目标物表面的反射能量大小、反射波谱幅度、频率和相位等信息，精确绘制出目标物的三维结构信息。而凭借着在目标轮廓测量、角度测量、光照稳定性和通用障碍物检出等方面所具有的极佳性能，激光雷达正在成为 L4 级及以上自动驾驶的核心配置。3D 激光雷达在无人驾驶车辆的定位、路径规划、决策、感知等方面有着重要的作用。2022-2025 年之间预计绝大部分的主机厂会量产上激光雷达，从国际上看，沃尔沃和 Luminar 宣布量产，国内蔚来选择图达通的激光雷达作为 ET7 的标配；小鹏 P5 搭载了大疆旗下览沃的激光雷达；理想也与禾赛科技展开了下一代车型的合作。由此看来，激光雷达仍然是绝大多数企业走上自动驾驶的必经之路。

1) 从技术特点的角度看

视觉方案中的图像传感器能以高帧率、高分辨率获取周围复杂的环境信息，且价格便宜，同时视频数据和人眼感知的真实世界最为相似。但图像传感器是一种被动式传感器，其本身并不发光，成像质量受到环境亮度影响较大，在恶劣环境下完成感知任务的难度会大幅提高，并且由于视觉技术更多的是基于二维图像的信息做进一步的挖掘，所以其对于数据的积累以及算法能力的要求也将会更高一些，短期内能够落地到实际场景当中仍需要时间。激光雷达是一种主动式传感器，通过发射脉冲激光并探测目标的散射光特性获取目标的深度信息，具有精度高、范围大、抗干扰能力强的特性。但是，激光雷达获取的数据稀疏无序，难以直接利用，且激光单色的特性让其无法获取颜色和纹理信息，虽然对于周边环境测距描绘的能力突出，却因为缺点太致命，所以必须搭配其它传感器互补使用，而多传感器融合的方案设计均较为复杂，而且技术人员往往从快速解决问题的角度出发设计算法，这个过程中难免避重就轻的利用异构数据各自的优势进行缺陷互补从而绕过困难的问题。所以从长远来看，传感器融合方案在数据和策略间深度耦合的设计不利于自动驾驶环境感知等技术发展。

2) 从商业量产的角度看

目前激光雷达感知能力是略强于纯视觉的，很多主机厂商和一级供应商为加速量产落地，难免会通过过多使用激光雷达来回避视觉识别算法、芯片、定位建图等问题。

曾经激光雷达的成本是非常高的，一套激光雷达设备一度最高能达到 7.5 万美金，近年来，随着激光雷达从机械式向固态式发展的趋势，激光雷达实现了快速的成本降低。其中 OPA 式的固态激光雷达在量产后有望降到 200 美元以下。激光雷达成本的迅速下降更得益于中国相关产业链的成熟与完善，将成本迅速降低。特别是中游激光雷达已经有不少国产厂商如禾赛科技、大疆、华为、速腾聚创、镭神智能等。

3) 优劣对比，既对立又互补

在 ADAS 阶段，决策权仍在驾驶员手中，其对汽车的软件算法要求相对较低，以 Mobileye 为代表的视觉方案被多数整车厂采用。

然而，随着智能驾驶迈向 L3 及以上，自动驾驶平台将接替人的大脑进行驾驶决策，对算法和 AI 的能力要求明显提升，目前仅特斯拉、百度、Mobileye 等具备软件和算法基因的厂商完全采用或兼顾视觉方案。纯视觉解决方案多以黑盒方案为主，且 L3 及以上自动驾驶升级难度大，传统整车厂搭载意愿不强。

到目前为止，小鹏、蔚来、理想、极狐、长城、智己、上汽 R、Lucid、沃尔沃和广汽都已

经明确将量产搭载激光雷达的车型，而首款搭载激光雷达的量产车小鹏 P5 也已经正式上市。百度、Mobileye 采用前装用视觉、Robotaxi 用激光雷达的双线并行策略，优化其感知效果。在前装领域，例如百度于 2020 年 12 月推出名为 ANP 的“轻传感器、轻算力、强感知”视觉方案。在成本不敏感的 Robotaxi 领域，百度选择拥抱激光雷达，与激光雷达公司禾赛科技一起定制激光雷达，不仅提升了感知力和可靠性，成本也大幅下降。

另一方面，以纯视觉传感器方案闻名的 Mobileye，通过 7 个长距摄像头和 4 个泊车摄像头打造了自己的视觉方案。其中，前置摄像头处于主要感知位，具备 120 度、800 万像素性能，前、后则共布置 4 个角摄像头，侧后视镜、前后保险杠提供 190 度的广角摄像头。这些感知摄像头与数据处理端的 2 个 EyeQ5 芯片组成了 Mobileye 的纯视觉系统方案，支持汽车安全地行驶在错综复杂的城市环境中。

与此同时，公司亦宣布旗下 Robotaxi 将与著名激光雷达厂商 Luminar 合作，通过激光雷达、雷达与摄像头的配置综合提升其无人驾驶的感知精确程度，提高车辆行驶安全性与可靠性。可见激光雷达与视觉摄像头在现阶段还没有完全分出高下，多传感器冗余在目前来说是各家厂商比较保守的发展路线。

之所以目前大部分车厂采用激光雷达方案，一个重要原因是此方案能够实现较快落地，并可通过多传感器配合实现安全冗余。尤其在短期内，纯视觉方案基于深度学习的算法尚未达到全路况覆盖情况下、安全性仍存疑，激光雷达方案安全性更高。

启明创投合伙人周志峰受访时表示，未来多传感器融合路线的优势将会十分明显，随着技术成熟度上升，低成本和高精度可以通过不断固态化实现。启明创投是自动驾驶企业文远知行最早的投资机构。受访企业图达通也表示，即时是在限定场景 L3 的情况下，纯视觉方案也无法做到完全安全可靠，未来随着车路协同落地，路端也需要大量激光雷达和传感器的投入以不断增加自动驾驶的感知精度、不断提高冗余。

综上，我们认为，对于大部分企业来说，以激光雷达为主导的多传感器融合方案是未来主流选择。纯视觉方案与多传感器融合本质上是关于成本与安全性的平衡，未来在硬件成本有望实现大幅下降的趋势下，多传感器融合是实现自动驾驶安全冗余的必经之路。

纯视觉方案存在弊端，为小众选择

	纯视觉方案	激光雷达
特点	摄像头稳定性易受天气光照等环境因素影响	稳定性较强，不易受天气等环境因素影响
应用	特斯拉Autopilot	2016年，百度无人驾驶汽车装配多个激光雷达 2017年，奥迪A8搭载法雷奥SCALA
现状	小众	主流

图片来源：汉能研究，百度Apollo，奥迪官网，中金公司

4.3. 全栈 VS 非全栈：短期内全栈自研是效率最优解、非全栈是成本最优；长期来看，非全栈是最终的成本&效率最优解

从计算机系统设计的角度来看，栈（Stack）主要指代某一特殊形式的抽象数据类型，后用全栈（Full-Stack）指解决问题域内全局性技术的能力模型。自动驾驶的全栈技术可以理解与为车辆实现自动驾驶功能所相关的所有技术功能的集合。

自动驾驶的技术堆栈可以拆分为五个核心部分：硬件层、车外软件和数据层、开发和验证整合层、车载软件层、用户产品层。每一个核心栈又由若干子层组成，各部分之间通过各种接口和 API 进行连接。以硬件层为例，包含车辆执行（如传动系统、制动及转向系统等）接口、计算中心、车端-云端通信端、数据存储端以及传感器等多个系统，其中传感器系统又可进一步划分为 GNSS、激光雷达、毫米波雷达、照相机等车端感知硬件。

自动驾驶技术栈结构

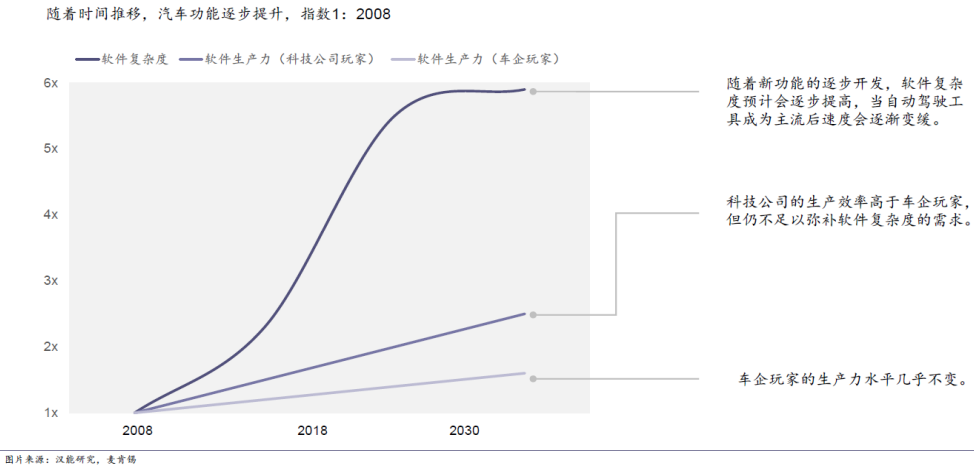
产品	用户应用程序	系统集成	应用程序	发布
	算法软件	2D+3D感知	基于AIML的场景理解	定位 路径规划/决策 控制
车载软件	软件框架	硬件抽象	中间设备	安全冗余 安全支持 诊断
	运营系统	内核	时间表	驾驶员
	功能安全性	规程	安全	意外防护 证实 确认
方法论	检测	零件测试	回归检验	综合测试 SIL/HIL 车辆检测
	设计	用户体验	内部交互设计	外部交互设计
	开发工具	开发环境	可视化	模拟
非车载软件	数据处理	数据记录	数据回放	数据注解 数据分析
	运营程序	车队管理	车队路径	遥控操作 远程诊断
	地图创建	创建	注解	更新 分布
	地图	拓扑层	关系层	物理层
硬件栈	传感器	GNSS	INS/IMU	激光雷达 摄像头 雷达
	零件	计算	云交互	车间交互 数据记录仪 数据存储
	车	接口	驱动	制动系统 转向系统 电子

图片来源：汉能研究，Apex

不同技术栈对开发商有不同的能力要求。比如，传感器层需要强稳定性、可靠性和安全性，同时为了实现商业落地，还需要强大的量产能力和生产管理能力。

我们认为，在自动驾驶技术发展的早期阶段，做全栈自研是效率最优解。这一阶段自动驾驶产业链各个环节尚不成熟、缺少相关标准，整个行业呈粗放式发展。由于项目开发过程中涉及不同技术和较多繁杂的沟通环节，企业选择全栈自研可以有效减少沟通成本、解决人手不够和资源紧张、以及问题闭环等问题，极大提升开发效率。同时，全栈对于公司整个业务统筹、技术方案的判断选型、问题的定位解决等有重要影响。

汽车行业正面临软件复杂度和生产力水平不匹配的问题

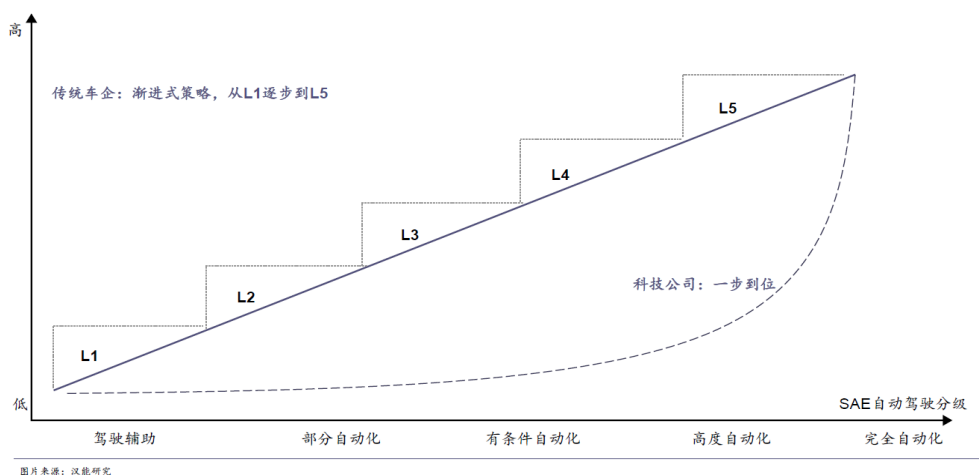


然而，随着技术不断迭代和产业链的成熟，长期来看，非全栈将成为效率和成本最优解。经过最近几年技术的迭代，自动驾驶产业链逐渐向精细式发展，越来越多非全栈解决方案提供商开始涌现，在高精地图、计算平台、雷达系统等技术栈内多点开花，通过技术壁垒和生态圈构建形成核心竞争力。未来随着汽车 E/E 架构集中化，汽车软件的迭代速度会越来越快、软件代码复杂性将极大上升，这将促使产业链上的厂商向专业化、精细化发展。作为元戎启行和速腾聚创的投资人，复星锐正资本联席总裁刘思齐认为，全栈自研对于每个部分之间有新的耦合要求，硬件研发必须深度参与，未来比较简单的部分可以进行外包或选择联合研发，但更看好核心环节自研的企业。

4.4. 渐进式 VS 一步到位：不同商业模式决定路线不同，是有限的资源投入与效率产出
的平衡

从技术实现路径来说，目前存在渐进式和一步到位式两大路径。其中渐进式以传统车企和造车新势力为代表，实现从 L0 到 L5 的自动驾驶逐级进阶，目前正处于 L3 自动驾驶初步导入阶段，下一阶段主要拓展城市区域同时提升功能连续性。跨越式以科技巨头为代表的，如谷歌 Waymo、百度 Apollo 等，寄期一步到位实现自动驾驶，核心在于场景落地及行之有效的商业模式。

两种技术路线对比



渐进式路线除特斯拉相对领先外，自主车企差距尚不明显。目前国内领先车企大多选用“软件自研+硬件预埋”方案，希望通过后续 OTA 升级迭代软件算法，拓展自动驾驶设计运行区域。

相比之下，选择了一步到位式路线的科技巨头及初创公司们目前已开始在特定场景率先实现了落地。以 Waymo 和百度 Apollo 为代表的科技巨头公司从场景最为复杂的 Robotaxi 切入，通过布局车队来获取路测数据，目前 Waymo 道路测试已超 2,000 万英里，百度 Apollo 谷内测试里程超 700 万公里；初创公司已在港口、矿山等结构化场景实现 L4 自动驾驶的落地。

技术实现路线的不同决定了公司的造血能力。Robotaxi 场景最为复杂，且对安全性要求极高，距离大规模落地仍有很长路要走，仍然需要通过大量资金投入来布局车队实现数据的积累。意识到这一点，今年以来通过一步到位路线切入 L4 场景的企业们纷纷转向相对更容易实现落地的场景，推出 Robotruck、Robovan、Robobus 等多条产品线，一边是出于寻求尽快落地产生现金流、一边则是希望进一步扩大数据收集的范围。

从技术路线上来说，业内关于 L2/L3 场景下积累的数据是否能用于 L4 算法的迭代目前仍有不少争议。在我们收集到的问卷中，不同厂商也表达了不同观点。宏景智驾认为，渐进式可以在形成有效商业化闭环、实现可持续发展的前提下，不断迭代完善该复杂系统的各个核心环节，同时又推动新功能新产品的商业化落地，从而形成良性循环。而 AutoX 表示，L2 到 L4 不是技术上渐进，无法依靠积累 L2/L3 的里程而变成 L4 的技术。云启资本合伙人陈昱受访时也指出，L2 和 L4 的技术框架是不同的，做 L4 的企业后期可以对 L2 形成降维打击，企业在资源有限的情况下需要做市场潜力最大的部分。

我们认为，L2-3 和 L4-5 本质还是在于开车主体是人或者车，当司机不再是人的时候，更多

精力从驾驶上转移出来了，车内空间不再局限于驾驶室，功能可以更多，所带来的想象空间是巨大的。不同的路线并没有好坏之分，商业模式决定了路线的不同，同时也是有限资源与效率的平衡。

4.5. 场景降维打击是否可行：场景本身不存在“降维”概念，关键在于场景需求和供给是否匹配

自动驾驶解决方案提供商本质上是面向具体场景提供产品和服务。除了算法层面，需要根据场景特点做本地化的工程落地，匹配场景需求。不同的场景对自动驾驶公司系统工程化问题的解决能力有不同要求。以干线为例，卡车在动力学模型上来说，不如乘用车灵活、需要更长的换挡时间和更高的驱动精度，需要适应卡车的拖车货物重量、侧风速度等。同时由于卡车货箱较长，转弯和刹车时需要结合远程感知获得更长的规划视野、以及高度准确的控制算法。在港口运输现场，重型牵引车总重达到近 50 吨，车高可达 4 米，带挂总长超过 17 米。这样一个庞然大物停车装载集装箱时，与集装箱的吻合度要控制在 2 厘米以内，行驶过程中从吊臂下穿过时的预留间隙在 10 厘米左右，这对感知和控制的精准性要求比较高。

场景理解主要来自于车辆落地带来的优质数据积累，落地时间越久、落地车辆数越多，则由此带来的大量数据可以保证算法的精准度的提升，由此带来的技术壁垒也越高。因此，即便在核心算法上，各个场景的技术架构基本一致，但新进入场景需要一定时间来积累 know-how，做后续工程化调试。

细分场景特点

	交通灯	行人混行	人类车辆混行	标线道路	路径变化	高精地图刷新	崎岖路面	偶发障碍物	雨雪天气	其他难点
港口	○	○	√	√	○	○	○	○	√	厘米级停车精度与吊车协同
矿山	○	○	√	○	√	○	√	○	√	矿山路面动态变化，控制要求高
市政环卫	√	√	√	√	○	√	○	√	√	城市道路的 corner case 较多
长途物流	√	○	√	√	√	√	○	○	√	施工道路，堵车及恶劣天气
最后一公里	√-○	√-○	√-○	√-○	○	√	○	√	√	门对门运输需要上楼

图片来源：汉能研究

在采访中，不同企业和投资人都表达了类似的观点。AutoX 认为“场景降维”的说法本身忽视了产品化、规模化的难度和复杂度，以及做规模化和商业化所面临的成本需求。即使在非常简单的场景里，将技术产品化、规模化均需要投入大量的人力和精力。简单场景做商业

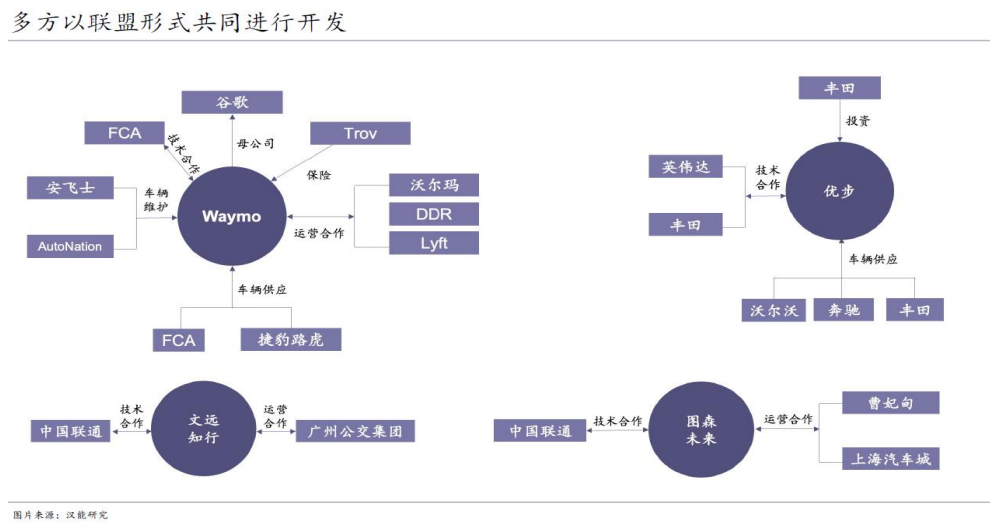
化要求成本较低，因此部分公司用“高维技术”打“低维场景”会面临很大成本问题。同样的，在小马智行看来，虚拟司机（自动驾驶系统）的能力是有一定共通性的，但也同时需要解决实际工程问题。因此，从功能实现角度来看，L4 级自动驾驶技术能够轻松解决简单路况与场景。但从工程角度来看，从高维到低维之间技术迁移并非简单复制，仍然有许多实际的问题有待解决，比如成本、效率等。启明创投合伙人周志峰认为，深耕开放道路、高运行速度、高复杂度场景的玩家会在其他部分场景具有一定的降维打击能力，比如干线物流和末端配送，这两个场景在环境感知、规划决策、执行控制等技术栈基本一致，一定程度上可以迁移。但这并不代表前者可以形成很大的优势，更多地还是需要看企业对不同场景的理解能力，以及由赛道理解、技术 know-how 转化得来的商业闭环模式选择和落地能力。综上，我们认为，现阶段对大部分初创企业来说，在时间和资本都相对有限的前提下，根据能力选择 ROI 最高的场景切入显得至关重要。

5. 未来行业趋势判断

5.1. 商业模式转变

5.1.1. 中早期：联盟形成，由车辆后装过渡至前装，部分企业选择提供技术服务的同时也自行造车，软件收费逐渐由一次性交付转向收取 license fee

通过我们对各个细分场景的分析判断，未来行业将会以各方形成联盟的形式为主，多方参与共同进行开发。



在早期阶段，自动驾驶主要以后装为主，通过 demo 发布完成测试区域内的试运行，初步证明落地能力，目前大部分公司正处于该阶段。2021 年开始，已实现一定规模和时间 demo 试运行的开发商开始进入到前装量产阶段，通过与主机厂进行深度绑定，实现自动驾

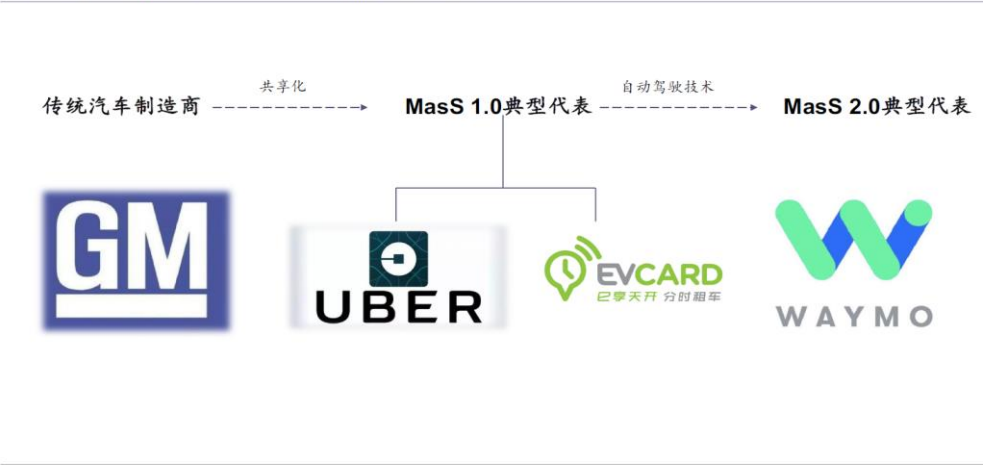
驶解决方案在车辆上的规模化、批量化、标准化生产，形成订单。

中期来看，以图森未来为参考，部分技术服务商倾向于走重资产模式，通过直接持有车辆或者亲自下场造车，把控对车辆的拥有权，从而直接掌握车辆行驶过程中获取的大量数据，通过数据形成算法反哺和迭代。

现阶段，自动驾驶尚处在早期，现有功能未能解决用户核心痛点，且相关车辆套件收费模式尚未定型，开启的部分收费功能尚处在教育市场阶段，综合因素导致用户付费意愿不强烈，所以主机厂多通过“硬件预埋+OTA”形式将收入延后。未来从收费形式上来说，参考特斯拉对 FSD 软件的收费模式，不排除未来软件提供商会由一次性收费转向按月/年收取 license fee 的形式。届时，硬件车辆将逐渐变为流量入口，软件的类 SaaS 收费才是企业持续创收和提高盈利的关键。

5.1.2. 中长期：MaaS/TaaS，科技公司转型运营服务商

传统的汽车制造商将逐步向运营服务商转型



图片来源：汉能研究

未来汽车可以分为两类，一类是有人驾驶的汽车，一类是移动服务汽车。传统的汽车制造商将逐步向运营服务商转型，为用户提供 MaaS (Mobility as a Service) /TaaS (Transportation as a Service) 的一站式服务。

从 C 端用户角度考虑，相对于私有车的模式，转向移动出行服务，可以充分利用路上的时间做自己的事；从车厂的角度来看，商业模式将从产权交易到使用权交易，即不再是一锤子买卖的整车销售，而是类似“收集流量套餐”，对用户的出行服务进行按需收费。从广义上来看，未来出行服务需要具备三大要素：移动平台（车）、自动驾驶技术、用户服务入口。其中，自动驾驶将是关键技术，可以大幅度降低出行服务平台的最大运营成本项（司机工资）。从 B 端车队考虑，TaaS 服务可以通过削减人类司机而实现车辆 TCO 的下降，从而降低车队支出，同时更易于管理。

5.2. 不同阶段需要关注指标：技术、量产、商业化

5.2.1. 早期看技术

在行业早期阶段，商业模式尚不清晰、企业产品和服务尚未实现标准化和规模化落地，技术领先性成了筛选优质自动驾驶企业的重要标准。

我们认为，早期对技术的关注主要在两个维度。一是单点技术的效率，即公司的技术方向与落地场景的需求是否一致、与亟待解决的问题是否匹配。创业公司在早期资金和人力都相对有限的情况下，要注意收敛范围，把有限资源投入到能产出最大 ROI 的部分。二是当多条技术线叠加的时候，关注公司对所在场景的 know-how，是否可以通过积累的行业认知来预判未来趋势，从而保证技术的迭代方向始终与场景需求保持一致。

5.2.2. 中期看量产

当自动驾驶从实验室测试阶段逐渐走向落地，跨系统交互能力、工程化落地能力、成本控制等与交付相关因素的重要性愈发凸显。由于行业产业链复杂度高、环节多，能够通过主机厂严格考核、实现量产可以体现出公司通过技术领先性渗透到产业链上各个环节、实现整合并建立壁垒的能力。

主机厂与自动驾驶解决方案提供商的适配周期长达数年，包含技术比测、定点等诸多环节。供应商一旦选定则不会轻易更换。当行业进入量产周期，主机厂更倾向于选择具有大规模量产经验的企业，此时行业的马太效应逐渐显现，龙头企业的市场份额不断扩大。

同时，量产落地可以帮助企业进一步积累优质行驶数据、不断迭代增强技术，同时可以通过增强产品的稳定性和一致性形成规模效应、扩大成本优势，最终实现围绕量产的飞轮效应，不断扩大自己的护城河。

多家受访企业均表示，对于自动驾驶初创公司来说，尽快实现量产是目前阶段的重点。没有量产落地项目的公司很难取得收入和造血能力，会在后续竞争中越来越落后。

5.2.3. 后期看商业化

长期来看，高等级自动驾驶未来的算力与算法模型大概率会趋同，通过商业化实现的数据积累量和对长尾场景的覆盖程度决定了交付产品的控制表现、安全性、以及客户体验。商业化的速度和模式决定了最终谁将在激烈的优胜劣汰竞争中胜出。

我们认为，长期商业化潜力可以从三个维度来评估：标杆订单的获取、团队商业能力和公司的差异化定位。一方面，对于以订单交付模式为主的企业，需要有行业超级订单作为标杆。获取标杆订单的能力是公司算法优越性、工程化落地能力及成本控制等多方面因素

的综合体现，有利于企业实现滚雪球效应、进一步扩大市场份额。其次，核心团队对于公司自身的战略定位以及商业化能力决定了公司拓展市场的速度和空间。初创企业需要基于清晰战略来选择合适的投资人、产品线及商业化策略，将有限资金用于符合公司战略的产品研发、同时根据产品所服务的客户特点选择适当的商业策略。最后，企业需要找到自己基于公司定位和产品组合的差异化特点。某种程度上而言，差异化是对细分场景深刻的认知能力、创新能力和品牌力的体现，可以帮助自动驾驶公司在竞争激烈的红海市场异军突起、不断构建壁垒。

本报告撰写人

① 36 氪 TO B 产业报道部 主编：石亚琼 作者：李震寰

36 氪是服务中国新经济参与者的品牌和开创性平台。36 氪 TO B 产业报道部是 36 氪内容中心下的研究部门，关注包括企业服务、金融科技、高科技、半导体、高端制造、工业科技、医疗健康、物流供应链等领域创新的研究部门。

② 汉能投资集团 投行部 作者：蒙佳玥 黄萌 张欣蔚 吴昊 殷少轶

汉能投资集团成立于 2003 年，是一家专注于中国互联网经济、科技、消费及医疗领域的领先投资银行和投资机构，已累计帮助数百家企业完成超过 650 亿美金的私募融资和并购交易，管理和共同管理的私募股权投资基金规模总计约 100 亿人民币。