

中信证券研究部

投资要点



杨泽原  
首席计算机分析师  
S1010517080002



丁奇  
计算机分析师  
S1010519120003



张帅  
计算机分析师  
S1010520090004

激光雷达是自动驾驶汽车的核心传感器，能够弥补摄像头在精度、稳定性和视野方面的局限性，是 L4 自动驾驶不可或缺的元件。行业整体将会向“低成本化”、“量产化”、“固态化”、“智能化”发展，预计 2030 年行业规模超百亿美元，同时国产势力近年来逐步崛起，未来市场发展值得期待。纳斯达克上市公司 Velodyne 以及国内禾赛科技、速腾聚创等创业公司值得关注。

■ **激光雷达的必要性及趋势。** 1.为什么激光雷达是 L4 自动驾驶不可或缺的传感器？目前存在由摄像头主导的纯视觉解决方案和激光雷达主导的传感方案的路线之争，激光雷达由于能够弥补摄像头在精度、稳定性和视野方面的局限性，保证 L4 级自动驾驶的安全性，是 L4 级别自动驾驶不可或缺的元件；2. “发射-反馈”系统如何形成三维点云信息？激光雷达通过测量激光信号的时间差和相位差来确定距离，其最大优势在于能够利用多谱勒成像技术，创建出目标清晰的 3D 图像；3. 机械式 vs 固态式，未来趋势如何？目前高级自动驾驶玩家倾向于选择传统的机械式产品，但固态激光雷达因为可以解决机械式面临的物料成本高+量产成本高的问题而成为大势所趋。

■ **行业现状如何？** 1. 上游核心元器件海外垄断明显：无论是光学还是电子元器件，涉及精密仪器、芯片的加工和制造，目前基本被国外大厂商垄断，但自主研发发展迅速，扫描系统、激光器和光源接收器等领域涌现出如禾赛科技、速腾聚创、一径科技、力策科技等中国创业型企业；2. Velodyne 一马当先，国内市场百花齐放：行业领头羊 Velodyne 已在纳斯达克实现借壳上市，目前估值 18 亿美元，公司预计将会从 2022 年开始扭亏为盈；国内禾赛科技、速腾聚创等复刻 Velodyne 之路，从机械式切入逐步向固态雷达覆盖，这类公司主打性价比，核心策略是以价格优势抢占 Velodyne 市场份额；另一类如大疆、华为等直接锁定固态激光雷达产品，拟实现弯道超车，国内市场整体竞争激烈，呈现出百花齐放的局面。

■ **行业前景如何？** 1.行业规模 2030 年或超百亿美元：预计未来大部分激光雷达产品价格都将降至 1000 美元以下，单车价值量下降，但量产趋势和渗透率的增长将推动行业整体规模爆发，预计 2030 年市场空间超百亿美元。尽管激光雷达市场增长前景广阔，但整个市场对其持有的态度逐渐回归客观冷静，投融资热度相较于前几年有所减弱；2.固态化和智能化为大势所趋：激光雷达正从机械旋转式，到混合固态，再到纯固态方向演进，激光雷达真正要进入量产，智能化和软件感知算法将是更大的挑战。

■ **风险因素：**技术突破进度不及预期；智能网联政策推广力度不及预期；辅助驾驶、智能驾驶等新功能推广速度低于预期；伦理道德层面规范带来的不确定性。

■ **投资策略：**激光雷达行业发展可期，其快速发展料将推动自动驾驶行业的迅速发展。纳斯达克上市龙头公司 Velodyne 以及国内禾赛科技、速腾聚创等创业公司值得关注。

## 目录

<b>激光雷达：三维点云建模构建传感基石</b> .....	1
路径之争：激光雷达为什么是 L4 自动驾驶不可或缺的传感器？ .....	1
工作原理：“发射-反馈”系统如何形成三维点云信息？ .....	5
产品体系：机械式 vs 固态式，未来趋势如何？ .....	9
<b>产业现状：海外厂商存在先发优势，国产势力正逐步崛起</b> .....	11
上游情况：核心元器件海外垄断明显，国产自研势力涌现 .....	13
中游格局：Velodyne 成功上市一马当先，国内市场百花齐放 .....	14
<b>产业前景：市场增长潜力巨大，固态化、智能化成刚需</b> .....	21
市场空间：单车价值量下降，2030 年市场规模有望超百亿美元 .....	21
发展前景：固态雷达成新战场，智能化成新挑战 .....	23
<b>风险因素</b> .....	26
<b>投资策略</b> .....	26

## 插图目录

图 1: 电磁波图谱.....	2
图 2: 各传感器性能比较.....	3
图 3: 无人驾驶车传感器融合方案.....	4
图 4: 自动驾驶对传感器的需求.....	5
图 5: 激光雷达扫描示意图.....	6
图 6: 激光测距工作原理.....	6
图 7: Velodyne HDL-64 激光雷达系统扫描点云图.....	6
图 8: 激光雷达四大工作系统.....	7
图 9: 激光雷达分类.....	7
图 10: 禾赛 Pandar128 横截面图.....	8
图 11: 禾赛 Pandar128 技术参数.....	8
图 12: 禾赛 Pandar128 垂直方位角及分辨率示意图.....	9
图 13: 激光雷达探测距离示意图.....	9
图 14: 机械式激光雷达结构示意图.....	10
图 15: MEMS 激光雷达结构示意图.....	10
图 16: OPA 激光雷达结构示意图.....	10
图 17: Flash 面阵式激光雷达结构示意图.....	10
图 18: 四种激光雷达性能比较.....	11
图 19: 激光雷达产业链.....	12
图 20: 激光雷达产业链代表厂商.....	13
图 21: 激光雷达上游主要厂商.....	14
图 22: 激光雷达公司一览.....	15
图 23: Velodyne 发展历史.....	16
图 24: Velodyne 产品布局.....	17
图 25: Velodyne 盈利及现金流情况 (单位: 百万美元).....	17
图 26: Velodyne 研发费用预测 (单位: 百万美元).....	18
图 27: Velodyne 销售费用预测 (单位: 百万美元).....	18
图 28: Velodyne 管理费用预测 (单位: 百万美元).....	18
图 29: 禾赛科技产品布局.....	19
图 30: 速腾聚创产品布局.....	20
图 31: 全球激光雷达销售数量预测 (单位: 百万个).....	22
图 32: 全球激光雷达销售额预测 (单位: 百万美元).....	22
图 33: 国外激光雷达厂商融资概况.....	23
图 34: ADAS 激光雷达销售额细分预测 (百万美元).....	23
图 35: Robotic Cars 激光雷达销售额细分预测 (百万美元).....	23
图 36: 2025 年固态/机械销售额比例.....	24
图 37: 2030 年固态/机械销售额比例.....	24
图 38: 2025 年固态/机械销量比例.....	24
图 39: 2030 年固态/机械销量比例.....	24
图 40: 激光雷达演进趋势.....	25
图 41: 速腾聚创 MEMS 固态激光雷达 RS-LiDAR-M1 智能版(M1 Smart)实测点云.....	25

## 表格目录

表 1: 摄像头分类.....	1
表 2: 各类传感器性能比较 .....	2
表 3: 激光雷达与视觉方案价格对比.....	3
表 4: 视觉方案存在的问题 .....	4
表 5: 激光雷达技术指标解析.....	8
表 6: 激光雷达结构分类.....	9
表 7: 固态激光雷达解决机械激光雷达的问题 .....	11
表 8: 国内企业激光雷达上游研发进展 .....	14
表 9: 国内激光雷达公司概况.....	18
表 10: 华为固态激光雷达领域布局 .....	20
表 11: 大疆激光雷达方案参数表 .....	21

## ■ 激光雷达：三维点云建模构建传感基石

### 路径之争：激光雷达为什么是 L4 自动驾驶不可或缺的传感器？

自动驾驶的环境监测传感器主要包括摄像头和雷达两类：1) 摄像头通过图像识别技术实现距离测量、目标识别等功能；2) 雷达利用发射波和反射波之间的时间差、相位差获得目标物体的位置和速度等数据，按所使用的不同类型的波，雷达可以分为毫米波雷达、激光雷达、超声波雷达三类。

在摄像头方面，按视野覆盖位置可分为前视、环视（侧视+后视）及内视摄像头，其中前视摄像头最为关键，可以实现车道偏离警示系统（LDW）、前向碰撞预警系统（FCW）、行人识别警示（PCW）等功能。前视摄像头又有单目摄像头、双目摄像头，乃至多目摄像头等不同的解决方案。虽然双目或多目摄像头具有更高的测距精度和更广的视角，但由于其成本较高以及对精度和计算芯片的高要求，使得其仍未能大规模量产，目前以 Mobileye 领衔的单目摄像头解决方案是市场的主流。

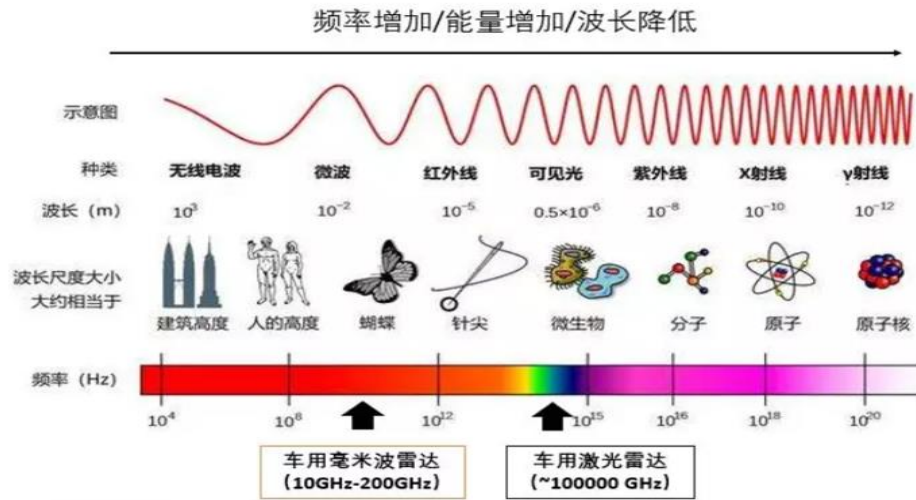
表 1：摄像头分类

分类	测距原理	优点	缺点	主要应用厂商
单目摄像头	先通过图像识别障碍物类型，再根据相对大小估算距离	成本和量产难度相对较低	图像识别算法壁垒、数据库建立成本较高；定焦镜头难以同时观察不同距离的图像	Mobileye
双目摄像头	不需要识别目标、在级化分割、立体匹配等计算后，获得精确的深度数据	测距精准	使用多个摄像头、成本较高；计算量巨大、对计算芯片要求高，目前大多使用 FPGA；对摄像头之间的误差精度要求高，量产、安装较困难	博世、大陆、LG、电装、日立
多目摄像头		全覆盖视角		蔚来、Mobileye

资料来源：电子工程世界，中信证券研究部

在雷达方面，主要分为三类：1) 毫米波雷达：介于微波和红外线之间，频率范围 10GHz—200GHz，波长为毫米级；2) 激光雷达：介于红外线和可见光之间，频率大致为 100000GHz，波长为纳米级；3) 超声波雷达：频率高于 20000Hz。根据公式：光速=波长\*频率，频率越高，波长越短。波长越短，意味着分辨率越高；而分辨率越高，意味着在距离、速度、角度上的测量精度更高。

图 1：电磁波图谱



资料来源：汽车人参考

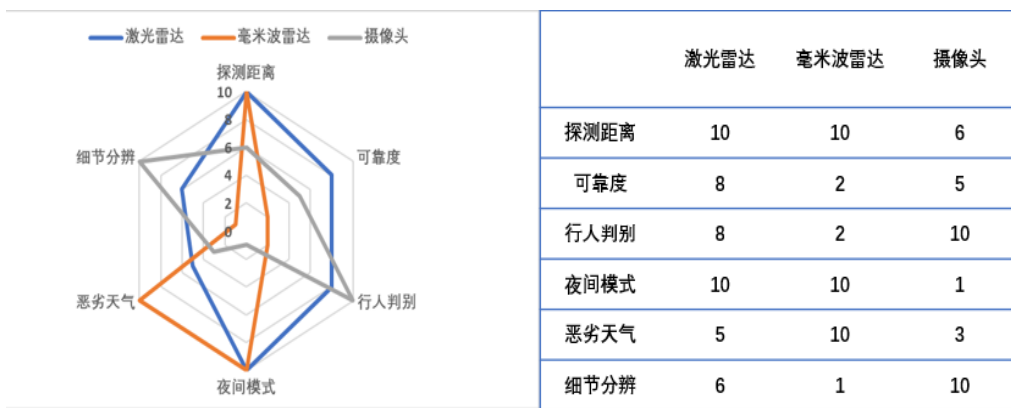
摄像头、毫米波雷达、激光雷达和超声波雷达的探测距离、分辨率、角分辨率等探测参数各异，对应于物体探测能力、识别分类能力、三维建模、抗恶劣天气等特性优劣势分明。

表 2：各类传感器性能比较

类型	传感器	最远距离 (米)	探测人体	探测物体	物体识别	功能	优势	劣势
视觉解决方案	摄像头	50	√ (不稳定)	√ (依赖样本)	√ (依赖样本)	利用计算机视觉判别周围环境与物体、判断前车距离	目前唯一能识别物体的传感器	依赖于光；依赖于样本；识别行人稳定性欠佳
雷达解决方案	毫米波雷达	200	-	√	-	感知大范围内车辆的运行情况，多用于自适应巡航系统	在车载测距领域性价比较高	无法探测行人
	激光雷达	200	√	√	-	障碍检测、动态障碍检测识别与跟踪、路面检测、定位和导航、环境建模	精度较高的距离信息，可测量绝大部分物体	在大雨大雪等恶劣天气使用效果会受到影响
	超声波雷达	10	√	√	-	倒车雷达	受环境影响小、近距离探测精度高、成本低	探测距离短

资料来源：半导体行业观察，中信证券研究部

图 2：各传感器性能比较



资料来源：CSDN，中信证券研究部

对于自动驾驶传感器的选择，目前市场上存在着两种不同路径：一种是由摄像头主导、配合毫米波雷达等低成本元件组成，构成纯视觉计算，典型代表为特斯拉、Mobileye 和国内唯一自动驾驶纯视觉城市道路闭环解决方案--百度 Apollo Lite；另一种是由激光雷达主导，配合摄像头、毫米波雷达等元件组成，典型代表为谷歌 Waymo、国内的百度 Apollo（除 Apollo Lite）、Pony.ai、文远知行等主流自动驾驶厂商。

对于以特斯拉为代表的纯视觉方案拥护者而言，商业成本是一个重要的考量因素，安装昂贵的激光雷达会明显提高单台汽车的售价（如表 3）。特斯拉车辆标配总共有 8 个摄像头，其中包含后方的一个倒车摄像头，前方的一个三目总成件，两侧的两个环绕摄像头，此外还包含一个毫米波雷达，但此方案容易受光照、雨雾、遮挡等因素限制，从而使视野范围受限。对于以主流自动驾驶厂商为代表的激光雷达拥护者，系统的安全性排在首位，实现这一方向的方式就是融合各个性能传感器，以弥补不同类型的技术漏洞，采用激光雷达的自动驾驶厂商一般选择在车顶配置 64 线激光雷达，用于障碍物和移动车辆检测，同时在车四周环绕成本相对较低的低线束激光雷达或毫米波雷达进行视野补充。

表 3：激光雷达与视觉方案价格对比

	型号	线束	价格（发行时）	
激光雷达价格	Velodyne VLP-16(PUCK)	16	8000 美元(2018 年降价 50% 至 3999 美元)	由 Mobileye 提供的自动驾驶视觉方案几百美元
	HDL-32E	32	40000 美元	
	HDL-64E	64	80000 美元	

资料来源：中国机械社，搜狐网，中信证券研究部

摄像头拥有轻巧低成本和符合车规的特点，高分辨率高帧率意味着其能提供丰富的环境信息，同时视频数据也最接近人眼所感知的环境。但摄像头的二维图像相比三维信息更难挖掘，需要设计更强大的算法、大量数据的积累和更长期的研发投入。在 L4 级自动驾驶传感器选型上，纯视觉解决方案会存在精度、稳定性和视野等方面的局限性（如表 4），无法满足高级自动驾驶对于传感器的性能要求。

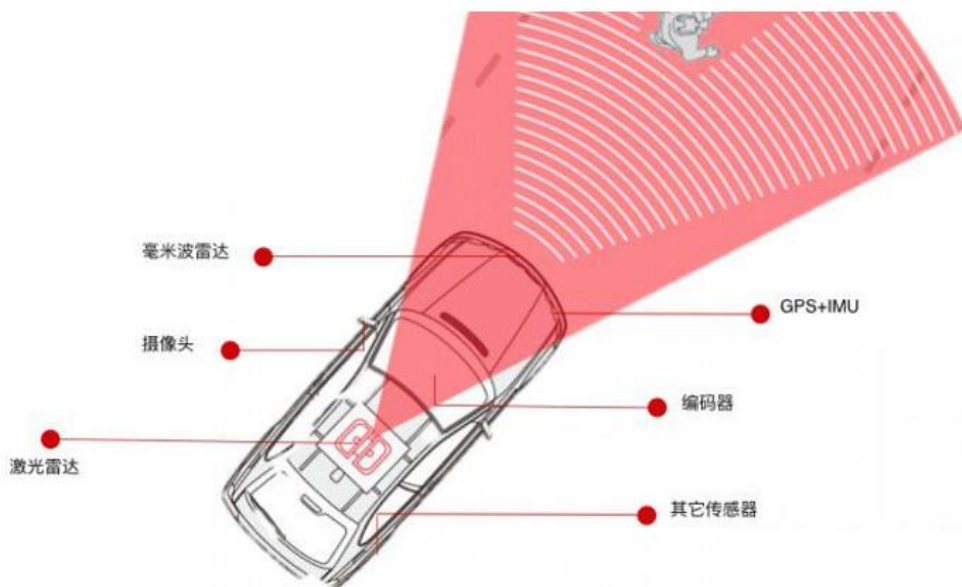
表 4：视觉方案存在的问题

视觉方案存在问题	介绍
精度问题	测距精度低且依赖项较多，算法固定的情况下只能通过增大焦距或者双目镜头间的基线距来提高精度，但焦距增加导致视场角变小，基线距增加导致能看到的最近距离变远
稳定性问题	双目测距精度与标定有关且强相关，但是装在车上机械结构稳定性差，面临着隔段时间就得标定的问题
难度问题	双目视觉不是单独的技术，需要很好的算法（目前的算法不够优化，导致计算成本高而容错能力差，雨天基本无用），甚至还要专门的芯片来提高并行处理能力
视野问题	双目系统最多能覆盖目标方向 60 度的视野，而激光雷达基本上都是 360 度

资料来源：中信证券研究部

与以摄像头为主传感器的自动驾驶方案“轻感知、重计算”相比，以激光雷达为主传感器的自动驾驶方案最明显的特征是“重感知、轻计算”，“堆叠激光雷达”的方案会适当降低感知数据处理环节对运算能力的要求，从而加快 L4 级自动驾驶汽车商业化部署进程。所以尽管目前安装激光雷达会大幅提高传感器方案成本，但对于安全可靠要求极高的 L4 来说，激光雷达不可或缺，以成本换安全将会是一个更优的选择。

图 3：无人驾驶车传感器融合方案



资料来源：CK365



图 4：自动驾驶对传感器的需求



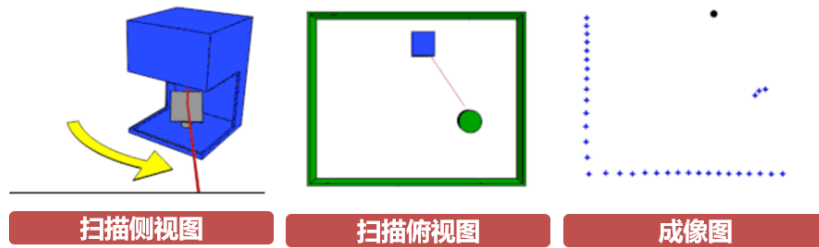
资料来源：麦姆斯咨询

### 工作原理：“发射-反馈”系统如何形成三维点云信息？

与雷达工作原理类似，激光雷达通过测量激光信号的时间差和相位差来确定距离，但其最大优势在于能够利用多谱勒成像技术，创建出目标清晰的 3D 图像。激光雷达通过发射和接收激光束，分析激光遇到目标对象后的折返时间，计算出到目标对象的相对距离（图 6），并利用此过程中收集到的目标对象表面大量密集的点的三维坐标、反射率和纹理等信息，快速得到出被测目标的三维模型以及线、面、体等各种相关数据，建立三维点云图，绘制出环境地图，以达到环境感知的目的。由于光速非常快，飞行时间可能非常短，因此要求测量设备具备非常高的精度。从效果上来讲，激光雷达维度（线束）越多，测量精度越高，安全性就越高。

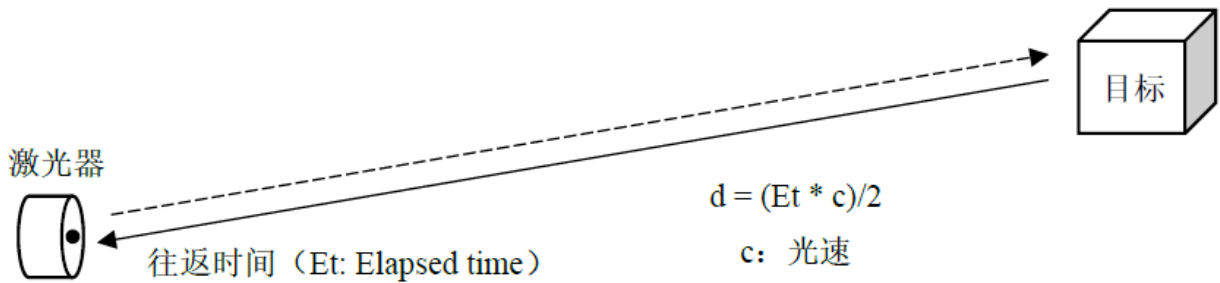
相比于可见光、红外线等传统被动成像技术，激光雷达技术具有如下显著特点：一方面，它颠覆传统的二维投影成像模式，可采集目标表面深度信息，得到目标相对完整的空间信息，经数据处理重构目标三维表面，获得更能反映目标几何外形的三维图形，同时还能获取目标表面反射特性、运动速度等丰富的特征信息，为目标探测、识别、跟踪等数据处理提供充分的信息支持、降低算法难度；另一方面，主动激光技术的应用，使得其具有测量分辨率高，抗干扰能力强、抗隐身能力强、穿透能力强和全天候工作的特点。

图 5：激光雷达扫描示意图



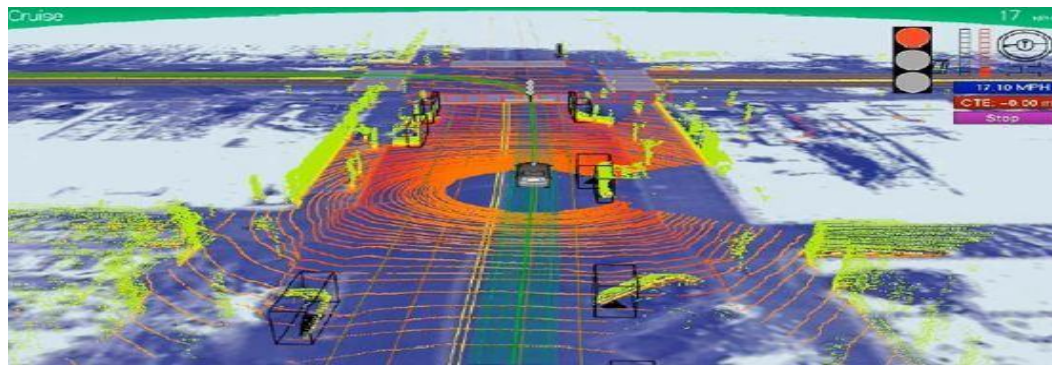
资料来源：自动驾驶之家

图 6：激光测距工作原理



资料来源：自动驾驶之家

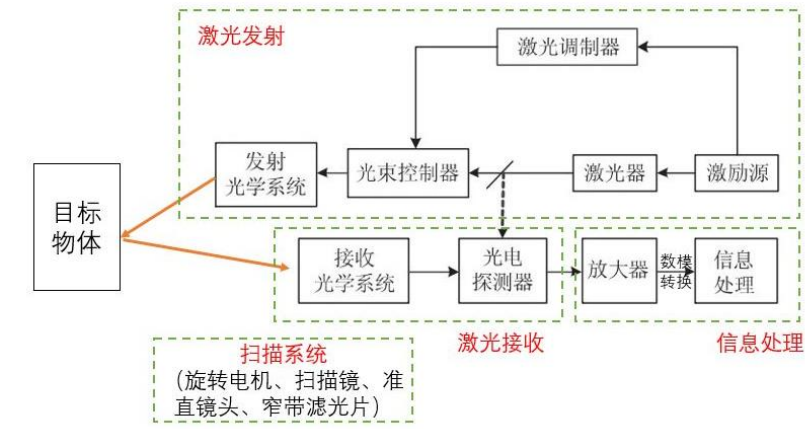
图 7：Velodyne HDL-64 激光雷达系统扫描点云图



资料来源：Velodyne 官网

激光雷达主要包括激光发射、扫描系统、激光接收和信息处理四大系统，这四个系统相辅相成，形成传感闭环。首先激光发射系统中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；扫描系统负责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；激光接收系统中光电探测器接受目标物体反射回来的激光，产生接收信号；信息处理系统中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。

图 8：激光雷达四大工作系统



资料来源：汽车人参考

激光雷达的各个环节几乎都有不同的执行方式（如图 9），单从测距这一个环节来看，就存在基于时间的飞行时间法和不基于时间的相位式等方法，不同环节的组合构成了激光雷达的近二十种分类方法。

图 9：激光雷达分类



资料来源：汽车人参考

在评价激光雷达的性能时，可以用到多个技术指标。线束、方位角、扫描帧频、角分辨率、测量精度、探测距离、数据率是七个常用的激光雷达性能评价指标。下面以禾赛 Pandar128 为例进行解析。

图 10: 禾赛 Pandar128 横截面图



图 11: 禾赛 Pandar128 技术参数

传感器	
扫描原理	机械旋转
线数	128
探测距离	0.3 ~ 200 m (10%反射率)
测距精度	±8 cm (0.3 ~ 0.5 m, 各通道)
	±5 cm (0.5 ~ 1 m, 各通道)
	±2 cm (1 ~ 200 m, 平均)
水平视场角	360°
水平角分辨率	可动态设置
	0.1°/0.2° (10 Hz)
	0.2°/0.4° (20 Hz)
垂直视场角	40° (-25° ~ +15°)
垂直角分辨率	0.125° (-6° ~ +2°)
	0.5° (+2° ~ +14°, -6° ~ -24°)
	1° (+14° ~ +15°, -24° ~ -25°)
扫描频率	10 Hz, 20 Hz
回波模式	单回波 (最后、最强)
	双回波 (最后及最强)

资料来源: 禾赛官方产品手册

资料来源: 禾赛官方产品手册

表 5: 激光雷达技术指标解析

技术指标	介绍 (以禾赛 Pandar128 技术指标为例)
线束	线表示激光雷达系统包含独立的发射机/接收机的数目。为获得尽量详细的点云图, 激光雷达必须要快速采集周围环境的数据。一种方式是提高发射机/接收机的采集速度, 每个发射机在每秒内可以发送十万以上组脉冲, 也就是说在 1 秒内, 有 100,000 组脉冲完成一次发射/返回的循环, 另一种方式是使用多线激光雷达, 例中所示的禾赛 Pandar128 就有高达 128 组发射机/接收机, 多线的配置使得激光雷达在每秒内可构建高达百万的数据点。
方位角	水平方位角 激光雷达的主体部分在工作时不断旋转, 可对周围 360°进行扫描, 也就是说该激光雷达的水平方位角为 360°
	垂直方位角 激光雷达的垂直视场角是 40°, 这里要注意 2 点, 一是视场角的偏置, 二是激光雷达光束的分布。(如图 13) 1) 视场角的偏置: 视场角的偏置为 5°, 也就是说激光雷达在水平方向向上的扫描角度为 15°, 而在水平方向往下扫描的角度为 25°, 因为主要需要扫描路面上的障碍物, 而不是把激光打向天空, 为了良好的利用激光, 因此激光光束会尽量向下偏置一定的角度。2) 光束的分布: 激光雷达的光束不是垂直均匀分布的, 而是中间密, 两边稀疏, 这是为了达到既检测到障碍物, 又把激光束集中到中间感兴趣的部分来更好的检测车辆的目的。
扫描帧频	激光雷达点云数据更新的频率, 也就是旋转镜每秒旋转的圈数, 单位 Hz。例如, 10 Hz 即旋转镜每秒转 10 圈, 同一方位的数据点更新 10 次
角分辨率	水平角分辨率 水平角分辨率是指水平方向上扫描线间的最小间隔度数。它是随扫描帧频的变化而变化, 转速越快, 则水平方向上扫描线的间隔越大, 水平角分辨率越大。以 Pandar128 为例, 当扫描帧频为 10HZ 时, 水平角分辨率为 0.1°/0.2°, 当扫描帧频为 20HZ 时, 水平角分辨率增加一倍至 0.2°/0.4°
	垂直角分辨率 垂直角分辨率指的是垂直方向上两条扫描线的间隔度数。以 Pandar128 为例, 线束 26 至 90, 垂直角分辨率为 0.125°, 线束 2 至 26 以及线束 90 至 127, 垂直角分辨率为 0.5°, 线束 1 至 2 以及线束 127 至 128 之间的垂直角分辨率为 1°
测量精度	精度表示设备测量位置与实际位置偏差的范围, 禾赛 Pandar128 的平均测量精度为±2 cm。
探测距离	激光雷达的最大测量距离, 在自动驾驶领域应用的激光雷达的测距范围普遍在 100~200 m 左右。激光雷达的有效测量距离和最小垂直分辨率有关系, 角度分辨率越小, 检测的效果越好。如图 14 所示, 2 个激光光束直接的角度为 0.4°, 那么当探测距离为 200m 的时候, 2 个激光光束之间的距离为 200m*tan0.4°≈1.4m, 也就是说在 200m 之后, 只能检测到高于 1.4m 的障碍物。
数据率	激光雷达每秒钟生成的激光点数。128 线扫描帧频为 10 Hz 的激光雷达, 水平角分辨率是 0.2°, 那么单排每圈扫描的点数为 360°/0.2°=1800, 激光雷达旋转一周扫描的点数为 1800*128=230400, 每秒钟转 10 圈, 则每秒钟生成的激光点数和为 2304000 points/sec

资料来源: 雷锋网, 中信证券研究部

图 12: 禾赛 Pandar128 垂直方位角及分辨率示意图

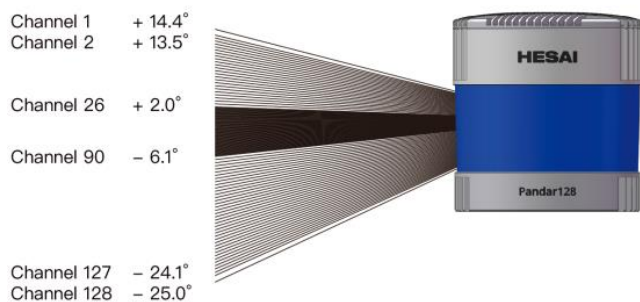
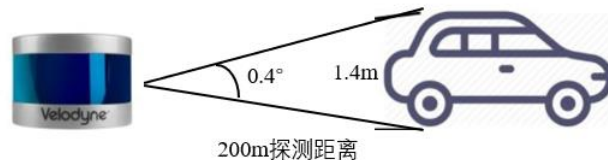


图 13: 激光雷达探测距离示意图



资料来源: 禾赛官方产品手册

资料来源: CSDN, 中信证券研究部

### 产品体系: 机械式 vs 固态式, 未来趋势如何?

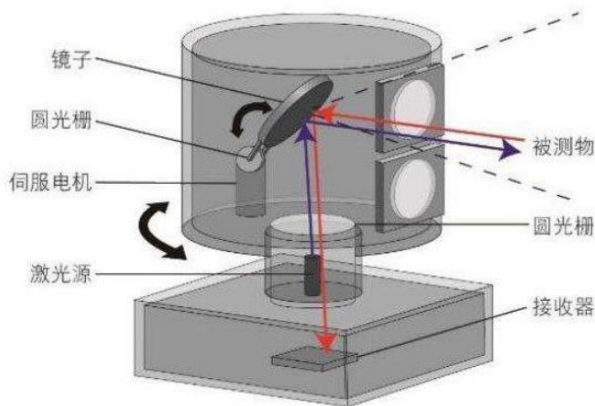
根据结构, 激光雷达分为机械式激光雷达、混合固态激光雷达和固态激光雷达。机械式激光雷达以一定的速度旋转, 在水平方向采用机械 360° 旋转扫描, 在垂直方向采用定向分布式扫描以搜集动态信息; 混合固态激光雷达 MEMS (微机电系统) 微镜把所有的机械部件集成到单个芯片上, 利用半导体工艺生产, 不需要机械式旋转电机, 而是以电的方式来控制光束; 固态激光雷达分为 OPA 固态激光雷达和 Flash 固态激光雷达, 其中 OPA 技术原理与相控阵雷达类似, 它由元件阵列组成, 通过控制每个元件发射光的相位和振幅来控制光束, 无需任何机械部件; Flash 面阵式激光雷达不同于以上三种逐点扫描的模式, 它利用激光器同时照亮整个场景, 对场景进行光覆盖, 一次性实现全局成像。

表 6: 激光雷达结构分类

类型	原理	优势	劣势
机械式激光雷达	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。因为带有机械旋转机构, 所以机械激光雷达外表上最大的特点就是自己会转, 个头较大。如今机械激光雷达技术相对成熟, 但价格昂贵, 暂时给主机厂量产的可能性较低。	技术相对成熟, 扫描速度快, 接收视场小, 抗光干扰能力强, 信噪比高。	价格昂贵, 量产可能性低, 光路调试、装配复杂, 生产周期漫长, 机械旋转部件在行车环境下的可靠性不高, 难以符合车规的严苛要求。
混合固态激光雷达 (MEMS)	用半导体“微动”器件 (如 MEMS 扫描镜) 来代替宏观机械式扫描器, 在微观尺度上实现雷达发射端的激光扫描方式。MEMS 扫描镜是一种硅基半导体元器件, 属于固态电子元件; 但是 MEMS 扫描镜并不“安分”, 内部集成了“可动”的微型镜面; 由此 MEMS 扫描镜兼具“固态”和“运动”两种属性, 故称为“混合固态”。	微镜振动幅度很小, 频率高, 成本低, 技术成熟, 更适合大规模应用。	MEMS 微镜的几何尺寸限制了其振荡幅度, 其视野有限, 无法实现 360 度水平扫描。
固态激光雷达	OPA 光学相控技术	没有任何机械结构, 相比传统机械式雷达扫描速度快、精度高、可控性好、体积小。	易形成旁瓣, 影响光束作用距离和角分辨率, 同时生产难度高, OPA 芯片纳米加工难度高。
	Flash 面阵式激光雷达	非扫描式雷达, 发射面阵光, 是以 2 维或 3 维图像为重点输出内容的激光雷达。某种意义上, 它有些类似于黑夜中的照相机, 光源由自己主动发出, 一次性实现全局成像, 故也称为闪烁式激光雷达。	能快速记录整个场景, 避免了扫描过程中目标或激光雷达移动带来的各种麻烦。 激光功率受限, 探测距离近, 抗干扰能力差。

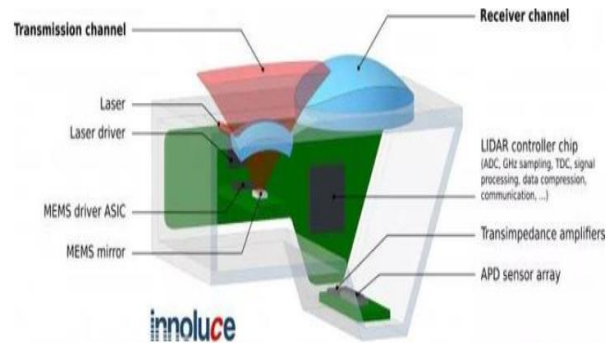
资料来源: 好嘞科技, 中信证券研究部

图 14：机械式激光雷达结构示意图



资料来源：传感器专家网

图 15：MEMS 激光雷达结构示意图

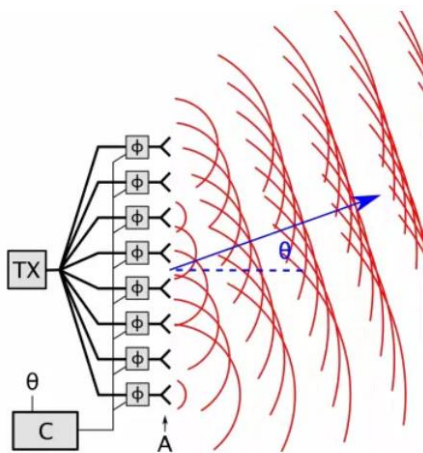


资料来源：传感器专家网

目前以 Robotaxi 等高级自动驾驶玩家为主的主流选手更倾向于选择传统的机械式产品。在自动驾驶“跨越式”的演变历程中，机械式雷达率先发展起来，经过不断迭代，目前机械式激光雷达的技术已经趋于成熟，同时高线束的机械式激光雷达能够获得更高的分辨率与测距距离，所以其目前会获得高级自动驾驶商的青睐。

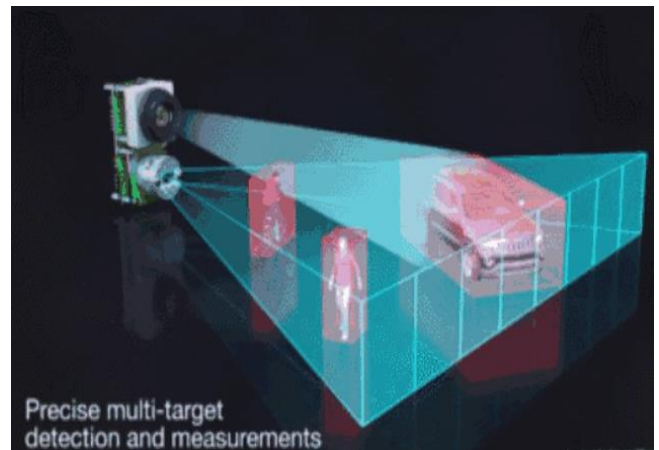
但使用传统的机械式激光雷达，也要面临高昂的装车成本问题，和产品低稳定性带来的安全风险和维护成本。目前仅有法雷奥的一款 4 线机械式激光雷达实现了车规级的量产搭载。对于 RoboTaxi 车队来说，高昂的雷达成本在一定程度上阻碍了车队的规模扩张；而对于 L3 乘用车来说，过高的激光雷达成本和潜在风险也不在主机厂可接受范围之内。

图 16：OPA 激光雷达结构示意图



资料来源：雷锋网

图 17：Flash 面阵式激光雷达结构示意图



资料来源：leddartech, 新浪科技

未来固态激光雷达会代替现有的机械式激光雷达，因为固态激光雷达可以很好的解决机械式激光雷达面临的物料成本高+量产成本高的问题（表 7）。固态激光雷达的优势在于，能够最大程度地减少了例如电机、轴承等可动机械结构带来磨损，同时也消除了光电器件因为机械旋转可能造成故障，其与生俱来的特性使得雷达内部的结构布局更加合理，使整体散热及稳定性相比于机械式激光雷达有质的飞跃。

表 7：固态激光雷达解决机械激光雷达的问题

成本问题	传统机械式激光雷达面临的问题	MEMS 激光雷达如何解决问题
物料成本	机械旋转式 LiDAR 系统结构十分复杂，且各核心组件价格昂贵，其中主要包括激光器、扫描器、光学组件、光电探测器、接收 IC 以及位置和导航器件等。16 线的机械式 LiDAR 一般需要 16 组 IC 芯片组，每组的芯片成本大约在 200 美元左右，16 组芯片成本高达 3200 美元，64 组芯片成本则将翻倍。落实到量产车上，平均价格会在 6000 到 20000 美元左右，不符合当前车企预期	对激光雷达进行模块化设计，实现光学模组的高度集成化。光学模组拥有较强的可扩展性及布置灵活性，为后续提供给客户定制化产品奠定基础。另一方面，也使得整机零件数由传统机械式激光雷达的几百个降低至数十个加工时间缩短数个量级，极大地降低了成本
量产成本	过于精密而复杂的内部结构极大地增加了机械式 LiDAR 的光路调试、装配等各种工序的难度。比如在装配过程中，需要将发射和接收模块进行精密的光学对准装配，工作繁重且工作量巨大，耗时很长，且容易延误生产周期，良率也难以保证。由于激光雷达制造精度要求高，Velodyne 64 线产品发货周期接近四个月，致使市场上出现供不应求的局面。	激光雷达的产品模块化设计拥有了大规模生产能力：元器件减少，装配难度大幅降低，相应的生产线链路缩短，产品一致性提高；标定时间实现指数式下降并会随着产线规模的扩大进一步缩减。

资料来源：华强微电子，中信证券研究部

在固态激光雷达技术演技路线层面，基于 MEMS 方式的固态激光雷达是最有希望快速落地的成熟方案，OPA 与 Flash 则是明日之星。基于 OPA 的固态激光雷达尽管有着扫描速度快、精度高、可控性好的优点，但其生产难度较高；而 Flash 雷达虽然稳定性和成本不错，但其探测距离较近；相比之下，通过微振镜的方式改变单个发射器的发射角度进行扫描，由此形成面阵扫描视野的 MEMS 激光雷达，不仅技术上更容易实现，价格也更加可控，因此被主机厂一致看好。

图 18：四种激光雷达性能比较

传感器种类	适合测距	体积	量产成本	技术成熟度
机械式	适合中远距离	大	机械结构复杂，成本很难下降	高
MEMS	适合中远距离	小	较低	中
Flash	适合近距离，远距离精度低	较小	低	中
OPA	适合中远距离	最小	目前很高，未来可能很低	低

资料来源：电子世界，中信证券研究部

## ■ 产业现状：海外厂商存在先发优势，国产势力正逐步崛起

从产业链的角度来看，激光雷达所处环节积聚了大量价值，具有很强的产业附加值。激光雷达是下游导航、绘测等应用的核心部件，目前产能稀缺导致供不应求，呈现卖方市场，对下游有很强的定价权，因此该产业链主要附加值在于激光雷达部分，行业整体盈利空间较大。

图 19: 激光雷达产业链



资料来源：汽车人参考

激光雷达产业链中，海外厂商在上游和中游都存在着领跑的优势（如图 20），在技术和客户群等方面都领先于国内厂商，但国内厂商近年来奋起直追，取得了许多突破性的进展，中国势力正在逐步崛起。

近年来国家出台了一系列政策来推动自动驾驶的发展，这也进一步推动了我国激光雷达产业的发展。截至 2019 年底，全国共有 25 个城市出台自动驾驶测试政策；2020 年 2 月，中国国家发展改革委牵头发布《智能汽车创新发展战略》，这是继《中国制造 2025》之后又一个重磅的战略发布；2020 年，国家发改委首次官方明确“新基建”七大板块，激光雷达作为终端传感器设备，在自动驾驶、车路协同等智能交通、智慧城市领域的作用不断凸显。中国政府对自动驾驶的支持，也将对全球激光雷达产业发展起到积极的推动作用。



图 20：激光雷达产业链代表厂商



资料来源：麦姆斯咨询

### 上游情况：核心元器件海外垄断明显，国产自研势力涌现

上游主要包含激光发射、激光接收、扫描系统和信息处理四大部分，这四大部分中大量的光学和电子元器件，构成了激光雷达的基础。其中，激光发射部分包含了激光器和发射光学系统，激光接收部分包含了接收光学系统和光电探测器，激光扫描部分除了传统旋转电机和扫描镜，核心是 MEMS 微镜，信息处理部分主要包含放大器、数模转换器以及软件算法。上游的核心元器件厂商，无论是光学元器件和电子元器件，涉及精密仪器、芯片的加工和制造，目前基本被国外大的厂家所垄断。

2017 年及以前，国内厂商在上游核心元器件的技术尚未发展起来，与之相关的专利技术申请数量极少。截至 2017 年，全球一共申请了 3 万多项与汽车激光雷达有关的专利，其中与激光雷达产品本身直接相关的专利近 7000 项，这些专利由 2000 多名申请实体提交。这些专利主要集中在边缘发射激光器、发光二极管 LED、垂直腔面发射激光器、雪崩光电二极管和单光子雪崩二极管、Flash 面阵式激光雷达和固态激光雷达五大领域；几乎所有的国际零部件厂商、主机厂、初创企业都在大量囤积激光雷达的相关专利，巩固自身优势，但根据一家德国咨询机构统计，中国初创企业相关专利数量非常少。

图 21：激光雷达上游主要厂商

光电探测器及接收器IC					激光器				
<b>光电探测器</b> ●滨松 ●SensL ●Osarm ●STM ●Sens-Tech ●夜视集团 ●Excelitas ●Aurea ●First sensor					<b>主要类型</b> ●固体激光器 ●半导体激光器 ●气体激光器				
<b>放大器</b> ●亚德诺 ●德州仪器 ●Intersil ●美信 ●Qorvo ●安森美 ●思佳讯 ●微芯 ●盛邦微电子					●滨松 ●Lumentum ●光迅科技 ●ams ●昆纳科技 ●Manlight ●Finsar ●Osram ●富士通 ●II VI ●Coherent ●华芯科技				
<b>模数转换器</b> ●Cirrus Logic ●美信 ●云芯微 ●时代民芯 ●NEC ●亚德诺 ●Wolfson ●瑞萨 ●德州仪器									
<b>FPGA</b> ●Xilinx ●Actel ●国微电子 ●华微电子 ●Altera ●Atmel ●智多晶 ●广东高云 ●Lattice ●Avago									
<b>位置和导航系统</b>									
<b>GPS</b> ●霍尼韦尔 ●北斗星通 ●博世 ●村田 ●松下 ●GARMIN ●天位领航 ●STM ●亚德诺 ●NXP ●TomTom ●路号明恩 ●应美盛 ●美新					<b>扫描器及光学组件</b>				
					<b>扫描镜、旋转电机</b> ●知微传感 ●微奥 ●Lemoptix ●滨松 ●Microvision ●STM ●Maradin ●Opus ●Mirrorcle ●创微		<b>窄带滤光片</b> ●水晶光电 ●VIAVI ●Alluxa		
					<b>准直镜头</b> ●Heptagon ●迈得特 ●福晶科技				

资料来源：汽车人参考

但近年来国内厂商也通过自研在上游核心元器件领域取得了突破性进展，如扫描系统、激光器和光源接收器等领域涌现出一批中国创业型企业。此外，中国市场上的激光雷达芯片，特别是信号处理所需的元器件主要依赖进口，这在一定程度上抬高了激光雷达的生产成本，因此多家国内的芯片企业都在争取通过各自的优势技术填补上国内市场在此领域的空白。

表 8：国内企业激光雷达上游研发进展

上游类型	企业	上游研发进展
扫描系统	禾赛科技、一径科技	自研 MEMS 微振镜
	速腾聚创	通过投资苏州希景微机电科技有限公司间接掌握 MEMS 微振镜
	力策科技	力策已完成 OPA 芯片的三轮流片，其 OPA 芯片为全球首款实现双轴独立控制、大视场角、高速扫描的 OPA 芯片。如果 OPA 芯片激光雷达量产成功，固态激光雷达的成本在规模量产后将降至百美元
激光器	国科光芯	自研 OPA 芯片
	饮冰科技	2019 年 12 月，饮冰科技获数千万元 Pre-A 轮融资，该公司一直在做基于 Flash 技术的固态激光雷达研发。饮冰科技将分立的激光器和探测器通过半导体生产的工艺分别集成到了单芯片内，芯片化的解决方案是其亮点
光电探测器及接收器 IC	芯视界、灵明光子、飞芯电子	研发光电探测器
	镭神智能	2018 年初，深圳镭神智能首款用于激光雷达接收端的模拟信号处理芯片研发成功，这是国内首款高集成度激光雷达接收端模拟信号处理芯片，量产后将会使全行业成本降低 3 成

资料来源：半导体行业观察，中信证券研究部

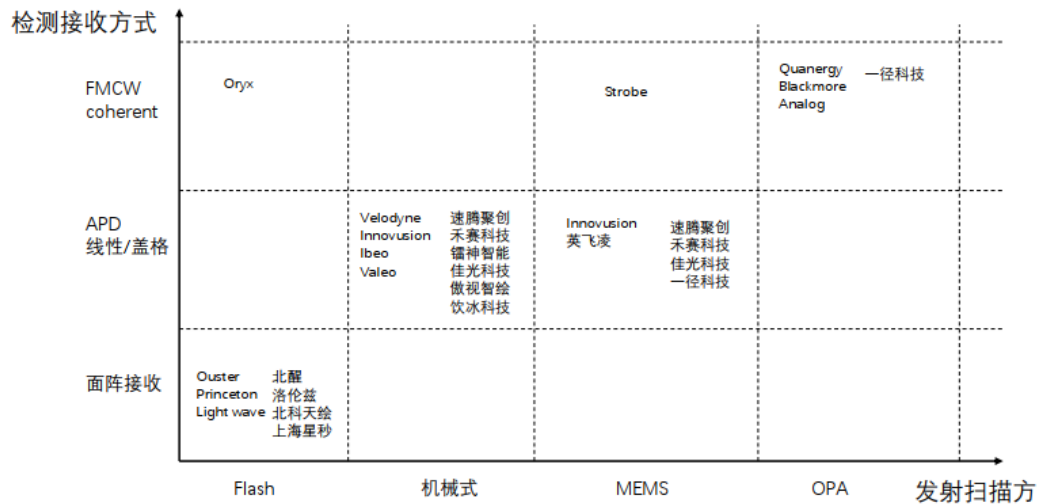
### 中游格局：Velodyne 成功上市一马当先，国内市场百花齐放

激光雷达竞争日益激烈，Velodyne、Quanergy、Ibeo 等是国外代表激光雷达公司，技术成熟；在国内，以速腾聚创、禾赛科技、北科天绘、镭神智能等国产企业也先后崛起。

作为未来自动驾驶核心传感器的代表，激光雷达核心技术主要掌握在 Velodyne、Quanergy、Ibeo 三家国外企业中。美国 Velodyne 成立于 1983 年，其机械式激光雷达起步较早，技术领先，同时与谷歌、通用汽车、福特、Uber、百度等全球自动驾驶领军企业

建立了合作关系,占据了车载激光雷达大部分的市场份额。Quanergy 成立于 2012 年,2014 年推出其第一款产品 M8-1,并在奔驰、现代等公司的实验车型上得到应用, M8 之后 Quanergy 相继发布的产品都开始走固态路线,采用了 OPA 光学相控阵技术,规模量产后将大幅降低传感器价格。Ibeo 成立于 1998 年,是全球第一个拥有车规级激光雷达的企业,其于 2017 年推出了全固态激光雷达 A-Sample 样机。

图 22: 激光雷达公司一览



资料来源: CSDN, 中信证券研究部

Velodyne 是自动驾驶激光雷达行业的领头羊,其日前与纳斯达克挂牌的特殊目的并购公司 (SPAC) Graf Industrial Corp. (美股代码: GRAF) 合并从而实现借壳上市, Velodyne 的成功上市为全球激光雷达厂商树立了良好的典范。受此消息影响, Graf 股价大涨 48.23%, 市值达到 6.26 亿美元。Velodyne 表示, 合并后的公司市值约为 18 亿美元, 同时能从新的机构投资者及 Graf Industrial 现有股东那里筹集 1.5 亿美元融资。通过此次交易, Velodyne 的资产负债表上将约有 1.92 亿美元现金, 此次交易后, Velodyne 创始人 David Hall 及支持者福特、百度, 现代摩比斯和尼康公司持有合并后公司 80% 的股份。

图 23: Velodyne 发展历史

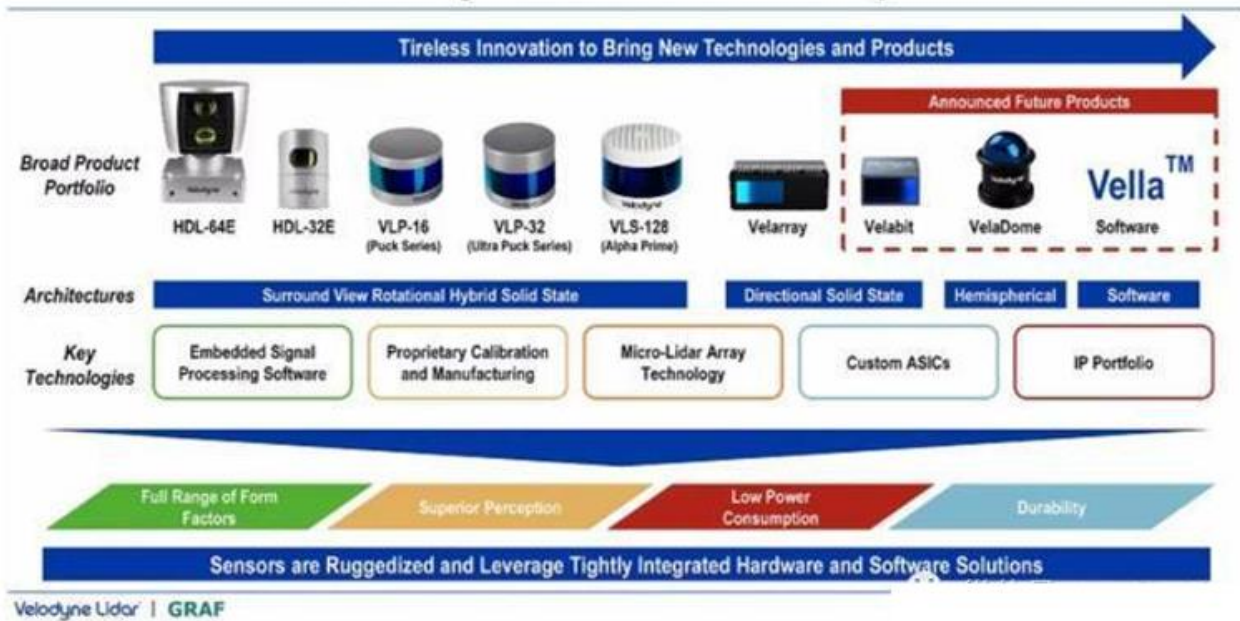


资料来源: Velodyne (转引自 VC 部落企鹅号、雷帝网)

从产品布局上来看，机械激光雷达市场是 Velodyne 的绝对优势，其在此领域拥有广泛的产品布局，此外 Velodyne 也在前装固态激光雷达市场蓄势待发。机械激光雷达方面，Velodyne 主要有 64 线、32 线、16 线 3 类产品在售，官方定价分别为 8 万美金（约合 52.3 万人民币）、4 万美金（约合 26 万人民币）和 8 千美金（约合 5.23 万人民币）。而从 2017 年开始，Velodyne 就在 Vela-系列产品上开始加大投入：Velodyne 希望通过 Vella 软件 + 低成本固态激光雷达组合打进 ADAS 市场。作为全球激光雷达第一股，Velodyne 在上市后将手握数亿美金现金，这些现金将继续支持其投入更大规模的新产品新技术研发及大规模量产。

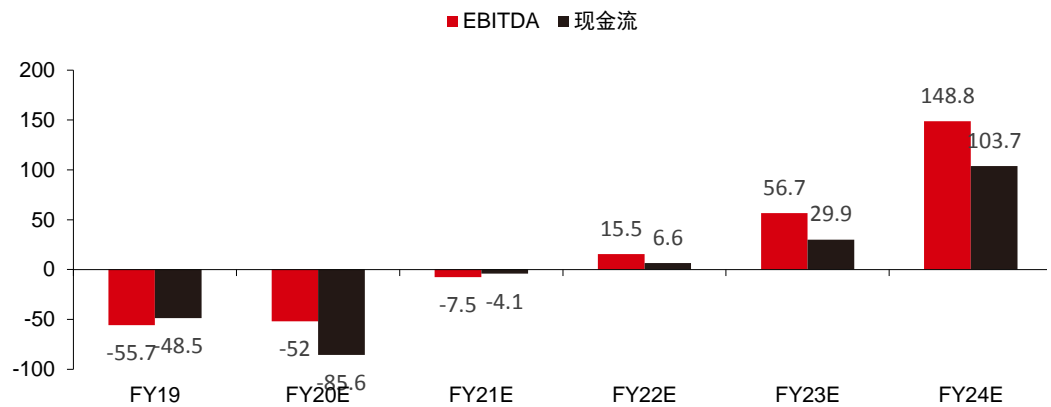
高研发投入（图 26）意味着激光雷达是一门技术壁垒较高的生意，早期技术布局和后期大量资本的融入能进一步助力 Velodyne 在此领域的优势。站在新的十年的开端，大量的资本储备和固态激光雷达将为 Velodyne 开辟全新的战场奠定基础。Velodyne 的盈利情况和现金流情况有望从 2022 年开始扭亏为盈，三费支出比率也料将随着出货量不断增加而摊薄（图 25、图 26-28）。

图 24: Velodyne 产品布局



资料来源: Velodyne (转引自 VC 部落企鹅号、雷帝网)

图 25: Velodyne 盈利及现金流情况 (单位: 百万美元)



资料来源: Velodyne (转引自 VC 部落企鹅号、雷帝网, 含预测), 中信证券研究部

图 26: Velodyne 研发费用预测 (单位: 百万美元)

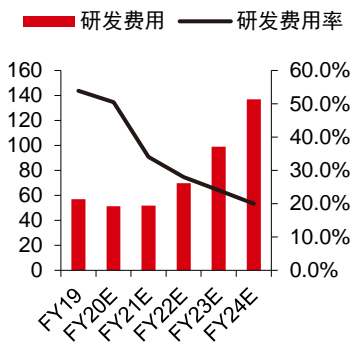


图 27: Velodyne 销售费用预测 (单位: 百万美元)

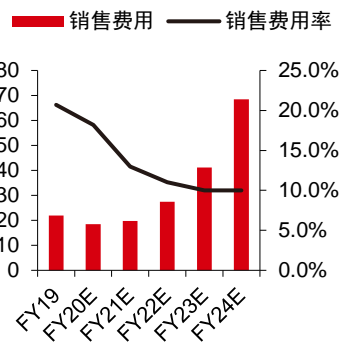
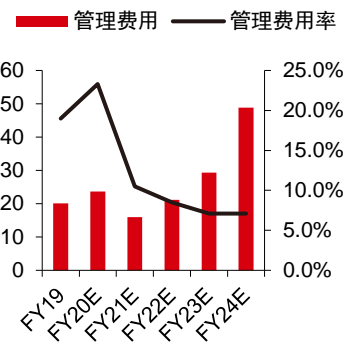


图 28: Velodyne 管理费用预测 (单位: 百万美元)



资料来源: Velodyne (转引自 VC 部落企鵝号、雷帝网, 含预测), 中信证券研究部

资料来源: Velodyne (转引自 VC 部落企鵝号、雷帝网, 含预测), 中信证券研究部

资料来源: Velodyne (转引自 VC 部落企鵝号、雷帝网, 含预测), 中信证券研究部

近年来兴起自动驾驶浪潮后, 国内也同步出现了一批激光雷达公司, 速腾聚创、禾赛科技、北科天绘、镭神智能等国产企业先后崛起, 国内市场竞争激烈, 呈现出百花齐放的市场格局。

表 9: 国内激光雷达公司概况

公司	成立时间	激光雷达产品类型	团队背景	公司特点	融资情况	合作企业
禾赛科技	2012	机械式: 32/40/64/128 线; 固态 MEMS	创始人: 上海交通大学热能动力机械系本科 CTO: 清华大学精密仪器与机械学系, 斯坦福电子工程和机械工程双硕士	激光雷达行业估值最高的初创公司	2015 年天使轮数百万美元, 远瞻资本、大米创投等; 2017 年 A 轮 1.1 亿人民币, 磐谷创投等; 2018 年 B 轮 2.5 亿人民币, 真格基金、百度、光速中国等; 2020 年 C 轮 1.73 亿人民币, 博世、启明创投、安森美半导体等	图森未来、百度、地平线、宝马、德尔福、文远知行、一汽红旗等
速腾聚创	2014	机械式: 16/32/64/80/128 线; 固态 MEMS	哈工大机电工程与自动化博士	RS-LiDAR-16 是公司已经量产的 16 线激光雷达, 也是国内首款、世界领先的小型激光雷达	2015 年天使轮数千万人民币; 2016 年 A 轮数千万人民币, 东方富海等; 2016 年 A+轮数千万人民币, 复星锐正资本、昆仲资本等; 2018 年 C 轮, 北汽产业投资基金等; 2018 年战略融资, 北汽产业投资基金、菜鸟网络等	地平线、菜鸟、上汽、一汽、Sensible 4、autoX 等
镭神智能	2015	机械式: 16/32 线; 固态 MEMS; 车规级混合固态 16/32/128 线	创始人胡小波: 先后在深圳昂纳信息技术有限公司、光库通讯任职高管	国内唯一一家自主研发出激光雷达专用 16 通道 TIA 芯片、激光雷达自动化及半自动化生产线、1550nm 光纤激光器的激光雷达公司, 目前公司主打的是车规级 128 线混合固态激光雷达	2015 年天使轮 1000 万人民币, 北极光创投; 2016 年 A 轮近亿人民币, 招商资本、北极光创投等; 2018 年 B 轮 1 亿人民币, 达晨财智等; 2020 年股权融资, 同威资本等	/
北科天绘	2005	机械式: 16/32 线; 固态 3D-flash	/	全球唯一一家同时具备测量型、导航型两大类激光雷达研制能力的公司	2015 年天使轮数千万人民币, 联想之星等; 2018 年 A+轮 1.2 亿人民币, 云晖资本、StarVC	菜鸟、京东

资料来源: 各公司官网、企名片, 中信证券研究部

国内玩家早期分为两个流派，一类研发机械式激光雷达与 Velodyne 等老牌玩家抢市场，另一类则直接锁定固态激光雷达产品，目标是在 2020 年之后登上前装市场。

禾赛科技和速腾聚创是选择与 Velodyne 相同发展路径的代表厂商，产品以机械旋转雷达为主，但都在逐步向前装固态领域覆盖，这两家公司在满足车规级要求同时主打性价比，核心策略是以价格优势抢占 Velodyne 市场份额。机械式激光雷达产品的价格目前仍然较高，但相比之下同样线束的国产机械式激光雷达能够比 Velodyne 便宜 1/3-1/2，价格优势非常明显。在最顶级的 64 线和 128 线产品线上，Velodyne 此前的 64 线激光雷售价为五十至六十万元，而禾赛的 64 线产品仅为二十多万；在 16 线雷达市场，Velodyne 的产品需要数万元，而速腾聚创的同类产品只需 2-3 万。

比较禾赛科技和速腾聚创这两家公司，其产品定位也存在较大差别。在高速自动驾驶领域（相对低速无人车来说），禾赛市场占有率较高，百度、文远知行、AutoX、元戎启行等公司都在使用。而在低速自动驾驶领域，速腾聚创则是主要玩家，新石器、京东、菜鸟物流、高仙机器人等公司都主要使用速腾的 16 线激光雷达产品，同时其 16 线、32 线产品也被图森未来、赢彻科技、AutoX 等部分高速自动驾驶公司采用。

图 29：禾赛科技产品布局

机械激光雷达 16/32/64/80/128 线		固态激光雷达	多传感器融合套件
Pandar128 >	PandarXT >	PandarGT >	Pandora >
Pandar64 >	Pandar40P >		
Pandar40M >	PandarQT >		
Pandar40 >			

资料来源：禾赛科技官网

图 30：速腾聚创产品布局



资料来源：速腾聚创官网

而另一方面，随着 2020 年起将逐步量产 L3 级自动驾驶乘用车，市场对车规级固态激光雷达的需求将迎来一个高潮，大疆、华为等消费电子硬件巨头相继拿出了自己的激光雷达新品，直接加入了前装量产装车的战局。

表 10：华为固态激光雷达领域布局

时间	事件	内容
2019.10.22	世界智能网联汽车大会	华为轮值董事长徐直军表示华为要造激光雷达、毫米波雷达等智能汽车核心传感器，打造新的传感器生态
2020. 09	汽车蓝皮书论坛	华为智能汽车解决方案 BU 总裁王军表示华为在大力投入激光雷达，目标是短期内迅速开发出 100 线的激光雷达。并且在未来将激光雷达的成本降低至 200 美元（约 1390 元人民币），甚至是 100 美元（约 695 元人民币）
2020.09.28	/	华为入股南京芯视界，布局固态激光雷达芯片领域

资料来源：传感器专家网，芯智讯，中信证券研究部

2020 年 8 月大疆宣布公司首个实现了车用自动驾驶激光雷达价格降到千元级别，而且能量产供应，大疆旗下孵化品牌览沃科技日前在美国 CES 发布两款高性能激光雷达传感器：Horizon 和 Tele-15，适用于 L3/L4 级别自动驾驶方案。Horizon 可以实现远至 260 米、反射率为 80% 的物体探测，其水平视场为 81.7°，可以轻松覆盖 10 米外的 4 条车道，在城市路况下，Horizon 可以帮助自动驾驶汽车看得更宽。Livox Tele-15 在 905 纳米波段下，能够做到人眼安全且同时达到 500 米（反射率为 80%）探测距离，可以让自动驾驶汽车看得更远。Horizon 和 Tele-15 的产品组合构成一套完整的激光雷达解决方案。



表 11：大疆激光雷达方案参数表

	Horizon	Tele-15
价格	6499 元	9000 元
探测距离	130 米@20%反射率    260 米@80%反射率	280 米@20%反射率    500 米@80%反射率
距离精度	2 厘米	2 厘米
角度精度	0.05°	0.03°
市场角度	81.7°（水平）*25.1°（垂直）	15°（圆形）
扫描时间	等效于传统 64 线激光雷达	优于传统 128 线激光雷达
供货	2020 年 1 月 7 日	2020 年第二季度

资料来源：Livox，中信证券研究部

可以预见，新的技术变革趋势，以及巨头的入场，将让激光雷达市场在未来 3~5 年的竞争日趋激烈，行业也将出现第一次大幅洗牌。

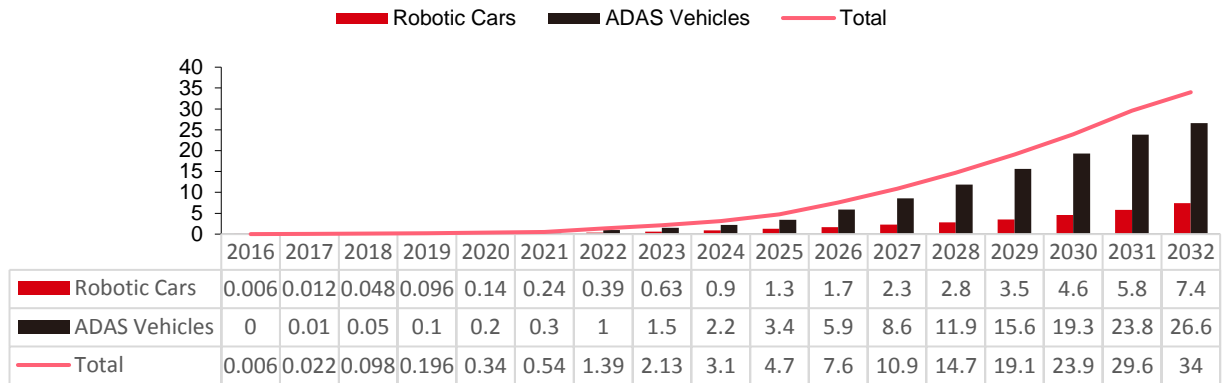
## ■ 产业前景：市场增长潜力巨大，固态化、智能化成刚需

### 市场空间：单车价值量下降，2030 年市场规模有望超百亿美元

CES（2020）展出激光雷达产品梳理显示，大部分激光雷达供应商新推出的激光雷达价格都降至 1000 美元以下，平均每车装载 5 个激光雷达，单车预计 5000 美元以下，而机械雷达和固态雷达将采取不同的方式降低自身产品成本。在机械雷达方面，饮冰科技通过采取通道芯片集成技术来降低成本：公司事先在芯片层面把多个通道进行了集成，不再需要进行单独调试和校准，缩小了多线激光雷达的体积、降低了光调成本，这使得饮冰的 32 线激光雷达大概与同行的 16 线雷达同价。而在固态激光雷达层面，行业着重在芯片侧发力以此来减小成本，相关芯片厂商正在固态激光雷达的三条技术路线上（MEMS、OPA、Flash）各施所长，以此来解决相关技术难题。

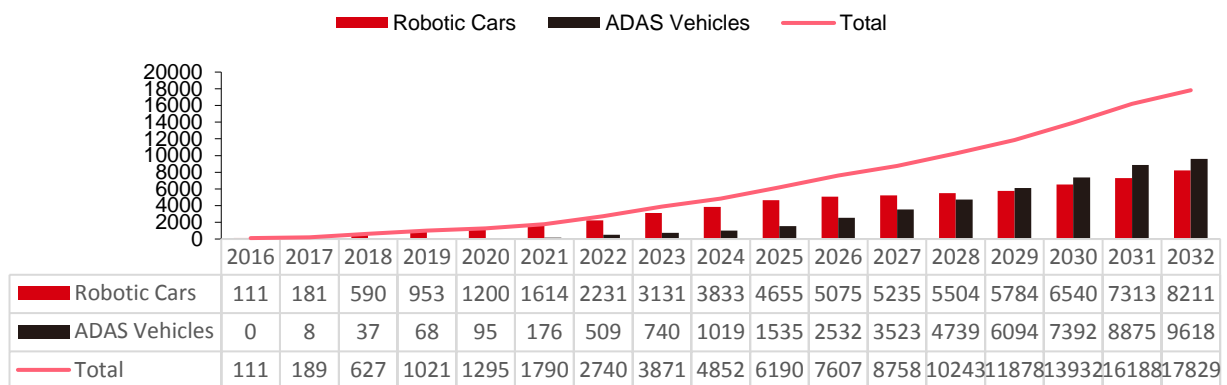
未来随着自动驾驶技术的进一步普及，激光雷达市场规模将会进一步扩大，而单车价值量下降将会进一步有利于激光雷达的量产使用，预计 2030 年全球激光雷达市场规模将超百亿。咨询机构 Yole 预计，激光雷达应用是目前汽车行业增长最快的行业之一。从出货量来看：Yole 预计 2020 年全球激光雷达出货量约 34 万个，2025 年全球激光雷达出货量约 470 万个，2030 年全球激光雷达出货量约 2390 万个。从销售额来看：预计 2020 年全球激光雷达销售额约 12.95 亿美元，2025 年全球激光雷达销售额约 61.9 亿美元，2030 年全球激光雷达销售额约 139.32 亿美元。

图 31: 全球激光雷达销售数量预测 (单位: 百万个)



资料来源: Yole (含预测), 中信证券研究部

图 32: 全球激光雷达销售额预测 (单位: 百万美元)



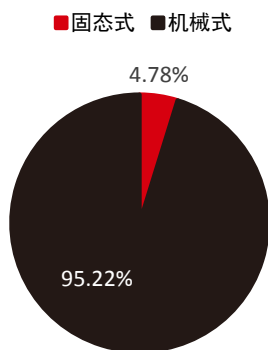
资料来源: Yole (含预测), 中信证券研究部

尽管激光雷达市场增长前景广阔，但整个市场对其持有的态度逐渐回归客观冷静，投融资热度相较于前几年有所减弱。从全球融资情况来看，2017 年成为投融资事件发生最为频繁的一年，中国的投融资高峰相比全球晚一年。2017 年之后，激光雷达通过车规的难度被更清醒地认识，投融资热度逐渐“退烧”，该产业回归理性。



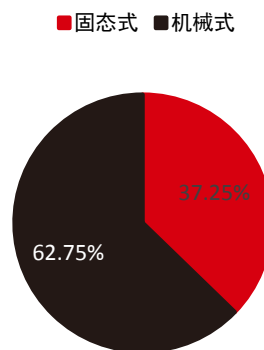
出货量约为 1200 万个，机械式约 730 万个，比例为 1.64: 1；从销售额的角度，2025 年固态/Flash 约为 2230 万美元，机械式达到 13.12 亿美元；而到了 2030 年，固态/Flash 销售额约为 45.83 亿美元，机械式增加到 28.09 亿美元。在 Robotic Cars 领域，机械式占主导，前期以机械式激光雷达为主，Yole 预计固态激光雷达和 Flash 激光雷达出货量在 2023 年起逐渐增多：2025 年，固态/Flash 约为 5 万个，机械式约 120 万个，比例为 1: 24；到 2030 年，固态/Flash 出货量约为 54 万个，机械式约 400 万个，比例为 1: 7.4；从销售额的角度，2025 年固态/Flash 约为 7300 万美元，机械式约 45.82 亿美元；到 2030 年，固态/Flash 销售额约为 6.46 亿美元，机械式约 58.94 亿美元。总的来看，根据 Yole 预测，固态激光雷达的销售额占比将会从 2025 年的 4.78% 增加到 2030 年的 37.25%，销量占比将会从 2025 年的 11.83% 增加到 2030 年的 52.6%。

图 36: 2025 年固态/机械销售额比例



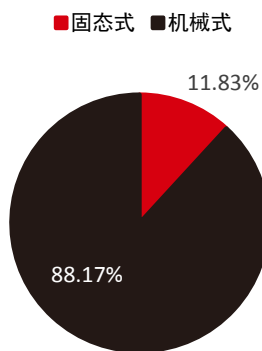
资料来源: Yole 预测, 中信证券研究部

图 37: 2030 年固态/机械销售额比例



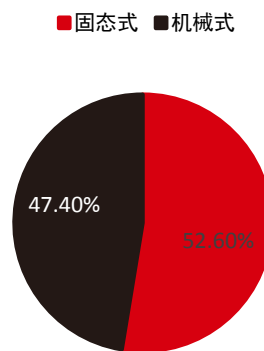
资料来源: Yole 预测, 中信证券研究部

图 38: 2025 年固态/机械销量比例



资料来源: Yole 预测, 中信证券研究部

图 39: 2030 年固态/机械销量比例



资料来源: Yole 预测, 中信证券研究部

传统机械旋转式激光雷达系统虽然性能高，但由于物理极限和成本高等因素限制，难以满足自动驾驶大规模车规量产需求。自动驾驶行业发展到现在，“革命性”路线准备商业化量产，“渐进式”路线追求更高级的自动驾驶，两派的需求将走向统一。在车规量产和高性能需求下，固态激光雷达技术快速发展。目前，激光雷达正从机械旋转式，到混合固态，再到纯固态方向演进。

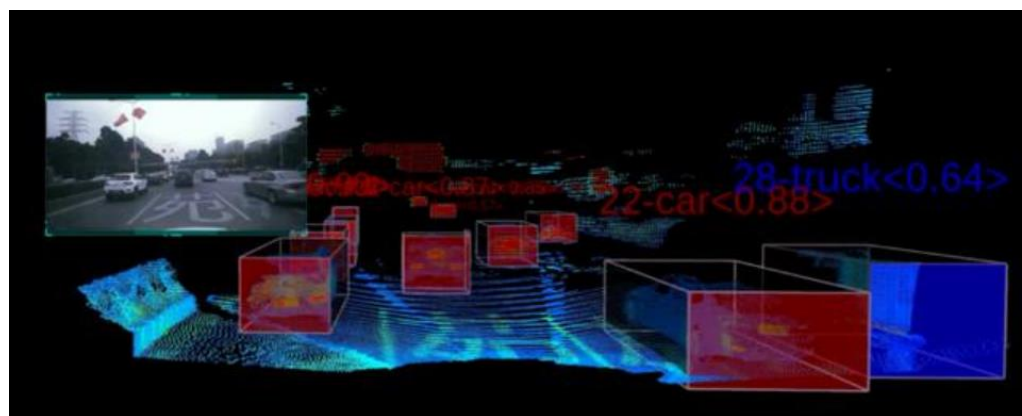
图 40：激光雷达演进趋势



资料来源：麦姆斯咨询

除了关注价格和车规外，激光雷达真正要进入量产车，智能化和软件感知算法将是更大的挑战。对于自动驾驶环境感知，传感器硬件通常只完成了数据收集的工作，要真正获取交通参与者方位、类别、速度、姿态等信息，必须经过感知算法的实时计算分析。感知算法的优劣直接决定对交通参与者的检出率、感知准确度和感知距离。如果感知算法性能不足，即使雷达硬件线数再高，也无法获得优质的感知结果，所以说感知算法是激光雷达感知系统的“第二个核心”。感知系统的刚需揭示了一个被掩盖在激光雷达硬件光环下的核心需求，相比信息“收集器”，自动驾驶需要更聪明的信息“收集+理解者”。一个典型的行业案例是速腾聚创在智能版的 MEMS 固态激光雷达 RS-LiDAR-M1 Smart 中嵌入 AI 感知算法与专用计算芯片组，可以同时输出三维点云数据与障碍物检测、识别、跟踪，路面交通标示等路况信息，充分保证决策层在冗余的信息基础上完成正确的驾驶决策，帮助车辆实现 Level3~Level5 高级自动驾驶与 ASIL-D 高级安全性。

图 41：速腾聚创 MEMS 固态激光雷达 RS-LiDAR-M1 智能版(M1 Smart)实测点云



资料来源：光电汇，中信证券研究部

总的来说，自动驾驶激光雷达市场规模有望超百亿美元，预计行业整体将会向“低成本化”、“量产化”、“固态化”、“智能化”发展，同时国产势力近年来逐步崛起，未来市场发展值得期待。

## ■ 风险因素

技术突破进度不及预期；智能网联政策推广力度不及预期；辅助驾驶、智能驾驶等新功能推广速度低于预期；伦理道德层面规范带来的不确定性。

## ■ 投资策略

**重点关注激光雷达相关公司。**作为自动驾驶领域的核心传感器，激光雷达凭借强大的感知能力，守护自动驾驶对人类出行安全的承诺，与自动驾驶相辅相成。激光雷达未来市场规模预计超百亿美元，行业整体发展值得期待，其快速发展也将推动自动驾驶行业的迅速发展。**建议关注纳斯达克上市龙头公司 Velodyne 以及国内禾赛科技、速腾聚创等公司。**

## 分析师声明

主要负责撰写本研究报告全部或部分内容的分析师在此声明：(i) 本研究报告所表述的任何观点均精准地反映了上述每位分析师个人对标的证券和发行人的看法；(ii) 该分析师所得报酬的任何组成部分无论是在过去、现在及将来均不会直接或间接地与研究报告所表述的具体建议或观点相联系。

## 评级说明

投资建议的评级标准		评级	说明
报告中投资建议所涉及的评级分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后6到12个月内的相对市场表现，也即：以报告发布日后的6到12个月内的公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。其中：A股市场以沪深300指数为基准，新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以摩根士丹利中国指数为基准；美国市场以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准；韩国市场以科斯达克指数或韩国综合股价指数为基准。	股票评级	买入	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅20%以上
		增持	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于5%~20%之间
		持有	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于-10%~5%之间
		卖出	相对同期相关证券市场代表性指数跌幅10%以上
	行业评级	强于大市	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅10%以上
		中性	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于-10%~10%之间
		弱于大市	相对同期相关证券市场代表性指数跌幅10%以上

## 其他声明

本研究报告由中信证券股份有限公司或其附属机构制作。中信证券股份有限公司及其全球的附属机构、分支机构及联营机构（仅就本研究报告免责条款而言，不含CLSA group of companies），统称为“中信证券”。

## 法律主体声明

本研究报告在中华人民共和国（香港、澳门、台湾除外）由中信证券股份有限公司（受中国证券监督管理委员会监管，经营证券业务许可证编号：Z20374000）分发。本研究报告由下列机构代表中信证券在相应地区分发：在中国香港由CLSA Limited分发；在中国台湾由CL Securities Taiwan Co., Ltd.分发；在澳大利亚由CLSA Australia Pty Ltd.（金融服务牌照编号：350159）分发；在美国由CLSA group of companies（CLSA Americas, LLC（下称“CLSA Americas”）除外）分发；在新加坡由CLSA Singapore Pte Ltd.（公司注册编号：198703750W）分发；在欧盟与英国由CLSA Europe BV或CLSA（UK）分发；在印度由CLSA India Private Limited分发（地址：孟买（400021）Nariman Point的Dalamal House 8层；电话号码：+91-22-66505050；传真号码：+91-22-22840271；公司识别号：U67120MH1994PLC083118；印度证券交易委员会注册编号：作为证券经纪商的INZ000001735，作为商人银行的INM000010619，作为研究分析商的INH000001113）；在印度尼西亚由PT CLSA Sekuritas Indonesia分发；在日本由CLSA Securities Japan Co., Ltd.分发；在韩国由CLSA Securities Korea Ltd.分发；在马来西亚由CLSA Securities Malaysia Sdn Bhd分发；在菲律宾由CLSA Philippines Inc.（菲律宾证券交易所及证券投资者保护基金会会员）分发；在泰国由CLSA Securities (Thailand) Limited分发。

## 针对不同司法管辖区的声明

**中国：**根据中国证券监督管理委员会核发的经营证券业务许可，中信证券股份有限公司的经营经营范围包括证券投资咨询业务。

**美国：**本研究报告由中信证券制作。本研究报告在美国由CLSA group of companies（CLSA Americas除外）仅向符合美国《1934年证券交易法》下15a-6规则定义且CLSA Americas提供服务的“主要美国机构投资者”分发。对身在美国的任何人士发送本研究报告将不被视为对本报告中所评论的证券进行交易的建议或对本报告中所载任何观点的背书。任何从中信证券与CLSA group of companies获得本研究报告的接收者如果希望在美国交易本报告中提及的任何证券应当联系CLSA Americas。

**新加坡：**本研究报告在新加坡由CLSA Singapore Pte Ltd.（资本市场经营许可持有人及受豁免的财务顾问），仅向新加坡《证券及期货法》s.4A（1）定义下的“机构投资者、认可投资者及专业投资者”分发。根据新加坡《财务顾问法》下《财务顾问（修正）规例（2005）》中关于机构投资者、认可投资者、专业投资者及海外投资者的第33、34及35条的规定，请勿依赖本研究报告。对于由英国分析员编纂的研究资料，其由CLSA（UK）与CLSA Europe BV制作并发布。就英国的金融行业准则与欧洲其他辖区的《金融工具市场指令II》，本研究报告被制作并意图作为实质性研究资料。

**加拿大：**本研究报告由中信证券制作。对身在加拿大的任何人士发送本研究报告将不被视为对本报告中所评论的证券进行交易的建议或对本报告中所载任何观点的背书。

**欧盟与英国：**本研究报告在欧盟与英国归属于营销文件，其不是按照旨在提升研究报告独立性的法律要件而撰写，亦不受任何禁止在投资研究报告发布前进行交易的限制。本研究报告在欧盟与英国由CLSA（UK）或CLSA Europe BV发布。CLSA（UK）由（英国）金融行为管理局授权并接受其管理，CLSA Europe BV由荷兰金融市场管理局授权并接受其管理，本研究报告针对由相应本地监管规定所界定的在投资方面具有专业经验的人士，且涉及到的任何投资活动仅针对此类人士。若您不具备投资的专业经验，请勿依赖本研究报告。对于由英国分析员编纂的研究资料，其由CLSA（UK）与CLSA Europe BV制作并发布。就英国的金融行业准则与欧洲其他辖区的《金融工具市场指令II》，本研究报告被制作并意图作为实质性研究资料。

**澳大利亚：**CLSA Australia Pty Ltd（“CAPL”）（商业编号53 139 992 331/金融服务牌照编号：350159）受澳大利亚证券和投资委员会监管，且为澳大利亚证券交易所及CHI-X的市场参与主体。本研究报告在澳大利亚由CAPL仅向“批发客户”发布及分发。本研究报告未考虑收件人的具体投资目标、财务状况或特定需求。未经CAPL事先书面同意，本研究报告的收件人不得将其分发给任何第三方。本段所称的“批发客户”适用于《公司法（2001）》第761G条的规定。CAPL研究覆盖范围包括研究部门管理层不时认为与投资者相关的ASX All Ordinaries指数成分股、离岸市场上市证券、未上市发行人及投资产品。CAPL寻求覆盖各个行业中与其国内及国际投资者相关的公司。

## 一般性声明

本研究报告对于收件人而言属高度机密，只有收件人才能使用。本研究报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。本研究报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。中信证券并不因收件人收到本报告而视其为中信证券的客户。本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。

本报告所载资料的来源被认为是可靠的，但中信证券不保证其准确性或完整性。中信证券并不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他损失承担任何责任。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

本报告所载的资料、观点及预测均反映了中信证券在最初发布该报告日期当日分析师的判断，可以在不发出通知的情况下做出更改，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与中信证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。中信证券并不承担提示本报告的收件人注意该等材料的责任。中信证券通过信息隔离墙控制中信证券内部一个或多个领域的信息向中信证券其他领域、单位、集团及其他附属机构的流动。负责撰写本报告的分析师的薪酬由研究部门管理层和中信证券高级管理层全权决定。分析师的薪酬不是基于中信证券投资银行收入而定，但是，分析师的薪酬可能与投行整体收入有关，其中包括投资银行、销售与交易业务。

若中信证券以外的金融机构发送本报告，则由该金融机构为此发送行为承担全部责任。该机构的客户应联系该机构以交易本报告中提及的证券或要求获悉更详细信息。本报告不构成中信证券向发送本报告金融机构之客户提供的投资建议，中信证券以及中信证券的各个高级职员、董事和员工亦不为（前述金融机构之客户）因使用本报告或报告载明的内容产生的直接或间接损失承担任何责任。

未经中信证券事先书面授权，任何人不得以任何目的复制、发送或销售本报告。

中信证券 2020 版权所有。保留一切权利。

“慧博资讯”专业的投资研究大数据分享平台

点击进入  <http://www.hibor.com.cn>