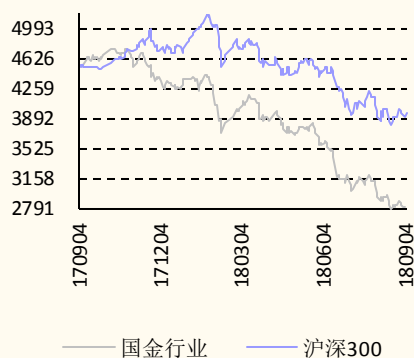


市场数据(人民币)

市场优化平均市盈率	18.90
国金汽车和汽车零部件指数	2804.08
沪深300指数	3363.90
上证指数	2750.58
深证成指	8554.44
中小板综指	8719.60



相关报告

1. 《自动驾驶芯片：GPU的现在和ASIC的未来——自动驾驶系列报告之三》，2018.7.24
2. 《自动驾驶系统：量产导向还是性能导向——自动驾驶系列报告之二：决策层篇》，2018.6.27
3. 《CES Asia: 智能驾驶为最大亮点-CES汽车行业点评》，2018.6.15
4. 《自动驾驶的时代已经开始到来——自动驾驶系列报告之一：综合篇》，2018.5.18

张帅

分析师 SAC 执业编号: S1130511030009
(8621)61038279

zhangshuai@gjzq.com.cn

何凯易

联系人
hekaiyi@gjzq.com.cn

多传感器融合

——自动驾驶系列报告之四：传感器篇

行业观点

- 本文为自动驾驶系列报告第四篇，主要说明以激光雷达、毫米波雷达和摄像头为代表的传感器在当前 ADAS 的应用情况，未来 L4/L5 自动驾驶系统中的展望以及多传感器融合解决方案的趋势。
- 目前随着 ADAS 功能模块渗透率不断提升，短期内传感器市场的需求将被摄像头和毫米波雷达所驱动；而 L3 级别自动驾驶的奥迪 A8 量产给了整个汽车行业一剂强心剂，自动驾驶的进程比想象中来的要早，各个传感器以及控制系统都在迅速迭代中；2020 年前后，L4 级别自动驾驶量产上路，激光雷达的市场将会迅速扩大。
- 由于各个主要传感器特性使然，单一类型传感器无法胜任 L4/L5 完全自动驾驶的复杂情况与安全冗余，多传感器搭配融合的方案将是必然，2030 年全球车载传感器市场将会超过 500 亿美元。
 - 激光雷达：3D 环境建模使其成为核心传感器，但恶劣天气下性能下降、且无法识别图像及颜色是其短板；在 L3 及以上传感器解决方案中，激光雷达至少需要 1 个；从机械旋转式过渡到混合固态再到纯固态激光雷达，随着量产规模扩大、技术迭代提升，成本不断快速降低，激光雷达也在向小型化、低功耗、ASIC 集成化发展；目前国外厂商陆续在与汽车零部件一级供应商绑定合作开发，国内厂商如果有能力尽早稳定量产，有机会成为车用激光雷达的主流供应商之一；
 - 毫米波雷达：全天候工作使其不可或缺，但分辨率低，同样难以成像；技术已经非常成熟，是 ADAS 的主力传感器，在 L3 级别中长距离毫米波雷达至少需要 4-5 个，L4/L5 级别再加上侧向需求甚至需要 8 个以上；全球市场仍是博世、大陆、德尔福等把持，但随着自主品牌车厂逐渐应用装车 ADAS 模块，国内毫米波厂商，如华域汽车、德赛西威等，在完善产品、搭建体系、稳定量产的过程中有机会切下一份蛋糕；
 - 摄像头：自动驾驶的眼睛识别标识、物体，但无法点阵建模、远距离；技术最为成熟，车载应用起步最早，在 ADAS 阶段作为绝对主流的视觉传感器，根据功能不同需要 4 到 8 个摄像头；由于摄像头独有的视觉影像识别功能，且作为其他传感器失效的冗余系统，摄像头需要至少 6 个以上；目前产业内的龙头企业由于成本、技术和客户等优势，新进入者不容易获得竞争优势，而关键环节已有华为海思、舜宇光学、欧菲科技经营多年，且向车载领域延申。
- 基于产业前景和潜在的巨大市场，上市公司方面看好德赛西威、舜宇光学，建议关注英飞凌、博世、大陆以及传感器初创公司。

风险提示

- 自动驾驶行业发展不及预期；装车渗透不及预期；产品开发、成本下降不及预期；使用场景限制；法律法规限制自动驾驶发展；事故影响。

内容目录

一、总论：自动驾驶多传感器融合的发展趋势	6
二、激光雷达：核心传感器，固态趋势、降成本、小型化、集成化	9
1.1 将是自动驾驶传感器的核心部分	9
1.2 激光雷达工作原理	10
1.3 固态激光雷达技术路线	11
1.4 短期 MEMS 方案较快落地，中长期 OPA 和 3D Flash 方案有望突破	13
1.5 发展趋势：小型化、软件化、ASIC 集成化	14
1.6 供应商和 Tier 1 抱团，国内企业技术量产同时发力	15
二、毫米波雷达：全天候服务、不可或缺	22
2.1 自动驾驶传感器不可或缺的一部分	22
2.2 毫米波雷达工作原理	23
2.3 毫米波雷达应用	24
2.4 市场格局及本土化优势	25
三、车载摄像头：ADAS 主流传感器、自动驾驶的眼睛	29
3.1 车载摄像头概述	29
3.2 摄像头产业链	29
四、主要车企和造车新势力多传感器解决方案	32
4.1 主要车企多传感器方案：积极布局、以最合理的方案量产装车为目标	32
4.2 造车新势力方案：ADAS 标配、扩展向自动驾驶进发	35
4.3 造车新势力 Vs. 知名车企	39
4.4 长期形成“闭环运营”和“软件系统”两类自动驾驶供应商	40
五、投资建议	43
六、风险提示	44

图表目录

图表 1：全球自动驾驶车载传感器市场规模（亿美元）	6
图表 2：自动驾驶多传感器融合	6
图表 3：各类传感器特点	8
图表 4：大众途锐 Stanley	9
图表 5：激光雷达	9
图表 6：激光雷达 3D 点云	9
图表 7：车载摄像头成像	9
图表 8：自动驾驶解决方案面临的约束条件	10
图表 9：激光雷达原理	10
图表 10：激光雷达效果	10
图表 11：激光雷达优缺点	11
图表 12：Velodyne 64 线机械式激光雷达	11

图表 13: 谷歌 Waymo 使用机械式激光雷达的测试车	11
图表 14: MEMS 激光雷达原理	12
图表 15: MEMS 激光雷达原理	12
图表 16: OPA 激光雷达原理	12
图表 17: 激光雷达对人眼影响	13
图表 18: 激光雷达波长分析	13
图表 19: 固态激光雷达技术路线分析	13
图表 20: Velodyne 激光雷达	14
图表 21: Quanergy 激光雷达	14
图表 22: Quanergy 软件解决方案	14
图表 23: Quanergy 激光雷达技术路线	15
图表 24: 全球主要车载激光雷达产商	15
图表 25: Velodyne 产品信息	16
图表 26: Velodyne 产品出货量	16
图表 27: 此处录入标题	16
图表 28: Quanergy 融资信息	17
图表 29: Quanergy 激光雷达芯片	17
图表 30: Quanergy 激光雷达生产线	17
图表 31: Quanergy 产能产量	18
图表 32: IBEO 与法雷奥合作 4 线激光雷达 Scala	18
图表 33: Scala 技术参数	18
图表 34: 国内主要激光雷达产品信息	19
图表 35: 巨星科技激光雷达	19
图表 36: 巨星科技激光雷达效果	19
图表 37: 速腾聚创激光雷达	20
图表 38: 速腾聚创激光雷达效果	20
图表 39: 速腾聚创 P3 解决方案	20
图表 40: 禾赛科技 Pandora 传感器集成	20
图表 41: Pandora 集合点云+图像效果	20
图表 42: 镭神智能激光雷达 C16	21
图表 43: 镭神智能激光雷达效果	21
图表 44: 毫米波雷达车载应用	22
图表 45: 毫米波雷达	22
图表 46: 毫米波雷达	22
图表 47: 毫米波雷达优缺点	22
图表 48: 电磁波谱图	23
图表 49: FMCW 调制毫米波雷达原理	23
图表 50: 雷达测速原理	24
图表 51: 阵列天线原理	24

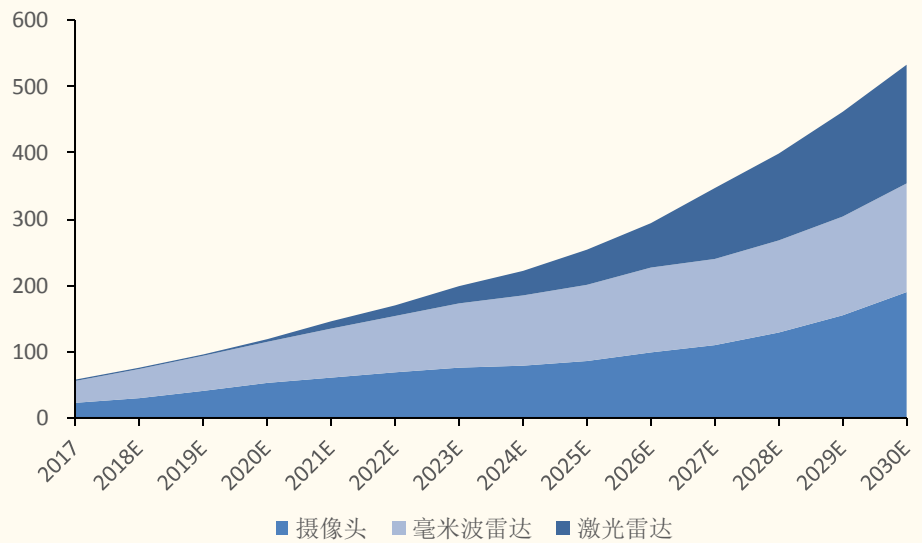
图表 52: 毫米波雷达 ADAS 应用	24
图表 53: 全球主要车载毫米波雷达厂商.....	25
图表 54: 2016 年全球毫米波雷达供应商市场份额.....	25
图表 55: 国内配备 ADAS 功能车型.....	25
图表 56: 行易道毫米波雷达参数.....	26
图表 57: 承泰科技毫米波雷达应用.....	27
图表 58: 承泰科技毫米波雷达.....	27
图表 59: 豪米波产品基本信息.....	27
图表 60: 豪米波产品基本信息.....	27
图表 61: 77、79GHz 雷达区别	27
图表 62: 纳雷科技产品基本信息.....	28
图表 63: 纳雷科技 CAR150.....	28
图表 64: 大陆 ARS408.....	28
图表 65: 摄像头优缺点.....	29
图表 66: 全球主要车载摄像头厂商.....	29
图表 67: 车载摄像头产业链.....	30
图表 68: 2016 年传感器 CMOS 市占率.....	30
图表 69: 舜宇光学车载镜头出货量增长率.....	31
图表 70: 2018 年舜宇光学车载镜头出货量.....	31
图表 71: 欧菲科技智能汽车业务收入.....	31
图表 72: 特斯拉 Autopilot Vs. 奥迪 A8 AI Vs. 通用 Cruise AV.....	32
图表 73: 特斯拉 Autopilot 功能	33
图表 74: 奥迪 A8 自动驾驶传感器系统.....	33
图表 75: 奥迪 A8 中央自动驾驶控制器 zFAS	33
图表 76: 通用 Cruise AV 传感器配置.....	34
图表 77: 代表车型 ADAS 传感器方案	34
图表 78: 新势力车企和主要车型自动驾驶方案.....	35
图表 79: 蔚来汽车 ES8.....	36
图表 80: 拜腾量产型车 Concept.....	36
图表 81: 拜腾自动驾驶概念车 K-Byte.....	36
图表 82: 小鹏汽车 G3 自动泊车功能.....	37
图表 83: 奇点汽车 IS6.....	37
图表 84: 零跑汽车 S01.....	38
图表 85: 小康汽车 SF5.....	38
图表 86: 车企和造车新势力智能驾驶方案对比.....	39
图表 87: 预估量产自动驾驶方案传感器成本 单位: 美元.....	40
图表 88: Waymo 与克莱斯勒合作车辆及其硬件系统.....	41
图表 89: Apollo 发展历程.....	41
图表 90: 百度 Apollo 平台技术框架.....	42

图表 91: Apollo 2.0 架构.....	42
图表 92: 自动驾驶传感器相关公司.....	43

一、总论：自动驾驶多传感器融合的发展趋势

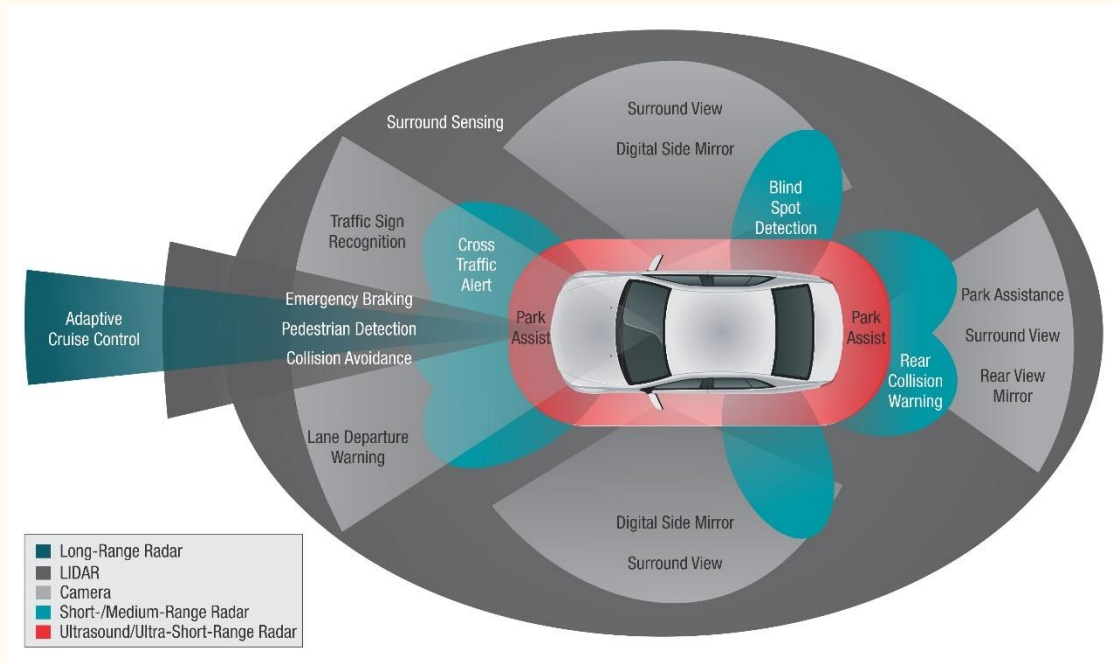
- 目前随着 ADAS 功能模块渗透率不断提升，短期内传感器市场的需求将主要被摄像头和毫米波雷达所驱动；而 L3 级别自动驾驶的奥迪 A8 量产给了整个汽车行业一剂强心剂，自动驾驶的进程比想象中的要早，各个传感器以及控制系统都在迅速迭代中；2020 年前后，L4 级别自动驾驶量产上路，激光雷达的市场将会迅速扩大。
- 由于各个主要传感器特性使然，单一类型传感器无法胜任 L4/L5 完全自动驾驶的复杂情况与安全冗余，多传感器搭配融合的方案将是必然，2030 年全球车载传感器市场将会超过 500 亿美元。

图表 1：全球自动驾驶车载传感器市场规模（亿美元）



来源：国际汽车制造商协会，国金证券研究所

图表 2：自动驾驶多传感器融合



来源：德州仪器，国金证券研究所

- **激光雷达：3D 环境建模使其成为核心传感器，但恶劣天气下性能下降、且无法识别图像及颜色是其短板。**
 - 在自动驾驶不断进化的过程中，凭借独有的 3D 环境建模，激光雷达已经成为自动驾驶多传感器融合最核心的部分；在 L3 及以上自动驾驶传感器解决方案中，激光雷达至少需要 1 个。
 - 从机械旋转式过渡到混合固态再到纯固态激光雷达，随着量产规模扩大、技术迭代提升，成本不断快速降低，激光雷达也在向小型化、低功耗、ASIC 集成化发展，同时也与各大汽车零部件一级供应商绑定为车厂开发。
 - 2020-2022 年以前的 L3 级别自动驾驶车量产可能会以 MEMS 激光雷达为主，因为它成本较低，微振镜技术较成熟，可以较短时间内进行低成本的量产；2022 年后 L4 或以上级别自动驾驶车量产的阶段，预计 OPA 的旁瓣效应或 3D Flash 的人眼保护问题将得到较大程度的解决，届时可能会替代 MEMS 成为真正无任何移动部件的固态激光雷达。
 - 目前激光雷达 2017 年全球车用仅为千台量级，而且技术路线上尚未有定论，国外厂商陆续在与汽车零部件一级供应商绑定合作开发，如 Quanergy 和德尔福、Ibeo 和采埃孚及法雷奥、Leddar Tech 及 TetraVue 和博世、Innoviz 和德尔福及麦格纳、英飞凌收购 innoLuce，国内激光雷达厂商也在积极的与一级供应商及整车厂寻求合作，如果有能力尽早稳定量产，配合国家自动驾驶相关政策的落地节奏，有机会成为车用激光雷达的主流供应商之一。
- **毫米波雷达：全天候工作使其不可或缺，但分辨率低，同样难以成像。**
 - 相比于激光雷达，毫米波雷达技术已经非常成熟，从上世纪 90 年代开始应用于自适应巡航，2012 年英飞凌推出 24GHz 单片雷达方案，陆续拓展到 ADAS 的各个功能模块，是现阶段的主力传感器，全球出货量早已超过千万级。
 - 毫米波雷达凭借其可穿透尘雾、雨雪、不受恶劣天气影响的绝对优势，且唯一能够全天候全天时工作的能力，成为了自动驾驶不可或缺的主力传感器；在 L3 级别中长距离毫米波雷达至少需要 4-5 个，L4/L5 级别再加上侧向需求，毫米波雷达甚至需要 8 个以上。
 - 全球市场仍然是博世、大陆、德尔福等 Tier 1 把持，但随着 ADAS 渗透率不断提升，自主品牌车厂逐渐应用装车各个 ADAS 模块，国内毫米波厂商，如华域汽车、德赛西威等，在完善产品、搭建体系、稳定量产的过程中有机会切下一份蛋糕。
- **摄像头：自动驾驶的眼睛识别标识、物体，但无法点阵建模、远距测距。**
 - 摄像头技术最为成熟，车载应用起步最早，在 ADAS 阶段作为绝对主流的视觉传感器，根据功能不同需要 4 个到 8 个摄像头，应用在车道监测、盲点监测、障碍物监测、交通标志识别、行人识别、疲劳驾驶监测、倒车影像、360 全景影像等等。
 - 进入自动驾驶时代，由于摄像头独有的视觉影像识别功能，能够模拟人类视野，利用多个摄像头合成周围环境，还能识别颜色和字体，进而能够识别交通标志、行人、物体等，是名副其实的自动驾驶的眼睛；并且，还可以作为其他传感器失效的冗余系统，增加自动驾驶系统的安全性；根据多传感器系统的融合，摄像头需要至少 6 个以上。
 - 摄像头属于较成熟的产业，目前产业内的龙头企业由于成本、技术和客户等优势，新进入者不容易获得竞争优势。传感器 CMOS 方面，日韩高科技企业垄断，索尼、三星两家市占率之和超过 50%；图像处理 DSP 方面，主要供应商为德州仪器 (TI)、Mobileye、华为海思等，其中德州仪器 (TI) 技术积累最深厚、市占率最高；镜头组方面，舜宇光学是龙头企业，市占率最高；模组方面，欧菲科技已经向车载领域延伸。

图表 3：各类传感器特点

性能	激光雷达	毫米波雷达	超声波雷达	摄像头	红外线
成本	目前很高	适中	很低	适中	适中
探测角度	15--360°	10--70°	120°	30°	30°
远距离探测	强	弱	弱	弱	一般
夜间环境	强	强	强	弱	强
全天候	弱	强	弱	弱	弱
不良天气环境	弱	强	一般	弱	弱
温度稳定性	强	强	弱	强	一般
车速测量能力	弱	强	一般	弱	一般
路标识别	X	X	X	√	X

来源：IEEE，国金证券研究所

二、激光雷达：核心传感器，固态趋势、降成本、小型化、集成化

- 在 2005 年美国国防高级研究计划局 DARPA 发起的第二届自动驾驶挑战赛中，安装了 5 部 SICK 单线激光雷达的大众途锐 Stanley 首次完成了比赛，激光雷达崭露头角。
- 在自动驾驶不断进化的过程中，凭借独有的 3D 环境建模，激光雷达已经成为自动驾驶多传感器融合最核心的部分；在 L3 及以上自动驾驶传感器解决方案中，激光雷达至少需要 1 个。
- 从机械旋转式过渡到混合固态再到纯固态激光雷达，随着量产规模扩大、技术迭代提升，成本不断快速降低，激光雷达也在向小型化、低功耗、ASIC 集成化发展，同时也与各大汽车零部件一级供应商绑定为车厂开发。

图表 4：大众途锐 Stanley



来源：Stanford，国金证券研究所

图表 5：激光雷达

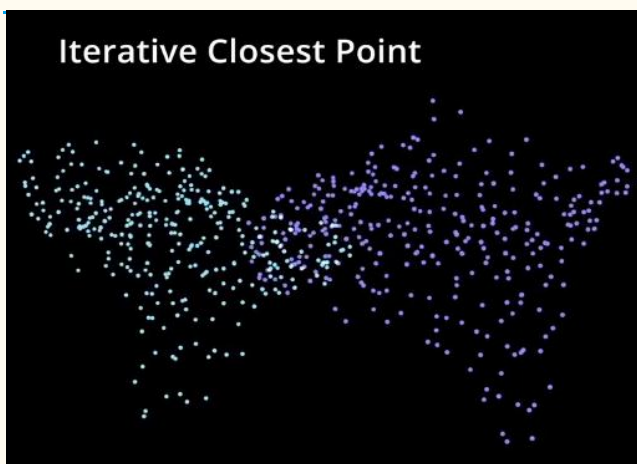


来源：Velodyne, Quanergy, 国金证券研究所

1.1 将是自动驾驶传感器的核心部分

- 首先，激光雷达提供生成环境的 3D 点云图像提供一系列的 (x,y,z) 坐标，与已有的高精度地图上的坐标进行对比，就可以很精确地做出车辆定位。同时在感知功能上，激光雷达点云图像比摄像头少了一步处理步骤（数字化），即摄像头图片需要进行数字化处理后才能由计算机进行判断物体类型等工作，而激光雷达生成的点云（实际是 TOF 数据）只需简单运算就可得到坐标数据，方便进一步的判断。

图表 6：激光雷达 3D 点云



来源：apollo&udacity，国金证券研究所

图表 7：车载摄像头成像



来源：百度，国金证券研究所

- 其次，激光雷达由于是自主发射光线并搜集反射信号，因此可以在夜间环境下工作，这是对于摄像头的极大优势。

图表 8：自动驾驶解决方案面临的约束条件

约束条件	举例	约束强度	条件分析
自然环境	雨雪雾霾、夜晚	最强	解决方案不能改变自然环境，在糟糕的天气条件下，激光雷达反射识别和摄像头图像识别的准确性会大打折扣。以此引申两个方案：1、仍以激光雷达为主，需要毫米波雷达、摄像头等多种传感器配合；2、摄像头+毫米波雷达为主，放弃激光雷达
信息、通信技术	网速、人工智能算力	较强	若采用以上方案 2，高清摄像头每秒产生大量图片，所需人工智能算力形成较大挑战。另外若配合高精度地图，数据量约为 1GB/公里，高速行驶对车联网网速要求高，5G 大规模商用前不一定能满足。特斯拉的车祸案例也表明摄像头+毫米波雷达的方案不够可靠。在网速和算力的较强约束下，基本能确定需要以激光雷达为主要传感器。但激光雷达的问题是成本较高，高线束激光雷达价格达数万美元一台
工业成本约束	激光雷达价格	较弱	机械式激光雷达目前的售价约数万美元，成本很高。固态式激光雷达据厂商披露目前成本可以达到数百美元，但由于目前数量很少，售价约数千美元。不过随着产量增长，成本可以大幅降低。Velodyne、Quanergy 等领先厂商认为 2020 年左右当产量达到十万台量级，售价仅为 250 美元左右

来源：国金证券研究所

■ 激光雷达的劣势主要有以下四点：

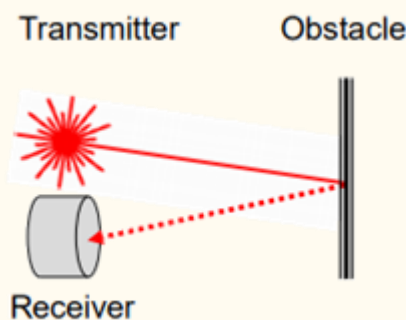
- 1) 当天气条件恶劣，如大雪大雾等，会对激光造成影响，使得准确性下降；
- 2) 激光雷达难以分辨交通标志的含义和红绿灯的颜色；
- 3) 激光雷达接收的是光信号，容易受太阳光、其他车辆的激光雷达等光线影响；
- 4) 目前激光雷达成本较高。前两点是激光雷达特性，较难改变，因此仍需毫米波雷达和摄像头等其他传感器融合使用。接收光线冲突的问题在技术上有解决办法。激光雷达成本较高的问题是暂时的，随着固态激光雷达技术成熟和产量提升，成本将降低到可承担的范围。

■ 综上，我们认为激光雷达将是未来自动驾驶最重要的传感器，而毫米波雷达、摄像头将是重要的补充。

1.2 激光雷达工作原理

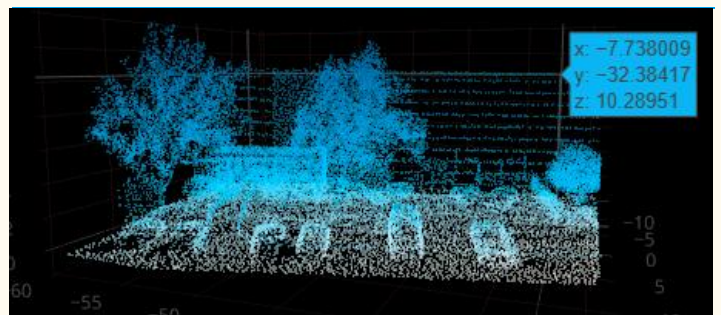
- 激光雷达 (LiDAR) 能释放多束激光，接收物体反射信号，计算目标与自身的距离。应用较多的是利用反射信号的折返时间计算距离 (Time of Flight)，也有连续波调频 (CFM) 方法。与雷达和摄像头相比，激光雷达可以通过多束激光高频发射获取的反射数据形成周边物体的高清 3D 的“点云”图像。

图表 9：激光雷达原理



来源：Quanergy，国金证券研究所

图表 10：激光雷达效果



来源：Velodyne，国金证券研究所

- 激光雷达主要优点是能对周边物体进行建模形成高清 3D 图像，以便计算机进行快速识别和决策。但在不良天气条件下精度将会下降，以及无法辨别物体属性。

图表 11: 激光雷达优缺点

优点	缺点
形成周边物体高清 3D 图像	雨雪、雾霾天气精度下降
数据量较小, 便于快速决策	无法辨认物体质地和颜色
探测距离较长, 最长达 300m	目前价格较昂贵

来源: 国金证券研究所

1.3 固态激光雷达技术路线

- 我们看到自动驾驶测试车车顶上较复杂的圆柱形装置, 即为机械式激光雷达。虽然目前测试车辆大多为机械式, 但是它们调试、装配工艺复杂, 生产周期长, 成本居高不下, 并且机械部件寿命不长 (约 1000-3000 小时), 难以满足苛刻的车规级要求 (至少 1 万小时以上), 因此激光雷达量产商都在着手开发性能更好、体积更小、集成化程度更高、并且成本更低的激光雷达, 由混合固态过渡到纯固态激光雷达是必然的技术发展路线。

图表 12: Velodyne 64 线机械式激光雷达



来源: Velodyne, 国金证券研究所

图表 13: 谷歌 Waymo 使用机械式激光雷达的测试车



来源: Waymo, 国金证券研究所

- 混合固态激光雷达在产品外形上不存在机械旋转的部件, 但内部实际存在小巧的机械旋转扫描系统, 作为到固态激光雷达的过渡阶段, 近几年量产的产品都属于混合固态激光雷达。如 Velodyne 的 VLP-32C、VLP-16、VLS-128、以及 PUCK 系列, 都属于混合固态激光雷达, 机械部件 360 度旋转, 可视角度 360 度; 而 IBEO、禾赛科技和 Innovusion 等的激光雷达, 其水平可视角度只在 100-120 度之间。
- 固态激光雷达由于不存在旋转的机械结构, 所有的激光探测水平和垂直视角都是通过电子方式实现的, 并且由于装配调试可以实现自动化, 能够量产大幅降低成本, 也提高了设备的耐用性, 固态激光雷达是必然的技术发展路线。不过固态激光雷达的技术路线尚未定型, 主要分为 MEMS、OPA 和 3D Flash 三类。

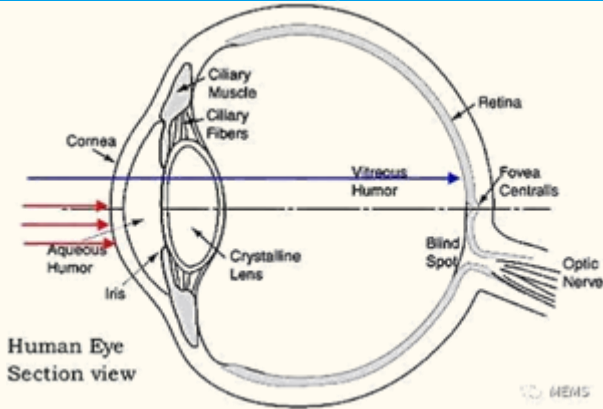
1.3.1 MEMS 激光雷达

- MEMS 激光雷达通过在硅基芯片上集成的 MEMS 微振镜来代替传统的机械式旋转装置, 由微振镜反射激光形成较广的扫描角度和较大的扫描范围。
- 其优点是 MEMS 微振镜相对成熟, 可以以较低的成本和较高的准确度实现固态激光扫描 (只有微小的微振镜振动), 并且可以针对需要重点识别的物体进行重点扫描, 落地快;

1.3.3 3D Flash 激光雷达

- 3D Flash 激光雷达以一次脉冲向全视野发射，利用飞行时间成像仪接收反射信号并成像，发射的激光波长是关键因素。如果使用 905nm，虽然成本较低，但功率受限，因此探测距离不够远。若使用 1550nm，在接收上需要更高成本的探测器，目前尚没有商用条件。也有一批厂商采用 Flash 技术路线，对成本和人眼保护的平衡形成了一定的解决方案。
- 典型企业和产品：LeddarTech 的 LCA3, Tetravue, Princeton Lightwave, Trilumina (VCSEL 阵列), Toyota 丰田, ESPROS 的 EPC660/635 系列面阵, Advanced Scientific Concepts(ASC), TI 的 OPT8241 等；

图表 17: 激光雷达对人眼影响



来源: MEMS, 国金证券研究所

图表 18: 激光雷达波长分析

激光波长	优点	缺点
905 nm	成本相对较低	比较接近可见光的波长，能够穿过人眼投射到视网膜（蓝色箭头），可能损坏视网膜上的光敏探测细胞，功率受到严格限制
1550 nm	不会投射到视网膜（红色箭头），对人眼安全，可以大幅提升功率	制造激光和探测器需要更多特殊材料，成本很高

来源: 国金证券研究所

1.4 短期 MEMS 方案较快落地，中长期 OPA 和 3D Flash 方案有望突破

图表 19: 固态激光雷达技术路线分析

技术路线	原理	优点	缺点
MEMS 微机电系统	通过在硅基芯片上集成的微振镜来代替传统的机械式旋转装置，由微振镜反射激光	MEMS 微振镜相对成熟，成本较低，较快落地，可以动态调整扫描模式，以此来聚焦特殊物体，采集更远更小物体的细节信息并对其进行识别	没有解决接收端问题，光路复杂，工作时高频振动，激光扫描受微振镜面积限制，实现车规级产品有困难
OPA 光学相控阵技术	相控阵发射器由若干发射接收单元组成一个矩形阵列，通过控制阵列中不同单元发射光线的相位差，可以达到调节射出波角度和方向的目的	不含旋转机械结构，降低成本，缩小体积，延长使用寿命；扫描速度快，扫描精度高，光束指向可控性好	OPA 存在“旁瓣效应”，即激光在最大功率方向以外会形成“旁瓣”，导致激光能量被分散；OPA 激光雷达的接收面大、信噪比较差
3D Flash 闪光	以一次脉冲向全视野发射，利用飞行时间成像仪接收反射信号并成像	全固态，没有移动部件；发射端方案较成熟，成本较低；容易通过车规级检验	采用单脉冲测量，单脉冲需要较高的能量，峰值功率能达到上百千瓦至兆瓦级别，需要搭载固体激光器，而固体激光器成本很高，且闪光能量可能伤害人眼安全，受严格限制

来源: 国金证券研究所

- 综合以上技术路线，我们认为 2020-2022 年以前的 L3 级别自动驾驶车量产可能会以 MEMS 激光雷达为主，因为它成本较低，微振镜技术较成熟，可以较短时间内进行低成本的量产。例如 Velodyne、Innoviz 等与车企或 Tier1 有合作的激光雷达公司目前都采用这个技术路线。
- 2022 年后 L4 或以上级别自动驾驶车量产的阶段，预计 OPA 的旁瓣效应或 3D Flash 的人眼保护问题将得到较大程度的解决，届时可能会替代 MEMS 成为真正无任何移动部件的固态激光雷达，因为 MEMS 毕竟存在一个振动部件，在寿命和工作稳定性上较难与其他技术路线 PK。但是具体

哪种技术路线会最终跑赢目前较难下结论，需要看不同技术路线代表性公司的研发进度。

- 此外，机械式激光雷达依然有其用武之地。机械式激光雷达精度较高，信息细节较丰富，对于自动驾驶出租公司或 Uber 等共享出行公司有特殊用途，如搜集路况、交通甚至路边的建筑等信息，有助于路线设计等需求。

1.5 发展趋势：小型化、软件化、ASIC 集成化

- 在激光雷达固态化的同时，产品的体积也随之越做越小，从初期测试阶段车顶一个硕大的机械旋转式激光雷达，逐渐发展到手机大小甚至可以隐藏在车身周边，取消掉机械部件，固态激光雷达能够比机械式体积小很多。

图表 20: Velodyne 激光雷达



来源: Velodyne, 国金证券研究所

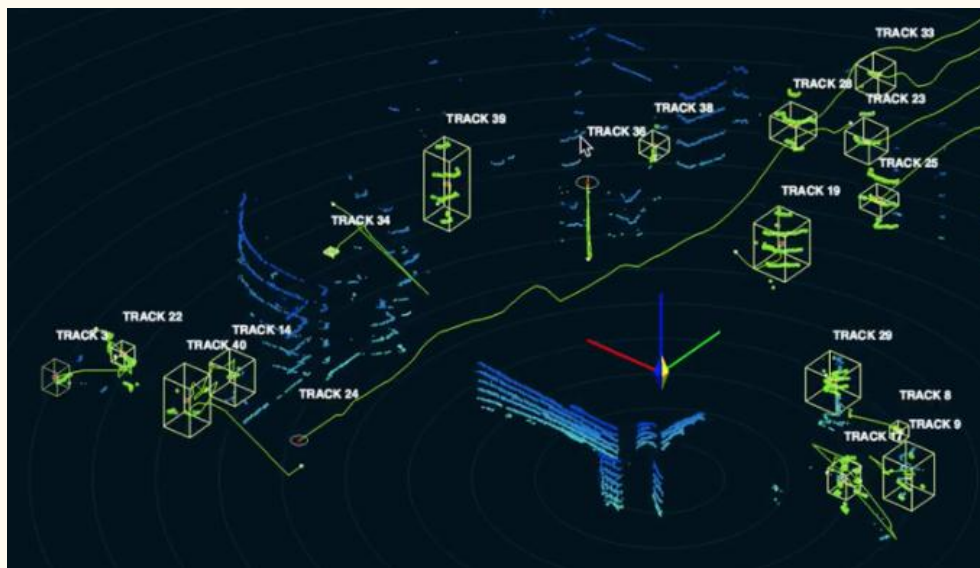
图表 21: Quanergy 激光雷达



来源: Quanergy, 国金证券研究所

- 另一方面，激光雷达厂商从之前单纯的卖硬件，逐步搭配软件算法，打包完整解决方案。

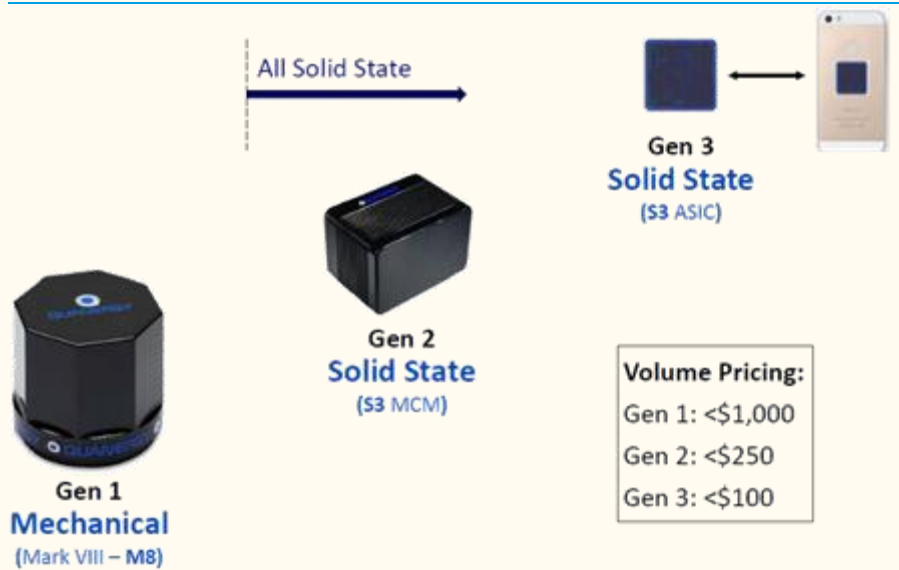
图表 22: Quanergy 软件解决方案



来源: Quanergy, 国金证券研究所

- 更进一步，激光雷达厂商在尝试 ASIC 集成化，将激光发射器、探测器、放大器等数百个电子元器件封装到 ASIC 专用芯片中，用单枚芯片实现整体控制，能够有效减少零部件、缩小体积、降低功耗、极大的缩减成本，目前 Velodyne、Quanergy、Leddartech、镭神、北科天绘等厂商都在朝这个方向尝试。

图表 23: Quanergy 激光雷达技术路线



来源: Quanergy, 国金证券研究所

1.6 供应商和 Tier 1 抱团, 国内企业技术量产同时发力

- 目前激光雷达 2017 年全球车用仅为千台量级, 而且技术路线上尚未有定论, 国外厂商陆续在与汽车零部件一级供应商绑定合作开发, 如 Quanergy 和德尔福、Ibeo 和采埃孚及法雷奥、Leddar Tech 及 TetraVue 和博世、Innoviz 和德尔福及麦格纳、英飞凌收购 innoLuce, 国内激光雷达厂商也在积极的与一级供应商及整车厂寻求合作, 如果有能力尽早形成稳定量产能力, 配合国家自动驾驶相关政策的落地节奏, 有机会成为车用激光雷达的主流供应商之一。

图表 24: 全球主要车载激光雷达厂商



来源: 国金证券研究所

1.6.1 Velodyne

- Velodyne 在车用激光雷达上处于领先地位, 公司 CEO 表示在车用市场公司市占率高于 80%, 谷歌在最早的自动驾驶原型车中使用的 LiDAR 就是该公司开发的。Velodyne 激光雷达产品线丰富, 包括 16 线束、32 线束、64 线束及 128 线束等产品。

图表 25: Velodyne 产品信息

产品名称	技术路线	线束数量	测量距离/米	生成点数/秒	水平/垂视角	官方售价	量产预计售价 (2020 年)
HDL-32E	机械	32	80-100	139 万	360°/+10°~-30°	\$ 40000	\$ 500-650
HDL-64E	机械	64	120	220 万	360°/26.9°	\$ 80000	
VLP-16 Puck	混合固态	16	100	220 万	360°/±15°	\$ 4000	
Puck Hi-Res	混合固态	16	100	60 万	360°/±10°		
VLP-32C Ultra Puck	混合固态	32	200	120 万	360°/+15°~-25°		≤ \$ 650
VLS-128	混合固态	128	300	960 万	360°/+15°~-25°		≤ \$ 1000
Velarray-32	固态	32	300	300 万	60°~120°/35°		≤ \$ 500

来源: 公司官网, 国金证券研究所

注: 产品技术路线、销售价格等部分信息未完全披露, 以官网产品说明书为准

- 在固态激光雷达产品的技术路线选择上, 公司采用“Similar MEMS”的技术, 没有旋转部件, 能够达到车规级要求。主要考虑的因素是目前 OPA 和 Flash LiDAR 较难同时满足分辨率和探测距离这两个关键要素。
- 价格方面, 过去自动驾驶测试车辆大多使用 Velodyne 的 64 线雷达 HDL-64E, 价格在 8 万美元左右, 供货周期还一度长达 6 个月, 主要原因是除自动驾驶外行业应用不需要高精度的激光雷达, 产能一时跟不上, 导致供货周期长。
- 2018 年初, Velodyne 宣布将 16 线激光雷达产品价格减半, 单价 \$4000, 降低了入门级自动驾驶或低速自动驾驶研发公司门槛。供货周期方面, 截止 2018 年初, 32 线及以下激光雷达缩短至 4 周以内, 64 线为 8 周以内。
- 产能产量方面, Velodyne 公布 2017 年 6 月在加州圣何塞的新工厂正式投入生产, 总占地 2 万平米, 采用了大量工业机器人, 最高产能可达到 100 万台/年。近几年的出货量如下:

图表 26: Velodyne 产品出货量

年份	型号	出货量
2015	所有型号	3000
2016	所有型号	5000
2017	HDL-32E	>1000
	VLP-16	10000

来源: Velodyne, 国金证券研究所

图表 27: 此处录入标题



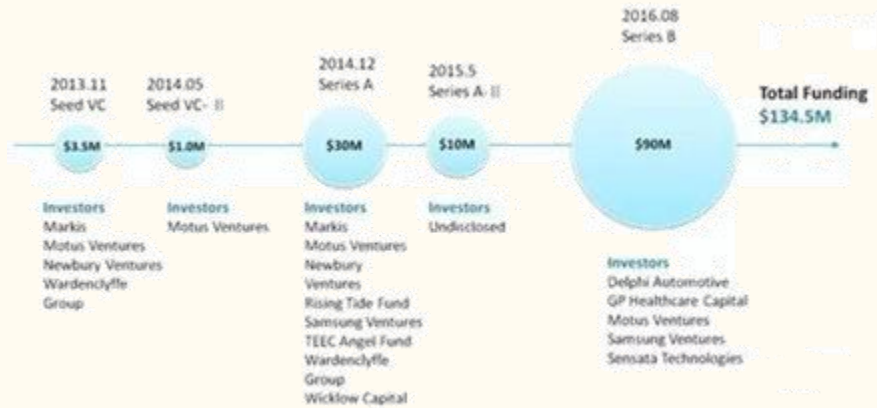
来源: Velodyne, 国金证券研究所

- 公司 2017 年在自动驾驶车辆上的激光雷达需求不到千台, 其余大量的需求主要在如下行业: 地图行业, 使用激光雷达制作高精地图; 保险公司使用激光雷达做灾害检测; 科研机构用激光雷达来监测泥石流等。

1.6.2 Quanergy

- Quanergy 是固态激光雷达的领先厂商，目前已有 M8 和 S3 两款全固态激光雷达。Quanergy 坚持 OPA（光学相控阵）的固态激光雷达技术路线，并且认为 MEMS 存在微振镜这个运动部件，不能算是真正意义上的“固态”。

图表 28: Quanergy 融资信息



来源: Quanergy, 国金证券研究所

- 价格方面，工业级客户产品需求与车规级差异较大，价格没有参考价值。车规级产品尚未有批量出货，2020 年产能到 10 万量级价格在 \$250 左右。
- 产能方面，2017 年年底总部产能可达百万台/年，根据客户订单情况预计 2018 年产量 20 万台，大部分为 S3 型号。此外，计划中的中国新工厂预计 2018 年投产，产能达到 1000 万台。总部和新工厂主要生产满足工业用户需求激光雷达，而与 Sensata 合作的常州工厂将于 2019 年 9 月起提供量产车规级激光雷达。

图表 29: Quanergy 激光雷达芯片



来源: Quanergy, 国金证券研究所

图表 30: Quanergy 激光雷达生产线



来源: Quanergy, 国金证券研究所

- 综合 Velodyne、Quanergy 两家的产能情况，激光雷达产能紧缺的时期已经过去，但车规级产品的产量提升还依靠汽车或 Tier1 厂商的需求。这中间存在“鸡与蛋”的关系，即若没有汽车厂商量产 L3 或以上车型，则车规级产品只有测试用途，产量不大，价格也会保持高位。如有量产 L3，激光雷达厂商可以较快地响应需求，价格也会随产量提升而快速回落。

图表 31: Quanergy 产能产量

工厂	产能产量	主要客户
Sunnyvale 总部	2017 年 11 月全自动生产线开工, 产能近 100 万台, 2018 年产量 20 万左右, 大部分是 S3 和 S3-Qi	工厂自动化、数据分析应用 (车辆计数、人员计数、零售分析等)
Sensata 常州工厂	Sensata 与公司合作的迭代版本 S3 live demo, 2019 年 9 月起量产	汽车行业、车规级的激光雷达
中国工厂	计划 2018 年投产, 设计产能 1000 万台, 主要生产 M8 和 S3-Qi	工业自动化领域客户及早期自动驾驶试验客户

来源: Quanergy, 国金证券研究所

1.6.3 IBEO

- 德国激光雷达公司 IBEO Automotive Systems GmbH 可以提供从激光雷达到包括软硬件的整套 ADAS 系统。全球首款 L3 级量产车奥迪 A8 的激光雷达使用的就是该公司与 Tier1 法雷奥合作开发的 4 线激光雷达 Scala。

图表 32: IBEO 与法雷奥合作 4 线激光雷达 Scala



来源: IBEO, 国金证券研究所

图表 33: Scala 技术参数

项目	参数
波长	905 nm
水平探测范围	145°
水平角分辨率	0.25°
垂直探测范围	3.2°
数据更新时间	40/80 ms
探测距离: 其他车辆	150 m
探测距离: 行人	50 m
单价: 奥迪大量订单	约 \$ 200
单价: 市场少量购买	约 \$ 15000

来源: IBEO, 国金证券研究所

- IBEO 的技术路线比较有特色, 产品线包括 4 线和 8 线的机械旋转式激光雷达。公司 CEO 认为, 多线数激光雷达对计算要求高, 面临散热、供电、车规和成本问题, 同时激光雷达应“聚焦”于重要目标, 而非全覆盖聚焦, 因此公司将不会开发多线数旋转式激光雷达, 而将未来技术目标设定为 3D 固态激光雷达。2016 年 8 月, 顶级 Tier1 采埃孚收购了 lbeo 40% 的股份, 目标主要是与公司合作研发新型固态激光雷达, 计划 2021 年完成车规量产。
- 此外, 公司在多传感器融合方面有较强的技术储备, 公司建立“由于遮挡等原因可能获取信息受限”的数学模型, 解决了多传感器融合中“信息分歧”和部分传感器失效的问题, 开发了一套多传感器融合算法。

国内公司

- 在 2018 年 CES 上有 16 家激光雷达公司参与，其中就有 4 家中国公司。它们的产品技术路线略有差异，相对比较成熟，都已有成品。主要产品信息如下：

图表 34：国内主要激光雷达产品信息

公司	产品型号	主要性能
巨星科技（欧镭激光）	Toucan 3D-16 线	
中海达		成功研制了适用于汽车辅助驾驶领域的 16 线及 32 线激光雷达传感器样品
速腾聚创	RS-LiDAR-32	32 线；测距：0.2-200m；垂直测角：+15°~-25°；最小 0.33°；水平角分辨率：0.09° 至 0.36°
北科天绘	R-Angle	最大测距 1200m；360° 大视场；
北醒光子	CE30	132° 水平视场、9° 垂直观场；无任何机械旋转部件；刷新率 20Hz
光珀智能	ULTRA-UBA2	70° 水平视场/40° 垂直观场；测距 150m；频率 30fps；功耗 10-20 瓦
禾赛科技		40 线激光雷达，在 20% 反射率条件下探测距离达 200m，最小垂直角分辨率达 0.33 度，等效 64 线。
镭神智能	C48	测距最远达 150m，精度±3 cm，扫描频率 5-20Hz，垂直角度-16°~+9°，水平 360°，角分辨率 0.09 度-0.36°，数据获取最快 96 万点/秒

来源：公司官网，国金证券研究所

1.6.4 巨星科技

- 公司旗下的杭州欧镭激光在第 50 届 CES 展上，首次面向海外企业推出了 Toucan 系列的 2D、3D-16 线激光雷达两款新品。
- Toucan 系列激光雷达产品，具有高稳定性，高环境适应性，高抗冲击能力，测距测角全同步采样，光电非接触式内部信号传输，高效智能功率控制非接触电能供应，核心部件采用全模块化设计等显著优点。

图表 35：巨星科技激光雷达



来源：巨星科技，国金证券研究所

图表 36：巨星科技激光雷达效果



来源：巨星科技，国金证券研究所

1.6.5 速腾聚创

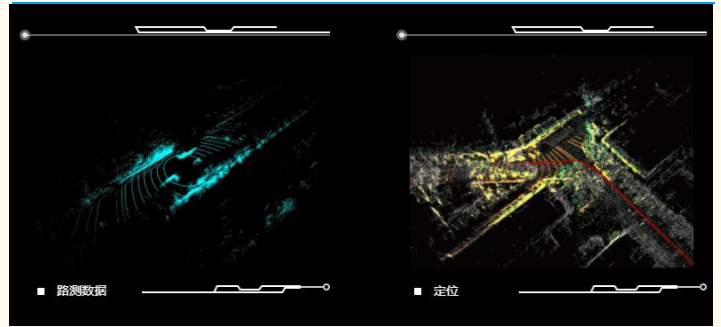
- 3 月 26 日 NVIDIA 主办的 GTC 2018 大会上，速腾聚创 P3 激光雷达感知方案亮相。该方案在车顶中央使用了一台 32 线激光雷达（RS-LiDAR-32）进行全方位的感知，左右两侧各安装一台有一定倾斜角的 16 线激光雷达（RS-LiDAR-16），负责扫除两侧的盲区，适应 L3 以上的自动驾驶，并已经历长时间的开放道路路测试验证，可满足大部分自动驾驶路况感知需求。

图表 37: 速腾聚创激光雷达



来源: 速腾聚创, 国金证券研究所

图表 38: 速腾聚创激光雷达效果



来源: 速腾聚创, 国金证券研究所

图表 39: 速腾聚创 P3 解决方案



来源: 速腾聚创, 国金证券研究所

1.6.6 禾赛科技

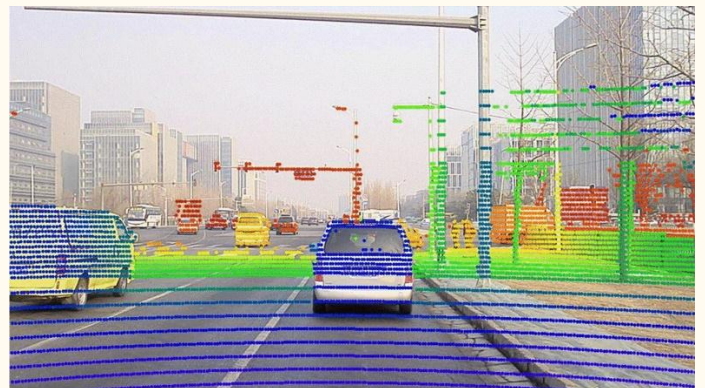
- 禾赛科技专注于开发激光传感器, 产品线包括无人驾驶和机器人激光雷达, 以及用于能源行业安全巡检的激光遥测系统等。
- 2017 年 12 月与百度联合发布多传感器融合解决方案 Pandora, 将自主研发激光雷达和 5 个摄像头融合一体, 在百度 Apollo 无人驾驶车上进行测试。使用该解决方案的用户无需进行多传感器的集成、标定等工序, 即插即用。其中激光雷达测距达 200 米, 角分辨率最小 0.33° 。

图表 40: 禾赛科技 Pandora 传感器集成



来源: 禾赛科技, 国金证券研究所

图表 41: Pandora 集合点云+图像效果

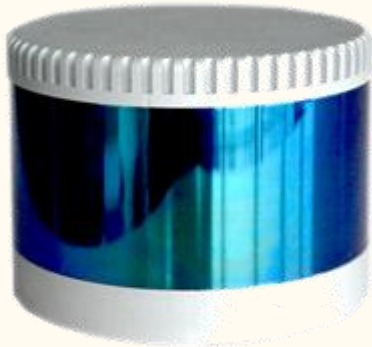


来源: 禾赛科技, 国金证券研究所

1.6.7 镭神智能

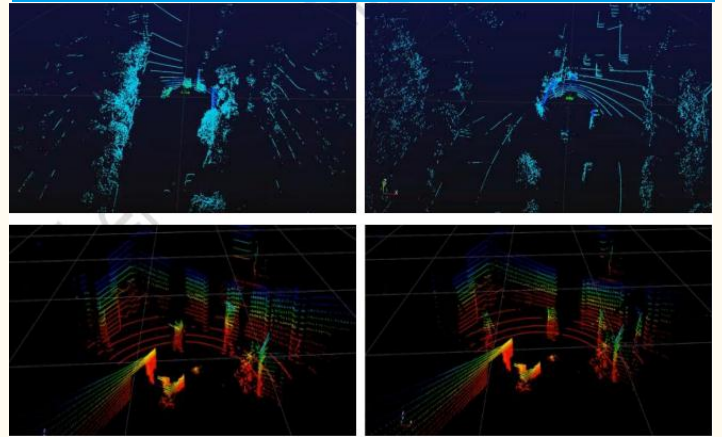
- 公司产品线丰富，拥有激光导航避障雷达、激光成像雷达、激光防撞雷达、激光定高雷达等系列产品及系统解决方案，广泛应用于机器人的自主导航定位与避障、汽车辅助驾驶及无人驾驶等领域。
- 在自动驾驶领域，公司自主研发的多线激光雷达已出产品样机。代表性的C16 镭神 16 线三维激光雷达售价在 2 万元，低于国外同类产品价格。该款产品水平、垂直扫描角度为 360° 和 $\pm 15^\circ$ ，水平、垂直分辨率分别为 0.09° - 0.36° 和 2° 。

图表 42：镭神智能激光雷达 C16



来源：镭神智能，国金证券研究所

图表 43：镭神智能激光雷达效果

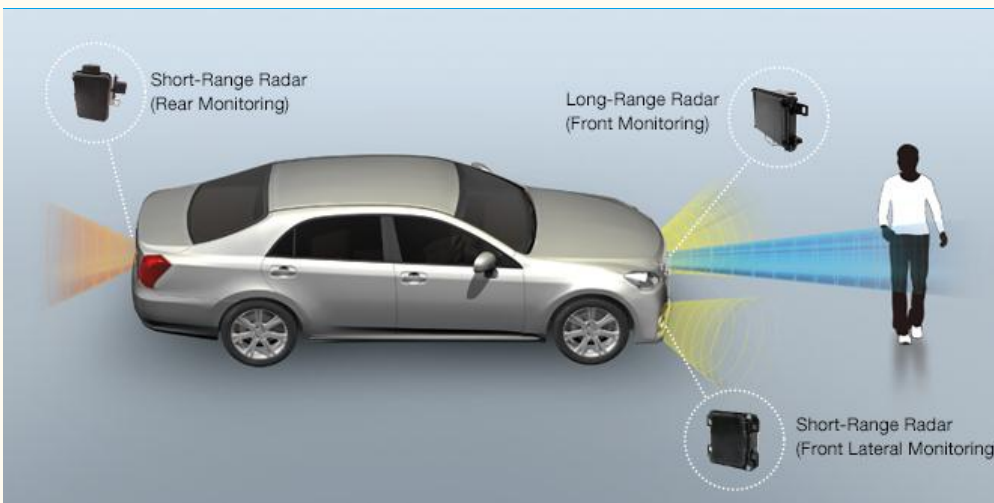


来源：镭神智能，国金证券研究所

二、毫米波雷达：全天候服务、不可或缺

- 相比于激光雷达，毫米波雷达技术已经非常成熟，从上世纪 90 年代开始应用于自适应巡航，2012 年英飞凌推出 24GHz 单片雷达方案，陆续拓展到 ADAS 的各个功能模块，是现阶段的主力传感器，全球出货量早已超过千万级。
- 毫米波雷达凭借其可穿透尘雾、雨雪、不受恶劣天气影响的绝对优势，且唯一能够全天候全天时工作的能力，成为了自动驾驶不可或缺的主力传感器；在 L3 级别中远距离毫米波雷达至少需要 4-5 个，L4/L5 级别再加上侧向需求，毫米波雷达甚至需要 8 个以上。
- 全球市场仍然是博世、大陆、德尔福等 Tier 1 把持，但随着 ADAS 渗透率不断提升，自主品牌车厂逐渐应用装车各个 ADAS 模块，国内毫米波厂商在完善产品、搭建体系、稳定量产的过程中有机会切下一份蛋糕。

图表 44：毫米波雷达车载应用



来源：Denso Ten，国金证券研究所

图表 45：毫米波雷达



来源：BOSCH，国金证券研究所

2.1 自动驾驶传感器不可或缺的一部分

- 毫米波雷达的优势在全天候工作，即不良天气、夜晚等环境下可以发挥作用，而激光雷达会受雨雪雾霾的影响；并且毫米波雷达测距远，200 米以上都轻易胜任，而激光雷达一般主流的在 150 米以内。
- 缺点是分辨率低、较难成像，无法识别图像。

图表 46：毫米波雷达

类别	24GHz	77GHz	79GHz
效果	无法形成点云成像		接近激光雷达的效果，产生点云
分辨率	约 1 米	约几十厘米	前后分辨率最少间隔 10cm 的两个物体，水平最小分辨距离也为 10cm 左右

来源：国金证券研究所

图表 47：毫米波雷达优缺点

优点	缺点
测距远(200m 以上)	分辨率较低，难以成像
不良天气下表现良好	角分辨率较低
价格适中	

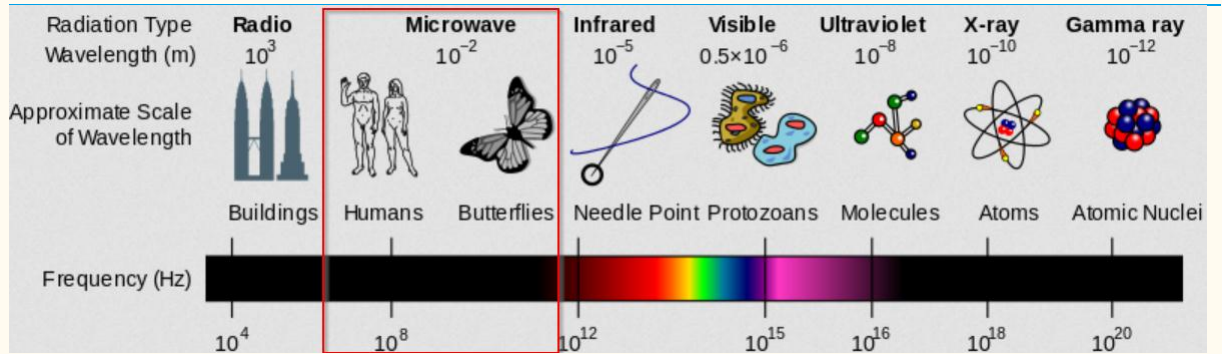
来源：国金证券研究所

- 由于毫米波雷达技术相对成熟，成本较低，并且在不良天气下表现良好，因此将成为感知设备中重要的一环。但由于其分辨率较低，因此不能作为激光雷达的替代品，而是激光雷达的重要补充设备。

2.2 毫米波雷达工作原理

- 毫米波雷达发出和接收的实质上是电磁波，毫米波的频段比较特殊，高于无线电，低于可见光和红外线，频率范围在 10GHz~200GHz 之间，属于微波的范畴，波长在 1mm~1cm 之间，毫米波的这个频段和波长范围及特性适合车载雷达的应用。
- 这个频段里很多频率区域的电磁波在空气里传播很容易被水分子、氧气吸收，所以可用的就是几个典型的频段，开放给民用的有 24、60、77、120GHz，24GHz 是车载领域应用的最早的，现在 77GHz 特地划分给了汽车防撞雷达。

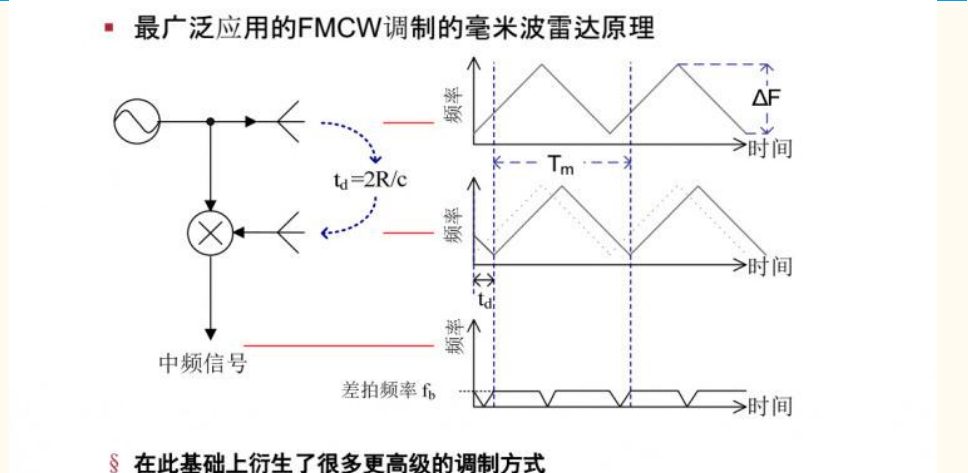
图表 48：电磁波谱图



来源：Wikipedia, 国金证券研究所

- 毫米波雷达通过发射电磁波并通过检测回波来探测目标的有无、距离、速度和方位。由于毫米波雷达发射出去的电磁波是一个锥状的波束，造成了本身的优缺点，优点，可靠，因为反射面大，缺点，就是分辨力不高。
- 与激光雷达相比毫米波雷达会有很多测量短距离的场景，如侧向警示、倒车警示等，因此主要以 FMCW 调制方法来测距。主要原理是，通过振荡器形成持续变化的信号，而发出信号和接收信号之间形成频率差，其差值与发射-接收时间差成线性关系，只要通过频率差就能计算车辆与物体距离。

图表 49：FMCW 调制毫米波雷达原理



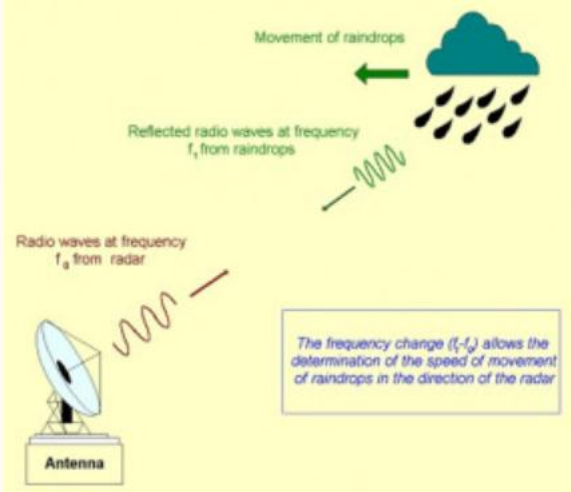
来源：智波科技, 国金证券研究所

- 毫米波雷达测速和普通雷达一样，有两种方式：一个基于多普勒原理，当发射的电磁波和被探测目标有相对移动、回波的频率会和发射波的频率不同，通过检测这个频率差可以测得目标相对于雷达的移动速度。但是这种

方法无法探测切向速度；第二种方法就是通过跟踪位置，进行微分得到速度。

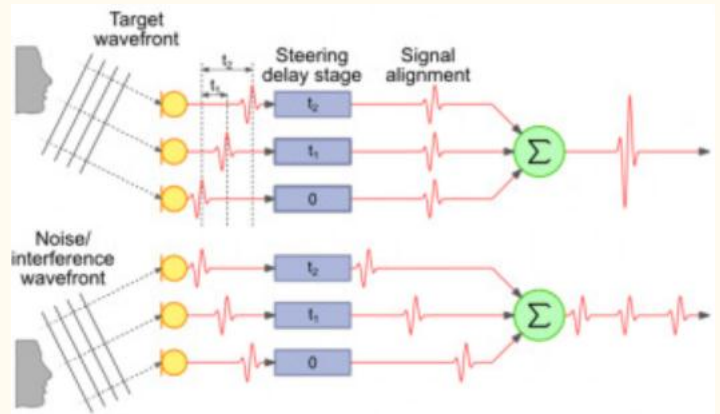
- 毫米波雷达对方位的探测，原理就是使用较窄的波束，因为目标出现在大范围波束中无法精确判断方位，手段就是利用毫米波雷达波长短的特性，大量使用阵列天线来构成窄波束，车载雷达在 $3\sim 5^\circ$ ，有效提高了方位精度。

图表 50：雷达测速原理



来源：Aerotenna，国金证券研究所

图表 51：阵列天线原理

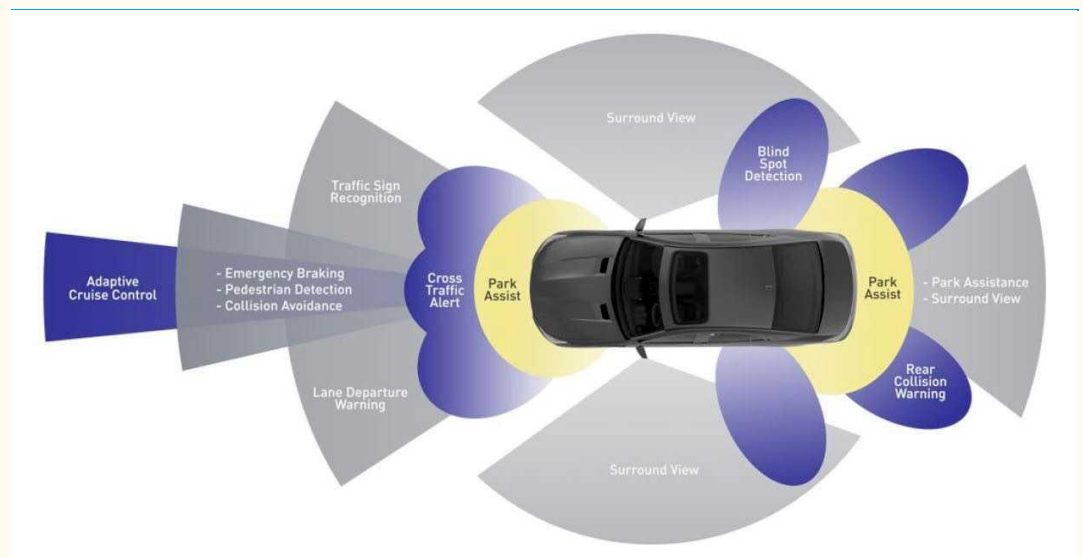


来源：Aerotenna，国金证券研究所

2.3 毫米波雷达应用

- 毫米波雷达在 ADAS 上应用大致分为前向雷达和后向雷达，前向包含自适应巡航 ACC、自动紧急制动 AEB、前方碰撞预警 FCW、主动车道控制 ALC、行人检测系统 PDS，后向包含盲点监测 BSD、变道辅助 LCA、后方碰撞预警 RCW、开门报警 DOW、倒车碰撞预警 RCW 等等

图表 52：毫米波雷达 ADAS 应用



来源：EDN，国金证券研究所

2.4 市场格局及本土化优势

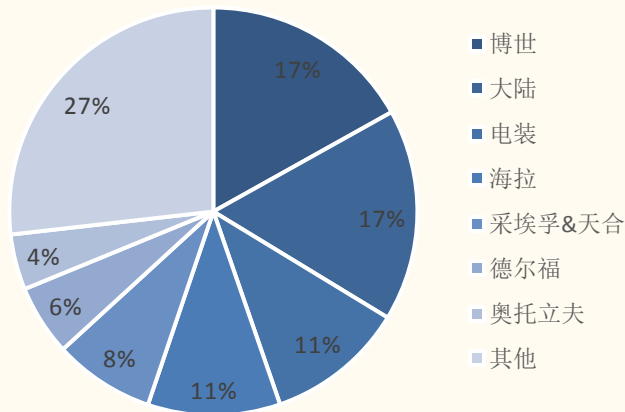
- 毫米波雷达目前基本为国外一级供应商厂商垄断，这部分市场 Tier1 与主流车厂绑定较紧密，例如大陆、博世、海拉、德尔福、奥托立夫等，核心元器件也主要被英飞凌、德州仪器、意法半导体、亚德诺半导体等垄断。

图表 53：全球主要车载毫米波雷达厂商



来源：国金证券研究所

图表 54：2016 年全球毫米波雷达供应商市场份额



来源：中商情报网，国金证券研究所

- 而随着国内自主品牌车厂开始陆续推出 ADAS 车型，ADAS 国内渗透率提升，国内毫米波厂商在完善产品、搭建体系、稳定量产的过程中有机会切下一份蛋糕。像华域汽车这样的国内 Tier1，还有德赛西威这一类汽车电子起家的大供应商，都在布局发力毫米波雷达，另外还有一批初创企业，如行易道、苏州豪米波、深圳安智杰、深圳承泰、纳雷科技、南京隼眼、苏州安智、杭州智波等等。

图表 55：国内配备 ADAS 功能车型

品牌	车型	ADAS 毫米波雷达功能
上汽	名爵 iGS	自适应巡航、自动跟车
吉利	博瑞、博越	盲点监测、自动紧急制动
吉利	帝豪 GL	盲点监测、自适应巡航
比亚迪	唐	盲点监测、自适应巡航
奇瑞	瑞虎 7	盲点监测
长安	睿骋	盲点监测、自动紧急制动、自适应巡航、自动启停跟车

来源：汽车之家、国金证券研究所

国外毫米波雷达供应商

- 博世的毫米波雷达主要以 77GHz 为主，覆盖的面比较广，有长距（LRR）、中距（MRR）以及用于车后方的盲点雷达。博世的方案集成度高，直接能够输出的是对汽车执行层的控制信号，通常是与车企合作，定制开发多功能的模块。
- 大陆在毫米波雷达产品方面既有 24GHz，也有 77GHz，戴姆勒的 77GHz 毫米波雷达主要由其供应。
- 德尔福以 77GHz 毫米波雷达为主，采用较为传统的硬件方案，成本较高。
- 奥托立夫以 24GHz 盲点监测、变道辅助雷达为主，主要客户是戴姆勒奔驰，其车辆基本标配了变道辅助雷达。

国内毫米波雷达供应商

2.4.1 华域汽车

- 2017 年底国内首款自主研发、具有独立知识产权的 24GHz 后向毫米波雷达实现量产，前向、后向毫米波雷达通过冬季极寒工况试验，自动泊车系统完成车位扫描、路径规划、整车控制、路径跟随算法等开发。

2.4.2 德赛西威

- 已完成 24GHz 毫米波雷达样品开发，77GHz 毫米波雷达还在研发中。

2.4.3 行易道

- 公司国内最早推出 77GHz 雷达，近主流市场的 77GHz 中近程雷达 2017 年底量产，77GHz 远程雷达（用于重型卡车、大型巴士等，作用距离 200 米）将在 2018 年推出。此外，公司与意法半导体，中科院电子所微波成像国家重点实验室三方成立联合实验室，推动 79GHz 雷达 2019 年前进行产品化。

图表 56：行易道毫米波雷达参数

型号	LRR
刷新频率	20Hz
频段	77GHz
作用距离	3-200 m
速度范围	-70~40 m/s
方位角度范围	-8~8 degree
目标数量	32
应用	FCW、ACC、AEB

来源：行易道，国金证券研究所

2.4.4 承泰科技

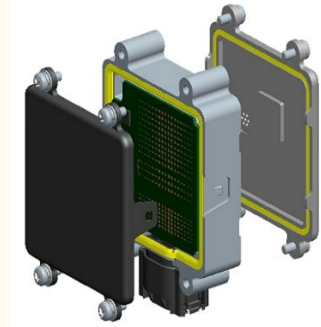
- 承泰科技成立于 2015 年 4 月，并立项研发 77GHz 汽车毫米波雷达，目前公司在研发 77GHz 汽车毫米波雷达上也取得突破，已在内部测试阶段，2017 年 9 月份推出外部测试。沈阳承泰的核心成员基本上来自于华为，团队曾成功研发 WLAN 综测仪，填补了国内 WLAN 综测仪的空白，成功突破国外仪表厂家对 Wi-Fi/BT 射频物理层信号综合测试技术构建的壁垒。

图表 57: 承泰科技毫米波雷达应用

型号	CTLRR-100
频段	77GHz
应用	自适应巡航控制系统(ACC): 提供精确的目标测量数据; 提供不间断的目标跟踪数据
	前向碰撞预警(FCW): 提供全天候前方目标信息; 提供满足预设距离要求的报警信息
	自动紧急制动(AEB): 自动识别逼近的危险目标; 小于安全距离时自动制动

来源: 承泰科技, 国金证券研究所

图表 58: 承泰科技毫米波雷达



来源: 承泰科技, 国金证券研究所

2.4.5 苏州豪米波

- 公司所生产的 24GHz 毫米波雷达系列产品, 性能及各项系数达到同行 77GHz 产品水平, 同时价格优势明显。24GHz 产品技术成熟、量产稳定, 目前公司产能达到 1 万套/月。

图表 59: 豪米波产品基本信息

工作频率	24GHz	通信接口	CAN/RS232
探测距离	1-150m	报警信号	报警指示灯+蜂鸣器
工作温度	-40°C-85°C	速度范围	-120-120km/h
距离精度	<±0.5m	响应时间	<50ms
角度精度	<±0.5°	发射功率	9dBm
速度精度	<±1km/h	防水等级	IP67

来源: 苏州豪米波, 国金证券研究所

图表 60: 豪米波产品基本信息

应用	远距离雷达 (ACC,AEB,FCW)		中距离雷达 (BSD)	
	国外知名厂商	豪米波	国外知名厂商	豪米波
主要参数				
频率	77GHz	24GHz	24GHz	24GHz
距离检测范围	1-170m	1-150m	76m	1-80m
水平视角	±10°	+/-10°	±64°	+/-70°
角度检测精度	±0.5°	±0.5°	±0.5°	±0.5°
距离分辨能力	2.5m	2.5m	3m	2.5m
成本		低 50%-70%		低 50%

来源: 苏州豪米波, 国金证券研究所

- 苏州豪米波计划在 2019 年对 79GHz 毫米波雷达进行量产, 价格会在 200 美金以内。目前博世称 2019 年会开始在欧美市场提供 79GHz 的产品, 虽然大陆、德尔福也在研发该频段的毫米波雷达, 但都未宣布供货时间, 而且在芯片获得时间上, 79GHz 和 77GHz 的芯片都要 2019 年才能大批量供货。公司认为, 与其在零部件巨头已经量产成熟产品的 77GHz 杀成红海, 不如在下一代毫米波雷达产品上抢占先机。

图表 61: 77、79GHz 雷达区别

项目	77GHz	79GHz
效果	分辨率不如 79GHz	接近激光雷达的效果, 产生点云
分辨率	分辨出前后最少间隔 1m 的两个物体	前后分辨率提升 10 倍, 可分辨最少间隔 10cm 的两个物体, 水平最小分辨距离同样减少到 10cm 左右

来源: 苏州豪米波, 国金证券研究所

2.4.6 纳雷科技

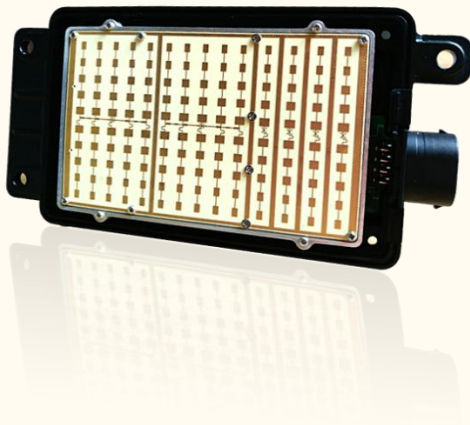
- 公司采取与 Tier 1 厂商大陆合作的方法进入 77GHz 毫米波雷达的竞争。

图表 62：纳雷科技产品基本信息

系统特性		
型号	CAR150	ARS408
发射频率	24 GHz	77 GHz
发射功率 (EIRP)	24 dBm	35.1 dBm
调制方式	LFMCW	FMCW
更新率	20 Hz	17 Hz
功耗@12V DC 25°C	6 W	6.6 W
通信接口	CAN	CAN
测距特性		
测距范围	0.75-150 m (卡车)	0.2-250 m (长距模式)
测距范围	0.75-100 m (乘用车)	0.2-70 m (短距模式@0...45°)
测距范围	0.75-60 m (行人)	0.2-20 m (短距模式@60°)
测距精度	±0.2 m	±0.40 (长距) / ±0.10 (短距) m
多目标检测特性		
同时检测目标	8 个	256 个
距离分辨率	0.75 m	1.79 (长距) / 0.39 (短距) m
天线特性		
波束宽度/TX	方位面 (-6dB) 31 deg	18 deg (长距)
		120 deg (短距)
	俯仰面 (-6dB) 13 deg	14 deg (长距)
		20 deg (短距)
其他特性		
工作电压 DC	9-16 V	8-32 V
防护等级	IP67	IP 6k 9k / IP6K7

来源：纳雷科技，国金证券研究所

图表 63：纳雷科技 CAR150



来源：纳雷科技，国金证券研究所

图表 64：大陆 ARS408



来源：大陆，国金证券研究所

三、车载摄像头：ADAS 主流传感器、自动驾驶的眼睛

- 摄像头技术最为成熟，车载应用起步最早，在 ADAS 阶段作为绝对主流的视觉传感器，根据功能不同需要 4 个到 8 个摄像头，应用在车道监测、盲点监测、障碍物监测、交通标志识别、行人识别、疲劳驾驶监测、倒车影像、360 全景影像等等。
- 进入自动驾驶时代，由于摄像头独有的视觉影像识别功能，能够模拟人类视野，利用多个摄像头合成周围环境，还能识别颜色和字体，进而能够识别交通标志、行人、物体等，是名副其实的自动驾驶的眼睛；并且，还可以作为其他传感器失效的冗余系统，增加自动驾驶系统的安全性；根据多传感器系统的融合，摄像头需要至少 6 个以上。

3.1 车载摄像头概述

- 车载摄像头是 ADAS 系统的主要视觉传感器，镜头采集图像，由内部感光组件电路及控制组件对图像进行处理并转化为数字信号，从而感知车辆周边的路况情况、实现图像影像识别功能。
- 车载摄像头包括单目摄像头、双目摄像头、广角摄像头等。ADAS 阶段单目摄像头应用较多，L3 以后，需要多个摄像头配合。
- 虽然摄像头分辨率高、功能齐全，但是它录入的是图像信息，数据量较大，较依赖图像识别，相比激光雷达的点云，对计算机的要求高很多，这也将提高整体成本。因此摄像头获取的图像信息将主要负责交通标志识别、物体性质和颜色识别等少数领域，作为激光雷达和毫米波雷达的补充。

图表 65：摄像头优缺点

优点	缺点
分辨率高于雷达和 LiDAR	天气不佳或夜间性能差
能探测物体的质地和颜色	测距性能差
价格较低	测远距离物体性能较差

来源：国金证券研究所

- 车载摄像头的发展方向是不断提升行人或物体的正确识别率，目前仅为 95%；在恶劣天气条件下，如雨雾或低角度阳光照射下增强摄像头的鲁棒性；加大摄像头的探测距离至 250 米，目前仅有 120 米范围。

3.2 摄像头产业链

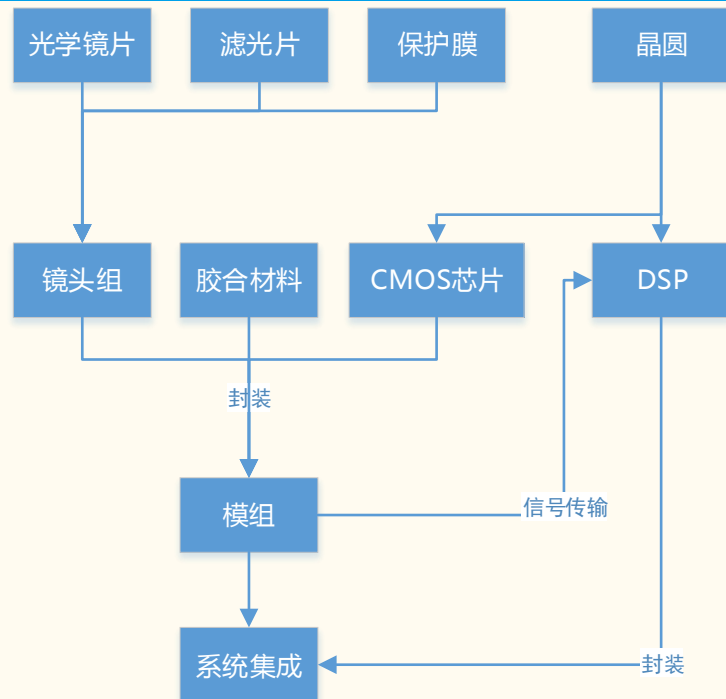
- 车载摄像头主要由镜片-镜头组；晶圆-CMOS 芯片；模组、DSP 和系统集成等构成。摄像头属于较成熟的产业，目前产业内的龙头企业由于成本、技术和客户等优势，新进入者不容易获得竞争优势。

图表 66：全球主要车载摄像头厂商



来源：国金证券研究所

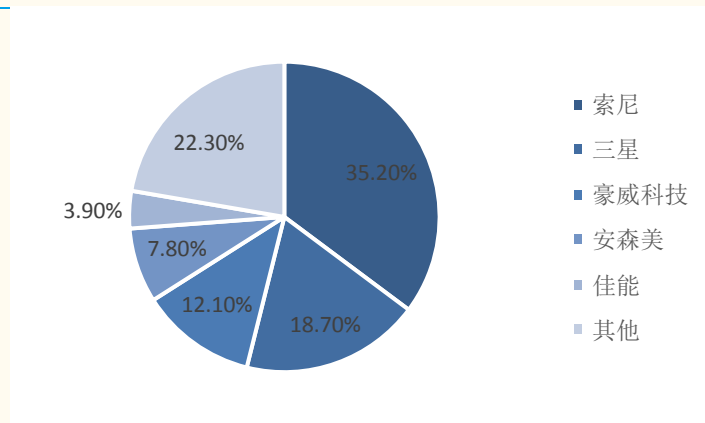
图表 67：车载摄像头产业链



来源：中国产业信息网，国金证券研究所

- 传感器 CMOS 方面，日韩高科技企业垄断，索尼、三星两家市占率之和超过 50%。

图表 68：2016 年传感器 CMOS 市占率



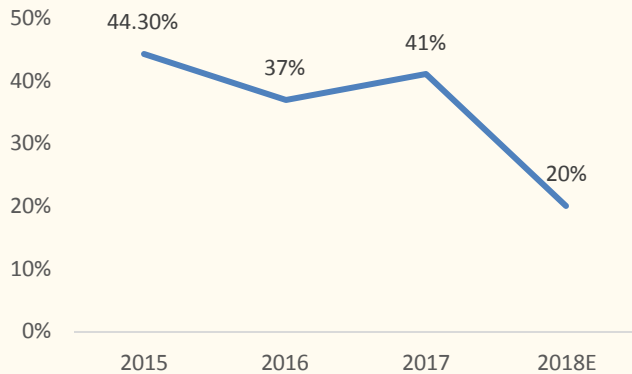
来源：中国产业信息网，国金证券研究所

- 图像处理器 DSP 方面，主要供应商为德州仪器（TI）、Mobileye、华为海思等，其中德州仪器（TI）技术积累最深厚、市占率最高。
- 镜头组方面，作为车载摄像头的核心原件，其品质由焦距、视场角、光圈、畸变、相对照度、分辨率等指标进行衡量，镜片加工、镜头组装的核心是精密加工、光学设计能力。舜宇光学市占率最高，占车载镜头组国内市场 50%以上。

3.2.1 舜宇光学科技

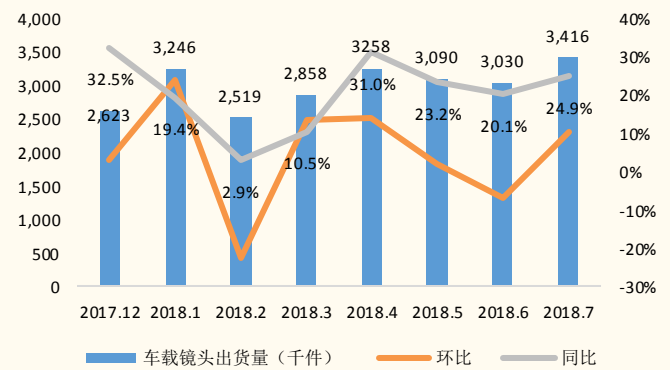
- 舜宇光学是车载镜头的龙头企业，2017 年出货量同比增长 41%，且连续数年增长率保持在 30% 以上。2017 年继续保持全球第一的行业领先地位，且市场份额进一步得到提升。
- 以今年前七个月的出货量看，至少将达到 20% 的同比增长率，将继续保持龙头地位和全球第一的市占率。
- 车载镜头已经成为大陆、德尔福、Mobileye、麦格纳、奥托立夫、松下和富士通的供应商。

图表 69：舜宇光学车载镜头出货量增长率



来源：舜宇光学公司年报，国金证券研究所

图表 70：2018 年舜宇光学车载镜头出货量



来源：舜宇光学公司公告，国金证券研究所

3.2.2 欧菲科技

- 2017 年，公司汽车电子业务实现营业收入 3.12 亿元，毛利率 23.96%；2018 年上半年汽车电子业务实现营收 2.07 亿元，同比增长 61.72%，以车载摄像头、360 环视系统和倒车影像系统等为代表的软硬件产品开始批量出货，产业布局初见成效。

图表 71：欧菲科技智能汽车业务收入

	2016	2017	2018H1
智能汽车业务收入 (亿元)	1.08	3.12	2.07
同比增长		188.89%	61.72%

来源：欧菲科技公司公告，国金证券研究所

四、主要车企和造车新势力多传感器解决方案

4.1 主要车企多传感器方案：积极布局、以最合理的方案量产装车为目标

- 从车厂来说，对待自动驾驶更慎重，大家都承认自动驾驶会是未来，但发展自动驾驶的前提是不能影响现阶段的产品开发与销售。

图表 72：特斯拉 Autopilot Vs. 奥迪 A8 AI Vs. 通用 Cruise AV

	特斯拉 Autopilot1.0	特斯拉 Autopilot2.0	奥迪 A8 AI	通用 Cruise AV
自动驾驶	L2	L2	L3	L4
发布时间	2014 年 10 月发布	2016 年 10 月发布，2017 年 1 月 OTA 推送	2015 年 CES 发布，2017 年 9 月德国上市	2018 年 1 月发布第四代原型车，预计 2019 年量产
中央控制器	nvidia Tegra 3/Mobileye EyeQ3	nvidia Drive PX2	TTTech zFAS	通用第四代自动驾驶软件
芯片	nvidia Tegra 3 Mobileye EyeQ3	2x Denver 4x Cortex A57 1x Parker GPU	nvidia Tegra K1 Infineon Aurix Altera Cyclon V Mobileye EyeQ3	未知
传感器	超声波雷达 12 个 毫米波雷达 1 个 前置摄像头 1 个 后置摄像头 1 个	超声波雷达 12 个 毫米波雷达 1 个 摄像头 8 个	四线激光雷达 1 个 超声波雷达 12 个 长距离毫米波雷达 1 个 中距离毫米波雷达 4 个 广角 360 度摄像头 4 个 前向摄像头 1 个 红外夜视摄像头 1 个	16 线激光雷达 5 个 79GHz 毫米波雷达 12 个 前向长距离毫米波雷达 2 个 后向长距离毫米波雷达 2 个 高分辨率毫米波雷达 5 个 双目摄像头 1 个 环视摄像头 8 个 车内摄像头 1 个 车外摄像头 5 个
应用场景	高速公路和行车缓慢的环境	高速公路（支持驶入驶出）和更拥堵更复杂的路段	高速公路和开放道路双向高速车道上的行驶速度低于 60 公里/小时拥堵路况	除了复杂地形或天气恶劣的情况
基本功能	主动巡航 辅助转向 自动变道 自动泊车	根据交通状况调整车速 保持在车道内行驶 自动变换车道 从一条高速公路切换到另一条 在接近目的地时驶出高速	系统接管车辆的驾驶操作，管控车辆的启动、加速、转向及制动	系统接管车辆的驾驶操作，管控车辆的启动、加速、转向及制动

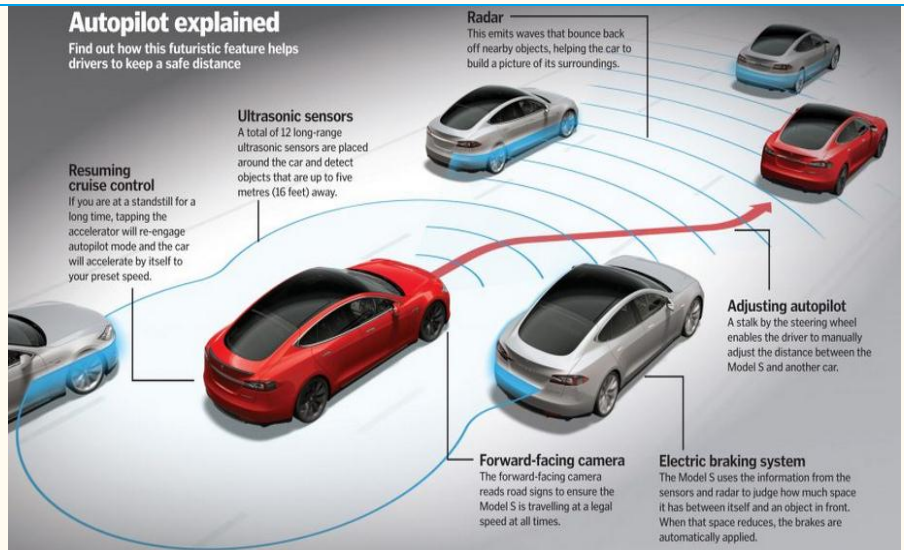
来源：特斯拉，奥迪，通用，国金证券研究所

4.1.1 L2 级方案：特斯拉 Autopilot

特斯拉的方案类似于互联网公司及消费类产品的迭代方式，每一台特斯拉都会配置当时最新的硬件，然后通过 OTA 不断更新固件，获得更完善的驾驶辅助或自动驾驶功能。庞大的用户群可以源源不断地供给真实路况的驾驶数据，帮助 Autopilot 训练和迭代算法。目前 Autopilot 已经推出 1.0 和 2.0 版本。

Autopilot 相当于 L2 级别的自动驾驶，能够根据交通状况调整车速；保持在车道内行驶；自动变换车道而无需驾驶员介入；从一条高速公路切换至另一条；在接近目的地时驶出高速；在接近停车场时自动泊车。

图表 73: 特斯拉 Autopilot 功能

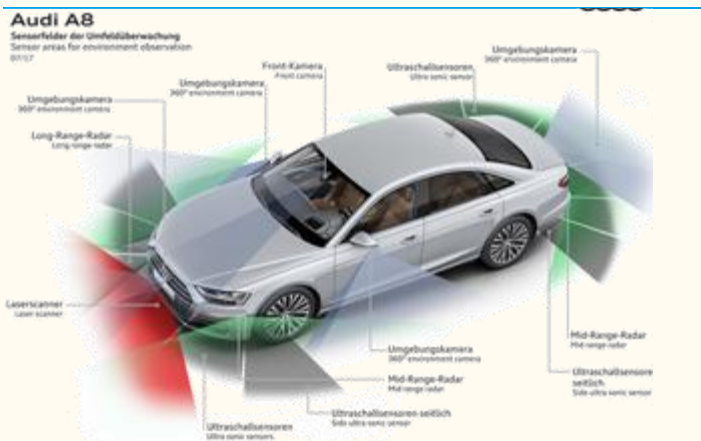


来源：特斯拉，国金证券研究所

4.1.2 L3 级方案：奥迪 A8 AI

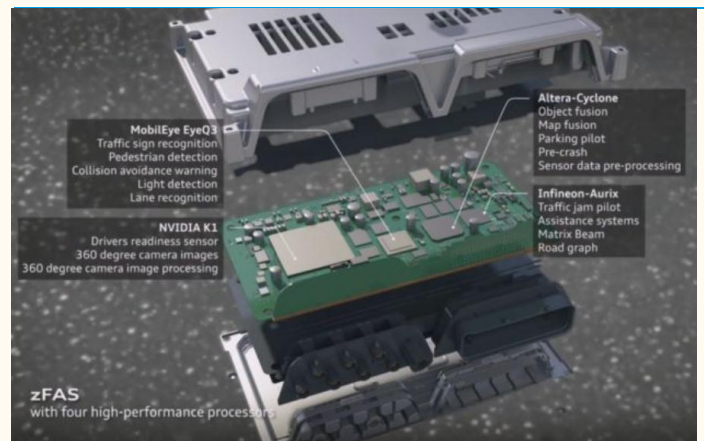
- 是市场上第一款具备 L3 级别自动驾驶能力的量产车，在某些特定情况下，如在停车和驶离、时速 60 公里以下行驶或交通拥堵时，该系统将接管奥迪 A8 的驾驶操控，而驾驶员则无需持续监控车辆的驾驶与运行。
- 整个自动驾驶系统由安全电脑、仪表盘、NMI 用户交互导航系统、电子刹车助力 Brake Boost、电子稳定系统 ESC、电子转向控制 EPS、发动机控制单元、变速箱控制单元、车身电脑、后轮转向系统、网关 Gateway、电子悬挂控制平台 EEP 和中央自动驾驶控制器 zFAS 组成。

图表 74: 奥迪 A8 自动驾驶传感器系统



来源：奥迪，国金证券研究所

图表 75: 奥迪 A8 中央自动驾驶控制器 zFAS



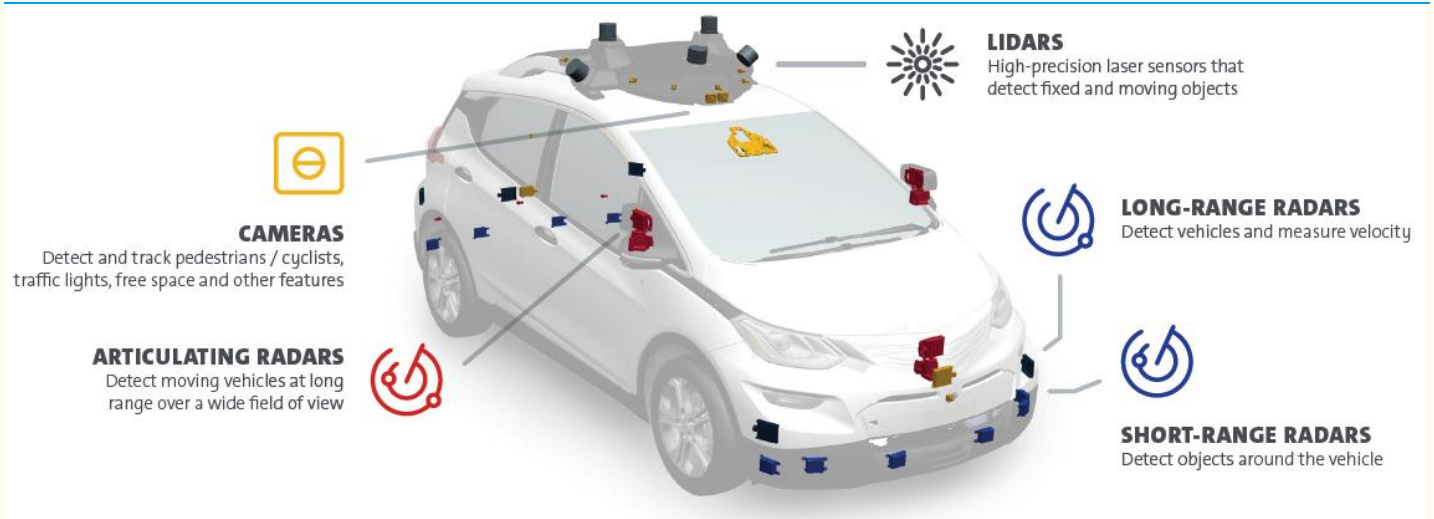
来源：奥迪，国金证券研究所

4.1.3 L4 级方案：通用 Cruise AV

- 2018 年 1 月 11 日，通用联合 Cruise Automation 对外公布了其第四代无人驾驶汽车概念原型，这款车称为 Cruise AV，由 Bolt EV 改装而来，里面没有方向盘、制动和油门踏板。通用希望在 2019 年，就能够将这款车型投入到它们的共享出行车队使用。
- 传感层配置包括 5 个激光雷达、21 个毫米波雷达和 16 个摄像头：
 - 5 个激光雷达：Velodyne 的 VLP16 16 线激光雷达；

- 21 个毫米波雷达：12 个 79GHz 毫米波雷达由日本 ALPS 提供，2 个前向 2 个后向长距离毫米波雷达推测由德国大陆提供，型号可能是 ARS-408；5 个高分辨率毫米波雷达由德国博世提供，主要是车两侧和正前方。
- 16 个摄像头：车顶 10 个，包括一个基线长大约 8 厘米的双目摄像头，8 个 360 度环视摄像头，摄像头周围均有红外 LED，可以在低照度甚至黑夜下工作。车内后视镜位置有一个非无人驾驶版 Bolt 的单目摄像头，车辆最前部位置有一个长距离单目摄像头。车外后视镜和车后部各两个摄像头。

图表 76：通用 Cruise AV 传感器配置



来源：通用 SELF-DRIVING SAFETY REPORT，国金证券研究所

4.1.4 其他代表车型智能驾驶方案

图表 77：代表车型 ADAS 传感器方案

车型	示意图	传感器图例	传感器	前视单目	环视鱼目	77GHz 毫米波雷达	24GHz 毫米波雷达	超声波探头
2018 款奔驰 GLC		前视单目： 	数量	1	4	1	1	12
			功能	LDW、LKS	AVS	ACC	AEB、FCW	APA
2018 款一汽 奔腾 SENIA R9		77GHz 毫米波雷达： 	数量	1	4	/	1	8
			功能	ACC、AEB、AHS、FCW、LDW、TSR	AVS	/	LCA、RCTA	前后泊车
2018 吉利博瑞 GE		24GHz 毫米波雷达： 	数量	1	4	1	/	12
			功能	ACC、AHS、LDW、LKA、PD、TSR	AVS	ACC、AEB、FCW	/	APA、LCA、前后泊车

来源：奔驰、一汽、吉利，国金证券研究所

- 不仅奔驰 GLC 等豪华车型配备了 ADAS 系统，如奔腾 SENIA R9 属于紧凑型 SUV，顶配版本仅 12.59 万元，同样配备了 ADAS 系统，而且功能还相当完备，不输于豪华车型。说明随着 ADAS 系统的普及，越来越多的车

型可以享受到技术带来的便利，同样说明车载摄像头、毫米波雷达等传感器将迎来高速增长阶段。

- 但是中国供应商目前尚未进入乘用车 ADAS 的供应商目录，以吉利博瑞 GE——一款国产 B 级车为例，该车 ADAS 系统摄像头使用的是博世 MPC2，77GHz 毫米波雷达是博世 MRR 中距雷达，尚未有国内供应商在列。其中，77GHz 毫米波雷达国内还几乎没有厂商能够量产，离进入整车厂供应商目录还有较长的距离。

4.2 造车新势力方案：ADAS 标配、扩展向自动驾驶进发

- 2018-2019 年是造车新势力首款量产车型下线的时间，大部分车型都配备了 ADAS 功能，解决方案包括数个摄像头、毫米波雷达和超声波传感器等，少数方案安装或预留激光雷达位置。
- 对比主要造车新势力近期量产车型不难发现，绝大部分车企按照循序渐进的方式，从 ADAS 功能逐步“进化”到更高级的自动驾驶功能。这同时符合了自动驾驶技术的发展、政府政策法规的完善以及消费者的接受程度。

图表 78：新势力车企和主要车型自动驾驶方案

品牌&车型	量产智能驾驶方案				智能驾驶类别	自动驾驶规划
	摄像头	毫米波雷达	超声波传感器	激光雷达		
蔚来汽车 ES8	三目前向摄像头*1；环视摄像头*4；	5	12		ADAS	2018 年量产款实现 L2 级别，24 项核心功能；计划 2025 年实现完全自动驾驶
拜腾汽车 Concept	4	4	12		ADAS	2019 年量产 Byton-concept 满足 L3 驾驶辅助功能；新一代概念车 K-Byte 计划在 2020 年底达到 L4 级自动驾驶能力
小鹏汽车 G3	双目前向摄像头*1；双目侧向摄像头*1；环视摄像头*4；舱内智能摄像头*2；	3	12		ADAS	2018 年量产车型达 L2 级自动驾驶；与德赛西威合作研发 L3 级别自动驾驶系统，计划 2020 年实现量产
奇点汽车 IS6	8	5	12	(预留 1 个位置)	ADAS	2017 年实现 Level 2，包括 ACC、LKA、自动泊车、疲劳预警、并线辅助、BSD 等；2018 年实现 L3，包括高速公路、国道、部分城区道路自动驾驶
零跑汽车 S01	环视摄像头*4；前视双目摄像头*1；盲区摄像头*1；	1	12		ADAS	2019 年 Q1 上市 S01 标配 L2.5 级自动驾驶系统；2020 年可升级至 L3 级别；2021 年起启动 L4/5 级道路测试，2025 年实现量产
小康汽车 SF5						2018 年量产车型上实现 Apollo 小度车载系统；2019 年前后，实现 Apollo Pilot L3 级别车型量产；2021 年前后，实现 L4 级别的自动驾驶车型量产

来源：国金证券研究所

4.2.1 蔚来汽车 ES8

图表 79: 蔚来汽车 ES8



来源: 蔚来汽车, 国金证券研究所

- 应用 NIO Pilot 硬件系统, 包括 1 个三目前向摄像头, 4 个环视摄像头, 1 个车内驾驶状态检测摄像头, 5 个毫米波雷达和 12 个超声波传感器。
- 车载芯片方面, 蔚来 ES8 使用 Mobileye EyeQ4 自动驾驶芯片, 可以支持 L3 级别自动驾驶, 不过 2018 年量产款以 L2 级别功能为限, 有 24 项左右主要能力, 其中自适应巡航、高速自动辅助驾驶、拥堵自动驾驶、道路自动保持、倒车辅助、自动泊车、车辆主动召唤、疲劳预警等均可实现。
- CEO 李斌称, 近期量产的 ES8 上自动驾驶的体验是, 在城市典型的场景中, 可以解放司机 50% 的时间。并认为实现完全自动驾驶时间点是 2025 年。

4.2.2 拜腾汽车 K-Byte

图表 80: 拜腾量产型车 Concept



来源: 拜腾汽车, 国金证券研究所

图表 81: 拜腾自动驾驶概念车 K-Byte



来源: CES ASIA 2018, 国金证券研究所

- 拜腾 2019 年的量产车 Byton-concept 将在中国、美国、欧洲满足 L3 级的驾驶辅助功能; 车身预留 12 个超声波传感器、4 个摄像头、4 个毫米波雷达和 2 个激光雷达的位置。Byton-concept 将不会安装激光雷达, 因此解决方案与蔚来 ES8 类似。此外, 拜腾在 CES ASIA 2018 上展出新一代概念车 K-Byte, 车顶配备了 BYTON LiBow 弓形激光雷达系统, 集成了前视和

后视激光雷达，并与自动驾驶技术公司 Aurora 共同开发 L4 级别的自动驾驶方案，计划在 2020 年底达到 L4 级自动驾驶能力，为量产做好准备。

4.2.3 小鹏汽车 G3

图表 82：小鹏汽车 G3 自动泊车功能



来源：小鹏汽车，国金证券研究所

- 小鹏汽车量产车 G3 配置了双目前向摄像头、双目侧向摄像头，4 个环视摄像头，3 个毫米波雷达，12 个超声波传感器和 2 个舱内智能摄像头，可实现钥匙和语音操控的全场景车位识别，全自动泊车等功能。
- 6 月 23 日小鹏汽车表示，已与德赛西威签署战略合作协议，合作研发 L3 级别自动驾驶系统，计划在 2020 年实现量产落地。该系统将提供低速自动泊车、中速塞车辅助巡航、以及高速代驾等功能。

4.2.4 奇点汽车 IS6

图表 83：奇点汽车 IS6



来源：奇点汽车，国金证券研究所

- 奇点汽车智能驾驶解决方案包括 8 颗摄像头（1 颗双目）、12 颗超声波雷达、5 颗毫米波雷达、以及 1 个激光雷达预留位置。只是对于实现自动驾驶最为关键的车载控制器和算法策略等方面核心部件并未过多介绍。
- 沈海寅透露：“（奇点 IS6）2017 年实现 Level 2——实现包括自适应巡航（ACC）、车道保持（LKA）、自动泊车（APA）、疲劳预警（DFMS）、并线辅助（LCA）、盲点探测（BSD）等刚需智能驾驶功能；2018 年实现 level 3——场景包括高速公路的自动驾驶、国道等非封闭公路的自动驾驶以及有限的城区道路自动驾驶等。”

4.2.5 零跑汽车 S01

图表 84：零跑汽车 S01



来源：CES ASIA 2018，国金证券研究所

- 零跑 2019 年 Q1 上市的首款量产车 S01 标配 L2.5 级自动驾驶系统，并支持 2020 年通过整车 OTA 升级至 L3 级自动驾驶系统。从 2021 年起，零跑将启动 L4/5 级自动驾驶道路测试，并计划在 2025 年实现量产上车。
- 此外，零跑 S01 上的 ADAS、智能驾驶系统是自主研发的，传感器中的双目仿生摄像头、环视摄像头、77G 毫米波雷达也全部都是自主研发。CES ASIA 2018 上，零跑 S01 现场演示“车辆召唤”、“人脸识别”、“自动跟随”、“自动泊车”等多项自动驾驶功能。

4.2.6 小康汽车 SF5

图表 85：小康汽车 SF5



来源：小康汽车，国金证券研究所

- 2018 年 4 月，小康股份宣布成为百度 Apollo 自动驾驶开放平台合作伙伴，将深度参与 Apollo 生态的搭建和推进。双方未来将在自动驾驶、车联网、云服务、品牌推广及创新营销等领域展开多维度的深入合作。在自动驾驶领域，双方将于 2020 年前后，实现 Apollo Pilot 自动驾驶解决方案的 L3 级别的车型量产；于 2021 年前后，实现 L4 级别的自动驾驶车型量产。在

车联网领域，双方将打造具备深度学习能力的 AI 智能网联汽车，在 2018 年量产新车型上实现 Apollo 小度车载系统等产品的全面搭载。

4.3 造车新势力 Vs. 知名车企

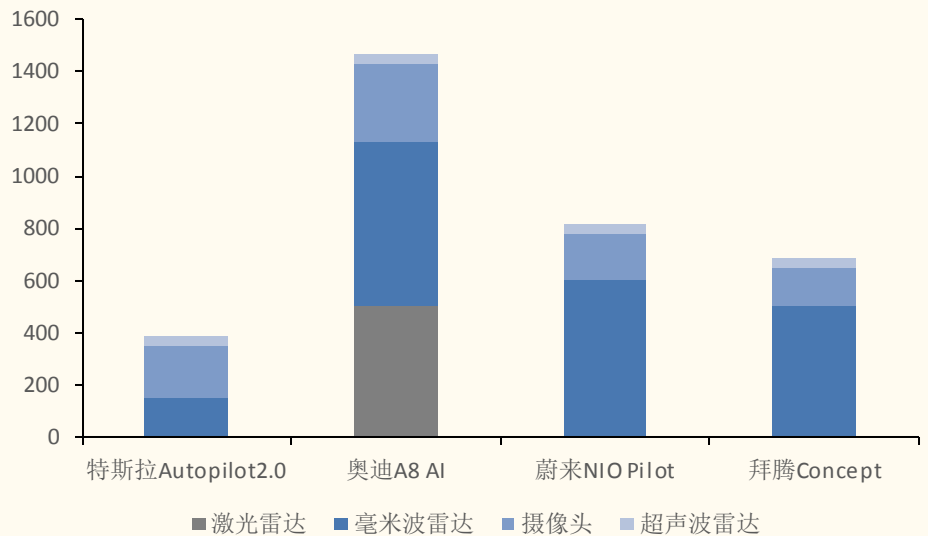
- 对比特斯拉、奥迪、蔚来和拜腾的自动驾驶解决方案，蔚来与拜腾基本沿袭了特斯拉的解决方案，以毫米波雷达和摄像头为主。原因是激光雷达的成本较高，而且使用低线束激光雷达也只能在有限场景下达到自动驾驶的能力，与毫米波雷达+摄像头的解决方案差距不大。当然，2020 年以后随着自动驾驶软硬件的成熟，造车新势力与知名车企均有安装激光雷达并向高级别 L4 以上自动驾驶发展的计划，例如拜腾已预留了 BYTON LiBow 前后向弓形激光雷达系统的位置，并与自动驾驶技术公司 Aurora 共同开发 L4 级别的自动驾驶方案，计划在 2020 年底达到 L4 级自动驾驶能力。

图表 86：车企和造车新势力智能驾驶方案对比

	特斯拉 Autopilot2.0	奥迪 A8 AI	蔚来 NIO Pilot	Byton-concept
自动驾驶	L2	L3	L2	L3
发布时间	2016 年 10 月发布，2017 年 1 月 OTA 推送	2015 年 CES 发布，2017 年 9 月德国上市	2018 年 L2 级别量产	2019 年量产
中央控制器	nvidia Drive PX2	TTTech zFAS		
芯片	2x Denver 4x Cortex A57 1x Parker GPU	nvidia Tegra K1 Infineon Aurix Altera Cyclon V Mobileye EyeQ3	Mobileye EyeQ4 自动驾驶芯片	
传感器	超声波雷达 12 个 毫米波雷达 1 个 摄像头 8 个	四线激光雷达 1 个 超声波雷达 12 个 长距离毫米波雷达 1 个 中距离毫米波雷达 4 个 广角 360 度摄像头 4 个 前向摄像头 1 个 红外夜视摄像头 1 个	1 个三目前向摄像头 4 个环视摄像头 1 个车内驾驶状态检测摄像头 5 个毫米波雷达 12 个超声波传感器	预留 12 个超声波传感器； 4 个摄像头； 4 个毫米波雷达； 2 个激光雷达的位置 (2019 年量产车型不安装激光雷达，2020 年计划安装 BYTON LiBow 弓形前后向激光雷达系统)
应用场景	高速公路（支持驶入驶出）和更拥堵更复杂的路段	高速公路和开放道路双向高速车道上的行驶速度低于 60 公里/小时拥堵路况	城市场景 50% 以上适用	
基本功能	根据交通状况调整车速 保持在车道内行驶 自动变换车道 从一条高速公路切换到另一条 在接近目的地时驶出高速	系统接管车辆的驾驶操作， 管控车辆的启动、加速、转向及制动	自适应巡航、高速自动辅助驾驶、拥堵自动驾驶、道路自动保持、倒车辅助、自动泊车、车辆主动召唤、疲劳预警等	中国、美国、欧洲满足 L3 级的驾驶辅助功能

来源：特斯拉、奥迪、蔚来、拜腾，国金证券研究所

图表 87：预估量产自动驾驶方案传感器成本单位：美元



来源：特斯拉、奥迪、蔚来、拜腾，国金证券研究所

- 短期内自动驾驶系统成本较高，主要原因有以下两点：
 - 自动驾驶芯片设计制造技术由国外垄断，如 Intel (Mobileye)、NVIDIA 等，国内还没有自主研发和生产能力，由于半导体发展规律短期国产产品也几乎不可能达到自动驾驶车的技术要求，因此将长期占据自动驾驶系统乃至整车的较大比重。自动驾驶芯片成本至少在 1 万美元以上，甚至达到 1.5 万美元以上；
 - 短期内激光雷达价格较高，即使奥迪的四线雷达成本也需数千美元，更多线束雷达成本更高。目前只有极个别厂商的激光雷达能达到车规级别，大多数在产能产量、产品质量和寿命上都还没有达到车规要求，因此至少到 2020 年前还将保持高成本状态。

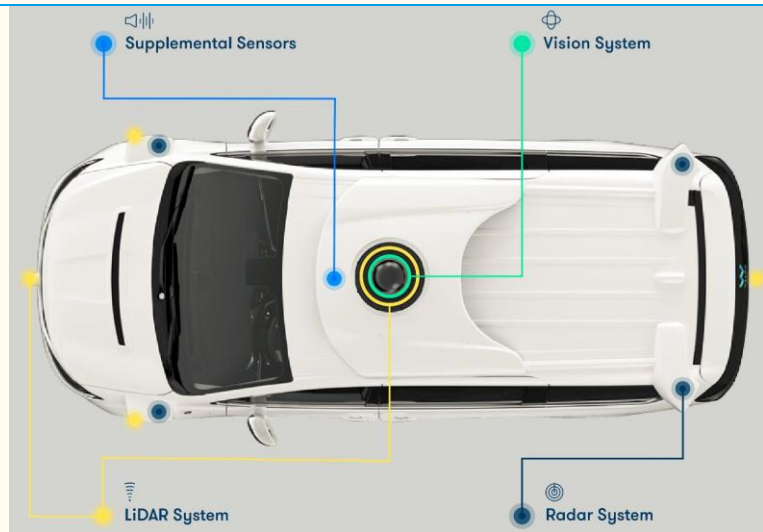
4.4 长期形成“闭环运营”和“软件系统”两类自动驾驶供应商

- 2020 年以后 L4 及以上级别的自动驾驶功能将登上舞台，届时可能形成闭环运营商和开源技术合作平台两类主要商业模式。

4.4.1 未来的闭环自动驾驶车运营商——谷歌 Waymo

- Waymo 与克莱斯勒合作的车型中，一辆车装有 5 个激光雷达，分别为前部 3 个，顶部 1 个和尾部 1 个；毫米波雷达 4 个，前后部各 2 个；摄像头 1 个，位于顶部；其他补充传感器 1 个，位于顶部。由于是测试车辆，安装传感器数量较多，配置冗余比较充分，成本也较高。

图表 88: Waymo 与克莱斯勒合作车辆及其硬件系统



来源: Waymo Safty Report 2017, 国金证券研究所

- 今年 5 月, Waymo 宣布购买 6.2 万辆菲亚特克莱斯勒 (FCA) Pacifica 混动 MPV, 用于开展自动驾驶出租车业务。由此可以清晰地看到公司战略。虽然 Waymo 本身不生产汽车, 但它与整车厂深度合作, 向其购买车辆用于提供自动驾驶出租车服务。这是一种比较“重资产”的商业模式, 优点是自动驾驶自研发至租车变现形成完整闭环, 壁垒较高。虽然有占用资本金较多的劣势, 不过鉴于 Waymo 母公司 Alphabet 的雄厚资金实力, 这个劣势是可以弥补的。

4.4.2 自动驾驶的安卓系统——百度 Apollo

- 2017 年 4 月发布 Apollo 计划, 在百度内部把车联网、L3、L4 各部门整合在一起加强了竞争力, 在外部充当了中国自动驾驶的旗手, 召集起一个大联盟, 把车企和供应商都囊括进来, 一方面加强联盟内的合作, 另一方面寻求与政府合作、吸收外部资金。

图表 89: Apollo 发展历程



来源: 百度 Apollo, 国金证券研究所

- **Apollo 平台是一套完整的软硬件和服务系统，包括车辆平台、硬件平台、软件平台、云端数据服务等四大部分。旨在向汽车行业及自动驾驶领域的合作伙伴提供一个开放、完整、安全的软件平台，帮助他们结合车辆和硬件系统，快速搭建一套属于自己的完整的自动驾驶系统。**

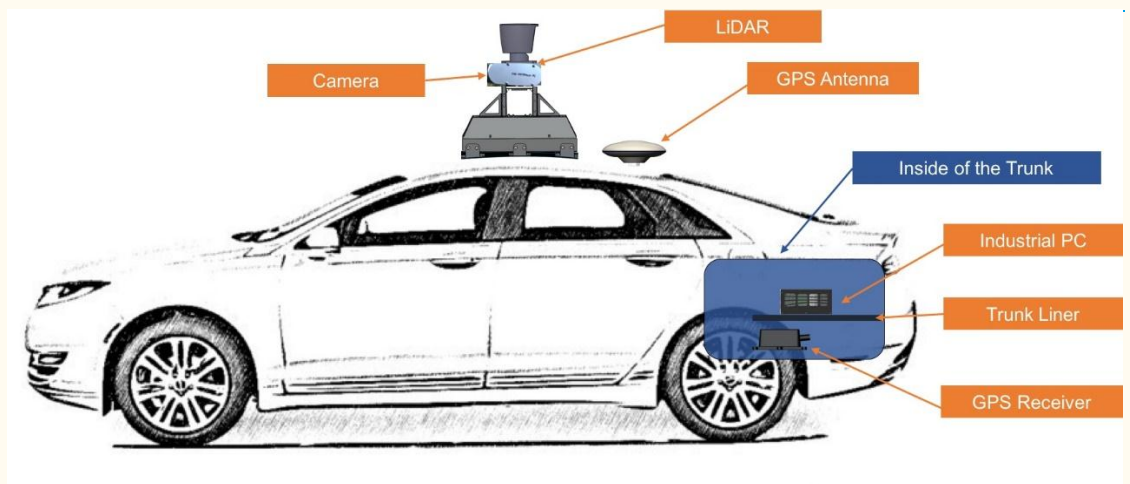
图表 90：百度 Apollo 平台技术框架

Cloud Service Platform	HD Map	Simulation	Data Platform		Security	OTA	DuerOS
Open Software Platform	Map Engine	Localization	Perception	Planning	Control	End-to-End	HMI
	Runtime Framework						
ROTS							
Reference Hardware Platform	Computing Unit	GPS/IMU	Camera	LiDAR	Radar	HMI Device	Black Box
Reference Vehicle Platform	Drive-by-wire Vehicle						

来源：百度 Apollo，国金证券研究所

- **硬件层面：**
 - 计算中心：Neusys Nuvo-6108GC，x86 架构的工业控制计算机；
 - CAN 通信卡：ESD CAN-PCIe/402-B4，与汽车执行层进行信号通信；
 - GPU 和 IMU：NovAtel SPAN-IGM-A1 或者 NovAtel SPAN ProPak6 和 NovAtel IMU-IGM-A1，进行 GPS 定位和惯性定位；
 - 激光雷达：Velodyne HDL-64E S3，扫描距离达到 120 米，水平 360 度扫描，垂直 FOV26.9 度；
 - 毫米波雷达：大陆集团的 ARS408-21，车辆前端探测；
 - 摄像头：Leopard Imaging LI-USB30-AR023ZWDR。

图表 91：Apollo 2.0 架构



来源：百度 Apollo，国金证券研究所

- 对比 Waymo，百度的 Apollo 平台以提供软件和技术为主，相对是“轻资产”的商业模式。优势是以人力资源为主，提供软件和技术，不涉及工业生产，不占用大量资本金。劣势同样明显，以技术开源，为不同客户定制化研发系统的商业模式壁垒较低，如果有其他有技术特点的创业公司发展较快，可能影响自身的市场份额。

五、投资建议

- 造车新势力方面，建议关注车辆量产“赛道”领先和配备 L2 级别以上智能驾驶系统的**蔚来汽车**、**小鹏汽车**，主要关注量产车落地后消费者的反馈和体验，跟踪销售情况；同时关注高端车领域的领先者**拜腾汽车**，关注其量产计划是否达到预期；
- 自动驾驶系统方面，短期建议关注上市公司**德赛西威**、**华域汽车**布局毫米波雷达的情况及**舜宇光学科技**、**欧菲科技**等公司车载摄像头的出货情况；
- 中期建议关注激光雷达领先生产商如 **Velodyne**、**Quanergy**、**Innoviz**、**禾赛科技**、**速腾聚创**等公司，主要关注产品研发进度、车规级标准申报情况等；
- 长期自动驾驶逐步实现的过程中，会形成自动驾驶运营的平台型公司，若自身技术能力强大则会形成一定垄断地位，如 **Waymo**；或形成基础技术开源合作形成的共享型平台公司，如**百度**。后者需关注其他具有较强研发能力的公司在提供定制化自动驾驶系统业务上形成的竞争。

图表 92：自动驾驶传感器相关公司

公司名称	代码	收盘价 (元/港元)	EPS (元)			PE			相关业务
			2017	2018E	2019E	2017	2018E	2019E	
德赛西威	002920.SZ	21.47	1.12	1.14	1.35	35	19	16	毫米波雷达
华域汽车	600741.SH	20.95	2.08	2.54	2.56	14	8	8	毫米波雷达
舜宇光学科技	2382.HK	100.2	2.66	3.34	4.77	32	26	18	摄像头
欧菲科技	002456.SZ	16.26	0.3	0.75	1.05	68	22	16	摄像头
巨星科技	002444.SZ	10.52	0.51	0.71	0.85	27	15	12	激光雷达

来源：Wind 一致预测，国金证券研究所

六、风险提示

- **自动驾驶及车联网行业发展不及预期。**可能出现自动驾驶及车联网行业技术发展较慢，或出现相关事故使发展停滞情况。
- **自动驾驶装车渗透不及预期。**整车厂装车计划延迟。
- **产品开发不及预期。**控制器、芯片、传感器、CID 等开发进度延迟；技术角度来说，自动驾驶越到开发测试的后期技术的提升越困难，提升的幅度越小。需要持续不断的投入、测试，反复验证更新解决方案。
- **产品成本下降不达预期。**目前大多数系统及零部件的出货量还很小，涉足的公司前期投入非常大，如果出货量不达预期，成本下降有限。
- **使用场景限制。**复杂路况需要的系统鲁棒性极高，对于自动驾驶解决方案也是很大挑战。
- **法律法规限制自动驾驶发展。**道路测试、运行安全、驾驶规则、信息安全、责任划分等等都需要法律法规的支持。要想推动智能汽车行业发展，完善立法是核心要素之一。
- **自动驾驶事故影响发展。**自动驾驶遭遇严重事故案例，类似事故会造成舆论和政策方面的不利影响，延缓自动驾驶进展。

公司投资评级的说明：

买入：预期未来 6—12 个月内上涨幅度在 15%以上；
增持：预期未来 6—12 个月内上涨幅度在 5%—15%；
中性：预期未来 6—12 个月内变动幅度在 -5%—5%；
减持：预期未来 6—12 个月内下跌幅度在 5%以上。

行业投资评级的说明：

买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；
增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；
中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；
减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。

特别声明:

国金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。

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，对由于该等问题产生的一切责任，国金证券不作出任何担保。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整。

本报告中的信息、意见等均仅供参考，不作为或被视为出售及购买证券或其他投资标的邀请或要约。客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，且收件人亦不会因为收到本报告而成为国金证券的客户。

根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于 C3 级(含 C3 级)的投资者使用；非国金证券 C3 级以上(含 C3 级)的投资者擅自使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

此报告仅限于中国大陆使用。

上海

电话: 021-60753903

传真: 021-61038200

邮箱: researchsh@gjzq.com.cn

邮编: 201204

地址: 上海浦东新区芳甸路 1088 号

紫竹国际大厦 7 楼

北京

电话: 010-66216979

传真: 010-66216793

邮箱: researchbj@gjzq.com.cn

邮编: 100053

地址: 中国北京西城区长椿街 3 号 4 层

深圳

电话: 0755-83831378

传真: 0755-83830558

邮箱: researchsz@gjzq.com.cn

邮编: 518000

地址: 中国深圳福田区深南大道 4001 号

时代金融中心 7GH