

计算机行业研究

计算机行业研究框架（汽车智能化、工业数字化）

超配

核心观点

软件定义未来，低估值，高成长格局下，科技创新新周期开启。工信部连续发布政策指引，不断推动信息产业再上新台阶。研发投入的高要求，为新一轮科技创新打下基础。计算机板块估值已经过一年充分消化，当前公募配置比例处于历史低位，当前机会大于风险。伴随各行业“软件定义”助力趋势愈发重要，各创新点有望带动行业再启高增长。

汽车智能化：高阶智能驾驶落地元年，行业景气度高企。在感知层，汽车智能化下半场的大门正式开启，各家整车 OEM 厂商纷纷开启智能化军备竞赛，希望在智能化领域打造产品差异化，各类感知硬件有望率先放量；在决策层，伴随着汽车 EEA 不断集中，域控制器应运而生，引领汽车智能化的行业变革；在汽车软件领域，随着汽车软件占比不断提升，对主机厂而言，应用软件是其品牌智能化的直接体现，核心功能和算法一定是其发力重点。对于底层系统软件和功能软件及工具链等，独立的软件方案商具有显著优势和规模效应。

工业数字化：工业数字化长坡厚雪，国产化进程值得关注。工业数字化全球共振，国内制造业崛起，一方面刺激工业软件品种数量增加，另一方面国产工业软件反向助力制造企业降能耗，增效率。国家相关政策不断加码，强调加快突破各类工业软件“卡脖子”问题，生产控制和研发设计类工业软件的国产替代值得长期关注。

投资建议：建议关注高景气度且受疫情影响较小的细分领域：1) 22 年作为高阶智能驾驶落地元年，汽车智能化逐渐成为关注重点，相关 ADAS 产品也在快速放量，行业景气度持续高企。相关公司有中科创达、经纬恒润、光庭信息；2) 工业数字化在制造业强国的战略下，行业景气度有望持续维持高位，工业软件国产化率将随着整体工业化水平逐步提升，相关公司有宝信软件、中控技术、赛意信息、中望软件、概伦电子。

风险提示：工业软件国产化进程不及预期的风险；汽车智能化行业竞争加剧以及行业发展不及风险。

重点公司盈利预测及投资评级

公司代码	公司名称	投资评级	昨收盘 (元)	总市值 (亿元)	EPS		PE	
					2022E	2023E	2022E	2023E
300496.SZ	中科创达	买入	127.29	541.1	2.15	2.95	64.16	46.74
688326.SH	经纬恒润	买入	157.00	188.4	1.73	2.58	80.17	53.80
301221.SZ	光庭信息	无评级	59.64	55.2	1.27	1.82	52.86	36.73
600845.SH	宝信软件	买入	53.59	716.4	1.54	1.97	36.32	28.36
688777.SH	中控技术	买入	71.76	356.5	1.54	2.01	47.80	36.76
300687.SZ	赛意信息	买入	22.94	91.4	0.80	1.11	29.13	0.00
688083.SH	中望软件	买入	191.37	165.9	2.67	3.58	78.52	58.56
688206.SH	概伦电子	无评级	32.98	143.1	0.12	0.16	261.23	194.67

资料来源：Wind、国信证券经济研究所预测

行业研究 · 行业专题

计算机

超配 · 维持评级

证券分析师：熊莉

021-61761067

xiongli1@guosen.com.cn

S0980519030002

市场走势



资料来源：Wind、国信证券经济研究所整理

相关研究报告

《计算机行业 2022 年 7 月暨中期策略-中报行情来临，建议关注汽车智能化+军工信息化+工业数字化》——2022-06-29

《计算机行业 2022 年 6 月投资策略-关注工业数字化、汽车智能化、军工信息化投资机会》——2022-06-06

《计算机行业 2021 年年报及 2022 年一季报总结-汽车智能化、工业数字化和 SAAS 应用相关公司增长强劲》——2022-05-08

《汽车智能化系列专题（4）-从经纬恒润看 EEA 架构集中化趋势下的行业机遇》——2022-04-19

《计算机行业 2022 年 4 月投资策略-关注军工信息化高成长机会》——2022-04-06

内容目录

感知层研究框架	14
环境感知+车身感知+网联感知组成车载感知系统.....	14
(1) 激光雷达：是 L3 级以上自动驾驶的必备传感器.....	17
(2) 车载摄像头：高清化、智能化带动摄像头天花板不断打开.....	25
(3) 毫米波雷达：海外厂商正主导市场，国内正起步追赶.....	33
(4) 超声波雷达：自动泊车渗透率快速提升，带来新的增长动能.....	39
(5) 车身感知：“GNSS+IMU+高精度地图”组成多融合车身感知定位系统.....	43
惯性导航：车身感知定位系统的信息融合中心.....	44
卫星导航：RTK 助力 GNSS 实现厘米级的定位.....	46
高精度地图：实现 L3 及以上自动驾驶的必备基础.....	47
(6) 网联感知：“车、路、云”一体化，C-V2X 商业化落地进入倒计时.....	56
ADAS 系统研究框架	62
EEA 架构逐渐走向域集中，域控制器应运而生.....	62
成本拆解：高性能 SoC 主芯片占整体域控制器的主要成本.....	63
迭代路线：控制节点不断收缩，带动 ADAS 系统架构持续迭代.....	64
技术要求：面向高阶自动驾驶，异构多核硬件架构成为趋势.....	66
行泊一体域控制器：OEM 自研、系统集成商、软件平台商三方势力各显身手.....	67
前视 ADAS 一体机：L2 渗透率快速提升，Mobileye 方案依旧主流.....	69
算力芯片研究框架	70
计算芯片是算力时代下智能网联汽车的核心.....	70
传统 MCU：MCU 需求稳步增长，海外寡头长期垄断.....	71
智能座舱 SoC：高通在中高端数字座舱呈现垄断局面.....	73
自动驾驶 SoC：CPU+XPU 是当前主流，英伟达当前领先.....	74
评价框架：芯片性能，算力、能耗、效率缺一不可.....	78
汽车软件研究框架	80
操作系统 OS：QNX+Linux 或 QNX+Android 是当前的主流趋势.....	80
板级支持包 BSP：主板硬件与操作系统之间的桥梁.....	83
Hypervisor：虚拟化平台，跨平台应用的重要途径.....	84
中间件层：助力软硬件解耦分离，提升应用层开发效率.....	86
功能软件：自动驾驶的核心共性功能模块.....	88
工具链：提升平台软硬件研发效率的重要途径.....	89
应用软件：OEM 品牌智能化产品力的直接体现.....	90
海外对标研究（特斯拉、英伟达、高通、Mobileye）	93
特斯拉（TESLA）：从硬到软的全栈自研，打造“算力+算法+数据”的竞争壁垒.....	93
英伟达（NVIDIA）：打造全栈式工具链，持续领先高阶自动驾驶.....	98
高通（Qualcomm）：智能座舱一骑绝尘，自动驾驶不断追赶.....	106
Mobileye：ADAS 赛道的先行者，当前市占率第一.....	114

EDA 软件研究框架	118
EDA 软件是集成电路行业上游的必备工具.....	118
市场空间：中国成为 EDA 市场的重要增长动力.....	125
海外对标：复盘海外 EDA 三巨头的发家之路.....	127
国内现状：本土 EDA 厂商究竟实力如何？.....	132
CAD 软件研究框架	137
CAD 是生产制造业的基础设计软件.....	137
市场空间：行业稳步发展，国内规模扩张迅速.....	138
竞争格局：国外巨头主导市场，国产化浪潮势不可挡.....	140
CAE 软件研究框架	142
CAE 具备极高的技术壁垒，是物理和数学的结晶.....	142
市场空间：CAE 应用广泛，国内外市场保持稳定增长.....	144
发展历程：CAE 历经长期发展进入并购阶段，Ansys 是全球龙头.....	146
国内现状：国内市场亟待突破，霍莱沃从电磁仿真开始.....	148
PLC/DCS/SCADA 研究框架	150
工控系统主要包括 PLC、DCS 和 SCADA 三大类.....	150
PLC：工控系统中的重要底层控制部件.....	151
DCS：是流程工业控制系统的核心.....	154
SCADA：重点在于数据采集与监控处理.....	156
流程工业数字化研究框架	158
自动化控制系统：流程工业控制的大脑.....	158
自动化仪表：行业竞争格局分散，国产化替代空间广阔.....	163
工业软件：软件定义数字化，全方位优化生产控制.....	165
发展历程：景气周期共振，对标海外龙头开启软硬并列发展.....	172
工业自动化行业概况—从自动化走向智能化.....	172
工业自动化行业的周期性和成长性.....	174
煤矿智能化研究框架	181
作业链解析：综合采掘是煤矿作业链最核心的环节.....	181
系统组成：四大维度全面铸造煤炭智能化系统.....	183
竞争格局：煤矿智能化行业快速扩张，当前格局较为分散.....	184
规划设计环节—GIS 地理信息技术的智能化进程.....	185
采掘生产环节—采掘设备、安全监测设备、煤矿集控系统的智能化进程.....	187
经济效益分析及市场空间测算.....	189
风险提示	192
免责声明	193

图表目录

图 1: L2-5 级各类传感器的搭配方案.....	15
图 2: 激光雷达的工作原理.....	18
图 3: 19-25 年激光雷达下游各场景市场空间 (亿美元)	19
图 4: 19-25 年激光雷达下游应用占比变化 (%)	19
图 5: 激光雷达是摄像头与毫米波雷达的有效补充.....	20
图 6: 激光雷达的芯片化架构设计.....	22
图 7: 激光雷达的构成.....	23
图 8: 传统分立式激光雷达的成本构成及占比.....	23
图 9: 激光雷达成本不断下降.....	24
图 10: 车载视像头结构组成.....	25
图 11: 车载镜头产业链结构.....	26
图 12: 车载镜头成本结构.....	26
图 13: 2019 年全球车载摄像头镜头市场份额.....	27
图 14: 2018 年全球车载 CIS 传感器市场份额.....	27
图 15: 2019 年全球车载摄像头模组市场份额.....	27
图 16: 特斯拉 Model 3 的感知系统.....	30
图 17: Mobileye 的纯摄像头解决方案.....	30
图 18: 21Q1 中国乘用车摄像头安装量及单车平均安装量.....	30
图 19: 18-23 年全球汽车平均搭载摄像头数量 (颗)	30
图 20: 2012-2025 年单车搭载摄像头的个数变化情况.....	31
图 21: 19-20 年各类型车载摄像头渗透率情况.....	31
图 22: 特斯拉的三目前视摄像头结构拆解.....	32
图 23: 采孚 S-Cam4 三目前视摄像头结构拆解.....	32
图 24: 集中式的 EEA 架构.....	32
图 25: 特斯拉 Model 3 的电子电气架构.....	32
图 26: 毫米波雷达的工作原理.....	34
图 27: 77GHz 雷达的分辨率和精度比 24GHz 提升 3 倍.....	36
图 28: 77GHz 雷达的体积仅为 24GHz 的三分之一.....	36
图 29: 毫米波雷达的发展历史.....	36
图 30: 博世的 LRR2 和 LRR3 毫米波雷达的结构.....	37
图 31: 毫米波雷达成本组成.....	37
图 32: 2018 年全球毫米波雷达市场份额.....	38
图 33: 中国毫米波雷达市场份额情况.....	38
图 34: 2019 年 1 月中国 SRR 供应商及安装量份额.....	38
图 35: 2019 年 1 月中国 LRR 供应商及安装量份额.....	38
图 36: 超声波雷达的工作原理.....	40
图 37: 超声波雷达的功能示意图.....	40

图 38: 自动泊车系统由 12 颗超声波雷达组成.....	40
图 39: 全球超声波雷达供应商竞争格局.....	41
图 40: 2018 年全球超声波雷达行业竞争格局.....	41
图 41: 19-20 年中国乘用车 APA 装配量及增速 (万辆, %)	42
图 42: 2019-2025 年不同单车超声波雷达配置方案占比 (%)	43
图 43: 信号定位、航迹递推与地图匹配技术组成了车身感知定位技术.....	44
图 44: 捷联式惯性导航系统工作原理图.....	45
图 45: 惯性测量单元结构.....	45
图 46: 航迹递推工作原理.....	45
图 47: 惯性导航系统作为车身感知定位系统的信息融合中心.....	46
图 48: 卫星导航的三球定位原理.....	46
图 49: 通过地基增强系统实现误差修正.....	46
图 50: GNSS-RTK 系统的应用.....	47
图 51: 2020 年国内高精度地图市场竞争格局.....	50
图 52: Apollo 平台高精度地图的制作过程.....	50
图 53: 集中采集+众包采集是数据采集的未来方向.....	51
图 54: Mobileye 在绘图过程中所采用的语义识别模型.....	51
图 55: 路侧感知模型示意图.....	52
图 56: 高精度地图成本随自动驾驶等级的增长而高速上升.....	53
图 57: 华为的高精度地图云服务.....	54
图 58: V2X 车联网的整车协同方案.....	56
图 59: C-V2X 产业链架构.....	58
图 60: 中国 C-V2X 产业化部署整体时间表.....	59
图 61: 路侧单元 (RSU) 产品图片.....	61
图 62: 车联网 MEC 产品图片.....	61
图 63: 十字路口的典型路侧设备部署方案.....	61
图 64: 分布式架构下车辆 ECU 通过 CAN 总线连接.....	62
图 65: 大量 ECU 分布在车辆全身各处.....	62
图 66: 汽车电子电气架构的发展路径.....	63
图 67: 域集中式的 EEA 架构.....	63
图 68: 特斯拉 HW 3.0 实物图.....	63
图 69: 特斯拉 HW 3.0 FSD 主控芯片成本拆解.....	63
图 70: 汽车智能化产业地图之车载计算平台.....	64
图 71: ADAS 系统与自动驾驶等级的技术迭代路线图.....	65
图 72: 域控制器的竞争格局.....	69
图 73: 21 年 1-11 月新车前向 ADAS 视觉感知供应商份额.....	69
图 74: 2020 年中国乘用车新车前视系统供应商市场份额.....	69
图 75: 19-21 年自主/合资乘用车新车前视系统装配率.....	70
图 76: 19-25 年中国乘用车前视系统装配量和装配率.....	70
图 77: 汽车半导体分类结构.....	70
图 78: MCU 芯片典型构架.....	71

图 79: SoC 芯片典型构架.....	71
图 80: 2019-2026E 全球车规级 SoC 市场规模 (亿美元)	71
图 81: MCU 工作原理.....	72
图 82: 不同类型汽车所需的 MCU 数量 (颗/车)	72
图 83: 2020-2026E 全球 MCU 市场规模 (亿美元)	73
图 84: 2020-2026E 中国 MCU 市场规模 (亿元)	73
图 85: 2020 年全球车规级 MCU 市场格局.....	73
图 86: GPU 和 CPU 的架构示意图.....	75
图 87: 英伟达 Xavier 芯片架构.....	76
图 88: 特斯拉 FSD 芯片架构.....	76
图 89: Mobileye Eye Q5 电路系统块图.....	76
图 90: 地平线征程 2 芯片架构.....	76
图 91: Waymo 的 CPU+FPGA 架构示意图.....	77
图 92: 卷积神经网络的计算原理.....	79
图 93: 地平线定义的芯片 AI 效能三要素.....	79
图 94: AUTOSAR 制定者及合作厂商 (截至 2022.1)	80
图 95: CP AUTOSAR 和 AP AUTOSAR.....	81
图 96: 2021 年全球智能座舱操作系统竞争格局.....	82
图 97: 全球车载操作系统市场格局变化.....	82
图 98: 不同类型的定制车机系统.....	83
图 99: BSP 在软件系统中的位置.....	84
图 100: Hypervisor (虚拟机) 的工作原理.....	85
图 101: 基于 QNX Hypervisor 虚拟技术运行的多操作系统架构.....	86
图 102: 中间件层的位置与作用.....	87
图 103: RTE 实现基础软件与应用软件的分离.....	87
图 104: 集成 DDS 的 AUTOSAR 平台.....	87
图 105: 功能软件基本架构.....	88
图 106: 智能驾驶三大类型通用模型.....	89
图 107: 2020 年国内高精度地图市场份额.....	92
图 108: 2020-2025E 国内高精度地图市场规模 (亿美元)	92
图 109: 2020 年国内车载语音市场份额.....	92
图 110: 特斯拉的发展历程.....	93
图 111: 特斯拉从 HW 2.0 进化到 HW 2.5 再到 HW 3.0.....	94
图 112: 特斯拉 FSD 芯片架构.....	95
图 113: 特斯拉 HW 3.0 系统主板拆解.....	95
图 114: 特斯拉 FSD 的全球开通率.....	96
图 115: 特斯拉各车型 FSD 在北美地区的开通率.....	96
图 116: 特斯拉的全栈式训练架构.....	97
图 117: 特斯拉 Autopilot 累计历程已超过 51 亿英里.....	97
图 118: 特斯拉自研 7nm 工艺 AI 训练芯片 D1.....	97
图 119: 由 25 个 D1 芯片组成的 Dojo 训练平台.....	97

图 120: 数据驱动算法迭代闭环典型流程.....	98
图 121: 英伟达 DRIVE PX2 系列平台.....	99
图 122: 搭载定制版 DRIVE PX2 的特斯拉 HW 2.0 和 2.5.....	99
图 123: 英伟达 Drive Xavier 和 Pegasus 平台.....	99
图 124: 英伟达 DRIVE AGX Orin 平台.....	99
图 125: NVIDIA Xavier 芯片架构.....	100
图 126: NVIDIA Orin 内部架构.....	101
图 127: 英伟达 Orin SoC 的 Ampere 架构 GPU.....	101
图 128: 英伟达 Ampere 架构 GPU 的第三代 Tensor Core.....	101
图 129: 蔚来 NIO Adam 超算平台搭载 4 颗英伟达 Orin 芯片.....	102
图 130: NVIDIA Atlan 芯片架构.....	103
图 131: 英伟达在汽车领域的客户.....	103
图 132: NVIDIA DRIVE 平台框架及工具链全梳理.....	105
图 133: NVIDIA 发布 DRIVE Hyperion 8 参考平台.....	105
图 134: 高通汽车业务的发展历程.....	106
图 135: 高通布局数字底盘四大领域.....	107
图 136: 高通汽车业务季度营收变化 (百万美元).....	107
图 137: 与高通合作的全球知名车企.....	108
图 138: 高通骁龙 SA8155P 芯片架构.....	108
图 139: 高通第四代 AI 计算单元.....	108
图 140: 高通发布第四代智能座舱平台.....	110
图 141: 中科创达发布基于高通 SA8295 的座舱解决方案.....	110
图 142: 高通 Snapdragon Ride 车规级 SoC.....	111
图 143: Ride 平台可面向从 L1 到 L4 级别的自动驾驶.....	111
图 144: 高通 Snapdragon Ride 软件平台.....	111
图 145: 高通 Snapdragon Ride 软件栈.....	111
图 146: 与 Arriver 共同打造 Ride 自动驾驶平台.....	112
图 147: 高通与 Arriver 强强联合布局自动驾驶领域.....	112
图 148: 4nm 制程的 Snapdragon Ride 视觉 SoC.....	112
图 149: 高通 Ride 平台为主机厂提供扩展灵活性.....	112
图 150: 通用汽车的 Ultra Cruise 辅助驾驶系统.....	113
图 151: 通用旗下凯迪拉克 CELESTIQ 将于 2023 年量产.....	113
图 152: 毫末知行推出的小魔盒 3.0 方案.....	114
图 153: 毫末知行推出的小魔盒 3.0 实物图.....	114
图 154: Mobileye 发展历程.....	114
图 155: Mobileye 从 14-21 年 EyeQ 系列芯片销量 (百万).....	115
图 156: Mobileye EyeQ5 的芯片架构.....	117
图 157: Mobileye 发布三款芯片 EyeQ Ultra、EyeQ6 Light 和 EyeQ6 High.....	118
图 158: 单颗裸片可容纳的晶体管数量的增长趋势 (百万个).....	119
图 159: 不同制程芯片的开发成本及构成.....	119
图 160: EDA 软件行业的发展历程.....	120

图 161: 集成电路行业产业链.....	121
图 162: PDK 在 Foundry、Fabless 以及 EDA 供应商之间的关系.....	121
图 163: 半定制 IC 设计所涉及的 EDA 工具.....	122
图 164: 全定制 IC 设计所涉及的 EDA 工具.....	122
图 165: IC 设计产业链.....	123
图 166: 不同制程芯片所集成的硬件 IP 数量 (个)	124
图 167: 全球半导体 IP 市场规模预测 (亿美元)	124
图 168: 集成电路行业的倒金字塔结构.....	125
图 169: 2014 年-2020 年全球集成电路市场规模 (亿美元)	126
图 170: 2014 年-2020 年中国集成电路市场规模 (亿元)	126
图 171: 14 年-20 年全球集成电路设计业销售规模 (亿美元)	126
图 172: 14 年-20 年中国集成电路设计业销售规模 (亿元)	126
图 173: 18 年-20 年全球 EDA 市场销售额 (亿美元)	127
图 174: 18 年-20 年全球各地区 EDA 市场销售额 (亿美元)	127
图 175: 18 年-20 年中国 EDA 市场销售额 (亿元)	127
图 176: 18 年-20 年国产 EDA 销售额分布情况 (亿元)	127
图 177: 18-20 年全球 EDA 工具市场竞争格局.....	128
图 178: 全球 EDA 行业简要格局.....	128
图 179: Synopsys 与 Cadence 营收变化情况 (亿美元)	129
图 180: Synopsys 与 Cadence 毛利率情况 (%)	129
图 181: Cadence 根据产品类型拆分的营收结构.....	129
图 182: Cadence 根据业务形态拆分的营收结构.....	129
图 183: Synopsys 根据产品类型拆分的营收结构.....	130
图 184: Synopsys 根据业务形态拆分的营收结构.....	130
图 185: Synopsys 与 Cadence 研发费用支出 (亿美元)	130
图 186: Synopsys 与 Cadence 研发费用占总营收 (%)	130
图 187: EDA 三巨头的历史并购次数.....	131
图 188: Cadence 的并购版图.....	131
图 189: Synopsys 的并购版图.....	131
图 190: EDA 三巨头的客户生态.....	132
图 191: 国产 EDA 软件的发展史.....	133
图 192: 美国自 2018 年以来对华在软件领域的科技制裁.....	133
图 193: 国产 EDA 软件在各主要环节的覆盖情况.....	136
图 194: 2018-2020 年中国 EDA 行业人才情况.....	137
图 195: CAD 行业发展历史.....	138
图 196: 全球工业软件市场规模及增速 (单位: 亿美元)	139
图 197: 中国工业软件市场规模及增速 (单位: 亿元)	139
图 198: 2016-2028E 年全球 CAD 市场规模 (亿美元)	139
图 199: 2018 年中国 2D CAD 与 3D CAD 市场占比情况.....	139
图 200: 2018 年国内各细分研发设计软件市场结构占比.....	140
图 201: 2018 年国内 CAX 软件细分市场规 模 (单位: 亿元)	140

图 202: 2019 年全球 CAD 市场竞争格局.....	140
图 203: 2018 年中国 CAD 市场竞争格局.....	140
图 204: 2020 年国内 2D CAD 市场竞争格局.....	141
图 205: 中国研发设计类工业软件市场地位和发展能力图.....	141
图 206: CAE 对整车碰撞性能分析.....	143
图 207: CAE 工作流程和核心模块.....	143
图 208: 几大核心工业软件技术图谱.....	144
图 209: CAE 在各行业应用.....	145
图 210: CAE 核心价值.....	145
图 211: 全球 CAE 市场及预测 (亿美元)	145
图 212: 中国 CAE 市场及预测 (亿元)	145
图 213: 2020 全球 CAE 行业竞争格局.....	146
图 214: 国内外 CAE 发展历程.....	147
图 215: Ansys 历年收入 (亿美元)	148
图 216: Ansys 历年净利润 (亿美元)	148
图 217: 国内市场前十大供应商国内外企业数量.....	149
图 218: 霍莱沃 RDSim1.0 版.....	150
图 219: PLC/DCS/SCADA 之间的定位.....	151
图 220: ISA-95 标准制造架构.....	151
图 221: PLC 的产品结构.....	152
图 222: 西门子大型 PLC 产品 S7-400 系列.....	152
图 223: 2014-2023 年中国 PLC 市场规模 (亿元)	153
图 224: 国内大中型 PLC 的应用场景分布情况.....	154
图 225: 国内小型 PLC 的应用场景分布情况.....	154
图 226: 2020 年中国 PLC 市场竞争格局.....	154
图 227: 不同品牌在中国 PLC 市场占比情况.....	154
图 228: DCS 系统的内部结构.....	155
图 229: 中控技术 ECS-700 型号 DCS 系统.....	155
图 230: 2016-2022 年中国 DCS 市场规模 (亿元)	155
图 231: 中国 DCS 系统下游各行业占比情况.....	155
图 232: 2019 年中国 DCS 市场竞争格局.....	156
图 233: 2019 年国内 DCS 化工行市场竞争格局.....	156
图 234: 2019 年国内 DCS 石化行市场竞争格局.....	156
图 235: SCADA 系统硬件架构.....	157
图 236: ABB 的 Micro SCADA X SYS600C 产品.....	157
图 237: 2014-2023 年中国 SCADA 市场规模 (亿元)	157
图 238: 中国 SCADA 系统下游各行业占比情况.....	157
图 239: 中国 DCS 市场规模.....	159
图 240: 国内 DCS 分行业市场规模 (亿元)	159
图 241: 2019 年国内 DCS 市场行业构成比重.....	159
图 242: 2011-2021 年中控技术市占率逐步提升.....	160

图 243: 2019 年国内 DCS 市场各厂商份额.....	160
图 244: 中控技术在化工、石化、建筑领域市占率.....	161
图 245: 2021 年中控技术各行业收入占比（亿元）.....	161
图 246: 中国 SIS 行业市场规模.....	161
图 247: DCS 与 SIS 的关系.....	161
图 248: 安全仪表系统的连接架构.....	162
图 249: 2019 年国内 SIS 市场各行业占比.....	163
图 250: 2019 年国内 SIS 市场各厂商份额.....	163
图 251: 各厂商调节阀收入对比（亿元）.....	164
图 252: 2018 年调节阀主要厂商市占率.....	164
图 253: 各厂商压力变送器收入对比（亿元）.....	164
图 254: 2019 年压力变送器各厂商份额.....	164
图 255: 工业软件分类.....	166
图 256: 中国工业软件市场规模（亿元）.....	166
图 257: 各类工业软件市场占比（2018 年）.....	167
图 258: 中国生产控制类软件细分种类市场份额（2018 年）.....	167
图 259: 2020 年流程工业不同细分行业大中型企业数量.....	167
图 260: 中国制造业 MES 应用行业分布图.....	168
图 261: 2020 年国内 MES 市场格局.....	168
图 262: 2018 年我国主要工业软件普及率.....	168
图 263: APC 的作用与典型效益.....	169
图 264: 中控技术工业软件产品矩阵.....	169
图 265: 中控技术工业软件营业收入（亿元）.....	170
图 266: 中控技术工业软件类产品收入占比（总金额单位：千万元）.....	170
图 267: 中控流程工业综合自动化 MES 解决方案架构.....	171
图 268: 离散工业与流程工业的结构.....	172
图 269: 工业自动化控制主要产品分类.....	173
图 270: 智能工厂整体架构.....	174
图 271: 国内工业自动化市场规模及增长.....	174
图 272: 流程工业细分行业固定资产投资完成额增速.....	175
图 273: 2012-2019 年全球工控安全事件报告数量.....	175
图 274: 工控市场国产品牌占有率.....	176
图 275: 艾默生 PLANTWEB 数字生态系统架构.....	177
图 276: 2017-2021 年艾默生收入（百万美元）.....	178
图 277: 艾默生自动化解决方案收入结构.....	178
图 278: 艾默生系统和软件的收入变化（百万美元）.....	178
图 279: 西门子数字化主要并购历程.....	179
图 280: 西门子 2021 年各部门收入占比.....	180
图 281: 2018 年-2021 年西门子 DI 部门收入（百万欧元）.....	180
图 282: 2017-2021 年施耐德各部门收入占比.....	181
图 283: 施耐德 Industrial Automation 部门收入（百万欧元）.....	181

图 284: 煤矿采掘核心设备.....	182
图 285: 智能煤矿综合管控平台.....	182
图 286: 煤流运输过程中的溜煤眼堆煤识别.....	183
图 287: 煤流运输过程中的皮带识别.....	183
图 288: 智慧矿山建设技术架构.....	183
图 289: 中国 GIS 行业产业链.....	186
图 290: 中国地理信息产业产值规模及增速.....	186
图 291: 煤炭智能化应用带动的价值提升.....	189
表 1: 环境感知、车身感知与网联感知组成了车载感知系统.....	14
表 2: 自动驾驶四大硬件传感器的比较.....	14
表 3: 自动驾驶分级 L0-L5.....	15
表 4: 各级别自动驾驶对传感器数量的需求量.....	15
表 5: 2021 年广州车展智能驾驶硬件搭载方案简介.....	16
表 6: 各国 NCAP 规程中关于 ADAS 的相关要求.....	17
表 7: 激光雷达的发展历程.....	18
表 8: 国内外各企业激光雷达应用场景.....	19
表 9: 纯视觉主导与激光雷达主导的自动驾驶技术路线.....	20
表 10: 各类激光雷达的原理和优劣势介绍.....	21
表 11: 各类测距方式的主要特点.....	21
表 12: 激光雷达上游主要供应商.....	23
表 13: 各家激光雷达的产品及价格.....	24
表 14: 各车型在激光雷达型号的选择.....	25
表 15: 车载摄像头上游主要供应商.....	26
表 16: 车载视像头的类型及其功能.....	28
表 17: 各家车企的车载摄像头搭载情况.....	29
表 18: 21Q1 中国乘用车市场各类摄像头安装量增速.....	31
表 19: 国内部分 DMS 系统供应商产品对比.....	33
表 20: 各国车载毫米波频段分配.....	34
表 21: 24GHz、77GHz 及 79GHz 毫米波雷达.....	35
表 22: SRR、MRR 和 LRR 三种毫米波雷达对应的 ADAS 的功能.....	35
表 23: 毫米波雷达上游主要供应商.....	37
表 24: 海外主要厂商的毫米波雷达及参数.....	38
表 25: 毫米波雷达国内主要供应商.....	39
表 26: 四代自动泊车技术的发展路线.....	42
表 27: 中国部分汽车品牌自动泊车 APA 方案及代表车型.....	43
表 28: 国际四大卫星导航系统简介.....	47
表 29: 高精度地图的四个基本层级及属性信息.....	48
表 30: 高精度地图与传统地图的比较.....	48
表 31: 高精度地图是 L3 及以上级别的自动驾驶汽车的必备基础.....	49

表 32: 国内高精地图甲级测绘资质名单 (截至 2021 年 12 月)	49
表 33: 5G 技术在性能上是数据更新的良好选择	52
表 34: 高精度地图与传统地图盈利模式的区别	53
表 35: 主要自动驾驶乘用车的高精定位方案	55
表 36: 主要商用场景自动驾驶定位方案	55
表 37: 智能网联相关政策梳理	57
表 38: DSRC 和 C-V2X 两种技术路线对比	58
表 39: 车载终端的主要产业链	59
表 40: 国内 C-V2X 部分量产车型的功能配置	60
表 41: 十字路口场景所需的设备清单	61
表 42: 全球主要智能座舱域控制器厂商梳理	68
表 43: 全球主要自动驾驶域控制器厂商梳理	68
表 44: 不同位数 MCU 常见应用场景	72
表 45: 目前主流智能座舱 SoC 芯片全梳理	74
表 46: CPU、GPU、FPGA、ASIC 之间的区别	75
表 47: 目前主流自动驾驶 SoC 芯片全梳理	77
表 48: 常见 OS 内核对比	82
表 49: 各家 OEM 所采用的车机 OS 以及底层内核	83
表 50: 主要 Hypervisor 介绍	85
表 51: 中国供应商 AUTOSAR 业务进展	88
表 52: 车载计算平台全栈式工具链	89
表 53: 自动驾驶算法的主要分类及作用	90
表 54: 高精度地图与传统地图的比较	91
表 55: 高精度地图是 L3 及以上自动驾驶的必备	91
表 56: 全球车载语音市场的主要玩家	92
表 57: 特斯拉 Autopilot 自动驾驶系统全梳理	94
表 58: 特斯拉 FSD 收费持续提升	96
表 59: 英伟达历代 Drive 平台梳理	100
表 60: 英伟达历代车规级 SoC 芯片梳理	100
表 61: 搭载高通骁龙座舱芯片的具体车型	109
表 62: 各主要智能座舱芯片参数对比	110
表 63: Mobileye 18-21 年营业收入 (单位: 亿美元)	115
表 64: 搭载 Mobileye EyeQ 系列芯片的车型	116
表 65: Mobileye EyeQ 系列芯片情况	117
表 66: 2020 年全球 IP 授权市场格局	125
表 67: 国家在 EDA 软件领域的相关政策支持	134
表 68: 本土 EDA 软件领域的主要厂商	135
表 69: 以生产流程划分的工业软件类别和特点	137
表 70: 全球工业设计类软件主要竞争对手情况	141
表 71: 中望产品与竞争对手相比处于第二和第三梯队	142
表 72: Ansys 主要收购	148

表 73: 各厂商电磁 CAE 产品.....	150
表 74: PLC/DCS/SCADA 三者间的对比.....	151
表 75: 小型、中型和大型 PLC 简介.....	152
表 76: 整体式、模块式与叠装式 PLC 简介.....	153
表 77: 中国 SCADA 市场的主要玩家.....	158
表 78: DCS 系统六大特点.....	160
表 79: 中控技术安全仪表系统 (SIS) 及其特点.....	162
表 80: 部分企业压力变送器性能比较.....	163
表 81: 不同仪器仪表产品及其特点.....	165
表 82: 中控技术工业软件产品列表.....	171
表 83: 艾默生主要并购历程.....	177
表 84: 施耐德主要并购历程.....	180
表 85: 智慧煤矿的系统构成.....	184
表 86: 行业内主要公司业务情况.....	185
表 87: 煤矿智能化系统价值量测算.....	190
表 88: 智能化煤矿验收办法中各系统评价指标权重.....	190
表 89: 煤矿智能化升级的节奏预测.....	191

感知层研究框架

环境感知+车身感知+网联感知组成车载感知系统

整个车载感知系统主要包括环境感知、车身感知与网联感知三大部分。其中，（1）**环境感知**：主要负责车辆从外界获取信息，如附近车辆、车道线、行人、建筑物、障碍物、交通标志、信号灯等，主要包括四大类别的硬件传感器车载摄像头、毫米波雷达、激光雷达、超声波雷达；（2）**车身感知**：主要负责车辆对自身状态的感知，如车辆位置、行驶速度、姿态方位等，主要包括惯性导航、卫星导航和高精度地图；（3）**网联感知**：主要负责实现车辆与外界的网联通信以此来获得道路信息、行人信息等，主要包括各类路侧设备、车载终端以及 V2X 云平台等

表 1: 环境感知、车身感知与网联感知组成了车载感知系统

	环境感知	车身感知	网联感知
感知对象	附近车辆、车道线、行人、建筑物、障碍物、交通标志、信号灯等	车辆位置、行驶速度、姿态方位等	实时路况、道路信息、行人信息等
感知方案	通过四大硬件感知传感器，车载摄像头、毫米波雷达、超声波雷达、激光雷达获取周边交通数据	基于高精度地图、GPS 或北斗卫星导航、惯性导航等为汽车的定位和导航提供数据	利用 LET-V2X、5G、路侧设备如 RSU 等获得实时信息
感知特征	多采用多传感器融合方式进行感知，利用不同传感器的优劣势互补提升感知精度	高精度地图和导航可对传感器识别的数据再次确认，相互补充，与传感器结果相互关联达成安全冗余	实现车辆与外部节点间的数据共享和控制协同，更加强调整车、道路、行人、使用者之间的联系

资料来源：艾瑞咨询，国信证券经济研究所整理

四大硬件传感器是自动驾驶汽车的眼睛，是环境感知的关键。车载传感器主要包括车载摄像头、毫米波雷达、激光雷达、超声波雷达四大类。自动驾驶汽车首先是对环境信息与车内信息的采集、处理与分析，这是实现车辆自动驾驶的基础和前提。环境感知是自动驾驶车辆与外界环境信息交互的关键，车辆通过硬件传感器获取周围的环境信息，环境感知是一个复杂的系统，需要多种传感器实时获取信息，各类硬件传感器是自动驾驶汽车的眼睛。

表 2: 自动驾驶四大硬件传感器的比较

类别	功能	优势	劣势
超声波雷达	变道辅助，盲区检测，自动泊车等	穿透性强，测距方法简单，成本低，短距离测量优势较为明显	传播速度慢，无法跟上车距实时变化，方向性较差且易受天气影响
毫米波雷达	自适应巡航控制，前向防撞报警，辅助停车，辅助变道，自动紧急制动阀，自动泊车等	天气适应性好	探测距离与精度相对激光雷达较弱
激光雷达	自适应巡航控制，前向防撞报警，盲区检测，辅助停车，自动紧急制动阀，自动泊车，导航及定位等	精度高、探测距离远	易受自然光或热辐射影响，价格昂贵
车载摄像头	自适应巡航控制，前向防撞报警，盲区检测，自动紧急制动阀，自动泊车，变道辅助，驾驶员状态监控，交通标识识别，导航及定位等	精度高，距离远，直观方便，成本较低	受天气影响较大，算法及算力要求高

资料来源：亿欧智库，国信证券经济研究所整理

当前自动驾驶正处在 L2 向 L3 级别跨越发展的关键阶段。其中，L2 级的 ADAS 是实现高等级自动驾驶的基础，从全球各车企自动驾驶量产时间表来看，L3 级别自动驾驶即将迎来大规模地商业化落地。

表3: 自动驾驶分级 L0-L5

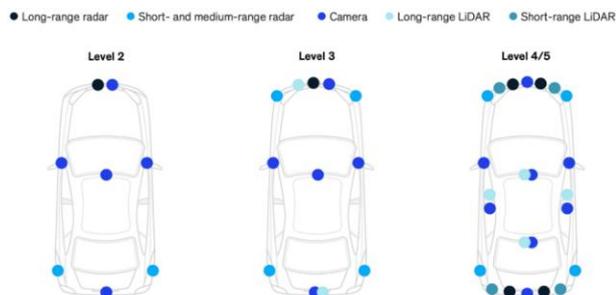
美国国家公路安全管理局 (NHTSA)、美国汽车工程师协会 (SAE) 自动驾驶分级标准							
分级	NHTSA SAE	L0	L1	L2	L3	L4	L5
名称 (SAE)		无自动化	驾驶支持	部分自动化	有条件自动化	高度自动化	完全自动化
SAE 定义		由人类驾驶者全权驾驶汽车, 在行驶过程中可以得到警告	通过驾驶环境对方向盘和加速减速中的一项操作提供支持, 其余由人类操作	通过驾驶环境对方向盘和加速减速中的多项操作提供支持, 其余由人类操作	由无人驾驶系统完成所有的驾驶操作, 根据系统要求, 人类提供适当的应答	由无人驾驶系统完成所有的驾驶操作, 根据系统要求, 人类不一定提供所有的应答。限定道路和环境条件	由无人驾驶系统完成所有的驾驶操作, 可能的情况下, 人类接管, 不限定道路和环境条件
主体	驾驶操作	人类驾驶者	人类驾驶者/系统	系统			
	周边监控	人类驾驶者			系统		
	支援	人类驾驶者			系统		
	系统作用域	无					全域

资料来源: NHTSA, SAE、国信证券经济研究所整理

随着自动驾驶级别的提升, 单车传感器的数量呈倍级增加。预计自动驾驶 Level 1-2 级需要 10-20 个传感器, Level 3 级需要 20-30 个传感器, Level 4-5 级需要 40-50 个传感器。

- **Level 1-2 级别:** 通常具有 1 个前置远程雷达和 1 个摄像头, 用于自适应巡航控制, 紧急制动辅助和车道偏离警告/辅助。2 个向后的中程雷达可实现盲点检测, 外加 4 个摄像头和 12 个超声波雷达则可实现 360 度视角的泊车辅助功能。预计 Level 1-2 的总传感器数量约为 10-20 个左右。
- **Level 3 级别:** 在 Level 1-2 配置的基础上, 外加 1 个远程激光雷达, 由于主动距离测量, 激光雷达还具有高分辨率, 广角和高精度的特点, 这对于检测和分类对象或跟踪地标以进行定位将是必需的。对于高速公路领航系统 (Highway pilot) 应用, 通常会额外增加 1 颗后向的远程激光雷达。预计会使用 6-8 个摄像头, 8-12 个超声波雷达和 4-8 个毫米波雷达, 以及 1 个激光雷达, 因此, 预计 Level 3 的传感器总数量会在 20-30 个左右。
- **Level 4-5 级别:** 通常需要多种传感器进行 360° 视角的交叉验证, 以消除每种传感器的弱点。预计会使用 8-15 个摄像头, 8-12 个超声波雷达和 6-12 个毫米波雷达, 以及 1-3 个激光雷达, 因此, 预计用于 Level 4 至 5 的传感器总数量会在 30-40 个左右。

图1: L2-5 级各类传感器的搭配方案



资料来源: 麦肯锡, 国信证券经济研究所整理

表4: 各级别自动驾驶对传感器数量的需求量

	L0~L1	L2	L3	L4	L5
摄像头	0-4	4-6	6-8	8-10	12-15
超声波雷达	4-8	8-12	8-12	8-12	8-12
毫米波雷达	1-3	3-5	4-8	6-12	6-12
激光雷达	0	0	0-1	1-3	1-3

资料来源: 亿欧智库, 国信证券经济研究所整理

从本次广州车展来看，各家新车型均搭配多个激光雷达，以此来提前布局高阶自动驾驶，哪吒 S 配置了 3-6 颗混合固态激光雷达，**售价在 30 万以上的新车型普遍搭配了支持 L3-L4 级自动驾驶所需要的各类传感器（2+颗激光雷达、12 颗超声波雷达、7-10 颗高清摄像头、5+颗毫米波雷达）**。以蔚来 ET7 为例，共搭载了多达 33 个高精度传感器，包括 1 个超远距高精度激光雷达、11 个 800 万像素高清摄像头、5 个毫米波雷达、12 个超声波传感器、2 个高精定位单位、1 个 V2X 车路协同感知系统和 1 个 ADMS 增强主驾感知，较蔚来 ES8 的 25 个传感器还多了 8 个。

表5：2021 年广州车展智能驾驶硬件搭载方案简介

车型	自动驾驶芯片	算力	激光雷达个数	毫米波雷达个数	超声波雷达个数	高清摄像头个数	普通摄像头个数
小鹏 G9	2 颗英伟达 Orin	508 TOPS	2 颗速腾聚创 128 线固态激光雷达	5	12	12	-
沙龙机甲龙	华为 MDC	400 TOPS	4 颗华为 96 线混合固态激光雷达	5	12	7	4
威马 M7	4 颗英伟达 Orin	1016 TOPS	3 颗速腾聚创 128 线固态激光雷达	5	12	7	4
智己 L7	英伟达 Xavier	30-60 TOPS	-	5	12	12	-
蔚来 ET7	4 颗英伟达 Orin	1016 TOPS	1 颗图达通	5	12	11	-
广汽埃安 LX Plus	华为 MDC	200 TOPS	3 颗速腾聚创 128 线固态激光雷达	6	12	8	4
极狐阿尔法 S	华为 MDC	400 TOPS	3 颗华为 96 线混合固态激光雷达	6	12	13	-
哪吒 S	华为 MDC	200 TOPS	3-6 颗华为 96 线混合固态激光雷达	5	12	13	-

资料来源：小鹏、蔚来等各公司官网，国信证券经济研究所整理

各国政策不断刺激，助力高阶辅助驾驶 ADAS 快速落地。美国在 2011 年开始就强制所有轻型商用车和乘用车搭载 ESP 系统，欧盟从 2013 年开始强制安装重型商用车搭载 LDW、AEB 等功能，日本从 2014 年强制要求商用车搭载 AEB 系统，2019 年欧盟与日本等 40 国达成草案，将于 2020 年起全部轻型商用车和乘用车强制安装 AEB 系统。中国自 2016 年开始出台各项政策，逐步强制商用车搭载 LDW、FCW、LKA、AEB 等 ADAS 功能。

各国新车测试标准不断增加对主动安全 ADAS 功能的权重。NCAP（New Car Assessment Program，新车测试项目）是测试机构对新车型的车辆安全水平进行全面评估，并直接面向公众公布试验结果。NCAP 是民间组织，不受政府机构组织控制。碰撞测试成绩则由星级表示，共有五个星级，星级越高表示该车的碰撞安全性能越好。在部分国家，AEB 等系统已经成为五行评级的必备条件。从各国 NCAP 的路线图能够看出，美国 NHTSA 从 2011 年就将 LDW、FCW 等指标纳入加分项，美国 IIHS 从 2014 年开始将 FCW 和 AEB 规定为最高评级的必备条件，欧盟 Euro-NCAP 从 2014 年将 AEB 纳入评分体系，并不断增加测试场景，中国 C-NCAP 从 2017 年首次纳入 AEB 测试。各国对各类 ADAS 辅助驾驶系统的重视程度不断提升，带动高阶辅助驾驶的全面落地。

表6: 各国 NCAP 规程中关于 ADAS 的相关要求

经济体	测试机构	时间	标准与内容
美国	IIHS	2013	评分体系中纳入前方碰撞预警系统（FCW）指标
		2014	规定 FCW 和自动紧急制动系统（AEB）是获得最高评级的必要条件
	NHTSA	2011	测试加分项中增加 LDW、FCW、ESC 等指标
		2015	规定自 2018 年起，AEB 是获得最高评级的必要条件
		2016	与 20 家车企（总市场份额达 99%以上）达成协议，2022 年 8 月 31 日以前在美新车均需搭载 AEB
2021	拟在 NCAP 中新增四项 ADAS，包括行人自动紧急制动（PAEB）、车道保持支持（LKS）、盲区警告（BSW）和盲区干预（BSI）		
欧盟	Euro-NCAP	2014	评分体系中纳入 AEB、LDW、LKA 等指标，主动安全权重由原来的 10%提高至 20%
		2016	增加 AEB-VRU 指标，考虑 AEB 对路上行人的保护
		2018	增加 AEB-VRU cyclist 指标，考虑 AEB 对骑行者的保护
		2020	扩充 AEB 测试内容，增加后向、迎面、交叉路口等多种情境下 AEB 对人员的保护
中国	C-NCAP	2014	世界 NCAP 大会上，中汽研表示 2018 年 C-NCAP 将纳入 AEB 指标
		2017	《C-NCAP 管理规则（2018 年版）》中纳入 FCW、AEB 指标。其中 AEB 测试包括车辆追尾 AEB 与行人 AEB
		2020	《C-NCAP 管理规则（2021 年版）》中新增 AEB 踏板式摩托车试验场景、LKA、LDW、BSD、SAS、ESC 指标，主动安全权重由 15%上升至 25%
日本	J-NCAP	2014	评分体系中增加 LDW、AEB 等指标
		2016	评分体系中增加行人自动紧急制动（PAEB）等指标，考虑夜视系统的影响
		2017	评分体系中纳入 LKA 指标

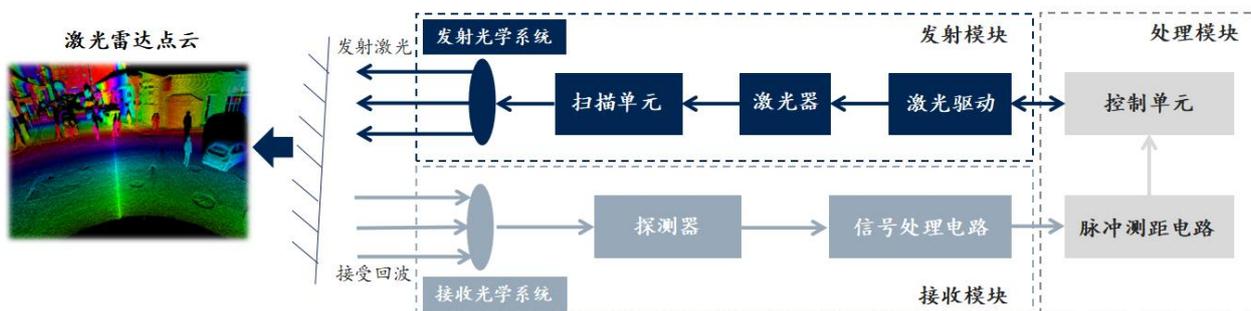
资料来源：各国 NCAP，国信证券经济研究所整理

（1）激光雷达：是 L3 级以上自动驾驶的必备传感器

激光雷达，即（LiDAR, Light Detection and Ranging），是一种通过发射激光束来测量周围环境物体的距离和方位的方法。激光雷达主要由发射模块、处理模块和接收模块组成，其工作原理是向目标发射探测信号（激光束），然后将接收到的从目标反射回来的信号（目标回波）与发射信号进行比较，做适当处理后，就可获得目标的有关信息，如目标距离、方位、高度、速度、姿态及形状等参数，从而对障碍物、移动物体等目标进行探测、追踪和识别。

激光雷达是当下已知的车载雷达中探测距离远，角度测量精度极高的一种。激光雷达可以准确的感知周边环境的三维信息，探测精度在厘米级以内。激光雷达能够准确的识别出障碍物具体轮廓、距离成 3D 点云，且不会漏判、误判前方出现的障碍物，激光雷达普遍的有效探测距离也更远。与毫米波雷达和摄像头相比，激光雷达具备高分辨率、远距离和视角广阔等特性。

图2：激光雷达的工作原理



资料来源：禾赛科技招股书，国信证券经济研究所整理

激光雷达诞生于1960年，起初用于科研及测绘项目，全球首个车规级激光雷达在2017年实现量产。1960年美国休斯实验室的西奥多·梅曼发明了人类历史上第一台激光器，随着激光器的发展，激光雷达逐渐发展起来。早期激光雷达主要用于科研及测绘项目，进行气象探测以及针对海洋、森林、地表的地形测绘。2010年，Neato公司把激光雷达安在了扫地机器人上面，推出了Neato XV-11，Neato公司将单个激光雷达的成本控制在30美元以内，解决了激光雷达的量产难题，打开了激光雷达在民用市场的空间。

而车载雷达的发展历史可以追溯到21世纪初，在2007年，美国国防部组织的DARPA无人车挑战赛上，参赛的7支队伍，就有6只安装了Velodyne的激光雷达。2010年Ibeo公司同法雷奥合作进行车规级激光雷达SCALA的开发，SCALA为基于转镜架构的4线激光雷达，在2017年成为了全球第一款车规级激光雷达，SCALA并在当年搭载在全新的奥迪A8上。

表7：激光雷达的发展历程

时期	激光雷达行业特点	主要应用领域	标志性事件
1960年代--1970年代	随着激光器的发明，基于激光的探测技术开始得到发展	科研及测绘项目	1971年阿波罗15号载人登月任务使用激光雷达对月球表面进行测绘
1980年代--1990年代	激光雷达商业化技术起步，单线扫描式激光雷达出现	工业探测及早期无人驾驶项目	Sick（西克）与Hokuyo（北洋）等激光雷达厂商推出单线扫2D激光雷达产品
2000年代--2010年代早期	高线数激光雷达开始用于无人驾驶的避障和导航，其市场主要是国外厂商	无人驾驶测试项目等	DARPA无人驾驶挑战赛推动了高线数激光雷达在无人驾驶中的应用，此后Velodyne深耕高线数激光雷达市场多年。 IbeoLUX系列产品包含基于转镜方案的4线及8线激光雷达。基于4线版本，2010年Ibeo与法国Tier1公司Valeo（法雷奥）开始合作开发面向量产车的激光雷达产品SCALA。
2016年--2018年	国内激光雷达厂商入局，技术水平赶超国外厂商。激光雷达技术方案呈现多样化发展趋势。	无人驾驶、高级辅助驾驶、服务机器人等，且下游开始有商用化项目落地	2017年4月禾赛科技发布40线激光雷达Pandar40。采用新型技术方案的激光雷达公司同样发展迅速，如基于MEMS方案的Innoviz，基于1550nm波长方案的Luminar等。
2019年至今	市场发展迅速，产品性能持续优化，应用领域持续拓展。激光雷达技术朝向芯片化、阵列化发展。境外激光雷达公司迎来上市热潮，同时有巨头公司加入激光雷达市场竞争。	无人驾驶、高级辅助驾驶、服务机器人、车联网等	Ouster推出基于VCSEL和SPAD阵列芯片技术的数字化激光雷达。禾赛科技应用自主设计的芯片组（发射芯片和接收芯片）于多线机械旋转式产品。 2020年9月Velodyne完成NASDAQ上市，2020年12月Luminar完成NASDAQ上市。

资料来源：禾赛科技招股书，国信证券经济研究所整理

在测绘之外，智能驾驶、工业及服务机器人都是激光雷达的重要应用场景。在应用场景上，除了传统的测绘测风之外，无人驾驶、高级辅助驾驶等智能驾驶场景正在快速成长。此外，工业及服务机器人如 AGV，其应用包括无人配送、无人清扫、无人仓储、无人巡等，都是激光雷达未来重要的应用场景。

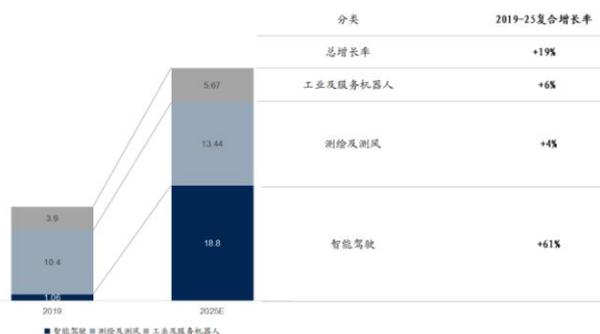
表8: 国内外各企业激光雷达应用场景

激光雷达公司	机器人	无人车	无人机	AGV
Velodyne		✓		
Sick	✓	✓		✓
Ibeo	✓			
Quanergy		✓		
Hokuyo	✓			✓
Trimble	✓		✓	
Innoviz		✓	✓	
LeddarTech		✓		
Leica			✓	
RiegI			✓	
思岚科技	✓			✓
速腾聚创	✓	✓	✓	
禾赛科技	✓	✓		
北醒光子	✓	✓	✓	✓
玩智商	✓			
镭神智能	✓	✓	✓	✓
北科天绘		✓	✓	
数字净土			✓	

资料来源：思岚科技官网、国信证券经济研究所整理

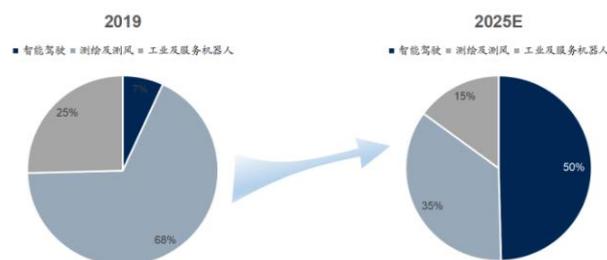
智能驾驶将是未来五年激光雷达市场的主要增长动力。根据 Yole 的预测，2019 年全球激光雷达市场规模约为 16 亿美金，预计到 2025 年全球激光雷达市场规模将达到 38 亿美金，年复合增长率约为 20%。按照各细分应用板块来看，智能驾驶场景未来五年的复合增长率将超过 60%，将会为整个激光雷达市场提供 18 亿美金的增量，预计到 2025 年，智能驾驶场景将占到整个激光雷达市场规模的 50%，成为激光雷达市场的主要增长动力。此外，各种工业及服务机器人对激光雷达的需求也在快速增长，也将带动整个激光雷达市场规模持续扩大。

图3: 19-25 年激光雷达下游各场景市场空间（亿美元）



资料来源：Yole，国信证券经济研究所整理

图4: 19-25 年激光雷达下游应用占比变化（%）



资料来源：Yole，国信证券经济研究所整理

目前主流的自动驾驶技术路径主要分两种：（1）以特斯拉为代表的视觉算法为主导的流派。以摄像头主导，搭配毫米波雷达来捕捉周边环境信息，使用先进的计算机视觉算法实现全自动驾驶。这一类方案所需的硬件成熟度较高，成本低，但毫米波雷达探测角度较小，远距离探测能力也不足，需要优异的算法来弥补缺点。典型代表有特斯拉，该技术路径相对小众；（2）以 Waymo、部分车企为代表

的激光雷达主导的流派。以激光雷达为主，同时搭载毫米波雷达、超声波传感器和摄像头，可以进行远距离、全方位的探测，分辨率较强，但硬件成本较高，典型代表为谷歌 Waymo、百度 Apollo、文远知行等主流无人驾驶企业。

表9：纯视觉主导与激光雷达主导的自动驾驶技术路线

	视觉主导方案	激光雷达主导方案
代表玩家	特斯拉 Autopilot	谷歌 Waymo
		
方案设计	摄像头+毫米波雷达，配合 AI 芯片及深度神经网络，使用先进的计算机视觉算法渐进实现 L3+	激光雷达为主，超声波传感器和摄像头等为辅，模拟仿真配合实车测试，L4 起步
优点	轻巧、低成本、符合车规，能提供更丰富的环境信息，同时视频数据也最接近人眼所感知的环境	环境感知全面，受环境影响小，对感知数据处理环节运算能力要求相对较低
缺点	摄像头二维图像难挖掘，需更强大的算法、大量数据的积累和更长期的研发投入。对于 L4 级别及以上的自动驾驶来说，在精度、稳定性和视野等方面的局限性	成本高昂

资料来源：亿欧智库，国信证券经济研究所整理

激光雷达是车载摄像头与毫米波雷达的有效补充，将是 L3 级及以上自动驾驶的必备传感器。从工作原理来看，激光雷达发射的光波的频率比微波高出 2-3 个数量级，因此激光雷达具有极高的距离分辨率、角分辨率和速度分辨率，因此测量精度更高，获得信息更为立体，同时，由于激光波长短，可发射发散角非常小的激光束，可探测低空/超低空目标，抗干扰能力强。即便是纯视觉的方案从效果上能够一定程度代替激光雷达的自动驾驶方案，但是对于高阶自动驾驶而言，安全驾驶是其重要的一步，在感知环节的传感器冗余能够有限提升车辆的安全冗余，激光雷达将是 L3 及以上自动驾驶的必备传感器。

图5：激光雷达是摄像头与毫米波雷达的有效补充



资料来源：OFweek，国信证券经济研究所整理

激光雷达主要由光束扫描器和探测系统两个维度组成，一个负责成像，一个负责测距。按光束扫描器结构大致可划分为三类：机械式、混合固态和固态激光雷达；按照扫描方式分为机械旋转式、MEMS（微振镜）、微距移动、Flash、OPA（光学

相控阵)等。

表 10: 各类激光雷达的原理和优劣势介绍

类型	原理	优势	劣势	主要玩家	
机械式激光雷达	机械激光雷达,是指其发射系统和接收系统存在宏观意义上的转动,也就是通过不断旋转发射头,将速度更快、发射更准的激光从“线”变成“面”,并在竖直方向上排布多束激光,形成多个面,达到动态扫描并动态接收信息的目的。因为带有机械旋转机构,所以机械激光雷达外表上最大的特点就是自己会转,个头较大	机械旋转式激光雷达的优势在于可以对周围环境进行 360° 的水平视场扫描,且在视场范围内测距能力的均匀性较强	价格昂贵,暂时给主机厂量产的可能性较低;光路调试、装配复杂,生产周期漫长,机械旋转部件在行车环境下的可靠性不高,难以符合车规的严苛要求等	Velodyne、Valeo、Ouster、Waymo、速腾聚创、禾赛科技、镭神智能、北科天绘等	
混合固态激光雷达	混合固态激光雷达指用半导体“微动”器件(如 MEMS 扫描镜)来代替宏观机械式扫描器,在微观尺度上实现雷达发射端的激光扫描方式。其中, MEMS 扫描镜是一种硅基半导体元器件,属于固态电子元件;但是 MEMS 扫描镜内部集成了“可动”的微型镜面,兼具“固态”和“运动”两种属性	混合固态激光雷达工作时,单从外观上是看不到旋转的,巧妙之处是将机械旋转部件做得更加小巧并深深地隐藏在外壳之中。可以直接在硅芯片上集成体积十分精巧的微振镜,由可以旋转的微振镜来反射激光器的光线,从而实现扫描	水平视场角较小;成本并不低,工艺一致性也不能完全保证,可量产性较低	Innoviz、Innovusion、Blickfeld、华为、速腾聚创、万集科技、禾赛科技、一径科技、镭神智能等	
固态激光雷达	OPA (光学相控阵技术)	OPA 固态激光雷达完全取消了机械结构,运用相干原理,采用多个光源组成阵列,通过控制各光源发光时间差,合成具有特定方向的主光束。然后再加以控制,通过调节发射阵列中每个发射单元的相位差来改变激光的出射角度,使主光束实现对不同方向的扫描	数据采集速度快,分辨率高,对于温度和振动的适应性强;通过波束控制,探测点(点云)可以任意分布;可控性好、体积小等	易形成旁瓣,影响光束作用距离和角分辨率,同时生产难度高	AnalogPhotonics、力策科技、万集科技、洛微科技、摩尔芯光等
	Flash (面阵式技术)	Flash 激光雷达的原理是快闪,在短时间直接发射出一大片覆盖探测区域的激光,再以高度灵敏的接收器,来完成对环境周围图像的绘制。其属于非扫描式雷达,发射面阵光,是以 2 维或 3 维图像为重点输出内容的激光雷达	数据采集速度快,分辨率高,对于温度和振动的适应性强;通过波束控制,探测点(点云)可以任意分布;能快速记录整个场景,避免了扫描过程中目标或激光雷达移动带来的各种麻烦	探测距离较近,在实际使用中不适合远程探测;基于 3D Flash 技术的固态激光雷达,在技术的可靠性方面还存在问题	LeddarTech、Sense Photonics、Xenomatrix、Ouster、大陆、IBEO、飞芯电子、北醒光子等

资料来源:好嘿科技、禾赛科技招股书,国信证券经济研究所整理

ToF 激光雷达是当前的主流,未来 ToF 与 FMCW 会共存。按照探测方式来分,分成了非相干测量(脉冲飞行时间测量法 ToF 为代表)和相干测量(典型为 FMCW 调频连续波)。ToF 与 FMCW 能够实现室外阳光下较远的测程(100~250m),是车载激光雷达的优选方案。ToF 是目前市场车载中长距激光雷达的主流方案,未来随着 FMCW 激光雷达整机和上游产业链的成熟,ToF 和 FMCW 激光雷达将在市场上并存。

表 11: 各类测距方式的主要特点

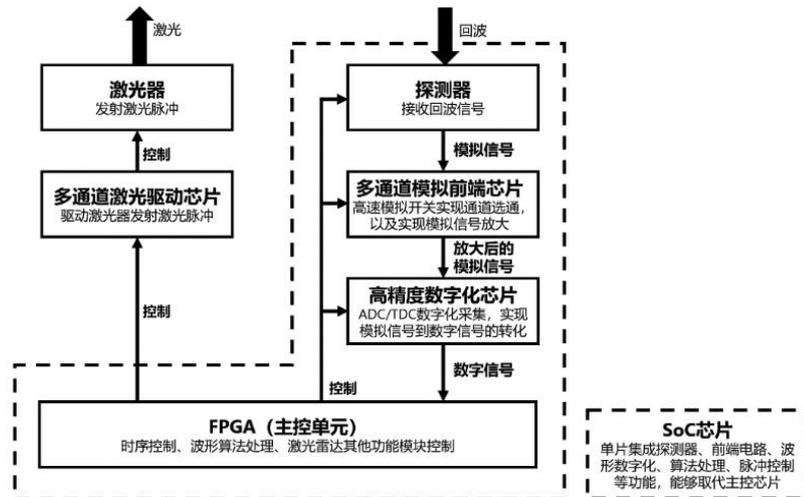
测距方法	主要特点
ToF 法	通过直接测量发射激光与回波信号的时间差,基于光在空气中的传播速度得到目标物的距离信息,具有响应速度快、探测精度高的优势。
FMCW 法	将发射激光的光频进行线性调制,通过回波信号与参考光进行相干拍频得到频率差,从而间接获得飞行时间反推目标物距离。FMCW 激光雷达具有可直接测量速度信息以及抗干扰(包括环境光和其他激光雷达)的优势。

资料来源:禾赛科技招股书,国信证券经济研究所整理

混合固态方案作为当前市场的过渡期预计将存在 5 年以上，终极形态的激光雷达会是低成本、高度芯片化的产品。

- **固态激光雷达是终极形态，混合固态 MEMS 等方案短期内会是主流。**机械式激光雷达技术本身成熟，但具有成本较高、装配调制困难、生产周期长，且需要持续旋转，机械部件的寿命较短，一般在 1-2 年，很难应用在规模量产车型上。MEMS 混合固态激光雷达一方面具有尺寸小、可靠性高、批量生产后成本低、分辨率较高等优势，另一方面也存在信噪比低、有效距离短、视场角窄、工作寿命较短等缺点。MEMS 方案是当下车用激光雷达量产的最优解，但是 MEMS 微振镜扫描角度小、振动问题与工作温度范围，过车规也存在挑战。固态方案不用受制于机械旋转的速度和精度，可大大压缩雷达的结构和尺寸，提高使用寿命，并降低成本。
- **芯片化将会是激光雷达的架构趋势。**当前大部分 ToF 激光雷达产品采用分立器件，即发射端使用边发射激光器 EEL 配合多通道驱动器、接收端使用线性雪崩二极管探测器（APD）配合多通道跨阻放大器（TIA）的方案。但分立器件仍存在零部件多、生产成本低、可靠性低等问题，芯片化架构的激光雷达可将数百个分立器件集成于一颗芯片，在降低物料成本的同时，省去了对每一个激光器进行独立光学装调的人力生产成本。此外，器件数量的减少，可以显著降低因单一器件失效而导致系统失效的概率，提升了可靠性。芯片化架构的激光雷达是未来的发展方向。

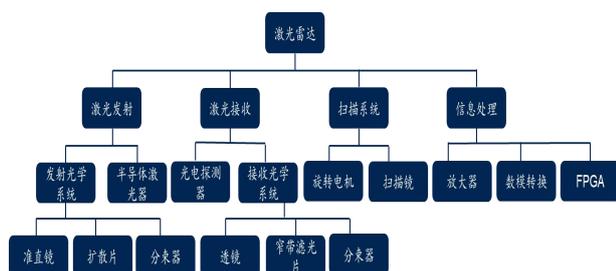
图6: 激光雷达的芯片化架构设计



资料来源：禾赛科技招股书，国信证券经济研究所整理

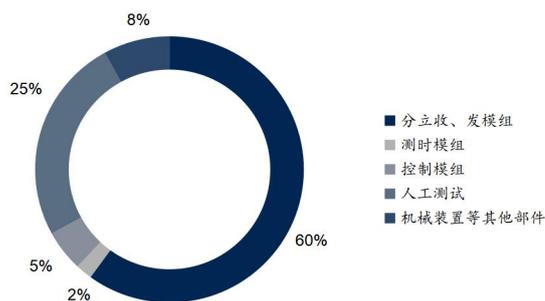
激光雷达的成本构成。激光雷达本质是一个由多种部件构成的光机电系统，光电系统包括发射模组、接收模组、测时模组（TDC/ADC）和控制模组四部分构成，其中，光电系统成本约占激光雷达整机成本的 70%。

图7：激光雷达的构成



资料来源：汽车之家，国信证券经济研究所整理

图8：传统分立式激光雷达的成本构成及占比



资料来源：汽车之家，国信证券经济研究所整理

激光雷达上游产业链主要包括激光器和探测器、FPGA 芯片、模拟芯片供应商，以及光学部件生产和加工商。激光器和探测器是激光雷达的重要部件，激光器和探测器的性能、成本、可靠性与激光雷达产品的性能、成本、可靠性密切相关。激光器主流供应商有欧司朗、艾迈斯半导体、鲁门特姆，探测器主流供应商有滨松、安森美、索尼等。FPGA 通常被用作激光雷达的主控芯片，主流供应商有赛灵思、英特尔等，除了 FPGA 之外，也可以选用 MCU、DSP 等代替。MCU 的主流供应商有瑞萨、英飞凌等，DSP 的主流供应商有德州仪器、亚德诺半导体等。而在相关光学部件上，国内供应链已经完全实现替代海外，实现自主供应。

表12：激光雷达上游主要供应商

	国外	国内
激光器	OSRAM、AMS、Lumentum	深圳瑞波光电子、常州纵慧芯半导体科技
探测器	First Sensor、Hamamatsu、ON Semiconductor、Sony	成都量芯集成科技、深圳灵明光子科技、南京芯视界微电子科技
FPGA 芯片	Xilinx、Intel	紫光国芯、西安智多晶微电子
模拟芯片	TI、ADI	矽力杰半导体技术、圣邦微电子
扫描镜、旋转电机	知微传感、Lemoptix、Microvision、Maradin、Mirrorcle、微奥、滨松、STM、Opus、创微	
窄带滤光片	水晶光电、VIAVI、Alluxa	
准直镜头	Heptagon、迈得特、福晶科技	

资料来源：禾赛科技招股书、ittbank、国信证券经济研究所整理

从各家的 Velodyne 的 64 线机械式激光雷达的售价在 7.5 万美元，32 线的机械式激光雷达售价在 4 万美元左右，16 线的机械式激光雷达售价在 3999 美元。而国内厂商，如禾赛科技在 2020 年发布的机械式激光雷达售价为 4999 美元左右，速腾聚创在 2020 年发布的机械式激光雷达售价为 1898 美元。

表 13: 各家激光雷达的产品及价格

厂商	产品	技术路线	年份	价格(美元)
Velodyne	HDL-64E	机械	2014	75000
	HDL-32E	机械	2017	40000
	VLP-16	机械	2018	3999
	Velabit LiDAR	混合固态	2020	100
Quanergy	M-8	固态	2018	500
Luminar	Iris	MEMS	2019	1000
	Hydra	混合固态	2020	500
Innoviz	InnovizOne	混合固态	2016	500
	InnovizTwo	混合固态	2020	1000
Ouster	ES2	Flash	2024	600
速腾聚创	RS-Ruby Lite	机械式	2020	1898
	RS-LiDAR-M1	MEMS	2019	1898
	RS-LiDAR-32	机械式	2017	20000
大疆 Livox	Horizon	转镜	2020	1000
	Tele-15	转镜	2020	1400
禾赛科技	PanndarQT	机械式	2020	4999
镭神智能	LS20B	混合固态	2020	999
	LS20D	混合固态	2020	868
	LS20E	混合固态	2020	888
北科天绘	R-Fans-32	机械	2016	23500
华为	96 线中 长 距	转镜	2020	1000

资料来源: Velodyne、Quanergy、速腾聚创等公司官网, 国信证券经济研究所整理

随着相关技术和产业链日益成熟, 激光雷达的成本拐点即将来临。Velodyne 宣布计划到 2024 年将平均单价将下降到 600 美元, 华为也宣布未来计划将激光雷达的价格控制在 200 美金以内。随着相关技术逐渐成熟和供应链体系的逐步完善, 当前混合固态的激光雷达平均价格约在 1000 美元左右, 预计到 2023 年左右成本有望下探到 500 美元。随着激光雷达的成本拐点逐步到来, 也为大规模商用打造了充分的基础。

图 9: 激光雷达成本不断下降



资料来源: Livox, 国信证券经济研究所整理

2022 年有望成为激光雷达大规模商业的元年。在 2021 年，如蔚来 ET7、智己 L7、极狐阿尔法 S、哪吒 S、R 汽车等都已宣布搭载激光雷达的车型正在量产路上，在前不久的广州车展上，威马 M7、广汽埃安 AION LX Plus 等均宣布了搭载 2~3 颗激光雷达，长城最新发布的沙龙机甲龙更是配备 4 颗激光雷达。这些车型大多在 2022 年量产，2022 年有望成为激光雷达大规模商业的元年。

表 14: 各车型在激光雷达型号的选择

	速腾聚创	禾赛科技	华为	大疆 Livox	图达通
类型	MEMS 振镜	转镜	MEMS 振镜	双棱镜	MEMS 振镜
测距	200m	200m	150m	150m	500m
等效线	128 线	128 线	96 线	200 线	300 线
视角	120°	120°	120°	120°	120°
波长	905nm	未知	905nm	905nm	1550nm
定点车型	小鹏 G9, 智己 L7, 威马 M7, 广汽埃安 LX Plus	高合 HiPhi Z, 理想 X01	阿维塔 11, 极狐阿尔法 S Hi, 长城沙龙机甲龙	小鹏 P5	蔚来 ET7

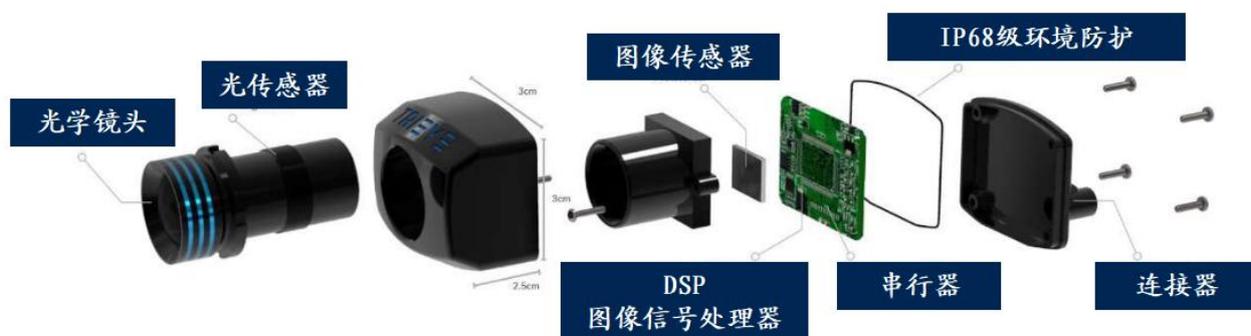
资料来源：速腾聚创、禾赛科技等公司官网，国信证券经济研究所整理

(2) 车载摄像头：高清化、智能化带动摄像头天花板不断打开

车载摄像头是环境感知中最常见的传感器之一。摄像头的工作原理即目标物体通过镜头生成光学图像投射到图像传感器上，光信号转变为电信号，再经过 A/D（模数转换）后变为数字图像信号，最后送到 DSP（数字信号处理芯片）中进行加工处理，由 DSP 将信号处理成特定格式的图像传输到显示屏上进行显示。视觉是人类驾驶汽车获取环境信息最主要的途径，摄像头获取的信息更为直观，更接近人类的视觉，对于自动驾驶汽车而言，摄像头取代了人类视觉，成为了汽车获取外界信息的重要来源。

车载摄像头的优点十分明显，成本低且技术成熟，采集信息的丰富度较高，最接近人类视觉，但其缺点也十分显著，摄像头受光照、环境影响十分大，难以全天候工作，尤其是在黑夜、雨雪天、大雾等能见度不足的场景下，其识别效率大大降低，此外，车载摄像头缺乏深度信息，三维空间感不足。

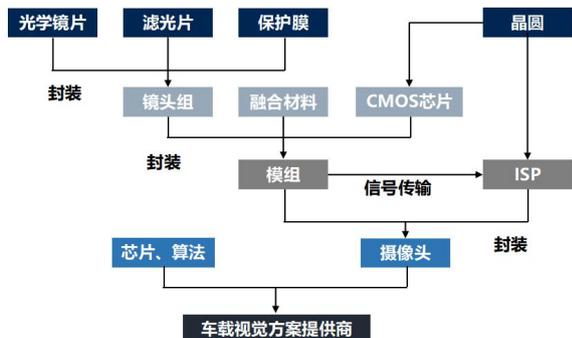
图 10: 车载摄像头结构组成



资料来源：TriEye，国信证券经济研究所整理

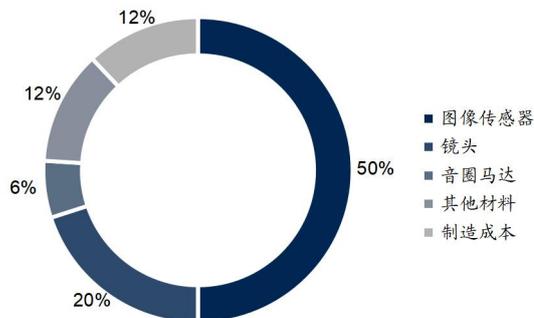
图像传感器成本占比超过五成，CMOS 为当下主流选择。车载摄像头的硬件结构包括光学镜头（光学镜片、滤光片、保护膜）、图像传感器、图像信号处理器（ISP）、串行器、连接器等器件。成本结构上，图像传感器成本占比最高，成本占比达到 50%，CMOS 图像传感器具有读取信息方式简单、输出信息速率快、耗电少、集成度高、价格低等特点，成为目前主流的车载图像传感器。

图 11: 车载镜头产业链结构



资料来源: TSR, 国信证券经济研究所整理

图 12: 车载镜头成本结构



资料来源: TSR, 国信证券经济研究所整理

表 15: 车载摄像头上游主要供应商

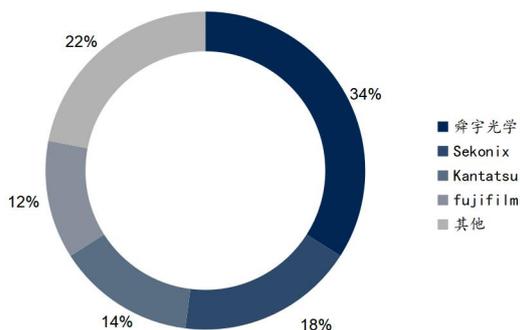
车载摄像头产业链环节	国外	国内
镜头组	韩国世高光、日本关东辰美、富士胶片	舜宇光学、联创电子
CMOS 传感器	安森美、豪威科技、索尼、三星	韦尔股份
模组封装与系统集成	松下、法雷奥、富士通、大陆	欧菲光、丘钛科技、华域汽车、德赛西威、华阳集团
软件算法	Mobileye	虹软科技等

资料来源: 头豹研究院, 国信证券经济研究所整理

车载镜头舜宇排名第一，联创电子正在快速崛起。根据 ICVTank 在 2019 年的数据显示，舜宇光学全球车载摄像头出货量第一，市占率超过 30%，韩国世高光、日本关东辰美、日本富士占绝行业前四名，前四名市占率超过 80%。国产方面，除舜宇之外，联创电子是国内唯二具备较强竞争力的厂商，目前已经进入特斯拉、蔚来等产业链，正在快速崛起。

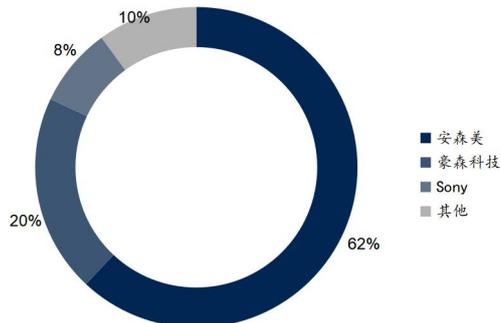
车载 CIS 呈现寡头格局，韦尔收购豪威科技一跃成为行业第二。车载 CIS（CMOS Image Sensor）是当下主流的车载摄像头图像传感器方案，其中安森美是绝对的车载 CIS 龙头，市占率超过六成，豪威科技位列第二，市占率约为 20%，索尼和三星作为手机 CIS 的龙头，进入车载市场较晚，正在快速切入。国产厂商方面，韦尔股份收购豪威科技后，一跃成为车载 CIS 龙头，正在迅速崛起。

图 13: 2019 年全球车载摄像头镜头市场份额



资料来源: ICVTank, 国信证券经济研究所整理

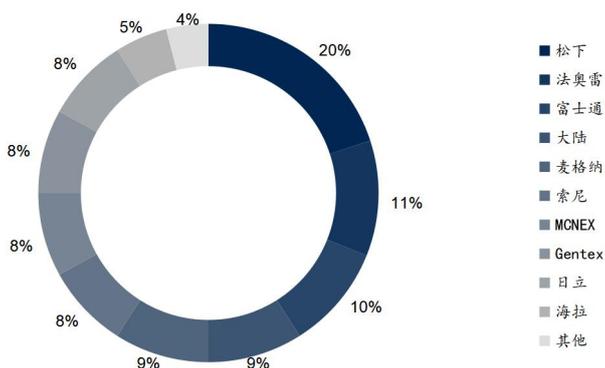
图 14: 2018 年全球车载 CIS 传感器市场份额



资料来源: Courtpoint、头豹研究院, 国信证券经济研究所整理

中游模组主要由海外公司主导, 国产比例仍然较低。由于车规级摄像头模组的安全性和稳定性要求更高, 模组封装工艺更为复杂, 在竞争格局方面, 主要由海外公司占据主要市场份额, 松下、法雷奥、富士通、大陆、麦格纳等占据市场主要地位, 国产方面, 舜宇光学、联创电子等为代表的摄像头模组企业正在快速布局车载领域。

图 15: 2019 年全球车载摄像头模组市场份额



资料来源: 头豹研究院, 国信证券经济研究所整理

根据安装位置划分, 车载摄像头可以分为五大类: 内视摄像头、后视摄像头、前置摄像头、侧视摄像头、环视摄像头等; 根据结构划分, 车载摄像头可以分为单目摄像头、双目摄像头、广角摄像头等。单目摄像头和双目摄像头主要用于自动驾驶汽车的前视, 视角一般为 45 度左右, 负责实现 FCW、LDW、PCW、TSR、ACC 等功能, 而广角摄像头则要用于自动驾驶汽车的后视(后视泊车辅助)、内置(闭眼提醒、DMS)、侧视(盲点检测)、以及环视(全景泊车、LDW)等多个方位多种功能。

表 16: 车载视像头的类型及其功能

类型	个数	功能	描述	分辨率
前视摄像头	1-4	FCW (前向碰撞预警)	FCW 实时监测与前方车辆的距离, 当潜在碰撞危险时对驾驶者发出警告	1080P 及以上
		LDW (车道偏离预警)	LDW 通过摄像头识别车道线信息, 当车辆发生无意识偏离时系统发出警告	
		PCW (行人防碰撞预警)	PCW 实现行人监测预警功能	
		TSR (交通标志识别)	TSR 通过仪表显示摄像头识别出的前方道路标志, 并给出相应的警示信息	
		LKA (车道保持辅助)	LKA 辅助纠正驾驶员的无意识偏离车道行为, 使车辆回到原车道中	
		ADB (自适应远光灯)	ADB 通过摄像头识别出来和前方同向车辆, 自动切换远光灯照射范围, 避免对其他车辆司机造成炫目	
		ACC (自适应巡航控制)	ACC 探测与本车道前车之间的距离, 并按照设定好的最高时速和两车之前的距离进行巡航	
		行车记录仪	实时对车辆前方路况进行录像	
	夜视摄像头	使用红外线摄像头收集周围物体热量信息并转变为可视图像, 以增加夜间行车的安全性	480P	
后视摄像头	1-3	倒车影像 流媒体后视镜	当汽车挂入倒档时, 摄像头打开并获取车后方状况, 显示于中控或后视镜的液晶显示屏上	480P 及以上
环视摄像头	4-8	360 全景环视 自动泊车	通过车上多路摄像头采集四周图像数据, 生成 360 度的车身鸟瞰图, 并在中控显示屏上显示, 辅助驾驶员泊车	480P 及以上
侧视摄像头	2	盲点监测 变道辅助	安装在后视镜下方部位, 检测侧后方盲点区域内车辆	720P 及以上
内视摄像头	1-2	驾驶员疲劳监测 身份识别 安全录像	拍摄驾驶员面部动态进行识别, 实现对驾驶员身份识别、疲劳监测以及危险驾驶行为的监测; 在商用车还可进行安全录像	720P 及以上

资料来源: 大大通, 国信证券经济研究所整理

各家整车厂新车型的摄像头搭载数量持续上升。从各家最新发布的车型搭载方案来看, 造车新势力的单车搭载摄像头数量平均已超过 10 颗。2021 年最新发布的蔚来 ET7 共搭载了 11 颗摄像头, 小鹏计划于 2022 年量产的 G9 车型预计将搭载 12 颗摄像头, 极氪 001 更是搭载了 15 颗摄像头, 各家车企不断增加前视、环视、后视和内视等各方位的摄像头, 为了高阶辅助驾驶的落地创造了坚实的基础。

表 17: 各家车企的车载摄像头搭载情况

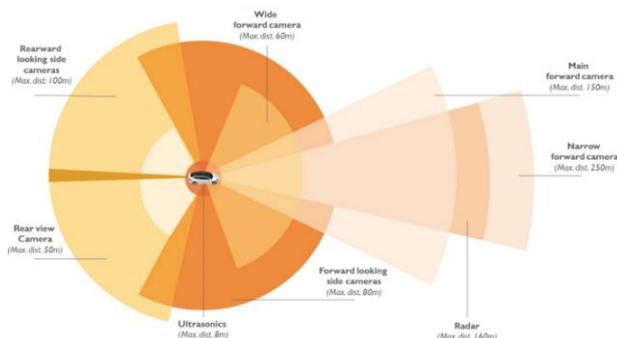
主流车型	型号	上市时间	摄像头总数量	前视	环视	其他
蔚来	ET7	2021 年 01 月	11 (800 万)	4	4	后视*3
	EC6	2020 年 07 月	8	三目*1	4	后视*1
	ES8	2020 年 1 月	8	三目*1	4	后视*1
	ES6	2018 年 12 月	8	三目*1	4	后视*1
小鹏	G9	2022 年	12	双目*1 感知摄像头*1	4	增强感知*5
	P5	2021 年 9 月	13	3	4	侧视*4 后视*1
	P7	2020 年 4 月	14	4	4	侧视*4 后视*1 DMS*1
特斯拉	G3	2019 年 7 月	5	1	4	
	Model Y	2021 年 1 月	8	3	2	后视*3
	Model 3	2019 年 6 月	8	3	2	后视*3
比亚迪	汉系列	2020 年 7 月	5	1	4	
	唐系列	2018 年 9 月	5	1	4	
理想	ONE2021 款	2021 年 5 月	5	1	4	
	ONE2020 款	2020 年 10 月	5	1	4	
哪吒	S	2022 年底	13			
宝马	宝马 7 系	2022 年底	8	三目*1	4	后视*1
奥迪	A8	2022Q1	8	2	2	360 度系统*4
雷克萨斯	LS	2021 年 12 月	8	双目*1	6	
沙龙	机甲龙	2021 年 11 月	11		4	
威马	M7	2021 年 11 月	11			
广汽埃安	LX Plus	2022 年 1 月	12		4	
沃尔沃	XC60	2021 年 6 月	4	1	2	后视*1
智己	L7	2021 年 4 月	12			
极氪	001	2021 年 4 月	15	1	6	辅助驾驶*6 内置*2
极狐	阿尔法 S	2021 年 4 月	13		4	ADS 摄像头*9
奔驰	10 代 E	2020 年 8 月	5	1	2	后视*2

资料来源：蔚来、小鹏、特斯拉等公司官网，国信证券经济研究所整理

特斯拉 Model 3 的感知系统包括了 8 个摄像头+12 个超声波雷达+1 个毫米波雷达。该感知系统可以实现在 250 米半径内提供 360 度的视野，可以在一定距离内探测软硬物体，而且精度几乎是以前系统的两倍。包括 1 个前视窄视野长焦摄像头 (FOV 25 度、最大测距 250 米)，1 个前视主视野中焦摄像头 (FOV 50 度、最大测距 150 米)，1 个前视宽视野广角摄像头 (FOV 150 度、最大测距 60 米)，2 个侧方前视摄像头 (最大测距 80 米)、2 个侧方后视摄像头 (最大测距 100 米) 和 1 个后视摄像头 (最大测距 50 米)。

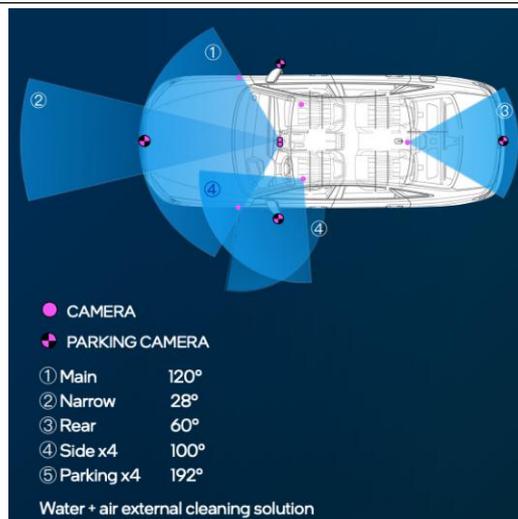
Mobileye 的纯摄像头 ADAS 解决方案包括了 12 颗摄像头的子系统。在 CES 2020 上，Mobileye 也发布 12 个摄像头组成的纯摄像头解决方案，包括 2 颗前视摄像头 (FOV 120 度)，一颗前视窄视野长焦摄像头 (FOV 28 度)，1 颗后视摄像头 (FOV 60 度)，4 颗侧视摄像头 (FOV 100 度)，4 颗停车辅助摄像头，1 颗 DMS 内视摄像头。

图 16: 特斯拉 Model 3 的感知系统



资料来源: Yole、SystemPlus, 国信证券经济研究所整理

图 17: Mobileye 的纯摄像头解决方案

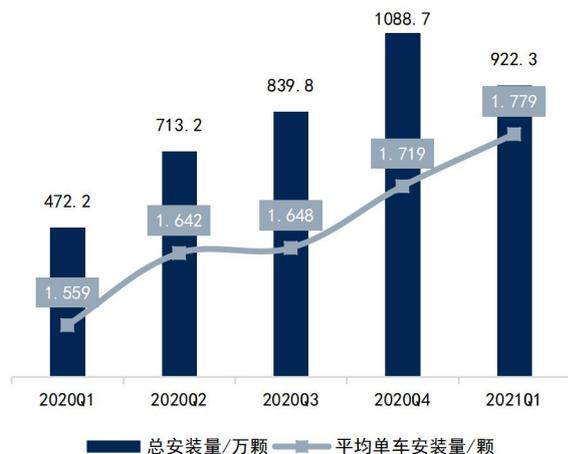


资料来源: Mobileye, 国信证券经济研究所整理

单车搭载摄像头数量持续增加, 预计到 23 年有望超过平均每台车 3 颗。根据佐思汽研数据, 2021Q1 中国乘用车市场车载摄像头的总安装量为 922.3 万颗, 同比增长 95.3%, 2021Q1 单车的摄像头安装量从 2020Q1 的 1.559 颗提升至 1.779 颗, 市场对车载摄像头的需求量持续增加。根据 Yole 预测, 2018 年全球汽车平均每台搭载摄像头的数量为 1.7 颗, 预计到 2023 年有望增加单车 3 颗左右, CAGR 达 12%。而对于高端车的搭载情况, 根据 Yole 数据显示, 高端车型的单车摄像头搭载数量从 2014 年的 5 颗提升到 2020 年的 8 颗, 预计到 2024 年将超过 11 颗。

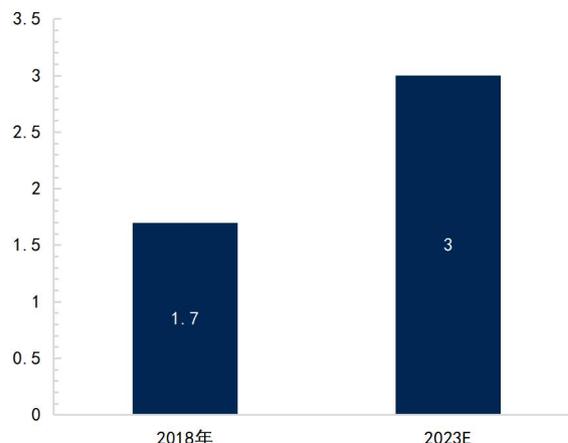
此外, 根据不同等级自动驾驶的要求, 为了实现更准确的识别效果, 每一类摄像头会搭载不同焦距 2-3 只。L1 或 2 级的车辆主要以安装倒车或环视摄像头为主, 单车摄像头数量约在 3-5 颗左右; L3 级车辆还会安装前视摄像头, 单车摄像头数量约在 8 颗左右; L4/5 级车辆基本会囊括各种类型的摄像头, 单车摄像头数量约在 10-20 颗左右。

图 18: 21Q1 中国乘用车摄像头安装量及单车平均安装量



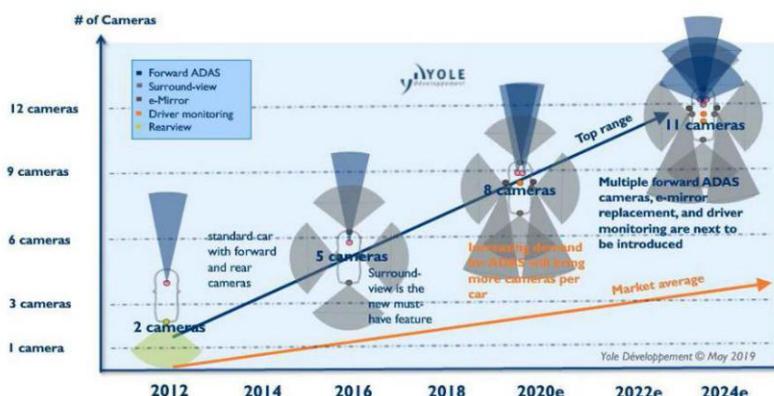
资料来源: 佐思汽研, 国信证券经济研究所整理

图 19: 18-23 年全球汽车平均搭载摄像头数量 (颗)



资料来源: Yole, 国信证券经济研究所整理

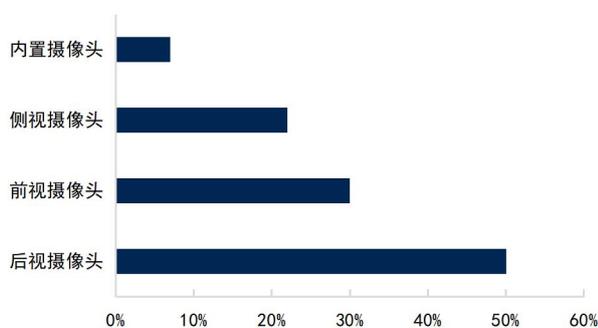
图 20: 2012-2025 年单车搭载摄像头的个数变化情况



资料来源: Yole, 国信证券经济研究所整理

各类型车载摄像头快速上车，渗透率不断提升。19-20 年我国后视摄像头渗透率占比最高为 50%，前视摄像头渗透率 30%、侧视摄像头渗透率 22%，内置摄像头渗透率 7%，仍然有很大的渗透空间。随着 IACC、HWA、HWP 等各类高级 ADAS 功能落地，各种摄像头的需求量也在不断上升，驾驶员注意力监测需求上升，DMS 摄像头也在快速上车。根据佐思汽研的数据，2021Q1 中国乘用车市场 DMS 安装量同比增长 554.5%，是各类车载摄像头中增速最快的，此外环视摄像头同比增速 120.8%，前视摄像头同比增速 103.0%，行车记录仪同比增速 102.2%，后视摄像头同比增速 60.6%，各类车载摄像头安装量快速提升。

图 21: 19-20 年各类型车载摄像头渗透率情况



资料来源: AI 车库, 国信证券经济研究所整理

表 18: 21Q1 中国乘用车市场各类摄像头安装量增速

类型	同比增速	增速排名
DMS	554.5%	1
环视	120.8%	2
前视	103.0%	3
行车记录仪	102.2%	4
后视	60.6%	5

资料来源: 佐思汽研, 国信证券经济研究所整理

特斯拉剥离计算功能，摄像头 BOM 成本下降六成。以宝马 X5 采用的采孚三目前视摄像头和特斯拉在 Model 3 中所使用的三目前视摄像头进行成本比较。宝马 X5 中的采孚 S-Cam4 三目前视摄像头是由豪威 (OmniVision) 的 CMOS 图像传感器实现图像采集，Mobileye 的 EyeQ4 实现视觉处理。而特斯拉在 Model 3 中所使用的三目前视摄像头，其摄像头模块是基于安森美 (On Semiconductor) 120 万像素的 CMOS 图像处理器，并没有安装计算功能模块，图像处理功能则由 Autopilot 来实现。

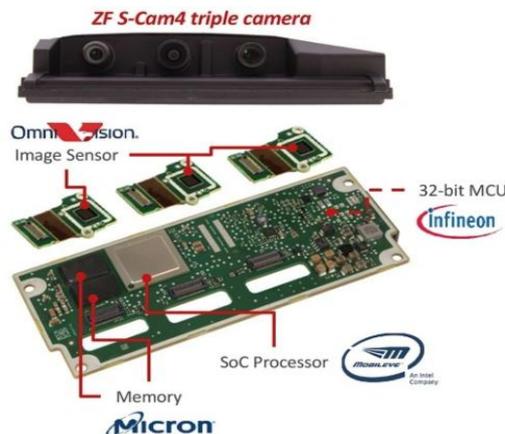
根据 SystemPlus 测算，特斯拉 Model 3 的三目前视摄像头的 BOM 成本 65 美金左右，而采孚 ZF S-Cam4 三目前视摄像头的 BOM 成本在 165 美金左右，**特斯拉在剥离了计算功能后，摄像头 BOM 成本下降了约六成。**

图 22: 特斯拉的三目前视摄像头结构拆解



资料来源: SystemPlus, 国信证券经济研究所整理

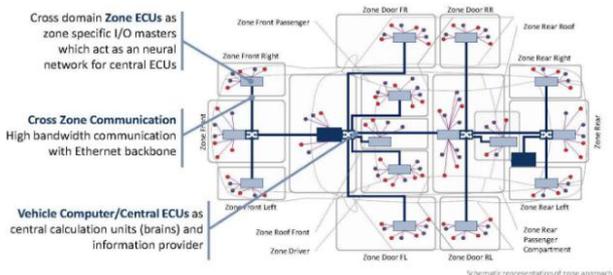
图 23: 采孚 S-Cam4 三目前视摄像头结构拆解



资料来源: SystemPlus, 国信证券经济研究所整理

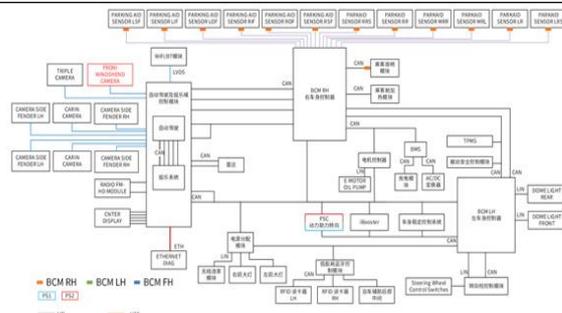
EEA 架构的集中化会促使算力集中化，进而加速传感器的硬件简化。以特斯拉为例，Model 3 的电子电气架构已经进入准中央架构阶段，由中央计算模块（CCM）、左车身控制模块（BCMLH）、右车身控制模块（BCMRH）三个部分组成，特斯拉的准中央 E/E 架构已带来了线束革命，Model S/Model X 整车线束的长度是 3 公里，Model 3 整车线束的长度缩短到了 1.5 公里，Model Y 进一步缩短到 1 公里左右，特斯拉最终的计划是将线束长度缩短至 100 米。整个架构的不断集中化，也带动了整个控制和算力的集中化，也避免了过往各 ECU 之间的算力冗余，进一步简化边缘端传感器，从而带动边缘段硬件成本的进一步下探。

图 24: 集中式的 EEA 架构



资料来源: Bosch Engineering, 国信证券经济研究所整理

图 25: 特斯拉 Model 3 的电子电气架构



资料来源: 特斯拉, 国信证券经济研究所整理

驾驶员监测系统（DMS, Driver Monitor System）是指驾驶员行驶过程中，全天候监测驾驶员的疲劳状态、危险驾驶行为的信息技术系统。在发现驾驶员出现疲劳、打哈欠、眯眼睛及其他错误驾驶状态后，DMS 系统将会对此类行为进行及时的分析，并进行语音灯光提示，起到警示驾驶员，纠正错误驾驶行为的作用。DMS 一般分为主动式 DMS 和被动式 DMS。被动式 DMS 基于方向盘转向和行驶轨迹特征来判断驾驶员状态。主动式 DMS 一般基于摄像头和近红外技术，从眼睑闭合、眨眼、凝视方向、打哈欠和头部运动等，检测驾驶员状态。

主动 DMS 系统从 18 年开始逐渐放量，21 年 1-9 月 DMS 销量同比增长 244%。自 2006 年起，雷克萨斯 LS 460 首次配备主动 DMS，随着近年来一系列的安全事故大大提高了 DMS 在自动辅助驾驶系统尤其是 L2/L3 功能上的重要性。从 2018 年开始，随着 L2 和 L3 系统逐渐量产，主动式 DMS 系统开始放量。根据佐思汽研数据，2019

年在中国主动 DMS 系统的乘用车新车安装量为 1.02 万套，同比增长 174%。2021 年 1-9 月中国乘用车新车的 DMS 系统销量 25.15 万套，同比增长 244%，其中合资占比 6%，本土占比 94%，排名靠前的品牌有长安、小鹏、哈弗、宝马、蔚来等。2021 年中国 DMS 爆发增长主要原因是本土品牌增加了装配车型力度。2021 年新上市车型 DMS 装配量 9.67 万辆，占整体装配量比例 38%。

大部分 Tier1 已推出 DMS 完整解决方案，包括法雷奥、博世、大陆、电装、现代摩比斯、伟世通、维宁尔等。在中国企业中，百度、商汤科技、中科创达、经纬恒润等公司的 DMS 产品也已落地在各个品牌车型上。DMS 的核心功能是监测驾驶员的疲劳和注意力分散程度。但是基于更多的传感器，视觉+红外摄像头，甚至毫米波雷达，可以实现更多的功能，譬如人脸识别、年龄性别估计、情绪估计、安全带检测、姿势位置、遗忘检测、座舱异常情况检测、幼儿检测等。通过人脸、性别和表情的识别，实现身份认证，以及更丰富的人车交互。目前 DMS 的应用仅停留在预警阶段，而一旦与 ADAS/AD 系统结合，还可以实现个性化车身控制等功能。

表 19: 国内部分 DMS 系统供应商产品对比

	商汤科技	中科创达	经纬恒润	地平线	百度
产品	SenseAuto Cabin 智能车舱解决方案	座舱视觉 DMS 系统	DMS 系统	DMS 系统，集成在 Horizon Halo®解决方案	疲劳驾驶监测系统
推出时间	2021.04	2020.08	2017.08	2019	2017
量产时间	2021	2020.11	2020	2019	2019
技术路线	近红外	支持 RGB 和红外摄像头	近红外	近红外	近红外
摄像头位置	中控台上方中央、方向盘柱上方等	/	/	A 柱、后视镜等摄像头	后视镜后上方等
实现功能	驾驶员身份识别、手势识别、疲劳检测、注视区域识别、危险行为分析、儿童识别、物体识别、宠物检测	FaceID、驾驶员状态检测(疲劳、分神、不良行为)、乘员/物品检测(物体/儿童/宠物/行为)、生物检测、人车交互(Kanzi AI)助手	驾驶员监测、身份识别、注意力监测	身份识别、疲劳分级监测、儿童识别、行为识别、注意力检测、性别年龄识别	人脸识别、疲劳监测、分心检测、姿态识别
探测方式	面部特征、头部追踪、眼球追踪、行为识别、人员个数及位置	人脸、情绪识别、视线追踪、呼吸/频率、行为识别、车内人数、活体检测	人脸、眼球追踪、行为特征	面部识别、头部识别、情绪识别、动作识别、实现区域	面部特征、行为识别
探测行为	视线追踪、打哈欠、点头、抽烟、喝水、接打电话、不系安全带等	摄像头遮挡、安全带未系、眼部遮挡、打哈欠、张望、口罩检测、打电话、抽烟喝水、长时间不目视前方、驾驶员不在驾驶位	抽烟、打电话、喝水、困倦、视线移动	打哈欠、眼部遮挡、摄像头遮挡不系安全带、玩手机、抽烟、喝水注意力分散、打电话	使用手机、抽烟不系安全带、未佩戴口罩、闭眼、打哈欠、双手离开方向盘等动作姿态
主机厂客户	长城(WEY 摩卡)、奇瑞(捷途 X70PLUS)、哪吒(U)	比亚迪 D1	高合	长安(UNI-T 和 UNI-K)、广汽(埃安 AION Y)、上汽(智己汽车)、长城(哈弗 H9-2022 款)	星途

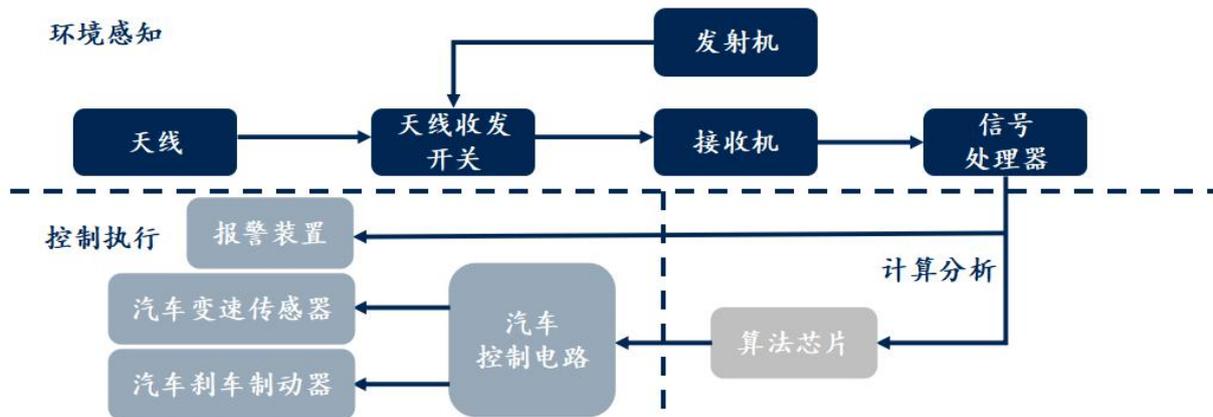
资料来源：佐思汽研，国信证券经济研究所整理

(3) 毫米波雷达：海外厂商正主导市场，国内正起步追赶

毫米波雷达是一种使用天线发射波长 1-10mm、频率 24-300GHz 的毫米波 (Millimeter Wave, MMW) 作为放射波的雷达传感器。毫米波雷达根据接收和发射毫米波的时间差，结合毫米波传播速度、载体速度及监测目标速度，可以获得汽车与其他物体相对距离、相对速度、角度及运动方向等物理环境信息。毫米波

的波长介于厘米波和光波之间，因此毫米波兼有微波制导和光电制导的优点。与激光雷达（LiDAR）相比，目前毫米波雷达技术更加成熟、应用更加广泛、成本更加低廉；与可见光摄像头相比，毫米波雷达的准确性和稳定性更好，价格差距也在不断缩小。尤其是全天候工作无可替代的优势，已成为汽车电子厂商公认的主流选择，拥有巨大的市场需求。

图26: 毫米波雷达的工作原理



资料来源：盖世汽车，国信证券经济研究所整理

车载毫米波雷达根据毫米波频率可以分为 24GHz、77GHz 和 79GHz 毫米波雷达三大种类。目前各个国家对车载毫米波雷达的频段各有不同，除了少数国家（如日本）采用 60GHz 频段外，主要集中在 24GHz 和 77GHz 两个频段。世界无线电通信大会已将 77.5~78.0GHz 频段划分给无线电定位业务，以促进短距高分辨车用雷达的发展。由于 77GHz 相对于 24GHz 的诸多优势，未来全球车载毫米波雷达的频段会趋同于 77GHz 频段（76-81GHz）。

表20: 各国车载毫米波频段分配

国家	24GHz	60GHz	77GHz	79GHz
欧盟	√		√	√
美国	√		√	√
日本		√	?	?
中国	√		√	?

资料来源：盖世汽车，国信证券经济研究所整理

根据探测距离的不同，毫米波雷达可分为短程毫米波雷达（SRR）、中程毫米波雷达（MRR）、远程毫米波雷达（LRR）三种。24GHz 主要是以 SRR 和 MRR 雷达为主，77GHz 主要以 LRR 雷达为主。一般情况下，SRR 的探测距离小于 60 米，MRR 的探测距离在 100 米左右，LRR 的探测距离大于 200 米。

表 21: 24GHz、77GHz 及 79GHz 毫米波雷达

频率	24GHz	77GHz	79GHz
探测距离	SRR/MRR (30m~120m)	LRR (200m 及以上)	SRR/MRR/LRR (30m 以上)
探测角度	大	小	大
体积	大	天线是 24GHz 的 33%，体积小	小
识别精度	0.5m 左右	高，可达 cm 级别	最高，4-8cm
车速上限	150km/h	250km/h	260km/h
应用场景	盲区检测 BSD 车道偏离预警 LDW 车道保持辅助 LKA 泊车辅助 PA 变道辅助 LCA	自适应巡航 ACC 自动紧急制动 AEB 前向碰撞预警 FCW 自动驾驶 ADS	泊车辅助 PA 开门预警 DOW 盲区检测 BSD 变道辅助 LCA 行人碰撞监测 T/RCTA
市场价格	300 元左右	前向：350-450 元 角雷达：250-300 元	中国尚未开放民用
汽车安装位置	汽车前方、后方	汽车前方、两侧	汽车前方、后方、两侧
2018 年中国市场份额	51.2%	48.8%	0

资料来源：头豹研究院、国信证券经济研究所整理

车载毫米波雷达因具备受天气气候影响程度低、不受前方目标物形状与颜色等干扰等特性，广泛应用于主动安全系统。不同探测距离决定了不同类型毫米波雷达的应用场景不同，因此，不同高级辅助驾驶功能也需要不同的雷达选型。角雷达通常是 SRR 短程雷达负责盲点检测（BSD）、变道辅助（LCA）和前后交叉交通警报（F/RCTA）的要求，而前雷达通常是负责自动紧急制动（AEB）和自适应巡航控制（ACC）的 MRR 和 LRR 中远程雷达。毫米波雷达是高级辅助驾驶系统（ADAS）的必备传感器。

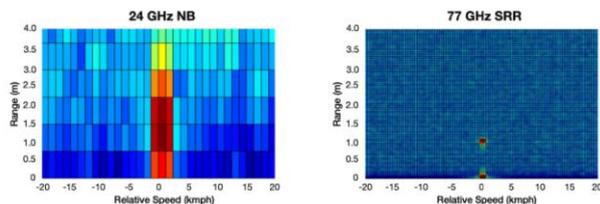
表 22: SRR、MRR 和 LRR 三种毫米波雷达对应的 ADAS 的功能

	短程雷达（SRR）	中程雷达（MRR）	远程雷达（LRR）
盲点识别（BSD）	√（后方）	√（后方）	
变道辅助（LCA）	√（后方）	√（后方）	
后方穿越车辆预警（RCTA）	√（后方）	√（后方）	
后侧碰撞预警（RCW）	√（后方）	√（后方）	
自动代客泊车（AVP）	√（后方）	√（后方）	
倒车车侧警示系统（CTA）	√（前方）	√（前方）	
驻车开门辅助（VEA）	√（车身）		
主动车道控制（ALC）	√（前方）	√（前方）	
自适应巡航（ACC）			√（前方）
前方碰撞预警（FCW）			√（前方）
自动紧急制动（AEB）		√（前方）	√（前方）
行人检测系统（PDS）	√（前方）	√（前方）	

资料来源：麦姆斯咨询，国信证券经济研究所整理

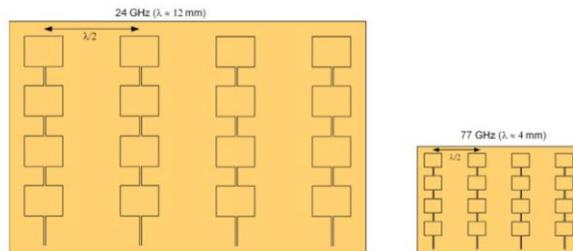
77 GHz 车载激光雷达优势显著，正在逐渐替代 24GHz 成为主流。（1）77GHz 雷达的分辨率和精度更高：由于速度分辨率和精度与射频成反比，更高的射频频率导致更好的速度分辨率和精度。77GHz 的毫米波雷达比 24GHz 的速度分辨率和精度提高了 3 倍；（2）77GHz 雷达的体积更小：77GHz 天线列阵的间距仅为 24GHz 的三分之一，因此整个毫米雷达的体积也可以实现其三分之一。

图 27: 77GHz 雷达的分辨率和精度比 24GHz 提升 3 倍



资料来源: Texas Instruments, 国信证券经济研究所整理

图 28: 77GHz 雷达的体积仅为 24GHz 的三分之一



资料来源: Texas Instruments, 国信证券经济研究所整理

国外毫米波雷达发展历史悠久，国产正在逐步追赶。1973 年德国首次出现汽车防撞雷达，欧美大型毫米波雷达制造商已累积近 40 年的技术经验。早期的毫米波雷达采用高电子迁移晶体管制作集成电路，集成度低且成本高昂，直到 2012 年，英飞凌及飞思卡尔成功推出芯片级别的毫米波射频芯片，降低了毫米波雷达的技术门槛，同时降低其制造成本，推动毫米波雷达在各领域的应用。2013 年，24GHz 毫米波雷达产品开始进入中国，2018 年，实现 24GHz 毫米波雷达国产，但是在 77GHz 毫米波雷达产品仍未实现大规模国产化，只有少数国内厂商具备 77GHz 产品的量产能力，国产毫米波雷达仍在持续追赶中。

图 29: 毫米波雷达的发展历史



资料来源: 头豹研究院, 国信证券经济研究所整理

毫米波雷达的硬件占比约 50%，主要由射频前端（MMIC）、数字信号处理器、天线及控制电路等部分构成，软件算法占比约 50%。

- **射频前端（MMIC）：**是核心射频部分，占总成本的 25% 左右。由发射器、接收器、功率放大器、低噪声放大器、混频器、滤波器及压控振荡器组成，起到调制、发射、接收及解调毫米波信号的作用。在技术趋势上，集成度更高、体积更小的高集成趋势下，CMOS 工艺有望成为主流。在供应商方面，加特兰微电子、意行半导体、矽杰微电子、矽典微等本土厂商已有能力自行研发生产低频 24GHz 芯片，且价格较海外有 30% 以上的优势。但在高频段 77GHz 芯片方面，主要由恩智浦、英飞凌、德州仪器、意法半导体等供应。
- **数字信号处理器：**通过嵌入不同的信号处理算法，分析前端收集的信号获取

目标信息，是保证毫米波雷达稳定性及可靠性的核心部件，主要通过 DSP 芯片或 FPGA 芯片实现，占总成本的 10%左右。在技术趋势上，DSP 芯片在复杂算法处理上具备优势，FPGA 在大数据底层算法上具备优势，“DSP+FPGA”融合在实时信号处理系统中的应用逐渐广泛。在供应商方面，高端 DSP 芯片和 FPGA 芯片主要被国外企业垄断，DSP 芯片供应商有飞思卡尔、英飞凌、亚德诺半导体、意法半导体等，FPGA 芯片供应商有赛灵思、阿尔特拉、美高森美、莱迪思等公司。

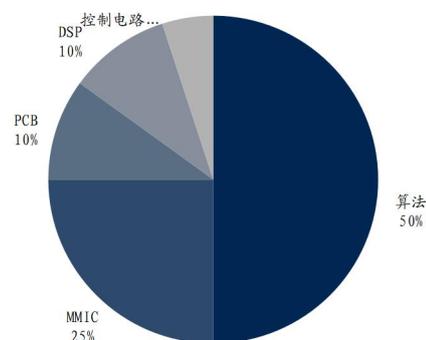
- **高频 PCB：**天线是毫米波雷达发射和接收信号的重要组件，毫米波雷达可通过微带列阵方式将多根天线集成到 PCB 板上。由于毫米波频率高，对电路尺寸精度要求高，所需印制电路板为高频板材 PCB，占总成本的 10%。主要供应商为罗杰斯、Isola、施瓦茨为主，国内主要是沪电股份等公司。

图 30: 博世的 LRR2 和 LRR3 毫米波雷达的结构



资料来源：CSDN，国信证券经济研究所整理

图 31: 毫米波雷达成本组成



资料来源：头豹研究院，国信证券经济研究所整理

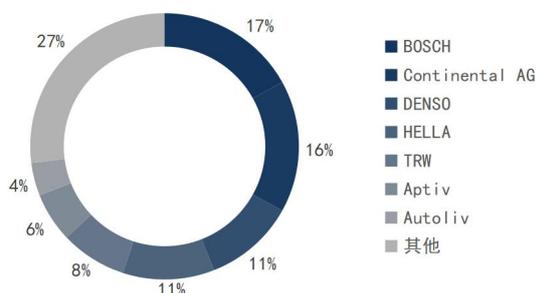
表 23: 毫米波雷达上游主要供应商

	国外	国内
射频前端 MMIC	恩智浦、英飞凌、德州仪器、意法半导体	加特兰微电子、意行半导体、矽杰微电子、矽典微
数字信号处理器	德州仪器、英飞凌、意法半导体、赛灵思、阿尔特拉、美高森美、莱迪思	
PCB 板	罗杰斯、Isola、施瓦茨	沪电股份、生益科技

资料来源：头豹研究院、国信证券经济研究所整理

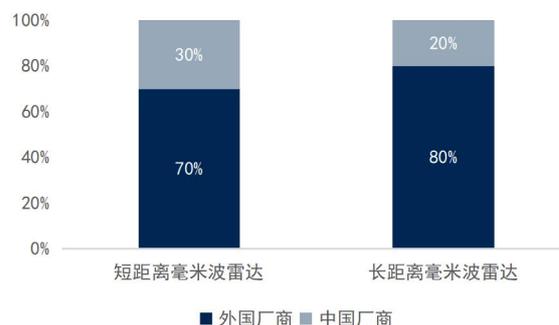
博世、大陆、电装、海拉等国外厂商占据全球毫米波雷达的七成市场份额。全球毫米波雷达主要供应商有博世、大陆、电装、海拉、天合、安波福、奥托立夫等。博世、大陆、电装、海拉等国外巨头占据行业 73% 的市场空间，行业集中度较高。

图 32: 2018 年全球毫米波雷达市场份额



资料来源: Ofweek, 国信证券经济研究所整理

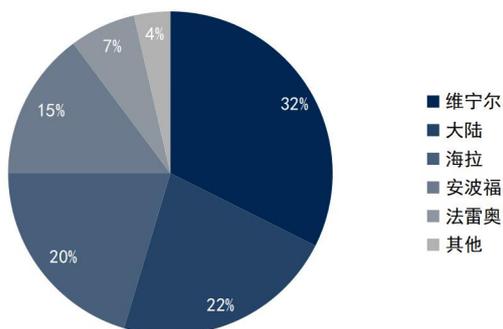
图 33: 中国毫米波雷达市场份额情况



资料来源: Ofweek, 国信证券经济研究所整理

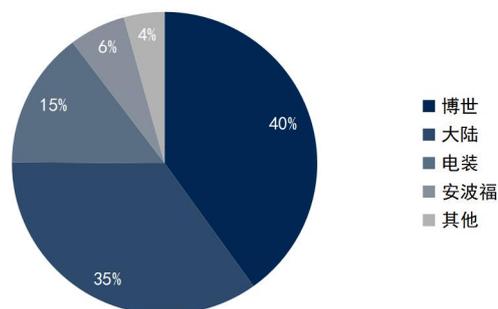
维宁尔、大陆、海拉占据 SRR 市场, 博世、大陆、电装等占据 LRR 市场。根据佐斯汽研的数据显示, 维宁尔、大陆、海拉、安波福和法雷奥五家企业占据中国短程毫米波雷达 (SRR) 96.4% 的市场空间, 其中维宁尔排名第一, 市占率 32%; 博世、大陆、电装和安波福占据长距毫米波雷达 (LRR) 95.7% 的市场空间, 博世排名第一, 市占率高达 40%。

图 34: 2019 年 1 月中国 SRR 供应商及安装量份额



资料来源: 佐斯汽研, 国信证券经济研究所整理

图 35: 2019 年 1 月中国 LRR 供应商及安装量份额



资料来源: 佐斯汽研, 国信证券经济研究所整理

表 24: 海外主要厂商的毫米波雷达及参数

厂商	型号	频率 (GHz)	探测距离 (m)	刷新率 (ms)
博世 (BOSCH)	LRR4 远程	77	250	60
	MRR 中程前向	77	160	60
	MRR 中程后向	77	80	60
大陆 (Continental)	ARS441 远程	77	250	60
	SRR520 短程	77	100	50
海拉 (HELLA)	24GHz 系列雷达	24	70	50
电装 (DENSO)	MWRS	77	205	
TRW	AC1000 远程	77	200	
德尔福 (DELPHI)	MRR 中程	77	160	50
	ESR2.5 中程	77	175	50
	SRR 2 近程	77	80	50

资料来源: 博世、大陆等公司官网、国信证券经济研究所整理

24GHz 国产化率较高, 77GHz 仅少部分国产玩家实现量产。国产厂商已实现 24GHz 毫米波雷达产品市场化供货, 而仅少数玩家具备 77GHz 毫米波雷达产品的量产能力, 其中森思泰克是目前国内乘用车前装 77GHz 毫米波雷达市场份额排名首位的国产供应商, 正在逐渐缩小与海外厂商的差距, 其毫米波雷达的定点车型接近 100 个, 而德赛西威、华域汽车等公司也已达到 77GHz 雷达的量产条件。

表 25: 毫米波雷达国内主要供应商

类别	公司	产品参数
初创公司	杭州智波科技	24GHz、77GHz
	芜湖森思泰克	24GHz、77GHz、79GHz
	上海加特兰	77GHz
	深圳卓泰达	24GHz、77GHz
	南京隼眼科技	77GHz
	苏州安智汽车	24GHz、77GHz、79GHz
	深圳安智杰	24GHz、77GHz
	北京行易道	77GHz、79GHz
上市公司	华域汽车	24GHz、77GHz
	德赛西威	24GHz、77GHz

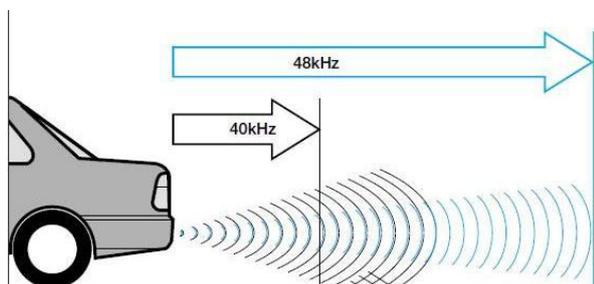
资料来源: 德赛西威等公司官网、国信证券经济研究所整理

(4) 超声波雷达: 自动泊车渗透率快速提升, 带来新的增长动能

超声波雷达是最成熟的车载传感器。超声波雷达, 俗称倒车雷达, 是一种最常见的传感器, 其工作原理是通过超声波发射装置向外发出超声波(机械波而非电磁波), 到通过接收器接收到发送过来超声波时的时间差来测算距离。常用的工作频率有 40kHz、48kHz 和 58kHz 三种。频率越高, 灵敏度越高, 但水平与垂直方向的探测角度就越小, 故一般采用 40kHz 的探头。按构造分类, 超声波雷达可以分为等方性与异方性, 二者的区别在于水平探测角度与垂直探测角度是否相同; 按技术方案分类, 超声波雷达可以分为模拟式、四线式数位、二线式数位、三线式主动数位, 它们的信号抗干扰能力依次提升, 技术难度与价格总体递进。

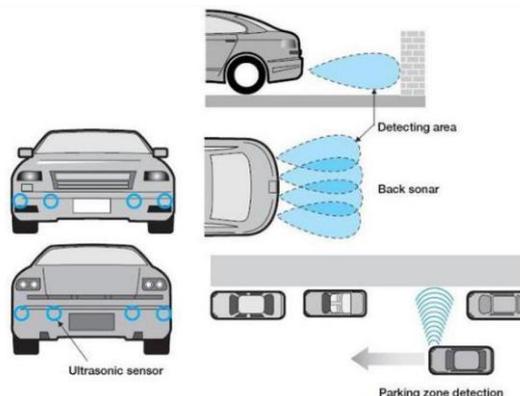
超声波的能量消耗较缓慢, 在介质中传播的距离比较远, 穿透性强, 测距的方法简单, 成本低。但是超声波散射角大, 方向性较差, 在测量较远距离的目标时, 其回波信号会比较弱, 影响测量精度。但在短距离测量中, 超声波测距传感器具有非常大的优势。**超声波雷达防水、防尘, 即使有少量的泥沙遮挡也不影响, 探测范围在 0.1-3 米之间, 而且精度较高, 其主要作用是通过蜂鸣器来辅助驾驶员泊车、自动泊车的辅助与微调车辆在行车道的位置, 保持与相邻车道车辆的安全距离。**

图 36: 超声波雷达的工作原理



资料来源: New electronics, 国信证券经济研究所整理

图 37: 超声波雷达的功能示意图

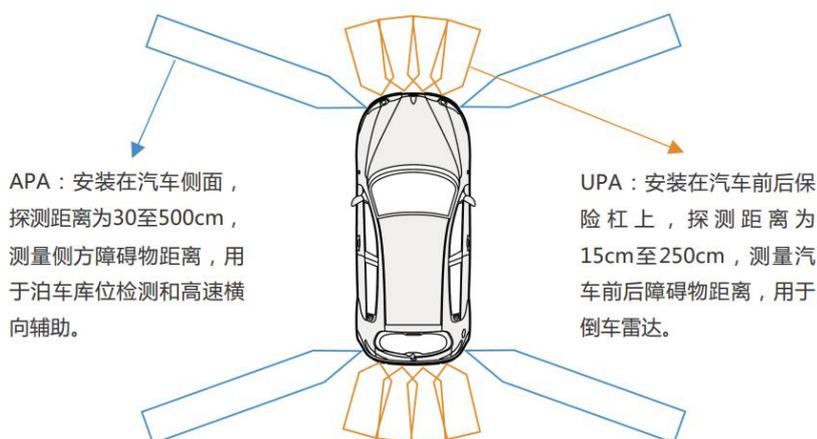


资料来源: New electronics, 国信证券经济研究所整理

超声波雷达主要用于停车辅助和自动泊车, 可以分为 UPA 和 APA 超声波雷达两种类型。(1) UPA 超声波雷达: 超声波驻车辅助传感器 (UPA, Ultrasonic Parking Assistant), 探测距离一般在 15~250cm 之间, 感测距离较短, 但是频率较高, 为 58kHz, 精度高; (2) APA 超声波雷达: 自动泊车辅助传感器 (APA, Automatic Parking Assistant), 探测距离一般在 30~500cm 之间, 感测距离较长, 但是频率较低, 为 40kHz, 精度一般。

倒车系统需要 4 个 UPA, 而自动泊车系统需要 8 个 UPA+4 个 APA。一套普通的倒车雷达系统需要配备 4 个 UPA 超声波雷达, 而自动泊车系统需要在倒车雷达系统基础上, 增加 4 个 UPA 和 4 个 APA 超声波雷达组成 12 个超声波雷达系统, 其中, 8 个 UPA 超声波雷达安装于汽车前后保险杠上, 用于测量汽车前后障碍物, 4 个 APA 超声波雷达安装于汽车两侧, 用于测量侧方障碍物距离。

图 38: 自动泊车系统由 12 颗超声波雷达组成



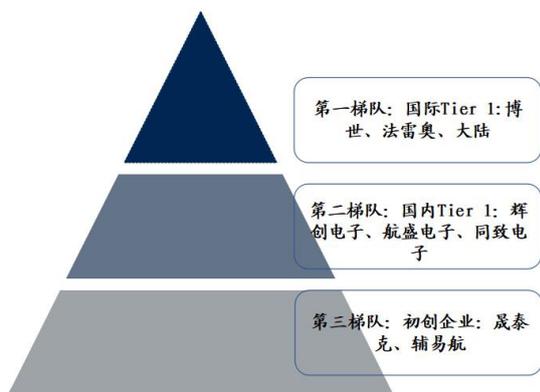
资料来源: 亿欧智库, 国信证券经济研究所整理

在全球市场竞争格局上, 目前超声波雷达主要市场空间由 Tier1 厂商占据, 据统计, 2018 年全球超声波雷达市场份额中法雷奥和博世占据市场 50% 以上份额。截至 2021 年 5 月, 汽车之家在售车型有 8998 款, 配置了倒车雷达的车型有 7074 款, 渗透率达到 79%; 其中配置前向雷达车型有 2531 款, 渗透率达到 28%。目前超声波雷达较为成熟, 市场渗透率较高, 价格下探到较低水平, 已有像奥迪威等

国产厂商切入到该市场。

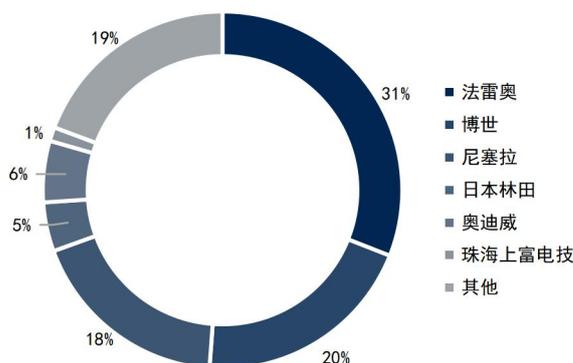
超声波雷达价格低廉，技术相对成熟。超声波雷达测距方式简单，产业链成熟，单体价格相对低廉，平均售价 100 元左右。超声波雷达上游主要为芯片和传感器供应商，芯片主要依赖进口，如飞思卡尔（恩智浦 NXP 收购）等厂商，传感器已经实现国产化。**超声波雷达中游为超声波雷达生产商，主要参与者可以分为国际 Tier1、国内 Tier1 以及初创公司。**由于超声波雷达技术较为成熟，故国内外玩家之间的差距主要在于传感器实现上的稳定性和可靠性，但整体差异较小。其中国际 Tier1 主要是博世、法雷奥、大陆，国内 Tier1 主要是奥迪威、辉创电子、航盛电子、同致电子，初创企业有晟泰克、辅易航（中科创达收购）等。

图 39: 全球超声波雷达供应商竞争格局



资料来源：华经产业研究院，国信证券经济研究所整理

图 40: 2018 年全球超声波雷达行业竞争格局

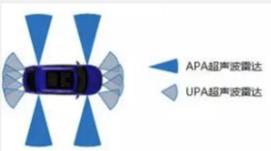
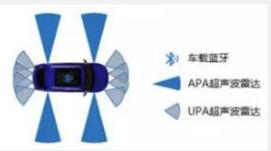
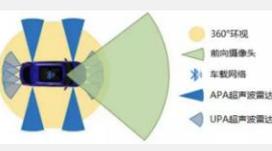


资料来源：华经产业研究院，国信证券经济研究所整理

自动泊车辅助系统（Auto Parking Assist, APA），市值车辆在低速行驶时，可通过车辆周身搭载的传感器测量车身与周围环境之间的距离和角度，收集传感器数据计算出操作流程，同时自动调整方向盘、刹车和油门实现停车入位。自动泊车系统按技术等级，又可分为半自动泊车（只有自动转向）、全自动泊车（含自动转向和自动前进后退）、自主代客泊车（AVP）等。

通常可将智能泊车技术划分为三大发展阶段：半自动泊车→全自动泊车→自主代客泊车。从全自动泊车发展到自主泊车技术，其最早普及的第一代 APA 自动泊车，随后出现将泊车与手机结合的第二代 RPA（Remote Parking Assist）远程遥控泊车，再是发展到第三代 AI 自主学习泊车，最理想的泊车辅助场景是第四代泊车解决方案 AVP（Automated Valet Parking）自主代客泊车。

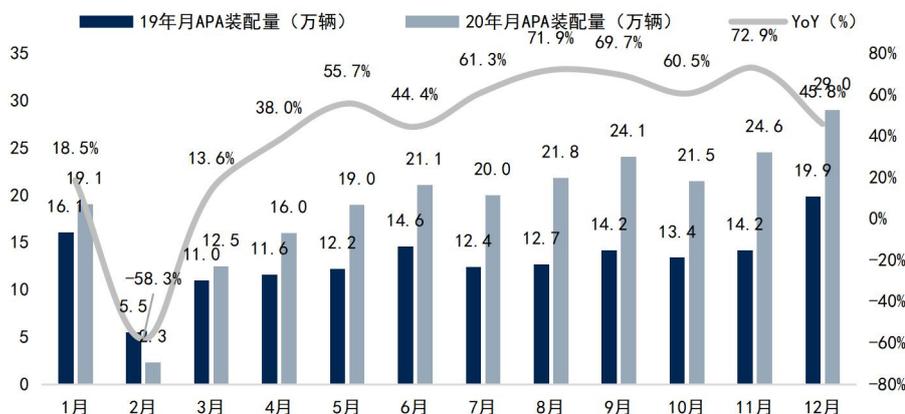
表 26: 四代自动泊车技术的发展路线

	泊车辅助一代 APA 自动泊车	泊车辅助二代 RPA 远程遥控泊车	泊车辅助三代 AI 自主学习泊车	泊车辅助四代 AVP 自主代客泊车
传感器配置方案	APA 超声波雷达*4 UPA 超声波雷达*8	APA 超声波雷达*4 UPA 超声波雷达*8	APA 超声波雷达*4 UPA 超声波雷达*8 鱼眼摄像头*4	APA 超声波雷达*4 UPA 超声波雷达*8 鱼眼摄像头*4 前视摄像头*1
传感器布局				
典型应用场景	驾驶员在车内; 垂直库位、平行库位	驾驶员在车内/车外 5 米; 狭窄停车位、停车场	驾驶员在车内/车外 50 米; 家或公司的固定车位	驾驶员车外 500 米内; 地上/地下公共停车场
SAE 等级	L2	L2+	L3	L4

资料来源: 盖世汽车, 国信证券经济研究所整理

中国乘用车 APA 装配量快速增长, 但装配率仅 12.3%, 增长空间巨大。根据高工汽车数据显示, 2021 年 1-7 月国内新车搭载 APA 功能上险量为 142.55 万辆, 同比上年同期增长 36.4%。其中, 融合泊车(基于全景环视+超声波)占比 32.83%, 同比上年同期呈现数倍增长的势头。据佐思汽研统计, 2020 年中国乘用车 APA 装配量为 230.8 万辆, 同比增长 46.4%, APA 装配率为 12.3%, 较 2019 年全年上升 4.28 个百分点。APA 在奔驰、宝马等中高端车型以及理想、小鹏等造车新势力中装配率较高, 但在大多数车型中普及率仍较低, APA 未来仍有巨大渗透空间。

图 41: 19-20 年中国乘用车 APA 装配量及增速(万辆, %)



资料来源: 佐思汽研, 国信证券经济研究所整理

当前主机厂推出的自动泊车 APA 方案基本采用 12 颗超声波雷达。其中宝马、别克等以纯超声波雷达方案为主, 部分主机厂则开始采用超声波雷达+环视摄像头融

合方案提高车辆自动泊车系统的泊入/泊出成功率，主要集中在自主品牌如蔚来、小鹏、长安、吉利等。

表 27：中国部分汽车品牌自动泊车 APA 方案及代表车型

品牌	APA 方案	代表车型	超声波雷达数量 (颗)	摄像头数量 (颗)
奔驰	超声波	A 级、C 级等	12	—
别克	超声波	昂科威、君威等	10、12	—
宝马	超声波	X1、3 系、5 系等	10、12	—
特斯拉	超声波+摄像头	Model 3/X/Y	12	4
领克	超声波	领克 01、02 等	12	—
吉利	超声波	缤越、博瑞等	12	—
	超声波+摄像头	星越等	12	4
WEY	超声波	VV6、VV5 等	12	—
长安	超声波+摄像头	CS75PLUS 等	12	4
小鹏汽车	超声波+摄像头	小鹏 G3、P7	12	4
蔚来	超声波+摄像头	ES6、ES8、EC6	12	4

资料来源：佐思汽研、国信证券经济研究所整理

12 颗超声波雷达方案的渗透率将从 2019 年的 9.6% 提升到 2025 年的 26.1%。根据佐思汽研数据显示，从单车超声波雷达配置方案来看，2019-2020 年，4 颗超声波雷达方案占据大部分市场，主要实现倒车辅助功能。2019 年 12 颗超声波雷达方案的占比仅为 9.6% 左右，预计到 2025 年 12 颗超声波雷达方案的渗透率将达到 26.1%。随着自动泊车商业化推广，12 颗超声波雷达方案占比正在快速攀升，有望成为未来智能汽车的主流。

图 42：2019-2025 年不同单车超声波雷达配置方案占比 (%)



资料来源：佐思汽研，国信证券经济研究所整理

(5) 车身感知：“GNSS+IMU+高精度地图”组成多融合车身感知

定位系统

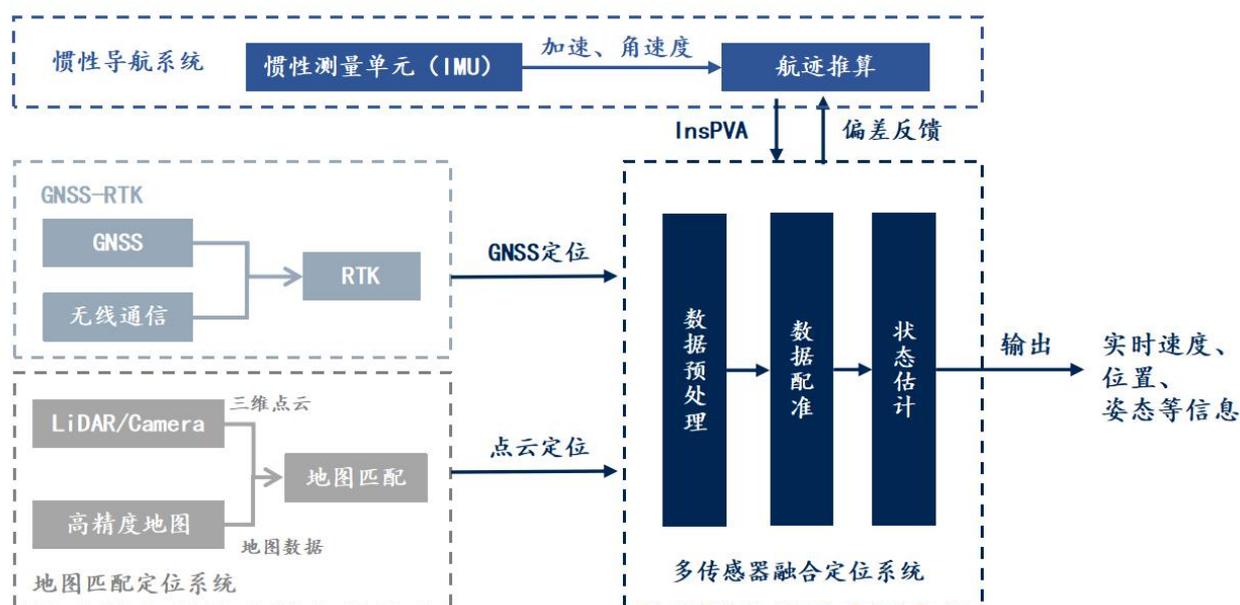
车身感知定位系统主要由惯性导航、卫星导航系统和高精度地图组成。主要是以高精地图为依托，通过惯性导航系统和全球定位系统（Global Navigation Satellite System, GNSS）。GNSS 通过导航卫星可以提供全局的定位信息，惯导系统可以提供不依赖于环境的定位信息，高精地图为车辆环境感知提供辅助，提供超视距路况信息。三者取长补短、互相配合，共同构成自动驾驶定位导航系统。根据技术原理，自动驾驶的定位技术主要可以分为基于信号定位、航迹推算和地图匹配三大类：

(1) **基于信号的定位**：采用飞行时间测距法（Time of Flight, ToF）获得汽车与卫星的距离，然后使用三球定位原理得到汽车的绝对位置，主要就是通过全球卫星 GNSS 的卫星信号进行定位，还包括使用 WiFi、UWB、FM 微波等其他信号获取信息等技术；

(2) **航迹递推（Dead Reckoning）**：依靠惯性传感器获得加速度和角速度信息，根据上一时刻其策划的位置和航向递推出当前的位置和航向；

(3) **地图匹配（Map Matching, MM）**：基于视觉摄像头（Camera）或激光雷达（LiDAR）采集到的数据特征与高精度地图数据中的特征进行匹配，得到车辆的位置和姿态。

图43：信号定位、航迹递推与地图匹配技术组成了车身感知定位技术



资料来源：Apollo，国信证券经济研究所整理

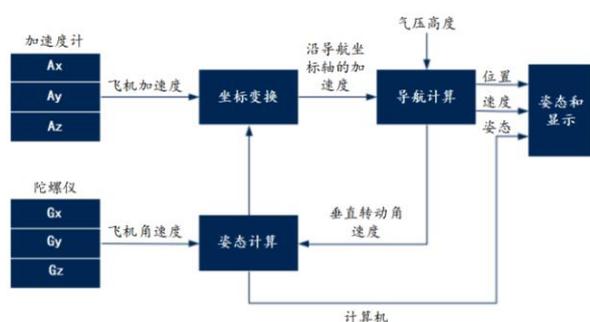
惯性导航：车身感知定位系统的信息融合中心

惯性导航系统（Inertial Navigation System, INS）是一种不依赖外部信息、也不向外部辐射能量的自助式导航系统。惯性导航系统（INS）是利用惯性传感器（IMU）测量载体的比力及角速度信息，结合给定的初始条件，与 GNSS 等系统的信息融合，从而进行实时推算速度、位置、姿态等参数的自主式导航系统。惯性导航系统属于一种推算导航方式，即从一已知点的位置根据连续测得的运载体航向角和速度推算出其下一点的位置，因而可连续测出运动体的当前位置。

一个惯性测量单元包括 3 个相互正交的单轴加速度计 (Accelerometer) 测量转动运动和 3 个互相正交的单轴陀螺仪 (Gyroscopes) 测量平移运动的加速度。自动驾驶所需要的惯性传感器 (IMU) 主要是加速度计和陀螺仪。(1) **加速度计**: 基于牛顿第二定律, 采用电容式、压阻式或热对流原理, 通过在加速过程中对质量块对应惯性力的测量来获得加速度值。用来测量运动体坐标系上各轴的加速度;(2) **陀螺仪**: 用于测量载体绕自身三个坐标轴的转动角速度, 同时也敏感地球自转的角速度。

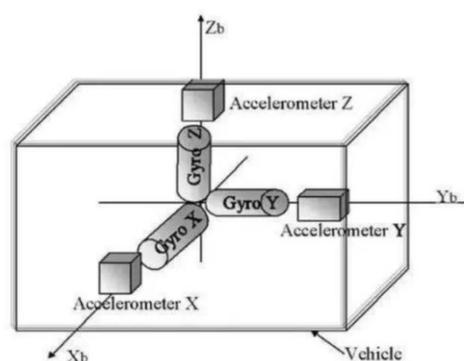
按照力学编排实现形式可分为: 捷联式惯性导航系统 (Strap-down Inertial Navigation, SINS) 和平台式惯性导航系统 (Gimbaled Inertial System, GINS)。平台式惯导的传感器安装在多轴伺服平台上作为反馈元件, 控制伺服平台的姿态达到设定, 多用于沿地球表面作等速运动的飞行器 (如飞机、巡航导弹等), **捷联式惯导的传感器和载体一同运动, 省去了平台, 结构简单、体积小、维护方便, 自动驾驶领域主要采用捷联式惯性导航系统。**

图 44: 捷联式惯性导航系统工作原理图



资料来源: CSDN, 国信证券经济研究所整理

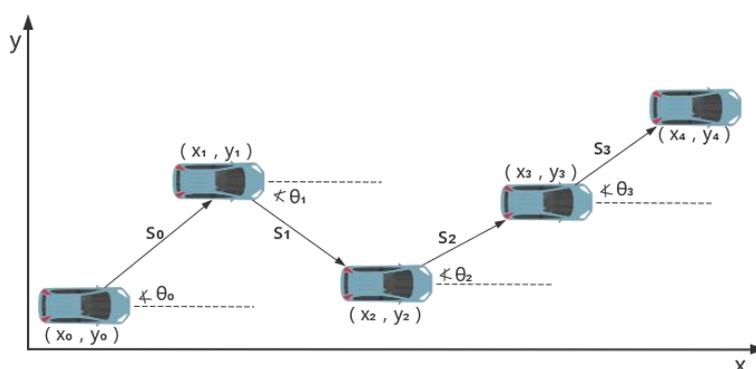
图 45: 惯性测量单元结构



资料来源: 基业长青, 国信证券经济研究所整理

航迹递推 (Dead Reckoning, DR) 算法是惯性导航系统的主要实现手段。DR 算法是指已知上一时刻导航状态 (状态、速度和位置), 根据传感器观测值推算到下一时刻的导航状态。DR 算法包括姿态编排和位置编排两个部分。姿态编排使用的是 AHRS (Attitude and heading reference system) 融合算法, 处理后输出车机姿态信息。DR 算法可以在无卫星导航信号或弱卫星导航信号的场景, 仅靠 DR 算法也能得到较为可靠的导航信息。

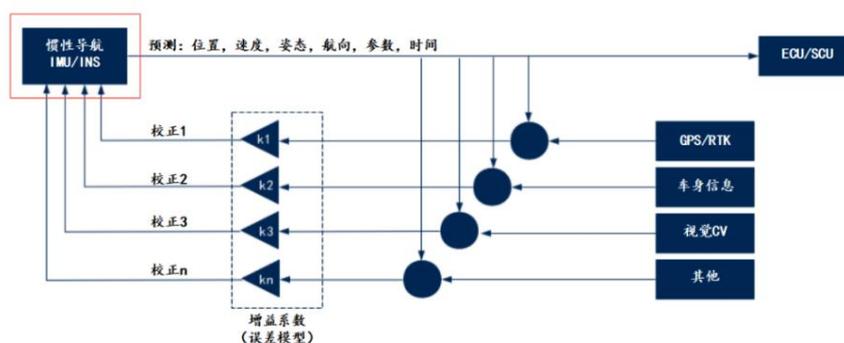
图 46: 航迹递推工作原理



资料来源: CSDN, 国信证券经济研究所整理

惯性导航系统是车身感知定位系统的信息融合中心，具有不可替代的作用。惯性导航的数据实时存在，永不消失，性能稳定，可以连续 100Hz 高频工作，惯导是三种定位方法中最为可靠的，具有输出信息不间断、不受外界干扰等独特优势，可保证在任何时刻以高频次输出车辆运动参数，同时将视觉传感器、雷达、激光雷达、车身系统信息进行更深层次的融合，为决策层提供精确可靠的连续的车辆位置，姿态的信息，车身感知定位系统的信息融合中心。

图 47：惯性导航系统作为车身感知定位系统的信息融合中心

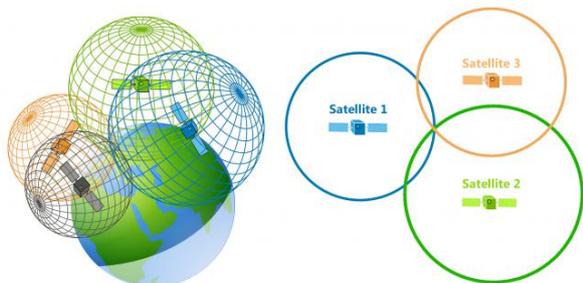


资料来源：基业长青，国信证券经济研究所整理

卫星导航：RTK 助力 GNSS 实现厘米级的定位

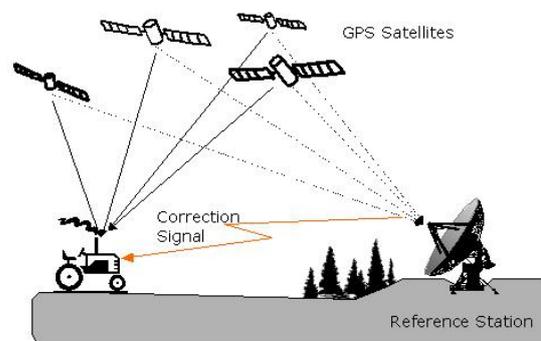
全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 是以人造地球卫星为导航台，为全球海陆空的各类军民载体提供位置、速度和时间信息的空基无线电导航定位系统。导航卫星的工作原理主要是通过三球定位原理实现的，由于卫星的位置精确可知，通过卫星到接收机的距离，利用三维坐标中的距离公式，利用 3 颗卫星，就可以组成 3 个方程式，解出观测点的位置。考虑到卫星的时钟与接收机时钟之间的误差，实际上有 4 个未知数，位置的 X、Y、Z 和钟差，因而需要引入第 4 颗卫星，形成 4 个方程式进行求解，从而得到观测点的经纬度和高程。为提高定位精度，普遍采用差分 GPS 技术，建立基准站（差分台）进行观测，利用已知的基准站精确坐标，与观测值进行比较，从而得出修正数，并对外发布。接收机收到该修正数后，与自身的观测值进行比较，消去大部分误差，得到一个比较准确的位置。

图 48：卫星导航的三球定位原理



资料来源：GISGeography，国信证券经济研究所整理

图 49：通过地基增强系统实现误差修正



资料来源：Umweltanalysen，国信证券经济研究所整理

卫星导航系统主要包括全球四大导航卫星系统，以及区域系统和增强系统。全球 4 大卫星导航系统供应商，包括美国的全球定位系统 GPS、俄罗斯的格洛纳斯卫星导航系统（GLONASS）、欧盟的伽利略卫星导航系统（GALILEO）和中国的北斗卫星导航系统（BDS）。除此之外，还有日本、印度等国家的区域卫星导航系统。

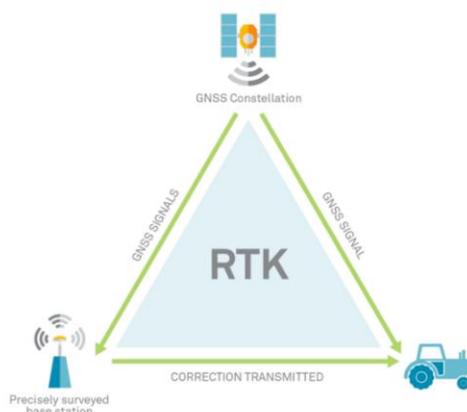
表 28: 国际四大卫星导航系统简介

国家	系统名称	启动时间	卫星导航系统构成
中国	北斗卫星导航系统 (BDS)	1994	截至 2018 年 12 月，北斗系统可提供全球服务，在轨工作卫星共 33 颗，包含 15 颗北斗二号卫星和 18 颗北斗三号卫星，具体为 5 颗地球静止轨道卫星、7 颗倾斜地球同步轨道卫星和 21 颗中圆地球轨道卫星。
美国	全球定位系统 (GPS)	1973	截至 2018 年 6 月，32 颗卫星在轨，工作星 31 颗，地面段由 1 个主控站、3 个注入站及监测站组成。
俄罗斯	格洛纳斯系统 (GLONASS)	1976	截至 2018 年 6 月，有 26 颗在轨卫星，工作星 24 颗，地面段由 1 个系统控制中心、1 个中央同步器、12 个遥测遥控站和场外导航控制设备。
欧盟和欧空局	伽利略系统 (Galileo)	2003	截至 2020 年 2 月，有 28 颗在轨卫星，工作星 22 颗，地面段由 2 个控制中心、5 个遥测遥控站、若干上注站及监测站。

资料来源：艾瑞咨询、国信证券经济研究所整理

使用 RTK 技术可以帮助 GNSS 实现厘米级的定位精度。RTK (Real-time kinematic) 载波相位差分技术，其原理是卫星轨道误差、卫星钟差、电离层延迟、对流层延迟等误差对相距不远的 GNSS 站影响接近，特定的地理坐标点、卫星接收站等，以该点位为中心的 20-40km 半径范围内，可以通过站间观测值差分消除，进而实现相位模糊度的快速固定与瞬时厘米级定位。

图 50: GNSS-RTK 系统的应用



资料来源：HEXAGON，国信证券经济研究所整理

高精度地图：实现 L3 及以上自动驾驶的必备基础

高精度地图，即 HD Map (High Definition Map) 或 HAD Map (Highly Automated Driving Map)，是指绝对精度和相对精度均在 1 米以内的高精度、高新鲜度、高丰富度的电子地图。其信息包括道路类型、曲率、车道线位置等道路信息，路边基础设施、障碍物、交通标志等环境对象信息，以及交通流量、红绿灯状态信

息等实时动态信息。根据地图信息的不同，高精度地图由底层到上层可以分为四个层级：为静态地图、准静态地图、准动态地图和动态地图。

表29：高精度地图的四个基本层级及属性信息

层级	信息	作用
静态地图	道路网、车道网及道路设施的几何、属性信息	帮助自动驾驶车辆进行精确的智能决策与控制执行
准静态地图	交通标志牌、路面标志等道路部件信息	自动驾驶车辆的辅助定位，保障自动驾驶车辆的安全
准动态地图	道路拥堵、施工、交通管制、天气等信息	自动驾驶车辆的实时（全局、局部）动态路径规划，提升自动驾驶运行安全与效率
动态地图	周边车辆、行人、交通事故等实时性较高的信息	自动驾驶车辆的局部路径规划与决策辅助，增加信息冗余，提升自动驾驶安全度

资料来源：国汽智联、国信证券经济研究所整理

高精度地图比传统地图优势显著。与传统地图相比，基于自动驾驶系统的需求，高精度地图在保留地图检索、道路规划、渲染、诱导等功能基础上，侧重地图信息丰富性、精度高、提升计算机或汽车智能化三大方向，以及高频更新、标识横纵向定位、坡度曲率节能应用与舒适性提升等。

表30：高精度地图与传统地图的比较

	传统地图	高精度地图
使用对象	人类驾驶员	人类驾驶员、自动驾驶汽车
精度	绝对精度 5m 左右，误差 10-15m，只描绘位置形态，不含有细节信息	绝对精度优于 1m，相对精度约 10-20cm，包含车道边界、中心线，车道限制等信息
要素和属性	道路，POI-涉密 POI 禁止表达、重点 POI 必须表达，背景-国界、省界等行政区划边界必须准确表达	详细车道模型-曲率、坡度、横坡、航向、高程、限高、限重、限宽；定位地物与 feature 图层
所属系统	信息娱乐系统	车载安全系统
现势性要求	相对低，人可以良好应对	高，机器较难良好应对
数据量	每千米数据量约 1KB	每千米数据量约 100MB，且种类复杂多样
数据实时性	小时/月级更新频率即可满足需求	需要分钟甚至秒级更新频率
用途	导航、搜索、目视	辅助环境感知、定位、车道级路径规划、车辆控制

资料来源：国汽智联、国信证券经济研究所整理

高精度地图是 L3 及以上级别的自动驾驶汽车的必备基础。高精度地图可有效弥补传感器的性能边界，提供重要的先验信息，是实现高度自动化驾驶甚至无人驾驶的必要条件，也是未来车路协同的重要载体。高精地图对自动驾驶汽车的作用具体表现在以下几个方面：

- **提供先验信息：**与车载传感器相比，高精度地图不受天气环境、障碍物和探测距离等限制，为自动驾驶汽车提供安全冗余。同时，高精地图可以为车辆纵向加减速、横向转向及变道等决策提供先验信息，提高驾驶舒适性并实现智能节能；
- **节约算力：**高精度地图可预知红绿灯、车道线、道路标识牌等交通要素的位置，有助于提高传感器的检测精度和速度，节约计算资源；
- **辅助规划决策：**路口红绿灯状态、道路交通流量、路网变化情况，以及车辆传感器信息等都可以传递至高精度地图服务平台，通过服务平台实现智能路径规划；
- **收集驾驶数据：**通过众包采集，实现驾驶场景数据库的丰富，为无人驾驶系统进行仿真验证、优化人工智能训练等提供重要基础数据。

表 31: 高精度地图是 L3 及以上级别的自动驾驶汽车的必备基础

	L1	L2	L3	L4	L5
数据精度	10m	2-5m	20-50cm	10-30cm	10-30cm
源数据	GPS 轨迹	GPS 轨迹+IMU	图像提取或高精度 POS	高精度 POS+激光点云	高精度 POS+激光点云
数据内容	传统地图	传统地图+曲率坡度	高精度地图	高精度地图	多源数据融合
静态/动态	静态地图	静态地图	静态+动态交通	静态+动态事件	静态地图+动态事件, 实时传感器融合地图
高精度地图需求	ADAS 系统对高精度地图不是刚性需求		高精度地图是 L3 及以上级别的自动驾驶汽车的必备基础		

资料来源: 盖世汽车研究, 国信证券经济研究所整理

行业拥有较高准入门槛, 百度、四维图新和高德三足鼎立

高精度地图行业拥有较高的准入门槛, 需要有甲级测绘资质。测绘资质方面, 我国对企业获得地图测绘与制作资质有严格的要求, 并不对国外厂商开放。2016 年出台的《关于加强自动驾驶地图生产测试与应用管理的通知》规定, 自动驾驶地图的绘制需由具有导航电子地图制作测绘资质的单位承担, 在道路测试过程中要严格限制地图接触的人员范围, 对于初创公司来说有一定的门槛要求。截至 2021 年 12 月, 仅有 28 家公司进入国内高精地图甲级测绘资质名单。

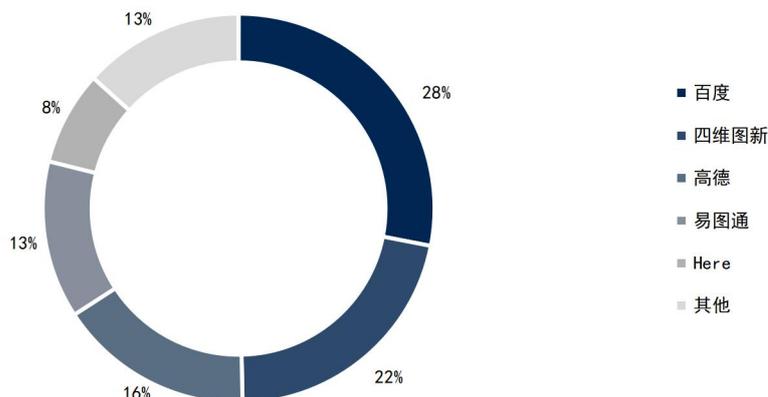
表 32: 国内高精地图甲级测绘资质名单 (截至 2021 年 12 月)

序号	供应商	获得资质时间	序号	供应商	获得资质时间
01	四维图新	2001	15	Momenta	2018
02	高德地图	2004	16	中海庭	2018
03	百度 (长地万方)	2005	17	北京华为	2019
04	凯立德	2005	18	智途科技	2019
05	易图通科技	2005	19	宽凳科技	2019
06	灵图软件	2005	20	晶众地图	2019
07	国际基础地理信息中心	2006	21	丰图科技	2019
08	腾讯大地通途	2007	22	浙江省测绘科学技术研究院	2020
09	立得空间	2007	23	京东叁佰陆拾度	2020
10	城际高科	2007	24	美行科技	2020
11	江苏省测绘工程院	2008	25	中交宇科 (四维图新子公司)	2020
12	浙江省第一测绘工程院	2008	26	速度时空	2020
13	江苏省基础地理信息中心	2010	27	亿咖通科技	2020
14	滴图 (北京) 科技	2017	28	美大智达 (美团子公司)	2020

资料来源: 国家自然资源部, 国信证券经济研究所整理

国内图商占主要份额, 百度、四维图新和高德呈现“三足鼎立”的局面。由于高精度地图涉及国家地理机密, 国内高精度地图主要玩家大多是本土公司, 根据 IDC 统计, 2020 年国内高精度地图行业市场份额前五家公司为百度、四维图新、高德、易图通以及 Here, 其中 CR3 超过 65%, 呈现“三足鼎立”的局面。

图51：2020年国内高精度地图市场竞争格局



资料来源：IDC，国信证券经济研究所整理

集中采集和众包采集高度整合是未来地图数据采集的主要趋势

高精度地图的制作大致分为数据采集、绘图、更新和验证四部分。其中数据采集提供地理数据的来源，绘图环节通过数据融合及相关算法完成语义识别，将地理数据转换为道路模型，更新环节结合传感器等硬件实现高精度地图的实时更新，验证环节则结合人工与AI算法完成最后的确认。

图52：Apollo平台高精度地图的制作过程



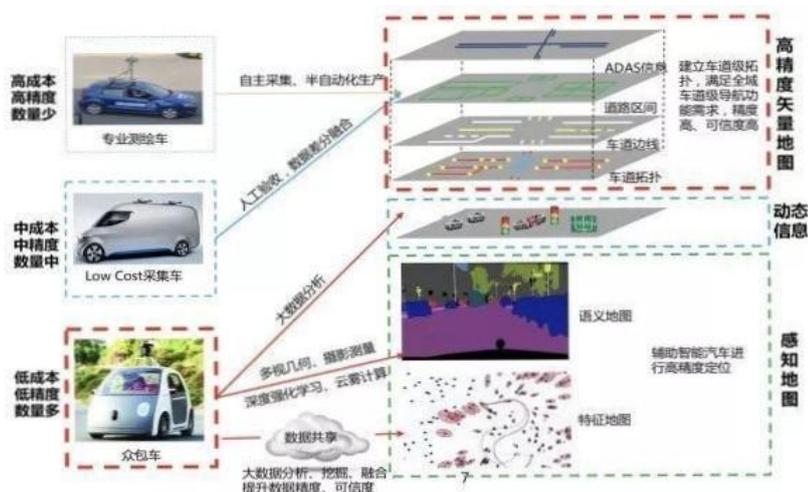
资料来源：Apollo，国信证券经济研究所整理

高精度地图的数据采集成本较高。数据采集消耗成本巨大，仅一辆高精地图采集车需要配置的设备就包括：激光雷达、摄像头、陀螺仪、GPS接收机、数据存储和计算设备等。同时，高精地图精细程度高，传统地图生产方式难以满足其量产应用的需要。采用传统测绘车方式，在成本约束下，测绘效率很难大幅度提高。

数据采集方式有集中采集和众包采集：（1）**集中采集：**精度高，但更新频率低、采集成本高，高德、百度、Tomtom等公司更多采用专业测绘车集中制图；（2）**众包采集：**数据鲜度高、成本低，但采集精度低、可靠性和一致性较差，丰田、特斯拉、Here等厂商则选择采用众包采集的模式。未来，以集中采集为建图基础，在海量众包数据中快速提炼符合规范的静态图层变更信息 and 动态图层实况信息，两者深度结

合的技术模式成为主流的方向。

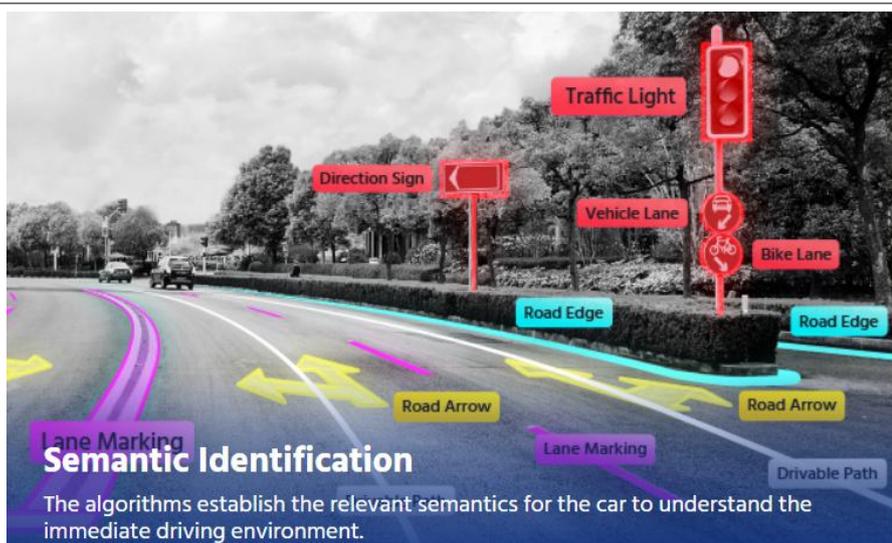
图53: 集中采集+众包采集是数据采集的未来方向



资料来源: 中海庭, 国信证券经济研究所整理

多源数据融合成为需要, 自动化绘制成为发展趋势。高精度地图提供的地图数据不仅包括传统路网信息, 还包括高精度车道级及环境信息数据, 以及动态感知层和驾驶决策层部分信息, 数据绘制的自动化和智能化成为重要的发展趋势。目前常用的绘图方法是将采集环节得到的数据经过清洗、加总建模后借助语义识别模型进行绘图。而借助 AI 技术完成不同传感器数据自动融合识别, 即把 GNSS/INS、点云、图像等数据叠加在一起, 进行道路标线、路沿、路牌、交通标志等道路元素的识别, 从而简化高精地图数据处理流程并不断提高制图效率, 对于复杂环境尤为重要。

图54: Mobileye 在绘图过程中所采用的语义识别模型



资料来源: Mobileye 官网, 国信证券经济研究所整理

更新技术面临挑战, 5G 赋能或成解决方案。高精度地图的更新, 考虑到当前的技术水平和成本, 季度更新策略最佳。在更新的时候, 可以采用小版本部分更新或

者是增量更新的方式，大版本采用全部更新的策略。对于高精地图里的动态或准动态部分，一般通过车联网以实时或准实时（秒到小时级别）的频率更新。

未来高精度地图会更多的借助大数据和地图云服务平台进行更新和分发。这其中，5G 赋能让高精度地图和云计算结合得更加紧密，更加实时。5G 网络带来数据传输速率的大幅提升，让高精度地图的采集与更新变得更加实时动态。专业化高精度采集、众包采集和路侧采集等多种地图采集方式的动态信息，依托 5G 网络实时同步至云端进行加工处理；同时，更新后的高精度地图及实时信息从云端对道路上行驶的车辆进行同步更新。

表 33: 5G 技术在性能上是数据更新的良好选择

性能	终端速率	移动性	空口时延	终端连接数
4G	0.05-0.1Gbps	≤350km/h	10-100ms	104 个/平方千米
5G	0.1-1Gbps	>500km/h	<1ms	107 个/平方千米

资料来源：德勤、国信证券经济研究所整理

车路协同高速发展，高精度地图与路侧感知体系互相成就。一方面，路侧的传感器将成为高精地图更新的有效数据来源。路侧感知能力与车端感知能力紧密结合，增加信息冗余度，互相校验及融合，为高精地图提供更为精准丰富的信息。另一方面，高精度地图可以赋能路侧感知体系。前端感知设备与高精度地图结合，实现前端感知数据附带地理属性，进而与平台 GIS 地图无缝结合且可支持车路协同数据应用。

图 55: 路侧感知模型示意图

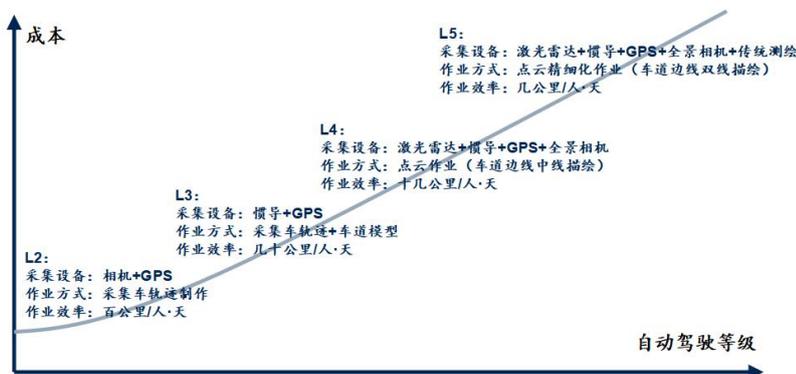


资料来源：集萃感知官网，国信证券经济研究所整理

成本负担较高，成本随精度要求急剧提升。高精度地图的主要成本分为采集成本和编译成本两部分。其中采集成本包括备成本、采集车辆的行驶耗材、过路费及人力成本等，仅一辆高精地图采集车需要配置的设备就包括：激光雷达、摄像头、

陀螺仪、GPS 接收机、数据存储和计算设备等；而编译制作成本主要是人力成本。随着地图精度要求的提升，集中采集和众包采集方法在数据收集与更新上的成本大幅上涨，主要是由于设备成本和人工成本的提升。但随着 5G 技术的发展与人工智能算法的进步，相关成本最终会趋于平稳。

图56: 高精度地图成本随自动驾驶等级的增长而高速上升



资料来源：中海庭，国信证券经济研究所整理

盈利模式区别于传统地图，云平台 SaaS 模式是未来大方向。区别于传统地图的 License 授权模式，高精度地图的主要有按单位时间和按数据量收费两种收费模式，核心区别在于收费稳定，初期阶段基本以服务功能开发费+License 组合为基础；此外，还存在一种“免费”模式，即图商向客户免费提供现有数据产品，但同时客户需向图商提供收集到的数据，地图的价格即为客户收集数据的价值。

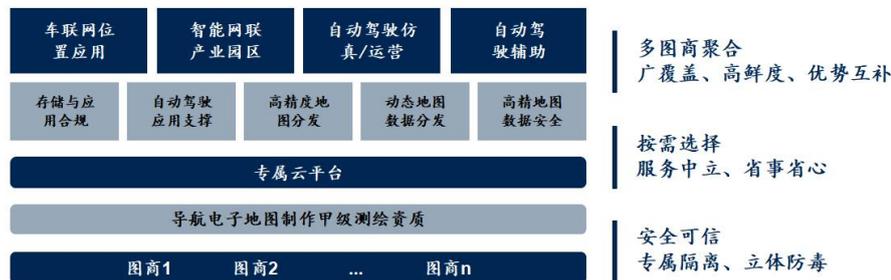
表 34: 高精度地图与传统地图盈利模式的区别

分类	盈利模式	具体内容
传统地图	License 模式	通过授予整车厂地图使用权而获得授权费
	按时间收费	类似于 License 模式的年费制
高精度地图	按数据量收费	根据数据量收取服务费，定价由双方协商
	混合模式	每年收取授权费，额外部分根据数据量计费
	“免费”模式	客户向图商提供收集到的数据，以换取图商的数据产品

资料来源：国汽智联、国信证券经济研究所整理

由于高精地图对数据更新的实时性提出很高的要求，从高精度的产品形态和服务方式角度，通过云服务平台对实时更新的高精地图数据进行实时分发是一种可行的方式，云平台可以实时收集各车的行驶数据来补充道路情况信息闭环，增强收集数据密度而降低收集成本。

图57：华为的高精度地图云服务



资料来源：华为，国信证券经济研究所整理

图商的角色从交付向服务演变，客户从B端向C端扩展。由于高精度地图需要实时更新，图商不再只是交付并收费的模式，而是开始向地理信息数据服务商转型。图商正逐渐成为自动驾驶时代的重要参与者、合作者、服务商。同时，除了向车厂或者自动驾驶出行服务商提供地理信息数据服务这种B端的业务，在大规模自动驾驶落地的趋势下，高精度地图也会向C端延伸，但大规模的民用落地还需根据宏观政策进行调整。

车身感知定位系统主要由惯性导航、卫星导航系统和高精度地图组成。主要是以高精地图为依托，通过惯性导航系统和全球定位系统（Global Navigation Satellite System, GNSS）。GNSS通过导航卫星可以提供全局的定位信息，惯导系统可以提供不依赖于环境的定位信息，高精地图为车辆环境感知提供辅助，提供超视距路况信息。三者取长补短、互相配合，共同构成自动驾驶定位导航系统、根据百度Apollo研究表明，通过GNSS-RTK可实现65%的综合场景定位误差小于20cm的覆盖率，GNSS+IMU的卫惯组合则可以实现85%左右的场景覆盖，GNSS+IMU+感知与地图的融合高精度定位系统可以实现97.5%的覆盖率。

常用的GNSS-RTK+IMU组合惯导方案在一些场景的定位精度稳定性仍不能完全满足自动驾驶的要求，如城市楼宇群、地下车库等。GNSS长时间信号微弱的场景下，依靠GNSS信号更新精确定位稳定性不足。**在组合惯导中引入并融合激光雷达/视觉传感定位等环境信息进行融合定位，形成GNSS-RTK+IMU航迹推算+感知与高精度地图匹配的定位系统是发展的必然。**以百度Apollo的多传感器融合定位系统解决方案为例，惯性导航系统处于定位模块的中心位置，模块将IMU、GNSS、Lidar等定位信息进行融合，通过惯性导航系统解算修正后最终输出满足自动驾驶需求的6个自由度的高精度位置信息。

“GNSS-RTK+IMU+高精度地图”的定位方案逐渐成为高阶智能驾驶汽车的主流选择。

- **乘用车领域：**自2020年开始，融合定位方案开始逐渐在新车型商落地，广汽的埃安系列成为国内首个采用“GNSS+IMU+高精度地图”高精度定位方案的车型，再如小鹏P5与P7、红旗E-HS9等都采用了“GNSS-RTK+IMU+高精度地图”的方案；
- **商用车领域：**无论运营场景复杂程度如何，“GNSS+IMU”的组合导航系统是绝大部分厂商都会选择的方案，部分厂商选择了在GNSS+IMU的基础上增加了传感器与高精度地图进行融合定位的方案。

表 35: 主要自动驾驶乘用车的高精定位方案

主机厂	乘用车车型	上市时间	定位方案
威马	威马 W6	2021 年 1 月	SLAM + 高精度地图
小鹏	小鹏 P7	2020 年 4 月	高精度地图 + GNSS + RTK + IMU
	小鹏 P5	2021 年 9 月	
埃安	埃安 V	2020 年 6 月	高精度地图 + GNSS + IMU
	埃安 LX	2020 年 11 月	
一汽红旗	E-HS9	2020 年 12 月	高精度地图 + GNSS + RTK + IMU
通用	凯迪拉克 CT6	2020 年 7 月	GPS + 高精度地图 + 摄像头
	EC6	2020 年 7 月	
蔚来	ES6	2020 年 5 月	高精度地图 + 高精度定位终端
	ES8	2020 年 4 月	

资料来源: 佐思汽研, 国信证券经济研究所整理

表 36: 主要商用场景自动驾驶定位方案

厂商	场景	组合定位方案
Waymo	Robotaxi	Lidar + HDMap + GNSS + IMU
百度	Robotaxi	2 个高精度定位模组 + Lidar + HDMap
京东	无人配送	IMU + GNSS + RTK
易成	无人配送	IMU + 多频 GNSS + RTK
驭势科技	无人配送	基于视觉的 SLAM + 高精度地图
美团	无人配送	GNSS + IMU + 高精地图 + 激光雷达
踏歌智行	无人矿卡	SLAM + GPS + IMU
慧拓智能	无人矿卡	SLAM + GPS + IMU
	无人矿卡	SLAM + GPS + IMU
希迪智驾	无人矿卡	SLAM + GPS + IMU
	无人环卫车	GNSS + IMU
仙途智能	无人环卫车	SLAM 创建高精度地图 + GPS + IMU
智行者	无人环卫车	GPS + IMU + 激光雷达
中联重机	无人农机	视觉 + 北斗导航 + 角度传感 + IMU
雷沃重工	无人农机	视觉 + 北斗导航 + 角度传感 + IMU
丰疆智能	无人农机	视觉 + 北斗导航 + 角度传感 + IMU
卡尔曼	无人农机	视觉 + 北斗导航 + 惯导 + 毫米波雷达

资料来源: 佐思汽研, 国信证券经济研究所整理

厘米级的高精度定位传感器是 L3 级及以上自动驾驶的标配。高精度定位传感器主要部件包括高精度定位芯片（射频、基带）、IMU、天线、板卡等。成本方面, 高精度 GNSS 定位加天线的成本在百元级, 符合精度要求的 IMU 器件成本将长期保持在千元级。GNSS-RTK+IMU 组合的量产价格较高, 短期在 1000 美元左右, 随着规模化量产以及工艺的成熟, 整体价格有望在 2025 年下降至 500 美元。

- **高精度定位芯片:** 主要包括射频和基带芯片, 射频部分对微弱的模拟信号进行接收、滤波、放大、变频; 基带部分对码信号进行解算, 其中相关器模块实现对码信号的读取; 目前北斗芯片已不输于 GPS, 3 米的普通精度车载导航芯片价格不超过 6 元, 几十厘米定位精度的高精度芯片, 价格在几十元到数

百元不等；

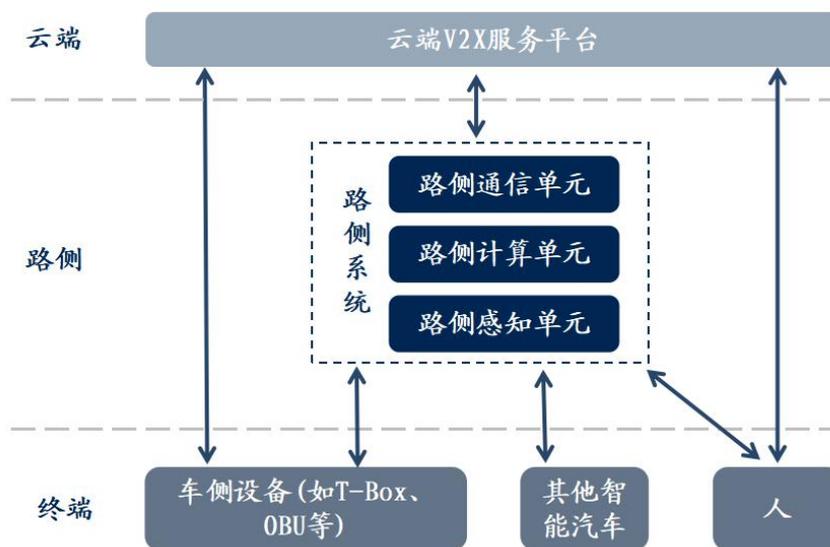
- **IMU**: 价格和精度高度正相关, 产品竞争核心在于平衡高精度和低成本。主要被海外垄断, 目前主要的供应商包括 ADI、Honeywell、Northrop Grumman 等;
- **GNSS 板卡+天线**: 高精度板卡是高精度 GNSS 终端设备的核心, 其成本占到终端总成本的 60%以上, 技术门槛非常高, 长期被美国 Trimble 和加拿大 NovAtel 垄断, 目前国产高精度板卡销量市占率 30%左右; 我国北斗天线的国产替代率较高, 国内市场份额占比超 75%。

(6) 网联感知：“车、路、云”一体化，C-V2X 商业化落地进入倒计时

车用无线通信技术 (Vehicle to Everything, V2X), 是实现车与车 (V2V)、车与路 (V2I)、车与人 (V2P)、车与网 (V2N) 相连接的新一代信息通信技术。V2X 通过将人、车、路、云等交通参与要素有机地联系在一起, 构建一个智慧的交通体系。整个 V2X 系统可以分为云端、路侧端与车载端:

- **云端**: V2X 云平台, 实现大数据及人工智能算法智能分析、交通调度优化、高精度定位、车辆状态管理、车辆在线升级、信息服务等;
- **路侧端**: 包括路侧通信单元 RSU (Road Side Unit)、路测计算单元 (MEC), 路侧感知单元 (雷达、摄像头、交通信号灯与指示牌等环境信息);
- **车载端**: 完成 BSM 消息的上报、V2X 消息的接收与解析、CAN 数据的读取与解析、消息的展示与提醒、保障信息安全。

图58: V2X 车联网的整车协同方案



资料来源: 中国智能网联汽车产业创新联盟, 国信证券经济研究所整理

政策为车联网商业化落地的保驾护航。自 2015 年以来, 国务院、国家发改委、工信部、交通运输部等多部门都陆续印发了支持、规范车联网行业的发展政策。2021 年 7 月, 工信部联合十部门发布《5G 应用“扬帆”行动计划(2021—2023 年)》, 强调了 5G 与车联网融合的重要性, C-V2X 技术升级和相关通信模块的部署也是未来三年国家的重要建设方向之一。各主要地区也在纷纷建设智能网联汽车测试示范区, 发放自动驾驶道路测试牌照, 各个省市也都提出了自己的车联网“十四五”

规划。其中，江苏省提出部署 RSU 车联网道路 2000 公里，河北、江苏、天津、安徽和湖南省也都提出进行先导区建设和核心技术的攻克，重庆和天津均明确提出进行 V2X 技术升级，C-V2X 商业化落地进入倒计时。

表 37: 智能网联相关政策梳理

出台时间	政策名称	主要内容
2015	《中国制造 2025》	提出“推动智能交通工具等产品研发与产业化”方针
	《国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》	提出加强推广车联网、船联网等智能化技术应用
2016	《推进“互联网+”便捷交通，促进智能交通发展的实施方案》	在推动车联网、船联网建设的同时，重点发展自动驾驶领域核心技术，如车路协同、自主感知等
2017	《国家车联网产业标准体系建设指南（智能网联汽车）》	至 2020 年，初步建立跨行业、跨领域、适应我国技术和产业发展需要的智能网联汽车标准体系，实现工业化和信息化的高度融合
	《物联网发展规划（2016-2020 年）》	提出推进交通管理与服务智能化建设，开展车联网新技术应用示范
	《汽车产业中长期发展规划》	提出加强车联网关键技术攻关，开展智能网联汽车示范推广
2018	“国家制造强国建设领导小组车联网产业发展专委会”成立	负责组织制定车辆网发展规划、政策和措施，协调解决车联网发展中的重大问题
	《智能汽车创新发展战略（征求意见稿）》	至 2020 年，基本建成中国智能汽车的技术创新、产业生态、路网设施、法规标准、产品监管和信息安全体系框架标准
	《车联网（智能网联汽车）产业发展行动计划》	至 2020 年，实现车联网产业跨行业融合取得突破，实现 LTE-V2X 在部分主要道路的覆盖与高级别自动驾驶功能的特定场景规模应用，完成车联网综合应用体系的基本构建，开展 5G-V2X 示范应用
2019	《交通强国建设纲要》	提出加强智能网联汽车研发，完善网络安全保障体系，
	《推进综合交通运输大数据发展行动纲要（2020-2025）》	推进 5G 技术、卫星通信信息网络在交通运输各领域的研发与推广应用，推进交通运输领域数据分类分级管理
2020	《智能汽车创新发展战略》	强调智能化与网联化协同，构建全面高效的智能汽车网络安全体系
	《关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见》	到 2035 年，交通运输领域新型基础设施建设取得显著成效。其中，要求行业数据中心和网络安全体系基本建立
	《国家综合立体交通网规划纲要》	提出提升车联网、船联网等重要融合基础设施安全保障能力，加强交通信息系统安全防护，加强关键技术创新力度，提升自主可控能力
2021	《智能网联汽车道路测试与示范应用管理规范（试行）》	提出具有网联功能的车辆或远程控制功能的监控平台，应提供网络安全风险评估结果及采取的风险应对措施证明
	《关于加强智能网联汽车生产企业及产品准入管理的意见》	明确逐步探索开展准入管理，明确汽车数据安全、网络安全、在线升级等管理要求，加快产品推广应用
	《“十四五”国家信息化规划》	提出开展车联网应用创新示范，实现 L3 级以上自动驾驶应用

资料来源：交通部、国务院等官网、国信证券经济研究所整理

全球车联网通信标准主要有 DSRC 和 C-V2X 两条技术路线。（1）**DSRC**：专用短程通信技术（Dedicated Short Range Communication）由 IEEE 提出，主要由欧美主导，发展自上世纪末，经过近二十年的发展，技术已经相对成熟；（2）**C-V2X**：蜂窝车联网（Cellular-V2X）由 3GPP 提出，由中国主导，主要有 LTE-V2X 和 5G NR-V2X 两种。2020 年 11 月美国联邦通讯委员会将 5.9GHz 频段划拨给 C-V2X 使用，2020 年 4 月，工信部批准了 7 个 V2X 标准，**C-V2X 逐渐成为车联网的主流。**

表38: DSRC 和 C-V2X 两种技术路线对比

参数	DSRC	C-V2X	
		LTE-V2X	5G-V2X
应用场景	数据外部环境安全	数据外部环境安全性和安全性增强用例	支持自动驾驶、测距定位、大吞吐的传感器共享和本地 3D 高清地图更新
高密度传输支持	会丢包	可保证不丢包	可保证不丢包
高移动性支持	在有先进接收器的情况下支持最高 500km/h 的相对速度	最小设备需求下可达 500km/h 的相对速度	最小设备需求下可达 500km/h 的相对速度
90%可信度误差范围, 280km/h 相对速度下的传输范围	最大 255m	直连情况下超过 450m, 蜂窝网络下更大	直连情况下超过 450m, 蜂窝网络下更大
周期性传输的典型频率	100ms 一次 (50ms 一次亦可)	100ms 一次 (20ms 一次亦可)	低至几毫秒一次

资料来源: 艾瑞咨询, 国信证券经济研究所整理

通过 C-V2X 车载终端设备及智能路侧设备的多源感知融合, 对道路环境实时状况进行感知、分析和决策, 在可能发生危险或碰撞的情况下, 智能网联汽车进行提前告警, 为车辆出行提供更可靠、安全、实时的环境信息获取, 从而减少交通事故或降低交通致死亡率, 对于汽车行驶安全有十分重要的意义。

C-V2X 产业链主要包括通信芯片、通信模组、终端设备、整车、智能道路、测试验证以及运营与服务环节, 参与方包括芯片厂商、设备厂商、主机厂、方案商、电信运营商、交通运营部门和交通管理部门等。

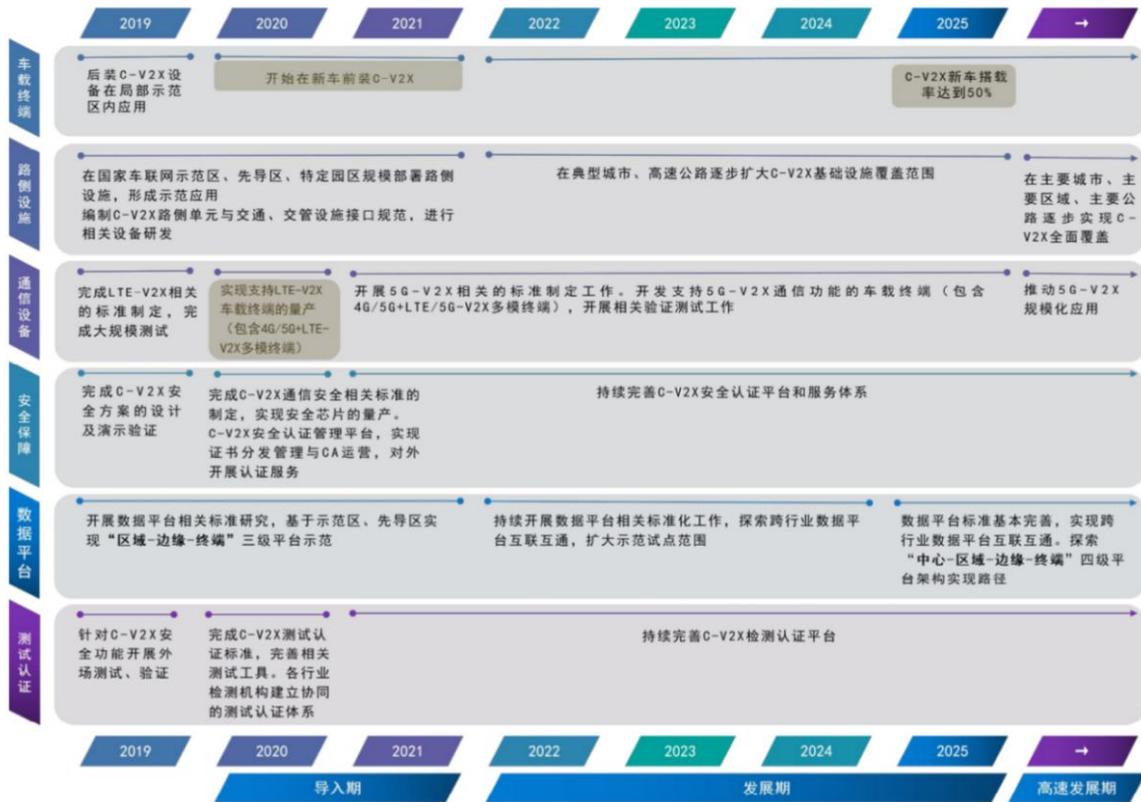
图59: C-V2X 产业链架构



资料来源: 中国智能网联汽车产业创新联盟, 国信证券经济研究所整理

从整个落地时间表来看, 在设备方面, 19 年完成 LTE-V2X 相关的标准制定, 完成大规模测试, 20 年实现支持 LTE-V2X 车载终端的量产如 4G/5G+LTE-V2X 多模终端。21-25 年开展 5G-V2X 相关的标准制定工作, 开发支持 5G-V2X 通信功能的车载终端, 开展相关验证测试工作。而在搭载率方面, 2019 年, 后装 C-V2X 设备在局部示范区内应用, 20-21 年开始在新车前装 C-V2X, 预计到 2025 年, C-V2X 的新车搭载率将达到 50%。

图60: 中国 C-V2X 产业化部署整体时间表



资料来源: 中国智能网联汽车产业创新联盟, 国信证券经济研究所整理

车载终端是指在车内提供无线通信能力的电子设备, 是构智能网联的关键节点。目前车载终端主要通过 3G/4G/5G 蜂窝通信网络与车联网云平台连接, 提供车载信息和娱乐服务, 满足人们在车内的信息娱乐需求。新一代 V2X 车载终端将集成 C-V2X 技术, 可以实现车与车、车与路、车与人、车与云平台之间的全方位连接。**车载终端主要包括通信芯片、通信模组、OBU (On Board Unit)、V2X 协议栈及 V2X 应用软件。**行业参与者众多, 以华为为例, 在 C-V2X 已推出了 C-V2X 芯片、网关、T-box、路测单元和端到端全面解决方案。

表39: 车载终端的主要产业链

部件	功能介绍	国内玩家	海外玩家
通信芯片	车规级专用的基带芯片	华为、大唐	高通
通信模组	将通信芯片和一系列的外围芯片, 比如存储器, 射频前端集成在一起, 并提供标准接口的功能模块	华为、大唐、移远通信、高新兴、日海智能	高通
On Board Unit (OBU)	C-V2X 的车载通信单元	大唐、德赛西威、东软、华为、金溢科技、千方科技、三旗通信、万集科技、星云互联、中兴、高新兴等	大陆、博世、哈曼、德尔福、LG
V2X 应用软件与协议栈	提供物理层以上的 V2X 通信协议解析和打包, 也包含了安全和管理等功能, 此外还可以提供道路场景测试、中间件、应用层开发等服务	百度阿波罗、东软、星云互联、华砺智行	Cohda Wireless、Commsignia、Savari、MARBEN、Veniam

资料来源: 中国智能网联汽车产业创新联盟, 国信证券经济研究所整理

未来 5G-V2X 或将成为数字座舱标配。随着芯片算力的提升, 数字座舱集成度将快

速提升，智能座舱进一步集成 ADAS、V2X、云服务等功能。例如高通第三代和第四代骁龙汽车数字座舱平台均集成 C-V2X，未来 5G-V2X 或将成为数字座舱标配。V2X 可以与 T-BOX 融合，也可以与 ADAS 或自动驾驶平台融合，不同的 Tier1、主机厂已在开发相应产品。目前量产车型大多采用 V2X 与 TBOX 融合，集成 5G+LTE-V2X+WiFi+GNSS 功能在一个模组，价格约 2000 元左右，未来有望价格将进一步下降至 1000-1500 元左右。具体来看，C-V2X 在硬件方面的产品形态包括：

- **C-V2X+T-BOX**：博泰推出了 5G C-V2X T-BOX，采用华为 MH5000 模组，C-V2X+T-BOX 可以融合 4G/5G 模块、C-V2X 模组、CAN 控制器、GNSS 等；
- **整合智能天线**：GNSS 定位模块+4G/5G+V2X，集成多合一智能天线，2020 年上市的红旗 E-HS9 搭载了和东软联合研发的 C-V2X 智能天线；
- **整合 ETC**：“ETC+T-BOX+C-V2X”多合一终端，如千方科技在乘用车现有 4G/5G T-Box 平台上集成车规级 ETC 模组，C-V2X PC5 模组，打通 ETC、V2X 与车载导航系统、ADAS 系统连接；
- **整合 HUD**：AR 导航和 AR HUD 技术将进一步增强 ADAS、V2V 和 V2I 通信技术的融合，将成为 V2X 的重要展示界面，长城 WEY 摩卡搭载了高通 8155 座舱芯片、5G+V2X 和 AR-HUD；
- **与自动驾驶域控制器融合**：C-V2X 还可以与自动驾驶域控制器融合，作为自动驾驶的冗余传感器。

在终端量产落地方面，自 2019 年福特宣布首款 C-V2X 车型量产以来，各家 OEM 车厂都在纷纷布局 C-V2X 硬件等车联网感知产品的落地。根据佐思汽研的数据显示，2021 年 1-8 月，国内乘用车新车车联网信息系统装配率达到 57.1%，同比增加 4.6 个百分点，其中自主品牌为 59.6%，同比增加 1.2 个百分点。其中，吉利领克、长城 WEY、长城坦克、上汽 R 汽车、东风岚图、北汽极狐等自主高端品牌车联网信息系统装配率超过 98%。自 2020 年开始，C-V2X 硬件开始在多个量产车型上搭载，如长城摩卡、广汽埃安、高合等，车联网感知产品的商业化进程加速。

表 40: 国内 C-V2X 部分量产车型的功能配置

车型	上市时间	V2X 配置
上汽通用别克 GL8 Avenir	2020 年 12 月	采用移远通信车规级 C-V2X 模组 AG15 和车规级 LTE 模组 AG35；可选装 V2X 智能交通技术，售价 1 万元
上汽 Marvel R	2021 年 2 月	采用上汽集团旗下联创汽车电子的 5G V2X i-BOX，集成 5G、V2X、高精度定位功能；V2X 和 ADAS 功能可选装价值 3 万元的“R-Pilot 智驾成长包”
广汽传祺 AION V	2020 年 6 月	搭载了华为 5G 车载模组 MH5000，选装 5G 先锋套装来获得 5G 网络功能配置，限量选装包价格 9600 元
一汽红旗 E-HS9	2020 年 12 月	搭载和东软联合开发的 C-V2X 智能天线，采用基于高通 9150 C-V2X 芯片组的移远通信 AG15 模组，搭载内置高通 MDM9628 芯片的亿元 LTE 车规级模组 AG35，模组自带的行尾推测和高精融合定位，可实现亚米级高精度定位
高合 HiPhi	2020 年 9 月	搭载均联智行 5G-V2X 产品，采用移远通信 5G+C-V2X 车载模组 AG550Q，均联智行提供车联网终端
长城摩卡	2021 年 5 月	基于咖啡智能平台打造，搭载高通 8155 芯片、车规级 5G-V2X
蔚来 ET7	2022 年交付	均胜电子子公司均联智行获得蔚来 5G-V2X 平台项目定点，2021 年底部署于蔚来 ET7，包括 5G T-Box 和 5G V-Box

资料来源：佐思汽研，国信证券经济研究所整理

路侧端设施主要包括路侧通信单元、路测计算单元、路侧感知单元：

- **路侧通信单元：**RSU (Road Side Unit) 集成 C-V2X 技术，实现路与车、路与人、路与云平台之间的全方位连接，为网联车辆提供交通安全、交通效率和信息服务应用，同时也为交通协同管控、交通运营服务提供有效的手段；
- **路测计算单元：**在设备端有多种实现方式，可以融合到 RSU 内，本地的 MEC (Multi-access Edge Computing, 多接入边缘计算) 单元、区域的计算中心，负责对本地或区域的数据进行处理、存储，以及应用、服务的计算与发布；
- **路侧感知单元：**由一系列路侧感知设备如雷达、摄像头、交通信号灯等与处理设备构成，实现对本地交通环境和状态的实时感知，包括信号灯信息、交通参与者信息、交通事件信息、定位信息等。

路侧单元 (RSU) 的主要部件包括通信芯片、通信模组、单元设备、V2X 协议栈及应用软件。通信芯片、通信模组等模组的供应商与 OBU 基本相同，目前的 RSU 供应商主要来大唐、华为、东软、星云互联、金溢科技、千方科技、万集科技等。

图 61：路侧单元 (RSU) 产品图片



资料来源：华为官网，国信证券经济研究所整理

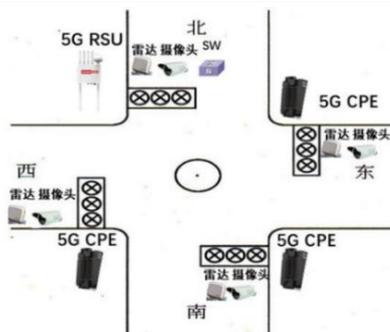
图 62：车联网 MEC 产品图片



资料来源：高新兴官网，国信证券经济研究所整理

对一套完整的车路协同系统而言，路侧感知设备包括摄像头、毫米波雷达、激光雷达等，其利用 5G RSU/CPE 进行数据收集并通过 5G 网络回传。为避免发生信号干扰，通常单个点位部署 1 台 5G RSU，实现路口区域的 PC5 通信，其余杆件设备及信号机则通过 5G CPE 代替实现 5G 回传功能。在十字路口，为实现对于四个方向的目标对象的全要素感知，通常部署 4 套车路协同感知设备。

图 63：十字路口的典型路侧设备部署方案



资料来源：中国联通，国信证券经济研究所整理

表 41：十字路口场景所需的设备清单

设备名称	设备数量	描述
5G RSU	1	5G+LTE-V 双模
摄像头	4	1080P 及以上
毫米波雷达	4	全天候
激光雷达	4	全天候
POE 交换机	4	工业级
5G CPE	3	工业级

资料来源：中国联通，国信证券经济研究所整理

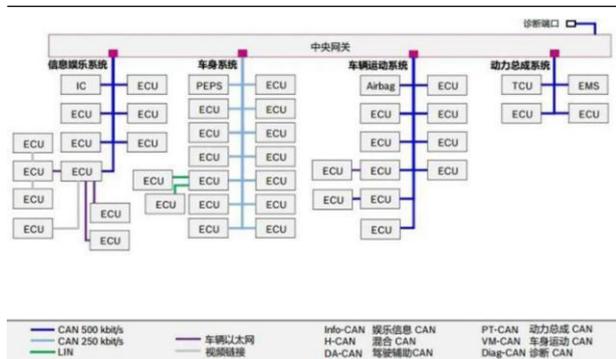
ADAS 系统研究框架

EEA 架构逐渐走向域集中，域控制器应运而生

单车 ECU 数量激增，无法满足汽车智能化的需求。1980 年代开始，以机械为主宰的汽车行业内掀起一场电子电气化革命，电子控制单元（Electronic Control Unit, ECU）占领了整个汽车，此时的汽车电子电气架构都是分布式的，各个 ECU 都通过 CAN(Controller Area Network, 控制器域网络)或 LIN(Local Interconnect Network, 局部互连网络)总线连接在一起，通过工程师预设好的通信协议交换信息。在传统的 EEA 架构下，ECU 是系统的核心，智能功能的升级依赖于 ECU 数量的累加。

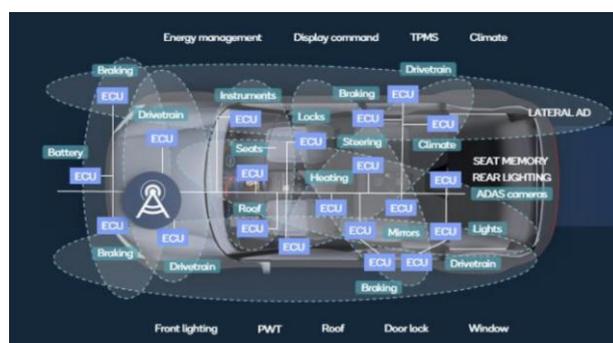
原有智能化升级方式面临研发和生产成本剧增、安全性降低、算力不足等问题，传统分布式架构亟需升级，传统 EEA 架构主要面临以下问题：（1）控制器数量过多：各级别汽车 ECU 数量都在逐年递增，每台汽车搭载的 ECU 平均 25 个，一些高端车型通常会超过 100 个；（2）线束布置过于复杂：ECU 数量越多，总线数量必将更长，2000 年奔驰 S 级轿车的电子系统已经拥有 80 个 ECU，1,900 条总长达 4km 的通信总线。2007 年奥迪 Q7 和保时捷卡宴的总线长度突破 6km，重量超过 70kg，基本成为位列发动机之后的全车第二重部件；（3）“跨域”信号传输需求增加：智能驾驶需要大量的“跨域”信号传输，环境传感器（雷达，视频和激光雷达）产生了大量数据传输的需求，这也对传统分散式 ECU 基础架构提出了挑战。

图 64: 分布式架构下车辆 ECU 通过 CAN 总线连接



资料来源：博世、国信证券经济研究所整理

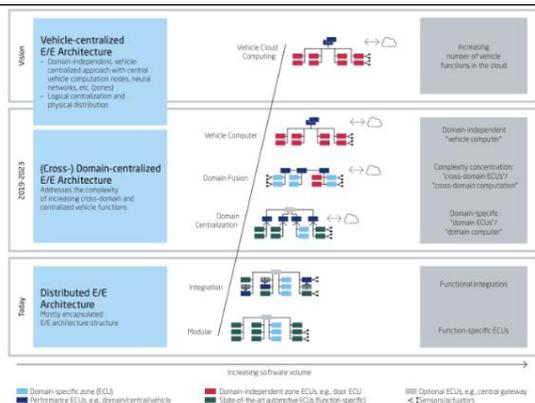
图 65: 大量 ECU 分布在车辆全身各处



资料来源：高通、国信证券经济研究所整理

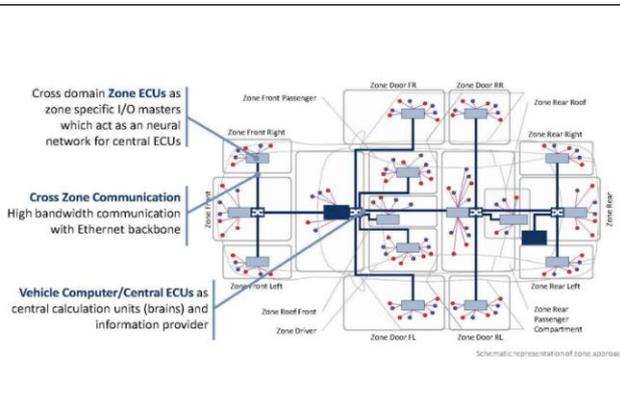
为适应智能化需求，催生出以 DCU 为主的域集中架构。为了控制总线长度、降低 ECU 数量，从而降低电子部件重量、降低整车制造成本，将分散的控制器按照功能域划分、集成为运算能力更强的域控制器（Domain Control Unit, DCU）的想法应运而生。博世用三类 EEA 架构共六个阶段来展示架构演进方向：分布式（模块化、集成化）、域集中式（集中化、域融合）、集中式（车载电脑、车-云计算）。

图 66: 汽车电子电气架构的发展路径



资料来源: ETAS、国信证券经济研究所整理

图 67: 域集中式的 EEA 架构



资料来源: 博世、国信证券经济研究所整理

成本拆解：高性能 SoC 主芯片占整体域控制器的主要成本

当前市面上最为成熟的域控制器为特斯拉 19 年推出的 HW 3.0，特斯拉首次推出其自研的 FSD 芯片，通过以太网总线的方式承载数据输入与以太网交换的功能，其成本整体较为透明，通过拆解其 BOM 成本，梳理高阶自动驾驶域控制器的成本分布。预计 HW 3.0 板上全部芯片的成本约在 5000 元左右，外加车规级接插件、以太网连接器以及 PCB 等外围硬件，整块板子的硬件成本大约在 7500-8500 人民币之间。其中，主控 SoC 芯片约占总芯片成本的 61%左右，占整体硬件成本的 20%左右。特斯拉 HW 3.0 的主板上共搭载了两块自研芯片，双芯片的目的是作为安全冗余，互相对照，每块芯片可以独立运算。每块芯片周围有四块镁光 DRAM 内存，每块芯片分别配有一块东芝闪存芯片，用于承载操作系统和深度学习模型。

主板的右侧是视频输出接口，从上到下依次是 FOV 摄像头、环视摄像头、A 柱左右摄像头、B 柱左右摄像头、前视主摄像头、车内 DMS 摄像头、后摄像头、GPS 同轴天线；左侧是电源接口和其他另外的输入/输出接口，从上到下依次是第二供电和 I/O 接口（车身 LIN 网络等），以太网诊断进/出、调试 USB、烧录、主供电和 I/O（底盘 CAN 网络等）。

图 68: 特斯拉 HW 3.0 实物图



资料来源: Cnet、国信证券经济研究所整理

图 69: 特斯拉 HW 3.0 FSD 主控芯片成本拆解

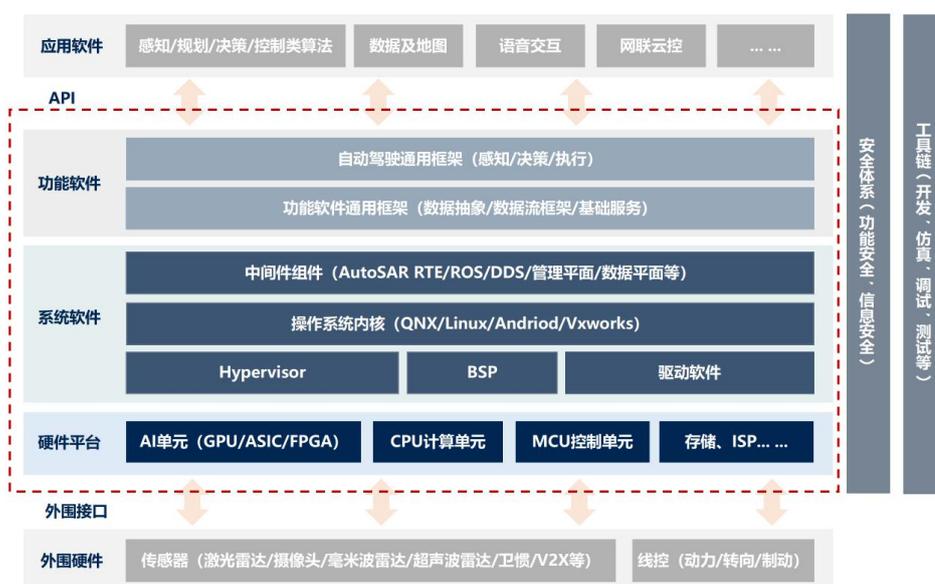
项目	供应商	数量	参考价格 (元)	价值量占比
FSD	特斯拉	2	1500	61%
以太网交换	Marvell	1	360	7%
GPS 模块	U-BLOX	1	320	7%
MCU	英飞凌	1	260	5%
以太网 PHY	Marvell	2	130	5%
解串行	德州仪器	2	110	4%
UFS	东芝	2	55	2%
启动 Flash	Cypress	1	50	1%
解串行	德州仪器	1	40	1%
LPDDR4	美光	8	30	5%
供电	美信	2	30	1%

资料来源: 佐思汽研、国信证券经济研究所整理

车载计算平台是智能网联汽车的“大脑”，从硬件到软件主要包括：

- **异构硬件平台：**CPU 计算单元、AI 单元（GPU、ASIC、FPGA）、MCU 控制单元、存储、ISP 等其他硬件组成的自动驾驶域控制器；
- **系统软件：**硬件抽象层（Hypervisor、BSP）、操作系统内核（QNX/Linux/Andriod/Vxworks）、中间件组件等；
- **功能软件：**自动驾驶通用框架（感知、决策、执行）、功能软件通用框架（数据抽象/数据流框架/基础服务）；
- **其他：**工具链（开发、仿真、调试、测试等）、以及安全体系（功能安全、信息安全等）。

图 70：汽车智能化产业地图之车载计算平台

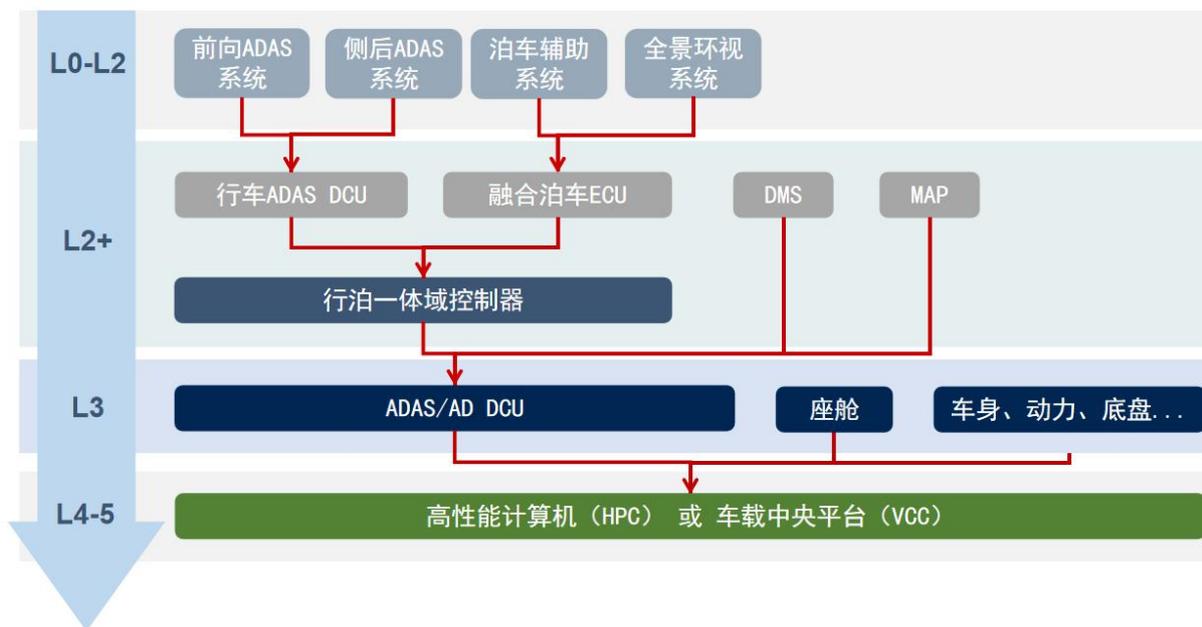


资料来源：wind、国信证券经济研究所整理

迭代路线：控制节点不断收缩，带动 ADAS 系统架构持续迭代

随着 EEA 架构走向集中，ADAS 系统架构控制节点也在不断收缩。L0-L2 级分布式系统方案，主要由前向 ADAS 系统、侧后 ADAS 系统、自动泊车系统、全景环视系统四个控制节点组成。以智能前视摄像头将镜头模组、计算平台主板整合在一起，ECU 主板内含 2 个芯片，采用安全核（Safety Core）和性能核（Performance Core）的芯片组合架构案：安全核对安全等级要求高，计算要求不强烈，一般选用 MCU，如英飞凌 TC297/397 等，而性能核在成本考量下，允许功能安全等级低，但是要承担大量运算，满足控制器对性能的要求，一般选用高性能 SoC 为主，比如 Mobileye 的 EyeQ4、EyeQ5 以及英伟达 Xavier 等。而对于 L2+级域集中式方案，控制节点开始收缩，前向 ADAS 系统与侧后 ADAS 系统由行车控制器实现，自动泊车系统和全景环视系统由泊车 ECU 实现，目前仍处于行车与泊车分离的阶段，而对于高阶的方案，行车与泊车合二为一，出现行泊一体的域控制器作为统一的控制节点来实现所有的 ADAS 功能。

图 71：ADAS 系统与自动驾驶等级的技术迭代路线图



资料来源：公司公告，国信证券经济研究所整理

第一阶段：L0-L2 级分布式系统方案。主要由：（1）行车 ADAS 系统（Driving ADAS System）：由前向 ADAS 系统与侧后 ADAS 系统组成；（2）泊车 ADAS 系统（Parking ADAS System）自动泊车系统和全景环视系统组成。

- **前向 ADAS 系统：**由单 FCR（Front Central Radar，前雷达模块），或者单 FCM（Front Camera Module，前视摄像头总成）组成，当前主流配置是 FCR+FCM 组成的 1R1V 方案，能够支持到 TJA/ICA 的 L2 ADAS（单车道驾驶辅助）；
- **侧后 ADAS 系统：**由侧后方两个 SRRs（Side-Rear Radars，侧后雷达模块）组成，实现大部分侧后向 ADAS 功能；
- **自动泊车系统：**即泊车控制器+12 颗超声波传感器（USS）组成的 APA（自动泊车辅助）系统；实现功能主要是 APA 和 FAPA 等；
- **全景环视系统：**由全景环视控制器（目前该控制器已很少见，已经被吸收合并到其他控制器节点上，主要由车机、泊车控制器或者域控制器所取代）+ 四个鱼眼摄像头（Fisheye Camera）组成。

第二阶段：L2+级域集中式方案。主要分为 1V5R 方案、5V5R 方案等典型的雷达中心化方案（Radar-centric ADAS Solution），控制节点逐渐收缩，域集中式趋势逐渐加强。

- **1V5R 方案：**1 个 FCR+1 个 FCM+4 个角雷达（Corner Radars），各传感器本质上仍是具有计算能力的智能传感器，可以直接提供结构化数据给 MCU，MCU 负责结构化数据的多传感器融合算法以及 ADAS 功能，不需要感知算法的计算；
- **5V5R 方案：**第一阶段，行车与泊车分离的 1V5R+4V 方案，1 个 FCR+1 个 FCM+4

一个角雷达+4个鱼眼摄像头,4V代表的4鱼眼摄像头是由单独的控制节点处理;第二阶段,行车与泊车一体的真正5V5R方案,域控制器由MCU+SoC芯片组成,前视FCM摄像头直接简化成剥离掉计算功能的镜头硬件,有SoC芯片实现前向视觉+环视视觉的视觉感知计算。

第三阶段：L3-4级中央式方案。L3级域控制器实现智能驾驶域的主要功能,更高阶的L4-5级,则会采用纯中央架构,由高性能计算机(HPG)或车载中央平台(VCC)实现跨域融合的功能整合。

技术要求：面向高阶自动驾驶，异构多核硬件架构成为趋势

车载计算平台需采用异构多核芯片硬件架构。自动驾驶的域控制器,要具备多传感器融合、定位、路径规划、决策控制、无线通讯、高速通讯的能力。通常需要外接多个摄像头、毫米波雷达、激光雷达,以及IMU等设备,完成的功能包含图像识别、数据处理等。面向L3及以上高阶自动驾驶,单一芯片无法满足诸多接口和算力需求,计算基础平台需采用异构芯片的硬件方案,具有芯片选型灵活、可配置拓展、算力可堆砌等优点。**计算平台的异构分布硬件架构主要包括CPU计算单元、AI单元和控制单元。**

(1) CPU 计算单元：

由车规级多个多核CPU组成,大多为ARM架构,单核主频高,计算能力强,擅长处理高精度浮点数串行计算,通过内核系统管理软硬件资源、完成任务调度,用于执行自动驾驶相关大部分核心算法,同时整合多源数据完成路径规划、决策控制等功能。

(2) AI 单元：

AI单元是整个异构硬件平台中算力的最主要来源,承担大规模浮点数并行计算需求,主流的AI芯片可选用GPU、FPGA、ASIC三种等。通常内核系统进行加速引擎及其他芯片资源的分配、调度。AI单元实现对多传感器的数据高效处理与融合,获取用于规划及决策的关键信息。

(3) 控制单元：

负责可靠性和车辆控制,功能安全和冗余监控作用,不要求很高的算力,但是可靠性必须要有保障。基于传统车辆控制器MCU,实现车辆动力学横纵向控制并满足功能安全ASIL-D等级要求。

高性能的车载计算平台是高阶自动驾驶的必备,除了异构多核的硬件架构外,分布弹性可扩展、丰富的I/O接口资源、高内存带宽、车规与功能安全等也都是高阶自动驾驶域控制器的必备特点：

(1) 硬件异构：

面向高阶自动驾驶的计算平台需兼容多类型多数量传感器,单一芯片无法满足诸多接口和算力要求,需采用“CPU+XPU”的异构硬件方案,前文已做详细介绍;

(2) 分布弹性可扩展：

车载计算平台需具有弹性扩展特性以满足不同等级自动驾驶需求。针对L3及以上高阶自动驾驶,随着自动驾驶等级提升,车载智能计算基础平台算力、接口等需求都会增加。除提高单芯片算力外,硬件单元也可复制堆叠,自动驾驶操作系统弹性适配硬件单元并可进行平滑拓展,达到整体系统提升算力、增加接口、完善

功能的目的；

(3) 丰富的 I/O 接口资源：

高阶自动驾驶的感知系统传感器种类与数量众多，车载摄像头、激光雷达、毫米波雷达、超声波雷达、组合导航、IMU、V2X 模块等，因此丰富的接口资源也是很自动驾驶域控制器的关键特点。车载摄像头的接口一般采用 GMSL 或 FPDLink，激光雷达都是采用 Ethernet 接口，目前大多是普通 Ethernet；毫米波雷达都是 CANFD 传输，超声波雷达采用 LIN 总线，组合导航和惯导常见接口为 RS232 串口，V2X 模块采用 Ethernet 接口传输。除了上述传感器所需 IO 接口外，常见的其它高速接口与低速接口比如 PCIe、USB、I2C、SPI 等；

(4) 高内存带宽：

自动驾驶芯片平台因为要接入大量的传感器数据，因此内存的压力非常大。整个系统往往呈现出 Memory-Bound 系统的特点，因此内存带宽通常决定了系统性能的理论上限；

(5) 车规与功能安全：

与消费级不同，车规级产品在安全性和可靠性上有更高要求。如 AEC-Q100、ISO 26262 等，ISO 26262 对安全等级做了划分，常见的是 ASIL-B 和 ASIL-D 级别。

行泊一体域控制器：OEM 自研、系统集成商、软件平台商三方势力各显身手

自动驾驶域控制器玩家主要分为系统集成商、软件平台厂商以及 OEM 厂商三大类：

(1) OEM 厂商：特斯拉以及国内的造车新势力如蔚来、小鹏、威马、理想、上汽智己等都已实现或宣布将自研自动驾驶域控制器，以掌握未来软件定义汽车下底层的硬件自主权；

(2) 系统集成商和 Tier 1：如博世、大陆、采埃孚等国际 Tier1 和系统集成商，德赛西威、经纬恒润、华为等一批本土 Tier1 和系统集成商；

(3) 软件平台厂商：如映驰科技、东软睿驰、TTech、中科创达等公司。

智能座舱域控制器：全球范围内，伟世通、大陆、博世、安波福在座舱域控制器市场占据主导地位，国内企业华为、德赛西威、航盛电子、东软等也纷纷推出了座舱域控制器解决方案。在座舱 SoC 芯片方面，主要包括高通 820A 与 8155P、英特尔 Atom、恩智浦 i.MX8、瑞萨 R-CAR H3、德州仪器 Jacinto 系列等。

表42: 全球主要智能座舱域控制器厂商梳理

域控制器厂商	计算平台	座舱域控制器名称	主要客户
伟世通	高通	Smart Core	吉利、戴姆勒奔驰、东风、广汽
大陆	高通、瑞萨	集成式车身电子平台 (IIP)	/
博世	高通	AI Car computer	通用、福特
Aptiv	英特尔	Integrated cockpit controller (ICG)	长城、奥迪、法拉利、沃尔沃
电装	高通	Harmony Core	丰田
佛吉亚歌乐	瑞萨 R-Car H3	座舱智能化平台 (CIP)	宝马或大众
松下	高通	SPYDR 3.0	/
航盛电子	恩智浦	智能座舱域控制器	东风启辰
德赛西威	高通、德州仪器	智能座舱域控制器	理想汽车、天际汽车
东软睿驰	英特尔、高通	C4-Alfus/C4-Pro	红旗、星途 LX

资料来源: 佐思汽研、前瞻产业研究院, 国信证券经济研究所整理

自动驾驶域控制器: 全球范围内, 全球 Tier1 基本都已布局自动驾驶域控制器产品, 典型产品如伟世通 DriveCore、博世 DASy、大陆集团 ADCU、采埃孚 ProAI、Veoneer Zeus、麦格纳 MAX4 等, 国内方面, 如德赛西威 IPU 系列、经纬恒润 ADC、东软睿驰 CPDC、华为 MDC 等。

表43: 全球主要自动驾驶域控制器厂商梳理

域控制器厂商	计算平台	自动驾驶域控制器名称	主要客户
伟世通	英伟达、NXP、高通	Drive Core	广汽
大陆	英伟达	ICAS1、ADCU	大众
TT Tech	英伟达	ZFAS、iECU	奥迪、上汽
Aptiv	英特尔	中央传感定位与规划平台 (CSLP)	宝马、奥迪、广汽
Veoneer	英伟达	Zeus supercomputer	/
采埃孚	英伟达	中央控制器 ProAI	奇瑞
麦格纳	/	MAX4	宝马
博世	英伟达	DASy	沃尔沃
知行科技	德州仪器、恩智浦、英特尔	i Mo DCU 域控制器	/
布谷鸟	恩智浦	Auto Wheel	五家主机厂
经纬恒润	恩智浦、英特尔	ADAS Domain Controller	/
东软睿驰	德州仪器、赛灵思	自动驾驶域控制器 DCU	
德赛西威	英伟达	IPU03、IPU04	小鹏汽车、理想汽车

资料来源: 佐思汽研、前瞻产业研究院, 国信证券经济研究所整理

除了 OEM 厂商自研之外, OEM 厂还孵化成立独立第三方智能驾驶软件平台型公司参与域控制器市场。此外, 在域控制器市场还有一类重要的玩家, 就是从主机厂孵化成立的智能驾驶软件平台型公司, 如长城汽车的毫末知行, 吉利汽车的亿咖通等。长城汽车即将在 2022 年发布的新摩卡车型将搭载高通骁龙 Ride 平台, 相关域控制器设计与生产则是由毫末知行来实现的。亿咖通在 2021 年与伟世通和高通达成战略合作, 为全球市场提供领先的智能座舱解决方案, 此外亿咖通在 2020 年与安谋中国合作成立芯擎科技, 2021 年 10 月国内首颗 7nm 车规级座舱芯片“龍鷹一号”流片成功, 计划在 2022 年三季度实现量产, 2022 年底实现前装上车。

2022 年作为高阶自动驾驶落地元年, 行泊一体域控制器正在快速放量。据佐思汽研数据, 2021 年中国乘用车自动驾驶域控制器年出货量已达到 53.9 万台, 渗透率 2.7%, 预计 2022 年渗透率将超过 5%, 到 2025 年中国乘用车自动驾驶域控制器年出货量将达到 452.3 万套, 渗透率达到 18.7%, 核心驱动力为 L2+行泊一体域控制器出货量迅猛增长。

图 72: 域控制器的竞争格局

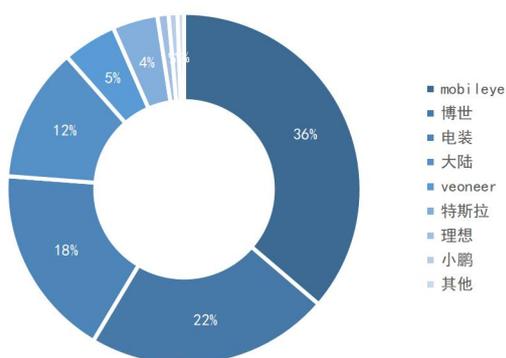


资料来源: 佐思汽研、国信证券经济研究所整理

前视 ADAS 一体机: L2 渗透率快速提升, Mobileye 方案依旧主流

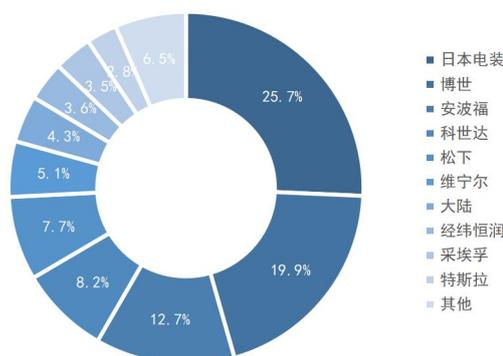
L2 前视一体机市场分为 Mobileye 阵营和非 Mobileye 阵营两类。(1) Mobileye 主要以“芯片+算法”模式交付, 核心算法由 Mobileye 供应, 系统集成由 Tier1 负责。Mobileye 的合作伙伴主要有经纬恒润、安波福、采埃孚等。(2) Tier1 全自研的非 Mobileye 阵营, 从核心算法到系统集成都自己做, 如博世、大陆等。从市场份额看, 根据佐思汽研的数据显示, 中国乘用车新车前视系统供应商主要有电装、博世、安波福、科世达、松下、维宁尔、大陆、经纬恒润, CR10 市占率超过 90%, 此外, 经纬恒润也是中国乘用车新车前视系统前十名供应商中唯一一家国产厂商, 市场份额为 3.6%。

图 73: 21 年 1-11 月新车前向 ADAS 视觉感知供应商份额



资料来源: 高工汽车, 国信证券经济研究所整理

图 74: 2020 年中国乘用车新车前视系统供应商市场份额

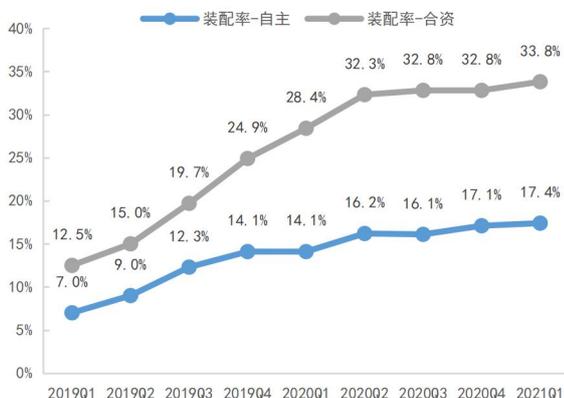


资料来源: 佐思汽研, 国信证券经济研究所整理

预计到 2025 年前视系统装配率有望超过六成。根据佐思汽研数据, 2020 年中国乘用车新车前视系统装配量为 498.6 万辆, 同比增长 62.1%, 其中自主品牌为 106.3 万辆, 同比增长 43.9%, 占比达到 21.4%; 合资为 390.5 万辆, 同比增长 68.0%, 占比达到 78.6%; 从装配率看, 2020 年中国前视系统整体装配率为 26.4%, 同比

增加 10.9 个百分点。其中，自主为 16.1%，同比增加 6.5 个百分点；合资为 32.0%，同比增加 13.7 个百分点。随着前视系统算力提高以及功能的不断增加，预计到 2025 年，我国乘用车前视系统装配量将达到 1,630.5 万辆，装配率将达到 65.0%。

图 75: 19-21 年自主/合资乘用车新车前视系统装配率



资料来源：佐思汽研，国信证券经济研究所整理

图 76: 19-25 年中国乘用车前视系统装配量和装配率



资料来源：佐思汽研，国信证券经济研究所整理

算力芯片研究框架

计算芯片是算力时代下智能网联汽车的核心

计算芯片可分为 MCU 芯片与 SoC 芯片。随着汽车 EE 架构的不断革新，汽车半导体高速发展，按功能不同，汽车半导体可分为汽车芯片和功率半导体，而在汽车芯片中，最重要的是计算芯片，按集成规模不同，可分为 MCU 芯片与 SoC 芯片。

MCU (Micro Control Unit) 微控制器，是将计算机的 CPU、RAM、ROM、定时计数器和多种 I/O 接口集成在一片芯片上，形成芯片级的芯片；而 SoC (System on Chip) 指的是片上系统，与 MCU 不同的是，SoC 是系统级的芯片，它既像 MCU 那样有内置 RAM、ROM，同时又可以运行操作系统。

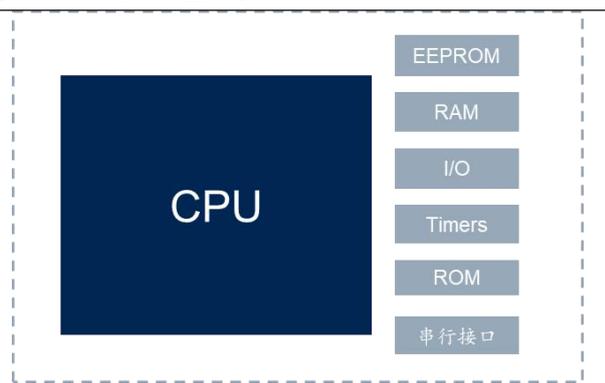
图 77: 汽车半导体分类结构



资料来源：CSDN，国信证券经济研究所整理

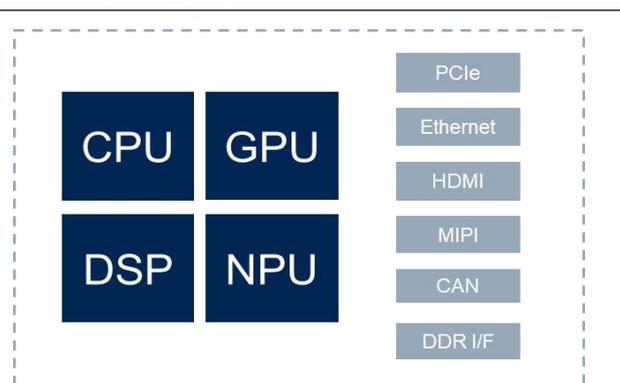
智能化趋势驱动汽车芯片从 MCU 向 SoC 过渡。自动驾驶对汽车底层硬件提出了更高的要求，实现单一功能的单一芯片只能提供简单的逻辑计算，无法提供强大的算力支持，新的 EE 架构推动汽车芯片从单一芯片级芯片 MCU 向系统级芯片 SoC 过渡。

图 78: MCU 芯片典型构架



资料来源：地平线，国信证券经济研究所整理

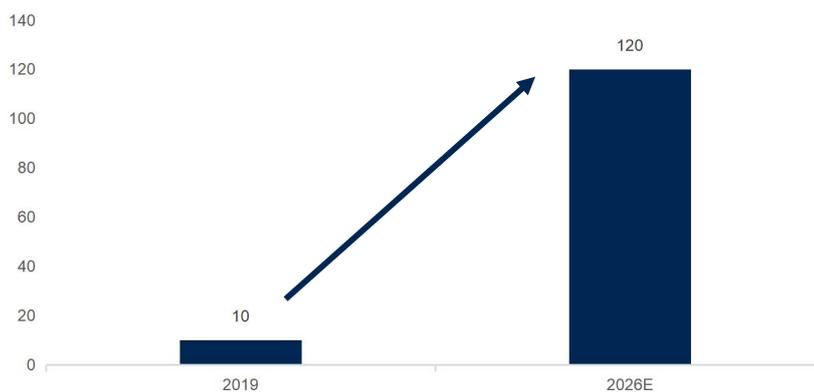
图 79: SoC 芯片典型构架



资料来源：地平线，国信证券经济研究所整理

SoC 市场高速发展，预计 2026 年市场规模达到 120 亿美元。汽车智能化落地加速了车规级 SoC 的需求，也带动了其发展，相较于车载 MCU 的平稳增长，SoC 市场呈现高速增长的趋势，根据 Global Market Insights 的数据，预计全球车规级 SoC 市场将从 2019 年的 10 亿美元达到 2026 年的 160 亿美元，CAGR 达到 35%，远超同期汽车半导体整体增速。

图 80: 2019-2026E 全球车规级 SoC 市场规模（亿美元）

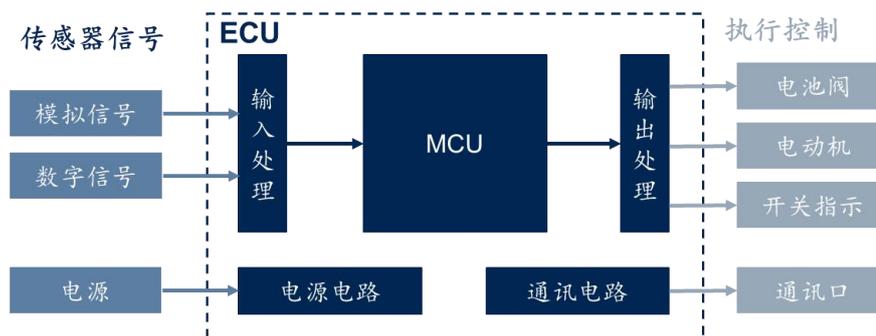


资料来源：Global Market Insights，国信证券经济研究所整理

传统 MCU：MCU 需求稳步增长，海外寡头长期垄断

MCU 是 ECU 的运算大脑。ECU (Electronic Control Unit, 电子控制单元) 是汽车 EE 架构的基本单位，每个 ECU 负责不同的功能。MCU 芯片嵌入在 ECU 中作为运算大脑。当传感器输入信号，输入处理器对信号进行模数转换、放大等处理后，传递给 MCU 进行运算处理，然后输出处理器对信号进行功率放大、数模转换等，使其驱动如电池阀、电动机、开关等被控元件工作。

图81: MCU 工作原理



资料来源: CSDN, 国信证券经济研究所整理

MCU 根据不同场景需求, 有 8 位、16 位和 32 位。8 位 MCU 主要应用于车体各子系统中较低端的控制功能, 包括车窗、座椅、空调、风扇、雨刷和车门控制等。16 位 MCU 主要应用为动力传动系统, 如引擎控制、齿轮与离合器控制和电子式涡轮系统等, 也适用于底盘机构上, 如悬吊系统、电子动力方向盘、电子刹车等。32 位 MCU 主要应用包括仪表盘控制、车身控制以及部分新兴的智能性和实时性的安全功能。在目前市场的主流 MCU 当中, 8 位和 32 位是最大的两个阵营。

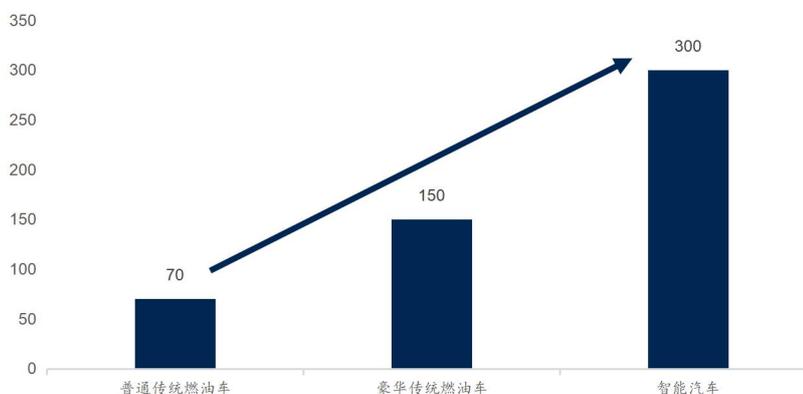
表 44: 不同位数 MCU 常见应用场景

位数	应用场景
8 位	提供低端控制功能: 风扇控制、空调控制、雨刷、天窗、车窗升降、低端仪表盘、集线盒、座椅控制、门控模块
16 位	提供中端控制功能: 用于动力系统, 如引擎控制、齿轮与离合器控制和电子式涡轮系统等; 用于底盘, 如悬吊系统、电子式动力方向盘、扭力分散控制和电子泵、电子刹车等
32 位	提供高端控制功能: 在实现 L1 和 L2 的自动驾驶中扮演重要角色

资料来源: 中汽中心, 国信证券经济研究所整理

汽车智能化不断渗透, 单车 MCU 需求增加。随着汽车 EE 架构的演变, 单车 MCU 需求量不断增加。自动驾驶浪潮带动 MCU 需求, 根据 IHS 统计, 与传统燃油车单车相比, 智能驾驶汽车所需 MCU 数量是其 4 倍以上, 且高位数 MCU 由于其高算力将扮演重要角色。

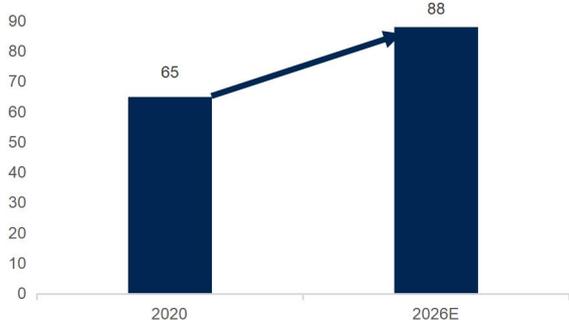
图 82: 不同类型汽车所需的 MCU 数量 (颗/车)



资料来源: IHS Markit, 国信证券经济研究所整理

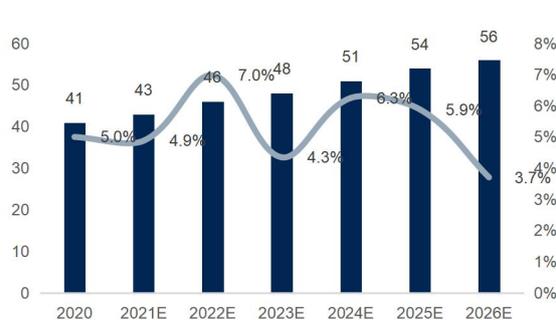
MCU 市场稳步发展，预计 2026 年全球规模达 88 亿美元。在市场规模上，全球 MCU 市场呈现稳步发展的趋势，根据 IC Insights 估计，预计全球 MCU 市场规模从 2020 年的 65 亿美元达到 2026 年的 88 亿美元，CAGR 达到 5.17%，略低于同期汽车半导体增速。同时我国 MCU 发展与世界齐头并进，预计 2026 年市场规模达到 56 亿元，CAGR 达到 5.33%，与世界同期基本持平。

图83：2020-2026E 全球 MCU 市场规模（亿美元）



资料来源：IC Insights，国信证券经济研究所整理

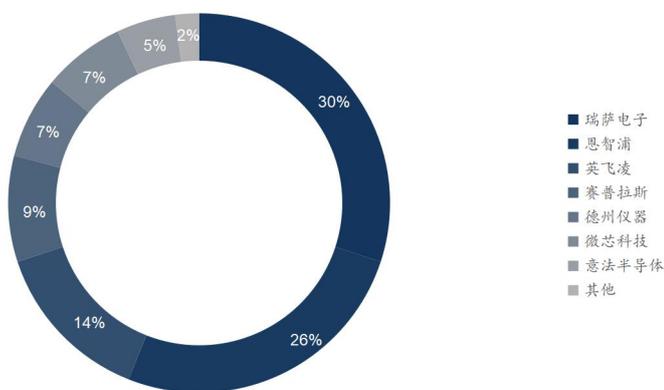
图84：2020-2026E 中国 MCU 市场规模（亿元）



资料来源：前瞻产业研究院，国信证券经济研究所整理

瑞萨、恩智浦、英飞凌等海外厂商占据主要市场份额，国产厂商渗透率较低。目前全球 MCU 市场呈现寡头竞争局面，市占率靠前的瑞萨、恩智浦、英飞凌等厂商均是国际厂商，CR7 占比达到 98%，由于车规级 MCU 研发周期较长，认证要求较高，目前国内厂商渗透率较低，仅有几家企业能够实现中低端产品的量产。

图85：2020 年全球车规级 MCU 市场格局



资料来源：IHS Markit，国信证券经济研究所整理

智能座舱 SoC：高通在中高端数字座舱呈现垄断局面

一芯多屏不断普及，高通在中高端数字座舱呈现垄断地位。伴随着数字座舱渗透率不断提升，车内数量不断增加，屏幕尺寸不断增大，智能座舱快速普及，一芯多屏逐渐成为主流，也带动智能座舱 SoC 芯片的快速放量。SoC 应用在智能汽车上主要有智能座舱以及自动驾驶两方面，相比于自动驾驶 SoC，座舱域 SoC 由于要求相对较低，成为 SoC 落地智能汽车的先行者。高通、恩智浦、德州仪器、英特尔、联发科等各家不断更新其座舱 SoC 产品，在中高端数字座舱域，目前高通呈现垄断地位。目前，高通已经赢得全球领先的 20+家汽车制造商的信息影音和

数字座舱项目，高通骁龙 820A 和 8155 两代平台成为众多车型数字座舱平台的主流选择，高通也将推出的第四代座舱 SoC SA8295，在算力、I/O 能力等方面表现出色，不断稳固其中高端数字座舱的稳固地位。

表45: 目前主流智能座舱 SoC 芯片全梳理

芯片厂商	产品名称	CPU+GPU Core	主频 GHz	CPU 算力 (DMIPS)	GPU 算力 (GFLOPS)	制程 (nm)	量产时间	典型搭载厂商
高通	602A	Krait+Adreno 320	1.5	/	/	28nm	2014 年	奥迪
	820A	Kyro200+Adreno 680	2.1	45k	320	14nm	2019 年	极氪、理想、领克、小鹏等
	SA6155P	Kyro300+Adreno 608	(2*2.1+6*1.8)	40k	430	11nm	2020 年	奇瑞捷途
	SA8155P	Kyro435+Adreno 640	(2.4+3*2.1+4*1.8)	105k	1142	7nm	2020 年	蔚来、智己、小鹏、广汽、威马等
	SA8195P	Kyro495+Adreno 899	/	150k	2100	7nm	2020 年	ADIG03.0
	SA8295P	第六代 Kyro+Adreno 660	2.5	200k	3000	5nm	2023 年	集度汽车
英伟达	Tegra Parker	Arm v8+CUDA	2.5	59k	500	16nm	2019 年	奔驰 S 级
恩智浦	i.MX 6	CPU: Freescale A9	1.2	/	/	/	/	长安、丰田、日产、PSA、福特
	i.MX 8	Arm A72+GC7000	(4*1.2+2*1.6)	29k	128	16nm	/	福特
德州仪器	TDA4VM	Arm A72+Rogue 8XE GE8430 2.0		25k	180	16nm	2021 年	上汽
瑞萨	R-CAR H3	Arm A57+GX6650	(4*1.7+4*1.2)	40k	288	16nm	2019 年	大众、广汽、路虎、雷克萨斯
	R-CAR M3	Arm A57、A53+GX6250	1.8	28k	76	28nm	/	/
华为	Kirin 710A	Arm A73+Mali G51	(4*2.2+4*1.7)	/	/	14nm	2022 年	比亚迪
	Kirin 980A	Arm A76+Mali G76	(2*2.6+2*1.92+4*1.8)	75k	641	7nm	/	/
	Kirin 990A	Arm A76+Mali G76	(2*2.86+2*2.09+4*1.86)	/	/	7nm	/	北汽
三星	Exynos Auto v8	Arm A76+Mali G76	(4*2.3+4*1.6)	63k	398	14nm	2018 年	/
	Exynos Auto v9	Arm A76+Mali G76	2.1	111k	1205	8nm	2021 年	奥迪
联发科	MT2712	Arm A72、A35+Mali T880	(2*1.6+4*1.2)	22k	133	7nm	/	大众
	MT8195	Arm A78、A55+Mali G57	(4*1.6+4*1.2)	139k	926	6nm	/	/
	MT8666	Arm A73、A53+Mali G72	2.2	/	/	6nm	/	吉利
英特尔	A3920	X86+Intel HD500	(0.8、1.6、2.08)	43k	180	14nm	/	合众汽车
	A3950	X86+Intel HD505	(0.8、1.6、2.0)	42k	187	14nm	/	特斯拉、长城、红旗、宝马等
	A3960	X86+Intel HD500	(0.8、1.9、2.4)	48k	216	14nm	/	宝马

资料来源：高通、英特尔、英伟达、华为官网，国信证券经济研究所整理

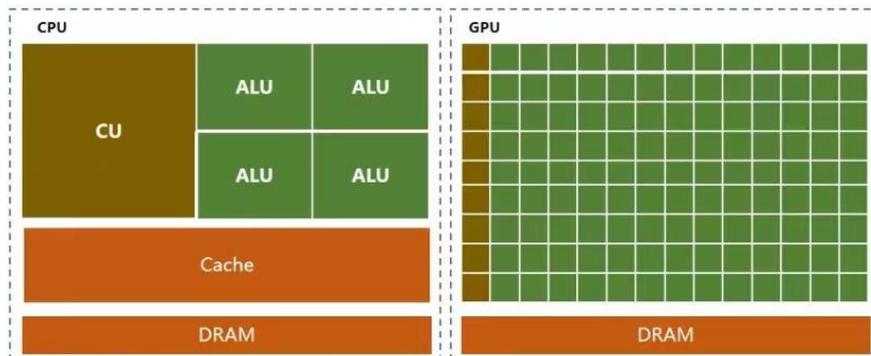
自动驾驶 SoC：CPU+XPU 是当前主流，英伟达当前领先

自动驾驶芯片是指可实现高级别自动驾驶的 SoC 芯片。随着自动驾驶汽车智能化水平越来越高，需要处理的数据体量越来越大，高精地图、传感器、激光雷达等软硬件设备对计算提出更高要求，因此在 CPU 作为通用处理器之外，增加具备 AI 能力的加速芯片成为主流，常见的 AI 加速芯片包括 GPU、ASIC、FPGA 三类。

CPU 作为通用处理器，适用于处理数量适中的复杂运算。CPU 作为通用处理器，除了满足计算要求，还能处理复杂的条件和分支以及任务之间的同步协调。CPU 芯片上需要很多空间来进行分支预测与优化，保存各种状态以降低任务切换时的延时。这也使得它更适合逻辑控制、串行运算与通用类型数据运算。以 GPU 与 CPU 进行比较为例，与 CPU 相比，GPU 采用了数量众多的计算单元和超长的流水线，但只有非常简单的控制逻辑并省去了 Cache。而 CPU 不仅被 Cache 占据了大量空

间，而且还有有复杂的控制逻辑和诸多优化电路，相比之下计算能力只是很小的一部分。

图86: GPU 和 CPU 的架构示意图



资料来源: CSDN, 国信证券经济研究所整理

常见的 AI 加速芯片包括 GPU、ASIC、FPGA 三类:

- **GPU:** 适用于处理数量庞大的相对简单的运算。GPU 拥有一个由数以千计的更小、更高效的 ALU 核心组成的大规模并行计算架构，大部分晶体管主要用于构建控制电路和 Cache，而控制电路也相对简单，GPU 的计算速度有拥有更强大的处理浮点运算的能力，更擅长处理多重任务，比如图形计算。
- **FPGA:** 现场可编程门阵列，它是在 PAL、GAL、CPLD 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。
- **ASIC:** 一种为专门目的而设计的集成电路。是指应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。ASIC 的特点是面向特定用户的需求，在批量生产时与通用集成电路相比具有体积更小、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。

表46: CPU、GPU、FPGA、ASIC 之间的区别

	CPU	GPU	FPGA	ASIC
定义	中央处理器	图像处理器	现场可编程逻辑门阵列	专用处理器
算力与能效	算力最低，能效比差	算力高，能效比中	算力中，能效比优	算力高，能效比优
上市速度	快，产品成熟	快，产品成熟	快	慢，开发周期长
成本	用于数据处理时，单价成本最高	用于数据处理时，单价成本高	较低的试错成本	成本高，可复制，量产规模生产后成本可有效降低
性能	最通用（控制指令+运算）	数据处理通用性强	数据处理能力较强，专用	AI 算力最强，最专用
适用场景	广泛应用于各种领域	广泛应用于各种图形处理、数值模拟、机器学习算法领域	适用成本要求较低的场景，如军事、实验室、科研等	主要满足场景单一的消费电子等高算力需求领域

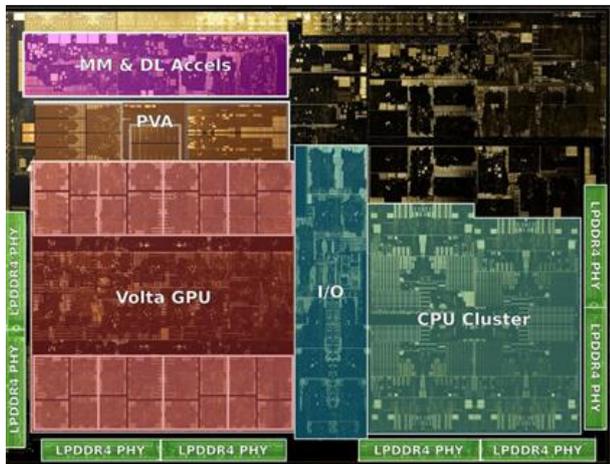
资料来源: 亿欧智库、国信证券经济研究所整理

“CPU+XPU”是当前自动驾驶 SoC 芯片设计的主流趋势。根据 XPU 选择不同，又可以分为三种技术路线：CPU+GPU+ASIC、CPU+ASIC 以及 CPU+FPGA 三类。

(1) **“CPU+GPU+ASIC”**，主要代表英伟达、特斯拉 FSD 以及高通 Ride。英伟达 Xavier 和特斯拉 FSD 采用“CPU+GPU+ASIC”的设计路线，英伟达 Xavier 以 GPU 为计算核心，主要有 4 个模块：CPU、GPU、以及两个 ASIC 芯片 Deep Learning

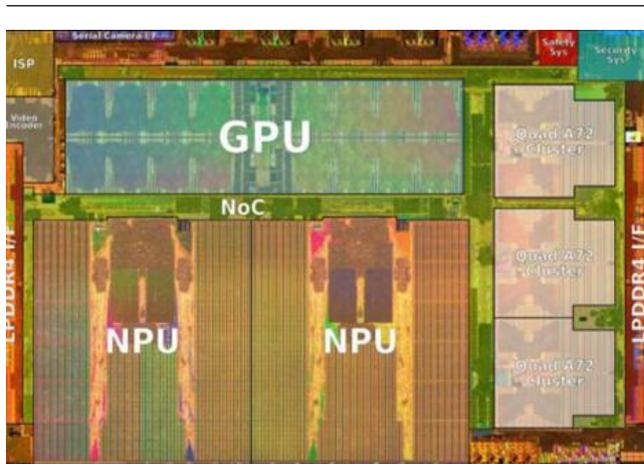
Accelerator (DLA) 和 Programmable Vision Accelerator (PVA)；特斯拉 FSD 芯片以 NPU (ASIC) 为计算核心，有三个主要模块：CPU、GPU 和 Neural Processing Unit (NPU)。

图87: 英伟达 Xavier 芯片架构



资料来源：英伟达，国信证券经济研究所整理

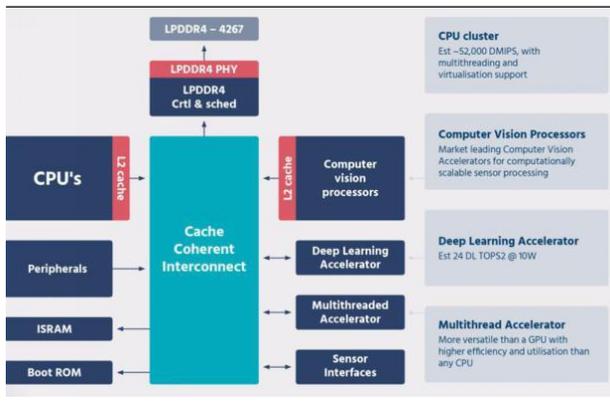
图88: 特斯拉 FSD 芯片架构



资料来源：特斯拉，国信证券经济研究所整理

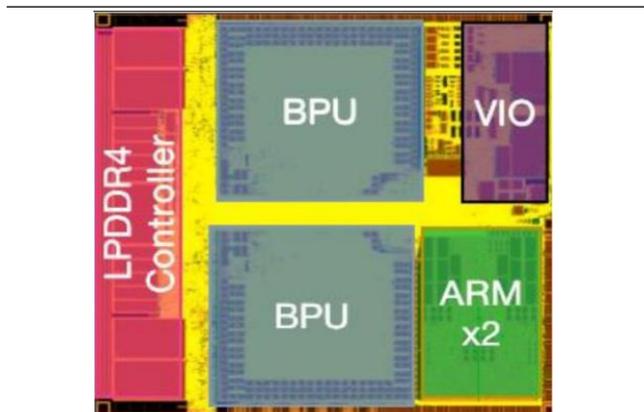
(2) “CPU+ASIC”，主要代表 Mobileye EyeQ5 系列和地平线征程系列。Mobileye EyeQ5 和地平线征程系列采用“CPU+ASIC”架构，EyeQ5 主要有 4 个模块：CPU、Computer Vision Processors (CVP)、Deep Learning Accelerator (DLA) 和 Multithreaded Accelerator (MA)，其中 CVP 是针对传统计算机视觉算法设计的 ASIC；地平线自主设计研发了 AI 专用的 ASIC 芯片 Brain Processing Unit (BPU)。

图89: Mobileye Eye Q5 电路系统块图



资料来源：Mobileye，国信证券经济研究所整理

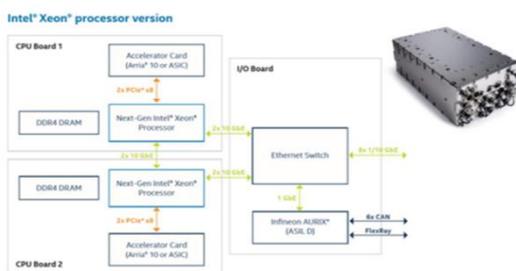
图90: 地平线征程 2 芯片架构



资料来源：地平线，国信证券经济研究所整理

(3) CPU+FPGA，主要代表 Waymo。与其余厂商不同，Waymo 采用“CPU+FPGA”的架构，其计算平台采用英特尔 Xeon12 核以上 CPU，搭配 Altera 的 Arria 系列 FPGA。

图91: Waymo 的 CPU+FPGA 架构示意图



资料来源: Waymo, 国信证券经济研究所整理

目前各家发布的最新芯片平台均可以支持 L3 或 L4 级的算力需求, 英伟达当前处于领先地位。英伟达单颗 Orin 的算力可以达到 254TOPS, 而 2022 年落地的车型中搭载 4 颗 Orin 的蔚来 ET7 和威马 M7 其巅峰算力将超过 1000TOPS, 高通骁龙 Ride 平台的巅峰算力预计在 700-760TOPS, Mobileye 也推出了面向高阶自动驾驶的 EyeQ6 Ultra, 算力达到 176 TOPS, 当前各家最先进的算力平台均可以支持 L3 或 L4 级的算力需求。从相关量产车型来看, 英伟达 Orin 成为当下的主流选择, Mobileye 正在逐渐掉队。

表47: 目前主流自动驾驶 SoC 芯片全梳理

技术路线	厂商	SoC 名称	最大算力 (TOPS)	功耗 (W)	算力/功耗	制程 (nm)	适用等级	量产时间	典型搭载厂商
CPU+GPU+ASIC	英伟达	Atlan	1000TOPS	-	-	-	L3-L5	2025	-
		Orin X	254TOPS	65W	3.1	7nm FinFET	L3-L5	2022	小鹏、威马、蔚来、理想等
		Xavier	30TOPS	30W	1	12nm FinFET	L3	2020	小鹏, 上汽等
	特斯拉	FSD 2.0	-	-	-	7nm	L4/L5	2022	特斯拉
		FSD 1.0	144TOPS	250W	0.6	14nm FinFET	L2-3	2019	特斯拉
	高通	Ride	700TOPS	130W	5.4	5nm	L1-L5	2022	长城、通用、宝马
	德州仪器	TDA4VM	8TOPS	5-20W	0.4-1.6	-	L2/L3	2020	百度 Apollo 等
CPU+ASIC	Mobileye	EyeQ6 Ultra	176TOPS	-	-	5nm	L4/L5	2025	-
		EyeQ6 High	34TOPS	-	-	7nm	L2	2024	-
		EyeQ6 Light	5TOPS	-	-	7nm	L1/L2	2023	-
		EyeQ5	24TOPS	10W	2.4	7nm FinFET	L4/L5	2021	吉利、极氪、宝马
		EyeQ4	2.5TOPS	3W	0.8	28nm FD-SOI	L2/L3	2018	蔚来、广汽、广汽、小鹏、哪吒、威马
		EyeQ3	0.3TOPS	2.5W	0.1	40nm CMOS	L1/L2	2014	特斯拉、奥迪、凯迪拉克等
	华为	MDC810	400+TOPS	-	-	-	L4/L5	2021	-
MDC610		200+TOPS	-	-	-	L4/L4+	2020	北汽极狐、赛力斯、长城、长安、广汽等	
MDC210		48TOPS	-	-	-	L2+	2020	-	
MDC300F		64TOPS	-	-	-	L2/L3	2019	-	
地平线		征程 J6	400	-	-	-	L4/L4+	2024	-
		征程 J5	96	20	4.8	-	L3/L4	2022	长安、奇瑞、上汽、广汽、理想等
		征程 J3	5	2.5	2	16	L2/L3	2021	-
	征程 J2	4	2	2	28	L1/L2	2020	-	
CPU+FPGA	Waymo	Arria FPGA	>250	-	-	20	L4/L4+	-	Waymo Robotaxi

资料来源: 高通、英特尔、英伟达、华为、特斯拉官网, 国信证券经济研究所整理

评价框架：芯片性能，算力、能耗、效率缺一不可

评估芯片的性能，一般采用 PPA 即 Power（功耗），Performance（性能），Area（面积）三大指标来衡量性能。而智能驾驶领域，峰值算力成为衡量自动驾驶芯片的最主要指标，常见的指标有 TOPS、FLOPS、DMIPS 三种：

- **TOPS (Tera Operation Per Second)**：每秒完成操作的数量，乘操作算一个 OP，加操作算一个 OP。TOPS 的物理计算单位是积累加运算 (Multiply Accumulate, MAC)，1 个 MAC 等于 2 个 OP。TOPS 表示每秒进行 1 万亿次操作。
- **FLOPS (Floating-Point Operations Per Second)**：每秒可执行的浮点运算次数的字母缩写，它用于衡量计算机浮点运算处理能力。浮点运算，包括了所有涉及小数的运算。MFLOPS (MegaFLOPS) 等于每秒 1 百万次的浮点运算；GFLOPS (GigaFLOPS) 等于每秒 10 亿 ($=10^9$) 次的浮点运算；TFLOPS (teraFLOPS) 等于每秒 1 万亿次的浮点运算。
- **DMIPS (Dhrystone Million Instructions Per Second)**：是测量处理器运算能力的最常见基准程序之一，常用于处理器的整型运算性能的测量。MIPS：每秒执行百万条指令，用来计算同一秒内系统的处理能力，即每秒执行了多少百万条指令。不同的 CPU 指令集不同、硬件加速器不同、CPU 架构不同，导致不能简单的用核心数和 CPU 主频来评估性能，Dhrystone 作为统一的跑分算法，DMIPS 比 MIPS 的数值更具有意义。

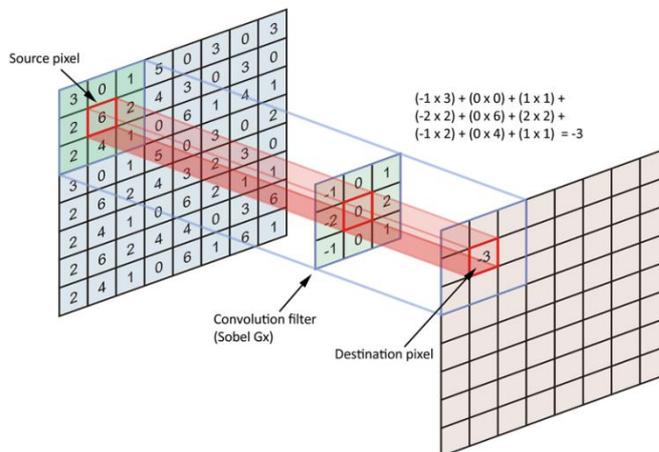
(1) 智能座舱 SoC:

DMIPS 衡量 CPU 算力的主要单位是 DMIPS，基本上 SoC 高于 20,000 DMIPS 才能流畅地运行智能座舱的主要功能，如 AR 导航或云导航、360 全景、播放流媒体、AR-HUD、多操作系统虚拟机等。GPU 方面，100 GFLOPS 的算力就可以支持 3 个 720P 的屏幕。一般来说，CPU 高于 20,000 DMIPS，GPU 高于 100 GFLOPS 的 SoC 就是智能座舱 SoC 芯片。

(2) 自动驾驶 SoC:

TOPS 峰值算力体现的只是芯片的理论上限，不能代表其全部性能。自动驾驶需要的计算机视觉算法是基于卷积神经网络实现的，而卷积神经网络的本质是累积累加算法 (Multiply Accumulate, MAC)，实现此运算操作的硬件电路单元，被称为“乘数累加器”。这种运算的操作，是将乘法的乘积结果 $b*c$ 和累加器 a 的值相加，再存入累加器 a 的操作。 $TOPS = MAC \text{ 矩阵行} * MAC \text{ 矩阵列} * 2 * \text{主频}$ ，TOPS 峰值算力反映的都是 GPU 理论上的乘积累加矩阵运算算力，而非在实际 AI 应用场景中的处理能力，具有很大的局限性。以英伟达的芯片为例，Orin、Xavier 的利用率基本上是 30% 左右，而采用 ASIC 路线，ASIC 芯片针对不同的神经网络模型去优化，基本上可以做到 60%~80% 之间。

图92: 卷积神经网络的计算原理



资料来源: CSDN, 国信证券经济研究所整理

地平线提出最真实的 AI 效能由理论峰值计算效能、有效利用率、AI 算法效率组成。地平线在 2020 全球人工智能和机器人峰会提出了芯片 AI 性能评估方式 MAPS (Mean Accuracy-guaranteed Precessing Speed), 地平线认为最真实的 AI 效能实际上由三要素组成, 分别为理论峰值计算效能、有效利用率、AI 算法效率。

(1) 理论峰值计算效能, TOPS/W、TOPS/\$, 即传统理论峰值衡量的方法; (2) 芯片有效利用率, 把算法部署在芯片上, 根据架构特点, 动用编译器 etc 系统化解解决一个极其复杂的带约束的离散优化问题, 而得到一个算法在芯片上运行的实际利用率, 这是软硬件计算架构的优化目标; (3) AI 算法效率, 每消耗一个 TOPS 算力, 能带来多少实际的 AI 算法的性能, 它体现的是 AI 算法效率的持续提升。

图93: 地平线定义的芯片 AI 效能三要素



资料来源: 地平线, 国信证券经济研究所整理

汽车软件研究框架

操作系统 OS：QNX+Linux 或 QNX+Android 是当前的主流趋势

在智能网联时代，车机操作系统 OS（operating system）按下游应用划分，可以分为车控 OS 和座舱 OS 两大类：（1）车控 OS：主要负责实现车辆底盘控制、动力系统和自动驾驶，与汽车的行驶决策直接相关；（2）座舱 OS：主要为车载信息娱乐服务以及车内人机交互提供控制平台，是汽车实现座舱智能化与多源信息融合的运行环境，不直接参与汽车的行驶决策。

对于车控 OS 而言，可分为嵌入式实时操作系统 RTOS 和基于 POSIX 标准的操作系统。（1）嵌入式实时操作系统 RTOS：传统车控 ECU 中主控芯片 MCU 装载运行的嵌入式 OS，面向经典车辆控制领域，如动力系统、底盘系统和车身系统等。要求实时程序必须保证在严格的时间限制内响应，特点包括速度快，吞吐量大，代码精简，代码规模小等；（2）基于 POSIX 标准的操作系统：主要面向智能驾驶系统，主要满足其高通信和低延时的要求。

汽车电控 ECU 必须是高稳定性的嵌入式实时性操作系统，主流的嵌入式实时操作系统都兼容 OSEK/VDX 和 Classic AUTOSAR 这两类汽车电子软件标准。嵌入式实时操作系统具有高可靠性、实时性、交互性以及多路性的优势，系统响应极高，通常在毫秒或者微秒级别，满足了高实时性的要求。目前，主流的嵌入式实时操作系统都兼容 OSEK/VDX 和 Classic AUTOSAR 这两类汽车电子软件标准。

欧洲在上世纪 90 年代提出了汽车电子上分布式实时控制系统的开放式系统标准 OSEK/VDX。但随着技术、产品、客户需求等的升级，OSEK 标准逐渐不能支持新的硬件平台。2003 年，宝马、博世、大陆、戴姆勒、通用、福特、标志雪铁龙、丰田、大众 9 家企业作为核心成员，成立 AUTOSAR 组织，致力于建立一个标准化平台，独立于硬件的分层软件架构，制定各种车辆应用接口规范和集成标准，AUTOSAR 是基于 OSEK/VDX 发展出来的，但涉及的范围更广。

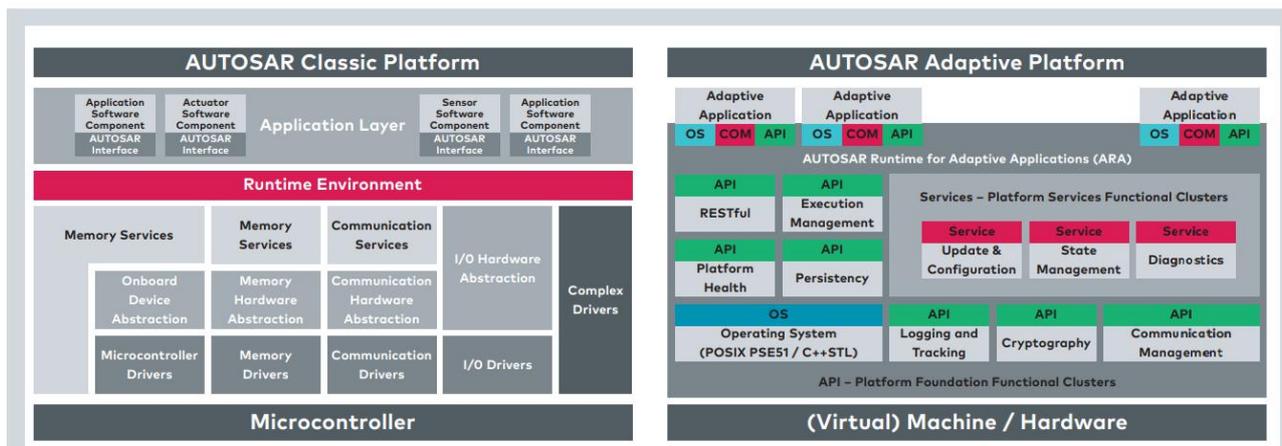
图 94：AUTOSAR 制定者及合作厂商（截至 2022.1）



资料来源：AUTOSAR，国信证券经济研究所整理

AUTOSAR 主要包括 Classic Platform AUTOSAR (CP) 和 Adaptive Platform AUTOSAR (AP) 两个平台规范：CP AUTOSAR 是基于 OSEK/VDX 标准的，广泛应用于传统嵌入式 ECU 中，如发动机控制器、电机控制器、整车控制器、BMS 控制器等；AP AUTOSAR 基于 POSIX，主要应用于自动驾驶等需求高计算能力、高带宽通信、分布式部署的下一代汽车应用领域中。

图95: CP AUTOSAR 和 AP AUTOSAR



资料来源: AUTOSAR, 国信证券经济研究所整理

狭义 OS 仅包含内核（如 QNX、Linux），广义 OS 从下至上包括从 BSP、操作系统内核、中间件及库组件等硬件和上层应用之间的所有程序。

QNX、Linux 是目前常见内核 OS，VxWorks 也有一定应用。随着 WinCE 停止更新逐渐退出，OS 内核的格局较为稳定，主要玩家为 QNX（Blackberry）、Linux（开源基金会）、VxWorks（风河）。其中 Linux 属于非实时操作系统，而 QNX 和 VxWorks 属于实时操作系统，WinCE 是微软开发的嵌入式操作系统，正在逐步退出汽车操作系统市场。

(1) Blackberry QNX:

QNX 是遵从 POSIX 规范的类 UNIX 实时操作系统，是全球第一款达到 ASIL D 级别的车载操作系统，优点是稳定性和安全性非常高，QNX 依靠其微内核架构实现性能和可靠性的平衡，主要特点有内核小、代码少以及故障影响小，驱动等错误不会导致整个系统都崩溃，通用、沃尔沃、奥迪、上汽等均用 QNX 作为自动驾驶 OS。但缺点是 QNX 作为非开源系统，兼容性较差，开发难度大，在娱乐系统开发中应用不多，主要是开放性不够，应用生态缺乏。

(2) Linux (Android) :

Linux 是基于 POSIX 和 UNIX 的开源操作系统，可适配更多的应用场景，具有很强的定制开发灵活性，主要用于支持更多应用和接口的信息娱乐系统场景。Android 是谷歌基于 Linux 内核开发的开源操作系统，主要应用在车载信息娱乐系统、导航领域，在国内车载信息娱乐系统领域占据主流地位。由于其完全开源，基于 Linux 开发的难度也极大，而且开发周期比较长，这就限制了车机系统进入门槛。

(3) VxWorks:

VxWorks 由 Wind River 设计开发的嵌入式实时操作系统，以其良好的可靠性和卓越的实时性被广泛地应用在通信、军事、航空、航天等领域，VxWorks 由 400 多个相对独立的目标模块组成，但与 Linux 相比，VxWorks 需要收取高昂的授权费，开发定制成本较高，这限制了其市场占有率的增长。

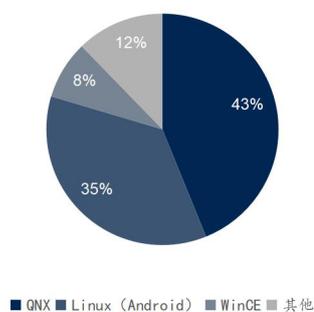
表48: 常见 OS 内核对比

OS 内核	QNX	Linux	VxWorks
开放性	半封闭	源代码开放	源代码开放
是否可剪裁	否	是	是
软件生态丰富程度	较丰富。商业公司提供或从开源软件移植	非常丰富，主要来自开源软件社区	在自动驾驶软件影响较小
实时性	微秒级	毫秒级（打开 CONFIG_PREEMPT_RT 后为微秒级）	微秒级
功能安全等级	ASIL-D	无	ASIL-D
使用费用	昂贵	免费	昂贵
易用性	容易	最难	比较难
可扩展性	低	高	中
代表用户	蔚来、理想、小鹏等	Waymo、特斯拉、华为、Mobileye、丰田	奥迪、现代、Mobileye

资料来源：九章智驾，国信证券经济研究所整理

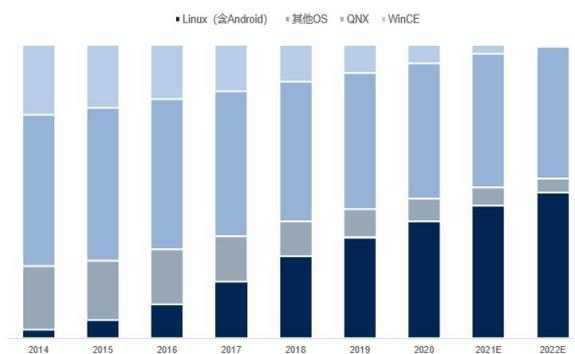
QNX、Linux 是当前车机 OS 内核的首选。根据赛迪顾问的统计，QNX 由于其典型的实时性、低延时、高稳定等特征，2021 年 QNX 市占率达到 43%，是当前市占份额最高的车机 OS，已应用在包括宝马、奥迪、奔驰等超过 40 个品牌，全球使用了 QNX 的汽车超 1.75 亿辆；Linux（含 Android）Linux 版本丰富，经过改造 Linux 内核也将具备实时性功能，21 年市占率 35%；WinCE 当前市占率 8%，呈现快速下滑态势，未来可能将逐步在市场消失；VxWorks 同时具备实时性及开源特点，但其业务重点一直在复杂工业领域，对于汽车产业投入较少，售价及维修费用极其昂贵，目前仅在部分高端品牌车型上有所尝试。

图96: 2021 年全球智能座舱操作系统竞争格局



资料来源：赛迪顾问，国信证券经济研究所整理

图97: 全球车载操作系统市场格局变化



资料来源：ICVTank，国信证券经济研究所整理

随着智能座舱和智能驾驶的进步，OEM 厂商更加关注车机 OS。然而，无论是传统 OEM 巨头或是造车新势力，从零开始开发操作系统都绝非易事，根据对基础系统的改造程度不同，一般可以分为三类：

(1) 定制型车机 OS：在基础 OS 的基础上进行深度开发和定制（包括系统内核修改），与 Tier1 和主机厂一起实现座舱系统平台或自动驾驶系统平台。例如百度车载 OS、大众 VW OS、特斯拉 Version；

(2) ROM 型车机 OS：基于 Android 或 Linux 定制开发，无需更改系统内核。海外主机厂多选择基于 Linux 开发 ROM 型车机 OS，国内自主品牌则主要选择应用生态更好的 Android。例如奔驰、宝马、蔚来、小鹏等整车厂的车机系统都属于 ROM 型车机 OS；

(3) **超级汽车 APP**: 并非完整的车机 OS, 而是手机映射系统, 是指集地图、音乐、语音、社交等功能于一体的多功能 APP, 满足车主需求。例如百度 CarLife、华为 HiCar、苹果 CarPlay、谷歌 AndroidAuto 等。

图 98: 不同类型的定制车机系统



资料来源: 头豹研究院, 国信证券经济研究所整理

QNX+Linux 或者是 QNX+Android 是当前智能驾驶 OS+智能座舱 OS 的主要选择。当前 QNX、Linux (包含 Android) 仍是 OS 底层内核的主要选择, 无论是智能驾驶 OS 还是智能座舱 OS 基本都会采用 QNX+Linux 或者是 QNX+Android 的组合方式。以 QNX 为代表的实时操作系统主要用在驾驶 OS 上, 由于应用生态上较为薄弱, 当前座舱 OS 主流是 Android 以及基于 Linux 系统的定制型及 ROM 型系统。

表 49: 各家 OEM 所采用的车机 OS 以及底层内核

分类	OEM	系统名称	底层 OS
传统车企	奥迪	MMI	QNX+Android
	奔驰	MB	Linux
	宝马	iDrive	QNX+Android
	沃尔沃	VolvoCars	QNX+Android
	丰田	G-BOOK	Linux
	大众	VW	Linux
	福特	SYNC	QNX+Android
	比亚迪	DiLink	QNX+Android
	吉利	GKUI	QNX+Android
	荣威	维纳斯	AliOS(基于 Linux)
新势力	特斯拉	Version	Linux+QNX
	蔚来	NOMI	QNX+Android
	小鹏	Xmart	QNX+Android
	理想	Li	Linux+Android
	智己	IM	AliOS(基于 Linux)
	赛力斯	鸿蒙 OS	鸿蒙 OS(基于 Linux)
	极狐	鸿蒙 OS	鸿蒙 OS(基于 Linux)

资料来源: 蔚来、小鹏、理想等公司官网, 国信证券经济研究所整理

板级支持包 BSP: 主板硬件与操作系统之间的桥梁

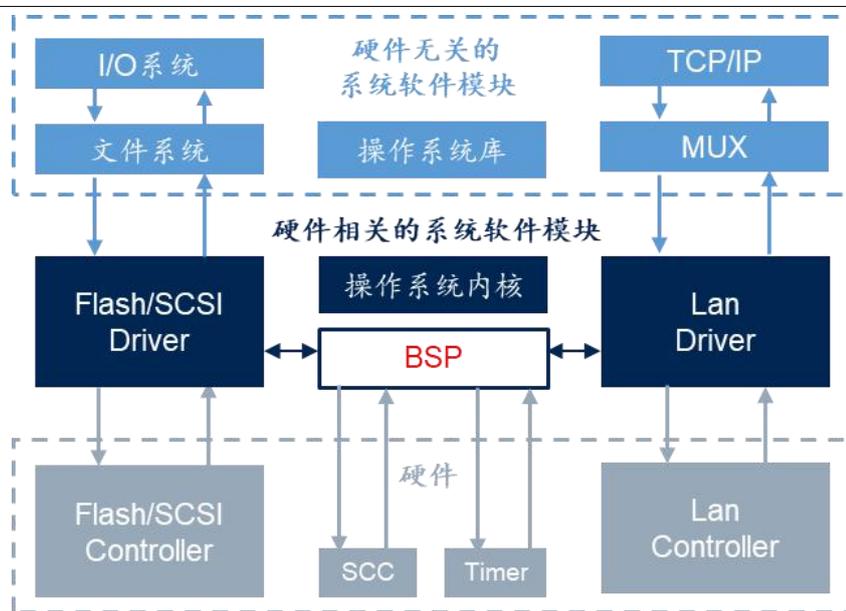
BSP (Board Support Package, 板级支持包) 是构建嵌入式操作系统所需的引导

程序、内核、根文件系统和工具链提供的完整的软件资源包。对于具体的硬件平台，与硬件相关的代码都被封装在 BSP 中，由 BSP 向上提供虚拟的硬件平台，BSP 与操作系统通过定义好的接口进行交互。

BSP 介于主板硬件和操作系统之间的一层，也属于操作系统的一部分，主要目的是为了支持操作系统，使之能够更好的运行于硬件主板，为 OS 和硬件设备的交互操作搭建了一个桥梁。由于所属的中介位置，BSP 的功能分为两部分，一方面为 OS 及上层应用程序提供一个与硬件无关的软件平台，另一方面 OS 可以通过 BSP 来完成对指定硬件的配置和管理。

不同的操作系统对应于不同定义形式的 BSP。例如，VxWorks 的 BSP 和 Linux 的 BSP 相对于某一 CPU 来说尽管实现的功能一样，但写法和接口定义是完全不同的，所以写 BSP 一定要按照该系统 BSP 的定义形式来写，这样才能与上层 OS 保持正确的接口，良好的支持上层 OS。

图 99: BSP 在软件系统中的位置



资料来源：CSDN，国信证券经济研究所整理

Hypervisor：虚拟化平台，跨平台应用的重要途径

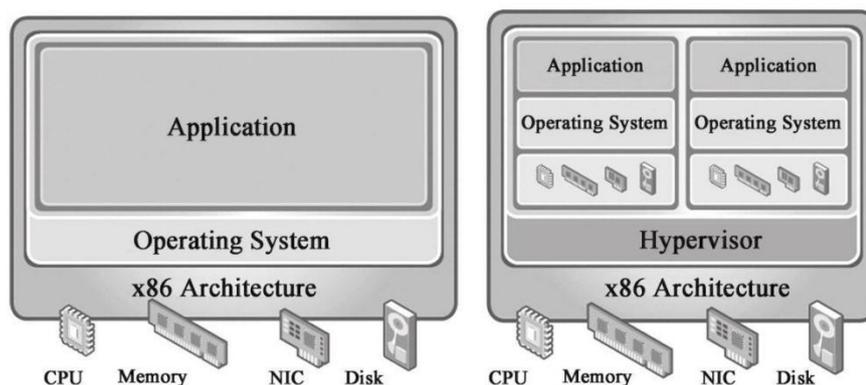
提供平台虚拟化的层称为 Hypervisor。虚拟化是通过某种方式隐藏底层物理硬件的过程，从而实现多个操作系统可以透明地使用和共享硬件。Hypervisor 是实现跨平台应用、提高硬件利用率的重要途径。车载领域的 Hypervisor 负责管理并虚拟化异构硬件资源，以提供给运行在 Hypervisor 之上的多个操作系统内核。Hypervisor 支持异构硬件单元（包括控制单元、计算单元、AI 单元）的隔离，在同一个异构硬件平台上支持不同的操作系统内核，从而支持不同种类的应用。

Hypervisor 虚拟机管理助力多系统融合。Hypervisor（虚拟机）是运行在物理服务器和操作系统之间的中间软件层，可用于同步支持 Android、Linux、QNX 多系统。根据 ISO26262 标准规定，仪表盘的关键数据和代码与娱乐信息系统属于不同等级，主流市场中，QNX 或 Linux 系统用来驱动仪表系统，信息娱乐系统则以 Android 为主，目前技术只能将两个系统分开装置在各自芯片中。然而，虚拟机

可以同时运作符合车规安全标准的 QNX 与 Linux，因此虚拟机管理的概念被引入智能座舱操作系统。

随着液晶仪表以及其他安全功能的普及，供应商不需要装载多个硬件来实现不同的功能需求，只需要在车载主芯片上进行虚拟化的软件配置，形成多个虚拟机，在每个虚拟机上运行相应的软件即可满足需求。引入虚拟机管理最重要的意义在于虚拟机可以提供一个同时运行两个及以上独立操作系统的环境，比如在智能座舱中同时运行 Android（座舱 OS）和 QNX（车控 OS），为智能网联汽车的应用提供高性价比且符合安全要求的平台。

图100: Hypervisor（虚拟机）的工作原理



资料来源：简书，国信证券经济研究所整理

QNX Hypervisor 是当前市场的主流。目前常见的 Hypervisor 包括黑莓的 QNX、英特尔与 Linux 主导的 ACRN、Mobica 为代表的 XEN、松下收购的 Open Synergy 的 COQOS、德国大陆汽车的 L4RE，法国 VOSyS 的 VOSySmonitor 等，其中最主流的是黑莓的 QNX 与英特尔与 Linux 主导的 ACRN，其中黑莓的 QNX 是目前唯一被大规模商用且安全等级达到 ASIL D 级的虚拟化操作系统。

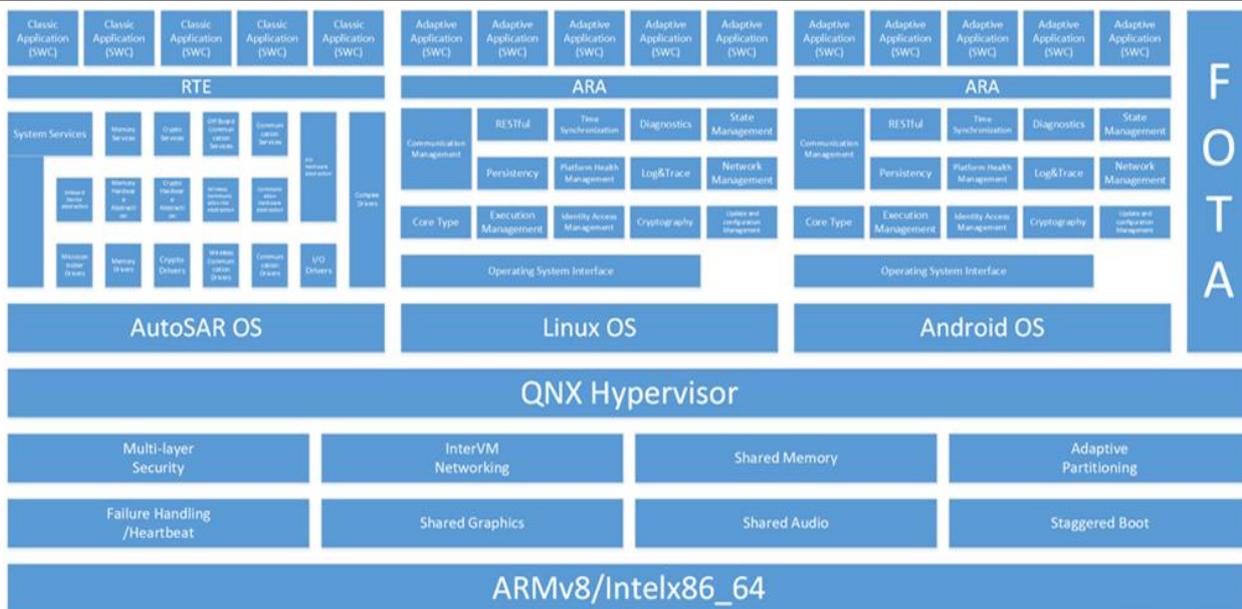
表50: 主要 Hypervisor 介绍

	QNX	ACRN	XEN (Mobica)	COQOS	L4RE	VOSySmonitor
入门费 (万美元)	21	免费	免费	15 (估计)	免费	免费
代码行数	20K	25K	290K	30K	31K	100K (估计)
主导企业 (机构)	黑莓	英特尔、Linux 基金会	Linux 基金会、Mobica、ARM	松下	德国大陆汽车旗下 Elektrobit	法国 VOSyS
支持 SoC 平台	英特尔 A3900 系列、NXP i.MX8、高通 820A、瑞萨 R-Car 3	英特尔 E3900、A3900 系列	联发科 MT2712	高通 s8155、NXP i.MX8、瑞萨 R-Car 3	瑞萨 R-Car 3	MT2712、瑞萨 R-Car 3、Xilinx Zynq UltraScale +MPSoC、瑞萨 RZ/N1D
安全等级	ASIL D	-	-	ASIL B	-	ASIL C
量产实例	斯巴鲁力狮、傲虎、路虎卫士，广汽 AionLX	奇瑞星途、长城 F7、红旗	下一代丰田低端车型 (估计)	下一代日产顶级车型 (估计)	大众最新迈腾 (估计)	-
Tier 1 支持	伟世通、电装、博世、马瑞利	三星哈曼、东软、LG	-	松下、佛吉亚电子 (歌乐与 Parrot)	德国大陆汽车	-
中国区支持	中科创达、光庭信息、南京诚迈	英特尔中国	-	上海智允信息	-	-

资料来源：佐思汽研，国信证券经济研究所整理

中科创达、武汉光庭信息、南京诚迈科技是黑莓 VAI 项目的系统集成商类的合作伙伴。2017 年 3 月，黑莓公司宣布正式成立 VAI (Value-Added Integrator) 项目，拓展嵌入式软件市场，成为黑莓公司 VAI 项目合作伙伴，将基于黑莓的嵌入式技术提供集成服务、安全关键型解决方案，包括黑莓 QNX Neutrino 实时操作系统、QNX Momentics 工具套件、QNX 管理程序、应用程序和媒体 QNX SDK、QNX 无线架构、QNX 认证操作系统、QNX 医用操作系统、Certicom 工具包、Certicom 管理的公钥基础设施以及 Certicom 资产管理系统。目前，黑莓 VAI 项目的中国区系统集成商类的合作伙伴主要包括中科创达、武汉光庭信息、南京诚迈科技等。

图 101: 基于 QNX Hypervisor 虚拟技术运行的多操作系统架构



资料来源: QNX, 国信证券经济研究所整理

长期看，智能座舱与自动驾驶两大系统终将走向融合。由于目前车控域与座舱域两者的发展目标平行，同时，由于 QNX、Linux 与 Andriod 三大系统各有优劣，因此，通过虚拟机管理多个独立系统是当下实现“多快好省”的智能网联汽车的发展路径。但从长期看，想要真正实现高级自动驾驶的必要前提就是车控与座舱的融合，即智能座舱与自动驾驶系统的容二虎，这样将会从整体层面给未来留下更系统的升级空间。当然两大系统的融合也面临着系统叠加导致的片负载加重，对计算性能形成挑战。

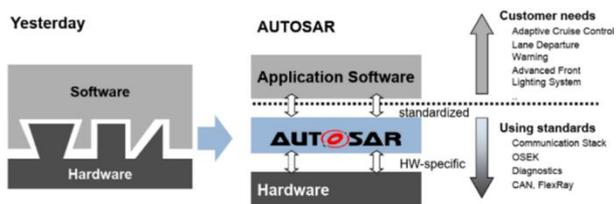
中间件层：助力软硬件解耦分离，提升应用层开发效率

中间件隔离应用层与底层硬件，助力软硬件解耦。中间件位于操作系统、网络和数据库之上，应用软件的下层，作用是为处于自己上层的应用软件提供运行与开发的环境，帮助用户灵活、高效地开发和集成复杂的应用软件，实现软硬件的解耦分离。车企致力于定义更统一的中间件通信和服务，以降低开发成本和系统复杂度，操作软件（OS）和中间件是促进软硬件分离的底层软件组件。即使车企选择自研操作系统，但同时也会依赖于供应商提供标准中间件产品，尤其基础软件平台的架构极其重要，可大幅提升应用层软件的开发效率。

所有中间件方案中，最著名的是 CP AUTOSAR 的 RTE。AUTOSAR 的两个平台 AUTOSAR Classic 和 AUTOSAR Adaptive 为不同的车辆用例提供了分层的软件体系结构方

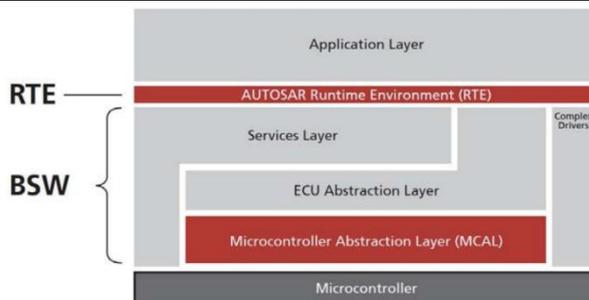
法，AUTOSAR 以中间件 RTE（Runtime Environment）为界，隔离上层的应用层（Application Layer）与下层的基础软件（Basic Software）。RTE 使得硬件层完全独立于应用层，OEM 厂商可以专注于开发特定的、有竞争力的应用软件，同时使得厂商不关心的基础软件层被标准化。

图 102: 中间件层的位置与作用



资料来源：AUTOSAR，国信证券经济研究所整理

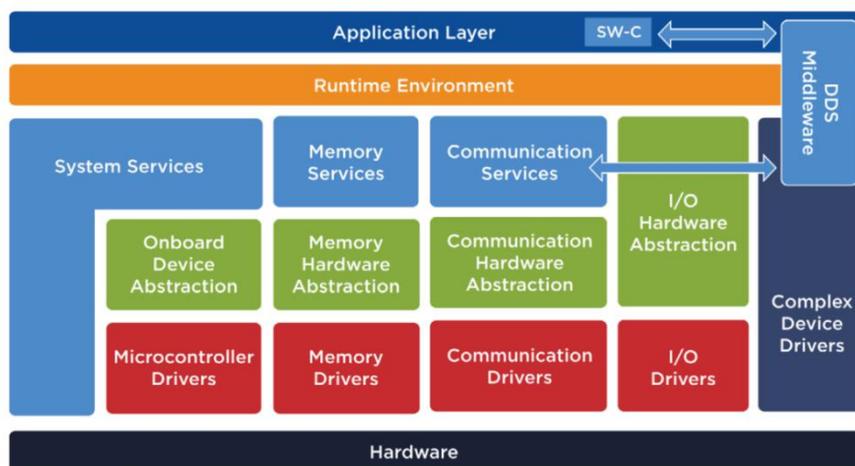
图 103: RTE 实现基础软件与应用软件的分离



资料来源：Vector，国信证券经济研究所整理

分布式通信（Data Distribution Service, DDS）通过实现低延迟数据连接、极高的可靠性和可扩展的灵活架构，使数据成为未来移动数字平台的中心。DDS 提供的用于以数据为中心的连接的中件协议、连接框架和 API 标准。它集成了分布式系统的组件，提供了低延迟的数据连接、极高的可靠性和可扩展的体系结构，满足业务和任务关键型应用程序的需求。AUTOSAR Adaptive 平台 2017 年推出，2018 年便集成了 DDS 标准，将 DDS 与 AUTOSAR 结合使用，不仅可以保证和扩展 AUTOSAR 系统内部互操作性的功能，而且还可以将其开放给来自不同生态系统等行业的外部系统。

图 104: 集成 DDS 的 AUTOSAR 平台



资料来源：eet-China，国信证券经济研究所整理

国产 AUTOSAR 供应商不断崛起。AUTOSAR 标准发展了十多年，已经形成非常复杂的技术体系。各工具厂商开发了相应的支撑软件，以助力主机厂加速实现 AUTOSAR 的落地。目前全球知名的 AUTOSAR 解决方案厂商包括 ETAS（博世）、EB（大陆）、Mentor Graphics（西门子）、Wind River、Vector、KPIT 等，国内主要是东软睿驰、经纬恒润等。

表51：中国供应商 AUTOSAR 业务进展

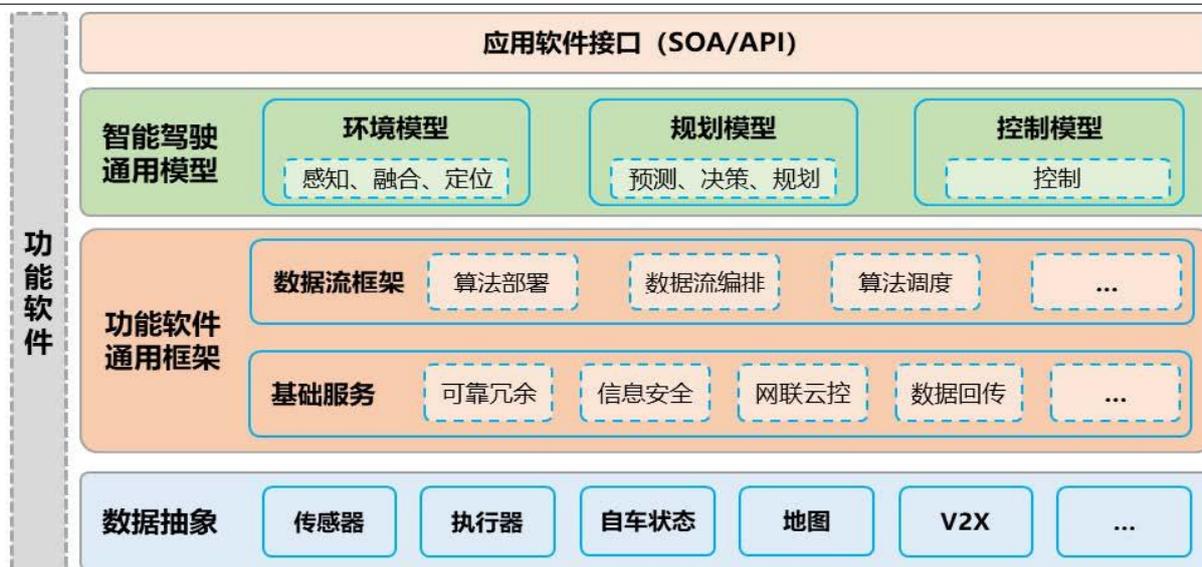
厂商	加入 AUTOSAR 时间	AUTOSAR 业务进展	合作伙伴（部分）
经纬恒润	2009	经纬恒润 Adaptive AUTOSAR 已完成基手 TDA4&AVP 应用的软件实践，同时结合经纬恒润 ClassicAUTOSAR 完成基于 S32V +TDA4+TC397 的 AP+CP 的 SOA 软件实践；经纬恒润将基于 HPC3.0 硬件平台，AP+CP+Hypervisor 技术不断演进该平台，实现基础服务及 SOA 软件开发验证平台。	博世、风河、电装、法雷奥、宝马、雷诺等
普华基础软件	2010	2020 年普华开展基 AUTOSAR Classic 的汽车电子基础软件平台设计开发；2020 年开始开发 R19-11 版本的 APAutosar 工具链模块。	ST、一汽、上汽、长安、吉利、广汽、奇瑞
东软睿驰	2019	基于 AUTOSAR 自主研发了面向下一代汽车通讯和计算架构的系统平台 NeuSAR，已经更迭至 3.0 版本；东软睿驰在 2021 年 8 月推出了基于 SOA 软件架构的面向自动驾驶领域的行泊一体域控制器和面向整车的通用域控制器两款标准化域控产品。	-
华为	2018	已经实现自研 Autosar 架构，并提供基于 Autosar 的座舱、自动驾驶、整车控制架构；在华为 CC 架构中已经应用 Autosar。	环宇智行
赫千科技	2018	提供一完整的 Adaptive AUTOSAR 解决方案，包括基础软件包，工具链，开发支持和集成服务。	-
速玛科技	-	主要针对实时控制软件开发提供 Autosar 解决方案	中国汽车电子基础软件自主研发与产业化联盟、虹科等
超星未来	-	2020 年组建上海研发中心；并成立一支专注于面向 AUTOSAR 平台的应用开发与服务的团队，未来将聚焦在 AUTOSAR CLASSIC 与 AUTOSAR ADAPTIVE 平台上的应用与部署。	北京汽车、奇瑞汽车、山崎集团、Wind 等

资料来源：佐思汽研，国信证券经济研究所整理

功能软件：自动驾驶的核心共性功能模块

功能软件主要包含自动驾驶的核心共性功能模块。核心共性功能模块包括自动驾驶通用框架、网联、云控等，结合系统软件，共同构成完整的自动驾驶操作系统，支撑自动驾驶技术实现。

图 105：功能软件基本架构



资料来源：中国软件评测中心，国信证券经济研究所整理

(1) 智能驾驶通用模型：

智能驾驶通用模型是对智能驾驶中智能认知、智能决策和智能控制等过程的模型化抽象。对应于自动驾驶中环境感知、决策与规划、控制与执行三大部分，通用模型也可以分为环境模型、规划模型和控制模型等。自动驾驶会产生安全和产品

化共性需求，通过设计和实现通用框架模块来满足这些共性需求，是保障自动驾驶系统实时、安全、可扩展和可定制的基础。

图 106: 智能驾驶三大类型通用模型



资料来源：清华大学 AMiner，国信证券经济研究所整理

(2) 功能软件通用框架：

功能软件通用框架是承载智能驾驶通用模型的基础，是功能软件的核心和驱动部分，可以分为数据流框架和基础服务两部分。

- **数据流框架向下封装不同的智能驾驶系统软件和中间件服务，向智能驾驶通用模型中的算法提供与底层系统软件解耦的算法框架。**数据流框架的主要作用是对智能驾驶通用模型中的算法进行抽象、部署、驱动，解决跨域、跨平台部署和计算的问题。
- **基础服务是功能软件层共用的基本服务，包括可靠冗余组件、信息安全基本服务以及网联云控服务等。**其中，可靠冗余组件是保证自动驾驶安全可控的关键，也是车控操作系统取得操作系统全栈功能安全认证的重要保障；信息安全基础服务为车端数据定义了数据类型和安全等级，为车端功能和应用定义的数据处理功能定义；网联云控服务可提供操作系统的安全冗余信息、超视距信息和通用模型的信息。

(3) 数据抽象：

数据抽象可以为上层各模型提供数据源。通过对传感器、执行器、自车状态、地图以及来自云端的接口等数据进行标准化处理，数据抽象的过程可以为智能驾驶通用模型提供各种不同的数据源进而建立异构硬件数据抽象，达到功能和应用开发与底层硬件的解耦和依赖。一般来说，数据抽象可以分为分类、聚集与概括三种类型。

工具链：提升平台软硬件研发效率的重要途径

车载计算平台开发的软硬件环境以及全栈工具链成为提升开发效率的重要途径之一。高阶自动驾驶技术不断迭代，车载计算平台的研发更需要对产品进行整体持续的迭代，而不只是针对单一的模块，或者其中几个功能。全栈式工具链主要包括开发工具、集成工具、仿真工具、调试工具、测试工具等。

表52: 车载计算平台全栈式工具链

工具名称	主要功能介绍
开发工具	可视化开发工具能够显著提高开发人员工作效率。 通过操作图形用户界面上的界面元素，可视化开发工具能自动生成应用软件，将大幅度简化编程工作，加快算法的概念验证，提高开发人员的工作效率。可视化开发工具还可以实现多个资源和层次的连接，从而有效管理所有数据。此外，可视化开发工具还提供了功能丰富的可视化组件库，便于开发人员进行组件集合，提升设计对象的可扩展性和可维护性。
集成工具	集成工具实现车载智能计算基础平台软硬件单元的系统集成。 根据分工、来源的不同，软件代码可以分为第三方工具生成代码、遗留系统代码、手写代码、第三方库文件、AI 相关库文件、基础平台库文件等。为了支持在车载智能计算基础平台上运行的软件系统，需要系统集成工具完成软件源码工程管理，软件编译链接和发布。
仿真工具	模拟仿真是提高自动驾驶系统开发迭代效率、丰富测试场景的重要手段。 自动驾驶系统设计和实现远没有达到成熟，同时理论上其需要经过无限测试场景才能推出的车规级产品。因此模拟仿真是开发与测试阶段提高开发迭代效率、丰富测试场景的重要手段，MIL（模型在环）、SIL（软件在环）、HIL（硬件在环）、VIL（车辆在环）仿真缺一不可。在车载智能计算基础平台的研制、评测和定型全过程都需全面地应用仿真技术。
调试工具	调试环境和工具可以加快车载智能计算基础平台复杂系统的开发进度。 通过系统调试，可以更深刻地理解车载智能计算基础平台功能的实现原理。据调查，车载软件开发过程中，80%以上的程序员是把一半以上的时间用在程序调试上，而系统的开发过程中也往往因为错误的存在出现延期和返工。通过开发运用高效的调试工具，提高车载智能计算基础平台调试效率是推进产品研发进度的重要途径。
测试工具	测试是车载智能计算基础平台开发的重要阶段，是保证系统质量和可靠性的最后关口。 虽然车辆软件开发流程如 A-SPICE 提出了与 IT 行业相似的单元测试、软件集成、硬件集成、系统集成等多阶段测试，考虑车载智能计算基础平台的复杂性，仍需要制定和开发具备高质量可靠、高效开发、快速迭代产品特质的测试工具、测试方法及测试流程。

资料来源：中国软件测评中心，国信证券经济研究所整理

应用软件：OEM 品牌智能化产品力的直接体现

应用软件作为系统软件与功能软件之上独立开发的软件程序，更是 OEM 品牌智能化产品力的直接体现。应用软件主要包括面向自动驾驶算法、地图导航类、车载语音、OTA 与云服务、信息娱乐等。

（1）自动驾驶算法

自动驾驶算法是决定车辆智能化水平的关键所在。自动驾驶算法覆盖感知、决策、执行三个层次。感知类算法，SLAM（Simultaneous localization and mapping，同步定位与建图）算法是一个重要分支，SLAM 算法根据点云数据传感器的不同又可分为视觉 SLAM 算法、激光 SLAM 算法以及多传感器融合算法；决策类算法包括自动驾驶规划算法、自动驾驶决策算法；执行类算法主要为自动驾驶控制算法。

表53：自动驾驶算法的主要分类及作用

算法	语言	操作系统	作用
自动驾驶控制算法	C、C++、Matlab	Windows	对车辆纵向动力学建模，实现车辆运动控制等
自动驾驶规划算法	C、C++、Python	Linux	对车辆进行路径和速度规划，常常与决策算法一起做
自动驾驶决策算法	C、C++、Python	Linux	基于感知模块传递的信息，对汽车的行为进行决策
自动驾驶感知算法（激光 SLAM）	C、C++、Matlab	Linux	基于激光雷达感知的点云数据，对周围环境进行地图构建
自动驾驶感知算法（视觉 SLAM）	C、C++	Linux	基于摄像头感知的点云数据，对周围环境进行地图构建
自动驾驶感知算法（多传感器融合）	C、C++、Matlab	Linux	对摄像头、毫米波雷达、激光雷达、惯导等感知到的信息数据进行解析融合

资料来源：CSDN，国信证券经济研究所整理

（2）高精度地图

高精度地图，即 HD Map (High Definition Map) 或 HAD Map (Highly Automated Driving Map)，是指绝对精度和相对精度均在 1 米以内的高精度、高新鲜度、高丰富度的电子地图。其信息包括道路类型、曲率、车道线位置等道路信息，路边基础设施、障碍物、交通标志等环境对象信息，以及交通流量、红绿灯状态信息等实时动态信息。

表54: 高精度地图与传统地图的比较

	传统地图	高精度地图
使用对象	人类驾驶员	人类驾驶员、自动驾驶汽车
精度	绝对精度 5m 左右，误差 10-15m，只描绘位置形态，不含有细节信息	绝对精度优于 1m，相对精度约 10-20cm，包含车道边界、中心线，车道限制等信息
要素和属性	道路，POI-涉密 POI 禁止表达、重点 POI 必须表达，背景-国界、省界等行政区划边界必须准确表达	详细车道模型-曲率、坡度、横坡、航向、高程、限高、限重、限宽；定位地物与 feature 图层
所属系统	信息娱乐系统	车载安全系统
现势性要求	相对低，人可以良好应对	高，机器较难良好应对
数据量	每千米数据量约 1KB	每千米数据量约 100MB，且种类复杂多样
数据实时性	小时/月级更新频率即可满足需求	需要分钟甚至秒级更新频率
用途	导航、搜索、目视	辅助环境感知、定位、车道级路径规划、车辆控制

资料来源：车云网、国信证券经济研究所整理

高精度地图是实现高度自动化驾驶的必要条件，是 L3 及以上级别的自动驾驶汽车的必备选项。高精度地图可有效弥补传感器的性能边界，提供重要的先验信息，是实现高度自动化驾驶甚至无人驾驶的必要条件，也是未来车路协同的重要载体。

表55: 高精度地图是 L3 及以上自动驾驶的必备

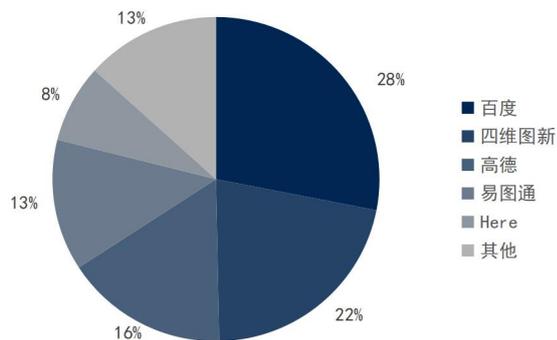
	L1	L2	L3	L4	L5
数据精度	10m	2-5m	20-50cm	10-30cm	10-30cm
源数据	GPS 轨迹	GPS 轨迹+IMU	图像提取或高精度 POS	高精度 POS+激光点云	高精度 POS+激光点云
数据内容	传统地图	传统地图+曲率坡度	高精度地图	高精度地图	多源数据融合
静态/动态	静态地图	静态地图	静态+动态交通	静态+动态事件	静态地图+动态事件，实时传感器融合地图
高精度地图需求	ADAS 系统对高精度地图不是刚性需求		高精度地图是 L3 及以上级别的自动驾驶汽车的必备选项		

资料来源：盖世汽车研究，国信证券经济研究所整理

百度、四维图新、高德占据主要份额，国内市场呈现“三足鼎立”。由于地图导航类业务的资质限制，国内高精度地图主要玩家大多是本土公司，根据 IDC 统计，2020 年国内高精度地图行业市场份额前五家公司为百度、四维图新、高德、易图通以及 Here，其中 CR3 超过 65%，呈现“三足鼎立”的局面。

预计 2025 年国内市场规模达 32 亿美元。按照 3 亿辆汽车保有量及单车百元年服务费测算，国内市场规模将从 2020 年的 6.4 亿美元增长到 2025 年的 32 亿美元，预计 2025 年全球市场份额将达到 35.6%，CAGR 达到 38.0%，高于同期全球增速。

图 107: 2020 年国内高精度地图市场份额



资料来源: IDC, 国信证券经济研究所整理

图 108: 2020-2025E 国内高精度地图市场规模 (亿美元)



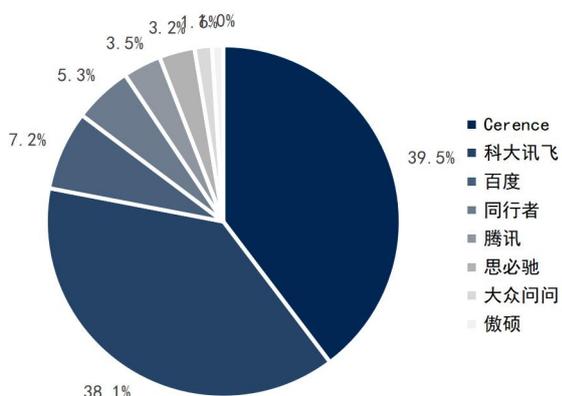
资料来源: 易观分析, 国信证券经济研究所整理

(3) 车载语音

车载语音是车内最简洁、最人性化、最安全的交互方式，也是未来最主要的车内交互方式。随着 AI 和硬件性能的增强，语音交互是未来汽车的绝对主流。语音交互主要是依靠 NLP 算法对语音进行解析，使得自动驾驶系统更容易理解驾驶员的指令。2020 年智能座舱中自然语音识别搭载率大约为 67%，预计 2024 年可达 84%。目前，国内乘用车车载语音装配率超过 64.8%，大大提高了行车安全性以及便捷性。

科大讯飞与 Cerence 领先中国车载语音市场，互联网企业及车厂纷纷入局。竞争格局方面，根据高工汽车统计数据显示，Cerence 市占率为 39.5%，排名第一，Cerence 作为全球车载语音的龙头，客户主要以合资车型为主；科大讯飞是中国车载语音市场的领头羊，市占率超过 38%，排名第二；互联网企业方面，BAT 也已分别入局车载语音，其中百度发展更为迅速，市场份额 7.2%。腾讯目前主打车载应用“腾讯随行”和“腾讯爱趣听”等生态服务上车，排名第五；此外，大众问问凭借其主机厂的背景优势入局，凭借大众、奥迪等多款前装车型市场占有率快速提升。

图 109: 2020 年国内车载语音市场份额



资料来源: 高工汽车, 国信证券经济研究所整理

表 56: 全球车载语音市场的主要玩家

公司	产品	主要客户
Cerence	Cerence Drive、Cerence ARK	大众、奔驰、丰田、雷克萨斯、福特、北汽、小鹏、蔚来等
科大讯飞	飞鱼车机、飞鱼 AI 套件	大众、沃尔沃、雷克萨斯、吉利、长安汽车等
百度	小度车载 OS	现代、比亚迪等
腾讯	云小微	理想、长安等
同行者	同行者语音助手	上汽、江铃、一汽等
云知声	UniCar	上汽通用、高德、喜马拉雅 FM 等
思必驰	AI Speech	小鹏、北汽等
苹果	CarPlay	宝马、奥迪、雪佛兰、本田、大众等
谷歌	Android Auto	奥迪、现代、本田等

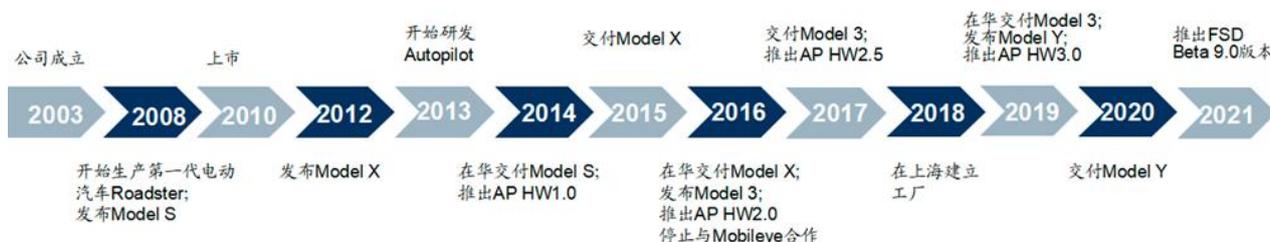
资料来源: 各公司官网, 国信证券经济研究所整理

海外对标研究（特斯拉、英伟达、高通、Mobileye）

特斯拉（TESLA）：从硬到软的全栈自研，打造“算力+算法+数据”的竞争壁垒

特斯拉于 2014 年推出自动驾驶辅助系统 Autopilot 1.0，特斯拉掌握核心数据、AI 算法以及主控芯片，从硬到软的全栈自研，这也成为了特斯拉最核心的竞争壁。特斯拉成立于 2003 年，并于 2010 年在纳斯达克上市。2008 年至 2020 年特斯拉共发布 Model S、Model X、Model 3、Model Y 四款量产车型。特斯拉于 2013 年开始自动驾驶辅助系统的研发，并于 2014 年特斯拉推出自动驾驶辅助系统 Autopilot 1.0，此后经历四次升级，并在 2019 年在 HW 3.0 平台上推出了自研的 FSD（Full Self-Driving Computer）主控芯片。

图 110: 特斯拉的发展历程



资料来源：特斯拉，国信证券经济研究所整理

特斯拉从 Mobileye 到英伟达，最终走向 FSD 自研芯片。特斯拉从 2014 年推出 HW 1.0 开始，特斯拉 Autopilot 系统共经历了 4 次大的硬件版本更新。在 2014 年-2016 年的 HW 1.0 时代，特斯拉完全基于 1 颗 Mobileye EyeQ3 和 1 颗 NVIDIA Tegra 3，算法也完全由第三方供应商 Mobileye 提供，2016 年特斯拉逐渐不满于 Mobileye 进程缓慢以及相关安全事故，并在 2016 年的 HW 2.0 版本上，特斯拉切换到了由 1 颗 NVIDIA Parker SoC 和 1 颗 NVIDIA Pascal GPU 组成的 NVIDIA DRIVE PX 2 计算平台，而在 2017 年的 HW 2.5 版本升级过程中，将 NVIDIA Drive PX 2 升级为 NVIDIA Drive PX 2+，新增了一个 NVIDIA Parker SoC，获得了 80% 左右的运算性能提升。

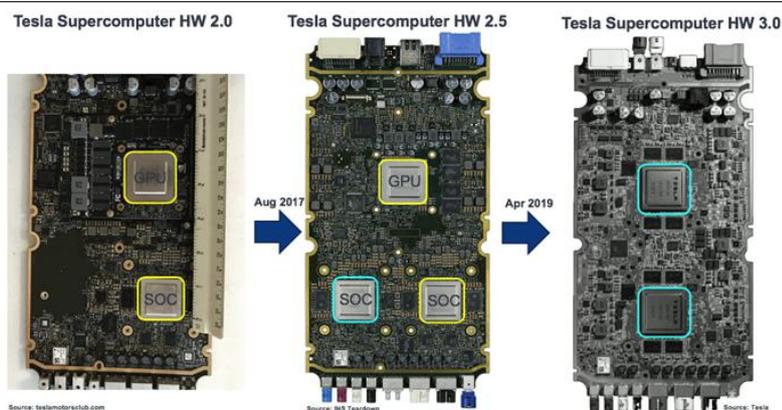
特斯拉即将发布 HW 4.0 平台，基于三星 7nm 工艺的 FSD 自研芯片，其性能将是 HW 3.0 的三倍。由于英伟达的高能耗，2017 年起，马斯克决定开始自研主控芯片，尤其是主控芯片中的神经网络算法和 AI 处理单元全部由特斯拉自主完成。在 2019 年 4 月份，特斯拉在 Autopilot HW 3.0 平台上成功推出自研的 FSD 主控芯片，实现了自动驾驶芯片+神经网络算法的垂直整合。特斯拉计划将在不久的将来 HW 4.0 版本，基于三星 7nm 工艺的全新 FSD 自研芯片，其性能将是 HW 3.0 的三倍。

表57: 特斯拉 Autopilot 自动驾驶系统全梳理

	HW 1.0	HW 2.0	HW 2.5	HW 3.0	HW 4.0
发布日期	2014.1	2016.10	2017.07	2019.04	2021Q4 (E)
应用时间	2014.9~2016.10	2016.10~2017.8	2017.8~2019.4	2019.4~至今	未发布
计算平台	Tegra 3 *1 Mobileye EyeQ3 *1	NVIDIA Parker SoC *1 NVIDIA Pascal GPU *1 英飞凌 3核 CPU *1	NVIDIA Parker SoC *2 NVIDIA Pascal GPU *1 英飞凌 3核 CPU *1	FSD *2	FSD
工艺	/	16nm	16nm	三星 14nm	三星 7nm
算力 (TOPS)	0.256	20	20	144	/
功耗 (W)	25	250	300	220	/
功率	/	57	2*57	72	/
图像处理能力 (FPS)	36	110	110	2300	/
智能驾驶等级	L2	可支持 L3/L4	可支持 L3/L4	可支持 L3/L4	/
传感器方案	前向单目摄像头*1 超声波雷达*12 前向毫米波雷达*1	三目前向摄像头*1、增强感知摄像头*5、超声波雷达*12、前向毫米波雷达*1			/

资料来源: 特斯拉, 国信证券经济研究所整理

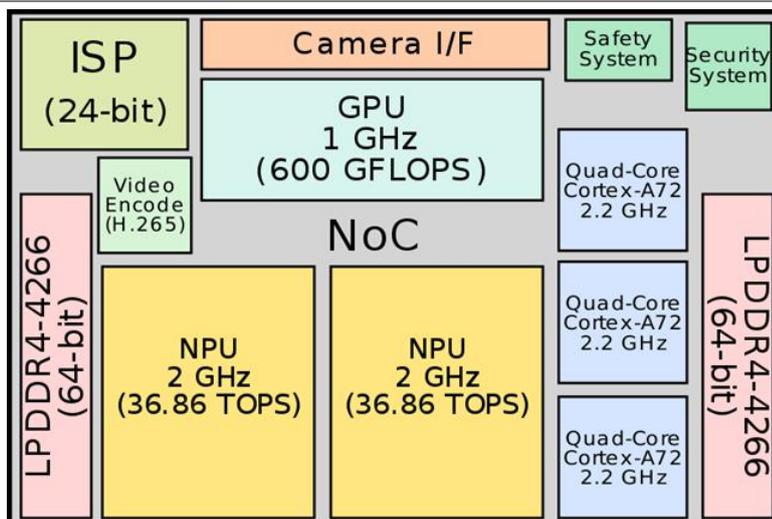
图 111: 特斯拉从 HW 2.0 进化到 HW 2.5 再到 HW 3.0



资料来源: 特斯拉, 国信证券经济研究所整理

特斯拉 FSD 芯片是以 NPU (ASIC) 为计算核心, 采用“CPU+GPU+ASIC”的技术路线, FSD 主要有三个模块 CPU、GPU 和 NPU。特斯拉于 2019 年推出自研的 FSD 芯片, 并在其 Model S、Model X、Model 3 上批量交付 FSD 芯片。该芯片采用三星 14nm FinFET 工艺制造, 面积为 260 平方毫米, 封装了大约 60 亿个晶体管。(1) CPU: Cortex-A72 架构, 共三组、每组 4 个核, 一共有 12 核、最高运行频率 2.2GHz, CPU 主要处理通用的计算和任务; (2) GPU: 最高工作频率为 1 GHz 的 GPU, 最高计算能力为 600 GFLPS; (3) NPU: 2 个 Neural Processing Unit (NPU), 每个 NPU 可以执行 8 位整数计算, 运行频率为 2GHz, 单个 NPU 算力 36.86 TOPS, 2 个 NPU 的总算力为 73.73 TOPS。从面积来看, NPU 面积占比最大, NPU 主要用于运行深度神经网络, GPU 主要用于运行深度神经网络的 post processing, 处理深度神经网络的部分合计占据了芯片 70%的面积。

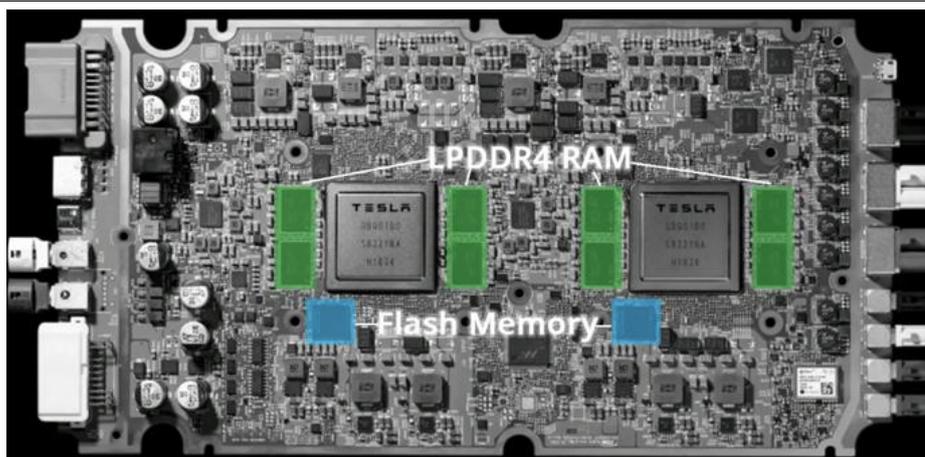
图 112: 特斯拉 FSD 芯片架构



资料来源：特斯拉，国信证券经济研究所整理

特斯拉 HW 3.0 采用完整的双系统冗余。特斯拉 HW 3.0 的主板上共搭载了两块的自研芯片，双芯片的目的是作为安全冗余，互相对照，每块芯片可以独立运算。每块芯片周围有四块镁光 DRAM 内存，每块芯片分别配有一块东芝闪存芯片，用于承载操作系统和深度学习模型，主板的右侧是视频输出接口，左侧是电源接口和其他另外的输入/输出接口。此外，特斯拉还设计了冗余的电源、重叠的摄像机视野部分、各种向后兼容的连接器和接口。特斯拉 HW 3.0 采用完整的双系统冗余，在任何一个功能区域发生损坏时，整个系统依旧可以正常工作，确保车辆能安全行驶。HW 3.0 的性能比上一代 HW 2.5 提高了 21 倍，而功耗降低 25%，能效比 2 TOPS/W。

图 113: 特斯拉 HW 3.0 系统主板拆解



资料来源：CleanTechnica，国信证券经济研究所整理

特斯拉 FSD 开通价格不断攀升，海外已涨价至 1.2 万美元。特斯拉 FSD 具有一次性支付和订阅两种购买方式。特斯拉自 2015 年开通 AP 系统，价格为 2500 美元/套，后上调至 5000 美元/套；在 2019 年 3 月前，用户可以在 5000 美元的 EAP (Enhanced Autopilot) 包之外，额外支付 3000 美元获得 FSD (此时并不包含任

何功能)；19年4月，特斯拉取消EAP，将EAP功能移到FSD中，FSD涨价到6000美元/套，用户可免费获得Basic Autopilot (BAP)功能；19年8月发布智能召唤功能，涨价到7000美元/套；20年8月，特斯拉获得将人工智能更高层次应用的批准文件，再次涨价到8000美元/套；20年10月，特斯拉推出FSD Beta版本，配备城市道路完全自动驾驶测试功能，价格上调至10000美元/套；2022年1月，特斯拉FSD再次涨价至1.2万美元。在国内市场，特斯拉FSD只涨过一次价格，从5.6万涨到6.4万元。在订阅服务方面，2021年7月特斯拉推出FSD订阅包，EAP车主99美元/月，未开通EAP的BAP车主199美元/月。

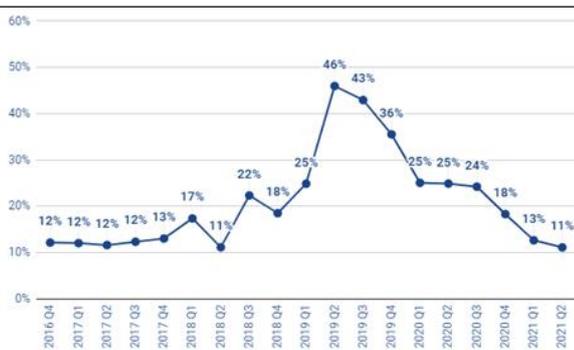
表58: 特斯拉FSD收费持续提升

时间	Autopilot	FSD
2016年10月16日-2019年2月27日	\$5,000	\$3,000
2019年2月28日-2019年4月10日	\$3,000	\$6,000
2019年4月11日-2019年8月15日	免费	\$6,000
2019年8月16日-2020年6月30日	免费	\$7,000
2020年7月1日-2020年10月21日	免费	\$8,000
2020年10月22日-2022年1月16日	免费	\$10,000
2022年1月17日-至今	免费	\$12,000

资料来源：特斯拉，国信证券经济研究所整理

特斯拉FSD在全球的整体开通率约为11%，其中北美地区比例最高。根据Troyteslike数据显示，受到低价的Model 3及Model Y高速放量，以及FSD不断涨价的影响，特斯拉FSD在全球的整体开通率持续下滑，截至2021Q2结束，特斯拉FSD的整体开通率约为11%。预计特斯拉FSD在全球的累计开通数量近36万套（北美超过26万套，欧洲接近9万套，亚太地区仅5700套），平均选装价格为6千美元，其总销售额超过210亿美元。特斯拉FSD在亚洲地区销量持续攀升，但是FSD开通率整体偏低。以北美地区为例，Model S/X的FSD选装率在61%，Model Y的选装率在20%，Model 3的选装率在20%。

图114: 特斯拉FSD的全球开通率



资料来源：Troyteslike，国信证券经济研究所整理

图115: 特斯拉各车型FSD在北美地区的开通率



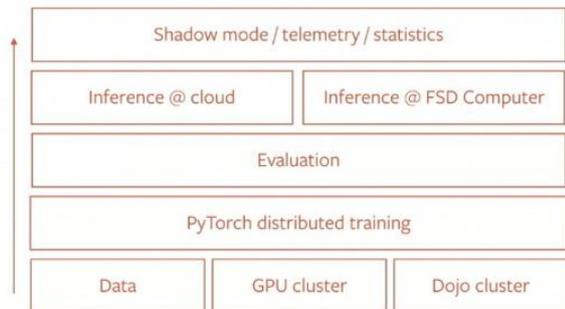
资料来源：Troyteslike，国信证券经济研究所整理

特斯拉依托庞大客户群来收集自动驾驶数据，从而实现对深度学习系统的模型训练。与一般的汽车厂商和科技公司不同，特斯拉的自动驾驶不是依靠内部测试获取自动驾驶的数据，而是通过其庞大的客户群和装载传感器的特斯拉车辆上收集数据，并进行功能升级。即使没有激活，AP系统仍可以收集有关其环境和潜在自动驾驶行为的数据，以馈送特斯拉的神经网络。该数据收集方法通常被称为影子模式 (Shadow mode)，即AP系统在车辆的后台运行而无法在驾驶中进行任何输入。

特斯拉自2015年10月开始开通AP系统，随着车辆数量的不断增加，累计的自动

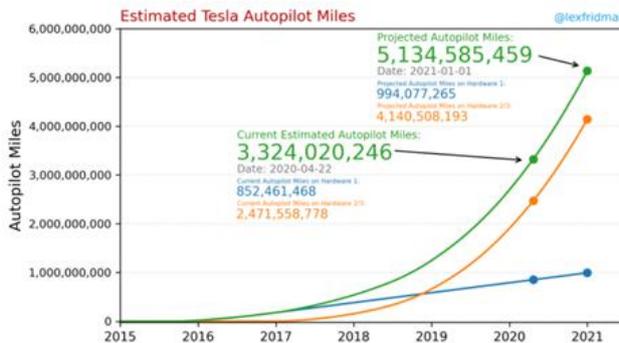
驾驶数据也在呈现指数级增长。根据 Lexfridman 预测数据显示，到 2020 年 Q1，特斯拉已经拥有近 99 万台搭载 AP 系统的车辆不断回传数据，其中搭载 HW 2.0/3.0 的车辆有超过 82 万台，以用户平均每天驾驶约一个小时计算（每辆车 8 个摄像头），车队每月大约会产生 1.968 亿个小时的视频。预计到 2020 年底，特斯拉将拥有 51 亿英里的驾驶数据，用于自动驾驶的模型训练。

图 116: 特斯拉的全栈式训练架构



资料来源：：特斯拉，国信证券经济研究所整理

图 117: 特斯拉 Autopilot 累计历程已超过 51 亿英里

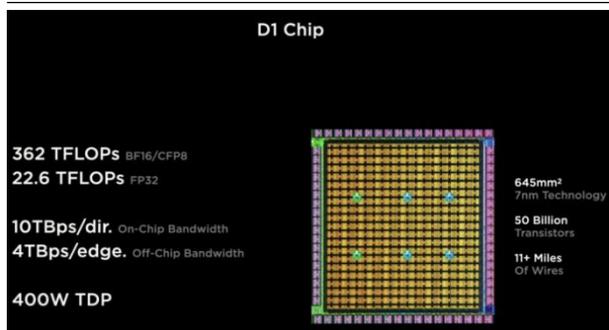


资料来源：Lexfridman，国信证券经济研究所整理

发布 7nm 工艺 AI 训练芯片 D1，打造 Dojo 超算训练平台。在 2021 年 8 月的特斯拉 AI Day 上，特斯拉发布了最新的 AI 训练芯片 D1，D1 芯片采用台积电 7nm 工艺制造，核心面积达 645 平方毫米，集成了多达 500 亿个晶体管，共有四个 64 位超标量 CPU 核心，拥有多达 354 个训练节点，特别用于 8×8 乘法，支持 FP32、BFP64、CFP8、INT16、INT8 等各种数据指令格式，都是 AI 训练相关。D1 芯片的 FP32 单精度浮点计算性能达 22.6 TFlops，BF16/CFP8 计算性能则可达 362 TFlops。为了支撑 AI 训练的扩展性，D1 芯片的互连带宽最高可达 10TB/s，由多达 576 个通道组成，每个通道的带宽都有 112Gbps，而热设计功耗仅为 400W。

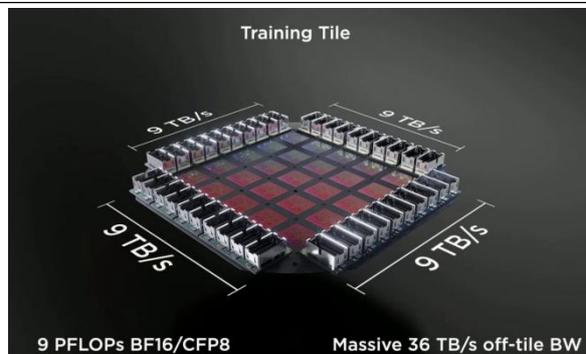
Dojo 是一种通过网络连接的分布式计算机架构，它具有高带宽、低延时等特点，将会使人工智能拥有更高速的学习能力，从而使 Autopilot 更加强大。Dojo 超级平台的内核是 D1 芯片，25 个 D1 芯片建成一个“训练瓦”（Training tile），组成 36 TB/s 的带宽和 9 Peta FLOPS（9 千万亿次）算力。未来，Dojo 还可以组合成为全球最强算力的超级计算机集群。

图 118: 特斯拉自研 7nm 工艺 AI 训练芯片 D1



资料来源：特斯拉，国信证券经济研究所整理

图 119: 由 25 个 D1 芯片组成的 Dojo 训练平台



资料来源：特斯拉，国信证券经济研究所整理

特斯拉不断打造基于数据驱动算法闭环迭代系统。特斯拉将把针对自监督学习技术的研发放到绝对的优先级（注：这里的自监督学习就是无监督学习）。算法

的迭代优化离不开基于大数据的训练，特斯拉依托海量的客户群获得优质的自动驾驶数据，利用 Dojo 超算平台，实现对视频进行无监督的大规模训练。当前 Autopilot 正以 2.5D（即 2D 图像+内容标注）方式进行训练迭代，特斯拉利用 Dojo 超算平台升级 Autopilot 的工作方式，使其可以在 4D（3D+时间维度）环境下运行。

图 120: 数据驱动算法迭代闭环典型流程



资料来源：地平线，国信证券经济研究所整理

英伟达（NVIDIA）：打造全栈式工具链，持续领先高阶自动驾驶

英伟达自 2015 年推出 NVIDIA Drive 系列平台，赋能自动驾驶生态。英伟达自 2015 年开始推出面向座舱的 DRIVE CX 和面向驾驶的 DRIVE PX，此后先后推出 DRIVE PX2、Drive PX Xavier、DRIVE PX Pegasus、DRIVE AGX Orin 等多个自动驾驶平台，而在 SoC 芯片方面，从 Parker、Xavier、Orin 到最新发布的 Atlan。

(1) DRIVE PX:

英伟达在 CES 2015 上推出了基于英伟达 Maxwell GPU 架构的第一代平台：搭载 1 颗 Tegra X1 的 DRIVE CX，主要面向数字座舱，以及搭载 2 颗 Tegra X1 的 DRIVE PX，主要面向自动驾驶；

(2) DRIVE PX2:

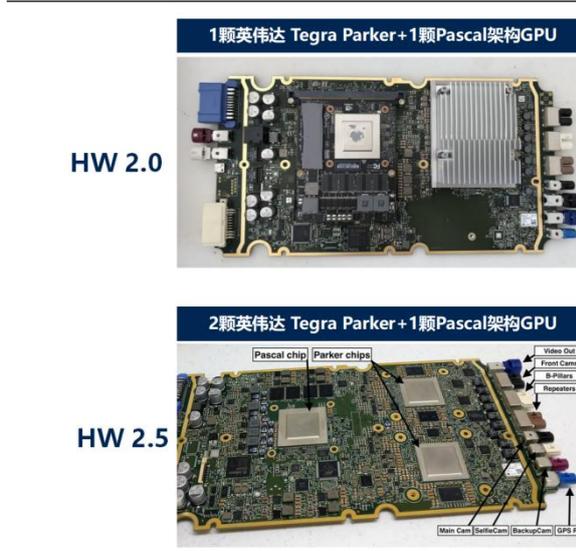
英伟达在 CES 2016 推出了基于英伟达 Pascal GPU 架构的第二代平台 DRIVE PX 2，主要由 Tegra X2（Parker）和 Pascal GPU 组成，PX2 有多个版本，主要可以分为单芯片版的 Auto Cruise、双芯片版的 Auto Chauffeur 以及四芯片版的 Fully Autonomous Driving。特斯拉自 2016 年 HW 2.0 开始搭载英伟达的定制版 DRIVE PX2 Auto Cruise 版本，并在 2017 年的 HW 2.5 升级为 2 颗 Tegra X2（Parker）；

图 121: 英伟达 DRIVE PX2 系列平台



资料来源: 英伟达, 国信证券经济研究所整理

图 122: 搭载定制版 DRIVE PX2 的特斯拉 HW 2.0 和 2.5



资料来源: 英伟达, 国信证券经济研究所整理

(3) Drive PX Xavier:

英伟达在 CES 2017 上推出了 Xavier AI Car Supercomputer, 并在 CES 2018 上重新发布命名为 Drive PX Xavier, 搭载一颗 30 TOPS 算力的 Tegra Xavier 芯片。Xavier 平台是 PX2 的小型化高效能版, 算力稍有提升的前提下, 面积缩小为 PX2 的一半, 功率仅为 PX2 的 1/8 左右。该平台目前搭载在小鹏 P5 与 P7 车型上。

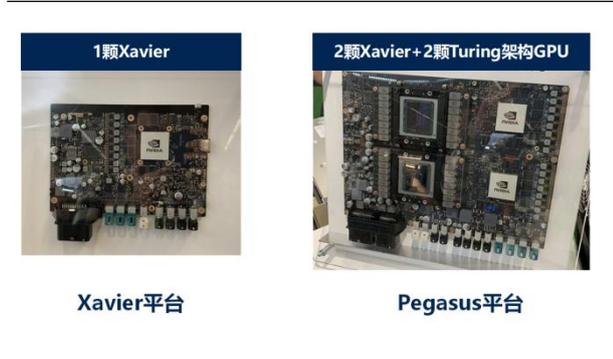
(4) DRIVE PX Pegasus:

英伟达在 2017 年 10 月推出了 DRIVE PX Pegasus, Pegasus 定位更注重性能的提升。Pegasus 共有四颗芯片, 2 颗 Tegra Xavier 芯片, 2 颗单独的 Turing 架构的 GPU, 每颗 Xavier 集成了一颗 8 核 CPU 和一个英伟达 Volta 架构的 GPU, 通过增加 CPU 和 GPU, Pegasus 平台可以实现 320 TOPS 的算力, 功耗 500 W。

(5) DRIVE AGX Orin:

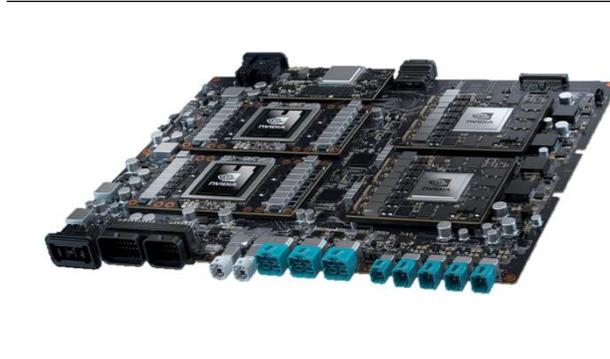
英伟达在中国 GTC 2019 大会上推出了 DRIVE AGX Orin 平台, 该平台由 2 颗 Orin SoC 芯片和 2 颗 Ampere 架构的 GPU, 最高算力达到 2000 TOPS, 功耗 800 W。

图 123: 英伟达 Drive Xavier 和 Pegasus 平台



资料来源: 英伟达, 国信证券经济研究所整理

图 124: 英伟达 DRIVE AGX Orin 平台



资料来源: 英伟达, 国信证券经济研究所整理

表59: 英伟达历代 Drive 平台梳理

计算平台	发布时间	芯片配置	算力 (TOPS)	功耗 (W)	适用场景	合作品牌
Drive CX	2015	1*Tegra X1	/	/	/	/
Drive PX	2015	2*Tegra X1	2	150	L2-L3	/
Drive PX2 (AutoCruise)	2016	1*Tegra X2 (Parker)、1*Pascal GPU	4	125	L2-L3	ZF ProAI
Drive PX2 (AutoChauffeur)	2016	2*Tegra X2 (Parker)、2*Pascal GPU	24	250	L3-L4	特斯拉 ModelS/X/3、沃尔沃等
DRIVE PX Xavier	2017	1*Tegra Xavier	30	30	L2-L3	小鹏 P5/P7, 上汽智己、沃尔沃等
DRIVE PX Pegasus	2017	2*Tegra Xavier、2*Turing GPU	320	500	L4	戴姆勒、小马智行、Bosch Robotaxi 等
DRIVE AGX Orin	2019	2* Tegra Orin、2*Ampere GPU	2000	800	L2-L5	沃尔沃、理想、小鹏、威马、蔚来、上汽等

资料来源: 英伟达, 国信证券经济研究所整理

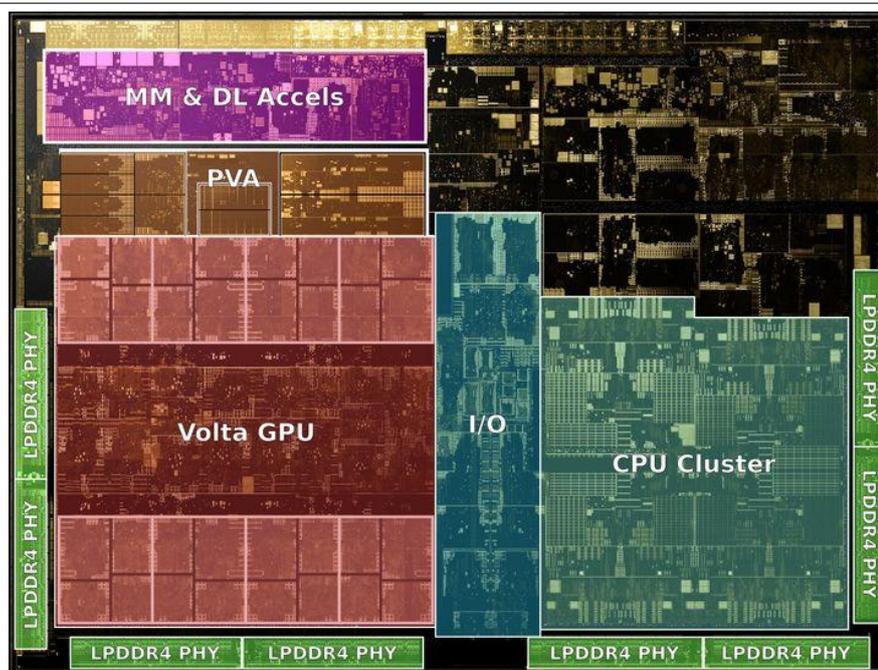
表60: 英伟达历代车规级 SoC 芯片梳理

SoC 芯片	发布时间	CPU	GPU	算力 (TOPS)	功耗 (W)	制程 (nm)	合作品牌
Tegra X1	2015	4x ARM Cortex A57	Maxwell GPU (256 CUDA 核)	1	15	20	/
Parker	2018	2x Denver、4x ARM Cortex A57	Pascal GPU (256 CUDA 核)	1	15	16	特斯拉、沃尔沃等
Xavier	2020	8x Nvidia custom Carmel ARM64	Volta GPU (512 CUDA 核)	30	30	12	小鹏, 上汽等
Orin	2022	12x Arm Cortex-A78AE (Hercules)	Ampere GPU (2048 个 CUDA 核和 64 个 Tensor 核)	254	45	7	小鹏、威马、蔚来、理想等
Atlan	2024E	New ARM Grace CPU	Ampere Next Generation GPU	1000	/	5	/

资料来源: 英伟达, 国信证券经济研究所整理

英伟达采用“CPU+GPU+ASIC”的技术路线。英伟达 Xavier 的芯片架构主要有 4 个模块：CPU、GPU、Deep Learning Accelerator (DLA) 和 Programmable Vision Accelerator (PVA)。其中 GPU 作为深度学习应用的首选，面积占比最大，CPU 的面积其次，最小的部分是 DLA 与 PVA 是两个专用 ASIC，DLA 用于推理，PVA 用于加速传统视觉算法。

图125: NVIDIA Xavier 芯片架构

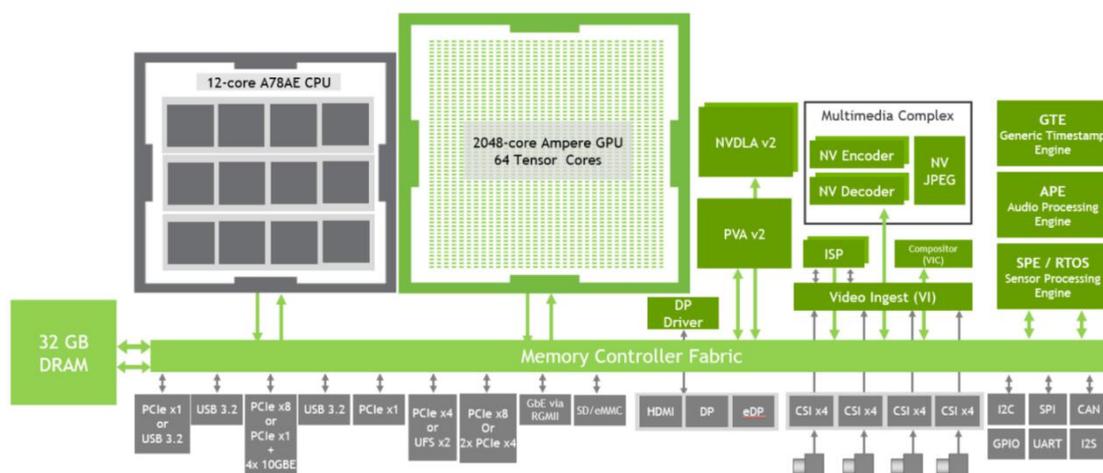


资料来源: NVIDIA, 国信证券经济研究所整理

单颗 Orin SoC 可实现 254 TOPS 算力，功耗低于 55W，可支持单片或多片协同方案，实现算力扩展。Orin SoC 芯片集成了 Arm Hercules CPU 内核、新一代架构 Ampere 的 GPU、全新深度学习加速器（DLA）和计算机视觉加速器（PVA），可实现每秒 254 TOPS 运算性能，相比上一代 Xavier 系统级芯片运算性能提升了 7 倍。在运算性能提升巨大的情况下，Orin 的功耗低于 55 W。Orin 可以覆盖 10 TOPS 到 254 TOPS 的算力需求、可以为终端用户提供可升级的方案支持单片或多片 Orin 协同的解决方案，无限扩展算力。

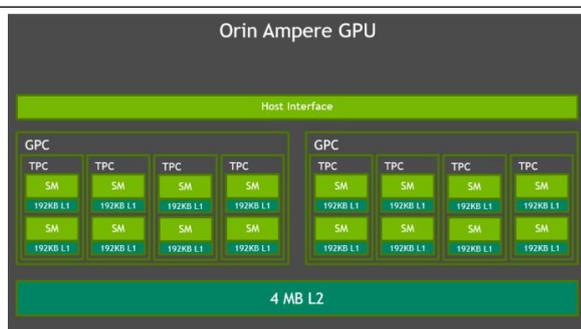
Orin 所集成的 GPU 拥有 2048 个 CUDA Core 和 64 个 Tensor Core。Orin 内部集成了 Ampere 架构 GPU，该 GPU 拥有 2 个 GPC（Graphics Processing Clusters，图形处理簇），每个 GPC 包含 4 个 TPC（Texture Processing Clusters，纹理处理簇），每个 TPC 包含 2 个 SM（Streaming Multiprocessor，流处理器），每个 SM 下包含包含 128 个 CUDA Core，合计 2048 个 CUDA Core，算力为 4096 GFLOPS。此外，还包括 64 个 Tensor Core（张量核），Tensor Core 是专为执行张量或矩阵运算而设计的专用执行单元，稀疏 INT8 模型下算力达 131 TOPS，或者密集 INT8 下 54 TOPS。

图 126: NVIDIA Orin 内部架构



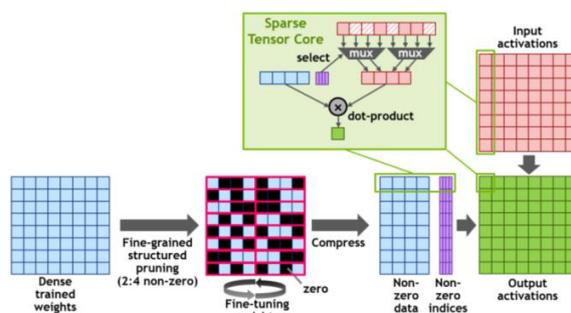
资料来源：英伟达，国信证券经济研究所整理

图 127: 英伟达 Orin SoC 的 Ampere 架构 GPU



资料来源：英伟达，国信证券经济研究所整理

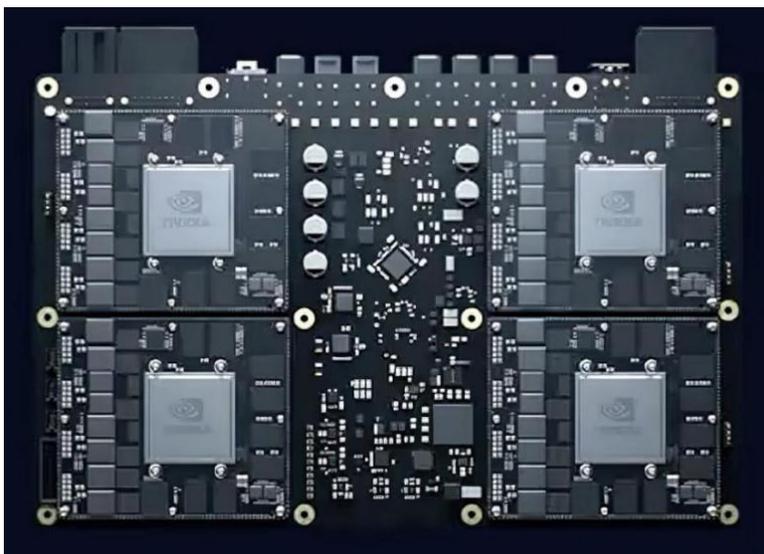
图 128: 英伟达 Ampere 架构 GPU 的第三代 Tensor Core



资料来源：英伟达，国信证券经济研究所整理

蔚来 ET7 成为 Orin 系列的首发量产车，NIO Adam 超算平台搭载四颗 Orin 芯片，单车算力打造 1016 TOPS。蔚来 NIO Adam 超算平台，配备四颗 Orin 芯片，Adam 拥有 48 个 CPU 内核，256 个矩阵运算单元，8096 个浮点运算单元，共计 680 亿个晶体管，总算力高达 1016 TOPS。Adam 平台集成了安全自主运行所需的冗余和多样性，在 4 颗 Orin SoC 中，前两颗 Orin SoC 负责处理车辆传感器每秒产生的高达 8G 的数据量，第三颗 Orin SoC 作为后备，以确保系统能够在任何情况下安全运行，第四颗 Orin SoC 可进行本地的模型训练，进一步提升车辆自身的学习能力，并基于用户偏好提供个性化驾驶体验。蔚来 ET7 将作为 NVIDIA DRIVE Orin 系列的首发量产车于 2022 年 3 月开始交付，同样搭载 NIO Adam 超算平台的蔚来 ET5 将于 2022 年 9 月开始交付。

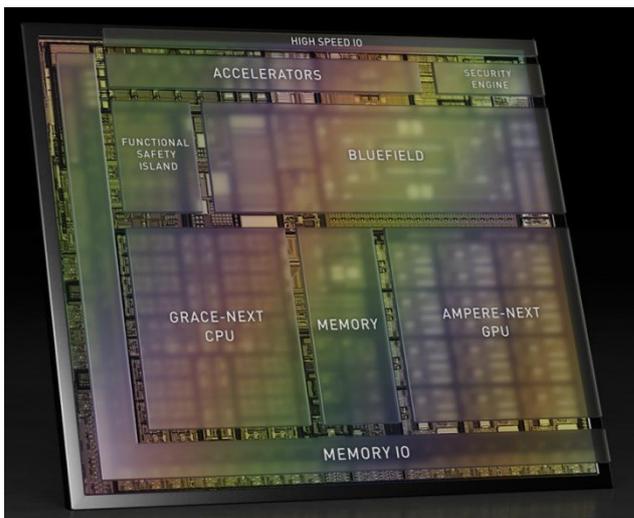
图 129: 蔚来 NIO Adam 超算平台搭载 4 颗英伟达 Orin 芯片



资料来源：蔚来，国信证券经济研究所整理

英伟达发布 Atlan SoC 芯片平台，首次集成 DPU，单颗芯片算力超过 1000 TOPS。在 2021 年 4 月的英伟达春季 GTC 大会，英伟达发布了下一代自动驾驶芯片 Atlan SoC 芯片平台。Atlan 可以和 Orin 和 Xavier 平台的软件堆栈兼容，Atlan 采用 5nm 制程，单颗算力达到 1000 TOPS，相当于 Orin 的 4 倍。Atlan 平台采用新型 Arm CPU 内核、新一代的 GPU、最新的 DLA 深度学习加速器、PVA 计算机视觉加速器、并内置为先进的网络、存储和安全服务的 BlueField DPU，网络速度可达 400Gbps，这也是 DRIVE 平台首次集成 DPU。Atlan SoC 将于 2023 年向开发者提供样品，并于 2025 年大规模量产上车。

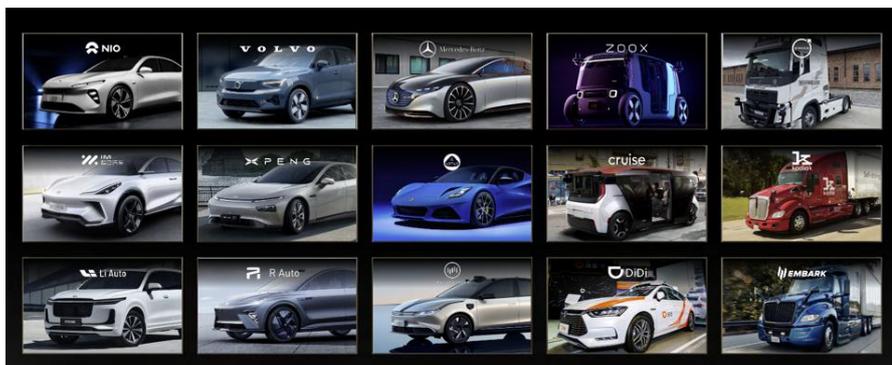
图130: NVIDIA Atlan 芯片架构



资料来源：英伟达，国信证券经济研究所整理

当前，英伟达在自动驾驶领域遥遥领先，持续获得大量自动驾驶客户，英伟达的客户大致可以分为三类：**造车新势力**、**传统车企**、**自动驾驶公司**。（1）**造车新势力**：蔚来（ET5、ET7）、小鹏（P5、P7、G9）、理想（X01）、威马（M7）、上汽智己、R汽车、FF等；（2）**传统车企**：奔驰、沃尔沃、现代、奥迪、Lotus等；（3）**自动驾驶 Robotruck/Robotaxi 公司**：通用 Cruise、亚马逊 Zoox、中国的滴滴，沃尔沃商用车、Kodiak、图森未来、智加科技、AutoX、小马智行、文远知行等。

图131: 英伟达在汽车领域的客户



资料来源：英伟达，国信证券经济研究所整理

英伟达提供包括从芯片、硬件平台、系统软件、功能软件、应用软件以及仿真测试平台和训练平台在内的全栈工具链。以英伟达 DRIVE AGX 硬件开发平台为起点，在 DRIVE Constellation 上验证软件算法。充分验证后将部署软件，通过 DRIVE Hyperion 参考架构进行上路测试。利用 DGX 高性能训练服务器进行深度学习模型训练，此过程反复迭代。英伟达提供了从芯片（Xavier/Orin/Atlan）、DRIVE AGX 硬件平台、DRIVE OS、Driveworks、DRIVE AV 自动驾驶软件栈、DRIVE Hyperion 数据采集和开发验证套件、DRIVE Constellation 虚拟仿真平台和 DGX 高性能训练平台等全栈工具链。

（1）应用软件：DRIVE AV 与 Drive IX 软件栈

DRIVE AV 软件栈主要面向自动驾驶域，包括了从规划、地图到感知的应用软件开发，帮助开发者实现端到端的感知、路径规划、地图构建、决策和控制等功能的开发；Drive IX 主要面向智能座舱域，集成了视觉、语音和图形用户体验，包括可视化（盲区可视化、自动驾驶可视化以及驾驶员监控可视化等）、AI 辅助驾驶（DMS、神经网络、摄像头标定等）以及 AI 助手（语音识别、手势识别、面容识别等）。

（2）功能软件（中间件）：Driveworks

DriveWorks 是所有自动驾驶汽车软件开发的基础，包含了高阶自动驾驶开发所需要的处理模块、工具和框架。DriveWorks 是模块化、开放、易于定制的，方便开发人员在自己的软件堆栈中实现深度定制开发。包括 DNN 算法加速库、Calibration 标定工具、Drive Core 核心库（传感器抽象层、车辆 I/O、图像处理、点云处理、DNN 框架等）。

（3）系统软件：DRIVE OS

DRIVE OS 提供了一套参考操作系统和相关软件栈，专为在基于 AGX 硬件平台上的开发与部署，相关的基础软件栈包括 RTOS、Hypervisor、英伟达 CUDA 和 TensorRT 等其他组件，这些组件经过优化后可直接访问 AGX 硬件平台。DRIVE OS SDK 利用所有软件、库和工具、技术和 API，为自动驾驶汽车的构建、调试、配置和部署应用程序，提供了优化的工作流。

（4）硬件平台：DRIVE AGX 平台

英伟达 DRIVE AGX 开发工具包提供了开发展所需要的硬件、软件及示例应用程序。英伟达的历代硬件计算平台 DRIVE PX2、Drive PX Xavier、DRIVE PX Pegasus、DRIVE AGX Orin 等，前文已经详细介绍。DRIVE AGX 平台提供开放的软件框架，以及与硬件计算平台相配套的完善的开发工具包；此外，英伟达应有众多 Tier 1 及传感器产业合作伙伴，提供摄像头、毫米波雷达、超声波雷达、激光雷达等车载传感器。

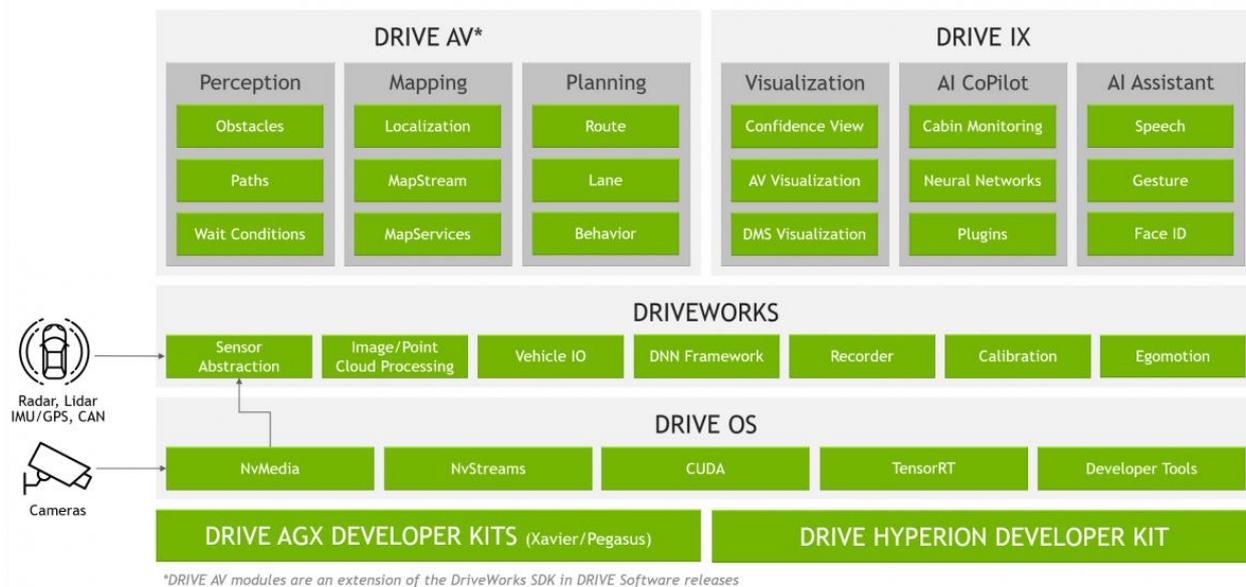
（5）仿真平台：DRIVE Constellation 与 DRIVE Sim

DRIVE Constellation 自动驾驶车辆仿真平台主要完成对各种虚拟场景的渲染、仿真，产生模拟传感器数据，通过运行 DRIVE Sim 仿真软件，模拟仿真汽车在仿真环境中行驶可产生的传感器数据。Constellation 仿真平台提供可扩展、全面且多样化的测试环境。借助开放的模块化架构，DRIVE Sim 仿真软件可让客户利用自己的仿真模型或生态合作伙伴的自定义车辆、环境、传感器或交通场景。

（6）训练平台：NVIDIA DGX

基于高性能的英伟达 DGX AI 服务器，客户可以进行深度学习训练、推理和数据分析，同时多台 DGX 构建超级计算机或者人工智能集群，为具有挑战性的自动驾驶海量数据进行深度学习网络模型训练和建图提供出色的基础设施和灵活可扩展的 AI 计算性能。

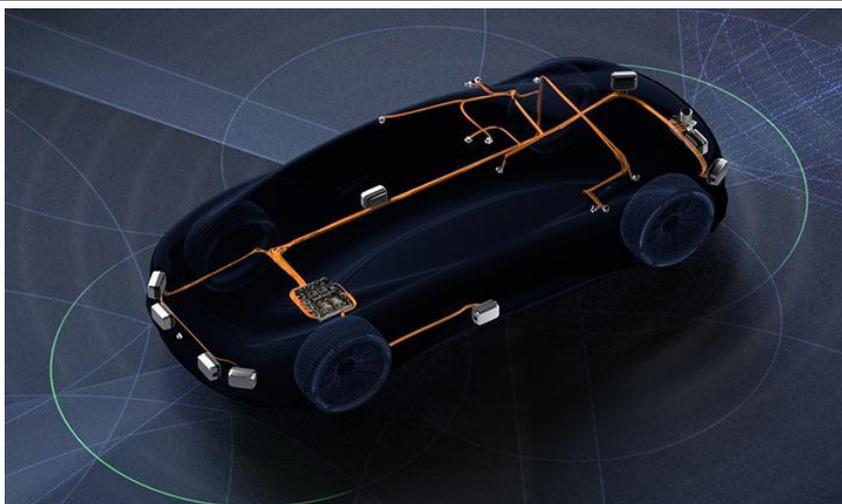
图 132: NVIDIA DRIVE 平台框架及工具链全梳理



资料来源：英伟达，国信证券经济研究所整理

英伟达发布全新自动驾驶软硬件开发参考平台 DRIVE Hyperion 8。在 2021 年英伟达 GTC 大会上，英伟达发布了自动驾驶软硬件开发参考平台 DRIVE Hyperion 8，允许主机厂客户访问和调整其需求，包括核心计算和中间件以及车辆内部 AI 功能等。该计算平台可用于 2024 年车型，硬件方面，搭载了两颗 Orin 芯片，每颗算力 254TOPS，支持 12 颗摄像头、9 个毫米波、12 个超声波雷达和 1 颗激光雷达。提供传感器硬件的供应商包括 Luminar（激光雷达）、Hella（短程毫米波雷达）、Continental（远程毫米波雷达）、Sony（摄像头组件）、Valeo（摄像头组件、超声波雷达）。

图 133: NVIDIA 发布 DRIVE Hyperion 8 参考平台



资料来源：NVIDIA，国信证券经济研究所整理

英伟达 Drive 自动驾驶平台为客户打造端到端的、开放、高效的研发生态。其核心优势可以总结为以下四点：

- (1) **软硬件解耦**：其平台高度解耦，可独立升级，支持硬件升级路线和软件升级路线分别独立；
- (2) **硬件优势**：英伟达作为 GPU 领导者，在硬件优势明显；
- (3) **生态完善**：拥有业界最完善的官方开发套件，开发者社区相对完善；
- (4) **生态开放**：软件层面开放程度较高，可在 DriveWorks（功能软件层）开放 API，也可在 Drive AV 和 Drive IX（应用软件层）开放 API；
- (5) **研发捆绑**：深度学习算法加速全部基于英伟达自身 CUDA 和 TensorRT 进行，使其软件开发和软件研发体系不可脱离英伟达平台。

高通（Qualcomm）：智能座舱一骑绝尘，自动驾驶不断追赶

高通是作为消费电子霸主，持续布局智能网联汽车业务。高通（Qualcomm）公司成立于 1985，高通自 2002 年开始布局汽车业务，早期专注于车载网联解决方案，高通于 2014 年推出了第一代座舱平台骁龙 602A，在 2016 年推出第二代座舱平台 820A，在 2019 年推出第三代座舱平台 8155，并于 2021 年发布第四代座舱平台 8295；在自动驾驶领域，高通于 2019 年发布了 Ride 自动驾驶平台。高通目前已拥有 25 家以上的头部车企客户，公司业务已经覆盖全球超过 2 亿辆的智能网联汽车，高通在智能汽车领域的版图不断扩张。

图 134：高通汽车业务的发展历程



资料来源：高通，国信证券经济研究所整理

高通基于车云、座舱、驾驶及车联四大平台打造数字底盘。高通在汽车业务领域志在打造“数字底盘”，主要由四部分组成：骁龙车云平台（Snapdragon Car-to-Cloud）、骁龙座舱平台（Snapdragon Cockpit Platform、骁龙驾驶平台（Snapdragon Ride Platform）、骁龙车联平台（Snapdragon Auto connectivity Platform），打造开放、可定制、可升级、智能互联的电子底盘，帮助 Tier 1 和 OEM 主机厂提升客户体验。

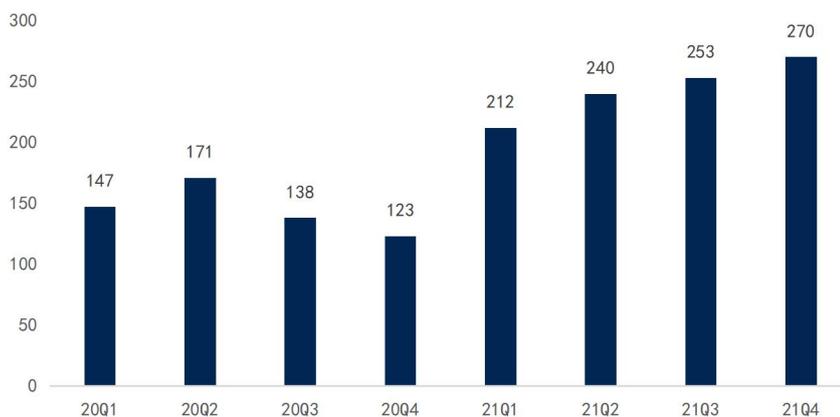
图 135: 高通布局数字底盘四大领域



资料来源: 高通, 国信证券经济研究所整理

高通汽车业务营收快速增长。FY2021 高通汽车业务营收达到 9.75 亿美元, 同比增长 51.40%, 高通 19-21 年汽车业务营收分别为 6.40/6.44/9.75 亿美元, 高通预计五年后汽车业务营收规模将达到 35 亿美元, 预计 10 年后汽车业务营收规模将达到 80 亿美元。

图 136: 高通汽车业务季度营收变化 (百万美元)



资料来源: 高通, 国信证券经济研究所整理

高通在智能座舱芯片领域一骑绝尘。从高通 2014 年推出第一代座舱芯片 602A 开始, 再到第二代 820A 以及第三代 8155 芯片, 市场渗透率持续提升, 能够发现, 近期最初的新车型其座舱几乎都是搭载了高通 8155 芯片。目前, 包括奔驰、奥迪、保时捷、捷豹路虎、本田、吉利、长城、广汽、比亚迪、领克、小鹏、理想智造、威马汽车在内的国内外领先汽车制造商均已推出或宣布推出搭载骁龙汽车数字座舱平台的车型。

表61：搭载高通骁龙座舱芯片的具体车型

序号	品牌	车型	使用芯片	售价	交付情况
1	领克	09	8155	预售 26.59 万元起	已上市
2		05	820A	17.58 万元~21.28 万元	已交付
3	吉利	星越 L	8155	13.72 万元~18.52 万元	已交付
4	极氪	001	820A	28.1 万元~36 万元	已交付
5	长城 WEY	拿铁	8155	预售 16.28 万元~18.28 万元	已上市
6		玛奇朵	8155	14.58 万元~17.78 万元	已交付
7		摩卡	8155	18.78 万元~22.38 万元	已交付
8	智己	L7	8155	预售 40.88 万元起	2022 年
9	威马	W6	8155	16.98 万元~25.98 万元	已交付
10	小鹏	P5	8155	15.79 万元~22.39 万元	已交付
11		P7	820A	22.99 万元~40.99 万元	已交付
12		G3i	820A	14.98 万元~18.58 万元	已交付
13	福特	野马 Mach-E	820A	26.5 万元~38.0 万元	已上市
14	凯迪拉克	Lyriq	8195	未知	2022 年
15	恒驰	未知	第三代	未知	未知
16	高合	HiPhi X	820A	57 万元~80 万元	未知
17	蔚来	ET7	8155	44.8 万元~52.6 万元(含电池)	2022 年 Q1
18	零跑	C11	8155	15.98 万元~19.98 万元	2022 年 4 月
19	捷途	X70 PLUS	6155	7.7 万元~9.9 万元	已交付
20	比亚迪	D1	6155	15.18 万元	已交付
21	埃安	LX	8155	22.96 万元~34.96 万元	已交付
22	奥迪	2020 款 A4L	820A	30.58 万元~39.68 万元	已交付
23	理想	ONE	820A	33.8 万元	已交付

资料来源：车东西，国信证券经济研究所整理

高通发布第四代智能座舱 SA8295P 平台，性能显著提升。2021 年 7 月，高通发布了第四代座舱平台的 SA8295P，采用 5nm 制程，采用第六代八核 Kryo 680 CPU 和 Adreno 660 GPU，支持同步处理仪表盘、座舱屏、AR-HUD、后座显示屏、电子后视镜等多屏场景需求，CPU、GPU 等主要计算单元的计算能力较 8155 提升 50%以上，主线能力有超过 100%的提升。

表 62: 各主要智能座舱芯片参数对比

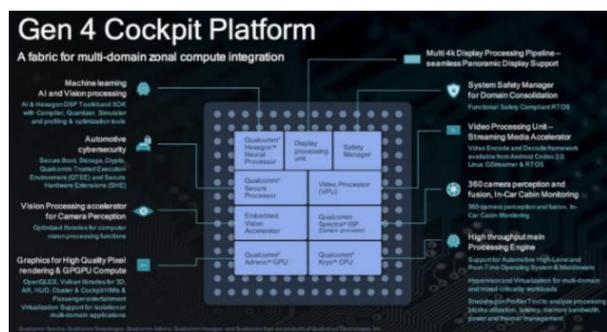
	联发科	三星	联发科	高通	高通	高通
型号	MT8195	V9	MT8192	SA8295	SA8155P	SA8195P
制造工艺	6 纳米	8 纳米	7 纳米	5 纳米	7 纳米	7 纳米
核心数	8	8	8	8	8	8
CPU 算力	139k	194k	111k	159k (降频后)	88.6k (估计)	106k (估计)
GPU	MALI-G57 MP5	MALI G76 (15 核)	MALI-G57 MP5	Adreno 660	Adreno 640	Adreno 680
频率	850 MHz		850 MHz	840 MHz	700 MHz	未知
GPU 算力 (GFLOPS)	926	1205	926	1720	1142	1842.5
NPU (INT8 TOPS)	4		4	26 或 32	4 (估计)	9 (估计)

资料来源: 佐思汽研, 国信证券经济研究所整理

百度旗下集度汽车成为高通 8295 的首发, 量产车型预计在 2023 年交付。2021 年 11 月 29 日, 集度、百度和高通三方在上海进行了签约仪式, 集度汽车成为高通 8295 的首发, 集度旗下首款汽车机器人预计将于 2023 年量产交付, 此外高通 8295 芯片已经获得长城、广汽、通用等车厂的定点, 相关车型预计在 2023 年交付。

中科创达在 CES 2022 发布基于高通 SA8295 硬件平台的全新智能座舱解决方案。该解决方案充分发挥 SA8295 在算力、图形、图像处理等方面的突出性能, 打造了包含数字仪表、中控娱乐、副驾娱乐、双后座娱乐、流媒体后视镜和抬头显示器的一芯多屏智能座舱域控。公司基于深厚的车载 OS 技术, 创新性地打通座舱和自驾两大技术域, 更好地支持 360° 环视和智能泊车功能, 基于座舱域的冗余算力, 在实现安全可靠的低速泊车的同时降低了方案成本。

图 140: 高通发布第四代智能座舱平台



资料来源: 高通, 国信证券经济研究所整理

图 141: 中科创达发布基于高通 SA8295 的座舱解决方案



资料来源: 中科创达, 国信证券经济研究所整理

高通在 CES 2020 大会上发布了其自动驾驶 Snapdragon Ride 平台, 支持自动驾驶平台的开发。高通在 CES 2020 上推出全新自动驾驶平台高通 Snapdragon Ride, 该平台基于一系列不同的骁龙汽车 SoC 和加速器建立。它采用了可扩展且模块化的高性能异构多核 CPU、高能效的 AI 与计算机视觉引擎, 以及业界领先的 GPU。同时, 该平台还包括 Snapdragon Ride 安全系统级芯片 (SoC)、Snapdragon Ride 安全加速器和 Snapdragon Ride 自动驾驶软件栈 (Autonomous Stack)。平台能够根据自动驾驶的每个细分市场的需求进行匹配, 并提供业界领先的散热效率, 主要面向三大细分: (1) L1/L2 级 ADAS, 面向具备 AEB、TSR 和 LKA 等驾驶辅助功能的汽车, 提供 30 TOPS 的算力; (2) L2+级 ADAS, 面向具备 HWA、自动泊车

APA 以及 TJA 功能的汽车，提供 60~125 TOPS 的算力；（3）L4/L5 级自动驾驶，面向在城市交通环境中的自动驾驶乘用车、机器人出租车和机器人物流车，可提供 700 TOPS 算力，功耗为 130W。

图 142: 高通 Snapdragon Ride 车规级 SoC



资料来源：高通，国信证券经济研究所整理

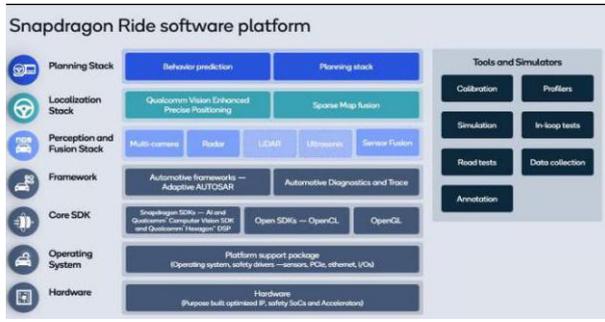
图 143: Ride 平台可面向从 L1 到 L4 级别的自动驾驶



资料来源：高通，国信证券经济研究所整理

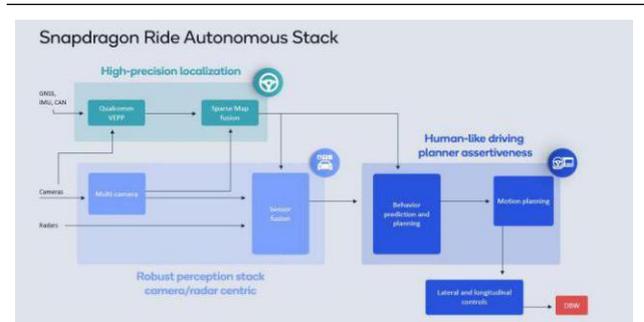
Snapdragon Ride 软件平台包括：规划堆栈、定位堆栈、感知融合堆栈、系统框架、核心软件开发工具包（SDK）、操作系统和硬件系统。高通推出的专门面向自动驾驶的软件栈，是集成在 Snapdragon Ride 平台中的模块化可扩展解决方案，旨在帮助汽车制造商和一级供应商加速开发和创新。该软件栈通过面向复杂用例而优化的软件和应用，助力汽车制造商为日常驾驶带来更高的安全性和舒适性，例如自动导航的类人高速公路驾驶，以及提供感知、定位、传感器融合和行为规划等模块化选项。Snapdragon Ride 平台的软件框架支持同时托管客户特定的软件栈组件和 Snapdragon Ride 自动驾驶软件栈组件。

图 144: 高通 Snapdragon Ride 软件平台



资料来源：高通，国信证券经济研究所整理

图 145: 高通 Snapdragon Ride 软件栈



资料来源：高通，国信证券经济研究所整理

高通收购维宁尔旗下软件业务 Arriver，全面补强自动驾驶域。维宁尔（Veoneer）总部位于瑞典斯德哥尔摩，前身是全球最大的安全气囊和安全带生产商奥托立夫（Autoliv）公司电子事业部，2018 年从奥托立夫拆分出来，维宁尔致力于自动驾驶汽车的高级辅助系统（ADAS）和协作式自动驾驶系统（AD）领域的研发，拥有雷达系统、ADAS 电子控制单元（ECU）、视觉系统、激光雷达系统和热成像等产品。Veoneer 在 2020 年将 ADAS、协作和自动软件开发集中在一个部门并命名为 Arriver。

2020 年 8 月，维宁尔与高通达成合作，并于 2021 年 1 月签署了合作协议，双方合作交付可扩展的先进驾驶辅助系统（ADAS）和协作式自动驾驶（AD）解决方案，采用 Veoneer 下一代感知与驾驶策略软件栈和高通 Snapdragon Ride ADAS/AD 可

扩展系统级 SoC 组合与加速器。

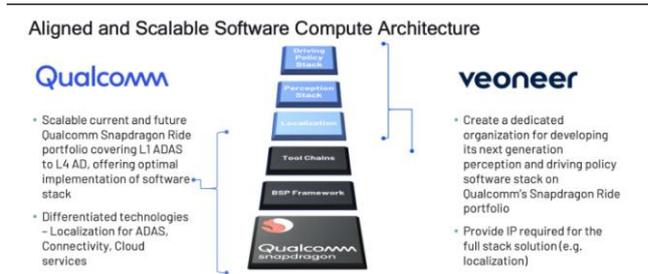
2021 年 10 月 4 日,高通与 SSW Partners 达成最终协议,以 45 亿美元(约合 290.03 亿元人民币)收购瑞典汽车技术公司 Veoneer (维宁尔),以全现金方式交易。根据协议, Veoneer 每股价值 37 美元。交易完成后, SSW Partners 将收购 Veoneer 所有流通股本,并将 Arriver 传感器和自动驾驶软件平台出售给高通,保留 Veoneer 的 Tier 1 业务。

图 146: 与 Arriver 共同打造 Ride 自动驾驶平台



资料来源:高通,国信证券经济研究所整理

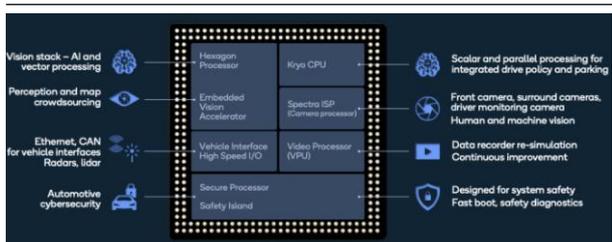
图 147: 高通与 Arriver 强强联合布局自动驾驶领域



资料来源:高通,国信证券经济研究所整理

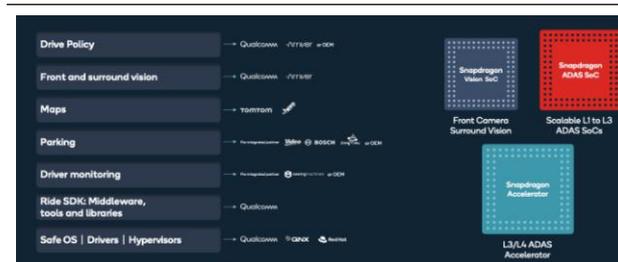
集成 Arriver 视觉感知软件栈,推出 Snapdragon Ride Vision 视觉系统。高通在 CES 2022 上发布了 Snapdragon Ride Vision 视觉系统,该系统拥有全新的开放、可扩展、模块化计算机视觉软件栈,基于 4 纳米制程的系统级 SoC 芯片打造,旨在优化前视和环视摄像头部署,支持先进驾驶辅助系统(ADAS)和自动驾驶(AD)。该视觉系统集成了专用高性能 Snapdragon Ride SoC 和 Arriver 下一代视觉感知软件栈,提供多项计算功能以增强对车辆周围环境的感知,支持汽车的规划与执行并助力实现更安全的驾乘体验。利用 Ride 平台软件开发套件(SDK),汽车制造商和 Tier 1 可以灵活开发其驾驶策略软件栈并集成组件,带来扩展灵活性,使其能够集成地图众包、驾驶员监测系统(DMS)、泊车系统、蜂窝车联网(C-V2X)技术和定位模组,从而支持更优的定制化和向上集成。Snapdragon Ride 视觉系统预计将于 2024 年量产上市。

图 148: 4nm 制程的 Snapdragon Ride 视觉 SoC



资料来源:高通,国信证券经济研究所整理

图 149: 高通 Ride 平台为主机厂提供扩展灵活性



资料来源:高通,国信证券经济研究所整理

自高通在 2020 年初推出 Snapdragon Ride 自动驾驶平台后,目前已经与通用、长城、宝马等多家主机厂达成合作,将在下一代新车上搭载 Ride 平台,相关量产车型落地在即。

(1) 通用 (GM) :

通用将在下一代 Ultra Cruise 驾驶辅助系统搭载高通 Ride 平台。高通在 CES 2020 上宣布与通用集团在数字座舱、车载信息处理和 ADAS 领域开展合作。通用近期发布了其驾驶辅助系统 Ultra Cruise 计算平台,该平台由两个 Snapdragon SA8540P

SoC 和一个 SA9000P AI 加速器组成，可在 16 核 CPU 上提供关键的低延迟控制功能，并为相机、雷达和激光雷达处理提供每秒超过 300 Tera 操作的高性能 AI 计算。SA8540P SoC 采用 5nm 工艺设计，可实现卓越的性能和能效，将为 Ultra Cruise 的传感、感知、规划、定位、映射和驾驶员监控提供必要的带宽。通用汽车计划将在 2023 年在凯迪拉克旗下全新纯电动 CELESTIQ 首发上市，并配置自主研发的 Ultra Cruise 软件栈，覆盖 95% 驾驶场景的可放开双手自动驾驶。

图 150: 通用汽车的 Ultra Cruise 辅助驾驶系统



资料来源：GM，国信证券经济研究所整理

图 151: 通用旗下凯迪拉克 CELESTIQ 将于 2023 年量产



资料来源：凯迪拉克，国信证券经济研究所整理

(2) 长城汽车：

长城汽车与高通在自动驾驶领域达成合作，相关量产车将在 2022 年量产。2020 年 12 月，长城汽车与高通宣布双方在自动驾驶领域达成合作，长城汽车将率先采用高通 Snapdragon Ride 平台，打造先进的高算力智能驾驶系统——长城汽车咖啡智驾系统，并在 2022 年量产的长城汽车高端车型中采用，长城汽车是国内首批采用高通 Snapdragon Ride 平台的整车厂商。2021 年 7 月正式发布搭载高通 Snapdragon Ride 平台的自动驾驶平台 ICU 3.0，搭载这一平台的量产车型将于 2022 年二季度正式交付。

长城旗下毫末知行在 CES 2022 上推出基于高通 Ride 平台的域控制器。毫末知行成立于 2019 年 11 月，前身是长城汽车的智能驾驶部，毫末知行在两年的发展过程中，拥有了全栈自研自动驾驶解决方案和数据智能中心，业务范围包括乘用车、无人物流车、智能硬件。毫末知行在 2021 年底的 10 亿元 A 轮融资中，高通创投参与了本轮投资，毫末知行的投后估值超过 10 亿美元。在 CES 2022 大会上，毫末知行联合高通全球算力最高的可量产自动驾驶计算平台毫末知行小魔盒 3.0，其平台单板算力达 360TOPS，可持续升级到 1440TOPS。这也是高通 5nm 自动驾驶计算平台的全球首发量产。SA8540P SoC+SA9000 的组合，支持接入 6 路千兆以太网/12 路 800 万像素摄像头/5 路毫米波雷达/3 路激光雷达，可以做 L1/L2 级别的降级控制，也可以满足当前 L3 以及后续 L4/L5 等全场景自动驾驶功能的实现。

图 152: 毫末知行推出的小魔盒 3.0 方案



资料来源：毫末知行，国信证券经济研究所整理

图 153: 毫末知行推出的小魔盒 3.0 实物图



资料来源：毫末知行，国信证券经济研究所整理

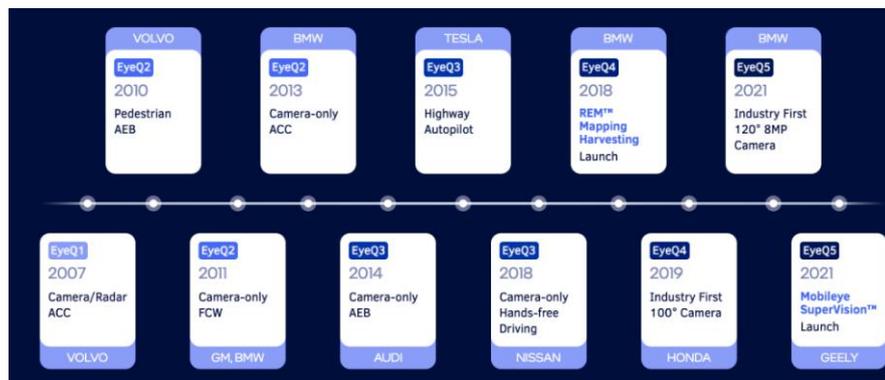
(3) 宝马集团：

高通与宝马集团在自动驾驶领域达成合作，相关车型将在 2025 年量产。在 2021 年 11 月的高通投资者大会上，高通宣布与宝马集团在自动驾驶领域达成合作，宝马的下一代车型将采用高通 Snapdragon Ride 自动驾驶平台，其中包括高通的中央计算 SoC 等多个核心部件，新款车型将在 2025 年量产。

Mobileye：ADAS 赛道的先行者，当前市占率第一

Mobileye 自 1999 年便开始专注于 ADAS 赛道。Mobileye 于 1999 年由以色列希伯来大学的 Amoon Shashua 教授和 Ziv Aviram 创立，靠视觉算法起家，主要业务是开发自动驾驶相关的系统和 EyeQ 系列芯片。2007 年，Mobileye 的 EyeQ1 开始在宝马、通用和沃尔沃等车企量产上车，2008 年发布了 EyeQ2，尤其在 2014 年推出 EyeQ3 后一举成名，同时于 2014 年在美国纳斯达克上市，市值高达 80 亿美元。在 2017 年由英特尔以 153 亿美元收购，从而私有化退市，成为英特尔旗下自动驾驶业务部门。英特尔计划在 2022 年中让 Mobileye 独立在美上市。

图 154: Mobileye 发展历程



资料来源：Mobileye，国信证券经济研究所整理

Mobileye 在 2021 年 Q3 营业收入同比增长 39%，18-20 年营收复合增速 18%。2021 年 Mobileye 拿到了 30 多家车企的 41 项新订单，涉及约 5000 万辆新车搭载。根据英特尔财报显示，Mobileye 在 2021 年 Q3 营业收入 3.26 亿美元，同比增长 39%。

Mobileye 的营业收入从 2018 年的 6.98 亿美元提升到 2020 年 9.67 亿美元，复合增速为 17.7%。

表63: Mobileye18-21 年营业收入（单位：亿美元）

	Q1	Q2	Q3	Q4	全年
2018 年	1.51	1.73	1.91	1.83	6.98
2019 年	2.09	2.01	2.29	2.4	8.76
2020 年	2.54	1.46	2.34	3.42	9.76
2021 年	3.77	3.27	3.26	未知	未知

资料来源：高通，国信证券经济研究所整理

从 2007 年至今，Mobileye EyeQ 系列芯片累计出货量超过 1 亿颗。Mobileye 的 EyeQ1 自 2007 年在宝马、通用和沃尔沃量产上车以来，截至目前，公司 EyeQ 系列芯片已经完成 1 亿颗的出货。Mobileye EyeQ 系列芯片出货量也在持续增加，但是增速逐渐放缓，EyeQ 系列芯片销量从 2018-2021 年分别为 1240 万、1750 万、1930 和 2810 万颗，同比增长率 43%/41%/10%/46%。

图 155: Mobileye 从 14-21 年 EyeQ 系列芯片销量（百万）



资料来源：Mobileye，国信证券经济研究所整理

Mobileye 市场占有率依旧领先，正在逐渐掉队。在过去 20 年时间里，Mobileye 以视觉感知技术为基础，推出了算法+EyeQ 系列芯片组成的一系列解决方案，帮助车企实现从 L0 级的碰撞预警，到 L1 级的 AEB 紧急制动、ACC 自适应巡航，再到 L2 级的 ICC 集成式巡航等各种功能，Mobileye 当前仍然以 36.29% 的市场份额排名第一，包括宝马、沃尔沃、奥迪、蔚来、长城等一系列国内外车企，甚至特斯拉都曾搭载过 EyeQ 系列芯片。但是，Mobileye 正在逐渐掉队，例如，宝马在 2016 年与 Mobileye 组建了自动驾驶联盟，但是在前不久已经与高通 Ride 达成合作，蔚来、理想等一批车企则选择了在新一代车型上搭载英伟达 Orin 芯片。

表64：搭载 Mobileye EyeQ 系列芯片的车型

车企	车型	使用芯片型号和数量	车型上市时间
特斯拉	2014 款 Model S	1 颗 Mobileye EyeQ3	2015 年
	HW1.0 版本	Mobileye EyeQ3	2014 年
一汽	奥迪 A8	1 颗 MobileyeQ3	2018 年
凯迪拉克	CT6	1 颗 Mobileye EyeQ3	2018 年
小鹏	G3	1 颗 Mobileye EyeQ4	2018 年 12 月
威马	EX5	Mobileye EyeQ4	2018 年
理想	2020 款理想 one	4 颗 Mobileye EyeQ4	2019 年 10 月
	ES8	1 颗 Mobileye EyeQ4	2019 年 12 月
蔚来	ES6	1 颗 Mobileye EyeQ4	2018 年 12 月
	EC6	1 颗 Mobileye EyeQ4	2020 年 7 月
上汽	荣威 MARVEL X	Mobileye EyeQ4	2018 年 9 月
	荣威 MARVEL R	Mobileye EyeQ4	2020 年 6 月
	大众 ID6	Mobileye EyeQ4	2021 年 6 月
广汽	埃安 LX	1 颗 Mobileye EyeQ4	2020 年 11 月
福特	Bronco	Mobileye EyeQ4	/
	F-150	Mobileye EyeQ4	/
	Mustang Mach-E	Mobileye EyeQ4	2021 年 6 月
日产	Ariya	Mobileye EyeQ4	/
长城	第三代哈弗 H6	Mobileye EyeQ4	2021 年 6 月
合众	哪吒 U	1 颗 Mobileye EyeQ4	2020 年 3 月
华晨	宝马 1 系	Mobileye EyeQ4	/
	宝马 X1	Mobileye EyeQ4	/
	宝马 iX	2 颗 Mobileye EyeQ5	2022 年
吉利	ZERO Concept	2 颗 Mobileye EyeQ5	
极氪	极氪 001	2 颗 Mobileye EyeQ5	2021 年 4 月
	L4 自动驾驶新车	6 颗 Mobileye EyeQ5	预计 2024 年

资料来源：车东西，国信证券经济研究所整理

Mobileye EyeQ 系列芯片从 2007 年发布至今，目前一共有五代产品：

(1)EyeQ1：Mobileye 的 EyeQ 系列芯片最初是和意法半导体公司共同开发，第一代芯片 EyeQ1 从 2004 年开始研发，于 2007 年上市，算力为 0.0044 TOPS，功耗为 2.5W；

(2)EyeQ2：2008 年发布，2010 年上市，最初的两代产品仅提供 L1 辅助驾驶功能，EyeQ2 算力为 0.026 TOPS，功耗为 2.5W；

(3)EyeQ3：2013 年发布，2015 年量产上市，基于其自主 ASIC 架构自行开发，使用了 4 颗 MIPS 核心处理器、4 颗 VMP 芯片，算力为 0.256 TOPS，功耗为 2.5W，可以支持 L2 高级辅助驾驶计算需求；

(4)EyeQ4：2015 年发布，2018 年量产上市，采用 28nm 工艺。EyeQ4 使用了 5 颗核心处理器（4 颗 MIPS i-class 核心和 1 颗 MIPS m-class 核心）、6 颗 VMP 芯片、2 颗 MPC 核心和 2 颗 PMA 核心，可以同时处理 8 部摄像头产生的图像数据，EyeQ4 算力为 2.5 TOPS，功耗为 3W；

(5)EyeQ5：2018 年发布，2021 年量产上市，由台积电代工，采用 7nmFinFET 工艺，

EyeQ5 系统采用了双路 CPU，使用了 8 颗核心处理器、18 核视觉处理器，算力为 24 TOPS，功耗为 10W。

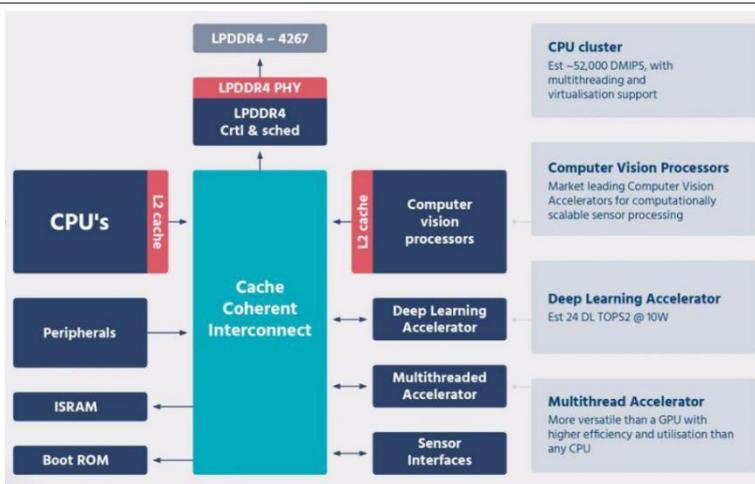
表 65: Mobileye EyeQ 系列芯片情况

型号	算力 (TOPS)	功耗 (W)	制程工艺	发布时间	量产时间	代工
EyeQ1	0.0044	2.5	180nm CMOS	2004 年	2008 年	意法
EyeQ2	0.026	2.5	90nm CMOS	2008 年	2010 年	意法
EyeQ3	0.256	2.5	40nm CMOS	2013 年	2015 年	意法
EyeQ4	2.5	3	28nm FD-SOI	2015 年	2018 年	意法
EyeQ5	24	10	7nm FinFET	2018 年	2021 年	台积电

资料来源: Mobileye、国信证券经济研究所整理

EyeQ5 采用“CPU+ASIC”架构，功耗极低，但生态相对封闭。EyeQ5 主要有 4 个模块：CPU、Computer Vision Processors (CVP)，Deep Learning Accelerator (DLA)、Multithreaded Accelerator (MA)，其中 CVP 是针对传统计算机视觉算法设计的 ASIC 模块，用专用的 ASIC 来运行这些算法而达到极低功耗而闻名。但是其算法系统相对封闭，对 OEM 和 Tier 1 来说是黑盒，他们无法进行二次修改从而差异化自己的算法功能。Mobileye 的算法解决方案还是以传统计算机视觉算法为主，深度学习算法为辅，这也直接决定了其以 CVP 为主，DLA 为辅的架构。

图 156: Mobileye EyeQ5 的芯片架构



资料来源: Mobileye、国信证券经济研究所整理

Mobileye 在近年的 CES 2022 大会上发布了三款最新的芯片 EyeQ Ultra、EyeQ6 Light 和 EyeQ6 High。此外，Mobileye 与吉利汽车集团的极氪共同宣布，将在在 2024 年前推出具有 L4 能力的纯电新车，新车基于吉利 SEA 平台打造，使用 6 颗 EyeQ 5 芯片，以处理 Mobileye 的驾驶策略及地图技术的开放协作模型。同时，新车将，双方将在软件技术方面进行有效集成。

- **EyeQ Ultra:** 面向 L4 级自动驾驶，基于 5nm 制程打造，算力 176 TOPS，大约为 10 颗 EyeQ5 芯片的性能。EyeQ Ultra 具备 12 核、24 线程 CPU，同时还有两个通用计算加速器和两个 CNN 加速器。EyeQ Ultra 预计将在 2023 年提供样品，2025 年实现量产上车；

- **EyeQ6 High:** 面向 L2 级自动驾驶，基于 7nm 制程打造，算力 34 TOPS，EyeQ6 High 具备 8 核、32 线程的 CPU，两个通用计算加速器和两个 CNN 加速器。EyeQ6 High 预计 2022 年开始提供样品，2024 年实现量产；
- **EyeQ6 Light:** 面向 L1-L2 级自动驾驶，基于 7nm 制程打造，算力 5 TOPS。EyeQ6 Light 具备 2 核、8 线程 CPU，1 个通用计算加速器和 1 个 CNN 加速器。为上一代 EyeQ4 的迭代版本，但封装尺寸为 EyeQ4 的 55%。预计 2023 年实现量产。

图 157: Mobileye 发布三款芯片 EyeQ Ultra、EyeQ6 Light 和 EyeQ6 High



资料来源: Mobileye, 国信证券经济研究所整理

EDA 软件研究框架

EDA 软件是集成电路行业上游的必备工具

EDA (Electronic Design Automation, 电子设计自动化) 是指利用计算机辅助设计 (CAD) 软件, 来完成超大规模集成电路 (VLSI) 芯片的功能设计、综合、验证、物理设计 (包括布局、布线、版图、设计规则检查等) 等流程的设计方式。工程师利用 EDA 工具, 将芯片的电路设计、性能分析、设计出 IC 版图的整个过程交由计算机自动处理完成。EDA 的应用包括模拟电路、数字电路、FPGA、PCB、面板等多个领域的设计工作。狭义的 EDA 概念仅针对 IC 设计环节所提供的自动化工具, 而广义的 EDA 概念则包括从 IC 设计、IC 制造到封装测试各环节所提供的自动化工具。

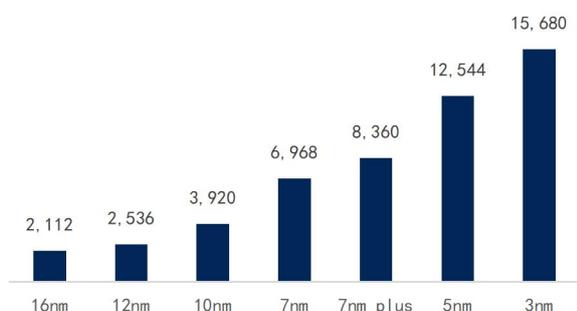
芯片的复杂程度和集成度上升, 产业分工以及设计成本攀升, 使 EDA 软件也成为了集成电路上游的必备工具。

上世纪六十年代，早年的集成电路仅有几个管子，依靠传统的手工画图便可完成功能的计算。随着集成电路的复杂程度增加，设计师开始采用简单的 CAD 工具进行芯片设计。在 1980 年，卡弗尔米德和琳康维提出了通过编程语言进行芯片设计的思想，真正奠定了集成电路行业发展的基础，是 IC 设计自动化的主要标志。自此，集成电路行业迎来了高速发展的四十年。EDA 软件也伴随着集成电路行业的发展一步一步成为行业的必备工具，主要有以下三点原因：

- **复杂度上升：**单个芯片内部的晶体管数量在“摩尔定律”的推动下每 18 个月翻一倍，如今 5nm 的芯片可以容纳 125 亿个晶体管，未来的 3nm 芯片将容纳近 160 亿个晶体管。如果没有一套高度自动化的设计工具与设计流程，这 100 多亿个晶体管的芯片设计图纸是无法完成，IC 设计早已无法再单纯依赖设计师手工设计，必须依靠 EDA 工具完成电路设计、版图设计、版图验证、性能分析等工作；
- **产业分工：**集成电路行业设计规模的增大，技术复杂性的增大，也带动集成电路产业转向分工模式，从 IDM (Integrated Device Manufacture) 模式转变成“Fabless (芯片设计公司)+Foundry (晶圆代工厂)+OSAT (Outsourced Semiconductor Assembly and Testing, 封装与测试厂)”的模式；
- **设计成本攀升：**在“摩尔定律”的推动下，IC 的设计成本逐代攀升。根据 IBS 的数据，集成电路设计成本从 28nm 的 5130 万美元跃升至 7nm 芯片的 2.978 亿美元，5nm 芯片的 5.422 亿美元。往往几次流片的失败就可能让一家芯片设计初创公司丢失生命，高筑的 IC 设计成本也让 EDA 软件愈发重要。

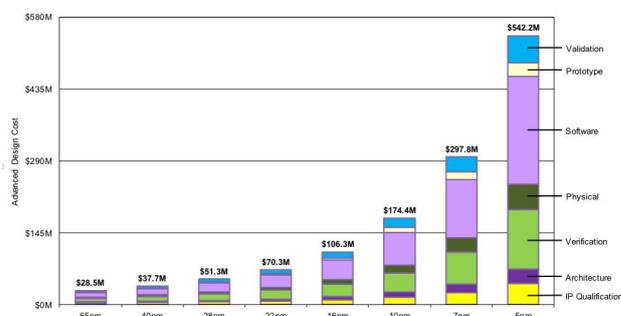
因此，EDA 软件也成为了集成电路领域的上游基础工具，贯穿于 IC 设计、制造、封测等环节。

图 158：单颗裸片可容纳的晶体管数量的增长趋势(百万个)



资料来源：IBS，国信证券经济研究所整理

图 159：不同制程芯片的开发成本及构成



资料来源：IBS，国信证券经济研究所整理

自 1970 年开始，EDA 技术伴随着计算机、集成电路、电子系统的发展而兴起，经历从通用化走向专业化的路径。因此，总体来看，EDA 行业的发展历程大体可以分为 CAD 阶段、CAE 阶段和 EDA 阶段三个阶段：

- **早期-CAD 阶段（1970-1980 年）：**中小规模集成电路已经出现，手工绘制版图设计印刷电路板的方法已无法满足精度和效率的要求，设计师开始借助于计算机完成印制电路板设计。于是，出现了第一代的 EDA 工具，利用二维平面图形的 CAD (Computer-aided design) 工具进行电路原理图编制、PCB 布局布线等；
- **发展期-CAE 阶段（1980-1990 年）：**由于集成电路规模的逐步扩大和电子系

统的日趋复杂，出现了以计算机仿真和自动布局布线为核心的第二代 EDA 技术，即 CAE (Computer Aided Engineering)，将各个 CAD 工具集成为系统，从而加强了电路功能设计和结构设计，该时期的 EDA 技术已经延伸到半导体芯片的设计，生产出可编程半导体芯片；

- **成熟期-EDA 阶段（1990 年-至今）**：芯片的复杂度进一步提升，给 EDA 技术提出了更高的要求，也促进了 EDA 技术的大发展。EDA 的发展集中到加强自动化和智能化方向，致力于设计语言和高层设计理念上实现统一，促使 EDA 系统能够完成电子产品的系统级至物理级的设计。各公司也相继开发出了以高级语言描述、系统级仿真和综合技术为特征的大规模 EDA 软件系统。

图 160: EDA 软件行业的发展历程

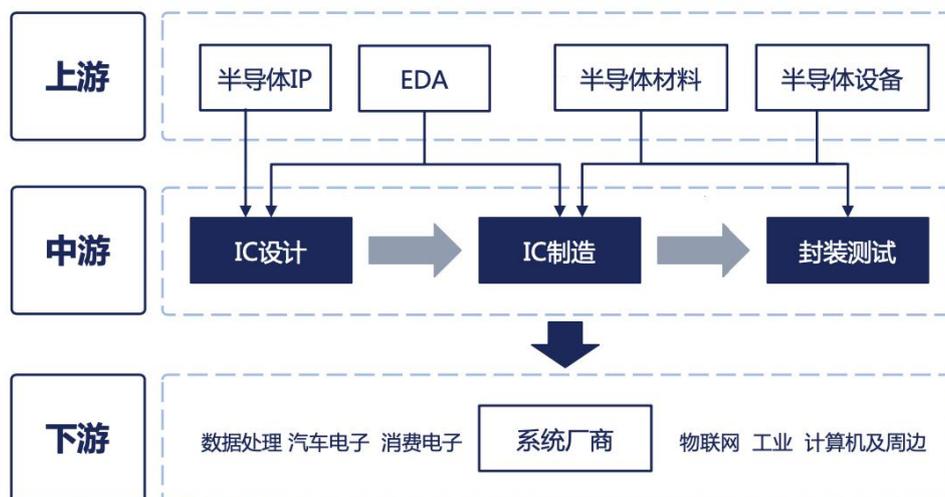


资料来源：CSDN，国信证券经济研究所整理

EDA 位于产业链的最上游。整个集成电路的产业链主要包括：上游的 EDA、半导体 IP、半导体材料和设备，中游的 IC 设计、IC 制造和封装测试，下游的各领域系统厂商，EDA 位于整个集成电路产业链的最上游。

- **上游：**EDA 和半导体 IP 分别为 IC 设计与制造提供所需的自动化工具和搭建 SoC 所需的核心功能模块；半导体材料和设备则主要提供 IC 制造环节所需的核心生产资料；
- **中游：**包括 IC 设计、IC 制造、封装、测试。（1）IC 设计通过电路设计、仿真、验证和物理实现，最终形成可交付制造的晶体管级版图信息；（2）IC 制造将版图信息制成光罩，将光罩上的电路图形信息蚀刻至硅片上，在晶圆上形成电路；（3）封装是将晶圆片进行切割、焊线、封装，使芯片电路与外部器件实现电气连接，并为芯片提供机械物理保护；（4）测试是对封装完毕的芯片进行功能和性能测试，测试合格后，芯片成品即可使用；
- **下游：**各应用领域的制造商或系统厂商，将各类芯片集成到终端产品上，并销售给客户。

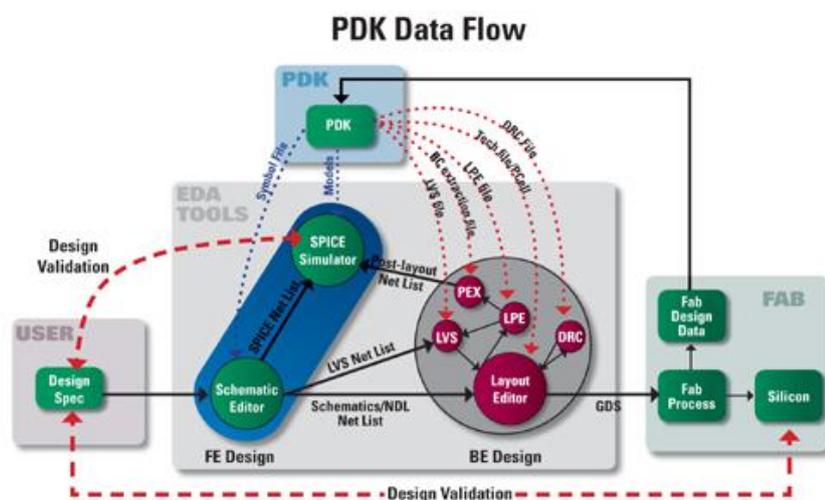
图161：集成电路行业产业链



资料来源：概论电子招股书，国信证券经济研究所整理

Foundry、Fabless 以及 EDA 供应商在产业链中并非线性关系，而是三角关系，PDK 是三者间的纽带。PDK (Process Design Kit)，即工艺设计套件，是链接 Foundry、Fabless 以及 EDA 供应商之间最主要的桥梁和媒介。PDK 是一组描述半导体工艺细节的文件，由晶圆代工厂提供，供芯片设计 EDA 工具使用。PDK 一般会包含反映制造工艺基本的元素：晶体管、接触孔，互连线等。PDK 的内容中包括设计规则文件、电学规则文件、版图层次定义文件、SPICE 仿真模型、器件版图和期间定制参数等。客户会在投产前使用晶圆厂的 PDK，确保晶圆厂能够基于客户的设计生产芯片，保证芯片的预期功能和性能。所以，开始采用新的半导体工艺时，首先要做的事就是开发一套 PDK，PDK 用 Foundry 晶圆代工厂的语言定义了一套反映 Foundry 工艺文档资料，是 IC 设计公司用来做物理验证的基石，也是流片成败关键的因素。

图162：PDK 在 Foundry、Fabless 以及 EDA 供应商之间的关系



资料来源：Silvaco，国信证券经济研究所整理

EDA 工具实现了对各类 IC 设计流程的全覆盖。从结构上，芯片可以分为数字芯片、模拟芯片以及数模混合芯片。而芯片设计流程主要可以分为半定制 IC 设计流程与全定制 IC 设计流程，半定制的设计流程一般用来设计数字 IC，全定制设计流程一般用于设计模拟 IC 和数模混合 IC。目前海外成熟的 EDA 公司都对各类 IC 设计流程的各个环节实现了全覆盖。

图 163: 半定制 IC 设计所涉及的 EDA 工具



资料来源: Elecfans, 国信证券经济研究所整理

图 164: 全定制 IC 设计所涉及的 EDA 工具



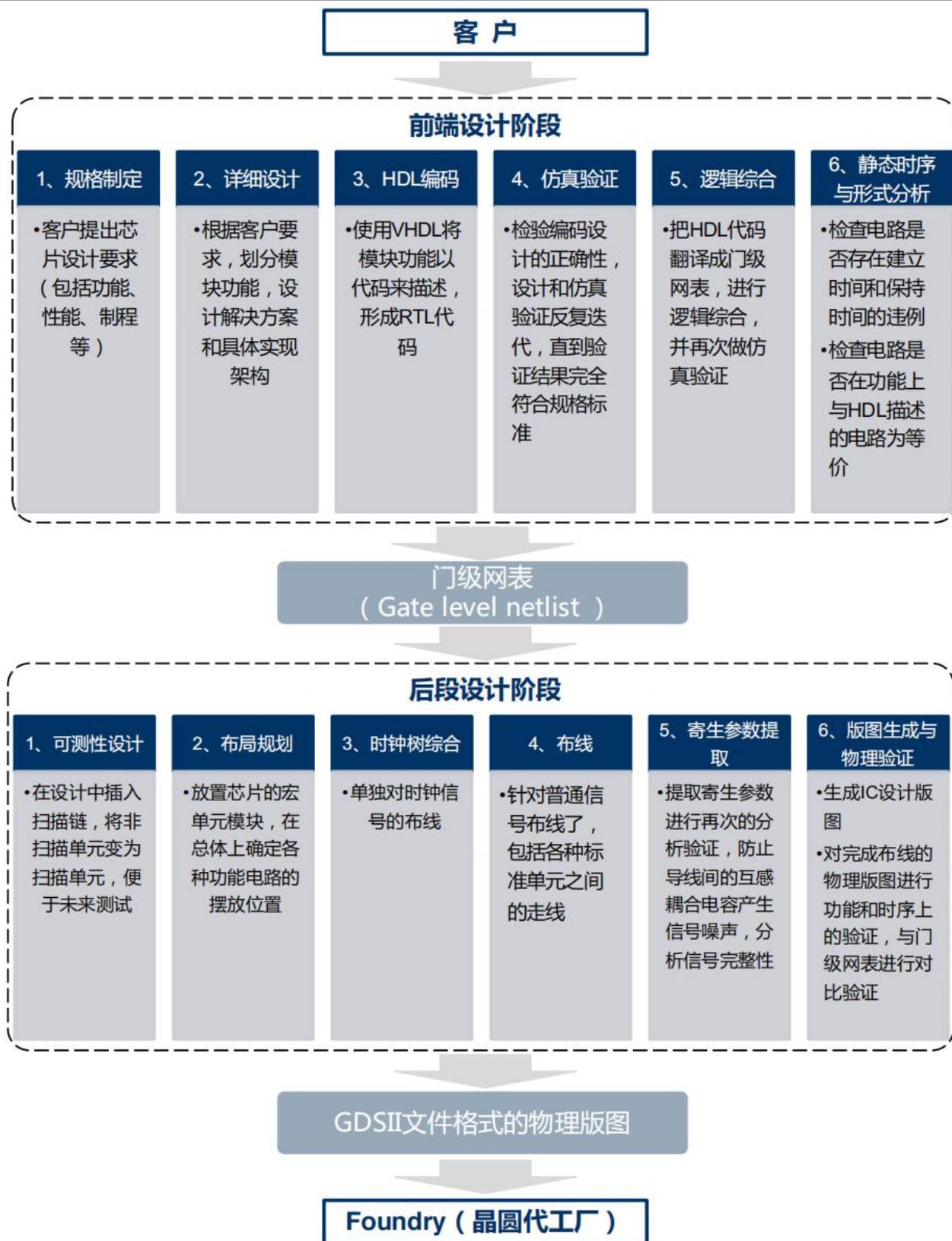
资料来源: Elecfans, 国信证券经济研究所整理

全定制 IC 设计包括了电路图输入、电路仿真、版图设计、版图验证、寄生参数提取、后仿真、流片等，而半定制 IC 设计则可以分为 IC 前端设计（逻辑设计）和后端设计（物理设计）两个部分：

- 前端设计（逻辑设计）：从设计需求到输出门级网表电路，前端设计主要流程包括规格制定、详细设计、HDL 编码、仿真验证、逻辑综合、静态时序分析、形式验证；
- 后端设计（物理设计）：从门级网表电路到输出 IC 设计版图，后端设计的主要流程包括可测性设计、布局规划、时钟树综合、布线、寄生参数提取、版图物理验证。

一般来说，一个完整的 IC 设计流程包括了从客户提出需求开始到最终形成版图交付给 Foundry 进行 IC 制造，如下图所示：

图165: IC设计产业链



资料来源: CSDN, 国信证券经济研究所整理

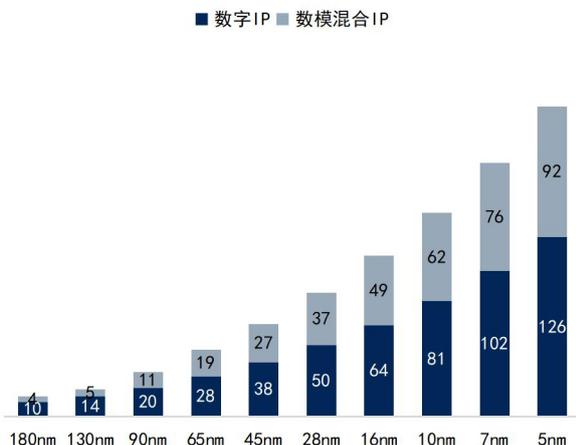
IP 核 (Intellectual Property core)，即知识产权核或知识产权模块，是经过反复验证过的、可以重复使用的集成电路设计宏模块，主要应用于专用集成电路 (ASIC) 或者可编程逻辑器件 (FPGA)。根据产品交付方式的不同，可以分为软 IP、固 IP 和硬 IP，与此相对应的产品形式分别为 HDL 语言形式，网表形式、版图形式。

IP 授权的出现也是源自于 IC 设计行业的产业分工。根据摩尔定律，高性能芯片设计难度将不断在加大，想要独立完成所有芯片的设计工作，需要大量的研发资源和成本。对应之下，使用经过验证的 IP 核可以有效降低设计风险和成本，提升产品性价比。Fabless 无需再对芯片每个细节进行设计，只需通过购买成熟可靠的 IP 方案，就可实现某个特定功能。通过 IP 授权能缩短产品上市时间，避免重复劳动，Fabless 可以将精力更多地用于提升核心竞争力的研发中。

SoC (System on Chip, 系统级芯片) 技术是从设计的角度出发，将系统所需的组件进行高度集成，将原本不同功能的集成电路以功能模块的形式整合在一颗芯片中。随着 IC 设计步入 SoC 时代，为了加快产品上市时间，以 IP 复用、软硬件协同设计和超深亚微米/纳米级设计为技术支撑的 SoC 已成为当今超大规模集成电路的主流方向，当前国际上绝大部分 SoC 都是基于多种不同 IP 组合进行设计的。可重复使用的即插即用的 IP 模块，被认为是 SoC 技术中最关键和高效的一环。

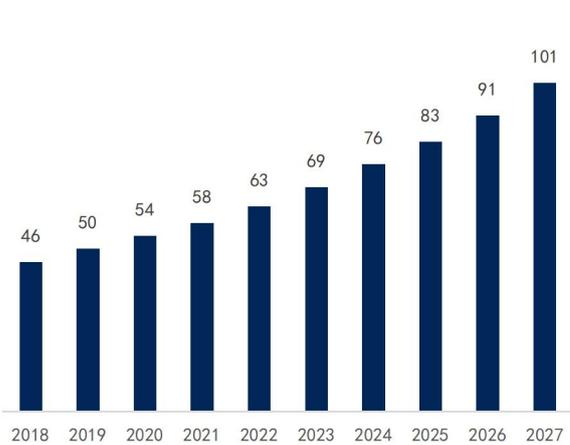
晶体管数量大幅提升，使得单颗芯片中可集成的 IP 数量也大幅增加。根据 IBS 数据，以 28nm 工艺节点为例，单颗芯片中已可集成的 IP 数量为 87 个。当工艺节点演进至 7nm 时，可集成的 IP 数量达到 178 个。单颗芯片可集成 IP 数量增多为更多 IP 在 SoC 中实现可复用提供新的空间，从而推动半导体 IP 市场进一步发展。根据 IBS 预测，半导体 IP 市场将从 2018 年的 46 亿美元增长至 2027 年的 101 亿美元，年均复合增长率为 9.13%。

图 166: 不同制程芯片所集成的硬件 IP 数量 (个)



资料来源: IBS, 国信证券经济研究所整理

图 167: 全球半导体 IP 市场规模预测 (亿美元)



资料来源: IBS, 国信证券经济研究所整理

简单来说，IP 就是把部分设计流程固化，当 Fabless 使用 EDA 工具进行 IC 设计时，可以直接把所需功能的 IP 模块拿来使用，不必再重复设计。因此，IP 的丰富程度也是 EDA 生态的重要衡量标准。对于海外成熟的 EDA 企业而言，IP 授权业务也一直是其一项重要的收入来源。根据 IPnest 的数据显示，2020 年全球半导体 IP 市场中，除了 ARM 等专业半导体 IP 供应商外，Synopsys、Cadence 这两大 EDA 巨头位列全球半导体 IP 市场的第二、三名，市占率分别为 19.2%、6.0%。

表 66: 2020 年全球 IP 授权市场格局

排名	公司名称	19 年销售额 (百万美元)	20 年销售额 (百万美元)	增长率	2020 年市占率
1	ARM	1,608.0	1,887.1	17.4%	41.0%
2	Synopsys	716.9	884.3	23.4%	19.2%
3	Cadence	233.0	277.3	19.0%	6.0%
4	SST	87.0	125.0	43.7%	2.7%
5	Imagination Technologies	87.0	100.3	15.3%	2.2%
6	Ceva	132.4	96.9	-26.8%	2.1%
7	Verisilicon (芯原股份)	70.0	91.5	30.7%	2.0%
8	Achronix	25.2	75.1	198.0%	1.6%
9	Rambus	47.9	63.7	33.0%	1.4%
10	eMemory Technology	57.4	48.8	-15.0%	1.1%
Top10 合计		3,064.8	3,650.0	19.1%	79.3%
其他		878.8	953.8	8.5%	20.7%
总计		3,943.6	4,603.8	16.7%	100.0%

资料来源: IPnest, 国信证券经济研究所整理

市场空间: 中国成为 EDA 市场的重要增长动力

EDA 杠杆效应显著, 是集成电路行业的支点。整个集成电路行业形成了由 EDA 工具、集成电路、电子系统、数字经济等构成的倒金字塔产业链结构, 仅从市场规模来看, 2020 年全球市场规模 EDA 行业仅 70 亿美元, IP 授权行业仅 50 亿美元, 背后却支撑着数十万亿规模的数字经济, 是整个产业链的命脉。

图 168: 集成电路行业的倒金字塔结构



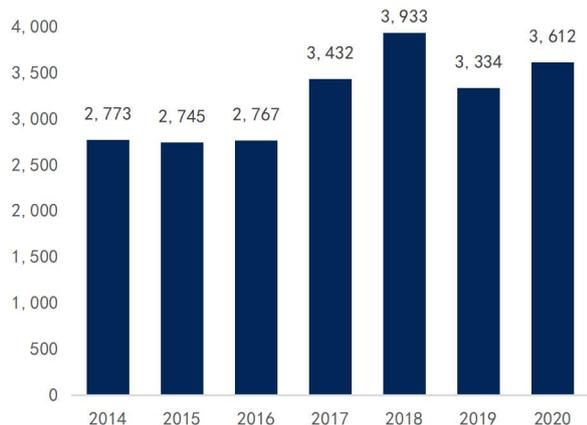
资料来源: 华大九天, 国信证券经济研究所整理

中国作为全球规模最大、增速最快的集成电路市场。从 2014 年到 2020 年, 全球集成电路市场规模从 2773 亿美元提升至 3612 亿美元, 年均复合增长率 4.50%, 而同期中国集成电路市场规模从 3,015 亿元提升至 8,848 亿元, 年均复合增长率达 19.65%。随着集成电路行业专业化分工的趋势加剧, 也带动集成电路设计行业市场快速增长, 从 2014 年到 2020 年, 全球集成电路设计销售规模从 881 亿美元提升至 1279 亿美元, 年均复合增长率 6.41%, 而同期中国集成电路设计销售规模从 1051 亿元提升到 3778 亿元, 年均复合增长率达 23.77%, 显著高于同期整个中

国集成电路市场的复合增速。

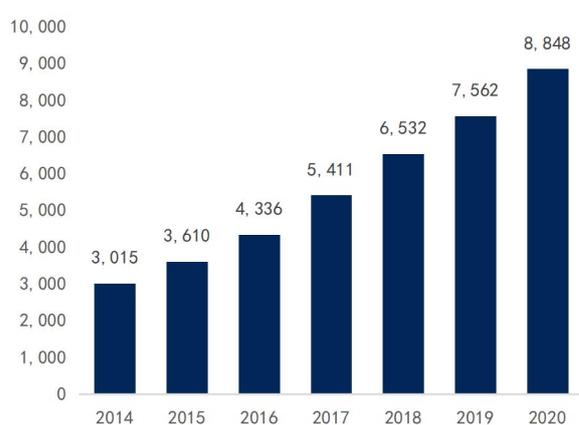
根据 GIA 报告，中国 EDA 市场 2020 年至 2027 年复合年增长率预计高达 11.7%，中国已经成为全球集成电路市场的重要增长动力。目前中国已经成为半导体产品最大的消费市场，根据 IBS 统计，2019 年中国消费了全球 52.93% 的半导体产品，预计到 2030 年中国将消费全球 60% 左右的半导体产品，旺盛的需求进一步扩大了中国集成电路市场规模。

图 169: 2014 年-2020 年全球集成电路市场规模 (亿美元)



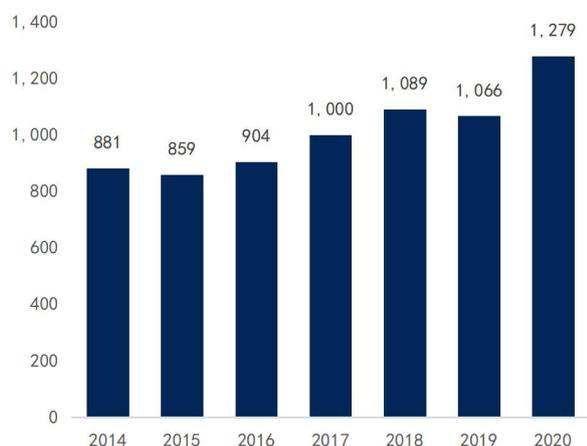
资料来源: WSTS, 国信证券经济研究所整理

图 170: 2014 年-2020 年中国集成电路市场规模 (亿元)



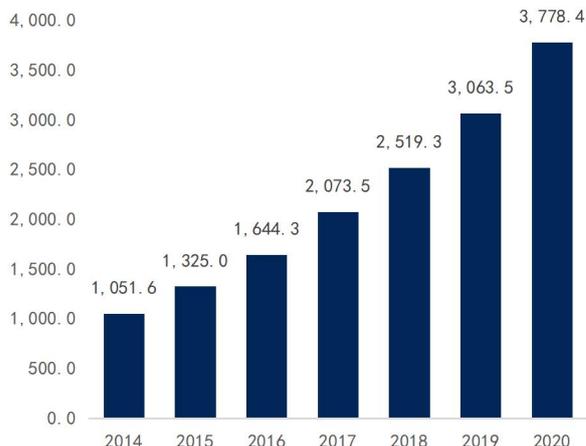
资料来源: 中国半导体行业协会, 国信证券经济研究所整理

图 171: 14 年-20 年全球集成电路设计业销售规模 (亿美元)



资料来源: 中国半导体行业协会设计分会, 国信证券经济研究所整理

图 172: 14 年-20 年中国集成电路设计业销售规模 (亿元)



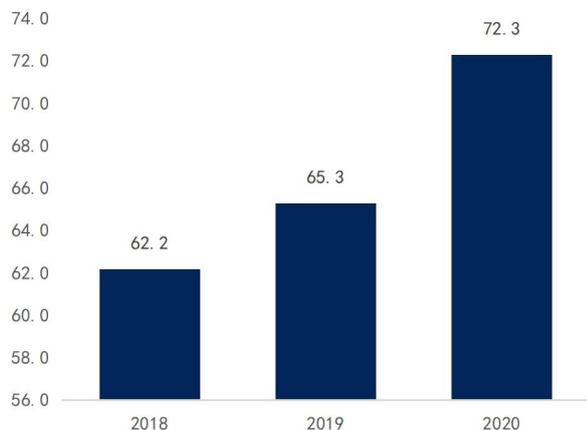
资料来源: 中国半导体行业协会设计分会, 国信证券经济研究所整理

2020 年全球 EDA 市场规模 72 亿美元，亚太超过北美成为最大的市场。近年全球 EDA 工具总销售额保持稳定上涨，2020 年实现 72.3 亿美元，同比增长 10.7%。从不同地区的占比来看，北美约占 40.9%，亚太地区约占 42.1%，欧洲地区约占 17%。目前，美国 EDA 企业依旧处于技术据垄断地位，中国市场的快速发展带动了亚太地区 EDA 工具销售额的快速增长。

中国 EDA 市场持续增长，2020 年行业总销售额约 66.2 亿元，同比增长 19.9%。

其中,我国自主 EDA 工具企业在本土市场营业收入约为 7.6 亿元,同比增幅 65.2%。

图 173: 18 年-20 年全球 EDA 市场销售额 (亿美元)



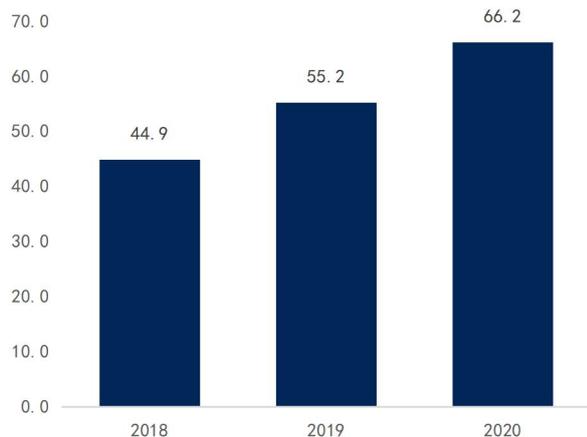
资料来源: 赛迪智库, 国信证券经济研究所整理

图 174: 18 年-20 年全球各地区 EDA 市场销售额 (亿美元)



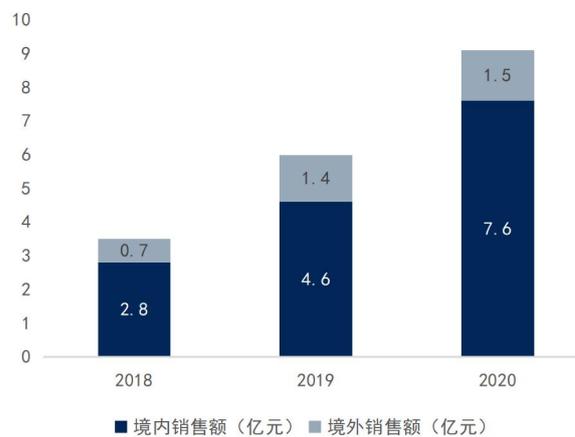
资料来源: 赛迪智库, 国信证券经济研究所整理

图 175: 18 年-20 年中国 EDA 市场销售额 (亿元)



资料来源: 赛迪智库, 国信证券经济研究所整理

图 176: 18 年-20 年国产 EDA 销售额分布情况 (亿元)

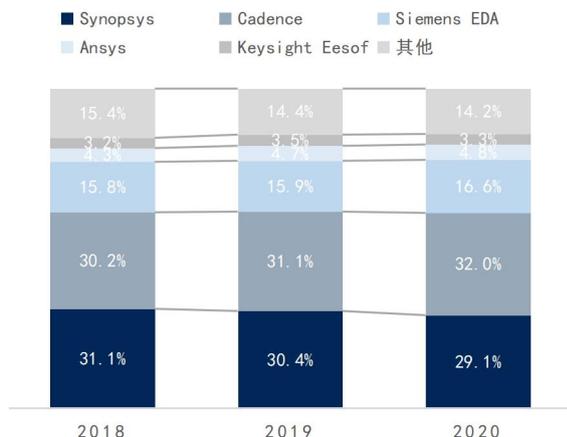


资料来源: 赛迪智库, 国信证券经济研究所整理

海外对标: 复盘海外 EDA 三巨头的发家之路

EDA 市场集中度较高, 国际三巨头 Synopsys、Cadence、Mentor Graphic 市占率近八成。EDA 行业市场集中度较高, 国际三大 EDA 巨头 Synopsys (新思科技)、Cadence (楷登电子) 和 Mentor Graphic (现西门子 EDA 部门) 在国内市场占据明显的头部优势, 属于具有显著领先优势的第一梯队, 2020 年中国市场合计市占率近八成; 华大九天与其他几家企业, 凭借部分领域的全流程工具或在局部领域的领先优势, 位列全球 EDA 行业的第二梯队。

图 177: 18-20 年全球 EDA 工具市场竞争格局



资料来源: 赛迪智库, 国信证券经济研究所整理

图 178: 全球 EDA 行业简要格局



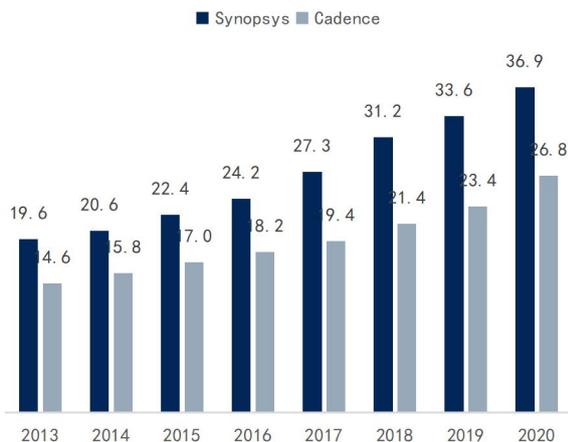
资料来源: 赛迪智库, 国信证券经济研究所整理

海外公司中, 三巨头均具备提供全套的芯片设计 EDA 解决方案的能力, 但拳头产品各有不同:

- **Synopsys:** 公司成立于 1986 年, 总部位于美国加州山景城。Synopsys 的产品线是三巨头中最为全面的, 从前端设计起家, 收购 Avant i 进入后端设计领域, 目前是行业第一, 其优势在于数字前端、数字后端和验证测试, 其逻辑综合工具 DC 与时序分析工具 PT 是绝对的拳头产品;
- **Cadence:** 公司于 1988 年由 SDA 与 ECAD 合并成立, 总部位于美国加州圣何塞, 2008 年被 Synopsys 反超, 目前位居行业第二, 其优势在于模拟和混合信号的定制化电路和版图设计;
- **Mentor Graphics:** 公司成立于 1981 年, 总部位于美国俄州威尔森维尔, 2016 年, 西门子以 45 亿美元收购 Mentor Graphics, 并入西门子数字化工业软件部门, 之后西门子又先后收购了 SOLIDO、COMSA、UltraSoC 等 EDA 公司, 进一步丰富了公司的产品线。尽管公司成立较早, 公司目前的规模远不及 Synopsys 与 Cadence, 其优势在于物理验证领域优势较为突出, 在印制电路板方面也有一定优势。

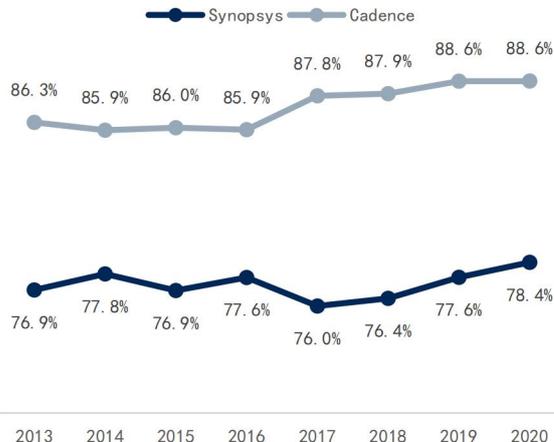
由于 Mentor Graphics 被收购后不再披露财务数据, 因此以 Synopsys 与 Cadence 为例, 在营收方面, 从 2013 财年到 2020 财年, Synopsys 的营收从 19.6 亿美元增长到 36.9 亿美元, 年均复合增长率 9.46%, 同期 Cadence 营收从 14.6 亿美元增长到 26.8 亿美元, 年均复合增长率 9.06%; 同期两家公司毛利率均保持稳定, Synopsys 的毛利率一直维持在 75% 以上, Cadence 的毛利率一直维持在 85% 以上。

图 179: Synopsys 与 Cadence 营收变化情况 (亿美元)



资料来源: 各公司年报, 国信证券经济研究所整理

图 180: Synopsys 与 Cadence 毛利率情况 (%)



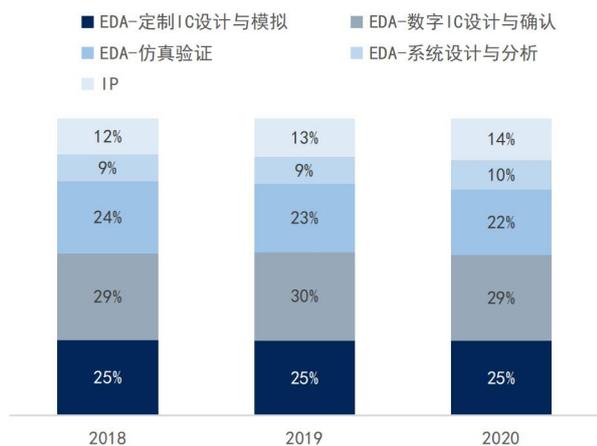
资料来源: 各公司年报, 国信证券经济研究所整理

目前海外三大 EDA 厂商的商业模式以定期授权费与 IP 授权费为主:

- **EDA 定期授权费:** EDA 厂商与客户签署期间授权合同, 向客户出售 EDA 相关软件的有限期授权租赁服务, 一般合约期为 2-3 年;
- **IP 业务授权费:** 主要包括授权金 (License fee) 与版税 (Royalty) 两个部分。授权金一般在 IP 授权确定时预先支付, 版税在使用 IP 的芯片设计公司项目量产时收取, 一般按照加工晶圆价格的一定百分比收取 (一般不超过 3% 的晶圆价格)。

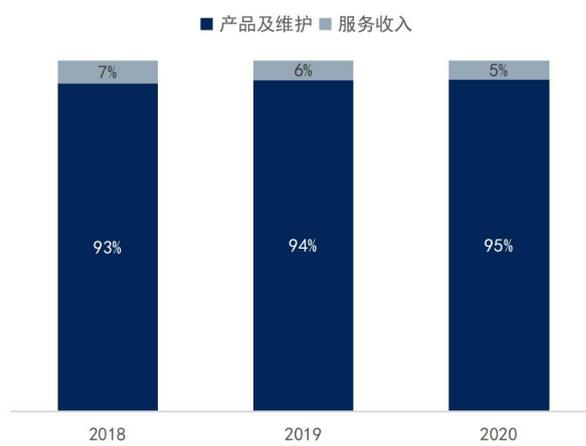
以 Cadence 和 Synopsys 为例, 20 年财年 Cadence 的 EDA 软件业务营收占比 86%, IP 授权业务占比 14%, 而同年 Synopsys 的 EDA 业务占比 57%, IP 授权业务占比 33%。

图 181: Cadence 根据产品类型拆分的营收结构



资料来源: Cadence, 国信证券经济研究所整理

图 182: Cadence 根据业务形态拆分的营收结构



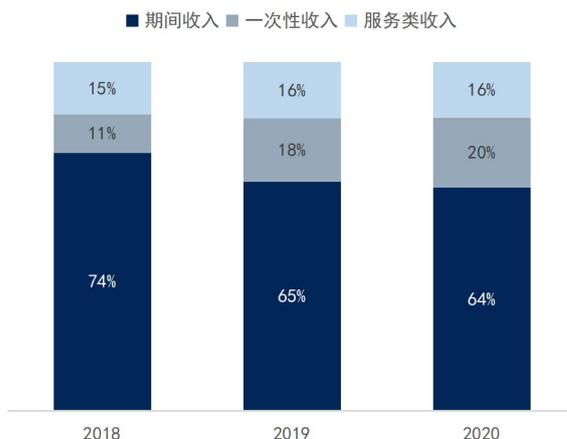
资料来源: Cadence, 国信证券经济研究所整理

图 183: Synopsys 根据产品类型拆分的营收结构



资料来源: Synopsys, 国信证券经济研究所整理

图 184: Synopsys 根据业务形态拆分的营收结构

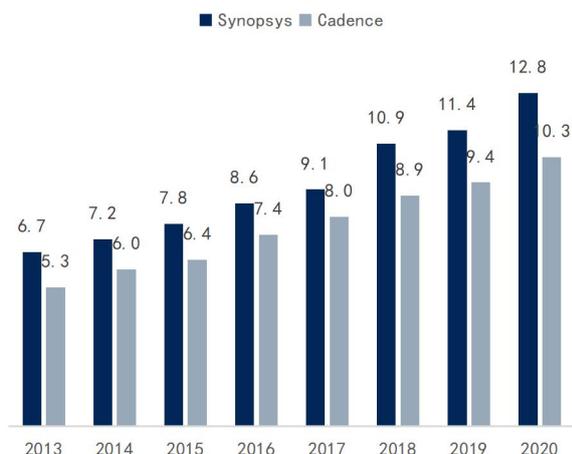


资料来源: Synopsys, 国信证券经济研究所整理

研发: 海外龙头均具备极强的研发实力

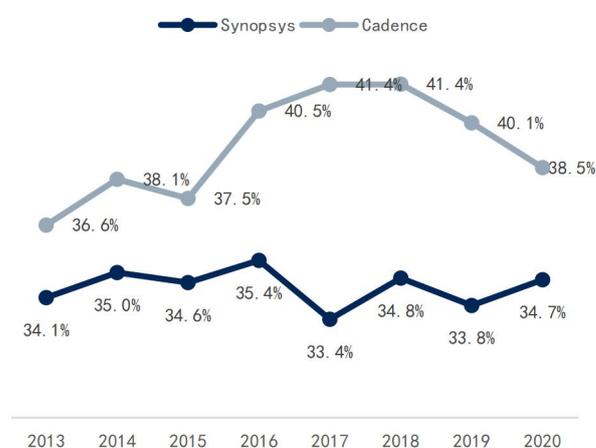
以 Synopsys 与 Cadence 为例, 2020 年两家公司分别研发费用支出为 12.8 亿美元和 10.3 亿美元, Synopsys 的研发费用率常年保持在 35%左右, Cadence 的研发费用率常年保持在 40%左右, 显著超过其他类工业软件公司。

图 185: Synopsys 与 Cadence 研发费用支出 (亿美元)



资料来源: 各公司年报, 国信证券经济研究所整理

图 186: Synopsys 与 Cadence 研发费用占总营收 (%)

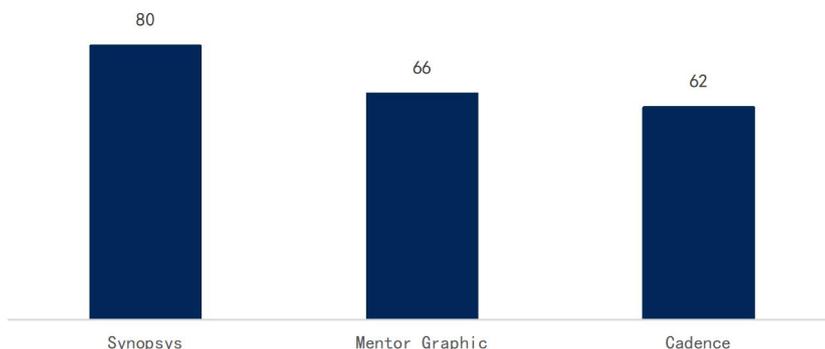


资料来源: 各公司年报, 国信证券经济研究所整理

产品: 实现全工具链、全产品线的“全家桶式”覆盖

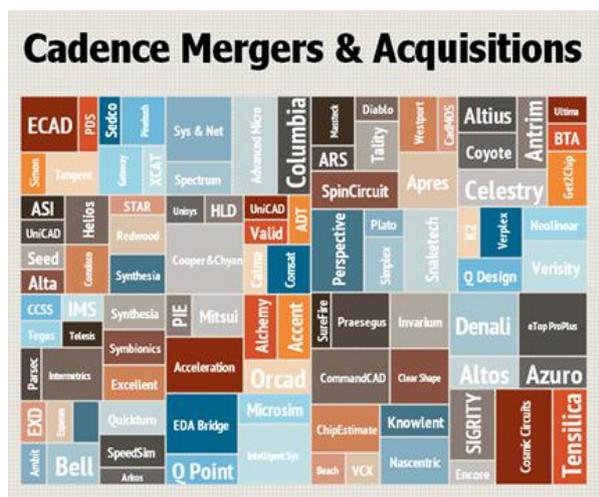
三巨头基本实现了 EDA 领域的全工具链覆盖, 多个拳头产品处于行业领先地位。EDA 巨头们致力于平台化发展, 打造 IC 设计的产品闭环, 为客户提供全流程的服务。但由于芯片 IC 设计流程复杂、环节众多, 涉及到 90 多种不同技术。复盘海外 EDA 三巨头不难发现, EDA 软件行业的发展史就是一部行业并购史, 三巨头累计参与的并购次数超过 200 次, 三巨头也经历了无数次的兼并收购才实现了 IC 设计全流程的覆盖。以 Synopsys 为例, 自 1990 年收购 Zycad 的 VHDL 仿真业务开启了其并购之后, 在 2001 年收购了 Avant!, 使公司成为历史第一家实现前后端完整 IC 设计方案的 EDA 厂商, 公司也一举成为行业第二, 2012 年又收购了全球第四大 EDA 厂商 Magma, 显著提升了其时序收敛能力。

图 187: EDA 三巨头的历史并购次数



资料来源: 电子系统设计联盟, 国信证券经济研究所整理

图 188: Cadence 的并购版图



资料来源: Anysilicon, 国信证券经济研究所整理

图 189: Synopsys 的并购版图



资料来源: Anysilicon, 国信证券经济研究所整理

生态: 与头部 Foundry 和 Fabless 深度捆绑

- 绑定头部 Foundry 不仅代表了市场份额, 更意味着工艺的领先优势。前文提及了 Fabless、Foundry 与 EDA 三者间的三角关系, Fabless 所使用的 PDK 是由 Foundry 提供, 并反映 Foundry 最新工艺的设计数据包。同时, EDA 工具输出的版图是交由 Foundry 生产, 因此 EDA 软件与生产工艺是强耦合关系。在摩尔定

律的驱动下，每一次制程与工艺的更新，都要带动 EDA 软件的同步更新，与头部 Foundry 的深度绑定与合作，能够使 EDA 软件厂商在早期便参与到新一代工艺的研发过程中，进一步占据技术的领先优势。

- “EDA 工具全家桶+IP 授权”打造了丰富、完整的 IC 设计生态。如 Synopsys、Cadence 等都拥有着海量 IC 设计所必需的 IP，如接口类 IP 更是每一颗 SoC 都必不可少的。因此，Fabless 客户的研发体系与 IP 授权是强耦合的，这也进一步提升了客户的迁移成本。同时，由于半导体 IP 公司都是需要经历了长期的研发投入才积累出来的，技术护城河较高。这都造成了 EDA 三巨头赢者通吃的局面。

图 190: EDA 三巨头的客户生态



资料来源：各公司官网，国信证券经济研究所整理

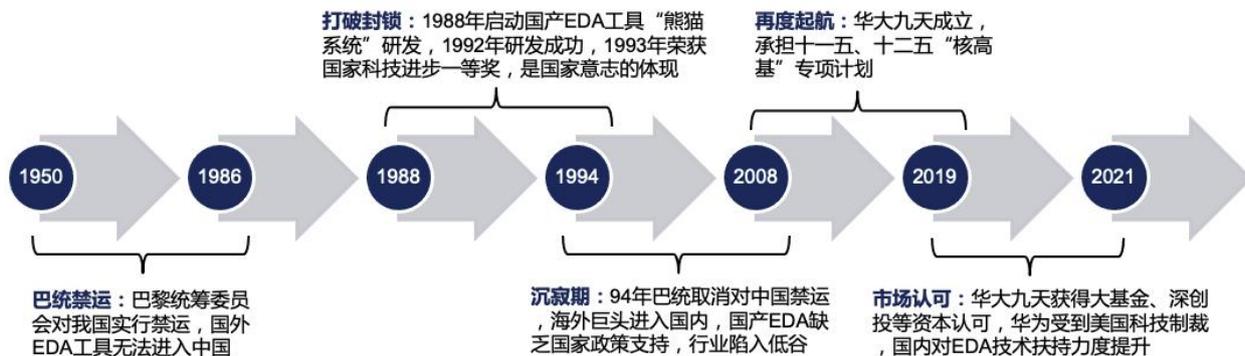
国内现状：本土 EDA 厂商究竟实力如何？

在建国初期，受困于“巴统”的禁运，国外 EDA 无法进中国，我国的集成电路产业发展倍受掣肘。在 1986 年，我国动员了全国 200 多位专家齐聚北京，研发我国自有的集成电路计算机辅助设计系统“熊猫系统”，在 1992 年首套熊猫系统问世，也这是我国第一个大型 ICCAD 系统。

1994 年，随着“巴统”取消对中国禁运，“造不如买”的大潮让海外 EDA 公司以技术成熟、价格便宜的工具快速占领了国内 EDA 市场。因此，自 1994 到 2008 年，国家对国产 EDA 的支持非常有限，中国 EDA 产业陷入发展低谷，与海外差距逐渐拉大。

2008 年，随着国家核心电子器件、高端通用芯片及基础软件产品（核高基）重大科技与项目正式进入实施阶段，2009 年，华大九天作为“EDA 国家队”从华大集团 EDA 部门独立出来，继承了熊猫系统的核心技术，承担了十一五、十二五“核高基”专项计划，本土 EDA 行业也重新迎来了发展的曙光。

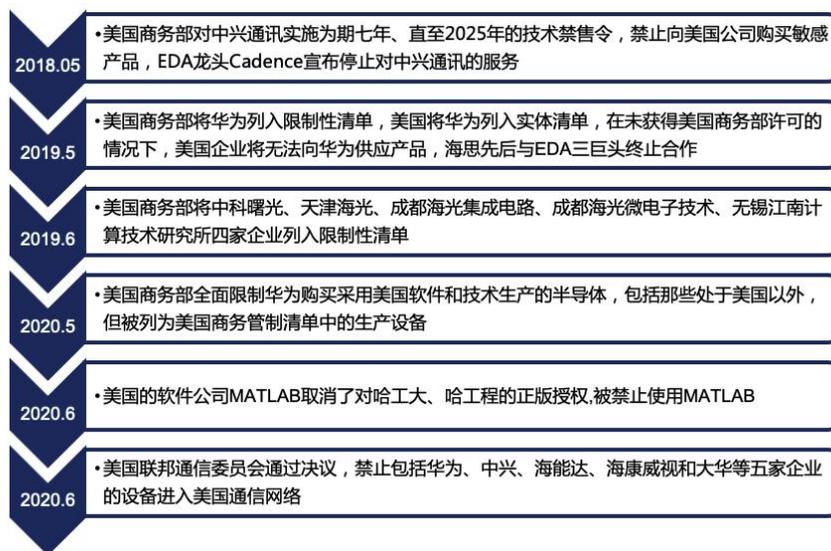
图191：国产EDA软件的发展史



资料来源：华大九天，国信证券经济研究所整理

中美科技摩擦加剧，EDA软件成为美国对华封锁的武器。随着18年以来中美科技摩擦的加剧，以及逆全球化的潜在风险不断增加，美国对中国高新技术产业的限制逐步加深，尤其在集成电路和EDA工具领域体现的较为明显。例如在2019年EDA三巨头终止了与华为海思的合作，为国产芯片的发展蒙上一层阴影。

图192：美国自2018年以来对华在软件领域的科技制裁



资料来源：CSDN，国信证券经济研究所整理

国家政策大力扶持EDA行业发展，加快攻破集成电路行业的“卡脖子”技术。当前国际形势下，使得工业生产的独立、安全、自主上升到国家安全层面。近年来，我国陆续出台了大批鼓励性、支持性政策，加速EDA工具软件的进口替代，加快攻克重要集成电路领域的“卡脖子”技术，有效突破产业瓶颈，牢牢把握创新发展主动权。

表 67: 国家在 EDA 软件领域的相关政策支持

时间	发文单位	文件名	相关内容
2021. 4	工信部、发改委、财政部和国家税务总局	中华人民共和国工业和信息化部国家发展改革委、财政部和国家税务总局公告 2021 年第 9 号	“根据《国务院关于印发新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展若干政策的通知》（以下简称《若干政策》）及其配套税收政策有关要求，现将《若干政策》第二条所称国家鼓励的集成电路设计、装备、材料、封装、测试企业条件公告如下：一、《若干政策》所称国家鼓励的集成电路设计企业，必须同时满足以下条件：（一）在中国境内（不包括港、澳、台地区）依法设立， 从事集成电路设计、电子设计自动化（EDA）工具开发或知识产权（IP）核设计 并具有独立法人资格的企业
2020. 8	国务院	新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展的若干政策	集成电路产业和软件产业是信息产业的 核心 ，是引领新一轮科技革命和产业变革的关键力量。为进一步优化 集成电路产业和软件产业 发展环境，深化产业国际合作，提升产业创新能力和发展质量，制定相关财税、投融资、研究开发、进出口、人才、知识产权、市场应用及国际合作政策
2019. 5	财政部和税务总局	关于集成电路设计和软件产业企业所得税政策的公告	依法成立且符合条件的 集成电路设计企业和软件企业 ，在 2018 年 12 月 31 日前自获利年度起计算优惠期，第一年至第二年免征企业所得税，第三年至第五年按照 25% 的法定税率减半征收企业所得税，并享受至期满为止
2019. 4	深圳市人民政府办公厅	关于加快集成电路产业发展若干措施的通知	加强对设计企业购买设计工具支持项目。对深圳市集成电路设计企业 2018 年购买 集成电路设计专用 EDA 设计工具软件 实际发生费用的 20% 给予资助，每个企业年度资助总额不超过 300 万元
2016. 12	国务院	“十三五”国家信息化规划	大力推进集成电路创新突破。加大面向新型计算、5G、智能制造、工业互联网、物联网的芯片设计研发部署，推动 32/28 纳米、16/14 纳米工艺生产线建设，加快 10/7 纳米工艺技术研发，大力发展芯片级封装、圆片级封装、硅通孔和三维封装等研发和产业化进程，突破 电子设计自动化（EDA）软件
2016. 5	发改委、工信部、财政部、国家税务总局	关于印发国家规划布局内重点软件和集成电路设计领域的通知	享受企业所得税优惠政策的重点软件领域：（二） 工业软件和服务：研发设计类、经营管理类和生产控制类产品和服务
2014. 6	国务院	国家集成电路产业发展推进纲要	强化 集成电路设计与软件开发 的协同创新，以硬件性能的提升带动软件发展，以软件的优化升级促进硬件技术进步，推动信息技术产业发展水平整体提升
2013. 9	工信部	关于印发信息化和工业化深度融合专项行动计划（2013-2018 年）通知	增强电子信息产业支撑服务能力。突破专项行动急需的应用电子、工业控制系统、 工业软件、三维图形等关键技术
2012. 2	工信部	集成电路产业“十二五”发展规划	支持 先进电子设计自动化（EDA）工具开发，建立 EDA 应用推广示范平台

资料来源：各政府网站，国信证券经济研究所整理

国产 EDA 行业迎来资本市场认可。自 2009 年华大九天成立，国内也涌现出了一批像概伦电子、广立微电子、国微思尔芯、芯和半导体、芯华章、芯愿景等 EDA 领域的创业型公司。随着国家政策对 EDA 领域的持续扶持，行业也开始受到市场关注。自 2019 年起，我国 EDA 初创企业的融资环境显著改善，EDA 作为产业底层技术的核心价值开始受到市场追捧，这其中不乏高瓴资本、红杉资本、深创投、英特尔投资、国家大基金、中芯聚源等知名投资机构的身影。在 IPO 的进程上，华大九天与概伦电子已完成辅导，并已提交 IPO 申请书；芯愿景曾在 2020 年获得科创板 IPO 受理，后于同年撤回上市申请，并于 21 年 6 月宣布转战主板上市；此外，目前接受机构上市辅导的企业还有广立微与国微思尔芯两家。

表68：本土 EDA 软件领域的主要厂商

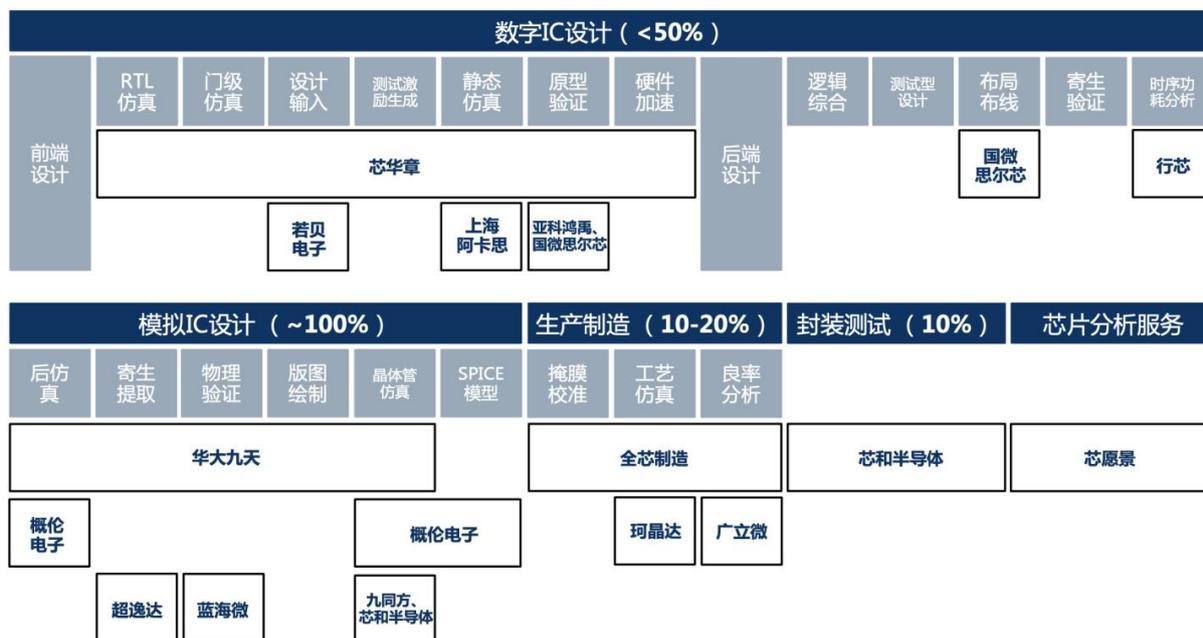
公司名称	公司简介	发展阶段
华大九天	华大九天是从华大集团 EDA 部门独立出来的，继承了熊猫系统的衣钵，公司是国内最早从事 EDA 研发的企业之一，已成为国内规模最大、产品线最完整、综合技术实力最强的 EDA 企业。公司主要产品包括模拟电路设计全流程 EDA 工具系统、数字电路设计 EDA 工具、平板显示电路设计全流程 EDA 工具系统和晶圆制造 EDA 工具等 EDA 工具软件	✓ 2018 年获得国中创投、中国电子、国家集成电路产业投资基金、深创投等机构的融资； ✓ 2021 年 6 月 21 日，公司提交了创业板 IPO 申请书。
概伦电子	概伦电子是一家大规模高精度集成电路仿真、高端半导体器件建模、半导体参数测试解决方案厂商，为用户提供高端集成电路设计、接口开发等服务，旗下拥有 SPICE 建模工具 BSIMProPlus、低频噪声测试系统、SPICE 仿真器等产品。公司拥有众多自主知识产权的 EDA 技术和产品，致力打造存储器设计全流程 EDA，实现 DTCO（设计工艺协同优化）真正落地的从数据到仿真的创新 EDA 解决方案	✓ 2020 年获得英特尔投资、兴橙资本等机构的 A 轮融资； ✓ 2021 年 6 月 25 日，公司提交了科创板 IPO 申请书。
广立微电子	广立微电是领先的集成电路 EDA 软件与晶圆级电性测试设备供应商，专注于芯片成品率提升和电性测试快速监控技术，提供 EDA 软件、电路 IP、WAT 电性测试设备以及与芯片成品率提升技术相结合的整套解决方案，是国内外多家大型集成电路制造与设计企业的重要合作伙伴	✓ 2019 年获得中清正合科技创投、财通证券的天使轮融资； ✓ 2021 年 6 月 30 日，公司提交了创业板 IPO 申请书。
芯愿景	芯愿景 CELLIX 是一家以 IP 核、EDA 软件和集成电路分析设计平台为核心的高技术服务公司，公司已自主研发了 5 套 EDA 软件系统，涵盖了集成电路技术分析、知识产权分析和保护的全流程，向全球客户提供 IP 和 EDA 授权、技术分析和 IP 保护、ASIC/SoC 一站式设计服务	✓ 公司 2020 年 5 月提交科创板 IPO 申请文件，后中止 IPO； ✓ 2021 年 6 月更新上市辅导动态，宣布转战主板上市。
国微思尔芯	国微思尔芯是一家数字芯片设计流程的 EDA 软件研发商，十多年来一直专注于集成电路电子设计自动化解决方案，其业务主要覆盖原型验证、硬件仿真器、EDA 工具及仿真验证云系统，是业内领先的 EDA 解决方案专家	✓ 2020 年获得浦东科创、中青芯鑫、国投创业、上海临港科创投资、国家集成电路产业投资基金、君联资本等机构的融资； ✓ 2021 年 1 月 27 日，公司已与中金公司签署了科创板辅导协议，并于同日在上海证监局进行了辅导备案。
芯华章	芯华章是一家 EDA 智能工业软件级系统研发商，致力于集成电路电子自动化领域，可为半导体行业用户提供芯片设计、EDA 智能软件和系统等产品	✓ 2020 年到 2021 年初，公司先后获得红杉资本、华卓投资、上海舒涵、云晖资本、高榕资本、高瓴资本、五源资本、真格基金、松禾资本、中芯聚源等机构的 A 轮系列投资； ✓ 2021 年 5 月获得云锋基金、高榕资本、国开装备基金、经纬中国、高瓴资本、红杉资本、大数长青等机构的 PreB 轮的投资。
芯和半导体	芯和半导体前身为苏州芯禾电子科技有限公司，专注电子设计自动化 EDA 软件、集成无源器件 IPD 和系统级封装 SiP 微系统的研发，其业务覆盖 IC、封装到系统的全产业链仿真 EDA 解决方案，致力于赋能和加速新一代高速高频智能电子产品的设计	✓ 2019 年获得玄德资本、上创新微、中芯聚源、张江火炬创投的 A 轮融资； ✓ 2021 年获得上海赛领、上海物联网基金的 B 轮融资。

资料来源：各公司官网，国信证券经济研究所整理

第一，缺少全流程的解决方案

国产 EDA 目前仍不能实现全工具链覆盖。由于 EDA 工具链非常长，涉及软件种类，国内大多从某一环节单点切入，部分流程与环节具备较强竞争力。像华大九天在模拟 IC 领域优势明显，而概伦电子则在存储器领域储备较深。但对于客户而言，即便是采购国产 EDA 软件的意愿高涨，但本土厂商仍无法为其提供平台式的产品服务，客户依旧需要购买大量海外三巨头的产品，再搭配本土较为成熟的解决方案使用。

图 193: 国产 EDA 软件在各主要环节的覆盖情况



注：括号内为该环节的国产化覆盖率

资料来源：半导体行业观察，国信证券经济研究所整理

第二，难以匹配目前的先进工艺

由于缺乏头部 foundry 合作，导致难以匹配目前最先进的工艺是国产 EDA 厂商面临的根本障碍。由于海外三巨头与头部 Foundry 长期捆绑，因此，其始终处于工艺的领先地位。而国产厂商缺乏与头部 Foundry 的合作，导致其 EDA 工具对先进工艺的支持不够，导致国产 EDA 工具在高端芯片领域几乎没有份额。即便是华大九天，其大多数工具仍无法支持 28nm 以下的制程。

第三，本土 EDA 行业人才匮乏、融资渠道单一

- **缺钱：**EDA 行业资金消耗巨大，需要长期的资金投入。以 Synopsys 为例，仅 2020 财年单年的研发投入 12.8 亿美金，约 80 多亿人民币，而国内 EDA 龙头华大九天过去十年累计的研发支出仅十亿余元人民币左右，研发投入与海外差距较大。由于行业投资回收期较长，因此较难有效吸引社会资金进入，致使本土 EDA 企业融资渠道相对狭窄。
- **缺人：**EDA 开发工程师需同时理解数学、芯片设计、半导体器件和工艺，对综合技能要求很高。培养一名 EDA 研发人才，从高校课题研究到从业实践的全过程往往需要 10 年左右的时间。由于 EDA 软件开发研究的周期长，投入与产出比率低，行业整体薪酬偏低，导致本土人才流失严重。目前，本土 EDA 专业人才有限，根据赛迪智库的数据显示，2020 年我国 EDA 行业仅有 4400 余名人才，其中半数以上就职于外资企业。从单体企业来看，与国际巨头差距更大，以 Synopsys 为例，其在全球拥有近 1.2 万名 EDA 研发人员，而华大九天作为研发队伍最庞大的本土公司，目前仅 300 余名研发人员。

图 194：2018-2020 年中国 EDA 行业人才情况



资料来源：赛迪智库，国信证券经济研究所整理

CAD 软件研究框架

CAD 是生产制造业的基础设计软件

工业软件是工业技术/知识、流程的程序化封装与复用，能够在数字空间和物理空间定义工业产品和生产设备的形状、结构，控制其运动状态，预测其变化规律，优化制造和管理流程，变革生产方式，提升全要素生产率。

工业软件按不同的应用环节及生产流程，可分为：（1）运营管理类（ERP、CRM 等）；（2）研发设计类（CAD、PLM 等）；（3）生产制造和过程控制类（MES、DCS 等），其中企业资源管理计划类、计算机辅助设计类、生产制造执行系统类分别为这三个领域中的典型代表。在工业生产流程中，研发设计类软件和生产控制和过程制造软件、运营管理软件相互协调、相互配合，帮助工业企业提质增效，降低成本，并增强企业在高端制造的竞争力。

表 69：以生产流程划分的工业软件类别和特点

工业软件类型	工业软件产品类型	特点
运营管理类	企业资源管理计划（ERP）	一般是基于业务模型，实现工业产品研发、生产、服务和管理过程中 业务流程信息化的工业软件，业务属性较强。
	客户管理系统（CRM）	
	质量管理体系（QM）	
	供应链管理（SCM）	
研发设计类	计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）	一般是基于物理、数学原理等基础学科，与学科和专业关联性强的基础性工业软件，工具属性较强。
	计算机辅助工程（CAE）	
	产品数据管理系统（PDM）	
	产品生命周期管理系统（PLM）	
生产制造和过程控制类	生产制造执行系统（MES）	一般是嵌入在工业产品中的操作系统和应用软件，以提升产品的自动化和智能化程度，提升产品使用价值，融合属性较强。
	数据采集与监视控制系统（SCADA）	

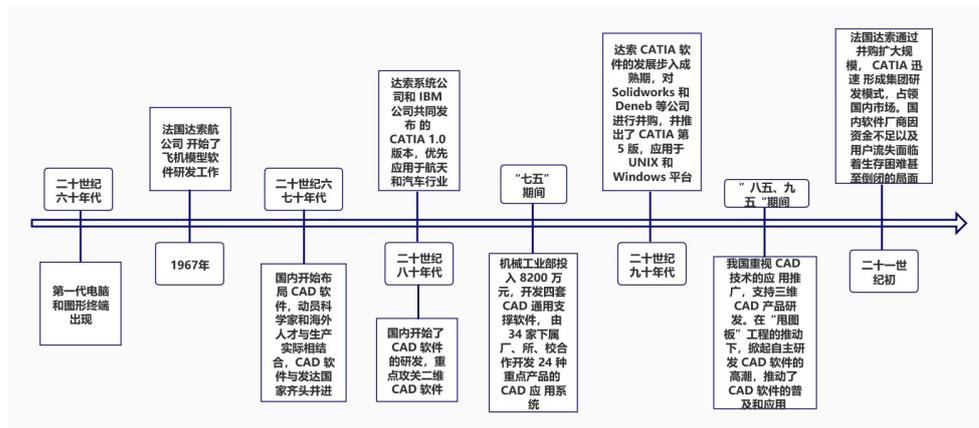
资料来源：CCID、中望软件招股说明书、国信证券经济研究所整理

在所有的工业软件中，计算机辅助设计类为研发设计类中的典型代表。计算机辅助设计类软件（CAD）是利用计算机快速的数值计算和强大的图文处理功能，辅助工程技术人员进行产品设计、工程绘图、数据管理、仿真分析、智能制造及智

能建造的计算机软件技术。

工业软件是工业化长期进程的不可或缺的伴生物，这一点可以从 CAD 软件的发展史中得出。工业软件发展成熟的国家是已经完成工业化进程且工业化水平较高的发达国家，比如国际工业设计软件巨头达索就生长在航空航天技术发达的美国。当前，我国虽然已发展形成了一定数量的工业软件企业，在通用软件市场中得到充分成长，但在高端制造领域仍有待突破，随着我国工业化水平的不断提高，将会有一批优秀的工业软件设计厂商跟随成长起来。

图 195: CAD 行业发展历史



资料来源: CCID、《中国工业软件产业白皮书 2020》, 国信证券经济研究所整理

CAD 的种类可以根据呈现空间维度的区别分为平面设计的 2D CAD 和立体三维设计的 3D CAD。

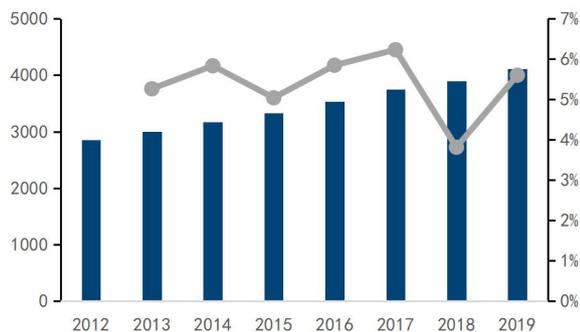
- **2D CAD**: 软件提供了一个二维设计平台。由于 2D CAD 不允许创建透视图或比例, 因此通常用于绘图、草图和草图概念设计, 这为用户提供了尺寸和比例的基本概览, 然后再进行 3D 设计。2D CAD 主要用于机械制造、电气、建筑等行业。
- **3D CAD**: 提供了一个设计三维对象的平台。这类 CAD 软件的主要特点是 3D 实体建模。这让设计师可以创建具有长度、宽度和高度的对象, 从而实现更准确的缩放和可视化。3D CAD 覆盖面更广, 包括航空航天、船舶、机械、汽车、电子高科技、装备制造等行业。

市场空间: 行业稳步发展, 国内规模扩张迅速

2019 年全球工业软件市场规模为 4111 亿美元。根据赛迪咨询的数据, 在 2013 年-2019 年之间, 全球工业软件市场规模基本上增速保持在 5% 上下, 2019 年全球工业软件市场规模为 4111 亿美元, 同比增长 5.6%, 整体市场处于稳步增长状态。

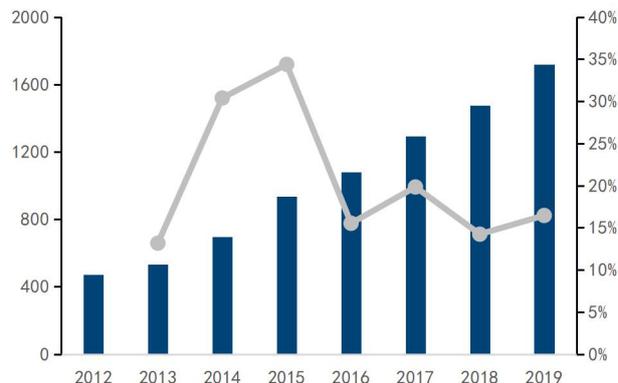
国内工业软件市场规模增速领跑全球。2019 年我国工业软件市场规模为 1720 亿元, 较 2018 年增长 16.45%。根据赛迪咨询的数据, 我国工业软件市场规模在 2017-2019 年分别为 1293、1477、1720 亿元。2012-2019 年, 我国工业软件产品收入年复合增长率为 20.34%, 远高于全球水平。虽然我国工业软件市场总体规模相比于全球市场而言较小, 但我国工业生产总值占全球比重却超过 20%, 我国工业软件行业发展程度未能与工业化发展进程相匹配, 未来国内工业软件发展有望在全球范围内具有一定的影响力。

图 196: 全球工业软件市场规模及增速 (单位: 亿美元)



资料来源: CCID, 国信证券经济研究所整理

图 197: 中国工业软件市场规模及增速 (单位: 亿元)

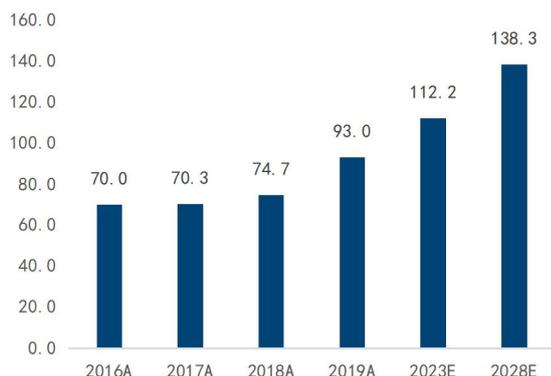


资料来源: : CCID, 国信证券经济研究所整理

2019 年全球 CAD 市场规模约 93 亿美元。根据海外咨询公司 P&S Intelligence 的数据, 2019 年全球 CAD 市场空间为 93 亿美元, 预计 2020-2030 年复合增长率 (CAGR) 为 6.6%。2018 年中国 CAD 市场规模约 36.7 亿人民币。根据中国工业技术软件化产业联盟的数据, 2017-2019 年我国研发设计类工业软件的平均市场规模为 270 亿元。根据赛迪咨询的数据, 2018 年 CAD 市场占据整个研发设计类软件市场总规模的 13.58%, 计算可得 2018 年中国 CAD 的市场规模达到 36.7 亿元人民币。

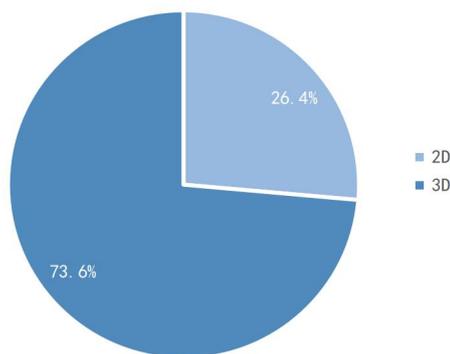
2D CAD 与 3D CAD 的市场规模占比保持在 1:3 左右。根据 BIS Research 的数据, 2016 年全球 2D CAD 市场在整个 CAD 市场中的占比是 27%, 2018 年下降到 26.4%。考虑到技术进步及制造业发展等因素, 预计未来全球 2D CAD 市场所占比例会有小幅度下降; 但长期来看, 2D CAD 因为简单、便捷等独特优势, 不会被 3D CAD 完全淘汰, 故而预测 2D CAD 与 3D CAD 的市场规模会在长期保持在 1:3 左右。

图 198: 2016-2028E 年全球 CAD 市场规模 (亿美元)



资料来源: BIS Research、国信证券经济研究所整理

图 199: 2018 年中国 2D CAD 与 3D CAD 市场占比情况

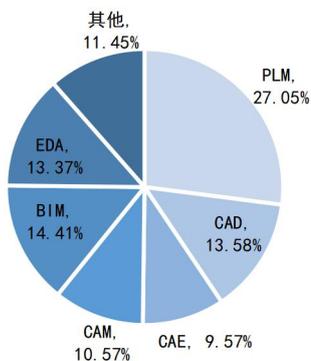


资料来源: BIS Research、国信证券经济研究所整理

CAX 工业设计软件市场规模有望稳步提高。在研发设计类软件中, 具体的细分领域包括了 PLM、CAD、CAE、BIM、EDA、CAM、CAE 等。根据赛迪咨询的报告, 2018 年, PLM、CAD、CAE、CAM、BIM、EDA 分别占整个研发设计类软件市场总规模的 27.05%、13.58%、9.57%、10.57%、14.41%、13.37%, 另外其他细分领域的设计类软件大概占比 11.45%。从规模上来看, 具体到 CAX (CAD、CAE、CAM) 的市场规模, 根据赛

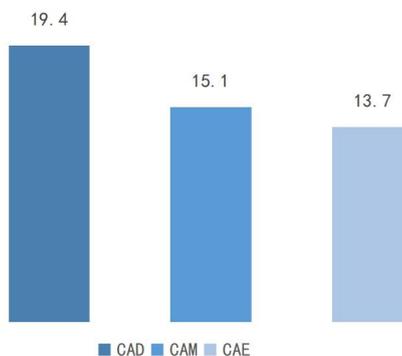
迪咨询的统计数据，2018 年 CAD、CAE、CAM 的市场规模分别为 19.4 亿元、15.1 亿元、13.7 亿元。研发设计类软件是智能制造和高端制造中不可或缺的关键性生产工具，未来 CAX 软件行业发展将受益于全球智能制造的推进和我国制造业水平的提高，市场规模有望稳步提高。

图 200：2018 年国内各细分研发设计软件市场结构占比



资料来源：CCID，国信证券经济研究所整理

图 201：2018 年国内 CAX 软件细分市场规模（单位：亿元）

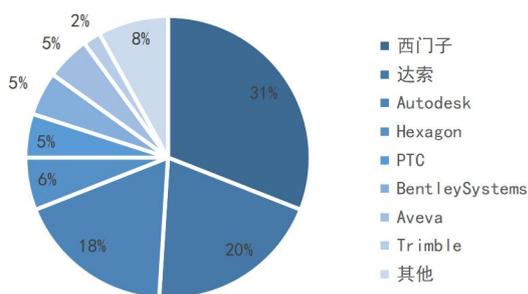


资料来源：CCID，国信证券经济研究所整理

竞争格局：国外巨头主导市场，国产化浪潮势不可挡

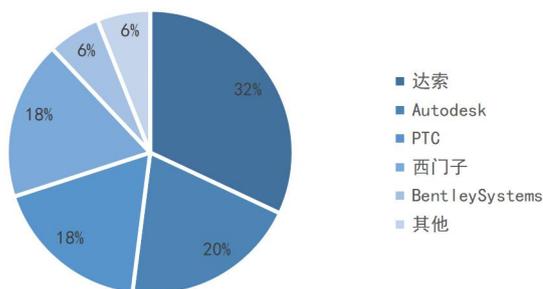
全球 CAD 市场主要由欧美品牌主导，欧美品牌龙头占据垄断地位：欧美品牌主要以法国达索、西门子、美国 Autodesk、美国 PTC 为代表。工业软件市场由欧美企业发展扩大，故而欧美品牌巨头由于占据技术及市场的发展优势，在全球 CAD 市场形成了绝对龙头垄断的格局，总市占率达 90% 以上；**本土品牌全球市场规模较小，主要以中望软件、华天软件、数码大方为代表，本土品牌有望通过性价比优势等提高市场份额，存在一定的国产替代空间。**

图 202：2019 年全球 CAD 市场竞争格局



资料来源：观研天下、国信证券经济研究所整理

图 203：2018 年中国 CAD 市场竞争格局

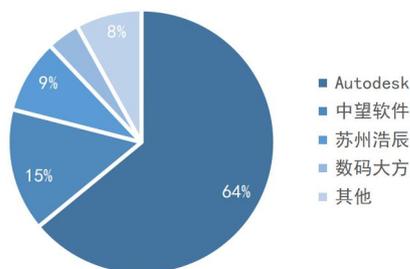


资料来源：中国工业软件产业白皮书 2020、国信证券经济研究所整理

- **国内 2D CAD 行业：主要以美国 Autodesk 品牌占据垄断地位。**Autodesk 在国内 2D CAD 市场份额超过 60%，且全球 2D CAD 行业技术方面 ARX 二次开发标准及 DWG 数据标准均由 Autodesk 制定及更新；本土品牌中望软件、苏州浩辰、数码大方市场份额分别占比 15%、9% 与 4%，虽占据一定的市场份额，但在与外资品牌的竞争中处于劣势地位。
- **国内 3D CAD 行业：欧美品牌达索、西门子、PTC 等企业占据绝对优势地位，**

三家企业在全球 3DCAD 市场占据市场份额的 60%以上，拥有较高的技术壁垒；本土品牌中望软件、华天软件等处于行业第三阵营，在功能上与国外软件相差较大，不能满足高端制造领域的需求。

图 204：2020 年国内 2D CAD 市场竞争格局



资料来源：e-works、国信证券经济研究所整理

图 205：中国研发设计类工业软件市场地位和发展能力图



资料来源：赛迪咨询，国信证券经济研究所整理

总体来说，由于欧美的工业基础较国内发展来说较早，所以与工业产业相伴相生的工业设计类软件发展较好，我国的厂商总体处于追赶状态。受益于我国庞大的工业基础、较快的发展速度以及工业强国的战略决心，我国的工业设计类软件厂商有望借势崛起。

受深厚工业化基础培育，外国工业设计软件公司先发优势明显。在行业竞争中，工业设计软件提供商主要有法国的达索、美国的欧特克、德国的西门子等外资企业，以及苏州浩辰软件股份有限公司、北京数码大方科技股份有限公司等国内同行企业。总体来说，由于欧美的工业基础较国内发展来说较早，所以与工业产业相伴相生的工业设计类软件发展较好，我国的厂商总体处于追赶状态。受益于我国庞大的工业基础、较快的发展速度以及工业强国的战略决心，我国的工业设计类软件厂商有望借势崛起。

表 70：全球工业设计类软件主要竞争对手情况

公司	国家	CAD 产品	市场地位	技术实力
中望软件	中国	2D: ZWCAD 3D: ZW3D	国产 CAD 龙头，产品覆盖 90 多个国家及地区，正版用户超过 90 万	自主 2D、3D CAD 平台产品及内核，产品功能全面，兼容性强
Autodesk (欧特克)	美国	2D: AutoCAD	2D CAD 行业垄断地位，市场占有率第一	产品功能全面，性能稳定，DWG 格式领导者
Dassault Systemes (达索)	法国	3D: CATIA	3D CAD 领域第一梯队	功能全面，3D 曲面功能强大，在航空、飞机、汽车等高端制造领域广泛应用
Siemens (西门子)	德国	3D: NX	3D CAD 领域第一梯队	产品功能全面，3D 曲面功能出色，在汽车、航空航天、船舶制造领域广泛应用
浩辰软件	中国	2D: GstarCAD	2018 年产品覆盖 100 多个国家，正版用户超过 40 万	产品功能全面，云服务结合能力较强
数码大方	中国	2D: CAXA CAD	主营 CAD、MES、PLM 和工业云平台	产品简单易学，兼容性强

资料来源：CCID、中望软件招股说明书，国信证券经济研究所整理

中望软件作为国产 CAX 龙头企业，位于第二梯队。第一阵营中，Autodesk 垄断 2D 市场，达索和西门子在 3D 领域具有优势，其产品性能优越、功能全面，产品设计理念为市场其他竞争者所模仿，但其产品价格较高。中望软件作为第二阵营中的

代表性企业，通过收购 VX 拥有自主可控几何建模内核，产品涵盖了 2D、3D 领域，并可根据不同行业特性进行二次开发，产品覆盖 90 多个国家和地区，正版用户超过 90 万，是国产 CAD 龙头，其主要产品 ZWCAD 处于第二阵营领先地位，ZW3D 目前因部分性能较弱处于第三阵营。

表 71：中望产品与竞争对手相比处于第二和第三梯队

产品	产品定位	市场地位	技术水平与特点
ZWCAD	2D CAD 平台产品	欧特克位列 2D CAD 第一阵营，公司产品处于第二阵营领先地位。	高度兼容国外同类软件、拥有自主知识产权的内核平台；与国外同类软件相比，具有高性价比优势，具备开放的行业应用 API 接口，下游应用软件开发商可以根据细分行业进行二次开发。
ZW3D	3D CAD 平台产品	达索、西门子等产品处于 3D CAD 第一阵营；PTC 等公司的产品处于第二阵营；公司产品 ZW3D 处于第三阵营的领先地位。	CAD/CAM 一体化、拥有自主几何建模内核平台；与国外同类软件相比，具有高性价比优势；设计制造无缝集成，数据交互能力较强，具备破面修补功能等技术。
3D One	创客教育 3D 设计产品	在国内中小学创客教育和职业院校 3D 设计教育方面，公司产品 3D One 处于领先地位。	依托自主几何建模内核平台实现趣味编程，同时完成学生的空间及逻辑思维培育任务，拓展学校更多元化的创新教育课堂模式，开启“人人皆能设计”创新教育新起点。
ZWSim-EM	电磁仿真 CAE 产品	HFSS、CST 是国际领先的电磁仿真软件；公司产品 ZWSim-EM 是国内少有的电磁学仿真产品。	采用 ZW3D 简单易用且功能强大的建模功能；可显著提高用户建模的效率，具有速度快，精度高，内存消耗少，计算量低的优点；跟公司现有的 CAD、CAM 产品做到高度结合，可极大提高用户的产品开发效率。

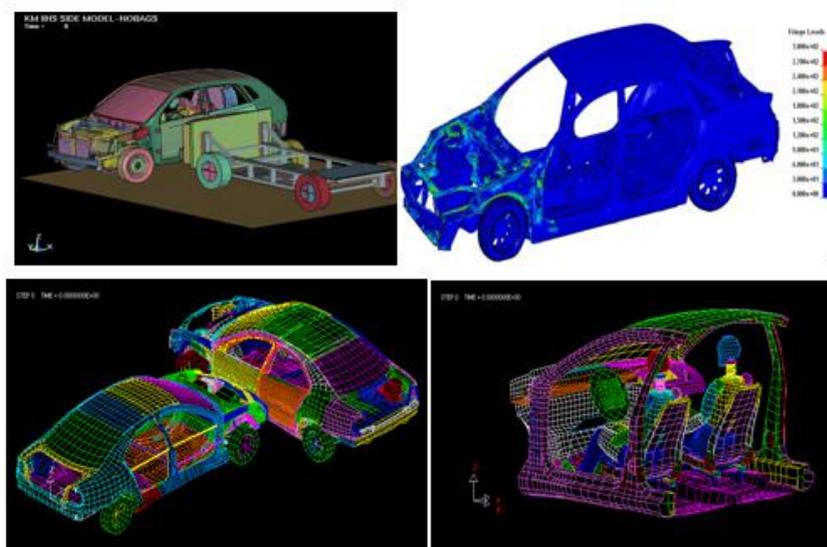
资料来源：CCID、中望软件招股说明书，国信证券经济研究所整理

CAE 软件研究框架

CAE 具备极高的技术壁垒，是物理和数学的结晶

CAE 是制造业核心工业软件之一。计算机辅助工程（CAE）是广泛应用于工业和制造业仿真和模拟的工业软件，与 CAD、CAPP 与 CAM 并称为计算机辅助 4C 系统。相比于 CAD 侧重于建模和设计，CAE 主要利用计算机技术，求解复杂工程和产品结构强度、刚度、屈曲稳定性、动力响应、热传导、三维多体接触、弹塑性等力学性能的分析计算以及结构性能的优化设计等问题。CAD 负责设计产品，是基础；CAE 负责验证产品性能，一样不可或缺。CAE 把工程的各个环节有机地组织起来，使其产生并存在于工程的整个生命周期，例如 CAE 仿真在整个电动汽车制造中，从电池、电机、驱动、热管理、车灯、防碰撞等各个环节均能提升研发设计能力，大幅节省研发成本和周期。

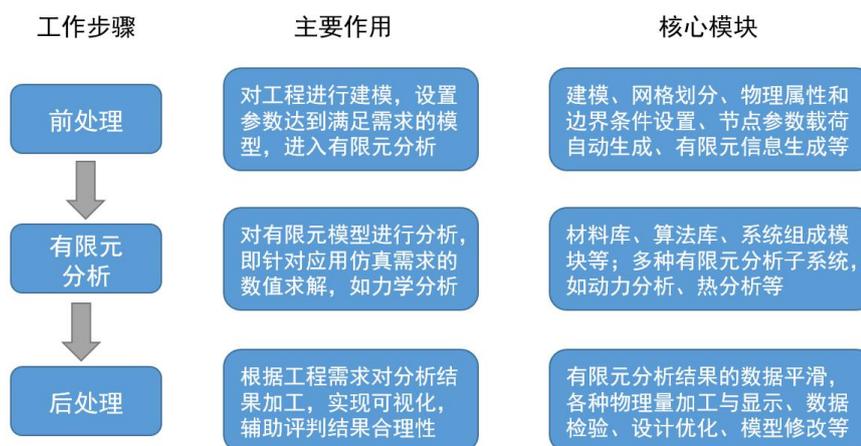
图 206: CAE 对整车碰撞性能分析



资料来源: 安世亚太, 国信证券经济研究所整理

CAE 的核心思想是离散化后的模型求解。CAE 的首要核心是结构的离散化, 即将实际结构离散为有限数目的规则单元组合体, 将复杂的连续体的求解区域分解为有限的形式简单的子区域, 通过将连续体离散化, 把求解连续体的场变量简化为求解有限的单元节点上的场变量值, 最终得到满足工程精度的近似结果。基于此, CAE 工作流程主要有三步: 前处理、有限元分析、后处理。前处理主要是建立符合要求的模型, 进行网格划分, 以及物理属性和条件边界的设置; 有限元分析核心就是对模型的求解, 尽力“精确”地把握和还原真实物理现象; 后处理主要是将输出结果图形可视化, 给出评估、评判“生产过程”好坏的标准。CAE 分为通用和专用软件, 整个体系涉及多个模块, 且子系统也具备独立的软件。

图 207: CAE 工作流程和核心模块



资料来源: 元计算, 国信证券经济研究所整理

CAE 是多门类基础科学集大成者，具备极高的技术壁垒。一款成熟的 CAE 软件需要多门基础学科知识长期的积累，包括数学、物理、计算机、工程知识等，对人才综合能力要求极高。

数学方面：前处理中的数据导入、模型修复、网格剖分；后处理的大规模的数据处理、可视化展示等，包括优化理论等各种数值计算方法，各种数学工具是基础。

物理场方面：流体、电磁、光、声等每种物理场都包含丰富的分支学科，CAE 的求解器由物理算法组成，每个专业领域都有大量求解算法，不同领域完全不同，无法复用；以结构为例，力学方面就涉及到理论力学，分析力学，材料力学等一系列学科；而产品也会涉及多个物理场的组合，需要深刻理解相互干扰的多物理场，并实现快速解耦和优化。

计算机科学：包括计算机图形学，软件工程等学科，尤其是从大型机演绎到今天的云计算，不断以提升系统算力和稳定性，以加快求解的时间。同时，不同软件数据、模型相互兼容，也是提升效率的重要一环。

工程知识：工程界的建模与分析，融合了众多不同维度的学科知识和工程经验，涉及大量的工艺 Know-how 过程。大量的制造经验需要变成算法、编码，固化到软件中，每一处经验的凝结也需要长期不断反馈的积累，工业软件集其大成。

图 208：几大核心工业软件技术图谱



资料来源：南山林雪萍，国信证券经济研究所整理

市场空间：CAE 应用广泛，国内外市场保持稳定增长

CAE 价值不断强化，已在各行业广泛应用。CAE 软件通过计算机技术对工程、物品进行仿真模拟，能够大幅降低设计和材料成本，缩短设计周期；通过“虚拟样机”来验证可靠性，并提前预判潜在问题；模拟各种试验方案；进行事后验证分析等，是工业领域必不可少的一环。CAE 目前已经广泛应用于航空航天、汽车、半导体、电子设备、建筑等领域，其中航空航天和汽车依然是最大的应用领域。

图209: CAE 在各行业应用



资料来源: e-works, 国信证券经济研究所整理

图210: CAE 核心价值

降本	•增加设计功能, 确保产品设计合理性, 减少设计成本。采用优化设计, 找出设计最佳方案, 降低材料的消耗或成本
提效	•缩短设计和分析的循环周期
虚拟	•“虚拟样机”取代“物理样机验证设计”过程, 预测产品在整个生命周期内的可靠性
预判	•在产品制造或工程施工前预先发现潜在的问题
模拟	•模拟各种试验方案, 减少试验时间和经费
分析	•进行机械事故分析, 查找事故原因

资料来源: 元计算, 国信证券经济研究所整理

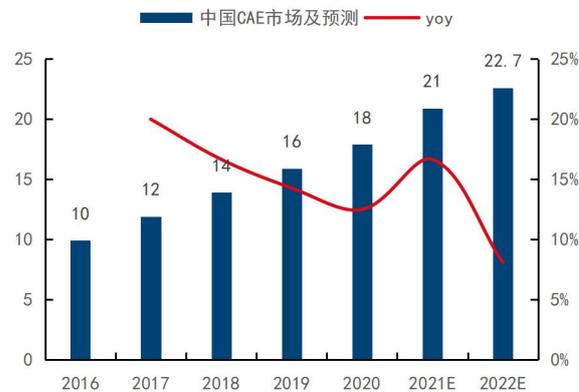
国内 CAE 市场增速快于全球水平。CAE 软件对于推动工业制造及工程的升级和发展至关重要, 随着各个细分领域应用深入, 以及光学等新兴领域的进入, 全球 CAE 市场整体保持稳定增长, 2020 年市场达到 81 亿美元, 复合增速达到 12.81%。我国 CAE 市场仍以国外产品采购为主, 2020 年达到 18 亿元, 复合增速为 16.2%, 高于全球水平。

图211: 全球 CAE 市场及预测 (亿美元)



资料来源: 中商产业研究院, 国信证券经济研究所整理

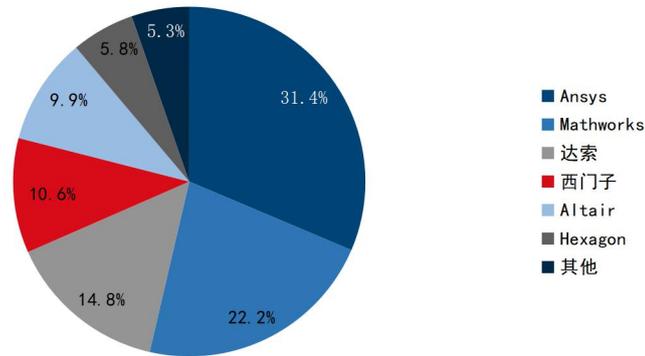
图212: 中国 CAE 市场及预测 (亿元)



资料来源: 中商产业研究院, 国信证券经济研究所整理

CAE 领域全球巨头林立。经过高端制造业持续的发展积累以及长期并购, 全球 CAE 龙头厂商已呈现清晰格局, 主要玩家有美国 ANSYS、MathWorks、德国西门子、法国达索、Altair、Hexagon 等厂商。CAE 兼顾软件及工程学、物理学等复杂技术, 整体壁垒较高, 市场形成了较为稳定的格局。我国 CAE 厂商与国际厂商仍有较大差距, 但是在持续政策推动下, 航空航天、高端制造等领域有望率先突破。

图 213: 2020 全球 CAE 行业竞争格局



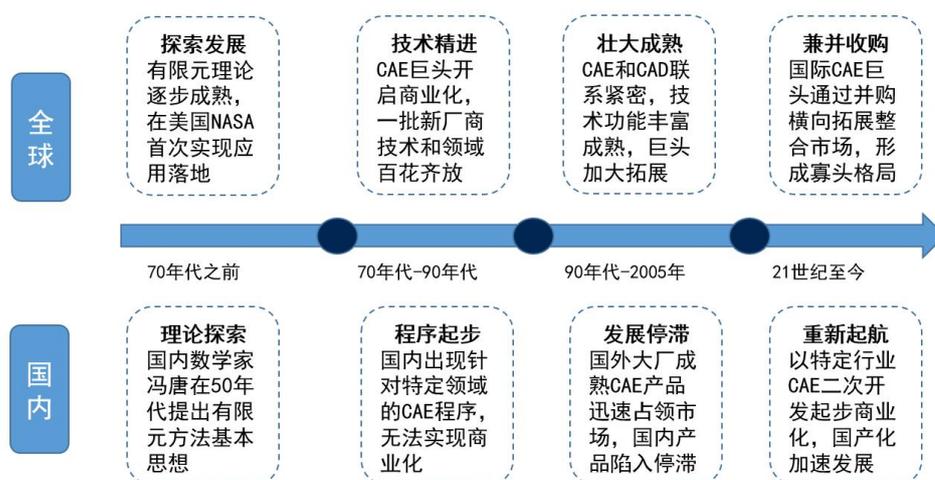
资料来源：华经产业研究院，国信证券经济研究所整理

发展历程：CAE 历经长期发展进入并购阶段，Ansys 是全球龙头

CAE 起源于航空航天领域，国外巨头已进入并购阶段。计算机辅助工程计算起源于 50 年代中期，CAE 软件诞生于 70 年代中初，随后 CAE 的功能和算法不断完善，80 年代中期已逐步形成了商用的 CAE 软件。20 世纪 60 年代，有限元理论处于发展阶段，CAE 最早的需求来自美国航空航天局 NASA，当时为了解决宇航工业对于结构分析的问题。随后世界几大 CAE 巨头陆续成立，如 MSC、SDRC、ANSYS，致力于商业化的研究和落地。70 年代后，CAE 技术得到蓬勃发展，巨头持续提升技术和创新应用，并开启商业化；同时一大批新 CAE 厂商成立，各厂商技术和行业侧重各不相同，呈现百花齐放状态。90 年代后，CAD 的发展为 CAE 技术提升进一步打下基础，CAE 软件也开始积极与 CAD 对接接口，进一步扩展 CAE 功能；CAE 巨头加大市场拓展，持续壮大成熟。21 世纪开始，国际 CAE 巨头开启并购重组，通过收购来实现横向扩展并整合市场，如 ANSYS 通过并购，最终解决热力耦合问题的分析求解，当前 CAE 市场主要由 Ansys, Dassault Systems, Altair, MSC, 西门子等厂商垄断。

中国 CAE 发展仍待突破。国内对 CAE 的研究和开发始于上世纪 70 年代，涌现了一批具有自主知识产权的有限元分析软件，如中国飞机强度研究所开发的 HAJIF，大连理工大学开发的 JIGFEX 等。国内早期 CAE 产品针对特定领域，相对更专业，但更像是专家科研的数值计算程序，一般工程师难以掌握，后续推广和服务更难以以为继，限制了市场化进展。90 年代后，以 ANSYS、MSC 为代表的国外 CAE 产品席卷国内市场，成熟、好用而稳定的国外 CAE 也纷纷取代了国内的“老版本”程序，同时教育版本的渗透也加速了国外 CAE 的普及，国外巨头迅速接近垄断了国内市场，国产 CAE 进入沉寂期。2000 年代中期开始，国外 CAE 产品不可能完成国内所有行业的需求，催生了国内围绕特定行业的 CAE 二次开发服务，国内 CAE 厂商陆续成立，开启商业化道路。尤其在当前强调智能制造，工业自主的背景下，国内 CAE 行业也进入了快速发展期。

图 214: 国内外 CAE 发展历程



资料来源：头豹研究院，《CAE 历史与发展概述》，国信证券经济研究所整理

Ansys 是全球 CAE 龙头，高壁垒构筑稳健成长性。Ansys 是全球最大的 CAE 厂商，持续专注于仿真技术的发展，产品已经覆盖结构、流体、电磁、光学、3D 设计、嵌入式软件等各个细分，解决方案也覆盖航天航空、国防、汽车、能源、医疗等各领域，全球市场份额最大，是名副其实的全球龙头。Ansys 的诞生来自 John Swanson 博士在西屋工作时创立的一套有限元分析程序，1970 年 Ansys 成立并开启商业化，而西屋核电公司也成为 Ansys 第一个客户。2002 年 Ansys 推出 7.0 版本，其中 Workbench 是 ANSYS 公司提出的协同仿真环境，解决企业产品研发过程中 CAE 软件的异构问题，是公司发展的里程碑。Workbench 以简单易用而著称，ANSYS 提供各类与仿真相关 API 以及用户自己的 API 可以在 Workbench 环境下集成，形成应用程序，所有与仿真工作相关的人、技术、数据在这个统一环境中协同工作。例如，Ansys 将收购的 LS-DYNA 集成进入 ANSYS Workbench 环境。

Ansys 的产品能与多数 CAD 软件对接，实现数据交换，综合来看，Ansys 已经成为最经典的 CAE 工具。凭借极强的技术壁垒，以及近些年持续的收购扩张，Ansys 整体保持了稳定的增长。2021 年，Ansys 实现收入 19.07 亿美元，近 10 年复合增速达到 10.16%；净利润 4.55 亿美元，复合增速 9.38%。毛利率长期维持在 86% 以上，净利率长期保持在 23% 以上。Ansys 在国内也占据了最大的市场份额，在中国有 100 多所理工院校采用 ANSYS 软件进行有限元分析或者作为标准教学软件，为 Ansys 在国内的普及打下了坚实的基础。

图215: Ansys 历年收入（亿美元）



资料来源: Wind, 国信证券经济研究所整理

图216: Ansys 历年净利润（亿美元）



资料来源: Wind, 国信证券经济研究所整理

并购扩张是巨头必经之路。自2000年以来，Ansys 开启了并购之路。如2006年Ansys 收购 Fluent，Fluent 应用先进的 CFD（计算流体动力学）技术实现流体、热、传导等方面的仿真，奠定了 Ansys 在计算流体力学的地位。2008 年，Ansys 收购 EDA 厂商 Ansoft，拓展了公司在集成电路、机械电子设计领域的应用。Ansys 最强势的产品之一 LS-DYNA 也是在 2019 年收购而来。近两年收购来看，Ansys 加强了光学仿真和航空航天布局，尤其是光学领域，连续收购了 Lumerical 和 Zemax，致力于实现完整的端到端光学仿真解决方案。以 Ansys 为例，包括达索、Altair 等 CAE 巨头均是通过不断的收购实现产品线的持续扩张，因此也充分验证了 CAE 在各个细分工业领域里均需要深厚的 know-how 积累。各巨头也纷纷形成了结构、流体、多体、电磁全系列 CAE 产品矩阵，且每家均有一些拳头产品，形成了较强的技术和市场壁垒。

表 72: Ansys 主要收购

时间	重大事件
2003 年	Ansys 收购 AEA 公司的 CFX 软件业务，出资 2100 万美元。
2006 年	Ansys 收购 Fluent，共花费六百万股普通股和将近 2.99 亿美元的现金。
2008 年	Ansys 收购 Ansoft，收购总价约 8.32 亿美元（含现金和股票）。
2011 年	Ansys 收购模拟软件提供商 Apache Design Solutions，花费 3.1 亿美元现金，此次收购将有助于填补 ANSYS 在集成电路解决方案领域的空白。
2013 年	Ansys 收购 EVEN，该公司将复合材料结构分析技术应用于 ANSYS Composite PrepPost 产品中。
2014 年	Ansys 收购 SpaceClaim，SpaceClaim 直接建模软件使 ANSYS 前处理能力得到跨越式提升。
2017 年	Ansys 收购增材制造仿真技术软件 3DSIM。
2018 年	Ansys 收购光学仿真领域小有名气的软件 OPTIS，用于人类视觉和物理可视化科学的仿真分析。
2019 年	ANSYS 成功收购 LSTC，该公司是显性动力学和其他先进有限元分析技术的主要提供商，著名产品如 LS-DYNA、LS-OPT 等，客户绝大多数为一级汽车供应商
2020 年	Ansys 收购领先的光子设计与仿真工具开发商 Lumerical，该公司专注光子仿真和建模领域。
2020 年	Ansys 宣布计划收购航天数据服务提供商 AGI (Analytical Graphics Inc.)，AGI 为航空航天、国防、电信和智能应用提供任务驱动仿真、建模、测试和分析软件。
2021 年	Ansys 收购高性能光学成像系统仿真领域的领导者 Zemax，此次收购为仿真复杂的光学和光电产品提供综合全面的端到端的解决方案

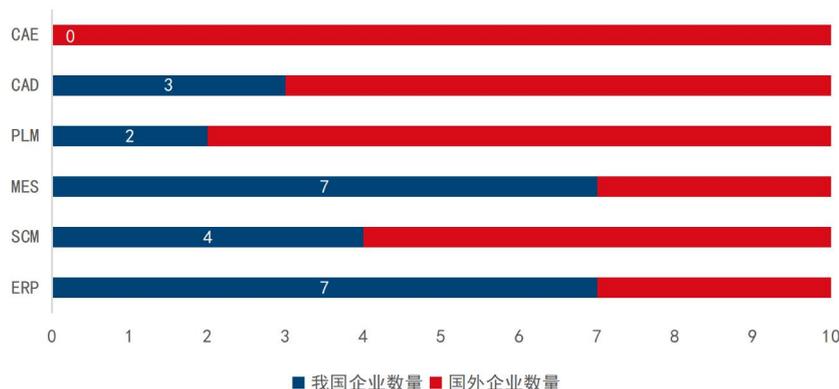
资料来源: e-works, 国信证券经济研究所整理

国内现状：国内市场亟待突破，霍莱沃从电磁仿真开始

国内 CAE 在工业软件中差距最大，国产厂商仍在起步期。我国工业软件中，以研发设计类的 CAD、CAE、EDA 与国外差距最大，尤其 CAE 领域，国内前十大厂商中没有一家是国产厂商。虽然在 90 年中期，我国凭借技术研究和工程设计的深度融

合，也形成了不亚于国外的仿真程序，并取得了显著成就；但是难以整合成行业通用程序，更无法进一步提升适用性，最终阻碍了国产 CAE 的发展。如今，国外 CAE 软件覆盖范围广、功能完善，并逐渐在数据传输等技术上与其上下游产品打通，形成 CAD/CAE/CAM/PDM 一体化综合软件平台。而我国 CAE 行业虽然近年来有明显发展，但是通用 CAE 产品在自主化、产品化、集成化和规模化上仍有显著差距；专用 CAE 产品在覆盖度、成熟度、易用性上仍有较大差距。

图 217：国内市场前十大供应商国内外企业数量



资料来源：中国工业软件产业白皮书 2020，国信证券经济研究所整理

霍莱沃长期坚持 CAE 领域研发积累。公司坚持自主研发复杂电磁环境仿真分析软件，实现了基于真实物理环境和复杂电磁环境的仿真分析，突破了三维复杂电磁环境系统级仿真技术，解决了各种装备平台在实际电磁环境的电磁效应特性仿真分析问题。公司复杂电磁环境仿真技术已经先后应用于嫦娥探月工程着陆器与巡视器通信链路仿真、机载天线布局仿真、大型舰载相控阵系统仿真等多个电磁仿真项目，已积累了大量电磁 CAE 技术和高规格项目经验。

以 Ansys HFSS 为目标，霍莱沃电磁 CAE 未来可期。电磁 CAE 广泛应用于无线和有线通信、计算机、卫星、雷达、半导体、天线等领域，随着我国 5G 快速发展，以及军工信息化持续升级，电磁 CAE 需求与日俱增。全球最知名的三大电磁 CAE 分别为 Ansys HFSS、Altair FEKO、达索 CST，也是各巨头通过并购而来。主流的电磁 CAE 算法如有限元法 (FEM)、有限时域有限差分 (FDTD)、有限积分法 (FIT)、矩量法 (MOM) 等，在各自场景均有自己的优势。以 Ansys HFSS 为例，其已经广泛地应用于航空、航天、电子、半导体、计算机、通信等多个领域，帮助工程师们高效地设计各种高频结构。国内厂商目前无论是产品技术，还是应用范围与国外厂商仍有巨大差距；目前霍莱沃主要深耕于国防科工领域，也是电磁 CAE 主要场景之一。公司持续研发具有自主知识产权的应用于 5G 场景下系统级三维复杂环境仿真平台软件，同样也是基于 FEM 算法，结合公司创始人具备 Ansoft 相关背景经验，公司 CAE 产品有望持续向 HFSS 迈进。

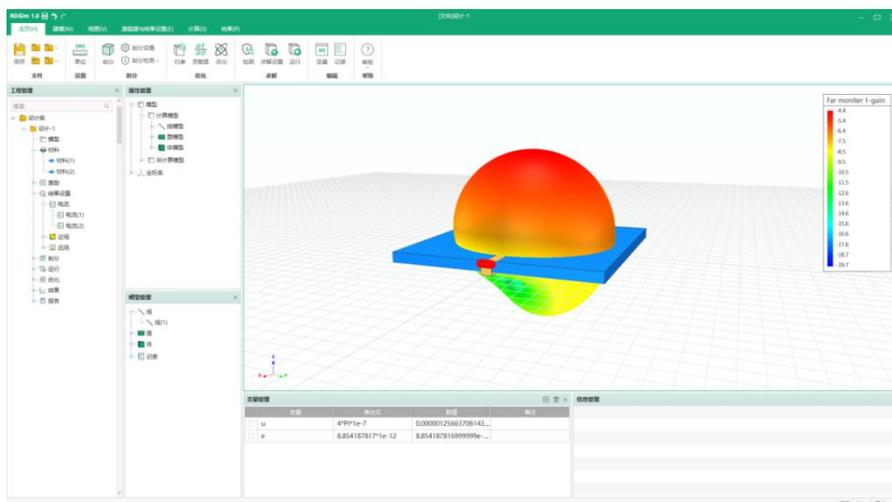
表 73: 各厂商电磁 CAE 产品

公司	产品	技术及产品特点
Ansys	HFSS	HFSS 是 Ansys 在电磁场仿真领域的主打，国内普及度最高，原是 Ansoft 推出，08 年被 Ansys 收购。HFSS 采用的是有限元算法（FEM），包括自适应网格剖分技术、区域分解法等均是行业黄金工具和标准，是天线和微波设计的利器
Altair	FEKO	FEKO 是世界上第一个把矩量法（MoM）推向市场的三维电磁仿真软件，原是 EMSS 推出，13 年被 Altair 收购。FEKO 引入了多层快速多极子（MLFMM），使得精确分析电大问题成为可能，FEKO 因此在电大尺寸问题的分析方面优势突出
达索	CST	CST 是基于时域有限差分法（FDTD）的三维电磁仿真软件，公司于 2016 年被达索收购。适合仿真宽带频谱结果，在天线仿真领域广受欢迎
霍莱沃	RDSim1.0	基于 FEM 混合算法，实际复杂环境的电磁波传播多径 UTD 算法与运动多普勒特性，适用于天线/天线阵列、微波器件和雷达散射等

资料来源：微波射频网，国信证券经济研究所整理

霍莱沃发布三维电磁仿真软件 RDSim1.0 版。基于自主研发的内核，以及十余年来在电磁场仿真领域积累的工程经验，公司首次正式发布基于云计算以及 WEB 交互技术的通用 CAE 电磁仿真软件——三维电磁仿真软件 RDSim1.0 版。RDSim1.0 应用改进的矩量法及其快速算法，可实现任意三维结构的电磁场问题的仿真分析，覆盖天线/微波器件辐射问题求解、目标散射问题求解、单元天线/相控阵的快速设计优化、平台布局仿真/EMC 仿真问题求解、复杂电磁环境仿真等领域，可以提供高频电磁场仿真问题的全套解决方案。公司 CAE 产品具有丰富易用的材料库，完善的建模功能，丰富的激励设置，强大的检测能力，强大的网格剖分功能，公司在 CAE 领域稳定发展，致力于 CAE 产品的国产化升级。

图 218: 霍莱沃 RDSim1.0 版



资料来源：霍莱沃官方公众号，国信证券经济研究所整理

PLC/DCS/SCADA 研究框架

工控系统主要包括 PLC、DCS 和 SCADA 三大类

工业控制系统（ICS, Industrial control system）是各式各样控制系统类型的总称，是由各种自动化控制组件以及对实时数据进行采集、监测的过程控制组件，共同构成的确保工业基础设施自动化运行、过程控制与监控的业务流程管控系统。

工业软件分为嵌入式软件（工业通信、汽车电子等）、研发设计类（CAX、PLM 等）、生产制造类（MES、DCS 等）、信息管理类（ERP、CRM 等）。而生产制造类软件主要包括：生产控制类（PLC/DCS/SCADA）和制造执行类（MES）。工业控制系统涵盖了多种类型的控制系统，包括数据采集与监控系统（SCADA）、分布式控制系统（DCS）、可编程逻辑控制器（PLC）。在 ISA-95 企业资源管理系统与控制系统集成的五层系统中，PLC 属于 Level1，而 DCS 属于 Level1 和 Level2，而 SCADA 则属于 Level2。

图 219: PLC/DCS/SCADA 之间的定位

名称	层级定位	定义	系统/产品划分
SCADA	调度管理层	数据采集和监控系统	系统
DCS	厂站管理层	集散控制系统	系统
PLC	现场设备层	可编程控制器	设备产品

资料来源：CSDN、国信证券经济研究所整理

图 220: ISA-95 标准制造架构



资料来源：ISA、国信证券经济研究所整理

DCS 与 SCADA 是一种控制“系统”，PLC 只是一种控制“装置”。在工业自动化和控制系统的结构中，PLC 作为重要的底层控制部件，通常应用在 SCADA 和 DCS 系统中，用于实现工业设备的具体操作与工艺控制，PLC 控制系统重要的基础。

DCS 与 SCADA 侧重点不同。SCADA 侧重于各子系统数据监测，SCADA 主要用于控制点分散，比如天然气的长输管道、电力调度系统等等。DCS 侧重于分散控制，也兼具了 SCADA 的功能。基本上，在一些生产企业会包含 3 种系统，SCADA 作为生产管理级上位监控，DCS 实现复杂控制，而 PLC 实现单机及简单控制。

表 74: PLC/DCS/SCADA 三者间的对比

	PLC 系统	DCS 系统	SCADA 系统
重要特点	逻辑控制功能强，用于数字量、开关量的控制	利用局域网对控制回路进行集中监视和分散控制，用于连续变量、多回路的复杂控制	利用远程通信技术将地理位置分散的远程测控站点进行集中监控
地理范围	地理位置集中	地理位置集中（如工厂或以工厂为中心的区域）	地理位置高度分散
应用领域	工业自动化（如生产线等）	过程控制行业（如发电、炼油、食品和化工等）	远程监控行业，如石油和天然气管道、电力电网、轨道交通系统（含铁路运输系统与城市轨道交通系统）
通用技术	局域网技术	局域网技术	广域网、广播、卫星和电话或电话网等远程通信技术
规模大小	/	控制回路复杂，测控点数多	大规模系统，现场站点多

资料来源：CSDN、国信证券经济研究所整理

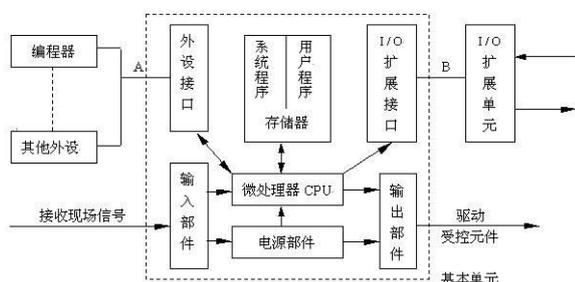
PLC：工控系统中的重要底层控制部件

PLC（Programmable Logic Controller，可编程逻辑控制器）是一种以微处理器

为基础，集合了计算机技术、自动控制技术和通讯技术的数字运算操作电子系统，在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，通过数字式或模拟式的输入输出来控制各种类型的机械设备或生产过程，可以将控制指令随时载入内存进行储存与执行。用户编制的控制程序表达了生产过程的工艺要求，将其存入 PLC 的用户程序存储器，运行时按存储程序的内容逐条执行，以完成工艺流程要求的操作。

PLC 于上世纪 60 年代末研制出应用于汽车制造业，PLC 是从模仿原继电器控制原理发展起来的，70 年代的 PLC 只有开关量逻辑控制，所以被命名为可编程逻辑控制器。PLC 具有适用范围广、可靠性高、编程简单、使用方便等特点。PLC 主要由 CPU 结构、存储器、I/O 单元、电源模块、外部设备接口等部分组成。

图 221: PLC 的产品结构



资料来源: CSDN、国信证券经济研究所整理

图 222: 西门子大型 PLC 产品 S7-400 系列



资料来源: 西门子、国信证券经济研究所整理

PLC 主要用于六大场景: (1) 开关量控制; (2) 模拟量控制; (3) 运动控制; (4) 数据采集; (5) 信号监控; (6) 联网和通讯。

PLC 的种类可以根据 I/O 点数和结构形式进行划分: 按照 I/O 点数进行分类, PLC 可以分为小型、中型和大型三类; 按照结构形式分类, PLC 又可以分为整体式、模块式和叠装式三类。

表 75: 小型、中型和大型 PLC 简介

PLC 类型	I/O 点数	存储容量	特点	应用场景
小型 PLC	256 点以下	4KB 以下	体积小、价格低、功能相对单一	适合于单台设备的控制
中型 PLC	256-2048 点	2-8KB	具有较强的通信功能和模拟量处理能力	可应用于相对复杂的逻辑控制系统以及连续生产过程的控制系统中
大型 PLC	2048 点以上	8-16KB	功能最广泛而强大, 且具有较强的网络结构和通信联网能力	主要应用于大型生产设备的自动化控制系统中

资料来源: 头豹研究院, 国信证券经济研究所整理

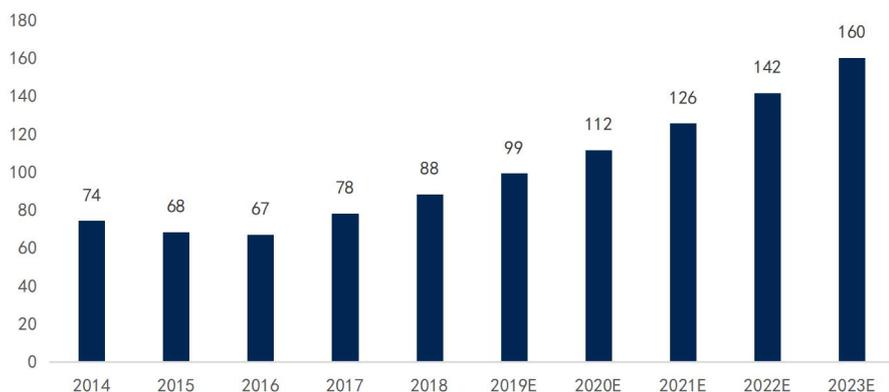
表 76: 整体式、模块式与叠装式 PLC 简介

PLC 类型	定义	特点	适用场景
整体式 PLC	将电源、存储器、CPU、I/O 接口等组成单元集成于一个机箱内的 PLC	具有体积小、集成程度高、结构紧凑、价格较低等特点	小型 PLC 一般采用的是整体式结构
模块式 PLC	将电源、CPU、I/O 接口等组成单元以模块的形式组合而成的 PLC	装配较为方便、便于维护、可扩展性较强，可根据实际需要组装成不同规模的系统，配置模块式结构具有一定的灵活性	模块式结构在大、中型 PLC 中应用较多
叠装式 PLC	由 CPU、电源、I/O 接口等组成单元以模块式结构的形式，但安装不用基板，仅用电缆进行单元间连接，且各单元可以一层层地叠装	既能够保证 PLC 结构灵活配置的特点，又能保持其结构的紧凑性	/

资料来源：头豹研究院，国信证券经济研究所整理

2020 年全球 PLC 市场规模约 123 亿美元。根据 Report Linker 数据预测，2020 年全球 PLC 市场为 123 亿美元，预计到 2027 年将达到 169 亿美元，年复合增长率为 4.6%。**2020 年中国 PLC 市场规模约 112 亿人民币。**根据头豹研究院数据预测，2020 年中国 PLC 市场规模约 112 亿元，预计到 2023 年将达到 160 亿元，年复合增长率 12.6%。

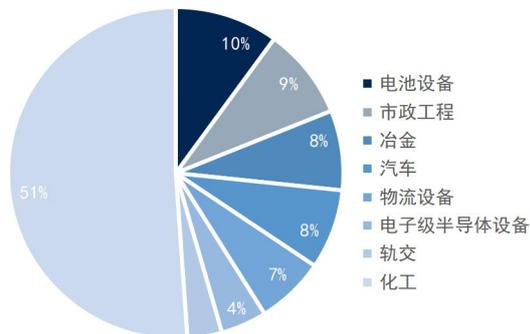
图 223: 2014-2023 年中国 PLC 市场规模（亿元）



资料来源：头豹研究院，国信证券经济研究所整理

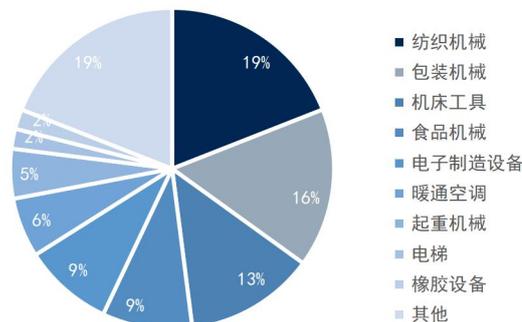
大中型 PLC 主要用于项目型市场，小型 PLC 应用于 OEM 市场。国内大中型 PLC 主要应用于项目型市场，产品的安全性、可靠性、稳定性和网络通信能力要求比较高，如汽车、冶金、电力、化工、建材等；小型 PLC 主要应用于 OEM 市场，如纺织机械、包装机械、起重机械、食品机械等器械设备。

图 224: 国内大中型 PLC 的应用场景分布情况



资料来源: 中国工控网、国信证券经济研究所整理

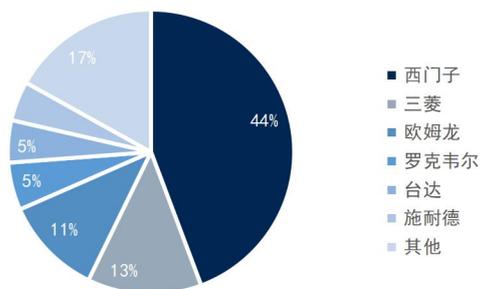
图 225: 国内小型 PLC 的应用场景分布情况



资料来源: 中国工控网、国信证券经济研究所整理

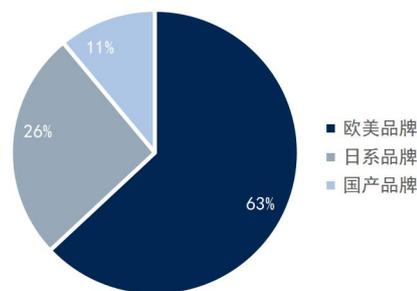
中国 PLC 市场主要由外资品牌主导。欧美品牌主要以西门子、罗克韦尔、施耐德、GE 为代表。西门子在中国市场占有率 44%，占据领先的市场地位，其大型、中型、小型 PLC 产品的可靠性、稳定性等性能较为良好，在大型、中型 PLC 市场中具有较强竞争优势，罗克韦尔排名第四，市占率为 5%，但是其在大型 PLC 产品是绝对的龙头；日韩品牌主要以三菱、欧姆龙、LG 为代表。主要依靠较高的性价比和渠道优势占据一定的市场份额，其中以三菱和欧姆龙为代表的日本 PLC 在小型控制系统等细分领域中应用较多；本土品牌市占率仅 11%，主要以信捷电气、汇川技术、麦格米特、和利时为代表，市场规模相对较小，目前本土品牌主要以提供小型 PLC 产品为主。

图 226: 2020 年中国 PLC 市场竞争格局



资料来源: 普华有策、国信证券经济研究所整理

图 227: 不同品牌在中国 PLC 市场占比情况



资料来源: 睿工业、国信证券经济研究所整理

DCS: 是流程工业控制系统的核心

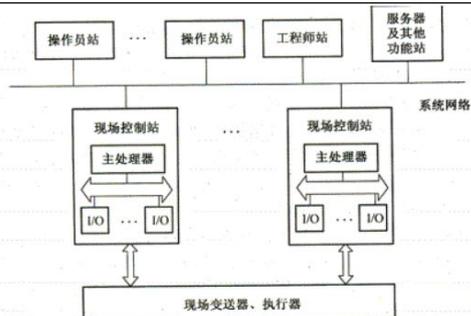
DCS (Distributed Control System, 集散控制系统) 是以微处理器为基础, 采用分散控制、集中显示、分而自治、综合协调的设计原则的新一代仪表控制系统。DCS 采用集中监控的方式协调本地控制器以执行整个生产过程, 将各个分站进行数据交流和整合, 完成满足客户需求的控制。

DCS 是流程工业控制系统的核心, 它采用控制分散、管理集中的设计思想, 采用多层分级、合作自治的结构形式, 主要应用于基于物理和化学变化生产、加工过程属于连续系统的流程工业领域。DCS 由输入输出模块、通信模块、控制器和人

机界面组成，用于实现对生产过程的数据采集、控制和监视功能。

DCS 主要由三站一线组成：工程师站、操作员站、现场控制站、系统网络。工程师站对 DCS 进行离线的配置、组态工作和在线的系统监督、控制、维护的网络节点。操作员站处理一切与运行操作有关的人机界面功能的网络节点。现场控制站是 DCS 的核心，对现场 I/O 处理并实现直接数字控制（DDC）功能的网络节点。系统网络是连接系统各个站的桥梁，由于 DCS 是由各种不同功能的站组成的，这些站之间必须实现有效的数据传输，以实现系统总体的功能。

图 228: DCS 系统的内部结构



资料来源：中国工控网、国信证券经济研究所整理

图 229: 中控技术 ECS-700 型号 DCS 系统

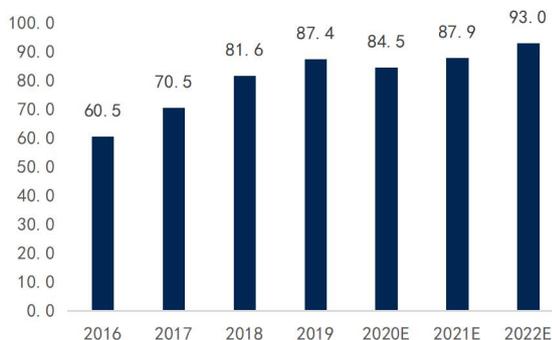


资料来源：中控技术、国信证券经济研究所整理

2020 年全球 DCS 市场规模约 169 亿美元。根据 Report Linker 数据显示，2020 年全球 DCS 市场规模约为 169 亿美元，预计到 2027 年全球 DCS 市场规模将达到 215 亿美元，年复合增速约为 3.5%。**2020 年中国 DCS 市场规模约 87 亿人民币。**根据睿工业数据，2019 年度国内 DCS 市场规模为 87.4 亿元，同比增长 7.2%。2020 年受到新冠疫情影响，项目建设有所延缓，预计 DCS 市场或将出现下滑。但随着工业复制化持续提升，DCS 的运用将逐步开始向高端、大型、联合控制和注重后续维护的方向发展，预计 DCS 市场仍会保持 5-6% 的平均年增长率。

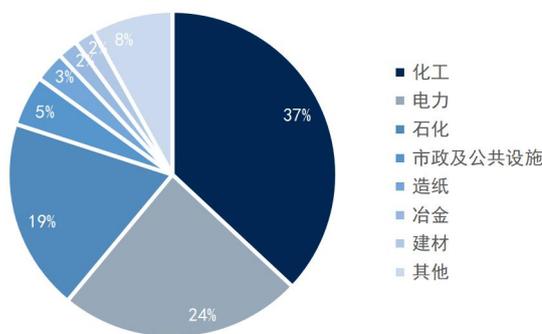
DCS 应用行业众多，化工、石化和电力是最大领域。从下游应用行业来看，化工、石化和电力三大行业占据 80.7% 的市场。2019 年化工行业依然为第一大市场，规模达到 32.3 亿元，同比增长 17.4%；石化行业规模达到 17 亿元，同比增长 14.3%；电力行业规模为 21.3 亿元，同比下降 4.6%。

图 230: 2016-2022 年中国 DCS 市场规模（亿元）



资料来源：睿工业、国信证券经济研究所整理

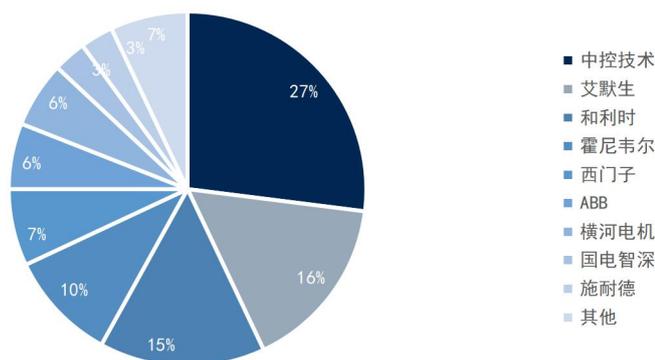
图 231: 中国 DCS 系统下游各行业占比情况



资料来源：华经产业研究院、国信证券经济研究所整理

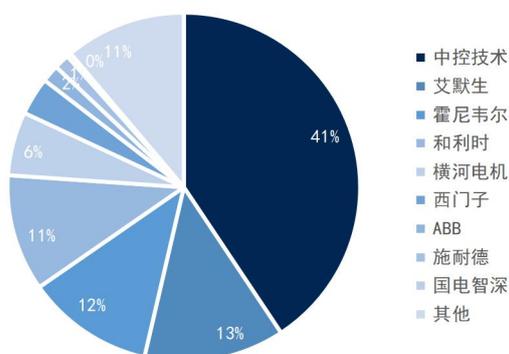
中控技术市占率近三成，位列行业第一。本土品牌：以中控技术、和利时为主，市场份额分别占比 27%与 15%；外资品牌：主要以欧美系的艾默生、霍尼韦尔、西门子、ABB，和日系品牌横河电机为主，市场份额分别占比 16%、10%、6%、7%、6%；化工领域主要以中控技术、和利时、霍尼韦尔、横河电机为主；电力领域主要以 ABB、艾默生、和利时、西门子为主；石化领域主要以中控技术、霍尼韦尔、艾默生、横河电机为主。

图 232：2019 年中国 DCS 市场竞争格局



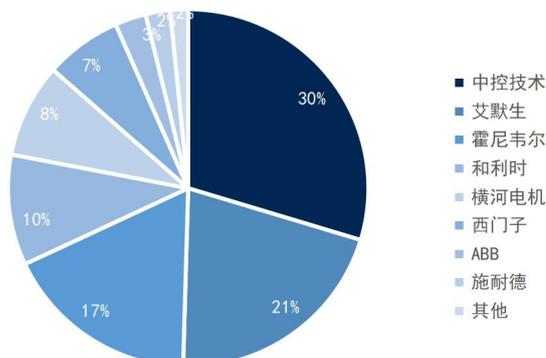
资料来源：华经产业研究院，国信证券经济研究所整理

图 233：2019 年国内 DCS 化工行市场竞争格局



资料来源：中控技术招股书、国信证券经济研究所整理

图 234：2019 年国内 DCS 石化行市场竞争格局



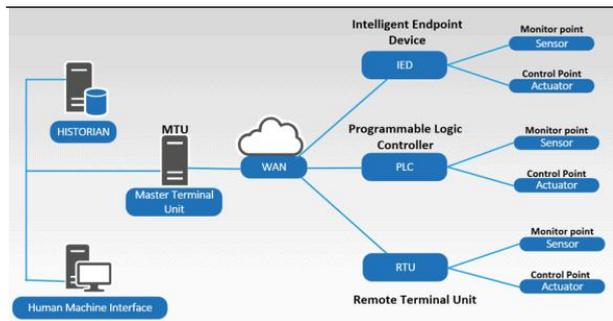
资料来源：中控技术招股书、国信证券经济研究所整理

SCADA：重点在于数据采集与监控处理

SCADA: (Supervisory Control And Data Acquisition, 监测控制和数据采集系统)，是以计算机为基础的实时分布式系统，可对现场设备进行远程控制和监控，并为安全生产、调度、管理、优化和故障诊断提供依据。SCADA 系统的设计用来收集现场信息，将这些信息传输到计算机系统，并且用图像或文本的形式显示这些信息。

SCADA 系统重点突出数据采集和监控处理。SCADA 系统集成了数据采集系统、数据传输系统和 HMI 软件，以提供集中的监视和控制，以便进行过程的输入和输出。可以应用于电力、冶金、石油、化工、燃气、铁路等领域的数据采集与监视控制以及过程控制等诸多领域。SCADA 系统主要由监控中心、通讯系统和数据采集系统三部分组成。上位机与下位机由通讯系统连接，上位机定位监控中心，主要负责监控，下位机主要由 PLC、RTU、现场仪表、现场人机界面等组成，主要负责控制。

图 235: SCADA 系统硬件架构



资料来源: Logrhythm、国信证券经济研究所整理

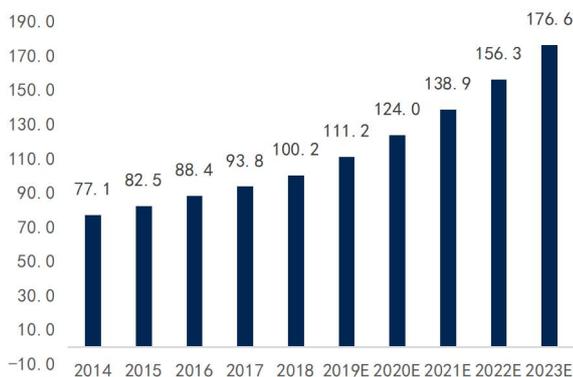
图 236: ABB 的 Micro SCADA X SYS600C 产品



资料来源: ABB、国信证券经济研究所整理

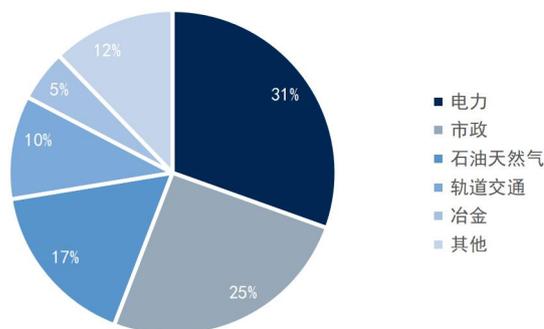
2021 年全球 SCADA 市场规模约 90 亿美元。根据 ISA 数据预测，2021 年全球 SCADA 市场规模为 92 亿美元，预计到 2026 年将达到 132 亿美元，年复合年增长率 7.6% 增长。**2020 年中国 SCADA 市场规模约 124 亿。**根据头豹研究院数据，中国 SCADA 市场规模从 2014 年的 77.1 亿元稳步上升至 2018 年的 100.2 亿元，年复合增长率为 6.8%，未来随着工业技术与信息技术深度融合，信息化逐渐带动工业化，SCADA 应用普及度将继续提升，预计未来五年，中国 SCADA 行业的发展增速将提升至 12.0%，到 2023 年，中国 SCADA 行业市场规模有望达到 176.6 亿元。**前三大应用场景为电力、市政与石油天然气。**从应用占比来看，电力行业式 SCADA 系统应用占比最大的领域，占比达到 30.5%，其次是市政、石油天然气，分别占比 25.3%、16.6%。

图 237: 2014-2023 年中国 SCADA 市场规模 (亿元)



资料来源: 头豹研究院、国信证券经济研究所整理

图 238: 中国 SCADA 系统下游各行业占比情况



资料来源: 头豹研究院、国信证券经济研究所整理

本土品牌市占率六成，仍有国产替代空间。本土品牌：主要有力控科技、亚控科技、紫金桥软件等。国产品牌行业应用占比 60% 左右，在市政、石油、基础设施

等应用领域形成了相对稳定成熟的市场；外资品牌：主要有艾默生、ABB、霍尼韦尔等。外资品牌市占率 40%，在电子半导体、轨道交通、烟草、食品饮料、水处理等行业应用广泛。

表 77：中国 SCADA 市场的主要玩家

区域	公司名称	主要产品
外资品牌	ABB	ABB SCADA Advantage 是一款面向石油和天然气行业的新型云解决方案，提供了标准的自动化工作流程控制方法，可对企业日常运营进行优化。该款系统使用高性能的实时关系数据库管理系统来增强数据的完整性和数据检索功能，涵盖了各种不同大小的系统类型，企业可根据业务的发展状况而对系统进行扩展
	艾默生	2019 年，艾默生收购了位于卡尔加里的 Zedi 软件和自动化业务，包括其基于云的监控和数据采集 SCADA 平台。基于云的监控、控制和优化能力将进一步帮助石油和天然气生产商提高产量和降低运营成本
	霍尼韦尔	2017 年，霍尼韦尔推出基于云的 SCADA 项目的产品 Experion Elevate，通过持续的生命周期操作提高了业务灵活性并提高了实施效率
本土品牌	力控科技	力控 eForceCon SCADA 系统调度平台软件 V5.0 在调度控制中心和区域控制站通过 SCADA 系统可完成对系统的监控和运行管理，各工艺站场可实现无人职守
	亚控科技	Kingview 组态王是亚控科技率先在中国推出的工业组态软件产品，集成了对亚控科技自主研发的工业实时数据库 KingHistorian 的支持，可为企业提供一个对整个生产流程进行数据汇总、分析及管理的有效平台，使企业能够及时有效地获取信息，及时地做出反应，以获得最优化的结果

资料来源：观研天下，国信证券经济研究所整理

流程工业数字化研究框架

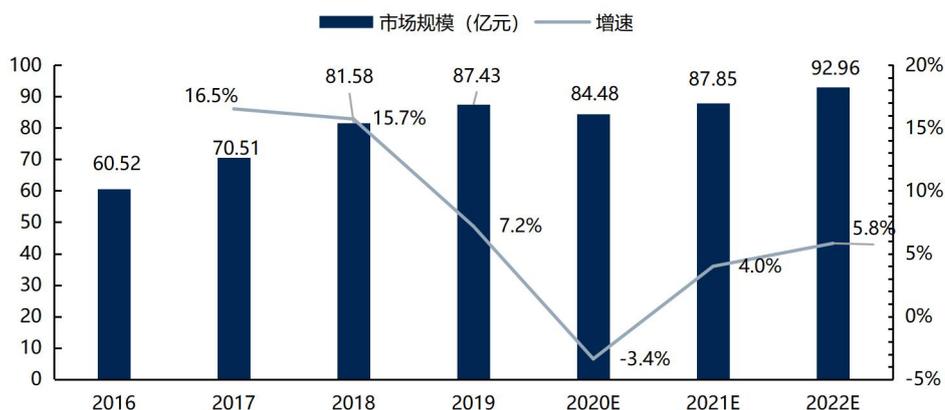
自动化控制系统：流程工业控制的大脑

(1) DCS 系统：

DCS 是流程工业控制的核心，国内市场处于稳健增长阶段。DCS (Distributed Control System) 即集散控制系统，又称“分散控制系统”或“分布式计算机控制系统”，是实现控制生产全流程的“工业大脑”。DCS 控制系统由输入输出模块、通信模块、控制器和人机界面组成，用于实现对生产过程的数据采集、控制和监视功能，主要应用于流程工业领域，下游包括化工、石化、电力、核电、制药、冶金、建筑等。

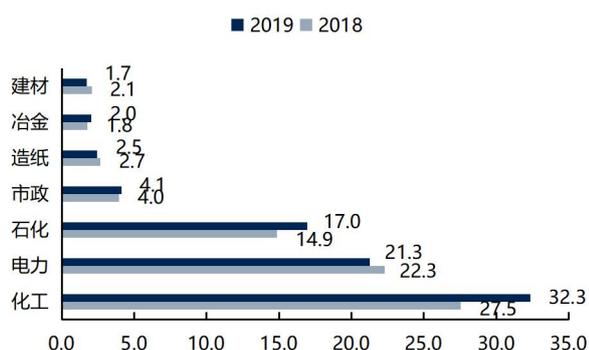
DCS 行业市场规模达到 87.43 亿元，需求主要来自化工、石化、电力等流程工业领域。根据睿工业数据，2019 年，国内 DCS 市场规模为 87.4 亿元，同比增长 7.2%。工业数字化趋势下，DCS 控制系统作为流程工业智能化的核心，国内市场预计仍会保持 5-6% 的年增长率。从下游应用行业来看，2019 年，化工、石化和电力三大行业占据国内 DCS 市场 80.7% 的份额，其中化工行业作为 DCS 第一大市场，规模达到 32.3 亿元。

图 239: 中国 DCS 市场规模



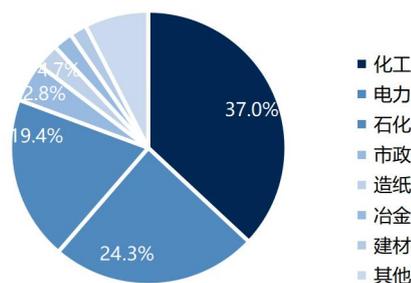
资料来源: 睿工业、国信证券经济研究所整理

图 240: 国内 DCS 分行业市场规模 (亿元)



资料来源: 睿工业、国信证券经济研究所整理

图 241: 2019 年国内 DCS 市场行业构成比重



资料来源: 睿工业、国信证券经济研究所整理

行业 Knowhow 赋能产品竞争力，六大特性奠定产品基础。 DCS 系统对于新进入的厂商有较高的壁垒，主要体现在一套成熟的 DCS 系统需要对下游行业的工业流程有较深的理解，工业程序的积累为产品后续的升级迭代奠定良好基础，促进了应用的广泛和多样性。在石油化工等流程工业中，温度、压力、流量、液位的检测和控制为 DCS 系统需要满足的首要功能，但是具体性能的优异可体现在精度的控制上，比如在石油大型工艺设备运转中，如何把握开关量的顺序控制；不同下游对精度的要求也有所不同，比如石化和电力行业对 SOE (Sequence Of Events, 查找事故原因) 的精度要求差异很大，8-10ms vs 1ms。作为流程工业头部自动化控制设备厂商，与行业客户合作越紧密，对该行业先进工业的理解也会越深度，致使产品竞争力与行业中长尾厂商的差距逐步拉大。这也解释了为什么 DCS 系统很长一段时期内都以海外厂商占据主导地位。由于 DCS 系统牵扯到整个生产流程的核心控制部分，一旦出现故障，难以避免生产流程停滞所带来的损失。同时，当更换 DCS 系统时，连接现场仪表、阀门、电机控制器等的上万个 I/O 点接口需要重新连接部署，成本较高，因此客户对 DCS 产品的黏性较强。

表 78: DCS 系统六大特点

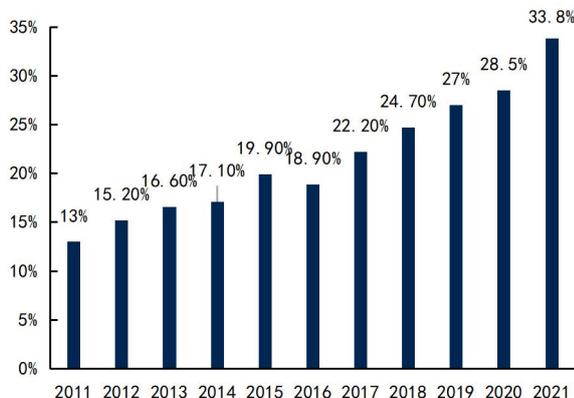
特点	阐述
高可靠性	由于 DCS 将系统控制功能分散在各台计算机上实现, 系统结构采用容错设计, 因此某一台计算机出现的故障不会导致系统其它功能的丧失。此外, 由于系统中各台计算机所承担的任务比较单一, 可以针对需要实现的功能采用具有特定结构和软件的专用计算机, 从而使系统中每台计算机的可靠性也得到提高。
开放性	DCS 采用开放式、标准化、模块化和系列化设计, 系统中各台计算机采用局域网方式通信, 实现信息传输, 当需要改变或扩充系统功能时, 可将新增计算机方便地连入系统通信网络或从网络中卸下, 几乎不影响系统其他计算机的工作。
灵活性	通过组态软件根据不同的流程应用对象进行软硬件组态, 即确定测量与控制信号及相互间连接关系、从控制算法库选择适用的控制规律以及从图形库调用基本图形组成所需的各种监控和报警画面, 从而方便地构成所需的控制系统。
易于维护	功能单一的小型或微型专用计算机, 具有维护简单、方便的特点, 当某一局部或某个计算机出现故障时, 可以在不影响整个系统运行的情况下在线更换, 迅速排除故障。
协调性	各工作站之间通过通信网络传送各种数据, 整个系统信息共享, 协调工作, 以完成控制系统的总体功能和优化处理。
控制功能齐全	控制算法丰富, 集连续控制、顺序控制和批处理控制于一体, 可实现串级、前馈、解耦、自适应和预测控制等先进控制, 并可方便地加入所需的特殊控制算法。随着计算机技术的发展, DCS 可以按照需要与更高性能的计算机设备通过网络连接来实现更高级的集中管理功能, 如计划调度、仓储管理、能源管理等。

资料来源: 快咨询、国信证券经济研究所整理

DCS 系统普遍以十年为替换周期, 十年前市场中主要以外资品牌为主, 而中控技术作为当前的 DCS 系统头部公司, 有望在设备更换周期把握机遇, 进一步提升市场份额。公司成立至今共完成了 30000 多个 DCS 项目, 服务 DCS 用户超过 180000 个, 覆盖全球 30 多个国家和地区, 打造了众多标杆案例(如中天合创、神华宁煤、新疆天业、浙江龙盛、九江石化、新安化工、桐昆集团、阳煤集团、宁德时代等)。

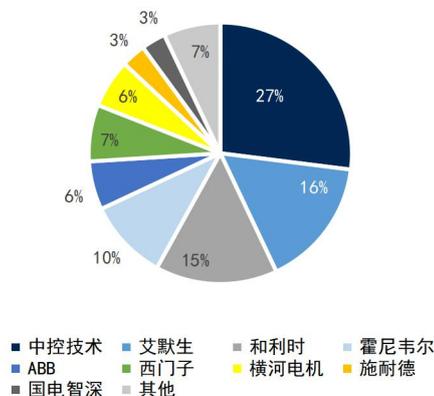
根据睿工业数据, 2019 年, 中控技术占据国内 DCS 市场份额 27%, 外资厂商以艾默生、霍尼韦尔、ABB、西门子为主导共占据国内 DCS 市场份额 39%, **由于 DCS 系统在流程工业经济中至关重要, 国产替代是必然趋势。**2011-2021 年, 中控技术连续 11 年蝉联我国 DCS 市场整体占有率第一名, 市占率从 13% 提升至 33.8%。在化工和石化领域, 公司的领先优势更加明显, 2021 年公司在化工领域市占率达到 51.5%, 石化领域的市占率达到 41.6%。2021 年, 公司在与中石化、中海油、中化集团、东方雨虹等公司的合作项目中, 落地了一系列具有业内影响力的项目, 并且顺利进入巴斯夫的合格供应商名录, 首次与巴斯夫合作落地生产装置 DCS 项目。公司面向海内外的高端市场持续突破, 未来有望进一步突破高价值大型项目。

图 242: 2011-2021 年中控技术市占率逐步提升



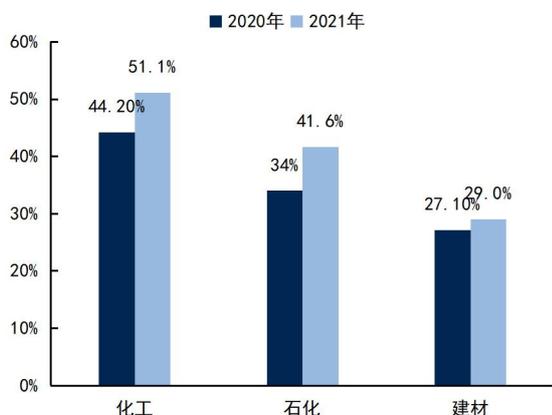
资料来源: 睿工业、国信证券经济研究所整理

图 243: 2019 年国内 DCS 市场各厂商份额



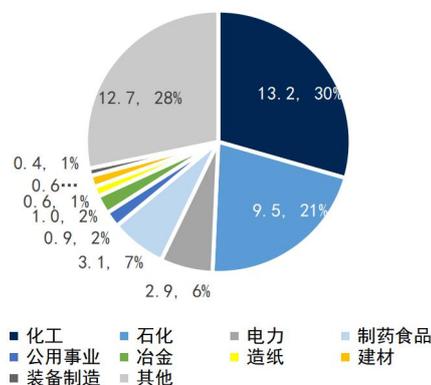
资料来源: 睿工业、国信证券经济研究所整理

图244：中控技术在化工、石化、建筑领域市占率



资料来源：睿工业、国信证券经济研究所整理

图245：2021年中控技术各行业收入占比（亿元）



资料来源：2021年年报、国信证券经济研究所整理

(2) SIS 安全仪表系统

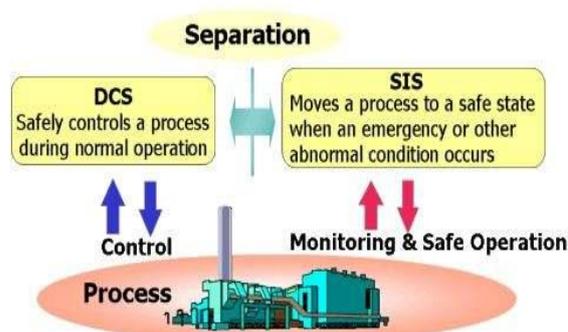
SIS (Safety Instrumented System) 安全仪表系统相当于生产系统的“急刹车装置”，与DCS“动静相宜”。相较于DCS需要对生产过程进行“动态控制”，SIS是“静态”的，始终对系统进行监视，对异常情况进行快速处理，使危害降到最低。SIS系统主要由传感器、逻辑控制器以及最终执行单元组成，用于实现一个或多个安全回路功能，达到工艺装置要求的安全完整性等级(SIL)。SIS是保障工厂安全运行的核心装备，在工业生产期间提供对设备、人身、环境的安全保护，避免恶性事故发生。SIS主要应用于化工、石化、电力、油气、冶金等各个领域。

图246：中国SIS行业市场规模



资料来源：ARC、国信证券经济研究所整理

图247：DCS与SIS的关系



资料来源：YOKOGAWA、国信证券经济研究所整理

政策推动SIS市场快速增长。根据ARC数据，2019年，国内SIS市场规模为3.2亿美元，连续三年取得两位数增长。化工、炼化石化及油气为SIS主要下游应用行业，2019年三大行业合计占比超过SIS国内市场需求的80%。根据国家安全监管总局(2014)116号文件要求，自2018年1月1日起，所有新建涉及“两重点

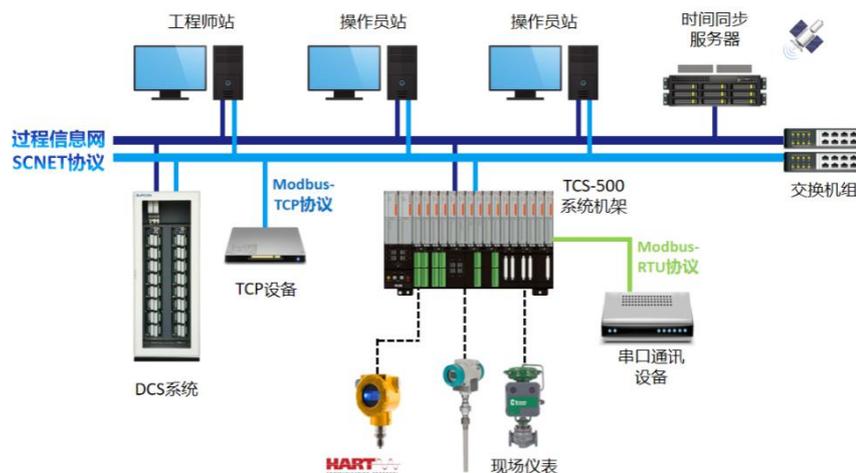
一重大”的化工装置和危险化学品储存设施要设计符合要求的 SIS 系统；自 2020 年 1 月 1 日起，其他新建化工装置、危险化学品储存设施也需要设计符合要求的 SIS 系统。政策推动下，生产安全重视程度与日俱增，SIS 系统在各行业的渗透率有望持续提升。根据 ARC 预测，我国 SIS 市场将保持 8.3% 的复合增速快速增长，预计 2024 年市场规模将达到 4.76 亿美元。

表 79: 中控技术安全仪表系统 (SIS) 及其特点

产品类型	主要产品	产品应用及特点
安全仪表系统 (SIS)	TCS-900 	中高端 SIS 产品，获得 TuV 莱茵 SIL3 和中国船级社认证，支持安全在线下载和内建安全设计，适应高海拔和工业恶劣环境。在紧急停车系统 (ESD)、燃烧管理系统 (BMS)、火灾及气体检测系统 (FGS)、大型压缩机机组控制系统 (CCS) 等场合广泛应用。
	TCS-500 	自主研发中小型 SIS 产品，采用四重化或两重化构架的关键技术，支持冗余配置和热插拔，外形紧凑，总线布置灵活，可支持多站同时组态、多任务平行运转，可在油气开采、长输管线、石化化工、精细化工、煤化工、制药等领域的紧急停车系统 (ESD) 和火灾及气体检测系统 (FGS/GDS) 场合应用。

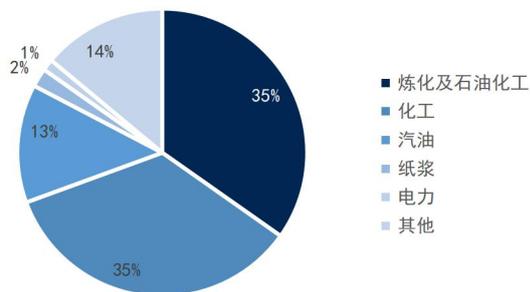
资料来源：2021 年年报、国信证券经济研究所整理

图 248: 安全仪表系统的连接架构



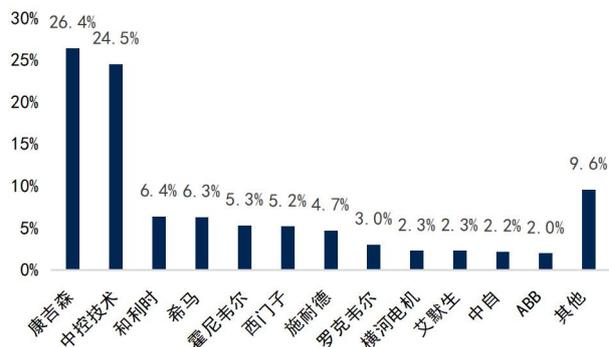
资料来源：公司官网、国信证券经济研究所整理

图 249：2019 年国内 SIS 市场各行业占比



资料来源：招股说明书、国信证券经济研究所整理

图 250：2019 年国内 SIS 市场各厂商份额



资料来源：招股说明书、国信证券经济研究所整理

自动化仪表：行业竞争格局分散，国产化替代空间广阔

自动化仪表是用以检出、测量、观察、计算各种物理量、物质成分、物性参数等的器具或设备。公司自动化仪表主要包括控制阀、压力变送器、安全栅等产品，其中变送器和控制阀的产品销售收入为公司自动化仪表业务的主要构成部分。**压力变送器**，是一种将压力转换成气动信号或电动信号进行控制和远传的设备，主要参考指标有准确度、长期稳定性、量程范围等，单价在 0.2-0.3 万元。**控制阀**，属于过程控制中的终端元件，也是自控系统中的执行器，其分为调节阀、切断阀等多种类型，单价在 0.55-0.65 万元。

拓展补全自动化仪表业务，提升整体解决方案竞争力。公司以核心 DCS 控制系统为抓手迅速打开流程工业市场，通过向自动化仪表产品进行拓展，在投标时增强公司整体解决方案的竞争力。由于我国基础工业与海外差距较大，自动化仪表市场一直被海外巨头垄断，近年来国产厂商从中低端现场仪表类产品尝试突破。自动化仪表的技术难度主要体现在材料先进、产品使用寿命、性能指标等，比如控制阀如何把精度调节在较精细先进的水平。

表 80：部分企业压力变送器性能比较

	艾默生	川仪股份	中控技术	威尔泰
基本精度	±0.04%	±0.04%	±0.05%	±0.075%
最高精度	±0.025%	±0.025%	±0.035%	±0.05%
稳定性		±0.1%/10 年	±0.1%/10 年	
最大压力量程		70MPa	40MPa	40MPa

资料来源：华经产业研究院、国信证券经济研究所整理

压力变送器和调节阀市场，国产替代空间仍广阔。根据工控网《2020 中国压力变送器市场研究报告》，2019 年，国内压力变送器市场规模为 40.2 亿元，同比增长 9.2%，预计未来三年将保持 3%的复合增速。当前压力变送器行业以外资企业为主，横河电机市占率 28.6%，排名行业第一；国产企业川仪股份市占率 5.6%，排名第三。

根据 ARC《中国调节阀市场研究报告》，2018 年国内调节阀市场规模为 19.99 亿美元，预计未来三年行业将保持 5.3%的复合增速。国内调节阀市场集中度较低，2018 年市场前十名总份额仅为 41%，艾默生以 8.3%的市占率排名第一，国产厂商

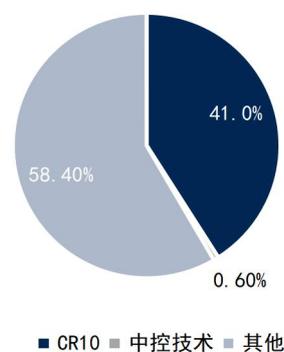
中吴忠仪表与川仪股份较领先,但吴忠仪表份额仅为 3.7%,排名第四。以公司 2018 年调节阀业务收入 7389 万元测算,公司调节阀市占率为 0.6%。

图 251: 各厂商调节阀收入对比 (亿元)



资料来源:招股说明书、国信证券经济研究所整理

图 252: 2018 年调节阀主要厂商市占率



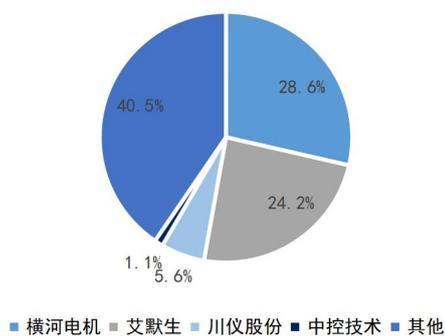
资料来源:招股说明书、国信证券经济研究所整理

图 253: 各厂商压力变送器收入对比 (亿元)



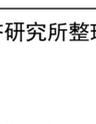
资料来源:招股说明书、国信证券经济研究所整理

图 254: 2019 年压力变送器各厂商份额



资料来源:招股说明书、国信证券经济研究所整理

表81：不同仪器仪表产品及其特点

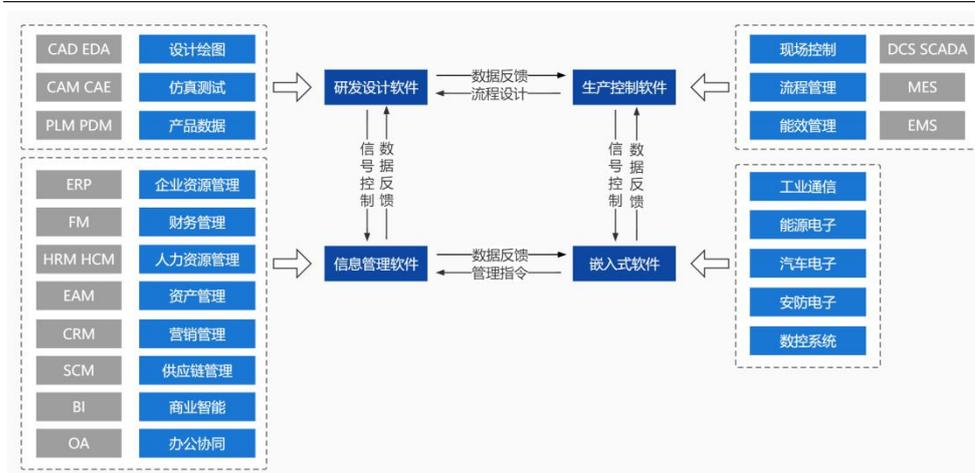
仪器仪表	主要产品	产品特点及应用
现场仪表	CXT 系列智能压力变送器 	将压力/差压信号转换为标准电信号的高精度、高稳定性工业现场仪表。采用单晶硅复合式传感器，可测量气体、液体等介质的压力/差压、流量和液位信号。0.05 级精度等级，长期稳定性优于±0.1%/10 年。
	CJT 系列智能压力变送器 	采用金属电容传感器，0.1 级精度等级。可测量差压、压力等物理信号。可提供定制化服务，定制特殊类型接口等。
	CPT 系列智能压力变送器 	采用扩散硅传感器，适用于油田厂矿等有组网通讯需求的场合。支持无线 Zigbee A11 协议，全系列标配 RS485 接口，方便现场应用。
智能控制阀	调节阀 	采用全新功能模块化设计，调节精度高，密封性能好，使用寿命长，易维护。适用于化工、石化、精细化工、煤化工、医药、冶金、电力等行业。
	控制球阀 	采用全通径设计，切断性能好，压降损失小，阀杆防飞、防静电，耐磨损、低扭矩。适用于化工、石化、精细化工、煤化工、医药、冶金、电力等行业。
	控制蝶阀 	阀板/阀座采用全金属结构设计，泄漏等级可达双向零泄漏，耐磨，使用寿命长。适用于化工、石化、煤化工、冶金、电力等行业。
	偏心旋转阀 	阀体、上阀盖为一体式结构，阀体为直通型，流阻小，流通能力大，可调节范围广；阀芯为偏心式设计，可减少阀座磨损，适用寿命长。适用于化工、石化、煤化工等行业。
	智能定位器 	采用数字化技术进行数据处理、决策生成的智能过程控制仪表，用于对调节阀的精确定位控制。目前已形成本安型、隔爆型、HART 总线型等产品系列，可广泛应用于流程工业生产现场的自动化控制。
安全栅		串联在信号线上，在不影响信号和通讯的条件下，将可能进入危险场所的能量（电能）限制在安全值以下，保证现场安全。满足 Exia Ga IIC 防爆等级要求。获得中国船级社、SIL2、SIL3、CE 认证。
浪涌保护器（SPD）		中控浪涌保护器能为 PLC、DCS 和 SIS 等各类控制系统对外信号接口（AI、AO、DI、DO 等）以及现场仪表（变送器、热电阻等）提供安全可靠的雷电防护，广泛应用于石油化工、天然气、新能源等行业。
隔离器		串联在信号线上，在不影响信号和通讯的条件下，采用三端隔离器技术，有效抑制干扰信号的传播，提高信号传输质量，并且起到信号转换的作用。

资料来源：2021 年年报、国信证券经济研究所整理

工业软件：软件定义数字化，全方位优化生产控制

工业软件可分为嵌入式软件（工业通信、汽车电子等软件）、研发设计类（CAD、PLM 等软件）、生产控制类（MES、DCS 等软件）、和信息管理类（ERP、CRM 等软件）。**中控技术的主要工业软件产品布局在生产控制类软件，是智能制造的驱动内核。**生产控制类软件要求集工业知识和行业“Know-How”于一体，与流程工业生产过程紧密结合，对竞争厂商壁垒要求较高。

图 255: 工业软件分类



资料来源: 赛迪顾问、国信证券经济研究所整理

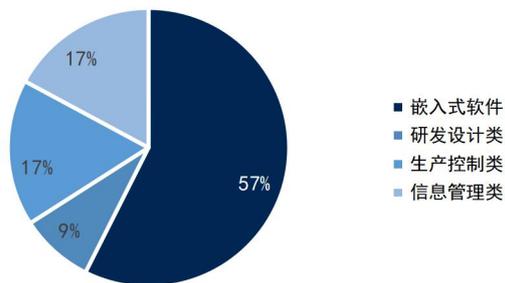
中国工业软件市场增速领先全球，潜力巨大。根据《中国工业软件产业白皮书（2020）》，2019 年全球工业软件市场规模达到 4107 亿美元，近三年复合增长率约为 5%。当前中国工业软件产业规模仅占全球工业软件市场规模的 6%，仍处于渗透率快速提升阶段。2012-2019 年，中国工业软件市场规模复合增长率为 13%。2019 年，中国工业软件市场规模达到 1720 亿元，同比增长 16.5%。**在中国生产控制类软件供应商中，国内厂商占据了 50% 的市场，涌现了上海宝信、和利时、中控技术这样的行业领军企业。随着中国工业快速发展，化工、石油等工业处于世界领先水平，与之对应的生产控制类软件具备了高端市场替代的可能性。**后续随着中国智能制造转型加速，工业应用场景逐步增多，国产生产制造类软件的性能进一步完善，国产化率有望加快提升。

图 256: 中国工业软件市场规模（亿元）



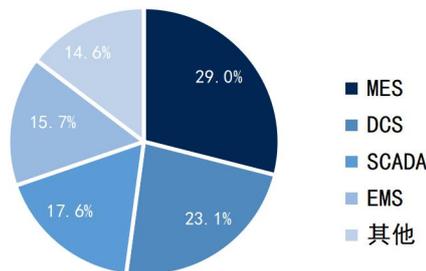
资料来源: 《中国工业软件产业白皮书（2020）》、国信证券经济研究所整理

图 257：各类工业软件市场占比（2018 年）



资料来源：赛迪顾问、国信证券经济研究所整理

图 258：中国生产控制类软件细分种类市场份额（2018 年）



资料来源：赛迪顾问、国信证券经济研究所整理

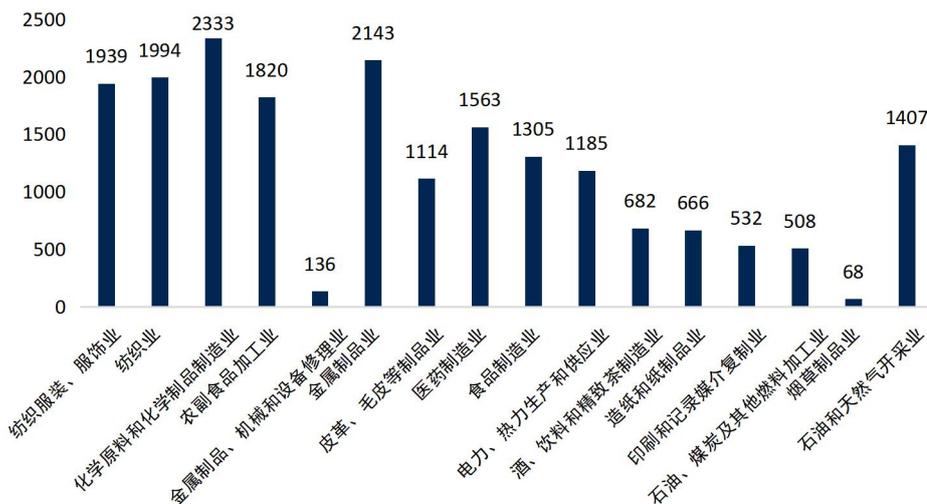
一、生产流程执行—MES（制造执行系统）

MES（制造执行系统）是面向生产制造企业车间执行层的生产信息化管理系统，位于上层的经营管理层与物联网组件层之间，实现生产车间与计划部门数据的互联互通。MES 上接 ERP 或 PLM 软件，下接 PLC/DCS/SCADA 软件，具有很强的行业特性，不同行业的 MES 应用差异大。

MES 行业竞争格局相对分散，外企主导市场。根据 IDC 数据，2020 年，前八名的企业市占率合计 39.7%。西门子、宝信软件、SAP 分别以 11.1%、7.6%、7.2% 的市占率位居前三，中控技术市场份额为 2.1%，位列第七名。我们认为凭借公司在流程工业领域的客户基础和产品优势，未来公司有望提升 MES 产品市占率。

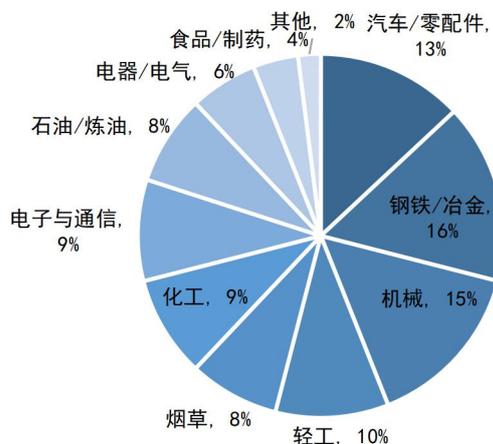
根据中国统计年鉴测算，2020 年，流程行业拥有 19395 家大中型工业企业，假设流程工业平均 MES 项目单价为 200 万元，当前 MES 普及率为 25%，即对应流程工业 MES 市场空间为 96.98 亿元。

图 259：2020 年流程工业不同细分行业大中型企业数量



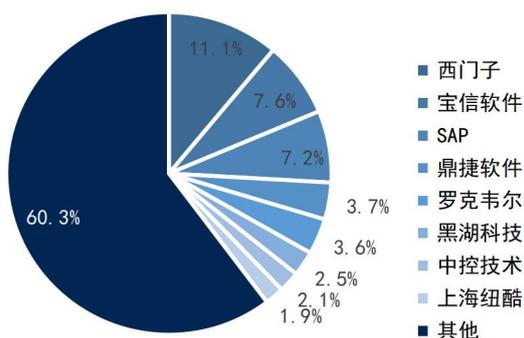
资料来源：中国统计年鉴、国信证券经济研究所整理

图 260：中国制造业 MES 应用行业分布图



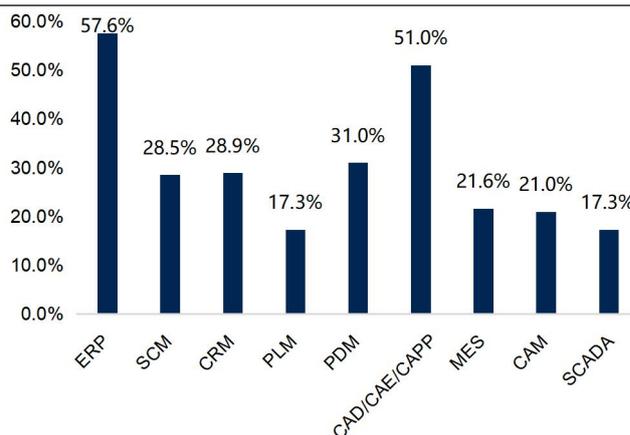
资料来源：工控网、国信证券经济研究所整理

图 261：2020 年国内 MES 市场格局



资料来源：中国工控网、国信证券经济研究所整理

图 262：2018 年我国主要工业软件普及率



资料来源：周剑《中国制造业数字化转型全景图》、国信证券经济研究所整理

二、生产流程管控—APC（先进控制过程）、RTO（过程实时优化）、OTS（仿真培训软件）

APC(先进控制过程)是实现流程工业生产装置全流程平稳与协调控制的核心工具，通常在 DCS、PLC、FCS 等计算机控制系统已有常规控制的基础上，采用多种策略提高复杂工业过程的控制品质，增强系统的抗干扰能力和鲁棒性，降低劳动强度，实现节能增效的目的。公司是完全自主知识产品的 APC 软件供应商，产品已在中石化、中石油、中海油等流程工业企业应用 300 多套，形成了 80 多种生产装置先进控制解决方案。

RTO(过程实时优化)指通过将回路控制与过程运行优化相结合，来解决复杂流程工业过程优化与控制问题。该产品使生产过程装置类似于汽车自动驾驶和路径最优规划等，实现了装置自动平稳卡边控制和技术经济指标最优化功能，从而提高装置运行整体收益。产品主要用于炼油、石化、化工、冶金、造纸、制药等行业。

OTS（仿真培训软件）目的在于提高生产安全性。工厂自动化程度的提高，一定程度上减少了操作人员失误的频率；在面临生产问题时，不正常操作或者误操作极易引发生产事故。传统操作人员的培训不仅危险大，而且进度较慢；因此模仿工厂操作的 OTS 成为发展趋势。

APC 和 RTO 是工业 4.0 时代的重要软件，市场保持稳健增长。在工业 4.0 时代，随着工业生产进一步智能化，APC 和 RTO（实时优化技术）作为能显著改善生产环节、提高工业自动化水平的重要软件，发展前景广阔。根据 ARC 出具的《先进过程控制及在线优化中国市场研究报告》，2019 年国内 APC 和 RTO 整体市场规模达到 5150 万美元，同比增长 16.5%，预计未来 5 年国内 APC 及 RTO 市场将会保持 10.8% 的复合增长率。

图 263：APC 的作用与典型效益

APC的作用	APC的典型效益
<ol style="list-style-type: none"> 1、增强装置的安全性和平稳性 2、提高过程系统的整体控制性能 3、提供准确的关键工艺参数在线计算值，提高品质的一致性 4、确保装置长周期运行，使之接近其最大产能 5、通过“卡边”、优化，提高产品收率、减少物耗能耗、减低运行成本、减轻污染排放，使装置效益最大化 	<ol style="list-style-type: none"> 1、减少关键工艺变量波动的标准差，通常达到30%以上 2、增加处理能力1%-5% 3、增加目标产品收率1%-5% 4、节约特能的能量消耗2%-5% 5、降低特定的物料消耗1%-5% 6、减少不合格产品，降低重新加工的成本 7、减少污染物的排放，实现环境友好生产

资料来源：公司官网、国信证券经济研究所整理

图 264：中控技术工业软件产品矩阵

安全管理	智慧仿真 supSIM	高级报警管理 supAAS	全面安全应急解决方案 SES-Suite		
生产管控	中控先进控制软件 APC-Suite	控制优化专用平台 PCO	PID回路评估与整定PID-Suite	实时数据库 ESP-iSYS	中控连续生产管理软件
	中控批次生产管理软件	中控化纤管理软件	中控造纸生产管理软件	中控实验室管理软件 LIMS	公用工程优化系统 supUtility
能源管理	中控能源管理软件 supEMS	智慧能源管理系统 IES-Suite			
供应链管理	油品在线优化调合解决方案 supBlend	罐区管理 supTFM	中控仓库管理软件		
资产管理	中控设备管理软件	中控巡检管理软件	中控作业管理软件		

资料来源：公司官网、国信证券经济研究所整理

软硬件结合数字化解决方案成竞标趋势，中控技术工业软件业务增长加速。2021 年，中控技术工业软件实现营业收入 8.71 亿元，同比增长 63.4%，占公司主营业务收入的比例为 19.39%，系公司第三大收入来源。公司上市前，招股书曾披露单独对外销售的工业软件收入的具体构成情况，其中 MES 软件贡献了大部分收入。

2020 年上半年，MES 软件的收入占公司单独对外销售的工业软件收入的比例为 83.13%，单项目平均收入为 74.45 万元；APC 软件占比为 16.87%，单项目平均收入为 87.29 万元。公司单独对外销售 OTS 软件的金额相对较小，主要系该软件通常与控制系统一起销售，一般在解决方案中进行核算。

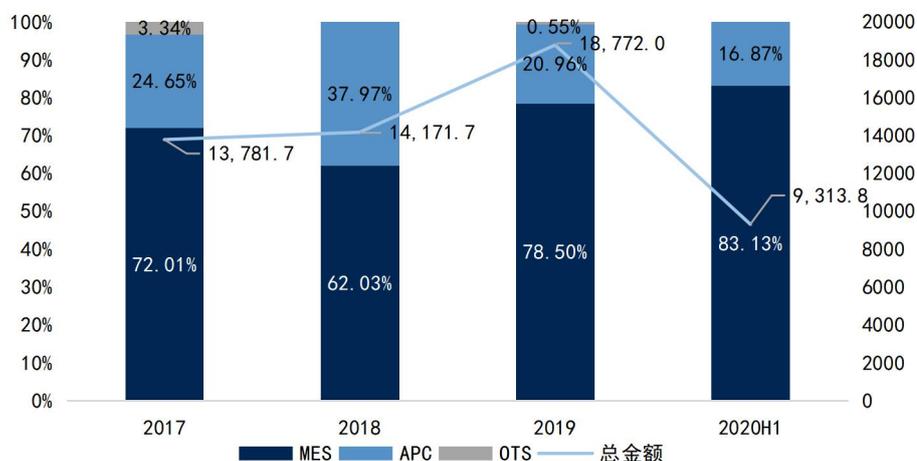
图 265: 中控技术工业软件营业收入（亿元）



资料来源：招股说明书、2020 年年报、2021 年年报、国信证券经济研究所整理

*工业软件收入=公司单独销售工业软件收入+包含工业软件的解决方案收入

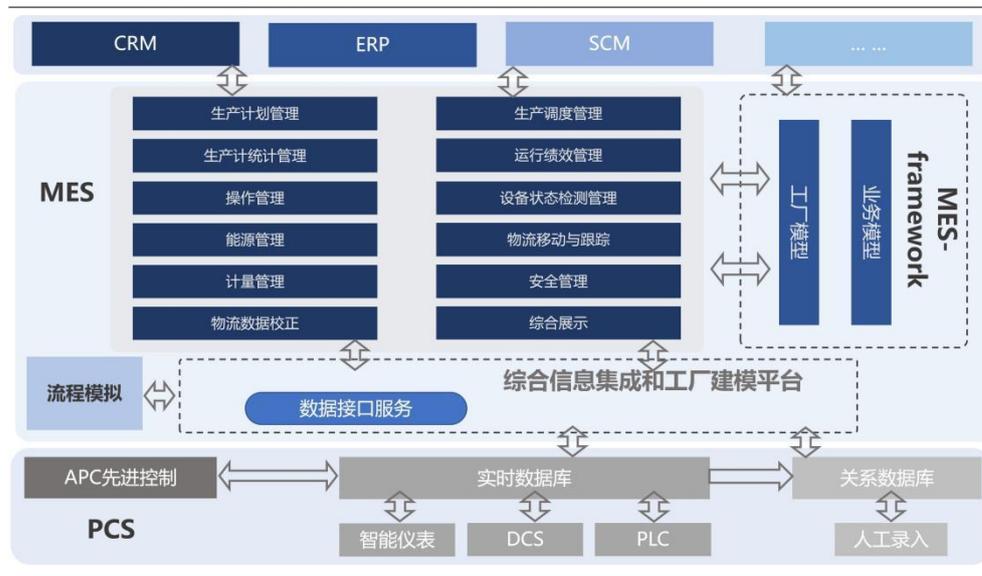
图 266: 中控技术工业软件类产品收入占比（总金额单位：千万元）



资料来源：招股说明书、国信证券经济研究所整理

得益于公司在过程控制系统中智能仪表、DCS、PLC 的完善产品线，公司能够实时获取大量生产过程中的数据，进而与 MES 进行无缝融合。技术上，公司参与起草 MES 国际标准，制订并发布了 MES 国家标准。目前，公司是和中石化、中石油、中海油同时进行战略合作的 MES 解决方案供应商，在石油、化工等行业拥有超过 200 个的 MES 应用项目。根据 IDC 数据，2020 年，中控技术市场在流程工业 MES 市场的份额为 2.1%，位列第七名。我们认为凭借公司在流程工业领域的客户基础和产品优势，未来公司有望提升 MES 产品市占率。

图 267：中控流程工业综合自动化 MES 解决方案架构



资料来源：公司 MES 技术白皮书、国信证券经济研究所整理

表 82：中控技术工业软件产品列表

工业软件	软件功能和应用	主要产品
实时数据库类	实时数据库类软件包括实时数据库软件、过程监控软件和生产过程建模软件。实时数据库软件为企业实现先进控制、流程模拟、生产管理、能源管理、安全管理等提供底层数据基础；过程监控软件实时展示生产数据、工艺流程、异常报警等信息，实现生产过程管控；生产过程建模软件基于生产工艺、库存模型，建立企业产耗平衡核算体系，定时输出关键指标。主要应用于炼油、化工、医药、电力、食品、冶金和建材等行业。	实时数据库软件 ESP-iSYS
数字孪生类	数字孪生类软件通过集成工厂数字化、三维建模技术、AR/VR 技术实现物理孪生，构建实体装置与设备映射，支撑工程设计、建造与运维。通过动态模拟、物联网实现工艺过程孪生，模拟工艺物流和设备的运行状态。通过物理孪生、工艺孪生的相互融合，助力工业企业降本增效和节能减排。主要应用于炼油石化、煤化工、精细化工、冶金、电力、制药、造纸、建材等行业。	智慧仿真平台 supSIM 管网模拟软件 VxPipe
生产管理类	生产管理类软件涉及制造企业的生产管理、设备管理、仓库管理、能源管理、实验室管理等全业务流程。帮助企业打通业务、信息、数据间的纵向关系，通过对工厂生产全过程的实时管控，协助生产管理者做出科学合理的生产决策。主要应用于炼油石化、精细化工、医药、造纸、化纤、食品饮料、锂电、电缆、防水材料等行业。	智能工厂管理软件 supPlant 连续生产管理软件 supPSC 批次生产管理软件 supBPC 实验室管理软件 supLIMS 能源管理软件 supEMS 仓库管理软件 supWMS
过程优化类	过程优化类软件是支撑流程工业生产过程中自控回路健康管理及优化、装置平稳控制与优化、企业生产运行优化等各类工业软件的总称。它包括自控回路优化、先进控制、实时优化、生产计划和调度优化、能源优化、工业大数据应用等软件产品，能够保证生产过程长期稳定、安全、高效运行，是流程企业生产运行的核心软件。主要应用于炼油、化工、电力、冶金、建材等流程行业。	先进控制软件 APC-Suite PID 性能监控评估与整定软件 PID-Suite 智慧实时优化软件 ssRTO 工业大数据应用软件 supIBD
生产安全类	生产安全类软件是生产安全管控、危险源监控、环保监控、高级报警管理、操作导航、事故分析等安全类软件系统的总称。它是以控制系统（DCS/SIS/CCS/PLC/SCADA 等）为管控核心，针对企业的工艺风险、设备风险、事故风险、人员风险、环境风险，形成从控制系统到上层生产安全管理系统管控一体化的解决方案。主要应用于炼油、化工、医药、电力、食品、冶金和建材等行业。	生产安全管理软件 SES-Suite 高级报警管理软件 VxAAS 操作导航软件 VxDirect 事故分析软件 VxSER
资产管理类	资产管理类软件包括设备资产管理、智能设备管理、智能仪控管理等软件系统。设备资产管理以资产管理、维护管理和运行管理为核心，实现精准维护，降低	设备资产管理软件 supEAM

设备维护成本，提高设备关键核心设备的使用寿命。智能仪控管理通过仪控设备数据、管理数据和运营数据有效融合，为用户提供报警提醒、在线故障诊断以及组态调校等功能。主要应用于炼油、化工、医药、电力、食品、冶金、锂电和建材等多个行业。

智能设备管理软件 VxIDM
智能仪控管理软件 ISDM
机械监测软件 VxMMS

供应链管理类

供应链管理类软件包括装卸终端智能化、油品移动及油品调合系统、罐区物料收付管理、仓库管理等软件系统。系统涵盖了自原料上岸至产品出厂之间全部物料装卸、存储、调合及转移过程的业务管理与控制优化，建立了订单、计划、现场资源状态的智能化统筹系统，解决了订单、计划、车船进出作业协同、计量统计等问题。主要应用于炼化行业、港储码头罐区、储备库、化工罐区的油品\物料移动作业及管理等各种领域。

油品在线优化调合软件 supBlend
油品移动管理软件 supOMS
罐区收付及计量统计管理软件 supTM
工厂物流软件 supLMS
先进计划与调度优化软件 supAPS

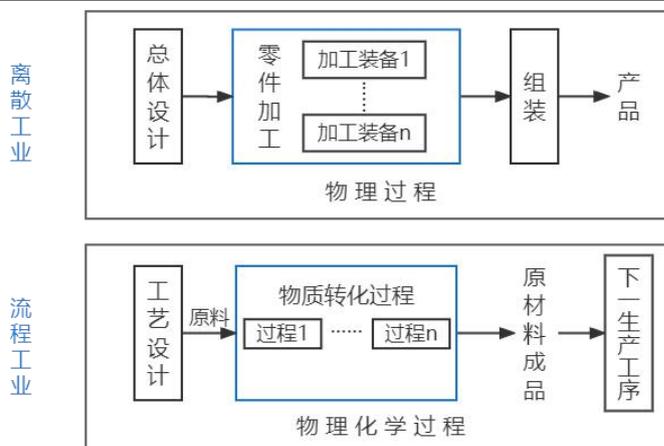
资料来源：2021 年年报、国信证券经济研究所整理

发展历程：景气周期共振，对标海外龙头开启软硬并列发展

工业自动化行业概况——从自动化走向智能化

按照产品制造工艺过程的特点，工业行业可分为流程工业、离散工业。流程工业是以资源和可回收资源为原料，通过物理变化和化学反应的连续复杂生产为制造业提供原材料和能源的基础工业，包括石化、化工、钢铁、有色金属、建材和电力等高耗能行业。近十年来，我国流程工业的生产工艺、装备和自动化水平都得到了大幅度提升，产能高度集中，电力、水泥、钢铁、有色金属、造纸等行业的产能均居世界第一。离散工业为物理加工过程，其产品往往由多个零件经过一系列并不连续的工序的加工装配而成。

图 268：离散工业与流程工业的结构



资料来源：《中国工程科学》、国信证券经济研究所整理

工业 3.0 的本质是工业自动化。简单理解，工业自动化就是通过利用各类自动化生产设备、自动化控制设备、结合仪器仪表等将大量生产过程繁重的人力部分转化为机械化生产，提高生产效率和质量。流程工业生产的运行模式特征突出，比如，生产过程连续，不能停顿，任何工序出现问题会使得整个生产线和最终产品受到影响；部分产业的原料成分、设备状态、工艺参数等需要达到实时或全面检测。流程工业的自动化挑战体现在自动化设备测量难、控制难、优化决策难等方面。

工业自动化控制的主要产品从功能上可以划分为控制层、驱动层和执行层。其中，控制层包括 PLC、DCS、运动控制器等，驱动层包括变频器、伺服驱动器、行业一体化专机等，执行层包括伺服电机、步进电机、直驱电机等。

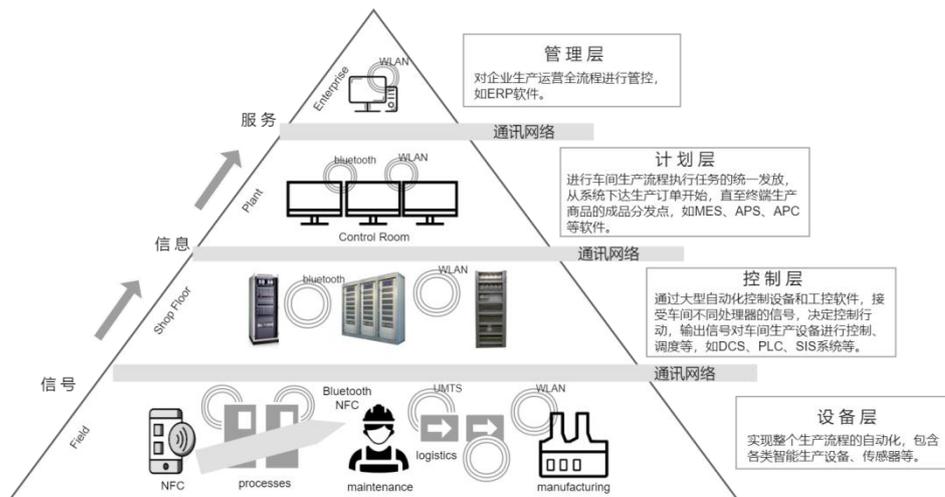
图 269：工业自动化控制主要产品分类



资料来源：中国传动网、国信证券经济研究所整理

当前，全球工业行业正经历从工业 3.0 到工业 4.0 的升级发展中。工业 4.0 的核心是智能化，即利用 AI、大数据等信息技术帮助企业充分利用过去积累的关于工艺技术、设备技术、运营技术等多方面的数据，实现安全生产、节能减排、降本增效等需求。我们认为现阶段智能工厂解决方案的架构组成主要包含四个部分，分别是管理层、计划层、控制层和设备层。1) **顶层是管理层**，对企业生产运营全流程（包括原材料购买及使用、生产制造、销售、售后服务等）进行管控，典型产品即为 ERP（Enterprise Resource Planning）软件。2) **往下第二层是计划层**，主要依据管理层制定的生产制造环节的目标，进行车间生产流程执行任务的统一发放，从系统下达生产订单开始，直至终端生产商品的成品分装点，主要产品包括 MES（Manufacturing Execution System）、APS（Advanced planning and scheduling）、APC（Advanced Process control）等软件。3) **控制层处于设备层与执行层之间**，主要职能是通过大型自动化控制设备和工控软件，接受车间不同处理器的信号，决定控制行动，输出信号对车间生产设备进行控制、调度等。该环节的主要产品包括 DCS（Distributed Control System）、PLC（Programmable Logic Controller）、SIS（Safety Instrumented System）系统等。4) **最底层是设备层**，主要包含各类智能生产设备、传感器、控制阀等，实现整个生产流程的自动化。

图 270: 智能工厂整体架构

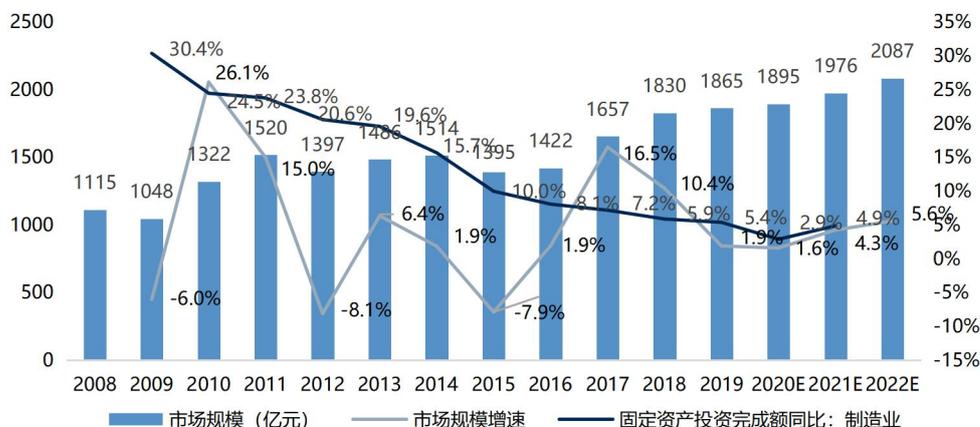


资料来源:《SmartFactory-Towards a factory-of-things》、国信证券经济研究所整理

工业自动化行业的周期性和成长性

通过对比内工业自动化市场规模与我国固定资产投资额增长趋势, 我们发现工业自动化的市场规模基本跟随经济周期波动。**2008年以来, 我国工业自动化行业经历了三轮明显上升周期, 分别是:** 1) 由于经济衰退, 2008年国内启动四万亿刺激, 新的经济增长周期随即开启, PMI自2008年历史低位后开启反弹; 2) 2013年起, 我国工业自动化市场规模经历了一轮一年半的小增长, 主要由于2012年我国经济首次进入1999年以来中国经济增速的最低值, 欧债危机发酵和美国经济放缓的大背景下, 国内在“稳增长”的基调下刺激地产投资回升, 带动宏观经济反弹; 3) 2016年起, 伴随供给侧改革和制造业整体回暖, 工业自动化行业增速在2017年一度达到16.5%。

图 271: 国内工业自动化市场规模及增长



资料来源: 工控网、wind、国信证券经济研究所整理

2015-2021年，全球原油上游投资不足导致原油供应紧张。2021年，油价回暖，推动行业固定资产投资额加速增长。在新旧能源转型中，原油需求将继续攀升，全球仍然面临原油供给不足的问题，预计2022年国际油价将持续高企，未来3-5年，能源资源有望处在景气向上的周期。因此对应能源行业的工控投资也应呈向上趋势。

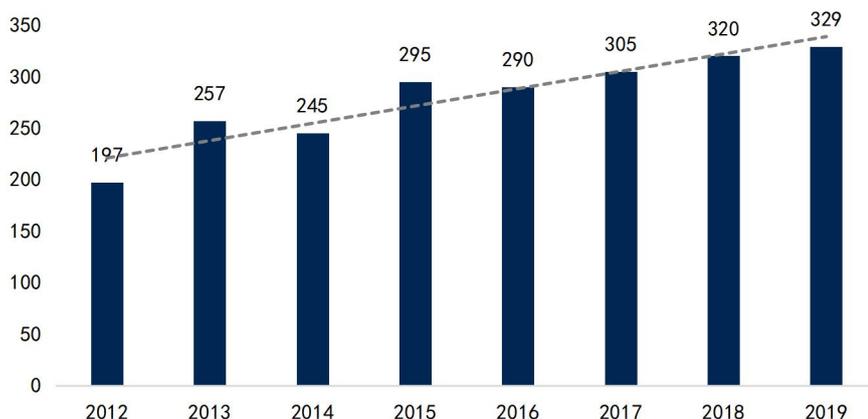
图 272：流程工业细分行业固定资产投资完成额增速



资料来源：wind、国信证券经济研究所整理

全球工控安全事件频发，基础工业国产化迫切。流程工业规模的生产特点决定了一旦生产中的某一环节出现危险就会引起连锁反应，导致大规模的事故。同时，流程工业中的石化、化工、电力等行业是关系到国计民生的基础行业，其工控系统的安全性至关重要。2012-2019年，全球工控安全事件报告数量持续攀升，由197件增长至329件，给用户带来了巨大的损失，也威胁着国家的安全。实现流程行业工控系统自主、可控愈发迫切，对国产的、可靠的工控系统的需求持续旺盛，工控行业景气度有望持续提升。

图 273：2012-2019 年全球工控安全事件报告数量

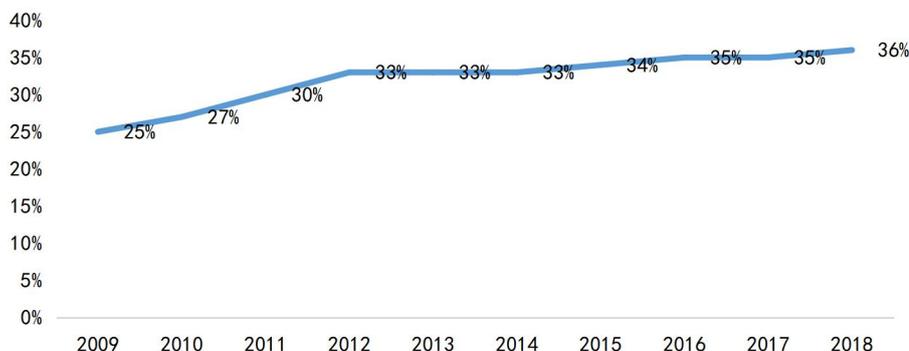


资料来源：统计局、观研天下、国信证券经济研究所整理

本土厂商快速成长，国产替代有望加速。工业自动化的产业链中，控制系统和执行系统是国产替代率相对较高的环节。控制系统中DCS、IPC/PC-based、驱动和

执行中的减速器、伺服以及传感/仪表已达到较高国产化水平，代表性公司如中控技术（DCS）、雷赛智能（IPC）、绿的谐波（减速器）等等。CNC、伺服、传感/仪表和机器人本体的国产化正迎头赶上，国产替代率有望快速提升。根据工控网数据，2009-2018 年我国工控市场中国产品牌占有率稳步增长，2018 年达到了 36%。

图 274：工控市场国产品牌占有率



资料来源：工控网、国信证券经济研究所整理

通过梳理海外传统工业巨头如艾默生和西门子，以及海外独立的工业软件龙头厂商的发展历程，我们能够清晰地看到：**对于专注流程工业生产优化的软件厂商**，早期的发展往往得到举国之力的支持，多数诞生于顶尖大学实验室。我们认为形成该发展脉络的原因在于，软件是实现工业智能化的核心，而基础工业是强国之本。纯软件厂商，往往缺少对工业流程的理解和数据的积累，因此早期工业软件企业的成长离不开国家层面的大力扶持，主要体现在科研经费和数据开放。**对于传统工业巨头**，过去十年我们能够清晰地看到艾默生、西门子等厂商采取的工业 3.0 转型工业 4.0 的策略——即通过收购细分领域软件公司，丰富以往欠缺的软件能力，打造全方位智能制造解决方案。

一、流程工业海外软件龙头发展历程—举国之力扶持，诞生于顶尖大学实验室

目前在生产过程优化环节做的最好的海外软件厂商主要有 Aspen 和 Aveva，前者近期被艾默生收购，后者于 2017 年被施耐德收购。**通过复盘 Aspen 和 Aveva 的发展历程，两个企业均诞生于世界一流大学的实验室，并且得到国家层面的大力资助，逐步成长为行业龙头。** AspenPlus 是一个生产装置设计、稳态模拟和优化的大型通用流程模拟系统。1970 年代的能源危机，美国能源部和美国、欧洲的 60 多家加工工业公司斥资支持其发展，以提升石油行业的生产效率。Aveva 则是发源于 1967 年剑桥大学 CAD 中心的一个用三维设计工具进行工厂设计的项目，后期通过不断收购完成跨行业的部署和软件功能的丰富。当前 Aveva 的产品涵盖工厂设计、模拟、培训和运营的整个工程过程生命周期。

二、传统巨头走向工业 4.0 的发展脉络—不断收购，从硬到软

艾默生—全球流程工业数字化巨头，最新完成 Aspen 55% 股权收购

艾默生是一家全球性的技术与工程公司，为工业、商业和住宅市场客户提供创新性解决方案。公司成立于 1890 年，最开始的业务以电机等硬件制造为主。1973 年，艾默生进行战略变革，将自动化业务确定为今后的主要发展方向。1976 年，艾默生收购了罗斯蒙特的过程控制仪表业务，随后通过一系列的收购战略和海外扩张，发展成为了一个全球技术解决方案的提供商。

聚焦工业软件，不断收购细分领域龙头厂商。步入工业 4.0 时代，大型成套机械设备等优势领域已进入成熟期，单一提供设备不再满足下游用户的需求。艾默生将智能化手段融入其中，积极调整业务结构以适应市场需求的变化。一方面，艾默生对于公司的核心业务进行了调整。**2015 年**，艾默生宣布将其业务组合重新定位为两个核心业务平台——自动化解决方案和商住解决方案，**2016 年**，艾默生以 52 亿美元出售了网络能源、马达电机两项业务，主动剥离了一部分硬件业务。同年，艾默生推出 PlantWeb 数字生态系统，系统结合了数据采集、数据传输、数据存储与处理以及应用技术，通过全面感知及专家分析，提供有效的行动建议，助力企业的数字化转型。**另一方面，艾默生聚焦工业软件，对细分领域的软件公司进行了多项收购，进一步拓展公司的高级软件解决方案。2016 年起，艾默生在数据管理领域进行了多项收购，以增强在工厂分析、模拟软件、云技术和数据采集等领域的的能力，实现业务多元化。2021 年，艾默生不仅完成了对领先运营技术软件提供商 OSI 的收购，还成功收购全球顶尖流程工业过程模拟器软件厂商 Aspen 55% 的股权，为公司在能源终端市场客户的数字化运营业务拓展奠定坚实基础。**

表 83: 艾默生主要并购历程

时间	并购公司	公司主要产品
2016 年	瑞士 Pentair 的阀门和控制业务	控制阀、隔离阀、泄压阀以及执行机构
2017 年	美国 Paradigm	石油和天然气行业软件解决方案
2017 年	美国 GeoFields	石油和天然气行业管道解决方案
2018 年	美国 GE 的智能平台分部	智能平台的 PLC 技术
2018 年	德国 Aventics	气动元件和系统
2019 年	美国 Bioproduction Group	生命科学行业的仿真、建模和规划软件
2019 年	加拿大 Zedi	基于云的监控和数据采集 (SCADA) 平台
2020 年	意大利 Progea	工业物联网 (IIoT)、工厂分析、人机界面 (HMI) 以及监控和数据采集 (SCADA) 技术
2021 年	美国 OSI	运营技术软件供应商
2021 年	美国 AspenTech 55% 股权	流程模拟、先进控制和供应链管理优化软件

资料来源：艾默生官网、国信证券经济研究所整理

图 275: 艾默生 PLANTWEB 数字生态系统架构



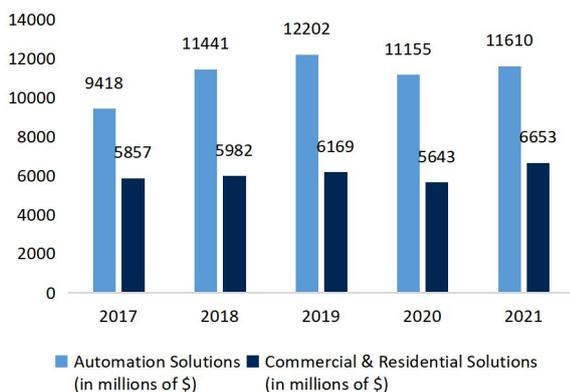
资料来源：艾默生官网、国信证券经济研究所整理

当前艾默生的两大重点业务为自动化解决方案和商住解决方案，其中自动化解决方案贡献了大部分收入。2021 年，自动化解决方案收入达到 11610 百万美元，占比 63.6%。同时，自动化解决方案呈增长趋势。2017 年至 2021 年，自动化解决方

案收入的复合增长率为 5.37%。

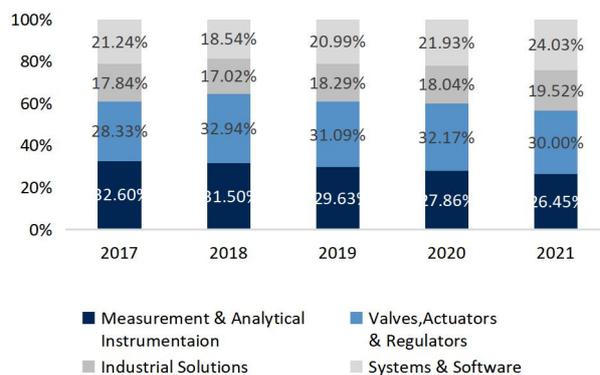
自动化解决方案可以进一步细分为测量和分析仪器、阀门和制动器和调节器、工业解决方案、系统和软件。尽管硬件依然贡献了自动化解决方案的大部分收入，但系统和软件收入增长趋势明显，收入占比从 2017 年的 21.24% 提升至 2021 年的 24.03%。

图 276: 2017-2021 年艾默生收入 (百万美元)



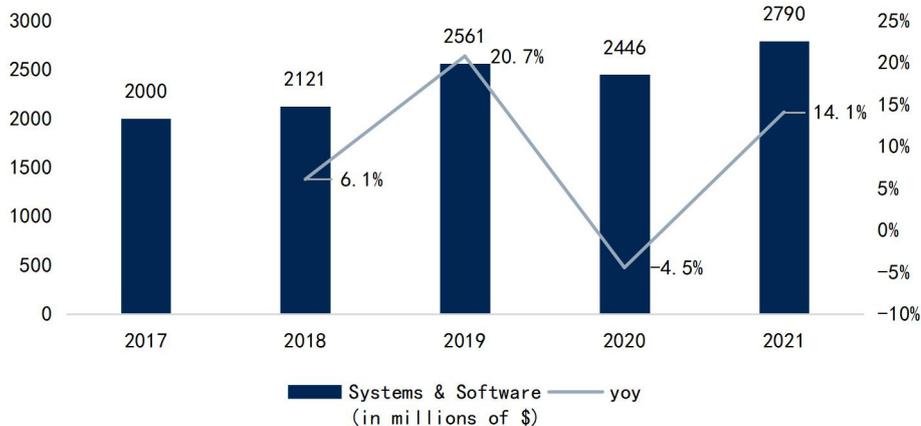
资料来源: 艾默生年报、国信证券经济研究所整理

图 277: 艾默生自动化解决方案收入结构



资料来源: 艾默生年报、国信证券经济研究所整理

图 278: 艾默生系统和软件的收入变化 (百万美元)



资料来源: 艾默生年报、国信证券经济研究所整理

西门子—工业数字化 Digital Industries 为公司最快增长业务

西门子为德国的一家跨国企业，其电子与电机产品是全球业界先驱，公司活跃于能源、医疗、工业、基础建设及城市业务等领域。在数字化和工业 4.0 的进程中，西门子是供应商领跑者之一。通过十几年的软件并购、业务整合，西门子已经在数字化领域形成了完整的版图。2007 年，西门子以 35 亿美元收购美国 PLM 公司 UGS，这项收购使西门子获得了数字化世界的三项重要产品：NX、Teamcenter 和 Tecnomatix；2008 年，西门子收购德国公司 Innotec，以增强虚拟工厂建设能力；2009 年，西门子收购法国的 MES 厂商 Elan Software Systems。2011 年，工业 4.0

成为德国国家战略后，西门子的收购步伐进一步加快，不断夯实、扩展软件版图。

图 279：西门子数字化主要并购历程

时间	并购公司	公司主要产品
2007 年	美国 UGS	产品生命周期管理 (PLM) 软件和服务
2008 年	德国 innotec	过程工业数字工程软件、虚拟工厂的厂房布局和规划
2009 年	法国 Elan Software Systems 公司	生物和制药行业 MES 软件
2011 年	巴西 Active Tecnologia em Sistemas de Automação 公司	生物和制药行业 MES 软件
2011 年	美国 Vistagy	软件产品应用于复合材料工程、大型飞机结构的设计等
2012 年	德国 IBS AG 公司	质量管理软件
2012 年	德国 Perfect Costing Solutions GmbH	产品成本管理解决方案
2012 年	法国 Kineo CAM	解决方案包括先进 Kineo 软件组件和独立应用程序的自动运动/路径规划和碰撞检测
2012 年	比利时 VRcontext International S.A	提供 3D 仿真可视化沉浸式现实 (VR) 来实现人机的交互
2013 年	比利时 LMS	机电仿真软件、测试系统及工程咨询服务的解决方案
2013 年	德国 TESIS PLMware	实现 SAP/Oracle 和 TC 无缝链接的解决方案
2013 年	英国 APS 厂商 Preactor	高级排程软件
2016 年	美国 CD Adapco	CAE 软件
2016 年	Polarion 公司	应用程序生命周期管理 (ALM) 企业解决方案
2016 年	英国 Materials Solutions	3D 打印工业组件
2016 年	美国 Mentor Graphics	EDA 解决方案

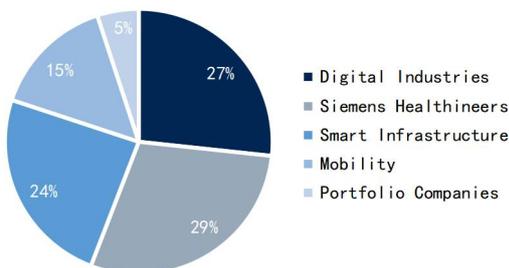
资料来源：西门子官网、精智工厂、国信证券经济研究所整理

在大力布局软件的同时，西门子逐步剥离了非核心的硬件业务。2005 年，西门子出售移动电话业务；2007 年，西门子将旗下的威迪欧汽车电子以 114 亿欧元卖给了德国大陆集团；2013 年，西门子剥离照明业务，分拆欧司朗将其独立上市，但仍然持有欧司朗约 17% 股权；2014 年，西门子彻底退出家电领域；2020 年，西门子能源公司正式从西门子集团剥离并独立上市。

2014 年，西门子发布《2020 愿景》，决定把公司的核心竞争力放在电气化、自动化和数字化三个领域。2017 年起，西门子进一步专注于流程工业的数字化发展；2018 年，Digital Industries 成为西门子的三家运营公司之一，西门子整合了工业 4.0 所有关键主题，推动数字化战略。目前，西门子是欧洲第一大软件企业，全球前三的工业软件企业，拥有最广泛的工业软件和服务组合。

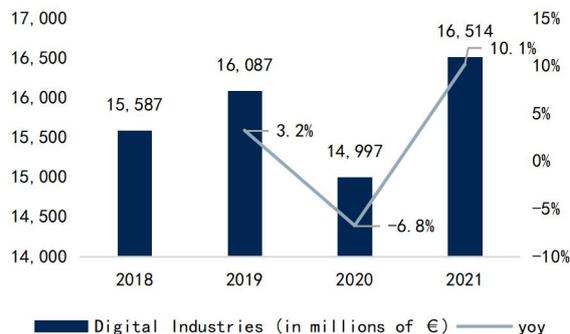
Digital Industries (DI) 为西门子五大业务部门之一，拥有离散自动化和流程自动化领域的领先解决方案，使客户能够优化从产品设计开发到生产和售后服务的整个价值链。2021 年，DI 部门实现了 165 亿欧元的收入，同比增长 10.1%，占西门子总体收入的 27%。同时，西门子的软件收入稳定增长，2018-2021 年，CAGR 为 6.4%。2021 年，西门子软件收入达到了 42.9 亿欧元。

图 280: 西门子 2021 年各部门收入占比



资料来源: 西门子年报、国信证券经济研究所整理

图 281: 2018 年-2021 年西门子 DI 部门收入 (百万欧元)



资料来源: 西门子年报、国信证券经济研究所整理

施耐德—老牌电气大厂，外延并购软件丰富工业 4.0 能力

施耐德诞生于法国，是全球能效管理和自动化领域的领导者，为 100 多个国家的能源及基础设施、工业、数据中心及网络、楼宇和住宅市场提供整体解决方案。近年来，施耐德通过外延并购加快公司在工业 4.0 的布局。通过收购 Invensys、AVEVA Group、IGE+XAO 等工业软件企业，公司集成了世界领先的工业和能源管理技术，形成了从终端到云的互联互通产品、控制、软件和服务，贯穿企业业务全生命周期，助力客户实现高效和可持续发展。

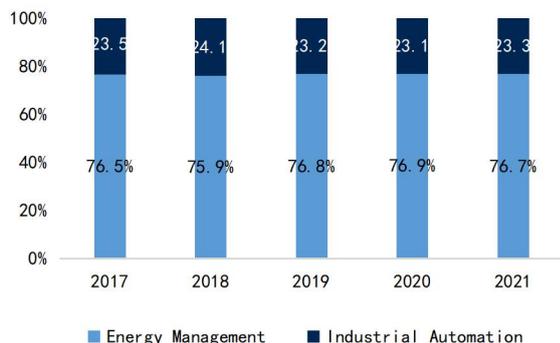
表 84: 施耐德主要并购历程

时间	并购公司	公司主要产品
2014 年	英国 Invensys	工业软件、系统和控制设备
2017 年	英国 AVEVA Group	工程软件
2018 年	法国 IGE+XAO	电气 CAD/PLM 软件
2020 年	德国 RIB Software	工程和建筑 (AEC) SaaS 服务
2020 年	德国 ProLeiT	食品饮料行业、化工行业和生命科学产业的集成化制造执行系统和过程控制系统解决方案
2020 年	美国 EATP	电力系统建模和仿真软件

资料来源: 施耐德年报、数字化企业网、国信证券经济研究所整理

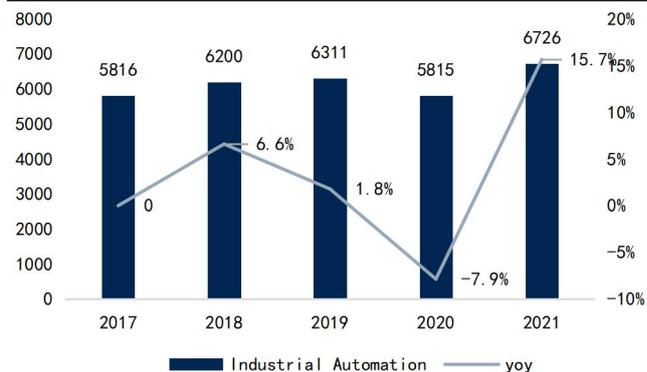
施耐德的**核心业务可以分为能源管理和工业自动化两部分，分别占比收入 76.7% 和 23.3%**。根据施耐德 2021 年年报，公司软件和服务的收入占比约为 18%。施耐德将继续以软件和服务为战略重点，计划到 2025 年实现软件和服务的收入占比达到 23%。

图 282：2017-2021 年施耐德各部门收入占比



资料来源：施耐德年报、国信证券经济研究所整理

图 283：施耐德 Industrial Automation 部门收入（百万欧元）



资料来源：施耐德年报、国信证券经济研究所整理

三、中控技术—内外并举，不断拓展自身工业软件能力

对内，中控技术是国内最早一批投入研发流程工业 APC 及其他生产过程优化软件的企业，于 2000 年初便开始储备研发。以 MES/APC/RT0 为代表的生产控制软件是智能制造的驱动内核，需要对工业程序长期积累，公司通过不断与细分行业客户合作打造标杆智能工厂，其软件层面的产品竞争力也不断提升，后续渗透率有望继续突破。

对外，2022 年 2 月，中控技术宣布拟以现金 5.61 亿元收购石化盈科，丰富公司在石油石化领域的工业软件能力，完善公司整体数字化布局。石化盈科在自动化、数字化、智能化领域深耕二十余年，在能源化工行业拥有丰富经验，主要大股东为中石化。石化盈科具备多年的 ERP 实施经验，产品矩阵包括 CRM、SRM、HR、OA 等工业软件。此次收购，有望帮助公司进一步丰富其工业软件产品体系，提升公司整体智能制造解决方案综合势力。此外，石化盈科与设计院有非常深入的合作关系，积累了石化领域数量庞大的工艺机理模型和设备模型，有望进一步提高公司产品的综合性能和竞争力。

尽管当前公司在生产流程优化软件上的能力与海外巨头仍有较大差距，但是公司通过内外并举，自身产品竞争力不断提升。同时由于软件定义工业数字化的高度，软件层面的优化对于国家基础工业长期发展至关重要。因此我们认为中控技术做为石油化工行业领先的数字化厂商，是最有可能通过和我国石油化工厂商深度合作培育产品竞争力，对后期能源发展产生革命性影响。

煤矿智能化研究框架

作业链解析：综合采掘是煤矿作业链最核心的环节

煤矿开采主要分为开采前的勘探与规划设计、开采过程中的综合采掘以及开采后煤流的运输提升三个环节。

在开采前的勘探与规划设计环节，我国煤矿主要采取地面及井下的综合物探技术包括高分辨率的三维地震勘探技术、井下综合物探技术等，结合建筑设计开发的 CAD 技术，实现对开采地质条件的精准判识。但由于受限于当前井下传感器的精度，整体煤矿采取空间信息的服务较弱。后续随着传感器精度的进一步提升，GIS

系统有望更加精细地模拟探测新方法。煤矿智能化升级有望推动全方位的地质动态模型的保障技术体系建设,为后续煤炭精准智能开采提供所需的透明地质条件,由“不可见”逐步过渡到“透明可见”。

综合采掘是整个煤矿作业链最核心的环节,主要涉及凿岩、爆破、掘进、采煤、充填等重点工作,目前我国大型示范矿井主要采用智能掘进机、采煤机、刮板输送机、液压支架等装备,实现采掘工作面减人提效。同时在软件层面,建设综合管控平台,通过大数据、云计算、互联网等技术平台控制整体采掘流程。矿井下的一氧化碳、粉尘、瓦斯等浓度指标,可以在集控中心的平台上实时显示;微震监测系统记录了井下作业面的应力情况;井下皮带运输综合自动化控制系统根据煤流自动启停;机器人巡检让人员不必下井就能看到井下设备和管线的状况;借助 AI 图像识别分析系统,矸石块、旧锚杆、废轨道等杂物可以与煤炭有效分流。

图 284: 煤矿采掘核心设备



资料来源:高阳煤机官网,国信证券经济研究所整理

图 285: 智能煤矿综合管控平台



资料来源:博深官网,国信证券经济研究所整理

在开采后的煤流运输环节,目前大型煤矿主要采取以无轨运输、有轨运输与竖井提升为主要形式,同时智能矿山的矿井井下窄轨信号控制与调度以矿用轨道运输监控系统为核心。由于井下运输环节恶劣,同时运输系统本身环节、设备多,运输线路长等特点,致使煤流运输成矿井事故的多发环节,随时可能造成生命安全和财产损失。目前大型智能矿井的运输环节通过构建多网合一的矿山井下高速信息传输通道,采用先进的工业物联网技术,在矿井综合自动化系统的基础上,将井下机车、人员、胶轮车、矿车、物料、设备等移动对象的目标身份识别、移动轨迹跟踪、联锁协同控制、运行状态监测、流转过程管理、设备信息交互、远程信息发布等功能综合集成,能够实现统一技术平台下的矿井移动目标综合安全监控与信息管理的。

- (1) **智能生产系统**：主要包括井下生产的核心系统和辅助生产系统。智能生产系统主要体现采煤工作面和掘进工作面的智能化，包含智能掘进系统、智能采煤系统等。辅助生产系统主要包含智慧运输系统(含胶带运输、辅助运输)、智慧供电系统、智慧排水系统、智慧压风系统、智慧通风系统、智慧调度指挥系统、智慧通讯系统等，以实现无人值守为建设目标。
- (2) **智慧安全系统**：主要指在环境方面，达到防火、防水等多项要求，为安全生产提供保障。该大类涵盖子系统众多，包括智慧职业健康安全环境系统，智慧防灭火系统、智慧爆破监控系统、智慧洁净生产监控系统、智慧冲击地压监控系统、智慧人员监控系统，智慧通风系统、智慧水害监控系统、智慧视频监控系统等，智慧应急救援系统，智慧污水处理系统等等。
- (3) **智慧后勤保障系统**：智慧后勤保障系统主要是指针对矿山的智慧化 ERP 系统、办公自动化系统、物流系统、生活管理、考勤系统、智慧园区等。

表 85：智慧煤矿的系统构成

	包含内容	子系统及主要内容
智慧生产系统	生产系统 辅助生产系统	采煤工作面和掘进工作面的智慧化，主要包括以无人值守为主要特征的采煤和掘进系统。智慧运输系统（含胶带运输、辅助运输）智慧提升系统、智慧供电系统、智慧排水系统、智慧压风系统、智慧通风系统、智慧调度指挥系统、智慧通讯系统等。
智慧安全系统	环境、防火、防水等系统	主要指在环境方面，达到防火、防水等多项要求，为安全生产提供保障，包括智慧防灭火系统、智慧爆破监控系统、智慧洁净生产监控系统、智慧冲击地压监控系统、智慧人员监控系统，智慧通风系统、智慧水害监控系统等
智慧后勤保障系统	管理和后勤保障系统	主要针对对矿山管理的智慧化 ERP 系统、办公自动化系统、物流系统、考勤系统等

资料来源：《煤炭学报：智慧煤矿 2025 情景目标和发展路径》、国信证券经济研究所整理

竞争格局：煤矿智能化行业快速扩张，当前格局较为分散

随着国家政策的不断推动以及 5G 等新一代信息技术的有效支撑，我国煤矿智能化、智能化建设持续加速推进，目前国内智能矿山信息系统的市场竞争较为分散，行业内主要优质公司有龙软科技、梅安森、工大高科等上市公司及北路智控、华夏天信、踏歌智能等非上市公司。

其中，龙软科技为全国领先的煤炭地理信息系统与工业软件的提供商；天地科技是全国领先的煤炭智能装备和技术服务商；梅安森致力于物联网技术在矿山安全监测监控与预警领域的应用；北路智控专注于智能矿山相关信息系统；工大高科则是国内煤炭井下轨道信号控制与智能调度的龙头企业。

表86: 行业内主要公司业务情况

公司	主营业务	主要产品	市场地位	主要客户	收入体量
龙软科技	专业地理信息系统平台为基础, 提供工业应用软件及全业务流程信息化整体解决方案。	LongRuanGIS、LongRuan 安全云、LongRuanGIS “一张图”三大基础技术平台及在其基础上开发的系列专业应用软件	核心竞争力在于具有自主知识产权的 LongRuan GIS 和 LongRuan “一张图”在线协同管理的基础技术平台, 在地理信息物理系统领域具有较强的市场竞争力。	神华神东煤炭公司、阳煤集团等大中型煤炭生产企业。	年营收约 1-2 亿元
工大高科	以铁路信号安全完整性技术与防失爆设计技术为核心, 为工业铁路提供矿井无人驾驶、矿井机车车辆运输智能调度指挥、移动目标精确定位与管控一体化等解决方案。	矿井井下窄轨信号控制与智能调度产品、地面工业铁路信号控制与智能调度产品、系统集成及服务	国内专注于运输及提升的井下轨道信号控制与智能调度龙头, 具有丰富的合作伙伴与客户市场。	中煤集团、晋能控股等全国主要煤产区的大型煤矿企业。	年营收约 1-2 亿元
梅安森	提供煤矿安全生产监测监控设备及成套安全保障系统研发、设计、生产、销售全覆盖解决方案。	煤矿安全监控系统、煤矿人员定位管理系统、煤矿瓦斯抽放及综合利用自动控制系统、煤与瓦斯突出实时诊断系统、各类监测设备及零部件	在监测监控与预警技术领域具有极强市场竞争力。	主要为矿山、公共事业、智慧城市及污水处理行业客户。	年营收约 2-3 亿元
北路智控	聚焦于煤矿信息化、智能化建设领域, 专业从事智能矿山相关信息系统的开发、生产与销售。	煤矿安全监控系统、煤矿人员定位管理系统、煤矿瓦斯抽放及综合利用自动控制系统、煤与瓦斯突出实时诊断系统、各类监测设备及零部件 智能矿山通信、监控、集控及装备配套四大类系统产品, 具体包括煤矿井下一体化通信系统、全矿井图像监控系统、矿用煤流智能集控系统、采煤工作面智能化配套	国内少数能够覆盖智能矿山感知层、传输层、智能应用与决策层三层层级的智能矿山领先企业, 具备较强的行业竞争力及发展潜力。	国家能源集团、陕煤集团等国内大型煤矿企业和知名煤矿装备企业	年营收约 4 亿元以上
天地科技	覆盖煤炭行业全专业领域, 包括勘探、设计、煤机装备、安全技术与装备、煤矿建设、和煤矿运营等, 为煤炭企业提供全产业链的装备、技术和服, 是智慧矿山一体化解决方案提供商。	电液控制系统、采煤机、刮板输送机转载机、掘进机、液压支架、监控系统、人员定位、大数据平台等	中国煤炭科工集团有限公司唯一上市平台, 全面引领我国煤矿智能化发展方向。	主要为全国大中小各煤炭企业。	年营收约 200 亿元以上
易控智驾	提供整套智慧矿山和辅助设施组成的智能运输系统, 可实现“安全、高效、减人、节能”运输。	以调度指挥平台及配套调度中心、单车无人驾驶系统、网络通信系统、协同作业系统四位一体的矿用自动驾驶运输运营整体解决方案。	头部矿山无人驾驶运营商。	国内外各露天矿企业及工程公司	/

资料来源: 各公司年报、官网, 国信证券经济研究所整理

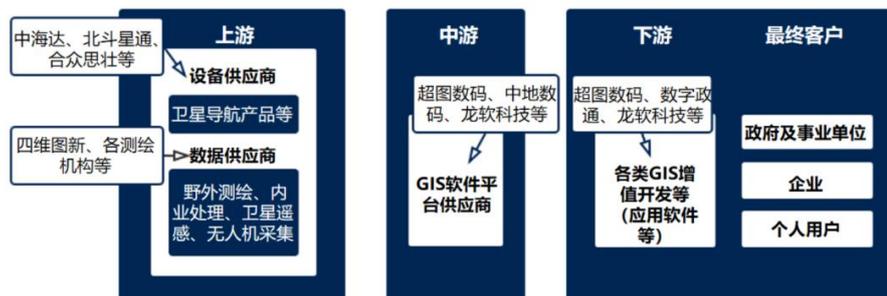
规划设计环节—GIS 地理信息技术的智能化进程

地理信息产业是以现代测绘技术和信息技术为基础发展起来的综合性高技术产业, 是采用地理信息技术对地理信息资源进行生产、加工、开发、应用、服务、经营的全部活动。地理信息技术与资源的应用范围十分广泛, 包括城市、交通、国土、矿产、军事、水利、环保、气象、海洋、测绘等数十个领域。

煤矿地理信息系统软件是煤矿安全与生产技术信息化的基础, 通过对各种地质、矿山测量、经济、技术参数的分析和处理, 可使煤矿企业的各级主管人员迅速、及时并直观地查询有关技术数据, 为制定有关发展规划和进行生产决策提供科学依据。煤矿地理信息系统可用来实现煤矿生产过程的监测和模拟, 不仅可节省大量的人力、物力和财力, 且由于地理信息系统的时空属性及空间分析特点, 可对煤矿灾害事故进行预测预报, 操作技术可靠, 效果良好, 能有效提高煤矿生产的安全性, 具有明显的经济效益。

中国 GIS 产业链已比较完善, 上下游生产商开展数据收集及解决, 中上游生产商开展 GIS 基本软件系统的开发设计与市场销售, 中下游对于各种 GIS 开展升值开发设计。从中国现况来看, 产业链上下游中机器设备经销商市场竞争布局比较平稳, 数据供货层面则比较分散化。而中上游的基本软件系统, 因为其技术规定高, 必须优良的研发能力, 导致技术壁垒较高, 市场竞争关键集中化在龙软、超图、ESRI 等头部生产商。

图 289：中国 GIS 行业产业链



资料来源：大象研究院，国信证券经济研究所整理

图 290：中国地理信息产业产值规模及增速



资料来源：中国地理信息产业协会，国信证券经济研究所整理

随着各个行业对地理信息技术与资源需求的不断扩大，近年来我国地理信息产业一直保持着较高的发展速度。根据中国地理信息产业协会数据，2020年，我国地理信息产业规模为6890亿元，在疫情剧烈影响下仍取得较大增长，增长率达到6.4%，地理信息软件开发企业平均营收较上年增长3.2%。同时，过去10年来，我国地理信息产业总产值复合增长率为18.5%。

龙软科技：全国领先的煤炭地理信息系统与工业软件的提供商。龙软科技股份有限公司创立于2002年，自成立之初，公司率先布局地测空间信息系统，逐步成为煤矿安全生产空间信息处理关键技术的研发与应用领域的行业龙头。目前公司已实现智能开采、动态监管、管控可视化、资源共享与整合等技术难题的突破，研发出拥有完全自主知识产权的LongRuanGIS、LongRuan安全云服务平台和LongRuanGIS“一张图”三大基础技术平台。在年产120万吨以上的大型煤矿中，公司主营产品及解决方案的平均每矿价格约为230万元。根据国家统计局数据，国内年产120万吨及以上大型煤矿约1,200处，因此公司产品在年产120万吨及其以上大型煤矿的预计市场规模为27.60亿元。公司在煤炭智能化市场长期处于领先地位，完成建设多个标杆性的行业项目。目前有86家矿业集团或公司及其下属单位使用LongRuanGIS软件产品，其中有41家大型煤炭集团使用公司产品。

采掘生产环节—采掘设备、安全监测设备、煤矿集控系统的智能化进程

天地科技：中煤科工集团旗下智慧矿山一体化解决方案提供商。天地科技成立于2000年，是中国煤炭科工集团有限公司唯一上市平台。公司业务覆盖煤炭行业全专业领域，包括勘探、设计、煤机装备、安全技术与装备、煤矿建设、和煤矿运营等，为煤炭企业提供全产业链的装备、技术和服务，是智慧矿山一体化解决方案提供商。中国煤炭科工集团有限公司是经国务院批准，由中煤国际工程设计研究总院（成立于1952年）、煤炭科学研究总院（成立于1957年）于2008年6月合并组建，是国务院国有资产监督管理委员会直接监管的中央科技型企业。中煤国际是中国煤炭工程行业规模最大、市场占有率最高的工程公司，煤科总院是煤炭行业唯一的综合性科学研究院，主营煤炭工程技术研发、服务与煤机装备、安全技术装备研发和制造等业务。2008年12月31日，经国务院国有资产监督管理委员会批准，煤炭科学研究总院所持天地公司股份无偿划转到中国煤炭科工集团有限公司。2014年12月，西安研究院、重庆研究院以及北京华宇资产注入天地科技；2015年12月，上海煤科和北京研究院资产注入天地科技。

梅安森：致力于矿山安全监测监控与预警领域的物联网应用。梅安森科技股份有限公司成立于2003年，矿山业务为公司主营业务，为用户提供包括物联网软件平台、采集端智能传感器、传输控制设备及网络、运维服务等内容的安全及生产整体解决方案。目前在矿山领域以煤矿人员管理、综合管控平台、一卡通、各类监控及安全检测系统构成全生产环节的防护体系。公司在行业内认可度与影响力较高，由公司负责建设的曹家滩矿井智能化项目即为国内智慧矿山建设第一个示范项目，整体项目价值量高达约7880万元。2021年，梅安森参与建设的陕煤曹家滩智能矿井管控平台荣获煤炭行业两化深度融合优秀项目，同时公司在贵州、山东、新疆、内蒙古等地与十余家煤矿单位签订电子封条系统建设合同，客户覆盖范围非常广泛。

北路智控：专注于智能矿山相关信息系统。南京北路智控成立于2007年，主要聚焦于煤矿信息化、智能化建设领域，专业从事智能矿山相关信息系统的开发、生产与销售，按产品类别可分为智能矿山通信、监控、集控及装备配套四大类，体包括煤矿井下一体化通信系统、全矿井图像监控系统、矿用煤流智能集控系统、采煤工作面智能化配套，具备较强的行业竞争力及发展潜力。此外，公司在细分市场中始终具有较好的市场口碑，曾凭借煤矿井下一体化通信、定位、监视和监控系统及基于机器视觉的井下钻杆自动计数系统分别于2018、2019年获得由中国煤炭工业协会、中国煤炭学会联合授予的“中国煤炭工业科学技术奖二等奖”。公司产品主要客户包括国家能源集团、陕煤集团等众多国内大型煤矿企业以及郑煤机等知名煤矿装备企业。

运输环节—井下轨道信号控制与调度、无人驾驶技术的智能化应用

工大高科：国内煤炭井下轨道信号控制与智能调度龙头企业

工大高科成立于2001年，公司是工业铁路、智能化矿山领域信号控制与安全调度完整解决方案提供商。以铁路信号安全完整性技术与防失爆设计技术为核心，为工业铁路提供物流智能化管理、矿井无人驾驶、矿井机车车辆运输智能调度指挥、移动目标精确定位与管控一体化等解决方案。公司工业铁路信号控制与智能调度产品主要为定制化产品，一般按项目进行实施，根据每个项目的站场条件、客户需求等进行定制化生产，产品价格通过招投标方式确定。以2020年公司前五大客户的建设项目为例，一套小型智能调度建设项目或原有控制与智能调度产品的升级改造项目的价值量约为300万元-700万元，而新建一套大型智能调度系统解决方案的价值量则在1700万元-3600万元之间。

在地面工业铁路信号控制与智能调度领域，国内同行业主要企业包括北京全路通信信号研究设计院、中国铁道科学研究院、北京康吉森、亨钧科技等。在矿井井下窄轨信号控制与智能调度领域，国内同行业主要企业包括中煤科工集团重庆研究院、天地科技、重庆梅安森、尤洛卡等公司。公司产品获得众多主流客户认可。公司矿井井下窄轨信号控制与智能调度产品在国内前十大煤矿集团中的八家企业、前十大冶金矿山集团中的七家企业得到了应用。仅 2021 年，公司便与上海能源（采取煤炭生产与运输联营的煤炭企业）签订了战略合作框架协议，同时承担建设的辅助运输智能调度指挥系统，也成功应用于内蒙古自治区首个千万吨级智能化示范建设煤矿项目，不断扩大其行业影响力。未来，公司业务领域仍有广阔的市场空间。中国现有工业铁路中的地面铁路专用线与专用铁路规模约 9,000 条，矿井井下窄轨铁路保守估算数约 1,350 条。在包括地面标准轨与井下窄轨的工业铁路信号控制领域，截至 2021 年中旬，公司信号控制与智能调度产品已开通的铁路站场数量约为 800 个，存量空间依然广阔。

易控智驾、踏歌智行：国内煤矿无人驾驶领先企业。

在矿山运输调度环节，无人驾驶矿卡也在兴起。目前，矿山无人驾驶主要应用在露天开采领域。矿区无人驾驶对于智能矿山的建设具有独特优势。首先，矿山场景不受路权限制。自动驾驶开放场景的运营需要上公开道路，路权上有限制，而矿山矿区厂内作业环境封闭，路权方面相对比较简单，截止目前无上牌照要求。第二，矿山场景的可塑性很强，对技术友好。矿山场景的道路环境简单且改造方便，运输路线固定。在自动驾驶技术尚未成熟情况下，可以让矿山无人驾驶车辆尽快跑起来实现商业化闭环。第三，矿山场景的商业模型较为合理，且市场空间大。目前矿区用工成本日益增加，招工难问题日益凸显，且矿山很多是连续作业，人车比高，无人化以后替代的人员数量会比较多，能够创造的经济价值也更大。第四，矿区无人驾驶行驶速度较低，按照国家相关安全标准不超过 40km/h。

相对于国外，我国煤炭矿山无人驾驶技术相对落后。早在 20 世纪八九十年代，智能矿山概念、无人驾驶矿卡、远程遥控操作等先进技术和理念就在矿业发达国家开始应用研究。其中，日本小松公司生产的无人驾驶矿卡已在全球 6 座矿山投入运行，总数超过 100 台，累计运输物料 15 亿吨。美国卡特彼勒集团在索罗门矿区进行无人驾驶卡车集群化作业，车队规模已增至 59 台，累计运量超过 2.4 亿吨，与同类普通车队相比，生产力提高 20%。智利的埃尔特尼恩特矿山采用无人运输和驾驶系统带来约 138% 的产量增长，节省了可观的人员维护和培训资金；山特维克公司于 2020 年 9 月发布了井下无人驾驶铲运机，其采用无驾驶室设计，具备环境感知、路径规划、自动驾驶、自主铲运等功能，并在作业过程中同步构建环境三维数字地图，实时虚拟再现井下作业场景。

2018 年开始，国内陆续有自动驾驶企业在矿山实地进行测试与商业试运营。主要参与的企业包括以国家能源投资集团有限责任公司为代表的大型采矿企业、以内蒙古北方股份、中国中车、同力重工、徐工为代表的矿用车辆生产企业、以易控智驾、踏歌智行、慧拓科技为代表的自动驾驶解决方案提供商。头部企业均从露天煤矿入手，试点运行的项目多位于内蒙古、新疆等地区。

从目前国内矿用车辆无人驾驶运输现状来看，整个行业已经正在批量试运行，处于大规模商用的前夜。在市场规模方面，根据甲子光年发布的《2022 中国矿区无人驾驶行业研究报告》，2021 年我国矿区无人驾驶市场规模约 3.55 亿元，随着 5G、车联网等技术的发展，叠加国家绿色矿山相关政策推动，2025 年我国矿区无人驾驶市场规模有望突破 200 亿元，年复合增长率高达 100%。在煤矿行业，露天煤矿国内年开采土石方量约 56 亿立方米，平均运输单价按 4.5 元每立方米测算，国内对应的土方剥离市场规模大概在 252 亿/年。

在应用场景上，以易控智驾为例，该公司通过露天煤矿场景切入，专注做宽体车的前装方案，基于产品化的通用平台解决方案切入矿山自动驾驶，为矿方和工程总包提供高效安全的无人运输服务。目前，易控智驾矿用无人车无人驾驶技术研发进展迅速，目前已经形成了以调度指挥平台及配套调度中心、单车无人驾驶系统、网络通信系统、协同作业系统四位一体的矿用自动驾驶运输运营整体解决方案。为加速商业化进程，易控智驾与宽体车的头部公司同力重工达成深度合作，并获得全球金属矿业巨头紫金矿业的战略投资，形成深度绑定。截止目前，易控智驾已在国家能源集团和特变电工等大型露天矿区进行了常态化试运营，成为业内率先切入真实运营场景的矿区无人驾驶公司。

经济效益分析及市场空间测算

智能矿山的最终目标是通过无线全覆盖与智能控制的技术基础，达到无人值守的技术结果和无人员伤亡的愿景，实现煤矿生产全流程的绿色、安全和高效。从生产效率提升带来的效益测算，根据麦肯锡数据，全面实现智能化的煤炭企业预计能实现利润提升 7%-12%，煤矿投资回报率提升 2%-3%。

图 291：煤炭智能化应用带动的价值提升



资料来源：麦肯锡《中国煤炭行业智能化发展展望》，国信证券经济研究所整理

除了生产效益提升，煤矿智能化升级还将享受相关政策红利。不同省份对达到智能化验收标准的煤矿企业给予的相应税收优惠、率先核增产能等政策红利。常见的优惠政策包括符合条件的矿山企业可按规定享受减按 15% 的税率征收企业所得税；企业新购入 500 万元以下设备、器具允许在所得税前一次性扣除等。

关于煤矿智能化的渗透率，我们采用两种口径测算。根据我们的测算，目前我国煤矿智能化渗透率仅在 4%-10% 的水平，市场空间巨大。

第一，按照达到智能化矿井验收标准的数量进行测算：2020 年 11 月，国家能源局和煤矿安监局共同发布关于开展首批智能化示范煤矿建设的通知，首次定义 71 处首批智能化矿井建设名单。智能矿井的建设周期一般在 1-1.5 年，截止 2021 年，全国已完成约 170 处智能化示范煤矿的建设。因此推测，全国 4700 多个煤矿的智能化渗透率约为 4%。

第二，按照智能综采工作面进行测算：截止 2021 年，全国建成智能化采掘工作面 813 个，同比 2020 年提升 65%。一般一个煤矿对应 1-2 个采掘工作面，因此推测全国 4700 多个煤矿的智能化渗透率约为 10%。

新建矿井的智能化建设市场空间测算

根据国家能源局和矿山安监局联合发布的《煤矿智能化建设指南(2021 年版)》，假设新建矿井需要完全覆盖建设指南中涵盖的十大系统（不包含采掘生产类大型设备），新建单矿井总智能化建设的投入金额约为 1 亿元人民币。安永企业咨询于 2020 年发布的《智慧赋能煤炭产业新万亿市场》，新建型矿井单矿改造费用约在 1.95 亿元人民币至 3.85 亿元人民币之间，我们认为该假设保守符合现实情况。

整个十四五期间，预计新增 2-5 亿煤矿产能，对应煤矿数量约 100-150 个，假设单矿建设金额为 1 亿元，即新建矿井的智能化建设市场空间对应约 100-150 亿元。

已有矿井的智能化改造市场空间测算

根据国家能源局 2021 年发布的《智能化煤矿验收管理办法》，我们针对其中定义的十大系统进行了价值量的梳理。智能化煤矿验收办法以 100 分为满分，每分对应约 100 万元的建设价值量，即整体建设对应软硬件价值总量约 1 亿元。对于千万吨及以上超大型矿井，假设一般智能化改造升级总费用约为 6000-8000 万元；对于 100 万吨到 1000 万吨区间的矿井，假设对应智能化改造升级总费用约为 2000-3000 万元。

表 87：煤矿智能化系统价值量测算

智能化系统	验收标准分类	单价 (万元)	竞争厂商
GIS 系统	地质保障系统	200	龙软科技、华夏天信等
综合性管控平台系统	信息基础设施系统	300-1000	龙软科技、梅安森、应急管理部信息研究院、科达自控、北路智控、华夏天信等
人员定位系统	信息基础设施系统、掘进系统	300-600	梅安森、工大高科等
智能采煤系统	采煤系统	500-1000	龙软科技（偏智能采煤软件）、梅安森、天地科技、郑煤机等
智能掘进	掘进系统	200-600	龙软科技（偏智能掘进软件）、天地科技、郑煤机等
运输系统	辅助运输系统	300-500	工大高科、东方国信等
通风与压风系统	通风系统	100-200	龙软科技、梅安森、应急管理部信息研究院、科达自控、北路智控、华夏天信等
供电与供排水系统	供电与供排水系统	100-200	华夏天信等
安全监控系统	安全监控系统	100-400	梅安森、北路智控、新华邦、富力通信息技术等

资料来源：《智能化煤矿验收办法》，国信证券经济研究所整理

表 88：智能化煤矿验收办法中各系统评价指标权重

评价指标	权重值 (总分 100)
信息基础设施	0.0942
地质保障系统	0.0622
掘进系统	0.1432
采煤系统	0.1673
主煤流运输吸引	0.0982
辅助运输系统	0.0683
通风与压风系统	0.0893
供电与供排水系统	0.0869
安全监控系统	0.130635
智能园区与经营管理系统	0.0598

资料来源：《智能化煤矿验收办法》，国信证券经济研究所整理

2021年3月，中国煤炭工业协会发布《2020煤炭行业发展年度报告》，报告指出，“十四五”末期，我国将建成1000处智能化煤矿。目前我国拥有煤矿数量约4700处，其中千万吨矿井数量约80余处，年产能在120万吨以上千万吨以下的中型现代化煤矿共约1200处。

假设2021年我国超大型（1000万吨产能以上）矿井的智能化渗透率约60%，十四五末期智能化渗透率达到100%，单个超大型智能化矿井的升级费用约7000万元，即2022-2025年超大型煤矿智能化改造市场规模分别为8亿元、9亿元、9亿元、10亿元，合计对应市场规模36亿元。

假设2021年我国中大型（100万吨-1000万吨产能）矿井的智能化渗透率约10%，十四五末期智能化渗透率达到30%，单个中大型智能化矿井的升级费用约3000万元，即2022-2025年中大型煤矿智能化改造市场规模分别为19亿元、20亿元、21亿元、22亿元，合计对应市场规模83亿元。

假设十四五期间，我国整体新增煤矿数量约100-150个，单个新建智能化矿井的建设费用约1亿元，即2022-2025年我国新建煤矿智能化市场规模分别为40亿元、30亿元、30亿元、20亿元，合计对应市场规模120亿元。

综上所述，我们测算2022-2025年我国总煤矿智能化市场空间分别为67、59、60、52亿元，合计对应市场规模239亿元。

表89：煤矿智能化升级的节奏预测

指标	2020	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E
千万吨级以上矿井数量	80	84	88	93	97	102
智能化渗透率	50%	60%	70%	80%	90%	100%
智能矿井数量	40	50	62	74	88	102
新增智能化升级矿井数量（个）		10	11	12	13	15
单个矿井智能化改造成本（万元）		7000	7000	7000	7000	7000
存量超大型矿井智能化改造市场规模（亿元）		7	8	9	9	10
100万吨-1000万吨矿井数量	1200	1224	1248	1273	1299	1325
智能化渗透率	5%	10%	15%	20%	25%	30%
智能矿井数量	60	122	187	255	325	397
新增智能化升级矿井数量（个）		62	65	67	70	73
单个矿井智能化改造成本（万元）	3000	3000	3000	3000	3000	3000
存量中大型矿井智能化改造市场规模（亿元）		19	19	20	21	22
新建矿井数量		35	40	30	30	20
单个新建矿井智能化建设成本（万元）		10000	10000	10000	10000	10000
新增矿井智能化建设市场规模（亿元）		35	40	30	30	20
总智能化改造市场规模（亿元）		61	67	59	60	52

资料来源：高工锂电，公司公告，国信证券经济研究所整理 注：图中测算数据为假设数据，仅供参考。

风险提示

工业软件国产化进程不及预期的风险；汽车智能化行业竞争加剧以及行业发展不及风险。

免责声明

分析师声明

作者保证报告所采用的数据均来自合规渠道；分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求独立、客观、公正，结论不受任何第三方的授意或影响；作者在过去、现在或未来未就其研究报告所提供的具体建议或所表述的意见直接或间接收取任何报酬，特此声明。

国信证券投资评级

类别	级别	说明
股票 投资评级	买入	股价表现优于市场指数 20%以上
	增持	股价表现优于市场指数 10%-20%之间
	中性	股价表现介于市场指数 $\pm 10\%$ 之间
	卖出	股价表现弱于市场指数 10%以上
行业 投资评级	超配	行业指数表现优于市场指数 10%以上
	中性	行业指数表现介于市场指数 $\pm 10\%$ 之间
	低配	行业指数表现弱于市场指数 10%以上

重要声明

本报告由国信证券股份有限公司（已具备中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）制作；报告版权归国信证券股份有限公司（以下简称“我公司”）所有。本报告仅供我公司客户使用，本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式使用、复制或传播。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以我公司向客户发布的本报告完整版本为准。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但我公司不保证该资料及信息的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映我公司于本报告公开发布当日的判断，在不同时期，我公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。我公司不保证本报告所含信息及资料处于最新状态；我公司可能随时补充、更新和修订有关信息及资料，投资者应当自行关注相关更新和修订内容。我公司或关联机构可能会持有本报告中所提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。本公司的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中所提及的意见或建议不一致的投资决策。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，我公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

证券投资咨询业务的说明

本公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询，是指从事证券投资咨询业务的机构及其投资咨询人员以下列形式为证券投资人或者客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或者间接有偿咨询服务的活动：接受投资人或者客户委托，提供证券投资咨询服务；举办有关证券投资咨询的讲座、报告会、分析会等；在报刊上发表证券投资咨询的文章、评论、报告，以及通过电台、电视台等公众传播媒体提供证券投资咨询服务；通过电话、传真、电脑网络等电信设备系统，提供证券投资咨询服务；中国证监会认定的其他形式。

发布证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向客户发布的行为。

国信证券经济研究所

深圳

深圳市福田区福华一路 125 号国信金融大厦 36 层
邮编：518046 总机：0755-82130833

上海

上海浦东民生路 1199 弄证大五道口广场 1 号楼 12 层
邮编：200135

北京

北京西城区金融大街兴盛街 6 号国信证券 9 层
邮编：100032