

AI加持，赋能自动驾驶广阔市场

——自动驾驶产业链及相关港美股标的梳理

证券分析师：张良卫

执业编号：S0600516070001

邮箱：zhanglw@dwzq.com.cn

研究助理：刘睿哲

执业编号：S0600121070038

邮箱：liurz@dwzq.com.cn

2021年8月14日

- ◆ **智能化自动驾驶汽车是AI（人工智能）技术落地的最大应用场景之一；智能化汽车可能成为未来万物互联的终端，成为继智能手机之后，深刻改变社会形态的产品。**
- ◆ **拥有自动驾驶（辅助）功能的车辆将会迎来大幅度增长；自动驾驶产业链市场广阔，我们预计五年内将成长为近八百亿美元的市场：**我们预计，2025年，全球自动驾驶（辅助）功能的汽车出货量（包含L1~5级）为6332万辆，其中L1为3900万辆，L2为2320万辆，L3+为60万辆；2020~2025年的CAGR为17.8%。与单车自动驾驶相关的革新性部件，其市场总额会从2020年的171亿美元大幅提升到2025年的781亿美元，2020~2025年的CAGR可达35.8%。
- ◆ **从AI角度来看，算力、算法、数据采集及用户数据是决定AI发展能力的关键因素，对应于自动驾驶，具体为AI芯片、决策软件、车载传感器以及整车厂。**我们推荐在决策软件和高精地图上具有领导地位的**百度（09888.HK）**、车载摄像头硬件厂商**舜宇光学科技（02382.HK）**。其余相关港美股标的：
 - AI芯片：【英伟达（NVDA.O）、Mobileye/英特尔（INTC.O）、特斯拉（TSLA.O）、高通（QCOM.O）】；
 - 决策软件：【Waymo/谷歌（GOOG.O）、Mobileye/英特尔（INTC.O）、Cruise/通用汽车（GM.O）、微软（MSFT.O）、苹果（AAPL.O）、特斯拉（TSLA.O）、小鹏汽车（09868.HK）、蔚来（NIO.N）】；
 - 车载传感器：摄像头【安森美半导体（ON.O）、索尼（SONY.O）】；激光雷达【Waymo/谷歌（GOOG.O）、Luminar（LAZR.O）、Ouster（OUST.N）、Velodyne（VLDR.O）、Aeva（AEVA.O）、Innoviz（INVZ.O）】；高精地图【Waymo/谷歌（GOOG.O）、阿里巴巴（09988.HK）】；
 - 整车厂：乘用车【特斯拉（TSLA.O）、小鹏汽车（09868.HK）、蔚来（NIO.N）、Cruise/通用汽车（GM.O）】；特殊场景【图森未来（TSP.O）】
- ◆ **风险提示：****国家政策风险：**政府减少对自动驾驶领域的扶持政策导致自动驾驶市场增速放缓；**法律风险：**自动驾驶相关领域、人工智能相关领域法律趋严，导致商业化项目迟迟无法落地；**技术风险：**自动驾驶相关技术无法达到商业化落地预期，整个产业发展缓慢；**市场风险：**消费者对于自动驾驶技术的适应性不达预期，导致市场空间不及预期



■ 自动驾驶历史及定义

■ 环境感知系统

■ 决策规划系统

■ 控制执行系统

■ 解决方案供应商

■ 整车厂

■ 风险提示

- ◆ 电动汽车的出现**颠覆了传统燃油车的定价策略**：百公里加速的溢价失去了意义。
- ◆ 未来车辆如何体现溢价能力：智能化**自动驾驶能力**

吉利董事长李书福：汽车相当于两张沙发、四个轮子加上一个车壳



地平线创始人余凯：汽车相当于四个轮子上的超级计算机

Tesla Roadster vs Bugatti Chiron



1.9s
20万

零百加速
美元售价

2.4s
300万

图：自动驾驶为未来汽车形态提供无限可能



历史：早期（1925~2016），自动驾驶雏形建立

- ◆ **自动驾驶的研究历史悠久，是人类的终极梦想之一。**早在1925年，就诞生了人类历史上第一辆“无人驾驶汽车”，由一位来自美国陆军的电子工程师Francis P. Houdina，通过无线电波来控制前方车辆的方向盘，离合器，制动器等部件来完成的，至今已近百年历史。自此之后，人们主要利用摄像头进行数据采集并指导车辆进行自动驾驶。
- ◆ **自21世纪初的美国DARPA挑战赛加入激光雷达之后，现代意义的自动驾驶汽车雏形已经确立。**当DARPA挑战赛的参赛车队使用摄像头、激光雷达等传感器设备以及计算设备，实现了车辆的自动驾驶后，人们意识到了自动驾驶的可行性，科技公司（如Waymo）和整车厂（奥迪、沃尔沃）等纷纷开展相关的研究。随着相关企业的不断投入，相关产业链也日臻完善，自动驾驶逐渐进入加速发展阶段。



1956年，美国通用汽车展出 Firebird II 概念车，是世界上第一辆配备安全及自动驾驶系统的概念车。



美国卡内基·梅隆大学1986年开始进行无人驾驶的探索。便携计算设备的加入，使自动驾驶可以长距离行驶。



2004年，美国国防高级研究计划局（DARPA）出资举办挑战赛，无人驾驶汽车穿越Mojave沙漠，获奖者的方案使当代无人驾驶方案雏形建立。



2013年，奥迪、宝马、福特、日产和沃尔沃等传统整车厂入局，在未来5-10年内开发自动驾驶汽车。

进入2016年，自动驾驶元年，产业链日臻完善。

1925年

1956年

1977年

1986年

1998年

2004年

2009年

2013年

2014年

2016年

1925年8月，美国陆军电子工程师 Francis P. Houdina 及其团队研制出世界第一辆“无人驾驶汽车”。

1977年，来自日本的筑波工程研究实验室，开发出第一个基于摄像头的巡航系统替代预程式线缆的自动驾驶汽车。

1998年，意大利帕尔马大学 ARGO 项目完成，其利用立体视觉系统，通过摄像头来检测周围的环境，制定导航路线。动态视觉体系成型，高速自动驾驶实现。

2009年，Google 在 DARPA 的支持下，成立 Google X 实验室，目标完全无人驾驶技术，Google 开启新时代。

2014年5月，Google 无人车正式发布，2015年6月正式在美国加州的公路测试。路测推动了相关法律的完善。



历史：爆发期（2016~至今），深度绑定人工智能

- ◆ **自动驾驶是人工智能实现场景落地的重要方向：**人工智能的主要细分技术，包括机器视觉，深度学习，增强学习、传感器技术等均在自动驾驶领域发挥着重要的作用，自动驾驶发展的瓶颈主要在于这些人工智能底层技术上能否实现突破。
- ◆ **科技企业、造车新势力纷纷加入智能化汽车的竞争。**自动驾驶行业迎来爆发期，呈现快速发展的新格局。除了谷歌、百度等软件科技企业外，偏硬件的公司如小米、华为、英伟达、苹果等巨头也纷纷加入自动驾驶汽车领域的研究，还有特斯拉、蔚来、小鹏以及众多传统车企也纷纷开展自动驾驶的研究，整个市场呈现快速发展的势头。



2016年4月12日至4月17日，长安汽车2000公里无人驾驶路测成功。从重庆出发，途经西安、郑州，最终到达北京，全程将近2000公里。长安汽车成为了中国首个实现长距离无人驾驶的汽车企业。



2016年5月7日，全球第一个无人驾驶命案发生。一位特斯拉Model S的车主激活了自动驾驶辅助系统，在车祸中死亡。9月，马斯克宣布对Autopilot进行无线升级，称将降低一半事故率。10月，Autopilot 2.0发布，新车型都将配备自动驾驶的硬件基础。



2016年8月24日，全球两大汽车零部件供应商Delphi和Mobileye宣布，联合投入数亿美元开发无人驾驶系统，搭载该系统的汽车有望在2021年或2022年上市。



2016年9月1日，百度无人车获得美国加州上路测试牌照（全球第15个）。2016年11月，百度无人车首次在乌镇第三届世界互联网大会期间亮相。



2016年9月20日，美国交通部颁布全球第一份自动驾驶官方政策《无人驾驶汽车联邦政策》。



2017年1月，Waymo宣称能将激光雷达的价格降至7500美元，是竞争对手Velodyne 64线产品的十分之一。

2016年3月

4月

5月

8月

9月

12月

2017年

2016年3月28日，美国通用汽车宣布，以10亿美金收购硅谷的一家研发无人驾驶技术的初创公司Cruise Automation。

2016年4月24日，Drive.ai获准在加州测试无人驾驶汽车（全球第13个），采用深度学习技术。

2016年8月，Uber与沃尔沃宣布联合研发无人驾驶，将共同投资3亿美元投入自动驾驶研发技术。成为继百度和宝马之后，又一个传统汽车制造商和互联网公司联手打造无人汽车的案例。

2016年8月25日，新加坡的nuTonomy公司的无人驾驶出租车在本土正式投入使用。新加坡成为全球第一个向公众提供无人驾驶出租车的国家。

2016年9月14日，Uber推出无人驾驶载客服务，在美国宾夕法尼亚州匹兹堡市上路试运行。Uber将这批专车称为“全世界第一批无人驾驶Uber专车”。

2016年12月14日，Alphabet在洛杉矶宣布谷歌无人驾驶项目作为独立个体存在。Waymo作为新部门走上台前。同时谷歌不再执着于自造无人车，转而与车厂合作，走共同开发路线。

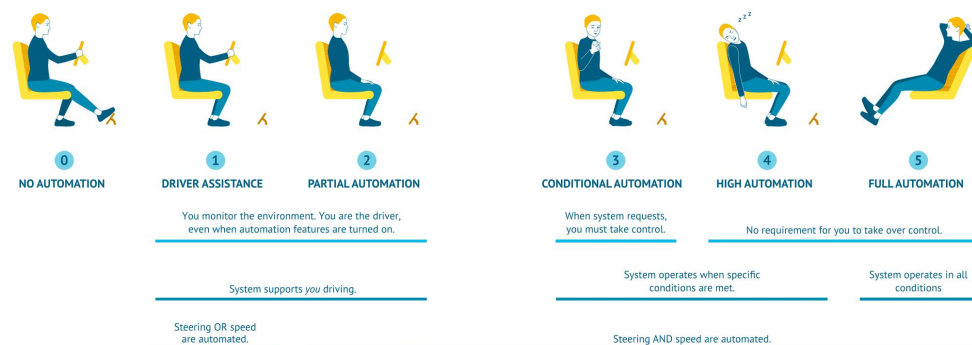
2017年3月13日晚，英特尔以153亿美元的价格收购Mobileye。这是英特尔自动驾驶部门成立后的第一笔重大收购。

CRUISE



- ◆ **目前有自上而下与自下而上两种自动驾驶研发思路。**
一种是不考虑成本的研究L4+级完全自动驾驶，代表企业有谷歌的Waymo、通用的Cruise、百度的Apollo等，目前其实现自动驾驶的系统成本在数十万到百万元人民币以上；另一种主要是车企，他们要考虑成本因素，所以一般是自下而上的，由低级别的自动驾驶开始逐渐提升水平，目前商业化的汽车基本上可以达到L2级ADAS (Advanced driver-assistance systems) 水平，代表企业有特斯拉、奥迪、蔚来、小鹏等。
- ◆ **本文所提到的分类级别是从法律意义上已经实现的级别，并非代表技术意义上的实现。**所以L3及以上级别主要是由Robotaxi组成的，私家车辆占比极少。

图：不同级别自动驾驶的车辆形态与驾驶员工作要求



表：国际自动机工程师学会（SAE International）自动驾驶等级分类

级别	名称	定义	驾驶操作	周边监控	接管	应用场景
L0	人工驾驶	由人类驾驶员全权驾驶车辆	人类驾驶员	人类驾驶员	人类驾驶员	无
L1	辅助驾驶	车辆对方向盘和加减速中的一项操作提供驾驶，人类驾驶员负责其余的驾驶动作	人类驾驶员和车辆	人类驾驶员	人类驾驶员	限定场景
L2	部分自动驾驶	车辆对 方向盘和加减速中的多项操作 提供驾驶，人类驾驶员负责其余的驾驶动作	车辆	人类驾驶员	人类驾驶员	
L3	条件自动驾驶	由车辆完成绝大部分驾驶操作，人类驾驶员 需保持注意力集中 以备不时之需	车辆	车辆	人类驾驶员	
L4	高度自动驾驶	由车辆完成所有驾驶操作，人类驾驶员 无需保持注意力集中 ，但限定道路和环境条件	车辆	车辆	车辆	
L5	完全自动驾驶	由车辆完成所有驾驶操作，人类驾驶员无需保持注意力集中	车辆	车辆	车辆	所有场景

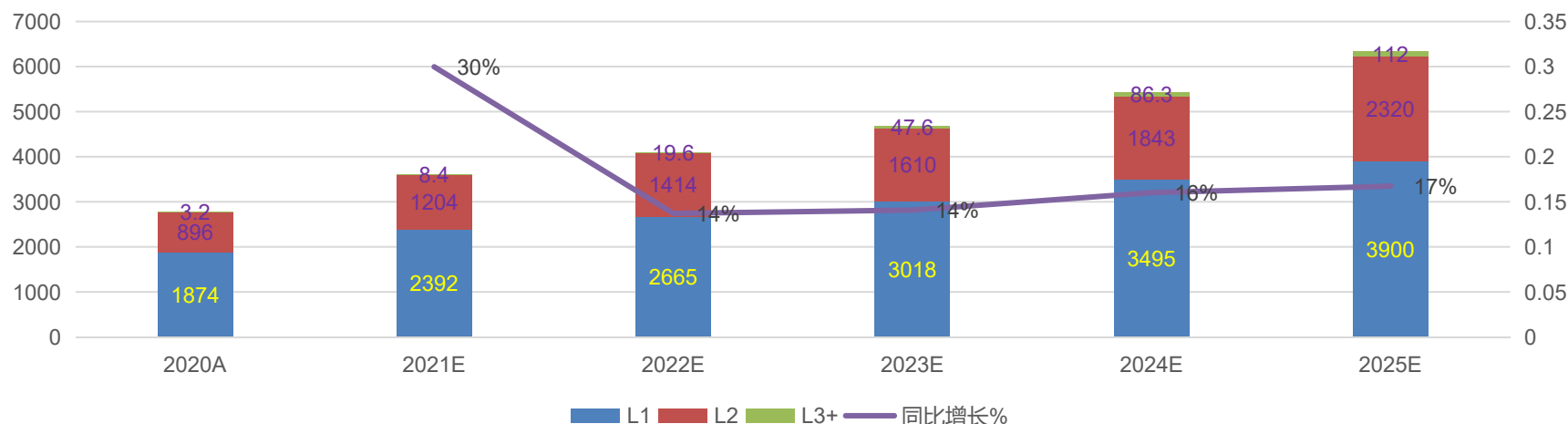
自动驾驶（辅助）功能的车辆将会迎来爆发式增长

◆ 汽车市场正在经历快速的变革期，电动化是汽车升级的上半场，智能化是汽车升级的下半场。智能化将会迎来快速发展期，主要源于以下几个方面：

1. 半导体技术的提升与成本的下降：随着半导体制造商向汽车领域逐渐发展，规模化生产有利于成本的降低，从而推动销量扩大形成正反馈，汽车半导体有望复制手机半导体领域的发展规模和速度；
2. 电动化的不断普及加速了智能化：电动车的电机电控特性，相较于燃油车更有助于智能化的控制系统发展；
3. 对安全性便捷性和高效出行的要求：为了提升车辆差异化的竞争力，汽车厂商将继续增加在驾驶辅助系统ADAS方面的投入，提升自动避险刹车、自动泊车、道路领航等能力，以提升车辆的安全性与便捷性；随着自动驾驶能力的不断提高，自动驾驶将有效缓解交通拥堵，大大提高出行的效率。

◆ 拥有智能化功能的车辆将从2020年的2773万辆增长到2025年的6332万辆。据IDC报告，2020年售出的汽车中，拥有自动驾驶（辅助）功能的汽车数量（包含L1~5级）为2773.2万辆，其中L1为1874万辆，L2为896万辆，L3+为3.2万辆。我们根据市场智能化趋势以及前几年的增速为基础进行测算，到2025年，拥有自动驾驶（辅助）功能的汽车数量（包含L1~5级）为6332万辆，其中L1为3900万辆，L2为2320万辆，L3+为112万辆；2020~2025的CAGR为17.8%。

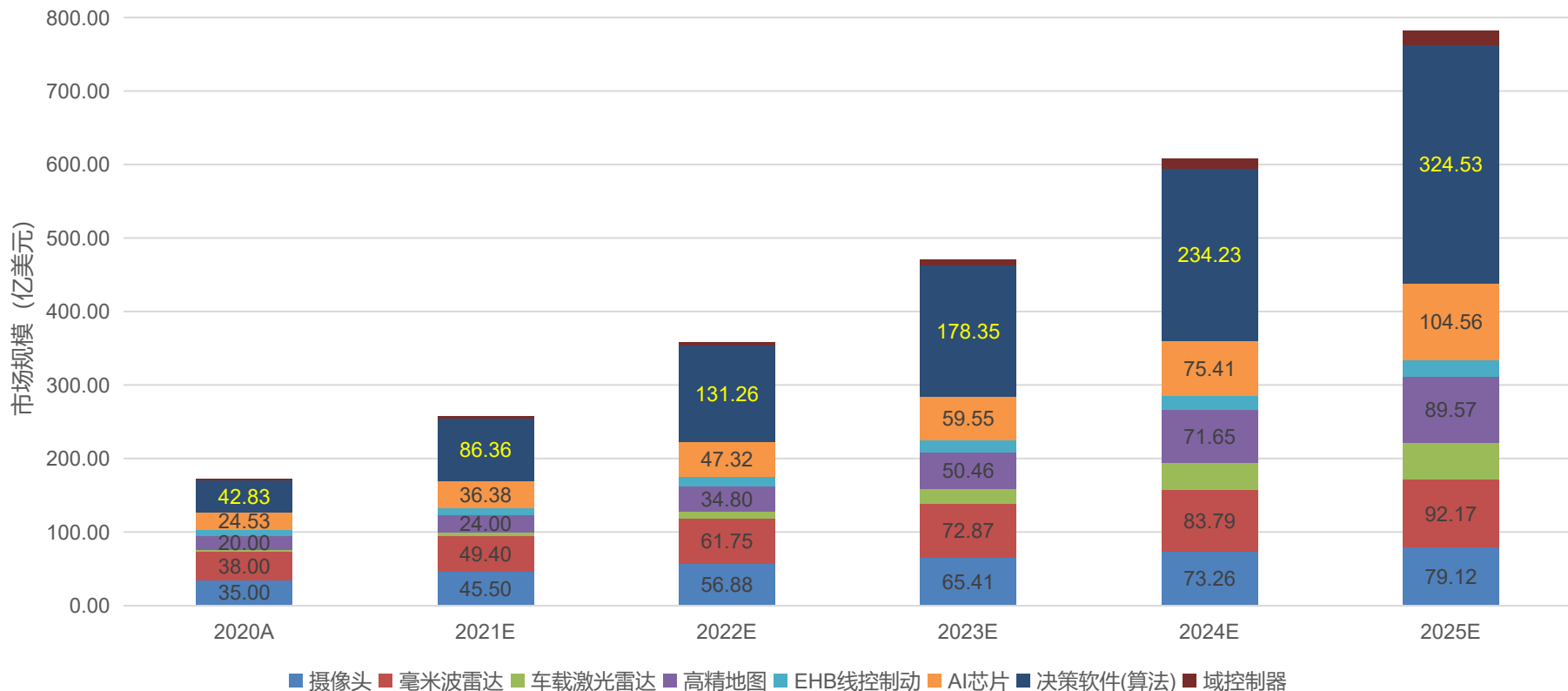
图：自动驾驶市场规模的预测（万辆）



决策软件、AI芯片以及传感器的发展空间很大

- ◆ 算力、算法、数据采集以及用户数据是人工智能的发展依赖于四个基本要素，在自动驾驶市场中对应于AI芯片、决策软件、传感器、用户数据等。对于实现完全的无人驾驶同样高度依赖于这四个基本要素，并且缺一不可。
- ◆ 我们预计，到2025年时，与单车自动驾驶相关的革新性部件，其市场总额可达781亿美元，2020~2025CAGR可达35.8%；决策软件、AI芯片以及传感器发展空间更大。巨大的市场增量使得相关公司都希望能够乘着智能化升级的东风扩大公司业务，占领市场空间。我们将与自动驾驶有关的市场进行拆分，主要有八个模块，其中与人工智能息息相关的决策软件、AI芯片以及传感器（摄像头、激光雷达、高精地图、毫米波雷达）的发展空间更大。

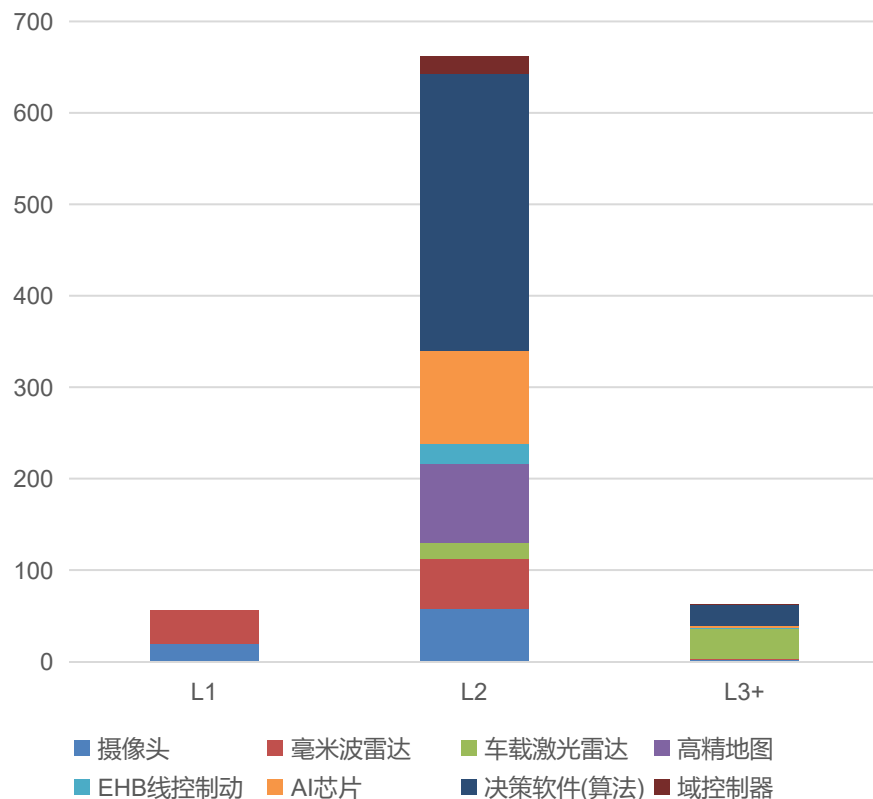
图：自动驾驶相关市场规模（亿美元）



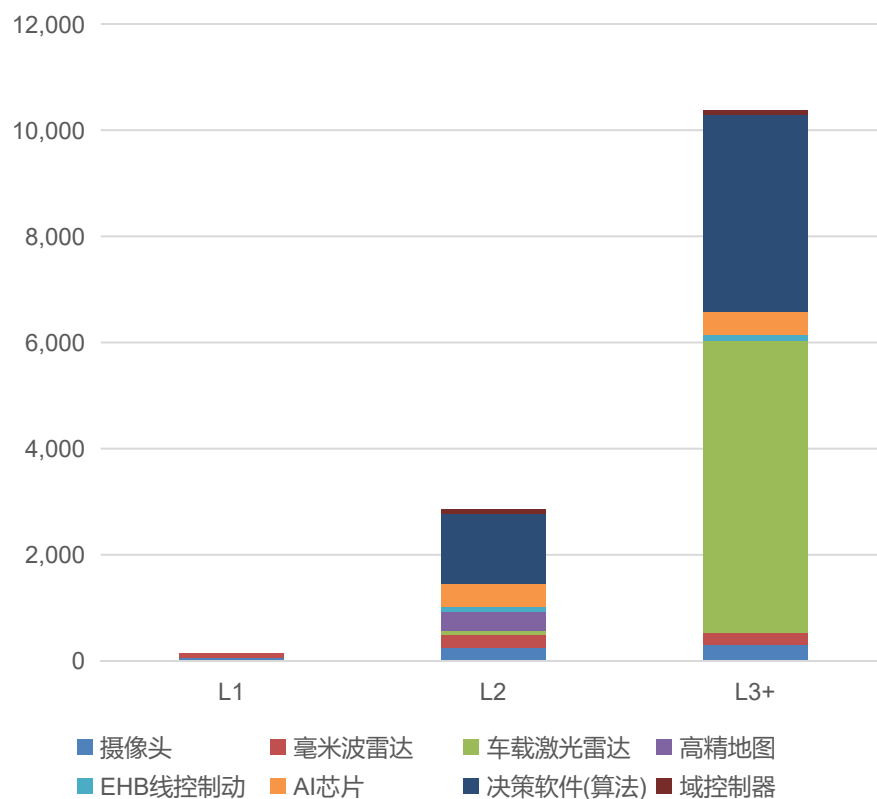
按自动驾驶级别测算的单车价值及总价值（2025）

- ◆ 由于数量多且单车价值量较高，L2级占据了大部分的市场增长空间。我们预测到2025年时，单车价值量中，L1级别主要是摄像头和毫米波雷达，平均单车总价值量约为143美元；L2级别主要是决策软件、AI芯片，平均单车总价值约为2850美元；L3级别主要是激光雷达，平均单车总价值约10381美元。但由于L2级别车辆销量较大，所以其整体市场规模很大，是L1级以及L3+级市场的10倍以上。

图：2025年自动驾驶按级别分配的市场价值（亿美元）



图：2025年自动驾驶相关部件的单车价值量分布（美元）





■ 自动驾驶历史及定义

■ **环境感知系统**

■ 决策规划系统

■ 控制执行系统

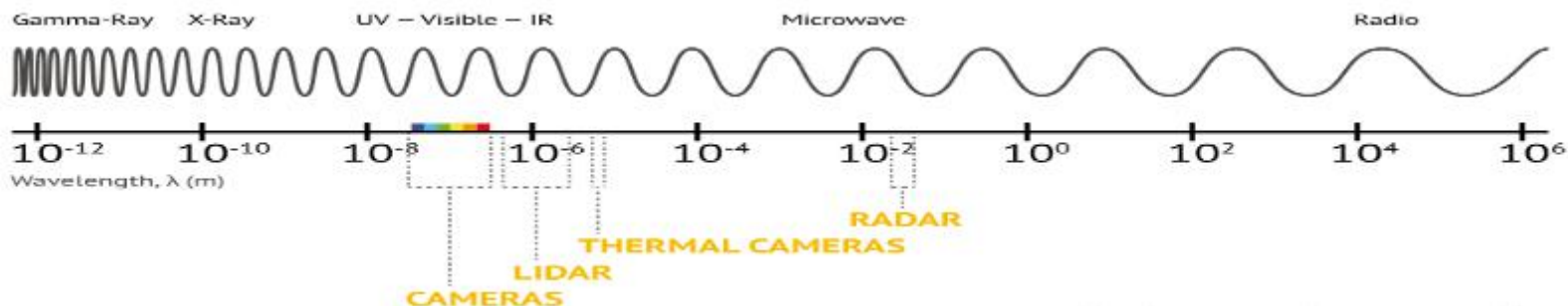
■ 解决方案供应商

■ 整车厂

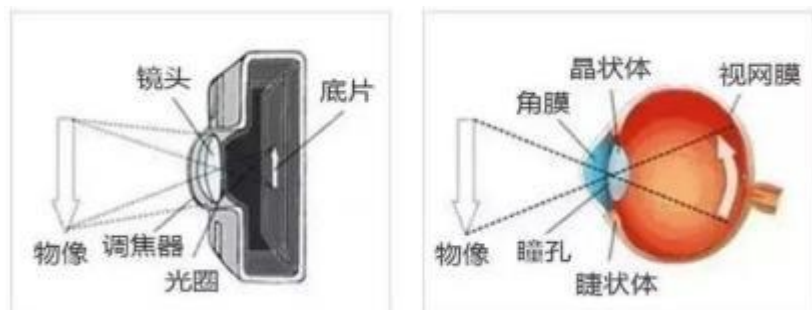
■ 风险提示

主流传感器：摄像头+毫米波雷达+激光雷达

图：传感器的工作波长示意



图：摄像头-被动式接收3D环境光线→2D图片→3D算法重建



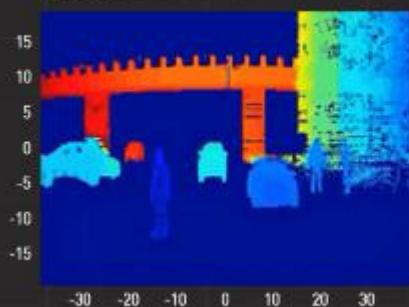
图：雷达-主动式3D发射与接收电磁波→3D重建+测速



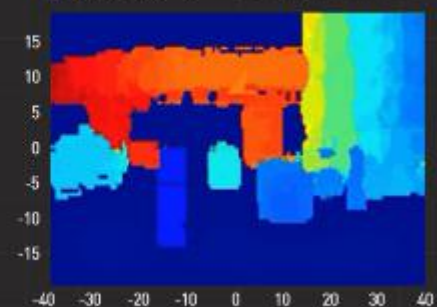
摄像头拍摄的图片



激光雷达 LIDAR

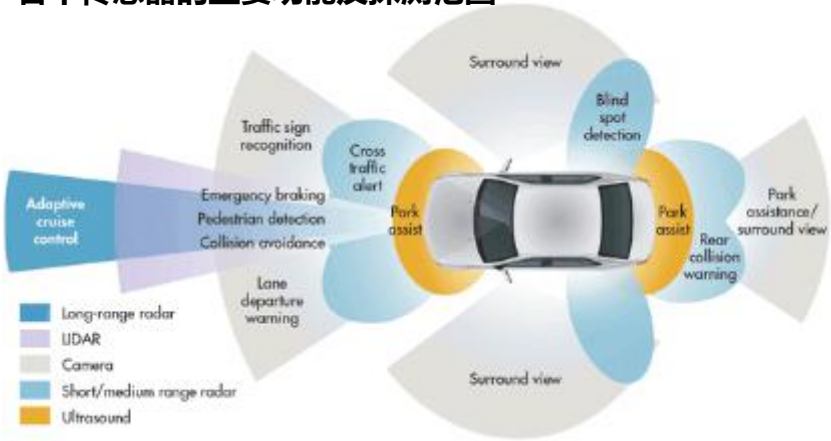


高分辨率雷达 High Resolution Radar

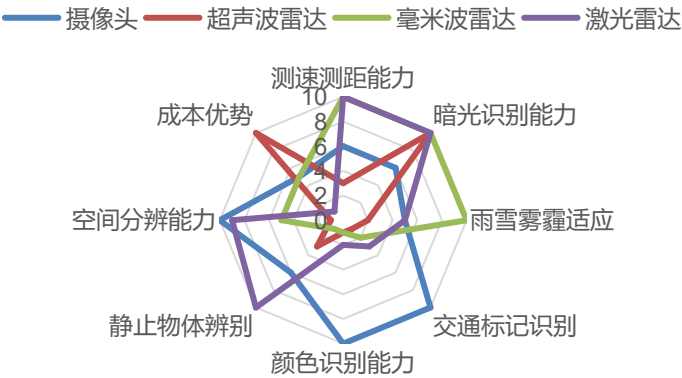


传感器：各有优缺点，摄像头平衡性最好

图：各个传感器的主要功能及探测范围



图：各个传感器优势能力对比（分数越高优势越大）



	摄像头	超声波雷达	毫米波雷达	激光雷达
基本原理	接收外部光线信息，根据算法进行图像识别	发射及接收超声波（机械波）	发射及接收毫米波（电磁波），多普勒效应测速	发射及接受激光（电磁波），分析折返时间测距
工作波长	被动接收可见光390~760nm/红外摄像头760~1000nm	7.5km/6.25km/5.17km	12.50mm/3.89mm	905nm/1050nm
有效探测距离	50~200m	15m	20~250m；特殊的可达1km	50~300m
角分辨能力	由分辨率和算法决定，可以很高	一般	一般	极高
数据量Mbps	500~3500，与像素和帧数有关	<0.01	0.1~15	20~100
算法要求	实现测距算法要求很高	很低	一般	较高
一般功能	车道偏离预警、颜色及交通标志识别、目标跟踪、物体分类、视觉SLAM	自动泊车	测速测距相关功能，例如自适应巡航、自动紧急制动，盲点监测	实时三维环境建模，测速测距，物体分类，激光雷达SLAM
优势	物体识别能力强， 标志/条纹和颜色识别能力强 ，无明显短板；被动接收光线， 不会对交通产生新的干扰	成本低，适合近距离探测	不受恶劣天气影响 ，探测动态物体能力较强	测量精度非常高，可以获得物体的精细轮廓信息，实时建模准确性高
劣势/发展方向	受外部环境光线影响很大；测距能力较差，使用算法或者多目摄像头来提高测距能力	远距离探测能力差	车载雷达高度分辨率低，目前较难使用静态车辆信号；发展4D雷达来提高测量高度信息的能力	受雨雪雾霾恶劣天气影响，成本极高；需要安装在车外，光源易被污染；目前降低使用成本是主要发展方向
成本	与图像采集和视觉芯片能力相关，一般在数百元到千元左右	数十元到数百元左右	成熟产品几百到上千元，新型高分辨4D雷达可达数千元	发展较成熟的机械式在数万到数十万元以上，新型MEMS等在数千元以上

- ◆ **感知是实现自动驾驶极为重要的一环。**只有车辆能够感知并且可以正确识别周围物体的时候，才能给决策机构正确的输入信号从而实现自动驾驶。主流的环境感知设备有**摄像头、超声波雷达、毫米波雷达以及激光雷达**等。
- ◆ **从技术路线上分为纯视觉和多传感器融合两种：**一种是以特斯拉为代表的视觉方案，主要依赖摄像头等成本较低的传感器而不使用成本较高的激光雷达（据2021年7月的最新消息，特斯拉FSD Beta9方案也不采用毫米波雷达数据，只使用摄像头数据）。这种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；另一种是绝大多数科技公司以及车企所采用的多传感器融合方案，因为以目前的技术发展水平来看，没有一个传感器能够完成自动驾驶所需的全部功能，因此利用摄像头以及各种雷达进行环境感知，综合进行自动驾驶决策。
- ◆ **纯视觉更依赖视觉算法，多传感器融合需要解决不同传感器数据匹配问题。**视觉算法目前存在测距不准、恶劣天气适应性差等缺陷，对于算法是否能够弥补这些缺陷，学术界尚存在争议，不过这种路线的好处是硬件成本低，而且不需要为决策权重分配而苦恼；多传感器融合的好处是可以发挥不同传感器的优势，但硬件成本高，且需要预设算法分配不同传感器的决策权重，这也为判断带来一定隐患。

表：目前主流智能化车型所配备的传感器

车型	上市/交付时间	价格/万元	摄像头/个	超声波雷达/个	毫米波雷达/个	激光雷达/个
Waymo（捷豹I-pace版）	2020	成本100以上	29	×	6	5（1个车顶+前后左右各一个）
特斯拉Model 3 中国版	2020	25~34	8	12	1	×
威马W6百度AVP版	2021年下半年	17~26	7	12	5	×
蔚来ET7	2022年初	44~52	11	12	5	1（前挡风玻璃上方）
小鹏p5	2021年三季度	16~23	13	12	5	2（车头两侧各一个）
极狐华为版HI	2021年四季度	39~43	4	12	5	3（前一侧二）
极氪001	2021年下半年	28~36	15	12	1	×

图：ADAS摄像头的主要作用

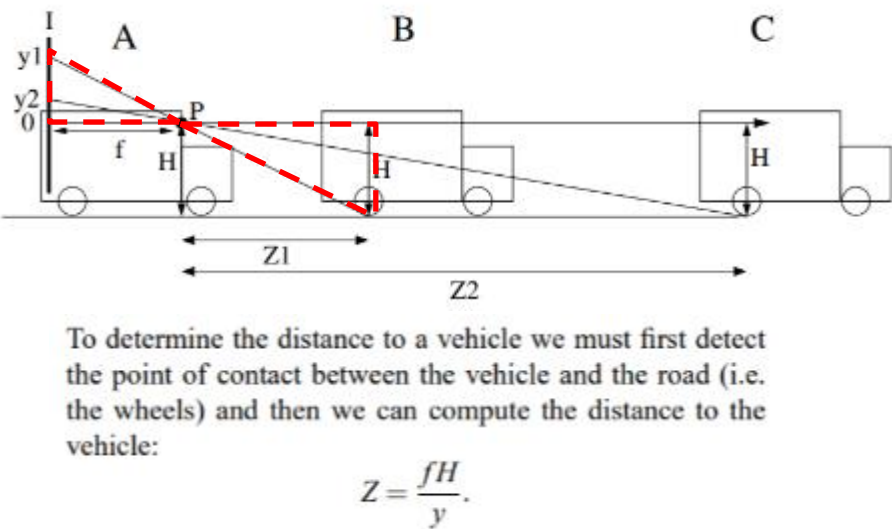


优势/主要功能	劣势
- 识别不同颜色、车道线 - 可进行各种交通信号灯与交通标志识别 语义分割能力很强：对内容快速分类 - 通过优化算法可不断提升潜力：测距或是三维环境构建与辅助定位（视觉SLAM）	干扰和限制比较多：例如隧道口车辆与隧道重影、正面强光炫目、摄像头前方有水滴遮挡等复杂情况 环境的影响比较大：例如恶劣天气（如暴雨，暴风雪等）、能见度差（雾霾、烟、黑夜、隧道）、雨天车辆倒影 测距/测速精度都弱于雷达 - 对算法和AI芯片要求高

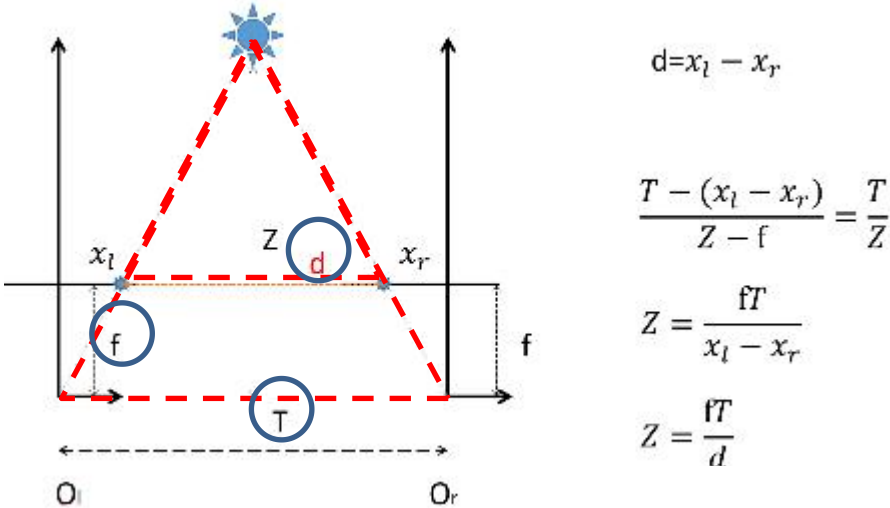
◆ **依靠算法补足测距短板：**算法是决定摄像头和人眼一样，所看到的原始图像都是二维投影信息，没有距离信息。视觉测距的误差目前普遍在3~15%左右，视觉算法的快速发展或可将误差减小，补足摄像头短板，使纯视觉方案成为可能。

	一般原理	优势	劣势	发展趋势
单目测距	根据深度相关的语义线索，例如 物体大小、消失点 等周围环境进行分析后，通过焦距和比例关系计算得到距离。	硬件要求相对较低，使用寿命长	要首先识别物体类型，得到该类物体的大小才可以识别距离。对 图像数据库 要求很高，对 识别算法 要求也很高。例如采用车辆作为参照物，但车辆高度会有一定区别（1.5~2.5m），如果不能精确匹配数据库，利用平均值进行计算，则 误差可能会有20~30% ；但如果数据库非常详细，则误差可以适当缩小	由于普遍的单目算法对数据库要求过高，且对无法识别的物体无法测距，目前发展出了利用 镜头畸变、不同速率光线经过镜头的变化差异等手段 进行“物理型”测距而不是之前的“识别型”测距。这个领域的发展非常迅速，有可能给单目算法带来更强大的能力。
多目测距	根据多个摄像头的不同角度观察某一物体后得到的视差数据进行等比例计算得到距离。	不需要依赖图像数据库	硬件成本高 ，需要实时进行图像匹配， 计算能力要求高 ；目前由于 镜头制造工艺、安装以及后期车辆行驶的振动 等问题导致的 误差较大 （业界普遍为5%），使得 测距结果偏差较大 （目前约为10m量级）	通过硬件工艺的提高来减小测量误差

图：单目摄像头测距的一般方法（Mobileye算法）

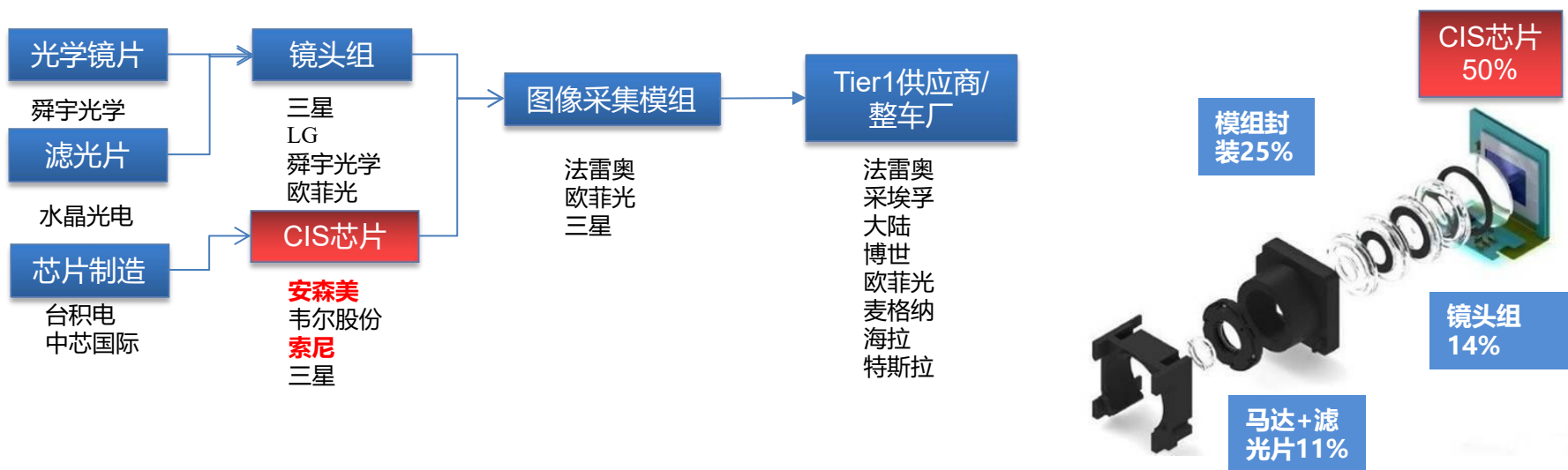


图：多目摄像头的测距原理



- ◆ **车载摄像头壁垒较高，认证周期长。**与消费电子中的摄像头类似，车载摄像头图像采集部分主要包括镜头组和CIS芯片（CMOS Image Sensor，CMOS图像传感器）、驱动马达等。在成本构成上，根据前瞻产业研究院的报道，2020年车载摄像头的成本构成中，CIS约占50%，模组封装占比25%，镜头组和马达滤光片分别占比14%和11%。车载摄像头设备对光线探测的动态范围HDR（大于100dB，消费类CIS一般为70dB）、温度范围（-40℃~80℃）、稳定性（寿命8~10年）、LED闪烁抑制和防磁抗震要求较消费电子产品高，因此车载摄像头具有更高的安全等级要求和工艺性能要求。
- ◆ **车载CIS市场集中度高，三星、索尼等消费级CIS可能加入竞争。**根据新浪网的报道，2019年汽车CIS前两大厂商安森美、豪威（韦尔股份）营收的市占率为60%、29%，CR2达89%，头部效应非常集中；不过消费CIS的两大巨头索尼和三星也拥有车载CIS技术，目前限于产能，车载领域出货量不高，但随着车载CIS市场规模从2015年的不到1亿美元增长到2020年接近20亿美元（占全部CIS市场的10%左右），这两家巨头也着手加大车载领域的发展力度。

图：图像采集结构及成本占比

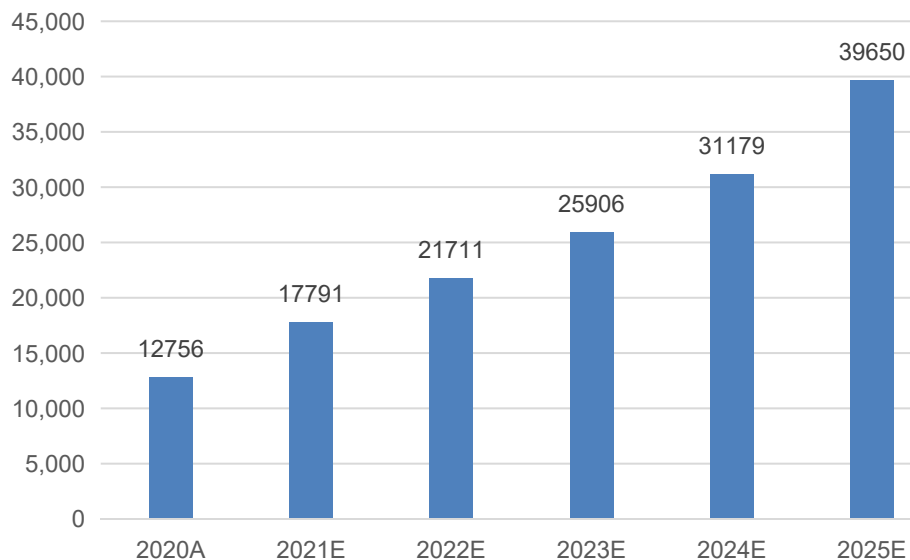


市场规模：五年内从35亿美元增长到79亿美元

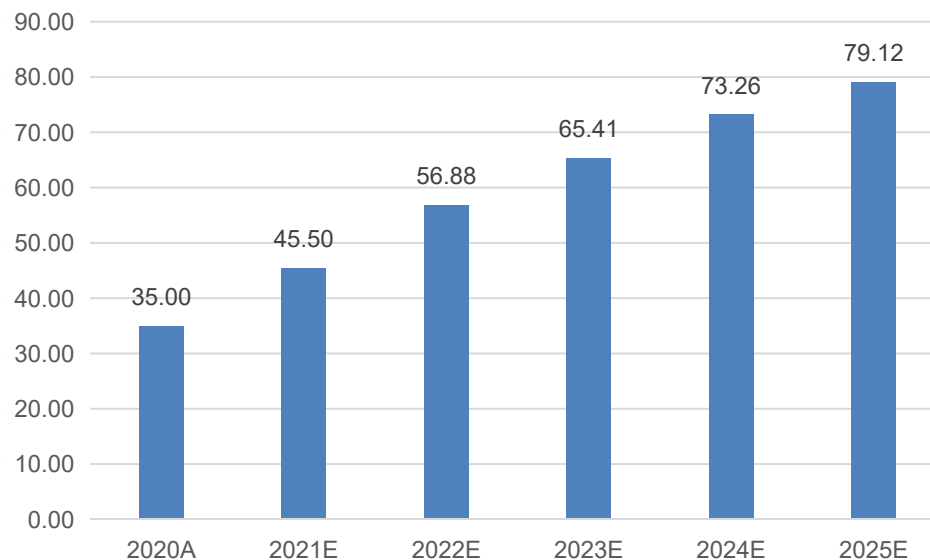
- ◆ **车载摄像头市场规模快速增长：**随着自动驾驶级别的不断提高，我们预计，L1~L2的摄像头携带数量均有一定的增长，L3将会保持不变。单价方面，车载摄像头的像素要求越来越高，但随着出货量的不断扩大，据我们测算图像采集摄像头的平均成本从27美元下降到约20美元。根据Yole的统计数据，2020年全球车载摄像头需求为1.27亿颗，市场规模约为35亿美元。我们预测，到2025年摄像头需求为3.96亿个，市场规模可达79亿美元，CAGR分别为24%和14%。

	2020A	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E
L1摄像头数量/个	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
L2摄像头数量/个	10	10.5	11	11.5	12	12.5
L3+摄像头数量/个	15	15	15	15	15	15
摄像头总数量 (万个)	12756	17791	21711	25906	31179	39650
摄像头平均单价 (美元)	27.44	25.57	26.20	25.25	23.49	19.95

图：全球车载摄像头数量预测（万个）



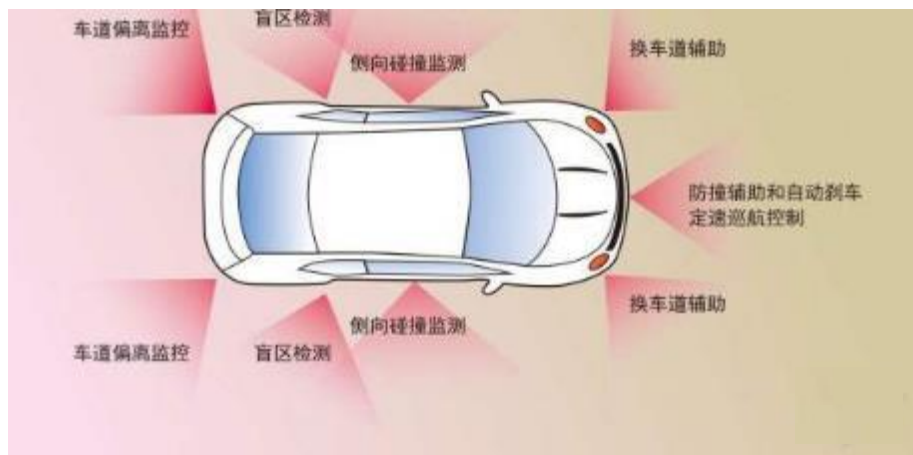
图：全球车载摄像头市场规模预测（亿美元）



◆ **成熟的、使用场景不受限的测速测距解决方案：**毫米波雷达是一种发射及接收毫米波段电磁波的设备，通过发射和接收反射回来的毫米波可以测量物体的位置、距离和速度等信息，最初用在军事领域，2000年左右进入车载市场。毫米波的工作频率为24/76~81GHz，这个波段的电磁波在空气中传播距离较远（至少几百米），衰减比较小，抗干扰能力强，在雨雪雾霾沙尘暴等恶劣天气一般都可以能正常工作。

◆ **从功能上可分为远程、中程与近程雷达：**由于发射功率限制，探测距离和探测角度相互制约，因此有远程LRR中程MRR与近程SRR的区别，远程一般安装在车辆前面，用于巡航和紧急制动；近程一般用于盲区监测和车道偏离预警等。

图：毫米波雷达的安装位置及其功能



优势/主要用途	劣势
- 测速测距能力强，分辨率可达cm级，成本很低，为激光雷达的几十分之一；主要用于车辆防撞辅助、盲区监测以及自适应巡航方面 24G/77G波段的电磁波在空气中，衰减比较小，抗干扰能力强，在雨雪雾霾沙尘暴等恶劣天气均能正常工作，是目前传感器中唯一具有全天候、全天时工作特性的探测设备； - 数据量相对较低，消耗算力少。 - 毫米波雷达的穿透能力强，体积很小，可以装在车辆的任意方便位置，不影响车辆整体外观。	易受电磁波的干扰，不能用含金属的物体遮挡 - 行人的反射波弱，难以识别； 在大桥和隧道里检测效果较差（金属网状结构导致电磁波受干扰） - 无法进行颜色信息识别； - 普通雷达难以采用车道上静态物体信息。

车载毫米波雷达：77G波段发展前景更好

- ◆ **77G波段发展前景更好**：由于各国普遍上在77G开放较宽的频段给车载毫米波雷达使用，因此这个频段天然具有宽频优势，分辨率更高；77G波长短，因此体积可以做得更小，所以总体上来讲77G的优势比较大。

工作频率	特点及发展前景	可探测距离		距离分辨率及精度
24G	国际上车载领域开放的带宽为250MHz的窄带(NB)频段，上下游产业链成熟，目前国际市场上主流都是使用的24G Hz频段，但不开放UWB频域，导致 带宽受到限制	理论上来看，24GHz可探测的距离更远： 距离与波长的平方根成正比，且 频率越高受空气中水分影响就越大 ，24GHz的雷达系统损耗和传播损耗比77GHz小，	普遍在 200 ~ 300m 左右，卡车的探测距离可达 1km	理论上，距离分辨力与雷达使用的频率范围（带宽）成正比，77G带宽大，分辨率更高。所以77G的理论分辨率都是24G的3倍。目前77G的商业化产品一般能做到 0.1m、0.1m/s 的分辨率
77G/79G (76 ~ 81G)	77GHz和79GHz的带宽为1GHz和4GHz，高于24G，所以 信息容量更高 ；由于波长较24G小，理论上天线可做小，是毫米波在车载应用领域的研究热点和发展方向		商业化的普遍在 200 ~ 300m 左右	

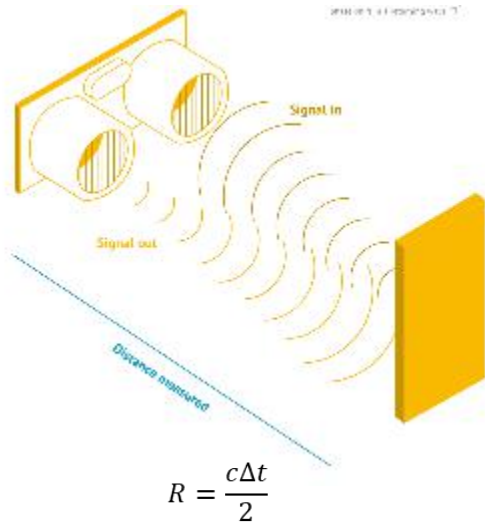
图：毫米波雷达的两种频段



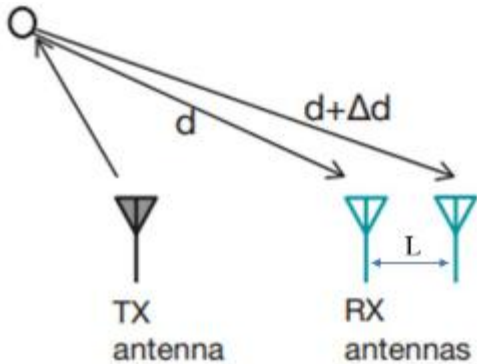
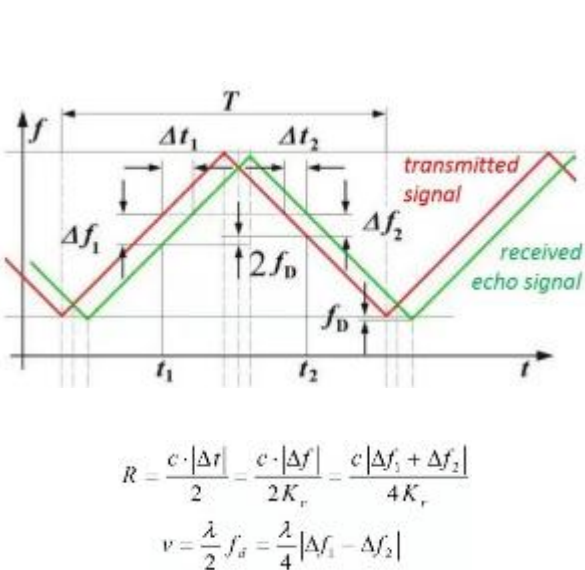
◆ **FMCW模式逐渐成为主流：**与TOF相比，FMCW可以同时得到距离、速度和角度信息，实时性高，适合高速行驶场景，近些年来高性能的毫米波雷达均采用此模式。

工作模式	工作原理	优点	缺点
TOF 时间飞行模式	通过天线向外发射毫米波，接收目标反射信号，通过毫米波的飞行时间可以推断出目标的距离以及物体3D轮廓信息，通过两次发射的间隔来推测物体的行驶速度	测距算法简单	无法同时发射和接收，实时性差；
FMCW 线性调频脉冲模式	利用高频电路产生线性调频脉冲电磁波，并通过天线发送电磁波和接收从目标反射回来的电磁波，通过多普勒效应以及多天线阵元之间的相位差来计算目标的距离、速度以及角度信息	抗干扰性强，测量精度高；测量可以同时得到距离、速度和角度信息，实时性高，适合高速行驶场景，目前高性能的毫米波雷达均采用此模式。	计算要求高；为消除镜像目标需要额外计算

图：TOF测距原理

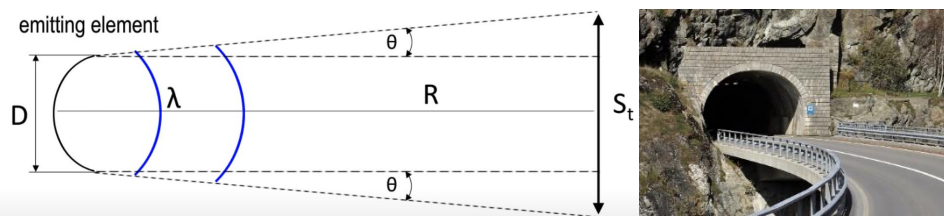


图：FMCW测速和测角原理

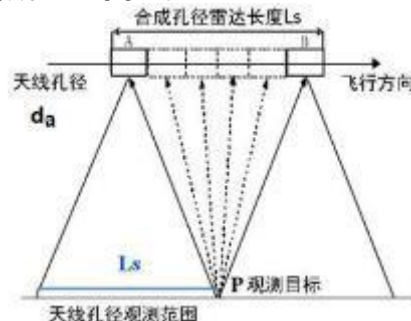


- ◆ **受波长和体积限制，毫米波雷达角度分辨率较低，无法分辨静态物体：**雷达角分辨率极限可大致等于波长 λ /（天线孔径 D *天线数量 n ），车载毫米波雷达由于体积及天线排布的限制，天线孔径及天线数量很少，典型的角分辨率大约为 5° ，200m处最小分辨尺寸为 $200m * \tan 5^\circ \approx 17.5m$ ，远远超过立交桥和隧道的高度，更不用说尺寸更小的窖井盖、减速带和金属牌。因此毫米波雷达无法将这些道路上的静态物体与道路上的静止车辆分辨出来。
- ◆ **利用合成孔径雷达以及多级联等方法，在不增加体积的情况下，可以提升角度分辨率。**

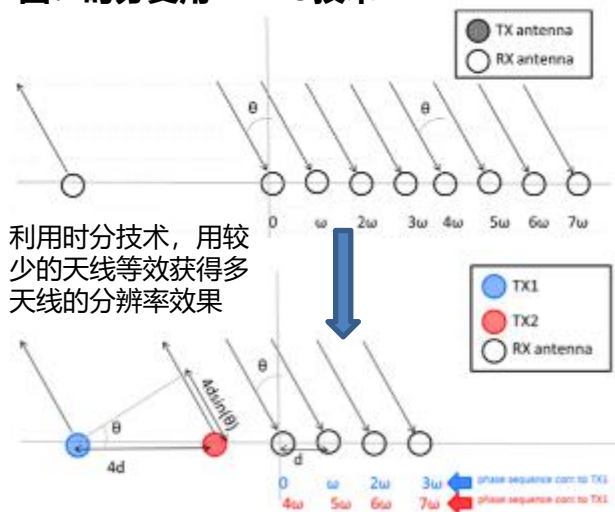
图：波长与天线孔径对角分辨率的限制



图：合成孔径雷达技术



图：时分复用MIMO技术



提高分辨率的方法	技术特点
合成孔径雷达 /Synthetic Aperture Radar, SAR	利用合成孔径技术及脉冲压缩等信号处理技术，利用雷达与目标的相对运动，如果脉冲重复频率达到一定程度，以致相邻的天线单元间首尾相接，则可看作形成了连续孔径天线，这样就相当于把尺寸较小的天线孔径用 数据处理的方法 合成一个较大的等效 天线孔径
(虚拟) 多片级联, 多输入输出 /Multiple-Input Multiple-Output, MIMO	利用时分复用或者码分复用技术，可以避免在狭小空间内的信号干扰，这样用较少的天线可以等效获得多天线的分辨率效果。结合了MIMO和SAR两种技术优势的MIMO-SAR雷达，能够在距离向宽带分辨和方位合成孔径分辨的基础上增加俯仰孔径（高度）的分辨能力
超材料天线	通过在多种物理结构上的设计来突破普通材料对天线孔径的限制，目前有基于动态超表面孔径的SAR等技术

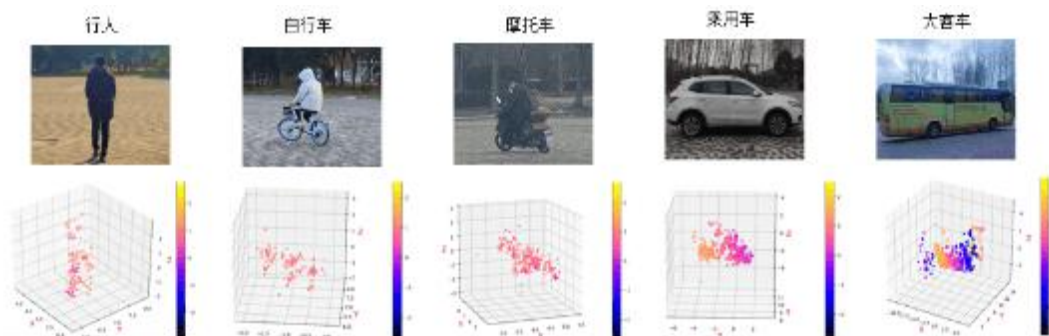
- ◆ **从3D到4D雷达（分辨率提高，增加了径向维度的信息）**：随着毫米波雷达技术的发展，毫米波雷达的分辨率得到了提升。一些业内人士表示，随着技术的发展，毫米波雷达存在代替低线束激光雷达的可能性。

表：目前宣布量产的高分辨4D毫米波雷达

供应商	产品	性能	特点
Continental	ARS 540	水平分辨率1.2°/FOV 120°,垂直分辨率2.3°/FOV 30°, 探测距离达到300米;	将4片NXP的77GHz毫米波雷达MMIC MR3003级联, 达到12T16R。Xilinx Zynq UltraScale+平台提供了关键数字信号处理器(DSP)引擎, 可加速实时4D雷达传感器输入数据的处理
Arbe	Phoenix	水平分辨率1°/FOV 100°,垂直分辨率2°/FOV 30°, 探测距离达到300米;	采用增强的FMCW技术, 将旁瓣发生率降低到接近零的水平, 解决了距离 - 多普勒模糊问题;采用24T12R通道的发射及接收芯片。22nm FD - SOI CMOS工艺在信道隔离、噪声系数和发射功率方面具有同类最佳的性能
傲酷	Eagle	水平分辨率0.5°/FOV 120°,垂直分辨率1°/FOV 30°, 探测距离达到350米;	EAGLE用低成本低功耗的 双芯片 (6T8R) 硬件平台 就可提供传统雷达用 八芯片级联 (24T32R) 才能达到的角分辨率。使用低功耗低成本的DSP而不是FPGA进行信号处理, EAGLE的总功耗不到5W; EAGLE能够在多径干扰严重的环境下精确跟踪低RCS值的目标
华为	/	水平分辨率1°/FOV 100°,垂直分辨率2°/FOV 30°, 探测距离达到300米;	采用技术手段实现12T24R天线配置, 大幅提高分辨率

- ◆ **分辨率提升较慢，无法得到轮廓信息**：虽然毫米波雷达的技术在不断升级，但以现有的车载毫米波雷达的技术来看，很难将天线孔径和天线数量快速增加。从右图可以看出，目前高分辨毫米波雷达获得的行人和车辆的探测信号已经可以实现大致的目标识别，但由于分辨率限制，很难得到轮廓信息。所以比起增加天线孔径，减小波长，例如采用波长是毫米波雷达的1/1000的激光雷达，才是技术上更容易实现的方案。

图：4D毫米波探测效果



◆ 毫米波雷达的DSP、MMIC和天线占据主要成本：

随着集成电路的不断发展，车载毫米波雷达的体积也缩小到硬币的大小。其主要部件包括天线PCB板、前端收发射频组件（MMIC芯片）、数字信号处理模块（DSP/FPGA）等，其成本占比大约为20%、20%和50%。

◆ 毫米波雷达的生产壁垒高：车载毫米波雷达的技术门槛主要在生产（例如射频PCB产品，一致性是需要长时间摸索）和供应链领域，需要长时间的技术积累，行业壁垒很高。

◆ 欧日Tier 1占据了大部分的车载毫米波雷达市场，国内主要有德赛西威和华阳集团拥有量产能力。根据Yole数据，2019年CR5占据了70%以上的市场。其中，德国大陆公司市占率第一，其产品单价普遍很高，美国、欧洲和中国是其主要市场。第二是日本丰田旗下的电装公司，日本和中国是其主要市场。第三是德国博世，前向主雷达基本垄断中国市场。第四是德国海拉，其主打24GHz产品。国内公司德赛西威和华域汽车有车规级毫米波雷达，但其产品在信噪比、探测精度、良品率等方面仍有一定差异，市占率很小（华域汽车主要向母公司上汽旗下车厂供货），但存在一定的成本优势，长期来看存在国产替代的空间。

图：毫米波雷达的结构



表：各个部件的相关厂商

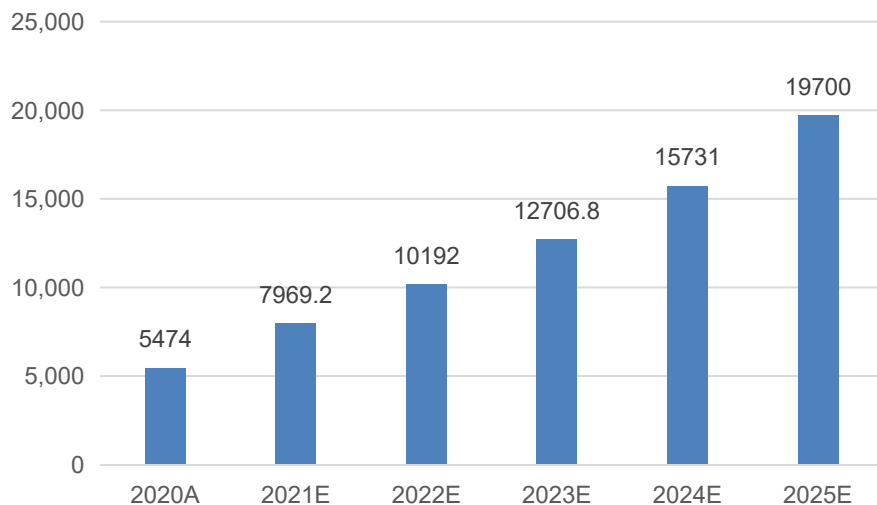
部件	国外厂商	中国厂商
MMIC	英飞凌、意法半导体、德州仪器、亚德诺半导体、恩智浦	矽杰微
PCB	松下、ROGERS（罗杰斯）	沪电股份
DSP/FPGA	英飞凌、意法半导体、德州仪器、亚德诺半导体、瑞萨、赛灵思	\
Tier 1	博世、大陆、电装、海拉、德尔福、法雷奥、日立、富士、Arbe	德赛西威、华域汽车、行易道、木牛科技

市场规模：五年内从38亿美元增长到92亿美元

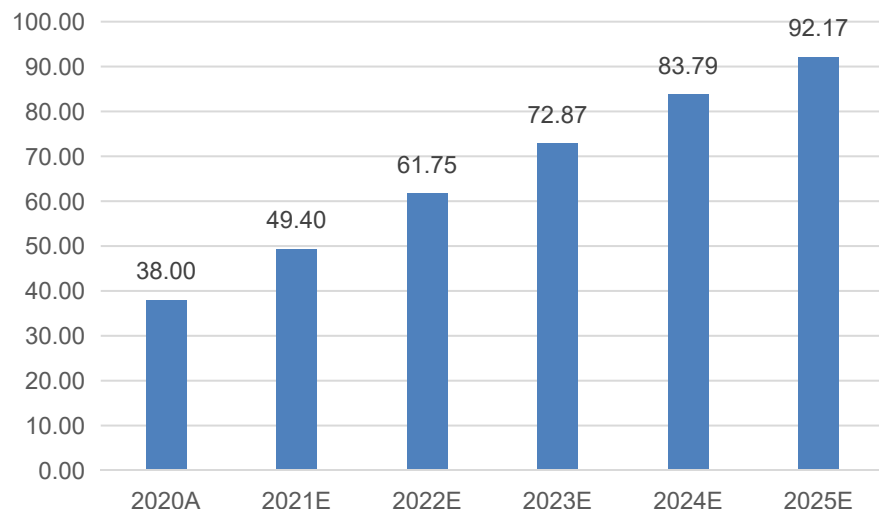
- ◆ **毫米波雷达将全面覆盖ADAS市场。**随着自动驾驶级别的不断提高，毫米波雷达会以其优良的性能和稳定的工作性能，在对价格敏感的L2及以下级别的车辆中得到广泛应用，并不会受到激光雷达的影响（近5年内激光雷达的价格仍会远远高于毫米波雷达）。我们预计，单车车载毫米波雷达数量从L1级别的1~2个（前视侧视）增长到L2+级别的3~5个（前视侧视，环视四个），达到车辆周围的全覆盖；单个毫米波雷达的价格从2020年的平均91美元降到2025年的平均42美元。根据 Yole 数据，2020年车载毫米波雷达市场规模为38亿美元；我们预计，2025年的车载毫米波雷达市场可达92亿美元，CAGR为16%。

	2020A	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E
L1毫米波雷达数量/个	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
L2毫米波雷达数量/个	4	4.2	4.5	4.8	5	5
L3+毫米波雷达数量/个	5	5	5	5	5	5
毫米波雷达总数量（万个）	5474	7969	10192	12706	15731	19700
毫米波雷达平均单价（美元）	69.42	61.99	60.59	57.34	53.27	46.79

图：毫米波雷达数量预测（万个）



图：车载毫米波雷达市场预测（亿美元）



- ◆ **毫米波雷达测速测距+摄像头颜色交通标志以及车道线识别：** 到2021年二季度为止，已经量产的L1~2车型中，基本上都是采用摄像头+毫米波雷达的传感器方案。这套方案可以解决道路中遇到的绝大部分场景，并且整体方案成本一般小于1000美元，是现阶段商业化与技术水平的平衡点。
- ◆ **非标的静态物体检测能力很差：** 但这套方案有一个较为致命的弱点，就是对道路中非标的静态物体检测能力很差（摄像头测距需要认识此物体，而毫米波雷达由于分辨率问题过滤了静止的物体），以特斯拉出现的几起典型的事故为例：
 1. 2018年，中国发生的首例“特斯拉自动驾驶”车祸致死案，车辆同样是在开启Auto Pilot模式下撞上一辆停泊在高速公路旁的道路清扫车；
 2. 2019年3月，美国佛罗里达州，一辆特斯拉Model 3以110km/h的车速径直撞向一辆正在缓慢横穿马路的白色拖挂卡车，驾驶员不幸罹难。
- ◆ **激光雷达增加安全冗余：** 以现在的技术发展速度来看，解决这个问题最现实的方案就是使用激光雷达，来增加安全冗余，避免Corner Case的发生。

图：摄像头+毫米波雷达对非标静态车辆识别难度大

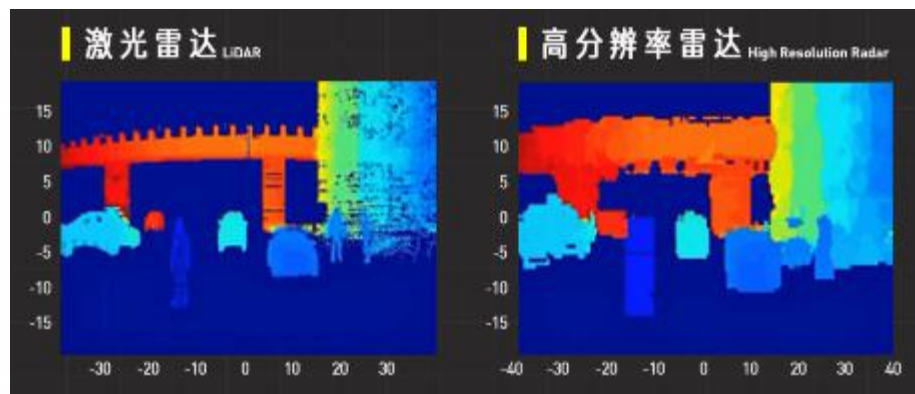


- ◆ **短波长带来高分辨率。**激光雷达是一种发射及接收激光的雷达，其基础原理与毫米波雷达类似，只不过由毫米波换成了905/1550nm 的激光。这样就使得波长缩短三个数量级左右，并且激光的强度、准直性和相干性都非常好，这些优点使得信号的空间分辨率大大提升。
- ◆ **激光雷达对于自动驾驶非常重要。**美国国防部高级研究计划署2004年第一次开展无人驾驶挑战时，没有一个队伍完成，因为当时人们的感知方案是使用摄像头和毫米波雷达。2005年时，最终有五辆车辆到达了终点，其原因是由于研究人员加装了**激光雷达**作为传感器，解决了摄像头和毫米波雷达无法解决的极端情况。从这里可见激光雷达对自动驾驶的重要性。
- ◆ **激光器（光源）、扫描和接收光学单元、光电探测器以及计算处理模块是区分纷繁复杂的激光雷达的主要方法。**激光雷达尚处于技术发展的早期，各种技术层出不穷，尚未出现在技术参数与成本上达到完美的解决方案。

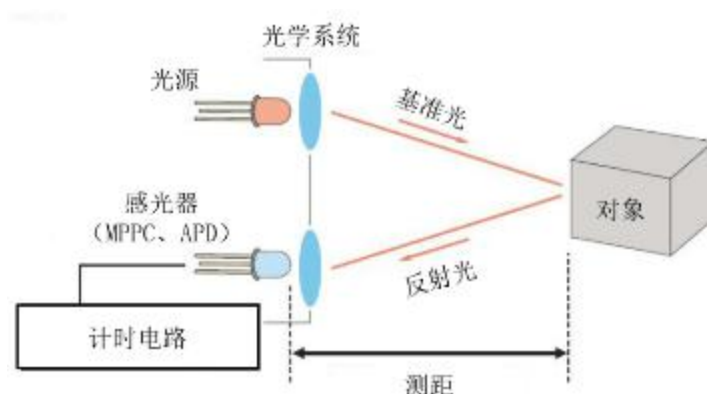
表：激光雷达的主要作用

主要作用	优势	劣势
1. 障碍物探测：测速和测距 2. 其他交通参与者探测与识别：车辆探测、行人探测，但无法识别颜色 3. 目标分类、地图构建与辅助定位	1. 测距可达300m以上，测距精度为厘米级，水平分辨率能够达到0.05°，垂直分辨率在线束集中区域可达0.2° 2. 方向性好，抗干扰能力强，隐蔽性好，不受无线电波干扰 3. 3D建模进行环境感知：通过激光扫描可以得到汽车周围的3D模型，运用相关算法能够较为容易的识别出周围的车辆和行人 4. 激光雷达SLAM加强定位，实现车辆导航及加强车辆定位精度。	1. 成本极高 2. 在云雾、雪等恶劣环境中有衰减，无法提供精确的环境图像 3. 无法进行颜色等信息的识别

图：高分辨率激光雷达的建模能力



图：激光雷达的TOF测距

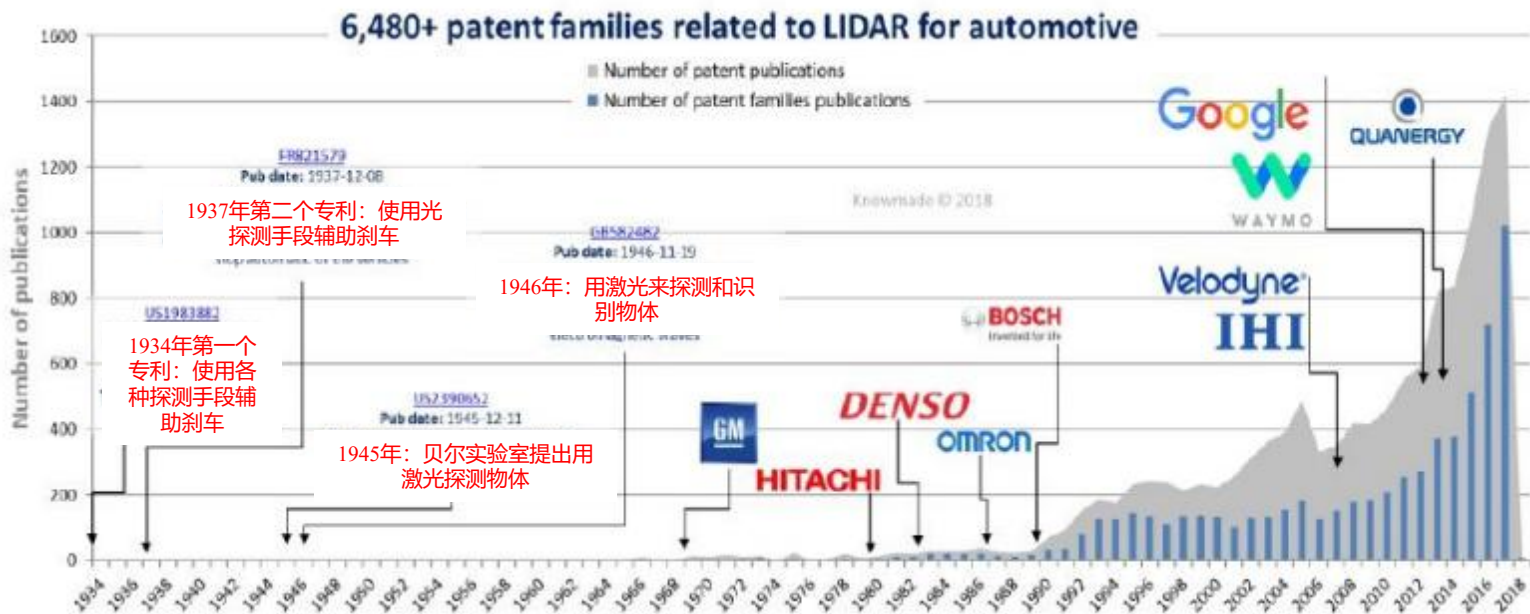


激光雷达：技术爆炸式发展，成本有望迅速降低

◆ **激光雷达技术爆炸式发展：**随着自动驾驶的级别要求越来越高，激光雷达的需求越来越大。为了占领这块巨大的市场，相关公司都在不断尝试各种新的技术，与车载激光雷达相关的专利呈指数式增长。

◆ **激光雷达将从机械式发展到混合固态（微动）式到纯固态式，车规级性能不断提高，成本不断下降：**据大疆预测，从2021年起混合固态式将成为激光雷达的主流形态，出货量可达10万台，单价将保持在1000美元左右；未来将会发展到纯固态式，年出货量可达1000万台，单价也会降低到几十到上百美元。

图：车载激光雷达相关专利指数式上涨



图：大疆展示的激光雷达的发展方向预测



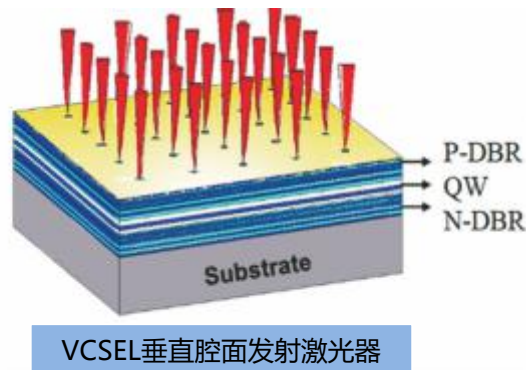
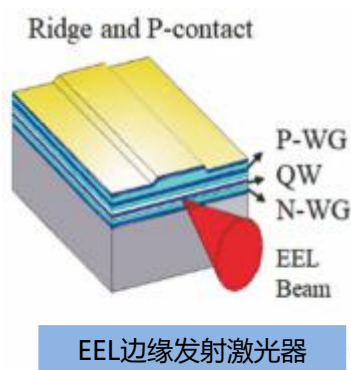
激光雷达：1550nm发展前景更为广阔

- ◆ **VCSEL发射形式**：工艺上更适合大规模量产，温度稳定性、光斑形状也更优；
- ◆ **1550nm波长是未来**：可实现大功率激光输出，但存在材料成本过高、雨天适应性差的缺点。

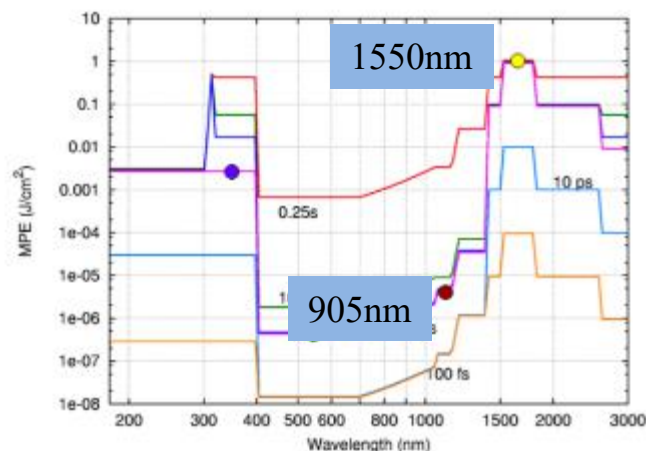
激光发射形式	成本	发散角	功率与效率	代表企业
EEL边缘发射激光器	芯片和封装类型很多，整体来看大规模生产效率不高	光斑为椭圆形，光谱较宽	功率高、光纤耦合效率50%、照度高，温度系数一般为0.3nm/K	Osram、滨松光子、Excelitas Technologies、Laser Components、瑞波光电
VCSEL垂直腔面发射激光器	工艺与LED兼容，可晶圆级测试，有利于大规模制造，降低成本	光斑近似为圆形，光谱线宽窄(通常<1 nm)	光纤耦合效率可达98%，光功率密度低，不易产生灾变性光学损伤；温度系数<0.07 nm/K	Finisar, Lumentum、Osram、三安光电、华芯半导体

激光波长	成本	人眼安全	热稳定性	天气适应性	代表企业
905 nm	一般采用GaAs半导体激光器，接收器为硅基雪崩光电二极管(Si-APD)，技术成熟，成本较低	对人眼伤害大，功率不能很高	不需要额外冷却装置	适应性较强，水分子散射、吸收较少	Excelitas、OSI LaserDiode、Laser Components、Osram、WaveSpectrum
1550 nm	一般用掺Er的铟镓砷化物 (InGaAs) 上制造的光纤激光器。需要将1550nm的InGaAs激光器与InGaAs-APD配对，这个制造工艺与硅基相比昂贵10倍以上，技术不成熟	对人眼伤害小，脉冲功率峰值可以是905nm的10万倍	高功率时需要冷却设备	适应性较弱，水分子散射、吸收较多；需要靠大功率来弥补	Argo AI、Aurora、禾赛、Innovusion、Luminar、Lumotive、Waymo、Mobileye

图：激光的发射形式



图：不同波长的人眼安全功率对比图

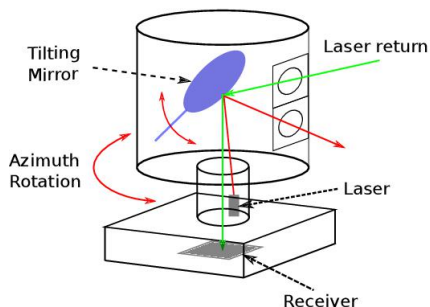


激光雷达：机械式→微动式→固态的扫描模式演进

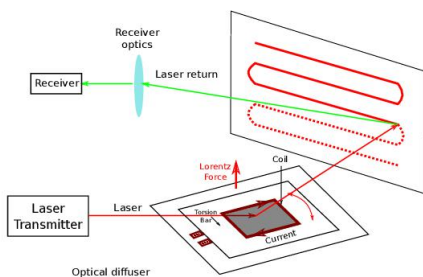
- ◆ **微动式（包括转镜式和振镜式）是目前技术和成本平衡的最好方案，ADAS领域都在使用此方案。** 固态中包含Flash和OPA两种，是未来的发展方向，但截止到2021年7月，相关技术能力和成本尚不能满足车辆要求。

扫描接收模式	技术特点及发展趋势	优势	劣势	发展前景	代表企业
机械转镜式	利用机械转轴驱动转镜进行全空间360°扫描成像	视角好，FOV可达360°，转镜系统成熟，方便做垂直多线雷达	一般需要安装在车顶，对车辆外形侵略性大； 机械结构抗震效果差 ，对温度和极端天气适应性也较差，寿命低。	目前L4级以上使用的激光雷达均为此类，但商业化前景不太看好，很难做到车规级。	Velodyne/Ouster/Waymo/速腾聚创/禾赛科技/镭神智能/北科天绘
微动式	利用微型马达、电磁力或压电陶瓷等控制反射镜（转镜或振镜）来实现扫描	体积小，可移动部件抗震性强，车辆适应性好，寿命较高，	与机械式相比由于尺寸下降，接收器接收功率减小，信噪比变差；牺牲了部分视角，一般通过拼接可做到FOV120°	目前有车规级产品，既可以少量配备实现L2级别自动驾驶，也可以整车四周全部配备实现L4+级别的自动驾驶，商业化前景比较明朗	Valeo/Luminar/Innoviz/Innovusion/速腾聚创
Flash	发射出 一大片覆盖探测区域的激光 ，再以高度灵敏的接收器，来完成对环境周围图像的绘制，属于非扫描式激光雷达	无移动部件，无需扫描过程，成像快，而且可避免扫描过程中目标或激光雷达移动带来的运动畸变	发射器件VCSEL激光功率小，测距小于100m	目前有近距离车规级激光雷达产品（配合毫米波雷达使用），如果光源功率问题得到解决，商业化使用前景会比较大	Princeton Lightwave/Leddar Tech / Ouster/ Photonics/大陆/IBEO
OPA	与相控雷达原理类似，通过 相控器件 控制光源发光时间差，相干无移动部件，硬件成本低，光合成具有特定方向的主光束来实现空间扫描。	无移动部件，硬件成本低，车辆适应性好	易形成旁瓣 ，影响光束作用距离和角分辨率	整体产业链尚不成熟，采用高精度集成的微阵列芯片式设计， 制作工艺难度高	Quanergy/Analog Photonics/力策科技

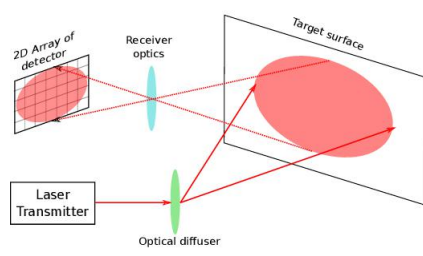
图：按扫描与接收类型的不同进行分类的激光雷达



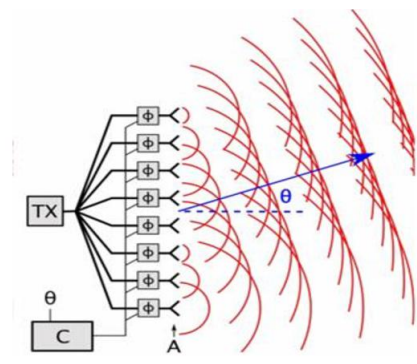
机械式激光雷达



微动式激光雷达



Flash激光雷达



相控阵OPA激光雷达

激光雷达：目前以TOF为主，FMCW是未来

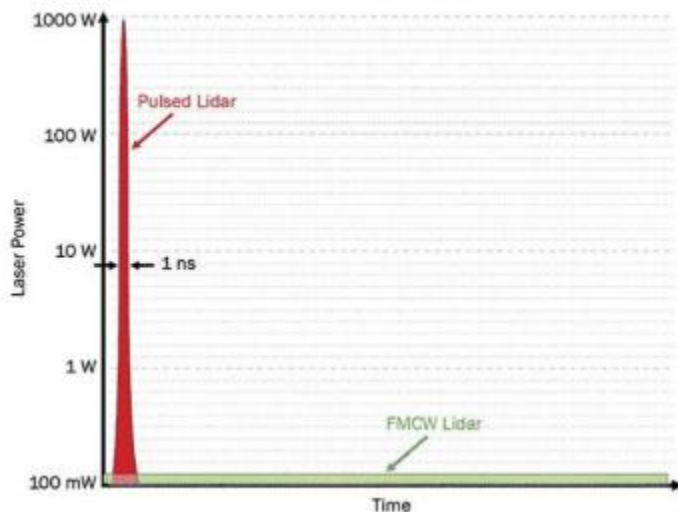
- ◆ **目前以TOF模式为主，但参考毫米波雷达的发展路径，FMCW模式可能会成为未来主流：** FMCW虽然有抗干扰和响应快的优点，但截止到2021年7月份，相关配件较贵，且调试过程复杂。我们预计随着技术的发展，FMCW会取代现有的TOF模式。

光源发射类型	基本原理	技术特点	优点	缺点
线性脉冲型飞行时间探测TOF-Linear	直接测量瓦级功率的激光脉冲从发射到经目标散射后返回雷达的往返时间，根据激光在大气中的传输速度，得到被测目标的距离	探测器的电脉冲响应与入射光强呈线性关系，可以获得除飞行时间之外的强度信息，这样可以进行轮廓描绘等信息探测	目前的器件适合采用此种模式；能够获得目标纵深剖面的回波强度轮廓	无法直接获取速度信息，容易受到环境噪声的影响
光子计数型飞行时间探测TOF-Photon Counting	回雷达的往返时间，根据激光在大气中的传输速度，得到被测目标的距离	探测器工作在盖革模式，具有单光子级灵敏度，一个信号光子即能触发一次电脉冲响应，但此时探测器只能响应回波信号的有无，不能提供信号的强度信息	一般用于超远距离探测	信噪比太低，需要探测器能力不断优化
频率调制连续波(Frequency modulated continuous wave, FMCW)	其发射的是连续激光信号，目前约为毫瓦级，并对激光发射信号的频率进行调制，通过解调后得到被测目标的距离和速度	通过平衡探测器可以得到回波信号与发射信号的差频信号；然后提取“上啁啾”和“下啁啾”的拍频频率（多普勒效应），可以确定目标距离和速度	测距精度能够达到微米量级，能够同时进行目标距离和多普勒径向相对速度的测量。	调频激光器较为昂贵，系统成本高，激光调制过程存在非线性效应，校正过程加剧了系统复杂程度

图：Forbes统计的目前技术路线选择的公司分布

	905nm, Flash	905nm, 微动式	1550nm, Flash	1550nm, 微动式
TOF-Linear	5家/1家较强	50家/2家较强	无	5家/1家较强
TOF-Photon Counting	无	5家/1家较强	无	1家/1家较强
FMCW	无	无	无	10家/2家较强

图：TOF和FMCW发射信号的波形对比

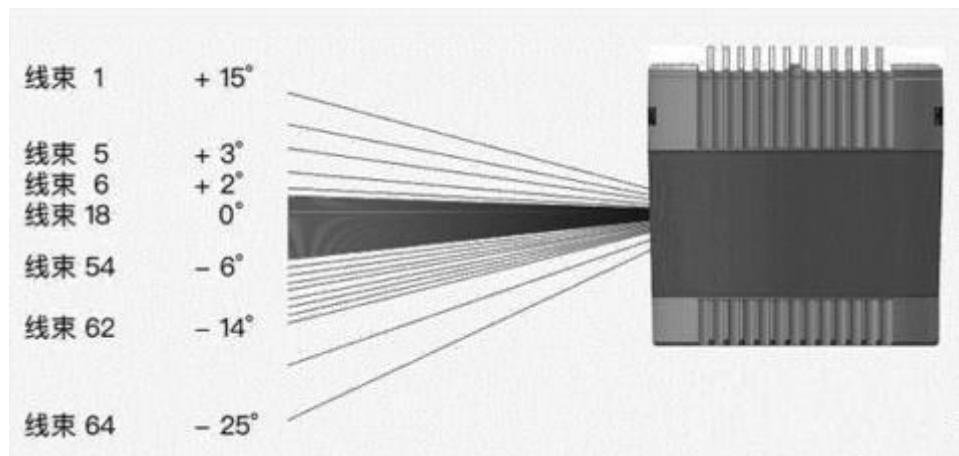


激光雷达：从L4级车辆到L2级车辆逐渐普及

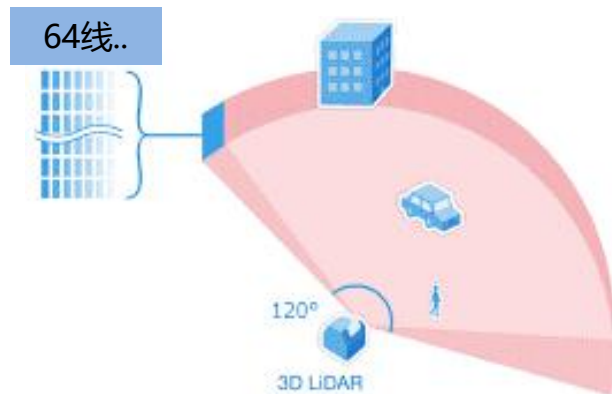
- ◆ 车载激光雷达成本不断降低，ADAS也开始陆续使用激光雷达；激光雷达线数不断增加，提高纵向分辨能力，但一般线数越多价格就越贵。2017年Valeo推出了首款安装在奥迪A8上的车规级激光雷达SCALA 1，但当时雷达垂直方向只有4线，主要是作为防碰撞预警使用，其对自动驾驶的贡献有限。随着多线激光雷达的量产宣布，激光雷达的建模能力越来越强，其对L2+辅助驾驶的帮助会越来越大。

	Valeo SCALA 1	Velodyne HDL	华为/速腾聚创	Luminar-Iris	大疆Livox-HAP	Innovusion-Falcon
激光光源	905nm	905nm	—	1550nm	905nm	1550nm
扫描方式	转镜扫描式	机械式360度旋转	转镜扫描式	转镜扫描式	双棱镜扫描式	转镜扫描式
探测距离@10%反射率/水平*垂直FOV	150米/145°*3.2°	120米/360°*26.8°	150米/120°*25°	250米/120°*30°	150米/120°*30°	250米/120°*30°
水平*垂直分辨率	0.25°*0.8°	0.09°*0.4°	0.25°*0.26°	0.06°*0.06°	0.16°*0.2°	0.06°*0.06°
垂直点云密度	4线	64线	96线	等效300线	等效144线	等效300线
搭载车型	奥迪A8	Waymo/Apollo等L4+车辆	极狐阿尔法	上汽智己	小鹏P5	蔚来ET7
量产时价格（仅做参考，不一定能达到量产）	大规模量产的单价600美元	80000美元	大规模量产后成本200美元	大规模量产后成本500美元	官网单个价格约1000美元左右	大规模量产后成本800美元

图：激光雷达线束分布



图：多线数激光雷达的意义



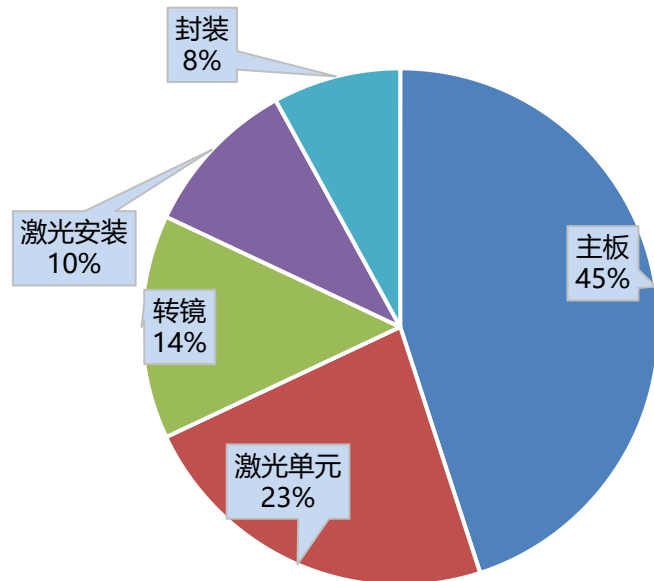
激光雷达：已量产的车规级Valeo Scala成本分析

部件	主要构成	成本占比
主板	包括电源管理和处理运算两部分，计算部分的核心包括Xilinx XA7Z010 SoC双核ARM Cortex-A9、32位ST的SPC56EL60L3微控制器；电源管理部分主要包括ADI的同步降压稳压器，Infineon的双通道HSD，ADI LDO的三路单片降压IC和Allegro 风扇驱动器IC，外部的FlexRay芯片等等	45%
激光单元	光源激光功率为75 W，直径为5.6 mm。采用边缘发射激光器（EEL）技术，发射的激光波长为905纳米（nm），探测波形为脉冲波。接收单元使用First Sensor的雪崩光电二极管（APD）来接收返回的激光束。值得注意的是，此款激光雷达只有4线，如果线数增加则会显著增加此项成本。	23%
转镜结构	探测为150米，水平视场角为145°，垂直视场角为3.2°。电机控制单元由带有控制驱动器的定子和转子以及用于运动检测的MPS40S霍尔传感器组成	14%
激光部件安装	主要为了固定激光单元，使其满足车规级标准	10%
整体结构与封装	包括外壳和可加热的屏幕，不仅需要保护激光雷达的稳定性，而且要保证在各种条件下激光窗口的通透性	8%

图：Valeo Scala零部件构成

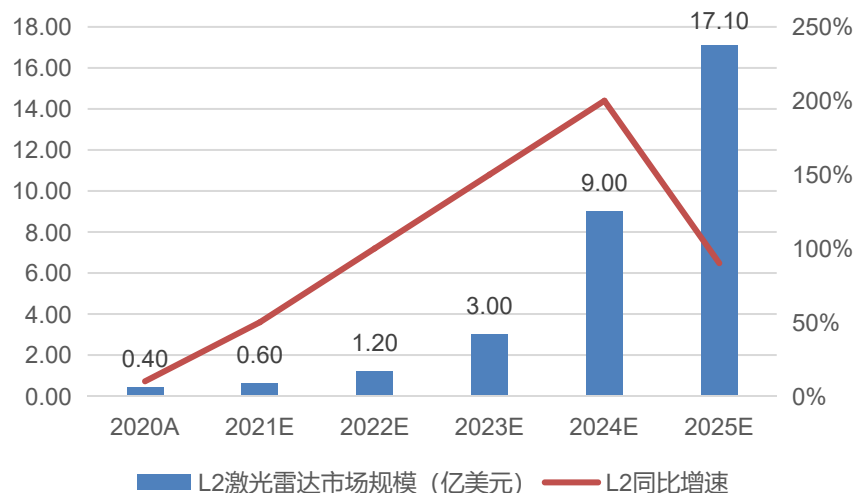


图：Valeo Scala零部件成本占比（2020年数据）

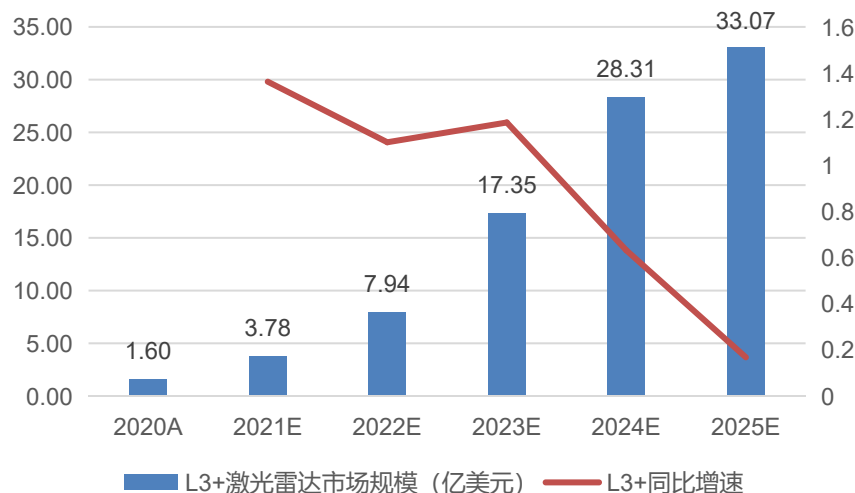


- ◆ **激光雷达处于导入期，技术路线众多，多种技术方案可能长期共存。**根据Yole数据，2019年激光雷达市场约有16亿美元，但其主要应用市场为测绘和工业应用，车载激光雷达相关的仅占6%左右（其中L3+级的无人驾驶Robotaxi等市场为0.87亿美元，L2级私家车的市场为0.19亿美元），市场规模很小。车载激光雷达的市场还属于导入期，可选技术路线多，车规级量产难度大（温度、震动和寿命需要满足车规级需求），制作工艺较为复杂，初创公司多，集中度很低。技术路线的选择是车载激光雷达公司面临的极为重要的选择，多种技术方案可能长期共存。
- ◆ **L2级以及L3+级激光雷达市场均有较大幅度增长。**随着自动驾驶场景需求越来越多，市场普遍认为激光雷达是必不可少的。除了老牌激光雷达公司Velodyne、Valeo、Waymo、Ibeo、Luminar、Ouster、禾赛科技、Innovusion、Lumentum外，新加入的Mobileye、速腾聚创、镭神智能、大疆Livox以及华为等也加入激光雷达市场的争夺，这必将加快激光雷达的发展速度，满足L2需求的车规级激光雷达会逐步落地；车载激光雷达市场将进入成长期，迎来爆发式的增长。我们预计，到2025年，L2级私家车激光雷达的年销量可达427万个，平均售价为400美元，市场规模将达到17亿美元，2020~2025年的CAGR达155%。2025年L3+级私家车激光雷达的年销量可达112万个，平均售价为2952美元，市场规模将达到33亿美元，2020~2025年的CAGR达113%。

图：L2级车载激光雷达市场预测（亿美元）

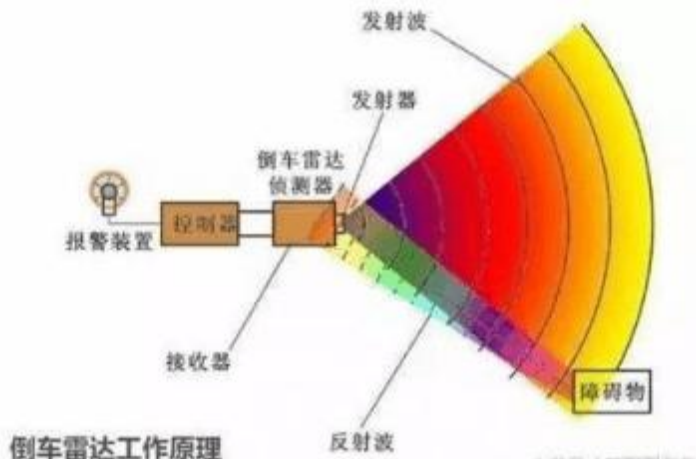


图：L3+级车载激光雷达市场预测（亿美元）

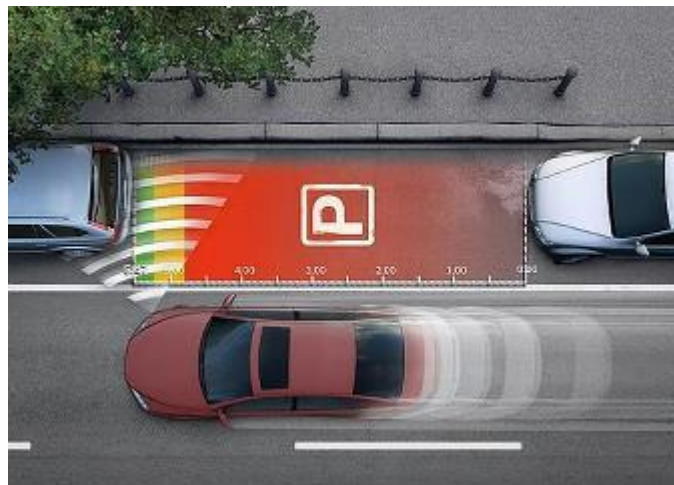


- ◆ **辅助泊车的低成本解决方案：**超声波雷达是一种常见的传感器，俗称倒车雷达。其工作原理是通过超声波发射装置向外发出超声波（机械波而非电磁波），到通过接收器接收到发送过来超声波时的时间差来测算距离。常用的工作频率有40kHz, 48kHz和58kHz三种。一般来说，频率越高，灵敏度越高，但水平与垂直方向的探测角度就越小，故一般采用40kHz的探头。根据超声波的特性，其主要作用是通过蜂鸣器来辅助驾驶员泊车、自动泊车的辅助与微调车辆在行车道的位置，保持与相邻车道车辆的安全距离。其优势与劣势如下：
 1. 优势：成本只要几十到几百元，测距的方法简单，防水、防尘，即使有少量的泥沙遮挡也不影响测量。
 2. 劣势：超声波雷达在较高车速时无法实现可靠的测速功能，这是因为超声波的传播速度比电磁波慢很多（约为340 m/s），且容易受气温的影响（，当汽车高速行驶时，使用超声波测距无法跟上汽车的车距实时变化，误差较大。另一方面，超声波散射角大，方向性较差，在测量较远距离的目标时，其回波信号会比较弱，测量精度较差。
- ◆ 随着摄像头和雷达系统的成本不断下降，超声波雷达有**被取代**的趋势。

图：超声波雷达的工作原理



图：超声波雷达用于自动泊车

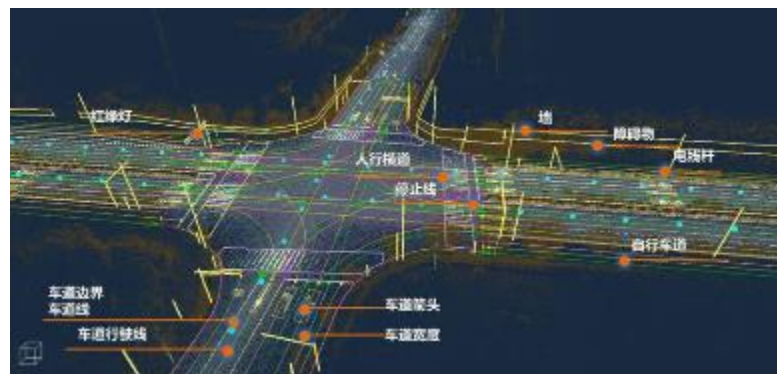


高精地图：自动驾驶系统的“记忆”

- ◆ **作为汽车的“记忆”，提升自动驾驶的能力：**高德汽车总裁韦东说，高精度地图就像自动驾驶汽车的记忆，“离开了记忆，无论眼睛和思考(摄像头及雷达)有多么发达，还是无法对事件有全局把控”。高精地图相较于普通导航地图，不仅增加了很多与辅助驾驶相关的信息，还提高了精度，是实现自动驾驶的有力工具。

	普通导航地图	高精地图
使用对象及用途	给 驾乘人员 以驾驶引导，实现导航和搜索	给 自动驾驶系统 提供必要的信息助力自动驾驶，提供安全冗余
精度	一般为10米量级	绝对精度要求优于1米，相对精度一般为厘米级，不超过车道线宽度
数据实时性	月级更新频率	框架为月级更新，半动态数据频率为分钟级，动态数据频率为秒级
采集模式	国家测绘局数据+导航厂家实地采集信息+数据加工检测	在普通导航地图的基础上，需要特定采集车辆（一般需要配备激光雷达），测绘需拥有甲级测绘资质；一辆高精度地图测绘采集车的造价通常在 数百万元到一千万元左右 ，维护一座城市的数据一般需要 10辆测绘车 。
记录内容	记录道路级别的数据，比如道路形状、坡度、曲率、铺设、方向等；记录建筑的大小、信息等；	除了导航地图的数据外，新增了两类数据：第一类是 车道数据 ，比如车道线的位置、类型、宽度、坡度和曲率等车道信息。第二类是车道周边的 固定对象信息 ，比如交通标志、 交通信号灯 等信息、车道限高、下水道口、障碍物及其他道路细节，还包括高架物体、防护栏、数目、道路 边缘类型 、路边地标等基础设施信息。

图：普通导航地图 VS 高精地图



- ◆ **利用车辆的定位，高精地图与传感器双重判断后决策：**高精地图可以提供车辆环境模型的先验知识，一定程度上减少自动驾驶车辆感知层的压力。这样不仅提高了自动（辅助）驾驶的安全性，也大幅提升在立交桥/复杂路况/隧道/地下车库以及雨雪雾等视觉无法有效处理的情况下自动（辅助）驾驶的有效性。

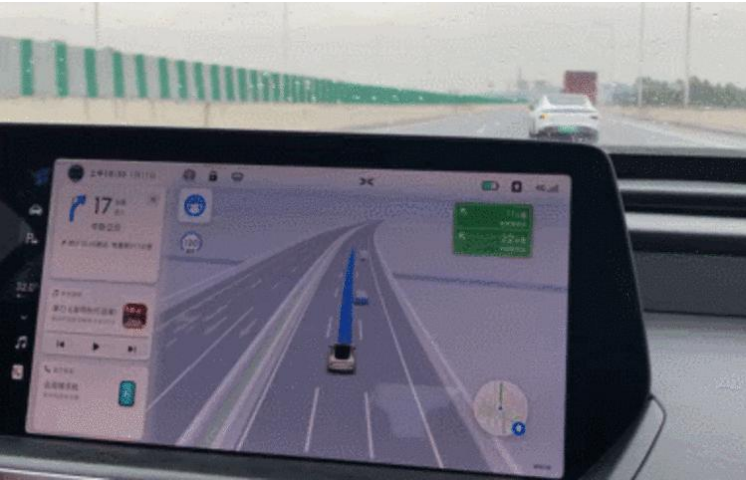
表：车辆定位方法

定位方法	原理	优点	缺点
GNSS-RTK定位	GNSS利用 卫星 进行定位；RTK是使用 无线网络 进行定位	可实现全球、全天候、全天时定位；绝对位置准确	依赖卫星信号，受遮挡时，信号丢失，无法定位；易受电磁环境干扰
惯性导航定位（IMU）	通过IMU可以获得车辆的速度加速度角度等信息，计算得到车辆的行进轨迹，多用于GNSS方法的 补充	不依赖于任何外部信息，不易受外界电磁干扰影响；数据更新频率高	不与外界通信，存在累计误差，不能长时间作为定位工具
环境特征匹配定位/摄像头和激光雷达	通过感知设备重建车辆周围信息，与高精地图比较后得到位置信息	可获得周围环境3D信息	传感器会受天气、环境、光线等条件影响

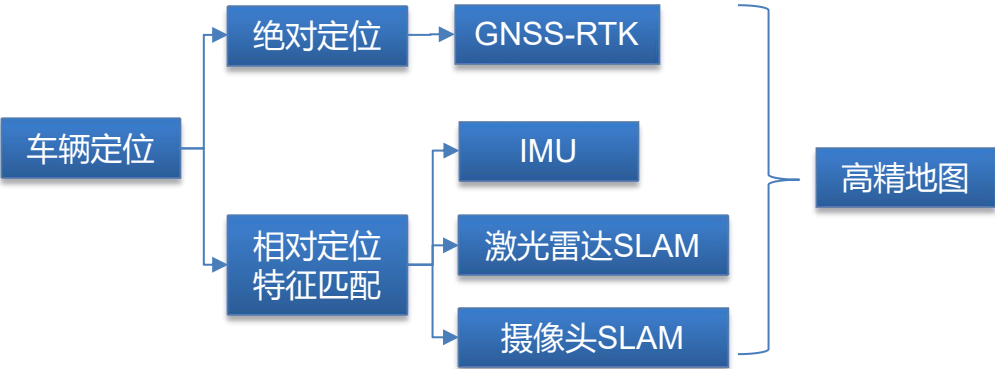
图：无高精地图的特斯拉在处理Y型路口时会出现画龙现象



图：小鹏p7在高精地图加持下大雨天气下可实现高速自动变道



图：从车辆定位到高精地图



高精地图：需要测绘资质，前期投入大壁垒高

- ◆ **采集方式：集中采集**——基于专业采集车；**众包采集**——车端基于实际感知同高精地图对比，信息不匹配时上传平台。
- ◆ **中国地图采集资质要求很高**：政府要求高精地图测绘必须具有相应资质，截止到2020年11月中国仅有28家公司拥有相应资质，进入壁垒较高。高精地图绘制投入很大，仅绘制车辆就需要数百万至千万一台；地图测绘属于机密信息，一般不向本国以外的公司开放。
- ◆ **中国在基建和消费场景上存在优势**：对基建重视程度高，有能力实现高精地图采集；都市圈消费人群密集，盈利前景广阔。
- ◆ **国外图商主要与整车厂进行合作**：比较有名的有Here（奔驰宝马奥迪合资的子公司，与Tier1合作，使用其传感器来实时更新地图，市占率较高）、Waymo（谷歌地图，拥有美国数个城市的高精地图数据）、REM（Mobileye子公司，与各国本地企业合作，通过摄像头设备采集地图数据）、TomTom（荷兰公司，从静态地图转型而来，与百度有合作）、DMP（日本公司，预计2021年可提供全日本的高速数据）等。

表：中国有测绘资质的高精地图公司

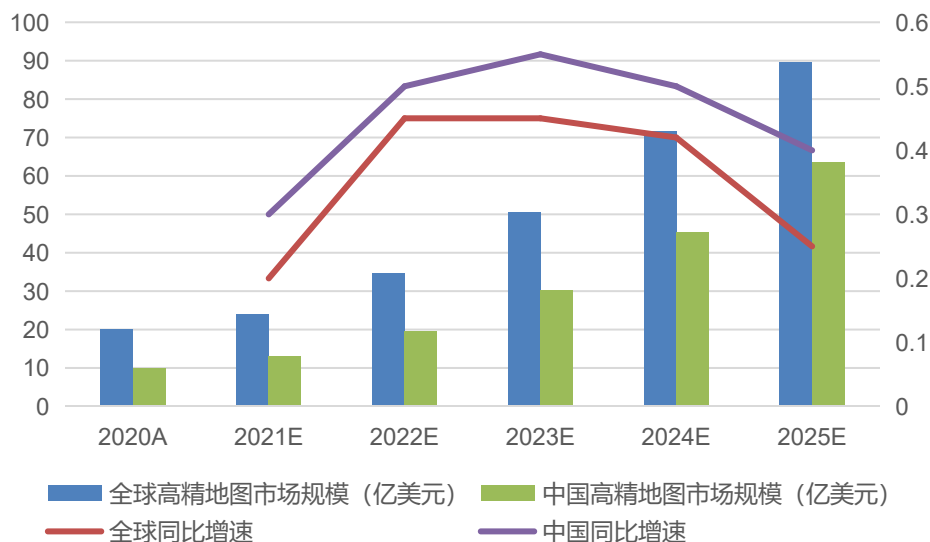
供应商	获得资质时间	主要特点
四维图新	2001	地图测绘起家，2015年成立智能地图事业部，目前已经掌握了从数据采集、自动化制图到众包更新以及快速迭代的自动驾驶地图完整产品能力解决方案
高德地图（阿里子公司）	2004	专门用于HAD级别自动驾驶地图的采集车主要通过2个激光雷达和4个摄像头采集道路信息，精度可达10厘米；让“大数据、深度学习成为基础数据采集的主导者”
长地万方（百度子公司）	2005	已经完成30万公里的高速公路和部分城市道路测绘，相对精度达到10-20厘米；和博世集团、TomTom等相关产业巨头 利用AI方面的优势 ，打造起一个“AI-based Map”，融汇基础数据、出行方式、智慧交通等信息，共同构建起“地图大脑”
易图通（箩筐子公司）	2005	前期以制作导航地图起家，2017年起涉足高精地图领域；在低速无人驾驶的自主泊车领域，易图通获得了多个国内自主泊车高精度地图量产项目，并取得了竞争优势
滴图科技（滴滴子公司）	2017	母公司滴滴拥有庞大的快车、专车、出租车队伍，通过众包模式，利用滴滴运营车辆收集各地道路信息，其数据收集能力远超其他公司

表：与主流车厂合作的高精地图公司

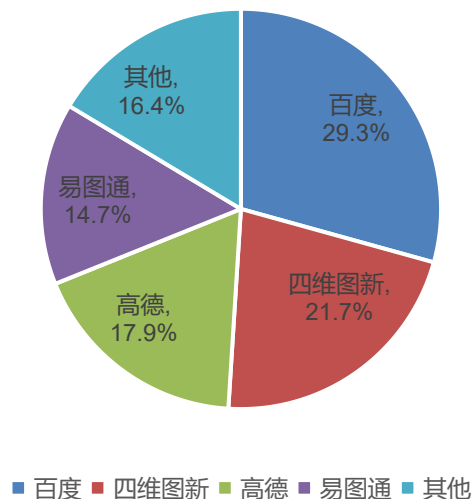
主机厂	L2+上市时间	L2+车型	高精地图合作伙伴
奔驰	2020	奔驰S级	Here
广汽新能源	2019	Aion LX	百度
宝马	2021	iNext (iX5)	四维图新 Here
奥迪	2019	A8L/Q8	Here
长城	2021	WEY	百度
吉利	2021	极氪/领克	高德
长安汽车	2020	UNIT	百度
凯迪拉克	2020	CT5/CT6	高德
丰田	2020	雷克萨斯	DMP
本田	2020	Legend	DMP
上汽	2020	MARVEL X	中海庭 REM
奇瑞	2020	JETOUR X	百度
小鹏汽车	2020	P7	高德/易图通
蔚来	2020	ES6/EC6/ES8	百度 REM

- ◆ **人工智能技术的运用使高精地图成本采集大大降低，百度与高德领先。**从各主机厂即将量产的ADAS车型的高精地图供应商来看，中国高精地图市场率先实现商业化应用的图商主要是高德地图、百度地图、四维图新、易图通等。其中，百度地图在百度大脑AI技术的支撑下,实现了80%数据采集环节AI化，高德地图也让“大数据、深度学习成为基础数据采集的主导者”。人工智能等技术的应用带来的降本增效能力，也让他们在竞争中占据更大优势，其成本控制可能会比老牌测绘厂商四维图新和易图通要好。
- ◆ **探索全新盈利模式，助力该领域快速发展。**对于自动驾驶领域的盈利模式来说，目前尚未有比较明确的图商向车厂提供的高精地图通常售价500元-700元左右，但由于高精地图需要后期不断维护，对于维护费用的收取还没有较为明确的方案。高德曾在2019年宣布会收取维护费用约为100元/年/台，但目前尚未传导至消费端。
- ◆ **中国市场增速更快。**根据IDC数据，2020年全球高精地图市场规模约为20亿美元，其中中国占50%份额。我们预计，随着自动驾驶车辆的迅速增加，高精地图的市场规模也会迅速扩大，到2025年全球市场规模可达90亿美元，CAGR为28%，其中中国占70%的份额，CAGR为36%，增速显著高于全球水平。

图：高精地图市场预测（亿美元）



图：IDC统计的中国2019年高精地图市场份额





■ 自动驾驶历史及定义

■ 环境感知系统

■ **决策规划系统**

■ 控制执行系统

■ 解决方案供应商

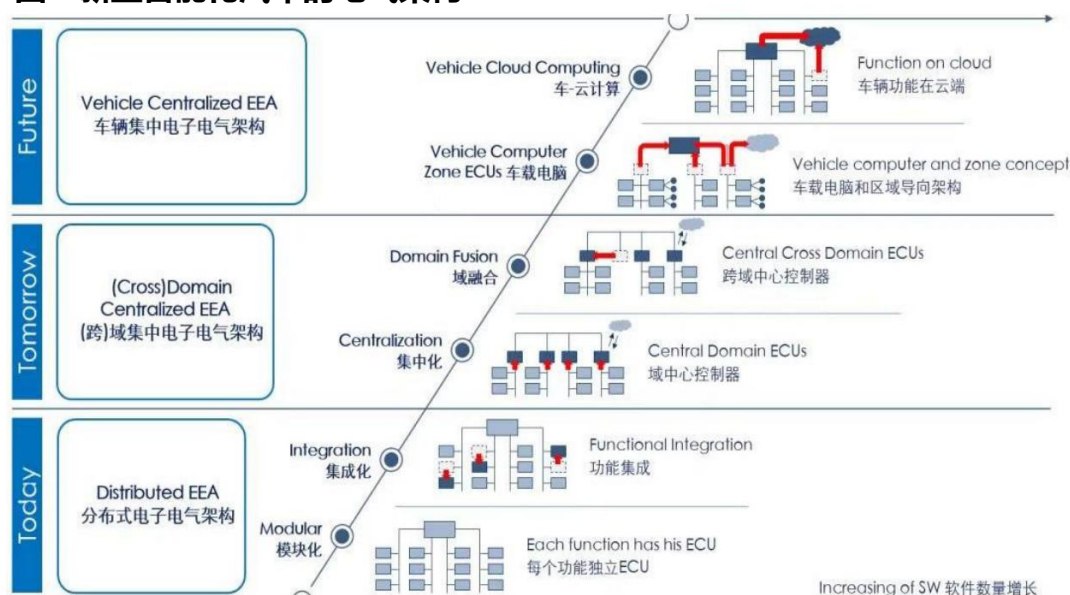
■ 整车厂

■ 风险提示

◆ **分散式→集中式架构的演变：**为了实现智能化自动驾驶，需要非常多的车载传感器进行环境探测。摄像头/激光雷达/毫米波雷达模块的数据流可达数千Mbps，传统的LIN/CAN总线无法传输这么大的数据量。各个传感器得到的数据通常还需要由一个统一的大脑来分析做出决策，传统的硬件架构都是单一ECU来控制单一传感器，架构比较分散，需要进行集中化升级。汽车电气化架构升级的路径为：

1. **硬件架构升级：**分布式（从模块化到集成化）到域集中（从域控制集中到跨域融合）再到车辆集中（车载电脑→车-云计算）。其优点是：由各个微处理器MCU处理单一数据到统一的**CPU/AI芯片**来处理不同传感器发送的数据，这样不仅可以优化算力利用率，还可以实现整车数据融合，实现整车功能协同；与此同时，**新的架构还可以缩短线束，减轻质量。**
2. **软件架构升级：**提供标准接口定义，模块化设计，**促使软硬件解耦分层**，实现软硬件设计分离。优点是：可实现软件/固件OTA升级、软件架构的软实时、操作系统可移植；采集数据信息多功能应用，有效减少硬件需求量，真正**实现软件定义汽车**。
3. **通信架构升级：**车载网络骨干由LIN/CAN总线向MOST和以太网方向发展。其优点是：满足高速传输、高通量、低延迟等性能需求。

图：新型智能化汽车的电气架构



特斯拉：按照物理位置划分ACC（中央集中式处理器）、BCMRH（右车身控制器）、BCMLH（左车身控制器）
目前豪华车型宝马、奔驰以及丰田也开始进化到中央集中式

小鹏：按照功能模块划分XPILOT（辅助驾驶模块）、XmartOS（整车操作系统）、Powertrain（动力控制模块）
目前大众也采用了域集中式

大部分普通汽车的电子电气架构

决策“大脑”：硬件+软件+操作系统

- ◆ **无人驾驶决策系统主要包括硬件平台、软件及操作系统三个部分。**在自动驾驶中，传感器从环境中收集数据，并将这些数据提供给硬件平台进行感知和动作的计算，然后再将动作规划发送到控制平台进行执行。在硬件之上，还需要一个操作系统来协调这些组件之间所有的通信，并协调不同实时任务的资源分配。决策（功能）软件实时处理硬件产生的数据，并根据处理的结果发出相应的指令给执行系统，以达到自动驾驶的目的。应用软件给智能汽车的操控带来极大的便捷，也使汽车有望成为新的万物交互的终端。
- ◆ **自动驾驶是AI（人工智能）最大的落地应用场景。**自动驾驶从本质上来说是要让车辆拥有与人类一样的观察与思考的能力，因此AI技术水平的发展对于自动驾驶能力起着决定性的作用，自动驾驶也为迟迟无法商业化的AI技术找到了巨大的市场。

表：传统汽车与智能汽车在软硬件上的区别

	传统汽车	智能汽车
硬件平台	主要是MCU (Micro Controller Unit, 单片机)，通常只能控制单一任务，比如电子油门、车窗、雨刷、空调等	升级为SoC (System on Chip, 系统级芯片)，可以实现多功能整合的控制
操作系统	没有操作系统	类似计算机的操作系统
软件	功能独立的软件，例如收音机软件控制收音机，雨刮开关控制雨刮器	不仅有先进的语音操作系统来控制车辆大部分硬件功能，还拥有与智能手机类似的影音娱乐应用软件

图：决策架构分布

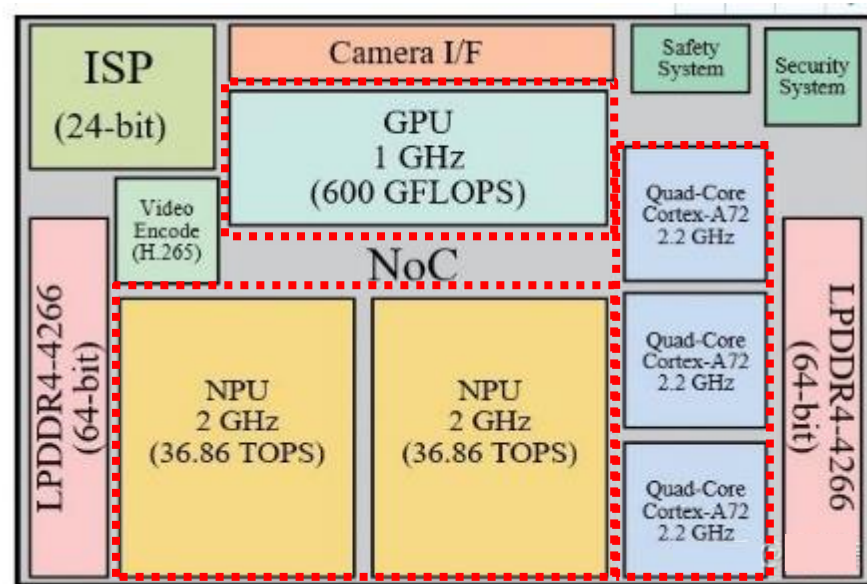


- ◆ **芯片算力、每瓦功耗、平台开放程度以及车规级稳定性都是评价AI芯片水平的因素：**随着自动驾驶级别越来越高以及图像/视频的数据量越来越大，对视觉芯片的算力要求也越来越高，据估计满足安全冗余的L2级的算力要求至少需要**10TOPS**以上，L3+级要100TOPS以上，普通的GPU都无法满足；除算力外，芯片对功耗、可靠性、车规级能力、算力支持能力等都提出了要求，这是一个全新的领域，目前仍处于快速发展阶段。
- ◆ **AI芯片中，GPU→FPGA→ASIC专用性越来越强，每瓦功耗越来越低：**当前主流的AI芯片主要分为三类，GPU、FPGA、ASIC。其中GPU（俗称显卡，通用性较强，但功耗较高）、FPGA（运算速度快）均是前期较为成熟的芯片架构，属于通用型芯片。ASIC属于为AI特定场景定制的芯片，通用性低但针对特定场景的**每瓦功耗**以及**安全性**更好，前期开发成本较高。

图：特斯拉FSD芯片主要部件

特斯拉FSD芯片主要构成	组成	计算能力/工作频率	主要功能
CPU	Cortex-A72架构，三组、每组4个核心	2.2GHz	负责通用数据处理
GPU	支持FP32和FP64	主频最高1GHz，最高计算能力约为0.06TOPS	负责NPU无法处理的数据信息，确保车规级安全性
NPU(ASIC)	2个NPU，每个NPU中有一个96×96的MAC矩阵，包含了32MB的内置SRAM	整体工作频率为2.2GHz，两个NPU加起来算力约为72TOPS	负责深度学习以及预测功能，是主要负责计算功能的芯片

图：特斯拉FSD芯片架构



AI芯片：解决方案/传统电子厂商/平台/自研

◆ 我们更看好平台式与全栈自研的发展模式：平台式能满足车企自研算法的需求，自研模式迭代速度快，各个环节适配性好。

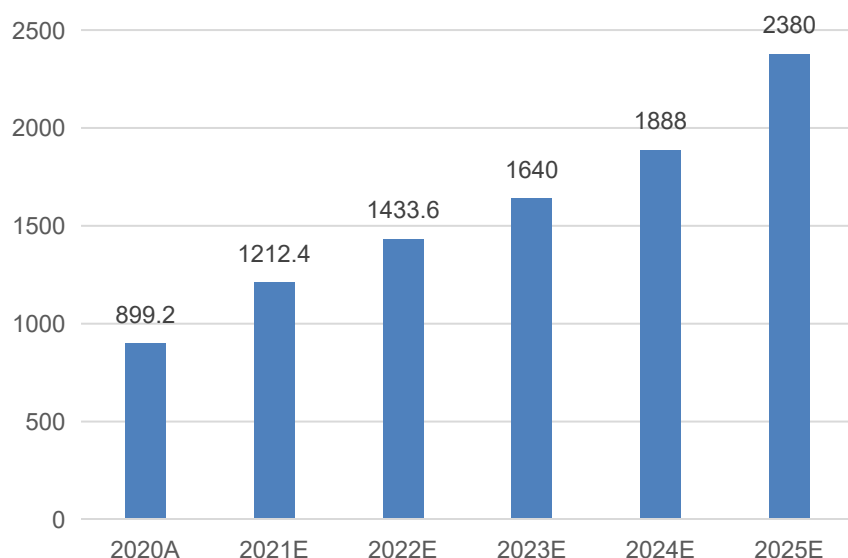
技术路线	厂家	芯片	架构	车辆配备/合作商	INT8算力 (TOPS)	算法支持	每瓦功耗 (W)	制程 (nm)	SOP时间	优劣势
提供整套解决方案	Mobileye (英特尔)	EyeQ3	CPU+ASIC	奥迪A8/沃尔沃/凯迪拉克	0.256	自带算法，算法一般是封闭的。目前声称提供修改工具，客户可进行部分优化	10	40	2014	视觉算法领先，2020年市占率70%，车载市场经验丰富，产品即装即用，提供全套解决方案，稳定性高；但是较为封闭的算法令车企担忧，因为车企逐渐意识到 算法为自动驾驶的核心能力，有部分车企因此转向别家芯片 ；行车数据的归属权不明，容易引发争议
		EyeQ4		蔚来/理想/大众/宝马/福特/日产/广汽/长城等主力在售车型	2.5		1.2	28	2018	
		EyeQ5		宝马iNext/极氪001	24		0.416	7	2021E	
传统汽车电子厂商转型	瑞萨	V3H	CPU+ASIC	博世/海拉	4	提供硬件平台，提供算法相关支持	2.5	16	2019	具有成本优势，产品可靠性高，主要合作方是Tier1厂商或是第三方科技公司；产品面向的是量产车辆的驾驶辅助，算力不高，架构优化不足，每瓦功耗较高
	恩智浦	S32V		RTI (软件公司)	4		1.5	16	2022E	
	德州仪器	TDA4VM		百度 (威马W6)	8		1.5	16	2020	
平台化硬件	英伟达	Xavier	CPU+GPU+ASIC	小鹏P7/P5	30	提供工具链和软件算法参考模型，客户自定义算法	1	12	2020	视觉芯片架构与英伟达GPU类似，所以英伟达很适合转型做视觉芯片。芯片的算力目前属于开放平台中最高的，下一代的客户越来越多，预计增速会越来越快
		Orin		蔚来ET7/下一代小鹏/下一代理想/沃尔沃XC90/上汽RES33/奔驰	200		0.225	7	2022E	
		Atlan		奔驰	1000		--	5(E)	2023E	
	地平线	征程2	CPU+ASIC	长安UNI-T/奇瑞蚂蚁/上汽智己	4		0.125	28	2019	2016年成立，以AI芯片研发起家，灵活性高，在某些算法方面有独特优势，深耕中国市场，可以为中国企业提供 更快更便捷 的服务支持
		征程3		江淮/理想One	5		0.5	16	2020	
		征程5/5P		长城	96/128		0.195	7	2022E	
	华为	昇腾310	CPU+ASIC	/	16		0.5	12	2018	软硬件实力一流，硬件调教能力出众，可做到高算力、高可靠、高能效和低延时。计划做万物互联的生态，可扩展性很强。芯片制程受限，未来产量无法确定。
		昇腾910		北汽/长城	640		0.48	/	2022E	
	黑芝麻	A1000	CPU+ASIC	一汽红旗、上汽	40		0.2	16	2020	2017年成立，企业创新活力强。拥有较高的芯片算力能力，车载经验丰富，深耕中国市场，可以更好服务中国的车企
		A1000 Pro		东风	106		0.24	16	2022E	
全栈自研	特斯拉	FSD	CPU+GPU+ASIC	Model3/S/X/Y	72	自研	1	14	2019	特斯拉 全栈自研 ，硬件软件适配性强，算力可充分发挥；算法可根据真实行车数据进行快速迭代，拥有其他公司无可替代的上下游一体化优势
		升级版FSD		Model3/S/X/Y	210		--	5/7	2021E	

市场规模：五年内从24亿美元增长到104亿美元

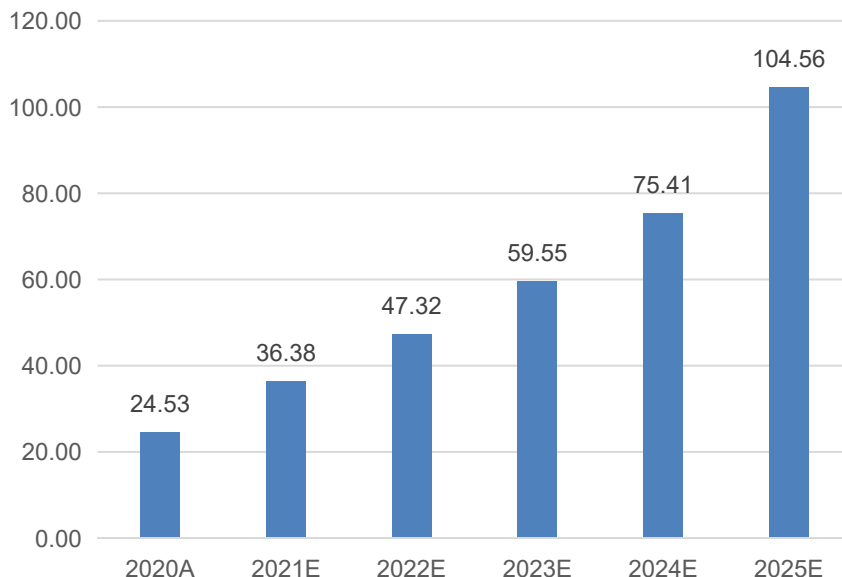
- ◆ **AI芯片的价量均快速上涨，数量的增长更快。**随着自动驾驶级别的不断提高，对于高算力的需求以及汽车电气集中化的整体趋势，作为车辆计算核心的AI芯片市场需求会大大增加。我们预计，L2和L3+级汽车都会用AI芯片来取代分立的MCU芯片，进行自动驾驶相关的计算工作，AI芯片的数量将从2020年的899万套提升到2025年的2380万套，而随着算力的不断提高以及功能的不断扩张，AI芯片（可包含多个分立的独立芯片作为安全冗余）的单价也会略有提升，其价格从2020年的平均273美元提升到2025年的439美元。整体来看，AI芯片的市场规模将从2020年的24亿美元增长到2025年的104亿美元，CAGR为44%。

	2020A	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E
L2AI芯片数量/套	896	1204	1414	1610	1843	2320
L3+AI芯片数量/套	3.2	8.4	19.6	30	45	60
AI芯片总数量（万套）	899.2	1212.4	1433.6	1640	1888	2380
AI芯片平均单价（美元）	272.80	300.08	330.09	363.09	399.40	439.34

图：AI芯片数量预测（万套）

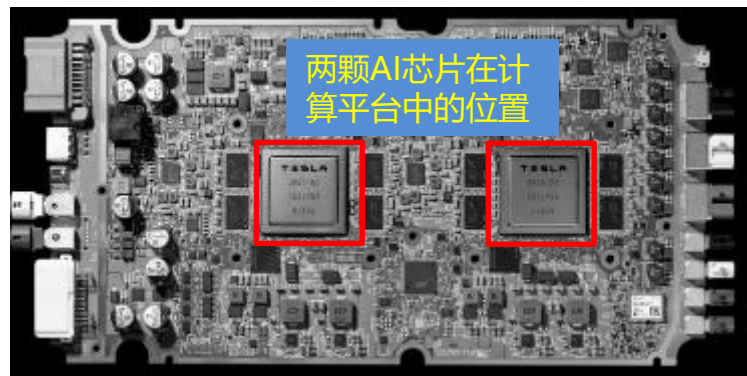


图：AI芯片市场规模预测（亿美元）



- ◆ **将AI芯片以及电源管理模块、通信模块以及安全模块集成在一起的域控制器，便利了整车开发过程：**域控制器（DCU，Domain Control Unit）也即自动驾驶域的计算平台，能够使车辆具备多传感器融合、定位、路径规划、决策控制的能力，通常由AI芯片，加上电源管理模块、通信模块以及安全模块等部分构成。域控制器的概念最早是由以博世、大陆为首的Tier1提出，它的出现是为了解决信息安全，以及MCU计算能力不足的问题。域控制器因为有强大的硬件计算能力与丰富的软件接口支持，使得更多核心功能模块集中于域控制器内，系统功能集成度大大提高，这样对于功能的感知与执行的硬件要求降低。加之数据交互的接口标准化，会让这些零部件变成标准零件，从而降低这部分零部件开发/制造成本。
- ◆ **推动中控系统升级：**域控制器的出现也推动着汽车中控从机械式的按钮系统逐渐升级到了类似智能手机的触屏式系统，在方便车机交互的同时，也推动着车辆成为全新的万物互联终端。

图： 特斯拉域控制器计算平台和AI芯片的关系



图： 域控制器推动中控系统的升级



机械按钮



液晶屏显示+机械按钮

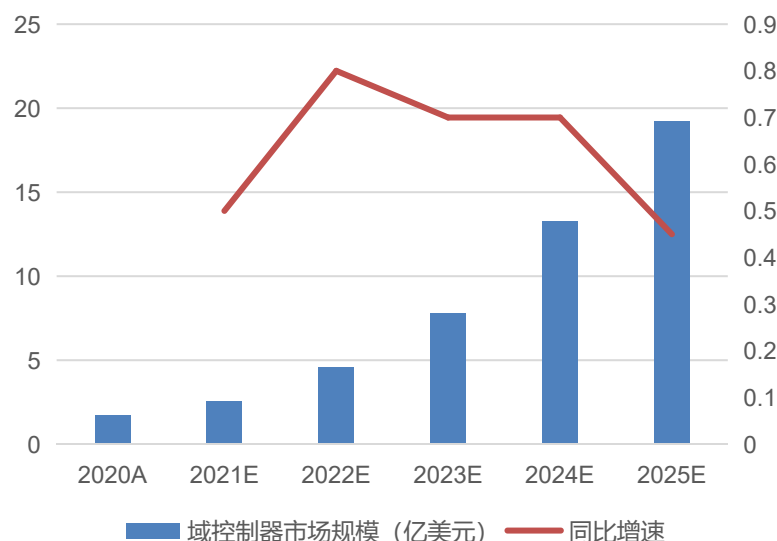


触控屏控制

域控制器：市场处于导入期，逐步取代ECU

- ◆ **域控制器要求软硬件结合能力以及对车规级安全性的把控能力。**硬件层面上，业内有NVIDIA、英飞凌、瑞萨、采埃孚、TI、NXP、Mobileye等多个方案，一般思路都是集成多个CPU、GPU以及新兴的AI芯片来提高算力上限的同时，达到较小的功耗以及获得足够的安全冗余。软件层面上，域控制器需要满足以下要求：感知层面融合算法和交叉验证；支持更灵活高速的通信网络（CAN叠加以太网）；Autosar架构；安全机制要求更高（ASIL-D级别）；支持OTA升级。
- ◆ **生产厂商分为全栈式与开放式两类。**域控制器供应链将形成两大阵营，即以华为、特斯拉为代表的全栈式供应商，以及以英伟达、高通、地平线等为代表的开放式供应体系。其中，全栈式解决方案供应商凭借自身的技术优势实现了从底层硬件到软件架构的全覆盖，具备软硬件一体化的性能优势。而开放式的供应链生态，主要由AI芯片公司、软件供应商、Tier1系统集成商和整车厂组成。其中底层的AI芯片公司是域控制器的基础，软件供应商和算法提供商（部分为整车厂自研）赋能，Tier1进行系统集成，最终由整车厂落地验证。
- ◆ **目前ADAS域控制器尚处于导入期，与传统电子控制系统相比成本上不具备优势。**域控制器的价格相对传统电子控制系统要高不少，且较为复杂的集中式架构的安全性能目前还没得到良好的验证，所以在短时间内域控制器还无法完全取代传统电子控制系统，两者将在汽车上共存较长的一段时间。据前瞻产业研究院报道，2020年全球ADAS域控制器市场规模仅为1.7亿美元，到2025年，按全球ADAS域控制器需求量700万套计算，市场总规模约为19亿美元，达到传统电子控制系统市场体量的十分之一。

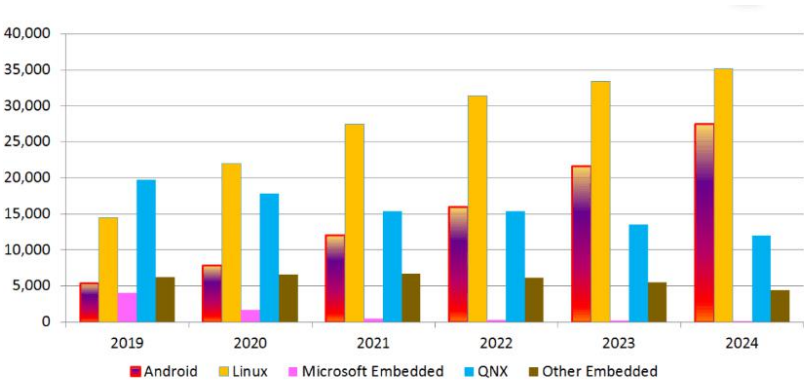
图：域控制器市场预测（亿美元）



厂商	计算平台	算力(TOPS)	功耗 (W)	AI芯片数量	功能安全	量产时间点
特斯拉	HW3.0	72*2	72*2	两片FSD互为冗余	N/A	2019
Mobileye	EPM59	216	240	6*Eye Q5H	ASIL-D	2020Q2
华为	MDC610	160	N/A	1*昇腾610	ASIL-D	2021Q4
地平线	下一代计算平台	384	100	4*征程5	ASIL-D	2022
英伟达	DRIVE AGX Orin	2000	750	2*Orin+2*GPU	ASIL-D	2022
		400	130	2*Orin	ASIL-D	2022
高通	Snapdragon Ride (智能座舱为主)	700	130	2*ADAS Soc+2*AI加速器(ASIC)	ASIL-D	2023
采埃孚	ProAI S500L	500	167	Xilinx芯片	ASIL-D	2024

◆ 基础操作系统市场格局尚未确立，开源（免费）模式不断蚕食市场。与手机操作系统类似，占领市场后利用市场规模从其他方面获取利润：个人电脑上几乎都装有Windows或MAC OS系统，手机上装有Android、IOS系统，作为逐渐电气化集中化的智能汽车，也需要电脑和手机类似的操作系统(Operating System, OS)，用来控制和管理整个智能汽车的硬件和软件资源，给用户和其他软件提供接口和环境。目前车载操作系统市场尚处于发展初期，市场格局尚未确立。就像智能手机发展初期有iOS、Android、Symbian、Blackberry、Windows Mobile、MeeGo、Palm、BADA等诸多操作系统一样，只有经过充分市场竞争并形成寡头垄断的市场格局以后，最终胜出的操作系统产品才能体现出巨大价值。QNX目前的高市占率得益于先发优势，但其行业地位仍面临来自Linux和Android等开源系统的挑战。开源系统虽然不收费，但其可以利用其可能产生的高市占率扩大影响力，在更上层的应用软件上或者是通过品牌影响力获取利润。

图：Informa 对车载操作系统市场的预测（千美元）



基础型操作系统	主要特点/优势	劣势	现状及趋势	合作公司
QNX闭源	商用的类Unix实时操作系统，核心非常小巧，运行速度极快，具有独特的微内核架构，安全和可靠性高，实时性强，开发支持良好	非开源，需要 授权费用 ，只应用在较高端车型上，应用生态较弱	目前市占率超过50% 处于主导地，功能安全性出众，未来发展会受到Linux和Android的冲击	通用、雷克萨斯、路虎、大众、丰田、宝马、现代、福特、日产、奔驰等
Linux开源	开源，方便定制，性能稳定，内核紧凑高效，可以充分发挥硬件的性能	应用生态不完善，技术支持差，开发周期长。由于Linux版本变动很快，因此需要积累大量OS开发经验	随着车联网、ADAS 的介入，Linux 基金会发布了开源 AGL (Automotive Grade Linux) 车载规范，Linux将得到进一步发展	丰田、日产、特斯拉、华为等
Android开源	基于Linux的自由及开放源代码的操作系统 ，由Google公司和开放手机联盟领导及开发。拥有庞大的手机用户群体，已推出车规级操作系统，应用生态强大	目前针对车辆关键数据，例如速度以及控制数据的安全性、稳定性尚未达到车规级要求，目前没有适配。某些系统漏洞等带来了巨大风险和 技术维护成本	市场份额逐渐增加，但需要解决车规级安全问题	谷歌、奥迪、通用、本田、蔚来、小鹏、吉利、比亚迪、英伟达等
WinCE闭源	发展较早，拥有多年开发经验，性能稳定，微软提供系统、应用和服务支持	高度模块化的开发流程 使得开发用户越来越少，应用越来越匮乏	WinCE停止更新，市占率已不足2%，逐渐退出市场	日产、福特、菲亚特等

数据来源：linkedin，东吴证券研究所

- ◆ **软件定义汽车 (Software Defined Vehicles, SDV) 的核心思想是，决定未来汽车的是以AI为核心的软件技术，而不再是汽车的马力大小，是否真皮沙发座椅，机械性能好坏。** NVIDIA创始人黄仁勋进一步提出软件即将定义汽车并创造利润，他表示汽车制造商的业务模式将从根本上发生改变，在未来许多汽车企业很有可能以接近成本价的价格销售汽车，并主要通过软件为用户提供价值。
- ◆ **语音控制：车载环境非常适合使用语音控制。** 2021年发售的很多车载软件都支持语音控制。例如小鹏P7，可以用语音操作导航、空调、影音系统、车窗、车灯等，极大地便利了操作体验。
- ◆ **影音娱乐：作为新一代智能终端，车辆提供的场景可以被打造成新的影音娱乐空间。** 例如小鹏新推出的P5，推出了车内影音系统，使得车辆成为了观影的新空间，拓展了车辆的使用频率。
- ◆ **科技公司与整车厂加速布局，打造新的智能终端，抢占千亿美元规模市场。** 车辆若成为连接万物的智能终端，那么其产生的市场规模将会非常巨大，其带来的影响甚至会高于智能手机对人类的改变。据美通社报道，2020年手机APP应用市场约为1361亿美元，汽车作为新的万物互联终端，其市场规模可能会大于手机应用市场的规模。

图：小鹏打造的车辆影音空间



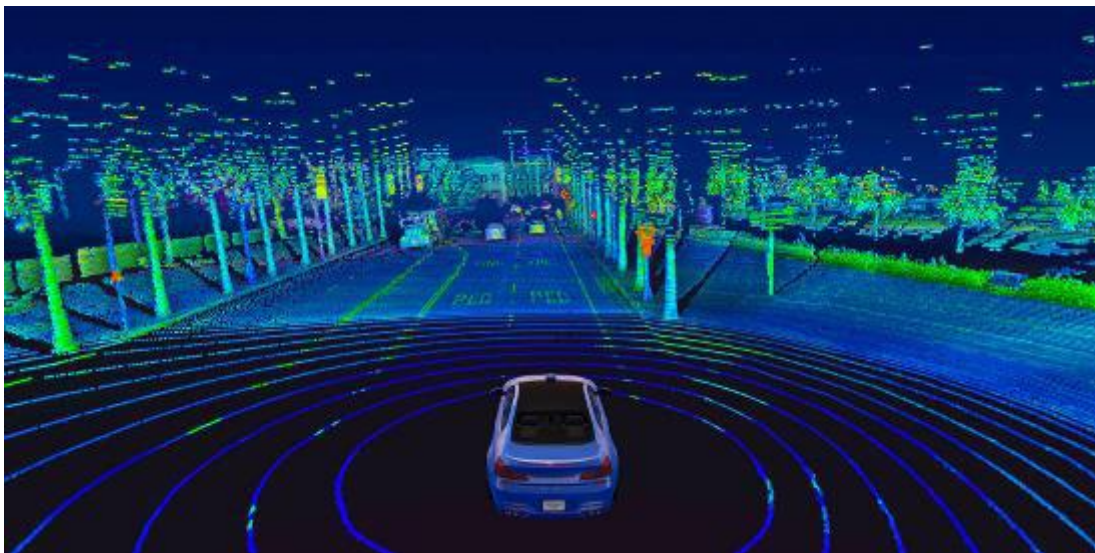
操作系统类型	应用程序	程序框架	车辆控制	系统服务	系统内核	虚拟机	硬件	代表产品
超级APP								百度Carlife、苹果Carplay、华为HiCar、腾讯TAI
ROM								小鹏Xmart OS、百度车载OS、蔚来NIO OS、比亚迪Di link、吉利 GKUI
定制型								大众VW.OS、鸿蒙OS、特斯拉车载操作系统、阿里AliOS、谷歌车载系统
基础型								QNX、Linux、Android

- ◆ **决策软件（算法）作为自动驾驶的“大脑”，是理解以及实施决策的基础，是自动驾驶的核心竞争力：**主要包括视觉算法、雷达算法等传感器数据处理和融合，以及路径规划、行为决策与动作规划等部分。
- ◆ **科技公司、造车新势力与传统整车厂都在积极布局软件的研发能力，科技公司和造车新势力的决策软件（算法）能力领先。**科技公司，例如谷歌Waymo、百度Apollo、英特尔的Mobileye以及国内的AI公司地平线、小马智行等，对算法拥有较强的开发能力。对于车企来说，造车新势力中，特斯拉、蔚来和小鹏拥有较为全面的自主研发算法的能力，并且依靠快速增长的用户积累了很多实战经验，算法能力增长很快；传统车企如今仍以与第三方公司合作为主，但也开始逐步培养自主开发团队，以期获得自主研发能力。
- ◆ **车载视觉算法实现包括交通标志、车辆行人的识别、物体距离（速度）测量：**随着摄像头的硬件技术不断进步，摄像头的图像采集能力与人眼不相上下。人能够凭借眼睛来观察路况，主要是因为人可以根据看到的图像去理解驾驶环境；同样的，对于车载摄像头来说，最重要的任务就是让其能够“看懂”画面的含义。
- ◆ **激光雷达算法是让其作用不仅限于速度测量，而可以进行目标分类、跟踪识别、轨迹预测和SLAM等高阶功能，**助力车辆对周边环境的理解能力。

图：视觉算法需要处理的内容

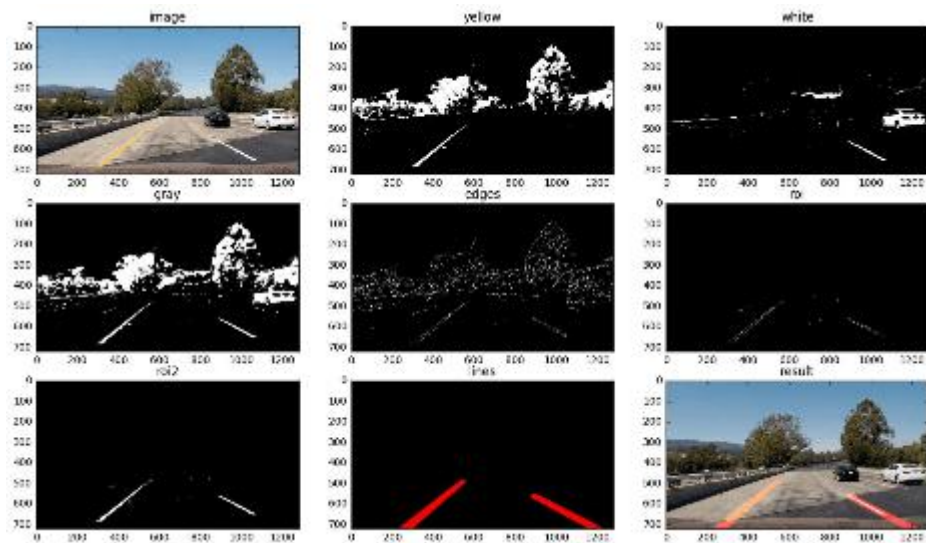


图：激光雷达点云的示意图

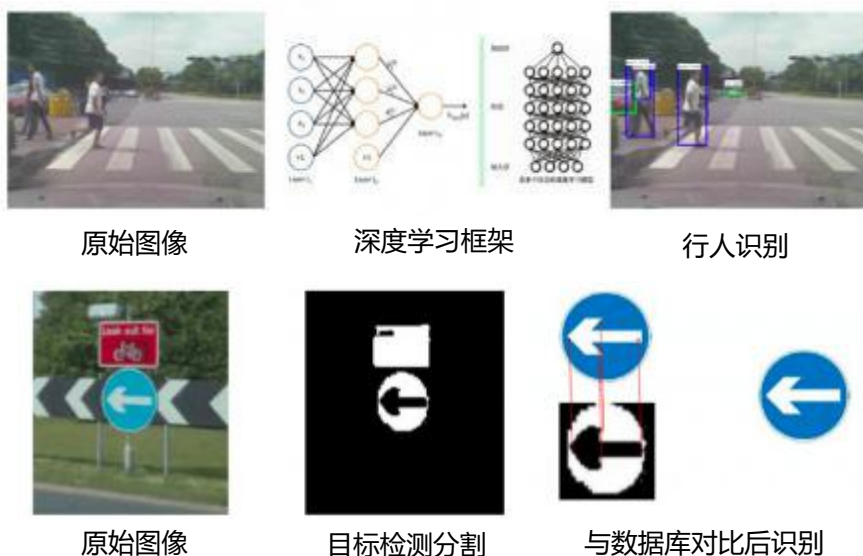


- ◆ 目前，车辆所遇到的各种**交通标志和物体识别**，特别是需要用**颜色**来判断的标志，基本上都是使用摄像头进行识别的。
- ◆ 交通标志实现的步骤主要有：**图像输入—预处理—特征提取—特征分类—匹配—完成识别**，即输入摄像头的的数据，以每帧信息为基础进行检测、分类、分割等计算，最后利用多帧信息进行目标跟踪，输出相关结果：
 - 1) 预处理包括成帧、颜色调整、白平衡、对比度均衡、图像扭正等工作；
 - 2) 特征提取在预处理的基础上提取出图像中的特征点；
 - 3) 目标识别是基于特征数据的输出，目前主要使用机器学习、CNN（Convolutional Neural Network，卷积神经网络）等算法对图像中的物体进行识别，例如道路指引线、红绿灯等。CNN物体识别原理：抓住物体的**主要特征**，例如桌子的特征是四条腿一个面板，通过特征迅速归类，可以实现物体的识别。
- ◆ 道路线识别步骤：颜色选择（一边为**黄色**车道线，一边为**白色**车道线），切图（选取感兴趣的区域），灰度处理，高斯模糊，边缘检测和霍夫变换直线检测等，如果是弯曲车道的话还要进行推测计算。

图：道路线识别步骤



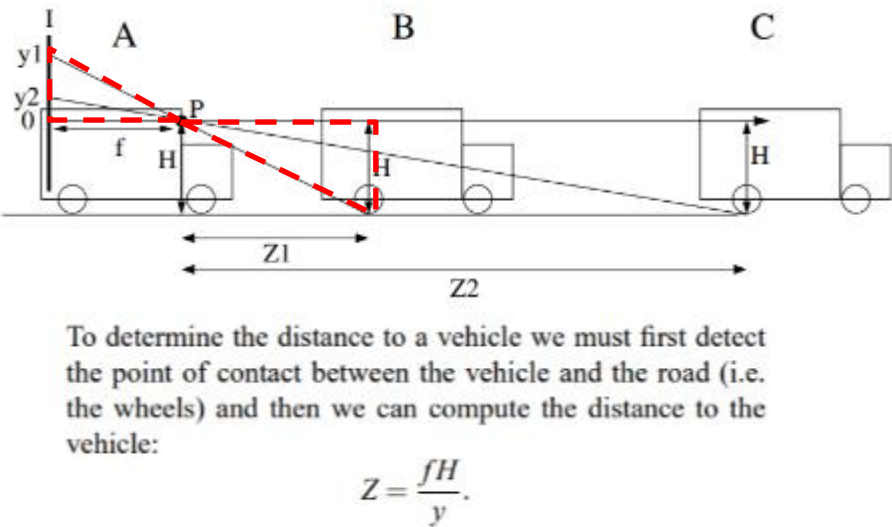
图：交通标志及物体识别原理



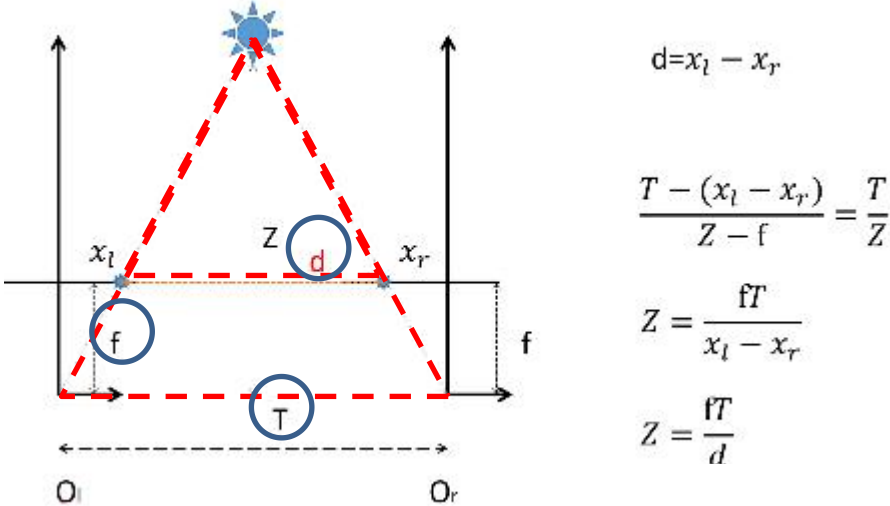
◆ **依靠算法补足测距短板：**算法是决定摄像头和人眼一样，所看到的原始图像都是二维投影信息，没有距离信息。视觉测距的误差目前普遍在3~15%左右，视觉算法的快速发展或可将误差减小，补足摄像头短板，使纯视觉方案成为可能。

	一般原理	优势	劣势	发展趋势
单目测距	根据深度相关的语义线索，例如 物体大小、消失点 等周围环境进行分析后，通过焦距和比例关系计算得到距离。	硬件要求相对较低，使用寿命长	要首先识别物体类型，得到该类物体的大小才可以识别距离。对 图像数据库 要求很高，对 识别算法 要求也很高。例如采用车辆作为参照物，但车辆高度会有一定区别（1.5~2.5m），如果不能精确匹配数据库，利用平均值进行计算，则 误差可能会有20~30% ；但如果数据库非常详细，则误差可以适当缩小	由于普遍的单目算法对数据库要求过高，且对无法识别的物体无法测距，目前发展出了利用 镜头畸变、不同速率光线经过镜头的变化差异等手段 进行“物理型”测距而不是之前的“识别型”测距。这个领域的发展非常迅速，有可能给单目算法带来更强大的能力。
多目测距	根据多个摄像头的不同角度观察某一物体后得到的视差数据进行等比例计算得到距离。	不需要依赖图像数据库	硬件成本高 ，需要实时进行图像匹配， 计算能力要求高 ；目前由于 镜头制造工艺、安装以及后期车辆行驶的振动 等问题导致的 误差较大 （业界普遍为5%），使得 测距结果偏差较大 （目前约为10m量级）	通过硬件工艺的提高来减小测量误差

图：单目摄像头测距的一般方法（Mobileye算法）



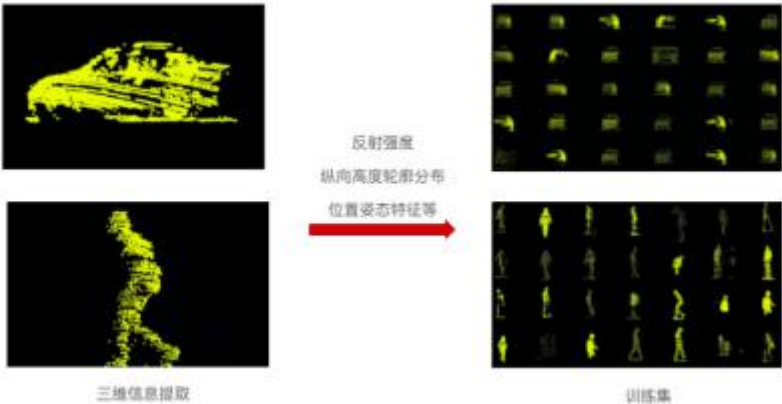
图：多目摄像头的测距原理



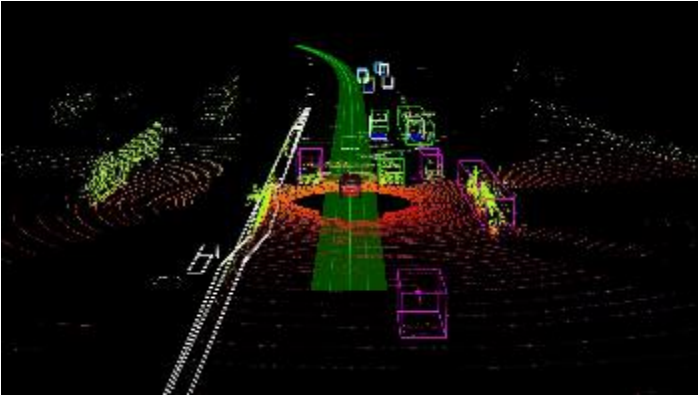
◆ **算法可提高激光雷达的使用场景及功能：**激光雷达的精确和高响应探测物体轮廓的能力，让其作用不仅限于测量障碍物，而可以进行目标分类、跟踪识别、轨迹预测和即时定位SLAM等高阶功能，这些高阶功能是实现高阶自动驾驶的关键，这都需要算法的不断优化与升级。同视觉方案一样，算法的重要性凸显。在算法研发上，Luminar、速腾聚创投入较多，拥有一定领先优势。

算法	目的	算法名称	关键技术	特点
点云分割	依据数据点间距和密度等特性，将点云划分为独立子集的过程。理想情况下，每个子集均将用于一个实际存在的目标物体，且包含物体的几何与位姿特征。精确的点云分割是后续目标跟踪与识别的重要前提。	非模型投影法	地面投影法、虚拟像平面投影法	简单高效，有利于进行多传感器融合；不适用于复杂形体分割
		聚类法	K-means聚类、DBSCAN聚类等	分割准确性高，较复杂
目标跟踪与识别	从点云数据中算出探测目标的尺寸、速度、方向和类别等信息，是智能驾驶汽车进行自主路径规划与安全避障的关键技术。目标跟踪指目标检测与跟踪，即检测具有特定特征的目标并对其跟踪；目标识别指目标分类与识别，即将具有相似特征点云归为一类并根据此特征识别其具体类别	检测与跟踪	物体级检测与跟踪；栅格单元级检测与跟踪	实时性好，不适用于复杂环境跟踪精度高，计算效率低
		分类与识别	基于全局特征的目标分类与识别；基于局部特征的目标分类与识别	识别速度快，受环境遮挡影响大，噪声不敏感，抗密度干扰性差
即时定位与地图构建/SLAM	搭载特定传感器，在未知环境中运动时，同时完成对环境的建模和对自身运动的估计，与高精地图配合可以双重确定环境信息。视觉传感器受光照变化影响大、不能准确快速获取探测目标的深度信息，而相比之下激光雷达可在日常情况下精确高效感知环境的三维信息、更为稳妥可靠。	基于滤波器的SLAM	扩展卡尔曼滤波器、Fast SLAM等	较准确，不适用于大场景
		基于图优化的SLAM	位姿图优化等	全局优化，对初始值要求高

图：激光雷达目标识别与分类能力



图：激光雷达目标跟踪与SLAM



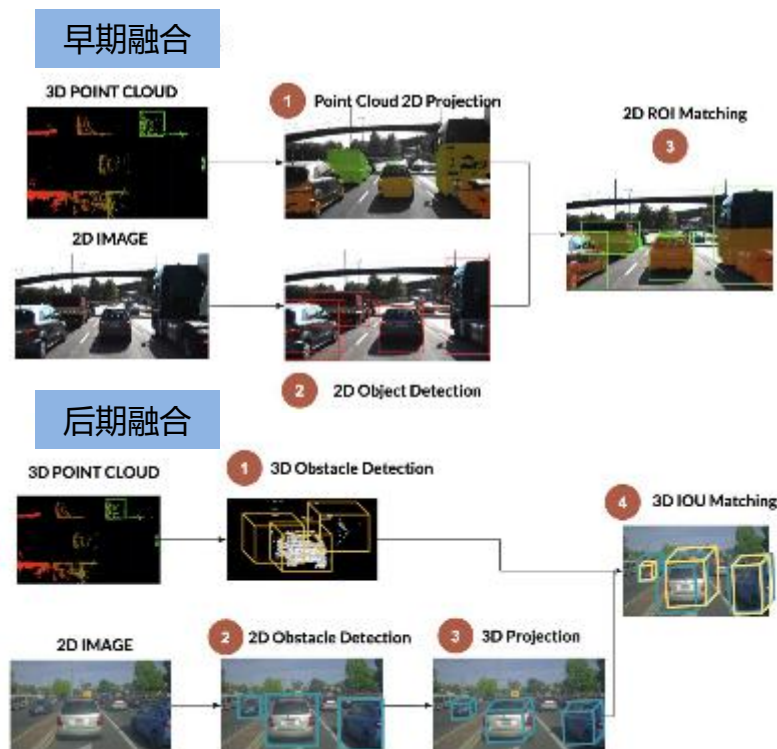
	优势	劣势
摄像头	物体 分类 ， 颜色条纹识别 ， 标志识别	利用算法 测距精度 只能达到米级，对环境光线有要求
激光雷达	测距测速精度高 ，响应快可达厘米级，可以夜间工作	无法识别条纹和颜色信息，采样点相比摄像头稀疏
毫米波雷达	恶劣天气下仍可工作 ，成本较低	分辨率较低 ，目前主要作为辅助决策工具

◆ 摄像头和激光雷达融合优势：测距测速能力+颜色标志识别

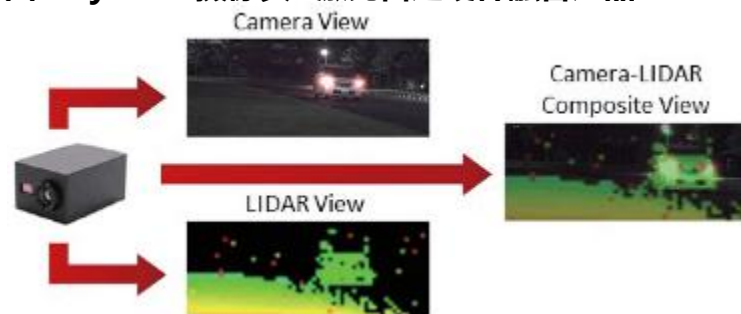
。摄像头和激光雷达数据融合关键是需要将摄像头和激光雷达进行联合标定，获取两者**坐标系的空间转换关系**，把激光雷达投射到图像的坐标系中，建立图像的像素点和激光雷达投影后的点之间的对应，然后通过优化方程来解决匹配问题：

1. 早期融合是**对原始数据的融合**。例如，我们可以将激光雷达3D点云投影到2D图像上。然后我们检查点云是否属于二维包围盒，提高数据的可信度。
 2. 后期融合是在独立检测之后**对结果进行融合**。例如，我们可以将摄像头中的2D边框投影为3D边框，然后将这些边框与激光雷达探测过程中获得的边框进行融合。
- ◆ 目前数据融合仍然有视差和坐标投影带来的误差，有一种做法是从**硬件上将摄像头与激光雷达**做在一起。目前有京瓷 Kyocera、Waymo 等公司有相应产品推出。

图：摄像头+激光雷达数据融合方案



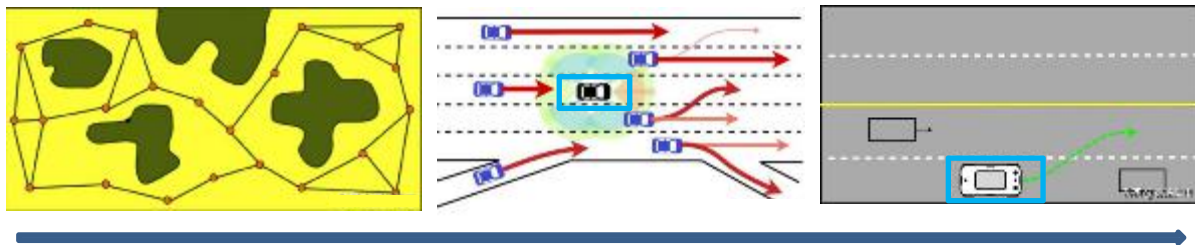
图：Kyocera摄像头+激光雷达硬件融合产品



- ◆ 决策规划的目标是在已知传感器的结果情况下快速且安全的实现路径规划、数据分析以及决策规划。行为决策模块较为复杂，因为需要对其他交通参与者进行行为推测，这对自动驾驶能力要求较高，需要使用真实数据进行不断训练。

决策规划模块	主要作用	实现方法及发展方向
路径规划	在收到导航目标的信息后，结合高精度地图信息和本车的当前位姿信息，生成一条最优的全局路径，作为后续局部路径规划的参考和引导	通常的算法包括Dijkstra、A-Star算法，以及在这两种算法基础上的多种改进，来实现路径最短、时间最快或必须经过指定点等条件。此模块与目前的普通导航类似，实现难度不大。
行为决策	在接收到全局路径后，根据从感知模块得到的环境信息（其他车辆、行人等障碍物信息，道路上交通标志、红绿灯等交通规则信息），以及本车当前的行驶路径等状态信息，作出具体的行为决策（如变道超车、跟车行驶、让行、停车、进出站等）	主要算法包括有限状态机、决策树、基于规则的推理模型等。目前这个模块是决策规划中最难处理的一部分，主要有以下难点： 1. 实际的交通场景千变万化， 很难做到完全普适性 ； 2. 其他交通参与者的行为 存在不确定性 ，不仅需要对其行为做预测，还需要考虑本车与其他交通参与者的博弈； 3. 目前感知模块提供的信息 做不到完全准确和全覆盖
动作规划	根据具体的行为决策，生成一条满足各种约束条件（如安全性、平顺性、车辆本身的动力学约束等）的轨迹，该轨迹作为控制模块的输入决定车辆的行驶路径	常用的有基于搜索和基于采样的规划算法，以及直接优化的方法，且考虑了控制执行部分的行为延迟，实现车辆的自动驾驶。此模块整体实现难度不大。

图：从路径规划、行为决策到动作规划



图：对不同交通参与者标注不同的危险级别



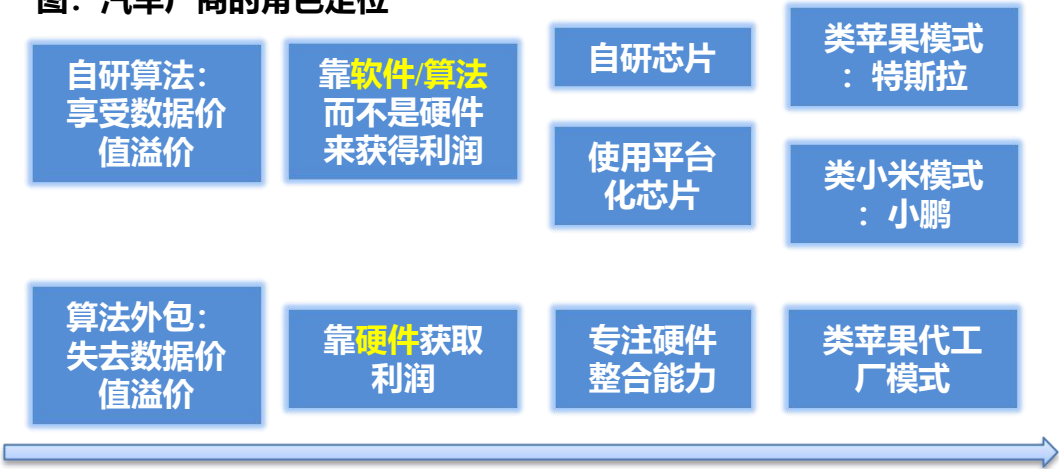
◆ **数据是算法迭代升级的根本，数据价值或成为自动驾驶时代最有价值的一笔财富：**算法需要经过不断的真实路测后进行优化，才能够快速迭代升级，拥有更高等级的能力。对于特斯拉等车企来说，其所谓的“影子模式”可以通过庞大的用户群体产生的数据进行不断迭代，这比Waymo等公司需要高成本维持测试车队来说，拥有更大的优势。麦肯锡预测到2030年，由车辆数据产生的价值至少有7500亿美元；如果是第三方企业来主导算法的研发，那么车企很难享受到数据产生的溢价。造车新势力的高估值有很大一部分贡献来源于其拥有的数据和算法形成的闭环迭代能力。

自研算法	停止使用Mobileye时间	解决方案	合作开发算法的车企	合作方	解决方案
特斯拉	2016年EyeQ3	芯片和算法均自研	上汽	Momenta	高端智能纯电品牌智己汽车，融合了Momenta的技术方案
小鹏	2019年EyeQ4	转向英伟达Xavier，算法自研	大众/上汽通用五菱	大疆	D80与D130智能驾驶方案可以实现L2级别自动驾驶，D80+与D130+方案则可以实现L3级别自动驾驶
蔚来	2022年EyeQ4	转向英伟达Orin，算法自研	长城/长安	地平线	地平线基于汽车需求，开放由“芯片+算法+工具链”构成的智能汽车基础技术平台，包括智能驾驶AI处理器、自动驾驶计算平台、视觉感知算法、多模态交互、地图众包和定位等
理想	2021年EyeQ4	转向英伟达Orin与地平线征程3，算法自研	吉利	Mobileye	基于Mobileye的EyeQ5高算力AI芯片打造了Mobileye SuperVision系统，打造L2+级自动驾驶方案
			威马/广汽埃安/北汽新能源/福特	百度	搭载百度ApolloLite纯视觉方案的车型，不依赖雷达可实现AVP自主泊车和ANP高速和城市道路的领航辅助驾驶功能

图：数据对算法以及车辆差异化竞争力的推动



图：汽车厂商的角色定位



- ◆ **决策软件的能力对于车辆的自动驾驶体验起着决定性的作用，对车辆销量推动效果明显。**截止到2021年7月量产的车型中，传感器、芯片算力、高精地图等模块均没有太大差异，能体现出差异化竞争力的主要是在决策软件方面。特斯拉Model 3品牌知名度高，产品力很强，其凭借着特斯拉全栈自研能力，在不使用高精地图的情况下，实现了高速的自动驾驶；小鹏P7在品牌知名度不如特斯拉的情况下，凭借对中国市场的本地化优势，自研算法并利用本地化数据快速迭代，实现了更优的高速自动驾驶体验，这使得小鹏P7因其智能化能力取得了仅次于特斯拉的销量；而蔚来的车型目前在自动驾驶的投入略次于其余两家，目前量产的车型中自动驾驶能力稍弱，这也是其销量走低的原因之一。

表：已量产的决策软件在高速自动驾驶的能力对比

	特斯拉Model 3	小鹏P7	蔚来EC6
以下为汽车评测团队42show于2021年2月份从上海到杭州的测试结果			
雨雾天/隧道	不可用	可用	可用
进入匝道平顺降速	有时会高速入弯	平顺降速	平顺降速
驶出匝道平稳加速	无加速	平稳加速	平稳加速
Y行路口通过稳定性	宽车道有画龙情况	平稳通过	高退出概率
可以进入正确匝道	出错概率30%	路测无错误	出错概率10%
并入最右侧车道的策略	1km并入	1.5km并入	2.2km并入
并入最左侧车道的策略	第一时间	第一时间	无策略
超越慢速车速度差	10km/h；只有两车道时仍频繁变道	二车道时超左侧车较为保守；大于二车道则为5~10km/h	30km/h
变道反应速度	5s	5s	14~20s
是否有预判能力	有	有	无策略
最短变道距离	短	短	较远
变道时执行确认	需要阻力传感器确认	不需要	不需要
总体评价	策略激进	策略适中，最像人类驾驶	策略过于保守

图：中国2021H1中高端电动车销量排名

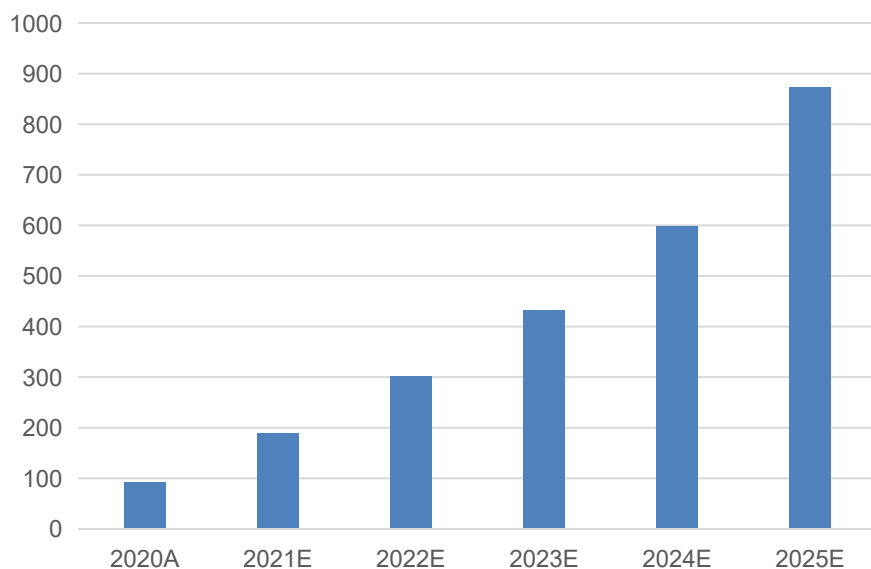


五年内从43亿美元增长到324亿美元，增速最快

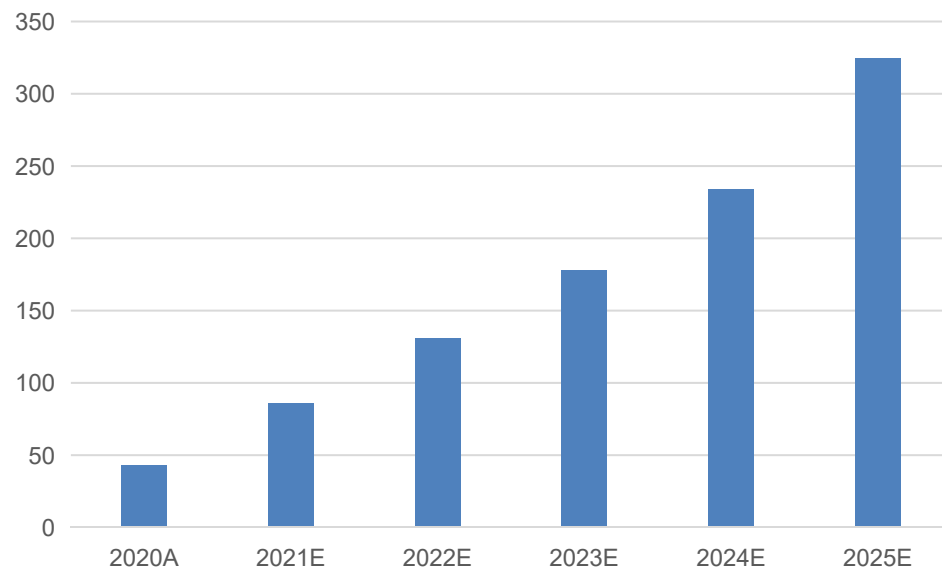
- ◆ **决策软件的需求量快速上涨，价格随着规模效应保持平稳下降。**由于这个市场是一个全新的市场，相关统计数据较少，我们根据造车新势力的软件售价为基准来进行市场整体的预测。2020年特斯拉FSD中国售价6.4万元，蔚来NIO售价3.9万元，小鹏Xpilot售价2万元。我们预计，L2的软件渗透率会从目前的10%逐渐提高到35%，决策软件的数量将从2020年的92.8万套提升到2025年的872万套，而随着决策软件的规模不断扩张，其单价也会略有下降，其价格从2020年的平均4615美元降低到2025年的3721美元。整体来看，AI芯片的市场规模将从2020年的43亿美元增长到2025年的324亿美元，CAGR为66%，是自动驾驶中增长最快的领域。

	2020A	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E
L2决策软件渗透率	10%	15%	20%	25%	30%	35%
L3决策软件渗透率	100%	100%	100%	100%	100%	100%
决策软件数量/万套	92.8	189	302.4	432.5	597.9	872
决策软件平均单价（美元）	4615	4569	4340	4123	3917	3721

图：决策软件数量（万套）



图：决策软件市场规模预测（亿美元）





■ 自动驾驶历史及定义

■ 环境感知系统

■ 决策规划系统

■ **控制执行系统**

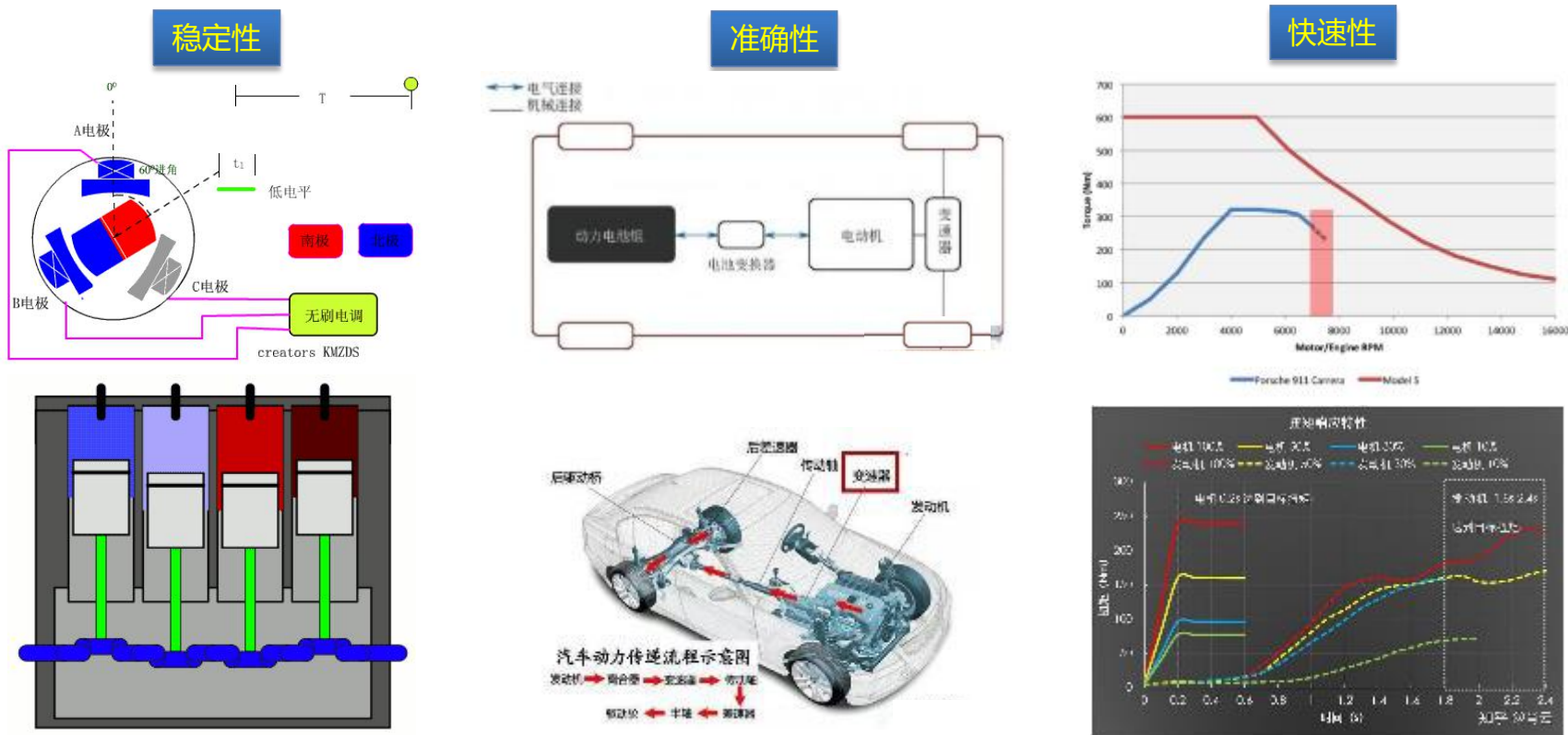
■ 解决方案供应商

■ 整车厂

■ 风险提示

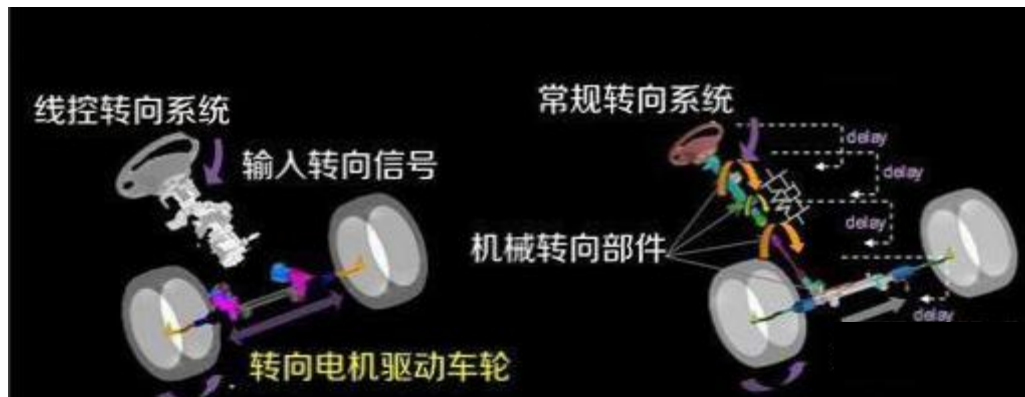
- ◆ 汽车的电气化不仅包括从化石燃料到电池的动力升级，还包括从机械控制到电子控制的控制系统升级。
- ◆ 电机在稳定性、快速性、准确性等控制方面都强于内燃机。对于的控制执行来说，电机要远远优于内燃机。电机的扭矩脉动小，稳定性更好；电机整个传动系统更简单，其准确性更高；电机的扭矩响应更快，其快速性也越好。
- ◆ 电动化是汽车升级的上半场，智能化将会是汽车升级的下半场。电动汽车的普及加速了汽车电气化的升级，而电气化也在加速汽车智能化的发展，两者相辅相成，共同快速发展。

图：电动汽车电机性能与内燃机对比



- ◆ **自动驾驶控制的核心技术就是车辆的纵向控制和横向控制。纵向控制车辆的油门和制动，而横向控制的是转向（方向盘角度）。**将机械的控制信号转变为电信号，延迟低且操控更精确，但现有的电气化部件通常寿命短、安全系数低且价格很高，综合成本不具备优势，市场规模较小。随着自动驾驶的不断升级，可量化的电信号天生就适合计算机控制，因此电气化又开始受到汽车厂商的关注，进入到了快速发展的时代。
- ◆ **目前汽车的电气化升级路线主要是实现线控执行，包括线控油门、线控转向和线控制动三个方面：**
 - ◆ **线控油门：技术比较成熟，普及率较高。**其原理是通过发送电信号来控制燃油车的节气门的开合程度或者电动车的电动机。目前车辆的定速巡航/自适应巡航功能均是由线控油门实现的。
 - ◆ **线控转向：目前由于技术以及成本因素，尚未完全实现纯线控。**从最初的纯机械转向系统，历经机械式液压助力转向 (Hydraulic Power Steering, HPS)、电液助力转向(Electro Hydraulic Power Steering, EHPS)，发展到目前已被广泛应用的电动助力转向(Electric Power Steering, EPS)系统，从机械到电子的升级使得汽车的转向手感变得轻便和可靠。目前EPS 与纯线控转向系统SBW (Steering-By-Wire System) 相比，差距只在**方向盘与车轮之间的连接依然采用机械连接**，而SBW则是使用传感器获得转向角的数据后通过**ECU等控制器直接控制车轮方向**，这样不仅使转向信号传递时间更迅速，极大缩减底盘空间的同时，还可以降低驾驶者的疲劳程度（方向盘和车轮是不连接的，手在方向盘上就感受不到路面的震动）。线控转向发展至今，具备量产方案的厂商仅有英菲尼迪。2014 年，搭载线控转向的英菲尼迪 Q50 亮相，其线控方案来自Kayaba。但在 2016 年 7 月，日产因线控转向存在安全隐患而宣布召回英菲尼迪 Q50。从全球来看，博世、采埃孚、捷太格特、NSK、耐世特等国际巨头也都有成熟的线控转向产品和技术，但仍然没有完全解决安全冗余的问题。

图：线控转向与机械转向的区别

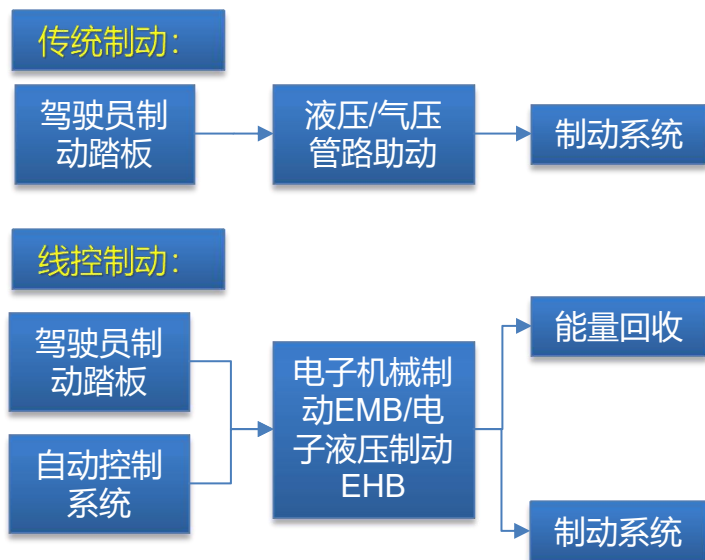


表：线控转向相关厂商进展

供应商	线控转向产品进展
Kayaba	已量产配套英菲尼迪
博世	产品有样车展示，预计2024年量产
采埃孚	未量产，有产品介绍
JTEKT	2019年发布样机，未量产
耐世特	随需转向和静默方向盘样品展示，未量产
万都	预计2021年为Canoo公司配备
华为	有研发规划

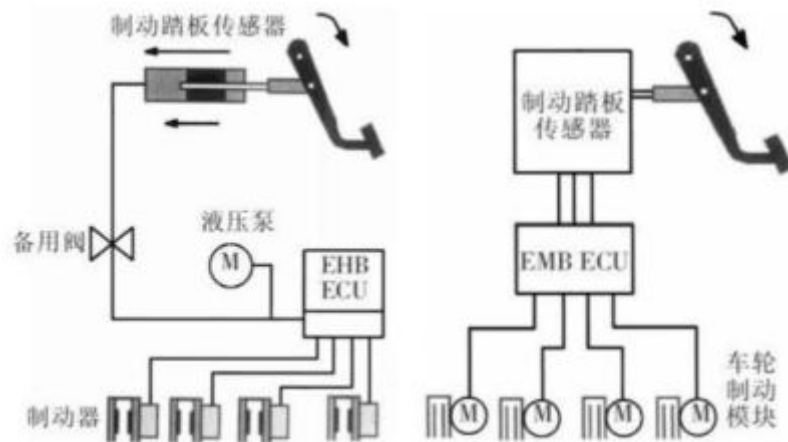
线控制动：可获得更快响应，提高自动驾驶能力

- ◆ **线控制动：业界目前有电子液压制动EHB (electronic hydraulic brake) 和电子机械制动EMB (electronic mechanical brake) 两种线控制动方案，来取代较为传统的制动模式，但成本较高。**传统的制动系统反应时间大约为400 ms，EHB/EMB线控制动大约为120/90 ms，这样刹车的安全距离会大大缩短，且电控信号可以更方便被自动驾驶系统所控制，但目前线控制动价格昂贵且寿命较短，维护成本高，普及率较低，目前主要应用领域是F1赛车。
- ◆ **整个汽车控制执行领域由于安全性要求高，验证周期长，目前基本上都被传统Tier1博世、大陆等垄断。**随着汽车自动控制的需求以及大规模应用的成本降低，线控制动将会全面替代之前的传统制动方案，但目前仍处于起步阶段，市场规模很小。国内初创参与者主要有伯特利、拿森电子等，但整体规模小、技术相对落后。

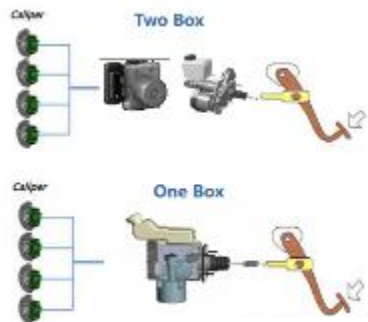


制动器件	优点	缺点
传统制动	技术成熟可靠，成本低	结构和管路布置越发复杂，响应较慢，液压（空气）回路泄露的隐患也加大，同时装配和维修的难度也随之提高。
EHB	结构较简单，典型响应可达120ms； 适配电动车 ，因为电动车没有真空泵；可利用算法弥补刹车部件的磨损和变形；	制动液仍然存在，有 泄露风险 ；液压系统对于部件轻量化没有优势
EMB	结构更加简单，典型响应可达90ms，没有制动液，不担心泄露，便于集成其他电控系统	取消了机械硬连接，对于电机的失效应急处理方案不成熟；电机制动所需的永磁体的居里温度低，容易在较高的刹车温度下失去磁性，目前商业化难度较大

图：EHB与EMB的结构比较



线控制动：欧日厂商领先，国产替代空间很大

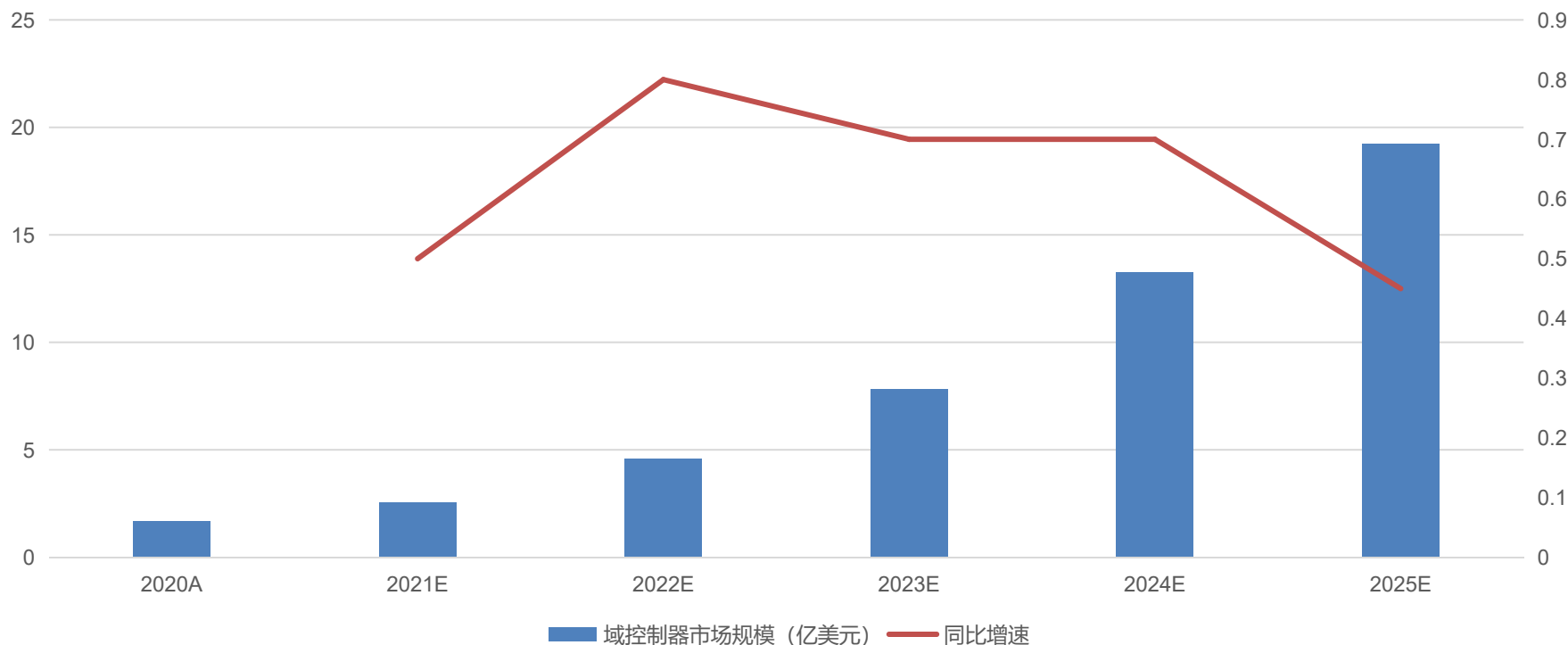


	One-Box	Two-Box
定义	整体式： EHB集成了 ABS/ESP	分立式： EHB与 防抱死防车身倾斜系统ABS/ESP 独立
结构	1个ECU 1个制动单元（ECU中集成了 ESP等功能），结构较复杂	2个ECU 2个制动单元（需要协调EHB与ESP 的控制器），结构较简单
安全性	需要改造踏板（踏板解耦）：由于踏板仅用于输入信号，不作用于主缸，而由传感器感受踏板力度带动电机推动活塞，踏板感受需要软件调教，可能有安全隐患	不需要改造踏板（踏板耦合）：踏板感更加真实与自然，驾驶员能直观的感受制动系统的变化，不容易发生操作失误，并可由ABS回馈力感受刹车片的衰退等，能减少安全隐患
能量回收	回馈制动减速度最高达0.3g-0.5g	回馈制动减速度最高达0.3g
灵活性	灵活性较差	高配版可以搭配ESP，低配版可以只用EHB

厂商	产品名称	主要特点	技术方案	量产时间	配套情况
博世	iBooster	1. iBooster能在120毫秒内获得所需的制动压力； 2. 与ESP协调工作时，可实现几乎100%的制动能量回收； 3. 在全力减速的情况下，iBooster与ESP（刹车电子稳定系统）可以互为制动冗余； 4. 虽然技术和成本都不如大陆的MKC1，但胜在量产工艺容易掌握。	Two-box	2013年	保时捷、上汽新能源、通用、特斯拉、荣威新能源、理想 ONE、蔚来、小鹏等
	IPB	1. One Box方案，体积大大缩小，相比iBooster+ESP成本也降低了； 2. 可搭配RBU（Redundant Brake Unit）作为制动冗余，安全性能提升	One-box	2020年	比亚迪汉、凯迪拉克XT4
大陆	MKC1	1. 能在150毫秒内获得所需的制动压力； 2. 采用紧凑型装置，实现系统减重30%；可实现100%的制动能量回收功能； 3. 与MK 100 ESC 的衍生产品MK 100 HBE(液压制动系统，经常进行自我检测，以时刻保持100%的可用性)合二为一，形成One Box方案 4. 技术水平较高，且成本低，制动配置更加灵活，可靠性更高，但量产工艺困难	One-box	2016年	阿尔法罗密欧、奥迪etron、宝马X5、宝马X7
舍弗勒	SPACE DRIVE	1. 采用三重冗余，确保控制系统的高度可用性及安全性	One-box	2018年	大众、保时捷、奔驰
日立	E-ACT	1. E-ACT制动大约为 120-150 毫秒； 2. 可以回收几乎 99%的刹车摩擦能量； 3. 电子驻车制动系统（EPB）作为冗余； 4. 一开始就采用滚珠丝杠做力矩变换，将电机旋转力矩转换为水平移动力矩，直到2016年博世第二代iBooster才达到此技术水平。	Two-box	2009年	本田、丰田、日产等日系品牌
布雷博	BBW	1. 制动响应时间100毫秒； 2. 将自动适应车辆的负载条件，从而保持制动空间恒定； 3. 市场布雷博的线控制动起初主要用于赛车上，但早期的产品存在质量缺陷，后续将增加冗余功能，满足商业化的需求	EMB/One-box	2018	/
伯特利	WCBS	1. 拥有EPB备份制动和机械备份	One-box	2020年	奇瑞、吉利
拿森电子	N-booster	1. 可以把制动消耗的80%能量全部回收，车辆实际续航可增加10%以上	Two-box	2018年	北汽新能源

- ◆ 整个汽车控制执行领域由于安全性要求高，验证周期长，目前基本上都被传统Tier1博世、大陆、日立等垄断，国产替代空间很大。随着汽车自动控制的需求以及大规模应用的成本降低，线控制动将会全面替代之前的传统制动方案，但目前仍处于起步阶段，市场规模很小。国内初创参与者主要有伯特利、拿森电子等，但整体规模小、技术相对落后。
- ◆ 随着线控制动逐步取代传统制动的趋势，线控制动销量将会大幅增长；随着规模化效应，其价格会逐渐降低。据Marklines的报告，2020年全球EHB市场规模约为7.7亿美元，单车价值约为615美元。我们预计，到2025年，全球EHB市场规模可达22.4亿美元，单车价值为500美元。

图：全球EHB市场规模（亿美元）





■ 自动驾驶历史及定义

■ 环境感知系统

■ 决策规划系统

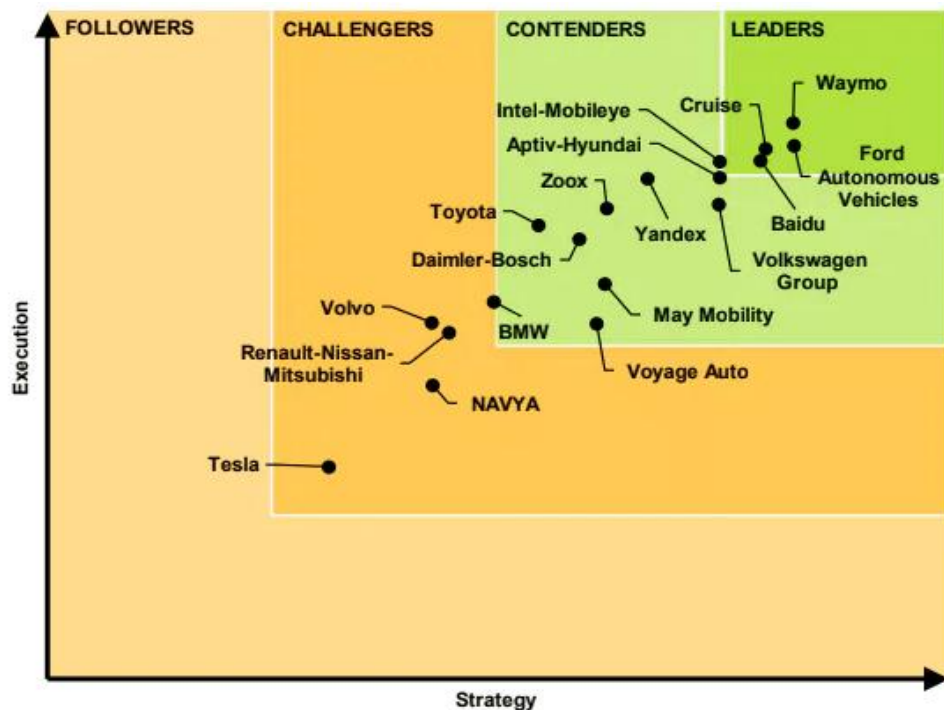
■ 控制执行系统

■ **解决方案供应商**

■ 整车厂

■ 风险提示

- ◆ **如何实现商业化：**被车厂收购或进行战略合作？自己下场造车？
- ◆ **车辆产生的数据在“软件定义汽车”中所占的地位越来越重要：**不拥有车辆的第三方，如何与车厂进行数据归属分配？
- ◆ **科技公司的角色定位：**如何与车厂进行算法共享？如何解决车厂的避免沦为代工厂的自研努力？



◆ **自动驾驶技术的标杆企业，路测数据及专利数量常年保持领先：**Waymo刚开始是Google于2009年1月开启的一项自动驾驶汽车计划，其主要负责人为参与过DARPA挑战赛的Sebastian Thrun（斯坦福大学人工智能实验室SAIL负责人）和Anthony Levandowski（自动驾驶公司510 Systems的创立者）。2016年12月由Google独立出来，成为Alphabet公司旗下的子公司，专注于研发最高级别L4~L5的自动驾驶技术。加州车管所公布了2020年自动驾驶的路测数据，Waymo在平均接管两次间可行驶里程这个指标中排名第一，在测试里程中排名第二。Waymo的有效专利数也是常年领先，近三年增速降低，但仍排在前三位。

◆ 目前的商业化模式有：**自动驾驶出租（凤凰城的Robotaxi）、卡车货运、物流配送、软件授权服务**四大业务场景。

表：2020年加州自动驾驶路测数据

排名	制造商	里程 (km)	接管次数	接管两次间平均可行驶里程 (km)	排名	制造商	里程 (km)	接管次数	接管两次间平均可行驶里程 (km)
1	Waymo	1,006,142	21	47,911.50	16	Nissan	631	4	157.80
2	Cruise	1,232,079	27	45,632.55	17	BMW	195	3	65.07
3	AutoX	65,174	2	32,587.20	18	Aimotive	4,779	113	42.29
4	Pony.AI	360,794	21	17,180.65	19	Mercedes	47,974	1,167	41.11
5	Argo.AI	33,659	2	16,829.74	20	NVIDIA	4,853	125	38.82
6	WeRide	20,822	2	10,411.20	21	Qualcomm	2,763	90	30.70
7	DiDi	16,642	2	8,321.19	22	SF Motors	1,400	61	22.94
8	Nuro	88,592	11	8,053.79	23	Atlas R.	76	10	7.58
9	Deep route.AI	16,029	3	5,342.93	24	Easy Mile	678	128	5.30
10	Zoox	164,034	63	2,603.71	25	Toyota	4,600	1,215	3.79
11	QCraft	12,131	16	758.20	26	Telenav	6	2	3.20
12	Aurora	19,532	37	527.90	27	Udelv	106	49	2.16
13	Lyft	52,370	123	425.77	28	Ridecell	236	189	1.25
14	Gatik.AI	3,763	11	342.11	29	Valeo	78	99	0.79
15	Apple	30,088	130	231.45		总计	3,128,333	3,695	846.64

图：截止2021年自动驾驶竞争力排行

排名	企业名	专利竞争力/分数	专利/件数
1(4)	福特（美国）	6054	1195
2(2)	丰田（日本）	5349	1705
3(1)	Waymo（美国）	4895	582
4(3)	通用汽车（美国）	3193	678
5(16)	State Farm（美国）	1958	231
6(6)	Bosch博世（德国）	1952	512
7(8)	Denso电装（日本）	1872	509
8(9)	本田（日本）	1791	1006
9(5)	日产（日本）	1704	351
10(19)	Mobileye（以色列）	1587	155

(注)日经根据Patent Result的调查制表。排名截至2021年1月底。括弧内为截至2018年7月底数据。

- ◆ Waymo的自动驾驶研发实力公认为全球最强，其软件算法和雷达系统、摄像头等硬件均实现自研。与很多自动驾驶公司不同的是，Waymo不仅在软件算法领域投入很大，其在实现无人驾驶的关键传感器激光雷达等硬件的研发实力也非常强大，是软硬件平衡度很好的技术公司

图：各代Waymo的测试车辆



时间	车型	传感器配置
2009~2012	丰田普锐斯(混动)	整套成本15万美元，车顶1个机械式Velodyne64线激光雷达(成本7.5万美元)、车身周围4个博世/大陆采购的毫米波雷达和1个前视摄像头、可以跟踪车辆运动轨迹的车轮编码器、GPS和IMU定位设备
2012~2015	雷克萨斯RX450h	
2015~2016	雷克萨斯RX450h	车顶1个机械式自研激光雷达加自研的摄像头、4个MEMS短距激光雷达(前后车牌处各1个，两侧后视镜各1个)、车辆尾灯及后视镜处4个自研的毫米波雷达、1个超声波传感器、GPS和IMU定位设备
2014~2015	自研的无方向盘无制动踏板的萤火虫车型	车顶1个机械式Velodyne64线激光雷达、4个MEMS短距激光雷达(前后车牌处各1个，两侧后视镜各1个)、车身周围4个毫米波雷达和1个前视摄像头、1个超声波传感器、GPS和IMU定位设备、高度计、陀螺仪、测速仪
2015~2016	自研的无方向盘无制动踏板的萤火虫车型	车顶1个机械式自研激光雷达+环视摄像头组合、4个MEMS短距激光雷达(前后车牌处各1个，两侧后视镜各1个)、车身周围4个毫米波雷达、1个超声波传感器、GPS和IMU定位设备、高度计、陀螺仪、测速仪
2016~2019	克莱斯勒大捷龙(MPV)	4个自研的安装于车辆正前正后及两侧的近程激光雷达、2个360度环视激光雷达(一个中程一个远程)+8个立体摄像头及远程前向激光雷达；4个安装在车顶位置的毫米波雷达，与车身成45度夹角；左右两侧的2个毫米波雷达、GPS和IMU定位设备
2020~至今	捷豹I-Pace纯电动	4个自研的安装于车辆正前正后及两侧的近程激光雷达、1个360度环视可覆盖中远程的激光雷达+8个立体摄像头及远程前向激光雷达；4个安装在车顶位置的毫米波雷达，与车身成45度夹角；左右两侧的2个毫米波雷达、GPS和IMU定位设备

- 2009** • 正式开始谷歌无人驾驶计划，推出了谷歌的第一代无人车；年底，第一代无人驾驶汽车**完成10条160公里的路线**
- 2011** • 收购早期UC Berkeley孵化的自动驾驶公司510 Systems
- 2012** • 5月，加州机动车驾驶管理处为谷歌自动驾驶汽车颁发了一张合法车牌；累计超**30万英里**的无人驾驶里程
- 2013** • 制造出第一辆自动驾驶汽车“萤火虫”
- 2015** • 5月，“萤火虫”（**没有方向盘和刹车**）在加州山景城上路；9月，谷歌聘任John Krafcik为谷歌无人驾驶负责人
- 2016** • 谷歌自动驾驶项目的核心成员陆续离职；12月，Waymo成为谷歌母公司旗下子公司
- 2017** • 4月，Waymo在凤凰城开始有条件的试运营Robotaxi项目，首批向400个特定群体开放，并配备安全员
- 2018** • 3月，Waymo在亚特兰大进行了首次**货运路测**；Waymo宣布和捷豹路虎成为战略合作伙伴
- 2019** • 1月，Waymo宣布与**麦格纳**合作建立世界上第一家100%专为L4自动驾驶汽车**量产的工厂**；3月，Waymo宣布了开始激光雷达业务，可以将自制的**激光雷达**售卖给Waymo的非直接竞争公司；4月，Waymo宣布将与美国车桥制造公司AAM**合作建立工厂**；5月，Waymo与**打车平台Lyft**达成合作；6月，Waymo宣布与**雷诺和日产**达成独家合作关系；8月，首次**共享部分自动驾驶数据**
- 2020** • 1月，Waymo宣布与UPS建立新的战略合作伙伴关系；2月，Waymo更新**开源的自动驾驶核心数据**；3月，Waymo筹集了首轮22.5亿美元的外部投资；6月，宣布与Stellantis（菲亚特克莱斯勒集团和法国PSA合并而成的新公司）扩大合作伙伴关系，共同研发L4级别的Fiat Ducato面包车；10月，Waymo真正意义上的无驾驶员的Robotaxi正式在凤凰城上线，但期间遇到过类似雪糕筒修路事件导致车辆无法处理的情况；戴姆勒卡车宣布与Waymo共同研发L4级别的卡车
- 2021** • 4月，John Krafcik宣布**辞职**

- ◆ **Waymo研发实力强，软件人员占比36%，硬件人员占比27%。**2019年Waymo有950名内部员工，其中软件工程：340人（基础设施：135人，视觉/感知：85人，运动规划：75人）；260人从事硬件研发，包括激光雷达、雷达、摄像头、计算硬件等。
- ◆ **Waymo自研激光雷达，掌握核心硬件开发能力。**谷歌选择自研激光雷达传感器，有两方面原因：一是因为Velodyne要价太高，致使打造自动驾驶车辆的成本居高不下；二是因为其激光雷达产品的可选类型很少，而且当时Velodyne都是手工打造，产能非常低，严重拖慢了谷歌的自动驾驶车辆部署进度。为了不受制于人，谷歌下定决心要自己研发这一自动驾驶车辆的关键传感器。
- ◆ **Robotaxi计划过分乐观，Waymo商业化进程缓慢，估值由2019年的1050亿美元降至2020年的300亿美元。**2021年4月，Waymo CEO约翰·克拉夫奇克John Krafcik宣布**辞职**，这位在2015年将一团糟的Waymo重新组织起来的掌门人的辞职，其很大原因是因为对Waymo近些年来对L5级自动驾驶技术**过于乐观**导致商业化路线的战略决策失误导致的。John早在2017年就认为L5级可以很快商业化，但由于驾驶场景中的Corner case（极端小概率事件）太多，没有安全员的无人汽车仍然会存在失效的案例。2020年9月份，Waymo的无安全员的Robotaxi在凤凰城上线，即便是在人流较少的凤凰城，也出现了几次由于修路而导致Robotaxi无法行驶的情况。因此，Robotaxi的商业化进程大大落后，其估值也经历了非常大的减少。

表：Waymo目前的主要负责人

	负责人	履历	目前公司成果
激光雷达	Simon Verghese	出身自麻省理工学院林肯实验室，其前身是研制出雷达的「麻省理工辐射实验室」	有自研的中远程激光雷达以及短程激光雷达，据称其成本仅为Velodyne的十分之一
毫米波雷达	Matt Markel	在航空航天、卫星领域有很丰富的经验	和英飞凌展开合作，设计雷达传感器芯片；独立开发了一个毫米波雷达新版本，也就是近年来行业内主流的下一代雷达——成像雷达，从天线罩、天线、电路板、机械外壳、固件、软件等等都是公司自主研发。一般的雷达只能测距和测速，而Waymo自研的雷达能提供足够清晰的分辨率，让自动驾驶系统一眼就能分清前方到底是卡车还是轿车，是自行车还是行人
摄像头	Lucianlon	曾在苹果特殊项目组从事的是摄像头以及视觉系统的开发	与谷歌消费电子组合作，开发摄像头的视觉算法功能

图：地平线高管对Waymo CEO离职的评价



李星宇 地平线 VP

老克的离去并不是一个时代的落幕，而是跨越式技术路线的破产。
特斯拉采用的是基于量产车从L2的功能起步逐渐渐进式路线；而Waymo一开始就会把司机的元素抛弃，从L4进攻。在2016年的时候我曾经写过一篇文章探讨了这个问题，我的答案是渐进式路线才是主流，因为从本质上来讲，自动驾驶不是科学问题，而是一个工程问题。工程问题要的是对于长尾问题的解决能力，这样的解决能力只能在实践中打磨，靠海量数据去积累，注定了我们需要这样的渐进式路线。当时Waymo代表的路线还是最主流的路线，这个观点还是反共识的，而今天，特斯拉和Waymo的发展结果已然给出了答案。

收起



谷歌Waymo CEO离职，宣告了一个自动驾驶时代的终结

- ◆ **创始人名校出身，拥有自动驾驶领域的核心技术。**2013年，Kyle Vogt和Dan Kan在加州创立了Cruise，Kyle Vogt毕业于MIT，早期曾参加过DARPA无人驾驶挑战赛。
- ◆ **自动驾驶研发实力强，多项核心测试指标与Waymo相当。**Cruise的基本路线与Waymo类似，都是采用自上而下的模式，目前通用Cruise的L5级自动驾驶技术和路测里程可以与Waymo一争高下，2020年加州公布的路测数据显示，Cruise的测试里程最多，接管两次间平均可行驶里程仅次于Waymo，排名第二。
- ◆ **被通用收购，Cruise的商业化能力有了很大的提升。**通用目前在凯迪拉克车型上推出了Super Cruise辅助驾驶系统，很多专业评测都认为其能力要超过特斯拉的Autopilot。硬件方面，通用给Super Cruise系统配备了前置单目摄像头、6颗毫米波雷达（1长距和5短距）以及Mobileye EyeQ3芯片的硬件设备。Super Cruise系统的特别之处在于其高精地图与高精GPS定位系统。目前，通用已与高德地图合作，在国内实现了30万公里高精度地图数据核查，基本覆盖了全国的高速公路路网，未来还将继续覆盖与高速公路的连接线、城市高架快速路网等道路。相比于传统的GPS定位，Super Cruise系统的定位精度提升了4-8倍。除此之外，高精度地图还能预判车辆前方2公里的路况信息。

图：无方向盘和刹车系统的Cruise无人车



图：凯迪拉克的Super Cruise辅助驾驶

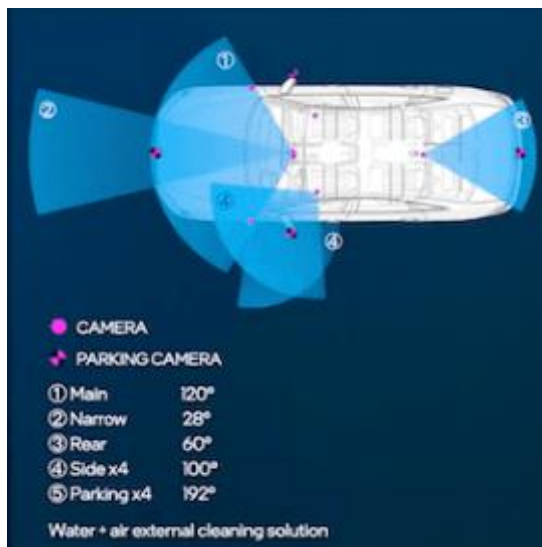


- ◆ **视觉方案自动驾驶的先驱和L2级视觉解决方案的主要供应商:** 1999年, 谷歌自动驾驶项目开始的十年前, 以色列希伯来大学教授Amnon Shashua (他在读一篇论文时注意到, 在某些情况下, 人类在闭上一只眼睛的情况下仍然能够判断距离) 发现视觉技术用于汽车安全的可能性, 创办Mobileye, 致力于用单目视觉来解决三维立体环境中的测距问题。自创立公司以来, Mobileye 获得了视觉辅助驾驶领域的多项第一并提供了包括行人检测、车道保持和自适应巡航等辅助驾驶技术。到2020年底, Mobileye 累计售出约7330万枚EYEQ芯片 (内含算法解决方案), **在L2+方案的市场占有率约为70%**。EYEQ系列芯片出货量由2014年的270万片提升至2020年的1930万片, CAGR为38.8%。同时, Mobileye营收持续快速增长, 2014-2020年总营收CAGR为37.4%。2017年3月, Mobileye被芯片巨头英特尔以153亿美元的价格收购, 成为以色列科技公司有史以来最大的一次收购。

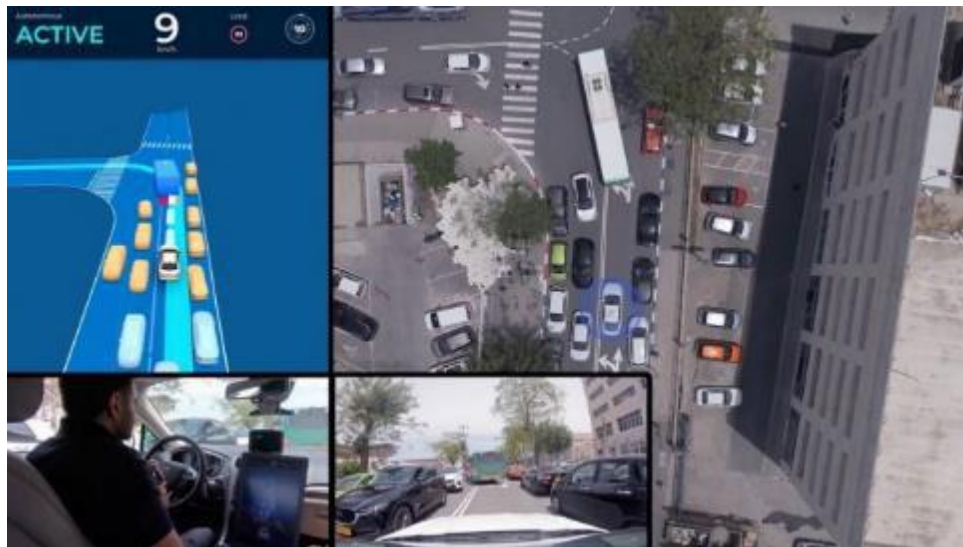
	EyeQ1	EyeQ2	EyeQ3	EyeQ4	EyeQ5	EyeQ6
推出时间	2008	2010	2014	2018	2020	2023
自动驾驶级别	L1	L1	L2	L3	L4-5	L5
算力(TOPS)	0.0044	0.026	0.256	2.5	24	128
功耗 (W)	2.5	2.5	2.5	3w	10	40
半导体工艺	180nm CMOS	90nm CMOS	40nm CMOS	28nm FD-SOI	7nm FinFET	7nm FinFET
算法能力	/	/	可实现行人提醒, 识别行车道及交通标志, 实现自由空间语义分割能力	实现 车辆三维建模 , 可实现行人提醒, 识别行车道、路沿及交通标志, 可以识别一般物体、危险物品、动物等, 实现自由空间语义分割能力, 还可以进行行车轨迹规划	实现 类似激光雷达的三维建模能力 , 像素级视觉, 表面分割建模, 车道语义识别, 行车轨迹规划, 鸟瞰功能	/
服务厂商	/	/	Tesla Autopilot HW1: Model S&X(2014-2016); GM's SuperCruise: Cadillac CT6(2017-2019); Nissan's ProPilot: 2020Nissan Skyline 2022Nissan Ariya; Audi's Traffic Jam Pilot: 2019AudiA8; Volvo's Pilot Assist	NIO Pilot (ES8、ES6) ; Xpeng G3; Li Auto One; Nissan's ProPilot2.0; BMW Driving Assistant VW Travel Assist: Volkswagen Passat(2019-2020) Volkswagen Golf 8(2020) Ford Mustang Mach-E(2021) FordF-150(2021)	Lynk&Co's Copilot : (SuperVision™) Lynk&Co Zero (2021); BMW's Personal Copilot (BMWix)	/

- ◆ **视觉算法领先，可以不依赖其他传感器实现自动驾驶能力。** Mobileye最新的L2级自动驾驶系统称为SuperVision，使用11枚摄像头、2颗EyeQ5芯片来完成L2+级别的自动驾驶。其中，双目前向摄像头由一枚广角和一枚长焦构成。广角摄像头有120度的探测角度，长焦镜头为28度，但能看到更远的距离。这两枚摄像头的解析能力也很强，都是800万像素摄像头，可以捕捉4K视频。在2021年CES的发布会展示的视频显示，搭载Supervision系统的车辆可以在人流密集的城市繁华街道上实现自动驾驶，包括无保护左转、穿越人车同行的繁华街道和无道路线的狭窄路段等，其流畅性与特斯拉的FSD Beta在美国路段展示的能力类似，
- ◆ **依靠母公司英特尔的硅光芯片技术实力，进军激光雷达行业。** Mobileye利用Intel的硅光子工艺研发SOC激光器，可使用FMCW（连续调频模式）而非传统的TOF（飞行时间模式）计算物体的距离、速度、方向，自研的产品将在2025年正式。

图：SuperVision摄像头分布

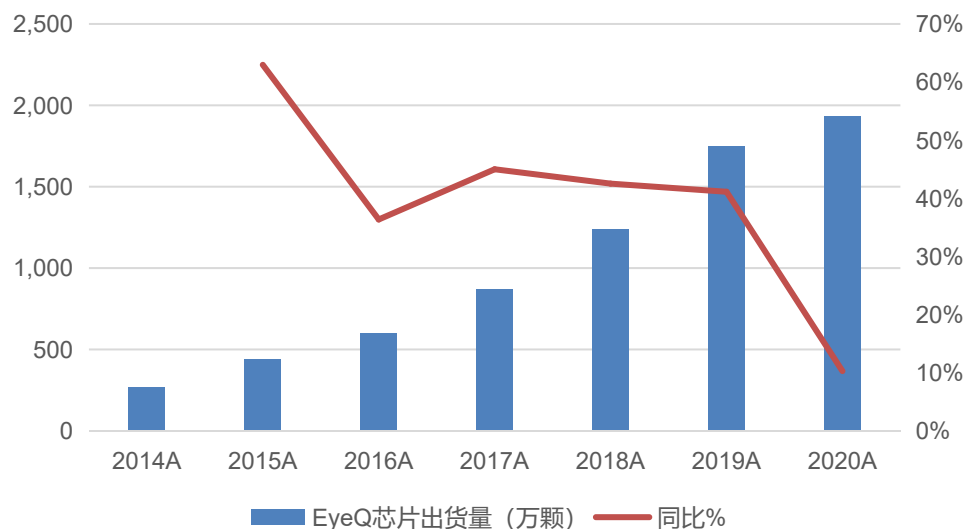


图：SuperVision解决方案

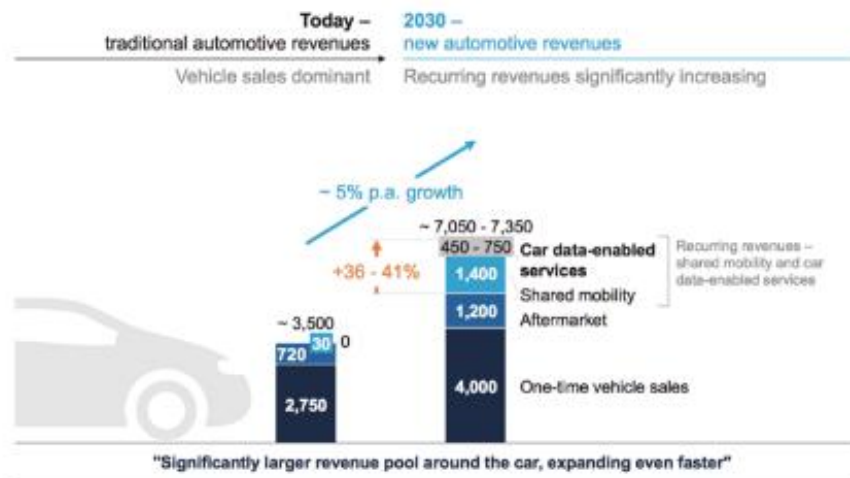


◆ **算法封闭，对希望自研算法的车企不利。**不可否认的是，Mobileye的技术能力很强。从视觉方案起家，到现在也研究激光雷达的融合方案，其不可谓不努力；成为Intel子公司之后，从一家视觉算法公司成长成为提供一整套解决方案的公司。据36氪报道，2019年公司占据整个市场70%的营收，可见其领导力。但先后与特斯拉、小鹏、蔚来、理想等公司解约，也能看得出其角色之尴尬，2020年EyeQ芯片出货量增速明显下滑（近三年营收为6.98/8.79/9.67亿美元，营收增速也明显下滑）。新造车势力早就看出自动驾驶能力才是车企的核心竞争力，所以当然不会容忍Mobileye这样的封闭算法的模式（使用车辆提供的数据不断增强算法能力，但并不与车企共享算法，数据能带来的价值会越来越高。据2020年麦肯锡的报告预测，到2030年时汽车产生数据的价值可达4500~7500亿美元），虽然放弃Mobileye会暂时削弱自动驾驶能力，例如2016年特斯拉与Mobileye解约后其Autopilot能力明显下滑了，但特斯拉坚持自研自动驾驶才让特斯拉拥有今天的技术能力与估值。中国的造车新势力也是走了和特斯拉类似的道路，都在先使用Mobileye的芯片一段时间之后转向了开放程度更高、可以自研感知算法的英伟达芯片。Mobileye也意识到了这个问题，也宣称EyeQ5会向用户开放部分算法，**但其开放程度并未明确**。Mobileye的客户目前都是对算法等软件实力较弱的传统车企，但各个车企也极力避免自己沦为“代工厂”，很有可能在时机成熟的时候进行算法自研。

图：Mobileye EyeQ芯片近几年出货量（万颗）

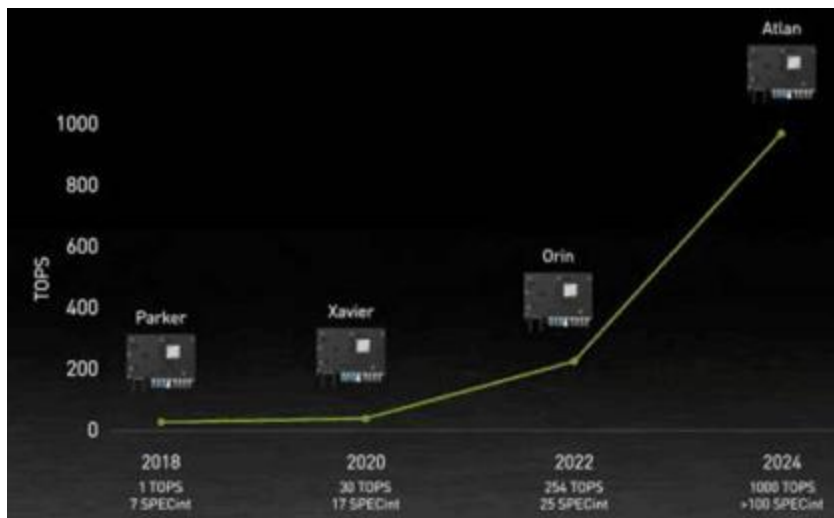


图：麦肯锡预测车辆数据价值将会迅速增长



- ◆ **算力领先的一体化平台化AI芯片、算法工具链及仿真软件提供商，车规级产品已经落地。**在自动驾驶领域，公司已经形成了分层解耦、全栈式的自动驾驶产品解决方案，并覆盖L2-L5级自动驾驶应用场景，配套软件方案包括：Constellation（仿真系统）、Drive OS（底层开发平台）、Driveworks（服务器平台配套解决方案）、Drive AV（自动驾驶功能）和Drive IX（人机交互）等。目前公司推出了Xavier、Orin以及Atlan等车规级AI芯片，其算力分别为30/254/1000TOPS，满足L2~L4的不同场景下的需求；其配套工具链易于使用，已经有基于英伟达的小鹏Xpilot系统搭载在其量产车型中，是为数不多已经经受车规级考验的芯片提供商。
- ◆ **合作伙伴众多，产品力十足。**合作整车厂方面，截止到2021年7月英伟达已和超过370家公司建立了合作关系，既包括像丰田、奔驰等主机厂，Uber和滴滴等出行公司，采埃孚等Tier 1供应商，也包括自动驾驶创企、激光雷达公司、地图公司等。2020年6月份，英伟达和奔驰共同宣布，两家公司将联合开发软件定义的车辆，新一代奔驰汽车的自动驾驶功能，将由新一代NVIDIA DRIVE平台驱动。
- ◆ **汽车相关收入有望大幅增长，未来6年累计订单已达80亿美元。**据英伟达在2021年GTC大会上透露，公司2020年汽车相关收入是5.3亿美元，约为Mobileye收入的55%。公司在2021~2027年自动驾驶领域中的订单，累计已达80亿美元，上述订单有望在2023/2024年开始规模转化为收入。

图：英伟达平台化芯片发布规划



图：英伟达工具链及模拟路测环境软件



- ◆ **创始人是少年天才，截止到2021年6月市值领先其他激光雷达公司。** Luminar创始人是天才少年罗素，高中就开始搞雷达，大学进入斯坦福，拿到彼得·蒂尔的投资就退学，创办了Luminar公司。在IPO之前，Luminar就融资2.5亿美元。Luminar市值领先其他激光雷达公司，其估值是主打L4+级机械式激光雷达Velodyne的4倍左右（以2021年6月15日股价计算）。
- ◆ **主打半固态激光雷达，车规级优势大过机械式激光雷达；掌握了低成本1550nm激光发射及接收技术，使激光雷达的性能得到质的提升。** 2016年和2017年，Luminar先后收购了两家关键公司：Open Photonics和Black Forest Engineering。Open Photonics是一家致力于光学和光子技术商业化的开放式创新公司。Luminar现任CTO Jason Eichenholz曾是Open Photonics的CEO。这次收购帮助Luminar获得了激光雷达领域优秀的技术人才。Black Forest Engineering一直专注于研究高性能InGaAs（铟镓砷）接收器，配合Luminar设计的ASIC，可以实现较低成本的1550nm的光子效率和动态范围，而1550nm波段对人眼伤害小，所以其可用功率大大高过其他波段，对测量距离以及精度都有更大优势。
- ◆ **计划于2022年量产激光雷达Iris，同时推出自动驾驶软件套装Sentinel，软硬件同时发力，确保量产能够如期达成。** 激光雷达最重要的任务之一是实现车规级量产，因为这个尚属全新的产品，在安全性和稳定性要求较高的车辆上可能会遇到各种各样的问题，很多公司都是因为无法量产而导致公司破产。据Luminar宣布，Iris激光雷达方面，目前B样件已经供货给了沃尔沃，C样件预计在2021年底完成。而且Luminar与制造伙伴Celestica在墨西哥代工厂的产线已经下线了首颗Iris，生产制造已准备就绪，Iris的大规模量产时间计划为2022年。Sentinel软件方面，预计会在2021年底推出Beta版本，这套系统可以支持高速公路的自动驾驶，也支持一系列主动安全功能。

图：Luminar的发展历史



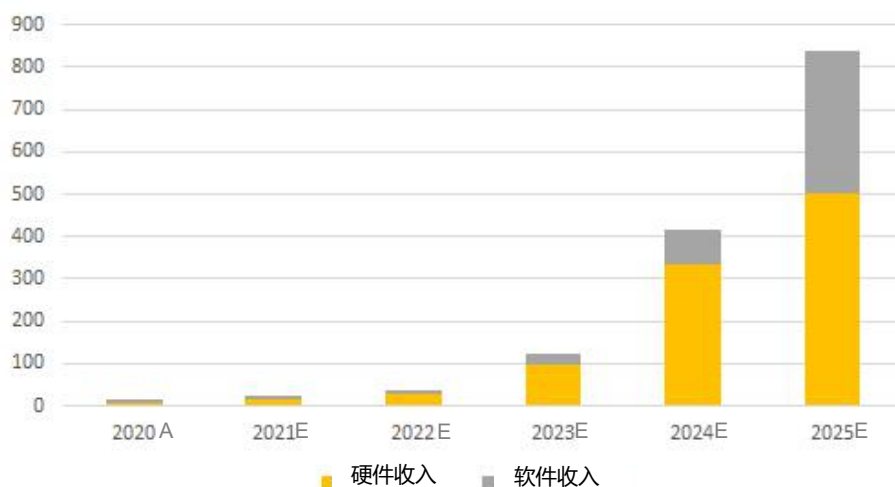
◆ **2021Q1季报显示收入快速增长的同时, 亏损也在扩大, 主要系研发团队扩张导致; 在手现金充足, 满足快速扩张的需要。**

Luminar 2021 年第一季度收入为 530 万美元, 与 2020 年第一季度相比增长 37%, 与 2020 年第四季度相比增长 118%。2020 年, Luminar 的收入大概在 1400 万美金。从2021Q1报表来看, Luminar的收入分为两个类型, 一是零部件, 二是整体解决方案, 其中零部件大约占15%的收入, 整体解决方案占85%。2021Q1的 GAAP (一般公认会计原则) 净亏损为 7590 万美元, 而去年同期的 GAAP 净亏损为 1560 万美元, 亏损显著扩大, 因为Luminar 团队扩张、技术研发和生产设施建设都需要持续的资金投入。特别是2021Q1, Luminar 在全球范围内又补充了 100 多人, 包括软硬件工程师、供应链人才以及生产制造人才, Luminar 的全球团队在 500 - 600 人之间。截至 2021 年 3 月 31 日, Luminar 账上的现金及现金等价物有 6.1 亿美元, 以 2021Q1的亏损情况看, 在手现金尚能支撑公司接下来两年的扩张计划。

◆ **订单充足, 合作企业众多。** Luminar在1550nm的技术优势, 给Luminar带来了几乎垄断性的市场。2017 年9月, Luminar 宣布与丰田 TRI 达成合作关系。2018年6月, Luminar 又宣布与沃尔沃达成战略合作关系, 而且沃尔沃还通过旗下的风投基金对 Luminar 进行战略投资。随后奥迪子公司 AID(后并入 Argo)也与 Luminar 签订了合作协议。除了与上述三家车企合作外, Luminar 还对外表示正在与其他13 家车企合作, 合同价值达 15 亿美金。

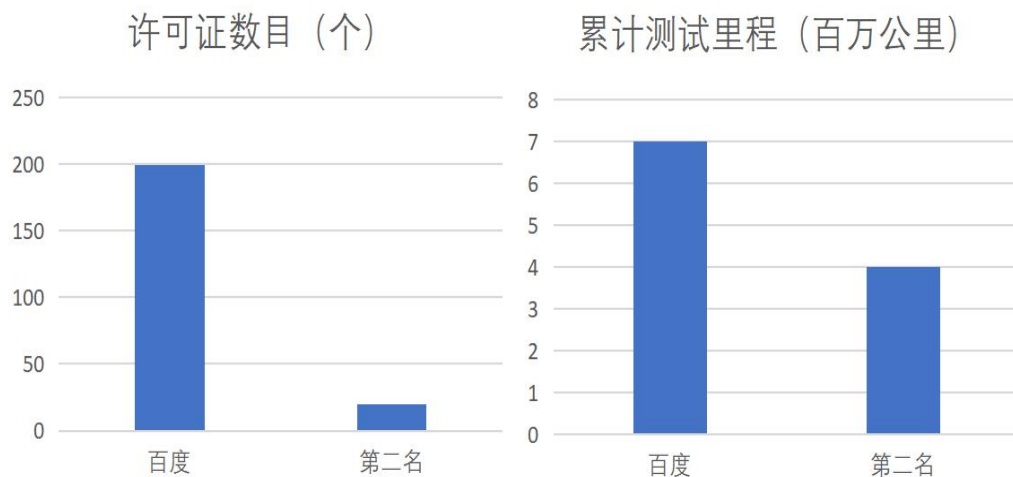
图: 美国Weiss基金公司对Luminar未来收入的预测 (百万美元)

图: Luminar的客户分布

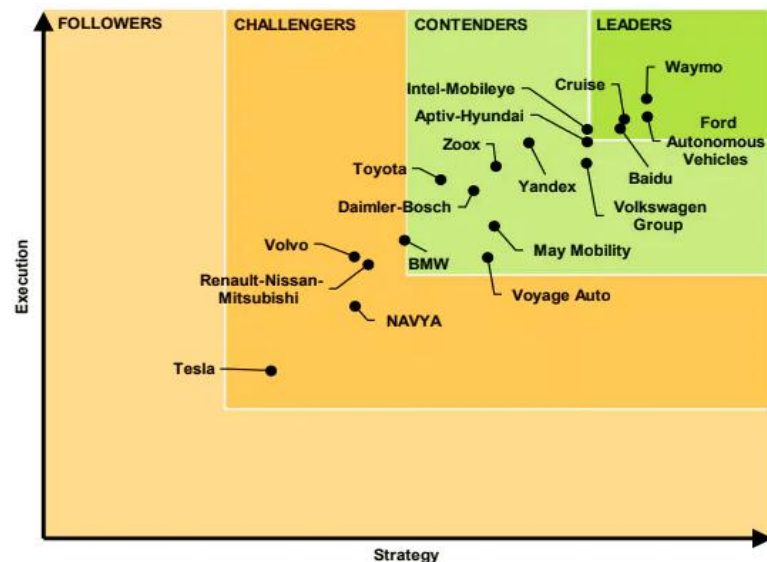


◆ **中国自动驾驶研发的先行者与技术的领跑者：**百度早在2013年就已启动无人车项目，并于2015年下半年推出无人驾驶汽车，一个月后，Apollo面世。百度采用了和Waymo类似的自动驾驶解决方案，即直接研发载有激光雷达+摄像头+毫米波雷达的L5级自动驾驶方案，以算法和解决方案研发为主。2020年知名研究机构Navigant Research发布的最新自动驾驶竞争力榜单显示，唯一上榜的中国玩家百度Apollo排名再次跃升，首次挺进NR报告国际自动驾驶“领导者”行列。2019年加州路测报告中，百度的接管两次间平均可行驶里程排名第一，超过Waymo，也体现了百度技术实力。2020年百度侧重在中国进行路测，其测试里程数远远超过竞争对手。按测试里程及测试牌照数目计算，百度是中国自动驾驶市场的领先者。截至2020年12月31日，百度有199块自动驾驶牌照，在中国的地域覆盖面广泛，而第二名仅有约20块牌照。截至2020年12月31日，百度的Apollo生态系统累计拥有200多名合作伙伴、一级供应商及其他战略合作伙伴。百度计划在未来3年将Apollo GO自动驾驶出租车Robotaxi服务，从目前北京、长沙、沧州全面开放至30个城市，部署至少3000辆自动驾驶出租车，为3000万用户提供服务。

图：百度许可证数目与测试里程遥遥领先



图：Navigant Research 2020年自动驾驶厂商排名分布



- ◆ **随着AI（人工智能）水平不断提高、芯片及传感器等硬件成本降低以及市场对车辆安全性及便利性的要求，汽车的自动驾驶技术迎来了全面商业化落地的时期。**我们预计到2025年，自动驾驶相关模块将会带来781亿美元的市场，而作为全球自动驾驶技术的领跑者，深耕自动驾驶领域近十年、拥有领先自动驾驶技术的百度终于迎来再次腾飞的机遇。ANP（自动导航辅助驾驶）、AVP（自主泊车）：百度以其多年积累的自动驾驶技术，推出具有成本优势的L2级自动驾驶辅助解决方案的ANP、AVP，帮助整车厂提升车辆智能化能力，此领域商业化路线清晰，到2025年时市场空间为324亿美元。我们预计，到2023年，百度在该领域的收入可达35亿元，2021~2023的CAGR达123%；Robotaxi无人驾驶出租车：使用L4+级自动驾驶技术，Robotaxi已经在多地商业化落地并将逐步扩大使用场景，可能改变公共出行形态；智能电动汽车：与吉利联合推出“集度”品牌，有望于数年后量产电动汽车，从而使百度拥有软硬件一体化的智能汽车的制造能力。
- ◆ **智能驾驶将为百度带来新的营收增长点。**我们估计百度提供整体解决方案（包括ANP和AVP以及高精地图）的单车价格与特斯拉、蔚来和小鹏的解决方案价格类似，2021年向整车厂售卖的平均价格为3万元（不包括芯片等硬件价格）。我们预计，2021年作为百度进军ADAS解决方案的元年，搭载百度解决方案的车辆大约为2.3万辆，年度营收为7亿元（售卖解决方案的全球龙头Mobileye公司2020年营收为9.67亿美元）；到2024年，会有约40%的L2级车辆选配辅助驾驶功能，搭载百度解决方案的车辆，在全球L2车型中占比可达1%，为18.6万辆，整体年度营收可达56亿元，2021~2024的CAGR达100%；从长远来看，十年内百度ADAS相关收入都会保持快速增长的势头，为百度营收贡献新的增长点。

表：各家Robotaxi的核心参数比较（截止到2021年7月）

厂商/车型	核心芯片	算力TOPS	激光雷达/个	毫米波雷达/个	摄像头/个	开放打车地区
百度Apollo Moon	德州仪器TDA4	8~32	2	5	13	北京、长沙、沧州
滴滴	英伟达自动驾驶平台	700	7	6	23	上海嘉定
小马智行			4	4	7	广州、北京、加州、上海
AutoX第五代	英特尔 CPU + 英伟达 GPU + 赛灵思 FPGA	2200	6	8	28	上海嘉定
文远知行	英伟达AGX	320	1	5	3	广州
Waymo捷豹版	自研		5	6	29	加州、凤凰城



■ 自动驾驶历史及定义

■ 环境感知系统

■ 决策规划系统

■ 控制执行系统

■ 解决方案供应商

■ 整车厂

■ 风险提示

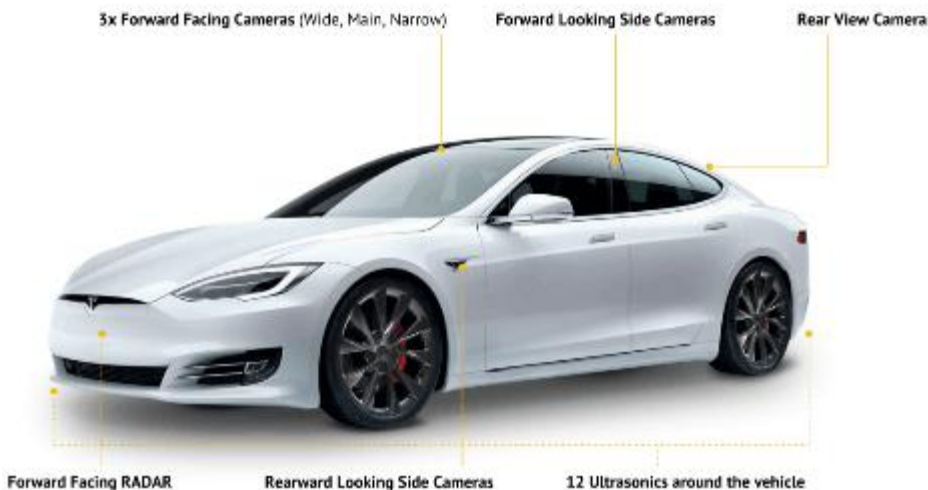
整车厂路线概述：纯视觉VS多传感器融合

- ◆ **特斯拉坚持纯视觉路线，利用视觉算法优势节省硬件成本：**硬件成本低，用算法挖掘摄像头潜力，用纯视觉来解决自动驾驶。优势是普适性强，劣势是无法解决长尾效应，安全系数不够高，L4+级无安全冗余很难得到通过。
- ◆ **小鹏蔚来等中国汽车企业，采用多手段融合助力ADAS能力：**视觉算法能力无法超越特斯拉，因此采用激光雷达+高精地图+摄像头等多传感器共同判断，依靠中国强大的基建实力以及领先的5G基站数量可以实现车辆网的优势，达到安全冗余来实现自动驾驶的方案。优势是安全系数高，以目前的技术能力来看是商业化达到L5的较为可靠的路径；劣势是目前成本高（激光雷达贵），高精地图绘制成本高，无法做到所有区域全覆盖。

	特斯拉Model3	小鹏P7	小鹏P5	蔚来EC6	蔚来EC6
感知芯片	自研FSD芯片	英伟达Xavier	英伟达Xavier	MobileyeQ4	英伟达Orin
算力	双芯片2*72TOPS (两颗芯片互为安全冗余)	30TOPS	30TOPS	2.5TOPS	四芯片4*254TOPS (两颗芯片负责自动驾驶，一颗为冗余芯片，最后一颗负责群体智能与个性训练)
感知决策算法	感知和决策均自研	感知和决策均自研	感知和决策均自研	感知采用Mobileye算法/ 决策采用恩智浦S32V芯片算法自研	感知决策均自研
硬件-传感器	12个超声波雷达/8个车身摄像头/1个毫米波雷达	13个车身摄像头/12个超声波雷达/5个毫米波雷达/1个车内摄像头	2颗激光雷达/5个毫米波雷达/1个三目摄像头/5个增强感知摄像头/1个车内摄像头/4个环视摄像头/12个超声波传感器1组高精度定位单元 GNSS+IMU	12个超声波雷达/5个车身摄像头/1个车内摄像头/5个毫米波雷达	11个800万像素高清摄像头/1个超远距离高精度激光雷达/5个毫米波雷达/12个超声波雷达/2个高精度定位单元
自动驾驶方案	视觉感知为主，毫米波雷达为辅	视觉感知+高德高精地图	视觉感知+高德高精地图	视觉感知+百度高精地图	视觉感知+百度高精地图
选装价格	最新版6.4万	随车购买2万/磷酸铁锂版使得NGP用户比例更高	/	全配3.9万/精选包1.5万	按月订阅，每月680元
市场使用率	财报会议吐露中国为1~2%	xpilot选装率达50%	/	50%车辆配备，后续提供月付模式	/

注：上述统计数据截止到2021年7月

◆ **摄像头为主+毫米波雷达为辅+自研自动驾驶芯片和算法全部自研，形成算力、算法、数据闭环：**从特斯拉自动驾驶的近些年发展路线来看，其传感器变化不大，主要变化方向是在芯片及算法领域。首先，芯片从Mobileye（EyeQ3）和英伟达（Tegra3）购买，算法也由Mobileye提供。但特斯拉在和Mobileye在摄像头数据的归属上产生了分歧后转向算法自研。由于Mobileye的芯片和算法是绑定的，所以特斯拉首先向英伟达（TegraParker, Pasca）购买芯片，后自研芯片，形成了车企唯一一家实现**芯片+算法全自研**，再加上特斯拉百万辆车的**真实路测数据**，特斯拉可以迅速**迭代**自己的软件和修改自己的芯片硬件等，使其方案达到其他车企难以企及的能力。



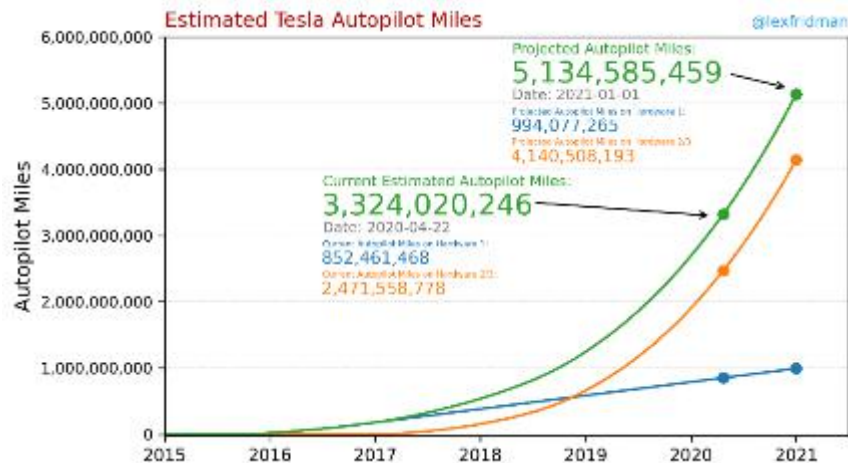
方案	芯片	每秒处理帧数	算力	传感器+决策算法	特色功能	推出时间	传感器方案
HW1.0	1个英伟达Tegra3+1个EyeQ3	36	0.256TOPS	视觉Mobileye决策自研	道路偏离警告和速度提示，自适应定速巡航系统以及前方碰撞预警，自动紧急刹车和盲点预警，自动方向盘接管，侧方位碰撞躲避	2014.9	1个前置摄像头+12个超声波传感器+1个前置雷达+1个后置雷达
HW2.0	1个英伟达TegraParker+1个PascaGPU+1个英飞凌TriCore	110	24TOPS	自研	推出NOA（NavigateonAutopilot）功能，可以实现智能召唤	2016.1	8个摄像头、倒车摄像头+12个超声波雷达和1个前置毫米波雷达+1个后置倒车摄像头
HW2.5	2个英伟达TegraParker+1个PascaGPU+1个英飞凌TriCore	110	48TOPS	自研		2017.7	
HW3.0	2个自研FSD	2300	2*72TOPS	自研	在中国NOA功能可实现高速自主变道，可以识别红绿灯及路障等功能	2019.3	

- ◆ 特斯拉CEO埃隆马斯克说过：“人类眼睛能够完成的测距能力，摄像头没有理由完不成”。特斯拉深耕视觉算法领域，并以其全球超100万辆汽车的**真实路测数据算法训练**以及**强大的计算平台数据标签化的能力**，形成了视觉领域的护城河：
 - ◆ **影子模式**：即在未开启自动驾驶的情况下，车机系统也会进行图像识别与路径规划，然后与人类驾驶者的行为相比较，记录下与人类驾驶者相悖的操作，进行算法改进从而可以使系统算法更接近人类驾驶。通过用户车辆进行算法训练，使特斯拉的**算法训练度**远远超过深耕自动驾驶领域多年的Waymo（截止到2020年的数据显示，特斯拉的训练里程已经超过30亿英里，Waymo是2千万英里，当然有人认为Waymo测试标准更严格）
 - ◆ 特斯拉较早使用深度学习算法对系统进行大量练习，并研发了超强算力的**神经网络训练计算机Dojo**处理视频视觉，其模式为Dojo从车端接收大量视频数据发回云端，云端完成无监督的大规模算法训练，可以实现自动标注高价值数据，从而扩充图像数据库。
 - ◆ **特斯拉自动驾驶大部分决策权重都集中在摄像头上（仍有部分毫米波雷达的贡献）**。特斯拉公布的计划表示，2021年下半年推出的新一代自动驾驶套件V9将使用**纯视觉系统**，可完全依靠摄像头的信息进行高等级的自动驾驶。

图：特斯拉的摄像头对周围环境的识别建模



图：特斯拉影子模式对算法的训练里程

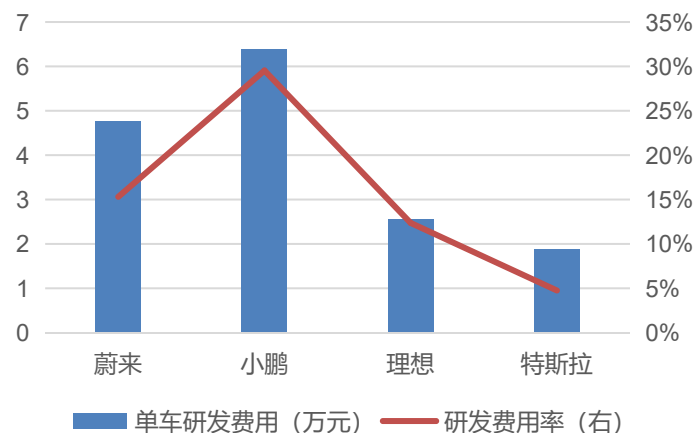


- ◆ 何小鹏认为，智能汽车核心是在运营、OTA、服务、软件、迭代、数据的驱动。
- ◆ 小鹏公司的研发人员占比很高，且拥有很多世界顶尖的技术人才。公司香港上市的招股书显示，截止到2021年3月31日，小鹏共有6132名员工，其中有39.8%为研发人员。其中62.1%/16.3%/21.5%致力于汽车设计/自动驾驶/智能操作系统的研发。公司在广州/北京/上海/圣地亚哥（美国）拥有研发中心，其美国研发团队招揽了众多世界顶尖的自动驾驶研发人员，工作覆盖从算法运研到数据训练到模型优化到硬件落地，以及定位、激光雷达的处理、毫米波雷达的处理等等，提供核心技术；其国内团队负责产品规划、产品的定义和运营、与整车项目的配合、集成、测试等。
- ◆ 小鹏2018/2019/2020年的研发费用为10.51/20.70/17.26亿元，研发投入巨大，授予专利在车企中排名第二；单车研发费用率（根据销量数据得到）在新势力中保持领先。小鹏的高研发投入使其成为中国车企中排名第二的自动驾驶相关专利的公司，仅次于成立多年的奇瑞，且超过比亚迪、一汽、上汽等老牌汽车厂商。2020年单车研发费用率超过30%，在所有造车新势力中领先。
- ◆ 中国最先实现搭载自研自动驾驶算法的量产车型落地的公司：小鹏的P7选用了英伟达高性能、可编程的车规级芯片Xavier。Xavier从原始数据到感知算法模型到决策都是可编程的，英伟达提供底层编程工具。与小鹏不同的是，蔚来与理想目前使用的感知芯片mobileyeQ4的算法是封装好的，无法自研感知算法，也无法独享用户数据。蔚来与理想也都准备采用英伟达的芯片，但这需要时间、人才和资金支持，能否在车辆上磨合成功还是个未知数，小鹏在这方面已经取得先发优势。特斯拉的芯片和算法都是自研，目前的FSD算力最高，但针对中国本土化较慢，其辅助驾驶感受在中国使用者中的口碑一般但价格很高，选装率很低。截止到2021年7月，小鹏在算法训练上的能力是领先国内其他车企的。

图：中国自动驾驶专利累计排行榜（个，截止到2021年6月1日）

序号	行标签	授权 / 个	总计 / 个	授权占比
1	百度时代网络技术(北京)有限公司	461	2009	23%
2	华为技术有限公司	186	1332	14%
3	深圳市大疆创新科技有限公司	147	705	21%
4	浙江吉利控股集团有限公司	272	664	41%
5	腾讯科技(深圳)有限公司	88	522	17%
6	上海博泰悦臻电子设备制造有限公司	80	512	16%
7	北京嘀嗒无限科技发展有限公司	35	453	8%
8	广州小鹏汽车科技有限公司	103	434	24%
9	奇瑞汽车股份有限公司	171	420	41%
10	比亚迪股份有限公司	161	397	41%

图：2020年小鹏与其他造车新势力单车研发费用（万元）与研发费用率对比



数据来源：公司香港上市招股书，东吴证券研究所整理

◆ **更适合中国路况的高级别ADAS系统**：2021年1月26日，小鹏P7向用户开放NGP，这可以让系统基于设定的导航路线（高精地图所覆盖的高速和城市快速路），实现特定场景下从A点到B点的自动导航辅助驾驶。该功能可以实现辅助用户实现自动变道超越慢车、自动选择最优车道、自动限速调节、自动进出匝道、自动切换高速公路、变道自动紧急避让、交通锥桶识别/避让、大货车规避、夜间超车提醒、故障车辆避让等功能，在适用路况下可辅助按照导航路径行驶，引导车辆抵达目的地，全程司机只需要将手搭在方向盘上即可。对比行业情况，在中国量产车型中目前只有特斯拉的NOA系统以及蔚来的NOP系统可以执行类似操作，这是一种高于L2级别的自动辅助驾驶功能。据人民网采访的业内人士指出，NGP具有更高的场景覆盖率、更高的换道效率和更低的人工接管率，驾乘体验也更加符合人工驾驶的感受，也更适合中国路况。

表：NGP与竞品的总结对比

	特斯拉Model 3	小鹏P7	蔚来EC6
以下为汽车评测团队42show于2021年2月份从上海到杭州的测试结果			
雨雾天/隧道	不可用	可用	可用
进入匝道平顺降速	有时会高速入弯	平顺降速	平顺降速
驶出匝道平稳加速	无加速	平稳加速	平稳加速
Y行路口通过稳定性	宽车道有画龙情况	平稳通过	高退出概率
可以进入正确匝道	出错概率30%	路测无错误	出错概率10%
并入最右侧车道的策略	1km并入	1.5km并入	2.2km并入
并入最左侧车道的策略	第一时间	第一时间	无策略
超越慢速车速度差	10km/h； 只有两车道时仍频繁变道	二车道时超左侧车较为保守；大于二车道则为5~10km/h	30km/h
变道反应速度	5s	5s	14~20s
是否有预判能力	有	有	无策略
最短变道距离	短	短	较远
变道时执行确认	需要阻力传感器确认	不需要	不需要
总体评价	策略激进	策略适中，最像人类驾驶	策略过于保守

- ◆ **因2019年资金紧张，蔚来决策算法自研被迫中止，现在重启算法自研之路：**蔚来是国内较早开始自动驾驶研发的电动车企，早在2015年就开始布局自动驾驶研发。但在市场下行的2019年，由于资金紧张问题，蔚来北美三次裁员，自动驾驶团队成为重灾区。同年11月，蔚来还与英特尔旗下自动驾驶技术公司Mobileye共同宣布达成战略合作，双方将基于蔚来第二代整车平台NP2.0研发L4级别自动驾驶车型。Mobileye在公告中表示，Mobileye将提供L4级自动驾驶系统套件（L4AVkit），包括EyeQ系列芯片、硬件、驾驶策略、软件及地图解决方案，而蔚来负责车规级工程、集成和批量生产。因此蔚来的车型ES6、EC6的自动驾驶采用的是MobileyeQ4的芯片，算法上**采用Mobileye算法**。但2020年蔚来资金条件好转之后，就开始重启感知算法的自研。李斌曾公开表示：从长期来讲，AD（Autonomous Driving，自动驾驶）这件事情围绕四方面去提升整个体系能力，**芯片、系统、算法和数据**，我们肯定要建立全栈能力。2020年8月，前Monenta研发总监任少卿已加入蔚来，担任助理副总裁一职，全面负责自动驾驶算法自研。2021年初的ET7发布会上显示，蔚来已经改用英伟达的平台化芯片。
- ◆ **理想与地平线、英伟达合作，加速推动算法自研之路。**2020款理想汽车使用的辅助驾驶芯片来自Mobileye，型号为EyeQ4，辅助驾驶软件则是与易航智能合作研发。理想汽车CTO王凯曾表示，此前与Mobileye的合作，系统并不够开放。2020年9月，理想汽车与**英伟达（NVIDIA）**及**德赛西威**正式签订三方战略合作协议，并计划在2022年推出的下一款车型上率先使用NVIDIA Orin系统级芯片，并在这款平台化芯片上进行算法的自研。2021年五月发布的2021款理想ONE搭在了三颗地平线的芯片，体现了理想对于算法自研的急迫程度。



- ◆ **封闭区域，路况相对简单，是更容易实现商业化的场景：**特殊的场景包括矿山、港口、物流中心较为封闭的场所的无人驾驶以及主要在高速公路上行驶的长途运输领域的无人驾驶。这个领域较一般的城市路况要简单很多，L4+级别无人驾驶技术更容易实现，法规也更容易落地，商业化前景广阔。
- ◆ **单车价值高，对高成本硬件接受度高：**阻碍自动驾驶商业化落地的一大因素是昂贵的传感器硬件（如激光雷达以及高性能AI芯片）。对于特殊场景的车辆来说，其价值量普遍较高，例如矿山中的矿车每一台的价值都在数百万到千万元，因此对于数万元价格的激光雷达的接受程度高于普通乘用车。



矿区场景



港口场景



干线物流



机场场景



物流园区



末端物流

- **场景简介：**自动驾驶主要应用在露天矿区，开放程度高，矿区内行人干扰度低，路线复杂程度低，是自动驾驶技术应用的绝佳场景。
- **应用现状：**矿区自动驾驶已在宝日希勒矿区、白云鄂博矿区、鄂尔多斯矿区等多个矿区开展试运营。
- **车辆类型：**自动驾驶矿卡和自动驾驶宽体车。
- **实现功能：**可实现土方剥离以及运输的功能，速度低于30km/h。
- **场景简介：**港口场景复杂程度低，对自动驾驶技术要求低，但是市场规模较小。
- **应用现状：**在上海、天津、宁波、深圳等多地港口已展开自动驾驶集卡试运营，天津港已经布局超25辆自动驾驶集卡。
- **车辆类型：**自动驾驶集卡。
- **实现功能：**自动驾驶集卡行驶在塔吊和堆场之间，负责运输集装箱，速度低于30km/h。
- **场景介绍：**干线物流场景机动车与非机动车隔离，无对向来车，降低了感知及决策难度。
- **应用现状：**铺设专用的智慧道路，图森未来、直线科技已经在多地进行商业试运营。
- **车辆类型：**自动驾驶货车。
- **实现功能：**实现货物点到点的自动干线运输，行驶速度80-120km/h。
- **场景介绍：**机场场景内车辆类型多，包括加油车、摆渡车、拖车、飞机等，对感知和决策的考验较大。
- **应用现状：**广州、海口、北京等多地机场已开展自动驾驶接驳车试运营。
- **车辆类型：**自动驾驶接驳车。
- **实现功能：**在机场行李舱和飞机行李舱之间，运输行李和货物。
- **场景介绍：**物流园区基建完善，自动化程度高，内部行驶的车辆类型比较多。
- **应用现状：**菜鸟、苏宁、德邦均布局物流园区自动驾驶，京东也开始筹备5G物流示范园，全园将引入自动驾驶技术。
- **车辆类型：**自动驾驶重卡和自动驾驶轻型货车。
- **实现功能：**仓与仓之间货物运输，速度低于30km/h。
- **场景介绍：**末端物流具有高频、分散的特点，目的是解决“最后一公里”的配送难题。
- **应用现状：**目前苏宁、京东等平台均推出L4级无人配送小车，已经实现运营。
- **车辆类型：**无人配送小车和无人配送大车。
- **实现功能：**小体积配送车主要行驶在人行道，负责配送食品外卖，大体积则是用于线下零售配送，行驶速度为15-25 km/h。

◆ **专注特殊场景赛道，算法技术优异。**图森未来（TuSimple）是一家在中国和美国联合办公的人工智能和自动驾驶公司，成立于2015年9月。图森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运输解决方案，类似Uber旗下的美国自动卡车驾驶企业Otto。图森未来最早获得关注，是因为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，并在KITTI数据集中的目标检测三个单项、目标追踪两个单项、道路分割四个单项，共计九个单项的成绩全部位列世界第一。

◆ **图森未来根据不同场景选用不同传感器进行方案设计。**其高速场景无人驾驶卡车将以摄像头和毫米波雷达为决策传感器；而其港口内低速无人驾驶集装箱卡车将会配备激光雷达，以更好地在有限范围内精确定位。

◆ **作为自动驾驶卡车领域上市的第一股，图森未来具有以下竞争优势（据2021年4月公司招股书显示）：**

1. 超过240项核心技术专利
2. 目前在全球拥有70辆自动驾驶卡车，其中50辆在美国，20辆在中国，车上配备安全员
3. 自动驾驶路测里程超过280万英里，仿真模拟测试里程1.5亿英里
4. 与Navistar和Traton2家整车厂商紧密合作
5. 已获得5700台RoboTruck的预定

图：图森未来的合作伙伴



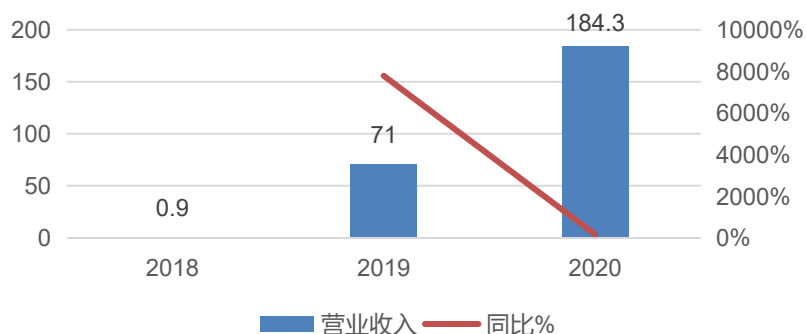
图：图森未来的发展历程



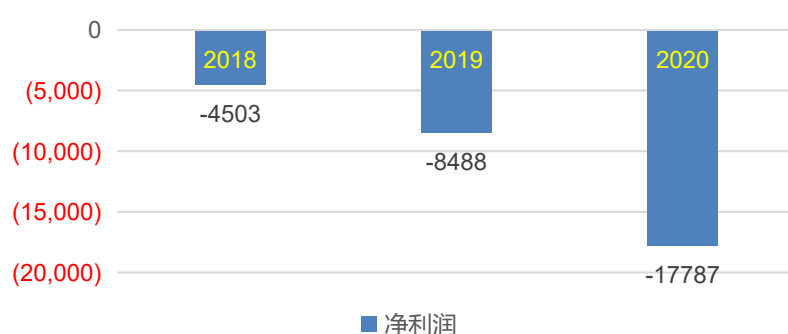
图森未来：较清晰的商业模式，但亏损仍在扩大

- ◆ **采用轻资产模式，主打软件研发：**与世界领先硬件企业建立合作关系，将专有软件与硬件结合在一起，由世界一流的OEM和零部件合作伙伴制造产品。公司将重点放在开发专有的核心自主软件上，属于轻资本运营。
- ◆ **Carrier-Owned Capacity（客户自有卡车）订阅式收费模式，成本节约空间巨大：**货运公司向图森合作的OEM购买自动驾驶卡车，并向图森交付TuSimple Path订阅费，费用按里程收取为0.35美元/英里。订阅后即可使用图森自动驾驶服务（包括软件、联网、高精地图及保险等服务）。相对于现行的驾驶员人工成本，公司估计这将为货运服务每英里节省0.40-0.50美元，按每辆卡车每年运行20万英里计算，相当于每辆卡车每年节省约9.5万美元。
- ◆ **TuSimple Capacity（图森车队）运输收费模式，费用较传统人工收费优惠：**客户直接向图森车队下运送订单，按照**1.45美元/英里标准收费**。公司预计这将比传统卡车货运公司收取每英里费优惠10-15%。
- ◆ **两种收费模式都以里程计费，能大幅降低货运成本，提升货运安全。**里程计费比一次性收费盈利能力更强，图森通过AFN（Autonomous Freight Network，方案实现枢纽中心间的自动驾驶配送，司机完成客户与枢纽中心间的第一英里/最后一英里的运输工作）打造自身货运生态平台。自动驾驶配送过程中，图森未来通过监控实时追踪货物状态，确保货物的运输安全。目前线路横跨美国3,000多英里，公司预计到2024年将扩展到总长度达46000英里的美国州际系统。
- ◆ **公司及全行业仍处于亏损状态。**据招股书显示，2018年至2020年三年内，公司净亏损不断扩大，三年净亏损累计超3亿美元。
- ◆ **技术难度小于Robotaxi，商业化落地可期。**据公司招股书报道，美国总货运市场年收入为1万亿美元，卡车货运约占其总货运市场的80%；麦肯锡全球研究所(McKinsey Global Institute)指出，利用卡车自动驾驶系统，美国卡车运输业的整体运营成本将下降约45%，可节省约850亿至1250亿美元。

图：图森未来近三年营收（万美元）



图：图森未来近三年净利润（万美元）





■ 自动驾驶历史及定义

■ 环境感知系统

■ 决策规划系统

■ 控制执行系统

■ 解决方案供应商

■ 整车厂

■ 风险提示

国家政策风险

- 政府减少对自动驾驶领域的扶持政策导致自动驾驶市场增速放缓

法律风险

- 自动驾驶相关领域、人工智能相关领域法律趋严，导致商业化项目迟迟无法落地

技术风险

- 自动驾驶相关技术无法达到商业化落地预期，整个产业发展缓慢

市场风险

- 消费者对于自动驾驶技术的适应性不达预期，导致市场空间不及预期

东吴证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，本公司不对任何人因使用本报告中的内容所导致的损失负任何责任。在法律许可的情况下，东吴证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用、刊发、转载，需征得东吴证券研究所同意，并注明出处为东吴证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

东吴证券投资评级标准：

公司投资评级：

买入：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘在15%以上；

增持：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘介于5%与15%之间；

中性：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘介于-5%与5%之间；

减持：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘介于-15%与-5%之间；

卖出：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘在-15%以下。

行业投资评级：

增持：预期未来6个月内，行业指数相对强于大盘5%以上；

中性：预期未来6个月内，行业指数相对大盘-5%与5%；

减持：预期未来6个月内，行业指数相对弱于大盘5%以上。

东吴证券研究所
苏州工业园区星阳街5号
邮政编码：215021
传真：（0512）62938527
公司网址：<http://www.dwzq.com.cn>

东吴证券 财富家园