

中国自动驾驶行业

行业发展超预期，关注产业链机遇

2021年4月上海车展期间，华为公司展示了其无人驾驶技术点燃网络和资本市场的热情。我们观察到2021年以来，自动驾驶行业爆炸性新闻不断。百度和吉利汽车正式组建智能电动汽车公司集度汽车，其车型将具备L4级别自动驾驶能力。小马智行、文远知行等头部自动驾驶解决方案公司年内均完成C/C+轮融资。同时，长城汽车等自主车企也相继发布了自动驾驶的相关技术展示。苹果正在重启“泰坦计划”（Project Titan），制造完整的电动自动驾驶汽车。我们看到自动驾驶行业技术及消息面逐步开始活跃。虽然L4+级别的全场景自动驾驶仍然面临技术及法律法规等各方面限制，但毋庸置疑，自动驾驶产业化进程远超此前市场预期。我们把2021年定义为中国自动驾驶产业链发展元年，推荐价值投资者关注自动驾驶整车标的，以及上游摄像头、激光雷达、毫米波雷达、操作系统服务商等机会。我们将在本篇中主要讨论自动驾驶感知硬件，并且在未来的机会中讨论软件算法及操作系统。

- **中国自动驾驶汽车销量将迎来高速增长。**得益于技术进步、成本下降等有利因素的推动，我们预计L2级别以上自动驾驶销量将在2025年达到1,772万辆，2020年至2025年复合增长率CAGR达到42%。伴随着自动驾驶硬软件技术的不断迭代提升，众多主机厂、Tier 1以及初创公司进入自动驾驶行业，创造出相应车型供给。同时，中国年轻一代消费者对科技感的追求，使得自动驾驶需求端处于爆发前夜。我们认为中国在成为新能源汽车领导者后，将继续担任自动驾驶行业的先行者。
- **我们认为激光雷达技术将成为中期主流技术路线。**目前，主流技术路线可以按照硬件传感器层面划分为纯视觉路线（摄像头+毫米波雷达/超声波雷达）和激光雷达路线两类。激光雷达路线玩家认为纯视觉技术的数据形式过于单一，同时在数据精度上存在不足。纯视觉路线玩家则认为激光雷达数据非必须，车规级认证难度大，同时成本过高。我们预计，产业链上公司的协同合作促使目前技术进度及降本速度快于市场预期。同时，数据维度代表信息丰富度和差异化程度，与数据量相比同样重要。纯视觉数据存在数据过于单一的问题，在算法端存在过拟合的风险，因此需要激光雷达作为数据的相互补充。因此我们认为激光雷达技术有望在中期成为主流硬件技术路线。
- **自动驾驶将成为未来汽车生态的核心，创造出全新的商业模式。**我们在此前发布的《中国新能源汽车：特斯拉电池日回顾-特斯拉到底在下什么棋？》报告中提到，未来汽车制造商公司将转型成为科技出行公司，长远商业故事将演化成为基于Robotaxi收费、OTA升级收费、智能座舱软件收费等不同的订阅收费模式。我们认为自动驾驶有望在解决交通效率的同时，将驾驶时间解放出来用以车内办公、休闲娱乐，形成自动驾驶+智能座舱收费的双轮驱动模式。同时，以自动驾驶技术为基础的Robotaxi、共享重卡等新业态有望进一步改善整体交通物流效率，培育新的商业模式。
- **我们推荐价值投资者关注产业链机会，包括摄像头、毫米波雷达、激光雷达等上市公司及新股机会。**综合考虑技术成熟度、商业模式可行性、法律法规等因素后，我们认为自动驾驶细分领域将遵循以下落地时间线顺序：**L2.5级别自动驾驶 > Robotruck 封闭场景 L4 > 开放场景 L3级别自动驾驶乘用车及 L3级别 Robotruck 干线物流 > 特定区域 L4级别 Robotaxi > L4级 Robotruck 端到端物流 > 全场景 L4 > 全场景 L5。**我们首先看好自动驾驶硬件。摄像头行业，我们推荐投资者关注舜宇光学（2382 HK，买入，招银国际科技组覆盖）、欧菲光（002456 CH，未评级）等。毫米波雷达行业，我们推荐投资者关注华域汽车（600741 CH）等。激光雷达行业，我们推荐投资者关注禾赛科技（未上市）、速腾激光（未上市）、大疆科技（未上市）等。从全栈解决方案提供商角度，我们推荐投资者关注百度（BIDU US/9888 HK）以及小马智行（未上市）、文远知行（未上市）等。

未评级

中国自动驾驶行业

白毅阳, CFA

(852) 3900 0835

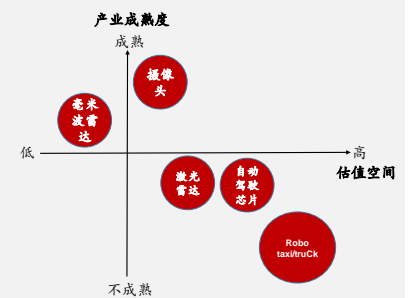
jackbai@cmbi.com.hk

萧小川

(852) 3900 0849

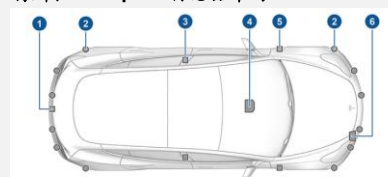
robinxiao@cmbi.com.hk

自动驾驶行业成熟度 vs 估值潜力



资料来源：招银国际证券预测

特斯拉 Autopilot 传感器布局



1. A camera is mounted above the rear license plate.
2. Ultrasonic sensors are located in the front and rear bumpers.
3. A camera is mounted in each door pillar.
4. Three cameras are mounted to the windshield above the rear view mirror.
5. A camera is mounted to each front fender.
6. Radar is mounted behind the front bumper.

资料来源：特斯拉，招银国际证券

目录

1. 参与者（谁），历史（从哪里来），目的（为何而来）	5
2. 两大产业链体系	6
3. 自动驾驶分级说明	7
4. 硬件传感器综述	12
4.1 车载摄像头	13
4.2 激光雷达	19
4.3 毫米波雷达	25
4.4 定位/导航传感器	31
5. 自动驾驶硬件前景及资本市场推荐	33

图 1: 自动驾驶上市公司标的

上市公司标的	股票代码	预测营业 总收入	预测 净利润	市值 (百万人民币)	PS 2021E	Forward PE	Forward ROE
整车领域							
北汽蓝谷	600733.SH	10,408	(1,785)	52,648	5	(29)	1
长城汽车	2333.HK/ 601633.SH	60,782	8,348	416,084	7	50	N/A
服务提供商							
百度集团	BIDU.US/ 9888.HK	30,923	20,954	421,455	16	24	N/A
传感器							
舜宇光学	2382.HK	20,419	5,901	205,929	12	42	N/A
欧菲光	002456.SZ	9,790	1,015	22,366	2	22	(2)
敏实集团	0425.HK	7,206	1,833	32,922	6	22	N/A
韦尔股份	300990.SZ	N/A	N/A	3,969	N/A	N/A	N/A
富瀚微电子	300613.SZ	N/A	305	19,249	N/A	63	N/A
国睿科技	600562.SH	4,503	570	18,342	4	32	12
四创电子	600990.SH	4,550	213	6,039	1	28	8
万集科技	300552.SZ	N/A	N/A	5,825	N/A	N/A	N/A
中海达	300177.SZ	1,968	102	7,628	4	75	4
博创科技	300548.SZ	1,331	167	6,556	5	39	19
光迅科技	002281.SZ	1,752	574	17,271	10	30	15
海特高新	002023.SZ	N/A	N/A	11,435	N/A	N/A	N/A
雷科防务	002413.SZ	N/A	N/A	8,321	N/A	N/A	N/A
华域汽车	600741.SH	34,474	6,855	75,066	2	11	24
控制单元、 执行器							
耐世特	1316.HK	3,597	245	21,244	7	104	12
拓普集团	601689.SH	11,324	1,204	36,169	3	30	13
均胜电子	600699.SH	13,657	983	36,925	3	38	N/A
常熟汽史	603035.SH	N/A	N/A	5,049	N/A	N/A	N/A
高精地图							
四维图新	002405.SZ	N/A	361	32,575	N/A	90	N/A
卫星导航 及惯导							
星网宇达	002829.SZ	903	170	5,423	6	32	13
北斗星通	002151.SZ	4,526	230	20,629	5	90	5
芯片及软件 解决方案							
德赛西威	002920.SZ	2,016	787	59,912	30	76	29
中科创达	300496.SZ	839	650	62,152	74	96	N/A
英伟达	NVDA.O	6,331	10,068	3,244,771	80	50	49

V2X

高新兴	300098.SZ	N/A	N/A	9,297	N/A	N/A	N/A
路畅科技	300033.SZ	3,516	2,071	55,937	16	27	32
Robotruck							
图森未来 (TuSimple)	TSP.O	1	(475)	69,895	10,333	(23)	(17)
激光雷达							
Velodyne	VLDR.O	17	(134)	11,804	107	(14)	(40)
Luminar	LAZR.O	6	(131)	43,226	1,064	(51)	(5)
Innoviz	INVZ.O	5	(73)	8,347	252	(18)	N/A
Aeva	AEVA.N	2	(80)	14,912	1,288	(29)	(14)
Ouster	OUST.N	7	(58)	12,457	273	(33)	N/A

资料来源: 万得, 彭博, 招银国际证券

图 2: 自动驾驶未上市公司标的

上市公司标的	融资历程	最新估值
自动驾驶解决方案		
小马智行	2021年2月C+轮	53亿美元
文远知行	2021年5月C轮	33亿美元
赢彻科技	2020年11月B轮	未知
智加科技	2021年4月D轮	33亿美元
激光雷达		
禾赛科技	2021年6月D轮	21年1月约133亿人民币
速腾聚创	2021年2月D轮	未知
计算芯片		
地平线	2021年6月C7轮	50亿美元
黑芝麻	2019年4月B轮	21年4月15亿美元

资料来源: 公开信息, 招银国际证券

1. 参与者（谁），历史（从哪里来），目的（为何而来）

汽车自动驾驶是控制工程学与人工智能学交叉的一个学科，并且自动驾驶被市场认为是民用人工智能领域的皇冠，具有一定研发技术难度。自动驾驶所需的技术包括环境感知技术、智能决策技术、控制执行技术、通信技术、云平台与大数据技术、信息安全技术、高精度地图、高精度定位、标准法规与测试评价等。

目前市场上参与自动驾驶行业发展的机构主要分为四类，包括汽车企业（主机厂+Tier 1）、科技互联网公司（百度、谷歌、滴滴自动驾驶等）、创业公司（地平线、宇视科技、小马智行、文远知行、赢彻科技、图森未来等）及科研院所（北京理工大学、中国科技大学等）等。目前二级市场聚集了汽车企业及科技互联网巨头，而创业公司已经在一级市场具备一定热度。

目前来看，我们认为自动驾驶主要应用于三大类场景，从而衍生出对应的三大商业模式：1）乘用车城市道路（百度 Apollo、小马智行、文远知行、滴滴自动驾驶、AutoX 等）；2）干线物流重卡（赢彻科技、图森未来、智加科技、T3 物流等）；3）封闭场景无人化。

同时，根据自动驾驶产业链中的细分领域，可以分为芯片（计算、控制）、传感器（摄像头、激光雷达、毫米波雷达）、汽车电子、通信系统、操作系统、整车控制，以及平台开发与内容运营商等环节。

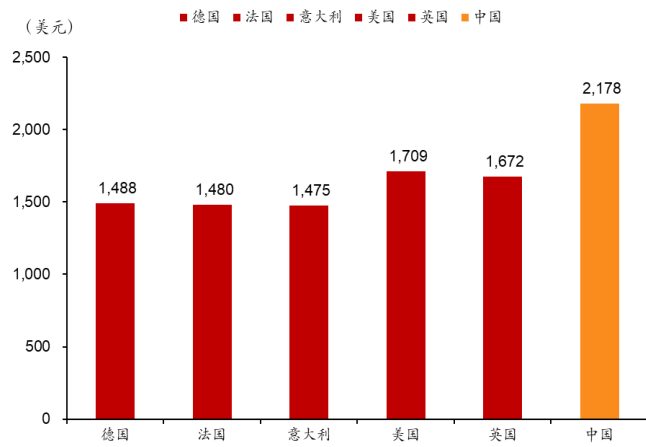
从时间线来说，各种机构在过去 20 年的技术积累为近期自动驾驶的爆发做了深度的准备。2004 年，被誉为无人驾驶行业的奥林匹克运动会的 DARPA 挑战赛在美国举办。2010 年谷歌组建自动驾驶系统开发公司（Waymo 前身）。2013 年，世界主流车企开始布局自动驾驶业务。2015 年特斯拉推出 Autopilot 1.0 版本；同年，百度大规模投入自动驾驶技术研发（2017 年发布“Apollo(阿波罗)”计划）。2016 年 5 月，Uber 无人驾驶汽车在匹兹堡正式上路测试。2020 年 10 月 11 日，百度自动驾驶出租车服务在北京特定区域开放，用户可在北京经济技术开发区、海淀区、顺义区等数十个自动驾驶出租车站点，直接下单免费试乘自动驾驶出租车。

目前来看自动驾驶处于爆发前的萌芽期。我们认为自动驾驶在短期和长期的增长逻辑截然不同，因此目前市场仍然对自动驾驶行业存在分歧。但我们相信，短期内，安全性及便利性需求会带动高级辅助驾驶（ADAS）行业渗透率不断提升；长期来看，交通运输业的降本需求以及整体交通效率的提高会使得自动驾驶向 L4+ 进军。在减少路面拥堵、提升出行效率的同时，整体交通碳排放量也随之降低，间接为中国 2035 碳达峰、2060 碳中和目标提供助力。

我们认为早期的自动驾驶带有明显的“供给创造需求”的特征。自动驾驶功能的推广主要得益于主机厂的持续宣传。特别是以特斯拉（TSLA.US）为主的外资厂商和以小鹏汽车（XPEV.US）为主的造车新势力始终不断强化自动驾驶概念，寻求差异化定位，用以弥补其车型在内饰等方面的不足。自动驾驶功能的不断强化，特别是 ADAS 的量产上车，也使得购买中高端车型的消费者率先开始尝试部分功能。中国购车人群年轻化的特征使得中国成为自动驾驶行业中最具潜力的市场。特别是 Z 世代购车者愿意给予自动驾驶及智能座舱一定的购买溢价，以获得更特别的用户体验。根据智研咨询的数据，中国消费者愿意为 L2

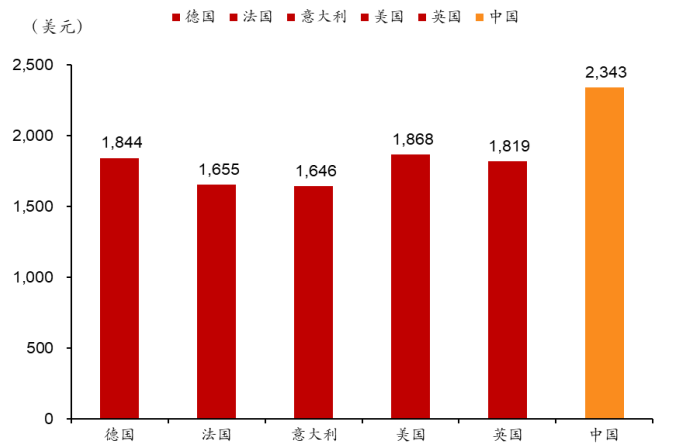
级/L4级自动驾驶功能支付的额外成本分别为 2,178 美元/2,343 美元（约合 14,810 元人民币/15,932 元人民币），位居所有调研国家首位。复盘新能源汽车发展过程，新能源汽车行业在中国发展早、积累深，无论是政策上还是消费者认知上都走在世界前列。我们在 2020 年已经看到中国新能源产业链中比亚迪、宁德时代等优秀企业的成长，无论是企业盈利还是资本市场都取得了喜人的表现。因此我们同样十分看好中国公司在此轮自动驾驶浪潮中的领导性地位。

图 3: 各国消费者对 L2 级自动驾驶愿意支付的额外成本



资料来源: 智研咨询, 招银国际证券

图 4: 各国消费者对 L4 级自动驾驶愿意支付的额外成本



资料来源: 智研咨询, 招银国际证券

2. 两大产业链体系

目前市场上将自动驾驶分为两大体系。体系一可以划分为感知+定位（前端）、规划（中端）以及跟踪控制（后端）。体系二可以分为感知（前端）、决策（中端）（车联网+高精地图）以及执行（后端）。我们以下将采用体系一作为主要讨论框架。

同时根据通信需求，自动驾驶汽车可以分为单车自动驾驶汽车（自主获取环境信息）以及网联式自动驾驶汽车（多车协同获取环境信息）。前者通过自身传感器完成单车自动驾驶，后者即为目前市场上提出的 C-V2X 智能网联汽车。我们认为自动驾驶行业的发展将遵循渐进式发展路线，即从单车自动驾驶向 C-V2X 的渐进式演变，无法直接跳过单车自动驾驶直接实现 C-V2X 的规模化商业应用。

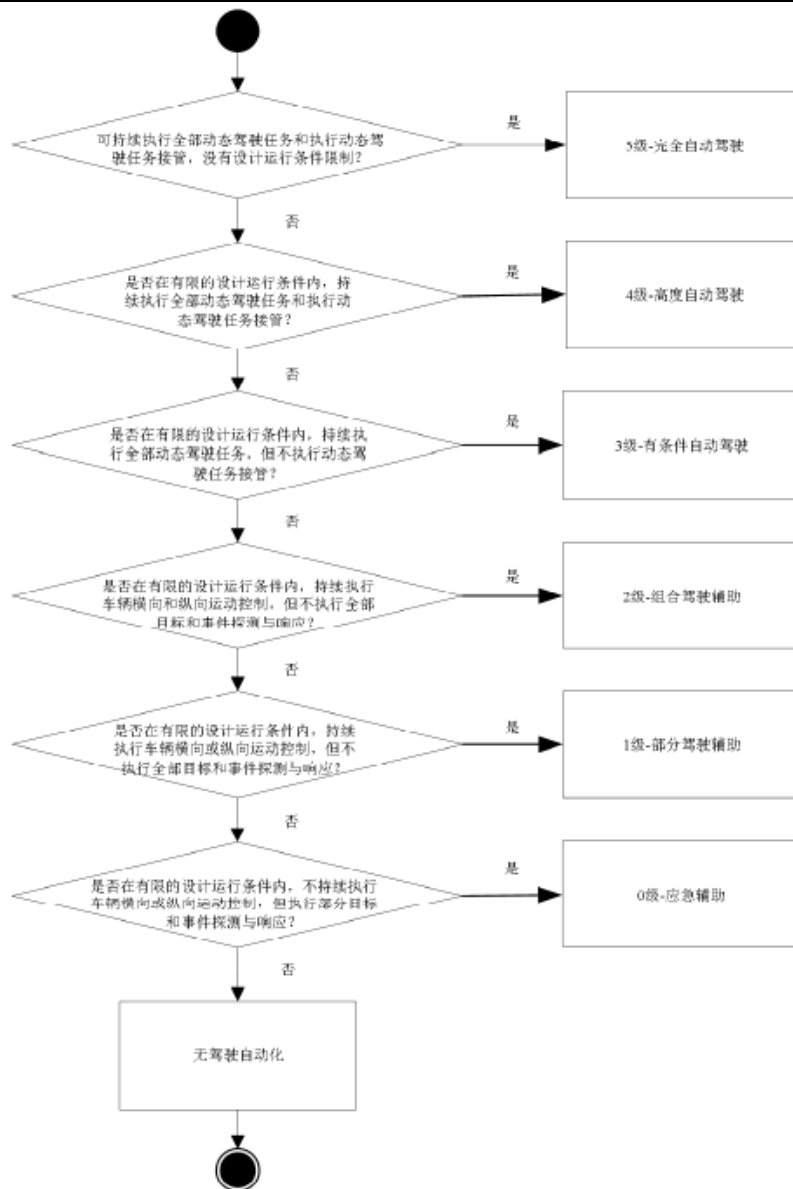
我们认为 C-V2X 高级别自动驾驶汽车提升了对通信的需求，主要包括通信性能需求如高带宽及高实时性，以及通信约束需求如高安全性及高可靠性。目前通信方式主要采用以太网、总线、网关三种信号。传感器信号一般采用以太网、CAN 卡进行车内通信，而惯性导航系统传输主要采用串口通信。随着 5G 基础设施大规模铺设以及通信协议落地，我们认为相关车载 5G 车载通信产品将有望在长期投放市场。2020 年 7 月，国际组织 3GPP 宣布 5G R16 标准冻结。R16 标准支持了 V2V 和 V2I 直连通信，确定了相关通信方式标准。但是受限于 1) 标准落地后相关产品开发进度；以及 2) 路侧基础设施网大规模铺设速度，我们预计 C-V2X 的落地仍需要一定时间。

3. 自动驾驶分级说明

目前市场上通用的自动驾驶分类方式采用的是美国汽车工程师学会（SAE）于2014年制定的J3016自动驾驶分级标准。SAE对自动化的描述分为6个等级，即L0级至L5级，以动态驾驶任务（Dynamic Driving Task, DDT）为核心来进行自动驾驶分类。2021年5月，SAE与ISO宣布更新关于J3016标准，以满足驾驶辅助和主动安全功能越来越丰富的情况下，对“驾驶员辅助系统”和“自动驾驶系统”的区分。其中，最新版标准对L3与L4级别自动驾驶的划分更加明确，即1) L3级自动驾驶下，当车辆提出接管需求时，驾驶者必须立刻接管车辆。2) 而在L4级别中，车辆不会请求驾驶者对车辆进行接管。L4级别车型考虑加入向车载用户发出警报的功能。

中国工信部同样于2020年3月公示了《汽车驾驶自动化分级》推荐性国家标准报批稿，拟于2021年1月1日开始实施，为中国自动驾驶行业的标准认证提供了依据。

图 5: 驾驶自动化等级划分流程及判定方法



资料来源: 工信部, 招银国际证券

图 6: 自动驾驶分级 - 中国《汽车驾驶自动化分级》推荐性国家标准

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

资料来源: 工信部, 招银国际证券, *排除商业和法规因素等限制

自动驾驶初期, 传统车进行无人化改造以达到自动驾驶为试验目的, 积累数据与经验, 主要包括底盘无人化改造、转向系统无人化改造、油门无人化改造、制动系统无人化改造等。如今新能源产业的快速发展为自动驾驶提供了契机, 行业内公司在打造新能源(纯电)平台架构的同时, 对 EEA 架构及硬件进行了重新的设计。整车控制由原先的分布式 ECU 向区域集中(域控制 DCU), 进一步向跨域集中(集中式电子电气架构)进行演变。如果以接管率作为自动驾驶的技术衡量指标, 除了硬件感知系统外, 规划控制同样扮演了极其重要的角色, 甚至在某些特殊场景下重要性高于感知系统。

图 7: 驾驶自动化等级划分流程及判定方法



资料来源: 美国交通部, 招银国际证券

我们对各级别自动驾驶的主要区别总结如下: L2 与 L3 的主要区别在于, 系统取代驾驶员, 作为目标及事件探测响应的主体; L3 与 L4 的主要区别在于, 驾驶人员不需要做准备来接管特定驾驶任务; L4 与 L5 的主要区别在于, 自动驾驶的运行不再受到设计运行条件的限制。

自动驾驶进阶过程会采取由简到难的过程, 我们将演进方式总结为: 单个辅助驾驶功能 - 多个辅助驾驶功能组合 - 特定场景下的无人驾驶 - 所有场景下的无人驾驶。

国产自动驾驶 AI 计算芯片有望换道超车

目前主流自动驾驶芯片处于寡头垄断市场，海外厂商包括 Mobileye（英特尔子公司）、高通、特斯拉等，国内厂商包括英伟达、华为、地平线、黑芝麻等。如果算力作为主要指标，海外厂商目前占据主导地位。但是我们认为，在综合考虑能效比以及自动驾驶落地时间线后，地平线、华为、黑芝麻等玩家有望率先实现大规模出货。

Mobileye 主要采用一体化销售模式，在销售硬件芯片同时绑定软件算法（软硬件高度耦合），可以快速帮助车企实现自动驾驶功能。但车企在选择 Mobileye 解决方案的同时，无法实现软件迭代，限制了车企在自动驾驶上的研发能力。与之相反，英伟达采用芯片开源的模式，在提供全栈解决方案的同时，也可以使主机厂具备自行算法开发能力，因此有较高灵活性。地平线同样采取高灵活度商业模式。

图 8: 主要自动驾驶 AI 计算芯片厂商对比

格局	最新一代芯片	芯片类型	算力	功耗 (W)	能效比
英伟达	Orin	GPU	254	45	5.64
Mobileye	EyeQ5	ASIC	24	10	2.40
华为	昇腾 310	FPGA+ASIC	16	8	2.00
高通	Snapdragon Ride 系统	ASIC	700	100	7.00
地平线	征程 5P	ASIC	128	25	5.12
黑芝麻	华山二号 A1000	ASIC	40-70	<8	5.00-8.75
特斯拉	FSD	FPGA	72	36	2.00

资料来源: 招银国际证券

从车规级半导体领域来看，中国企业在此前车规级半导体领域面临巨大挑战，主要由于车规级半导体转换成本比较高。车规级与消费级芯片最大的不同，主要是安全性要求高和设计寿命要求长，因此背后涉及到整车架构、控制设计等方面。车规级控制芯片 MCU 一般分为 8 位、16 位及 32 位等。8 位一般用于基础控制功能，16 位到 32 位 MCU 主要应用于汽车电子、电驱等方面。车规级 MCU 芯片具有投入大、研发时间长、回报周期长等特点。同时车规级验证周期比较长，一旦完成验证，供货周期就确定下来，外界很难去突破。因此，在控制芯片领域，外资车规级芯片企业具有先发优势。

图 9: 自动驾驶领先车型对比

车型	芯片	单片算力	数量	算力
蔚来 ET7	Orin	254	4	1016
小鹏 P5	Xavier	30	1	30
智己	Orin X	254	2-4	500-1000
极氪	EyeQ5	24	2	48
长城	EyeQ4	2.5	1	2.5
长安 UNI-T	征程 2	4	1	4
Model 3	FSD	72	2	144

资料来源: 招银国际证券

但是同时，我们注意到疫情复苏下芯片需求激增与现有产能不匹配导致2021年上半年汽车“缺芯”情况突出。芯片企业从收入来看，优先供给消费芯片，导致全球范围内车规级芯片短缺。但是中国汽车企业通过这次事件也敲响了警钟，意识到了供应链风险。因此，我们认为在自动驾驶领域行业萌芽期，中国车企有动机和意愿与国内自动驾驶AI计算芯片厂商进行合作，防范供应链风险。

图 10: 自动驾驶进度时间表及所需算力预测

时间表	2018	2020	2025	2030
自动驾驶级别	L2	L3	L4	L5
算力要求	<10TOPS	30-60TOPS	>100TOPS	至少 1000TOPS

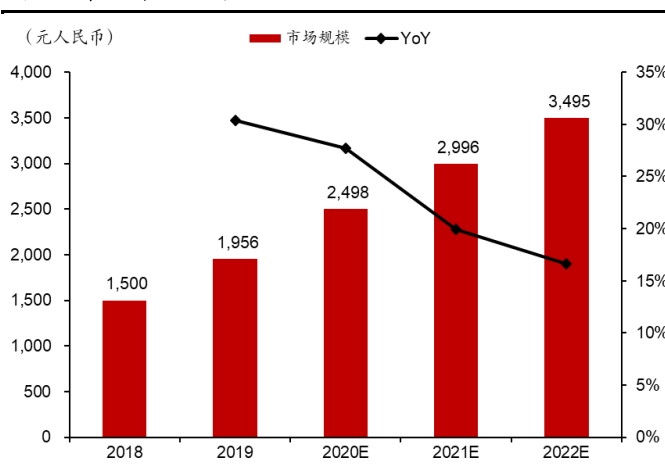
资料来源: 中汽研, 招银国际证券预测

国内自动驾驶AI芯片独角兽地平线(未上市)成立于2015年, 创始人为余凯博士, 此前曾担任百度IDL常务副院长。公司目前已经推出征程系列(车规级AI芯片)、旭日系列(AIoT边缘AI芯片)以及相应计算平台产品。2021年上半年, 地平线完成C7轮融资, 投后估值高达50亿美元。目前公司投资人涵盖了产业投资人, 包括比亚迪、舜宇、星宇、宁德都属于汽车产业链上下游资本, 因此投资方除了资金更多的是看重协同效应。同时公司引入知名财务投资机构, 例如高瓴、中金资本、君联、黄浦江资本等, 在获得资金的同时也获得了相应背书。我们认为地平线征程2和征程3系列产品满足L1-L3级别ADAS需求, 有望率先实现大规模出货。同时公司在研发端逐步完成征程5车规级认证, 为未来L4级别自动驾驶做好技术和产品储备。

车企加速投放自动驾驶车型, 百度华为入局加快游戏进程

从目前自动驾驶发展情况来看, 根据中商产业研究院数据, 2020年中国L2级自动驾驶乘用车市场渗透率达到约12%左右。根据主机厂疫情前(2019年)车型规划路径, 主流自主品牌如上汽集团、广汽集团、长安汽车、吉利汽车、长城汽车、比亚迪等车企此前预计在2020年推出满足L3级自动驾驶的车型。但受到疫情影响, 我们预计新车型研发速度慢于此前规划, 相应车型将在2021/2022年推出。

图 11: 中国车联网市场规模预测



资料来源: 中商产业研究院, 招银国际证券

图 12: 华为 5G 汽车生态圈



资料来源: 华为, 招银国际证券

以百度 Apollo 系统为例，此前百度专注于 L4 级别自动驾驶及 Robotaxi 商业模式开发。其 L4 级自动驾驶累积测试里程数突破 1000 万公里，由 L4 级自动驾驶技术打造的车型已经在北京、上海、广州三城落地。同时百度 Apollo 开始将无人驾驶技术降维用到 L2 量产车型上，提出纯视觉自动驾驶解决方案 ANP，与威马、广汽埃安、北汽极狐、福特均已开展合作。相比于 L2 级自动驾驶，L4 级除了常规感知传感器外，还需要配备 GPS 天线、嵌入式计算平台、GPS 接收器、惯性导航系统等设备，组合成导航定位模块（惯性导航系统+GPS 天线+接收器）。不同的电子设备对电压、通信接口均有不同的要求，因此对整车硬件设计和适配提出了更高的要求。

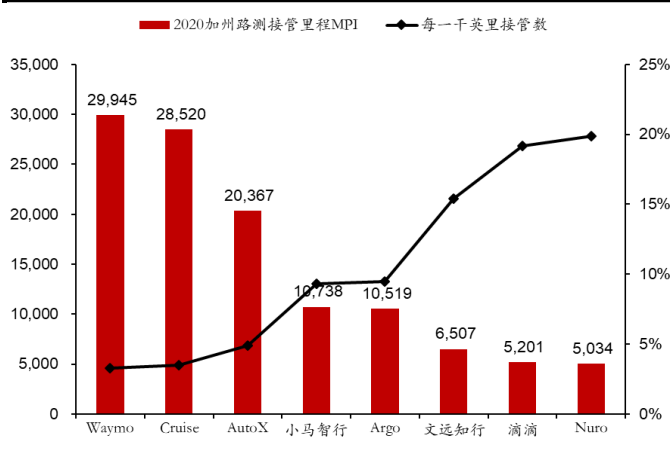
而华为按照高精地图的需求划分为 NCA、ICA+、ICA。NCA 模式车内装载预制高精地图，而 ICA+ 没有预先安装高精度地图，但车辆会根据自车或者是他车开过的环境自动学习地图。随着自车和他车积累的地图数据的增加，ICA+ 的乘车体验将向 NCA 靠拢。而 ICA 模式主要实现驾驶辅助功能。

自动驾驶性能评价指标

目前业内对自动驾驶技术的衡量指标主要包括：1) MPI（年度平均接管里程）。但 MPI 指标的具体应用依赖于统计方法、统计时间以及统计空间，从而降低了不同公司之间的可比性。因此我们在评价自动驾驶技术时仍采用诸如 2) 路测总里程数；3) 辅助变道总次数；4) 辅助驶入/驶出匝道总次数；5) 辅助超车总次数；等指标作为自动驾驶性能评价的补充参考。

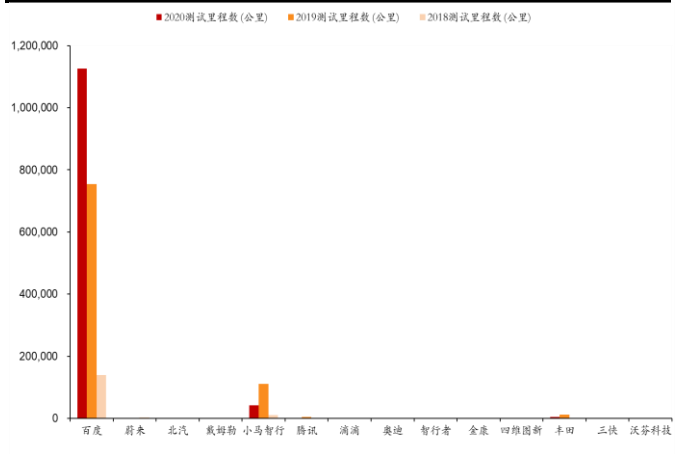
根据以上评价指标，目前自动驾驶解决方案提供商排名逐步清晰。2021 年 2 月 9 日，加州交通管理局 DMV 发布 2020 年全年自动驾驶路测数据。中国自动驾驶公司 **AutoX（未上市）、小马智行（未上市）、文远知行（未上市）、滴滴（DIDI US，未评级）** 的 MPI 表现优异。2021 年 2 月，智联会同时发布了《北京市自动驾驶车辆道路测试报告 2020》，**百度（BIDU US，买入，招银国际互联网组覆盖）** 连续三年位居首位。

图 13: 2020 年加州自动驾驶路测数据



资料来源：加州车辆管理局，招银国际证券

图 14: 北京市自动驾驶车辆道路测试报告 2020



资料来源：智联会，招银国际证券

中美自动驾驶法律法规对比

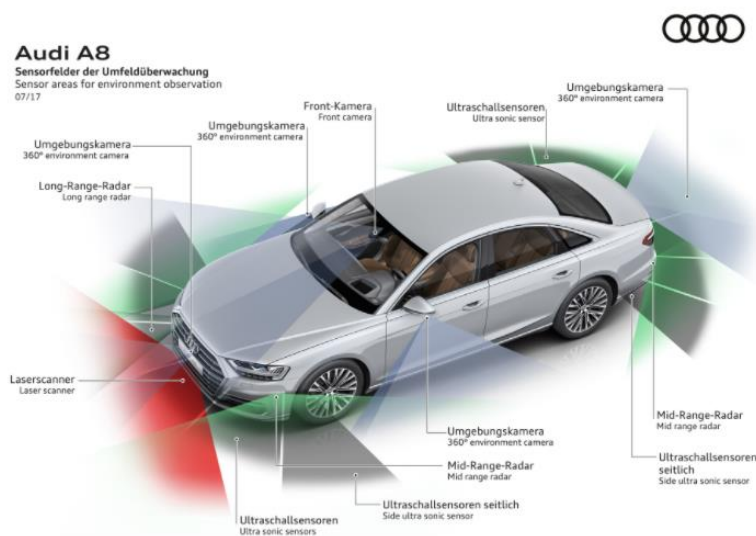
目前各国自动驾驶立法上缺乏统一标准，仍处于逐步探索中。2021年3月，中国公安部发布《道路交通安全法（修订建议稿）》，明确了自动驾驶功能的汽车进行道路测试和通行的相关要求，以及违法和事故责任分担规定。我们认为目前中国法律法规在道路测试、准入登记等方面相对完善，但在数据保护、交通事故及违章处理等表述上仍相对模糊。美国曾在2017年通过《自动驾驶法案》，首次提出对自动驾驶汽车的生产、测试和发布进行管理。但我们认为美国法律也在事故认定等方面存在不足。目前来看，德国在自动驾驶伦理道德等核心问题上做出一些尝试。2021年5月，德国联邦委员会的全体会议通过《自动驾驶法》法案，允许L4级完全无人驾驶汽车于2022年出现在德国的公共道路。我们认为，在法律法规尚未完善以前，L4级自动驾驶解决方案无法实现大规模推广。因此在此判断下，我们认为自动驾驶硬件领域将率先受益于L3级以下量产市场及L4级研发市场驱动。

4. 硬件传感器综述

我们十分看好自动驾驶硬件传感器行业的高速增长。由于行业能见度和确定性较强，我们认为资本市场在短期内对硬件关注度将高于软件算法行业。硬件传感器解决的是自动驾驶汽车的感知问题，即“看”，具体作用包括感知车道线、车辆、行人、交通标志、障碍物等。成本端，如果将传感器看作一个整体，我们测算随着渗透率的不断升，整体传感器系统成本将在2025年下降至目前（以2020年为基准）成本的约10%。技术端，我们认为传感器车规级认证将成为L4级自动驾驶在短期落地的硬件约束。综合来看，硬件传感器的降本速度和技术进步速度将直接影响整个自动驾驶行业的发展进程，重要性不言而喻。

目前行业处于爆发前夜，各硬件传感器供应商积极寻求与主机厂、Tier 1的试验认证，并希望通过长期合同来锁定未来长期供应。由于汽车的安全性、抗干扰性、稳定性、使用寿命等需求，车规级传感器的认证难度大、周期长，转换成本高。因此从产业竞争格局来看，硬件传感器行业具有典型的“先发优势”特征。我们推荐投资者关注目前较为成熟的车载摄像头产业链，同时关注激光雷达、毫米波雷达、地图定位等细分赛道。

图 15: 2019 款奥迪 A8 自动驾驶传感器布局 (L3 级)



资料来源: 奥迪, 招银国际证券

图 16: 传感器优缺点总结

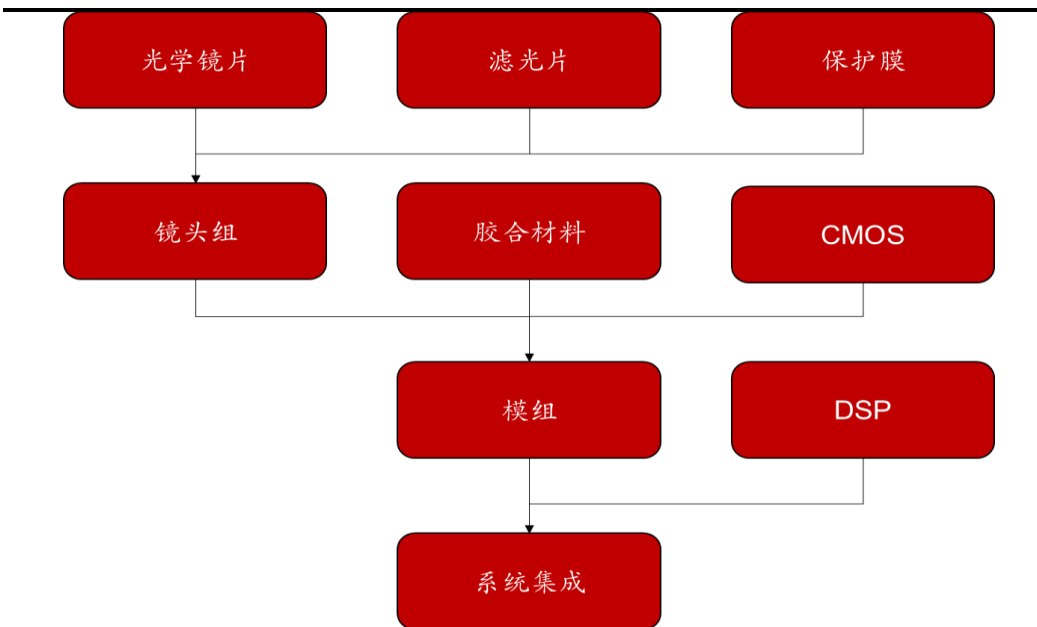
车载传感器	优点	缺点
摄像头	成本低, 可以获得几何、颜色、文字特征	容易受到外界光线影响, 无法准确识别远距离场景
激光雷达	精度高, 可以完成 3D 建模	受到雨雪天气影响大
毫米波雷达	对雾尘穿透力强, 抗干扰能力强	难以分辨行人
超声波雷达	技术成熟, 成本低	探测距离短

资料来源: 招银国际证券

4.1 车载摄像头

车载摄像头通过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, 从而感知车辆周围环境。车载摄像头的产业链包括图像传感器 CMOS 芯片 (Complementary Metal Oxide Semiconductor 互补金属氧化物半导体)、图像处理器 DSP 芯片、镜头组 (光学镜片、滤光片和保护膜) 等部件。车载摄像头探测原理主要为小孔成像。物体通过镜头 (Lens) 生成光学图像投射到图像传感器上, 由光信号转变为电信号, 再经过 A/D (模数转换) 后变为数字图像信号, 传送到 DSP (数字信号处理芯片) 中进行加工处理, 最后由 DSP 将信号处理成特定格式的图像传输到显示屏上进行显示。硬件上, 镜头组与 CIS 图像传感器相结合形成摄像头模组。同时摄像头模组与 DSP 芯片封装后, 组成摄像头集成系统。摄像头采集离散的点组成为图像, 每个像素点像素为取值区间在 0-255 的 8bit 数据。

图 17: 车载摄像头产业链

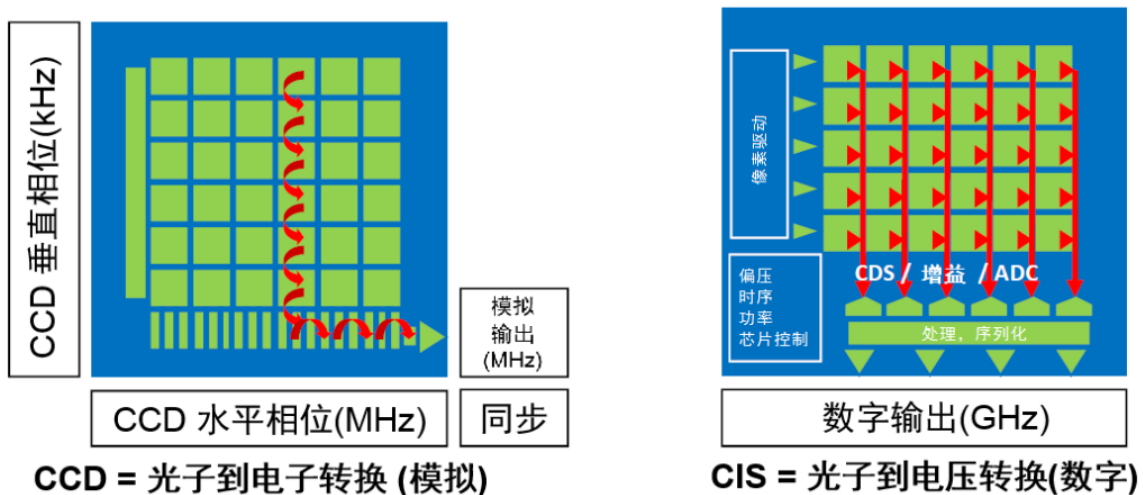


资料来源: 招银国际证券

图像传感器是将光信号转换为电信号的装置, 通常由像敏单元阵列、行驱动器、列驱动器、时序控制逻辑、AD 转换器、数据总线输出接口、控制接口等几部分组成。

我们认为 CID 图像传感器 (CMOS Image Sensor) 相比 CCD 图像传感器具有一定优势, 未来将成为主流车载摄像头图像传感器。CMOS 图像芯片由 P 型 MOS 管和 N 型 MOS 管共同构成。相比于 CCD (电荷耦合器件, Charge Coupled Device), 由于 CMOS 芯片在每一个像素块中均有 OP 功放, 因此其电荷-电压转换工作在单一像素上进行, 即 CMOS 图像芯片可以在像素级完成电荷到电压的转换。同时 CMOS 芯片可以将大部分的功能集成在芯片, 因此具有功耗低、传输速度快、重量轻, 占用空间少的特点。由于 CMOS 其制造工艺较为成熟, 与存储类 SRAM/DRAM 芯片较为类似, 因此制造成本相对较低。但是由于 CMOS 信噪比低, 目前画面清晰度不及 CCD。目前 CMOS 广泛使用的是 40nm 半导体制程, 未来 CMOS 制程工艺将集中于 28nm 至 45nm 级别。综合成像技术、成本及制造工艺, 我们认为 CID 图像传感器 (CMOS Image Sensor) 相比 CCD 图像传感器具有一定优势, 未来将成为主流车规级图像传感器。受益于自动驾驶需求的拉动, 我们同时预计未来车载 CMOS 芯片市场将迎来高速增长。

图 18: CCD 与 CMOS 对比



资料来源: 电子工程师网, 招银国际证券

光学模拟信号经过 CMOS 图像传感器处理, 转换为数字信号, 输入给 DSP 芯片。DSP (Digital Signal Processing) 芯片指能够实现数字信号处理技术的芯片, 与 CPU (中央处理器)、GPU (图形处理器)、FPGA (现场可编程门阵列) 通常被认为是高端芯片的“四大件”。DSP 芯片的主要用途包括频谱分析、傅里叶变换、调制解调、语音编解码、保密通信等方面。从制造工艺来看, 其在 1980 年采用的是 $4\mu\text{m}$ 的 N 沟道 MOS 工艺, 而现在则普遍采用亚微米 CMOS 工艺 ($0.25\mu\text{m}$ 或 $0.18\mu\text{m}$)。DSP 已经成为通信、计算机、消费类电子产品等领域的基础器件。不同于冯诺依曼结构 (von Neumann architecture), DSP 芯片采取哈佛结构 (Harvard architecture), 其程序和数据相互独立, 每个存储器独立编址、独立访问, 具有专门的硬件乘法器, 广泛采用流水线操作, 提供特殊的 DSP 指令, 可以用来快速实现各种数字信号处理算法。在消费电子领域, DSP 通常与 CPU、GPU、SPU、ISP、旗舰基带芯片、WiFi 芯片、系统内存和音频芯片一同组合成 SoC 芯片。

目前部分 DSP 芯片指令集 IP 保护已到期，有利于中国 DSP 芯片行业加速进口替代。2018 年，中国电子科技集团公司第 14 研究所发布华睿 2 号 DSP 芯片，主要用于相控阵雷达领域。同年，中国电子科技集团公司第 38 研究所发布“魂芯二号 A” DSP 芯片，用途除雷达、电子对抗、通信等军事科技领域外，还可以应用于包括图像处理、医疗电子、工业机器人等在内的民用领域。

图 19:德州仪器 DSP 芯片



资料来源:德州仪器,招银国际证券

图 20:华为海思麒麟 970 架构 (包含华为 DSP 芯片)



资料来源:华为,招银国际证券

应用层面，相比于毫米波雷达、激光雷达等传感器，由于车载摄像头价格低廉，在有利于主机厂在控制成本的前提下，摄像头可以实现部分 ADAS 功能，因此目前装车率较高，易于普及应用。摄像头的主要应用场景为特征符号的检测与识别，如交通标志识别、交通灯识别、车道线检测、行人和车辆检测等，其中最主要的是识别交通标示功能。视觉的特点是，距离越远的时候，测量误差越大。当距离缩短的时候，测量精度会迅速提高。

图 21: 摄像头功能

高级辅助驾驶行业 (ADAS) 功能	摄像头类型
车道偏离预警 (Lane Departure Warning, LDW)	前视
行人碰撞预警 (Pedestrian Collision Warning, PCW)	前视
前向碰撞预警 (Forward Collision Warning, FCW)	前视
自动紧急刹车 (Autonomous Emergency Braking, AEB)	前视
车道保持辅助 (Lane Keeping Assist, LKA)	前视
交通标识别 (TrafficSignRecognition, TSR)	前视、侧视
盲点监测系统 (Blind Spot Detection)	侧视
泊车辅助 PA (Parking Assist)	后视
360 度全景泊车 (surround view parking, SVP)	环视
驾驶员监控系统 (Driver Monitoring System, DMS)	内置

资料来源: 盖世汽车, 招银国际证券

根据摄像头的布局位置, 可以细分为前视、后视、侧视、环视、内视等。前视摄像头主要有单目、多目, 具体包括单目摄像头、三焦摄像头 (交通标志探测*1+校准距离视觉摄像头*2) 和立体摄像头 (可探测深度) 等。

图 22: 特斯拉摄像头布局



资料来源: 特斯拉, 招银国际证券

但车载摄像头问题包括: 1) 测距性能差。2) 摄像头输入的是图像信息, 数据量较大, 较依赖图像识别, 相比激光雷达的点云, 对算力要求更高。3) 容易受到外界光线影响, 无法准确识别远距离场景等。因此车载摄像头需要与其他传感器联合使用, 提高整体传感器安全性。

由于车载摄像头行业由消费电子延伸而来, 因此产业成熟度较高。传感器 CMOS 芯片行业主要由日韩企业垄断, 相关公司包括索尼、三星和豪威。图像处理器 DSP 芯片主要由德仪、

Mobileye 参与，华为海思已经进入 DSP 芯片领域。中国在镜头模组方面竞争优势较大，龙头舜宇光学全球市占率达到 34%，欧菲光、丘钛科技均有涉及。

市场规模预测

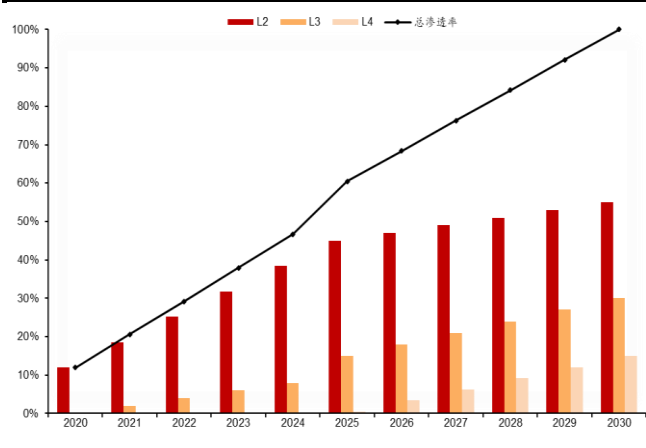
目前摄像头用途广泛，消费电子端（由招银国际证券科技行业分析师伍立恒和杨天薇覆盖），主要受惠于 5G 手机大规模出货周期叠加多摄渗透率提升。此外摄像头还具有安防电子方面的增长需求。

半导体行业产业研究机构 Yole 曾预测，到 2024 年，单车摄像头配置数量将超过 3 个。以单价 150 元人民币为依据，Yole 预测 2025 年全球车载摄像头市场规模将达到 230 亿人民币。

相比 Yole 的预测，我们对于中国汽车市场 ADAS 渗透率及 L4 级别示范应用更为乐观。以特斯拉为例，特斯拉采用以摄像头为主要传感器的自动驾驶解决方案（视觉方案），Model 3 的 FSD 系统全车配备 8 颗摄像头、12 颗超声波传感器以及 1 个增强版毫米波雷达。极狐华为 HiCar 则采用四个车载摄像头，即长焦+广角+双目。我们认为车载摄像头行业的核心驱动因素是 ADAS 渗透率提升所带来的需求量的提升。从目前时间点来看，车载摄像头产业链将受益于 ADAS 渗透率的快速提升，迎来高速增长期。

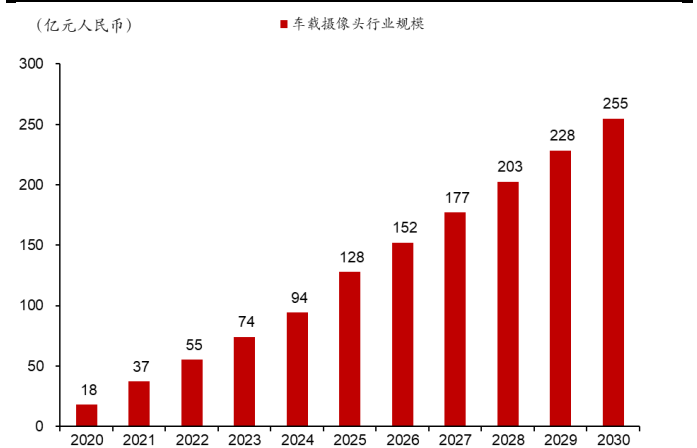
我们假设中国汽车市场 2025 年 L2/L3/L4 级别渗透率分别达到 45%/15%/1%，即 L3 以上渗透率将达到 16%。同时我们以 L2/L2.5 级别自动驾驶配备 4 颗、L3 级别配备 6 颗、L4 级别配备 8 颗摄像头为预测基准。我们预计 2025 年中国车载摄像头需求将达到 7,803 万颗，对应 2025 年市场规模为 128 亿元人民币，2020-2025 年 CAGR 为 48%。

图 23: 中国自动驾驶渗透率预测



资料来源: 中汽协, 招银国际证券预测

图 24: 中国车载摄像头市场规模预测



资料来源: 中汽协, 招银国际证券预测

CIS 产业链格局及标的公司

目前 CMOS 市场基本被外资品牌把控，国产企业目前缺乏竞争实力。索尼公司在全球 CMOS 传感器领域常年占据第一，市场份额超过 42%。但其在车载摄像头方面实力不强，侧面体现车载摄像头市场存在一定技术壁垒。

车载摄像头 CMOS 行业绝对领导者是美国 **On Semi (安森美, ON US, 未评级)** 公司。安森美在汽车图像传感器市场的市占率达到 46%。2020 年, 豪威科技车载摄像头 CMOS 的市场占有率达到 30%, 位居第二。韩国 Pixelplus 市场份额超过 10%, 位居第三。除豪威科技外, 行业总体被美日韩企业垄断。

美国豪威成立于 1995 年, 是一家全球领先的数字图像处理方案提供商。公司 2016 年被中信资本、北京清芯华创和金石投资组成的财团以 19 亿美元私有化成为北京豪威科技全资子公司。2019 年 **韦尔股份 (300990 CH, 未评级)** 完成对北京豪威的股权收购并实现并表。2020 年, 公司营业收入同比增长 45%, 其中 CIS 营收占比提升 2ppt 至 74%。受益于 5G 手机换机潮叠加多摄渗透率提升, 自动驾驶+DMS 渗透率提升, 以及物联网应用等多重利好拉动, CIS 行业将迎来高速增长。

ISP/DSP 产业链格局及标的公司

图像信号处理器 ISP 是通过一系列数字图像处理算法对前端图像传感器输出信号处理的单元, 功能包括 3A 自动曝光/自动对焦/自动白平衡、去噪、强光抑制、坏点校正、背光补偿等处理。ISP 目前存在独立和集成两种方案路线。独立 ISP 芯片性能强大, 但成本较高, 主要供应商为德州仪器、Mobileye、华为海思等, 其中德州仪器技术积累最为深厚, 市占率最高。同时 CMOS 传感器供应商如 Aptina 推出最新的内置 ISP 的 CMOS 图像传感器集成产品(监控影像传感器等), 具有成本低、面积小、功耗低的特点, 但算法简单、处理能力较弱。

专注安防市场的**富瀚微电子 (300613 CH, 未评级)** 为海康威视供应商。2018 年 8 月宣布推出首款百万像素以上的车规级 ISP 芯片 FH8310, 且迅速与比亚迪合作并快速量产。**国睿科技 (600562 CH, 未评级)** 旗下华睿系列及**四创电子 (600990 CH, 未评级)** 旗下魂芯系列 DSP 产品均应用于军工领域。

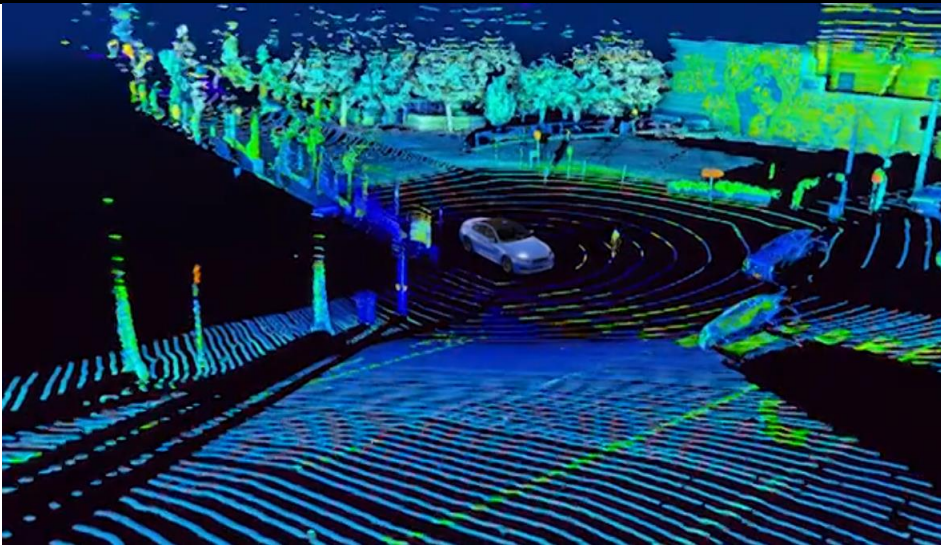
4.2 激光雷达

激光雷达 (LiDAR, Light Laser Detection and Ranging)，由发射器、接收器、天线、跟踪架及信息处理器等部件组成。一个单束窄带激光器产生并发射一束光脉冲，打在物体上并反射回来，最终被接收器所接收。TOF 激光雷达主要发射器为激光二极管，而 OPA 相控阵 FMCW 激光雷达主要发射器为硅光芯片及 VCSEL 垂直共振腔面射型激光芯片。接收器在接收到返回的信号后，通过处理器计算，将准确测量光脉冲从发射到被反射回的传播时间。计算原理上，因为光脉冲以光速传播，所以接收器总会在下一个脉冲发出之前收到前一个被反射回的脉冲。由于光速已知，传播时间即可被转换为对距离的测量。

激光雷达的技术参数作为产品的评价指标，决定了激光雷达的产品性能。主要的显性参数包括测远能力、点频、角分辨率、视场角范围、测距精度、测距准度、功耗、集成度、实测性能表现等。

根据雷达线束数量，激光雷达可以区分为单线及多线激光雷达。单线激光雷达通过旋转反射镜来发射激光，并利用时间差来完成测距。单线激光雷达扫描范围是一个二维平面，主要参数指标包括水平扫描角度（水平视场角）、角度分辨率等。在单线激光雷达基础上，衍生出多线激光雷达（16线、40线、64线、128线等）。多线雷达的优势在于其可以形成3D空间点云图，主要参数指标包括垂直视场角、激光线束夹角等。

图 25: 激光雷达 3D 点云示意图



资料来源: Voledyne, 招银国际证券

激光雷达可以安置在车辆前端、顶部或两侧。由于激光雷达一般是固定的，安装后容易产生盲区，同时从安全性角度出发，需要进行连续多帧数据融合检测。目前激光雷达测试解决方案中多采用多线+前端单线的组合方式。

激光的波长

目前市场上三维成像的激光雷达最常用的波长是 905nm 和 1550 nm。根据成像原理分类，主流 TOF 一般采用 905 nm 波长，而主流 FMCW 一般采用 1550 nm 波长。由于 TOF 波长更接近于可见光，对人眼安全有一定程度的威胁，因此从安全角度需要限制峰值功率，从

而限制了其测量距离。例如 Luminar 在解决共振镜探测距离的短板上，采用 1550 nm 光纤激光器以提高激光发射功率，同时保护人眼安全。

技术分类

激光雷达可以按照技术架构、扫描方式以及成像方法三个维度进行分类。

技术架构与扫描方式

激光雷达分类主要分为机械式激光雷达、半固态（混合固态）式激光雷达和固态式激光雷达。激光雷达在技术研发早期均采用机械式雷达，因此其技术相对成熟；但由于机械式旋转部件鲁棒性较差，车规级量产难度高，因此装车成本高。同时机械式激光雷达结构体积大，在汽车振动环境中对稳定性和可靠性的实现难度大。固态激光雷达具备分辨率高、扫描速度快的特点，但技术难度高。半固态激光雷达相比于机械式成本更低，相比于固态式技术更简单。我们预计半固态将作为中期发展方向，而固态将作为长期解决方案。

图 26: 激光雷达技术架构分类与扫描方式对照

技术架构分类	水平视场扫描角度	扫描方式	成本及可靠性
机械式激光雷达	360 度的水平视场扫描	旋转结构	装车成本高、可靠性一般
半固态式激光雷达	120 度的水平视场扫描	MEMS 微振镜/转镜/棱镜	适中
固态式激光雷达	120 度的水平视场扫描	OPA 相控阵/Flash	可靠性更高、成本更低

资料来源：招银国际证券

测距原理

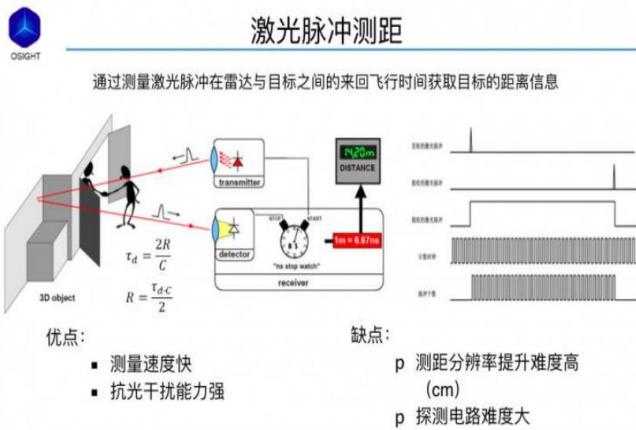
目前主流激光雷达测距原理可以划分为飞行时间测距法（TOF）以及相干测距法（FMCW）。

TOF 测距原理是通过计算发射和接收激光束的折返时间差，以确定到目标对象的距离，同时建立三维点云图。相比于 FMCW，TOF 技术成熟度高、难度低、测量速度快。但同时 TOF 的信噪比低，会受到白天太阳光和其他激光雷达系统的干扰，并且量产成本高。目前市场上主流技术均采用了 TOF 技术。

FMCW 则采用光通信技术，通过发射与探测反射啁啾来进行测距，并通过多普勒频移来测量径向速度。FMCW 激光雷达采用相干探测的方式，只允许自身的相干光通过滤波到达探测器，因此可以做到无干扰，信噪比高。同时 FMCW 具有测量精度高、灵敏度高、直接测量 4D 信息（包含速度）等优势。但 FMCW 激光雷达未来发展方向是芯片化，技术尚未成熟，难度高。

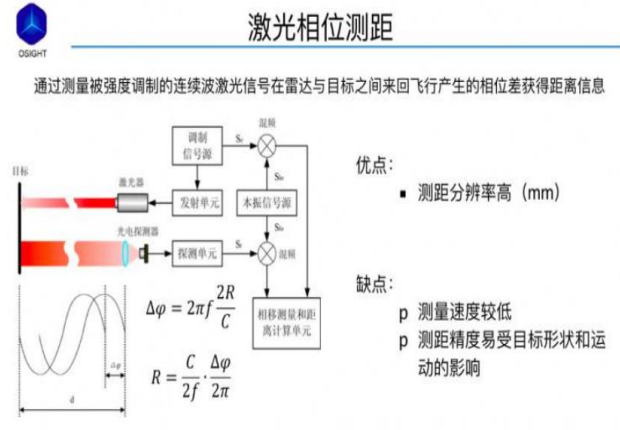
目前 TOF 因技术成熟度高，因此率先应用于测试车市场，主要归功于其相对简单的光路和计算，而 FMCW 则被业界认为是激光雷达终级方案技术。

图 27: TOF 激光雷达测距原理示意图



资料来源: 傲视智绘, 招银国际证券

图 28: FMCW 激光雷达测距原理示意图



资料来源: 傲视智绘, 招银国际证券

图 29: 激光雷达测距方法对比

测距方法 (成像方式)	原理	优势	劣势
飞行时间测距法 (TOF, Time of Flight)	计算发射激光脉冲与接收回波的时间差, 直接计算距离	测量速度快	抗干扰性差, 价格高, 信噪比低
相干测距法 (FMCW, Frequency Modulated Continuous Wave, 调频连续波技术)	利用相干检测技术, 调制激光频率并检测发射与回波间的拍频信号	高灵敏度和精度, 抗干扰性强, 4D 信息,	测距量程较短

资料来源: 招银国际证券

发展方向

目前激光雷达采用机械式+TOF 的组合作为短期车规级应用。中短期内, 目前 Tier 1 短期量产方案选择 MEMS 路线, 但我们认为其主要将作为中间过渡方案。固态式+相控阵 OPA+FMCW 具备成本低、探测距离远、抗干扰性强等优势, 我们预计随着技术以及产业链 (硅光子芯片+元器件) 的逐步成熟, 将成为长期的发展趋势。

竞争格局

激光雷达行业国际玩家主要包括法雷奥(Valeo, VLOF 未评级)、Luminar (LAZR US, 未评级)、Aeva (AEVA US, 未评级)、Velodyne (VLDR US, 未评级)、Waymo (未上市)、博世等。其中 Velodyne 于 2020 年在纳斯达克上市, 目前市值 21 亿美金。Luminar 于 2020 年 12 月在美国纳斯达克上市, 目前市值 82 亿美金。国产玩家主要包括禾赛科技、速腾聚创、华为、大疆车载等。

图 30: 激光雷达主要企业总结

玩家	配套车企/车型
Valeo (法雷奥)	奥迪 A8、奔驰 S 级
Velodyne	福特、现代
Luminar	沃尔沃、戴姆勒
Aeva	大众、丰田
Innovusion (图达通)	蔚来 ET7
Innoviz	宝马 iX SUV
禾赛科技	自动驾驶公司
速腾聚创	自动驾驶公司
华为	北汽极狐阿尔法 S
大疆 Livox	小鹏 P5

资料来源: 公司官网, 招银国际证券

产业化进程

2020 年 12 月 21 日, 华为正式发布其车规级 96 线中长距激光雷达。从技术路线上, 华为选择的是半固态 MEMS 微振镜技术路线做为车规级切入点。首款搭载华为激光雷达方案的车型为北汽新能源 ARCFOX 极狐阿尔法 S 华为 HI 版车型, 目前已经在 2021 年 4 月发布, 预计将在 2021 年 10 月份进行交付。新车将配备 3 颗 96 线车规级激光雷达、6 个毫米波雷达、12 个摄像头、13 个超声波雷达及算力可达 352TOPS 的华为昇腾 AI 芯片。合作方式上, 北汽主要负责机械系统、底盘系统, 而华为主要负责整车计算, 包括自动驾驶、座舱、后端云端等。同时华为 ADS 智能驾驶产品线总裁兼首席架构师苏箬表示激光雷达将在未来 10 年内在乘用车领域落地。

2020 年 CES 展上, DJI 大疆创新内部孵化的独立子公司 Livox 览沃科技推出 2 款车规级激光雷达 (Horizon 地平线以及 Tele-15 远程 15)。Horizon 地平线与 64 线机械激光雷达水平相当, 而远距离探测 Tele-15 与 128 线机械激光雷达水平相当。价格方面, Livox Horizon 零售价为 6,499 元人民币而 Tele-15 零售价为 9,000 元人民币, 远远优于目前同级别激光雷达价格。小鹏汽车第三款车型 P5 将在 2021 年 4 季度交付, 将会使用 Livox 为其定制生产的车规级激光雷达, 成为首个搭载大疆激光雷达的车型。小鹏 P5 搭载了全球首款量产车车载激光雷达, 该激光雷达由 Livox 定制, 被安装在前脸的左右两侧。单个雷达的横向视场角为 120°, 点云密度等效 144 线的水平, 最远探测距离可达 150m, 采用双激光雷达的组合方式可增加到 150°视野。小鹏 P5 测绘精度可达到毫米级别, 拥有 144 线的点云密度, 角度分辨率可达 0.16°, 每 5 毫秒时间就会刷新周围环境感知, 最远探测距离可达 150 米, 带有更高的安全冗余。

图 31:北汽新能源 Arcfox 极狐阿尔法 S 华为 HI 版



资料来源:汽车之家,招银国际证券

图 32:小鹏 P5



资料来源:汽车之家,招银国际证券

市场规模预测

激光雷达除自动驾驶传感器所带来的增长外,应用场景还包括 AGV、消费电子、探测等领域。

就车载激光雷达而言,因其目前量产成本较高,难以在产品和成本之间达到一个最佳的平衡点。目前进口 16 线激光雷达单价在 56,000 元人民币,国产 16 线激光雷达单价在 30,000 元人民币。我们预计在规模量产后,同款产品单价降幅将达到 95%,即进口 16 线激光雷达降至 2800 元左右/国产在降至 1500 元左右。

根据市场咨询机构弗若斯特沙利文预测,全球激光雷达整体市场预计将呈现高速发展态势,至 2025 年全球市场规模为 135.4 亿美元,2019 年至 2025 年间可实现 64.5% 的年均复合增长率。根据沙利文的研究报告,至 2025 年中国激光雷达市场规模将达到 43.1 亿美元,2019 年至 2025 年间实现 63.1% 的年均复合增长率,其中车载领域(即无人驾驶和高级辅助驾驶)是行业主要增长来源。

潜在激光雷达港股第一股 - 禾赛科技

1 月 7 日,中国本土激光雷达生产商禾赛科技向科创板递交了上市申请。3 月 13 日,禾赛科技向科创板递交招股书仅仅 2 个月后 IPO 计划被终止了。禾赛科技于 2014 年年底在中国上海成立。公司在 2015 年至 2016 年间,主要产品为激光气体传感器,包括手持式激光甲烷遥测仪及无人机载式激光甲烷遥测仪。自 2016 年开始,公司进行业务拓展,开展激光雷达研发,并于 2017 年 4 月推出产品 Pandar40 (40 线激光雷达),逐步应用于无人驾驶领域。从 2016 年初开始自主研发激光雷达,逐步进入了无人驾驶激光雷达领域。2017 年 9 月获得百度领投的 B 轮融资,于 2019 年 5 月博世集团领投的 C 轮融资。在科创板上市终止后,我们认为港股将成为禾赛科技上市首选目的地。

禾赛科技已经完成激光雷达发射端和接收端 V1.0 (包含多通道激光驱动芯片以及多通道模拟前端芯片)的自主设计与量产,并逐渐应用于内部多个产品项目,以提升产品性能并降低成本。禾赛科技陆续开发了多个产品线,如适用于无人驾驶领域的 Pandar128、

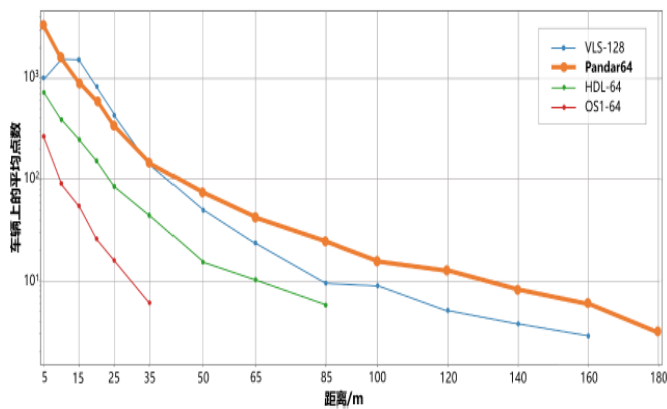
PandarQT 等，适用于 ADAS 领域的 PandarGT 等，适用于机器人领域的 PandarXT，适用于车联网领域的 PandarMind 等。

图 33: 禾赛科技产品矩阵

公司主要产品	应用领域	产品发布/对外销售时间
Pandar40	无人驾驶（机械旋转）	2017年4月
Pandar40P	无人驾驶（机械旋转）	2018年4月
Pandar40M	无人驾驶（机械旋转）	2020年1月
Pandar64	无人驾驶（机械旋转）	2019年1月
Pandar128	无人驾驶（机械旋转）	2020年9月
PandarQT	无人驾驶（机械旋转）	2020年1月
Pandora	无人驾驶（机械旋转）	2017年12月
PandarGT	高级辅助驾驶（半固态）	2019年1月
PandarXT	机器人（机械旋转）	2020年10月
PandarMind	车联网（机械旋转）	2020年8月

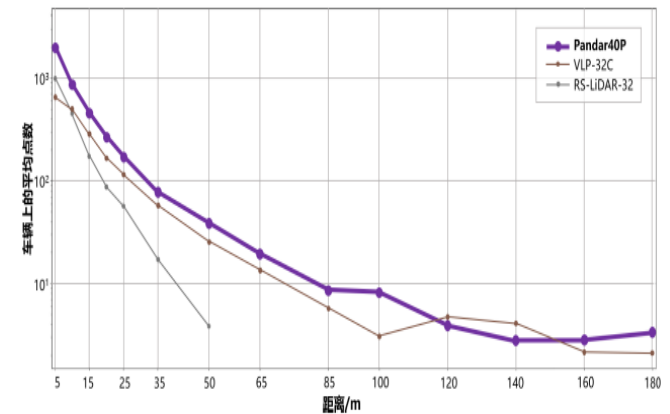
资料来源: 禾赛科技招股书, 招银国际证券

图 34: 64 线+激光雷达测评结果: CREST 和 OPERA



资料来源: 禾赛科技招股书, 招银国际证券

图 35: 32 线+激光雷达测评结果: CREST 和 OPERA



资料来源: 禾赛科技招股书, 招银国际证券

根据此前 A 股上市招股书披露，禾赛科技产品已服务的客户包括北美三大汽车制造商中的两家、德国四大汽车制造商之一、美国加州 2019 年 DMV 路测里程前 15 名中过半的自动驾驶公司，和大多数中国领先的自动驾驶公司。我们推荐投资者关注禾赛科技上市进展。

激光雷达产品 A 股上市公司标的

万集科技 (300552 CH, 未评级)：公司车载激光雷达实现产品化，符合车规级设计，可以嵌入车身，不影响车辆外观，并已通过多项车规级测试。公司已经与宇通客车就车载激光雷达达成商用合作，公司产品应用于其 L4 级别自动驾驶车辆。后续公司将进一步拓展与车企在激光雷达领域的业务合作。

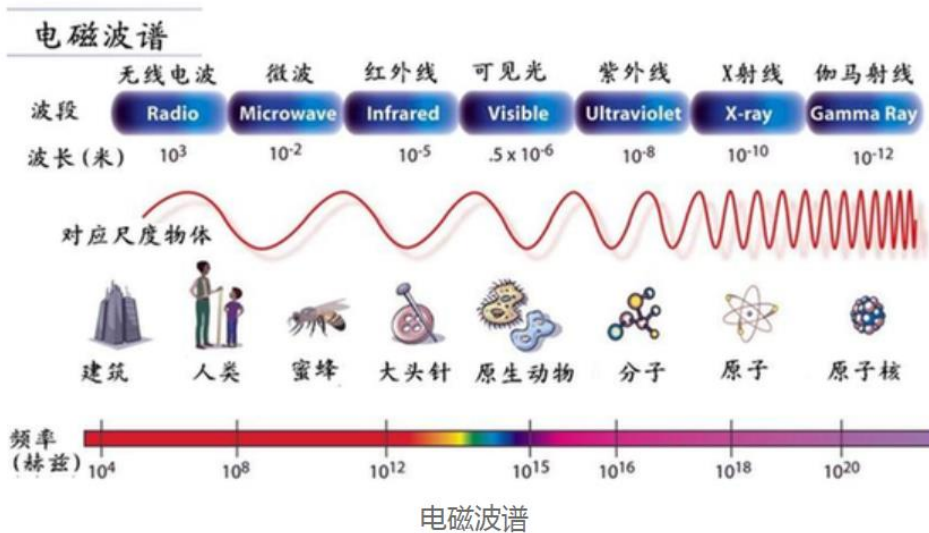
中海达 (300177 CH, 未评级)：公司的三维激光雷达为工业级产品，主要应用在测量测绘、数据采集等领域。三维激光产品可采集处理适用于汽车自动驾驶的高精度导航地图数据。

同时，我们看到长期 OPA+FMCW 技术路线，并推荐投资者关注硅光芯片标的**博创科技 (300548 CH, 未评级)**、**光迅科技 (002281 CH, 未评级)**以及 VCSEL 芯片标的**海特高新 (002023 CH, 未评级)**等。

4.3 毫米波雷达

毫米波雷达，是在毫米波段 (millimeter wave, mm wave) 工作的探测雷达，系统集成解决方案包括雷达射频前端、信号处理系统以及后端算法。通常毫米波是指 30GHz~300GHz 频段、波长为 1mm~10mm 的电磁波。以下图电磁频谱为例，毫米波的波长属于微波 (波长 1m~1mm，相应工作频率约为 300MHz 到 300GHz) 范围，相比于厘米波 (波长 10mm~100mm，相应工作频率约为 3GHz 到 30GHz) 波长更短，处于微波与远红外波相交叠的波长范围，因此毫米波雷达兼有微波雷达和光电雷达的一些优点。市场在讨论毫米波雷达时，经常面临相互矛盾的非量化描述，我们需要定义相应的参照系以讨论毫米波雷达的优劣。

图 36: 电磁波谱



资料来源：新华网，科普中国，招银国际证券

根据电磁波谱的性质，电磁波频率越高，其波长越短，带宽越宽，相应分辨率及精准度越高，绕射能力越弱，同时穿透率越高，传播损耗大，传输距离短。相反，电磁波频率越低，其波长越长，带宽越窄，相应分辨率及精准度越低，绕射能力越强，同时穿透率越弱，传播损耗小，传输距离长。

与红外、激光等光学导引头 (雷达) (波长为 0.000905mm~0.001550mm) 相比，毫米波波长更长。对应其绕射能力更强，容易在雾、烟、灰尘的场景下工作，传输距离远，受天气影响小，具有全天候全运行的特点。

硬件结构上，雷达天线的尺寸与波长成正比。因此，相比波长更长的厘米波，毫米波雷达的产品体积小、质量轻、易集成，并且空间分辨率高。同时在毫米波体系内，相比 24GHz 毫米波雷达，波长更短的 77GHz 毫米波雷达内部的射频电路和天线较小。由于 77GHz 雷达天线比较小，同体积可以布置更多的天线单元，整体天线阵的增益更大大，探测距离更远。

根据测量距离的范围，毫米波雷达可以分为长距 LRR、中距 MRR、短距 SRR 等。从理论上讲，24GHz 毫米波雷达的波长更长，因而其波的传输距离更长。但是由于 24GHz 毫米波角度分辨率太低，波的传输距离过长无法承载更多的信息。因此 24GHz 无法准确辨别所在车道信息，更远的传输距离在车载探测方面意义不大。因此我们认为这一点充分解释了为什么主流毫米波雷达解决方案采用短波长的 77GHz 毫米波雷达作为中长距 LRR 的探测雷达。

优缺点方面，毫米波导引头穿透雾、烟、灰尘的能力强，具有全天候(大雨天除外)全天候的特点。与其他微波相比，毫米波处于微波与远红外波相交叠的波长范围，因此其分辨率高、指向性好、抗干扰能力强和探测性能好。这些特质均决定了毫米波雷达具有全天候的工作能力。但目前毫米波雷达天线的主流方案是微带阵列天线，毫米波会把烟雾扬尘误判成障碍物。

价格

相比于激光雷达，毫米波雷达的性价比更高。从单价区间来看，毫米波雷达单价在 300 元人民币-1,000 元人民币区间，而主流激光雷达则处于万元水平。

毫米波雷达原理

毫米波雷达所探测的数据信息，包含角度、距离、速度，构成数据矩阵，将通过 CAN 总线传输，用于传感器融合，进而进行计算分析。

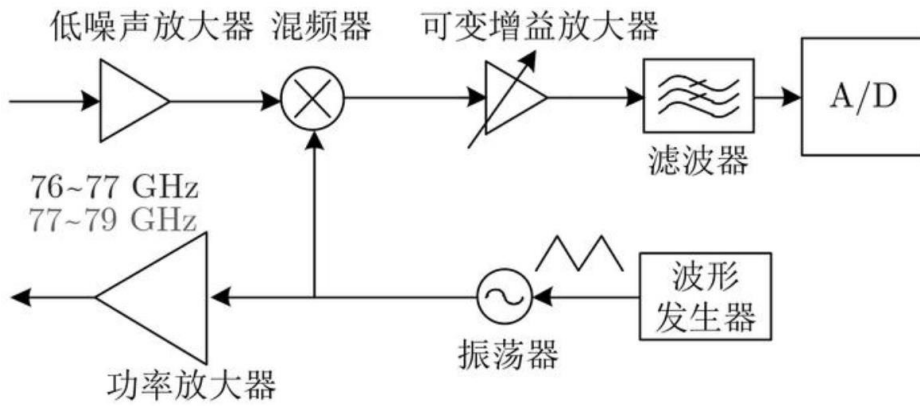
图 37: 不同探测方法及目的

原理	目的
多普勒频移公式	速度
电磁波测得值计算、 天线相位差	距离或范围 方向及角度
FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave, 调频连续波)	位置

资料来源: 公司官网, 招银国际证券预测

目前主流毫米波雷达通过 FMCW 调制方法来测距。振荡器 VCO 形成持续变化的毫米波信号，在接收到反射回波后，通过计算发射信号和接收信号之间的频率差，计算车辆与物体距离。FMCW 方法可以同时用来测速和测距，并且运用于不同的测距模式和不同的波束范围。除主流 FMCW 外，毫米波雷达还具有脉冲、恒频、频移、相移等不同测距方法。

图 38: FMCW 毫米波雷达原理图



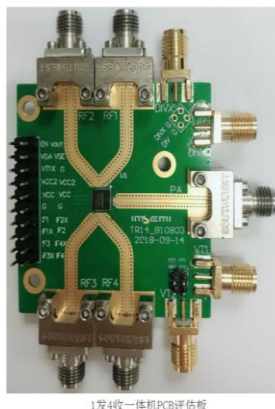
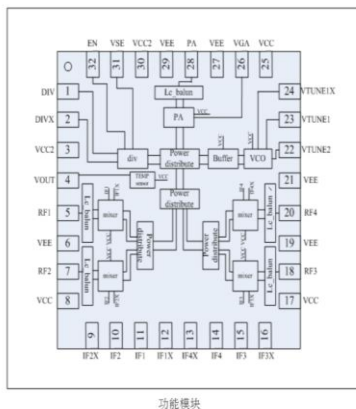
资料来源: 清华大学微电子所, 招银国际证券

硬件产业链拆分

车规级毫米波雷达检测验证周期长, 因此认证量产存在产品护城河。毫米波雷达硬件可以划分为: 信号产生 (压控振荡器 VCO)、发射器、接收器、放大器、模数转换 ADC、运算单元等。射频前端 (包括发射通路和接收通路) 中具有 MMIC 芯片 (Monolithic Microwave IC, 前端单片微波集成电路) 和天线 PCB 板。

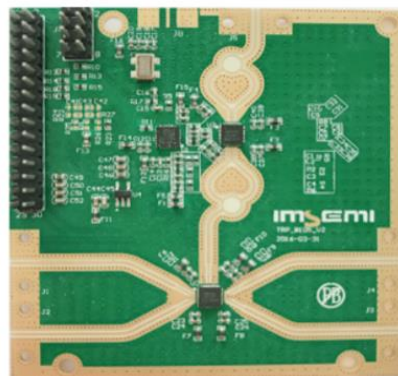
MMIC 包括多种功能电路, 如低噪声放大器 (LNA)、功率放大器 (PA)、混频器、上变频器、检波器、调制器、压控振荡器 (VCO)、移相器、开关等。据麦姆斯咨询报道, 2019 年全球 MMIC 市场规模为 77 亿美元, 预计 2024 年有望增长到 127 亿美元, 预测期内复合年增长率为 10.6%。MMIC 的设计端主要由欧美及中国台湾企业垄断, 主要参与者包括恩智浦、英飞凌、德州仪器、意法半导体等。在制造端, 主要衬底工艺可以划分为砷化镓(GaAs)工艺、锗硅 (SiGe)、CMOS (硅衬底) 以及 RFCMOS 等。上海加特兰微电子 (未上市) 是全球首家量产 CMOS 毫米波雷达收发单芯片的公司, 也是亚洲第一家通过车规认证的 77GHz 毫米波雷达芯片公司, 并且还是全球首家成功导入前装车辆并量产的 CMOS-77GHz 毫米波雷达芯片的公司。

图 39: SG24TR14: 24 GHz 频段低功耗收发一体机 MMIC



资料来源: 厦门意行半导体, 招银国际证券

图 40: 24GHz 射频前端 1 发 4 收 (集成锁相环)



资料来源: 厦门意行半导体, 招银国际证券

图 41: MMIC 集成半导体工艺演进



资料来源: 加特兰微电子, 招银国际证券

车载毫米波雷达行业参与者

从目前市场占有率来看，主要参与者来自德、日等国家，包括博世、大陆、电装、海拉等。国内玩家包括宝隆科技（前向 77GHz 毫米波雷达在研）、华域汽车（24GHz 可量产/77GHz 配套部分客车）；德赛西威目前有可量产产品，配套自主车企；雷科防务具有可量产 77GHz 产品。

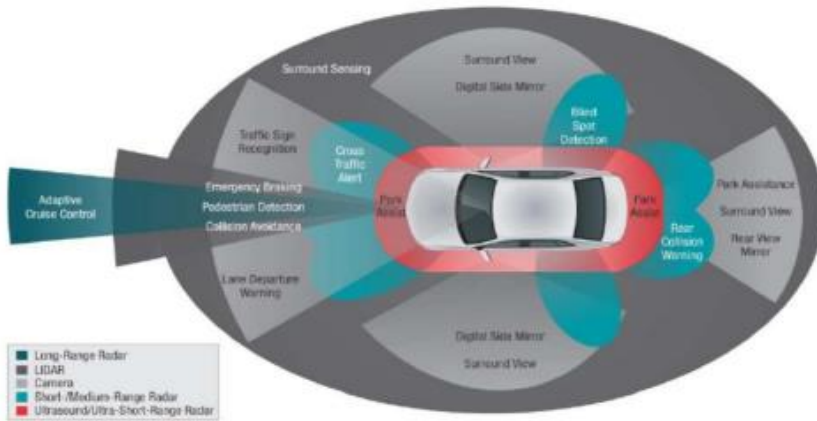
图 42: 毫米波雷达分类

工作频率	位置	测距范围	分辨率
24GHz	角雷达	70 米	分辨率 1m
77GHz	前向中长距离雷达	150 米	分辨率 cm

资料来源: 招银国际证券

套用我们上面提到的毫米波雷达性能对比，77GHz 毫米波雷达相比 24GHz 毫米波雷达的波长更短，因而分辨率及精准度越高，绕射能力越弱，但同时穿透率高，传播损耗大，传输距离短。未来自动驾驶对精度要求将有所提升，我们预计 77GHz 毫米波雷达装配率有望持续提高，成为车载毫米波雷达主流产品。

图 43: 毫米波雷达布局



资料来源: 德州仪器, 招银国际证券

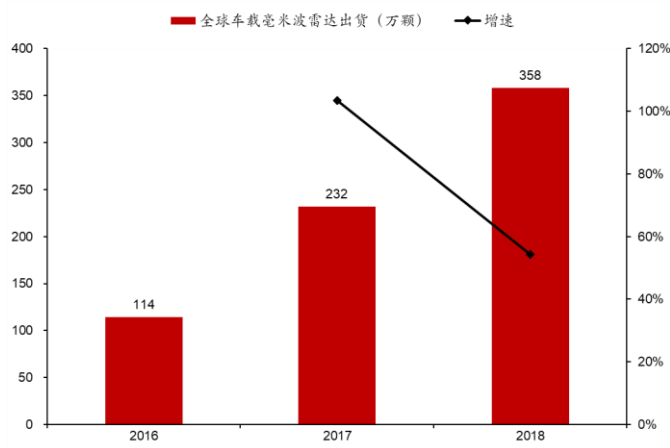
市场趋势与规模

在自动驾驶所用毫米波雷达发展的早期, 由于 77GHz 毫米波雷达的体积小, 导致其生产工艺要求高, 难度大, 成品率低。因此 24GHz 毫米波雷达装配率高于 77GHz 毫米波雷达。

目前来看, 市场中 L2 级别常见配置是 1 颗中长距离毫米波雷达, 加 4 颗角毫米波雷达。我们预计未来 L3+ 级别需要配置 2+ 颗中长距离毫米波雷达, 加 6+ 颗角毫米波雷达。

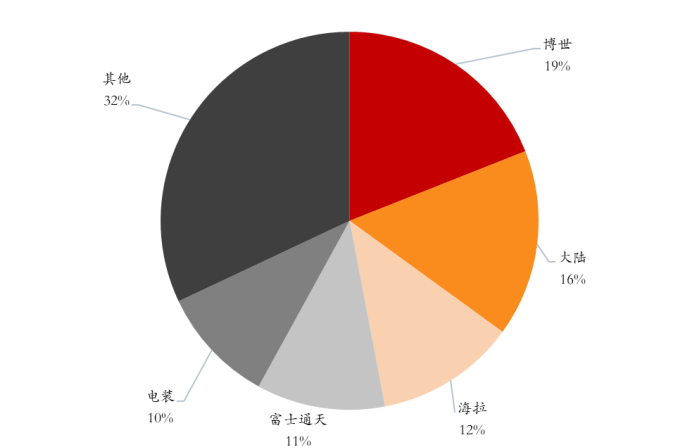
根据半导体行业产业研究机构 Yole 预测, 全球车载毫米波雷达 (24GHz、77GHz 及 79GHz) 市场到 2025 年将达到 86 亿美元, 2015-2025 年复合年增长率达 15.6%。其中 2020 年将成为一个重要的市场转折点, 77GHz 毫米波雷达产品将逐渐替代 24GHz 毫米波雷达, 并且到 2025 年占 90% 以上份额。

图 44: 全球车载毫米波雷达出货 (万颗)



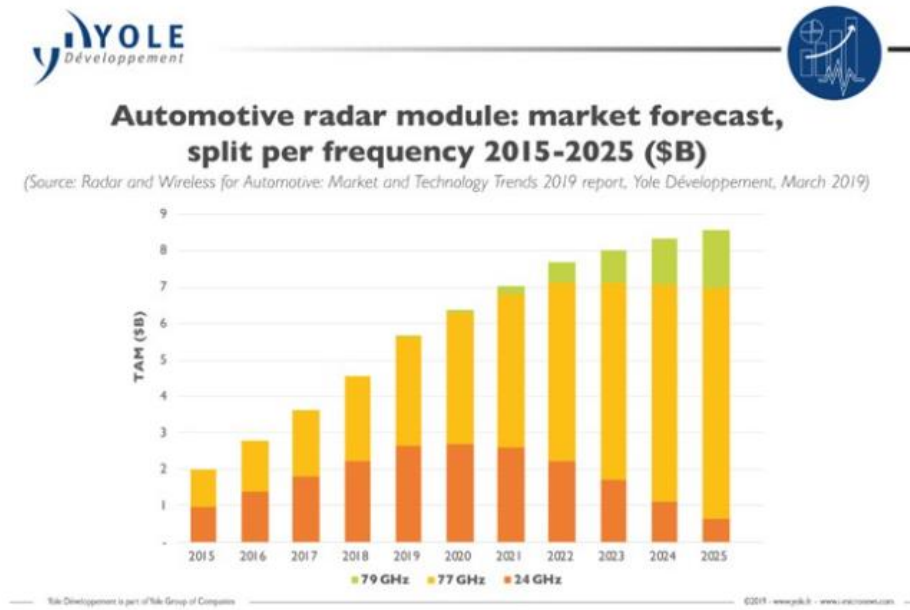
资料来源: 佐思车研, 招银国际证券

图 45: 2018 年全球毫米波雷达出货量占比



资料来源: OFweek, 招银国际证券

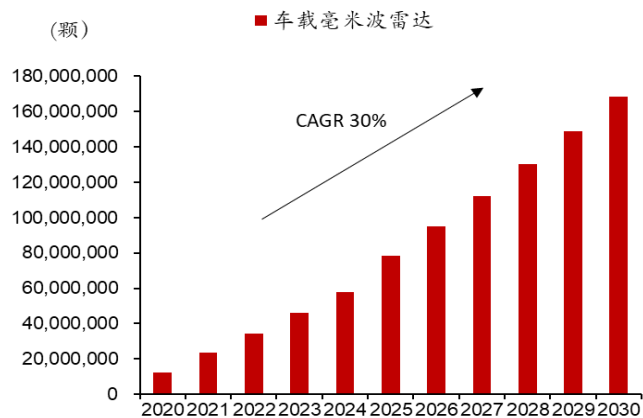
图 46: 全球车载毫米波雷达预测: Yole



资料来源: Yole Development, 招银国际证券

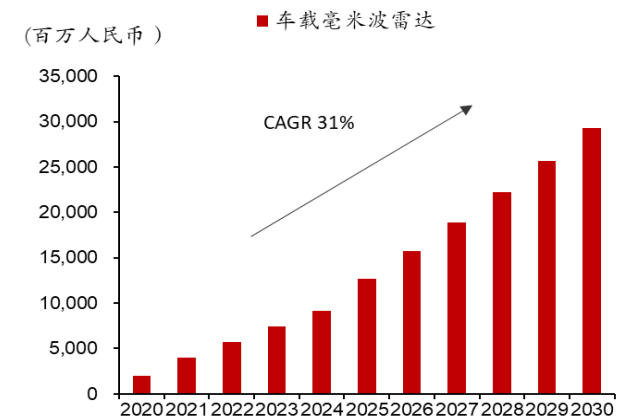
我们以目前毫米波雷达平均单价在人民币 650 元左右作为预测基准。根据招银国际证券预测, 2025 年中国车载毫米波雷达需求量将达到 7,817 万颗, 2020 至 2025 年 CAGR 达到 45%。2025 年中国车载毫米波雷达市场有望达到 127 亿元人民币, 2020 年至 2025 年间 CAGR 达到 45%。发展趋势上, 根据以上技术性讨论, 我们认为未来 77GHz/79GHz 毫米波雷达会逐步替代 24GHz 毫米波雷达。

图 47: 中国车载毫米波雷达需求预测



资料来源: 招银国际证券预测

图 48: 中国车载毫米波雷达市场预测



资料来源: 招银国际证券预测

毫米波雷达产品上市公司标的

无论采用纯视觉还是激光雷达硬件传感器路线, 我们认为毫米波雷达均作为不可或缺的补充, 在硬件传感器细分行业中具有稳定增长的特征。我们推荐投资者关注:

雷科防务 (002413 CH, 未评级)：公司 77GHz 汽车毫米波雷达已实现小规模量产,2021 年会进行自动化产线升级;公司与百度在汽车防撞毫米波雷达的合作还在持续,目前在接口调试和应用对接阶段。

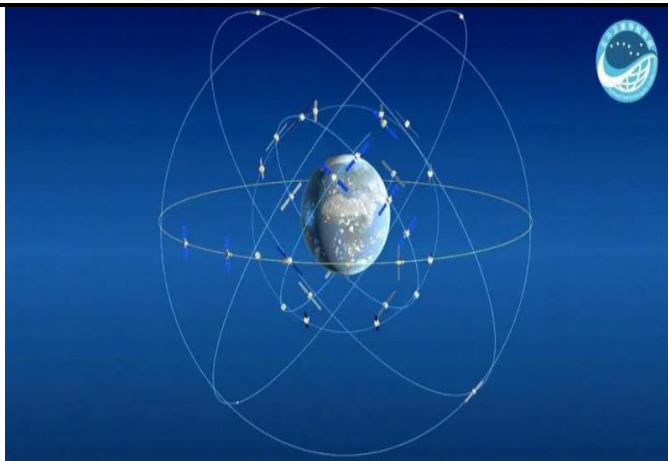
华域汽车 (600741 CH, 未评级)：77GHz 前向毫米波雷达顺利实现对乘用车的配套量产。公司毫米波雷达产品已实现对上汽乘用车、上汽大通等客户的供货。最新研发的 4D 成像毫米波雷达预计在 21 年四季度具备量产能力。

4.4 定位/导航传感器

定位导航的系统可以划分为卫星导航系统 (GPS) 和惯性导航系统 (INS)。

卫星定位导航需要在车端安装卫星导航系统接收机,全球主要卫星导航系统导航系统为 GPS 导航系统以及中国北斗导航系统。理想的车载导航接收器将具备双模定位能力,以应对可能出现的问题。车内通信将以数据包用串口或者以太网为通信方式来进行传输。相比于 INS,卫星导航系统的短时间信息误差比较大。

图 49: 北斗卫星导航系统示意图



资料来源: 中科院物理所, 招银国际证券

图 50: 陀螺仪



资料来源: 中科院物理所, 招银国际证券

惯性导航系统 (INS) 是以和陀螺加速度计为敏感器件的导航参数解算系统。该系统根据陀螺的输出建立导航坐标系, 根据加速度计输出解算出运载体在导航坐标系中的速度和位置。

惯性导航系统作为自主式导航系统, 特点在于不依赖于外部信息、不与外界完成信息交互。惯性导航系统的基本工作原理是以牛顿力学定律为基础, 通过测量载体在惯性参考系的加速度, 对时间进行积分, 且同时变换到导航坐标系中, 就能够得到在导航坐标系中的速度、偏航角和位置等信息。惯性导航系统最大的优势是其计算完全基于自身数据, 不向外发送任何信号, 因此惯性导航系统多用于军事上, 发展成应用飞机、火箭、航天飞机、潜艇的现代惯性导航系统。

惯性导航系统需要的参数指标包括速度、加速度、角速度、角加速度、航向角、俯仰角、横滚角等。在三维立体空间需要陀螺仪 (又称角度加速度计)、加速度计等用以测量相应

参数。通过对陀螺仪测量得到的角加速度进行一次积分，我们可以得到角速度。然后再经过二次积分，我们可以得到累计角度距离以及航向和姿态角。因此陀螺仪形成一个导航坐标系，用以转换初始坐标系。而加速度计的测量轴稳定在陀螺仪形成的导航坐标系中，用来测量运动体的加速度，经过对时间的一次积分得到速度，速度再经过对时间的一次积分即可得到位移。

惯性导航系统还可以用来识别车辆姿态信息。惯性导航系统优势在于短时间姿态变化相对准确，问题在于长时间累计误差会逐步增加。目前的解决方法是定期重置速度、角速度、位置等信息并进行校正。

卫星导航与广兴导航的结合应用

我们认为未来定位导航将采用卫星导航与惯性导航系统相结合的方式，在提高稳定性的同时获得更高的定位精度。在外界比较开放的环境中，可以使用北斗或 GPS 进行卫星导航和定位。一些受到信号干扰的场景，如高楼密集区、山体及海底隧道、高架桥以及地下停车场等卫星信号较差甚至无信号的场景，车辆可以自动切换至惯性导航系统来获得更精准的导航和位置信息。

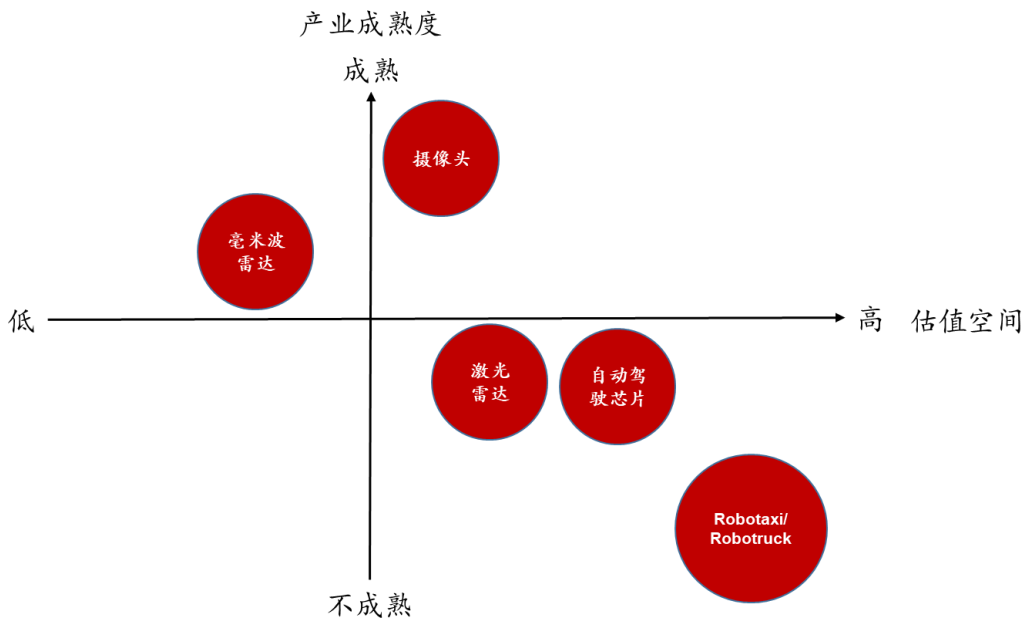
定位导航上市公司标的

我们认为定位导航赛道在硬件传感器领域容易被投资者忽略，但行业竞争格局却优于摄像头、激光雷达、毫米波雷达等行业。我们推荐投资者关注国内稀缺的民营惯性导航系统产业化龙头**星网宇达（002829 CH，未评级）**、车载导航电子地图服务提供商**四维图新（002405 CH，未评级）**以及 GNSS 产品及解决方案提供商**北斗星通（002151 CH，未评级）**。

5. 自动驾驶硬件前景及资本市场推荐

综合考虑技术成熟度、商业模式可行性、法律法规等因素后，我们认为自动驾驶细分领域将遵循以下落地时间线顺序：**L2.5 级别自动驾驶 > Robotruck 封闭场景 L4 > 开放场景 L3 级别自动驾驶乘用车及 L3 级别 Robotruck 干线物流 > 特定区域 L4 级别 Robotaxi > L4 级别 Robotruck 端到端物流 > 全场景 L4 > 全场景 L5。**

图 51: 我们对于自动驾驶相关领域的产业成熟度和估值前景判断



资料来源: 招银国际证券

我们认为短期内 Robotaxi、干线物流以及全场景 L4 分别存在核心限制因素。其中 Robotaxi 核心阻碍在技术，干线物流核心阻碍在政策推动及路侧基建，而全场景 L4 核心阻碍在法律法规及道德讨论。特定区域 Robotaxi 最难突破的问题来自于数据积累及相应软件算法。从技术上讲，特定区域 Robotaxi 需要扫掉所有的长尾场景 (Cornercase)，因此需要长时间的数据积累及相应的软件算法开发。L4 级别干线物流需要路侧传感器的支持，同时需要解决自动驾驶“最后一公里”的问题，核心阻碍仍然是缺乏对路侧大规模基建的政策推动。全场景 L4 的大规模普及则需要突破法律法规及道德决策的双重限制。我们预计真正意义的全场景 L4 预计需要 7-9 年的时间。我们预计 L2.5 级别自动驾驶、Robotruck 封闭场景 L4 以及开放场景 L3 级别自动驾驶乘用车、L3 级别 Robotruck 干线物流等自动驾驶场景将率先落地。

因此给定以上商业化顺序，我们预计硬件方面摄像头、毫米波雷达、激光雷达的渗透率将快速提升，并且率先实现规模商业化。短期内，相关硬件供应商不用关注下游 OEM 的落地场景，可以专注于 OEM 客户数量的拓展，以积累公司的核心订单量。我们认为相关产业逻辑可以参考新能源汽车行业发展初期的动力电池、电机等细分赛道过往表现。

我们首先看好自动驾驶硬件。摄像头行业，我们推荐投资者关注舜宇光学 (2382 HK, 买入, 招银国际科技组覆盖)、欧菲光 (002456 CH, 未评级) 等。毫米波雷达行业，我们

推荐投资者关注**华域汽车 (600741 CH)** 等。激光雷达行业，我们推荐投资者关注**禾赛科技 (未上市)**、**速腾激光 (未上市)**、**大疆车载 (未上市)** 等。从全栈解决方案提供商角度，我们推荐投资者关注**百度 (BADU US/9888 HK, 买入, 招银国际互联网组覆盖)** 以及**小马智行 (未上市)**、**文远知行 (未上市)** 等。

免责声明及披露

分析员声明

负责撰写本报告的全部或部分内容的分析员，就本报告所提及的证券及其发行人做出以下声明：（1）发表于本报告的观点准确地反映有关于他们个人对所提及的证券及其发行人的观点；（2）他们的薪酬在过往、现在和将来与发表在报告上的观点并无直接或间接关系。

此外，分析员确认，无论是他们本人还是他们的关联人士（按香港证券及期货事务监察委员会操作守则的相关定义）（1）并没有在发表研究报告30日前处置或买卖该等证券；（2）不会在发表报告3个工作日内处置或买卖本报告中提及的该等证券；（3）没有在有关香港上市公司内任职高级人员；（4）并没有持有有关证券的任何权益。

招银国际证券或其关联机构曾在过去12个月内与本报告内所提及发行人有投资银行业务的关系。

招银国际证券证券投资评级

买入	: 股价于未来12个月的潜在涨幅超过15%
持有	: 股价于未来12个月的潜在变幅在-10%至+15%之间
卖出	: 股价于未来12个月的潜在跌幅超过10%
未评级	: 招银国际证券并未给予投资评级

招银国际证券证券行业投资评级

优于大市	: 行业股价于未来12个月预期表现跑赢大市指标
同步大市	: 行业股价于未来12个月预期表现与大市指标相若
落后大市	: 行业股价于未来12个月预期表现跑输大市指标

招银国际证券证券有限公司

地址: 香港中环花园道3号冠君大厦45楼

电话: (852) 3900 0888

传真: (852) 3900 0800

招银国际证券证券有限公司(“招银证券”)为招银国际证券金融有限公司之全资附属公司(招银国际证券金融有限公司为招商银行之全资附属公司)

重要披露

本报内所提及的任何投资都可能涉及相当大的风险。报告所载数据可能不适合所有投资者。招银国际证券证券不提供任何针对个人的投资建议。本报告没有把任何人的投资目标、财务状况和特殊需求考虑进去。而过去的表现亦不代表未来的表现，实际情况可能和报告中所载的大不相同。本报告中所提及的投资价值或回报存在不确定性及难以保证，并可能会受目标资产表现以及其他市场因素影响。招银国际证券证券建议投资者应该独立评估投资和策略，并鼓励投资者咨询专业财务顾问以便作出投资决策。

本报告包含的任何信息由招银国际证券证券编写，仅为本公司及其关联机构的特定客户和其他专业人士提供的参考数据。报告中的信息或所表达的意见皆不可作为或被视作证券出售要约或证券买卖的邀请，亦不构成任何投资、法律、会计或税务方面的最终操作建议，本公司及其雇员不就报告中的内容对最终操作建议作出任何担保。我们不对因依赖本报告所载资料采取任何行动而引致之任何直接或间接的、疏忽、违约、不谨慎或各类损失或损害承担任何的法律上责任。任何使用本报告信息所作的投资决策完全由投资者自己承担风险。

本报告基于我们认为可靠且已经公开的信息，我们力求但不担保这些信息的准确性、有效性和完整性。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，可能会随时调整，且不承诺作出任何相关变更的通知。本公司可发布其它与本报告所载资料及/或结论不一致的报告。这些报告均反映报告编写时不同的假设、观点及分析方法。客户应该小心注意本报告中所提及的前瞻性预测和实际情况可能有显著区别，唯我们已合理、谨慎地确保预测所用的假设基础是公平、合理。招银国际证券证券可能采取与报告中建议及/或观点不一致的立场或投资决定。

本公司或其附属关联机构可能持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并不时自行及/或代表其客户进行交易或持有该等证券的权益，还可能与这些公司具有其他投资银行相关业务联系。因此，投资者应注意本报告可能存在的客观性及利益冲突的情况，本公司将不会承担任何责任。本报告版权仅为本公司所有，任何机构或个人于未经本公司书面授权的情况下，不得以任何形式翻版、复制、转售、转发及或向特定读者以外的人士传阅，否则有可能触犯相关证券法规。

如需索取更多有关证券的信息，请与我们联系。

对于接收此份报告的英国投资者

本报告仅提供给符合(I)不时修订之英国2000年金融服务及市场法令2005年(金融推广)令(“金融服务令”)第19(5)条之人士及(II)属金融服务令第49(2)(a)至(d)条(高净值公司或非公司社团等)之机构人士，未经招银国际证券证券书面授权不得提供给其他任何人。

对于接收此份报告的美国投资者

招银国际证券不是在美国的注册经纪交易商。因此，招银国际证券不受美国就有研究报告准备和研究分析员独立性的规则的约束。负责撰写本报告的全部或部分内容的分析员，未在美国金融业监管局(“FINRA”)注册或获得研究分析师的资格。分析员不受旨在确保分析师不受可能影响研究报告可靠性的潜在利益冲突的相关FINRA规则的限制。本报告仅提供给美国1934年证券交易法(经修订)规则15a-6定义的“主要机构投资者”，不得提供给其他任何个人。接收本报告之行为即表明同意接受协议不得将本报告分发或提供给任何其他人士。接收本报告的美国收件人如想根据本报告中提供的信息进行任何买卖证券交易，都应仅通过美国注册的经纪交易商来进行交易。

对于在新加坡的收件人

本报告由CMBI(Singapore)Pte. Limited (CMBISG) (公司注册号201731928D)在新加坡分发。CMBISG是在《财务顾问法案》(新加坡法例第110章)下所界定，并由新加坡金融管理局监管的豁免财务顾问公司。CMBISG可根据《财务顾问条例》第32C条下的安排分发其各自的外国实体，附属机构或其他外国研究机构编制的报告。如果报告在新加坡分发给非《证券与期货法案》(新加坡法例第289章)所定义的认可投资者，专家投资者或机构投资者，则CMBISG仅会在法律要求的范围内对这些人士就报告内容承担法律责任。新加坡的收件人应致电(+65 6350 4400)联系CMBISG，以了解由本报告引起或与之相关的事宜。