

2021年01月24日

激光雷达：自动驾驶之眼——智能网联专题系列一

■乘自动驾驶发展东风，激光雷达走进大众视野：激光雷达是自动驾驶与机器人产业的重要传感器类型之一，2005年，Velodyne首次将64线激光雷达应用于DARPA挑战赛，2007年Velodyne生产出首台商用3D动态扫描激光雷达，成为该行业的重要时刻。相比毫米波雷达、摄像头、超声雷达等方案，激光雷达在可靠度、探测距离、夜间表现等方面较为均衡，具备一定优势，车企通常采用多类传感器融合方案。激光雷达按照技术路径细分可分为机械式、混合固态（MEMS）、固态式（OPA、Flash）三种类别。其中机械式发展较早，技术成熟度高；固态式在性能、成本上要优于机械式，但技术上还有待突破。当前对于激光雷达的评判标准集中在车规级、可量产、低成本三个方面，在车规级方面，镭神智能CH32混合固态激光雷达，在国内率先通过车规级认证，在可量产与低成本方面，固态式激光雷达体积小、整体量产成本和量产难度较低，容易在技术成熟后产生可大规模应用的市场价格。尽管固态式在整体性能上优于机械式，但距离技术上的完全成熟还需要一段时间，因此短期内激光雷达市场上仍旧是机械式与固态式激光雷达并存的局面。

■激光雷达市场发展迅速，整体复合增速达64.5%：激光雷达市场广阔，根据沙利文预测，激光雷达整体市场规模预计至2025年将达到135.4亿美元，较2019年可实现64.5%的年均复合增长率；细分市场中汽车领域市场最为广阔，据Velodyne预测，2022年汽车领域激光雷达市场规模将达72亿美元，占比约60%，Luminar则给出了2030年达到千亿美元量级的预测；在智慧城市概念发展的推动下，车联网领域市场发展迅速，至2025年，全球激光雷达在该领域的市场规模将超过45亿美元，2019年至2025年复合增长率为48.48%。L3级标准下的ADAS高级辅助驾驶市场与L4、L5级标准下的无人驾驶市场都对激光雷达技术产品拥有着较高的需求，L5级自动驾驶标准下，激光雷达的配置数量不应少于4个，激光雷达行业将迎来广阔的发展空间。

■国内产业链崛起，美股迎来激光雷达企业上市潮，禾赛科技拟登陆科创板：

①产业链方面，上游主要包括激光发射接收模块、扫描器、信息处理芯片等部分，下游包括各类测绘和导航需求，如自动驾驶等。国外公司分布全面，整机领域有Velodyne、Luminar、Valeo、Ouster等龙头，光学元件领域有意法半导体、亚洲光学等，光源领域有Thorlabs、飞利浦光学等，探测器领域有SensL、飞利浦等公司，IC领域则有赛灵思、Qorvo等公司。国内公司在整机领域公司较多，例如禾赛科技、北醒、北科天绘、镭神智能等，近年来上游也得到了发展，芯视界微电子、灵明光子等公司纷纷得到巨头投资。数模混合信号龙头公司艾为电子、激光器三优光电、精密光学元件福特科等新三板公司涉及激光雷达产业链相关环节。②业内公司方面，Velodyne作为激光雷达行业龙头，于2020年9月完成NASDAQ上市，预计2020财年营收0.94亿美元，市值40亿美元左右；Luminar于2020年12月完成NASDAQ上市，预计2020财年营收0.15亿美元，市值100亿美元左右；禾赛科技于2021年1月7日科创板受理，有望成为国内首家上市的激光雷达企业。在营收规模方面，禾赛科技2019年营收增长率达到162.3%，达到3.48亿元，2020前三季度达到2.53亿元。在毛利率方面，禾赛科技的毛利率2017-2019均高于70%，Luminar由于其产品仍处于研发期，2019年毛利率为负。

■风险提示：技术成熟度不及预期，行业竞争加剧的风险。

新三板主题报告

证券研究报告

诸海滨

分析师

SAC执业证书编号：S1450511020005

zhuhb@essence.com.cn

021-35082086

赵昊

分析师

SAC执业证书编号：S1450519060001

zhaohao1@essence.com.cn

相关报告

西部最大民办高中教育集团

赴美上市，轻资产扩张形成2021-01-19

“一校多点”办学格局

IPO观察：IPO审核新增15家过会，新三板贡献7家2021-01-19

全市场科技产业策略报告第

九十四期2021-01-18

从港股2020退市情况看注

册制推进和转板2021-01-17

从2020美股IPO启示寻精

选层投资多路径思考2021-01-14

内容目录

1. 写在前面：激光雷达行业迎来上市潮，行业将呈现快速扩张新格局？	5
2. 思考一：刨根问底，激光雷达将迎来自动驾驶汽车发展新机遇？	6
2.1. 先看历史：诞生于 1960 年，2000 年后逐步应用于无人驾驶领域.....	6
2.2. 剖析概念：激光雷达由激光发射、接收、信息处理、扫描四大基础系统构成.....	7
2.3. 再看分类：机械式与固态式是汽车领域激光雷达的主要类别.....	10
2.3.1. 测距方法分类：ToF 法更为成熟，FMCW 具有更高的抗干扰性	12
2.3.2. 技术架构分类：机械式技术趋近成熟，固态式预计将成为未来主流	13
2.3.2.1. 机械式激光雷达：可实现水平 360°全覆盖，体积较大价格较贵.....	14
2.3.2.2. MEMS 混合固态激光雷达：半机械式构造，可实现激光雷达的小型化.....	15
2.3.2.3. Flash 激光雷达：采用类照相机工作模式，具有 256x256 像素点探测器.....	15
2.3.2.4. OPA 固态激光雷达：产品小型化，无需机械扫描.....	16
2.3.2.5. 浅显之见：机械式已进入量产阶段，固态式通过车规认证.....	17
2.4. 分析优势：激光雷达探测精度高、探测范围最高可达 360°.....	21
3. 思考二：需求视角，行业规模将迎来快速扩张期？	25
3.1. 行业规模与发展趋势：激光雷达行业迎来无人驾驶行业发展新机遇.....	25
3.1.1. 汽车激光雷达市场：2025 年汽车领域激光雷达市场规模预计将超 80 亿美元..	27
3.1.1.1. L4/L5 级无人驾驶市场：2025 年市场规模预计达到 35 亿美元.....	27
3.1.1.2. L3 级高级辅助驾驶市场：2025 年市场规模预计将达到 46.1 亿美元.....	28
3.1.2. 服务型机器人市场：2025 年激光雷达在机器人领域市场预计达到 7 亿美元....	29
3.1.3. 车联网市场：全球激光雷达在车联网市场规模将超过 45 亿美元.....	29
3.2. 行业技术壁垒：行业技术壁垒较高，需要应对产品的快速迭代	30
3.3. 行业政策：政策不断利好，激光雷达市场迎来快速发展.....	31
4. 思考三：供给视角，激光雷达行业各个玩家的竞争格局如何？	33
4.1. 产业链：国内产业链中游突出上游崛起，固态化趋势推动成本降低和实用化.....	33
4.2. 概况对比：Velodyne 是全球行业龙头，禾赛科技在国内市场处于领先地位.....	36
4.2.1. Velodyne：激光雷达行业龙头，2020 财年预计营收 0.94 亿美元.....	37
4.2.2. Luminar：专注于高速公路无人驾驶技术，固态式车载激光雷达技术领先者....	39
4.2.3. 禾赛科技：拟于科创板上市，国内激光雷达行业领军者.....	41
4.2.4. 关键业务指标对比：Velodyne 市场营收总额最高，禾赛科技毛利率领先.....	44

图表目录

图 1：激光雷达发展历程.....	6
图 2：激光雷达技术方案发展趋势.....	7
图 3：Velodyne 激光雷达产品.....	7
图 4：激光雷达应用场景.....	8
图 5：激光雷达工作原理.....	8
图 6：激光雷达组成结构.....	9
图 7：激光雷达四个维度.....	9
图 8：华为 96 线程激光雷达.....	10
图 9：不同类型激光雷达传感器搭载平台及适用尺度.....	11
图 10：激光雷达技术架构分类.....	11
图 11：ToF 工作原理.....	12
图 12：ToF 激光雷达核心模块示意图	12

图 13: FMCW 工作原理.....	13
图 14: FMCW 架构组成.....	13
图 15: 机械式雷达结构图.....	14
图 16: 机械式雷达工作原理.....	15
图 17: MEMS 工作原理.....	15
图 18: Flash 激光雷达工作原理.....	16
图 19: Flash 激光雷达小型化历程.....	16
图 20: OPA 激光雷达工作原理.....	17
图 21: 激光雷达实际应用性.....	18
图 22: 镭神智能车规级激光雷达.....	19
图 23: 激光雷达技术流派及代表性公司.....	20
图 24: 各类激光雷达占比.....	20
图 25: 部分激光雷达产品对比 (2017-2018 年)	21
图 26: 四维图新自动驾驶车上主要传感器.....	22
图 27: 不同自动驾驶标准对激光雷达数量要求.....	22
图 28: 各类型传感器性能雷达图.....	23
图 29: 自动驾驶技术应用路径.....	23
图 30: 不同类型雷达波长与频率对比.....	24
图 31: 2022 年激光雷达市场细分占比.....	25
图 32: 激光雷达市场规模预测 (十亿美元)	25
图 33: 激光雷达细分市场预测.....	26
图 34: 全球激光雷达市场规模 (亿美元)	26
图 35: 中国激光雷达市场规模 (亿美元)	27
图 36: 激光雷达在无人驾驶产业的应用.....	27
图 37: 激光雷达在无人驾驶领域市场规模 (亿美元)	28
图 38: 激光雷达在高级辅助驾驶领域市场规模 (亿美元)	28
图 39: 激光雷达在机器人产业的应用.....	29
图 40: 激光雷达在服务型机器人领域市场规模 (亿美元)	29
图 41: 激光雷达在车联网领域应用.....	30
图 42: 激光雷达在车联网领域市场规模 (亿美元)	30
图 43: 行业主要壁垒.....	31
图 44: 激光雷达产业链.....	33
图 45: 激光雷达产业链公司.....	33
图 46: 激光雷达产业链及代表公司.....	34
图 47: 2017 年至 2020 年投融资事件数量.....	35
图 48: 2017 至 2021 年 1 月融资轮次分布.....	35
图 49: Velodyne 发展历程.....	38
图 50: Velodyne 产品种类与应用场景.....	38
图 51: Velodyne 产品的性能对比.....	38
图 52: Velodyne 雷达出货量预测.....	39
图 53: Luminar 发展历程.....	39
图 54: Luminar 营收规模与预测 (百万美元)	40
图 55: Luminar 产品性能对比.....	40
图 56: Luminar 主要产品 Iris.....	40
图 57: Luminar 合作客户.....	41

图 58: 禾赛科技合作客户.....	41
图 59: 禾赛科技产品演变.....	43
图 60: 禾赛科技主营业务收入变化 (万元, %)	43
图 61: 2019 年禾赛科技各产品收入占比.....	44
图 62: 营业收入 (亿元)	45
图 63: 净利润 (万元)	45
图 64: 毛利率.....	45
表 1: 自动化驾驶分级标准.....	5
表 2: 显性参数指标.....	10
表 3: 激光雷达不同的分类方式.....	11
表 4: ToF 与 FMCW 特点对比.....	12
表 5: 机械式与固态式特点对比.....	14
表 6: 激光雷达技术方案.....	17
表 7: 性能参数.....	18
表 8: 激光雷达实际应用性比较.....	18
表 9: 技术特点与量产时间.....	19
表 10: 各类型传感器指标对比.....	23
表 11: 各类型传感器应用性能对比.....	24
表 12: 非汽车领域激光雷达需求预测.....	26
表 13: 行业政策.....	31
表 14: 2017 年至今激光雷达公司最新融资情况.....	35
表 15: 新三板激光雷达产业链公司.....	36
表 16: 行业内主要的激光雷达公司.....	37
表 17: 不同细分市场禾赛科技代表产品.....	42
表 18: 禾赛科技无人驾驶领域代表产品.....	42
表 19: 禾赛科技 ADAS 领域代表产品	43
表 20: 已上市与即将上市公司市值规模对比 (市值基于 2021 年 1 月 7 日美股收盘价)	44
表 21: Aeva、Innoviz、Ouster 已公布预期营收和估值情况.....	45

1. 写在前面：激光雷达迎来上市潮，行业将呈现快速扩张新格局？

激光雷达行业龙头 Velodyne 和 Luminar 于 2020 年完成在 NASDAQ 上市，Aeva 将于 2021 年第一季度完成 NYSE 上市，Innoviz 将于 2021 年第一季度完成 NASDAQ 上市，Ouster 计划 2021 年上半年完成 NYSE 上市，随着这样一波密集的上市潮的到来，资本力量正加速入局激光雷达行业市场，这必将重塑当前激光雷达行业的发展格局。与此同时，国内市场激光雷达企业的发展也进入了加速阶段，国内机械式激光雷达龙头禾赛科技于 2021 年 1 月 7 日申请科创板上市，或成为国内首家上市的激光雷达公司，镭神智能的混合固态激光雷达产品正式通过国家车规级认证，成为国内首个、全球第二个获得正式认证报告的车规级激光雷达。（来源：禾赛科技招股书、镭神科技公司官网）

激光雷达是自动驾驶技术实现的关键技术设备，国家在自动驾驶领域颁布的规范化扶持政策，也助力国内激光雷达市场进一步扩张。国家在最新颁布的《汽车驾驶自动化分级》编制说明中指出，驾驶自动化技术是国际公认的未来发展方向和关注焦点之一。制定国家标准的意义不仅在于汽车产品与技术的升级，更有可能带来汽车及相关产业全业态和价值链体系的重塑。中、美、欧、日等都将驾驶自动化技术作为交通领域的重点发展方向，并从国家层面进行战略布局。因此，国家政策、行业发展也亟需形成统一的规范性分级，促进行业的进一步发展。

表 1：自动化驾驶分级标准

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，安信证券研究中心

在自动化驾驶的 5 级标准中，L3 级标准下的 ADAS 高级辅助驾驶市场与 L4、L5 级标准下的无人驾驶市场都对激光雷达技术产品拥有着较高的需求，随着中国自动驾驶领域的政策和规范的不成熟，激光雷达行业将迎来广阔的发展空间。

根据 Velodyne 预测，2022 年激光雷达市场规模将达到 119 亿美元，其中约 72 亿美元来自汽车领域的应用，占比约 60%。在自动汽车领域中，机械式和固态式激光雷达的技术发展方向之争也将在未来深刻的影响着激光雷达市场的发展走向。因此，本文希望从激光雷达的发展历程入手，对激光雷达市场当前的发展现状与发展脉络进行梳理，并对当前机械式与固态式激光雷达并存的市场格局的发展走向进行分析，最后对产业链上下游环节的公司进行详细梳理。

2. 思考一：刨根问底，激光雷达将迎来自动驾驶汽车发展新机遇？

2.1. 先看历史：诞生于1960年，2000年后逐步应用于无人驾驶领域

激光雷达的发展历史已有数十年。从1960年激光器诞生后不久，激光便被应用于各种测量场景，科技界迅速将激光应用在测距仪和激光雷达当中，早在1971年，激光雷达便跟随阿波罗15号进行了月面测绘。但一直以来，受制于各类激光设备的技术难度，激光雷达成本较高，商业化场景较少。但这一局面在21世纪得以改变，包括DARPA、Velodyne等政界、军界、商界重要成员合力推动激光雷达发展，2005年，Velodyne首次将64线激光雷达应用于DARPA挑战赛，2007年Velodyne生产出首台商用3D动态扫描激光雷达，成为该行业的重要时刻。此后，Ibeo、Valeo、Luminar等公司相继推出各自的激光雷达产品，技术上各有优势，机械式产品逐渐转变为固态产品，产品成本逐渐降低，到2020年，Velodyne的新款固态激光雷达售价已达到100美元（公司官网），可以说正式进入实用区间。

国内激光雷达产业发展也相当迅速，从人工智能与自动驾驶产业快速发展后，我国涌现出北科天绘、速腾聚创、镭神智能、禾赛科技、Innovusion等一大批优秀公司，产品性能也不断提升，从16线到128线乃至300线产品都有，探测距离也达到500m量级。

综合来看，激光雷达产业一直朝向远距离、大范围、高分辨率、低成本的方向发展，如今的商用激光雷达已经远超早期产品。

图1：激光雷达发展历程



资料来源：各家公司官网，安信证券研究中心制图

无人驾驶领域将成为未来激光雷达最主要的应用市场，在此基础上，当前的机械式激光雷达技术较为成熟，具有一定的应用可行性，但固态式激光雷达将凭借成本低、小型化、更容易量产等特点在未来市场中占据优势。

图 2：激光雷达技术方案发展趋势



资料来源：麦姆斯咨询，安信证券研究中心

2.2. 剖析概念：激光雷达由激光发射、接收、信息处理、扫描四大基础系统构成

激光雷达 (Light Detection And Ranging, 简称"LiDAR") 即光探测与测量，是一种集激光、全球定位系统 (GPS) 和 IMU (Inertial Measurement Unit, 惯性测量装置) 三种技术于一身的系统，用于获得数据并生成精确的 DEM (数字高程模型)。这三种技术的结合，可以高度准确地定位激光束打在物体上的光斑，测距精度可达厘米级，激光雷达最大的优势就是"精准"和"快速、高效作业"。

图 3：Velodyne 激光雷达产品



资料来源：Velodyne 官网，安信证券研究中心

激光雷达当前被广泛用于无人驾驶汽车和机器人领域，被誉为广义机器人的“眼睛”，是一种通过发射激光来测量物体与传感器之间精确距离的主动测量装置。激光雷达通过激光器和探测器组成的收发阵列，结合光束扫描，可以对广义机器人所处环境进行实时感知，获取周围物体的精确距离及轮廓信息，以实现避障功能；同时，结合预先采集的高精地图，机器人在环境中通过激光雷达的定位精度可达厘米量级，以实现自主导航。

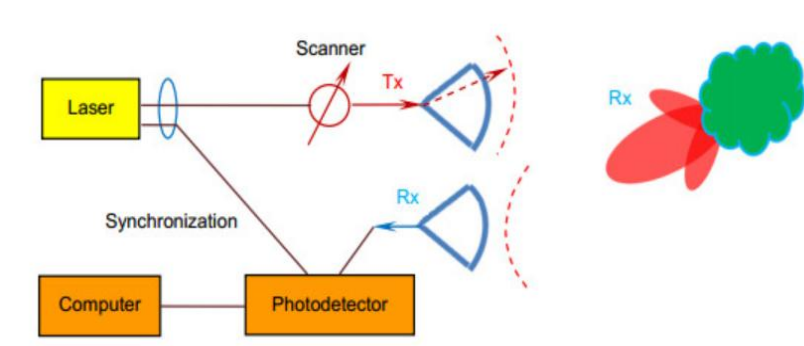
图 4：激光雷达应用场景



资料来源：Velodyne 官网，安信证券研究中心

激光雷达可以高精度、高准确度地获取目标的距离、速度等信息或者实现目标成像。激光雷达工作过原理：激光通过扫描器单元形成光束角度偏转，光束与目标作用形成反射/散射的回波。当接收端工作时，可产生原路返回的回波信号光子到达接收器，接收端通过光电探测器形成信号接收，经过信号处理得到目标的距离、速度等信息或实现三维成像。可见，光束扫描器和探测系统的实现方式便是研究重点，需求从机械式向小型化全固态方向发展。

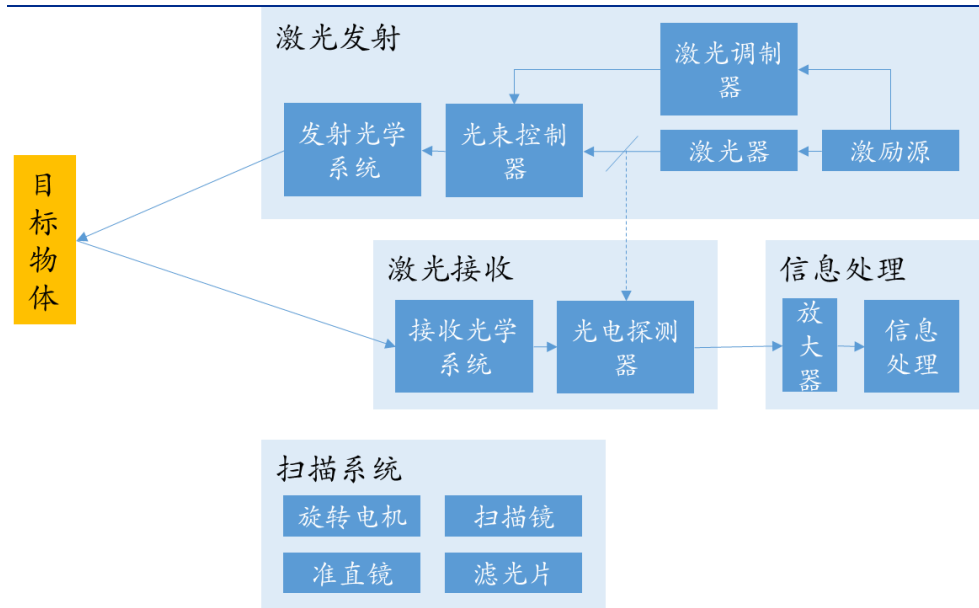
图 5：激光雷达工作原理



资料来源：《固态激光雷达研究进展》，陈敬业，时尧成，安信证券研究中心

激光雷达由激光发射、激光接收、信息处理、扫描系统四大基础系统构成，这四大系统相互协作，进而短时间内获取大量的位置点信息，并根据这些信息实现三维建模。其中① 激光发射系统：激励源周期性地驱动激光器，发射激光脉冲，激光调制器通过光束控制器控制发射激光的方向和线数，最后通过发射光学系统，将激光发射至目标物体；② 激光接收系统：经接收光学系统，光电探测器接受目标物体反射回来的激光，产生接收信号；③ 信息处理系统：接收信号经过放大处理和数模转换，经由信息处理模块计算，获取目标表面形态、物理属性等特性，最终建立物体模型。④ 扫描系统：以稳定的转速旋转起来，实现对所在平面的扫描，并产生实时的平面图信息。

图 6：激光雷达组成结构



资料来源：汽车人参考，安信证券研究中心制图

激光雷达的测距原理可分为三角测距法和 ToF(飞行时间法)，前者主要用于扫地机器人、工业机器人等非车载应用，而后者才是汽车激光雷达的主要测距原理。激光雷达的光束操纵方式有 MEMS 微振镜扫描、OPA 扫描、机械式扫描（又包括旋转马达扫描、平面摆镜扫描、多棱镜扫描等多种宏观可见的扫描方式）、闪光式（无需扫描元件）等，光束操纵也是最复杂、最关键的激光雷达技术维度。在光源方面，涵盖 LED、EEL、VCSEL 和光纤激光器，而在探测器方面，包括 PIN PD、APD/SPAD/SiPM、CMOS 图像传感器、CCD 图像传感器。

图 7：激光雷达四个维度



资料来源：麦姆斯咨询，安信证券研究中心

激光雷达产品可以从显性参数、实测性能表现及隐性指标等方面进行评估和比较。显性参数指列示在产品参数表中的信息，主要包含测远能力、点频、角分辨率、视场角范围、测距精准度、功耗、集成度（体积及重量）等。

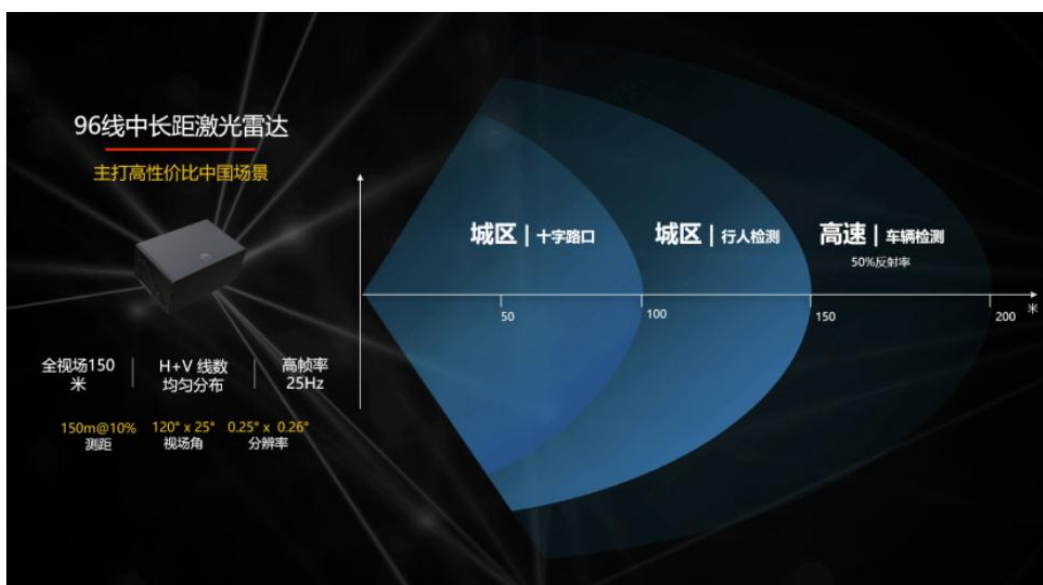
表 2: 显性参数指标

参数	描述	说明
测远能力	一般指激光雷达对于 10% 低反射率目标物 (标准朗伯体反射能量的比例) 的最远探测距离。	激光雷达测远能力越强, 距离覆盖范围越广, 目标物探测能力越强, 留给系统进行感知和决策的时间越长。目标物反射率影响探测距离, 相同距离下, 反射率越低越难进行探测。
点频	激光雷达每秒完成探测获得的探测点的数目。	点频越高说明相同时间内的探测点数越多, 对目标物探测和识别越有利。
角分辨率	激光雷达相邻两个探测点之间的角度间隔, 分为水平角度分辨率与垂直角度分辨率。	相邻探测点之间角度间隔越小, 对目标物的细节分辨能力越强, 越有利于进行目标识别。
视场角范围 (FOV)	激光雷达探测覆盖的角度范围, 分为水平视场角范围与垂直视场角范围。	视场角越大说明激光雷达对空间的角度覆盖范围越广。
测距精度	激光雷达对同一距离下的物体多次测量所得数据之间的一致程度。	精度越高表示测量的随机误差越小, 对物体形状和位置的描述越准确, 对目标物探测越有利。
测距准度	测距值和真实值之间的一致程度。	准度越高表示测量的系统误差越小, 对物体形状和位置的描述越准确, 对目标物探测越有利。
功耗	激光雷达系统工作状态下所消耗的电功率。	在探测性能类似的情况下, 功耗越低说明系统的能量利用率越高, 同时散热负担也更小。
集成度	直观体现为产品的体积和重量。	在探测性能类似的情况下, 集成度越高搭载于车辆或服务机器人时灵活性更高。

资料来源: 禾赛科技公开发行股票说明书, 安信证券研究中心

同时, 激光雷达也常以线数区分, 如 4 线、8 线、16 线、32 线、128 线等。线数是指激光发射光源数, 16 线产品有 16 个光源, 以此类推, 华为近期发布的 96 线激光雷达就是含有 96 个光源的激光雷达。

图 8: 华为 96 线程激光雷达



资料来源: 汽车商业评论, 安信证券研究中心

2.3. 再看分类: 机械式与固态式是汽车领域激光雷达的主要类别

激光雷达由于其应用范围的广泛与技术结构的复杂性, 在实际应用中有着多种分类方式, 按照功能用途、工作体制、载荷平台、工作介质、探测技术等分类方式均可得到不同的结果。

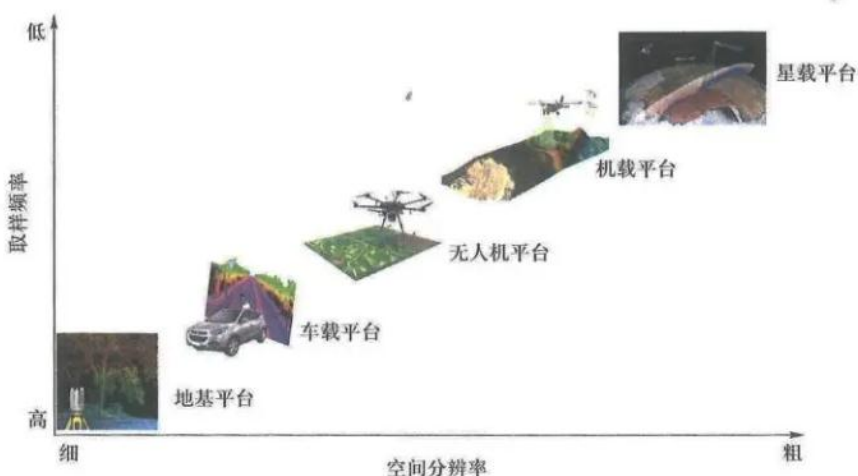
表 3：激光雷达不同的分类方式

分类方式	雷达名称
功能用途分类	跟踪雷达（用于测距和测角）、运动目标指示雷达（获取目标的多普勒信息）、流速测量雷达（测量多普勒信息）、风切变探测雷达、目标识别雷达、成像雷达（测量目标不同部位的反射强度和距离等信号）和振动传感雷达等
工作体制分类	多普勒激光雷达、合成孔径成像激光雷达、差分吸收激光雷达、相控阵激光雷达等便携式激光雷达、地基激光雷达、车载激光雷达（汽车搭载）、机载激光雷达（飞机搭载）、船载激光雷达、星载激光雷达（飞机搭载）和弹载激光雷达等
工作介质分类	固体激光雷达、气体激光雷达、半导体激光雷达、二极管泵浦固体激光雷达等
探测技术分类	直接探测型、相干探测型
载荷平台分类	便携式激光雷达、地基激光雷达、车载激光雷达（汽车搭载）、机载激光雷达（飞机搭载）、船载激光雷达、星载激光雷达（飞机搭载）和弹载激光雷达等

资料来源：前瞻产业研究院，安信证券研究中心

在载荷平台方面，地基激光雷达，通常用于单一目标或者小尺度精细三维数据的采集；机载激光雷达以飞行器为搭载平台，通常用于区域尺度三维信息数据的快速获取；星载激光雷达以卫星平台为依托进行大尺度三维信息数据的获取。本文对激光雷达的讨论分析重点集中在车载平台上的应用的车规级激光雷达。

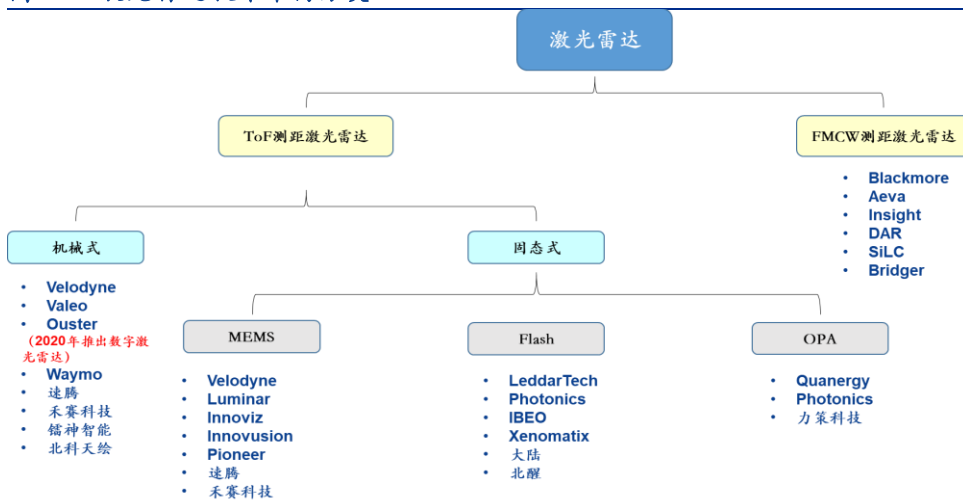
图 9：不同类型激光雷达传感器搭载平台及适用尺度



资料来源：《激光雷达森林生态应用》，郭庆华、苏艳君、胡天宇、刘瑾著，安信证券研究中心

其中，考虑到激光雷达主要市场集中在无人驾驶领域，因此当前行业主要根据与无人驾驶技术相关的测距方法和技术架构作为分类的主流依据。

图 10：激光雷达技术架构分类



资料来源：佐思产研，安信证券研究中心制图

2.3.1. 测距方法分类：ToF 法更为成熟，FMCW 具有更高的抗干扰性

激光雷达按照测距方法可以分为飞行时间（Time of Flight, ToF）测距法、基于相干探测的 FMCW 测距法、以及三角测距法等，其中 ToF 与 FMCW 能够实现室外阳光下较远的测程（100~250m），是车载激光雷达的优选方案。ToF 是目前市场车载中长距激光雷达的主流方案，未来随着 FMCW 激光雷达整机和上游产业链的成熟，ToF 和 FMCW 激光雷达将在市场上并存。

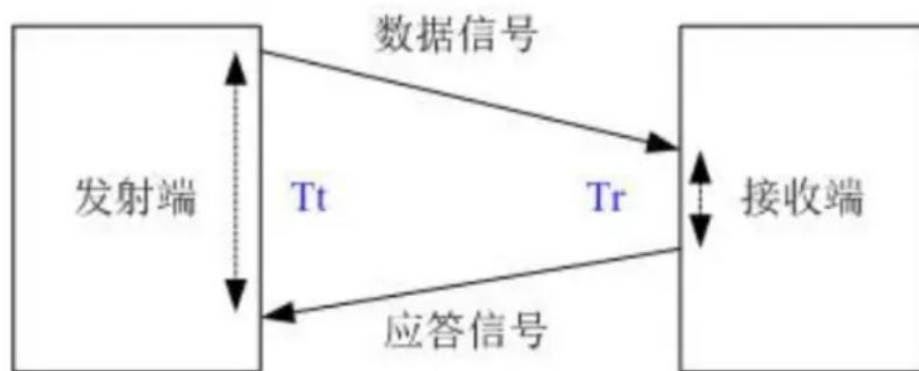
表 4：ToF 与 FMCW 特点对比

测距方法	主要特点
法	通过直接测量发射激光与回波信号的时间差，基于光在空气中的传播速度得到目标物的距离信息，具有响应速度快、探测精度高的优势。
FMCW 法	将发射激光的光频进行线性调制，通过回波信号与参考光进行相干拍频得到频率差，从而间接获得飞行时间反推目标物距离。FMCW 激光雷达具有可直接测量速度信息以及抗干扰（包括环境光和其他激光雷达）的优势。

资料来源：禾赛科技公开发行股票说明书，安信证券研究中心

ToF 的工作原理为测量发射波脉冲与目标回波脉冲之间的时间间隔，即测量激光脉冲从激光器到待测目标之间的往返时间 T ，即可得到目标距离 $S=cT/2$ ，其中 c 为光在空气中的传播速度。

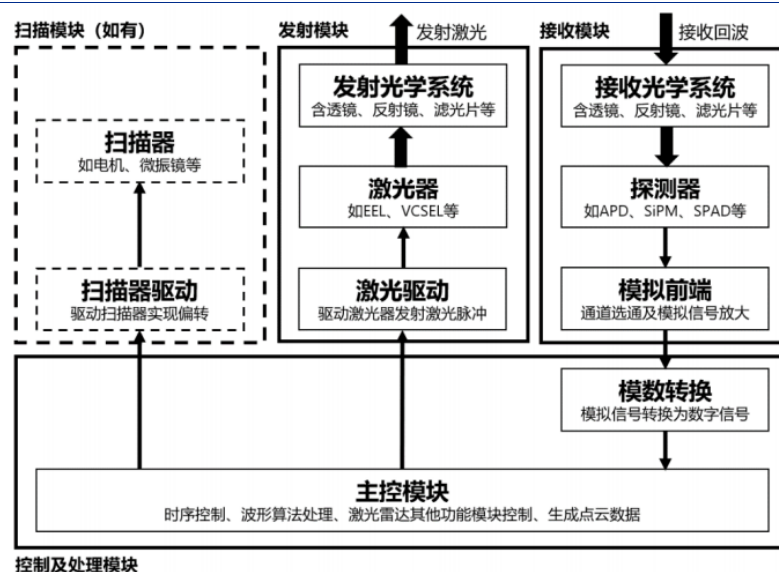
图 11：ToF 工作原理



资料来源：CSDN，安信证券研究中心

ToF 激光雷达系统主要包括发射模块、接收模块、控制及信号处理模块和扫描模块。

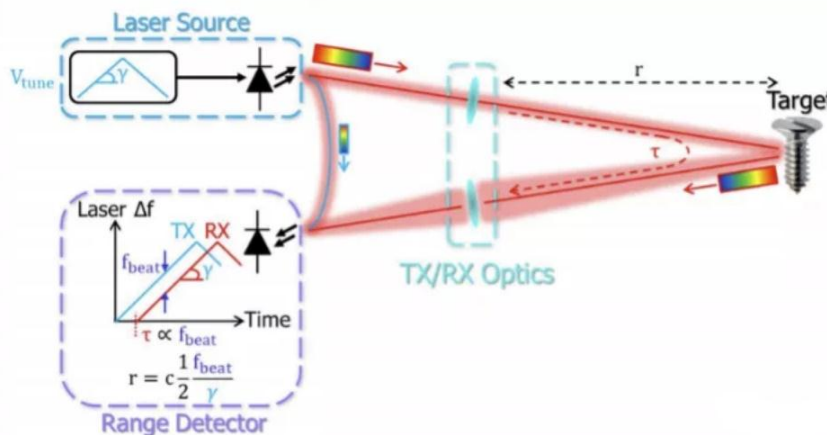
图 12：ToF 激光雷达核心模块示意图



资料来源：禾赛科技公开发行股票说明书，安信证券研究中心

FMCW，即调频连续波。FMCW 技术和脉冲雷达技术是两种在高精度雷达测距中使用的技术。其基本原理为发射波为高频连续波，其频率随时间按照三角波规律变化。FMCW 接收的回波频率与发射的频率变化规律相同，都是三角波规律，只是有一个时间差，利用这个微小的时间差可计算出目标距离。

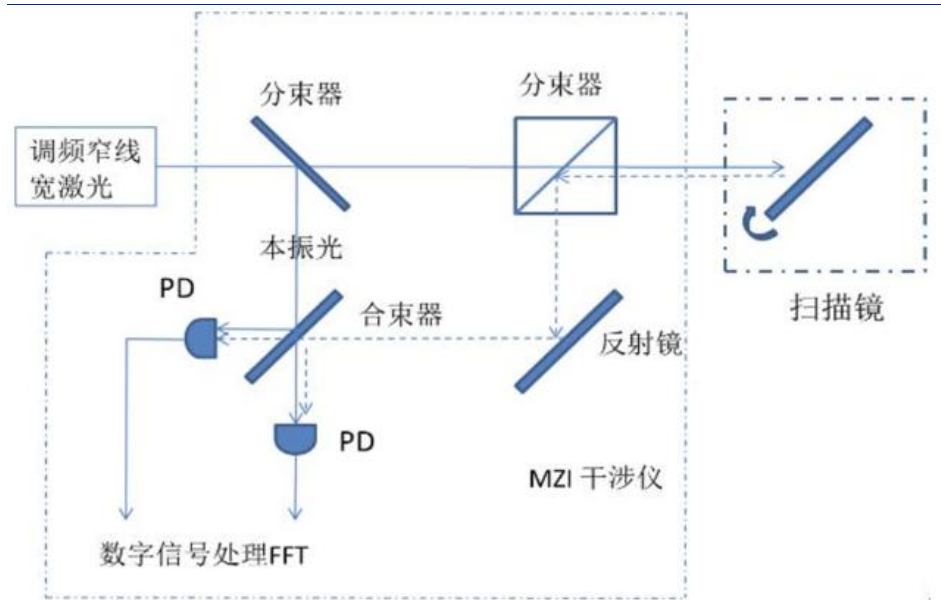
图 13: FMCW 工作原理



资料来源：汽车之心，安信证券研究中心

FMCW 激光雷达由 5 部分组成：1) 线性调频窄线宽激光；2) MZI 干涉仪；3) 光束扫描机构；4) 平衡光电探测器；5) 数字信号处理。

图 14: FMCW 架构组成



资料来源：电子发烧友，安信证券研究中心

2.3.2. 技术架构分类：机械式技术趋近成熟，固态式预计将成为未来主流

按照技术架构可以分为整体旋转的机械式激光雷达、收发模块静止的半固态激光雷达以及固态式激光雷达。

表 5: 机械式与固态式特点对比

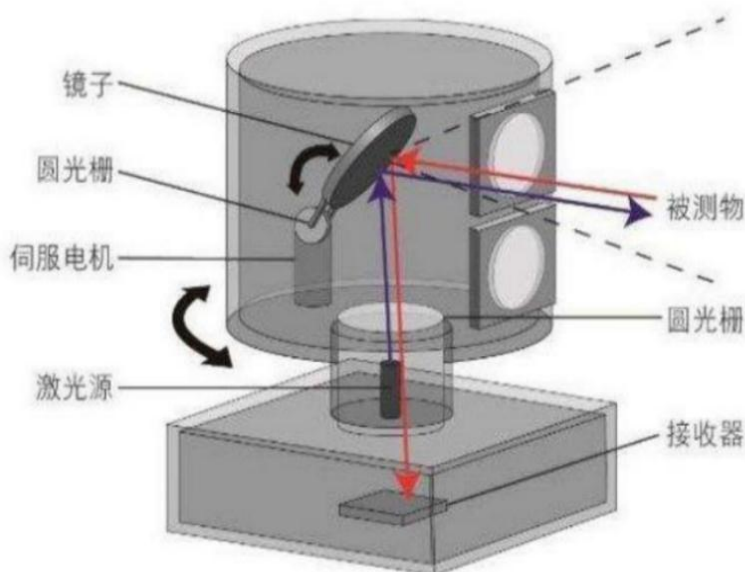
技术架构	主要特点
机械旋转式激光雷达	通过电机带动收发阵列进行整体旋转，实现对空间水平 360°视场范围的扫描。测距能力在水平 360°视场范围内保持一致。
半固态式激光雷达	半固态方案的特点是收发单元与扫描部件解耦，收发单元（如激光器、探测器）不再进行机械运动，具体包括微振镜方案、转镜方案等。适用于实现部分视场角（如前向）的探测，体积相较于机械旋转式雷达更紧凑。
固态式激光雷达	固态方案的特点是不再包含任何机械运动部件，具体包括相控阵（Optical Phased Array, OPA）方案、Flash 方案、电子扫描方案等。适用于实现部分视场角（如前向）的探测，因为不含机械扫描器件，其体积相较于其他架构最为紧凑。

资料来源：禾赛科技公开发行股票说明书，安信证券研究中心

2.3.2.1. 机械式激光雷达：可实现水平 360° 全覆盖，体积较大价格较贵

机械激光雷达，是指其发射系统和接收系统存在宏观意义上的转动，也就是通过不断旋转发射头，将速度更快、发射更准的激光从“线”变成“面”，并在竖直方向上排布多束激光，形成多个面，达到动态扫描并动态接收信息的目的。在工作时竖直排列的激光发射器呈不同角度向外发射，实现垂直角度的覆盖，同时在高速旋转的马达壳体带动下，实现水平角度 360 度的全覆盖。

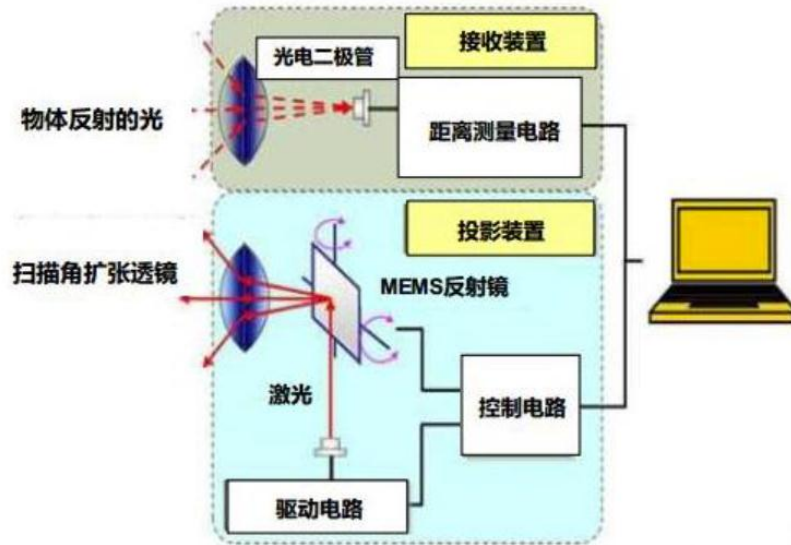
图 15: 机械式雷达结构图



资料来源：CSDN，安信证券研究中心

机械激光雷达体积更大，总体来说价格更为昂贵，但测量精度相对较高。相比于半固态式和固态式激光雷达，机械旋转式激光雷达的优势在于可以对周围环境进行 360°的水平视场扫描，而半固态式和固态式激光雷达往往最高只能做到 120°的水平视场扫描，且在视场范围内测距能力的均匀性差于机械旋转式激光雷达。

图 16：机械式雷达工作原理

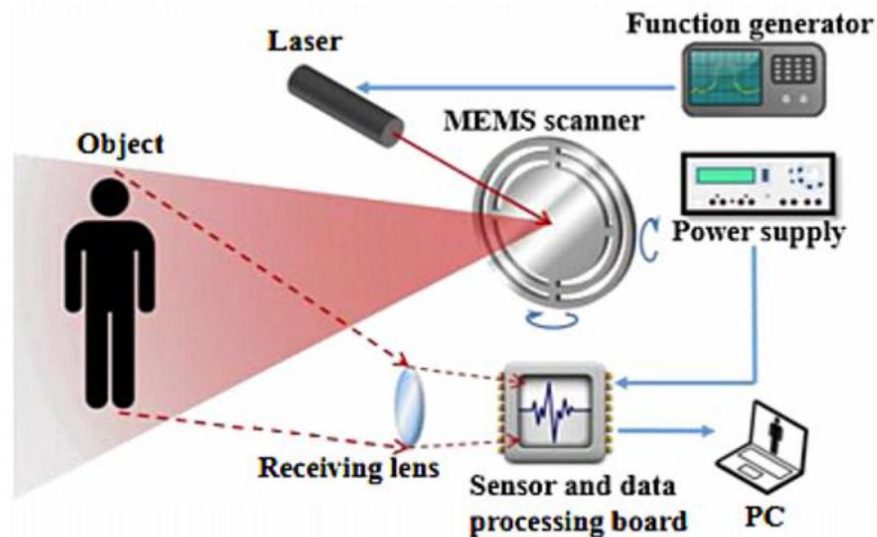


资料来源：CSDN，安信证券研究中心

2.3.2.2. MEMS 混合固态激光雷达：半机械式构造，可实现激光雷达的小型化

MEMS 微振镜是一种硅基半导体元器件，属于固态电子元件；但是 MEMS 微振镜并不“安分”，内部集成了“可动”的微型镜面；由此可见 MEMS 微振镜兼具“固态”和“运动”两种属性，故称为“混合固态”。可以说，MEMS 微振镜是传统机械式激光雷达的革新者，引领激光雷达的小型化和低成本化。

图 17：MEMS 工作原理



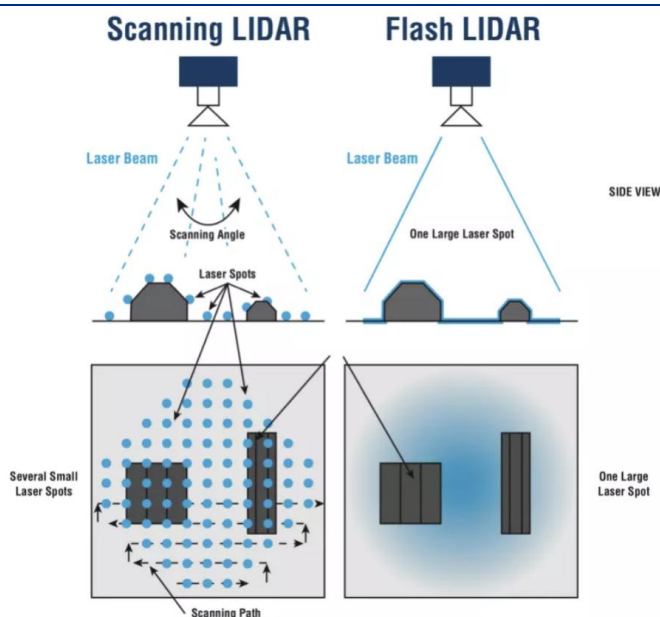
资料来源：麦姆斯咨询，安信证券研究中心

2.3.2.3. Flash 激光雷达：采用类相机工作模式，具有 256×256 像素点探测器

Flash 激光雷达采用类似照相机的工作模式，感光元件与普通相机不同，每个像素点可以记录光子飞行时间信息。发射的面阵激光照射到目标上，目标对入射光产生散射，由于物体具

有三维空间属性，从而照射到物体不同部位的光具有不同的飞行时间，被焦平面探测器阵列探测，输出为具有深度信息的“三维”图像。

图 18: Flash 激光雷达工作原理



资料来源：汽车之心，安信证券研究中心

Flash 激光雷达也经历了小型化发展历程，所占空间从起初的车厢级到办公桌级，再到现在的厘米级，这都得益于紧凑型激光器阵列、探测器阵列的发展。

图 19: Flash 激光雷达小型化历程

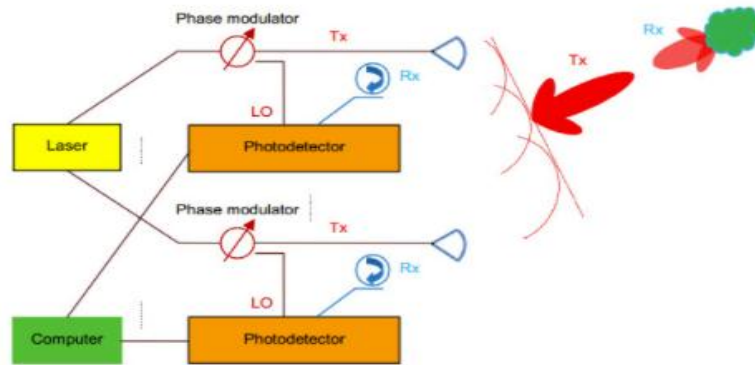


资料来源：《固态激光雷达研究进展》，陈敬业，时尧成，安信证券研究中心

2.3.2.4. OPA 固态激光雷达：产品小型化，无需机械扫描

高系统集成度的光学相控阵技术（OPA）能够满足激光雷达在无人驾驶、无人机等领域全固态、小型化的发展需求。激光器功率均分到多路相位调制器阵列，光场通过光学天线发射，在空间远场相干叠加形成一个具有较强能量的光束。经过特定相位调制后的光场在发射天线端产生波前的倾斜，从而在远场反映成光束的偏转，通过施加不同相位，可以获得不同角度的光束形成扫描的效果，无需机械扫描。

图 20: OPA 激光雷达工作原理



资料来源:《固态激光雷达研究进展》,陈敬业,时尧成,安信证券研究中心

2.3.2.5. 浅显之见: 机械式已进入量产阶段, 固态式通过车规认证

激光雷达产业自诞生以来, 紧跟底层器件的前沿发展, 呈现出了迭代速度快, 技术愈发多样化的特点。当前激光雷达厂商不断引入新的技术架构, 提升探测性能并拓展应用领域: 从单点激光雷达到单线扫描激光雷达, 再到无人驾驶技术中获得广泛认可的多线扫描激光雷达, 进而技术方案不断创新的固态式激光雷达、FMCW 激光雷达, 以及如今芯片化的发展趋势, 激光雷达一直以来都是新兴技术发展及应用的代表。

表 6: 激光雷达技术方案

分类	名称	技术特点
机械式激光雷达	高线数机械式方案	通过电机带动光机结构整体旋转的机械式激光雷达是激光雷达经典的技术架构, 其技术发展的创新点体现在系统通道数目的增加、测距范围的拓展、空间角度分辨率的提高、系统集成度与可靠性的提升等。
	转镜方案	转镜方案中收发模块保持不动, 电机在带动转镜运动的过程中将光束反射至空间的一定范围, 从而实现扫描探测。转镜也是较为成熟的激光雷达技术方案, 其技术创新体现之处与高线数机械式方案类似。
半固态式激光雷达	微振镜方案	微振镜方案采用高速振动的二维振镜实现对空间一定范围的扫描测量。微振镜方案的技术创新体现在开发口径更大、频率更高、可靠性更好振镜, 以适用于激光雷达的技术方案。
	OPA 方案	OPA 即光学相控阵技术, 通过施加电压调节每个相控单元的相位关系, 利用相干原理, 实现发射光束的偏转, 从而完成系统对空间一定范围的扫描测量, OPA 技术取消了机械运动部件, 是纯固态式激光雷达的一种发展方向。
固态式激光雷达	电子扫描方案	电子扫描方案中按照时间顺序通过依次驱动不同视场的收发单元实现扫描, 系统内没有机械运动部件, 是纯固态激光雷达的一种发展方向。其架构比整体曝光所有收发单元的 Flash 固态式激光雷达更先进。
FMCW 激光雷达	连续波调频方案	FMCW 激光雷达发射调频连续激光, 通过回波信号与参考光进行相干拍频得到频率差, 从而间接获得飞行时间反推目标物距离, 同时也能够根据多普勒频移信息直接测量目标物的速度, 其技术发展方向为利用硅基光电子技术实现激光雷达系统的芯片化。

资料来源: 禾赛科技公开发行股票说明书, 安信证券研究中心

MEMS 激光雷达其优点在于体积小, 成本低, 但可靠性仍有待验证。此外, 与传统的 ToF 激光雷达相比, FMCW 激光雷达多出了不少优势, 比如对背景光线和传统干扰的免疫、探测距离远等。传统 ToF 雷达很可能受到其它传感器的光脉冲干扰, 以及先前发出脉冲的自干扰。而 FMCW 激光雷达通过检测返回光和发射光的时间、频率和波长, 滤除不匹配的数据, 从而实现更精确的目标检测。但其劣势是光学校准复杂, 需要连续性强的光源, 而且线性调制较为困难。

表 7：性能参数

Type	Scanning angle(°)	Resolution/(°)	Speed/Hz	Voltage/V
MEMS	9.14x9.14	NA	0.5M	10
Flash	20	NA	55	NA
OPA	46*36	0.85*0.18	NA	12

资料来源：《固态激光雷达研究进展》，陈敬业，时尧成，安信证券研究中心

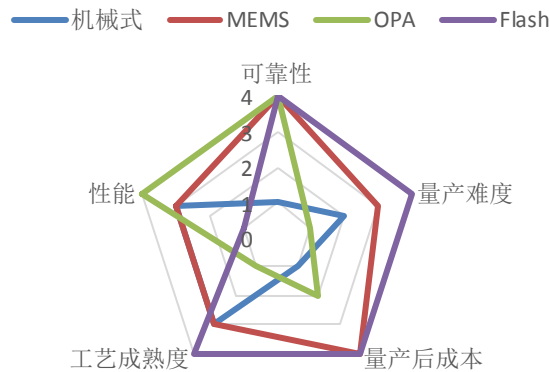
激光雷达在汽车应用上的探索仍在进行中，且多数集中在 ToF 技术上。Flash 激光雷达尽管有着不错的特性，但 2D 光电检测和弱光条件下仍存在较大挑战。FMCW 的技术成熟度虽然较低，但相比之下 OPA 的成熟度更低，两者都需要多年研究才能走向市场规模化。两者都需要多年研究才能走向市场规模化。而如今不少机械激光雷达的厂商都开始尝试 MEMS 固态激光雷达、高波长、软件定义或 AI 辅助等新方向，激光雷达仍处于较快的技术迭代期，但不可否认的是，激光雷达必将成为将自动驾驶推向 L4 及以上等级的中坚力量。

表 8：激光雷达实际应用性比较

类型	机械式	MEMS	OPA	Flash
可靠性	1	4	4	4
量产难度	2	3	1	4
量产后成本	1	4	2	4
工艺成熟度	3	3	1	4
性能	3	3	4	1

资料来源：CSDN，安信证券研究中心

图 21：激光雷达实际应用性



资料来源：CSDN,安信证券研究中心

不同技术方向的激光雷达技术的成熟时间和落地时间有着很大的差异，当前机械式激光雷达技术已经趋于成熟，正处于可量产的阶段，行业龙头 Velodyne 和中国市场龙头禾赛科技均已经拥有了较为成熟的技术；半固态式激光雷达与 Flash 全曝光激光雷达技术成熟度较高，但在具体应用上还存在这一限制；技术性能最高的 FMCW 与 OPA 固态激光雷达当前依旧面临着技术突破上的问题。

表 9: 技术特点与量产时间

技术方向	技术特点	代表企业	量产落地时间
机械式	机械器件带动发射器进行旋转、俯仰，精度较高，但技术复杂、成本高	Velodyne、Valeo、Ouster、Waymo、速腾聚创、禾赛科技、镭神智能、北科天绘等	2018
MEMS	采用微扫描振镜，实现一定集成度，受限于振镜的偏转范围	Velodyne、Luminar、Innoviz、Innovusion、Pioneer、Blickfeld、速腾聚创、禾赛科技等	~2020-2021
FLASH	没有任何移动部件，发射端技术成熟，但激光功率小、视场角受限，扫描速率较低，测距短	Leddar Tech Sense、Photonics、大陆、IBEO、北醒、Xenomatrix 等	~2020-2021
OPA	无惯性器件、精确稳定、方向可任意控制，但扫描角度、加工工艺、精度、距离等问题尚待突破	Quanergy、Photonics、力策科技等	~2025
FMWC	可实现更高探测灵敏度和精度，技术复杂，成熟度低	Blackmore、Aeva、Insight DAR、SiLC、Bridger Photonics 等	~2023

资料来源：佐思产研，安信证券研究中心

当前激光雷达项目技术的评判集中在车规级、可量产、低成本这三个方面。

首先是车规级，激光雷达产品达到车规级，需在化学特性、机械特性、电气特性三大方面进行 38 项试验，包括备受业界关注的车规级冲击振动和高低温检测。机械式激光雷达技术已趋于成熟，但由于物理极限和成本高等因素限制，装配和调制困难，扫描频率低，生产周期长，成本较高，并且机械部件寿命不长（约 1000-3000 小时），只能用于自动驾驶的研发领域，难以满足苛刻的车规级要求（至少 1 万小时以上）。而固态激光雷达中较为成熟的 MEMS 激光雷达能以较低的成本和较高的准确度实现激光扫描，但受限于较小的光学口径和 MEMS 振镜，其测距能力尚存在一定瓶颈。当前，Valeo（法雷奥）的 SCALA 激光雷达是国外非常受到市场认可的一款产品，通过车规并实现前装量产的激光雷达产品，在 2020 年 11 月，镭神智能 CH32 混合固态激光雷达，在国内率先通过车规级认证。这表明在当前市场中，固态式激光雷达已率先在车规认证方面取得了突破。（汽车商业评论）

图 22: 镭神智能车规级激光雷达



资料来源：镭神智能官网，安信证券研究中心

在可量产与低成本方面，固态激光雷达具有体积小、量产成本和量产难度较低的优点，预计将是未来的发展方向。其中 MEMS 将占据一定的主导地位，它有效的克服了传统的机械式激光雷达在寿命、成本和良品率等方面所存在的问题，而同属于固态式技术的 OTA 激光雷达虽然在性能上具有优势，但要达到长距离的探测还有很长的路要走，从产业链上游来看，因为上游核心的一些电子元器件、技术支持不成熟，短期内产品落地难度大。

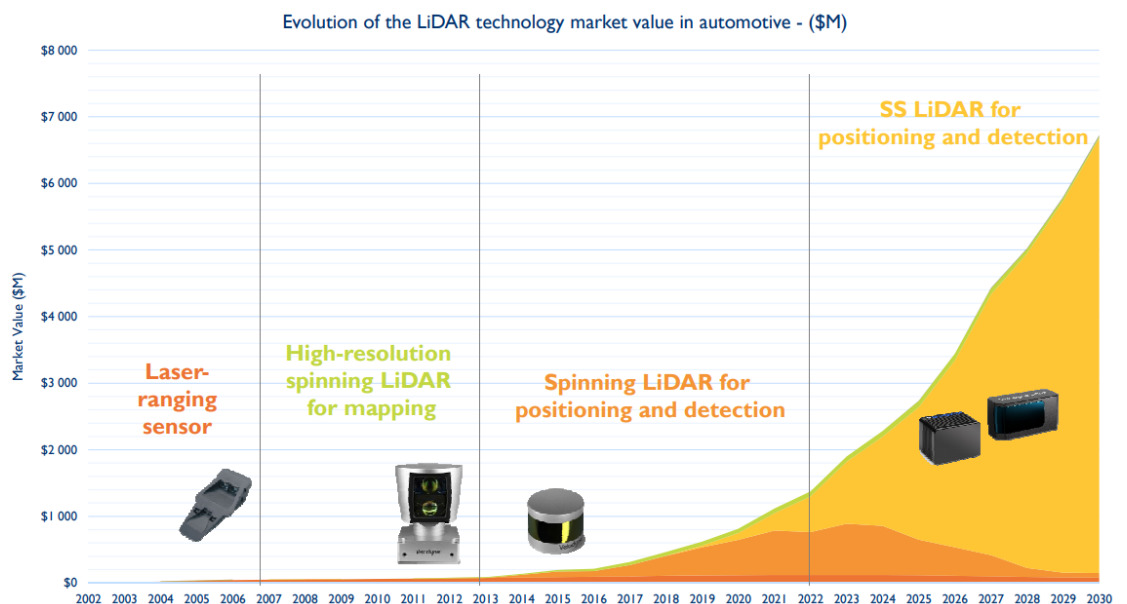
图 23：激光雷达技术流派及代表性公司



资料来源：Yole, 安信证券研究中心

虽然固态式激光雷达在性能上优于机械式激光雷达，但由于机械式激光雷达技术已经趋于成熟，正处于可量产的阶段，而固态式激光雷达距离技术上的完全成熟还需要一段时间。暂时将 MEMS、OPA 等固态激光雷达流派统一来看，固态激光雷达整体相比传统的机械旋转式产品集成度更高，更有利于降低成本，也更便于使用，优势明显。根据 Yole 的统计和预测，目前旋转式激光雷达仍然占据较大份额，一段时间来看我们认为大概率会是机械式与固态式激光雷达并存的局面，但未来固态激光雷达将占据主导地位。

图 24：各类激光雷达占比



资料来源：Yole, 安信证券研究中心

固态化的趋势也有力推动了成本下降，当前推动激光雷达市场发展的核心因素之一就是成本，迅速下降的成本使得激光雷达能够在汽车和机器人行业得到普遍应用。根据中国产业信息网数据，在 2007 年 Velodyne 刚刚推出 HDL-64E 之时，其价格还在 8 万美元，且直到 2014 年其价格仍然维持在如此高位。而如今激光雷达成本已经大幅降低，根据 Velodyne 的最新财报，2020 年出货量已经达到 1.15 万台，收入 9400 万美元，根据这两个数字可以计算得出平均每台收入 8173 美元，这其中有低端产品的贡献，也有价格下降的因素。在 CES 2020 期间，Velodyne 发布了 100 美元的 Velabit，并且探测距离 100 米，与早期的 HDL64E 相仿，足以说明价格下降的趋势。

从其他公司的产品数据也可以得出产品成熟、价格下降的趋势。根据 Yole 数据，2017 年发布的 SCALA 将价格定在 600 美元，比早期激光雷达产品有明显降低。历年 CES 展会上各家激光雷达公司往往会展示自家产品，CES 2021 期间，速腾聚创展示了已量产出货的车规级激光雷达；CES 2020 期间大疆发布了 Livox 激光雷达，根据大疆官方商城数据可见，Livox 系列产品定价普遍在数千人民币，也就是 1000 美元量级，而性能则比早期的 HDL64E 还有一定提升，探测距离达到了 260 米（80%反射率），20%反射率物体的探测距离也达到了 130 米，角度精度达到 0.1 度。由此可见，如今的激光雷达价格相比十年前已经有了数量级上的下降，而这将进一步推动激光雷达的产业应用。

图 25：部分激光雷达产品对比（2017-2018 年）

								
Model	ScaLa I	HDL-64	HDL-32	VLP-16	RS-LiDAR-32	OS-1	R-Fans-32	Lux (XX)
Channels	4	64	32	16	32	64	32	4 - 8
Range (m)	100 - 200	100 - 120	80 - 100	100	200	100	200	120 - 200
Data rate (pts/sec)	NA	1,300,000	700,000	300,000	640,000	1,310,720	640,000	NA
Horizontal resolution	0.25°	5Hz: 0.08° 10Hz: 0.17° 20Hz: 0.36°	5Hz: 0.08° 10Hz: 0.17° 20Hz: 0.35°	5Hz: 0.1° 10Hz: 0.2° 20Hz: 0.4°	5 Hz: 0.09° 20 Hz: 0.36°	0.18°	0.05°	12.5/25Hz 0.125° to 0.25°
Power (W)	7	60	12	8	13.5	NA	12	~7-10
Operating temperature	NA	-10° to 50° C	-10° to 60° C	-10° to 60° C	-10° to 60° C	NA	NA	-40° to 85° C
Cost (\$)	\$600	\$75,000	\$30,000	\$8,000	\$16,800	\$12,000	NA	\$10,000 - \$20,000

资料来源：Yole，安信证券研究中心

2.4. 分析优势：激光雷达探测精度高、探测范围最高可达 360°

一开始激光雷达只是在军事方面应用，后来才应用在生活中，其中无人驾驶领域使用最为广泛。目前谷歌、百度、奥迪、福特、宝马等企业都在逐渐使用激光雷达的感知解决方案，已经成为了无人驾驶技术中的最基本的配置。目前自动驾驶的传感器主要有 LiDAR 系统、毫米波雷达、视觉（照相机）系统等。

图 26：四维图新自动驾驶车上主要传感器



资料来源：四维图新 NavInfo，安信证券研究中心

不同级别的自动驾驶技术的应用对于各类传感器的数量的要求也是不同的，随着自动驾驶技术标准的提高，对于车载激光雷达所要求的数量就越高，L5 级自动驾驶标准下，激光雷达的配置数量不应少于 4 个。

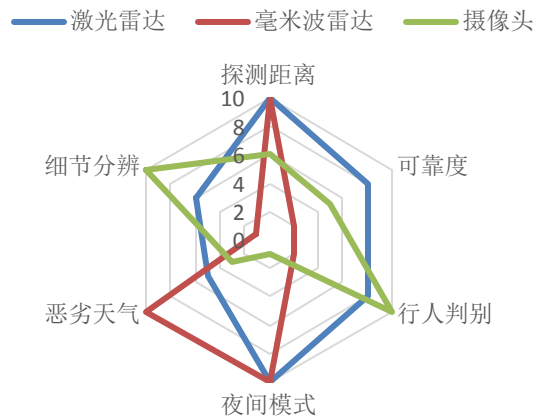
图 27：不同自动驾驶标准对激光雷达数量要求



资料来源：麦姆斯咨询，安信证券研究中心

在汽车领域，不同的传感器各有优势。不同传感器的原理和功能各不相同。从可靠度、行人判别、夜间模式、恶劣天气环境、细节分辨、探测距离等方面来对比，激光雷达是三种环境传感器中综合性能最好的一种，这也就决定了其是自动驾驶汽车等机器人环境感知系统中不可或缺的一部分。

图 28: 各类型传感器性能雷达图



资料来源: 前瞻产业研究院, 安信证券研究中心

表 10: 各类型传感器指标对比

	摄像头	毫米波雷达	激光雷达
探测距离	<50m	250-1000m	200-300m
探测精度	精度与摄像头数量有关	偏差在 2cm 范围内	偏差在 2cm 范围内
方位角	探测角度在 30° 内	探测角度在 10° -70° 之间	水平方位角可 360°，垂直方位角一般在 40° 以内
角分辨率	<0.1°	3° -5°	水平小于 0.1°，垂直小于 2°
波长		波长介于厘米波和光波之间,一般为 1mm-10mm	905nm 的激光雷达技术较为成熟,使用较为广泛

资料来源: 盖世汽车研究, 安信证券研究中心

在当前的自动驾驶领域, 特斯拉采取的解决方案是“传统摄像头+计算机视觉技术”, 由镜头采集图像后, 摄像头内的感光组件电路及控制组件对图像进行处理并转化为电脑能处理的数字信号, 进而通过神经算法网络进行决策。

但当前大部分的车企更看好激光雷达在自动驾驶领域的应用, 激光雷达具有探测精度高、探测范围广及稳定性强等优点, 在精确度方面, 毫米波雷达的探测距离受到频段损耗的直接制约 (想要探测的远, 就必须使用高频段雷达), 也无法感知行人, 并且对周边所有障碍物无法进行精准的建模。

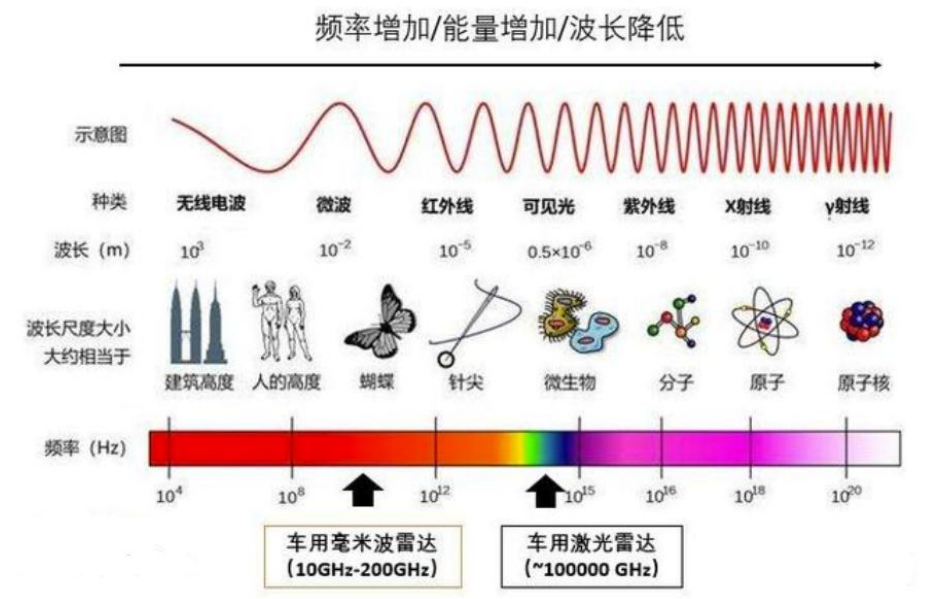
图 29: 自动驾驶技术应用路径



资料来源: 盖世汽车研究, 安信证券研究中心

摄像头等光学成像设备属于被动式的感知设备，它的应用必须要结合视觉感知技术才能在自动驾驶应用中发挥作用，而这种技术对于大多车企存在着很高的应用门槛。激光雷达和毫米波雷达的工作原理基本类似，都是利用回波成像来构显被探测物体的，不过激光雷达发射的电磁波是一条直线，主要以光粒子发射为主要方法，频段在 100000GHz 左右，波长为纳米级；而毫米波雷达发射出去的电磁波是一个锥状的波束，这个波段的的天线主要以电磁辐射为主，频段在 10~200GHz 之间，波长为 1~10mm。由于毫米波的波长介于厘米波和光波之间，因此毫米波兼有微波制导和光电制导的优点。

图 30：不同类型雷达波长与频率对比



资料来源：汽车人参考，安信证券研究中心

目前，车载传感器中，单颗摄像头的价格在几十到几百人民币，价格较为低廉；毫米波雷达根据探测距离和波段等指标不同，价格在数百到上千人民币；而激光雷达目前成本还略高，普遍处于数百到上千美元级别，虽有 Velabot 等低价格产品，但高端产品仍是必不可少，根据 Velodyne 预期 2020 出货量和收入，其平均售价仍达到 8000 美元左右。但考虑到激光雷达行业目前整体出货量还未放开，以及产品固态化等趋势，未来随着产销量逐步上升，价格有望延续当前下降趋势，从而逐步具备成本优势。

表 11：各类型传感器应用性能对比

制式参数	毫米波雷达	超声波雷达	激光雷达	光学成像
最大作用距离 (m)	1000	15	300	
速度范围 (km/h)	≥ 1000	≤ 100	≥ 300	无法探知相关的距离、速度和角度信息
径向运动	好	好	好	
静止测距	复杂	简单	简单	
角度测量能力	较好	好	很好	
环境限制因素	无	风、沙尘	雨天	光线
穿透性	好	较差	较差	差
优点	不受天气影响，探测距离远	价格低，体积小	测距精度高，方向性强，响应速度快，不受地面杂波干扰	成本适中，可实现道路目标的分辨与识别
缺点	成本较高，目标识别难度大	易受天气和温度影响	成本高，不能全天候工作。遇到浓雾、雨雪天气无法工作	会受到视野范围影响

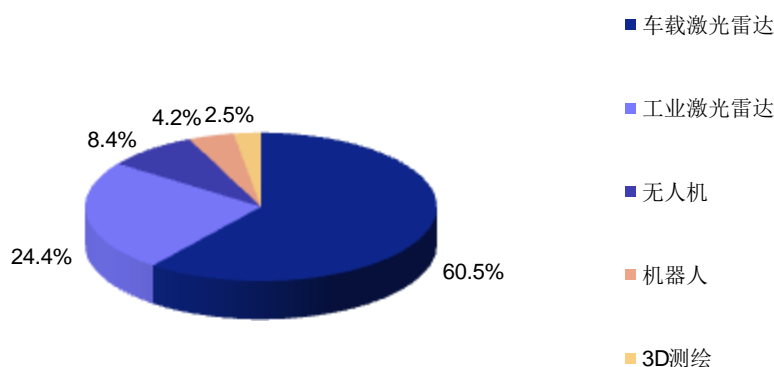
资料来源：CSDN，安信证券研究中心

3. 思考二：需求视角，行业规模将迎来快速扩张期？

3.1. 行业规模与发展趋势：激光雷达行业迎来无人驾驶行业发展新机遇

激光雷达市场规模较大且处于快速发展期，根据 Velodyne 预测，2022 年激光雷达总市场规模将达到 119 亿美元。根据应用分类，激光雷达将分别应用于自动驾驶汽车、工业、无人机、机器人和 3D 绘图等终端市场之中。其中，自动驾驶领域的市场规模占比最大，2022 年将达到 72 亿美元，占比约为 60.5%。

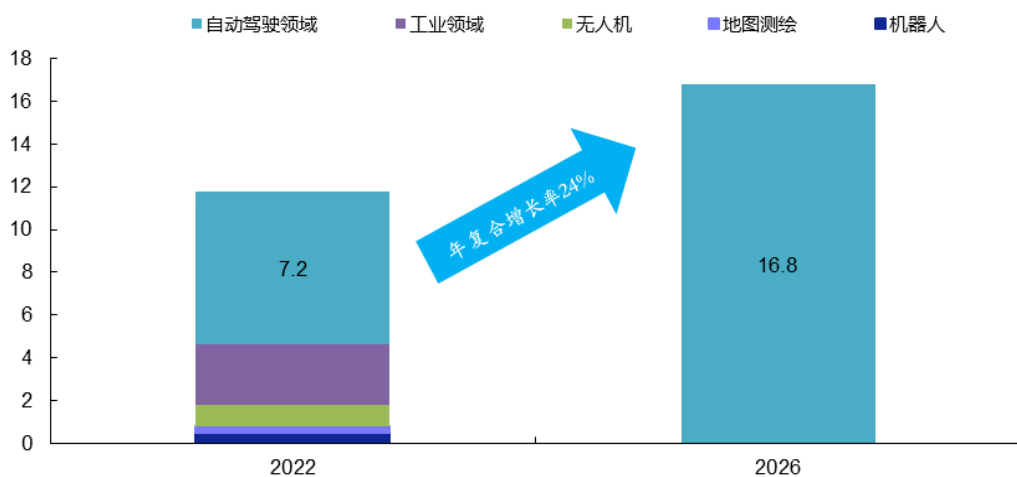
图 31：2022 年激光雷达市场细分占比



资料来源：Velodyne 招股说明书，安信证券研究中心

同时，自动驾驶领域的激光雷达市场发展迅速，Velodyne 预计至 2026 年自动驾驶领域市场规模将增长到 168 亿美元，年复合增速将达到 24%。

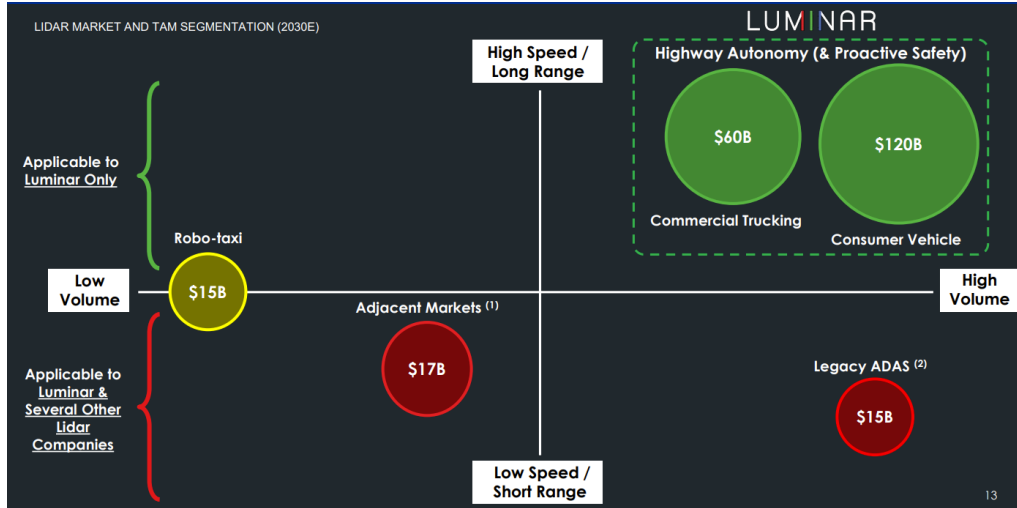
图 32：激光雷达市场规模预测（十亿美元）



资料来源：Velodyne 招股说明书，安信证券研究中心

激光雷达领域的另一家国际龙头 Luminar 则根据不同细分领域上的需求空间和不同应用场景的速度、探测距离对激光雷达的细分市场进行划分。其中适配场景运动速度快、探测距离要求高的高速公路自动驾驶市场的市场规模最大，预计 2030 年将达到 1800 亿美元。其中商用卡车规模为 600 亿美元，消费级轿车规模为 1200 亿美元。

图 33：激光雷达细分市场预测



资料来源：Luminar 官网，安信证券研究中心

此外诸多专业研究咨询机构也对激光雷达市场给出了预测。根据 Allied Market Research 估计，2026 年全球无人驾驶技术市场规模将达到 5,566.7 亿美元，较 2019 年可实现 39.47% 的年均复合增长率。激光雷达是高级别无人驾驶技术实现的关键，根据沙利文的统计及预测，受无人驾驶车队规模扩张、激光雷达在高级辅助驾驶中渗透率增加、以及服务型机器人及智能交通建设等领域需求的推动，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，较 2019 年可实现 64.5% 的年均复合增长率。

图 34：全球激光雷达市场规模（亿美元）



资料来源：禾赛科技公开发行股票说明书，安信证券研究中心

在非汽车领域的激光雷达市场中，工业领域的市场需求最为广阔，根据 Velodyne 预测，2022 年工业领域总激光雷达需求量为 510 万台，市场规模达到 28 亿美元。工业领域的需求主要来自全球市场的履带式拖拉机，倾卸机，挖掘机，平地机，非公路卡车等工程机械设备，将成为仅次于自动驾驶市场的第二大需求市场。

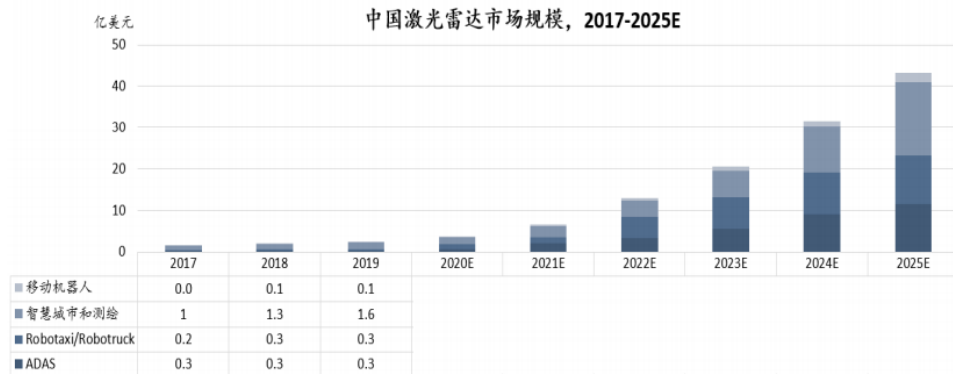
表 12：非汽车领域激光雷达需求预测

应用领域	2022 年需求量 (千台)	2022 年每台机器配置激光雷达总成本 (美元)	2022 年市场规模 (亿美元)
机器人	241	2,100	5
地图测绘	60	5,000	3
无人机	3,400	300	10
工业领域	5,100	600-6,000	28
总计			47

资料来源：Velodyne 招股说明书，安信证券研究中心

而就中国来看，汽车与工业等下游行业的发展，将带动国内激光雷达市场的发展。从无人驾驶领域来看，据麦肯锡研究报告显示，中国将是全球最大的自动驾驶市场，到 2030 年中国自动驾驶乘用车数量将达到 800 万辆，自动驾驶将占到乘客总里程（Passenger Kilo Meters Travelled, PKMT）的约 13%，基于自动驾驶的出行服务订单金额将达 2,600 亿美元；从高级辅助驾驶领域来看，中国已经成为全球最大的新车销售市场。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，较 2019 年实现 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主要组成部分。

图 35：中国激光雷达市场规模（亿美元）



资料来源：禾赛科技公开发行股票说明书，安信证券研究中心

以下按照激光雷达当前激光雷达的下游应用市场进行分别介绍，主要可分为无人驾驶、高级辅助驾驶、服务型机器人和车联网等细分行业。

3.1.1. 汽车激光雷达市场：2025 年汽车领域激光雷达市场规模预计将超 80 亿美元

3.1.1.1. L4/L5 级无人驾驶市场：2025 年市场规模预计达到 35 亿美元

全球范围来看，无人驾驶测试项目及车队规模处于快速扩张之中：Waymo 已与 Fiat Chrysler（菲亚特克莱斯勒）签订了 6.2 万辆 Pacifica Hybrid 的购买合同，与 Jaguar（捷豹）签订了 2 万辆 I-Pace 的购买合同，并在底特律与 Magna（麦格纳）联手建立世界上第一个只制造无人驾驶汽车的 AAM 工厂，改造购置车辆用于车队扩张，该工厂当前已经进入量产状态。根据加州车辆管理局数据，2019 年 GM Cruise 月均路测车辆数目排名第一，测试里程总数仅次于 Waymo，当前 GM Cruise 已经拿到取消安全员进行完全无人驾驶测试的许可。GM Cruise 位于底特律 Hamtramck 的工厂将基于 GM 电动车平台生产不带方向盘、刹车和油门的 Origin 车型。

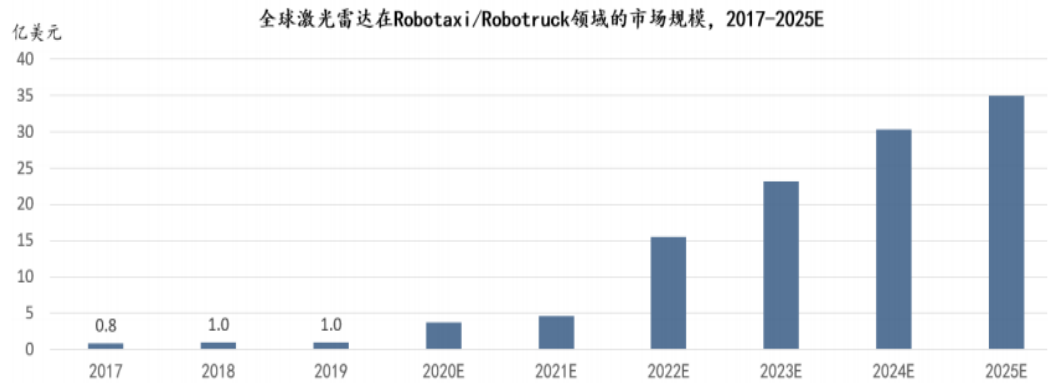
图 36：激光雷达在无人驾驶产业的应用



资料来源：禾赛科技公开发行股票说明书，安信证券研究中心

根据 Report Linker 研究估计，2025 年全球包括运送乘客和货物在内的 L4/L5 级无人驾驶车辆数目将达到 53.5 万辆。随着无人驾驶商业模式的逐步确立，该领域的全球激光雷达市场也将随之实现高速增长，据沙利文测算，至 2025 年该领域激光雷达市场规模预计达到 35 亿美元，2019 年至 2025 年的年均复合增长率达 80.9%。

图 37：激光雷达在无人驾驶领域市场规模（亿美元）

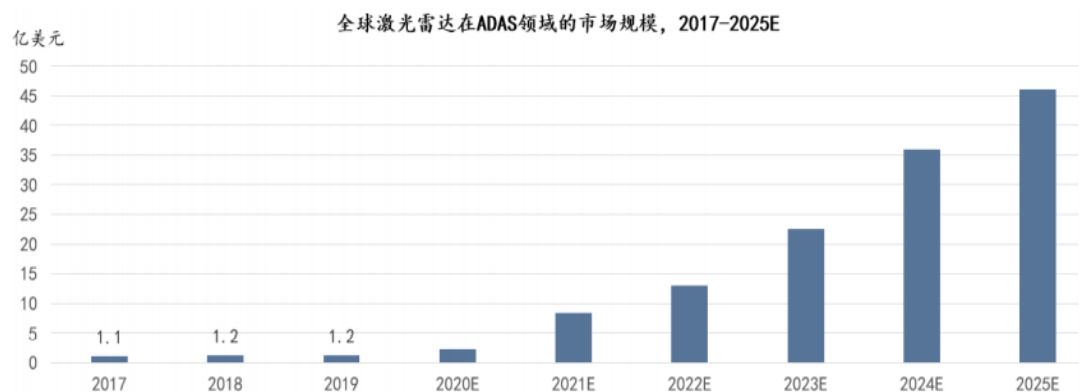


资料来源：禾赛科技公开发行股票说明书，安信证券研究中心

3.1.1.2. L3 级高级辅助驾驶市场：2025 市场规模预计将达到 46.1 亿美元

高级辅助驾驶市场主要服务于整车厂及 Tier1 公司，激光雷达在性能满足要求的基础上，成本及车规要求是量产车项目关注的重点。世界各地交通法规的修订为 L3 级自动驾驶技术商业化落地带来机会。2019 年，日本《道路交通法案》修正案获得通过，允许 L3 级自动驾驶车辆在公共道路上使用。2020 年 1 月，韩国国土交通部发布《自动驾驶汽车安全标准》（修订版），制定 L3 级自动驾驶安全标准和商用化标准。2020 年 6 月联合国的欧洲经济委员会通过《ALKS 车道自动保持系统条例》，这是全球范围内第一个针对 L3 级自动驾驶具有约束力的国际法规。激光雷达在高级辅助驾驶领域的市场规模将在未来 5 年里保持高速增长，按照沙利文预计，2025 年激光雷达市场规模预计将达到 46.1 亿美元，2019 年至 2025 年复合增长率达 83.7%。

图 38：激光雷达在高级辅助驾驶领域市场规模（亿美元）

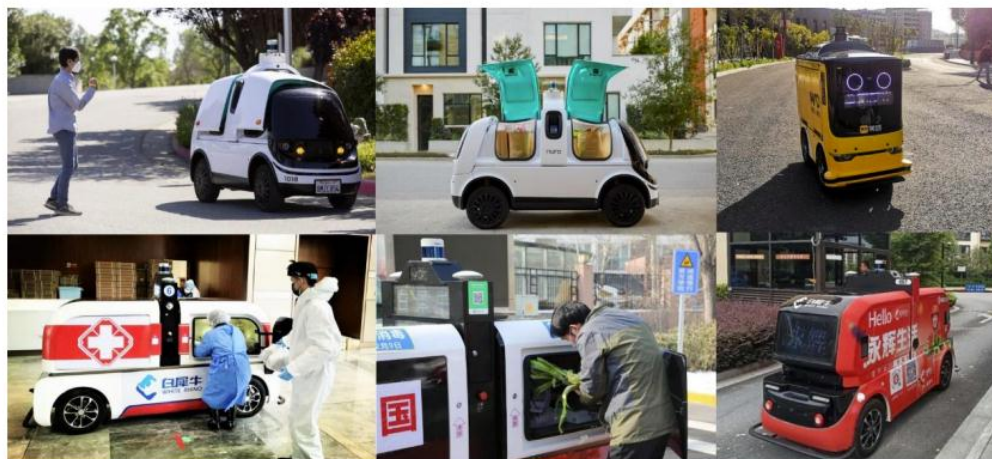


资料来源：禾赛科技公开发行股票说明书，安信证券研究中心

3.1.2. 服务型机器人市场：2025 年激光雷达在机器人领域市场预计达到 7 亿美元

服务型机器人主要应用范围包括无人配送、无人清扫、无人仓储、无人巡检等。借助强大的内置感知系统及控制系统，服务机器人能够完成多种无人作业，从而减轻对人力的依赖，提高生产效率。服务型机器人不仅仅可以实现将货物从物流中心运送到消费者家中，还可以提供大量新型的“最后一公里”服务，为整个服务社区提供便利性、安全性和健康性。

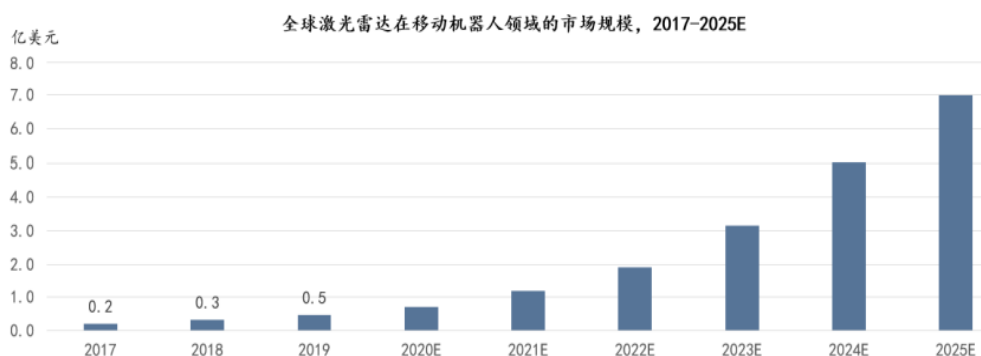
图 39：激光雷达在机器人产业的应用



资料来源：禾赛科技公开发行股票说明书，安信证券研究中心

随着智能服务机器人技术的成熟，其业务范围和辐射半径将不断增强，无人运送、无人清扫、无人巡检机器人在运营成本降低及服务效率提升等方面的优势将得以显现，对此类设备的需求也将不断提升。伴随全球服务型机器人出货量的增长以及激光雷达在服务型机器人领域渗透率的提升，至 2025 年激光雷达在该细分市场预计达到 7 亿美元市场规模，2019 年至 2025 年的复合增长率为 57.9%。

图 40：激光雷达在服务型机器人领域市场规模（亿美元）



资料来源：禾赛科技公开发行股票说明书，安信证券研究中心

3.1.3. 车联网市场：全球激光雷达在车联网市场规模将超过 45 亿美元

世界范围来看，中国车联网发展速度最快，战略化程度最高。2020 年 4 月，发改委首次划定“新基建”范围，主要包括信息基础设施、融合基础设施和创新基础设施，其中融合基础设

施中包含智能交通基础设施。车路协同技术是智能城市、智能交通中的基础与重点，同时也与5G通讯、大数据中心和人工智能等领域的建设相互支撑、互相促进。与单车智能相比，基于5G的车路协同可以更大限度地提升行车安全、提高交通系统运行效率、降低车载设备成本，从而促进无人驾驶的快速落地。

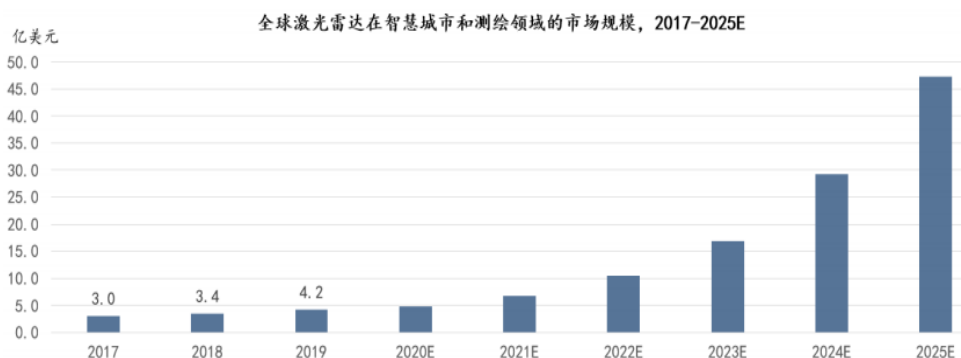
图 41：激光雷达在车联网领域应用



资料来源：禾赛科技公开发行股票说明书，安信证券研究中心

激光雷达结合智能算法，能够提供高精度的位置、形状、姿态等信息，实现对交通状况进行全局性的精确把控，对车路协同功能的实现至关重要。随着智能城市、智能交通项目的落地，未来该市场对激光雷达的需求将呈现稳定增长态势。至2025年，全球激光雷达在该领域的市场规模将超过45亿美元，2019年至2025年复合增长率为48.48%。

图 42：激光雷达在车联网领域市场规模（亿美元）



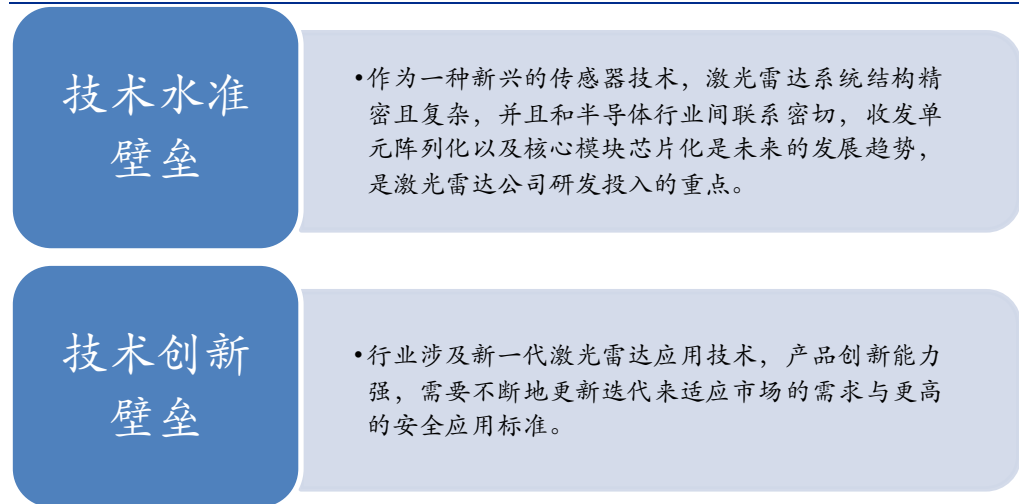
资料来源：禾赛科技公开发行股票说明书，安信证券研究中心

3.2. 行业技术壁垒：行业技术壁垒较高，需要应对产品的快速迭代

技术水准壁垒：作为一种新兴的传感器技术，激光雷达系统结构精密且复杂，精细的光机设计和收发对准、微弱信号的灵敏探测和快速响应是实现探测目标的前提。为了实现最优的探测效果，激光雷达不仅在开发过程中需要光、机、电等子模块的高度配合和协同优化，而且还需要在生产过程中具有相匹配的高精度生产制造能力。

技术创新壁垒：激光雷达行业技术创新能力强，产品迭代速度快。从最初的单点激光雷达发展到如今机械式、半固态式、固态式、FMCW 等多种技术架构，激光雷达技术架构的创新与应用范围的拓展彼此促进。在激光雷达公司持续的大量研发投入之下，激光雷达产品不仅测量范围更远，探测精准度更高，空间分辨能力更强，而且在可靠性、安全性、成本控制等方面也逐渐成熟，产品更新换代速度快。

图 43：行业主要壁垒



资料来源：禾赛科技公开发行股票说明书，安信证券研究中心

3.3. 行业政策：政策不断利好，激光雷达市场迎来快速发展

国家对于计算机、通信和其他电子设备制造业大力支持，出台一系列政策不断推进智能传感器及集成电路行业的高速和高效发展。2017 年起随着智能汽车及车联网行业的发展，各级政府出台多项政策明确发展车载传感器技术以及形成产业化规模，对行业经营发展起到正向促进作用。另一方面，在政策制定上，国家坚持扶优扶强，驱动行业内企业提升产品性能与竞争力，尤其 2020 年以来国家和各个省市对智能网联汽车的大力关注和支持。

表 13：行业政策

时间	发布机构	政策	内容
2020 年	国务院	《新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）》	实施智能网联技术创新工程。以新能源汽车为智能网联技术率先应用的载体，支持企业跨界协同，研发复杂环境融合感知、智能网联决策与控制、信息物理系统架构设计等关键技术，突破车载智能计算平台、高精度地图与定位、车辆与车外其他设备的无线通信（V2X）、线控执行系统等核心技术和产品。
2020 年	商务部等 8 部门	《商务部等 8 部门关于推动服务外包加快转型升级的指导意见》	将企业开展云计算、基础软件、集成电路设计、区块链等信息技术研发和应用纳入国家科技计划（专项、基金等）支持范围。
2020 年	发改委等 11 部委	《智能汽车创新发展战略》	明确提出推进车载高精度传感器、车规级芯片、智能操作系统、车载智能终端、智能计算平台等产品研发与产业化，建设智能汽车关键零部件产业集群。 1) 在现有的“五免五减半”政策基础上，首次推出十年免征所得税政策，支持 28nm（含）及以下先进工艺生产企业发展；
2020 年	国务院	《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展的若干政策》	2) 把“两免三减半”政策适用范围从过去的芯片设计扩大到封装、设备、材料全产业链，同时对重点设计及软件企业税收优惠加大； 3) 与生产相关的原材料等产品进口关税免除政策继续施行，明确设备免税条件。此外，人才政策方面，第一次明确把集成电路列入“一级学科”，并对产教融合企业提出明确税收优惠。
2020 年	北京市人民政府	《北京市政府工作报告》	报告指出，2020 年北京将重点发展集成电路产业，以设计为龙头，以装备为依托，以通用芯片、特色芯片制造为基础，打造集成电路产业链创新生态系统。
2020 年	广东省人民政府办公厅	《广东省关于加快半导体及集成电路产业发展	重点发展特色工艺制造，补齐产业短板，积极发展封测、设备及材料，完善集成电路产业链条等。

		的若干意见》	
2020年	广州市工业和信息化局	《广州市加快发展集成电路产业的若干措施》	指出面向5G、物联网、高端装备、汽车电子、智能终端、轨道交通、金融、电力等产业，重点在智能传感器、功率半导体、逻辑、光电器件、混合信号、射频电路等领域，尽快形成产能规模。
2019年	财政部、税务总局	《关于集成电路设计和软件产业企业所得税政策的公告》	对符合条件的集成电路设计企业和软件企业，在2018年12月31日前自获利年度起计算优惠期，第一年至第二年免征企业所得税，第三年至第五年按照25%的法定税率减半征收企业所得税，并享受至期满为止。
2019年	发改委	《产业结构调整指导目录(2019年本，征求意见稿)》	明确提出发展智能汽车传感器等关键零部件及技术，加快发展先进制造业和现代服务业，促进制造业数字化、网络化、智能化升级，推动先进制造业和现代服务业深度融合。
2019年	上海市嘉定区经济委员会等8部门	《嘉定区进一步鼓励智能传感器产业发展的有关意见》	明确到2025年，嘉定以智能传感器芯片为核心的智能硬件相关产业产值突破千亿元，实现产业规模迅速扩大、创新能力显著增强、生态体系基本完善。
2019年	浙江省嘉善县人民政府	《嘉善县人民政府关于加快智能传感器产业发展若干政策意见》	意见从加大产业发展资金扶持、有效保障产业发展空间、加快引育产业发展主体、大力支持产业研发创新、逐步完善产业发展配套、优化产业发展环境六大方面提出了具体措施。包括设立百亿元传感器基金，统筹安排5亿元专项资金支持，房租减免等。
2018年	工信部	《车联网(智能网联汽车)产业发展行动计划》	明确指出加快车载视觉系统、激光/毫米波雷达、多域控制器、惯性导航等感知器件的联合开发和成果转化。加快推动智能车载终端、车规级芯片等关键零部件的研发，促进新一代人工智能、高精度定位及动态地图等技术在智能网联汽车上的产业化应用。
2018年	湖南长沙市经济和信息化委员会	《长沙市加快新型高端汽车智能传感器产业发展的若干政策》	政策着力引导智能传感器产业集聚，加强智能传感器关键核心技术研发，提升智能传感器产业集成创新能力，扩大智能传感器产业规模。重点支持应用于自动驾驶领域的新型高端汽车智能传感器、汽车压力传感器、惯性传感器等产品，支持方向为24/77/79GHz毫米波雷达、视觉传感器、红外传感器、激光雷达传感器、高精度/低成本导航传感器模块组件及其嵌入式软件等。
2017年	工信部、发改委、科技部	《汽车产业中长期发展规划》	规划指出重点突破动力电池、车用传感器、车载芯片、电控系统、轻量化材料等工程化、产业化瓶颈。到2020年，形成若干家超过1,000亿规模的汽车零部件企业集团，到2025年，形成若干家进入全球前十的汽车零部件企业集团。重点攻克环境感知、智能决策、协同控制等核心关键技术，促进传感器、车载终端、操作系统等研发与产业化应用。
2017年	工信部	《智能传感器产业三年行动指南(2017-2019年)》	明确指出主要任务为之二为：(一)补齐设计、制造关键环节短板，推进智能传感器向中高端升级；(二)面向消费电子、汽车电子、工业控制、健康医疗等重点行业领域，开展智能传感器应用示范。
2017年	发改委	《智能汽车关键技术产业化实施方案》	明确指出主要任务之一为提升智能汽车关键软硬件水平，“重点研发智能汽车技术，重点加强传感器、车载芯片、中央处理器、车载操作系统、无线通信设备、以及北斗高精度定位装置等产品开发与产业化”。
2016年	国务院	《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》	明确指出提升关键芯片设计水平，发展面向新应用的芯片。推动智能传感器、电力电子、印刷电子、半导体照明、惯性导航等领域关键技术研发和产业化。
2014年	国务院	《国家集成电路产业发展推进纲要》	着力发展集成电路设计，围绕重点领域产业链，强化集成电路设计、软件开发、系统集成、内容与服务协同创新。近期聚焦移动智能终端芯片、数字电视芯片、网络通信芯片，提升信息技术产业整体竞争力。
2013年	工信部、科技部、财政部、国家标准管理委员会	《加快推进传感器及智能化仪器仪表产业发展行动计划》	计划指出2013-2025年总体目标：传感器及智能化仪器仪表产业整体水平跨入世界先进行列，产业形态实现由“生产型制造”向“服务型制造”的转变，涉及国防和重点产业安全、重大工程所需的传感器及智能化仪器仪表实现自主制造和自主可控，高端产品和服务市场占有率提高到50%以上。
2005年	国务院	《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006年-2020年)》	规划中将“核心电子器件、高端通用芯片及基础软件产品”(简称“核高基重大专项”)列为16个科技重大专项首位，也被称为“01专项”。

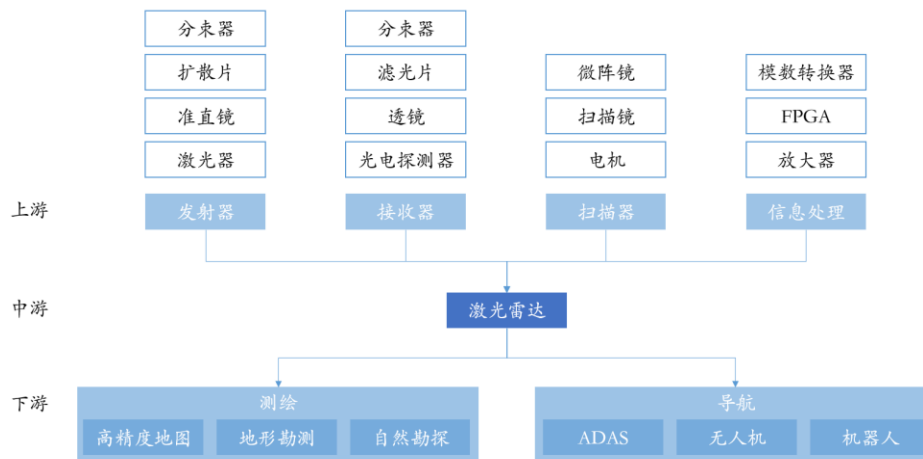
资料来源：禾赛科技公开发行股票说明书，安信证券研究中心

4. 思考三：供给视角，激光雷达行业各个玩家的竞争格局如何？

4.1. 产业链：国内产业链中游突出上游崛起，固态化趋势推动成本降低和实用化

激光雷达巨大的产业规模之下，是一条由多个环节构成的、上下游明确的产业链。下游应用领域主要包括测绘和导航两大类需求，如今，下游需求蓄势待发，自动驾驶、高精度地图等市场都存在大量需求。而激光雷达上游主要分为发射、接收、扫描和信息处理等部分。激光雷达的上游环节随着技术发展愈发成熟，上游器件的成本很大程度上指引着激光雷达的应用。

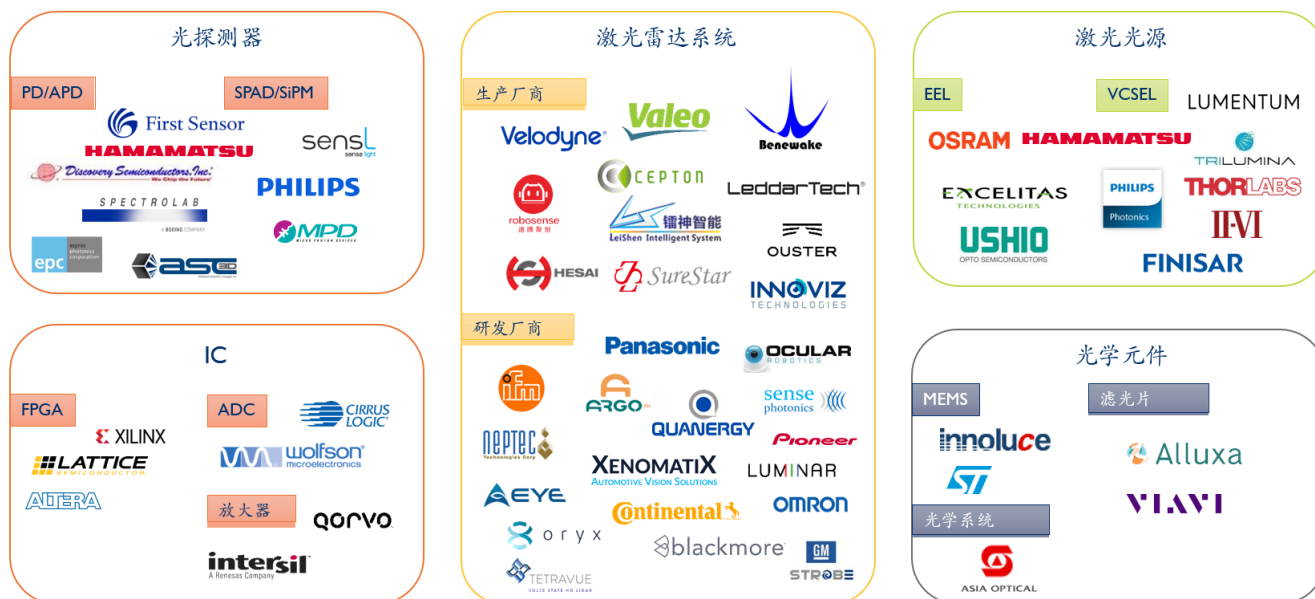
图 44：激光雷达产业链



资料来源：汽车人参考，安信证券研究中心制图

在这样的产业链当中，全球分布着大量业务不同的厂家，欧姆龙、松下、意法半导体、赛灵思、飞利浦、Qorvo 等知名公司都在激光雷达产业链之中。产业链中游，也就是激光雷达公司主要有 Velodyne、Valeo、Ouster、Innoviz、Quanergy、Luminar 等，还有不少中国国内公司已经跻身国际主要厂商之列，例如禾赛科技、镭神智能、北醒、速腾聚创、北科天绘等。而上游领域，国际公司积累较为深厚，例如光学器件领域的意法半导体、亚洲光学（中国台湾），光源领域的飞利浦光学、生产光源和光学器件的 Thorlabs，光探测器领域有安森美旗下的 SensL、日本滨松等，IC 领域则有赛灵思、Qorvo 等半导体巨头。

图 45：激光雷达产业链公司



资料来源：Yole，安信证券研究中心制图

而从国内公司来看，近年来我国中游强上游弱的局面得到了一定改观。目前，以速腾聚创、禾赛科技、镭神智能为代表的国内激光雷达产业公司主要集中在中游位置，但上游也涌现出了一批优秀公司，例如华为哈勃投资的芯视界微电子，小米集团领投、联想和真格基金跟投的黎明光子等。下游主要包括测绘视觉、机器人、自动驾驶、无人机和环境监测五个应用方向，目前激光雷达主要应用在自动驾驶领域，应用领域我国公司数量较多，例如数字绿土、EAI 等公司在各自领域内也具有较强的竞争力。

图 46：激光雷达产业链及代表公司



资料来源：IT 桔子，安信证券研究中心制图

从融资方面也可以看出我国激光雷达产业发展之迅速。根据 IT 桔子数据，2017 年至今，国内激光雷达公司共发生 62 件融资事件。从单次融资额看，在已透露融资额的公司中，有 10 家公司共 13 次融资的单次融资额超过一亿人民币，其中，禾赛科技 A、B 轮融资均超过亿元人民币，并获 1.73 亿美元 C 轮融资，镭神智能也在 A+轮和 B 轮中获得亿元及以上人民币融资。

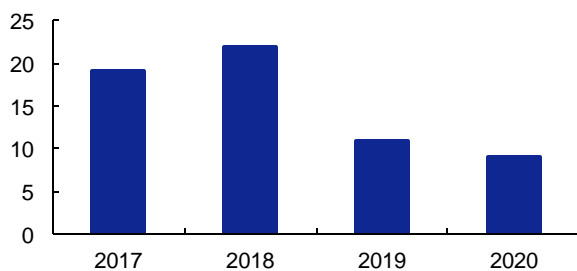
表 14：2017 年至今激光雷达公司最新融资情况

时间	公司名称	融资轮次	融资额	投资方	最新估值 (估值)
2021/1/11	图达通	战略投资	数千万人民币	均胜电子	1.5 亿人民币
2020/10/19	优地科技	战略投资	未透露	格林酒店	5 亿人民币
2020/8/31	探维科技	Pre-A 轮	数千万人民币	清控银杏创投	1.5 亿人民币
2020/4/28	力策科技	B 轮	未透露	峰瑞资本	1.5 亿人民币
2020/4/7	一径科技	A+轮	7000 万人民币	复星锐正资本 (领投)、松禾资本 (领投)	7 亿人民币
2020/3/25	镭神智能	B+轮	未透露	同威创投	1.5 亿人民币
2020/3/15	莫之比智能	A 轮	3000 万人民币	潇湘资本, 麓谷高新创投, 深圳宏富二号	2 亿人民币
2020/1/7	禾赛科技	C 轮	1.73 亿美元	光速中国 (领投)、博世中国 (领投)、启明创投、德同资本、美国安森美半导体、新加坡 Axiom	54.24 亿人民币
2019/12/23	饮冰科技	Pre-A 轮	数千万人民币	满京华、苏州清研资本、京信供销基金、纳维资本	1.5 亿人民币
2019/11/25	Camsense	A+轮	4000 万人民币	洋扬资本 (领投)、晨晖创投 (领投)、东方富海、南岭创投	2 亿人民币
2019/10/1	一微半导体	B 轮	未透露	小米集团	1.5 亿人民币
2019/9/23	飞芯光电	A 轮	未透露	广发信德、信远兆康投资	1 亿人民币
2019/5/7	EAI 玩智商科技	A 轮	数千万人民币	盈峰资本	1.5 亿人民币
2019/1/11	流深光电	B 轮	数千万人民币	真成投资	2 亿人民币
2019/1/9	北醒电子	B+轮	未透露	达泰资本、顺为资本、IDG 资本、凯辉基金、凯思博	1.5 亿人民币
2019/1/2	洛伦兹科技	A 轮	未透露	启迪之星	1 亿人民币
2018/10/12	中智行 Allride.ai	天使轮	亿元及以上人民币	未透露	5 亿人民币
2018/10/11	速腾聚创	战略投资	3 亿人民币	菜鸟网络 (阿里巴巴)、北汽产投、上汽投资-尚颀资本	20 亿人民币
2018/9/24	牧镭激光	B 轮	数千万人民币	华泰证券 (领投)	1.5 亿人民币
2018/8/1	矽赫科技	天使轮	未透露	松禾资本、青橙资本	500 万人民币
2018/3/27	木蚁机器人	A 轮	未透露	起点创业营	1 亿人民币
2018/3/16	爱莱达科技	A 轮	数千万人民币	百度风投 (领投)、华登国际	1 亿人民币
2018/3/14	拓维思科技	C 轮	未透露	清控银杏创投	2.5 亿人民币
2018/1/9	北科天绘	A+轮	亿元及以上人民币	云晖资本 (领投)、Star VC、华峰资本 (财务顾问)	7.5 亿人民币
2017/12/25	数字绿土	B 轮	亿元及以上人民币	国科投资	10 亿人民币
2017/12/1	煜炜光学	天使轮	数百万人民币	未透露	1.5 亿人民币
2017/11/27	迈测科技	C 轮	数千万人民币	朗玛峰创投、汇投资本、华峰资本 (财务顾问)	1.5 亿人民币
2017/9/27	意行半导体	A 轮	未透露	北汽产投	1 亿人民币
2017/9/12	佳光科技	Pre-A 轮	未透露	赛富基金 SA IF Partners、苏州清研资本	1 亿人民币
2017/7/11	思岚科技	C 轮	1.5 亿人民币	国科投资 (领投)、信中利资本、国家中小企业发展基金 (国中创投)	7.5 亿人民币
2017/5/3	金景科技	A 轮	未透露	水木易德投资	1 亿人民币
2017/4/25	海目星	B 轮	未透露	千乘资本、科地资本、君联资本、招银国际、赣州九派允公、银盛创投	1.5 亿人民币

资料来源：IT 桔子，安信证券研究中心

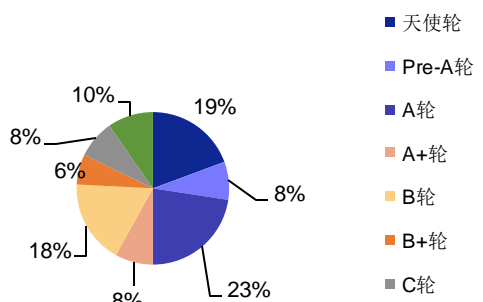
而从融资事件的时间来看，2018 年发生融资事件最多，近两年的融资事件数量减少，或可以反映出行业进入冷静稳定发展新时期。从融资轮次来看，主要集中在前期，其中，天使轮融资占 19%，A 轮融资占 23%，B 轮融资占 18%。

图 47：2017 年至 2020 年投融资事件数量



资料来源：IT 桔子，安信证券研究中心

图 48：2017 至 2021 年 1 月融资轮次分布



资料来源：IT 桔子，安信证券研究中心

而具体到上市公司方面，目前我国该板块上市公司还较少，但新三板已有部分挂牌公司涉及了激光雷达产业链业务，其中包括数模混合信号龙头公司艾为电子、激光器三优光电、精密光学元件福特科等。

表 15：新三板激光雷达产业链公司

细分领域	证券代码	证券简称	主营业务	2019 营收 (亿元)	2019 归母净利润 (万元)	市值 (亿元)	PE TTM
激光器、光学元件	831055.OC	三优光电	高速半导体激光器/探测器	1.36	1426.38	7.79	18.86
	833682.OC	福特科	精密光学元件、精密光学镜头	4.22	4115.85	9.37	23.94
放大器、数模混合电路	833221.OC	艾为电子	数模混合信号、模拟、射频的集成电路设计	10.18	9008.89	243.43	258.67
	834157.OC	亿芯源	连续和突发式跨阻放大器等	0.39	-1843.66	3.77	-26.90
	872570.OC	迈纬科技	干线放大器等	0.41	401.21	11.20	251.04
连接器、线束	837656.OC	瑞宝股份	汽车连接器系列产品	1.59	1148.62	0.00	0.00
	838162.OC	祥龙科技	车用摄像头线束、HSD 线束与连接器	2.17	2317.89	3.49	16.04
	838437.OC	鼎盛车电	汽车总成、电子线路板(PCBA)制作、低电流汽车控制线束	2.26	963.61	1.65	15.41
	837212.OC	智新电子	HSD、倒车影像、车载系统线束等	2.51	2927.04	7.84	27.78
	832592.OC	群龙股份	汽车线束、汽车机构总成、汽车电子三大类产品	3.16	4017.97	1.18	3.69
	872704.OC	锦城股份	乘用车发动机线束、仪表线束等	3.16	-290.13	2.30	28.58
传感器	838214.OC	武汉神动	机油压力、温度传感器等	0.84	148.11	0.22	10.18
	830976.OC	电通微电	集成电路的封装与测试、MEMS 压力传感器	1.04	65.29	1.10	52.97
	838181.OC	芯哲科技	集成电路封装测试、SOT23、SOP 等产品	1.70	215.35	0.00	0.00
	839830.OC	晶晟股份	ESP 车载电磁线圈等	1.88	1031.01	0.00	0.00
	870231.OC	源悦汽车	汽车 ABS 控制器、EPS 控制器、EPB 控制器等	2.11	-823.22	1.35	110.13
	837821.OC	则成电子	汽车 EPS 转向器模组、后置摄像头模组等	2.93	4607.02	20.13	48.86
电路板	832491.OC	奥迪威	车载超声波传感器	2.51	561.11	6.98	24.69
	873105.OC	迪飞达	汽车电子 PCBA 电路板	1.02	704.31	0.84	10.42
	834511.OC	凯歌电子	汽车电子产品电路板	1.76	-570.37	1.24	-18.03
	838512.OC	成德科技	单层板、双面板、多层板、FPC 印制电路板	2.17	834.08	2.20	22.14

资料来源：Wind，安信证券研究中心

4.2. 概况对比：Velodyne 是全球行业龙头，禾赛科技在国内市场处于领先地位

激光雷达属于新兴的高技术产业，发展早期技术与市场上主要是国外公司。国内激光雷达公司加入竞争之后投入大量研发，逐步完成了技术的追赶甚至在一定范围内实现超越。从公司规模来看，多数激光雷达企业为发展迅速的高科技创业公司，2020 年下半年境外激光雷达公司迎来通过特殊目的并购公司（Special Purpose Acquisition Company, SPAC）完成上市的热潮，美国已上市公司有 Velodyne、Luminar，此外 Aeva、Innoviz 预计 2021 年第一季度完成上市，Ouster 预计 2021 年上半年完成，中国禾赛科技拟登陆科创板。

行业内业务上具有可比性的主要的激光雷达公司包括美国的 Velodyne、Luminar、Aeva、Ouster，以色列的 Innoviz，德国的 Ibeo，以及国内的速腾聚创、禾赛科技。

表 16: 行业内主要的激光雷达公司

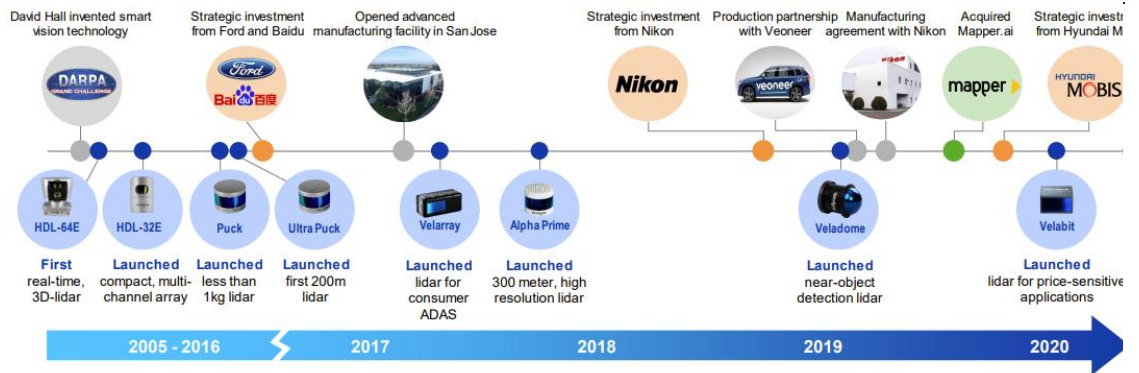
公司	技术路线	发展阶段	产品成熟度	市场地位及应用场景落地	生产规划
禾赛科技中国	在售产品包括不同架构的机械旋转方案的多线激光雷达, 其中 Pandar40P 和 Pandar64 发射端采用光纤排布的架构, QT 采用 VCSEL+单光子探测器的平面化架构, XT 采用禾赛 V1.0 的芯片化架构。深度布局激光雷达的芯片化架构, 以应用于(半)固态和纯固态激光雷达产品	成立于 2014 年 10 月, 已申请科创板上市	多线机械旋转雷达的多个产品已形成规模销售	产品广泛用于全球头部无人驾驶项目, 同时也服务于机器人及车联网领域	拥有自主产线, 同时制定了自动化生产线及智能化工厂的发展路线
Velodyne 美国	在售产品主要为机械旋转方案的多线激光雷达; 已发布(半)固态产品, 技术方案未对外公布; 已布局 ADAS 软件解决方案	2020 年 9 月完成 NASDAQ 上市, 股票代码: VLDR	多线机械旋转雷达的多个产品已形成规模销售	从 2006 年到 2017 年一度是多线数旋转激光雷达市场的最主要提供方。产品广泛应用于服务机器人、无人驾驶等领域	拥有自主产线, 但逐渐转向第三方代工的模式, 已与 Fabrinet、Nikon (尼康)、Veoneer (维宁尔) 签署多年代工协议
Luminar 美国	产品使用 1550nm 激光器、InGaAs 探测器、以及扫描转镜; 已布局算法感知软件方案	2020 年 12 月完成 NASDAQ 上市, 股票代码: LAZR	市场上无公开批量售卖产品	当前产品面向无人驾驶和乘用车的测试及研发项目。与沃尔沃达成供应协议, 用于 2022 年上市的自动驾驶系统	无
Aeva 美国	布局芯片化 FMCW 连续波调频激光雷达	计划 2021 年第一季度完成 NYSE 上市, 股票代码: AEVA	市场上无公开批量售卖产品	当前尚无信息显示规模化应用。与奥迪自动驾驶子公司合作为乘用车提供传感器	2020 年宣布与 ZF(采埃孚) 达成生产合作
Innoviz 以色列	发布产品为半固态方案, 选用二维微振镜作为扫描器件; 已布局感知算法解决方案	计划 2021 年第一季度完成 NASDAQ 上市, 股票代码: INVZ	市场上无公开批量售卖产品	当前尚无信息显示规模化应用。与宝马达成供应协议, 为 2021 年推出的 L3 量产车提供激光雷达	2017 年宣布与全球第三大代工厂 Jabil (捷普) 合作, 2018 年宣布与 Magn (a 麦格纳) 合作宝马项目
Ouster 美国	在售产品为机械旋转式, 采用 VCSEL 和 SPAD 阵列芯片技术; 已布局纯固态方案	计划 2021 年上半年完成 NYSE 上市, 股票代码: OUST	多线机械旋转雷达的多个产品已形成规模销售	中、近距离激光雷达的主要供应商之一。产品主要应用于服	无
Ibeo 德国	在售产品采用转镜方案; 已发布基于 VCSEL 和 SPAD 阵列的纯固态产品	自 2016 年, 德国 ZF (采埃孚) 持有其 40% 股份	转镜方案的多线半固态激光雷达已形成规模销售; 纯固态方案无公开批量售卖产品	与 Valeo (法雷奥) 合作量产了世界首款车规级激光雷达 SCALA, 由 Valeo 负责生产和销售, Ibeo 从中收取授权费用。SCALA 是目前在 ADAS 领域唯一在量产车上使用的多线激光雷达	无
速腾聚创中国	在售产品主要为机械旋转方案和微振镜方案, 同时销售激光雷达的环境感知算法解决方案	2018 年 10 月公布 3 亿元人民币战略融资, 此前已完成至 C 轮融资	多线机械旋转雷达的多个产品已形成规模销售	主攻机器人市场, 是多线机械旋转雷达产品在国内外机器人市场的主要供应商之一, 同时具有半固态激光雷达产品	无

资料来源: 禾赛科技公开发行股票说明书, 安信证券研究中心

4.2.1. Velodyne: 激光雷达行业龙头, 2020 财年预计营收 0.94 亿美元

Velodyne 成立于 1983 年, 最初是一家音响技术制造与研发公司, 在 2005 年公司开始专注于激光雷达技术的研发, 推出的首款 64 线程机械式激光雷达 HDL-64E 便在第三届 DARPA (无人驾驶挑战赛) 挑战赛上大放异彩, 六支完成比赛的队伍中五家使用了 Velodyne 的激光雷达。Velodyne 是车载激光雷达领域的鼻祖, 在机械式激光雷达获得成功后, 于 2015 年开始研发固态激光雷达, 2017 年发布固态激光雷达 Velarray, 2020 年初基本完成设计。

图 49: Velodyne 发展历程



资料来源: Velodyne 官网, 安信证券研究中心

Velodyne 截止到 2020 年 9 月 30 日, 激光雷达产品的累计销售额已经达到 \$650M, 2020 年总销售额预计达到 \$94M。作为行业内的龙头公司, Velodyne 的产品遍布各种无人驾驶的应用情境之中, 在 360° 环绕视野距离感知、远程定向、半球面视野近距离感知技术领域都有着代表性的产品, 并广泛地应用在现代、福特、奔驰等无人驾驶汽车领域巨头的解决方案之中。其中机械式激光雷达成熟度高, 并在此基础上研发更高性能的固态式激光雷达 Velarray 以适应更高标准的无人驾驶领域的需求。

图 50: Velodyne 产品种类与应用场景



资料来源: Velodyne 官网, 安信证券研究中心

作为激光雷达行业内的领先企业, Velodyne 不仅在市场规模上处于领先地位, 在各类型产品的性能表现上同样处于市场的中的领先地位。公司的 Alpha Prime 激光雷达的性能远远领先于当前市场上其他公司远距离环绕视野激光雷达产品, 在中短距离环绕视野激光雷达产品中, 公司的多款机械式激光雷达性能同样处于行业的领先水平。

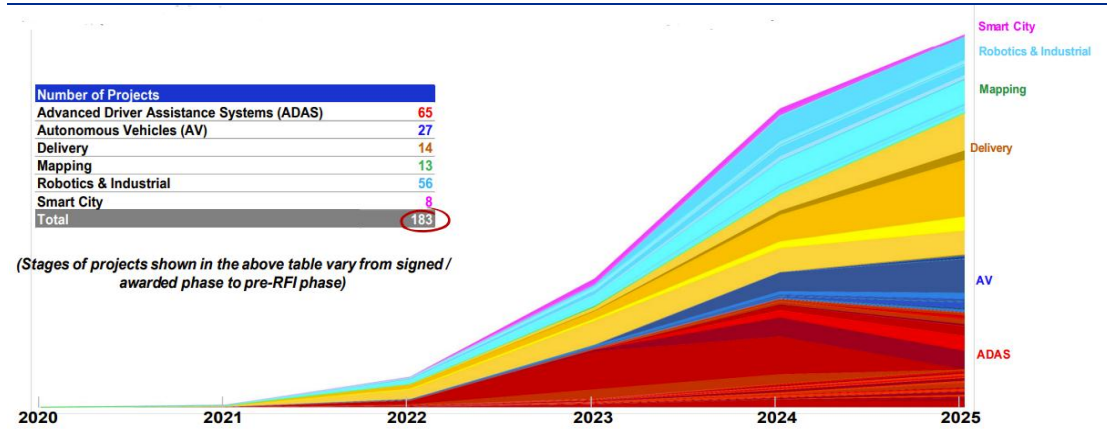
图 51: Velodyne 产品的性能对比



资料来源: Velodyne 官网, 安信证券研究中心

Velodyne 预计在 2025 年公司承接项目数将达到 183 个，出货量累计将达到 900 万台，其中汽车领域的 ADAS 与无人驾驶市场承接项目数量最多，预计项目数量将达到 92 个，出货数量占比也位居前列。

图 52: Velodyne 雷达出货量预测

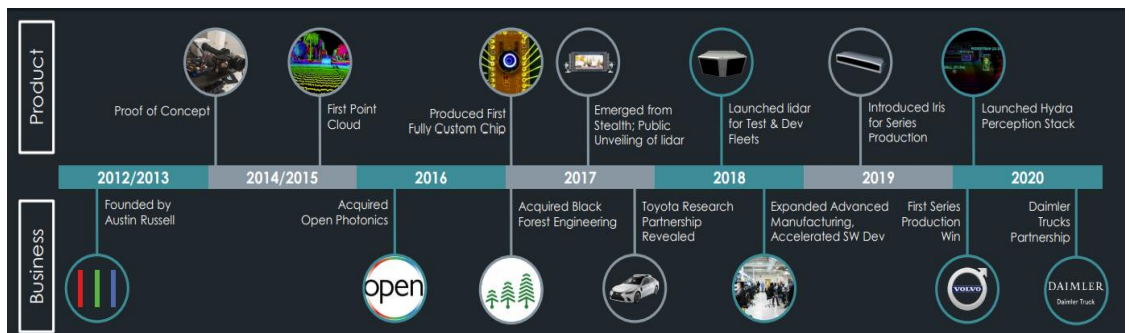


资料来源: Velodyne 官网, 安信证券研究中心

4.2.2. Luminar: 专注于高速公路无人驾驶技术, 固态式车载激光雷达技术领先者

2012 年 Luminar 由 Russel 在硅谷创立, 并在之后专注于车载雷达技术的突破性研究, 旗下的 Iris 激光雷达拥有着行业内较为领先的性能, 在小于 10% 的反射率下可以实现 250m 的探测距离, 并且在雨雪天气下也可以达到 200 以上的探测距离。Luminar 的激光雷达的性能优势为其带来大量的合作客户, 合作伙伴数量从 2017 年的 4 个增长到了 2020 年的 50 个, 先后与丰田、沃尔沃等车企建立了研发合作关系, 并于 2020 年 11 月达成了与 Intel 旗下自驾视觉处理系统商 Mobileye 的合作订单。除此之外, Luminar 还进一步与戴姆勒卡车公司 (Daimler Truck AG) 建立合作伙伴关系, 开拓自动驾驶卡车市场。

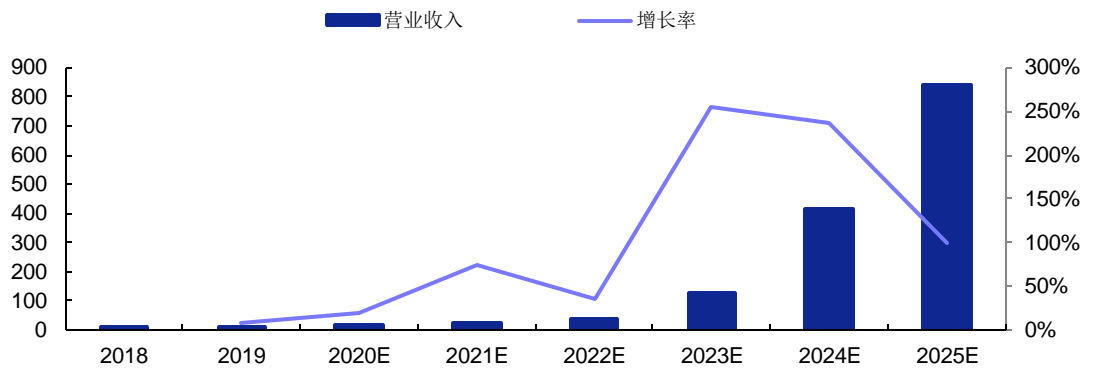
图 53: Luminar 发展历程



资料来源: Luminar 官网, 安信证券研究中心

Luminar 是明确定位在汽车激光雷达高速公路自动驾驶市场, 而且认为这个市场是最大的市场, 并专注于开阔这一市场的市场占有率。Luminar 认为高速自动驾驶是视觉加激光雷达最容易实现自动驾驶市场, 因为激光雷达系统能够主动接管车辆从而避免事故, 这存在这巨大的市场需求与具体的可行性, 如果激光雷达能够成为和安全带VABS 一样的安全标配, 那未来的市场空间将更大。与此同时, Luminar 的营收来源将从硬件设备向配套的软件设备上转移, 在 2022 年公司的收入预计会来自基础激光雷达硬件、ADAS 安全解决方案(激光雷达硬件+软件)、高速公路自主解决方案(激光雷达硬件+ 软件)这三个方面, 软件在收入中的占比逐渐提升。

图 54: Luminar 营收规模与预测 (百万美元)



资料来源: Luminar 官网, 安信证券研究中心

Luminar 在技术上的创新使得产品的性能在于市场中其他产品竞争中处于领先地位, 作为一款固态式的激光雷达, 公司的产品克服了固态式激光雷达在恶劣的雨雪天气中表现不佳的技术缺陷, 在雨雪天气中仍能保持大于 200m 的可识别距离; 公司通过铟镓砷激光接收器降低成本, 仅需要配备一个镭射光源和两个接收器, 从而降低激光雷达的生产成本, 待技术成熟可把固态激光雷达价格从几万美元下降到 500-1000 美元的范围。

图 55: Luminar 产品性能对比

	OEM Spec Requirement ⁽¹⁾ (For Autonomy)	LUMINAR	Other lidar Companies				
			Company A (Product 1)	Company A (Product 2)	Company B	Company C	Company D
Product Stage	Production	Series Production Ready	Test Vehicles (Robo-taxi)	Test Vehicles (Robo-taxi)	Delayed Series Production (ADAS)	Series Production (ADAS)	Test Vehicles (Robo-taxi)
Range Performance (@5% Reflectivity)	> 200m	> 250m	70m	22m	120m / 35m (Configurable)	35m	140m
Max Resolution (pts/Deg ² @10Hz)	> 200	> 300	45	3	25 / 100 (Configurable)	3	30
Field of View	>100° x 30°	120° x 30°	360° x 40°	360° x 30°	115° x 25°	145° x 3°	360° x 40°
Performance in Poor Weather	> 200m in Rain & Snow	Yes	No	No	No	No	No
Interference (Sunlight, lidar)	None	None	Partially Blinded	Partially Blinded	Partially Blinded	Partially Blinded	Partially Blinded
Auto-Grade	Auto Grade Capable	Yes	No	No	Undemonstrated	Yes	No
Cost	Low BoM & Assembly Cost	1 Laser, 2 Receivers	128 Lasers, 128 Receivers	16 Lasers, 16 Receivers	6 Lasers, 6 Receivers	4 Lasers, 4 Receivers	64 Lasers, 64 Receivers
Commercial Perception Software	Yes	Yes	No	No	Basic Functions Only	Yes	No

资料来源: Luminar 官网, 安信证券研究中心

Luminar 的核心产品 MEMS 混合激光雷达 Iris 具有行业内领先的性能, 最大探测范围可达 500m, 在小于 10% 的反射率下可以实现 250m 的探测距离, Iris 具有 120° 环绕视野和 30° 的动态垂直 FoV, 并且具有相机级的分辨率, 可以实现 1cm 范围内的高精度反射。

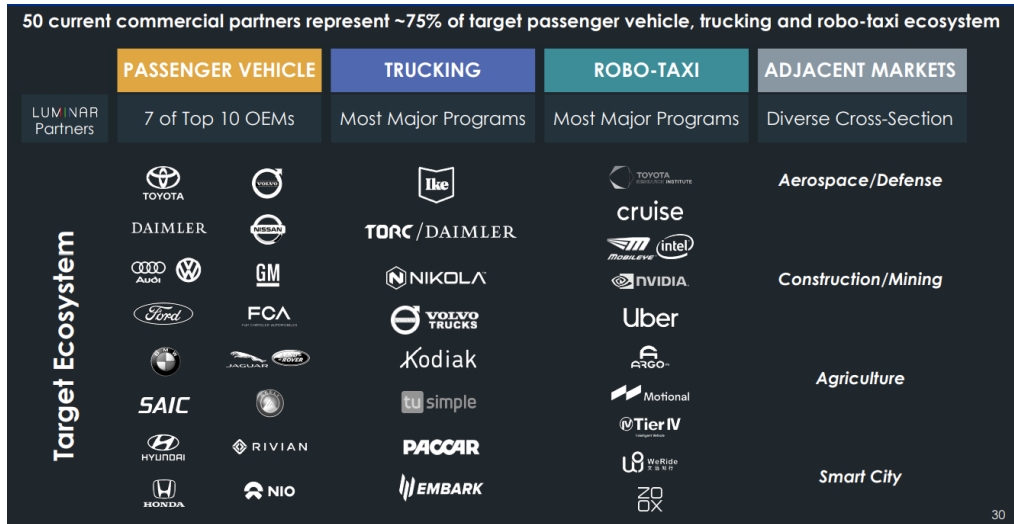
图 56: Luminar 主要产品 Iris



资料来源: Luminar 官网, 安信证券研究中心

Luminar 在技术创新上的优势已经使其获得了主流汽车制动驾驶的认可。全球前 10 家汽车厂商有 7 家在测试 Luminar。包括沃尔沃、丰田，并在最近与 Intel 旗下的 Mobileye 建立了合作，Mobileye 将在新款的产品中采用 Luminar 的激光雷达。而且汽车零部件业务有很强的粘性，需要长时间的测试，一旦测试通过采用，换部件的过程比较长。因此，Luminar 的激光雷达在客户端积累了一定的优势。

图 57: Luminar 合作客户



资料来源: Luminar 官网, 安信证券研究中心

4.2.3. 禾赛科技: 拟于科创板上市, 国内激光雷达行业领军者

禾赛科技 2014 年成立于上海, 依靠 500 多人的团队打造出一系列创新型传感器解决方案, 兼顾业内顶尖的产品性能、可量产的设计以及出众的可靠性。禾赛凭借自主研发的微振镜和波形加密技术, 始终引领传感器创新的发展方向, 目前已布局 500 多项专利, 客户遍布全球 23 个国家和地区的 70 座城市。迄今为止, 禾赛已完成累计数亿美元融资, 投资方包括德国博世集团、光速、百度等全球知名的行业企业和投资机构。

图 58: 禾赛科技合作客户



资料来源: 禾赛科技官网, 安信证券研究中心

禾赛科技从对激光雷达性能要求最高的无人驾驶领域入手，坚持产品性能的优化，持续积累核心模块的开发经验，前瞻部署芯片化的发展战略，深入探索不同技术方案，面对不同领域对激光雷达的多样化需求，秉承“长、中、短距兼备，机械、固态方案并进”的立体化产品矩阵，开发并陆续推出多样化的激光雷达产品，应用于不同的细分市场中。

表 17：不同细分市场禾赛科技代表产品

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

资料来源：禾赛科技公开发行股票说明书，安信证券研究中心

在 L4/L5 级无人驾驶应用领域，禾赛科技逐步推出了性能逐渐优化的 Pandar64、Pandar128 等产品来应对无人驾驶对激光雷达性能水平所要求的在 360° 水平扫描范围的同时，对于低反射率物体的最远测距能力需要达到 200 m，且需要更高的线数以及更密的点云分辨率的高应用标准。在角度盲区问题上则推出了垂直视场角覆盖 104.2° 和探测距离最近达 0.1 m 的盲区检测激光雷达 PandarQT。


表 18：禾赛科技无人驾驶领域代表产品

产品型号	产品图例	技术特点
Pandar64	 2019 年 1 月发布	64 线长距机械旋转式激光雷达 主要参数： 测距范围：0.3m~200m（10%反射率目标物）视场角：360°（水平）×40°（-25°~15°，垂直）分辨率：0.2°（10Hz，水平）×0.167°（最小，垂直） 突出特点： 更密的垂直线数分布：最小垂直角分辨率达 0.167°，远距离物体检测性能更优、分辨能力更强。
Pandar128	 2020 年 9 月发布	128 线长距机械旋转式激光雷达 主要参数： 测距范围：0.3m~200m（10%反射率目标物）视场角：360°（水平）×40°（-25°~15°，垂直）分辨率：0.1°（10Hz，核心区，水平）×0.125°（最小，垂直） 突出特点： 角度分辨率：垂直分辨率最密达 0.125°，水平分辨率核心区可达 0.1°（10Hz），优于市场同类产品的 0.2°水平分辨率，具有更好的目标物细节分辨能力。系统紧凑，重量与体积不足市场上同类产品的一半。采用可靠性设计，通过多项严苛的可靠性测试，使用环境温度范围可达-40°C 到 85°C。
PandarQT	 2020 年 1 月发布	64 线短距机械旋转式激光雷达 主要参数： 测距范围：0.1m~20m（10%反射率目标物）视场角：360°（水平）×104.2°（-52.1°~52.1°，垂直）分辨率：0.6°（水平）×1.45°（最小，垂直） 突出特点： 测近能力：最小可探测距离为 0.1m，能够对近距离物体进行精准感知。视场范围：在水平视场角保持 360°的基础上，垂直视场角达到 104.2°，能对近距离角度盲区进行大范围的覆盖。功耗低：根据产品手册，市场上同类盲区激光雷达的功耗通常超过 10W，PandarQT 的功耗约为 8W。体积小、安装便捷。

资料来源：禾赛科技公开发行股票说明书，安信证券研究中心

在 L2/L3 级高级辅助驾驶市场，禾赛科技利用技术架构预研过程中的实践积累，权衡性能、尺寸、可靠性以及可量产性，寻找针对此应用领域的适用技术方案，并在 2019 年 1 月推出了基于微振镜方案的远距前向式激光雷达 PandarGT。

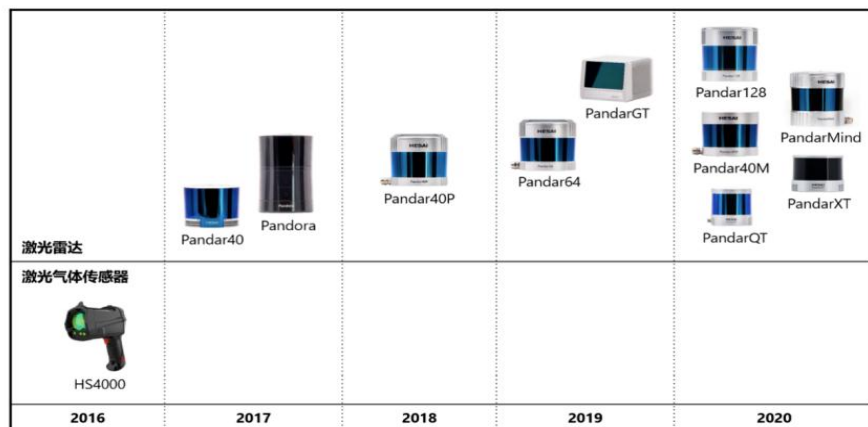
表 19: 禾赛科技 ADAS 领域代表产品

产品型号	产品图例	技术特点
PandarGT	 2019 年 1 月发布	远距前向式半固态激光雷达 主要参数: 测距范围: 0.5m-300m (10%反射率目标物) 视场角: 60°(水平) ×20°(垂直, 可配置) 分辨率: 0.1°(水平) ×0.16°(10 Hz, 垂直) 突出特点: 测距能力: 对于 10%低反射率的目标物, 中心最远探测距离可达 300m, 可用于高速行驶场景的前向预警探测。自主开发了高速二维振镜系统和光纤激光器两项核心器件。垂直方向视场范围 20°至 5°动态可调, 且能够实现±5°的整体偏置, 适应不同场景的探测需求, 并且能够实现局部细节的加密探测。

资料来源: 禾赛科技公开发行股票说明书, 安信证券研究中心

在主要产品和服务的演变情况方面, 公司持续对激光雷达和激光气体传感器两大类产品线进行开发, 公司已陆续推出了诸多产品系列, 如激光甲烷遥测仪 HS4000, 机械式激光雷达 Pandar40、Pandar40P、Pandar64、PandarQT、Pandar40M、Pandar128、PandarXT, 多传感器融合感知套件 Pandora, 半固态激光雷达 PandarGT, 算法内嵌激光雷达 PandarMind 等。

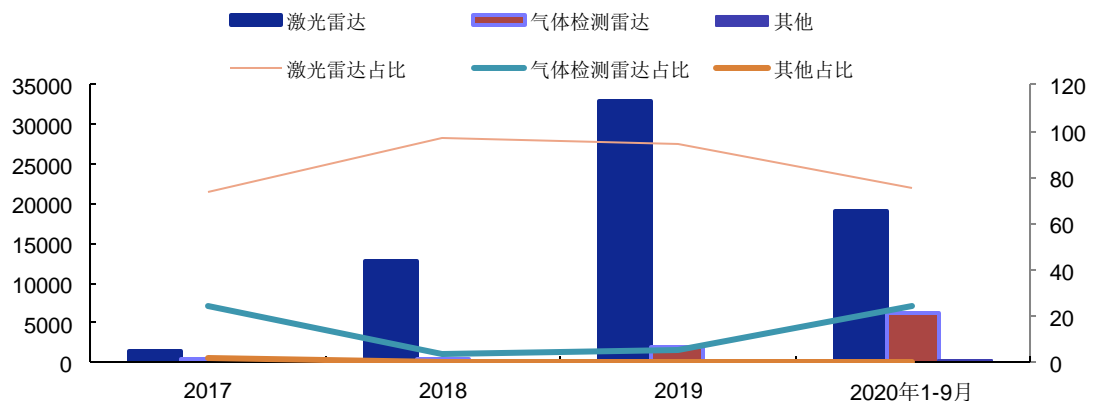
图 59: 禾赛科技产品演变



资料来源: 禾赛科技公开发行股票说明书, 安信证券研究中心

禾赛科技主营业务收入的核心来源为激光雷达产品销售, 激光气体检测产品主要包括激光氧气传感器、激光甲烷遥测仪等产品。2020 年 1-9 月, 公司激光气体检测产品销售收入大幅增加, 主要由于当期 Oxigraf, Inc. 激光氧气传感器产品收入金额较大。

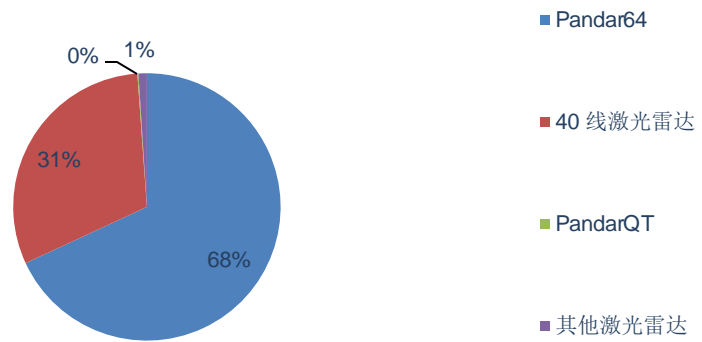
图 60: 禾赛科技主营业务收入变化 (万元, %)



资料来源: 禾赛科技公开发行股票说明书, 安信证券研究中心

在细分产品上，2019 年，Pandar64 在远距离物体检测性能、分辨能力、多传感器同步精度等方面的优势获得市场认可，当年产生收入 22,361.77 万元，占激光雷达销售收入的 68.09%。受到一定的替代效应影响，2019 年 40 线激光雷达的销售收入同比下降 11.97%，为 10,106.19 万元。此外，2019 年 PandarQT 开始销售，实现 42.30 万元收入。

图 61：2019 年禾赛科技各产品收入占比



资料来源：禾赛科技公开发行股票说明书，安信证券研究中心

4.2.4. 关键业务指标对比：Velodyne 市场营收总额最高，禾赛科技毛利率领先

当前激光雷达市场上共有 Velodyne、Luminar、禾赛科技三家公司完成了上市，Aeva、Innoviz、Ouster 已经公布了明确的上市计划。Velodyne 于 2020 年 9 月完成 NASDAQ 上市，当前市值 40 亿美元左右，根据 Velodyne 预测，2022 年激光雷达市场规模将达到 119 亿美元，其中约 72 亿美元来自汽车领域的应用，占比约 60%；汽车领域激光雷达市场的规模在 2026 年将增长至约 168 亿美元。Luminar 于 2020 年 12 月完成 NASDAQ 上市，当前市值 100 亿美元左右，根据 Luminar 预测，激光雷达硬件系统以及配套的无人驾驶和 ADAS 软件系统在 2030 年的市场规模将达到 1,500 亿美元。

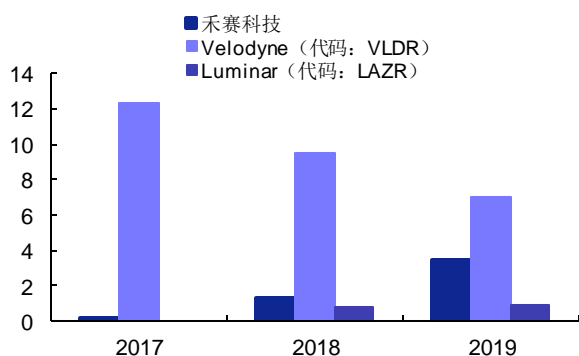
表 20：已上市与即将上市公司市值规模对比（市值基于 2021 年 1 月 7 日美股收盘价）

公司	成立时间	累计融资	上市前估值	当前市值	团队(个)	客户数量(个)	车企客户
Velodyne	1983 年	2.25 亿美金	18 亿美金	43 亿美金	550+	300+	现代、福特
Luminar	2012 年	4.2 亿美金	29 亿美金	104 亿美金	350+	50+	沃尔沃
Aeva	2017 年	4850 万美金	21 亿美金	/	100+	30+	大众
Innoviz	2016 年	2.51 亿美金	14 亿美金	/	280+	不详	宝马
Ouster	2015 年	1.32 亿美金	19 亿美金	/	150+	450+	/
禾赛	2013 年	2.3 亿美金	20 亿美金	/	502	不详	/

资料来源：汽车之心，安信证券研究中心

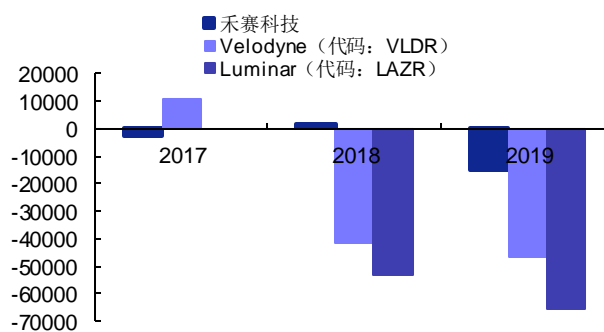
对于已上市的三家公司，Velodyne 作为激光雷达行业龙头，在市场规模上处于领先地位，技术成熟度上也较为领先，形成了稳定的盈利模式；Luminar 专注于固态式激光雷达车载雷达产品的研发与制造，通过铟镓砷激光接收器技术降低固态式激光雷达高昂的成本，但也付出了高昂的研发成本，距离技术完全成熟还有一段的距离；禾赛科技是国内最先上市的激光雷达制造公司，其市场规模也在逐渐扩大，其机械式激光雷达已经接近成熟，产品毛利率高于 70%，具有良好的发展空间。

图 62: 营业收入 (亿元)



资料来源: 禾赛科技公开发行股票说明书, 安信证券研究中心

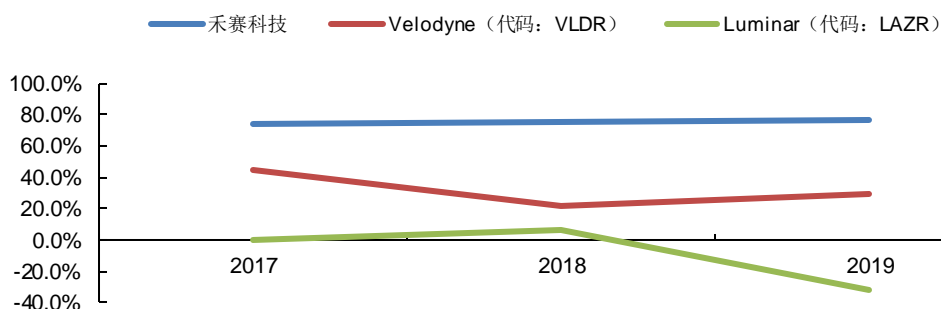
图 63: 净利润 (万元)



资料来源: 禾赛科技公开发行股票说明书, 安信证券研究中心

在产品毛利率方面, Velodyne 与禾赛科技凭借在机械式激光雷达产品上技术成熟度较高的优势, 有着较为领先的毛利率水平, Luminar 的固态激光雷达产品虽然有相较机械式激光雷达更高的性能和抗干扰能力, 但技术还处于发展阶段, 研发成本较高, 毛利率较低。

图 64: 毛利率



资料来源: 禾赛科技公开发行股票说明书, 安信证券研究中心

在即将上市的三家公司中, Aeva 将于 2021 年第一季度完成 NYSE 上市, Innoviz 将于 2021 年第一季度完成 NASDAQ 上市, Ouster 计划 2021 年上半年完成 NYSE 上市, 由于这三家公司公开的数据有限, 仅能从 2020 年预计收入及预计估值进行比较。

表 21: Aeva、Innoviz、Ouster 已公布预期营收和估值情况

公司名称	Aeva (代码: AEVA)	Innoviz (代码: INVZ)	Ouster (代码:)
2020 年预期营收	500 万美元	500 万美元	1,900 万美元
预期市值	21 亿美元	14 亿美元	19 亿美元

资料来源: 禾赛科技公开发行股票说明书, 安信证券研究中心

■ 分析师声明

诸海滨、赵昊声明，本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，勤勉尽责、诚实守信。本人对本报告的内容和观点负责，保证信息来源合法合规、研究方法专业审慎、研究观点独立公正、分析结论具有合理依据，特此声明。

■ 本公司具备证券投资咨询业务资格的说明

安信证券股份有限公司（以下简称“本公司”）经中国证券监督管理委员会核准，取得证券投资咨询业务许可。本公司及其投资咨询人员可以为证券投资人或客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或间接的有偿咨询服务。发布证券研究报告，是证券投资咨询业务的一种基本形式，本公司可以对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向本公司的客户发布。

■ 免责声明

本报告仅供安信证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因为任何机构或个人接收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但本公司不保证该等信息及资料的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映本公司于本报告发布当日的判断，本报告中的证券或投资标的价格、价值及投资带来的收入可能会波动。在不同时期，本公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态，本公司将随时补充、更新和修订有关信息及资料，但不保证及时公开发布。同时，本公司有权对本报告所含信息在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以本公司向客户发布的本报告完整版本为准，如有需要，客户可以向本公司投资顾问进一步咨询。

在法律许可的情况下，本公司及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或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务，提请客户充分注意。客户不应将本报告为作出其投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代客户自身的投资判断与决策。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议，无论是否已经明示或暗示，本报告不能作为道义的、责任的和法律的依据或者凭证。在任何情况下，本公司亦不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

本报告版权仅为本公司所有，未经事先书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表、转发或引用本报告的任何部分。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“安信证券股份有限公司研究中心”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

本报告的估值结果和分析结论是基于所预定的假设，并采用适当的估值方法和模型得出的，由于假设、估值方法和模型均存在一定的局限性，估值结果和分析结论也存在局限性，请谨慎使用。

安信证券股份有限公司对本声明条款具有惟一修改权和最终解释权。

■ 销售联系人

上海联系人	潘艳	上海区域销售负责人	18930060852	panyan@essence.com.cn
	侯海霞	上海区域销售总监	13391113930	houhx@essence.com.cn
	朱贤	上海区域销售总监	13901836709	zhuxian@essence.com.cn
	李栋	上海区域高级销售副总监	13917882257	lidong1@essence.com.cn
	刘恭懿	上海区域销售副总监	13916816630	liugy@essence.com.cn
	苏梦	上海区域销售经理	13162829753	sumeng@essence.com.cn
	秦紫涵	上海区域销售经理	15801869965	qinzh1@essence.com.cn
	陈盈怡	上海区域销售经理	13817674050	chenyy6@essence.com.cn
	徐逸岑	上海区域销售经理	18019221980	xuyc@essence.com.cn
	北京联系人	张莹	北京区域销售负责人	13901255777
张杨		北京区域销售副总监	15801879050	zhangyang4@essence.com.cn
温鹏		北京区域销售副总监	13811978042	wenpeng@essence.com.cn
刘晓萱		北京区域销售副总监	18511841987	liuxx1@essence.com.cn
王帅		北京区域销售经理	13581778515	wangshuai1@essence.com.cn
游倬源		北京区域销售经理	010-83321501	youzy1@essence.com.cn
侯宇彤		北京区域销售经理	18210869281	houyt1@essence.com.cn
深圳联系人	张秀红	深圳基金组销售负责人	0755-82798036	zhangxh1@essence.com.cn
	胡珍	深圳基金组高级销售副总监	13631620111	huzhen@essence.com.cn
	范洪群	深圳基金组销售副总监	18926033448	fanhq@essence.com.cn
	聂欣	深圳基金组销售经理	13540211209	niexin1@essence.com.cn
	杨萍	深圳基金组销售经理	0755-82544825	yangping1@essence.com.cn
	黄秋琪	深圳基金组销售经理	13699750501	huangqq@essence.com.cn
	喻聪	深圳基金组销售经理	18503038620	yucong@essence.com.cn
	马田田	深圳基金组销售经理	18318054097	matt@essence.com.cn

安信证券研究中心

深圳市

地址：深圳市福田区深南大道 2008 号中国凤凰大厦 1 栋 7 层

邮编：518026

上海市

地址：上海市虹口区东大名路 638 号国投大厦 3 层

邮编：200080

北京市

地址：北京市西城区阜成门北大街 2 号楼国投金融大厦 15 层

邮编：100034