

汽车智能化+网联化深度：自动驾驶逐步升级，摄像头+激光雷达星辰大海

报告要点

汽车智能化、网联化大势所趋。在汽车行业电动化发展过程中，智能化、网联化升级也将成为不可逆转的大趋势，带动汽车行业从传统的机械化终端向智能化、网联化终端迈进，随着硬件配置+软件逐步升级，汽车的智能化、网联化升级改造已经拉开大幕。

汽车智能化：

自动驾驶优势明显，将逐步从 L0 升级至 L5。SAE 将自动驾驶技术分为 L0-L5 级，其中 L0-L2 仍然需要驾驶员驾驶，属于 ADAS（高级辅助驾驶系统）范畴，而从 L3 开始，汽车才真正进入到自动驾驶范畴。作为评判汽车智能化水平的核心关键，自动驾驶相比于传统有人驾驶具有诸多优势，包括安全性高、成本低、效率高等，未来将逐步从 L0 升级到 L5，在此过程中，Robotaxi/Robobus/Minibus/Robotruck 已经开始崭露头角，家用乘用车目前普遍在 L2 以下，未来随着技术升级、法律完善，自动驾驶水平将有望稳步提升。

自动驾驶系统分为感知层、决策层和控制层，传感器和 AI 芯片需求大幅提升。感知层：根据 Yole 数据，对于单辆车而言，L1-L5 级别各类传感器数量分别为 6/13/24/38/35 颗，价值量分别为 260/405/2050/3430/3170 美元。市场规模方面，在自动驾驶领域，根据 Yole 数据，预计 2020-2025 年，摄像头模组将从 35 亿美元增长至 81 亿美元，CAGR 为 18%；毫米波雷达将从 38 亿美元增长至 91 亿美元，CAGR 为 19%；激光雷达将从 4 千万美元增长至 17 亿美元，CAGR 为 113%。决策层：汽车 E/E 架构迈向集中化，将带来芯片算力需求大幅提升，GPU/FPGA/ASIC/类脑等 AI 芯片将扮演愈发重要的角色。根据亿欧数据，L1-L5 级别算力需求分别为 <1/2/30/300/4000+TOPS。中国自动驾驶 AI 芯片市场规模 2021 年为 25.1 亿元，预计到 2025 年将达到 109.9 亿元，CAGR 为 44.7%。

汽车网联化：

V2X 助力构建智慧交通体系，射频前端芯片充分受益。当智能化自动驾驶发展到一定程度后，车辆与外部的沟通交流就愈发重要，V2X 有利于构建一个智慧的交通体系，对提高交通效率、节省资源、减少污染、降低事故发生率、改善交通管理具有重要意义。C-V2X 和高精地图也将成为自动驾驶普及过程中的重要支撑。根据 IDC 数据，2020-2024 年，全球智能网联汽车出货量将保持稳步增长，2020 年为 4440 万辆，2024 年将达到 7620 万辆，CAGR 为 14.5%。渗透率方面，亦将保持稳步上升趋势，根据 IHS Markit 数据，预计 2025 年全球智能网联汽车渗透率将达到 59.4%，中国智能网联汽车渗透率将达到 75.9%。在网联化过程中，射频前端芯片将如同汽车之耳助力车联网技术发展，从而弥补单辆汽车智能化不足，推动协同式应用服务发展。

投资建议：我们看好汽车智能化、网联化升级带来的新机遇，摄像头、超声波雷达、毫米波雷达、激光雷达、AI 芯片以及射频前端芯片将有望驶入发展快车道。建议关注：联创电子、长光华芯、炬光科技。

风险提示：1、新能源车销量、Robotaxi 等商业落地不及预期；2、车规级传感器、芯片等产品导入不及预期；3、激光雷达、AI 芯片等技术研发进度不及预期。

电子

评级：看好

日期：2022.06.29

分析师 王少南

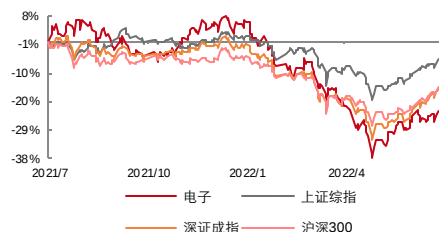
登记编码：S0950521040001

☎：0755-23375522

✉：wangshaonan@wkzq.com.cn

行业表现

2022/6/28



资料来源：Wind，聚源

相关研究

- 《汽车电动化深度：新能源车销量+渗透率双升，IGBT 与 SiC 大放异彩》(2022/5/13)
- 《2022 年电子行业投资策略：5G 渗透率持续提升，半导体供应链安全大势所趋》(2021/12/9)
- 《PCB 行业深度：通讯/消费电子/汽车齐发力，FPC 替代传统线束前景可期》(2021/12/7)
- 《半导体设备行业深度：新一轮景气周期，大国重器替代正当时》(2021/8/16)
- 《2021 年电子行业中期策略：5G+AR/VR 引领新成长，国产替代奏响主旋律》(2021/8/6)
- 《需求错配+供给瓶颈+资源倾斜，汽车缺芯有望 2021Q2 开始改善》(2021/5/12)

目录

1、汽车智能化稳步升级，中美欧日引领发展	7
1.1 自动驾驶升级已成为全球共识	7
1.2 技术进步+立法推进共同支撑自动驾驶渗透率提升	12
2、汽车智能化：“商业+家用”双引擎共同推动自动驾驶快速发展	15
2.1 Robotaxi/Robobus/Minibus/Robotruck 等商业化模式率先普及	15
2.2 感知层：智能车信息采集的“眼睛”和“触角”	23
2.2.1 智车之“眼”：摄像头	24
2.2.2 智车之“角”：超声波雷达	26
2.2.3 智车之“角”：毫米波雷达	27
2.2.4 智车之“角”：激光雷达	29
2.2.5 摄像头/超声波/毫米波/激光雷达性能对比	46
2.2.6 视觉方案 VS 多传感器融合方案	48
2.3 决策层：智能车决策判断的中枢大脑	55
2.3.1 E/E 架构集中化，运算加速带来 GPU/FPGA/ASIC/类脑芯片需求大幅提升	55
2.3.2 AI 芯片芯片发展方向：制程更先进+算力更高+开放式软件生态	59
3、汽车网联化：构建“人、车、路、云”的智慧交通体系	62
3.1 V2X 带来更加高效安全的自动驾驶	62
3.2 C-V2X 将逐步成为全球车联网主流技术路线	63
3.3 高精地图：深度助力自动驾驶定位、感知、规划、决策	66
3.4 智车之“耳”：射频前端芯片助力汽车网联化渗透率提升	70
4、投资建议	72
4.1 投资观点	72
4.2 建议关注	73
4.2.1 联创电子（002036.SZ）	73
4.2.2 长光华芯（688048.SH）	73
4.2.3 炬光科技（688167.SH）	74
5、风险提示	74

图表目录

图表 1：汽车智能化	7
图表 2：自动驾驶概念及定义	8
图表 3：自动驾驶标准分类	8
图表 4：不同自动驾驶等级对应操控主体	8
图表 5：自动驾驶等级划分	9
图表 6：自动驾驶分级	9
图表 7：中国汽车驾驶自动化分级	10
图表 8：自动驾驶优势	10
图表 9：自动驾驶产业链	11
图表 10：全球自动驾驶发展历程	11
图表 11：中国自动驾驶发展历程	12
图表 12：自动驾驶系统架构	12
图表 13：全球部分国家和地区自动驾驶规划	13
图表 14：美国各州自动驾驶立法进度	13
图表 15：中国自动驾驶发展进度及规划	14

图表 16: 2021-2035 年欧盟自动驾驶汽车销量 (万辆)	14
图表 17: 2021-2035 年美国自动驾驶汽车销量 (万辆)	14
图表 18: 2021-2035 年中国自动驾驶汽车销量 (万辆)	15
图表 19: 2021-2035 年日本自动驾驶汽车销量 (万辆)	15
图表 20: 2015-2035 年全球自动驾驶汽车渗透率	15
图表 21: 自动驾驶最先应用的行业	16
图表 22: 2021 年中国载人场景三大类别概念范围界定	16
图表 23: 中国自动驾驶出行工具应用场景	16
图表 24: 2021 年中国商业运输成本结构	17
图表 25: 2020 年中国货车司机年龄	17
图表 26: 2019-2020 年中国矿山安全事故统计	17
图表 27: 2021 年中国自动驾驶与人工驾驶每日运行时间 (h)	17
图表 28: 有人驾驶出租车与 Robotaxi 成本对比	17
图表 29: Robotaxi 成本在 2025-2027 年将迎来拐点	18
图表 30: Robotaxi 生态圈	18
图表 31: 全球 Robotaxi 企业扮演的角色	18
图表 32: 全球 Robotaxi 铁三角模式公司	19
图表 33: 中国自动驾驶载人场景 Top10 运营商发展现状概况	20
图表 34: 2021 年 DMV 自动驾驶路测数据 (有安全员)	21
图表 35: 2021 年 DMV 自动驾驶车辆规模 Top10 (有安全员)	22
图表 36: 2021 年 DMV 自动驾驶 MPI Top10 (英里) (有安全员)	22
图表 37: 2021 年 DMV 自动驾驶 MPI (无安全员)	22
图表 38: 2020-2021 年中国 Top3 城市自动驾驶累计牌照发放量 (张)	22
图表 39: 2020-2021 年中国 Top3 城市自动驾驶累计道路里程 (km)	22
图表 40: 中国各城市示范区自动驾驶载人场景运营商数量 (个)	23
图表 41: 中国各城市示范区自动驾驶载人场景运营商占比	23
图表 42: 2021 年中国 Robotaxi 产业分布	23
图表 43: 2021 年中国 Robobus 产业分布	23
图表 44: 车载摄像头整车应用	24
图表 45: 2015-2020 年全球车载镜头出货量 (万件)	24
图表 46: 2020 年全球车载摄像头镜头市场格局	24
图表 47: 2019-2020 年各类车载摄像头渗透率	25
图表 48: 不同级别自动驾驶汽车平均搭载摄像头数量 (颗)	25
图表 49: 2015-2025 年全球及中国车载摄像头市场规模	25
图表 50: 车载摄像头主要组件及供应商	26
图表 51: 超声波雷达位置及探测	26
图表 52: 自动泊车	26
图表 53: 2020-2026 年全球超声波雷达市场规模 (十亿美元)	26
图表 54: 2021-2026 年全球超声波雷达安装量 (百万颗)	26
图表 55: 2021-2025 年全球 12 颗超声波雷达方案渗透率	27
图表 56: 2014-2023 年中国超声波雷达市场规模 (亿元)	27
图表 57: 2018 年全球超声波雷达竞争格局	27
图表 58: 2021 年中国车载超声波雷达竞争梯队 Top10	27
图表 59: 毫米波雷达工作原理	28
图表 60: 毫米波雷达示意图	28
图表 61: 2017-2022 年全球毫米波雷达市场规模 (亿美元)	28
图表 62: 全球汽车毫米波雷达厂商市占率	28

图表 63: 4D 毫米波雷达探测维度	29
图表 64: 激光雷达工作原理	30
图表 65: 激光雷达应用: 环境感知+定位	30
图表 66: 激光雷达产业链	30
图表 67: 激光雷达核心模块	30
图表 68: 激光雷达显性参数	31
图表 69: 激光雷达产业链主要厂商	31
图表 70: 激光雷达分类及产业链主要厂商	32
图表 71: 单线 (2D) 激光雷达原理	35
图表 72: 多线 (3D) 激光雷达光线图	35
图表 73: 单线扫描 VS 多线扫描	35
图表 74: 水平与垂直视场角 (FOV)	35
图表 75: ToF 与 FMCW 性能对比	36
图表 76: EEL/VCSEL/光纤激光器对比	37
图表 77: 2020-2026 年 EEL 市场规模 (分应用领域)	37
图表 78: 传感应用的 VCSEL 市场规模 (亿美元)	38
图表 79: 2020 年 VCSEL 下游应用占比	38
图表 80: 传感应用的 VCSEL 发展趋势	38
图表 81: 传感应用的 VCSEL 产业链	38
图表 82: 2021-2026 年 VCSEL 市场规模 (分应用领域)	39
图表 83: 2019 年全球智能机 TOF 镜头 VCSEL 厂商市占率	39
图表 84: 905nm VS 1550nm 激光器性能对比	39
图表 85: 汽车激光雷达各光源波长市占率	39
图表 86: 各类激光雷达工作原理	40
图表 87: 汽车激光雷达各扫描方式市占率	40
图表 88: 各类激光雷达方案对比	41
图表 89: 激光雷达探测器性能对比	41
图表 90: 激光雷达探测器性能对比	42
图表 91: 激光雷达专用芯片及功能模块示意图	42
图表 92: 禾赛科技芯片化发展路线	42
图表 93: 2019-2026 年全球激光雷达市场规模 (百万美元)	43
图表 94: 2020 年全球激光雷达厂商市占率	43
图表 95: 2020-2026 年全球激光雷达各下游应用领域占比	43
图表 96: 2020-2026 年全球激光雷达下游市场规模 (百万/十亿美元)	43
图表 97: 全球高分辨率激光雷达出货量预测 (分国家/地区, 千颗)	44
图表 98: 全球汽车激光雷达各厂商市占率	44
图表 99: 汽车激光雷达渗透率	44
图表 100: 全球首款车载激光雷达 Valeo SCALA1	45
图表 101: Valeo SCALA1 拆解主要零部件	45
图表 102: Valeo SCALA1 制造成本拆解	45
图表 103: 览沃科技 Horizon 制造成本拆解	45
图表 104: 激光雷达实际价格 VS 预计价格 (美元)	45
图表 105: 激光雷达价格有望持续下降	45
图表 106: 激光雷达厂商、类型、价格	46
图表 107: 自动驾驶传感器参数对比	47
图表 108: 自动驾驶传感器光谱范围	47
图表 109: 摄像头性能雷达图	48

图表 110: 超声波雷达性能雷达图.....	48
图表 111: 毫米波雷达性能雷达图.....	48
图表 112: 激光雷达性能雷达图.....	48
图表 113: 自动驾驶视觉主导方案 VS 激光雷达主导方案	49
图表 114: Model 3 各传感器和计算单元位置.....	49
图表 115: Model S 各传感器位置.....	49
图表 116: 特斯拉视觉方案覆盖范围.....	50
图表 117: 特斯拉纯视觉方案覆盖范围.....	50
图表 118: 奥迪 A8 各传感器和计算单元位置.....	50
图表 119: 沃尔沃 XC90 各传感器位置.....	50
图表 120: 多传感器融合方案各传感器覆盖范围和作用	51
图表 121: 自动驾驶 L1-L5 级别对应传感器数量 (颗) 及单价 (美元)	52
图表 122: 2020-2030 年自动驾驶各类传感器功能变化	52
图表 123: 2020-2025 年全球自动驾驶各类传感器市场规模 (十亿美元)	52
图表 124: 全球机器驾驶传感器市场规模 (十亿美元)	53
图表 125: 2020 年中国车载雷达竞争格局	53
图表 126: L2-L5 自动驾驶各类传感器中半导体价值量 (美元)	53
图表 127: 搭载多种传感器车型汇总.....	54
图表 128: 蔚来 ES6 传感器位置分布.....	54
图表 129: 小鹏 G9 传感器位置分布.....	54
图表 130: 汽车 E/E 架构技术路线.....	56
图表 131: 汽车 E/E 架构路线图.....	56
图表 132: 自动驾驶 L1-L5 对于 AI 芯片算力需求 (TOPS)	56
图表 133: 2015-2025 年中国自动驾驶 AI 芯片市场规模 (亿元)	56
图表 134: AI 芯片在 AI 层次中的应用	57
图表 135: 训练-推断两阶段深度学习.....	57
图表 136: AI 芯片对比.....	58
图表 137: 类脑计算市场规模及市占率 (十亿美元)	59
图表 138: 类脑计算下游应用普及时间	59
图表 139: IBM TrueNorth 架构.....	59
图表 140: 类脑计算厂商及机构.....	59
图表 141: 类脑芯片参数对比	59
图表 142: 国内外自动驾驶 AI 芯片.....	60
图表 143: 部分车企自动驾驶 AI 芯片更迭.....	61
图表 144: 信息和通信技术已全面渗透进如今的移动出行场景	62
图表 145: V2X.....	62
图表 146: 车联网定义及功能	62
图表 147: 车联网发展阶段	63
图表 148: 车联网产业生态	63
图表 149: DSRC 车联网.....	63
图表 150: C-V2X 车联网.....	63
图表 151: DSRC 与 C-V2X 对比	64
图表 152: C-V2X 随着驾驶安全性要求提高将得到更广泛的应用	65
图表 153: 2018-2029 年 C-V2X 通信技术路线图	65
图表 154: 中国 C-V2X 产业链.....	66
图表 155: Here 高精地图图层.....	66
图表 156: TomTom 高精地图图层.....	66

图表 157：高精地图信息展示（限高、路宽、坡度、半径等）	67
图表 158：高精地图信息展示（限速、剩余路程、坡度、半径等）	67
图表 159：传统导航地图与高精地图对比	67
图表 160：中国导航电子地图甲级测绘资质名单	68
图表 161：高精地图企业与车企合作情况	69
图表 162：传统导航地图与高精地图盈利模式对比	69
图表 163：2020-2025 年全球高精度地图市场规模（亿美元）	70
图表 164：2020-2025 年中国高精度地图市场规模（亿美元）	70
图表 165：全球高精度地图厂商	70
图表 166：2020 年中国高精地图厂商 Top5	70
图表 167：2020-2024 年全球智能网联汽车出货量（百万辆）	71
图表 168：2018-2025 年全球及中国智能网联汽车渗透率	71
图表 169：欧盟汽车保有量（万辆）和互联汽车渗透率	71
图表 170：美国汽车保有量（万辆）和互联汽车渗透率	71
图表 171：中国汽车保有量（万辆）和互联汽车渗透率	71
图表 172：日本汽车保有量（万辆）和互联汽车渗透率	71

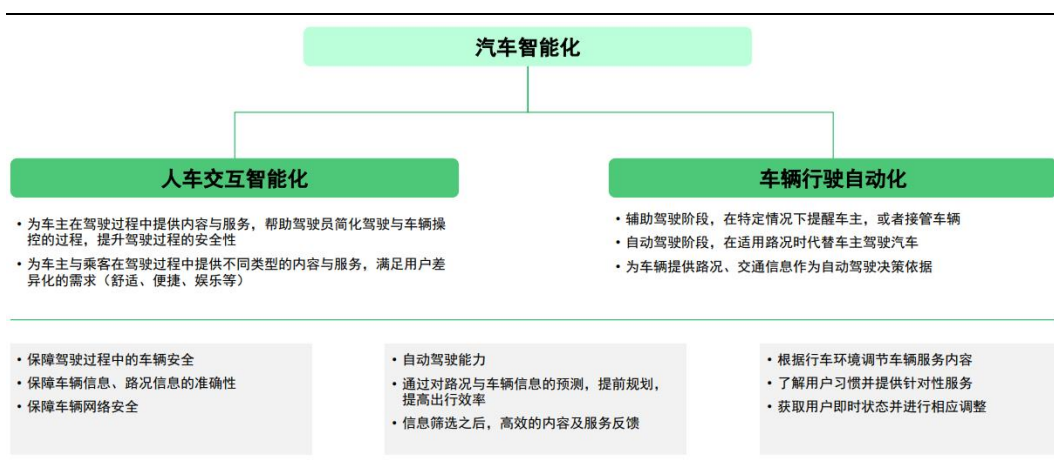
1、汽车智能化稳步升级，中美欧日引领发展

1.1 自动驾驶升级已成为全球共识

汽车智能化是未来行业发展重要方向之一，包括人车交互智能化以及车辆行驶自动化。人车交互智能化是在驾驶过程中为驾驶员提供内容与服务，提升驾驶安全性、舒适性、便捷性等。车辆行驶自动化则包括辅助驾驶阶段和自动驾驶阶段，通过对路况及车辆信息预测，保障驾驶过程中的车辆安全以及出行效率。

智能汽车则是指通过搭载先进传感器等装置，运用人工智能等新技术，具有自动驾驶功能，逐步成为智能移动空间和应用终端的新一代汽车。智能汽车通常又称为智能网联汽车、自动驾驶汽车等。因此，汽车智能化发展程度很大程度上取决于汽车自动驾驶发展进度。

图表 1：汽车智能化



资料来源：IHS Markit，五矿证券研究所

在自动驾驶等级划分上，SAE（国际汽车工程师学会）将自动驾驶技术分为 L0-L5，共 6 个等级，NHTSA（美国国家公路交通安全管理局）将自动驾驶分为 L0-L4 共 5 个等级。目前部分车企已经推出了具有 L2 功能的车型，L1 和 L2 仍然需要驾驶员驾驶，属于 ADAS（高级辅助驾驶系统）范畴。而 L3 将是一个分水岭，从 L3 开始，汽车才真正进入到自动驾驶范畴，L3 指在特定场景下，系统可以实现对车辆的完全接管，当驾驶员在系统失效时，驾驶员取得驾驶权。

图表 2：自动驾驶概念及定义

NHTSA	SAE	定义	动态驾驶任务（DDT）		动态驾驶任务 支援（DDT Fallback）	设计适用范围 （ODD）	典型应用
			横/纵向运动 控制	物体和时间的 探测响应			
L0	L0	系统辅助增强驾驶员环境感知能力，驾驶员执行全部驾驶任务	驾驶员	驾驶员	驾驶员	无	碰撞预警（FCW）、车道偏离预警（LDW）、行人预警（PCW）、盲点监测（BSM）
L1	L1	在适合的设计范围内，系统可执行车辆运动控制中的某一子任务（不可同时执行），驾驶员执行其他的动态驾驶任务	驾驶员和系统	驾驶员	驾驶员	特定场景	巡航控制（ACC）、自动制动（AEB）、车道保持（LKA）、智能车速控制（ISA）
L2	L2	在适合的设计范围内，系统可持续执行车辆运动控制任务（涉及到多个 ECU 配合），驾驶员负责执行 OEDR 任务并监督自动驾驶系统	系统	驾驶员	驾驶员	特定场景	车道居中辅助（LCC）、自动变道（ALC）
L3	L3	在适合的设计范围内，系统可持续执行完整的动态驾驶任务，用户在系统失效时接受系统的干预请求，及时作出响应	系统	系统	驾驶员在系统失效时取得驾驶权	特定场景	交通堵塞辅助（TJP）、高速公路辅助（HWP）、自动泊车
L4	L4	在适合的设计范围内，系统可以自动执行完整的动态驾驶任务和动态驾驶任务支援，用户无需对系统请求做出回应	系统	系统	系统	特定场景	Robotaxi、无人物流车、无人巴士等
	L5	系统能在所有道路环境执行完整的动态驾驶任务和动态驾驶任务支援，驾驶员无需介入	系统	系统	系统	全部场景	

资料来源：SAE，NHTSA，艾瑞，五矿证券研究所

图表 3：自动驾驶标准分类

	SAE LEVEL 0	SAE LEVEL 1	SAE LEVEL 2	SAE LEVEL 3	SAE LEVEL 4	SAE LEVEL 5
What does the human in the driver's seat have to do?	You are driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You are not driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in “the driver's seat”		
	You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive		These automated driving features will not require you to take over driving
Copyright © 2021 SAE International.						
	These are driver support features			These are automated driving features		
What do these features do?	These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met		This feature can drive the vehicle under all conditions
	• automatic emergency braking • blind spot warning • lane departure warning	• lane centering OR • adaptive cruise control	• lane centering AND • adaptive cruise control at the same time	• traffic jam chauffeur	• local driverless taxi • pedals/steering wheel may or may not be installed	• same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions

资料来源：SAE，五矿证券研究所

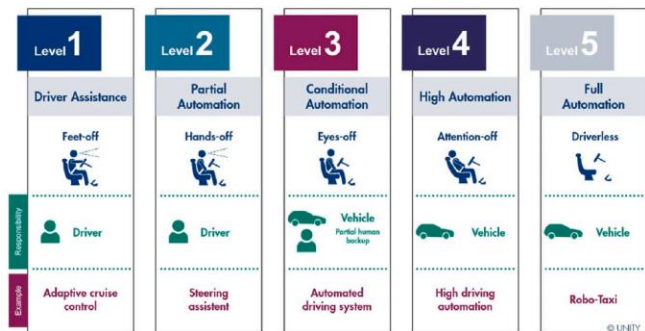
图表 4：不同自动驾驶等级对应操控主体

For on-road vehicles		Human driver	Automated system
Human driver monitors the road	0 NO AUTOMATION	Steering and acceleration/deceleration	Monitoring of driving environment
	1 DRIVER ASSISTANCE	Fallback when automation fails	Automated system is in control
Automated driving system monitors the road	2 PARTIAL AUTOMATION		
	3 CONDITIONAL AUTOMATION		
	4 HIGH AUTOMATION		
	5 FULL AUTOMATION		

资料来源：Vox，五矿证券研究所

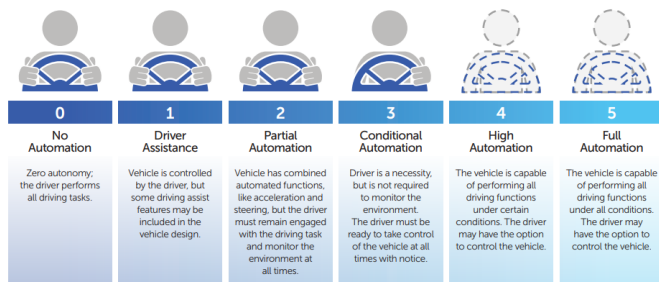
根据 SAE 的定义，在 L1 时，驾驶员可以“脱脚”；在 L2 时，驾驶员可以“脱手”；在 L3 时，驾驶员可以“脱眼”；在 L4 时，驾驶员可以“脱脑”；在 L5 时，已经不需要驾驶员。

图表 5：自动驾驶等级划分



资料来源：SAE，五矿证券研究所

图表 6：自动驾驶分级



资料来源：NHTSA，五矿证券研究所

中国在自动驾驶领域亦制定了自己的标准。2021 年 8 月 20 日，国家市场监督管理总局、国家标准化委员会批准发布了《汽车驾驶自动化分级》推荐性国家标准，该标准于 2022 年 3 月 1 日起开始实施。该标准规定了汽车驾驶自动化功能的分级，基于驾驶自动化系统能够执行动态驾驶任务的程度，根据在执行动态驾驶任务中的角色分配以及有无设计运行范围限制，将驾驶自动化分成 0 级至 5 级。并基于以下 6 个要素对驾驶自动化等级进行划分：

- 1.是否持续执行动态驾驶任务中的目标和事件探测与响应；
- 2.是否持续执行动态驾驶任务中的车辆横向或纵向运动控制；
- 3.是否同时持续执行动态驾驶任务中的车辆横向和纵向运动控制；
- 4.是否持续执行全部动态驾驶任务；
- 5.是否自动执行最小风险策略；
- 6.是否存在设计运行范围限制。

在汽车驾驶自动化的 6 个等级之中，0-2 级为驾驶辅助，系统辅助人类执行动态驾驶任务，驾驶主体仍为驾驶员；3-5 级为自动驾驶，系统在设计运行条件下代替人类执行动态驾驶任务，当功能激活时，驾驶主体是系统。

图表 7：中国汽车驾驶自动化分级

类别	分级	名称	持续的车辆横向和纵向运动控制	目标和事件探测与响应	动态驾驶任务后援	设计运行范围	主要内容
人工驾驶	0 级	应急辅助	驾驶员	驾驶员和系统	驾驶员	有限制	可感知环境，并提供报警、辅助或短暂介入以辅助驾驶员
高级辅助驾驶 (ADAS)	1 级	部分驾驶辅助	驾驶员和系统	驾驶员和系统	驾驶员	有限制	驾驶员和驾驶自动化系统共同执行动态驾驶任务，并监管驾驶自动化系统的行为和执行适当的响应或操作
	2 级	组合驾驶辅助	系统	驾驶员和系统	驾驶员	有限制	驾驶员和驾驶自动化系统共同执行动态驾驶任务，并监管驾驶自动化系统的行为和执行适当的响应或操作
自动驾驶	3 级	有条件自动驾驶	系统	系统	动态驾驶任务后援用户（执行接管后成为驾驶员）	有限制	驾驶自动化系统在其设计运行条件内持续执行全部动态驾驶任务
	4 级	高度自动驾驶	系统	系统	系统	有限制	驾驶自动化系统在其设计运行条件内持续执行全部动态驾驶任务和执行动态驾驶任务接管
	5 级	完全自动驾驶	系统	系统	系统	无限制	驾驶自动化系统在任何可行行驶条件下持续执行全部动态驾驶任务和执行动态驾驶任务接管

资料来源：《汽车驾驶自动化分级》，五矿证券研究所

自动驾驶之所以成为各个国家、企业、科研机构等争相研究和发力的重点，是因为随着汽车用户不断增加，公路交通拥堵、安全事故等问题层出不穷，相比于传统的人类驾驶，自动驾驶在人工智能、车联网等技术支持下，能够有效保障交通安全、降低运输成本、提升用车效率、减少空气污染。此外还可以拉动汽车、电子、通信、服务、社会管理等协同发展，促进产业转型升级。

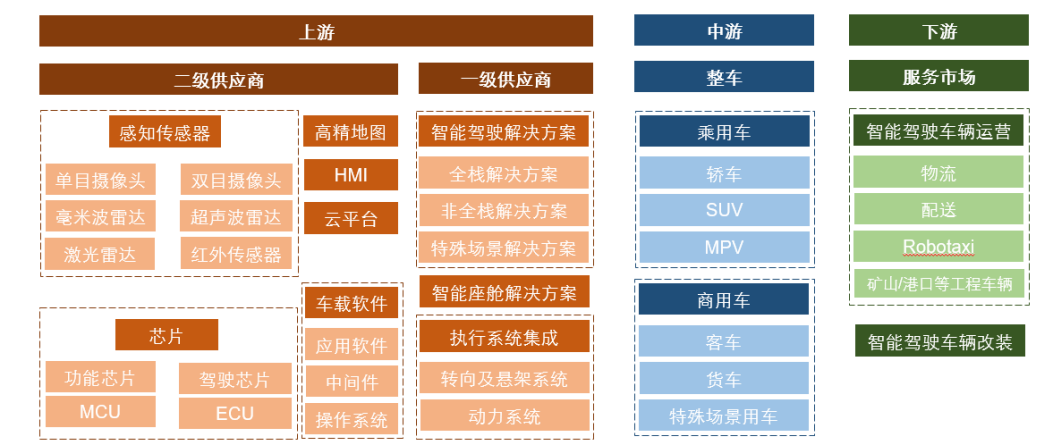
图表 8：自动驾驶优势

保障交通安全	降低运输成本	提升用车效率	减少空气污染
国家统计局数据显示，2019 年我国交通事故死亡人数达 62763 人，其中机动车交通事故死亡人数达 56924 人，占比约 91%。据统计，由于人的交通违法行为造成的道路交通事故占比为 95%。肇事原因包含未让行、无证驾驶、超速、酒驾和逆行等。而智能驾驶汽车可提醒驾驶员采取正确的驾驶行为，可自主、安全地驾驶车辆，从而降低交通事故发生率。	带有智能驾驶功能的汽车燃油经济性可提升约 10%，且其节能效率将随着智能驾驶普及率和等级的提升而进一步提高。同时，我国物流费用在 GDP 中的比重达到 14.6%，仅北京就造成人均 4000 余元每年的成本，远超欧美国家，效率低下，对于商用营运车辆来讲，无人驾驶可以直接节省人工成本。	都市区 23%~25% 拥堵发生在道路交叉处。当车载感应器和交通系统联动工作时，可优化路口的车流量，提高通行效率，减少事故型拥堵，提高停车效率，减少停车的使用空间，直接节省消费者取车和停车所花费的时间，解决停车难的问题。	汽车尾气包含一氧化碳、二氧化碳等，是较大的人造污染源之一。车辆在走走停停中的排放量远大于自由流动。通过提高汽车的智能化和自动化水平，能达成更精准的汽车控制，减少拥堵和事故发生率，减少人为驾驶习惯的资源浪费，实现节能减排的效果。

资料来源：艾瑞，五矿证券研究所

自动驾驶产业链，上游包括传感器、芯片、地图、车载软件等二级供应商，以及智能驾驶解决方案等一级供应商；中游包括乘用车、商用车等整车环节，下游为车辆运营等服务市场。

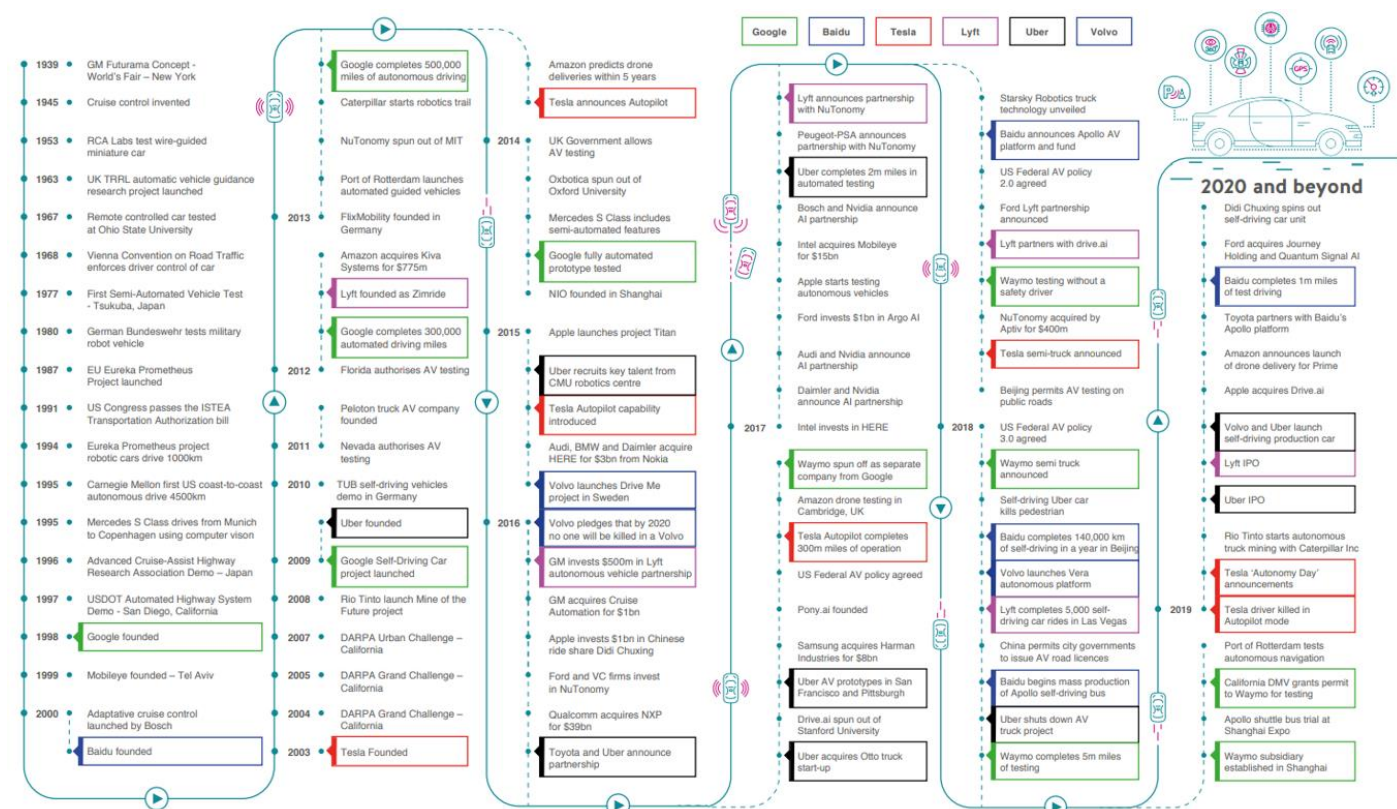
图表 9：自动驾驶产业链



资料来源：艾瑞，五矿证券研究所

回顾全球自动驾驶发展历程，1939 年 GM 提出了这一概念，2009 年谷歌发布了自动驾驶汽车计划，2013 年谷歌完成了 50 万英里的自动驾驶，同年特斯拉发布了自动驾驶 Autopilot 概念，2017 年特斯拉自动驾驶完成了 3 亿英里的运行，2018 年 Waymo 完成了 5 亿英里的测试，2019 年百度完成了 1 亿英里的测试。

图表 10：全球自动驾驶发展历程

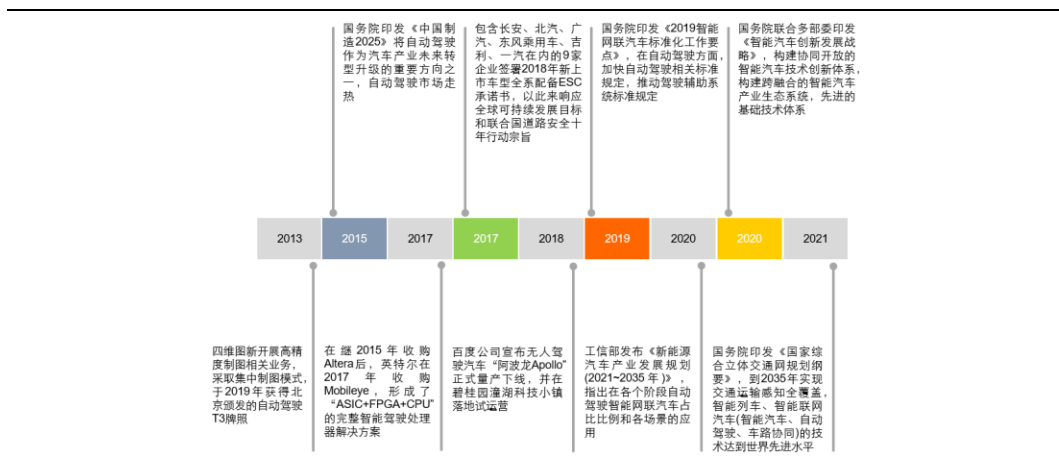


资料来源：Future Agenda，五矿证券研究所

中国自动驾驶起步较晚，2015 年国务院印发了《中国制造 2025》，将自动驾驶作为汽车产业转型重要方向，2018 年百度无人驾驶汽车“阿波罗 Apollo”正式量产下线，2021 年国务院印发《国家综合立体交通网规划纲要》，指出到 2035 年，智能网联汽车（包括自动驾驶）技

术达到世界先进水平。

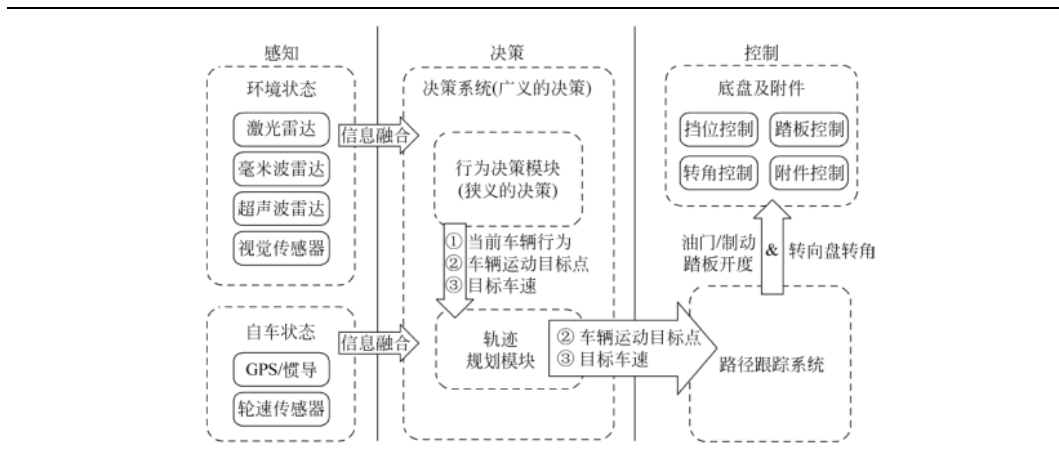
图表 11：中国自动驾驶发展历程



资料来源：艾瑞，五矿证券研究所

自动驾驶系统分为感知层、决策层和控制层，感知层主要通过摄像头、雷达等感知周围环境信息，并通过 GPS/惯导等实现定位等车辆状态的获取；决策层依据感知层提供的环境信息和车辆定位情况，根据适合的模型进行路径规划等决策；控制层则通过底盘及各种控制附件，驱动车辆执行相应命令动作。

图表 12：自动驾驶系统架构



资料来源：《自动驾驶技术概论》，五矿证券研究所

1.2 技术进步+立法推进共同支撑自动驾驶渗透率提升

自动驾驶要想逐步落地并大范围推广，除了技术进步、成本降低之外，还需要相关法律法规及政策支持才能落地，目前各个国家地区的立法进度和要求不尽相同，但是整体而言，对自动驾驶的法律法规等都是积极推动的。

德国在 2021 年 7 月正式实施《自动驾驶法》，成为全球首个允许 L4 级别自动驾驶汽车上路的国家。

日本于 2020 年 4 月正式实施《道路交通法》修正案，允许 L3 级别自动驾驶汽车上路，同时

计划 2022 年在农村地区实现 L4 级自动驾驶汽车上路。

韩国已经在 2021 年推出 L3 级别自动驾驶汽车，计划到 2024 年实现 L4 级别部分商用化。

中国公安部于 2021 年 3 月发布的《道路交通安全法（修订建议稿）》中，对自动驾驶汽车提出了要求，这是中国在自动驾驶汽车立法上的首次尝试，虽然最终未获得通过，但具有重要意义。目前深圳在自动驾驶立法方面走在全国前列，根据 2022 年 5 月深圳市人大常委会官网发布的相关内容，《深圳经济特区智能网联汽车管理条例》被列入深圳市人大常委会发布的 2022 年立法计划首位，已通过“三审”，有望在年内出炉，这将是国内首部规范智能网联汽车管理的法规，智能网联汽车法律空白的问题，有望在深圳率先突破。此外，中国已逐步开放公路（高速公路）测试、无人化（远程）测试、载人载物示范运营，包括北京、上海、深圳等城市已发布了相关的道路测试与示范应用管理法规，为自动驾驶汽车上路奠定了基础，有助于推动自动驾驶立法。

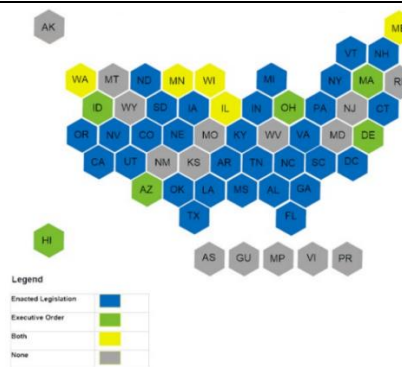
美国交通运输部则在 2021 年 1 月发布了《自动驾驶汽车综合计划》，进一步明确了美国自动驾驶汽车的发展方向。该计划定义了实现自动驾驶系统愿景的三个目标，包括促进协作和透明度、现代化监管环境、以及为运输系统做准备。而在法律层面，目前为止，美国联邦层面尚未正式出台自动驾驶的监管法案，现阶段美国自动驾驶的测试及布局是由各州/邦法律进行分别监管。目前美国有 29 个州/邦以及华盛顿哥伦比亚特区已经颁布了法律，6 个州/邦颁布了行政命令，5 个州/邦同时有法律和行政命令，还有 15 个州/邦没有相关法律和行政命令。

图表 13：全球部分国家和地区自动驾驶规划



资料来源：佐思汽研，五矿证券研究所

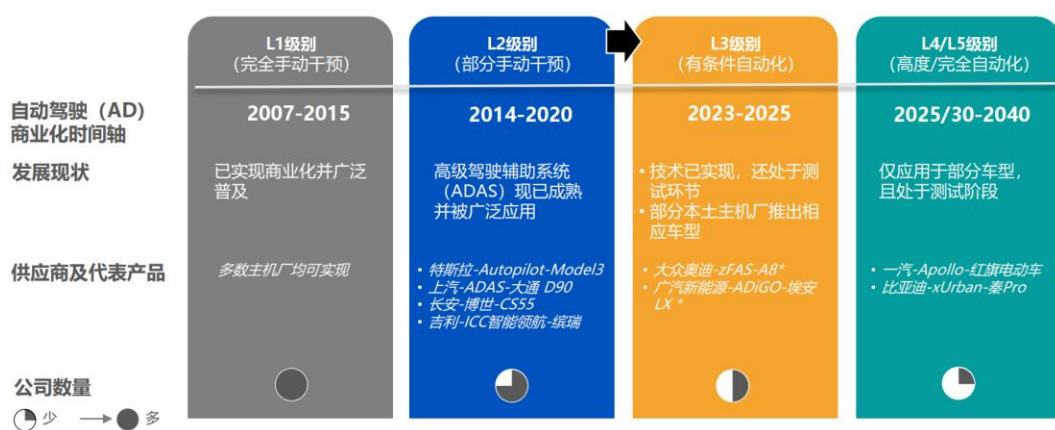
图表 14：美国各州自动驾驶立法进度



资料来源：NCSL，五矿证券研究所

中国自动驾驶技术仍在不断迭代升级中，2007-2015 年 L1 级别已实现商业化并广泛普及；2014-2020 年 L2 级别的高级驾驶辅助系统（ADAS）已经成熟并广泛使用，代表车型包括特斯拉 Model 3、上汽大通 D90 等；2025 年将计划实现 L3 级别自动驾驶，目前技术已能够实现，还处于测试阶段，代表车型包括奥迪 A8、广汽新能源-埃安 Lx 等；2030-2040 年计划实现 L4/L5 级别自动驾驶，仅用于部分车型，仍处于测试阶段，代表车型包括一汽-Apollo-红旗电动车、比亚迪-xUrban-秦 Pro 等。

图表 15：中国自动驾驶发展进度及规划



资料来源：Ipsos，五矿证券研究所

根据 PwC 数据，全球主要国家/地区的自动驾驶水平将逐步提升，到 2025 年 L3 级别自动驾驶将开始崭露头角，而自动驾驶需 80 亿公里安全路测里程才能证明其安全性，现阶段 L4 解决方案提供商还远远未达到足够里程，随着未来激光雷达等核心部件成本下降，预计到 2030-2035 年，L4/L5 级别自动驾驶将开始商用化。全球各主要国家地区目前正处于从 L2 级别向 L3 级别过渡阶段，预计未来 L3-L5 级别自动驾驶占新车销量如下：

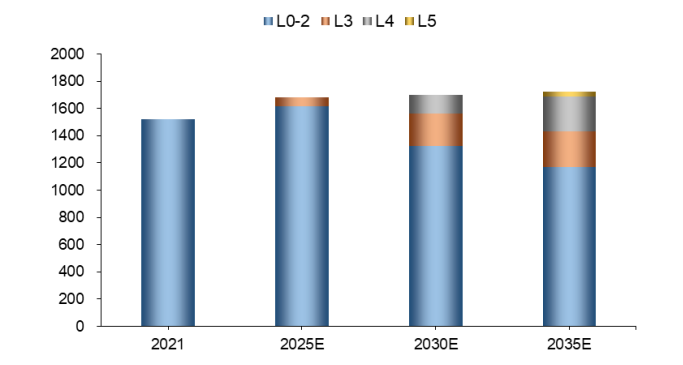
欧盟：L3 级别 2025 年占比 4%，销量 67 万辆，到 2035 年将提升至 15%，销量 259 万辆；L4 级别 2030 年占比 8%，销量 136 万辆，2035 年将提升至 15%，销量 259 万辆；L5 级别 2035 年占比 2%，销量 35 万辆。

美国：L3 级别 2025 年占比 5%，销量 83 万辆，到 2035 年将提升至 14%，销量 249 万辆；L4 级别 2030 年占比 1%，销量 17 万辆，2035 年将提升至 2%，销量 36 万辆。

中国：L3 级别 2025 年占比 1%，销量 28 万辆，到 2035 年将提升至 18%，销量 619 万辆；L4 级别 2030 年占比 3%，销量 93 万辆，2035 年将提升至 15%，销量 516 万辆；L5 级别 2035 年占比 1%，销量 34 万辆。

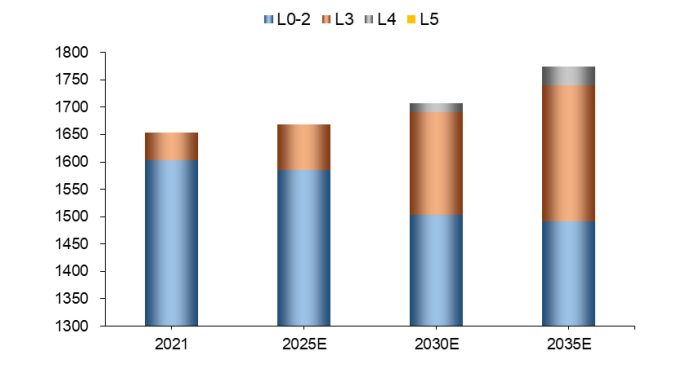
日本：L3 级别 2025 年占比 4%，销量 19 万辆，到 2035 年将提升至 12%，销量 49 万辆；L4 级别 2030 年占比 6%，销量 26 万辆，2035 年将提升至 15%，销量 61 万辆；L5 级别 2035 年占比 1%，销量 4 万辆。

图表 16：2021-2035 年欧盟自动驾驶汽车销量（万辆）



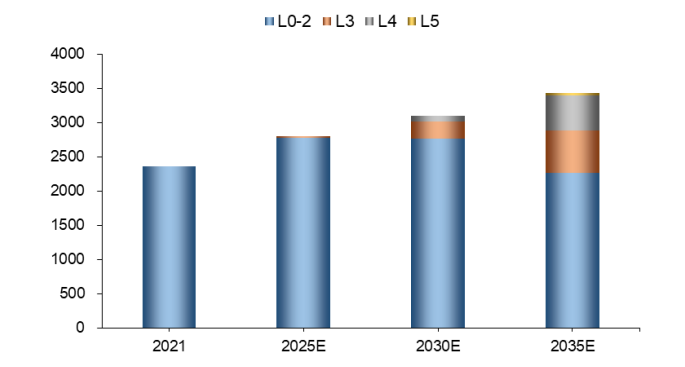
资料来源：PwC，五矿证券研究所

图表 17：2021-2035 年美国自动驾驶汽车销量（万辆）



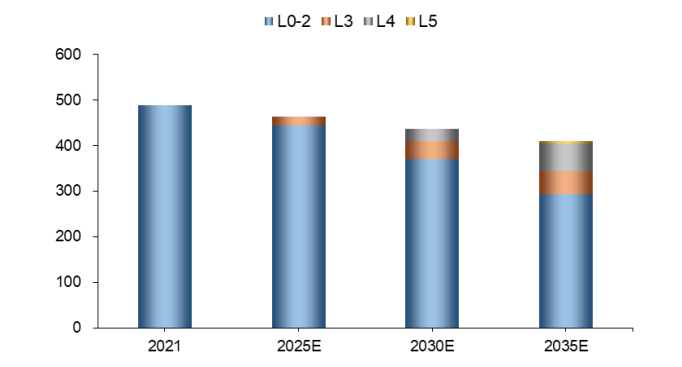
资料来源：PwC，五矿证券研究所

图表 18：2021-2035 年中国自动驾驶汽车销量（万辆）



资料来源：PwC，五矿证券研究所

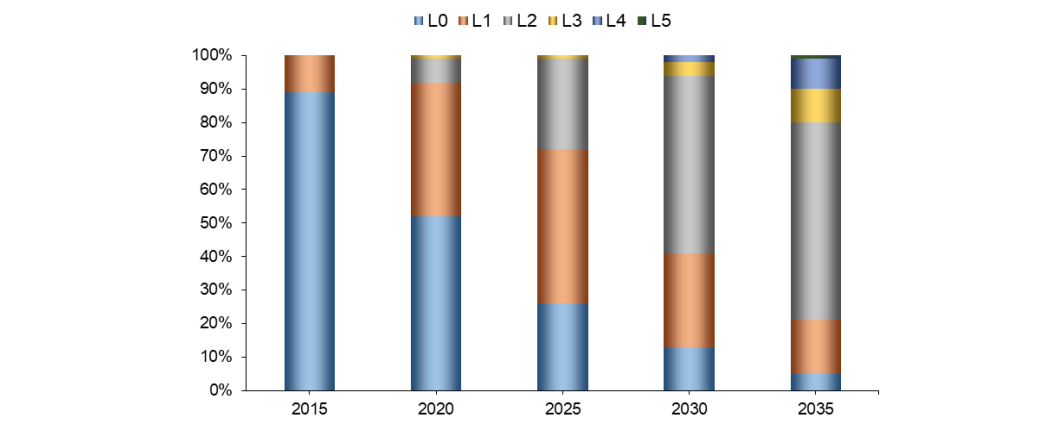
图表 19：2021-2035 年日本自动驾驶汽车销量（万辆）



资料来源：PwC，五矿证券研究所

根据 Strategy Analytics 数据，全球自动驾驶汽车渗透率方面，预计到 2025 年，L2 渗透率将达到 27%，L3 渗透率将达到 1%；2035 年，L2 渗透率将达到 59%，L3 渗透率将达到 10%，L4 渗透率将达到 9%，L5 渗透率将达到 1%。

图表 20：2015-2035 年全球自动驾驶汽车渗透率



资料来源：Strategy Analytics，五矿证券研究所

2、汽车智能化：“商业+家用”双引擎共同推动自动驾驶快速发展

2.1 Robotaxi/Robobus/Minibus/Robotruck 等商业化模式率先普及

由于成本较高、路线相对固定、环境相对简单、行驶速度相对较低，自动驾驶在公共交通、矿区园区、港口物流等特定场所的使用将早于在个人乘用车市场的普及，具体应用场景包括公共交通、快递运输、服务老年人及残疾人等。

图表 21：自动驾驶最先应用的行业



资料来源：《自动驾驶》，五矿证券研究所

随着自动驾驶技术（如激光雷达、芯片、算法等）技术不断升级迭代，自动驾驶离我们的生活也越来越近，虽然目前 L3 级别以上家用车还并未大规模普及，但是在一些特定场景或者商业营运场景已经开始崭露头角。开放场景以载人为主，包括 Robobus、Robotaxi 等，半封闭以及封闭场景以载物为主，比如 Robotruck，其中半封闭场景包括干线物流、无人环卫、末端配送等，封闭场景包括矿山运输、港口运输等。在以上几类场景中，封闭场景由于环境单一，行驶路径简单，无其他社会车辆及行人干扰，场景复杂度低，目前已经实现了商业化运营；而开放场景和半封闭场景由于在市政道路行驶，来往车辆、行人等数量多，方向不定，周围环境复杂多变，目前还处在路测和试营业阶段，未来随着技术升级、成本下降、路测数据越来越丰富、法律法规更加完善明确，有望实现正式的商业化运营。

在载人自动驾驶领域，主要包括 Robotaxi、Robobus、Minibus，都基于 L4/L5 级别自动驾驶技术实现运营，其中 Robotaxi 主要在市政道路及高速上提供出租车/网约车服务，Robobus 主要在市政道路上提供公交车服务、Minibus 主要在封闭景区及限定园区提供摆渡车服务。

图表 22：2021 年中国载人场景三大类别概念范围界定

	Robotaxi	Robobus	Minibus
界定范围			
时速	~65km/h	~45km/h	~30km/h
技术	L4/L5	L4	L4
载客量	4-7 人	14 人+	5-23 人
出行距离	中/长途	中/长途	短途
限定场景	城市道路	城市道路	园区/景区/社区等
运营模式	出租车/网约车/专车	公交车/接驳车	摆渡车/接驳车

资料来源：亿欧，五矿证券研究所

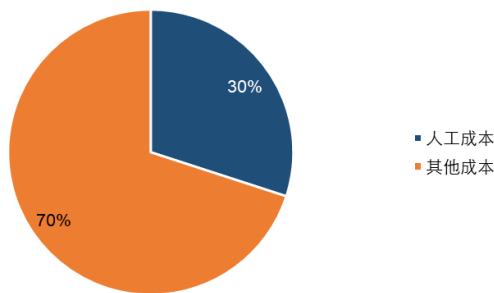
图表 23：中国自动驾驶出行工具应用场景

	L0-1	L2-3	L4	L5
市区道路	传统公共出行 传统私家车	传统公共出行 ADAS 辅助私家车	自动驾驶私家车 Robotaxi	Robotaxi Robobus 自动驾驶私家车
市郊大道	传统公共出行 传统私家车	传统公共出行 ADAS 辅助私家车	Robotaxi Robobus 自动驾驶私家车	Robotaxi Robobus 自动驾驶私家车
高速公路	传统私家车	ADAS 辅助私家车	Robotaxi 自动驾驶私家车	Robotaxi 自动驾驶私家车
限定园区	摆渡车	摆渡车	Robotaxi Robobus Minibus	Robotaxi Robobus Minibus
封闭景区	摆渡车	摆渡车	Minibus	Minibus

资料来源：亿欧，五矿证券研究所

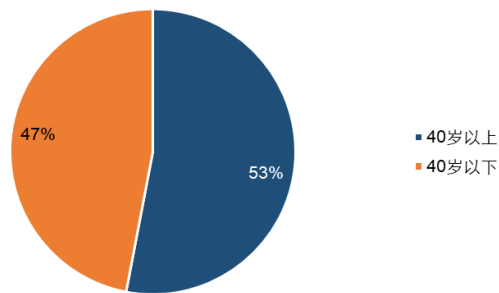
相比于传统有人驾驶，自动驾驶具有诸多优势，包括安全性高、成本低、效率高。在矿区、港口作业事故频发，自动驾驶可提升安全性、延长运行时间，不仅能缓解司机缺口大、人工成本高的问题，同时，在公路上有 90% 的交通事故是由司机人为造成，自动驾驶可以避免一些事故发生，避免拥堵，提升出行效率和安全性。

图表 24：2021 年中国商业运输成本结构



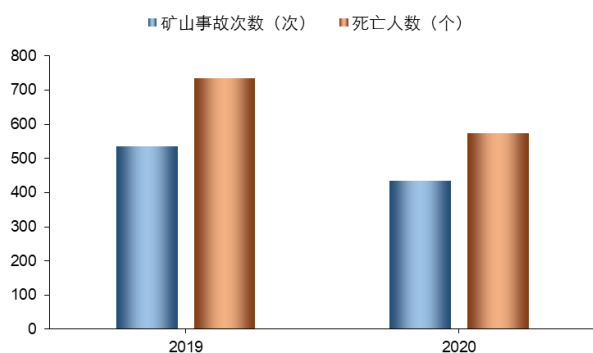
资料来源：亿欧，五矿证券研究所

图表 25：2020 年中国货车司机年龄



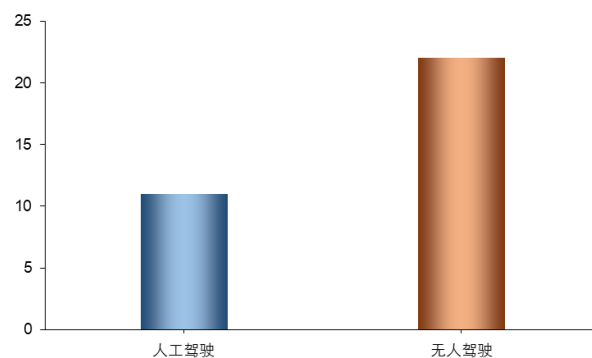
资料来源：亿欧，五矿证券研究所

图表 26：2019-2020 年中国矿山安全事故统计



资料来源：国家矿山安监局，亿欧，五矿证券研究所

图表 27：2021 年中国自动驾驶与人工驾驶每日运行时间 (h)



资料来源：亿欧，五矿证券研究所

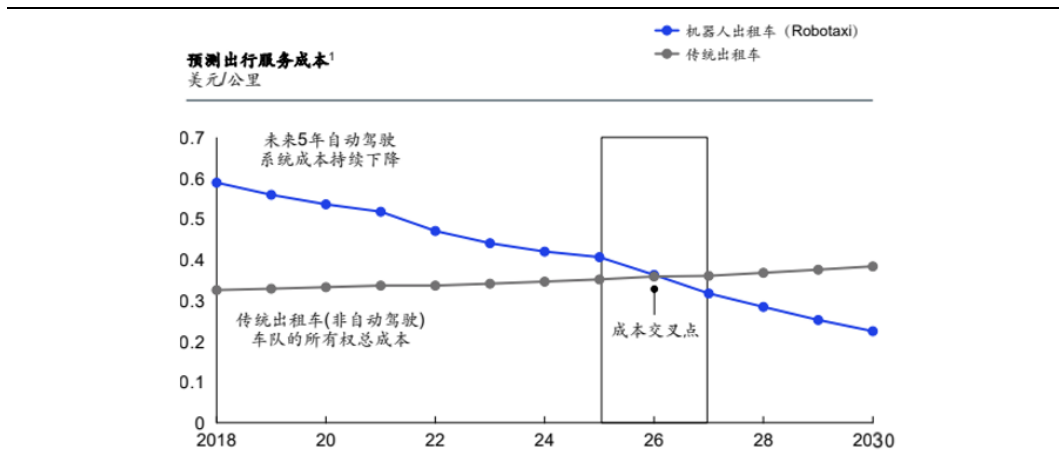
目前 Robotaxi 由于技术不是很成熟、改造费用较高，因此每公里的成本相比于有人驾驶出租车并没有优势，未来 5-10 年司机人力成本将会进一步增加，而自动驾驶系统改造成本会逐渐降低。根据 McKinsey 数据，预计在 2025-2027 年，Robotaxi 取消安全员并规模化部署后成本将迎来拐点，其应用将加速推广，带来出行服务的颠覆。

图表 28：有人驾驶出租车与 Robotaxi 成本对比

项目	有人驾驶出租车	Robotaxi	备注
行驶里程	60 万 km	60 万 km	以现有出租车 300km/天，每月 28 天，6 年报废计算
购车成本	10 万元	10 万元+10 万美元 (自动驾驶改造)	汇率按 7 估算
燃料成本	30 万元 (燃油) 9 万元 (电动)	9 万元 (电动)	燃油出租车 0.5 元/km 电动车 0.15 元/km
维修保养费用	9.6 万元	9.6 万元+2.8 万元 (30%自动 驾驶系统维保费用)	维修 500 元/次，5000km 一次 保养 300 元/次，5000km 一次
保险费用	6 万元	6 万元+1.8 万元 (30%自动 驾驶系统维保费用)	每年 1 万元
司机工资	57.6 万元	0	按每月 8000 元计算
总计成本	113.2 万元 (燃油) 92.2 万元 (电动)	109.2 万元	
平均	1.89 元/km (燃油) 1.53 元/km (燃油)	1.83 元/km	现有出租车收费约为 2.4 元/km

资料来源：《自动驾驶出租车商业化现状及挑战》，五矿证券研究所

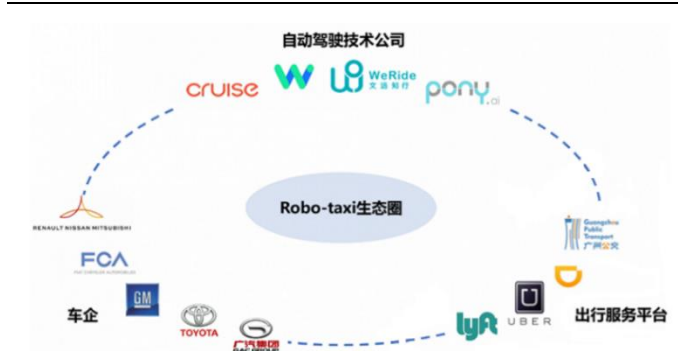
图表 29: Robotaxi 成本在 2025-2027 年将迎来拐点



资料来源: McKinsey, 五矿证券研究所

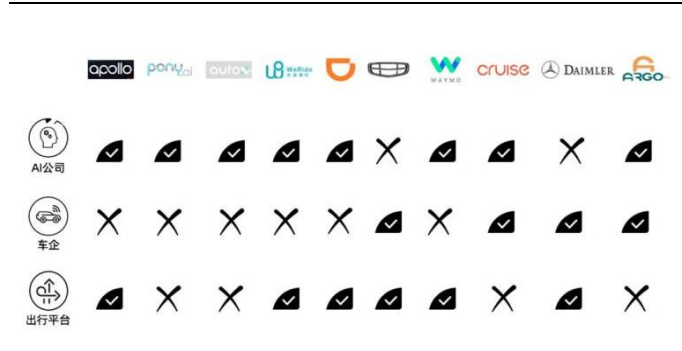
从商业模式上讲, 目前 Robotaxi 为铁三角模式, 即车企 (主机厂/一级供应商)、AI 公司、出行平台。车企具备雄厚的资本运作与扎实的整车制造能力, 负责提供一流的自动驾驶车辆平台和零部件产品; AI 公司是具备 L4 级自动驾驶解决方案、顶尖无人驾驶技术研发能力的企业; 出行平台包括网约车、出租车、按需公交等出行平台, 以及提供快递、物流等服务的货运平台。目前能同时打通车企 (主机厂/一级供应商)、AI 公司、出行平台三个环节的公司还没出现, 都只承担其中 1-2 个角色, 由于 Robotaxi 仍处于探索阶段, 各类企业之间合作共赢、优势互补仍是主旋律, 未来随着技术逐渐成熟, 可能会打破铁三角模式。

图表 30: Robotaxi 生态圈



资料来源: 车百智库, 五矿证券研究所

图表 31: 全球 Robotaxi 企业扮演的角色



资料来源: 汽车之家, 五矿证券研究所

图表 32：全球 Robotaxi 铁三角模式公司

	AI 公司	车企/一级供应商	出行平台
国内	百度 Apollo	一汽红旗、长安、北汽、奇瑞、林肯、戴姆勒、威马等	百度 ApolloGo
	小马智行	广汽、现代、丰田等	美国交通初创公司 Via 移动出行平台
	文远知行	广汽等	广州白云出租车汽车集团
	AutoX	东风、上汽、比亚迪、奇瑞、长城、FCA 等	高德地图
	元戎启行	吉利	曹操专车
	滴滴	大众、北汽、沃尔沃等	滴滴出行
国外	Cruise	通用	打车服务 Cruise Anywhere、Lyft、Uber
	Waymo	克莱斯勒、捷豹、FCA、沃尔沃等	Waymo One
	Argo AI	福特	Lyft
	博世	博世&戴姆勒母公司	戴姆勒移动出行公司

资料来源：汽车之家，五矿证券研究所

全球 Robotaxi 企业中,美国企业主要有 Waymo、Cruise、Lyft 等,中国企业主要有百度 Apollo、小马智行、AutoX、文远知行等。其中 AutoX 已经宣布其 Robotaxi 车队数量超过 1000 辆,成为中国乃至全球最大规模的全无人驾驶 Robotaxi 车队。测试里程方面,百度 Apollo 在 2021 年底已测试 1800 公里,是中国测试里程最长的公司。通用汽车旗下 Cruise、福特汽车旗下的 Argo AI、Zoox、Aurora、Mobileye 等公司也在推出 Robotaxi 计划或者转向商用车自动驾驶业务。

图表 33：中国自动驾驶载人场景 Top10 运营商发展现状概况

Robotaxi	国家	启动/首次运营时间	运营城市	车队规模(辆)	测试里程(万 km)	合作车企
Waymo	美国	2018 年 12 月	凤凰城、加州南湾	670+	-	克莱斯勒、捷豹、FCA、沃尔沃等
Cruise	美国	2017 年	旧金山、斯科茨代尔、沃伦	100+	-	通用
Lyft	美国	2018 年 5 月	迈阿密、奥斯汀	100+	-	福特
特斯拉	美国	-	-	-	-	特斯拉
小马智行	中国	2018 年 12 月	广州、北京、上海、深圳	300	800	雷克萨斯、广汽、丰田、现代等
AutoX	中国	2019 年 6 月	上海、深圳	1000	100	FCA、上汽、大众、比亚迪、林肯等
百度 Apollo	中国	2019 年 9 月	长沙、北京、沧州、广州、上海、深圳	500	1800	威马汽车、一汽红旗、极狐、广汽埃安等
元戎启行	中国	2019 年 10 月	深圳、武汉、杭州	100	100	林肯、东风等
文远知行	中国	2019 年 11 月	广州、武汉、南京、郑州	300	800	雷诺、日产、三菱等
滴滴	中国	2020 年 6 月	上海	100	100	沃尔沃、比亚迪、林肯等
Momenta	中国	2020 年 10 月	上海、苏州	-	-	林肯、上汽、丰田、通用等
蘑菇车联	中国	2021 年 3 月	北京、衡阳	-	-	东风
智行者	中国	2021 年 12 月	苏州	-	-	长安
享道出行	中国	2021 年 12 月	上海	30	-	上汽

资料来源：《自动驾驶应用场景与商业化路径》，亿欧，佐思汽研，五矿证券研究所

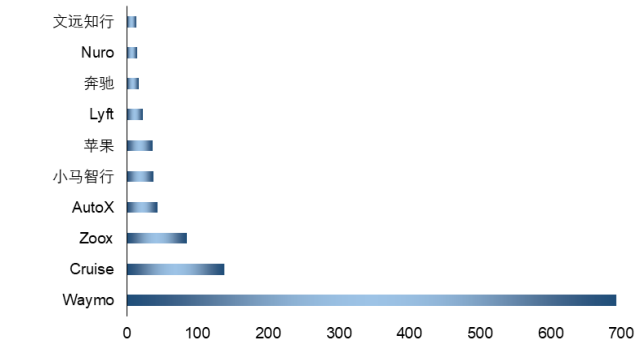
根据 DMV（美国加州交通管理局）发布的 2021 年全年自动驾驶数据，在加州进行公开自动驾驶测试的公司中，中国与美国头部自动驾驶公司继续占据排行榜前列。从车辆规模对比，Waymo 693 辆排名第一，而 MPI（接管里程数）作为自动驾驶核心衡量指标之一，是衡量自动驾驶技术是否成熟、稳定的指标，接管间隔里程越长，则意味着技术越好，并且测试车辆和里程越多，越有意义。中国 AutoX MPI 50108 英里排名第 1，美国 Cruise MPI 41179 英里排名第 2，中国滴滴 MPI 40744 英里排名第 3，MPI 前 10 名公司中，中国公司 5 家，美国公司 5 家，数量相当，但从 MPI 数据上，中国公司整体优于美国公司。

图表 34：2021 年 DMV 自动驾驶路测数据（有安全员）

排行	公司	国家	车辆数量 (辆)	路测里程 (英里)	脱离次数 (次)	平均脱离里程 (MPI) (英里)
1	Waymo	美国	693	2325843	292	7965
2	Cruise	美国	138	876105	21	41719
3	小马智行	中国	38	305617	21	14553
4	Zoox	美国	85	155125	21	7387
5	Nuro	美国	15	59100	23	2570
6	奔驰	德国	17	58613	272	215
7	文远知行	中国	14	57966	3	19322
8	AutoX	中国	44	50108	1	50108
9	滴滴	中国	12	40745	1	40745
10	Argo AI	美国	13	36734	1	36734
11	元戎启行	中国	2	30872	2	15436
12	英伟达	美国	6	28004	82	342
13	丰田	日本	4	13959	419	33
14	苹果	美国	37	13272	663	20
15	Aurora	美国	7	12647	9	1405
16	Lyft	美国	23	11200	23	487
17	轻舟智航	中国	2	6320	5	1264
18	Almotive	匈牙利	2	2976	106	28
19	Gatik AI	美国	3	1924	6	321
20	高通	美国	3	1635	143	11
21	百度 Apollo	中国	5	1468	1	1468
22	SF Motors	美国	2	875	61	14
23	日产	日本	5	508	17	30
24	法雷奥	法国	2	336	205	2
25	Easymile	法国	1	320	222	1
26	Udelv	美国	1	60	46	1
27	赢彻科技	中国	2	39	0	-
28	UATC	美国	3	14	31	0.5
合计			1179	4092385	2697	1517

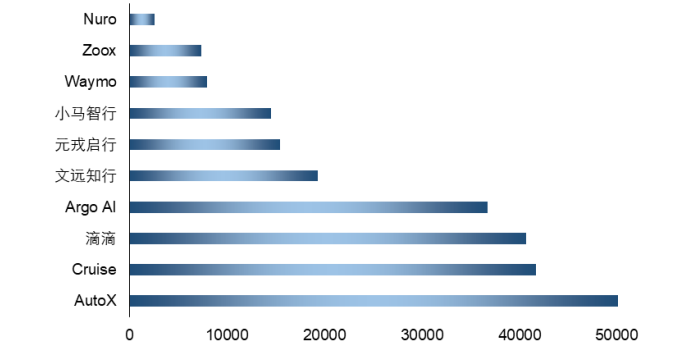
资料来源：DMV，五矿证券研究所

图表 35: 2021 年 DMV 自动驾驶车辆规模 Top10 (有安全员)



资料来源: DMV, 五矿证券研究所

图表 36: 2021 年 DMV 自动驾驶 MPI Top10 (英里) (有安全员)



资料来源: DMV, 五矿证券研究所

全球共有 8 家公司获得了 DMV 的全无人自动驾驶测试牌照, 包括 Waymo、Nuro、Cruise、Zoox、AutoX、百度 Apollo、小马智行和文远知行, 只有百度 Apollo、小马智行、通用 Cruise 和 Nuro 这 4 家公司提交了数据, 除了小马智行脱离 1 次之外, 其余 3 家公司均无脱离。

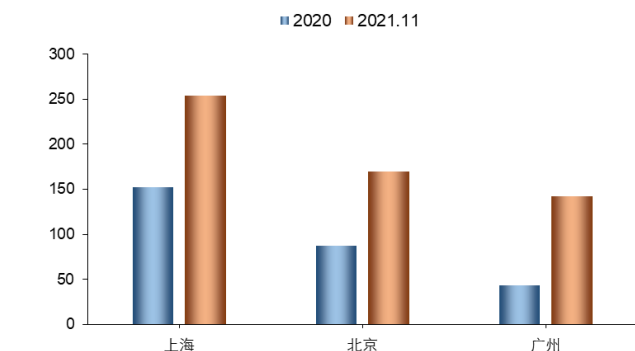
图表 37: 2021 年 DMV 自动驾驶 MPI (无安全员)

排名	公司	测试总里程 (英里)	脱离次数 (次)	车辆数量 (辆)	MPI (英里)
1	百度 Apollo	9546.6	0	3	无脱离
2	小马智行	9042.87	1	3	9042.87
3	Cruise	6365.6	0	20	无脱离
4	Nuro	9.38	0	17	无脱离

资料来源: DMV, 五矿证券研究所

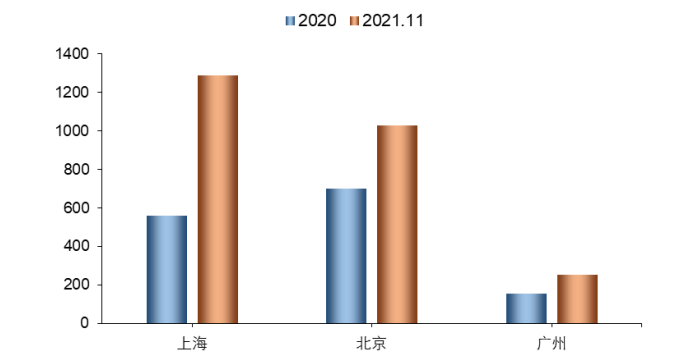
不仅在美国, 中国在自动驾驶运营方面也大力发展, 在牌照发放量、道路里程、Robotaxi/Robobus 运营商数量方面, 上海、北京、广州排名靠前, 此外, 深圳、武汉、苏州等城市也都有所布局。累计牌照发放量方面, 截至 2021 年 11 月, 上海 254 张, 北京 170 张, 广州 142 张。累计道路里程方面, 截至 2021 年 11 月, 上海 1290km, 北京 1028km, 广州 253km。Top3 城市(上海、北京、广州)载人场景运营商占比 53%, Robotaxi 运营商占比 59%, Robobus 运营商占比 36%。

图表 38: 2020-2021 年中国 Top3 城市自动驾驶累计牌照发放量 (张)



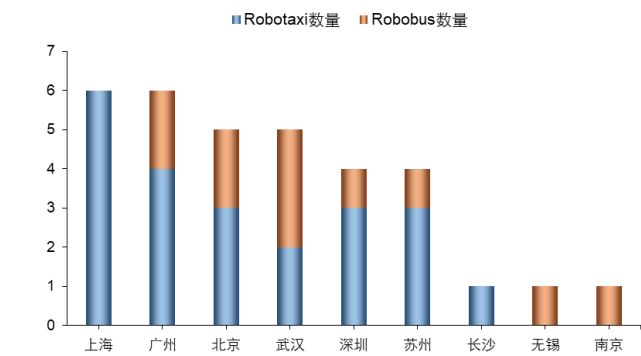
资料来源: 亿欧, 五矿证券研究所

图表 39: 2020-2021 年中国 Top3 城市自动驾驶累计道路里程 (km)



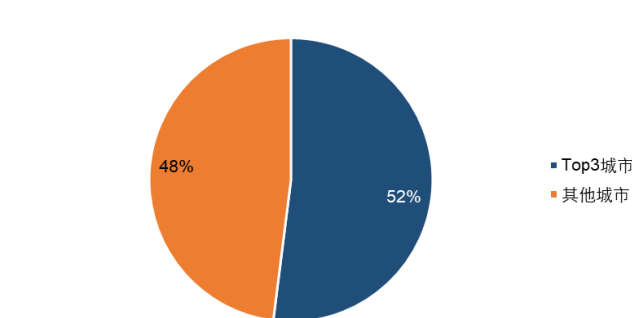
资料来源: 亿欧, 五矿证券研究所

图表 40：中国各城市示范区自动驾驶载人场景运营商数量（个）



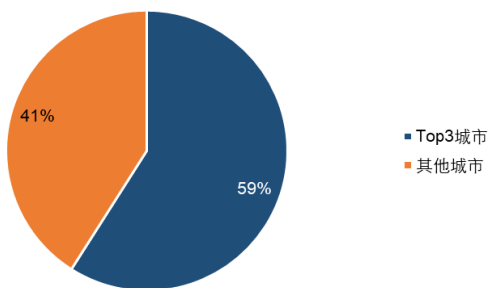
资料来源：亿欧，五矿证券研究所

图表 41：中国各城市示范区自动驾驶载人场景运营商占比



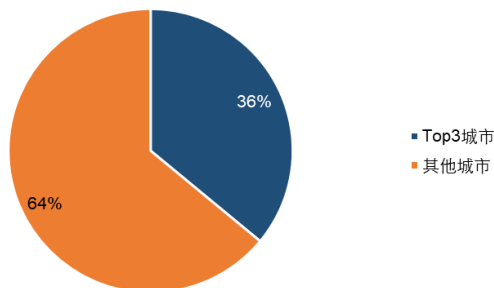
资料来源：亿欧，五矿证券研究所

图表 42：2021 年中国 Robotaxi 产业分布



资料来源：亿欧，五矿证券研究所

图表 43：2021 年中国 Robobus 产业分布



资料来源：亿欧，五矿证券研究所

虽然 Robotaxi 进展如火如荼，但是不可忽略的是，Robotaxi 在推广方面依然存在困难。首先就是商业闭环难以形成，由于自动驾驶汽车成本较高，Robotaxi 的价格基本是普通乘用车的两倍，大约为 50 万/辆，大规模采购势必需要投入大量资金，对于此类重资产投入模式，如果车辆数量不够多，用户约车等待时间过长，就难以吸引用户继续使用。其次还存在一些技术问题，以前几公里就会暴露出技术问题，现在可能要几万公里才会暴露出来，技术优化改进越来越困难，一些边缘场景更甚，对于载人驾驶，安全始终是第一位的，因此如果技术问题不能 100% 解决，就很难真正大范围推广。最后是中国城市道路建设改造较快，如果高精地图信息采集与更新不及时，也会带来隐患。因此，以上困难都是需要去进一步克服和解决的，如果 Robotaxi 无法做到城市级别的商业化运营，那么订单和市场规模就会受限，难以实现真正意义的商业化闭环落地。

2.2 感知层：智能车信息采集的“眼睛”和“触角”

驾驶是一项复杂的任务，需要对周围环境不断收集感知信息。当驾驶员暂时失去意识或缺少相关信息输入时，可能会出现致命事故。人类驾驶基本靠“本能”：不计算距离或速度，却能给出判断并执行。自动驾驶汽车和机器，是没有“本能”的，所有驾驶“决策”都是基于对感知信息（如距离、速度、颜色或形状）的实时计算。

因此，要实现自动驾驶系统，首先要解决的就是感知层信息采集的过程，自动驾驶感知系统会用到各种传感器，包括摄像头、超声波雷达、毫米波雷达、激光雷达、红外夜视，以及用

于定位和导航的 GNSS（全球导航卫星系统）和 IMU（惯性测量单元）。每种类型的感知技术都有优缺点，通过他们之间信息的充分融合，最终才能形成全面可靠的感知数据，供给决策与控制系统使用。

2.2.1 智车之“眼”：摄像头

车载摄像头的工作原理，是将采集好的图像转换为二维数据，然后对采集的图像进行模式识别，通过图像匹配算法识别行驶过程中的行人、车辆、交通标志等，最后依据目标物体的运动模式或使用双目定位技术，估算目标物体与本车的相对距离和相对速度。

相比于雷达等其他传感器，摄像头的优点是采集的数据量更多，也最接近人眼获取的周围环境信息，当前车载摄像头分辨率主要以 720P、1080P 为主，与人眼接近，并且技术成熟、成本低。但缺点同样明显，首先是基于视觉的感知技术受光线、天气影响较大，在恶劣天气和昏暗环境下性能难以得到保证；其次对物体的识别基于机器学习数据库，需要的训练样本大、训练周期长，也难以识别非标准物体；最后，广角摄像头存在边缘畸变，得到的距离准确度较低。

按照车载摄像头在整车中的应用，可分为前视、环视、后视、侧视以及内置 5 种类型。对于前视摄像头，双目相比单目性能更优，但是由于需要更高算力芯片支持，成本较高，难以快速普及，因此目前仍以单目为主。

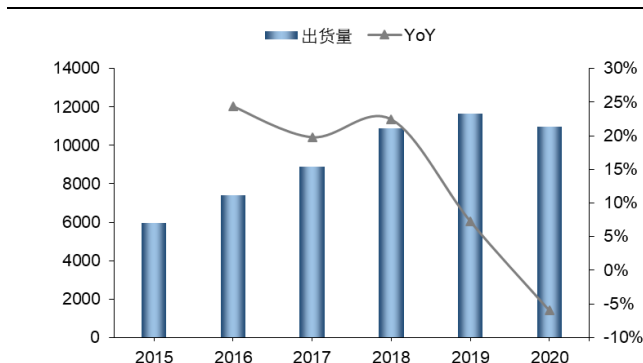
图表 44：车载摄像头整车应用

安装位置	摄像头类型	功能	概要
前视	单目/双目	FCW、LDW、TSR、ACC、PCW	视角一般为 45 度，双目摄像头拥有更好的测距功能但需要装在两个位置，成本较单目贵 50% 左右
环视	广角/单目	全景泊车、LDW	广角镜头，在车四周装配 4 个进行图像拼接实现全景图，加入算法可实现道路线感知
后视	广角/单目	后视泊车辅助	广角或鱼眼镜头，主要为倒车后视镜摄像头
侧视	广角/单目	盲点检测、代替后视镜	盲点检测主要使用超声波雷达，但目前也有使用摄像头代替
内置	广角/单目	闭眼提醒	广角镜头，一般装在车内后视镜处

资料来源：盖世汽车，五矿证券研究所

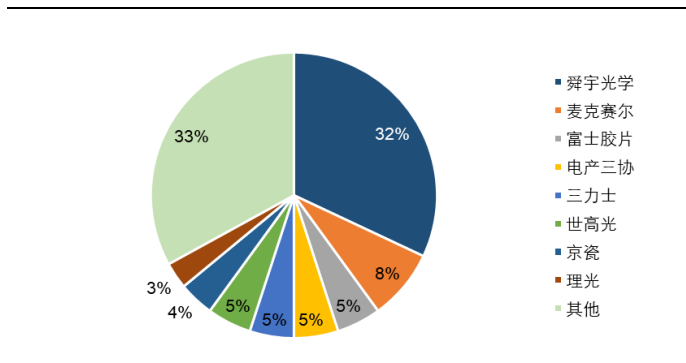
根据华经产业研究院数据，2015-2020 年，全球车载摄像头镜头出货量整体稳步上升，2015 年为 5961 万件，2019 年为 11664 万件，2020 年由于疫情影响，出货量略有下滑至 10964 万件。市场格局来看，以中国、日本厂商为主，舜宇光学占比 32%，排名第 1；麦克赛尔占比 8%，排名第 2；富士胶片占比 5%，排名第 3。

图表 45：2015-2020 年全球车载镜头出货量（万件）



资料来源：华经产业研究院，五矿证券研究所

图表 46：2020 年全球车载摄像头镜头市场格局

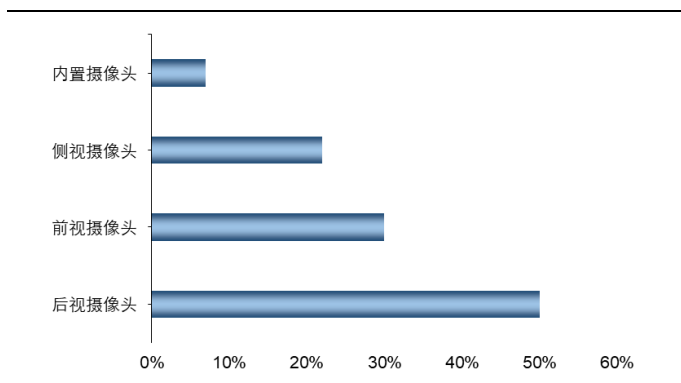


资料来源：华经产业研究院，五矿证券研究所

目前车载摄像头渗透率不高，根据 AI 车库数据，各类摄像头中，后视摄像头渗透率最高，为 50%；其次是前视摄像头 30%；侧视摄像头 22%；内置摄像头仅为 7%。单车平均搭载摄像头数量也将随着自动驾驶级别升级同步提升，L1/L2 级别为 3-5 颗，L3 级别大约为 8 颗，到了 L4/L5 级别将增加至 10-20 颗。整体而言，车载摄像头提升空间仍然较大。

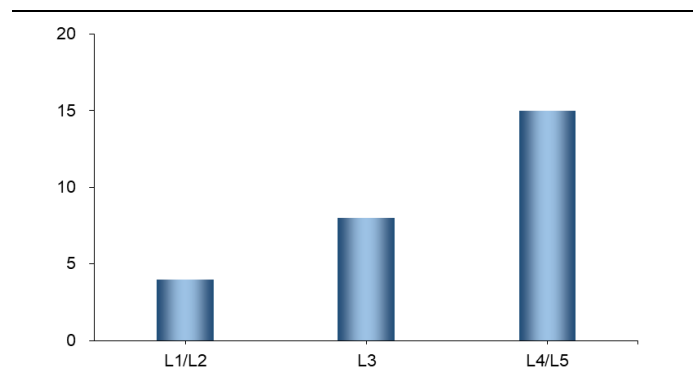
根据 ICV Tank 以及 360 Research Reports 等数据，2020-2025 年，全球车载摄像头市场规模将从 138 亿美元提升至 270 亿美元，CAGR 为 15.7%；中国车载摄像头市场规模将从 64 亿元提升至 230 亿元，CAGR 为 29.2%，车载摄像头市场前景广阔。

图表 47：2019-2020 年各类车载摄像头渗透率



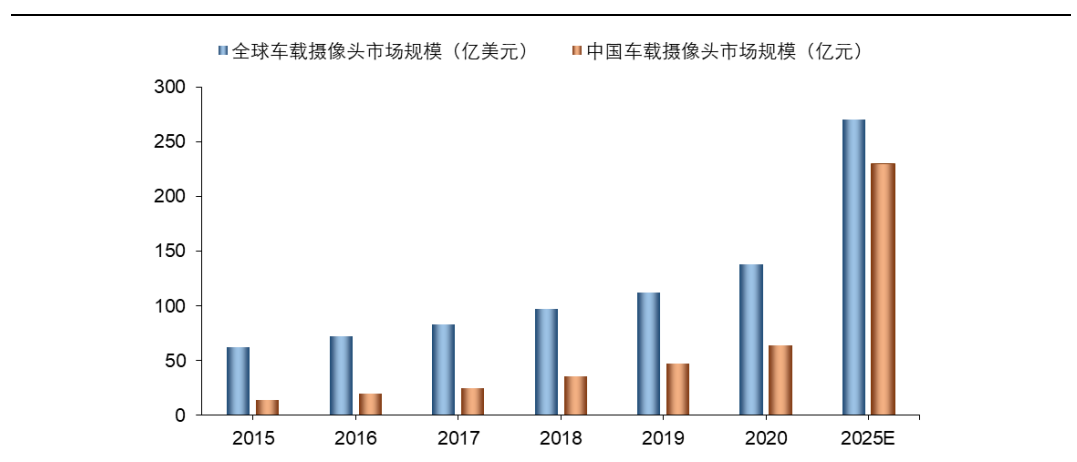
资料来源：AI 车库，五矿证券研究所

图表 48：不同级别自动驾驶汽车平均搭载摄像头数量（颗）



资料来源：前瞻产业研究院，五矿证券研究所

图表 49：2015-2025 年全球及中国车载摄像头市场规模



资料来源：ICV Tank，360 Research Reports，前瞻产业研究院，五矿证券研究所

车载摄像头包括镜头、模组、芯片、软件算法等。镜头厂商中，舜宇光学全球第 1，国内厂商联创电子和欧菲光亦有所布局；模组厂商中，国外厂商包括大陆、麦格纳、法雷奥，中国厂商有比亚迪、德赛西威、欧菲光等；CMOS 芯片中，安森美全球第 1，此外还有索尼、三星、韦尔股份（豪威科技）、思特威等；软件算法主要厂商有 Mobileye、地平线、极目等。

图表 50：车载摄像头主要组件及供应商

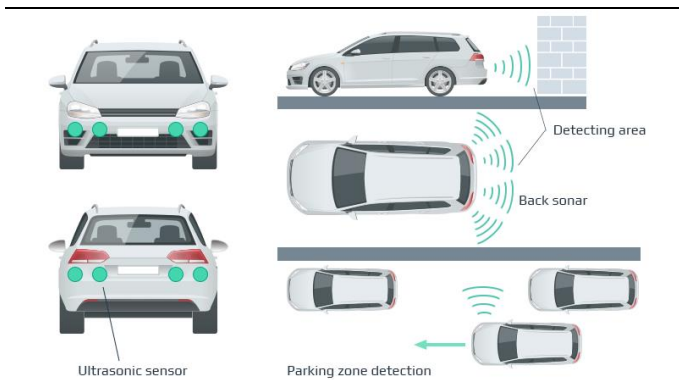
组件	供应商
光学镜头	舜宇光学、联创电子、欧菲光、福光股份、宇瞳光学等
模组	大陆、麦格纳、法雷奥、比亚迪、为森、德赛西威、欧菲光等
CMOS 芯片	安森美、索尼、三星、韦尔股份（豪威科技）、思特威等
软件算法	Mobileye、地平线、极目等

资料来源：旭日大数据，五矿证券研究所

2.2.2 智车之“角”：超声波雷达

超声波雷达的工作原理是发射并接收超声波（频率通常大于 20KHz），在空气中波长一般小于 2cm，根据时间差计算障碍物距离，探测距离在 0.1-10m 之间，优点是频率高、波长短、绕射现象小、方向性好、定向传播等，缺点是距离信息不精准，探测距离短，一般适用于对精度要求不高的场景，因此广泛用于泊车系统。常见超声波雷达分为 2 种，第 1 种是安装在前后保险杠上，用于测量前后障碍物距离的驻车或倒车雷达，称为超声波驻车辅助传感器（UPA），第 2 种是安装在侧面，用于测量侧方障碍物距离，称为自动泊车辅助传感器（APA）。通常 1 套汽车倒车雷达需要安装 4 个超声波传感器，而自动泊车系统则在原有基础上再增加 4 个 UPA 和 4 个 APA。

图表 51：超声波雷达位置及探测



资料来源：Intellias，五矿证券研究所

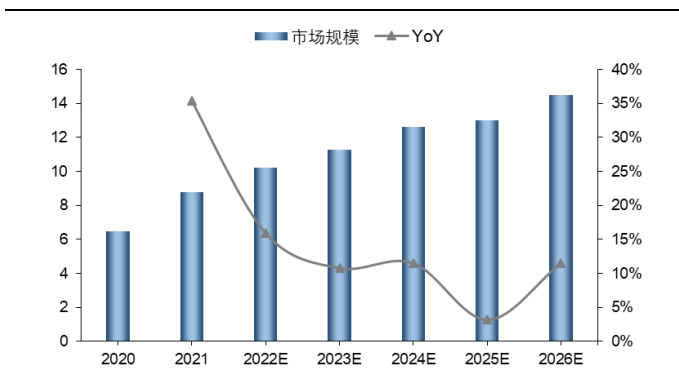
图表 52：自动泊车



资料来源：《自动驾驶技术概论》，五矿证券研究所

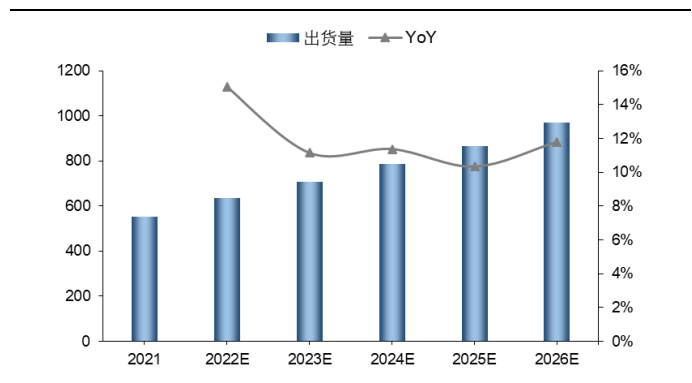
根据 ICV Tank 数据，全球超声波雷达以安装为口径来计算，2021 年市场规模为 88 亿美元，安装量为 5.5 亿颗，预计 2022 年将达到 102 亿美元，安装量为 6.4 亿颗，2026 年将达到 145 亿美元，安装量为 9.7 亿颗。

图表 53：2020-2026 年全球超声波雷达市场规模（十亿美元）



资料来源：ICV Tank，五矿证券研究所

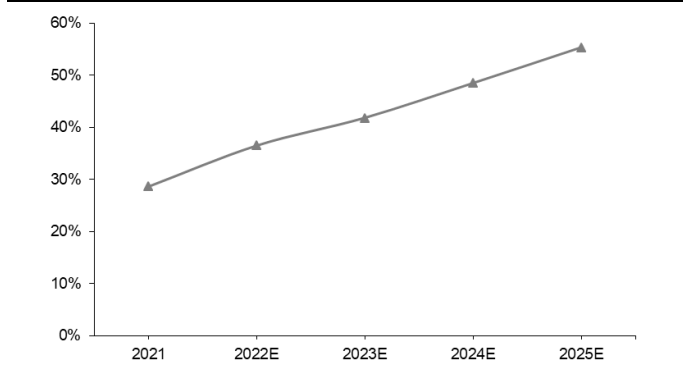
图表 54：2021-2026 年全球超声波雷达安装量（百万颗）



资料来源：ICV Tank，五矿证券研究所

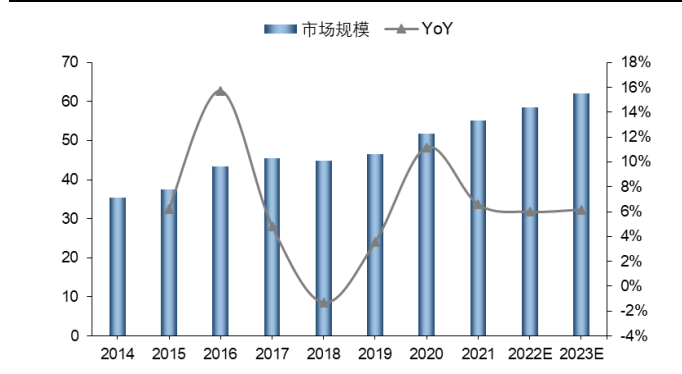
渗透率方面，根据 ICV Tank 数据，2021 年全球 12 颗超声波雷达的方案占比达到 28.6%，预计 2022 年将达到 36.5%，2025 年将达到 55.4%。根据 leadleo 和华经产业研究院数据，中国超声波雷达市场规模 2020 年为 51.7 亿元，预计 2023 年将达到 62 亿元。

图表 55：2021-2025 年全球 12 颗超声波雷达方案渗透率



资料来源：ICV Tank，五矿证券研究所

图表 56：2014-2023 年中国超声波雷达市场规模（亿元）

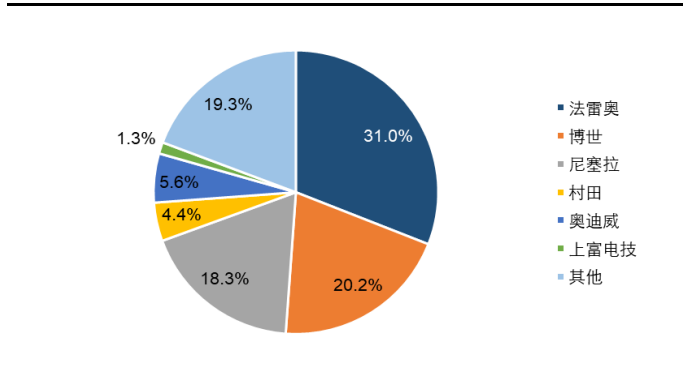


资料来源：leadleo，华经产业研究院，五矿证券研究所

全球超声波雷达厂商仍以国外厂商为主导，根据华经产业研究院数据，2018 年全球超声波雷达竞争格局中，法雷奥占比 31.0%，排名第 1；博世占比 20.2%，排名第 2；尼塞拉占比 18.3%，排名第 3；中国前装厂商奥迪威和上富电技分别占比 5.6% 和 1.3%，排名第 5 和第 6。

综合企业规模、资本实力、研发能力、经营能力、行业影响力、成长潜力等六个一级指标综合评判，根据高工智能汽车研究院数据，中国本土前装车载超声波雷达供应商 Top10 中，上富电技、豪恩汽电、奥迪威分列前 3 名。

图表 57：2018 年全球超声波雷达竞争格局



资料来源：华经产业研究院，五矿证券研究所

图表 58：2021 年中国车载超声波雷达竞争梯队 Top10

排名	公司	排名	公司
1	上富电技	6	海康汽车
2	豪恩汽电	7	重庆光大
3	奥迪威	8	辅易航
4	纵目科技	9	优保爱驾
5	晟泰克	10	苏州优达斯

资料来源：高工智能汽车研究院，五矿证券研究所

2.2.3 智车之“角”：毫米波雷达

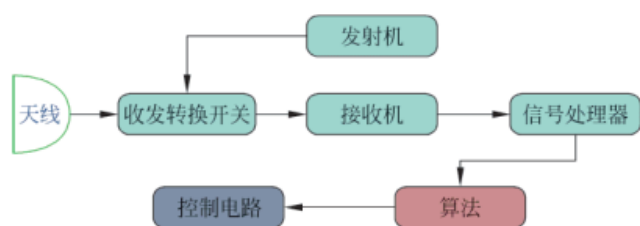
毫米波即电磁波，工作频率为 30-300GHz，波长 1-10mm，毫米波雷达测速和测距原理都是基于多普勒效应，通过入射波和反射波频率相减，得到二者差拍频率，通过判断差拍频率高低从而判断障碍物距离。

毫米波雷达的可用频段有 24GHz、60GHz、77GHz、79GHz，主流车载毫米波雷达使用 24GHz（用于中短距离雷达，15-30m）和 77GHz（用于长距离雷达，100-200m），相比于 24GHz，

77GHz 毫米波雷达在性能和体积上都更有优势，其探测物体分辨率可提高 2-4 倍，测速和测距精度可提高 3-5 倍，体积缩小了 1/3，更方便部署，并且带宽更大、功率更高、探测距离更远，因此未来趋势将逐渐从 24GHz 向 77GHz（76-81GHz）过渡。

毫米波雷达的优势在于不受天气影响，即使是恶劣天气和光照情况下也能正常工作，穿透烟雾、雨雪、灰尘能力强，具有全天候、全天时的工作特性，且探测距离远、精度较高、被广泛用于车载距离探测，具体应用包括自适应巡航、碰撞预警、自动紧急制动、盲区探测等。但劣势同样明显，包括无法识别物体颜色，视场角较小，需要多个雷达组合使用，同时对行人的反射波较弱，难以识别，并且对金属表面非常敏感，一个弯曲的金属表面会被误认为是一个很大面积的表面，在隧道里效果不佳。未来随着搭载毫米波雷达车辆增加，相近频率的毫米波会相互干扰、降低了信噪比、严重时甚至会使雷达“致盲”。

图表 59：毫米波雷达工作原理



资料来源：《自动驾驶技术概论》，五矿证券研究所

图表 60：毫米波雷达示意图

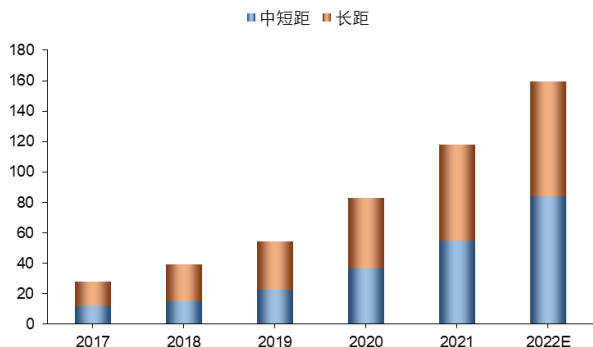


资料来源：《自动驾驶技术概论》，五矿证券研究所

根据 DIGITIMES Research 数据，全球毫米波雷达市场规模保持稳步增长态势，2021 年为 118.1 亿美元，其中中短距 55.1 亿美元，长距 63 亿美元，预计到 2022 年将达到 159.6 亿美元，其中中短距 84 亿美元，长距 75.6 亿美元。

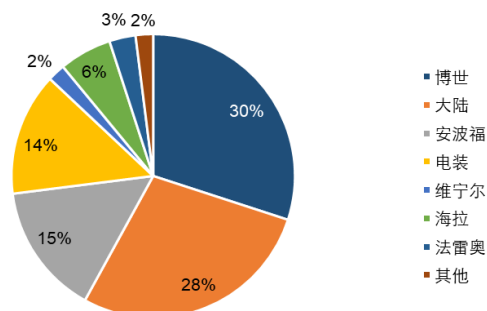
根据佐思产研数据，全球汽车毫米波雷达厂商主要为海外厂商，其中博世占比 30%，排名第 1；大陆占比 28%，排名第 2；安波福占比 15%，排名第 3。中国车载毫米波雷达行业起步较晚，行业仍处于初级发展阶段，走在前列的公司主要有华域汽车、德赛西威、纳瓦电子、智波科技、森思泰克、华为等。

图表 61：2017-2022 年全球毫米波雷达市场规模（亿美元）



资料来源：DIGITIMES Research，五矿证券研究所

图表 62：全球汽车毫米波雷达厂商市占率

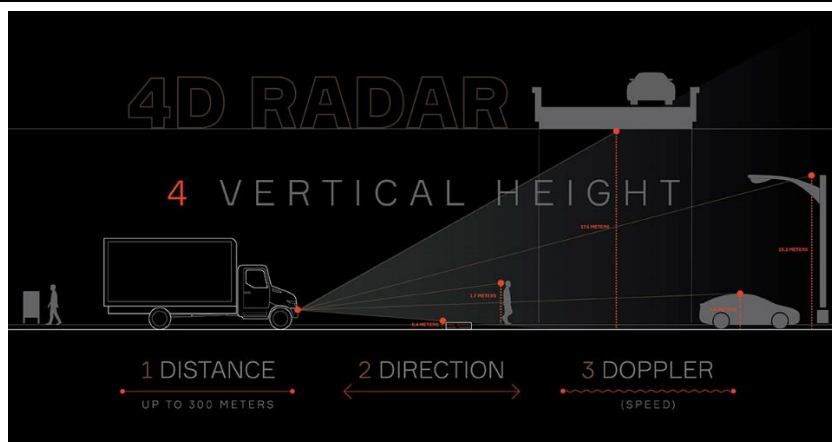


资料来源：佐思产研，五矿证券研究所

目前传统毫米波雷达仅可探测距离、方位以及速度三个维度，而最新的 4D 毫米波雷达在传统功能基础上，多出了高度这一维信息，即具备测高能力，因此可以有效地解析空中的天桥、路牌，地面的减速带、金属井盖等目标的轮廓和类别，进而感知传统毫米波雷达无法识别的细小物体、静止物体或者横向移动的障碍物等。此外，还提升了探测距离和点云密度，有望于 2022 年开启商用。

4D 毫米波雷达成本与传统毫米波雷达相近，但性能方面可媲美低线束激光雷达，在 L4/L5 级别自动驾驶将可能发挥重要作用，但是目前还处于发展早期，在未来自动驾驶多传感器融合方案中，至于是否能与激光雷达形成替代关系，目前尚无定论。目前已有多个厂商投入到 4D 毫米波雷达研发中，不仅有大陆、安波福、采埃孚等传统毫米波雷达巨头，也有 Mobileye、Waymo、华为等科技巨头，还有 Arbe、傲酷、华域汽车、森思泰克、纵目科技等新兴玩家。

图表 63：4D 毫米波雷达探测维度



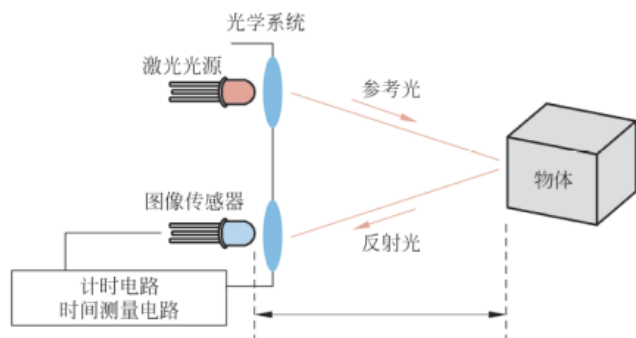
资料来源：APTIV，五矿证券研究所

2.2.4 智车之“角”：激光雷达

激光雷达通过发射激光，然后根据反射激光的时间差来探测物体的距离，探测距离可达 300m，工作频率为 100000GHz，波长集中在 600-1000nm 之间，由于其波长短精度高，可以探测物体距离和表面形状，测量精度可达厘米级。此外，还可用于车辆定位，自动驾驶汽车定位除了依赖 GNSS 系统，还依赖激光雷达生成的点云与数据库中的高精地图做对比，从而得出汽车所在精确位置，精度可达厘米级。

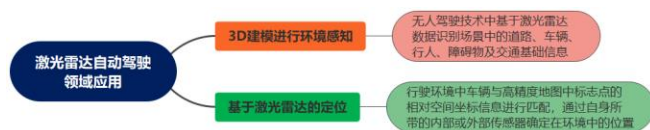
激光雷达的优势在于能够很好的探测障碍物的距离、大小、表面形状，提高了障碍物检测的准确性，算法比摄像头更为简单，抗有源干扰能力强，定向性好，测量距离远，时间短，大多数整车厂、Tier1 认为激光雷达是 L3 及以上级别自动驾驶必备的传感器。当然也存在一定劣势，包括在雨雪云雾天气下衰减严重，后期处理需要大量的坐标系转换，对硬件（CPU、GPU、FPGA）要求高，技术门槛和成本较高。

图表 64：激光雷达工作原理



资料来源：《自动驾驶技术概论》，五矿证券研究所

图表 65：激光雷达应用：环境感知+定位



资料来源：盖世汽车，五矿证券研究所

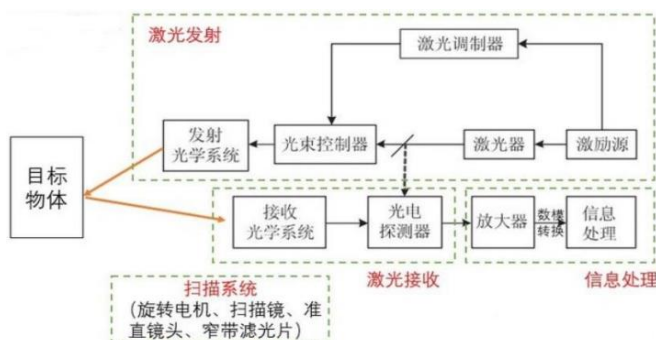
激光雷达产业链中，根据盖世汽车数据，上游包括激光发射、激光接收、扫描系统和信息处理，具体而言，激光发射包括激光器、发射光学系统；激光接收包括光电探测器、接收光学系统；扫描系统包括旋转电机、扫描镜、MEMS 微振镜；信息处理包括放大器、数模转换、FPGA。中游则是激光雷达的组装制造。下游应用较为广泛，包括无人驾驶汽车、地图测绘、无人机、军事领域等。

图表 66：激光雷达产业链



资料来源：长光华芯招股书，五矿证券研究所

图表 67：激光雷达核心模块



资料来源：汽车之家，五矿证券研究所

激光雷达的显性参数包含测远能力、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。

图表 68：激光雷达显性参数

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	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：禾赛科技招股书，五矿证券研究所

图表 69：激光雷达产业链主要厂商



资料来源：汽车人参考，前瞻产业研究院，五矿证券研究所

图表 70：激光雷达分类及产业链主要厂商

产业链	分类方式	类型	简介	代表公司	
				国外	中国
激光雷达	线数	单线	能够获取某单一视场角水平面上的目标物方位信息，以及目标物在径向上的距离信息，主要应用于扫地机器人等		
		多线	能够获取多个不同视场角水平面上的目标物方位信息，以及目标物在径向上的距离信息		
	测距原理	飞行时间法 (ToF)	Time of Flight，即飞行时间测距法。通过记录发射一束激光脉冲与探测器接收到回波信号的时间差，直接计算目标物与传感器之间距离的探测方法		
		调频连续波 (FMCW)	FMCW 为 Frequency Modulated Continuous Wave 的简称，即调频连续波技术。FMCW 激光雷达指利用调频连续波技术进行相干探测的激光雷达系统，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	SiLC、Insight LiDAR、Aeva、Strobe、Aurora (Blackmore)、Mobileye 等	禾赛科技、光匀科技、国科光芯等
		三角测距	系统以一定角度发射的激光照射在目标物后，在另一角度对反射光进行成像，根据物体在摄像头感光面上的位置通过三角几何原理推导出目标物距离的探测方法		
激光发射	激光器	边发射激光器 (EEL)	Edge Emitting Laser 的简称，即边发射激光器。是一种激光发射方向平行于晶圆表面的半导体激光器	Hamamatsu (滨松)、Lumentum、ams (Osram)、Manlight、Finsar、Fujitsu、II-VI、Coherent 等	光讯科技、纵慧芯光、长光华芯、炬光科技、瑞波光电、昂纳科技等
		垂直腔面发射激光器 (VCSEL)	Vertical Cavity Surface Emitting Laser 的简称，即垂直腔面发射激光器。是一种激光发射方向垂直于晶圆表面的半导体激光器		
		光纤激光器	光纤激光器采用掺稀土元素玻璃纤维作为增益介质，一般用作 1550nm 激光雷达光源	IPG、SPI、Rofin、nLIGHT、GSi、JDSU 等	锐科激光、创鑫激光、华必大、国神光电科技、上海瀚宇等
	光源	905nm	905nm 激光雷达接收器可以直接选用价格较低的 Si 材质，因此成本也更加可控，是当下最主流的激光雷达所选用的波长		
		1550nm	1550nm 激光雷达无法采用常规的 Si 吸收，而需要用到更加昂贵的铟镓砷 (InGaAs) 材质，因此在价格上较 905nm 激光雷达会贵出很多，同时可比 905nm 的光发射更大功率		
扫描系统	发射光学系统	准直镜	能将来自孔径栏中每一点的光线变成一束平行的准直光柱	Heptagon 等	蓝特光学、福晶科技、迈得特等
		扩散片	提供一个均匀的面光源		
		分束器	可将一束光分成两束光或多束光的光学装置		
	机械式		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	Velodyne、Argo、Quanergy、Ibeo、Ouster 等	禾赛科技、速腾聚创、镭神智能、华为、北科天绘、万集科技等
		MEMS 微振镜	MEMS 为 Micro-Electro-Mechanical System 的简称，即微机电系统。MEMS 微振镜为采用 MEMS 技术制造的谐振式扫描镜，把微型反射镜、MEMS 驱动器、MEMS 传感器集成在一起的光学微机电器件	Luminar、Innoviz、Ibeo、Cepton、Bosch、Valeo 等	禾赛科技、图达通、速腾聚创、一径科技、华为、镭神智能、北醒光子、北科

				天绘、万集科技等
	转镜	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	Valeo 等	禾赛科技、华为等
	棱镜	棱镜激光雷达也称为双楔形棱镜激光雷达，内部包括两个楔形棱镜，激光在通过第一个楔形棱镜后发生一次偏转，通过第二个楔形棱镜后再一次发生偏转。控制两面棱镜的相对转速便可以控制激光束的扫描形态		览沃科技（大疆）等
	光学相控阵（OPA）	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	Quanergy、Mobileye 等	探维科技、速腾聚创、镭神智能等
固态	闪光（Flash）	工作原理是在短时间内直接向前方发射出一大片覆盖探测区域的激光，通过高度灵敏的接收器实现对环境周围图像的绘制。Flash 激光雷达的原理类似于拍照，但最终生成的数据包含了深度等 3D 数据。由于结构简单，Flash 闪光激光雷达是目前纯固态激光雷达最主流的技术方案	Ouster、Ibeo 等	北科天绘、镭神智能等
	电子扫描	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		禾赛科技等
激光接收	PIN 光电二极管（PIN PD）	PIN 型光电二极管也称 PIN 结二极管、PIN 二极管，在两种半导体之间的 PN 结，或者半导体与金属之间的结的邻近区域，在 P 区与 N 区之间生成 I 型层，吸收光辐射而产生光电流的一种光检测器。具有结电容小、渡越时间短、灵敏度高等优点	Hamamatsu（滨松）、Sensi、ams（Osram）、STM、Sens-Tech、Excelitas、Aurea、First sensor、ON Semiconductor、Sony、broadcom 等	量芯集成、灵明光子、芯视界、中电科 44 所、芯思杰、夜视集团等
	线性雪崩光电二极管（APD）	Avalanche Photo Diode 的简称，即雪崩式光电二极管，工作在线性增益范围		
	单光子雪崩光电二极管（SPAD）	Single Photon Avalanche Diode 的简称，即单光子雪崩二极管，工作在盖革模式，具有单光子探测能力		
	硅光电倍增管（SiPM）	Silicon Photo-Multiplier 的简称，即硅光电倍增管。集成了成百上千个单光子雪崩二极管的光电探测器件		
接收光学系统	透镜	透镜是一种将光线聚合或分散的设备，通常是由一片玻璃构成		
	窄带滤光片	所谓窄带滤光片，是从带通滤光片中细分出来的，其定义与带通滤光相同，也就是这种滤光片在特定的波段允许光信号通过，而偏离这个波段以外的两侧光信号被阻止，窄带滤光片的通带相对来说比较窄，一般为中心波长值的 5% 以下	VIavi、Alluxa 等	水晶光电等
	分束器	分束器是可将一束光分成两束光或多束光的光学装置，它是大多数干涉仪的关键部分。通常是由金属膜或介质膜构成		
信息处理	放大器	把输入讯号的电压或功率放大的装置	ADI、TI、Intersil、Qorvo、onsemi、Skyworks、Microchip 等	圣邦股份等
	数模转换	数模转换器，又称 D/A 转换器，简称 DAC，它是把数字量转变成模拟的器件	Cirrus Logic、NEC、ADI、Wolfson、	云芯微、时代民芯等

		Renesas、TI 等	
主控芯片	FPGA	现场可编程逻辑门阵列（FPGA，Field Programmable Gate Array）是在 PAL（可编程阵列逻辑）、GAL（通用阵列逻辑）等可编程器件的基础上进一步发展的产物。它是作为专用集成电路（ASIC）领域中的一种半定制电路而出现的，既解决了定制电路的不足，又克服了原有可编程器件门电路数有限的缺点	AMD（Xilinx）、Intel（Altera）、Actel、Atrnel、Lettice、Avago 等 紫光国芯、国微电子、华微电子（成都）、智多晶、高云半导体等
	MCU	MCU 又称单片微型计算机或单片机，是将中央处理器（CPU）的频率与规格做适当缩减，并采用超大规模集成电路技术将内存计数器、USB、A/D 转换、UART、PLC、DMA 等周边接口，以及驱动电路集成到一颗芯片上，构成一个小而完善的微型计算机系统，能够为不同的应用场合做不同组合控制	
	DSP	DSP（Digital Signal Processing）即数字信号处理技术，指能够实现数字信号处理技术的芯片	
	SoC	SoC 为 System on Chip 的简称，即片上系统芯片。单片集成探测器、前端电路、波形数字化、波形算法处理等模块，能够实现光子输入、点云输出	

资料来源：汽车人参考，前瞻产业研究院，禾赛科技招股书，各公司官网，五矿证券研究所

不同技术特点对比及趋势：

1) 单线与多线

激光雷达按照线数来分，分为单线和多线。单线激光雷达是指激光源发出的线束是单线的，扫描出来就是一个二维平面的图（2D 激光），目前主要应用于机器人领域，以服务机器人人居多，可以帮助机器人规避障碍物。相比多线激光雷达，单线激光雷达在角频率及灵敏度上反应更快捷，扫描速度快、分辨率强、可靠性高，所以，在测试周围障碍物的距离和精度上都更加精准，同时成本更低。但单线雷达只能平面式扫描，不能测量物体高度，当前主要应用于我们常见的扫地机器人、送餐机器人以及酒店服务机器人身上。

多线激光雷达是指同时发射及接收多束激光的激光旋转测距雷达，市场上目前有 4 线、8 线、16 线、32 线、64 线、96 线、128 线等，多线激光雷达可以识别物体的高度信息并获取周围环境的 3D 扫描图，主要应用于无人驾驶领域，对于激光雷达而言，线束越多，对目标物的刻画越详细。

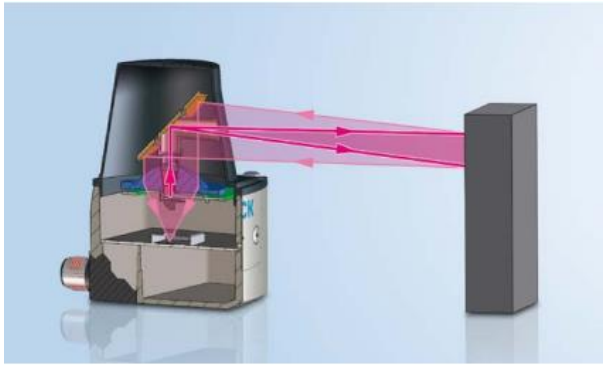
在无人驾驶领域，多线激光雷达主要有以下两个核心作用：

3D 建模及环境感知：通过多线激光雷达可以扫描到汽车周围环境的 3D 模型，运用相关算法对比上一帧及下一帧环境的变化，能较为容易的检测出周围的车辆及行人。

SLAM 定位加强：同步建图（SLAM）是其另一大特性，通过实时得到的全局地图与高精度地图中的特征物进行比对，能加强车辆的定位精度并实现自主导航。

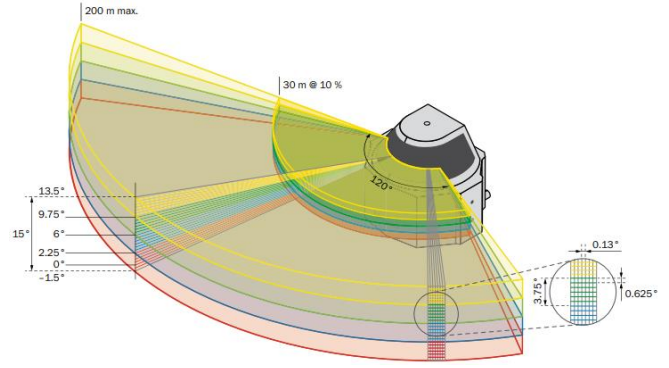
对于激光雷达而言，视场角（Field Of View, FOV）越大，能够探测的范围越广。多线激光雷达中，机械式水平视场角为 360°，混合固态/固态激光雷达水平视场角大约为 120°，垂直视场角大约为 25°-40°。

图表 71：单线（2D）激光雷达原理



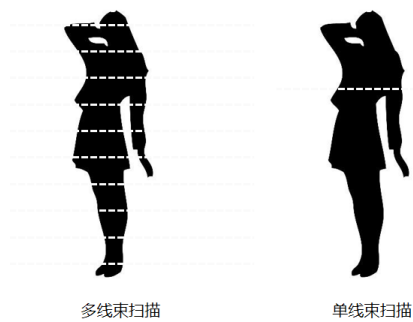
资料来源：LiDAR sensor functionality and variants，五矿证券研究所

图表 72：多线（3D）激光雷达光线图



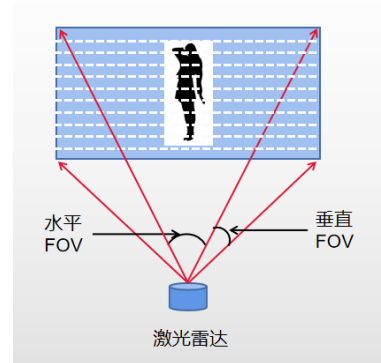
资料来源：LiDAR sensor functionality and variants，五矿证券研究所

图表 73：单线扫描 VS 多线扫描



资料来源：电子技术设计，五矿证券研究所

图表 74：水平与垂直视场角（FOV）



资料来源：电子技术设计，五矿证券研究所

2) ToF 与 FMCW

激光雷达按照测距方法的不同，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 在室外阳光下探测距离远（100~250m），更适合应用于车载激光雷达。目前市场车载中长距激光雷达的主流方案是 ToF，FMCW 激光雷达大多处于概念机的阶段，而且大多采用分立的光学组件，分立组件通常尺寸较大，随之而来的还有系统可靠性、生产成本、功耗等诸多问题，但 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。当前装载激光雷达车辆并不多，随着激光雷达渗透率提升，FMCW 抗干扰的优势就体现出来，此外整机和上游产业链日渐成熟亦将带动成本下降，因此 FMCW 激光雷达是未来发展的一大趋势。

图表 75: ToF 与 FMCW 性能对比

性能	TOF	FMCW
探测体制	直接探测	相干探测
抗干扰能力	差	极强
有效探测所需光子数	1000	10
工作距离	探测距离较近	可实现远距离探测
人眼安全等级	低	高
精确速度信息	无	有
固态扫描兼容性	不适用	完全兼容
毫米波雷达兼容性	不兼容	兼容
技术成熟度	成熟	发展中
技术复杂度	简单	复杂
硅光集成制造工艺	适用	适用
成本	低	高

资料来源: OFweek, 五矿证券研究所

3) EEL 与 VCSEL

对于激光雷达而言, 发射光源有很多种, 按工作介质不同, 激光器分为固体激光器、气体激光器、染料激光器、半导体激光器、光纤激光器和自由电子激光器 6 种。固体脉冲功率大, 转换效率最低 (10%)。气体激光器效率低 (20%)、功率低, 体积庞大, 但是可靠性好、光束质量高。半导体激光器光束质量较差, 但是转换效率高 (30%-40%), 功耗、体积和成本都适合车载应用。如果对光束质量要求高, 则可以采用半导体泵浦的光纤激光器 (转换效率 20%-30%)。目前常见的几种光源主要包括边发射激光器(EEL)、垂直腔面发射激光器 (VCSEL)、固体激光器以及光纤激光器等。

固体激光器采用固体激光材料作为增益介质, 是闪光式车载激光雷达(Flash LiDAR)技术路线的激光光源方案, 能够实现大角度视场 (如 $125^{\circ} \times 25^{\circ}$), 并且均匀照射, 满足车规级高低温、震动、寿命等可靠性要求, 常见于闪光式车载激光雷达 (Flash LiDAR)。

半导体激光器采用半导体材料作为增益介质, 一般是 GaAs, AlGaAs, InGaAs 等, 常见的有 EEL 和 VCSEL。EEL (Edge Emitting Laser) 是边发射激光器, 是一种激光发射方向平行于晶圆表面的半导体激光器, 波长以 905nm 为主, 常见于扫描式激光雷达, 包括机械式和 MEMS 激光雷达。VCSEL (Vertical-cavity Surface-emitting Laser) 是垂直腔面发射激光器, 是一种以半导体为基础的激光二极管, 从其顶面垂直发射高效光束, 制造工艺与 EEL 相兼容, 且大规模制造的成本很低, 生长结构更易于提高输出功率, 还为各种复杂设计提供了可能, 当前波长以 810nm、850nm 和 940nm 为主。

光纤激光器采用掺稀土元素玻璃光纤作为增益介质, 一般用作 1550nm 激光雷达光源, 1550 nm 配合调频连续波 (FMCW) 的技术, 不仅可以检测距离, 同时可以利用多普勒频移来测量物体的速度。

传统的 VCSEL 激光器存在发光密度功率低的缺陷, 导致只在对测距要求近的应用领域有相应的激光雷达产品 (通常<50m)。近年来国内外多家 VCSEL 激光器公司纷纷开发了多层结 VCSEL 激光器, 将其发光功率密度提升了 5~10 倍, 这为应用 VCSEL 开发长距激光雷达提供了可能, 此外 VCSEL 体积小, 结合其平面化所带来的生产成本和产品可靠性方面的收益,

VCSEL 未来将有望逐渐取代 EEL。

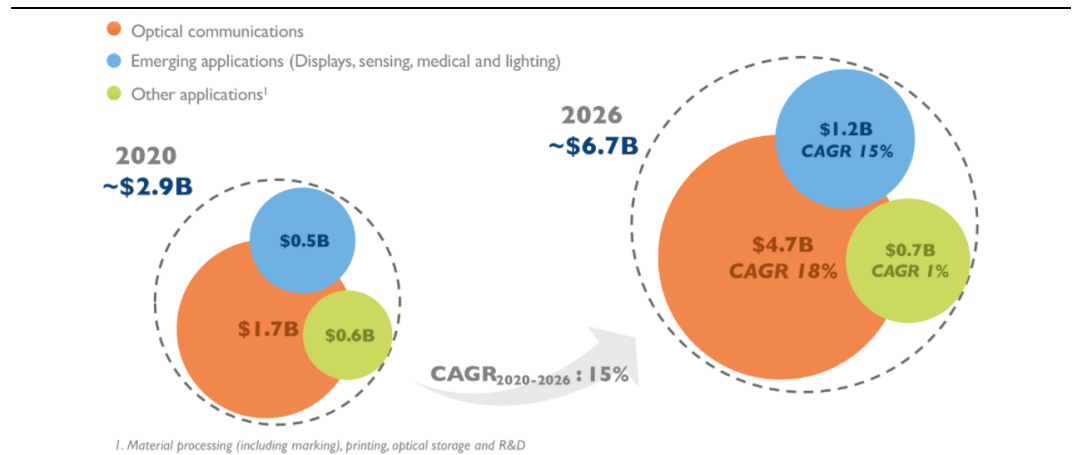
图表 76: EEL/VCSEL/光纤激光器对比

类别	EEL	VCSEL	光纤激光器
综合性能	均衡主流	低成本	高性能
探测距离	中	近	远
信号性能（噪声、谱宽、抗干扰）	中	中	好
阵列规模	小（巴条）	大（面阵）	无
成本	中	低	高
体积	中	小	大
LiDAR 体制	脉冲/连续波	脉冲/连续波	脉冲/连续波
适用激光雷达类型	机械式、MEMS、Flash	机械式、Flash	FMCW 1550nm
供应商	Osram	Lumentum	上海瀚宇

资料来源：汽车测试网，HONKON，Laser Lab Source，五矿证券研究所

目前 EEL 仍占据主流，根据 Yole 数据，2020-2026 年，全球 EEL 市场规模预计将从 29 亿美元增长到 67 亿美元，CAGR 为 15%。其中光通信规模最大，预计将从 17 亿美元增长到 47 亿美元，CAGR 为 18%；显示、传感、医疗和照明领域预计将从 5 亿美元增长到 12 亿美元，CAGR 为 15%。

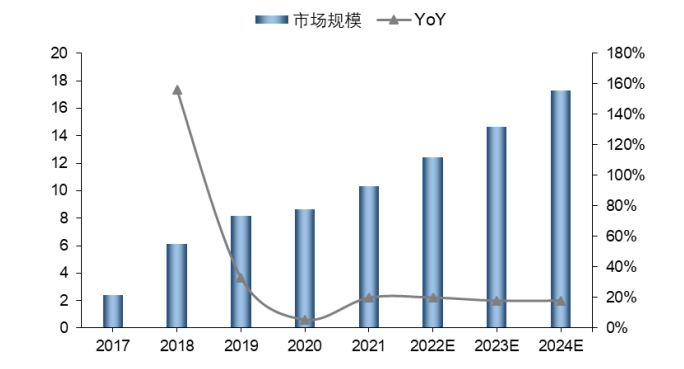
图表 77: 2020-2026 年 EEL 市场规模（分应用领域）



资料来源：Yole，五矿证券研究所

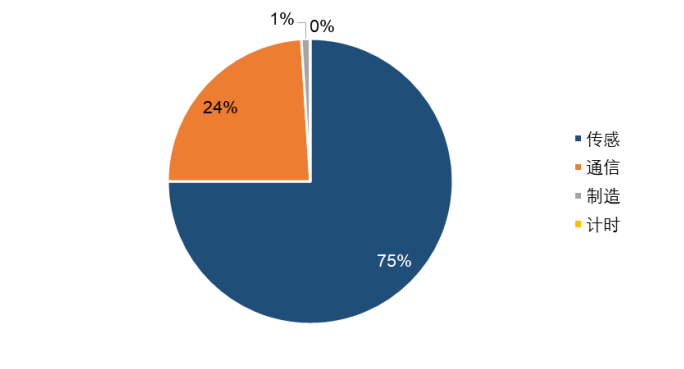
根据麦姆斯咨询数据，VCSEL 下游各应用领域中，传感占比最大，为 75%，其次是通信，占比 24%，此外还包括制造领域的工业热处理、激光打印，以及计时领域的原子钟等。对于传感应用的 VCSEL，2021 年市场规模为 10.3 亿美元，在手机、汽车等下游需求拉动下，预计到 2024 年将增长至 17.3 亿美元。

图表 78：传感应用的 VCSEL 市场规模（亿美元）



资料来源：麦姆斯咨询，五矿证券研究所

图表 79：2020 年 VCSEL 下游应用占比



资料来源：麦姆斯咨询，五矿证券研究所

随着汽车激光雷达的市场需求增长，多结 VCSEL 阵列成为全球领先厂商的重点布局产品。相比单结 VCSEL，多结 VCSEL 的优势在于：1) 提升 PCE（电光转换效率），降低功耗；2) 提供更高的功率密度，对光学系统设计更加友好；3) 提高斜率效率，对激光驱动器更加友好；4) 提供更高的峰值功率，扩大测距工作范围；5) 降低激光器的“每瓦成本（Cost per Watt）”。

传感应用的 VCSEL 供应商中，国外厂商主要有 Lumentum、II-VI、ams (Osram)、TRUMPF、博通等，中国厂商包括长光华芯、炬光科技、纵慧芯光、睿熙科技、华芯半导体、度亘激光、老鹰半导体、博升光电、柠檬光子、瑞识科技、新亮智能、仟目激光、乾照光电、华立捷等。

图表 80：传感应用的 VCSEL 发展趋势



资料来源：麦姆斯咨询，五矿证券研究所

图表 81：传感应用的 VCSEL 产业链

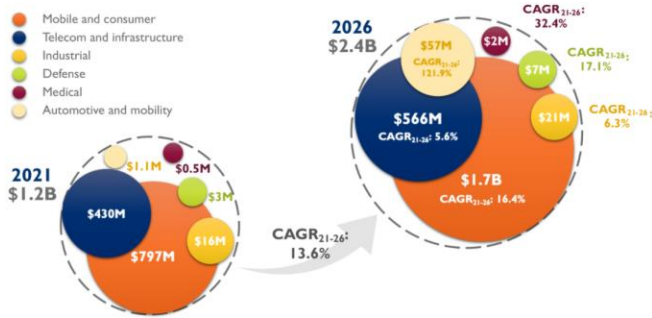


资料来源：麦姆斯咨询，五矿证券研究所

根据 Yole 数据，2021-2026 年，全球 VCSEL 市场规模预计将从 12 亿美元增长到 24 亿美元，CAGR 为 13.6%。其中手机等消费电子领域规模最大，预计将从 8.0 亿美元增长到 17 亿美元；汽车领域规模不大，但是增速最高，预计将从 110 万美元增长到 5700 万美元，CAGR 为 121.9%。

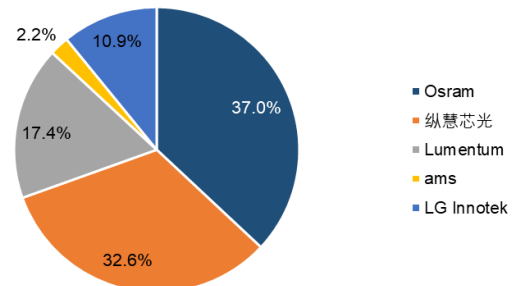
根据 Techno Systems Research 数据，2019 年全球智能机 TOF 镜头 VCSEL 厂商排名中，德国 Osram 占比 37%，排名第 1；纵慧芯光占比 32.6%，排名第 2，同时也是中国排名第 1 的厂商；美国 Lumentum 占比 17.4%，排名第 3；韩国 LG Innotek 占比 10.9%，排名第 4；奥地利 ams 占比 2.2%，排名第 5（ams 已于 2020 年 7 月收购 Osram）。

图表 82：2021-2026 年 VCSEL 市场规模（分应用领域）



资料来源：Yole，五矿证券研究所

图表 83：2019 年全球智能机 TOF 镜头 VCSEL 厂商市占率



资料来源：Techno Systems Research，五矿证券研究所

4) 905nm 与 1550nm

由于要避免可见光对人眼的伤害，激光雷达选用的激光波长有两种选择，一个是 1000nm 内的，典型值是 905nm，可以用 Si 做接收器，成本低且产品成熟，尺寸也相对较小，是大多数激光雷达厂商更倾向的选择；但是其抗天气干扰能力却偏弱，对雨雾的穿透力不足，最重要的是 905nm 激光源在人眼安全方面存在风险。在实际使用过程中，如果要提升激光雷达的探测距离，就必须提高发射激光的功率，从而发射更强的光脉冲，虽然 905nm 激光属于不可见光，但当其直射人类眼球，并具有足够的能量时，就会损伤人类的视网膜。因此，以 905nm 激光为激光源的激光雷达必须在探测距离与人眼安全之间进行权衡。

还有一种是 1000-2000nm 之间的，典型值是 1550nm，这个波段 Si 无法探测，需要用 Ge 或者 InGaAs 探测器，成本会更高些，1550nm 激光源的波长更长，能量更低，其在光谱红外线部分距离可见光波段更远，因此对人眼不会有太大的危害。这也就意味着，以 1550nm 激光为激光源的激光雷达可以以更高的功率发射激光进行探测，目前 Luminar、图达通、镭神科技、一径科技、北醒光子等公司纷纷布局了 1550nm 激光。一般情况下，1550nm 激光雷达的激光器功率约为传统 905nm 激光雷达的 40 倍，但由于 1550nm 激光雷达采用铟镓砷 (InGaAs) 近红外探测器，比 905nm 所使用的硅基光电探测器更昂贵，因此 1550nm 激光雷达的生产成本也相对较高。

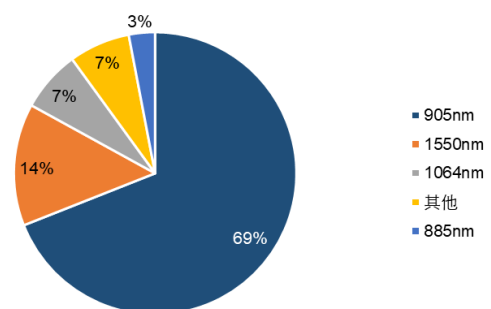
目前 905nm 由于成本优势，仍然占据主导地位，根据 Yole 数据，905nm 占比 69%，1550nm 占比 14%。未来随着对探测距离要求提升，以及量产带来的成本降低，1550nm 有望获得更广泛应用。

图表 84：905nm VS 1550nm 激光器性能对比

参数	905nm EEL	1550nm EEL	1550nm 光纤激光器
峰值功率	+	0	++
光束质量	+	+	++
紧凑性	++	+	0
工作温度范围	++	+	0
低成本	++	+	0
不易被水汽吸收	+	0	0
人眼安全	+	++	++

资料来源：LEDinside，五矿证券研究所

图表 85：汽车激光雷达各光源波长市占率



资料来源：Yole，五矿证券研究所

5) 机械式、混合固态、固态

按照扫描方式的不同，激光雷达分为机械式、混合固态和固态激光雷达。

机械式激光雷达是在自动驾驶汽车上最先应用的激光雷达产品，顾名思义，就是通过部件的机械旋转来完成激光扫描的，通过持续旋转发射部件，原本呈线状扫描的激光束实现了面状扫描，进而达到了全方位的 3D 扫描。机械式激光雷达具有扫描速度快、接收视场小、可承受激光功率高的优势。如今机械激光雷达技术相对成熟，但价格昂贵。

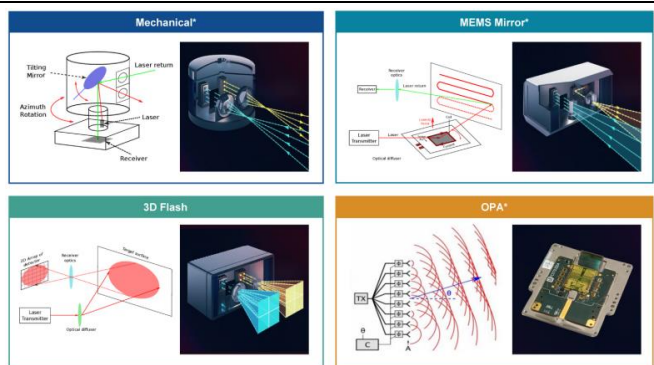
混合固态激光雷达的激光收发模块是不运动的，只有扫描模块在运动。按扫描模块的运动方式划分，混合固态又分为 MEMS、转镜式和棱镜式三种。

固态激光雷达则完全取消了机械式扫描机构，完全通过电子的方式完成水平和垂直方向上的扫描，内部结构没有任何运动部件，可靠性高、耐久性强，大大缩小了激光雷达的体积和价格，具体又分为光学相控阵（OPA）和闪光（Flash）两种。未来随着技术逐渐走向成熟，有望成为自动驾驶的标配。

目前机械式激光雷达仍占据主流，根据 Yole 数据，机械式占比 66%，混合固态 MEMS 占比 17%，固态 Flash 占比 10%，其他占比 7%。

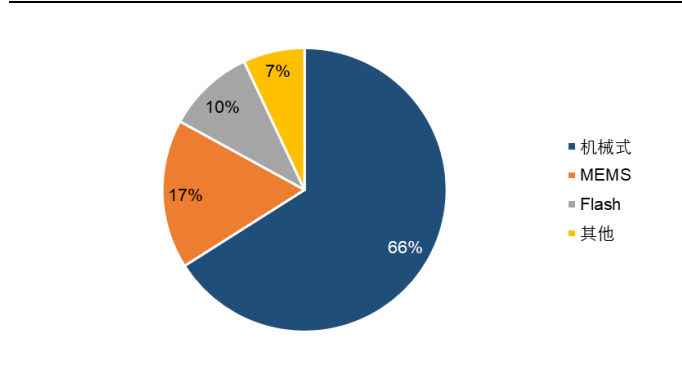
我们认为，机械式激光雷达技术相对成熟，但是成本高、体积大、可量产性低，并不太适合未来的自动驾驶。混合固态激光雷达目前技术相对成熟，能兼顾成本、性能、车规等要求，但抗冲击可靠性存疑，长远来看，仅属于过渡产品。固态激光雷达中，Flash 受限于元器件性能，无法实现远距离探测，OPA 技术壁垒高，但长远看，固态激光雷达结构简单、尺寸小、扫描精度高、扫描速度快，固态化、小型化、低成本化将是未来激光雷达的发展趋势，未来随着成本逐步降低，固态激光雷达有望成为主流应用。

图表 86：各类激光雷达工作原理



资料来源：Chip Scale Review，五矿证券研究所

图表 87：汽车激光雷达各扫描方式市占率



资料来源：Yole，五矿证券研究所

图表 88：各类激光雷达方案对比

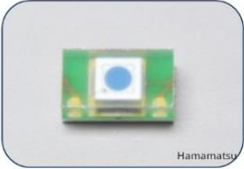
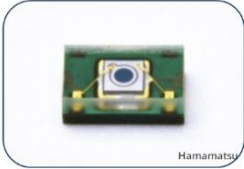
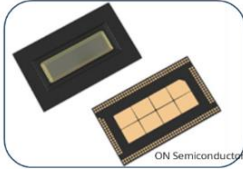
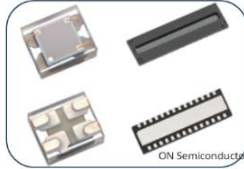
种类	技术方案	技术特点	优点	缺点	代表厂商
机械式	通过电机带动收发阵列进行整体旋转，实现对空间水平 360°视场范围扫描		技术成熟、可实现 360°探测、扫描速度快、精度较高	体积大、重量大、寿命短、可靠性低、成本高、稳定性差、可量产性低	Velodyne、禾赛科技、北科天绘
混合固态	MEMS	采用微振镜反射激光器光线	体积小、成本较低、运动部件少、一致性好	成熟方案较少、对微振镜要求很高、探测角度有限、寿命较短、激光功率较低、有效距离较短	Innoviz、图达通、速腾聚创
	转镜	电机带动转镜运动，收发模块保持不动	精度较高、成本较低、功耗低	探测距离短、信噪比低、探测角度受限	Valeo、禾赛科技、华为
	棱镜	采用棱镜转动，进行非重复式扫描	体积小、稳定性高、可靠性高、点云密度高、探测距离远	无法实现 360°探测、比 MEMS 方案体积大、机械结构复杂、零部件易磨损	览沃科技（大疆）
固态	OPA	通过移相器相位的调节，利用相干原理实现激光按特定方向发射	无机械结构、体积小、寿命长、可靠性高、精度高、扫描速度快、抗震性好	目前方案精度无法保证、阵列间容易互相干扰、加工难度大、成本较高、扫描角度有限	Quanergy、Mobileye、探维科技、速腾聚创、镭神智能
	Flash	采用短时间发射大覆盖面阵激光，以高灵敏探测器完成图像绘制	无机械结构、体积小、结构简单、寿命可靠性高	功率密度低、分辨率低、探测距离短、视场角受限	Ouster、Ibeo、北科天绘、镭神智能
FMCW		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	探测灵敏度高、精度高	技术复杂、成熟度低	SiLC、Insight LiDAR、Aeva、禾赛科技、光匀科技、国科光芯

资料来源：CSDN，半导体行业观察，五矿证券研究所

6) 探测器 APD 与 SPAD/SiPM

市场上的光电探测器类型有 PIN 二极管、线性雪崩光电二极管 (APD)、单光子雪崩光电二极管 (SPAD) 和硅光电倍增管 (SiPM)。与 PIN 和 APD 相比，SPAD 和 SiPM 基于盖革模式，具有供电电压低、一致性极好、灵敏度高、增益高等优势。SiPM 是由多个 SPAD 微单元组成，具有很高的动态范围，可以用作光子计数器。SiPM 能在明亮的阳光条件下进行长距离测距时提供最佳的信噪比性能。其他优势包括较低的电源偏置和较低的温度变化敏感性，采用大批量 CMOS 工艺生产，可实现最低的探测器成本。从市场发展趋势来看，未来将更多采用 SPAD 和 SiPM 作为探测器。

图表 89：激光雷达探测器性能对比

 PIN 二极管 ✓ 低电压 ✓ 一致性好 ✗ 零增益 !! 线性模式 ↓ 市场采用趋势	 线性雪崩光电二极管 (APD) 及其阵列 ✗ 高电压 ✗ 一致性差 ✓ 增益中等 (10²) !! 线性模式 ↓ 市场采用趋势	 单光子雪崩光电二极管 (SPAD) 及其阵列 ✓ 低电压 ✓ 一致性极好 ✓ 增益很高 (10⁶) ✓ 盖革模式-单光子 ↗ 市场采用趋势	 硅光电倍增管 (SiPM) 及其阵列 ✓ 低电压 ✓ 一致性极好 ✓ 增益很高 (10⁶) ✓ 盖革模式-多光子 ↗ 市场采用趋势
---	--	---	--

资料来源：滨松，ON Semiconductor，五矿证券研究所

图表 90：激光雷达探测器性能对比

类别	PIN	APD	SPAD	SiPM
综合性能	低成本	均衡主流	原型开发	脉冲方案
探测距离	近	中	远	远
信号性能 (噪声、谱宽、抗干扰)	好	好	差	差
阵列规模	超大 (CMOS/CCD)	小 (线阵)	小	大 (线阵或面阵)
成本	非常低	中	中	单位成本低
体积	小	中	中	单位面积小
LiDAR 体制	脉冲/连续波	脉冲/连续波	脉冲	脉冲
供应商	索尼	滨松	SensL	SensL

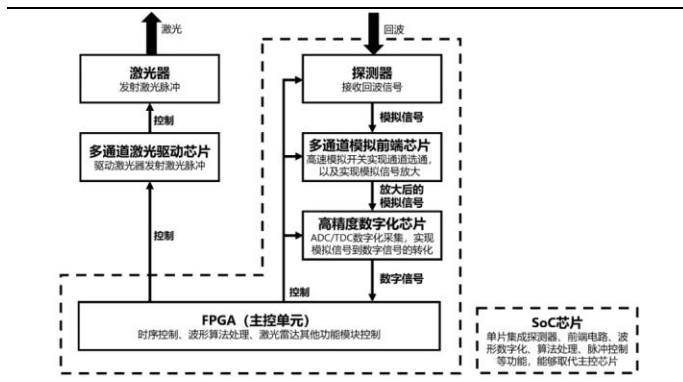
资料来源：汽车测试网，五矿证券研究所

7) 主控芯片 FPGA 与 SoC

目前激光雷达主控芯片以 FPGA 为主，主要实现时序控制、波形算法处理、其他功能模块控制等，但随着市场对激光雷达产品的测远能力以及点频的要求不断提升，需要进行技术的改进，从而实现核心收发芯片的升级换代，提升能量利用率，用更少的能量实现更远的单点测距能力。

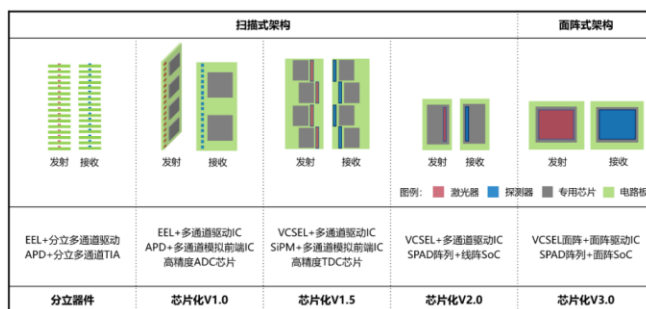
SoC 芯片的优势在于能够集成光电探测器、前端电路、算法处理、激光脉冲控制等功能模块，显著降低系统复杂度和成本，因此适合进行大规模批量化生产，未来将有条件取代主控单元 FPGA，进一步提升系统性能和集成度。

图表 91：激光雷达专用芯片及功能模块示意图



资料来源：禾赛科技招股书，五矿证券研究所

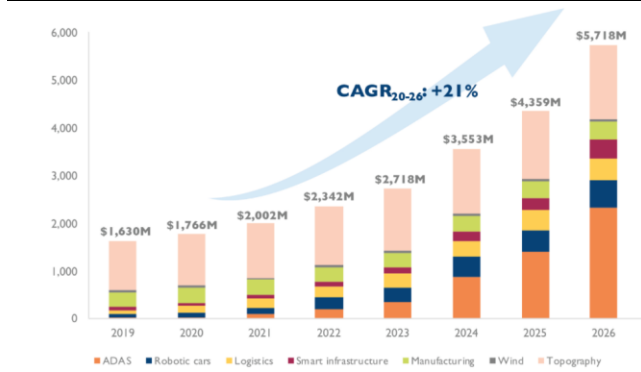
图表 92：禾赛科技芯片化发展路线



资料来源：禾赛科技招股书，五矿证券研究所

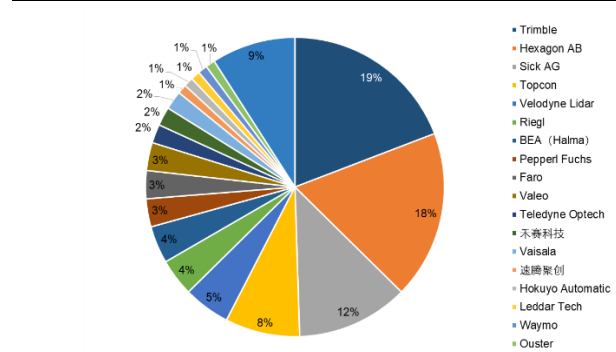
根据 Yole 数据，受下游需求拉动，全球激光雷达市场规模稳步增长，2021 年为 20 亿美元，预计 2022 年将达到 23.4 亿美元，2026 年将达到 57.2 亿美元，2021-2026 年 CAGR 为 23.4%。各厂商排名中，Trimble 占比 19%，排名第 1；Hexagon AB 占比 18%，排名第 2；中国厂商禾赛科技和速腾聚创占比分别为 2%和 1%。

图表 93：2019-2026 年全球激光雷达市场规模（百万美元）



资料来源：Yole，五矿证券研究所

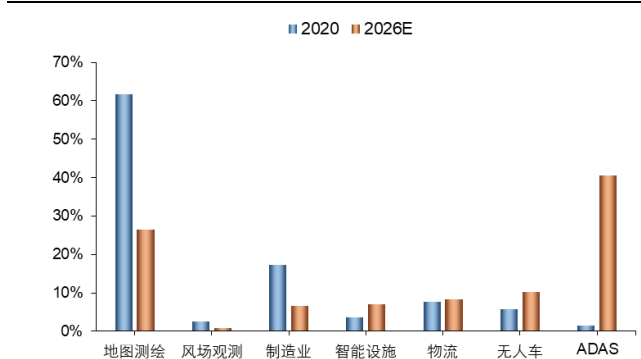
图表 94：2020 年全球激光雷达厂商市占率



资料来源：Yole，五矿证券研究所

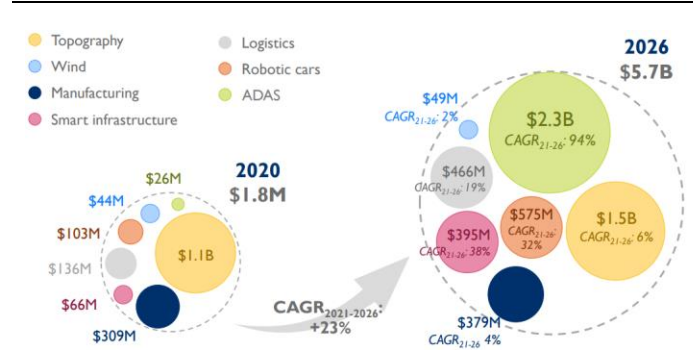
根据 Yole 数据，从下游应用占比来看，2020 年最大的是地图测绘，占比 61%；其次是制造业，占比 17.2%。但是从增长潜力来看，增速最快的 3 个领域分别是 ADAS、智能设施和无人车。其中 ADAS 将从 0.26 亿美元增长到 23 亿美元，CAGR 为 94%，是增长最快的下游应用领域，2026 年占比将达到 40.4%，排名第 1；智能设施将从 0.66 美元增长到 4.0 亿美元，CAGR 为 38%；无人车将从 1.0 亿美元增长到 5.8 亿美元，CAGR 为 32%。

图表 95：2020-2026 年全球激光雷达各下游应用领域占比



资料来源：Yole，五矿证券研究所

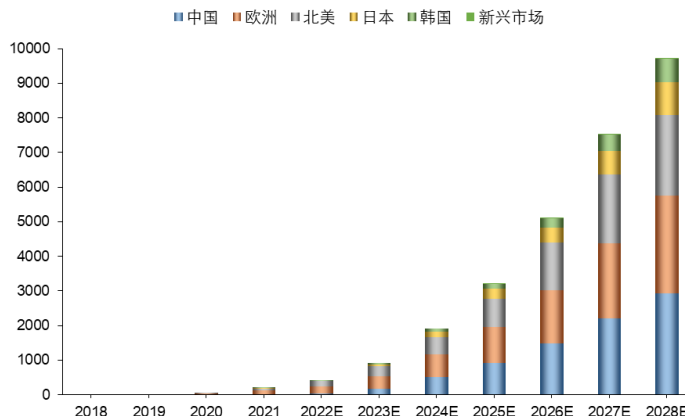
图表 96：2020-2026 年全球激光雷达下游市场规模（百万/十亿美元）



资料来源：Yole，五矿证券研究所

自动驾驶应用中所需的更高分辨率传感与对高分辨率激光雷达的需求息息相关。随着全自动驾驶系统的商品化变得更具挑战性，加之 OEM 厂商正在撤回相关投资，对高分辨率激光雷达的需求正转向 ADAS 应用和半自动驾驶应用。根据 Strategy Analytics 数据，2021 年全球激光雷达出货量 18.8 万颗，其中欧洲 11.4 万颗，占比 60.6%，排名第 1，预计到 2028 年，全球激光雷达出货量将达到 970.7 万颗，中国 291.8 万颗，占比 30.1%，排名第 1；欧洲 284.4 万颗，占比 29.3%，排名第 2；北美 231.5 万颗，占比 23.8%，排名第 3。

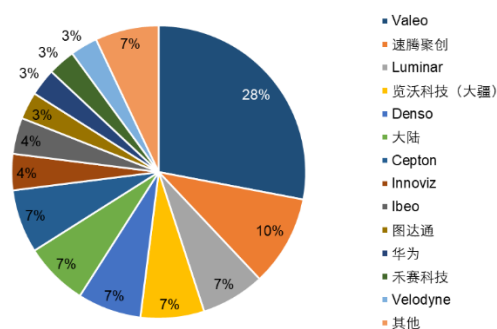
图表 97：全球高分辨率激光雷达出货量预测（分国家/地区，千颗）



资料来源：Strategy Analytics，五矿证券研究所

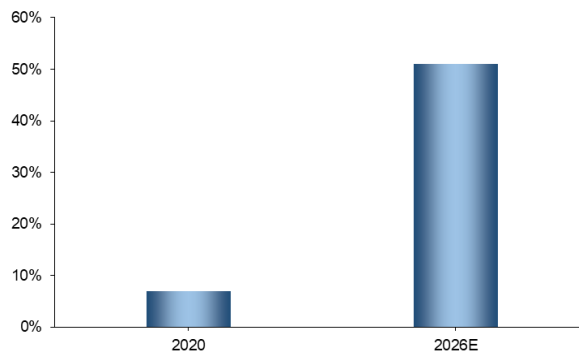
汽车激光雷达领域，对比全球各厂商，根据 Yole 数据，法雷奥占比 28%，排名第 1；速腾聚创占比 10%，排名第 2；Luminar/大疆览沃/电装/大陆集团/Cepton 占比均为 7%，华为/禾赛科技占比均为 3%。2020-2026 年，汽车（ADAS 和无人车）激光雷达渗透率将从 7% 大幅提升至 51%。

图表 98：全球汽车激光雷达各厂商市占率



资料来源：Yole，五矿证券研究所

图表 99：汽车激光雷达渗透率

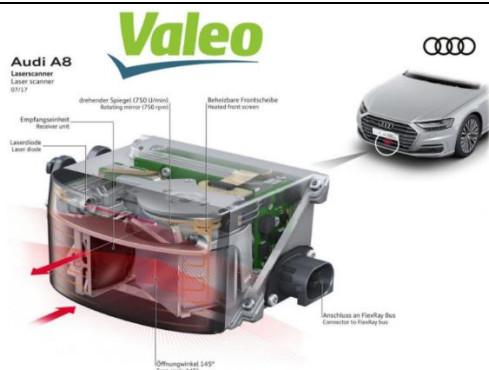


资料来源：Yole，五矿证券研究所

制约激光雷达大范围普及的，除了技术成熟度之外，就是价格，目前从几百美元到几万美元不等。

全球首款量产的车载激光雷达是法雷奥的第 1 代激光雷达 SCALA1，于 2017 年搭载在奥迪 A8 中。SCALA1 采用了转镜式混合固态扫描方案，光源波长 905nm，探测器为线性雪崩光电二极管（APD），有效距离为 150 米，水平视场角 145°，垂直视场角 3.2°，尽管线数仅有 4 线，但这是全球第一款通过车规认证的激光雷达。根据 System Plus 关于激光雷达成本拆解数据，SCALA1 的主板和激光器板为最主要零部件，分别占比 45%和 23%，年出货量 1 百万颗时制造成本 105 美元/颗；览沃科技（大疆）Horizon 镜头模组和外罩为最主要零部件，分别占比 54%和 16%，年出货量 1 百万颗时制造成本 260 美元/颗。

图表 100：全球首款车载激光雷达 Valeo SCALA1



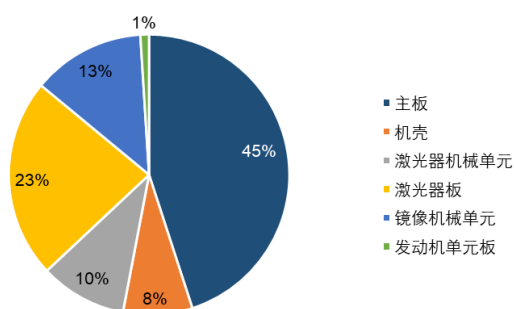
资料来源：System Plus，五矿证券研究所

图表 101：Valeo SCALA1 拆解主要零部件



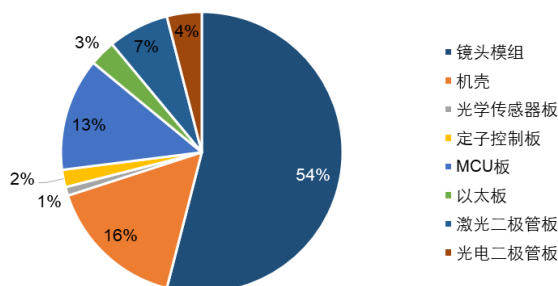
资料来源：System Plus，五矿证券研究所

图表 102：Valeo SCALA1 制造成本拆解



资料来源：System Plus，五矿证券研究所

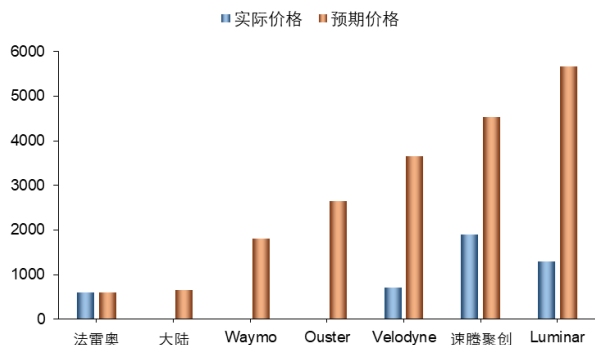
图表 103：览沃科技 Horizon 制造成本拆解



资料来源：System Plus，五矿证券研究所

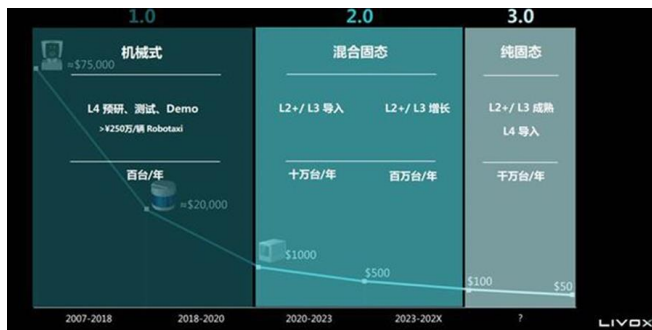
根据 Patience Consulting 关于部分激光雷达价格数据，各厂商公布的实际价格均不高于预期价格，其中 Velodyne 固态激光雷达 Velaray 实际价格为 700 美元，仅为预计价格的 19.2%。根据览沃科技的数据，随着激光雷达从机械式向混合固态、以及固态升级过程中，对应的价格也将从机械式 75000 美元下降至固态 50 美元的水平。我们认为，伴随着价格逐步降低，激光雷达将有望迎来大规模商业化普及。

图表 104：激光雷达实际价格 VS 预计价格（美元）



资料来源：Patience Consulting，五矿证券研究所

图表 105：激光雷达价格有望持续下降



资料来源：览沃科技，五矿证券研究所

图表 106：激光雷达厂商、类型、价格

	公司	核心产品	类型	价格
国外	Velodyne	Velarray、VLS 系列、VLP 系列、HDL 系列	机械式	4000-75000 美元
	Quanergy	S3、M8	机械式、固态	250 美元以上
	Innoviz	Innoviz One、Innoviz Pro	混合固态	900 美元以上
	Cepton	Vista-X、Vista-P、Sora-P、Helius、Nova	混合固态	1000 美元以上
	Ibeo	Ibeo NEXT	固态	15000 美元以下
	Luminar	Hydra、Iris	混合固态	预计 1000 美元以下
	Ouster	ES2、OS0、OS1、OS2	固态	3500 美元
	Baraja	Spectrum-Scan LiDAR	固态	数百美元
中国	禾赛科技	车规级 PandarGT、MEMS Pandar128/64/40、工业级 Pandar40M、PandarXT	机械式、混合固态	8.94-11.38 万元
	速腾聚创	车规级 RS-LiDAR-M1、机械式 RS-Ruby/RS-LiDAR-32/RS-LiDAR-16/RS-Bpearl	机械式、混合固态	-
	一径科技	ML-30s、ML-Xs	混合固态	-
	览沃科技 (大疆)	车规级旋转棱镜 HAP、浩界 Horizon	混合固态	3999-9999 元
	镭神智能	CH128/32/16 混合固态、MS-C32/16 机械式	机械式、混合固态	8000-28999 元
	华为	96 线 MEMS LiDAR2.0	机械式、混合固态	预计低于 200 美元
	北醒光子	MEMS Horn-RT 系列、Horn-X2 系列	混合固态	-
	探维科技	16 线 Tensor-Pro	固态	-
	北科天绘	32 线机械式 R-Fans-32	机械式、混合固态	-
	万集科技	机械式 WLR-713、WLR-736	机械式、混合固态	-

资料来源：各公司官网，各公司公告，五矿证券研究所

2.2.5 摄像头/超声波/毫米波/激光雷达性能对比

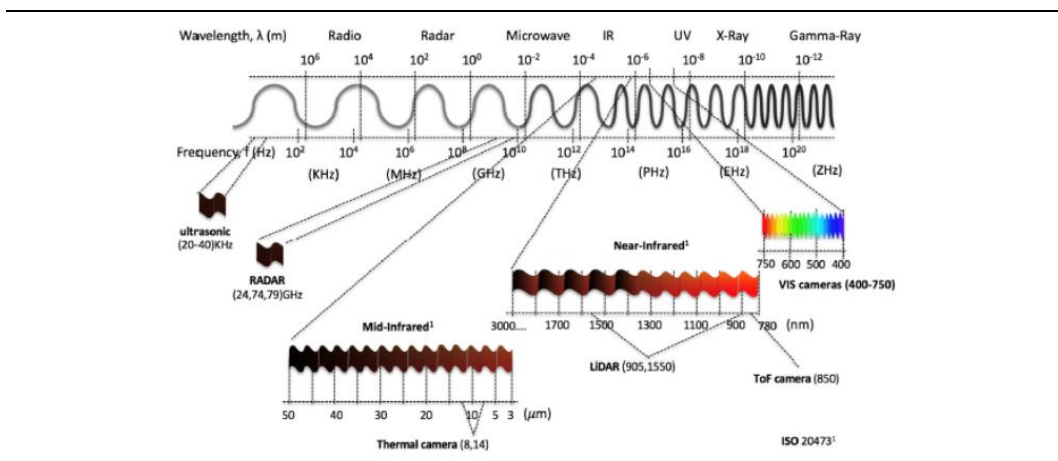
对比摄像头、超声波雷达、毫米波雷达、激光雷达几类常用自动驾驶传感器，在性能及使用上各有优劣。摄像头技术成熟、造价低，也是唯一能识别颜色和标识的传感器，但是受光照、天气影响大，机器学习数据库训练样本大、周期长；超声波雷达受天气干扰小，但是测量精度差，距离短；毫米波雷达不受天气影响，穿透烟雾、雨雪、灰尘能力强，探测距离远，但无法识别物体颜色，视场角较小，对金属表面非常敏感，在隧道里效果不佳；激光雷达能够很好的探测障碍物的距离、大小、表面形状，算法简单，但是在雨雪云雾天气下衰减严重，技术门槛和成本较高。从频谱角度讲，主动传感器从超声波雷达到毫米波雷达，再到激光雷达，工作频率越来越高，波长越来越短；被动传感器摄像头则工作在可见光（VIS, visible）及红外线（IR, infrared）范围，红外又分为近红外（NIR, near-infrared）和中红外（MIR, mid-infrared），中红外就是熟知的热成像（thermal camera）。

图表 107：自动驾驶传感器参数对比

参数	摄像头	超声波雷达	毫米波雷达	激光雷达
测距/测速	可测距、精度低	高精度	纵向精度高、横向精度低	高精度
感知距离	0-100m	0.1-10m	200-250m	200m
分辨率/角分辨率	差/好	差/一般 90°	20-60cm/1-2°	最小 1mm/最小 1°
行人/物体识别	通过 AI 算法识别	可识别	难以识别	3D 建模、易识别
道路标线/交通信号	可识别	无法识别	无法识别	无法识别
恶劣天气	易受影响	不受影响	不受影响	易受影响
光照	受影响	不受影响	不受影响	不受影响
电磁干扰/屏蔽能力	不受影响	不受影响	易受影响	不受影响
算法/技术成熟度	高	高	较高	一般
成本	一般 (4-200 美元)	低 (30-400 美元)	较高 (30-400 美元)	高 (1000-75000 美元)
频率	-	>20KHz	30GHz-300GHz	100000GHz
优点	能识别道路标线、交通信号	价格低、数据处理简单	不受天气和夜间影响、探测距离远	探测范围广、探测距离/角度精度高
缺点	易受天气影响、机器学习训练所需样本大、周期长	受天气影响、探测距离短	行人反射波弱、无法识别物体颜色、对金属表面非常敏感、隧道里效果不佳	成本高、易受天气影响
功能	障碍物识别、车道线识别、辅助定位、道路信息读取、地图构建	障碍物探测	障碍物探测	障碍物探测识别、辅助定位、地图构建
应用举例	车道偏离预警 (LDW)、辅助车道保持 (LKA)、预碰撞预警 (PCW)	倒车雷达、自动泊车	自适应巡航控制 (ACC)、盲区监测 (BSD)、自主紧急制动 (AEB)	探测车辆周围交通信息，实现自动驾驶功能

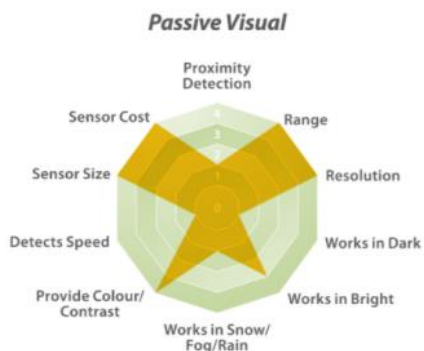
资料来源：盖世汽车，艾瑞，Sino-Glav o，Nexperia，五矿证券研究所

图表 108：自动驾驶传感器光谱范围



资料来源：MDPI，五矿证券研究所

图表 109：摄像头性能雷达图



资料来源：CleanTechnica，五矿证券研究所

图表 110：超声波雷达性能雷达图



资料来源：CleanTechnica，五矿证券研究所

图表 111：毫米波雷达性能雷达图



资料来源：CleanTechnica，五矿证券研究所

图表 112：激光雷达性能雷达图



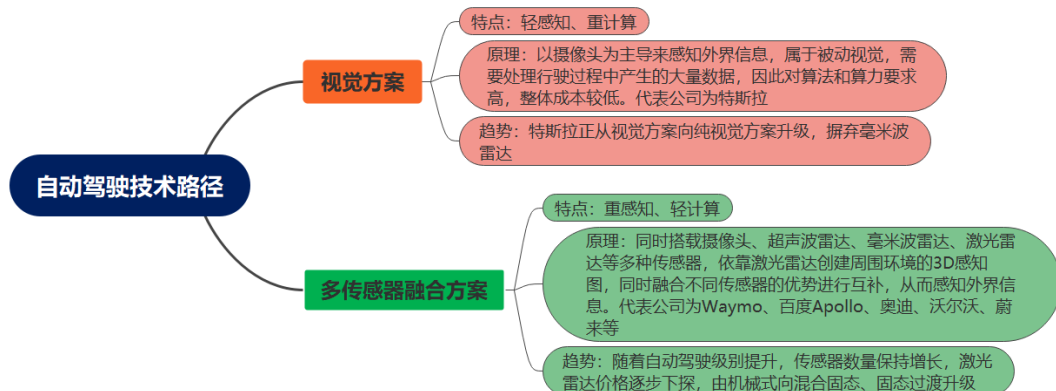
资料来源：CleanTechnica，五矿证券研究所

2.2.6 视觉方案 VS 多传感器融合方案

目前在自动驾驶方案中，主要有 2 种，一种是视觉方案，以特斯拉为代表，此方案以摄像头为主导来感知外界信息，属于被动视觉，由于需要处理行驶过程中产生的大量数据，因此对算法和算力要求高，特点是“轻感知、重计算”，整体成本较低。

另一种是多传感器融合方案，也是目前大多数车企采用的方案，这种方案往往同时搭载摄像头、超声波雷达、毫米波雷达、激光雷达等多种传感器，依靠激光雷达创建周围环境的 3D 感知图，同时融合不同传感器的优势进行互补，从而感知外界信息，特点是“重感知，轻计算”，早期激光雷达成本高达几万美元，目前已下探至几百美元水平，为激光雷达的推广使用奠定了基础。

图表 113：自动驾驶视觉主导方案 VS 激光雷达主导方案



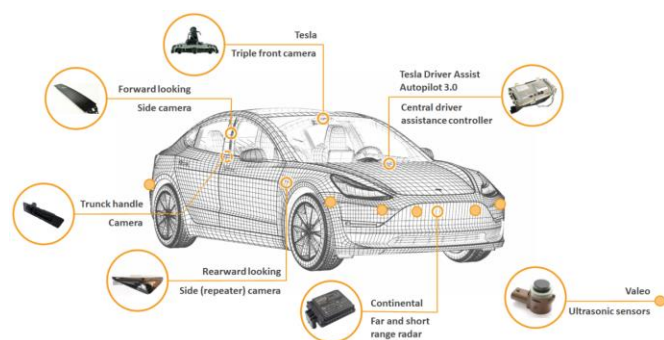
资料来源：盖世汽车，五矿证券研究所

1) 视觉方案向纯视觉方案升级：

马斯克曾多次在公开场合表示不使用激光雷达，他认为激光雷达“昂贵、丑陋、毫无意义”，而且通过摄像头感知开发和训练一套模拟人类视觉的神经网络，就能够实现自动驾驶。从目前在售的特斯拉 Model 3 来看，该车搭载了 8 颗摄像头，12 颗超声波雷达以及 1 颗毫米波雷达。8 颗摄像头可为车辆提供 360°视角，前视窄视野摄像头最大探测距离可达 250m；12 颗超声波雷达则用于完善视觉系统的探测效果；1 颗毫米波雷达以冗余波长提供有关周围环境的其他数据，这些数据可以穿透大雨，雾气，灰尘甚至前车之前的其他车辆。

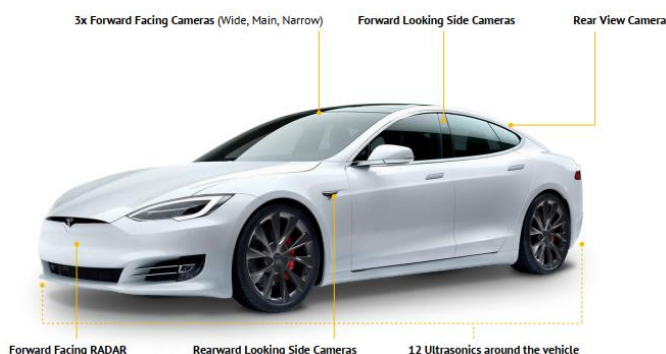
最新的信息显示，特斯拉在美国官网宣布，“从 2022 年 2 月中旬开始，所有为北美地区市场生产的 Model S 和 Model X 车型都将引入特斯拉纯视觉方案，即承诺其司机辅助驾驶系统 Autopilot 和全自动驾驶（FSD）套件将采用基于摄像头的感知方式。”这意味着特斯拉将原有的视觉方案升级为纯视觉方案，取消了毫米波雷达。

图表 114：Model 3 各传感器和计算单元位置



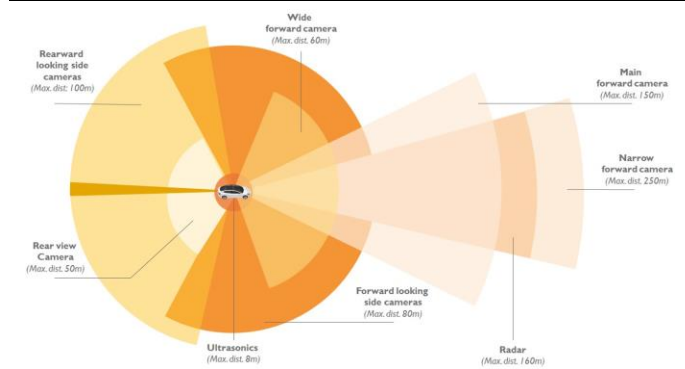
资料来源：SystemPlus，五矿证券研究所

图表 115：Model S 各传感器位置



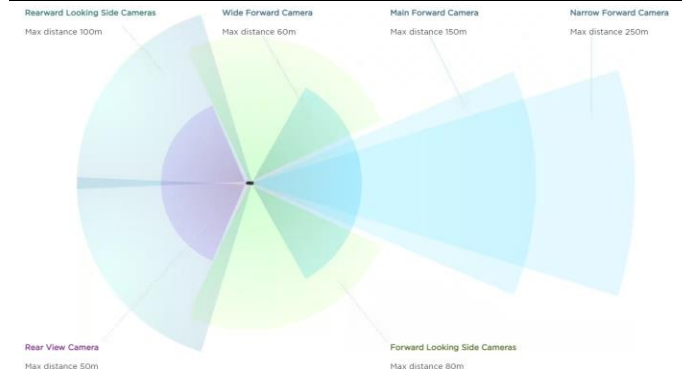
资料来源：Nexperia，五矿证券研究所

图表 116：特斯拉视觉方案覆盖范围



资料来源：Yole，五矿证券研究所

图表 117：特斯拉纯视觉方案覆盖范围

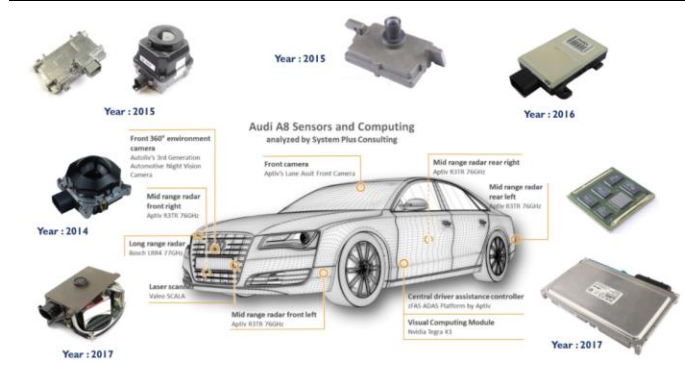


资料来源：Tesla，五矿证券研究所

2) 多传感器融合方案百花齐放：

多传感器融合方案以 Waymo 为代表，是以激光雷达为主导，同时兼具摄像头、超声波雷达、毫米波雷达等多种传感器的融合方案，包括奥迪 A8、沃尔沃 XC90 等众多车型均搭载了激光雷达、摄像头、超声波雷达、毫米波雷达等多种传感器，通过融合多种传感器，形成优势互补，不断提升自动驾驶水平。

图表 118：奥迪 A8 各传感器和计算单元位置



资料来源：SystemPlus，五矿证券研究所

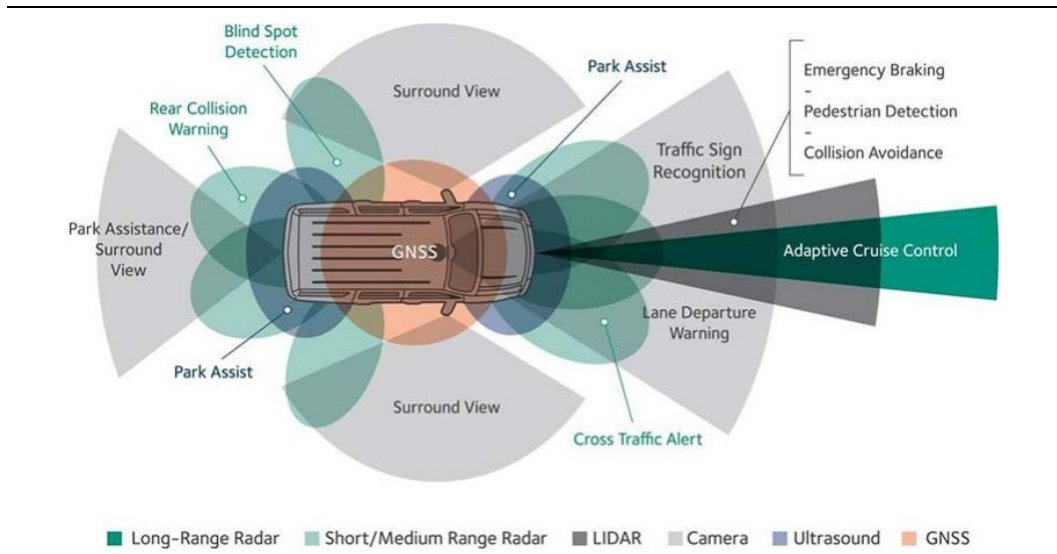
图表 119：沃尔沃 XC90 各传感器位置



资料来源：Nexperia，五矿证券研究所

从覆盖范围和功能上，长距毫米波雷达位于车头，探测距离最远，主要用于自适应巡航控制；激光雷达一般位于车顶前方，探测距离次之，主要用于车辆紧急制动、行人检测和碰撞避免；摄像头位于车身四周，探测距离更短一些，但是能覆盖周围 360°范围，前视摄像头主要用于交通标志识别和车道偏离报警，侧视摄像头主要用于车身两侧环视，后视摄像头主要用于停车辅助和车身后方环视；中短距毫米波雷达位于车头和车尾，探测距离比摄像头稍短，前置主要用于倒车横向车流预警，侧后方主要用于盲点检测，后置主要用于后方碰撞预警；覆盖范围最小的是超声波雷达，位于车头和车尾，主要用于停车辅助；全球卫星导航系统位于车顶，主要用于车辆定位和导航。

图表 120：多传感器融合方案各传感器覆盖范围和作用



资料来源：Nov Atel，五矿证券研究所

随着自动驾驶级别逐步提升，功能逐渐丰富，传感器用量及价值量也水涨船高。根据 Yole 数据：

L1 级别具备主动巡航控制（ACC）、车道偏离警告系统（LDWAS）功能，需要 6 颗传感器，包括 4 颗超声波雷达、1 颗毫米波雷达（长距）、1 颗摄像头，合计 260 美元；

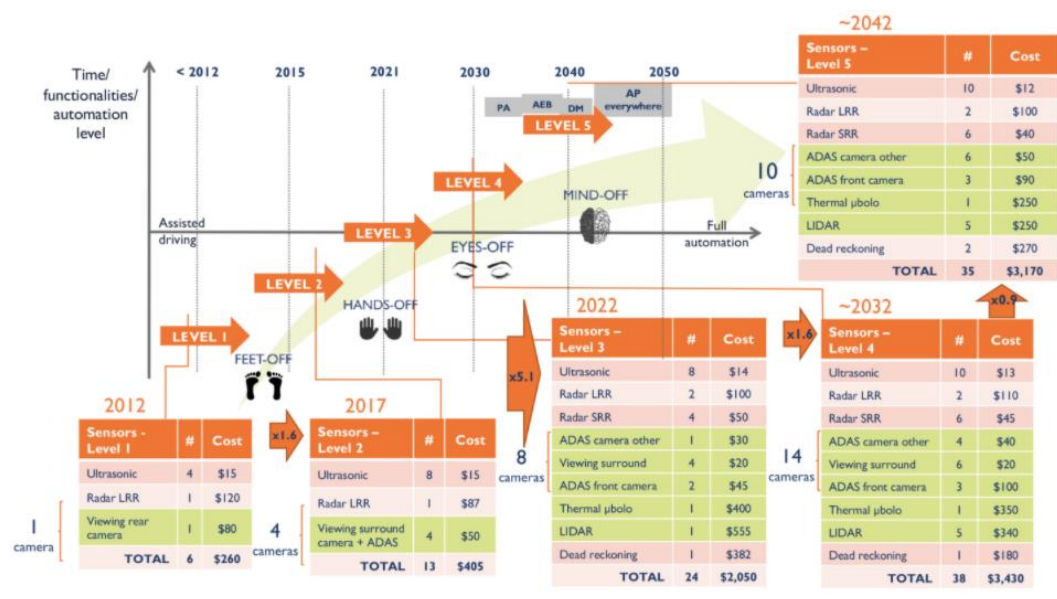
L2 级别增加了停车辅助（PA）、车道维持辅助（LKA）功能，需要 13 颗传感器，包括 8 颗超声波雷达、1 颗毫米波雷达（长距）、4 颗摄像头，合计 405 美元；

L3 级别增加了自动紧急制动（AEB）、驾驶员监控（DM）、交通堵塞辅助（TJA）功能，需要 24 颗传感器，包括 8 颗超声波雷达、6 颗毫米波雷达（2 颗长距+4 颗短距）、7 颗摄像头（4 颗环视+2 颗前视+1 颗其他）、1 颗辐射热测量计、1 颗激光雷达、1 个航位推算系统，合计 2050 美元；

L4 级别增加了传感器融合（Sensor Fusion）、高速自动驾驶（AP Highway）功能，需要 38 颗传感器，包括 10 颗超声波雷达、8 颗毫米波雷达（2 颗长距+6 颗短距）、13 颗摄像头（6 颗环视+3 颗前视+4 颗其他）、1 颗辐射热测量计、5 颗激光雷达、1 个航位推算系统，合计 3430 美元；

L5 级别增加了随时随地自动驾驶（AP Anywhere）功能，需要 35 颗传感器，包括 10 颗超声波雷达、8 颗毫米波雷达（2 颗长距+6 颗短距）、9 颗摄像头（3 颗前视+6 颗其他）、1 颗辐射热测量计、5 颗激光雷达、2 个航位推算系统，合计 3170 美元。

图表 121：自动驾驶 L1-L5 级别对应传感器数量（颗）及单价（美元）

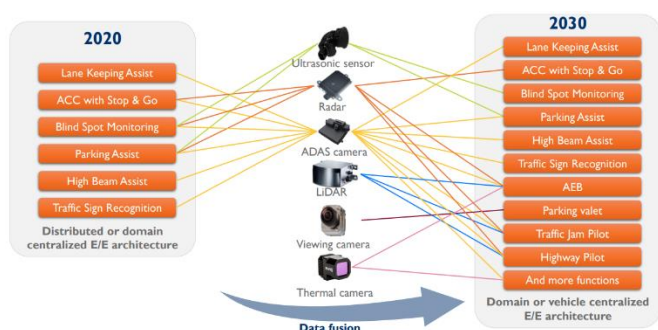


资料来源：Yole，五矿证券研究所

在自动驾驶发展过程中，传感器种类越来越多，功能也逐渐丰富，市场规模越来越大。根据 Yole 数据，2020-2025 年，摄像头模组市场规模将从 35 亿美元增长至 81 亿美元，CAGR 为 18%；毫米波雷达市场规模将从 38 亿美元增长至 91 亿美元，CAGR 为 19%；激光雷达市场规模将从 4 千万美元增长至 17 亿美元，CAGR 为 113%。

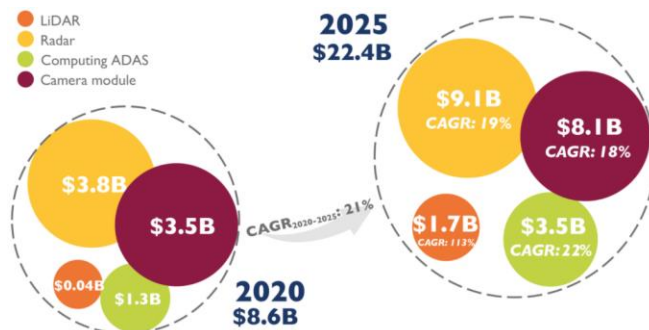
2020 年中国车载雷达竞争格局中，毫米波雷达占比最大，为 66.7%；超声波雷达占比次之，为 29.6%，超声波雷达占比最小，为 1.9%。我们认为，随着将来自动驾驶渗透率提升，激光雷达成本下降，激光雷达占比有望持续提升。

图表 122：2020-2030 年自动驾驶各类传感器功能变化



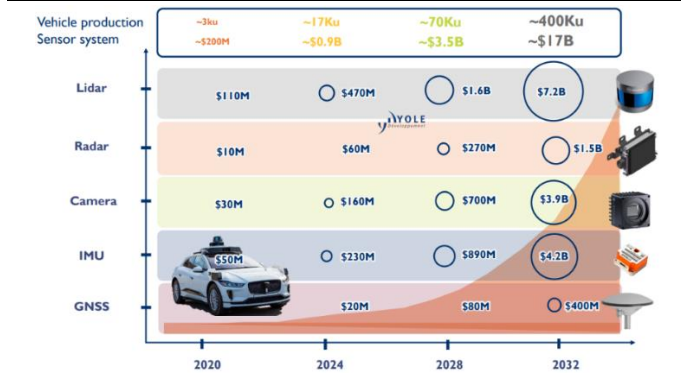
资料来源：Yole，五矿证券研究所

图表 123：2020-2025 年全球自动驾驶各类传感器市场规模（十亿美元）



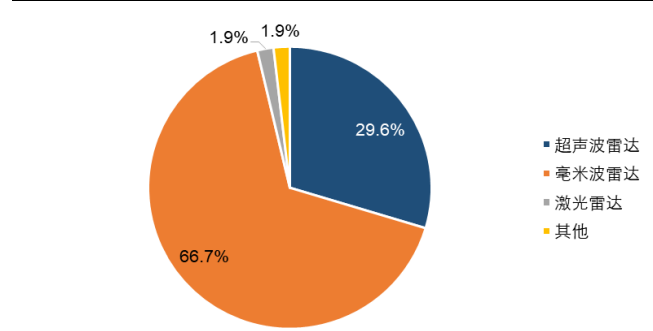
资料来源：Yole，五矿证券研究所

图表 124：全球机器驾驶传感器市场规模（十亿美元）



资料来源：Yole，五矿证券研究所

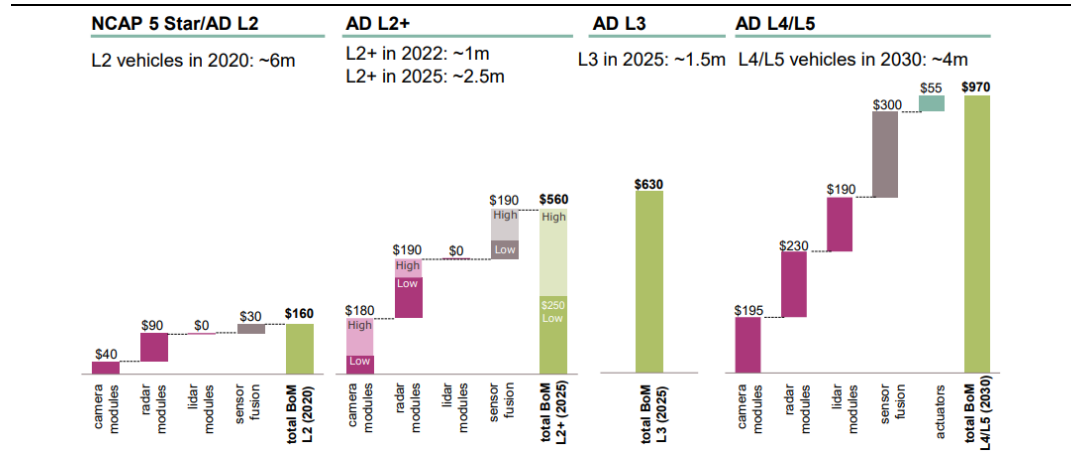
图表 125：2020 年中国车载雷达竞争格局



资料来源：亿欧，五矿证券研究所

不仅是传感器价值量提升，各类传感器中半导体价值量亦稳步增长。根据 Strategy Analytics 和 Infineon 数据，L2 级别为 160 美元，L2+级别为 560 美元，L3 级别为 630 美元，L4/L5 级别为 970 美元。

图表 126：L2-L5 自动驾驶各类传感器中半导体价值量（美元）



资料来源：Strategy Analytics，Infineon，五矿证券研究所

图表 127：搭载多种传感器车型汇总

车型	摄像头 (颗)	超声波雷达 (颗)	毫米波雷达 (颗)	激光雷达			自动驾驶 AI 芯片			
				数量 (颗)	供应商	类型	类型	单片算力 (TOPS)	数量 (颗)	总算力 (TOPS)
特斯拉 Model 3 2022 款	8	12	1	0	-	-	特斯拉 FSD	72	2	144
蔚来 ET7 2022 款	11	12	5	1	图达通	MEMS, 1550nm	英伟达 Orin-X	254	4	1016
小鹏 P7 2021 款 480E	14	12	5	0	-	-	英伟达 Xavier	30	1	30
小鹏 G9	12	12	5	2	速腾聚创	MEMS	英伟达 Orin-X	254	2	508
理想 one 2021 款	5	12	5	0	-	-	地平线征程 3	5	2	10
理想 L9	11	12	5	1	禾赛科技	混合固态	英伟达 Orin-X	254	2	508
威马 W6 2021 款 极智版	7	12	5	0	-	-	-	-	-	-
威马 M7	11	12	5	3	速腾聚创	MEMS	英伟达 Orin-X	254	4	1016
智己 L7 2022 款	11	12	5	0	-	-	英伟达 Xavier	30	1	30
宝马 iX	10	12	5	1	Innoviz	固态	Mobileye EyeQ5	24	1	24
北汽极狐阿尔法 S 华为 HI 版	12	13	6	3	速腾聚创	MEMS	华为 MDC810	-	-	400
广汽埃安 AION LX2022 款 PLUS 80D Max 版	12	12	6	3	速腾聚创	固态, 可变焦	华为 MDC610	-	-	200
长城 WEY 摩卡	3	-	8	3	lbeo	固态 Flash	高通骁龙 Ride	360	1	360
长城沙龙机甲龙	4	12	5	4	华为	MEMS, 96 线	华为 MDC610	-	-	400
哪吒 S	13	12	5	2	华为	固态, 96 线	华为 MDC610	-	-	200
长安阿维塔 11	13	12	6	3	华为	MEMS	华为 MDC810	-	-	400
奥迪 e-tron	6	16	5	1	Aeva	FMCW	-	-	-	-
比亚迪汉 2022 款 DM-p	5	12	5	0	-	-	-	-	-	-
上汽飞凡 R7	12	12	8	1	Luminar	MEMS, 1550nm	英伟达 Orin-X	254	2	508

资料来源：汽车之家，各公司官网，五矿证券研究所

图表 128：蔚来 ES6 传感器位置分布



资料来源：搜狐，五矿证券研究所

图表 129：小鹏 G9 传感器位置分布



资料来源：搜狐，五矿证券研究所

视觉方案严重依赖海量数据训练，特斯拉已经先发制人，在有大量车型销量的前提下，特斯拉视觉算法的训练已经超出其他车企一大截，如果后来的车企采用纯视觉方案，因为起步比特斯拉晚，也没有足够数量的汽车在路上跑，那就没有海量数据训练的基础，没有数据训练也就没有更好的自动驾驶能力，出事故的概率更大，这样反过来又会影响自家汽车的销量，陷入一种恶性循环。因此后来的车企更倾向于采用摄像头+雷达的多传感器融合方案，通过雷达来弥补自身视觉算法能力的不足，从而达到量产商用的自动驾驶水平。

特斯拉凭借先发优势，在视觉方案上将持续领先，未来方向是无限接近人眼水平。其他车企起步晚，在视觉方案上将一直处于落后地位，如果特斯拉视觉方案水平发展越快，其他车企视觉方案与特斯拉的差距就会越大，就越不会采用纯视觉方案，否则将陷入恶性循环，导致公司经营面临困境，无法完成商业闭环，因此就会更加坚定的采用视觉+雷达融合方案来提升和完善自动驾驶功能，以求达到甚至超越特斯拉的纯视觉方案。所以我们认为，未来自动驾驶路线的选择，除了在视觉方案和多传感器融合方案技术层面的优劣势对比之外，商业经营可行性也是车企需要重点考虑的问题，未来两种技术路线将可能长期共存。

2.3 决策层：智能车决策判断的中枢大脑

2.3.1 E/E 架构集中化，运算加速带来 GPU/FPGA/ASIC/类脑芯片需求大幅提升

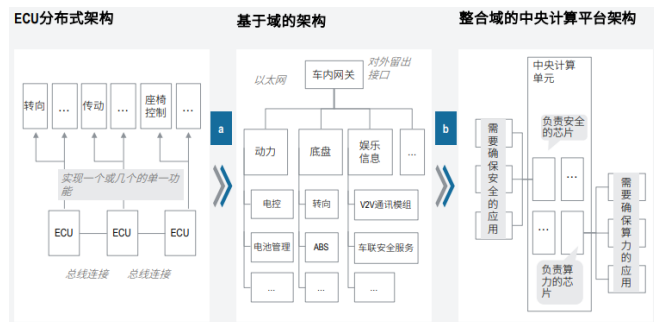
随着汽车智能化发展，汽车 E/E 架构也将逐步升级，整体而言，将从分布式架构迈向基于域的集中式架构，最终达到整合域的中央计算平台架构。

分布式架构：传统燃油车以机械部件为主，电子系统相对简单，大多应用 ECU（电子控制器）分布式架构，芯片主要为 MCU，ECU 和功能几乎一一对应，比如车灯对应一个控制器，车门对应一个控制器，因此系统相对封闭。这种架构在 10-20 年前已经实现。

基于域的集中式架构：现阶段电气化与驾驶辅助功能已经实现初步应用，基于域的架构将成为当前及未来几年的主流技术选择，在这种架构体系中，不同 ECU 之间开始整合，原来的单一功能控制器按照功能类别集成在一个控制器中，出现域管理，用 DCU 和 MDC（磁鼓控制器）取代了 ECU，实现功能导向的控制。目前比较普遍的功能域架构设计是将整车功能划分为五大功能域：动力域（安全）、底盘域（车辆运动）、座舱域（信息娱乐）、自动驾驶域（辅助驾驶）和车身域（车身电子），每个区域对应推出相应的域控制器，最后再通过 CAN/LIN 等通讯方式连接至主干线甚至托管至云端，从而实现整车信息数据的交互。这种架构目前已经开始成为主流应用，预计在 2021-2025 年将快速发展。

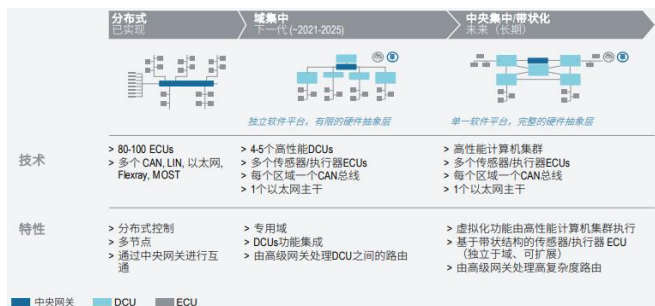
整合域的中央计算平台架构：长期来看，随着自动驾驶逐步升级，对电子架构的算力、带宽均提出了更高要求，只有整合域的中央计算平台架构能够满足要求，这一架构将功能域进一步集中化，因此也带来了芯片能力进一步提升，用一个集成电路实现对不同功能芯片的整合，更加依赖云端的存储分析能力，这种架构将在未来长期发展中逐步落地。但是这三代架构并非界限分明地孤岛式发展，实际应用中，更多是混合在一起。

图表 130：汽车 E/E 架构技术路线



资料来源：Roland Berger，五矿证券研究所

图表 131：汽车 E/E 架构路线图

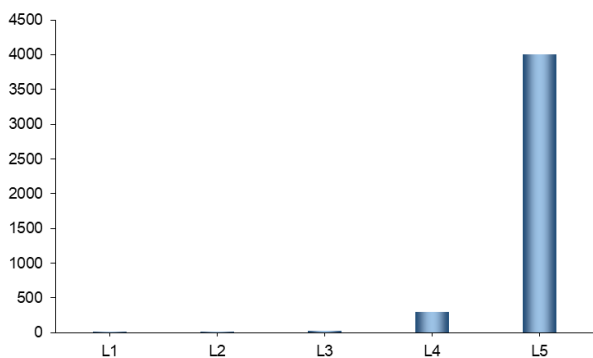


资料来源：Roland Berger，五矿证券研究所

随着自动驾驶从 L1-L5 升级，汽车 E/E 架构由分布式走向集中，算力开始集中，集成化的设计可以降低算力冗余要求的同时大幅降低整车线束长度，有效降低成本。当域集中之后，智能化功能升级将从增加传感器数量转为增加算力、算法模型和数据训练，因此对自动驾驶 AI 芯片算力要求将越来越高，每提升一个级别，算力需求增加 10 倍以上。根据亿欧数据，L1 级别算力需求小于 1TOPS (Tera Operations Per Second, 每秒一万亿次操作)，L2 级别算力需求 2TOPS，L3 级别算力需求 30TOPS，L4 级别算力需求 300TOPS，L5 级别算力需求 4000+TOPS。

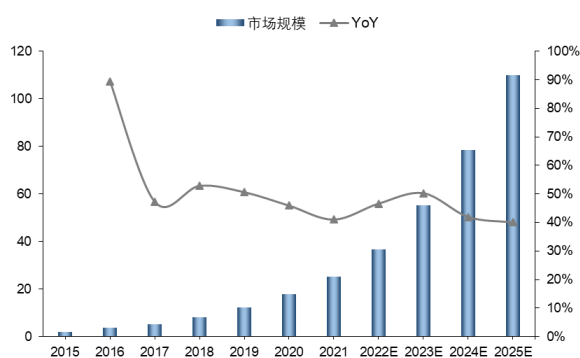
根据亿欧数据，中国自动驾驶 AI 芯片市场规模 2021 年为 25.1 亿元，预计到 2025 年将达到 109.9 亿元，CAGR 为 44.7%。

图表 132：自动驾驶 L1-L5 对于 AI 芯片算力需求 (TOPS)



资料来源：亿欧，五矿证券研究所

图表 133：2015-2025 年中国自动驾驶 AI 芯片市场规模 (亿元)



资料来源：亿欧，五矿证券研究所

目前常见的 AI 芯片包括 CPU、GPU、FPGA 和 ASIC，从 CPU 到 ASIC，灵活性越来越差，效率越来越高。并且随着自动驾驶水平越来越高，需要处理的数据量越来越大，高精地图、摄像头、超声波/毫米波/激光雷达、GNSS 等软硬件设备对计算提出更高要求，CPU 并行计算速度慢，仅靠 CPU 的算力和功能已经不能满足自动驾驶对数据传输的实时性要求。

为了解决 CPU 在大量数据运算效率低和能耗高的问题，目前有两种的发展路线：一是沿用传统冯·诺伊曼架构，搭配加速芯片，用以提升算力并助推算法的产生，常见的 AI 加速芯片包括 GPU、FPGA 和 ASIC 三类；二是不采用冯·诺伊曼架构，转而采用人脑神经元结构设计芯片来提升计算能力，以实现完全拟人化为目标，追求在芯片架构上不断接近人脑，这类芯片被称为类脑芯片。

CPU (Central Processing Unit, 中央处理器)：作为计算机系统的运算和控制核心，是信息处理、程序运行的最终执行单元，CPU 是对计算机的所有硬件资源（如存储器、输入输出单

元) 进行控制调配、执行通用运算的核心硬件单元。优点是有大量的缓存和复杂的逻辑控制单元, 非常擅长逻辑控制、串行运算; 缺点是不擅长复杂算法运算和处理并行重复的操作。对于 AI 芯片来说, 算力最弱的是 CPU。代表厂商包括 Intel、AMD。

GPU (Graphics Processing Unit, 图形处理器): 又称显示核心、视觉处理器、显示芯片, 是一种专门在个人电脑、工作站、游戏机和一些移动设备 (如平板电脑、智能手机等) 上做图像和图形相关运算工作的微处理器。优点是提供了多核并行计算的基础结构, 且核心数非常多, 可以支撑大量数据的并行计算, 拥有更高的浮点运算能力; 缺点是管理控制能力最弱, 功耗最高。GPU 善于处理图像领域的运算加速, 但 GPU 无法单独工作, 必须由 CPU 进行控制调用才能工作。代表厂商包括 NVIDIA、AMD。

FPGA (Field Programmable Gate Array, 现场可编程门阵列): FPGA 是在 PAL、GAL 等可编程器件的基础上进一步发展的产物。它是作为专用集成电路 (ASIC) 领域中的一种半定制电路而出现的, 既解决了定制电路的不足, 又克服了原有可编程器件门电路数有限的缺点。优点是可以无限次编程, 延时性比较低, 同时拥有流水线并行和数据并行 (GPU 只有数据并行)、实时性最强、灵活性最高; 缺点是开发难度大, 在实现复杂算法方面有一定的难度, 只适合定点运算, 价格比较昂贵。代表厂商包括 Xilinx (被 AMD 收购)、Altera (被 Intel 收购)。

ASIC (Application Specific Integrated Circuit, 专用集成电路): 指按照特定用户要求和特定电子系统的需要而设计、制造的集成电路。目前用 CPLD (复杂可编程逻辑器件) 和 FPGA (现场可编程逻辑阵列) 来进行 ASIC 设计是最为流行的方式之一。优点是它作为集成电路技术与特定用户的整机或系统技术紧密结合的产物, 与通用集成电路相比具有体积更小、重量更轻、功耗更低、可靠性提高、性能提高、保密性增强、成本降低等优点; 缺点是灵活性不够, 成本比 FPGA 贵。代表厂商包括谷歌 (TPU)、地平线 (BPU)、寒武纪 (GPU) 等。

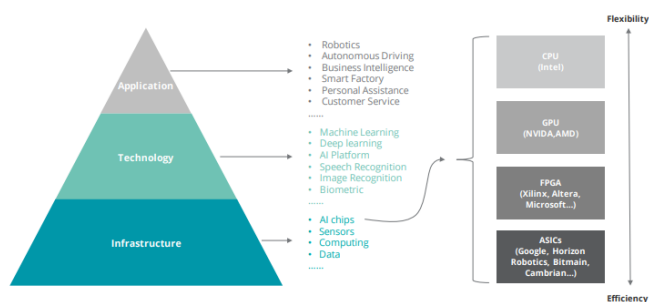
目前主流厂商多采用 CPU+GPU/FPGA/ASIC 的方式进行自动驾驶芯片设计。

特斯拉 FSD 和英伟达 Xavier 均采用 CPU+GPU+ASIC 的方式, 其中特斯拉 FSD 的 ASIC 是 NPU, 占据最大面积, 主要用来运行深度神经网络, GPU 主要是用来运行深层神经网络的后处理部分; 英伟达 Xavier 以 GPU 为计算核心, GPU 占据最大面积。

Mobieye EyeQ5 和地平线征程系列则采用 CPU+ASIC 的方式, Mobieye EyeQ5 的 ASIC 包括 Computer Vision Processors (CVP)、Deep Learning Accelerator (DLA) 和 Multithreaded Accelerator (MA), CVP 是针对很多传统计算机视觉算法设计的 ASIC; 地平线的 ASIC 芯片是 Brain Processing Unit (BPU)。

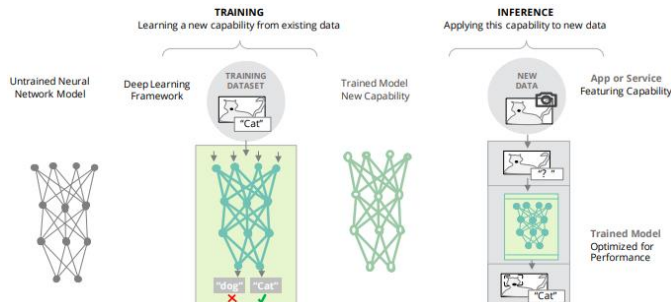
Waymo 采用 CPU+FPGA 的方式, FPGA 采用搭配 Intel (Altera) 的 Arria 系列。

图表 134: AI 芯片在 AI 层次中的应用



资料来源: Microsoft, Deloitte, 五矿证券研究所

图表 135: 训练-推断两阶段深度学习



资料来源: NVIDIA, 五矿证券研究所

图表 136: AI 芯片对比

	CPU	GPU	FPGA	ASIC
功能	计算机系统的运算和控制核心，信息处理、程序运行的最终执行单元	专门进行图像和图形相关运算工作	一种半定制电路	按照特定用户要求和特定电子系统的需要而设计、制造的集成电路，高度定制化
算力	最低	高	中	高
能效比	差	中	优	优
优点	非常擅长逻辑控制、串行运算	支持大量数据并行计算，拥有更高的浮点运算能力	可以无限次编程，延时较低，同时拥有流水线并行和数据并行、实时性最强、灵活性最高	体积更小、重量更轻、功耗更低、可靠性提高、性能提高、保密性增强、成本降低
缺点	不擅长复杂算法运算和处理并行重复的操作	管理控制能力最弱，功耗最高	开发难度大，只适合定点运算，价格较贵	灵活性不够，成本比 FPGA 贵
性能	最通用	数据处理通用性强	数据处理能力较强	AI 算力最强、最专用
成本	最高	高	低	高
适用场景	各类场景	图形处理、数值模拟、机器学习算法	成本较低场景，如军事、科研等	高算力要求的单一场景
主要公司	Intel、AMD	NVIDIA、AMD	AMD (Xilinx)、Intel (Altera)	谷歌 (TPU)、地平线 (BPU)、寒武纪 (GPU)

资料来源: Deloitte, 各公司官网, 五矿证券研究所

除了加速芯片之外，一种更为前沿的技术是采用类脑芯片。传统计算机采用冯·诺伊曼架构，存储与计算在空间上分离，频繁的数据交换导致处理海量信息效率很低。类脑芯片不采用经典的冯·诺伊曼架构，而是借鉴人脑的网络结构和信息处理方式，研究基于微电子技术和新型神经形态器件的类脑智能芯片的集成工艺与设计技术，突破传统计算架构，基于神经形态架构设计，实现存储与计算的深度融合，大幅提升计算性能、提高集成度、降低能耗。它的内存、CPU 和通信部件完全集成在一起，因此信息的处理在本地进行，克服了传统计算机内存与 CPU 之间的速度瓶颈问题。

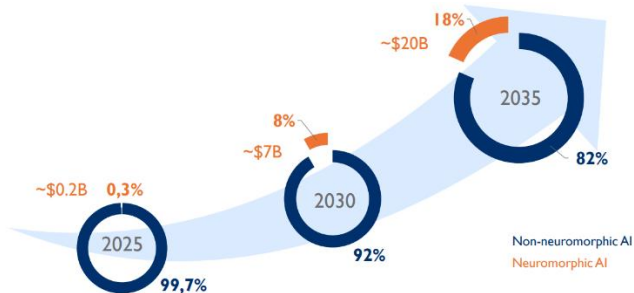
类脑芯片的设计目的不再仅仅局限于加速深度学习算法，而是在芯片基本结构甚至器件层面上改变设计，希望能够开发出新的类脑计算机体系结构，比如采用忆阻器和 ReRAM 等新器件来提高存储密度。这类芯片技术尚未完全成熟，离大规模应用还有一定的差距，但是长期来看类脑芯片有可能会带来计算机体系结构的革命。

类脑芯片的代表为 IBM TrueNorth，第二代 TrueNorth 采用三星 28nm 工艺，包含 54 亿个晶体管 and 4096 个神经突触核心，功耗小于 100mW。除了 TrueNorth，还有英特尔 Loihi 芯片、高通 Zeroth 芯片、西井科技 DeepSouth 芯片、浙大“达尔文”类脑芯片、AI-CTX 芯片也都在类脑芯片上不断努力，清华大学类脑计算中心于 2015 年 11 月成功研制了国内首款超大规模神经形态类脑计算天机芯芯片，该芯片同时支持脉冲神经网络和人工神经网络（深度神经网络），可进行大规模神经元网络的模拟。

随着技术不断进步，类脑计算市场规模将不断提升，占比也将不断增大。根据 Yole 数据，预计类脑计算市场规模 2025 年为 2 亿美元，在整个 AI 市场中占比 0.3%；2030 年为 70 亿美元，在整个 AI 市场中占比 8%；2035 年为 200 亿美元，在整个 AI 市场中占比 18%。2025-2030 年，类脑计算下游应用领域将迅速拓展，新增应用领域包括智能手机、可穿戴、智能家

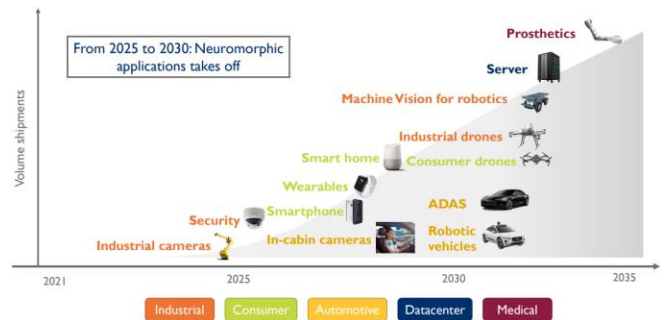
居、自动驾驶、无人机、服务器、外科修复学领域等。

图表 137：类脑计算市场规模及市占率（十亿美元）



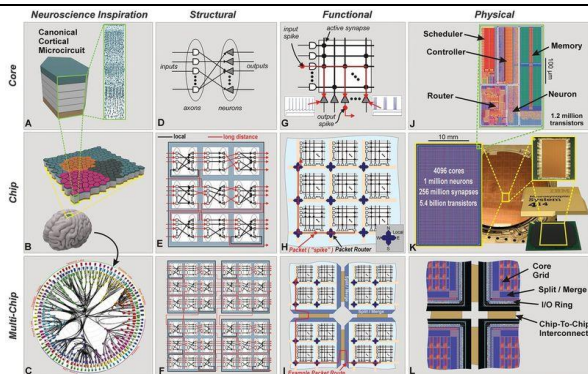
资料来源：Yole，五矿证券研究所

图表 138：类脑计算下游应用普及时间



资料来源：Yole，五矿证券研究所

图表 139：IBM TrueNorth 架构



资料来源：IBM，五矿证券研究所

图表 140：类脑计算厂商及机构



资料来源：Yole，五矿证券研究所

图表 141：类脑芯片参数对比

芯片	功耗	工艺	面积	神经元数（万）	突触数（百万）
Intel Loihi	74mW	14nm	60mm ²	13	130
IBM TrueNorth	<100mW	28nm	4cm ²	100	256
天机芯	400mW	28nm	3.8×3.8mm ²	4	10
达尔文二代	-	55nm	-	15	10
DYNAP-CNN v1	<100mW	28nm	3×4mm ²	100	2

资料来源：络绎知图，五矿证券研究所

2.3.2 AI 芯片芯片发展方向：制程更先进+算力更高+开放式软件生态

在过去 20 年里，Mobileye 在视觉感知技术的基础上，陆续推出了 Mobileye EyeQ 系列芯片 + 算法组成的一系列解决方案，帮助车企在 ADAS 领域，实现从 L0 的碰撞预警，到 L1 的 AEB 紧急制动、ACC 自适应巡航，再到 L2 的 ICC 集成式巡航等各种功能。在过去 20 年里，Mobileye 毫无疑问可以说是汽车 ADAS 技术的主要奠基者和引领者。2016 年，Mobileye 还与宝马组建了自动驾驶联盟，宝马在旗下车型中大量搭载 Mobileye EyeQ 系列芯片，之后宝马还高调宣布与 Mobileye、英特尔合作研发 L4 自动驾驶汽车。2017 年 3 月，英特尔以 153 亿美元收购 Mobileye，不仅表明了英特尔对 Mobileye 前景的看好，而且是英特尔在自动驾驶领域的一次关键布局。

但随着特斯拉、高通、华为、地平线等科技公司开始用深度学习算法开发新一代的 L4 自动驾驶技术，量产车搭载的 L2 系统也越来越向着 L4 自动驾驶的技术架构看齐。Mobileye 提供的 EyeQ 系列芯片+算法解决方案，已经不能满足自动驾驶公司和车企们的需求了。

主要原因在于：1) 车企对自动驾驶 AI 芯片算力要求越来越高，Mobileye EyeQ 系列芯片算力掉队；2) Mobileye 封闭性太强，软硬件捆绑销售，车企无法对内部的算法进行修改与调整；3) 算法迭代慢，更新周期长。

自动驾驶芯片算力跟工艺制程紧密相关，决定算力最核心的就是工艺制程。目前包括 Mobileye、特斯拉、英伟达、高通、华为、地平线、黑芝麻等国内外企业均推出了不同工艺制程及算力的自动驾驶芯片，其中英伟达 Orin-X 是目前量产的算力最高的芯片，达到 254TOPS，工艺制程 7nm，此外，公司还公布了 Atlan 芯片，预计算力将达到 1000TOPS。相比之下，Mobileye EyeQ5 算力仅有 24TOPS，已经落后于特斯拉、英伟达、高通、华为等厂商。

图表 142：国内外自动驾驶 AI 芯片

公司	芯片	算力 (TOPS)	工艺 (nm)	自动驾驶级别	功耗 (W)	应用车企/车型	发布/量产时间 (年)
Mobileye	EyeQ1	0.0044	180	L1	2.5	宝马、通用、奥迪、福特、沃尔沃、特斯拉	2008
	EyeQ2	0.026	90	L1	2.5		2010
	EyeQ3	0.256	40	L2	2.5		2014
	EyeQ4	2.5	28	L3	3	蔚来 ES8/ES6/EC6、广汽 Aion V/X、哪吒 U、威马 EX5、小鹏 G3i	2018
	EyeQ5	24	7	L4/L5	10	宝马 iX、极氪 001	2021
	EyeQ6L	-	7	L5	-	-	2023
	EyeQ6H	-	7	L5	-	-	2024
	EyeQ Ultra	176	5	L4	-	-	2025
特斯拉	FSD	72	14	L2	36	Model 3/Y/S/X	2019
英伟达	Tegra X1	-	20	-	10	-	2015
	Parker	1	16	-	15	特斯拉、沃尔沃	2018
	Xavier	30	12	L5	30	小鹏 P7/P5	2020
	Orin-X	254	7	L5	-	蔚来 ET7、智己 L7、威马 M7	2022
	Atlan	1000	-	L5	-	-	2025
高通	骁龙 Ride	10-700	5	L5	40-70	WEY 摩卡	2021
华为	MDC210	16	-	L2+	-	-	2020
	MDC300	64	12	L3	-	-	2019
	MDC600	352	12	L4	-	-	2018
	MDC610	160	-	L3/L4	-	-	2020
	MDC810	400+	-	L4/L5	60	北汽极狐阿尔法 S 华为 HI 版	2021
地平线	征程 2	4	28	L2	2	-	2020
	征程 3	5	16	L3	2.5	理想 ONE 2021 款	2021
	征程 5	96	16	L3/L4	20	-	2022
	征程 5P	128	-	L3/L4	25	-	-
	征程 6	400	7	L4+	-	-	2024

黑芝麻	A500	5.8	16	L2	-	-	2019
	A1000	58	16	L3	<8	-	2022
	A1000L	16	16	L3	<5	-	2022
	A1000 Pro	106	16	L4	-	-	2022
芯驰科技	V9L/F	-	16	-	-	-	2020
	V9T	1	16	L2+	-	-	2021
	V9P/U	10-200	-	L3	-	-	2022
	V9S	500-1000	-	L4/L5	-	-	2023
零跑汽车	凌芯 01	4.2	28	L2+	4	零跑 C11	2021
寒武纪	SD5223	16	-	L2+	-	-	2022
	SD5226	400	7	L4	-	-	2023

资料来源：智驾网，车东西，集微咨询，亿欧，各公司官网，五矿证券研究所

自动驾驶之争是一场软硬平台之战，单颗芯片算力 TOPS 是关键指标，但并非唯一指标，自动驾驶是一个复杂系统，需要“车-路-云-边”协同运作。Mobileye 在近年来落后于英伟达、高通、华为等厂商的另一个重要原因就是封闭性太强，Mobileye 在 EyeQ 芯片内部已经写好了 Mobileye 的感知算法，在车辆行驶时 EyeQ 会直接输出对外部车道线和车辆等目标的感知结果，车辆基于这些结果做出驾驶决策，在这一过程中，车企无法对内部的算法进行修改与调整，这种软硬件捆绑销售的方式，使得算法难以适应车企需求，此外还存在算法迭代慢，更新周期长等问题。这些问题在 L1-L2 阶段并不明显，对于汽车来说选择一个相对可靠、完整的方案是当时最高效、最稳妥的方式，但是随着自动驾驶水平提升，在 L3-L5 阶段，Mobileye 封闭性的弊端就暴露无遗了，而其他车企如英伟达、高通、华为、地平线等则可以直接根据客户的各种需求进行深度自定义，因此从 2021 年起，原来采用 Mobileye 的厂商纷纷开始转投英伟达、华为、高通、地平线的产品，在 2022 年发布的新款车型中，基本已经被英伟达、高通、华为、特斯拉垄断，很难再见到 Mobileye 的身影。

图表 143：部分车企自动驾驶 AI 芯片更迭

车企	过去		现在 (2021)		未来 (2022 及以后)	
	车型	芯片	车型	芯片	车型	芯片
宝马	1 系/X1 等	Mobileye EyeQ1-4	iX	Mobileye EyeQ5	Neue Klasse	高通骁龙 Ride
奥迪	第四代 A8	Mobileye EyeQ3	-	-	-	-
沃尔沃	XC60	Mobileye EyeQ1-2	-	-	XC90	英伟达 Orin-X
特斯拉	2014 款 Model S	Mobileye EyeQ3	全系车型	FSD	全系车型	FSD
蔚来	ES8\ES6\EC6	Mobileye EyeQ4	-	-	ET7	英伟达 Orin-X
理想	理想 ONE 2020 款	Mobileye EyeQ4	理想 ONE 2021 款	地平线征程 3	X01/L9	英伟达 Orin-X
小鹏	G3	Mobileye EyeQ4	P5	英伟达 Xavier	G9	英伟达 Orin-X
	P7	英伟达 Xavier				
威马	-	-	-	-	M7	英伟达 Orin-X
智己	-	-	-	-	L7	英伟达 Orin-X
长城	第三代哈弗 H6	Mobileye EyeQ4	长城 WEY 摩卡 长城沙龙机甲龙	高通骁龙 Ride 华为 MDC610	-	-
长安	长安 UNI-T	地平线征程 2	-	-	阿维塔 11	华为 MDC810

资料来源：车东西，亿欧，五矿证券研究所

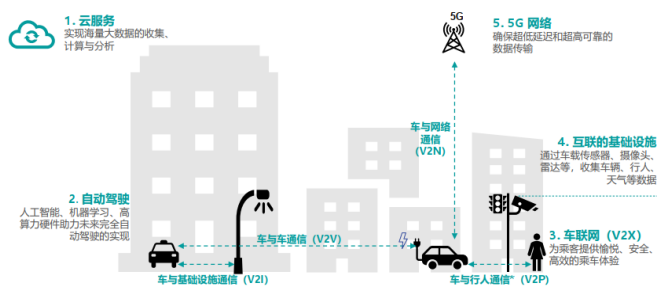
3、汽车网联化：构建“人、车、路、云”的智慧交通体系

3.1 V2X 带来更加高效安全的自动驾驶

智能网联汽车（Intelligent Connected Vehicle, ICV），是指车联网与智能车的有机联合，通过搭载先进的车载传感器、控制器、执行器等装置，并融合现代通信与网络技术，实现车与人、路、后台等智能信息交换共享，实现安全、舒适、节能、高效行驶。自动驾驶智能只能探测视野范围内的物体或人，而车联网则可以探测到视野范围外的物体或人，可以更大程度实现高效和安全驾驶。

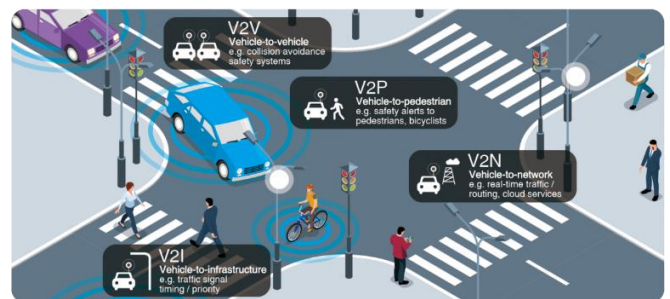
V2X（Vehicle to Everything）作为一种车用无线通信技术，是将车辆与一切事物相连接的一代信息通信技术。其中V代表车辆，X代表任何与车交互信息的对象，X主要包含车（Vehicle to Vehicle, V2V）、人（Vehicle to Pedestrian, V2P）、交通路侧基础设施（Vehicle to Infrastructure, V2I）和网络（Vehicle to Network, V2N）。V2X 将“人、车、路、云”等交通参与要素有机地联系在一起，不仅可以支撑车辆获得比单车感知更多的信息，促进自动驾驶技术创新和应用，还有利于构建一个智慧的交通体系，促进汽车和交通服务的新模式新业态发展，对提高交通效率、节约资源、减少污染、降低交通事故发生率、改善交通管理具有重要意义。

图表 144：信息和通信技术已全面渗透进如今的移动出行场景



资料来源：Ipsos，五矿证券研究所

图表 145：V2X



资料来源：Carnavi，五矿证券研究所

图表 146：车联网定义及功能

	V2V	V2I	V2P	V2N
定义	指车载终端之间的通信，车载终端可获取周围车辆的速度、位置、行车情况等信息，车辆间也可以构成一个互动平台，实时交换文字、图片和视频等信息	指车载设备与路侧基础设施（红绿灯、交通摄像头、路侧单元）等进行通信，路侧基础设施可以获取附近车辆的信息并发布各种实时信息	指弱势交通群体（包括行人、骑行者等）使用用户设备（如手机、笔记本电脑等）与车载设备进行通信	指车载设备通过接入网核心网与云平台连接，实现云平台与车辆之间进行数据交换，并对获取的数据进行存储和处理，提供车辆所需的应用服务
作用	主要应用于避免或减少交通事故、车辆监督管理等	主要被应用于实时信息服务、车辆监控管理、不停车收费等	主要应用于避免交通事故、信息服务等	主要应用于车辆导航、车辆远程监控、紧急救援、信息娱乐服务等

资料来源：艾瑞，五矿证券研究所

根据 Ipsos 数据，车联网发展过程将分为车内互动和车外连接两步走，在 2025 年前，主要以车内互动为主，包括基础硬件连接，智能手机支持连接和人车实时互动；2025-2050 年间，主要以车外连接为主，包括实时驾驶安全保障，行程整体优化，帮助车辆进行精准路径选择，避免碰撞事故发生。此外，根据 Deloitte 数据，网联化解决方案将采用“云、管、端”模式，实现数据流动和信息交互。

图表 147：车联网发展阶段



资料来源：Ipsos，五矿证券研究所

图表 148：车联网产业生态



资料来源：Deloitte，五矿证券研究所

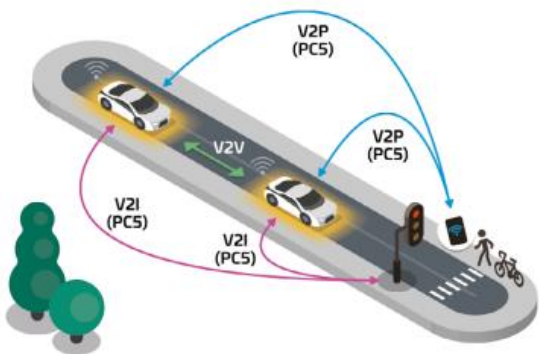
3.2 C-V2X 将逐步成为全球车联网主流技术路线

目前国际上主流的车联网无线通信技术有 DSRC (Dedicated Short Range Communications，专用短程通信技术) 和 C-V2X (Cellular-V2X，蜂窝车联网) 两条技术路线。

DSRC 基于 IEEE 802.11p 标准进行开发，由 IEEE 于 2010 年完成标准化工作，可以实现小范围内图像、语音、数据的实时、准确和可靠的双向传输，将车辆和道路有机连接，采用专属无线频率：5.9GHz 频段内的 75MHz 频谱。全球 DSRC 标准主要有美国、欧洲、日本三大阵营，分别是美国的 900MHz，欧洲的 ENV 系列，日本的 ARIB STD-T75 标准，发展较为成熟，也是欧美日等国家/地区车联网的主流技术。

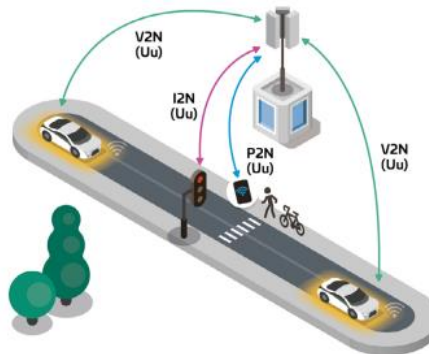
C-V2X 是基于蜂窝通信和终端直通通信融合的车联网技术，以 4G/5G 蜂窝网络为基础，可以实现长距离和更大范围的通信，在技术先进性、性能以及后续演进等方面，比 DSRC 更有优势。LTE V2X 包括集中式 (LTE-V-Cell) 和分布式 (LTE-V-Direct) 两种技术，其中 LTE-V-Cell 以基站为分布中心，LTE-V-Direct 则是车车之间的直接通信。

图表 149：DSRC 车联网



资料来源：5GAA，五矿证券研究所

图表 150：C-V2X 车联网



资料来源：5GAA，五矿证券研究所

虽然 DSRC 成立时间早于 C-V2X，但是 DSRC 与 C-V2X 之间仍有明显差距，主要体现在以下几点：

- 1) DSRC 性能不足：在高速环境下，DSRC 难以保持良好的通信稳定性。在福特与大唐、高通的联合测试中，当超过一定的通信距离后，基于 DSRC 技术的产品出现了明显的失真，而 LTE-V2X 能更好地胜任这项任务。
- 2) DSRC 占用频谱较多：相较于 DSRC，WiFi 对于 5.9GHz 频段的需求更为迫切，因此就需要在 WiFi 与 DSRC 的应用频谱上进行权衡，这也是美国从 DSRC 转向 C-V2X 的主要原因之一。
- 3) DSRC 发展空间有限：就未来发展空间而言，DSRC 较为有限，而 C-V2X 是一项可持续演进的技术。根据 C-V2X 的发展规划，无论是目前的 LTE-V2X 还是未来的 NR-V2X，都是立足当下、面向未来的出色解决方案。既满足了目前的车联网需求，同时未来的前景也值得期待。

C-V2X 的优势还体现在大规模部署上的成本控制。虽然在成熟度及产业链的完整性方面，DSRC 与 C-V2X 技术差别不大，但在实现成本上，C-V2X 凭借现有的 4G/5G 通信基站，合理利用资源，可以有效节约建设成本。

DSRC 的优势则体现在兼容性和互操作性方面。DSRC 在设计之初就保证了 802.11p 和 802.11bd 之间的互操作性，二者完全兼容。而 C-V2X 的各个版本互不兼容，Rel.14/Rel.15 和 Rel.16 工作在不同的频段，后续的设备必须支持多个版本以保持与先前设备的兼容性。

图表 151：DSRC 与 C-V2X 对比

	DSRC	C-V2X
标准组织	IEEE、SAE、ETSI	3GPP、ETSI、5GAA
技术成熟度	802.11p 2012 年完成技术标准化	LTE-V2X—LTE-eV2X—5G NR-V2X 标准持续演进中
工作频段	ITS 5.8-5.9GHz	直接通信：5.9GHz 网络通信：相容 4G LTE 与未来 5G NR
应用项目	直接通信：V2V、V2I	直接通信：V2V、V2I、V2P 网络通信：V2N
技术目标		
传输距离	平均 250-300m	数公里
数据传输量	54Mbps	100Mbps
通信时延	<20ms	4G: 4ms 5G: ≤1ms
支持车速	200km/h	500km/h (5G)
产业推动者	车企、政府	车企、电信运营商

资料来源：高通，五矿证券研究所

虽然是后起之秀，但由于 C-V2X 的可靠性和稳定性等均明显优于 DSRC，C-V2X 已经获得了多个国家及产业界的支持，中国企业主推 LTE-V2X 技术；美国电信运营商、福特等车企明确表示倾向于 LTE-V2X 技术；欧洲的宝马、奥迪、标志雪铁龙等车企也已转向支持 C-V2X 技术；日本 ITS-forum 宣布技术中立，将 LTE-V2X 作为备选技术。美国已将 5.9G 频段 5.895-5.925GHz 的 30MHz 分配给 C-V2X 车联网技术；欧洲也修改了 5.9G 频段使用，扩展 ITS 道路安全应用为 5875-5925MHz，采用技术中立方式，不限制具体技术。全球车联网技术路

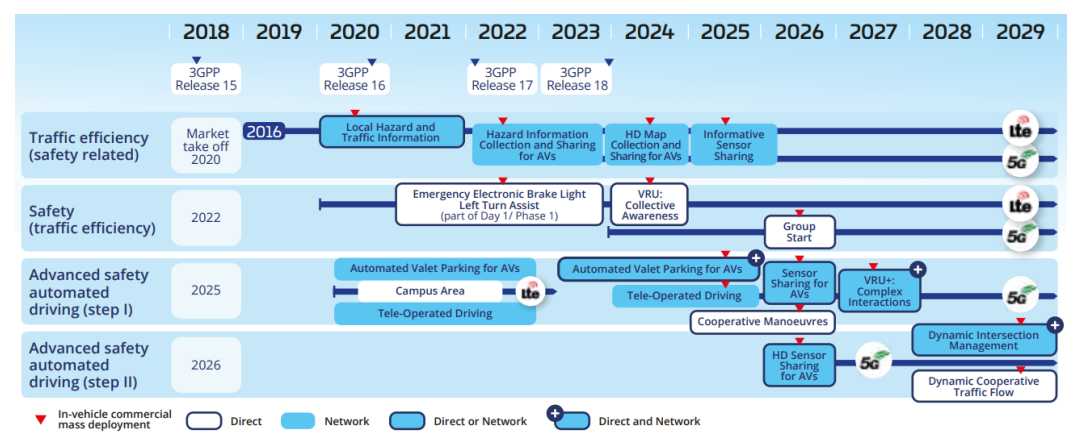
线正在向 C-V2X 聚焦，5GAA（5G 汽车协会）也于 2020 年 9 月发布了 C-V2X 通信技术路线图。我们认为，未来在车联网领域，C-V2X 将有望得到更广泛的应用。

图表 152：C-V2X 随着驾驶安全性要求提高将得到更广泛的应用



资料来源：IEEE，五矿证券研究所

图表 153：2018-2029 年 C-V2X 通信技术路线图



资料来源：5GAA，五矿证券研究所

2018 年 11 月，工信部无线电管理局正式发布《车联网（智能网联汽车）直连通信使用 5905-5925MHz 频段的管理规定（暂行）》，规划 5905-5925MHz 频段作为基于 LTE-V2X 技术的车联网（智能网联汽车）直连通信的工作频段，标志着中国 LTE-V2X 正式进入产业化阶段。随着中国车联网产业化进程逐步加快，目前已围绕 LTE-V2X 形成包括通信芯片、通信模组、终端设备、整车制造、运营服务、测试认证、高精度定位及地图服务等为主导的完整产业链生态。

图表 154：中国 C-V2X 产业链



资料来源：中国通信学会，《C-V2X 白皮书》，五矿证券研究所

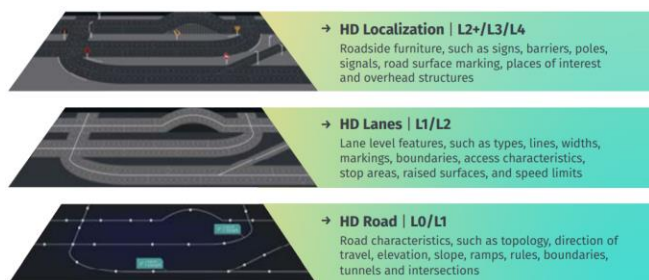
3.3 高精地图：深度助力自动驾驶定位、感知、规划、决策

传统导航地图精度为 10 米左右，主要解决的是驾驶员路线导航问题。进入 ADAS 时代，车辆行驶需要有自感知能力，实现部分驾驶行为的智能化，此时则需要 ADAS 地图精度提升至 1 米左右。随着自动驾驶越来越近，对于 L3 及以上级别的自动驾驶汽车而言，ADAS 地图已经不能满足需求，高精地图成为了必备选项，其作用主要包括定位、辅助感知、路径规划。

高精度地图通俗来讲就是精度更高、数据维度更多的电子地图。精度更高主要体现在高精地图的绝对坐标精度更高，可以精确到厘米级别；数据维度更多主要体现在高精地图不仅包含了道路信息，比如车道线的位置、类型、宽度、坡度和曲率等车道信息，还包括了几乎所有与交通相关的周围的固定对象信息，比如交通标志、信号灯、车道限高、下水道口、障碍物、高架物体、防护栏、道路边缘类型、路边地标等。

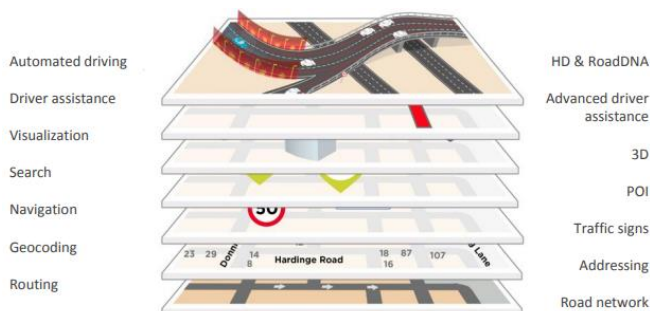
高精度地图除了在自动驾驶汽车行驶时提供导航作用外，还为自动驾驶汽车的安全行驶发挥了极大作用。作为车载摄像头、毫米波雷达、激光雷达等的补充，不仅扩展了自动驾驶系统的静态感知和全局视野，而且为自动驾驶系统的定位、感知、规划和决策等环节提供了辅助支撑。在使用对象、精度、信息量、信息实时性等方面，高精地图比传统导航地图的表现更为优异。

图表 155：Here 高精地图图层



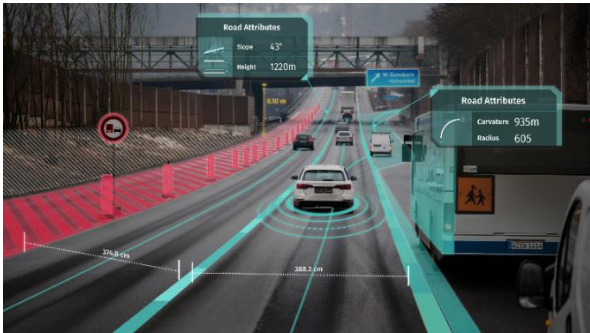
资料来源：Here，五矿证券研究所

图表 156：TomTom 高精地图图层



资料来源：TomTom，五矿证券研究所

图表 157：高精地图信息展示（限高、路宽、坡度、半径等）



资料来源：Here，五矿证券研究所

图表 158：高精地图信息展示（限速、剩余路程、坡度、半径等）



资料来源：TomTom，五矿证券研究所

图表 159：传统导航地图与高精地图对比

维度	传统导航地图	高精地图	
		ADAS 地图	AD 地图
地图信息	道路级别信息	车道级别信息	
路径规划	全景	局部	
精度	10 米级	米级	厘米级
信息量	道路级别数据：道路形状、坡度、铺设、方向等	高精道路级别数据：道路形状、坡度、曲率、铺设、方向等	增加车道属性相关数据以及高架物体、防护栏、树、道路边缘类型、路边地标等大量目标数据
实时性	永久静态数据（更新频率约 1 个月），半永久静态数据（更新频率约 1 小时）	永久静态数据（频率约 1 个月），半永久静态数据（频率约 1 小时），半动态数据（频率约 1 分钟），动态数据（频率约 1 秒）	
街道名称信息重要性	重要	一般	一般
道路曲率数据重要性	一般	重要	重要
道路几何特征	重要	重要	重要
定位	依赖 GPS 定位，定位准确性取决于 GPS 精度、信号强弱及定位传感器的误差	通过更高维的数据结合高效率的匹配算法，能够实现更高尺度的定位与匹配	
功能	辅助驾驶的导航功能	“地图匹配+辅助环境感知+路径规划”：通过“高精度+高动态+多维度”的地图数据为智能驾驶提供自变量和目标函数	
使用对象	驾驶员	ADAS 系统	自动驾驶系统

资料来源：艾瑞，创睿微律，五矿证券研究所

高精地图市场本质是数据的服务市场，整个市场目前仍然处于数据采集为主、增值应用为辅的阶段，只有具备大量高精地图数据的企业才具备很强的竞争力，传统图商在地图的测绘、采集、编制等方面具有长期积累的优势，因此市场中占据了主导力量。

在高精地图的数据采集、编辑、加工等过程中，往往涉及对中国敏感目标的地理坐标、影像等国防安全信息数据的收集与处理，因此中国对于企业获取地图测绘和制作资质有着极其严格的要求。据《中华人民共和国测绘法》，国家对于从事测绘活动的单位实行测绘资质管理制度，从事测绘活动的单位依法取得相应等级的测绘资质证书，方可从事相应的测绘活动。因此中国对外资进入这一领域均设置有严苛的准入限制，虽然外资在尝试以种种模式进入中国

高精地图市场，但其本质仍限于研发、支持性技术服务和一定商业合作等，从而间接获得与中国高精地图市场有关的部分利益，比如 Here 与四维图新合作，在华提供位置服务，服务内容主要包括地图显示、导航、定位等。但是有关数据采集、编辑、加工、制备等测绘活动仍由境内资质主体独立完成，因此中国高精地图厂商天然具备高壁垒。

国外企业主要有 Waymo、Here、TomTom、Zenrin、Mobileye、DeepMap 等。中国目前拥有导航电子地图制作甲级测绘资质的企业共有 30 家，但真正有高精地图采制能力的公司屈指可数，目前业界公认具有高精地图采制能力的公司包括四维图新、高德地图、百度地图、易图通等，主要原因在于成本较高。高精地图的成本主要包括采集成本和编译制作成本，采集成本包括设备成本、负责采集车辆的行驶耗材、人力成本、过路费等，一辆采集车需要配置的设备包括激光雷达、摄像头、陀螺仪、GPS 接收机、数据存储和计算设备等，1 辆专业型采集车价格在 100 万左右，编译制作成本主要是人力成本，需要投入相当多的人力来完成地图绘制、校正地图信息、更新 POI 信息、更新互联网用户报错等任务。为此，除了资金实力雄厚的老牌图商，大多数图商采用成本较低的众包制图模式，通过与整车厂合作，使用其摄像头、激光雷达等传感器采集道路信息，但是与专业的采集车相比，最大劣势在于不准确。因此，我们认为老牌图商利用资金优势将有望建立起更大的领先优势。

图表 160：中国导航电子地图甲级测绘资质名单

公司	类型	成立时间	获得资质时间
四维图新	传统图商	2002	2001.1
高德	阿里子公司	2001	2004.6
灵图	传统图商	1999	2005.6
长地万方	百度子公司	2002	2005.5
凯立德	传统图商	1997	2005.6
易图通	传统图商	1997	2005.7
立得空间	传统图商	1999	2007.6
大地通途	腾讯子公司	2005	2007.6
光庭信息	传统图商	2011	2013.6
滴图科技	滴滴子公司	2016	2017.1
中海庭	上汽子公司	2016	2018.8
Momenta（初速度）	自动驾驶公司	2016	2018.8
宽凳科技	自动驾驶公司	2017	2019.1
晶众科技	传统图商	2018	2019.5
智途科技	传统图商	2006	2019.5
华为数字技术	华为子公司	2006	2019.7
丰图科技	顺丰子公司	2018	2019.11
京东参佰陆拾度电子商务	京东子公司	2007	2020.1
美大智达科技	美团子公司	2018	2020.10
国家基础地理信息中心	事业单位	1995	2006.1
江苏省基础地理信息中心	事业单位	2000	2010.10
江苏省测绘工程院	事业单位	1984	2008.6
浙江省第一测绘院	事业单位	1975	2008.6
浙江省测绘科学技术研究院	事业单位	2008	2020.10

城际高科	车载信息终端公司	2000	2007.4
亿咖通	汽车智能化科技公司	2017	2020.10
美行科技	车载信息系统公司	2008	2020.5
中交宇科	地理信息系统公司	2008	2020.5
速度时空	传统图商	2007	2020.7
航天宏图	遥感和北斗导航卫星应用服务商	2008	2021.1
宏图创展	传统图商	2001	2021.1

资料来源：自然资源部，易观，五矿证券研究所

图表 161：高精地图企业与车企合作情况

车企	高精地图供应商	落地时间	车企	高精地图供应商	落地时间
吉利	高德	2021	蔚来	百度	2020
凯迪拉克	高德	2020	上汽	中海庭、晶众、 四维图新	2020
东风	高德、晶众	2020	一汽	易图通、百度	2019
小鹏	高德	2020	现代	宽凳	2020
宝马	四维图新	2021	江淮	百度	2019
奥迪	Here、高德	2019	通用	高德	2019
长城	百度	2020	福特	易图通	2021
广汽新能源	百度、宽凳	2019	沃尔沃	百度	2021
长安	百度、Mobileye	2020	路虎	高德、百度	2020
奇瑞	百度	2020	标致雪铁龙	百度	2020

资料来源：易观，零壹智库，五矿证券研究所

在收费模式上，传统导航地图为 License 授权模式，高精地图主要分为按单位时间和按数据量收费两种收费模式，或者采用两种方式的混合。保守估计高精地图 License 费用是传统导航地图（~200 元/车）的 5 倍以上，即 1000 元/车；服务费方面，高德在 2019 年推出单车每年不超过 100 元的标准化高精地图方案，有利于加快高精地图的普及。

图表 162：传统导航地图与高精地图盈利模式对比

	盈利模式	具体方式
传统导航地图	License	通过授予整车厂地图使用权获得授权费
	年费制	类似于 License 模式，但按照时间单位进行收费
高精地图	服务费模式	按照使用数据量收费，定价往往由双方谈判决定
	混合模式	License+服务费模式相结合，每年收取授权费，额外再按照后续更新的数据量进行收费

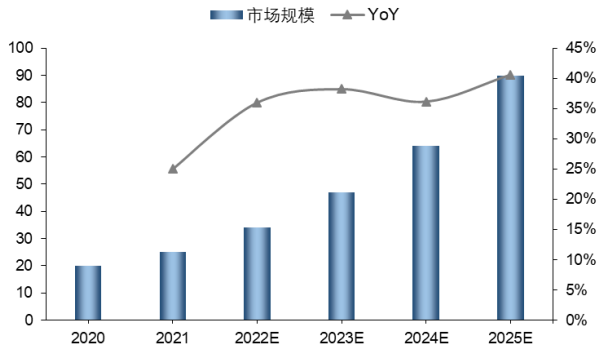
资料来源：华经情报网，五矿证券研究所

随着自动驾驶普及率提升，高精地图市场规模也将呈现增长态势。根据 AI 车库数据，2021 年全球高精地图市场规模为 25 亿美元，预计 2022 年将达到 34 亿美元，2025 年将达到 90

亿美元。根据易观数据，2021 年中国高精地图市场规模为 10.2 亿美元，预计 2022 年将达到 12.8 亿美元，2025 年将达到 32 亿美元。

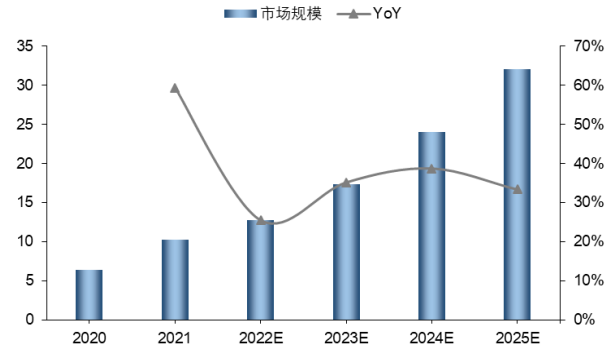
根据 IDC 数据，2020 年中国高精地图厂商 Top5 分别是百度/四维图新/易图通/高德/Here，市占率分别为 28.07%/21.61%/16.15%/13.07%/7.8%，行业集中度较高。

图表 163：2020-2025 年全球高精度地图市场规模（亿美元）



资料来源：AI 车库，五矿证券研究所

图表 164：2020-2025 年中国高精度地图市场规模（亿美元）



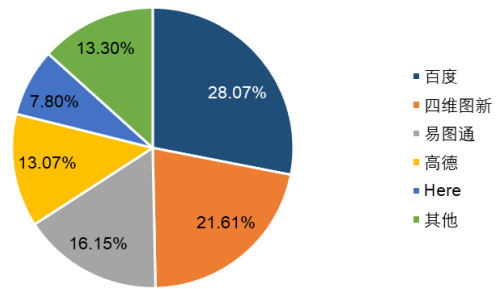
资料来源：易观，五矿证券研究所

图表 165：全球高精度地图厂商



资料来源：IDC，五矿证券研究所

图表 166：2020 年中国高精地图厂商 Top5

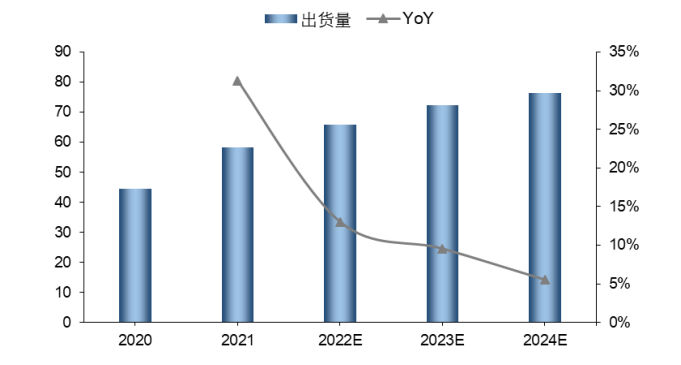


资料来源：IDC，五矿证券研究所

3.4 智车之“耳”：射频前端芯片助力汽车网联化渗透率提升

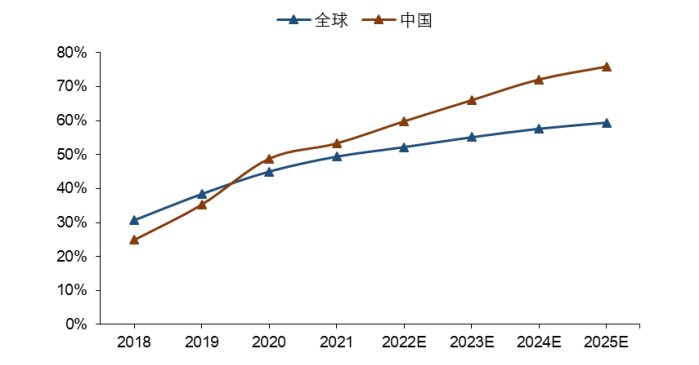
根据 IDC 数据，2020-2024 年，全球智能网联汽车出货量将保持稳步增长，2020 年为 4440 万辆，2024 年将达到 7620 万辆，CAGR 为 14.5%。渗透率方面，也将保持稳步上升趋势，根据 IHS Markit 数据，预计 2025 年全球智能网联汽车渗透率将达到 59.4%，中国智能网联汽车渗透率将达到 75.9%。

图表 167：2020-2024 年全球智能网联汽车出货量（百万辆）



资料来源：IDC，五矿证券研究所

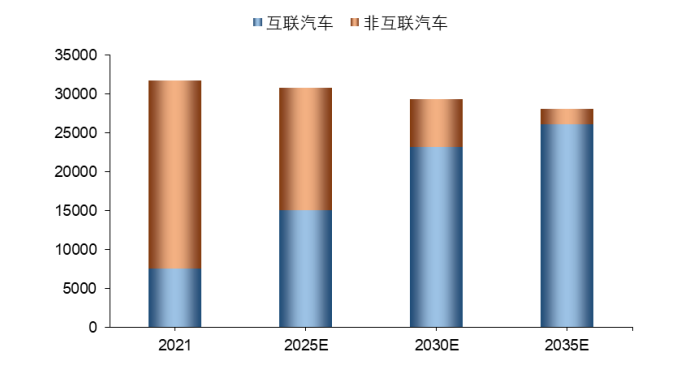
图表 168：2018-2025 年全球及中国智能网联汽车渗透率



资料来源：IHS Markit，五矿证券研究所

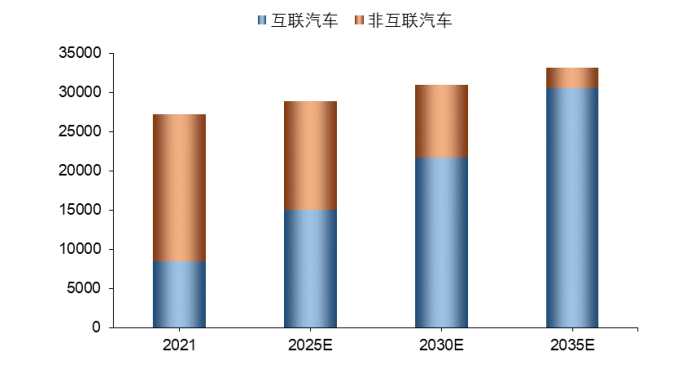
全球各主要国家/地区来看，根据 PwC 数据，2021-2035 年，欧盟汽车保有量将从 3.2 亿辆下降至 2.8 亿辆，互联汽车渗透率将从 24% 提升至 93%；美国汽车保有量将从 2.7 亿辆增长至 3.3 亿辆，互联汽车渗透率将从 31% 提升至 92%；中国汽车保有量将从 2.1 亿辆增长至 3.5 亿辆，互联汽车渗透率将从 33% 提升至 72%；日本汽车保有量将从 0.68 亿辆下降至 0.60 亿辆，互联汽车渗透率将从 12% 提升至 74%。整体而言，全球各主要国家/地区互联汽车渗透率将保持快速上升态势。

图表 169：欧盟汽车保有量（万辆）和互联汽车渗透率



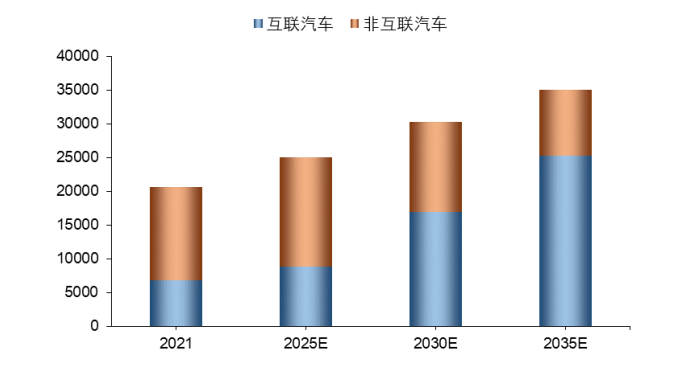
资料来源：PwC，五矿证券研究所

图表 170：美国汽车保有量（万辆）和互联汽车渗透率



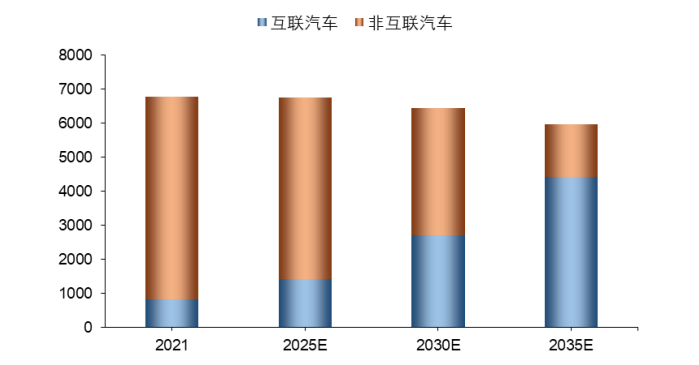
资料来源：PwC，五矿证券研究所

图表 171：中国汽车保有量（万辆）和互联汽车渗透率



资料来源：PwC，五矿证券研究所

图表 172：日本汽车保有量（万辆）和互联汽车渗透率



资料来源：PwC，五矿证券研究所

汽车网联化的提升，将进一步带动车载零部件功能的丰富，射频前端芯片作为无线通信的关

键零部件之一，能够将射频信号与数字信号进行转换，包括功放 PA、滤波器、低噪声放大器 LNA、天线开关、双工器、调谐器等。未来，射频前端芯片将如同汽车的耳朵一样将助力车联网技术发展，将“人-车-路-云”等多种交通参与要素紧密联系在一起，弥补单辆汽车智能化不足，推动协同式应用服务发展。

4、投资建议

4.1 投资观点

智能化方面：自动驾驶将成为评判智能化水平的核心关键。SAE（国际汽车工程师学会）将自动驾驶技术分为 L0-L5，共 6 个等级。其中 L0-L2 仍然需要驾驶员驾驶，属于 ADAS（高级辅助驾驶系统）范畴，而从 L3 开始，汽车才真正进入到自动驾驶范畴，L3 指在特定场景下，系统可以实现对车辆的完全接管，当驾驶员在系统失效时，驾驶员取得驾驶权。根据 SAE 的定义，在 L1 时，驾驶员可以“脱脚”；在 L2 时，驾驶员可以“脱手”；在 L3 时，驾驶员可以“脱眼”；在 L4 时，驾驶员可以“脱脑”；在 L5 时，已经不需要驾驶员。

相比于传统有人驾驶，自动驾驶具有诸多优势，包括安全性高、成本低、效率高等。目前受技术水平、法律法规等因素限制，L3 级别以上家用车还并未大规模普及，但是在一些特定场景或者商业运营场景已经开始崭露头角。开放场景以载人为主，包括 Robobus、Robotaxi、Minibus 等，均基于 L4/L5 级别自动驾驶技术，半封闭以及封闭场景则以载物为主，比如 Robotruck，其中半封闭场景包括干线物流、无人环卫、末端配送等，封闭场景包括矿山运输、港口运输等。

自动驾驶系统分为感知层、决策层和控制层，感知层主要通过摄像头、雷达等感知周围环境信息，并通过 GPS/惯导等实现定位等车辆状态的获取；决策层依据感知层提供的环境信息和车辆定位情况，根据适合的模型进行路径规划等决策；控制层则通过底盘及各种控制附件，驱动车辆执行相应命令动作。未来随着 Robotaxi 等商用化加速落地，以及家用车自动驾驶技术水平提升和功能更佳丰富，将给硬件配置将带来新的发展机会。

感知层：根据 Yole 数据，对于单辆车而言，L1 级别各类传感器数量为 6 颗，价值量 260 美元；L2 级别为 13 颗，价值量 405 美元；预计 L3 级别将达到 24 颗，价值量 2050 美元；L4 级别将达到 38 颗，价值量 3430 美元；L5 级别将达到 35 颗，价值量 3170 美元。市场规模方面，在自动驾驶领域，根据 Yole 数据，预计 2020-2025 年，摄像头模组将从 35 亿美元增长至 81 亿美元，CAGR 为 18%；毫米波雷达将从 38 亿美元增长至 91 亿美元，CAGR 为 19%；激光雷达将从 4 千万美元增长至 17 亿美元，CAGR 为 113%。

决策层：随着自动驾驶从 L1-L5 升级，汽车 E/E 架构将逐步升级，从分布式架构迈向基于域的集中式架构，最终达到整合域的中央计算平台架构。这将对 AI 芯片算力提出越来越高的要求，传统 CPU 已无法满足算力提升需求，GPU/FPGA/ASIC/类脑等加速芯片重要性将越来越高。每提升一个级别，算力需求增加 10 倍以上。根据亿欧数据，L1 级别算力需求小于 1TOPS，L2 级别算力需求 2TOPS，L3 级别算力需求 30TOPS，L4 级别算力需求 300TOPS，L5 级别算力需求 4000+TOPS。中国自动驾驶 AI 芯片市场规模 2021 年为 25.1 亿元，预计到 2025 年将达到 109.9 亿元，CAGR 为 44.7%。

网联化方面：当智能化自动驾驶发展到一定程度后，车辆与外部的沟通交流就愈发重要，V2X 有利于构建一个智慧的交通体系，对提高交通效率、节省资源、减少污染、降低事故发生率、改善交通管理具有重要意义。C-V2X 凭借高可靠性、高稳定性、低成本、广覆盖、低时延等

优势，未来在车联网领域将得到更广泛的应用。在 L3 及以上自动驾驶领域，传统导航地图已经不再适用，而高精地图具有更高的精度、更多维的数据，将深度助力自动驾驶定位、感知、规划、决策。同时由于地图测绘、采集等涉及到国防安全信息，导航电子地图制作甲级测绘资质需要严格审批才能获得，因此国内厂商有着天然的高壁垒优势，有望在未来 L3 自动驾驶到来时充分受益。根据 IDC 数据，2020-2024 年，全球智能网联汽车出货量将保持稳步增长，2020 年为 4440 万辆，2024 年将达到 7620 万辆，CAGR 为 14.5%。渗透率方面，亦将保持稳步上升趋势，根据 IHS Markit 数据，预计 2025 年全球智能网联汽车渗透率将达到 59.4%，中国智能网联汽车渗透率将达到 75.9%。在网联化过程中，射频前端芯片将如同汽车的耳朵一样将助力车联网技术发展，从而弥补单辆汽车智能化不足，推动协同式应用服务发展。

4.2 建议关注

摄像头：联创电子；

激光雷达：长光华芯，炬光科技。

4.2.1 联创电子 (002036.SZ)

公司主营业务是光学镜头、摄像模组及触控显示一体化等关键光学、光电子产品及智能终端产品制造，下游领域包括智能手机、平板电脑、智能驾驶、运动相机、智能家居、VR/AR 等。2022Q1 公司实现营收 20.1 亿元，YoY-12.1%；归母净利润 0.4 亿元，YoY+10.9%；毛利率 12.0%，净利率 1.9%。

2022Q1，公司主业收入增长良好，光学业务快速发展，同比增长 103.79%。1) 高清广角镜头和高清广角影像模组业务方面，同比增长 51.21%，保持了良好出货，客户有 GoPro、大疆、影石、AXON 等，同时与华为在智能监控和智能驾驶等多个领域展开了深度合作；为大疆在航拍、智能避障开发的多个产品线已大批量产出货。2) 车载镜头及模组业务方面，同比增长 1042.85%，公司与 Mobileye、Nvidia、华为、Aurora 等国内外知名智能驾驶方案平台商开展战略合作，不断发力智能驾驶、智能座舱车载镜头领域，8M ADAS 车载镜头和影像模组研发成功并获得客户认可。与多家国内外知名汽车电子厂和新能源车厂合作开发的多款车载镜头和影像模组分别被 Valeo、Magna、Aptiv、比亚迪、零跑等知名客户定点签约。3) 手机镜头和手机影像模组业务方面，同比增长 99.84%，客户有中兴、联想、三星等品牌手机客户，以及华勤、闻泰、龙旗等 ODM 厂商。

在车载光学领域，公司已将非公开发行股票原计划投入“年产 2.6 亿颗高端手机镜头产业化项目”的募集资金全部用于“年产 2400 万颗智能汽车光学镜头及 600 万颗影像模组产业化项目”，以加快发展车载光学项目，提升车载镜头和影像模组产能。同时与合肥高新管委会指定主体共同出资设立项目公司，拟于 2025 年底前形成年产车载镜头和车载影像模组各 5000 万颗的研发、生产能力。截至 2021 年底，与 Tesla 的合作取得了 4 个新项目的定点，其中 2 个新项目进入量产，另外 2 个新项目通过客户认证，预计在 2022 年中量产。

4.2.2 长光华芯 (688048.SH)

公司聚焦半导体激光行业，主要业务为半导体激光芯片的研发、设计及制造，产品大致分为 EEL 和 VCSEL，具体产品包括高功率单管系列产品、高功率巴条系列产品、高效率 VCSEL

系列产品及光通信芯片系列产品等，其中高功率半导体激光芯片和光通信芯片属于 EEL，下游应用包括医学美容、激光雷达、机器视觉定位、智能安防、消费电子、3D 传感与摄像、人脸识别与生物传感等领域。2022Q1 公司实现营收 1.1 亿元，YoY+43.6%；归母净利润 0.3 亿元，YoY+45.7%；毛利率 50.2%，净利率 24.7%。

公司采用 IDM 模式，产线有 3 英寸和 6 英寸（6 英寸是半导体激光行业最大尺寸的产线），材料包括 GaAs（砷化镓）和 InP（磷化铟）。在工业激光器领域，公司生产的高功率半导体激光单管芯片、器件及光纤耦合模块等光电器件产品，已作为泵浦源应用于下游工业激光器的量产。在材料加工领域，公司生产的直接半导体激光器产品，已应用于下游激光成套设备厂商，广泛应用于 3C 消费类电子、机械五金、医疗器械及激光再制造等领域。在国家战略高技术及科学研究领域，公司的高功率巴条系列产品可实现连续脉冲（CW）50-250W 激光输出，准连续脉冲（QCW）500-1000W 激光输出，电光转换效率 63%以上，广泛应用于固体激光器等激光器的研制，已服务于多家国家级骨干单位。公司研发的面发射高效率 VCSEL 系列产品已通过相关客户的工艺认证，目前公司已获得相关客户 VCSEL 芯片量产订单，产品应用领域扩展至激光雷达及 3D 传感领域，功率密度已经达到了 1200 瓦每平方毫米，2022 年有望实现 VCSEL 方案的车规认证通过。

4.2.3 炬光科技（688167.SH）

公司主要从事激光行业上游的高功率半导体激光元器件（“产生光子”）、激光光学元器件（“调控光子”）的研发、生产和销售，目前正在拓展激光行业中游的光子应用模块和系统（“提供解决方案”，包括激光雷达发射模组和 UV-L 光学系统等）的研发、生产和销售。公司主要收入来源于半导体激光、激光光学业务领域，目前正在拓展汽车应用和光学系统业务领域。下游应用领域包括先进制造、医疗健康、科学研究、汽车应用（激光雷达）、信息技术五大领域。2022Q1 公司实现营收 1.1 亿元，YoY+20.8%；归母净利润 0.2 亿元，YoY+120.9%；毛利率 54.6%，净利率 17.2%。

展望未来，高功率半导体激光元器件方面，泵浦类应用将持续快速发展，直接应用类场景将更加丰富；激光光学元器件在激光作为能量源载体的应用中将向更高精度、更高性能发展，在新一代信息技术应用中将向设计紧凑、大批量低成本制造发展；中游光子应用模块和系统将在下游行业逐渐渗透，助力行业技术升级换代，满足更高的应用场景需求。

公司的竞争优势主要有：1）设计能力强；2）器件制造一致性有保证，具有成本优势；3）损失小。汽车应用于，公司持续向汽车行业客户交付量产的 Flash LiDAR 面光源模组产品及激光雷达光学整形器件，已和大陆集团在 FlashLiDAR 上合作量产项目，并与大客户约定未来有意向在车载激光雷达发射模组开展合作，此外 1550nm 正在做一些前沿的布局，现阶段主要应用 EEL 技术，已为客户提供 VCSEL 解决方案，未来随着激光雷达成本进一步下探，有望迎来装载量快速提升，带动公司激光雷达相关产品驶入发展快车道。

5、风险提示

- 1、新能源车销量、Robotaxi 等商业落地不及预期；
- 2、车规级传感器、芯片等产品导入不及预期；
- 3、激光雷达、AI 芯片等技术研发进度不及预期。

分析师声明

作者在中国证券业协会登记为证券投资咨询(分析师),以勤勉的职业态度,独立、客观地出具本报告。作者保证:(i)本报告所采用的数据均来自合规渠道;(ii)本报告分析逻辑基于作者的职业理解,并清晰准确地反映了作者的研究观点;(iii)本报告结论不受任何第三方的授意或影响;(iv)不存在任何利益冲突;(v)英文版翻译若与中文版有所歧义,以中文版报告为准;特此声明。

投资评级说明

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;香港市场以恒生指数为基准;美国市场以纳斯达克综合指数或标普 500 指数为基准。	股票评级	买入	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报在 20%及以上;
		增持	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报介于 5%~20%之间;
		持有	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报介于-10%~5%之间;
		卖出	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报在-10%及以下;
		无评级	预期对于个股未来 6 个月市场表现与基准指数相比无明确观点。
	行业评级	看好	预期行业整体回报高于基准指数整体水平 10%以上;
		中性	预期行业整体回报介于基准指数整体水平-10%~10%之间;
		看淡	预期行业整体回报低于基准指数整体水平-10%以下。

一般声明

五矿证券有限公司(以下简称“本公司”)具有中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。本公司不会因接收人收到本报告即视其为客户,本报告仅在相关法律许可的情况下发放,并仅为提供信息而发放,概不构成任何广告。本报告的版权仅为本公司所有,未经本公司书面许可,任何机构和个人不得以任何形式对本研究报告的任何部分以任何方式制作任何形式的翻版、复制或再次分发给任何其他人。如引用须联络五矿证券研究所获得许可后,再注明出处为五矿证券研究所,且不得对本报告进行有悖原意的删节和修改。在刊载或者转发本证券研究报告或者摘要的同时,也应注明本报告的发布人和发布日期及提示使用证券研究报告的风险。若未经授权刊载或者转发本报告的,本公司将保留向其追究法律责任的权利。若本公司以外的其他机构(以下简称“该机构”)发送本报告,则由该机构独自为此发送行为负责。

本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断,本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入或将产生波动;在不同时期,本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告;本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时,本公司对本报告所含信息可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。

本报告的作者是基于独立、客观、公正和审慎的原则制作本研究报告。本报告的信息均来源于公开资料,本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证,也不保证所包含信息和建议不发生任何变更。本公司已力求报告内容的客观、公正,但文中的观点、结论和建议仅供参考,不包含作者对证券价格涨跌或市场走势的确定性判断。在任何情况下,报告中的信息或意见不构成对任何人的投资建议,投资者据此做出的任何投资决策与本公司和作者无关。在任何情况下,本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利,不与投资者分享投资收益,也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。本公司及作者在自身所知情范围内,与本报告中所评价或推荐的证券不存在法律法规要求披露或采取限制、静默措施的利益冲突。

五矿证券版权所有。保留一切权利。

特别声明

在法律许可的情况下,五矿证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易,也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此,投资者应当考虑到五矿证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突,投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

联系我们

上海	深圳	北京
地址:上海市浦东新区东方路 69 号裕景国际商务广场 A 座 2208 室 邮编:200120	地址:深圳市南山区滨海大道 3165 号五矿金融大厦 23 层 邮编:518035	地址:北京市海淀区首体南路 9 号 4 楼 603 室 邮编:100037

Analyst Certification

The research analyst is primarily responsible for the content of this report, in whole or in part. The analyst has the Securities Investment Advisory Certification granted by the Securities Association of China. Besides, the analyst independently and objectively issues this report holding a diligent attitude. We hereby declare that (1) all the data used herein is gathered from legitimate sources; (2) the research is based on analyst's professional understanding, and accurately reflects his/her views; (3) the analyst has not been placed under any undue influence or intervention from a third party in compiling this report; (4) there is no conflict of interest; (5) in case of ambiguity due to the translation of the report, the original version in Chinese shall prevail.

Investment Rating Definitions

The rating criteria of investment recommendations The ratings contained herein are classified into company ratings and sector ratings (unless otherwise stated). The rating criteria is the relative market performance between 6 and 12 months after the report's date of issue, i.e. based on the range of rise and fall of the company's stock price (or industry index) compared to the benchmark index. Specifically, the CSI 300 Index is the benchmark index of the A-share market. The Hang Seng Index is the benchmark index of the HK market. The NASDAQ Composite Index or the S&P 500 Index is the benchmark index of the U.S. market.	Ratings		Definitions
	Company Ratings	BUY	Stock return is expected to outperform the benchmark index by more than 20%;
		ACCUMULATE	Stock relative performance is expected to range between 5% and 20%;
		HOLD	Stock relative performance is expected to range between -10% and 5%;
		SELL	Stock return is expected to underperform the benchmark index by more than 10%;
		NOT RATED	No clear view of the stock relative performance over the next 6 months.
	Sector Ratings	POSITIVE	Overall sector return is expected to outperform the benchmark index by more than 10%;
		NEUTRAL	Overall sector expected relative performance ranges between -10% and 10%;
		CAUTIOUS	Overall sector return is expected to underperform the benchmark index by more than 10%.

General Disclaimer

Minmetals Securities Co., Ltd. (or "the company") is licensed to carry on securities investment advisory business by the China Securities Regulatory Commission. The Company will not deem any person as its client notwithstanding his/her receipt of this report. The report is issued only under permit of relevant laws and regulations, solely for the purpose of providing information. The report should not be used or considered as an offer or the solicitation of an offer to sell, buy or subscribe for securities or other financial instruments. The information presented in the report is under the copyright of the company. Without the written permission of the company, none of the institutions or individuals shall duplicate, copy, or redistribute any part of this report, in any form, to any other institutions or individuals. The party who quotes the report should contact the company directly to request permission, specify the source as Equity Research Department of Minmetals Securities, and should not make any change to the information in a manner contrary to the original intention. The party who re-publishes or forwards the research report or part of the report shall indicate the issuer, the date of issue, and the risk of using the report. Otherwise, the company will reserve its right to taking legal action. If any other institution (or "this institution") redistributes this report, this institution will be solely responsible for its redistribution. The information, opinions, and inferences herein only reflect the judgment of the company on the date of issue. Prices, values as well as the returns of securities or the underlying assets herein may fluctuate. At different periods, the company may issue reports with inconsistent information, opinions, and inferences, and does not guarantee the information contained herein is kept up to date. Meanwhile, the information contained herein is subject to change without any prior notice. Investors should pay attention to the updates or modifications. The analyst wrote the report based on principles of independence, objectivity, fairness, and prudence. Information contained herein was obtained from publicly available sources. However, the company makes no warranty of accuracy or completeness of information, and does not guarantee the information and recommendations contained do not change. The company strives to be objective and fair in the report's content. However, opinions, conclusions, and recommendations herein are only for reference, and do not contain any certain judgments about the changes in the stock price or the market. Under no circumstance shall the information contained or opinions expressed herein form investment recommendations to anyone. The company or analysts have no responsibility for any investment decision based on this report. Neither the company, nor its employees, or affiliates shall guarantee any certain return, share any profits with investors, and be liable to any investors for any losses caused by use of the content herein. The company and its analysts, to the extent of their awareness, have no conflict of interest which is required to be disclosed, or taken restrictive or silent measures by the laws with the stock evaluated or recommended in this report.

Minmetals Securities Co. Ltd. 2019. All rights reserved.

Special Disclaimer

Permitted by laws, Minmetals Securities Co., Ltd. may hold and trade the securities of companies mentioned herein, and may provide or seek to provide investment banking, financial consulting, financial products, and other financial services for these companies. Therefore, investors should be aware that Minmetals Securities Co., Ltd. or other related parties may have potential conflicts of interest which may affect the objectivity of the report. Investors should not make investment decisions solely based on this report.

Contact us

Shanghai

Address: Room 2208, 22F, Block A, Eton Place, No.69 Dongfang Road, Pudong New District, Shanghai
 Postcode: 200120

Shenzhen

Address: 23F, Minmetals Financial Center, 3165 Binhai Avenue, Nanshan District, Shenzhen
 Postcode: 518035

Beijing

Address: Room 603, 4F, No.9 Shoutinan Road, Haidian District, Beijing
 Postcode: 100037