

智能驾驶行业专题

算法篇：AI 赋能背景下看汽车智能驾驶算法的迭代

超配

核心观点

目前自动驾驶行业网络基础架构普遍为 Input → backbone → neck → head → output。纯视觉方案的特斯拉自主构建 HydraNet 网络，在 input 端输入摄像头的原始图像数据，通过 backbone 层神经网络(CNN)提取图像特征，对特征赋予时间等信息做融合(BEV+Transformer)，将速度、环境等感知处理结果传向各子 heads 再完成后续规控任务。目前行业通用的自动驾驶模型是存在感知、规划几个模型的分解式构造。

特斯拉端到端模型有望引领行业。 特斯拉感知层从 CNN 单 head 网络迭代，2021 年引入 BEV+Transformer，将多摄像头数据统一成俯视角度；2022 年提出 Occupancy Networks 判断空间占用。规划层引入交互搜索，逐步增加约束条件(其他参与者博弈行为)做最优路径规划。2023 年后特斯拉提出端到端自动驾驶大模型，将感知、规划多个模型融合成大模型，实现直接输入图像数据到输出转向、刹车等驾驶指令突破。减少中间模块训练过程，集中模型训练资源；避免数据多级传输误差，系统迭代速度提升，进化加速。

国内逐步落地大模型。 特斯拉软件领先，硬件 8 颗摄像头纯视觉方案，21 年起逐步取消雷达；国内小鹏、华为 4 月发布 BEV、Transformer、GOD 网络等大模型，实现无高精地图智驾，理想 6 月发布 Mind GPT、BEV 等大模型，加速城区 NOA 落地。国内智驾硬件普遍 11~12 颗摄像头+5 颗毫米波雷达+12 颗超声波雷达+1~2 颗激光雷达+域控，成本 3~4 万元，远期有望降至 2 万内。

预计 2025 年中国带城区辅助驾驶的自动驾驶市场规模 510 亿元。 我们预计 2025 年带城区辅助驾驶功能的自动驾驶渗透率将从目前 0.4% 提升到 6% 水平，市场规模 510 亿元。自动驾驶底层是机器取代人力，用户定价与自身成本相关，远期随厂商技术进步，产品供给曲线右移，稳态需求量持续增加。

大模型推动智驾硬件变革。 感知端重心转向视觉，摄像头像素提升，4D 毫米波雷达上车；考虑成本、供应链安全，光传输取代电传输是未来方向。规划端数据要求提升，域控算力升级；执行端线控制动和线控转向是必经之路。

风险提示： 1、竞争恶化；2、智能驾驶进度不如预期；3、系统性风险。

投资建议：智能驾驶感知、决策、执行均有望受益。 当前汽车智驾围绕数据流演进，算法在于整车，零部件涉及感知(数据获取)一决策(数据处理)一执行(数据应用)。特斯拉技术突破加速智驾方案迭代，围绕感知、决策、执行等布局的零部件厂商均有望受益。推荐决策层标的德赛西威、科博达、均胜电子；算法层标的小鹏汽车；执行层标的伯特利、保隆科技。

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	收盘(元)	总市值(百万元)	EPS		PE	
					2022A	2023E	2022A	2023E
9868.HK	小鹏汽车-W	买入	74.95	1506	-5.3	-3.9	-14	-19
002920.SZ	德赛西威	买入	160.06	889	2.13	3.01	75	53
603786.SH	科博达	买入	76.80	310	1.11	1.66	69	46
601799.SH	星宇股份	买入	140.85	402	3.3	4.37	43	32
600699.SH	均胜电子	买入	19.77	279	0.29	0.74	68	27
603596.SH	伯特利	买入	87.50	360	1.7	2.36	51	37

资料来源：Wind、国信证券经济研究所预测

行业研究 · 行业专题

汽车 · 汽车零部件

超配 · 维持评级

证券分析师：唐旭霞

0755-81981814

tangxx@guosen.com.cn

S0980519080002

联系人：杨杉

0755-81982771

yangshan@guosen.com.cn

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

- 《汽车智能化月报系列(五)-5月L2级及以上渗透率34%，小鹏与大众达成技术合作协议》——2023-07-31
- 《汽车智能化月报系列(四)-2023年4月L2级及以上渗透率同比提升6pct，小鹏城市NGP在北京开放》——2023-06-19
- 《汽车智能化月报系列(三)-2023年一季度L2级及以上渗透率同比提升9pct》——2023-05-21
- 《汽车智能化月报系列(二)-2022年1-12月L2级及以上渗透率持续提升，智能座舱优质赛道表现可期》——2023-02-21
- 《汽车智能化月报系列(一)-2022年1-11月智能化渗透率持续提升，本土优质供应商崛起》——2023-01-02

内容目录

前言：感知-规划-控制，算法迭代驱动高阶智能驾驶落地	6
数据融合和神经网络构建智能驾驶方案底层	9
特征级融合集低数据损失与低算力消耗优势于一体	9
神经网络模型从 CNN 到 Transformer，效率提升	13
法规落地，高阶智能驾驶有望加速上车	20
特斯拉带动智能驾驶行业技术进阶	22
技术层面：软硬件持续迭代，大模型、端到端引领行业	22
数据层面：构建数据闭环，可扩展智算中心适配训练量提升	28
用户层面：目前整体渗透率偏低，FSD 入华或将加速	29
国内公司积极布局高阶智能驾驶，大模型快速推进	34
特斯拉引领，国内新势力积极跟进大模型布局	34
大模型助力成本下降，自动驾驶空间广阔	35
数据需求提升，部分公司布局智算中心	36
大模型落地推动智能驾驶硬件变革	38
变化一：感知端，系统重心向视觉转移，摄像头像素水平提升	40
变化二：规划端，数据要求提升，域控算力升级	43
变化三：执行端，线控底盘大势所趋	44
投资建议	48
小鹏汽车：维持盈利预测，维持“买入”评级	49
德赛西威：打造汽车计算及交互底座	49
科博达：打造域控制器平台型企业	50
均胜电子：业绩稳步改善，发力智能驾驶	50
华阳集团：汽车电子核心企业，打造智能座舱全生态	51
伯特利：制动系统国内龙头，智能电控持续增收	51
保隆科技：全球 TPMS 龙头企业，智能驾驶新业务发展迅速	52
重点公司盈利预测及估值	52

图表目录

图 1: 特斯拉算法持续迭代	7
图 2: 特斯拉自动驾驶网络架构	9
图 3: 多传感器前融合基本原理示意图	10
图 4: 多传感器前融合典型结构	10
图 5: 相机和激光雷达前融合效果示意图	11
图 6: 多传感器后融合基本原理示意图	11
图 7: 多传感器后融合典型结构	12
图 8: 多传感器特征级融合基本原理示意图	12
图 9: DNN 基础——神经元	13
图 10: DNN 深度神经网络基本结构	13
图 11: CNN 卷积神经网络结构图	14
图 12: CNN 卷积操作示意图	14
图 13: 池化操作示意图	15
图 14: 全连接方式	15
图 15: CNN 卷积神经网络特点示意图	16
图 16: CNN 不考虑特征之间的相对位置	16
图 17: Transformer 架构核心为 Attention 机制	17
图 18: Attention 机制的 Encoder-Decoder 框架图	17
图 19: Self Attention (自注意力机制) 的简略结构	18
图 20: Self Attention (自注意力机制) 的矩阵形式	18
图 21: Multi-Head Attention (多头注意力机制) 的计算过程	19
图 22: Transformer 整体结构图	19
图 23: Transformer 架构在大规模的预训练数据下表现良好	20
图 24: 特斯拉智能驾驶软件发展	22
图 25: 多任务学习网络 HydraNet	23
图 26: 特斯拉 BEV+ Transformer 模型	24
图 27: CVPR 2022 分享的 Occupancy Networks 模型框架	25
图 28: 特斯拉交互搜索解决多交互场景路径规划	26
图 29: 分解式及端到端的智能驾驶方案	26
图 30: Chatgpt 的部分核心技术对其他行业模型同样存在启示作用	27
图 31: 训练完成后的 DAVE-2 可从单个前置中央摄像头生成转向命令	27
图 32: 参考语言类大模型, 模型规模提升到一定程度后出现性能骤升	28
图 33: 特斯拉推进数据的自动标注	29
图 34: 特斯拉自研 AI 芯片 D1	29
图 35: 特斯拉分地区 FSD 渗透率 (%)	30
图 36: 特斯拉北美地区分车型 FSD 渗透率 (%)	31
图 37: 特斯拉全球分车型销量结构 (单位: 辆, %)	31

图 38: 特斯拉全球分区域销量结构 (单位: 辆, %)	31
图 39: 特斯拉北美区一次性买断价格持续增长 (单位: 美元)	32
图 40: 亚太地区 FSD 开通率极低 (2022 年 Q3)	33
图 41: 中国乘用车含城区辅助驾驶的自动驾驶市场规模	36
图 42: 自动驾驶厂商技术进步, 产品价格下降、稳态需求增多	36
图 43: 智能计算中心总体架构图	37
图 44: 2020-2025E 中国乘用车 ADAS 摄像头搭载量	41
图 45: 2020-2025E 中国乘用车 ADAS 摄像头市场规模	41
图 46: 国内乘用车前装行泊一体 ADAS 摄像头上险份额 (2021)	41
图 47: 车载摄像头全球竞争格局 (2021, 单位: %, 亿美元)	41
图 48: 4D 毫米波雷达成像质量较高	42
图 49: 自动驾驶域控市场规模 (单位: 亿元, %)	43
图 50: 乘用车智能驾驶域控制器供应商 2021-2022 年份额	43
图 51: 国内线控制动市场规模 (单位: 亿元)	45
图 52: 国内供应商在乘用车线控制动市场份额提升	45
图 53: 线控转向系统示意图	46
图 54: 线控转向规划	46
图 55: 领克 ZERO 全自动空气悬架系统部分功能	47
图 56: 2022 年中国前装空气弹簧竞争格局	48
图 57: 2022 年中国前装空气供给竞争格局	48
表 1: 含城区辅助驾驶的自动驾驶市场规模	7
表 2: 自动驾驶公司感知大模型配置情况	8
表 3: 典型车型硬件配置情况	8
表 4: 国内部分公司数据融合方案	13
表 5: 智能驾驶政策梳理	21
表 6: 特斯拉 FSD BETA 逐步扩大测试范围	33
表 7: 特斯拉 FSD 正式发布后历史价格及功能梳理	34
表 8: 自动驾驶公司感知大模型配置情况	35
表 9: 城区 NOA 进程	35
表 10: 国内含城区辅助驾驶的自动驾驶市场规模	36
表 11: 目前汽车行业的智算中心建设情况	38
表 12: 国内特斯拉和新势力代表性车型智能化配置	39
表 13: 智能驾驶硬件价格水平	40
表 14: 特斯拉和国内新势力等车企摄像头数量增加	40
表 15: 部分 4D 毫米波雷达参与玩家	42
表 16: 部分国内自动驾驶域控方案	44
表 17: 部分线控制动厂商及产品情况	45
表 18: 部分线控转向供应商布局情况	46
表 19: 空气悬架系统及零部件国内供应商	47

表 20: 电动、智能增量零部件赛道选择	48
表 21: 重点公司盈利预测及估值	52

前言：感知-规划-控制，算法迭代驱动高阶智能驾驶落地

智能驾驶汽车本质也是具身智能的产品之一（做极致类比相当于一个大型轮式机器人），和服务机器人相比，智能驾驶汽车一定程度替代司机的劳动付出（家庭服务机器人替代保姆），司机的驾驶行为是较为标准化的动作，如果不考虑安全法规要求，单纯从技术实现难度看，智能汽车有望成为较早落地的具身智能产品。

笔者认为每一轮新技术驱动下的景气度行情，离不开以下四要素：

1) 技术底层突破。复盘电动化的技术底层在三电产品，尤其是电池，当续航里程和成本达到一个相对适合量产的阶段，且产业链完备性提高，为爆款产品打造奠定基础。智能化的技术底层颠覆性创新在这一轮的人工智能水平的提升，基于谷歌 2017 年提出的《Attention Is All You Need》，2021 年以特斯拉为首的感知层算法模型 BEV+Transformer 上车且持续迭代，2023 年期待端到端的大模型上车。

2) 爆款产品出现。技术突破之后伴随成本平价，会首先出现有标志意义的爆款产品，复盘电动化的爆款产品出现在 2020 年，伴随特斯拉国产化，Model 3 和比亚迪汉分别是特斯拉和比亚迪的两个标志性爆款。本轮智能化爆款产品国内可能由小鹏 G6 等车型开始，后续特斯拉 FSD 如若入华，有望成为新的智能化爆款车型。

3) 可持续跟踪的数据。电动化的数据较为完备（销量和渗透率）。智能化目前没有一个公认的标准 L3 级别渗透率数据，但是海外可以跟踪特斯拉 FSD 装配率数据，国内我们预计后续各家车企会逐渐常态化发布城市 NGP 的测试里程、付费率以及渗透率数据。

4) 海内外行情共振。电动化的海外行情先启动，特斯拉 2019 年底开始伴随上海工厂建设大涨，2020 年上半年先传导到美股新势力车企，下半年开始传导到国内比亚迪和长城的行情。智能化这一轮海外行情在特斯拉，国内映射在产品端主要是小鹏汽车等。

当前汽车智能化已经具备**技术底层突破（大模型上车）、爆款产品出现（小鹏 G6 待验证）、可持续跟踪的数据（暂无，预计陆续发布）、海内外共振（海外跟踪特斯拉进展）**。我们认为，智能驾驶空间巨大，奇点时刻渐近，技术迭代和产品渗透率有望加速。

可替代的劳动力空间巨大：智能驾驶汽车的劳动力替代空间巨大，假设在驾驶方面的劳动力成本按每月 1000 元计算（保守假设运营车辆司机月薪 4000 元，私家车驾驶时间按运营车辆司机四分之一计算），无人驾驶实现后，测算每车每年劳动力节省成本有望破万元（当前华为 ADS 2.0 包年价格 7200 元），考虑 6-8 年汽车生命周期，每车生命周期劳动力节省成本近 10 万元（当前特斯拉 FSD 北美买断价格 1.5 万美元），无人驾驶所节省的劳动力成本可以覆盖当前国内外高阶自动驾驶的收费，渗透率提升空间较大。全球 14 亿汽车保有量，我们测算远期无人驾驶 100% 渗透之后所节省的全球汽车驾驶员劳动力的市场空间有望过十万亿（年化）。

预计 2025 年国内带城区辅助驾驶功能的智能驾驶市场规模约 510 亿元。我们测算 2023 年车主购买带有城区辅助驾驶功能的车预计占我国乘用车市场整体的 0.4%，假设单车买断价 3.6 万元，市场规模约 32 亿元；至 2025 年，在小鹏、理想、问界、蔚来、特斯拉等车企发力下，国内带有城区辅助驾驶的自动驾驶渗透率预计到 6%，市场规模约 510 亿元；到远期假设我国 80% 乘用车搭载城区辅助驾驶功能，其中 60% 车主愿意支付 2 万元买断费用，我国乘用车自动驾驶市场规模

预计达 2880 亿元。

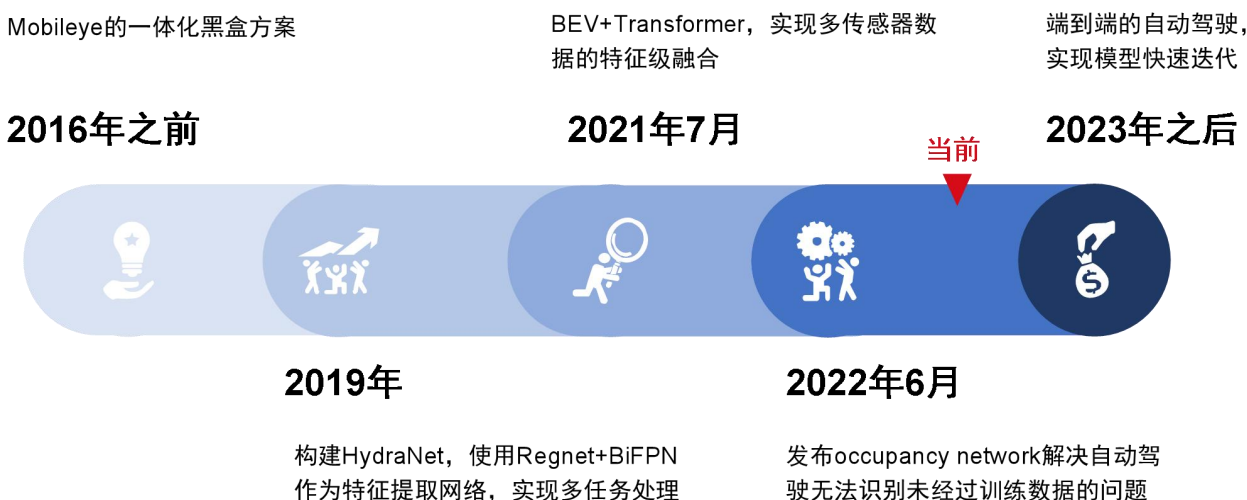
表1: 含城区辅助驾驶的自动驾驶市场规模

	2023E	2025E	远期
车型	小鹏 G6、G9、P7i； 问界 M5 等	小鹏、理想、问界、蔚来、特斯拉等	绝大部分乘用车企
预计车型销量（万辆）	17.7	300	2400
乘用车总销量（万辆）	2391.8	2430	3000
带城区辅助驾驶车型渗透率	1%	12%	80%
付费率	50%	50%	60%
自动驾驶渗透率	0.4%	6%	48.0%
智驾价格（元/买断价）	36000	34000	20000
市场规模（亿元）	31.86	510	2880

资料来源：搜狐汽车、国信证券经济研究所整理（注：小鹏仅 max 版标配城区 NGP 系统，销量预测全部车型）

特斯拉 FSD 算法持续升级（2021 年 BEV+Transformer—2022 年引入 Occupancy Network—2023 年或引入端到端融合大模型），引领行业发展。特斯拉从 2016 年开始自研自动驾驶软件算法，2019 年推出自主构建的 HydraNet 网络，赋予自动驾驶模型同时处理多任务能力；随后基于谷歌的《Attention Is All You Need》引入 Transformer 网络架构，2021 年推出的 BEV+Transformer 感知模型将多角度图像数据统一成俯瞰图角度；2022 年提出 Occupancy network，完善 3D 空间网络占用检测能力，解决自动驾驶过程中遇到的未在训练集出现数据无法识别情况。这一时期自动驾驶方案将感知模型处理后的环境、速度等数据向下传输至规控模型，特斯拉引入交互搜索，逐步增加约束条件（其他参与者博弈行为）做最优路径规划。2023 年后，特斯拉进一步提出端到端大模型算法，将感知、规划模型变成融合大模型，实现直接输入传感器数据到输出转向、刹车等驾驶指令突破。一方面减少感知、决策等中间模块的训练过程，有效集中模型训练资源；避免产生数据多级传输导致的误差；同时不存在各子模块目标与总系统目标存在偏差的情况，保证效益最大化。

图1: 特斯拉算法持续迭代



资料来源：懂车帝、汽车之家、路咖汽车、技术邻，国信证券经济研究所整理

造车新势力跟随特斯拉方案，智能驾驶算法迭代，驱动高阶智能驾驶落地。特斯拉推出 BEV 大模型后，国内车企及供应商积极跟随，小鹏/华为今年 4 月推出 BEV+Xnet/BEV+Transformer+GOD 网络模型，实现不依赖高精地图的自动驾驶；理

想今年 6 月推出 BEV+Transformer+NPN+TIN, 加速城区 NOA 落地。蔚来也宣布 NOP+ 已经切换到 BEV+占用栅格技术, 7 月 1 日起正式开启付费订阅。种种革新揭示智能驾驶接近奇点时刻, 马斯克预计全面智能驾驶时代今年年底即将到来。

表2: 自动驾驶公司感知大模型配置情况

公司	自动驾驶	模型	上车情况	算力芯片	云端数据中心集群算力	自动驾驶训练里程	价格
特斯拉	FSD	BEV+Transformer (鸟瞰图)	Model 3 & Model Y	自研 FSD	21 年 6 月披露正搭建 1.8 exaflops 算力训练机群, 同年发布超算 Dojo, 24 年 10 月公司算力总规模达 100 ExaFlops	FSD BETA 行驶里程数据超过 1.5 亿英里 (23Q1)	15000 美元 (一次性购买)
小鹏汽车	XNGP	BEV+Xnet (不依赖高精地图智驾)	G9 等	NIVID Orin-X*2	600PFLOPS	/	XPiLOT 版 39.99 万元; XNGP 版-41.99 万元
理想汽车	AD MAX 3.0	BEV+Transformer +NPN+TIN (加入交叉路口和信号灯调整网络)	L9 等	NIVID Orin-X*2	1200PFLOPS	超 6 亿公里	AD Pro 版-35.98 万元; AD Max 版-39.98 万元
蔚来	NAD/nop+	BEV (7 月开始)	ET5 等	NIVID Orin-X*4	/	/	680 元/月
华为汽车	ADS 2.0	BEV+Transformer +GOD 网络 (占用空间网络)	问界 M5、阿维塔 11	单板的 MDC610	/	/	一次性购买 36000 元, 包年 7200 元, 包月 720 元
毫末智行	Hpilot 3.0	BEV+Transformer +DriveGpt	新摩卡 DHT-PHEV	-	-	4000 万公里	17000 元
百度	Apollo ANP3.0	BEV 环视三维感知+文心大模型	集度 ROBO-01	NIVID Orin-X*2	200PFLOPS (昆仑芯 (盐城) 智算中心)	/	/
商汤	绝影领航	环视感知算法 BEVFormer	AION LX Plus、哪吒 S 等	具备对各类主流芯片及异构式计算平台适配性与可移植性	4910PFLOPS (目前投入使用的 1 期为 3740PFLOPS)	/	哪吒 S 标配

资料来源: 汽车之家、CSDN、腾讯网、搜狐网, 国信证券经济研究所整理

大模型上车强化视觉算法弱化成像雷达, 有望实现感知硬件整体降本。硬件上, 自动驾驶方案可分纯视觉和融合感知两种, 特斯拉采用前者, 21 年后逐步取消雷达, 8 颗 120 万像素摄像头配置, 全栈式自研域控制器, 预计摄像头+域控成本约 1 万元; 国内则普遍采用融合感知方案, 小鹏 G6 Max 版搭载 31 颗传感器, 包括 12 颗摄像头+12 颗超声波雷达+5 颗米波雷达+2 颗激光雷达, 预计整车传感器+域控成本约 3 万元左右。未来感知重心向视觉转移, 或将实现硬件降本。

表3: 典型车型硬件配置情况

	摄像头	毫米波雷达	超声波雷达	激光雷达	自动驾驶域控	总成本
特斯拉 Model Y	8*120 万像素	/	/	/	/ (自研中央+左车身+右车身三域架构)	约 1 万元
小鹏 G6 Max 版	12*摄像头 (前视双目 800 万像素)	5*毫米波	12*超声波	2*激光雷达	/	约 3 万元

资料来源: 汽车之家, 国信证券经济研究所整理

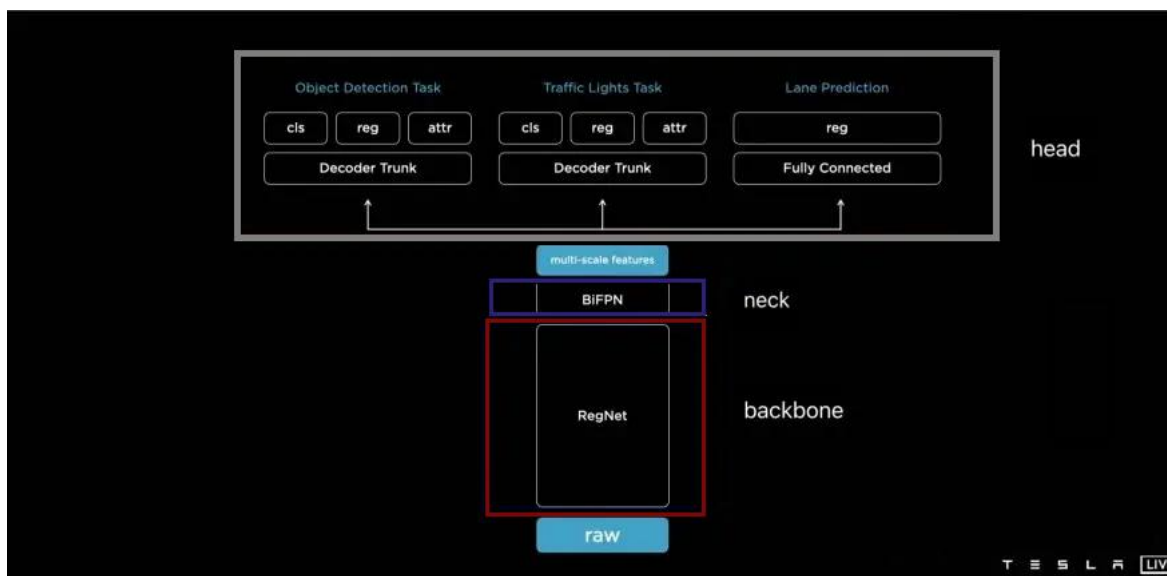
大模型推动智能驾驶硬件变革。感知端, 系统重心向视觉转移, 摄像头像素水平提升 (500w 及 800w 高像素摄像头配置比例提升), 同时从成本及供应链安全趋势下, 光传输取代电传输是未来方向。规划端, 数据和算法要求提升, 自动驾驶芯片算力持续提升 (或从低于 100tops 到远期 1000tops); 执行端, 线控制动和线控转向等底盘核心技术是高阶自动驾驶必经之路。

国信汽车团队自 2018 年起重点研究汽车智能驾驶赛道, 发布了多篇行业前瞻深度报告, 本篇报告为《前瞻研究系列二十: 智能驾驶专题之算法篇: AI 赋能背景下的汽车智能驾驶算法的迭代》, 主要就数据融合和神经网络、特斯拉智能驾驶大模型、国内造车新势力大模型的技术和应用情况进行系统梳理, 以期为读者了解智能驾驶提供参考。

数据融合和神经网络构建智能驾驶方案底层

目前自动驾驶行业网络基础架构普遍为 **Input -> backbone -> neck -> head -> output**。以特斯拉为例，其自动驾驶理念是通过深度学习模型建立仿照人脑基于视觉的神经网络系统，将摄像头的图像数据经过融合、特征提取、识别、决策几步处理成鸟瞰图模式或者 3D 空间占用情况，用于后续的路径规划，各家处理顺序有所不同。具体而言，特斯拉自主构建的 HydraNet 网络在 input 端输入摄像头的原始图像数据，通过 backbone 层的神经网络架构提取图像特征数据，将特征输入 neck 结合后续路径规划等任务做调整，再对特征数据赋予时间信息，进一步实现对目标不同时间信息的融合，并将结果传向各个 heads，完成后续任务。整个算法的核心在于特征提取及数据融合，高效的数据处理和有效的感知图层构建是自动驾驶落地的基础。特斯拉以视觉图像数据为主，其他车企也会选择将毫米波雷达、超声波雷达、激光雷达等多传感器数据加以综合，并在特征提取、识别、融合、决策等数据处理顺序上存在差异，以此可以将数据融合分为前融合、后融合、特征级融合三种模式。

图2: 特斯拉自动驾驶网络架构



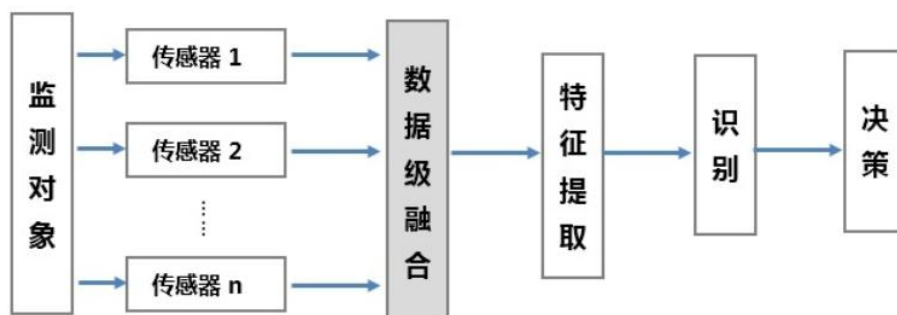
资料来源：特斯拉，国信证券经济研究所整理

特征级融合集低数据损失与低算力消耗优势于一体

1) 前融合：传感器数据融合，计算量大，目前业内应用并不多。

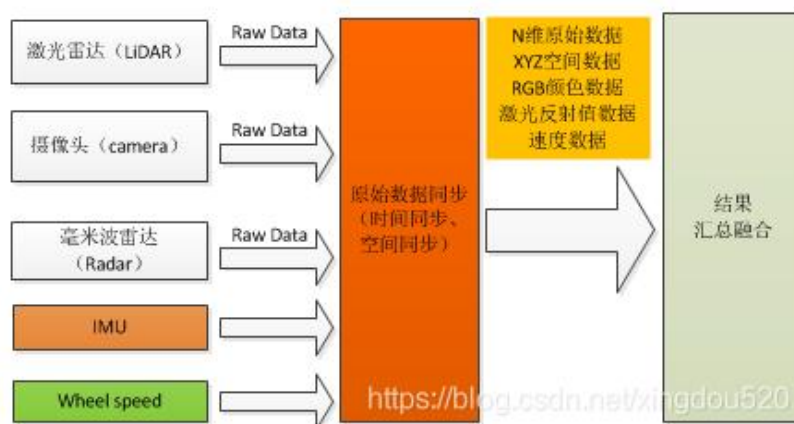
前融合，也称为数据级融合，指的是将传感器的观测数据融合，然后再从融合数据中提取特征向量进行判断识别。其特点在于只有一个感知的算法，对融合后的多维综合数据进行感知。

图3: 多传感器前融合基本原理示意图



资料来源: CSDN, 国信证券经济研究所整理

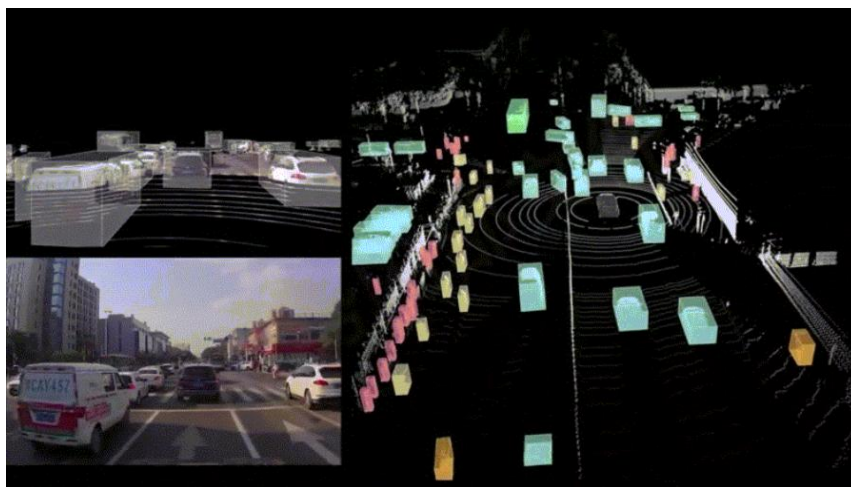
图4: 多传感器前融合典型结构



资料来源: CSDN, 国信证券经济研究所整理

前融合的优势是不存在数据丢失的问题，得到的结果也较为准确，前融合属于底层数据融合。将多个传感器的原始观测数据(raw data)直接进行融合，比如把激光雷达的点云数据和摄像头的像素级数据进行融合，数据的损失比较少；**其挑战**主要在于计算量大，对算力和融合策略要求较高，由于视觉数据是 2D 图像空间，激光雷达点云是 3D 空间，在进行融合时，要么在图像空间里把点云放进去，给图像提供深度信息，要么在点云坐标系里，通过给点云染色或做特征渲染，让点云具有更丰富的语义信息。

图5: 相机和激光雷达前融合效果示意图



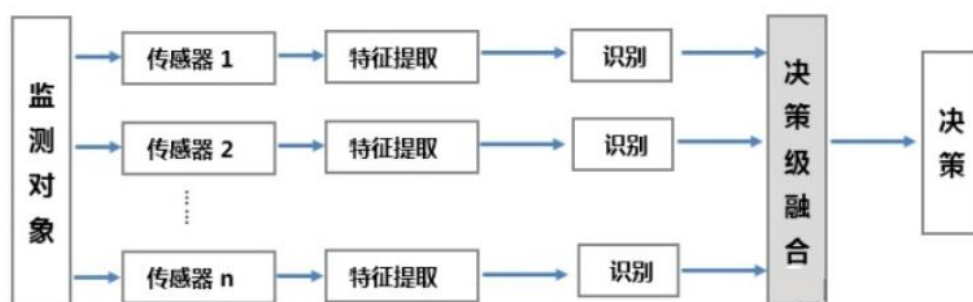
资料来源: 智驾最前沿, 国信证券经济研究所整理

2) 后融合: 各传感器输出结果在决策层融合, 为智能驾驶早期阶段主流方案。

后融合, 也称为目标级融合、决策级融合, 指的是每个传感器各自独立处理生成的目标数据, 每个传感器都有自己独立的感知算法, 比如视觉感知算法、激光雷达感知算法、毫米波雷达感知算法等, 从而各自输出带有传感器自身属性的结果, 并在决策层由主处理器进行数据融合, 这也是当前的主流方案。

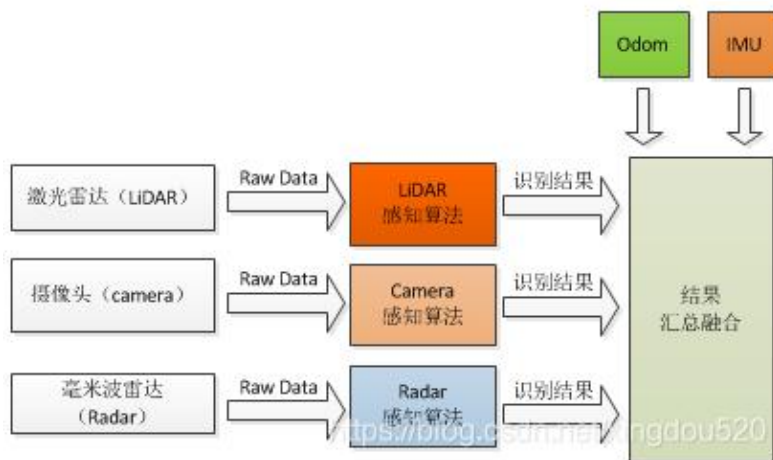
后融合的优势在于 1) 不同的传感器都独立进行目标识别, 解耦性好, 且各传感器可以互为冗余备份; 2) 对于主机厂来说, 后融合算法比较简单, 每种传感器的识别结果输入到融合模块, 融合模块对各传感器在不同场景下的识别结果, 设置不同的置信度, 最终根据融合策略进行决策; 3) 算力要求更低, 参考汽车之心数据, 后融合策略对车端算力要求在 100TOPS 以内, 前融合却需要 500-1000TOPS 算力。后融合的缺点在于在后融合策略下, 低置信度信息会被过滤掉, 原始数据丢失。

图6: 多传感器后融合基本原理示意图



资料来源: CSDN, 国信证券经济研究所整理

图7：多传感器后融合典型结构

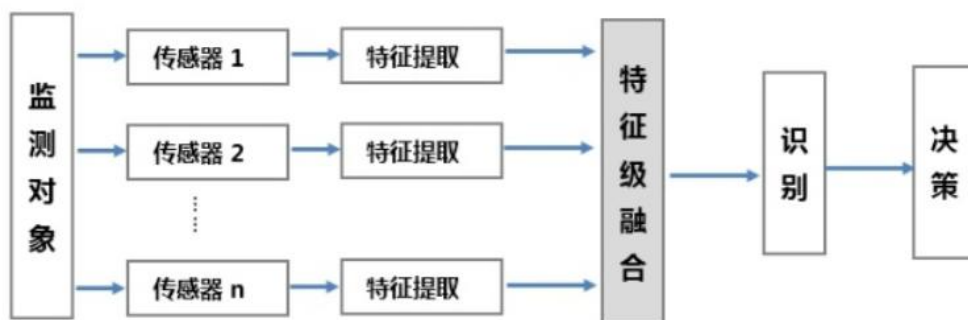


资料来源：CSDN，国信证券经济研究所整理

3) 特征级融合：相比后融合数据损失少，相比前融合算力消耗少，在 BEV 空间中 使用更大

特征级融合，也称为中间层次级融合，指的是先将各个传感器通过神经网络模型提取中间层特征（即有效特征），再对多种传感器的有效特征进行融合，从而更有可能得到最佳推理。特征级融合的好处在于，相较于后融合，数据损失少、准确度更高，相较于前融合，算力消耗较少，参考汽车之心数据，特征级融合对车端算力需求大约在 300-400TOPS 之间。

图8：多传感器特征级融合基本原理示意图



资料来源：CSDN，国信证券经济研究所整理

前融合算法算力要求高、目前更多流行于学术界，后融合算法会产生严重的原始数据丢失问题，特征级融合算法兼具数据损失少、算力消耗少的两大优势，被提出后广泛应用于车企及供应商中；特斯拉采用纯视觉方案通过特征级融合实现算力和推理结果的最佳权衡。国内小鹏、理想、华为等同样选择特征级融合方案，差异在于国内车企普遍采用雷达、摄像头等多种类传感器配置，特征级融合还是基于视觉传感器数据，理想等公司另外提出将传感器的特征级融合结果和激光雷达数据再次进行前融合来增强整体感知效果。

表4: 国内部分公司数据融合方案

融合方案	公司	类别	传感器配置	大模型情况
前融合	元戎启行	供应商	摄像头、毫米波雷达、激光雷达	/
	Roadstar	供应商	摄像头、毫米波雷达、激光雷达	/
	特斯拉	车企	摄像头(部分地区、部分车型有毫米波雷达)	BEV网络、Transformer、Occupancy网络
特征级融合	小鹏	车企	摄像头、毫米波雷达、激光雷达	BEV网络、Transformer
	理想 (BEV 特征级+激光雷达前融合)	车企	摄像头、毫米波雷达、激光雷达	BEV网络、Transformer、Occupancy网络
后融合	百度 (2019年 Apollo Lite)	供应商	摄像头	/
其他	上汽飞凡 (做前融合+后融合, 综合对比)	车企	摄像头、4D毫米波雷达、激光雷达	BEV模型

资料来源: 汽车之家、各公司官网、太平洋汽车、焉知汽车、九章智驾, 国信证券经济研究所整理

自动驾驶的感知层在输入摄像头等原始数据后, 其处理包括融合、特征提取、识别、决策几个步骤, 车企根据自身的传感器配置选择数据融合方案, 并选择不同的神经网络做图像的特征提取、数据融合等处理过程, 根据内部结构的不同, **神经网络模型一般可分为 DNN、CNN、RNN、Transformer 等多种**, 不同的神经网络结构会在处理过程中提供不同的助力效果。

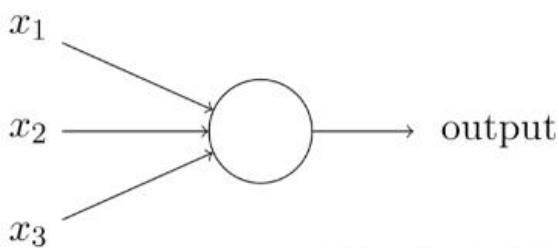
神经网络模型从 CNN 到 Transformer, 效率提升

➢ DNN (深度神经网络): 全连接神经网络, 存在效率低下等问题

DNN 的基础是神经元, 神经网络由一个个神经元组合而成, 其作用就是接收 n 个输入, 然后给出一个输出, 具体计算过程根据需要进行设计。在输入层和输出层中间加入隐藏层, 即构成 DNN (深度神经网络), 隐藏层是输入层和输出层之间众多神经元和链接组成的各个层面, 如果有多个隐藏层, 则意味着多个激活函数, 隐藏层的层数问题根据实际问题来设定, 设定过多会造成计算资源浪费, 设定过少会降低结果准确率, 下图中箭头的方向代表前向传播的方向, **每一个神经元得到的结果会传给下一层所有的神经元, 这也是 DNN 也被称为全连接神经网络的原因, 一层一层传递得出最终结果。**

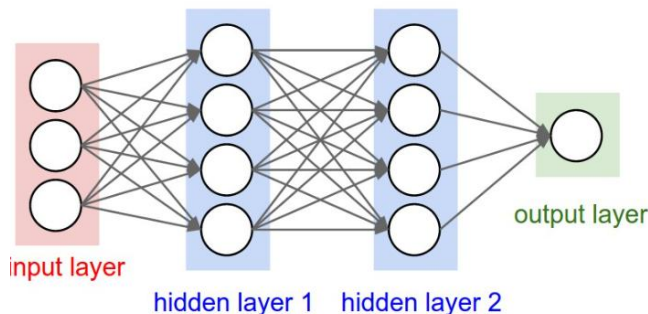
DNN (深度神经网络) 的问题在于参数过多效率低下, 训练困难; 大量的参数也会很快导致网络过拟合, 而自动驾驶感知层输入数据较多, CNN (卷积神经网络) 可有效解决以上问题。

图9: DNN 基础——神经元



资料来源: CSDN, 国信证券经济研究所整理

图10: DNN 深度神经网络基本结构

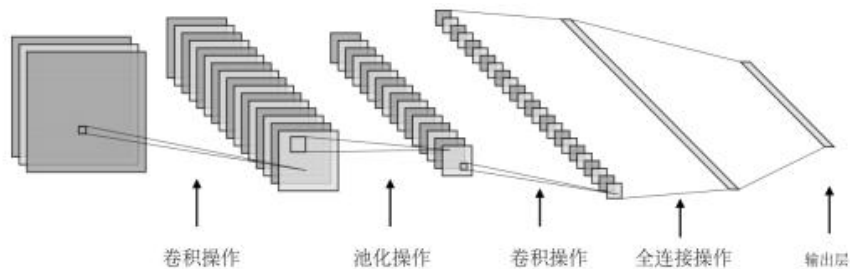


资料来源: CSN, 国信证券经济研究所整理

➢ CNN 卷积神经网络: 对局部感知, 再在更高层将局部信息综合得到全局信息, 适用于图像识别

卷积神经网络 (Convolution Neural Network, CNN) 是一种前馈神经网络，其本质是一个多层感知机，**CNN 成功推出的原因在于“将复杂问题简化”，把大量参数降维成少量参数，再做处理，其通过卷积层和池化层所采用的局部连接和权值共享的方式来降维：一方面减少了权值的数量使得网络易于优化；另一方面降低了模型的复杂度、减小了过拟合的风险，适用于图像识别。**

图11: CNN 卷积神经网络结构图

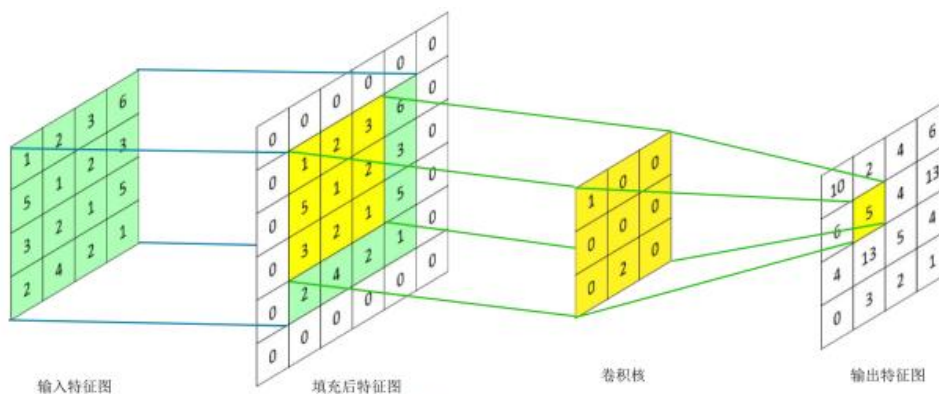


资料来源：卢金波,《基于卷积神经网络的图像检测方法研究》[D]. 西安理工大学, 2022, 国信证券经济研究所整理

CNN 分类图像，一般需要卷积操作、池化操作、全连接操作来进行预测识别。

1) **卷积层：卷积层的主要作用是对输入图像或者特征图进行特征提取。卷积核相当于一个滑动参数窗口，在输入图像或者特征图上实现固定步长且有规则滑动，每滑动一次，与输入图像或者特征图对应区域进行相应的计算，获取代表局部特征信息的值。**

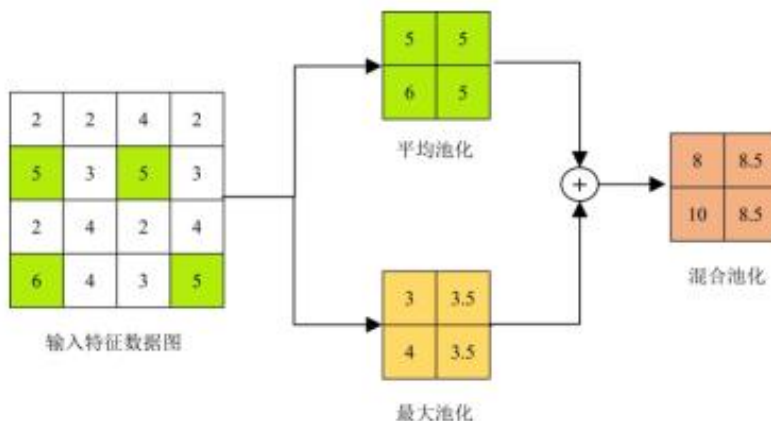
图12: CNN 卷积操作示意图



资料来源：卢金波,《基于卷积神经网络的图像检测方法研究》[D]. 西安理工大学, 2022, 国信证券经济研究所整理

2) **池化层：池化层作用是在保留重要特征的情况下，降低数据处理维度。池化层主要操作是通过对上一层输出特征图进行采样操作。一般的采样方式有三种：最大池化、平均池化和混合池化。**

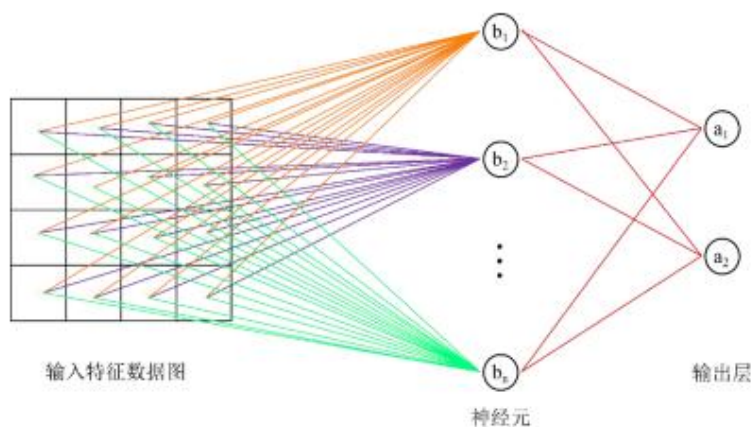
图13: 池化操作示意图



资料来源: 卢金波,《基于卷积神经网络的图像检测方法研究》[D]. 西安理工大学, 2022, 国信证券经济研究所整理

3) **全连接层: 通常位于网络的底部, 常用于分类任务。**在分类网络中, 全连接层可以为输出结果的概率。如下图所示, 输入数据是大小为 4×4 的矩阵, b_1 、 b_2 、 \dots 、 b_n 为隐藏层神经元, a_1 、 a_2 为输出神经元。

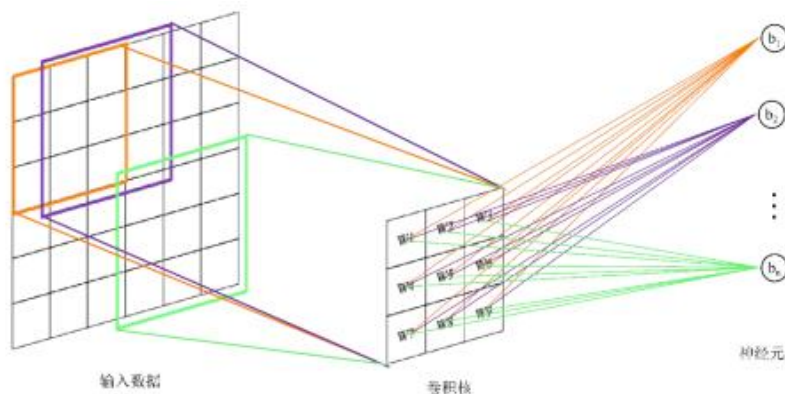
图14: 全连接方式



资料来源: 卢金波,《基于卷积神经网络的图像检测方法研究》[D]. 西安理工大学, 2022, 国信证券经济研究所整理

若只通过 DNN 全连接层进行特征提取, 会增加网络的复杂度并且计算复杂度高, 相比之下 CNN 卷积神经网络是先对局部进行感知, 然后在更高层将局部信息综合得到全局信息, 兼具局部连接和权重分享的特点: 1) **局部连接:** 卷积运算使用卷积核通过滑动窗口将输入特征映射连接到神经元中, 与全连接相比, 该方法有效地降低了网络复杂度, 这提高了在线学习数据特征的性能; 2) **权重分享:** 对于局部连接处理输入特征图的整个过程中, 所使用的卷积核为同一个卷积核, 因此计算所需要的权重矩阵为同一个, 即权值共享。

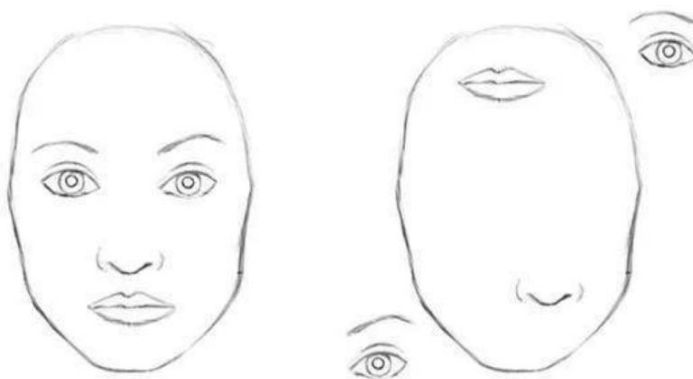
图15: CNN 卷积神经网络特点示意图



资料来源：卢金波.《基于卷积神经网络的图像检测方法研究》[D]. 西安理工大学, 2022, 国信证券经济研究所整理

CNN 卷积神经网络之所以适合图像识别，主要在于 CNN 模型限制参数个数并挖掘局部结构的特点。其缺陷在于一方面，CNN 无法对相对空间信息进行编码，仅关注于检测某些特征，而不考虑它们之间的相对位置；另一份，池化层会将局部特征压缩为单一的值，这些值无法完全代表原始特征的信息，导致可能丢失一些有价值的特征信息。

图16: CNN 不考虑特征之间的相对位置



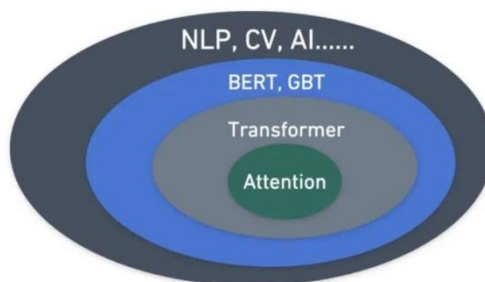
资料来源：新浪网，国信证券经济研究所整理

➤ **Transformer：在并行计算、保留位置信息、捕捉远距离特征等方面表现优异**

Transformer 是一种基于注意力机制（Attention Mechanism）的神经网络模型，由谷歌 2017 年论文《Attention is All You Need》提出，相比 RNN 的优势在于可并行计算、并且能够处理长序列的输入，相比 CNN 的优势在于保留了位置信息、且解决远距离特征依赖问题。因此，Transformer 模型成了自然语言处理领域中最流行的模型之一。

Attention 机制源自于人类视觉注意力机制：将有限的注意力集中在重点信息上，从关注全部到关注重点，从而节省资源，快速获得最有效的信息。Attention 是一种权重参数的分配机制，目标是帮助模型捕捉重要信息，本质是一种带权求和。

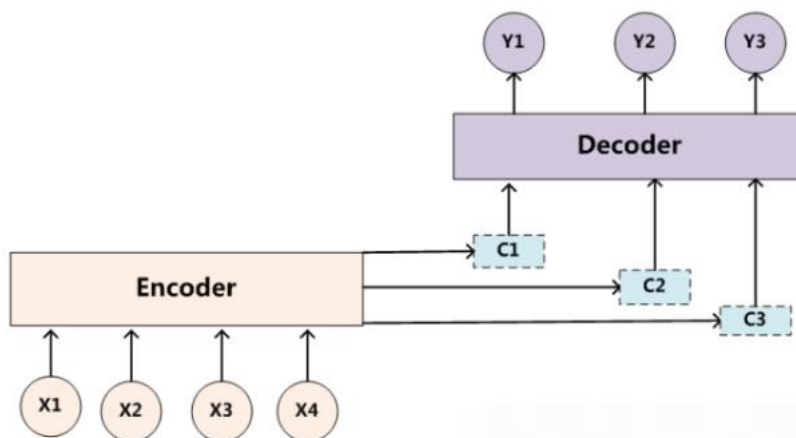
图17: Transformer 架构核心为 Attention 机制



资料来源：麦岩智能机器人，国信证券经济研究所整理

Encoder 是对输入句子 Source X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 进行编码，将输入句子通过非线性变换转化为中间语义 C_i ，对于解码器 Decoder 来说，其任务是根据句子 Source 的中间语义表示 C_i 和之前已经生成的历史信息来生成 i 时刻要生成的 Y_i 。

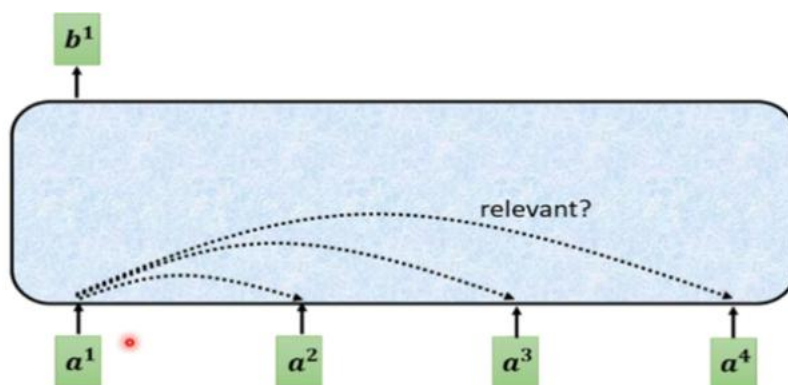
图18: Attention 机制的 Encoder-Decoder 框架图



资料来源：CSDN，国信证券经济研究所整理

传统的 Attention 机制发生在 Target 的元素和 Source 中的所有元素之间，Self Attention（自注意力机制）不是输入语句和输出语句之间的 Attention 机制，而是输入语句内部元素之间或者输出语句内部元素之间发生的 Attention 机制，简单理解，如下图所示，对于每一个输入向量 a ，经过蓝色部分 Self Attention（自注意力机制）之后都输出一个向量 b ，这个向量 b 是考虑了所有的输入向量对 a_1 产生的影响才得到的，这里有四个词向量 a 对应就会输出四个向量 b 。

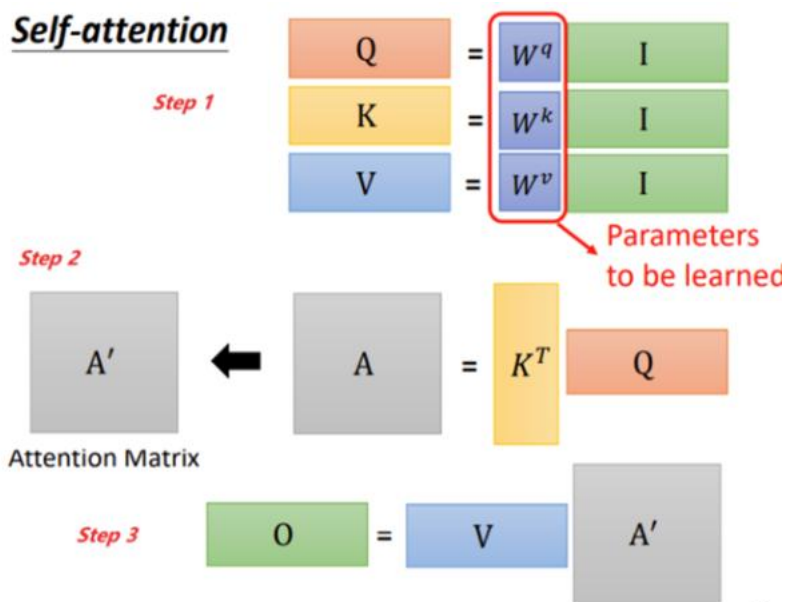
图19: Self Attention (自注意力机制) 的简略结构



资料来源: CSDN, 国信证券经济研究所整理

Self Attention (自注意力机制) 的矩阵形式如下图, 具体计算过程为: 1) 把 4 个输入 a 拼成一个矩阵 I , 这个矩阵有 4 个 column, 也就是 a^1 到 a^4 , I 乘上相应的权重矩阵 W , 得到相应的矩阵 Q 、 K 、 V , 分别表示 query, key 和 value; 2) 利用得到的 Q 和 K 计算每两个输入向量之间的相关性, 也就是计算 attention 的值 α , 通常采用点乘的方式; 3) 矩阵 A 中的每一个值记录了对应的两个输入向量的 Attention 的大小 α , A' 是经过 softmax 归一化后的矩阵。再利用得到的 A' 和 V , 计算每个输入向量 a 对应的 self-attention 层的输出向量 b 组成的矩阵 O 。

图20: Self Attention (自注意力机制) 的矩阵形式

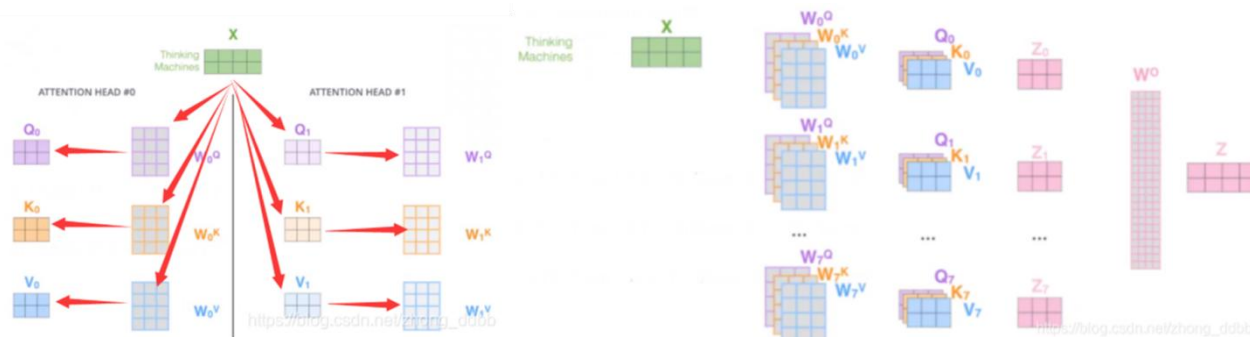


资料来源: CSDN, 国信证券经济研究所整理 (注: 1、 I 是输入序列组成的矩阵, O 是经过自注意力机制处理后的输出序列组成的矩阵; 2、 Q : query 表示要去查询的矩阵; K : key, 表示等着被查的矩阵; V : value, 表示实际的特征值)

Multi-Head Attention (多头注意力机制) 是在 self-attention 的基础之上进行了完善, 使用多组得到多组 Query, Keys, Values, 然后每组分别计算得到一个 Z 矩阵, 将得到的多个 Z 矩阵进行拼接, 最后将拼接后的矩阵再乘一个权重矩阵 W ,

得到 Z。Multi-Head Attention（多头注意力机制）的思想类似于卷积神经网络中的 filter，可以从不同的角度提取图像的特征，从而得到多个特征表达。

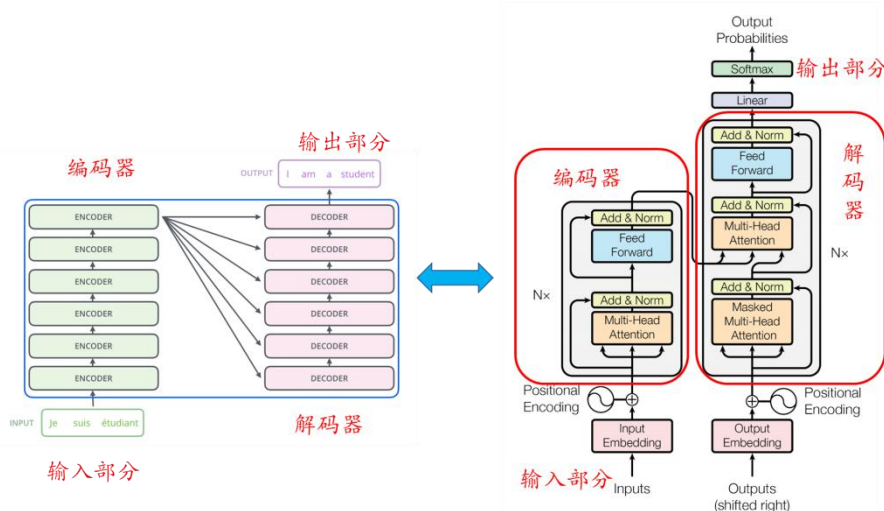
图21: Multi-Head Attention（多头注意力机制）的计算过程



资料来源: CSDN, 国信证券经济研究所整理

Transformer 是一个基于 Encoder-Decoder 框架的模型，具备可并行计算、可保留位置信息、可捕获远距离特征等多重优势。 1) **并行计算**: Transformer 不存在网络中间状态不同时间输入的依赖关系，可以自由进行并行计算；2) **位置信息**: Transformer 使用位置函数对位置编码，因而保留了位置信息；3) **远距离特征**: 自注意力机制允许模型为序列中的每个位置分配不同的权重，以便模型可以更好捕捉序列中的关系，可捕获远距离特征。

图22: Transformer 整体结构图



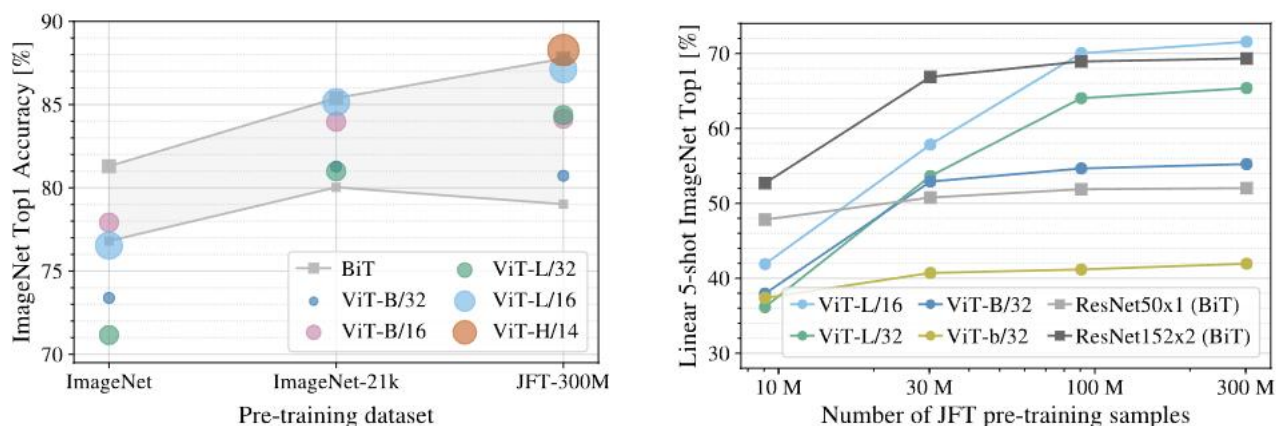
资料来源: CSDN, 国信证券经济研究所整理

对于自动驾驶而言，传统 CNN 图像数据融合基于局部特征执行，局部感知能力强，感知区域随层数增加逐步扩大，但可能忽略图像间依存关系；而 Transformer 从输入开始的每一层结构都可以看到所有信息，同时可以利用自注意力机制特性对全局信息加以感知，感知数据处理更灵活，但是模型表现提升需要一定数据规模，同时全局计算复杂度高。

目前特斯拉等多家车企选择 Transformer 与 CNN 并存模式，结合两种神经网络架构优点，Transformer 技术提升 CNN 架构下感知系统环境语义的理解深度，CNN

架构节省 Transformer 的算力损耗，长期看这一多神经网络架构有望加速 AI 大模型及高阶自动驾驶的量产上车。

图23: Transformer 架构在大规模的预训练数据下表现良好



资料来源: Dosovitskiy A, Beyer L, Kolesnikov A, et al. An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale[J]. arXiv preprint arXiv:2010.11929, 2020., 国信证券经济研究所整理

法规落地，高阶智能驾驶有望加速上车

各国政策在不断放开对自动驾驶的限制。智能驾驶技术发展走在政策法规限制之前，高阶智能驾驶技术持续进阶，然而事故权责认定、准入条件等领域立法空白影响车企上车决策。2022年7月，深圳市发布的《深圳经济特区智能网联汽车管理条例》，首次规范智能网联汽车智能驾驶的定义、市场准入条件及责任认定等内容，有望为其他地区提供示范效应，加速L3智能驾驶的落地。2023年6月21日，工信部在国务院政策例行吹风会上透露，将启动智能网联汽车准入和上路通行试点，组织开展城市级“车路云一体化”示范应用，支持有条件的智能驾驶，这里面讲的是L3级，及更高级别的智能驾驶功能商业化应用。而在此之前，美国国家航空运输安全管理局在2022年3月提出全智能驾驶汽车不需要再配备传统的方向盘、制动或油门踏板等装置。特斯拉FSD为代表的高阶智能驾驶在技术完善后，上车有望加速。

表5: 智能驾驶政策梳理

国家	时间	部门	法规或政策名称	具体内容
中国	2020. 2. 24	国家发改委、科技部、工信部等11个部门	《智能汽车创新发展战略》	提出到2025年, 中国标准智能汽车的技术创新、产业生态、基础设施、法规标准、产品监管和网络安全体系基本形成。同时, 实现有条件智能驾驶的智能汽车达到规模化生产, 实现高度智能驾驶的智能汽车在特定环境下市场化应用。
中国	2020. 11	国家智能网联汽车创新中心	《智能网联汽车技术路线图2.0》	在2025年L2级和L3级新车要达到50%, 到2030年要超过70%。
中国	2022. 3. 7	工业和信息化部办公厅	《车联网网络安全和数据安全标准体系建设指南》	提出到2023年底, 初步构建起车联网网络安全和数据安全标准体系。重点研究基础性、终端与设施网络安全、网联通信安全、数据安全、应用服务安全、安全保障与支撑等标准, 完成50项以上急需标准的研制。到2025年, 形成较完善的车联网网络安全和数据安全标准体系。完成100项以上标准的研制, 提升标准对细分领域覆盖程度, 加强标准服务能力, 提高标准应用水平, 支撑车联网产业安全健康发展。
中国	2022. 4. 15	工业和信息化部	《关于开展汽车软件在线升级备案的通知》	获得道路机动车辆生产准入许可的汽车整车生产企业(以下简称“企业”)及其生产的具备OTA升级功能的汽车整车产品(以下简称“产品”)和实施的OTA升级活动, 应进行备案。申请主体应是汽车整车生产企业。
中国深圳	2022. 7	深圳市第七届人民代表大会常委会	《深圳经济特区智能网联汽车管理条例》	有条件智能驾驶和高度智能驾驶的智能网联汽车, 应当具有人工驾驶模式和相应装置, 并配备驾驶人; 无驾驶人的完全智能驾驶智能网联汽车只能在市公安机关交通管理部门划定的区域、路段行驶; 有驾驶人的智能网联汽车发生道路交通安全违法情形的, 由公安机关交通管理部门依法对驾驶人进行处理; 完全智能驾驶的智能网联汽车在无驾驶人期间发生道路交通安全违法情形的, 由公安机关交通管理部门依法对车辆所有人、管理人进行处理等。
中国	2022. 8. 2	自然资源部办公厅	《关于做好智能网联汽车高精度地图应用试点有关工作的通知》	为贯彻落实《国务院关于开展营商环境创新试点工作的意见》要求, 积极推进“在确保安全的前提下试行高精度地图面向智能网联汽车使用”创新试点任务, 自然资源部办公厅印发了该《通知》, 并对试点工作提出了要求。《通知》指出, 试点城市所在地省级自然资源主管部门要高度重视试点工作, 按照国务院部署要求和国家测绘地理信息管理、数据安全相关法律法规政策, 编制试点实施方案, 提出时间表、路线图, 根据智能驾驶地图数据不同应用场景合理划定不同类型试点应用范围。
中国	2022. 8. 8	交通运输部	《智能驾驶汽车运输安全服务指南(试行)》(征求意见稿)	服务指南提到, 从事运输经营的智能驾驶汽车应当具备车辆运行状态记录、存储和传输功能, 向运输经营者和属地交通运输主管部门及时传输相关信息。在车辆发生事故或智能驾驶功能失效时, 自动记录和存储事发前至少90秒至事发后至少30秒的运行状态信息。运行状态信息至少包括: 车辆基本信息、控制模式变化情况、接收的远程控制指令情况、运行状态、人机交互及车内外影像情况等。
中国	2022. 9. 14	交通运输部	《第一批智能交通先导应用试点项目(智能驾驶和智能航运方向)的通知》	为落实《“十四五”交通领域科技创新规划》相关任务, 经自主申报、相关单位推荐和专家评审, 交通运输部同意将“北京城市出行服务与物流智能驾驶先导应用试点”等18个项目作为第一批智能交通先导应用试点项目。
中国	2022. 11. 2	工业和信息化部	《关于开展智能网联汽车准入和上路通行试点工作的通知(征求意见稿)》	符合条件的道路机动车辆生产企业和具备量产条件的搭载智能驾驶功能的智能网联汽车产品, 开展准入试点。按照此次试点的申请文件描述, 首先, 仅面向B端的具备独立法人资格, 具备一定能力要求的试点使用主体; 同时, 要求联合体(试点汽车生产企业、试点使用主体)给出智能驾驶功能产品未来3年推广计划。
中国	2023. 2. 27	中共中央、国务院	《数字中国建设整体布局规划》	做强做优做大数字经济。培育壮大数字经济核心产业, 研究制定推动数字产业高质量发展的措施, 打造具有国际竞争力的数字产业集群。推动数字技术和实体经济深度融合, 在农业、工业、金融、教育、医疗、交通、能源等重点领域, 加快数字技术创新应用。
中国	2023. 3. 28	工信部	《国家汽车芯片标准体系建设指南(2023版)》(征求意见稿)	到2025年, 制定30项以上汽车芯片重点标准, 涵盖环境及可靠性、电磁兼容、功能安全及信息安全等通用要求, 控制芯片、计算芯片、存储芯片、功率芯片及通信芯片等重点产品与应用技术要求, 以及整车及关键系统匹配试验方法, 以引导和规范汽车芯片产品实现安全、可靠和高效应用。到2030年, 制定70项以上汽车芯片相关标准, 实现基础、通用要求、产品与技术应用以及匹配试验等重点领域均有标准支撑, 加快推动汽车芯片技术和产品健康发展。
中国	2023. 3. 7	自然资源部	《智能汽车基础地图标准体系建设指南(2023版)》	到2025年, 初步构建能够支撑汽车驾驶自动化应用的智能汽车基础地图标准体系。先行制定急用先行的10项以上智能汽车基础地图重点标准, 涵盖基础通用、数据采集、动态更新、数据分发、交换格式, 以及多种智能端侧相关数据安全保护等技术要求和规范, 解决智能汽车基础地图深度应用的迫切需求。
中国	2023. 5. 5	工业和信息化部	《汽车整车信息安全技术要求》&《智能网联汽车智能驾驶数据记录系统》	规定汽车信息安全管理要求、车辆信息安全一般要求、车辆信息安全技术要求、审核评估及测试验证方法、智能网联汽车智能驾驶数据记录等。
中国	2023. 6. 21	工信部	国务院政策例行吹风会	将启动智能网联汽车准入和上路通行试点, 组织开展城市级“车路云一体化”示范应用, 支持有条件的智能驾驶, 这里面讲的是L3级, 及更高级别的智能驾驶功能商业化应用。
中国	2023. 7. 26	工信部、国家标准化管理委员会	《国家车联网产业标准体系建设指南(智能网联汽车)(2023版)》	明确建设重点方向包括信息感知融合、自动驾驶、功能安全等多环节。其中自动驾驶标准是指3-5级自动驾驶功能, 主要包括功能规范、试验方法和关键系统等。功能规范标准以高速公路、城市道路等不同应用场景为基础, 综合考虑自动驾驶功能级别和相应设计运行条件, 提出相应场景下的技术要求及评价方法和指标
美国	2022. 3. 10	国家航空运输安全管理局	无人驾驶汽车乘客保护规定	全智能驾驶汽车不需要再配备传统的方向盘、制动或油门踏板等装置满足碰撞中的乘员安全保护标准; 智能驾驶汽车必须提供与人类驾驶车辆同等水平的乘员保护。
美国	2023. 3. 1	美国智能驾驶汽车行业协会	发布政策框架, 概述联邦智能驾驶汽车立法和监管的关键优先事项。	政策框架提出了对美国国会和交通部的几项建议, 以指导联邦采取相应行动, 并推动智能驾驶汽车在美国的部署和商业化。该协会的成员包括Aurora、Cruise、福特、大众、Waymo和Zoox。

资料来源：各国政府官网、国信证券经济研究所整理

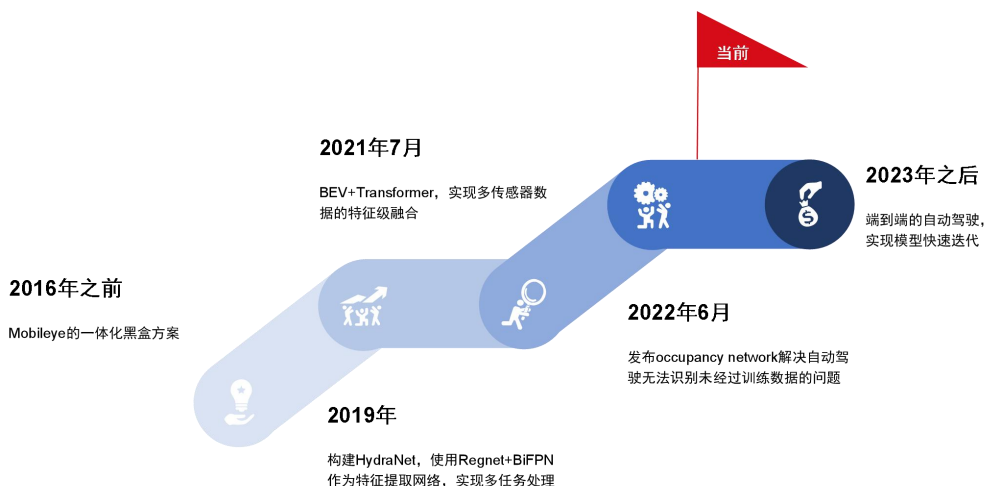
特斯拉带动智能驾驶行业技术进阶

特斯拉 FSD 算法持续升级（2021 年 BEV+Transformer—2022 年引入 Occupancy Network—2023 年或引入端到端融合大模型），引领行业发展。智能驾驶方案存在较高技术壁垒，从硬件层面减少雷达配置、到软件层面提供 BEV、Transformer、Occupancy network 等大模型实现重感知方案，均是特斯拉走在行业前列。2023 年后特斯拉推出 FSD V12 的端到端模式，有望带动行业进入新一轮快速迭代周期，智能驾驶方案渗透率有望持续提升。

技术层面：软硬件持续迭代，大模型、端到端引领行业

特斯拉智能驾驶方案可以简单分为四个阶段。2014 年 10 月-2016 年 7 月，特斯拉与 Mobileye 深度合作，当时的 Hardware 1.0 硬件配置为 1 个前置摄像头+1 个毫米波雷达+12 个中程超声波雷达，选用 Mobileye EyeQ3 芯片，软件方案为 Mobileye 黑盒模式。至 2016 年 10 月，特斯拉开始自研软硬件系统，发布第二代硬件 Hardware 2.0，配 8 个摄像头+12 个远程超声波雷达+1 个前置毫米波雷达，选用英伟达 Tegra Parker 芯片，芯片算力从 Mobileye EyeQ3 的 0.256TOPS 提升到 NIVID Tegra Parker 的 1TOPS，最关键在于英伟达芯片+安森美等传感器脱离 mobileye 的软硬件一体模式；软件上选用行业内通用的卷积神经网络实现 2D 图像检测，但是 2016 年 10 月更新硬件 HW2.0 版本，直到 2017 年 1 月 Tesla 配备 HW 2.0 的车辆补齐 AEB、防碰撞预警、车道保持、自适应巡航等多种 Autopilot 功能；2019 年-2021 年 5 月，特斯拉升级 Hardware3.0 硬件配置，传感器不变，搭载 2 个自研 FSD 芯片，同时逐步在软件算法引入 BEV+Transformer+Occupancy network 等模型，技术层面引领行业发展。2021 年 5 月起，特斯拉转向纯视觉方案，逐步减少超声波雷达及毫米波雷达配置，芯片配置保持不变。2023 年后，特斯拉即将发布新一代端到端大模型及新一代硬件配置 Hardware 4.0，智能驾驶技术路线进入新时代。

图24: 特斯拉智能驾驶软件发展



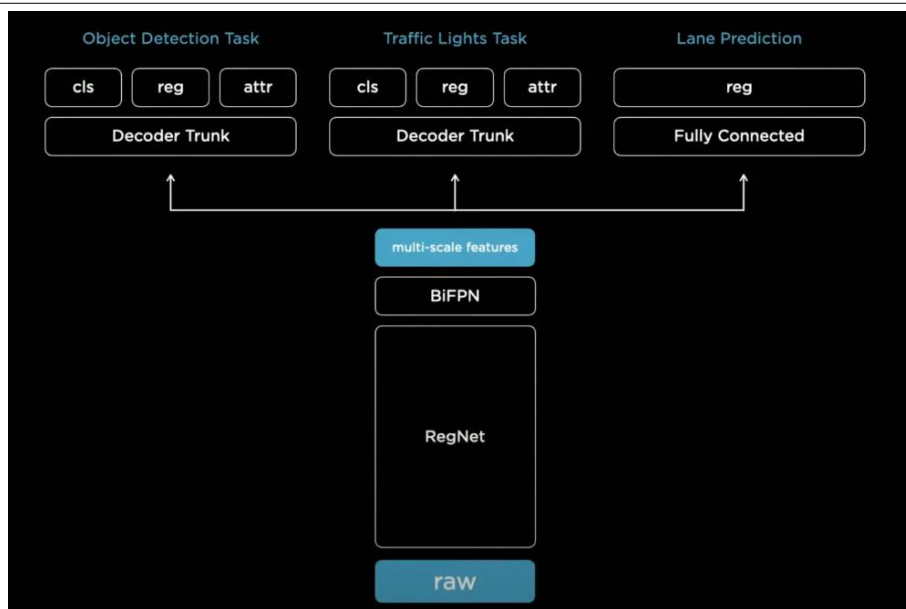
资料来源：wind、路咖汽车、百家号、懂车帝、汽车之家、技术邻，国信证券经济研究所整理

2016–2019 年，起步智能驾驶全栈自研

2016 年是特斯拉智能驾驶全栈自研的起点。2016 年之前，特斯拉与 Mobileye 深度合作，采用其软硬件一体的智能驾驶解决方案。2016 年 10 月，特斯拉开始自研智能驾驶技术方案，硬件选择英伟达的 Tegra Parker 芯片，相比 mobileye 合作的 HW1.0 增加 7 个摄像头（8 个摄像头+12 个超声波雷达+1 个前置雷达）；软件方面用行业内通用的卷积神经网络实现 2D 图像检测，数据采用人工标注，软件算法工作网络结构为 Input→backbone→neck→head→Output，单 head 模式限制多任务并行。

2018–2019 年，特斯拉构建多任务学习网络 HydraNet，在 input 端输入摄像头的原始图像数据，在主干网络使用卷积神经网络模型 regnet 进行特征的识别提取，对特征数据赋予时间信息，进一步实现对不同时间目标的融合。HydraNet 设置多个 head 同时处理多项任务，比如同时检测车道线及红绿灯等；主干网络提取的特征在多个 head 任务中共享，减少重复计算；同时任务间又相对独立，存在较低耦合，不会互受影响。

图25: 多任务学习网络 HydraNet



资料来源：特斯拉，国信证券经济研究所整理

2019–2022 年，传统分解式模型，感知+规控创新引领行业技术发展

2019 年开始，特斯拉智能驾驶方案迈上正轨，这一时期的特斯拉采用传统分解式方案，2021 年推出 BEV+Transformer 架构，2022 年又提出 Occupancy network，通过感知算法处理传感器数据，然后将处理结果送入规划控制模型得出交互博弈的动态最优解。特斯拉在感知、规控两处模型创新性设计引领行业发展。

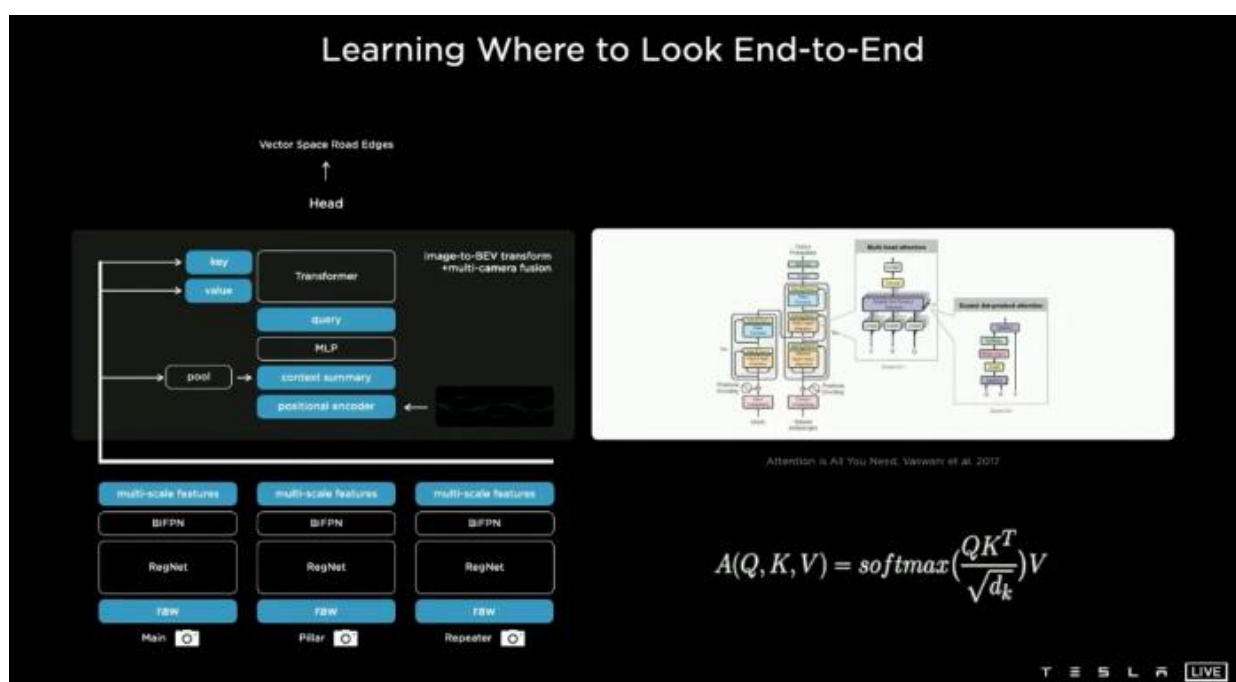
- **感知层，BEV+Transformer+Occupancy Networks 实现 3D 重建，脱离高精地图限制**

为构建三维向量空间，大部分车企使用激光雷达方案来获取深度信息，并与视觉感知进行融合，马斯克坚持第一性原理，将事物拆解回本质，使用更接近于人类驾驶员的纯视觉方案，通过多个摄像头数据实现智能驾驶，感知层是特斯拉与众多使用雷达的智能驾驶方案最大不同，也是特斯拉算法最显著的创新。

纯视觉方案首先需要解决多摄像头数据融合问题。常规做法是 1) 先对各摄像头数据进行处理后融合；2) 直接将多摄像头数据整合后做特征提取等任务；3) 先对多个摄像头进行特征提取，然后对有效特征加以融合。特斯拉选择第三种，并进一步引入 BEV 网络+Transformer 模型实现多视角图像特征转换到车体坐标的鸟瞰图，随后进化 Occupancy network 实现 3D 重建，判断空间占用并向下输出结果用于规划。

其中，BEV 是鸟瞰图 (Bird's Eye View) 的简称，也被称为上帝视角，是将多传感器图像数据统一成用于描述感知世界的俯视视角，特斯拉先通过 HydraNet 共享的主干网络提取每个输入图像的特征，并将其投影到预设好的 BEV 空间中，通过 Transformer 模型将时间和空间维度上的特征融合，以此将感知结果统一，尽可能扩大感知范围、便于后续规控模型操作。

图26: 特斯拉 BEV+ Transformer 模型

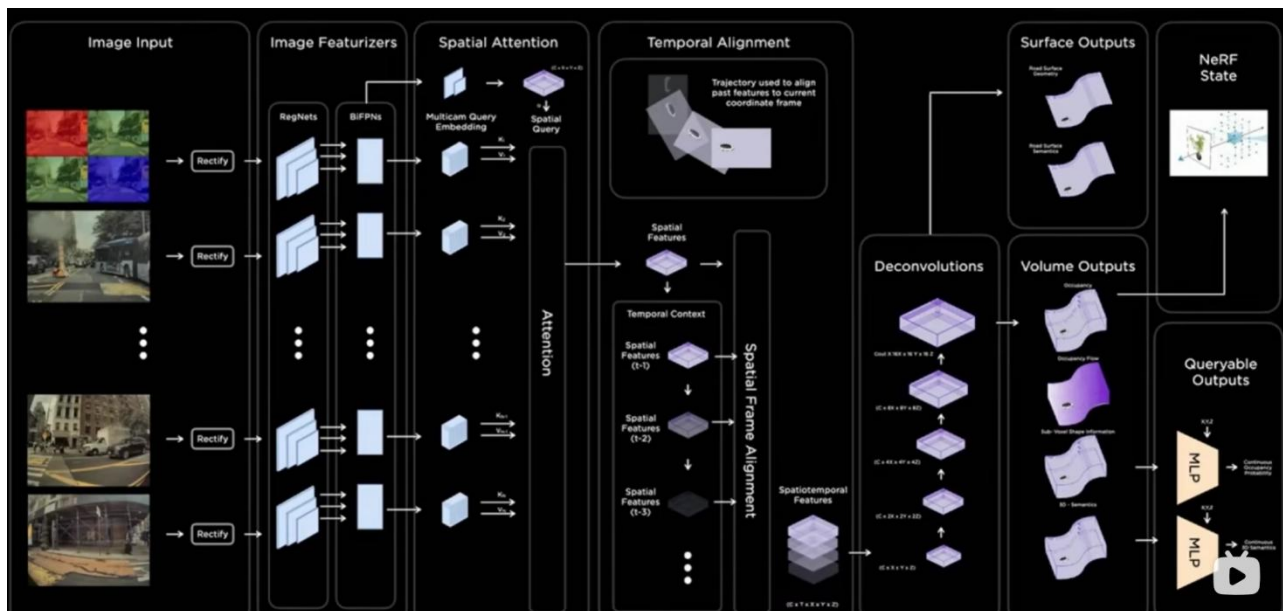


资料来源：特斯拉，国信证券经济研究所整理

Occupancy Networks 负责 3D 空间占用检测

Occupancy Networks 负责识别三维空间占用情况，即每一栅格是否有物体占用。具体而言，是将输入的多视角图像通过 BiFPN 和 CNN 组成的 backbone 网络提取多尺度特征，然后模型通过带 3D 空间位置的 Spatial Query 对 2D 图像特征进行多相机融合，以此生成 Occupancy Features 替代了原本的 BEV Features。随后对不同时间及空间下的图像特征进一步融合，以此获得带有时序信息的 4D Occupancy 特征。特征融合后，Occupancy 将整个 3D 空间分割成一个个小栅格，并通过解码器输出每个栅格的空间占据概率等信息。算法从关注目标识别转向空间占用和语义分割，并据此进行道路规划，解决自动驾驶实际运行中存在没经过训练的数据无法被识别问题。

图27: CVPR 2022 分享的 Occupancy Networks 模型框架

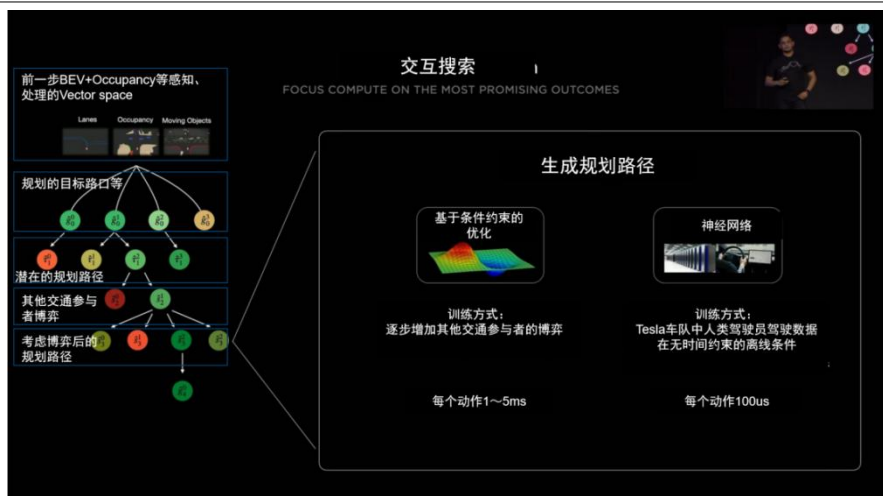


资料来源：特斯拉，国信证券经济研究所整理

● 规控层，融入神经网络加速路径规划

特斯拉规控方案兼顾算法安全及算法耗时两方面。智能驾驶规控的核心目标是实现出发地到目的地间平衡最佳安全性、舒适性、驾乘时间和体验的路线，并驱使车辆顺利到达。其中在存在标识复杂路口或者众多交通参与者互动等场景，实现高效路径规划是核心。传统思路为尽量减少与其他交通参与者互动、做联合多物体的路径规划，但耗时长、用户体验差；特斯拉创新性引入交互搜索方案，1) 接收上一步通过 BEV+Transformer 等多种大模型处理后的感知数据；2) 通过接收到的 vector space 找到要去的路口、车道线等地点；3) 做一条初始的路径规划；4) 考虑场景中存在的其他交通参与者可能出现的博弈；5) 重新进行路径规划。当人类驾驶员操控车辆，而系统后台规划决策与人类驾驶员行为不一致时，该场景特征通过影子模式上传至数据集参与后续训练。路径规划过程逐步增加约束条件(其他交通参与者博弈行为)，并和神经网络结合，一方面保留约束规则保证规控层的安全、稳定；另一方面通过神经网络为模型加速。

图28: 特斯拉交互搜索解决多交互场景路径规划

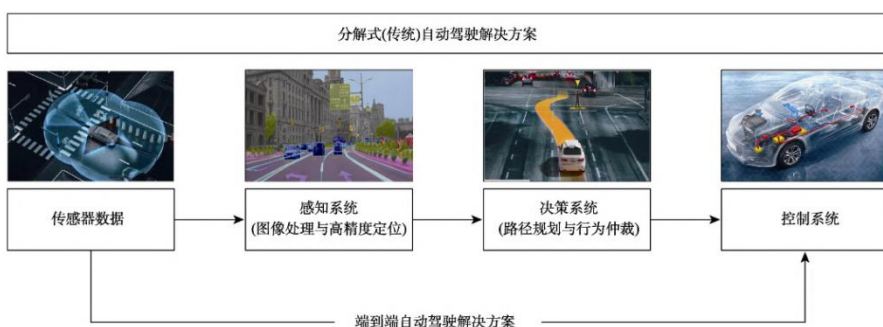


资料来源: Tesla AI Day、网易, 国信证券经济研究所整理

2023 年之后, 智能驾驶进入端到端 AI 新时代

智能驾驶模型下一步迭代方向是端到端 AI 模型, 以加大数据量换取系统复杂度和开发难度降低。端到端的智能驾驶方案将传统方案中感知、规划、执行等多个模型变成融合大模型, 实现直接输入传感器数据到输出转向、刹车等驾驶指令的突破。一方面减少感知、决策等中间模块的训练过程, 有效集中模型训练资源; 避免产生数据多级传输导致的误差; 同时也不存在各子模块目标与总系统目标存在偏差的情况, 保证效益最大化。

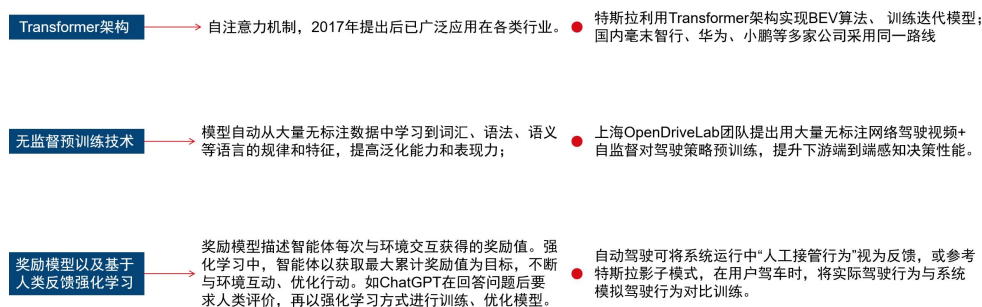
图29: 分解式及端到端的智能驾驶方案



资料来源: 许宏鑫, 吴志周, 梁韵逸. 基于强化学习的智能驾驶汽车路径规划方法研究综述[J/OL]. 计算机应用研究:1-8[2023-07-05]., 国信证券经济研究所整理

端到端 AI 模型并不是新概念, 实际上它被应用于各行各业, 最典型即 ChatGpt, 从输入人类语言直接输出所需要的人类语言, 不需要经过其他的模型做进一步的机器语言翻译。从算法上看, 作为 openai 推出的语言大模型, 基于 Transformer 模型的端到端生成式对话系统, 创新性使用基于人类反馈数据的系统进行模型训练, 具体而言是将系统输出的预测结果与真实结果之间形成的误差反向传播到模型中重新训练, 调整权重和参数直至模型收敛(模型结果稳定, 不会因为小的失误产生大波动)或者达到预期。Chatgpt 向智能驾驶及其他行业提供优化人与机器交互、提升数据训练效率等方向的思路。

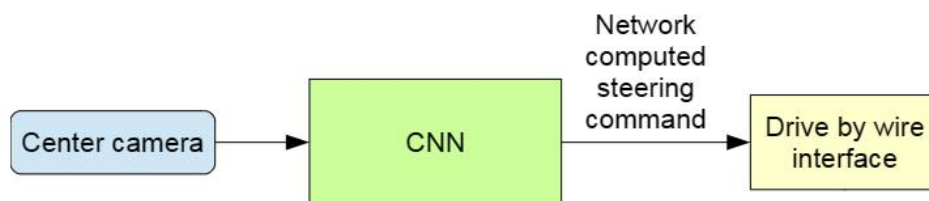
图30: Chatgpt 的部分核心技术对其他行业模型同样存在启示作用



资料来源：毫末智行官微、Wu, Peng et al. "Policy Pre-training for Autonomous Driving via Self-supervised Geometric Modeling." International Conference on Learning Representations (2023)., 国信证券经济研究所整理

智能驾驶层面，端到端最早出现在 1988 年的 ALVINN 实验中，实验者将一个摄像头装在真实车辆上，通过浅层神经网络实现图像特征提取，同时采集人类驾驶员动作，实现速度 0.5m/s 下 400 米的端到端无人驾驶。随后 2016 年，英伟达公布无人驾驶系统 DAVE-2，结合近三十年的算力、算法等技术发展，其在 ALVINN 基础上增加摄像头和数据量，将浅层神经网络更新成先进的深度卷积神经网络以获得更好的特征提取效果，实现采集不到一百小时的训练数据足以训练汽车在高速公路、普通公路以及晴天、多云和雨天等多种情况下运行，路测数据显示 98% 时间为智能驾驶。

图31: 训练完成后的 DAVE-2 可从单个前置中央摄像头生成转向命令



资料来源：Bojarski M, Del Testa D, Dworakowski D, et al. End to end learning for self-driving cars[J]. arXiv preprint arXiv:1604.07316, 2016., 国信证券经济研究所整理

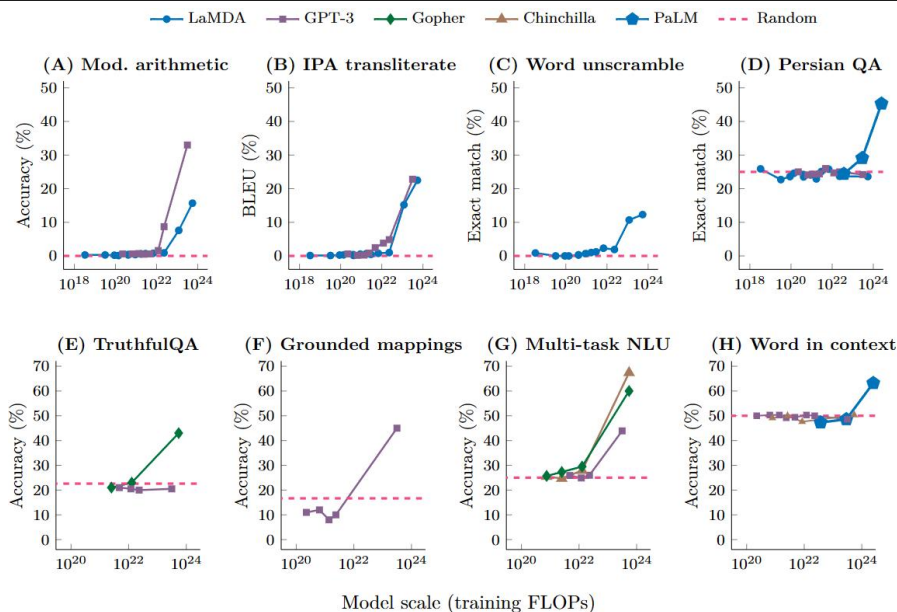
2023 年，马斯克提出 FSD V12 版本将实现端到端的 AI 驾驶方案，特斯拉方案具备的天然优势有望引领智能驾驶模型迭代提速。端到端模型发展多年，英伟达、商汤等陆续提出方案，但是受限于算法、数据等限制始终没有大规模落地。2023 年特斯拉提出 FSD V12 版本将实现端到端的 AI 驾驶方案，从输入图像到输出控制的操作更为直观、流畅，同时和 FSD 多年技术积累契合。

1) 传统的智能驾驶涉及雷达、摄像头、V2X 等多样化数据来源，数据存在不同的格式和维度，同时还需要考虑定位和地图的输入，很难放入统一的模型网络中；而特斯拉将采用视觉方案，重感知、轻地图，利用 BEV 网络+Transformer 架构实现了多视角视图的特征级融合，同时避免了雷达等传感器高成本问题。纯视觉方案存在难以识别没有经过训练的场景问题，即模型难以泛化，而特斯拉引入了 Occupancy network 实现输入 2D 图像到输出 3D 空间重建，算法端能力得到验证。

2) 端到端模型将分解式模型中多个参数联合学习、拟合数据的实际分布情况、根据新的输入数据输出概率模型；根据大数定律，随机事件会在大量重复实验中收敛，即数据越多、拟合效果越好；端到端模型往往需要更大量的数据样本及算力支持。而特斯拉全球车队截至今年 5 月总行驶里程已经超过 1000 亿英里，根据特

斯拉官网，特斯拉用于优化系统的 autopilot 行驶里程数据已经超过 90 亿英里。

图32: 参考语言类大模型，模型规模提升到一定程度后出现性能骤升



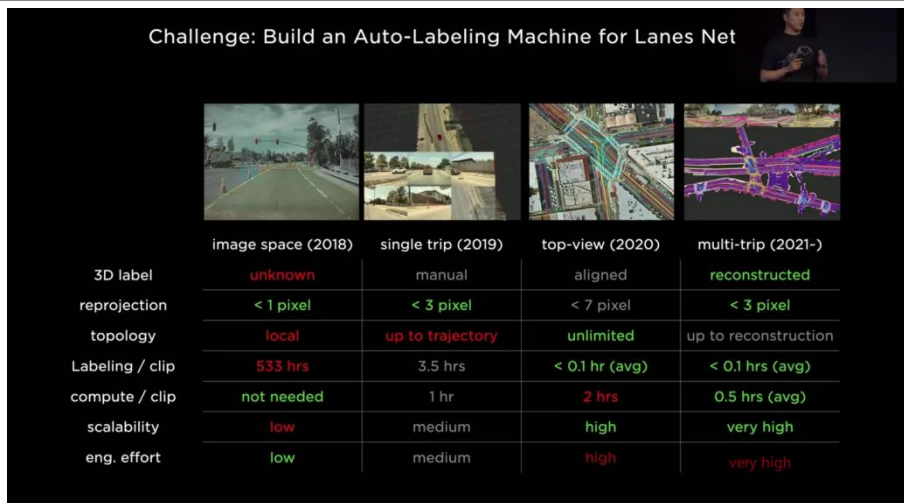
资料来源: Wei J, Tay Y, Bommasani R, et al. Emergent abilities of large language models[J]. arXiv preprint arXiv:2206.07682, 2022., 国信证券经济研究所整理

数据层面：构建数据闭环，可扩展智算中心适配训练量提升

数据闭环是高阶智能驾驶的必经之路。大模型及端到端模型训练均需要大量数据，特斯拉构建数据采集→搭建数据集→自动标注→送入模型训练→量化部署上车的数据闭环。

在数据采集层面，智能驾驶系统需要大量数据提供模型测试和优化，尤其是多样化、包含 corner case、标注深度、速度、加速度信息的数据。特斯拉基于数据集训练算法、通过云端部署到拥有影子模式（Shadow Mode）的车队中，影子模式在司机驾驶时运行但不控制车辆，运行算法中人类驾驶员行为与系统模拟行为不一致时，系统将此场景识别为“corner case”并上传搭建数据集，并用于后续的模式训练迭代。特斯拉智能驾驶数据集中的数据来自人工标注、自动标注、虚拟仿真及大规模生成四部分。人工标注是最传统的数据来源，直到 2018 年时，特斯拉还在 2D 图像上采用人工标注，但效率低、难以满足模型迭代需求。2019 年，特斯拉开始使用自动标注取代人工贴标，效率获得大幅度提升。特斯拉通过运行中的车辆采集数据，将包含图像、IMU、GPS 等数据的视频图像上传至服务器，对图像做预处理、输出深度等信息，再以 SLAM 等 AI 模型实现三维场景重建。标注效率显著提升，但考虑智能驾驶存在众多无法穷举的“corner case”场景、难以标注场景，特斯拉推进虚拟仿真及大批量生成，公司用尽量真实的传感器模拟和渲染设计虚拟数据，进一步扩充数据集丰富度。

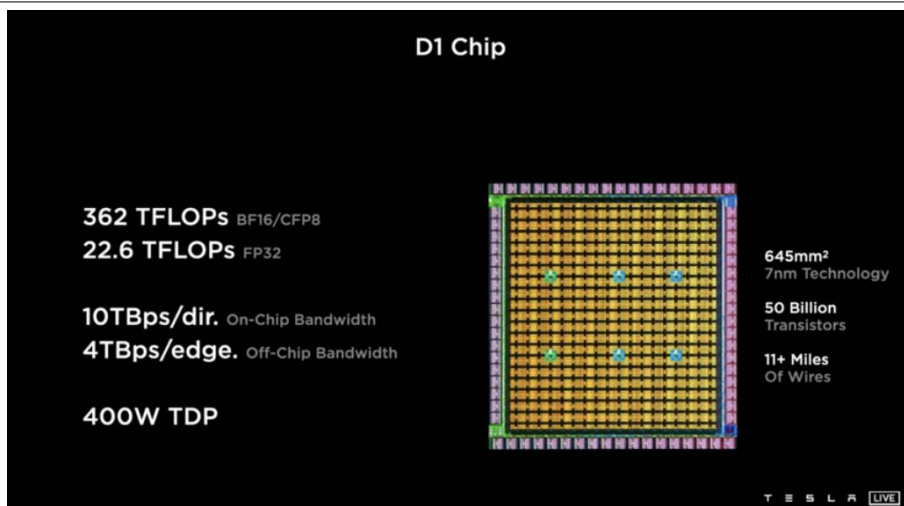
图33: 特斯拉推进数据的自动标注



资料来源：特斯拉投资者交流日，国信证券经济研究所整理

数据中心端，可扩展性结构适配智能驾驶模型。Transformer 模型进一步奠定大模型领域主流算法结构，特斯拉自研 FSD 芯片提升车端智能驾驶算力；同时大数据量上车催化了算力需求的提升，数据训练中心算力需求同比提升。特斯拉 2021 年研发 AI 芯片 D1，同时将 25 个 D1 芯片封装成一个训练模块，达成 9 Petaflops 的算力，随后再将训练模块组成机柜，达到 1.1 EFLOP 算力，进一步提升数据训练中心能力。与特斯拉另外用 5760 个 Nvidia A100 构建的 1.8 EFLOPS 超算中心相比，DOJO 的特色不在于算力的突破性进展，而是通过对称的分布式架构实现高扩展性；具体而言，通过 2D Mesh 架构连接形成互联对称、内存访问对称，同时具备分布式架构，每个 Node 都具有相同的处理能力和存储能力，可以实现增加机器但不影响模型运行性能的可扩展性，使模型开发和训练不会受模型分割等影响。

图34: 特斯拉自研 AI 芯片 D1

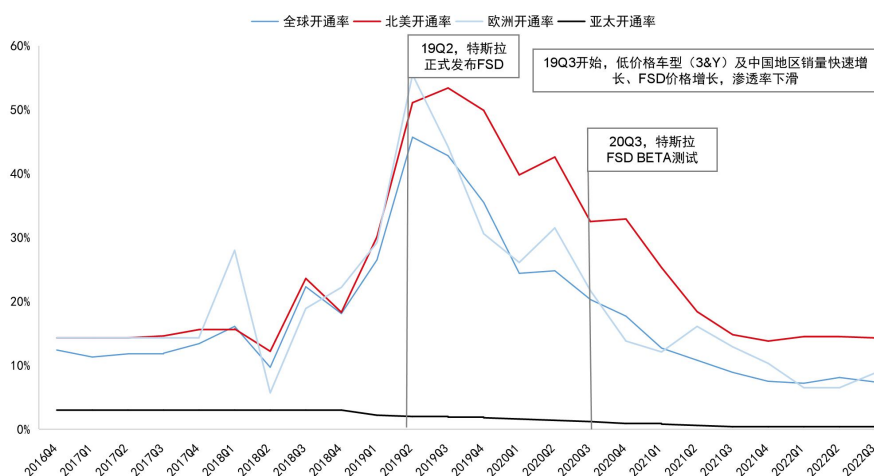


资料来源：特斯拉投资者交流日，国信证券经济研究所整理

用户层面：目前整体渗透率偏低，FSD 入华或将加速

2016 年之前，特斯拉的辅助驾驶功能分为 autopilot 及 enhanced autopilot 两档，前者标配，包括交通感知巡航控制、自动辅助转向两项功能；后者提供高速导航、自动变道、自动泊车、智能召唤功能，需要购车时额外付费 5000 美元购买（购车后需要 6000 美元）。2016 年特斯拉推出 FSD 预定，当时并没有给出功能，只需要在购车时额外增加 3000 美元可以获得预定；2019 年第二季度特斯拉正式发布 FSD 应用版本，价格增长至 5000 美元，同期取消 enhanced autopilot 购买；FSD 订购率飙升至历史最高。此后，随着低价格车型（3&Y）及中国地区销量快速增长、FSD 价格增长，2019 年第三季度开始 FSD 渗透率呈现下降趋势，截至 2022 年 Q3，特斯拉 FSD 全球订购率在 7.4%，北美和欧洲地区略高，在 14.30%和 8.80%，亚太地区仅为 0.4%。

图35: 特斯拉分地区 FSD 渗透率 (%)

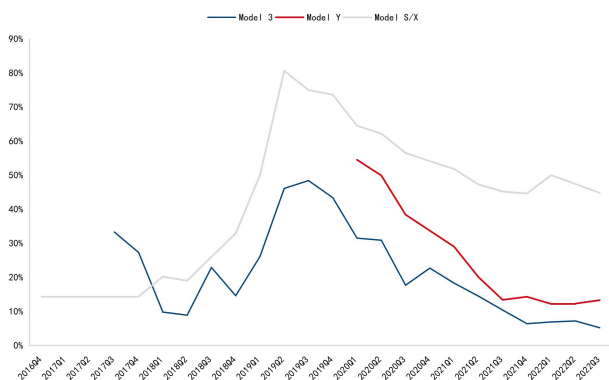


资料来源: Troy Teslike, 国信证券经济研究所整理

低价格车型（3&Y）及中国地区销量快速增长、FSD 价格增长，2019 年第三季度开始 FSD 渗透率呈现下降趋势。

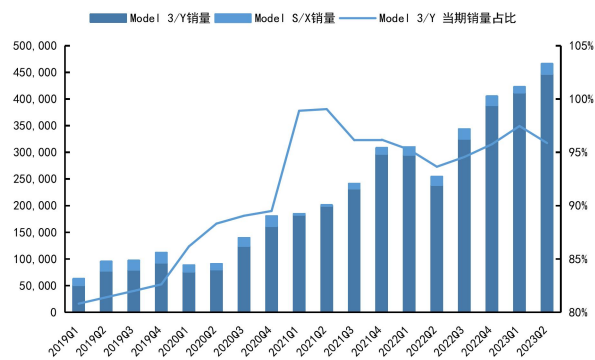
1) 价格较低且 FSD 订购率较低的 Model 3、Model Y 车型销量规模增长。由于不同的产品定位和客户群体，特斯拉不同车型的 FSD 订购率存在较大差异。根据 Troy Teslike 数据，同在北美，model 3 和 model y 的订购率分别为 5.20%和 13.30%，而 model s/model x 处于 44.80%的高位。特斯拉 2016 年推出 model 3，2017 年产品开始交付，产品定价相对较低，销量增长迅速，至 2023 年第一季度，model 3 及 model y 销量已经占据整体销量的 96%，公司整体产品销售结构变化带来 FSD 订购率变化。

图36: 特斯拉北美地区分车型 FSD 渗透率 (%)



资料来源: Troy Teslike, 国信证券经济研究所整理

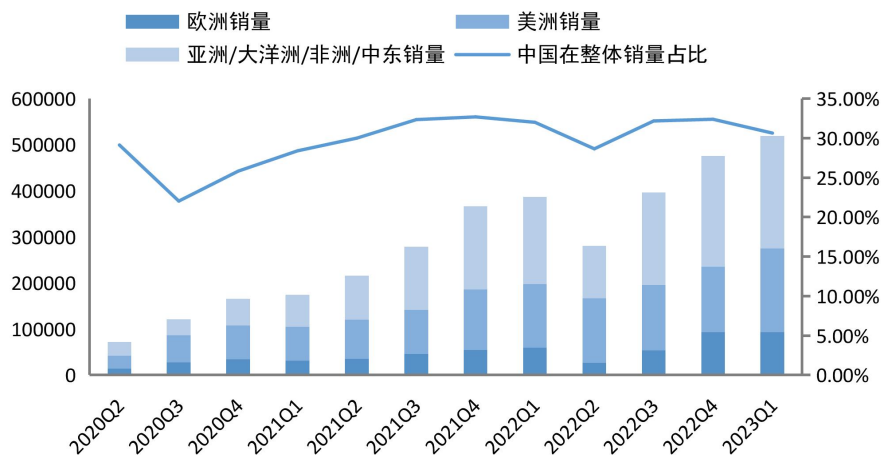
图37: 特斯拉全球分车型销量结构 (单位: 辆, %)



资料来源: wind, 国信证券经济研究所整理

2) 尚未完全开放 FSD 功能的中国为代表的亚太地区销量规模增长。国内特斯拉销量持续增长, 截至 2023 年第一季度, 中国地区特斯拉销售车型累计超过 153 万台, 但是由于数据安全问题, 特斯拉尚未能向中国地区用户完全开放 FSD 功能, 目前国内用户手册上并没有完全智能驾驶能力 (Beta) 功能, 支付 6.5 万元费用后所得体验仅为标配 AP (自适应巡航、车道保持)+EAP (高速上自动辅助导航、高速上自动辅助变道、智能召唤、自动泊车), 而 EAP 单独售价仅为 3.2 万元, 国内 FSD 订购率极低。

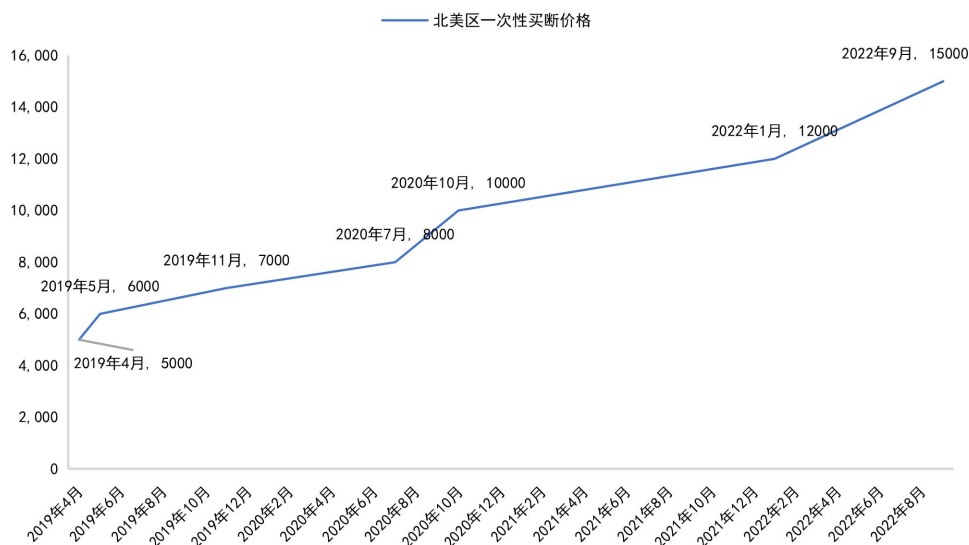
图38: 特斯拉全球分区域销量结构 (单位: 辆, %)



资料来源: Marklines, 国信证券经济研究所整理

3) FSD 价格一路上涨。2016 年北美 FSD 售价为购车时在 EAP 基础上增加 3000 美元预订或购车后支付 4000 美元预订; 在 2019 年 4 月, 特斯拉正式发布 FSD 应用包, 价格上涨至 5000 美元, 经过多轮涨价, 最新到 2023 年的 V11 版本, FSD 售价跃升到 15000 美元。随价格上涨, 特斯拉陆续增加城区 NOA 等辅助驾驶功能, 一定程度上提升用户体验, 但受法规、技术限制, FSD 整体仍是 L2+ 辅助驾驶, 没有出现跨越性革新。

图39: 特斯拉北美区一次性买断价格持续增长 (单位: 美元)



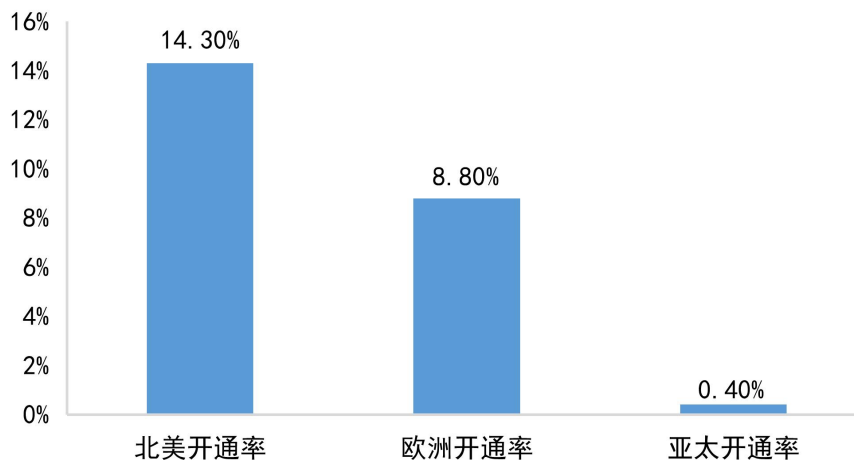
资料来源: elon mask twitter、车智、not a tesla app、汽车之家, 国信证券经济研究所整理

截至 2022 年 Q3, 特斯拉 FSD 全球订购率在 7.4%, 北美和欧洲地区略高, 在 14.30% 和 8.80%, 亚太地区仅为 0.4%。马斯克提出全面智能驾驶时代今年年底即将到来。而我们预计随 FSD 进入中国, 澳洲、德国等地持续开放 FSD BETA、V12 端到端版本推出以及 Robotaxi 落地, FSD 渗透率持续提升。

1) **FSD 若进入中国, 将有效提升亚太地区渗透率。**截至 2023 年第一季度, 中国地区特斯拉销售车型累计超过 153 万台, 但亚太地区整体 FSD 渗透率水平不到 1%, 待开发市场广阔。我们认为 **FSD 完全进入中国关键在于数据**。1) 数据获取: 特斯拉最新的 BEV+Transformer+Occupancy networks 大模型摆脱高精地图限制, 但根据自然资源部规定, 特斯拉智能驾驶辅助系统运行、服务和道路测试过程中对车辆及周边道路设施空间坐标、影像、点云及其属性信息等进行采集、存储、传输和处理的行为属于测绘, 外商投资企业应委托具有相应测绘资质的单位开展相应测绘活动, 由被委托的测绘资质单位承担收集、存储、传输和处理相关空间坐标、影像、点云及其属性信息等业务及提供地理信息服务与支持。2) 数据中心的存储及训练: 2021 年 5 月 12 日, 国家互联网信息办公室发布《汽车数据安全若干规定(征求意见稿)》提出, 个人信息或者重要数据应当依法在境内存储, 确需向境外提供的, 应当通过国家网信部门组织的数据出境安全评估。

马斯克在 2021 年 9 月世界互联网大会上提出, 特斯拉已在中国设立数据中心, 将中国业务产生的所有数据本地化, 包括生产、销售、服务和充电。初步解决个人数据存储问题, 未来进一步解决自动驾驶数据存储及自动驾驶模型本地化迭代难题后, 在国内外法规加速落地情况下, 中国及亚太地区渗透率有望加速提升。

图40: 亚太地区 FSD 开通率极低 (2022 年 Q3)



资料来源: Troy Teslike, 国信证券经济研究所整理

2) **澳洲、德国等地 FSD BETA 开启推送。**特斯拉 2020 年 10 月推出 FSD BETA, 首次推出仅向美国少数用户开放测试, 需要用户主动申请并通过安全评分系统评估; 2022 年 2 月, 该功能向加拿大少数用户开放; 2022 年 11 月, 特斯拉向全北美用户开放测试权限, 用户申请即可使用。直到 2023 年 5 月, 根据 Teslascope 平台, 特斯拉 FSD BETA 首次在澳大利亚、德国、比利时开启推送, FSD BETA 首次向北美以外地区拓展, 欧洲、澳洲渗透率有望提升。

表6: 特斯拉 FSD BETA 逐步扩大测试范围

开放时间	开放地区	涉及人群
2020 年 10 月	美国	少数用户开放测试, 需要用户主动申请并通过考核
2022 年 2 月	加拿大	
2022 年 11 月	全北美	所有用户, 购买、申请即可用
2023 年 5 月	澳大利亚	个位数用户开放测试
2023 年 5 月	德国、比利时	

资料来源: 智行驾道、Teslascope, 国信证券经济研究所整理

3) **FSD V12 带来端到端模型革新。**FSD 自 2019 年正式推出后, 经历几轮涨价和多次系统更新, 比如 2020 年 FSD BETA 版推出城区自动转向, 2022 年 11 月将高速公路辅助驾驶系统融入 FSD BETA 版本。但是受限于法规等限制, 并没有推动真正的功能性革新。马斯克今年提出 FSD V12 版本将去掉“BETA”, 启用端到端的自动驾驶大模型, 将多年来行业通用的感知、规划几个模型融合成大模型, 减少中间模型训练工作量、加速自动驾驶算法迭代、提升用户体验。新一代大模型落地后, FSD 系统渗透率有望进一步提升。

表7: 特斯拉 FSD 正式发布后历史价格及功能梳理

时间	北美区版本	主要更新功能	北美区售价	国内功能	国内售价
2019年4月	FSD 2019.12.1	增强型召唤辅助泊车; 自动变道; 哨兵模式	5000 美元	标配 AP (自适应巡航、车道保持) +EAP (高速上自动辅助导航、高速上自动辅助变道、智能召唤、自动泊车)	
2019年5月	FSD 2019.16.2	自动辅助转向; 行程规划	6000 美元		
2019年11月	FSD 2019.36.2	预定出发时间; 钥匙泊车; 上车前关联日历等信息的道路规划	7000 美元		56000 元
2020年7月	FSD 2020.24.6	自动驾驶交通信号灯和停车标志控制	8000 美元		
2020年10月	FSD BETA	自动变道/根据导航上下高速, 主动避让路上的人和车以及障碍物; 城区自动转向	10000 美元		
2022年1月	FSD BETA V10.6	针对交通载具优化目标检测网络架构, 识别精度提高, 新的可见性网络平均相对误差降低 18.5%, 在高曲率和夜间情况下, 新通用静态目标网络的检测精度提高 17%	12000 美元		
2022年9月	FSD BETA V10.69	添加“深度车道引导”模块, 将视频流中提取特征与粗略地图数据融合; 增加基于慢速移动的不明物体进行控制规划; 升级占用网络, 使用视频而非单一时间图像等。	15000 美元		64000 元
2022年11月 (更新时间)	FSD BETA V11	高速公路启用 FSD Beta; 改进占用网络在雨水反射等路况表现等;	15000 美元		
预计一年内	FSD V12	感知、规划几个模型融合成端到端大模型, 自动驾驶系/迭代加速。			

资料来源: elon mask twitter、not a tesla app、汽车之家、国信证券经济研究所整理

4) Robotaxi 预计 2024 年量产, B2C+C2C 双模式拉动 FSD 渗透率提升。马斯克在 2016 年提出共享车队概念, 提出车主可以将自己的车加入共享车队, 同时特斯拉会在需求旺盛的地区布局自己的车队; 2019 年明确指出特斯拉车主可以选择将自己的车加入到 Robotaxi 中, 特斯拉会从其中抽取 25%~30% 分成的商业模式。2022 年马斯克重申 Robotaxi 将于 2024 年量产, 采用无方向盘或者踏板设计。按照特斯拉官方测算, Robotaxi 出行成本低至每英里 0.18 美元以下, 远低于目前的出行费用 (如深圳滴滴快车每公里收费 2-2.5 元, 折合传统/拼车每英里 0.5-0.7 美元), Robotaxi 落地空间广阔。马斯克预计每辆 Robotaxi 每年可带来超 3 万美元的利润, 可连续载客 11 年。B2C 模式增加特斯拉配 FSD 车型出货量, C2C 模式提升客户订购率, Robotaxi 落地后, FSD 渗透率有望持续上行。

国内公司积极布局高阶智能驾驶, 大模型快速推进

高阶智能驾驶将人从操作车辆中解放出来, 显著提升驾乘体验, 预期拥有极高用户粘性, 同时将车企定位从传统制造业转向科技行业, 收费模式从整车交易的一锤子模式转向持续付费, 公司投资意愿较强。华为、小鹏等公司积极布局、快速推进大模型发展, 带动产业链上下游充分受益。

特斯拉引领, 国内新势力积极跟进大模型布局

特斯拉 BEV+Transformer+Occupancy networks 大模型引领潮流后, 华为、小鹏等多家公司走向摆脱高精地图依赖道路。根据九章智驾信息, 小鹏汽车发布 XNet, 采用多相机多帧的方式把来自每一个相机的视频流直接注入到一个大模型深度学习网络里, 进行多帧时序前融合, 输出 BEV 视角下的动态目标物的 4D 信息 (如车辆, 二轮车等的大小、距离、位置及速度、行为预测等), 以及静态目标物的 3D 信息 (如车道线和马路边缘的位置)。理想汽车 2023 年 6 月 17 日召开家庭科技日发布会, 其城市 NOA 不依赖高精地图, 采用增强 BEV 大模型, 配备的自动驾驶训练算力达 1200PFLOPS, 还有 6 亿公里训练里程, 当月开启北京和上海城市 NOA 内测; 通勤 NOA 在用户自主设定通勤路线下 1-2 周内可以完成训练, 预计通勤 NOA 下半年开放。华为 ADS 于 2020 年首次亮相, 1.0 版本实现基于 Transformer 的 BEV 架构, 今年发布的 2.0 版本增加独家自研 GOD 网络, 通过激光雷达、毫米波雷达、

摄像头等多传感融合感知，具备识别异形障碍物能力，实现无高精地图智能驾驶。华为智能驾驶方案与长安阿维塔、赛力斯问界、北汽极狐等深度合作，预计今年第三季度将实现 15 个无图城市落地，年末达到 45 城无图驾驶落地。

表8: 自动驾驶公司感知大模型配置情况

公司	自动驾驶	模型	上车情况	算力芯片	云端数据中心集群算力	自动驾驶训练里程	价格
特斯拉	FSD	BEV+Transformer (鸟瞰图)	Model 3& Model Y	自研 FSD	21 年 6 月披露正搭建 1.8 exaflops 算力训练机群, 同年发布超算 Dojo, 24 年 10 月算力总规模将达 100 ExaFlops	FSD BETA 行驶里程数据超过 1.5 亿英里 (23Q1)	15000 美元 (一次性购买)
小鹏汽车	XNGP	BEV+Xnet (不依赖高精地图智驾)	G9 等	NVIDIA Orin-X*2	600PFLOPS	/	XPiLOT 版-39.99 万元; XNGP 版-41.99 万元
理想汽车	AD MAX 3.0	BEV+Transformer +NPN+TIN (加入交叉路口和信号灯调整网络)	L9 等	NVIDIA Orin-X*2	1200PFLOPS	超 6 亿公里	AD Pro 版-35.98 万元; AD Max 版-39.98 万元
蔚来	NAD/nop+	BEV (7 月开始)	ET5 等	NVIDIA Orin-X*4	/	/	680 元/月
华为汽车	ADS 2.0	BEV+Transformer +GOD 网络 (占用空间网络)	问界 M5、阿维塔 11	单板的 MDC610	/	/	一次性购买 36000 元, 包年 7200 元, 包月 720 元
毫末智行	Hpilot 3.0	BEV+Transformer +DriveGpt	新摩卡 DHT-PHEV	-	-	4000 万公里	17000 元
百度	Apollo ANP3.0	BEV 环视三维感知+文心大模型	集度 ROBO-01	NVIDIA Orin-X*2	200PFLOPS (昆仑芯 (盐城) 智算中心)	/	/
商汤	绝影领航	环视感知算法 BEVFormer	广汽埃安 AION LX Plus、哪吒 S 等	具备对各类主流芯片及异构式计算平台适配性与可移植性	4910PFLOPS (目前投入使用的 1 期为 3740PFLOPS)	/	哪吒 S 标配

资料来源: 汽车之家、CSDN、腾讯网、搜狐网, 国信证券经济研究所整理

大模型助力成本下降, 自动驾驶空间广阔

大模型上车强化视觉算法弱化成像雷达, 有望实现感知硬件整体降本。大模型落地有效减少高精地图依赖, 弱化成像雷达作用, 考虑中国存在很多城区快速建设、道路频繁变化的城市, 如果在没有大模型帮助下落地城区 NOA, 会受限于高精地图及成像雷达高成本 (头豹研究院指出高精地图辅助智能驾驶的服务费预估每辆车为 700-800 元/年, 是普通导航电子地图的 20-35 倍)。大模型加速车企上车城区辅助驾驶, 同时减少车企的传感器硬件配置压力, 华为 ADS 2.0 版本使用 1 个激光雷达、3 个毫米波雷达、11 个摄像头组及 12 个超声波雷达, 相对 ADS 1.0 方案减少 2 个激光雷达; 特斯拉 FSD 也逐渐取消毫米波雷达及超声波雷达的传感器。未来整车传感器成本有望持续下降, 自动驾驶市场空间提升。

表9: 城区 NOA 进程

公司名称	城区 NOA 进程	变动前传感器	变动后传感器
特斯拉	2020 年 10 月, FSD BETA 支持城区 NOA (非国内)	16-21 年使用 3 个前置摄像头+2 个侧面相机+2 个侧面后置摄像头+1 个前置毫米波雷达+12 个远程超声波雷达, 21 年后逐步取消雷达	
小鹏	2022 年 9 月上线城市 NGP	出口荷兰、瑞典、丹麦和挪威上市的 G9 减少雷达	
理想	2023 年 6 月北京、上海开放城市 NOA 内测	最新申报 L9 Pro 取消雷达	
蔚来	下半年开启 NAD 服务中“城区 NOP+服务”的上海区域先锋体验	/	
问界	2023 年 7 月开放上海、广州、深圳、重庆、杭州 5 城的成熟 NCA	华为 ADS 1.0 使用 3 个激光雷达、3 个毫米波雷达、11 个摄像头组以及 12 个超声波雷达; ADS 2.0 减少 2 个激光雷达	

资料来源: 高工智能汽车、公司官网、36 氪、太平洋汽车、汽车之家、路咖汽车, 国信证券经济研究所整理

预计 2025 年国内带城区辅助驾驶功能的自动驾驶市场规模 510 亿元; 远期市场规模随技术进步将持续增加。我们预计随车企硬件方案降本及高阶自动驾驶能力上车, 2025 年带城区辅助驾驶功能的自动驾驶渗透率将从目前的 0.4% 提升到 6%

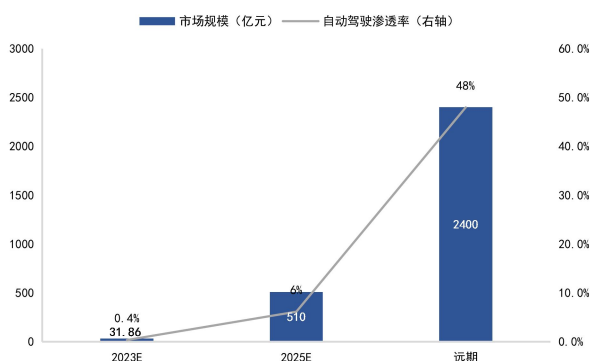
水平，按照国内乘用车销量 2430 万辆，自动驾驶单车价值 34000 元买断预估，国内市场规模将到 510 亿元水平。我们认为用户对自动驾驶产品的定价与自身成本息息相关，用户选择以自动驾驶产品取代人类司机的底层逻辑是以机器取代人力，当自动驾驶软硬件厂商进步，产品供给曲线右移，产品会触及更多自身驾车时间成本或人力工资成本稍低的用户，即远期看，稳态下自动驾驶需求量有望持续增加，远期市场规模约为 2880 亿元。

表10: 国内含城区辅助驾驶的自动驾驶市场规模

	2023E	2025E	远期
车型	小鹏 G6、G9、P7i；问界 M5	小鹏、理想、问界、蔚来、特斯拉等	绝大部分乘用车企
预计车型销量（万辆）	17.7	300	2400
乘用车总销量（万辆）	2391.8	2430	3000
带城区辅助驾驶车型渗透率	1%	12%	80%
付费率	50%	50%	60%
自动驾驶渗透率	0.4%	6%	48.0%
智驾价格（元/买断）	36000	34000	20000
市场规模（亿元）	31.86	510	2880

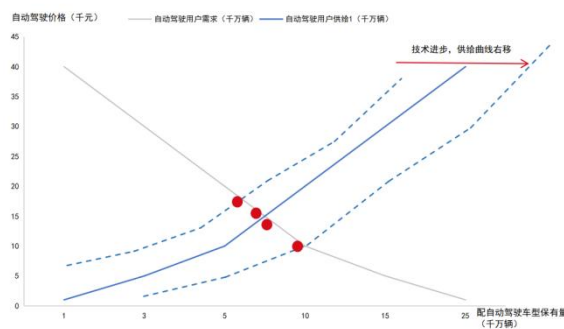
资料来源：搜狐汽车、国信证券经济研究所整理（注：小鹏仅 max 版标配城区 NGP 系统，销量预测全部车型）

图41: 中国乘用车含城区辅助驾驶的自动驾驶市场规模



资料来源：搜狐汽车、国信证券经济研究所整理（注：小鹏仅 max 版标配城区 NGP 系统，销量预测全部车型）

图42: 自动驾驶厂商技术进步，产品价格下降、稳态需求增多



资料来源：国信证券经济研究所整理

数据需求提升，部分公司布局智算中心

当前的智能驾驶模型普遍基于深度学习构建，前期输入大量数据训练模型，使得模型具备类似人类驾驶员的感知、规划、执行能力，并通过训练矫正其行为。同时考虑现实存在 corner case，智能驾驶模型上车后也需要不断接收用户数据或使用仿真数据对模型迭代训练。随智能驾驶等级提升以及越来越多的大模型算法上车，数据计算量增大，算力要求提高，为匹配数据量增长并做好后续大规模数据训练准备，部分公司开始布局智算中心。

根据国家信息中心定义，智算中心是智能时代面向社会全域多主体的新型公共基础设施，集算力生产供应、数据开放共享、智慧生态建设和产业创新聚集四大功能于一体，为有海量数据存储、处理、分析及应用支撑需求的各类场景提供载体支撑，提供包括生产、聚合、调度、释放算力四个环节能力；1) 生产算力，基于强大服务器和多种算力芯片，对智能驾驶模型提供数据处理、训练；2) 聚合算力，

采用最新网络和存储技术实现文件、对象、块、大数据存储服务一体化及同一架构上不同应用件数据融合，并在需要时将数据高效传出；3) 调度算力，基于智能驾驶系统对算力的需求特点，通过虚拟化、容器化等技术，CPU、GPU、FPGA、ASIC 等算力资源进行标准化和细粒度切分，满足多样化需求，保障系统开发和业务的高效运行。4) 释放算力，采用全流程软件工具，针对不同场景应用需求，通过机器学习自动化的先进方法产出高质量模型或服务。

图43: 智能计算中心总体架构图



资料来源：《智能计算中心规划建设指南》，国信证券经济研究所整理

智算中心建设周期长，初始投资大，主机厂出于算力需求开始建设。但是高阶智能驾驶模型尤其是端到端模型数据计算量巨大，部分有实力的主机厂及企业已经开始布局。参考佐思汽车信息，2023年1月，吉利汽车的星睿智算中心正式上线，总投资10亿元，规划机柜5000架。该中心目前的云端总算力达81亿亿次每秒，预计到2025年，算力规模将扩充到120亿亿次每秒；覆盖包括智能网联、智能驾驶、新能源安全、试制实验等业务领域，提升吉利整体20%研发效率。特斯拉的dojo超算中心进一步提升其综合业务能力（智算中心是CPU+AI芯片，针对特定的人工智能行业赋能；超算中心采用CPU+GPU的芯片架构，可针对行星模拟、工程仿真等多种领域实现通用化大精度计算赋能）。

表11: 目前汽车行业的智算中心建设情况

公司分类	公司名称	智算中心	发布时间	芯片	算力	应用领域
自动驾驶公司	 HAOMO.AI	雪湖·绿洲智算中心(与火山引擎联合)	2023.01	/	670PFLOPS	自动驾驶领域大模型训练
	 inspur	淮海智算中心(与宿州市政府合作)	2022.07 开工, 暂未建成	多元异构 AI 芯片结构, 接入国内外十余款芯片, 支持多元芯片融合	300PFLOPS	影视动画、自动驾驶、新材料、生物制药等
供应商	 商汤	上海 AIDC	2022.01	/	总算力 4910PFLOPS (目前投入使用 1 期为 3740PFLOPS)	产业、科研、政务、自动驾驶等领域; 自动驾驶方面: 超大模型自动标注
	 百度	百度智能云-昆仑芯(盐城)智算中心	2022.05	自研昆仑芯	200PFLOPS	主要为自动驾驶全链路开发提供支持服务
	 百度	百度阳泉智算中心	2022.12	/	4 EFLOPS	为大搜索、度秘、智能云、人工智能、智能驾驶等重要业务提供服务
主机厂	 HUAWEI	Atlas 900 AI 集群	2019.9	数千个自研昇腾 910, 单个算力 320TFLOPS	~1024 PFLOPS	探索宇宙奥秘、预测天气、勘探石油, 加速自动驾驶的商用进程
	 TESLA	基于英伟达 GPU 的大型超算	2021.6	5760 个英伟达 A100, 单个算力 312TFLOPS	1.8 EFLOPS	Autopilot 系统及全自动驾驶的 AI 开发工作
	 TESLA	Dojo(自研)超算中心	2021.08	3000 个自研 D1 芯片, 单个算力 362 TFLOPS	1.1 EFLOPS	用于人工智能机器学习, 帮助训练其自动驾驶视觉技术等
	 小鹏汽车	扶摇智算中心(与阿里云联合打造)	2022.08	/	600PFLOPS	专用于自动驾驶模型训练
	 吉利汽车	星睿智算中心	2023.01	/	810PFLOPS	智能网联、智能驾驶、新能源安全、试制实验等领域

资料来源: 佐思汽研、各公司官网、36 氪, 国信证券经济研究所整理

大模型落地推动智能驾驶硬件变革

大模型及高阶自动驾驶落地同样催化硬件配置变革。我们整理了目前特斯拉和国内造车新势力的代表车型智能化配置, 出于硬件预埋角度, 虽然目前国内暂时无法落地高等级自动驾驶, 蔚来等部分车企还是选择配置 30+ 颗传感器, 其中包括 800 万像素摄像头, 为后续高阶智能驾驶落地后 OTA 升级做足准备。我们认为在大模型落地及高阶自动驾驶加速上车的趋势下, 越来越多的车企传感器方案重心会向视觉倾斜, 会有更多的 800 万像素摄像头上车; 同时 1000+TOPS 的大算力域控制器数量增多, 底盘端线控制动和线控转向渗透率也将直线向上。

表12: 国内特斯拉和新势力代表性车型智能化配置

车企	车型	上市时间	ADAS 系统	传感器	智能驾驶芯片	芯片总算力	主要功能
特斯拉	Model 3	2021.12	Autopilot 3.0	前视摄像头*3; 侧视摄像头*4; 后视摄像头*1; 车内摄像头*1; FSD*2	FSD*2	144TOPS	自动辅助变道、自动辅助导航驾驶
	Model Y	2023.03 (工信部申报时间)	Autopilot 3.0	前视摄像头*3; 侧视摄像头*4; 后视摄像头*1; 车内摄像头*1	FSD*2	144TOPS	自动辅助变道、自动辅助导航驾驶
	ET5	2021.12	NAD	33 个感知硬件 (包括 7 个 800 万像素高清摄像头、4 个 300 万像素环视摄像头、1 个高精度激光雷达、5 个毫米波雷达、12 个超声波雷达)	NVIDIA Orin*4	1016TOPS	自适应巡航、自动紧急制动、前向碰撞预警、车道保持系统、车道偏离预警系统、变道预警系统、高速公路驾驶辅助、高速公路导航驾驶、城区道路导航驾驶、360 影像、遥控泊车、自动泊车、记忆泊车、自动代客泊车、弯道辅助系统
蔚来	ET7	2023.04	NAD	33 个感知硬件 (包括 7 个 800 万像素高清摄像头、4 个 300 万像素环视摄像头、1 个高精度激光雷达、5 个毫米波雷达、12 个超声波雷达)	NVIDIA Orin*4	1016TOPS	自适应巡航、自动紧急制动、前向碰撞预警、车道保持系统、车道偏离预警系统、变道预警系统、高速公路导航驾驶、城区道路导航驾驶、360 影像、遥控泊车、自动泊车、记忆泊车、自动代客泊车、弯道辅助系统
	ES6	2023.05	NIO Pilot	33 个车外感知硬件, 包括 11 个摄像头、12 个超声波雷达、5 个毫米波雷达、1 个 1550nm 激光雷达	NVIDIA Orin-X*4	1016TOPS	前向碰撞预警、自动紧急制动、侧方开门预警、车道偏离预警、驾驶员疲劳监测以及盲点监控与变道预警、高速公路导航驾驶、城区道路导航驾驶
	ES8	2022.12	NIO Aquila Super Sensing 蔚来超感系统	摄像头数量 11 (7 个 800 万像素高清摄像头、4 个 300 万像素高感光环视专用摄像头); 超声波雷达数 12; 毫米波雷达数 5; 激光雷达数量 1	NVIDIA Orin-X*4	1016TOPS	车道偏离预警 LDW、前方碰撞预警 FCW、后方交通预警, 倒车侧预警、DOW 开门预警, 高速公路导航驾驶、城区道路导航驾驶
小鹏	G9	2022.09	XPiLOT4.0	车外摄像头*11; 车内摄像头*1; 超声波雷达*12; 毫米波雷达*5; 激光雷达*2	NVIDIA DRIVE Orin*2	508TOPS	自动泊车 APA、高速辅助驾驶、城区辅助驾驶
	G6	2023.07	XNGP	最多 31 个感知元件, Pro 版包括 12 个摄像头、12 个超声波雷达、5 个毫米波雷达; Max 版加 2 个激光雷达	NVIDIA DRIVE Orin*2	508TOPS	城市 NGP 智能导航辅助驾驶、LCC 车道居中辅助、高速自主变道、自主上下匝道
理想	L7	2022.09	理想 AD Pro/Max 系统	车外摄像头*10; 车内摄像头*1; 超声波雷达*12; 毫米波雷达*1; 激光雷达*1 (高配)	低配: 地平线征程 5; 高配: NVIDIA Orin-X	低配: 508TOPS; 高配: 508TOPS	盲区监测、360 环视、自动泊车、高速辅助驾驶、自动变道辅助、城区辅助驾驶
	L8	2022.09	理想 AD Pro/Max 系统	车外摄像头*10; 车内摄像头*1; 超声波雷达*12; 毫米波雷达*1; 激光雷达*1 (高配)	低配: 地平线征程 5; 高配: NVIDIA Orin-X	低配: 508TOPS; 高配: 508TOPS	盲区监测、360 环视、自动泊车、高速辅助驾驶、自动变道辅助、城区辅助驾驶
	L9	2022.06	理想 AD Max 系统	车外摄像头*11; 车内摄像头*1; 超声波雷达*12; 毫米波雷达*1; 激光雷达*1	双 NVIDIA Orin-X	508TOPS	盲区监测、360 环视、自动泊车、高速辅助驾驶、自动变道辅助、城区辅助驾驶
问界	M5 激光雷达版	2023.04	ADS 2.0	车外摄像头*11; 车内摄像头*1; 超声波雷达*12; 毫米波雷达*1; 激光雷达*1	昇腾	200TOPS	高速智驾方面, 可实现高速匝道自主汇入汇出、自动超车避让大车等功能。城区智驾方面, 至 2023 年 Q3 季度, 问界 M5 智驾版 HUAWEI ADS 2.0 将在 15 城实现不依赖高精地图的落地; 至 Q4 季度, 实现 45 城不依赖高精地图的落地。
	M7	2022.07	ADS 1.0	车外摄像头*6; 车内摄像头*2; 超声波雷达*12; 毫米波雷达*3	/	/	盲区监测、360 环视、自动泊车、高速辅助驾驶

资料来源: 九章智驾, 搜狐汽车, 汽车之家, 公司官网, 懂车帝, 国信证券经济研究所整理

我们简单梳理当前智能驾驶各环节硬件配置价值量水平, 以小鹏 G6 为例, 目前小鹏 G6 Max 版搭载 31 颗传感器, 包括 12 颗摄像头+12 颗超声波雷达+5 颗毫米波雷达+2 颗激光雷达, 整车传感器+域控成本约 3 万元。具体看, 预计单个 120 万/500 万/800 万像素摄像头价格为 100~200 元/300~400 元/400~500 元; 超声波雷达单价百元内; 预计 3D 角雷达单价为 200~300 元; 3D 前雷达单价约 400~500 元, 4D 成像毫米波雷达价格在 1500~2000 元水平; 激光雷达成本较高, 目前单价预计在 5000~6000 元; L2~L4 级自动驾驶域控预计在 2000~10000 元区间。

表13: 智能驾驶硬件价格水平

硬件品类	细分品类	单个价格 (预计)
摄像头	120 万像素	100~200 元
	500 万像素	300~400 元
	800 万像素	400~500 元
毫米波雷达	3D 角雷达	200~300 元
	3D 前向雷达	400~500 元
	4D 毫米波雷达	1500~2000 元
激光雷达		5000~6000 元
超声波雷达		百元内
域控	L2	2000~3000 元
	L3	
	L4	5000+~10000+元

资料来源：九章智驾、斗牛财经、艾邦制造、豪恩汽电招股书、奥迪威招股书、佐思汽车研究、高工智能汽车，国信证券经济研究所整理

变化一：感知端，系统重心向视觉转移，摄像头像素水平提升

视觉逐渐成为感知系统重心，摄像头像素水平提升。车企摄像头方案相对雷达优势显著，一方面感知信息丰富，通过图像数据显示车道线、交通信号灯等多种信息，达到最接近人眼的感知效果；另一方面，摄像头从 1956 年开始在汽车应用，技术水平更为成熟、产业链更为完备。在大模型的助力下，图像感知数据的处理能力得到进一步提升，视觉在感知层优势越来越显著。特斯拉从 HW1.0 时期仅配备单个摄像头向三目前视、多路环视摄像头方案升级，目前国内新势力车型普遍采用 30+个传感器配置，摄像头占比约 40%。同时随自动驾驶技术进阶，摄像头素质同比提升，800 万像素的摄像头提供更好的成像效果、更远的探测距离及更大的视场角，2022 年开始大量 800 万像素摄像头搭载上车。理想 L9、蔚来 ES8 等车型单车配备 800 万像素摄像头数量达 6~7 个。

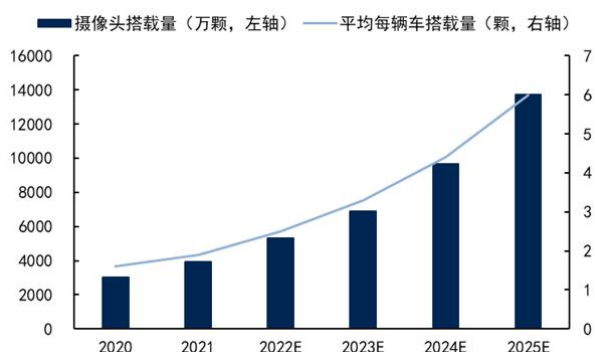
目前行业普遍采用的 11~12 颗摄像头+5 颗毫米波雷达+1~3 颗激光雷达方案的成本在 1.5 万元~2 万元水平，远期规模化量产，全无人驾驶下，车企 10-11 个摄像头+3 个 4D 毫米波雷达+2 个普通毫米波的传感器配置，成本有望降至 10000 元内。

表14: 特斯拉和国内新势力等车企摄像头数量增加

公司	早期车型	传感器配置	最新车型	传感器配置	高像素摄像头	高像素摄像头供应商
特斯拉	2018 年 model s	7 个前摄像头+1 个前置毫米波雷达+12 个超声波雷达	2023 年 model s	12 个摄像头+1 个 4D 毫米波雷达	前视像素 540W	疑似索尼 (镜头是联创)
蔚来	2018 年 ES8	7 个摄像头+5 个毫米波雷达+12 个超声波雷达	2023 年 ES6	11 个摄像头+12 个超声波雷达+5 个毫米波雷达+1 个激光雷达	环视 4 个 300 万	ET5 8M 摄像头-联创
小鹏	2018 年小鹏 G3	5 个摄像头+3 个毫米波雷达+12 个超声波雷达	2023 年 G6	12 个摄像头+12 个超声波雷达+5 个毫米波雷达+2 个激光雷达	前视双目 800 万	G9 舜宇智领/德赛西威
理想	2019 年理想 ONE	12 个超声波雷达+5 个高清摄像头+1 个毫米波雷达	2023 年 L9	12 个超声波雷达+6 个 8M 摄像头+5 个 2M 摄像头+1 个毫米波雷达+1 个激光雷达	前+环视 6 个 800 万	舜宇智领 (6 个 8M 和 2M)

资料来源：各公司官网、汽车之家、投资者交流平台、潮电智库，国信证券经济研究所整理

图44: 2020-2025E 中国乘用车 ADAS 摄像头搭载量



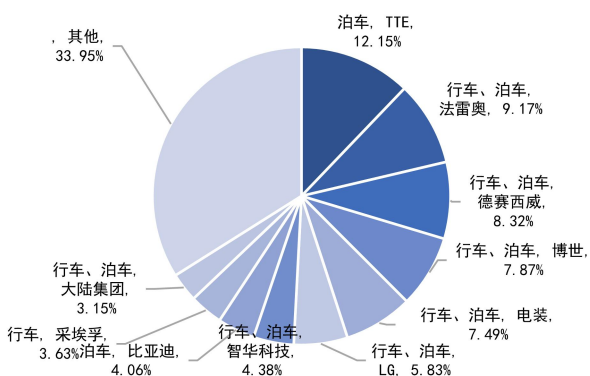
资料来源: 盖世汽车, 国信证券经济研究所整理

图45: 2020-2025E 中国乘用车 ADAS 摄像头市场规模



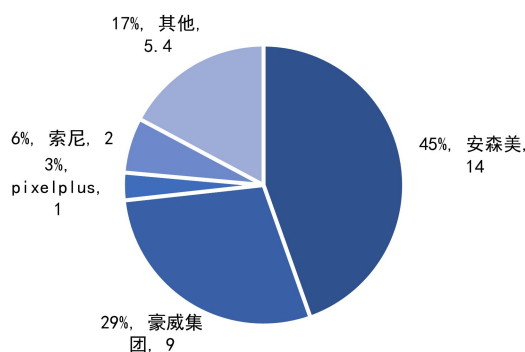
资料来源: 盖世汽车, 国信证券经济研究所整理

图46: 国内乘用车前装行泊一体 ADAS 摄像头上险份额 (2021)



资料来源: 高工汽车, 国信证券经济研究所整理

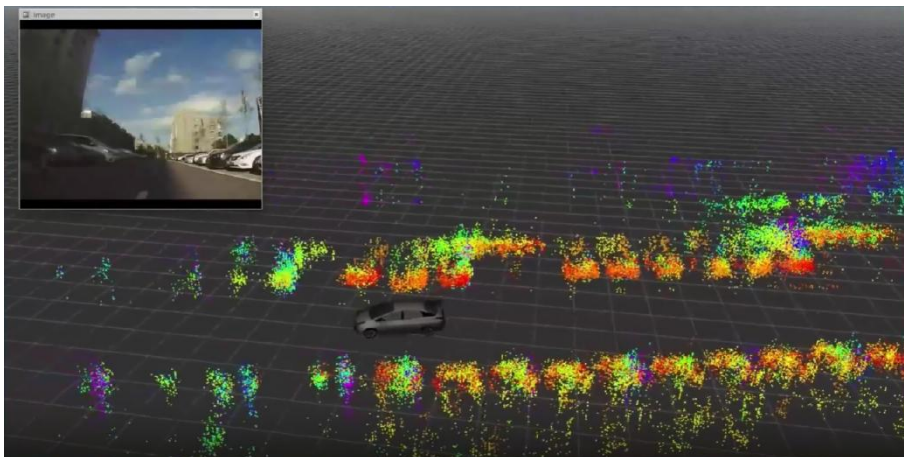
图47: 车载摄像头全球竞争格局 (2021, 单位: %, 亿美元)



资料来源: ICV TANK, 国信证券经济研究所整理

4D 毫米波雷达提供较高质量图像数据, 有望加速上车, 2023 年中国乘用车前装市场搭载量将有机会突破百万个。自动驾驶算法发展提升图像数据处理质量, 大模型和数据中心落地提升自动驾驶预训练数据集空间, 但是国内仍存在大量 corner case, 存在被遮挡“鬼探头”现象。摄像头、激光雷达等传统方案不能解决困境, 4D 毫米波雷达提供“穿墙”数据, 提高感知系统探测能力。相对传统的 3D 毫米波雷达, 4D 毫米波雷达点云数据更加密集, 提供较为清晰的图像。同时其成本又显著低于激光雷达, 该产品也将随高阶自动驾驶落地及车企降本压力快速上车。高工汽车研究院预测, 2023 年中国乘用车前装市场, 4D 成像雷达的搭载量将有机会突破百万个。

图48: 4D 毫米波雷达成像质量较高



资料来源：木牛科技官网，国信证券经济研究所整理

国内外供应商积极布局，少部分产品已经量产上车。4D 毫米波雷达优势显著，大陆集团、采埃孚、森思泰克、保隆科技等 Tier1 厂商，以及华为、mobileye 等自动驾驶方案供应商都积极布局 4D 毫米波雷达市场。其中森思泰克进度较快，其产品已经在理想 L7、长安 SL03、红旗、吉利等多个品牌配套量产。

表15: 部分 4D 毫米波雷达参与玩家

公司类型	公司名称	产品型号	产品参数	技术路线	主要客户/车型	芯片来源
传统 Tier 1	保隆科技	预计 2024 年 Q1 量产 /				
	华域汽车	2 级联 LRR30 和 4 级联 LRR40	2 级联, 最多输出 1024 点 4D 点云, 追踪 64 个目标, 探测 300m; 4 级联, 最多输出 3072 点 4D 点云, 追踪 128 个目标, 探测 350m		友道智途等商用车	NXP 芯片
	大陆集团	ARS 540	4T4R, 探测 250m, 近距离角度 FOV±60°	级联	宝马电动旗舰 iX	NXP 芯片
	采埃孚	Premium 4D 成像雷达	12T16R, 探测距离 350m	级联	上汽飞凡 R7	T1 芯片
	博世	/	最长探测距离高达 302 米, 水平视场角可达 120 度, 级联垂直视场角可达 24 度		/	/
	安波福	第一代 FLR4+、第二代 FLR7	探测 290m, 水平角分辨率 2°, 垂直分辨率达 4°。		/	/
方案公司	Mobileye	/	2304 个虚拟通道, 探测 150m, 水平角分辨率 0.5°, 垂直分辨率达 2°。		/	自研芯片
	华为	成像毫米波雷达	12T24R, 角度水平分辨率为 1°, 垂直分辨率 2°	级联	/	/
初创公司	傲酷	信号处理算法, 硬件检测	300 米以内任意运动的车辆及 100 米以内行人	级联+虚拟孔径成像技术	长城的无人物流小车	T1 芯片
	Arbe	成像毫米波雷达	检测距离 300m, 水平分辨率 1°, 垂直分辨率 1.8°	集成超大阵列射频芯片组+专用处理芯片	威孚高科合作供应 4D 毫米波雷达	自研芯片
	纵目科技	4D 角雷达和 4D 前向探测雷达	测距范围 0.1-100 米、FoV H/V 150°/30°、每帧最多点云数 512、物体跟踪数量 64		角雷达问界 M5 量产	/
	福瑞泰克	FVR40	小于 1° 的角分辨率和俯仰角分辨率, 探测距离超过 300 米	虚拟孔径成像技术	国内多个车企定点	/
	复睿智行	前雷达、角雷达	4T4R, 前雷达探测 300m, 水平角分辨率 2.5°; 角雷达探测 200m, 水平角分辨率 4.8°	级联	国内某主流车企 (23Q3 量产)	T1 芯片
	森思泰克	4 级联的 STA77-8 和 2 级联的 STA77-6	6T8R, 探测 280m, 角分辨率 2°; 4 级联, 12T16R, 探测 350m, 角分辨率 1°。	级联	理想 L7 (STA77-6)、长安 SL03 (STA77-8)、红旗、吉利等	T1 芯片
	纳瓦电子	NOVA77G-4D-1R	最长探测距离可达 320m, 角度分辨率可在 1.6° 以内, 级联测距精度 0.1m; 方位面 3dB 波束宽度小于 1.6°, 方位角精度 0.1°; 俯仰面 3dB 波束宽度小于 2.4°, 俯仰角精度 0.2°		/	/
	赛思领动	SIR-4K	最长探测距离 400 米, 角分辨率 0.5 度 (水平) x 1 级联度 (垂直), 较传统毫米波雷达提升了 10 倍。产品具备 192 个虚拟通道, 可输出 4096 个点云。		2024 年初量产	/

行易道 ALRR300

方位角度分辨率 1°；俯仰角度分辨率 2.5°；距离级联分辨率 0.1m；速度分辨率 0.3m/s；方位角度范围 ±45°；俯仰角度范围 ±15°；探测距离 300m。

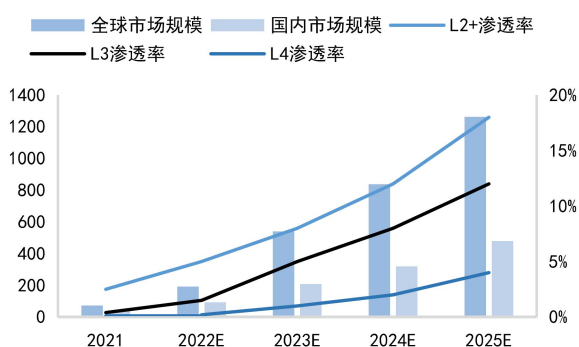
资料来源：九章智驾、智能车参考、公司官网、焉知汽车、佐思汽研、techweb，国信证券经济研究所整理

车载通信有望转为光信号方案。更进一步，目前行业内传输车内远距离的摄像头信息普遍使用串行解串器方案，这部分产品掌握在德州仪器、美信串行器 GMSL 两家手里，不利于我国车企产业链安全；未来行业趋势是从电导线转向光导线，光导线不受电磁场干扰，可以减少抗干扰配置，整车成本有望下降，同时我国企业有较强的产业优势，华为等公司已经开始研究光信号下的车内通信，行业有望加速发展。

变化二：规划端，数据要求提升，域控算力升级

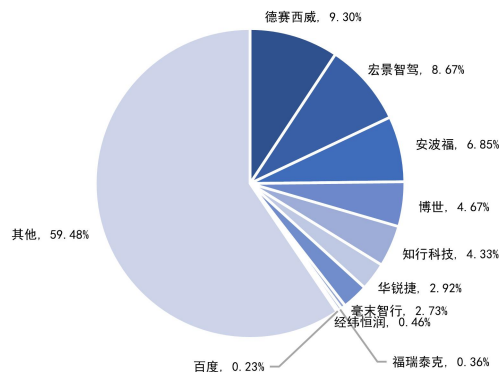
数据和算法要求提升，自动驾驶芯片算力持续提升（或从低于 100tps 到远期 1000tps）。一方面大模型及大型自动驾驶数据处理提出大算力需求；另一方面，高规格摄像头等传感器上车提供更多需要处理的数据，增加算力消耗，比如传统的 L1-L2 级自动驾驶，配备 120-200 万像素摄像头，只需要对车道检测等简单功能提供算力，而 800 万的高像素及 L2+高阶自动驾驶上车要求自动驾驶系统处理城区复杂路况、多交互场景的路口变道等情况，神经网络算法要求提升，域控制器算力需求进一步提升。根据 36 氪研究院整理数据，L2 级以下智能驾驶算力需求仅为 10+TOPS，而 L3 阶算力需求为 100+TOPS，到 L5 级算力需求跃升至 1000+TOPS。近些年域控上车数量提升，国内德赛西威、宏景智驾等公司占据行业出货量第一。同时各家不断搭载大算力域控制器，提前做超规格硬件预埋，为后续落地的高阶自动驾驶功能做储备。目前行业内自动驾驶域控从 L2+到 L4 级单车价格 4000 元+到 10000+元水平。

图49：自动驾驶域控市场规模（单位：亿元，%）



资料来源：Wind，中汽协，EV sales，国信证券经济研究所整理

图50：乘用车智能驾驶域控制器供应商 2021-2022 年份额



资料来源：高工汽车，国信证券经济研究所整理

表16: 部分国内自动驾驶域控方案

公司名称	产品型号	算力	产品功能	推出时间	主要客户/车型	芯片来源
德赛西威	IPU01	/	APA 自动泊车辅助系统和环视系统	2021 年出货量在百万套级别	/	/
	IPU02	4-32TOPS	行泊一体、记忆式泊车、条件代客泊车 AVP 等	2021 年发布	上汽、长城、广汽、通用等	TI TDA4
	IPU03	30TOPS	360 度全方位感知, 支持高速场景下的上下匝道、2020 年量产自主变道、塞车路况下的自动跟车, 低速场景下的自动泊车 APA 等		小鹏 P7 等	英伟达 Xavier
	IPU04	110-1016TOPS	L4 级自动驾驶	2022 年量产	理想 L9 小鹏等	英伟达 Orin
宏景智驾	ADCU	/	L4 级自动驾驶	/	/	英伟达 Xavier
	IDDC/APA 域控	/	L2.5+自动驾驶/自动泊车&远程遥控泊车	/	/	
华为	MDC210	48TOPS	L2 级辅助驾驶	2020 年发布	/	自研
	MDC610	160TOPS	L3/L4 级自动驾驶	2020 年发布	赛力斯/阿维塔	自研
	MDC810	400+TOPS	L3/L4 级自动驾驶	2021 年发布	赛力斯/阿维塔	自研
知行科技	iDC Mid	/	行泊一体域控制器方案, 可实现高速 NoA, HPA, RPA, APA, SV3D 等	2023 年量产上车	极氪 001 等	单 TDA4
	iDC High	/	下一代行泊一体	预计 2024 年量产	/	瑞萨 V4H
经纬恒润	ADCU	/	L2、L3 级别的自动驾驶	2020 年量产	一汽红旗 E-HS9	Mobileye EQ4
毫末智行	小魔盒 3.0	360-1440TOPS	城市 NOH 等功能	2022 年量产	/	高通 8540+9000

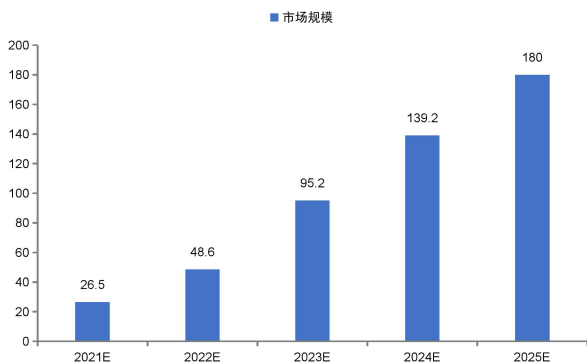
资料来源: 盖世汽车、汽车之家、wind、同花顺、搜狐网、电动汽车 News、汽车之心, 国信证券经济研究所整理

变化三: 执行端, 线控底盘大势所趋

线控底盘以电信号驱动取代机械或液压部件驱动的执行机构信号, 核心技术包括线控转向、线控悬架、线控制动三个部分, 整体传输信息效率高、时间短、控制精确, 有望和智能化结合完成汽车主动控制工作, 是高阶自动驾驶的大势所趋。

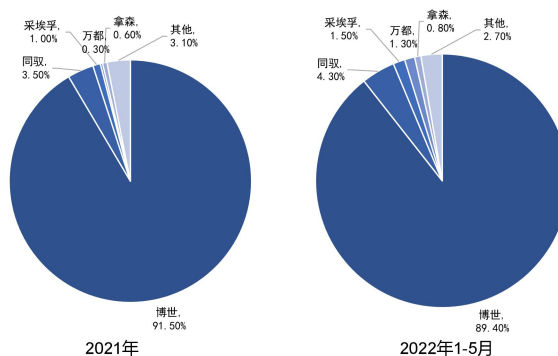
1) **线控制动, ADAS 执行层的核心产品。**传统燃油车以发动机动力提供真空度的真空泵放大脚踩刹车器的力度, 实现制动操作; 线控制动产品以电控信号取代传统制动系统的部分或全部机械部件, 解决了新能源车缺少真空泵源的困境, 通过电信号获得更快的信息传输及相应速度, 提供更安全舒适的驾乘体验, 同时可以通过电机提供主动控制, 不需要人类驾驶员踩下踏板提供机械部件动力, **将人从制动操作中解放出来**, 是高阶自动驾驶的必经之路。根据九章智驾, 博世的 i booster 方案将系统响应时间从常规的 300-500 毫秒缩减到 120-150 毫秒; 大陆集团的 MK C1 在 30km/h 时启动行人保护, 刹车距离从 6.8 米减少到 4.1 米。另外, 线控制动系统可以通过电机控制器将车轮减速产生的制动能量转化为电能存储, 实现一定的能量回收, 提高车辆续航。目前随着电动智能化提速, 自动驾驶级别提升, 主机厂线控制动应用意愿增强, 线控制动行业有望加速上量。根据佐思汽研数据, 2019 年国内乘用车市场的线控制动装配率为 2.6%, 2021 年为 8.6%。假设 2025 年我国汽车产量 3000 万辆, 线控制动产品单价为 1500 元, 产品渗透率达到 40%, 则线控制动市场规模约为 180 亿元。

图51：国内线控制动市场规模（单位：亿元）



资料来源：盖世汽车，国信证券经济研究所整理

图52：国内供应商在乘用车线控制动市场份额提升



资料来源：佐思汽研，国信证券经济研究所整理

EHB 是主流方案，ONE-BOX 享有高集成度、低体积、低重量优势。产品设计上，线控制动传统液压系统+电信号控制单元的 EHB 系统和完全由电子控制单元与机械部件相连的 EMB 系统两种线控制动产品。EMB 将电机直接集成到液压钳上，响应效率高，但是技术成熟度低、成本较高且存在冗余设计困难，短期内无法取代 EHB 的主流地位。而在 EHB 中，根据集成度高低又分为 TWO-BOX 和 ONE-BOX 两种。ONE-BOX 方案的 ECU 中集成了 ESC 等功能，只有 1 个 ECU，而 TWO-BOX 方案没有集成，有 2 个 ECU，需要做协调。由于 ONE-BOX 方案集成度更高，在体积、重量上占优，在制动失效时的减速度表现更优秀，且其售价普遍低于 TWO-BOX 产品，有望成为主流方案。目前伯特利、拿森电子、拓普集团等公司布局 ONE-BOX 方案研发。

表17：部分线控制动厂商及产品情况

地区	厂商	产品	方案	推出时间	上车情况
国外	博世	iBooster+ESP	Two-box	2013	大众全系列电动车、特斯拉全系列、蔚来、小鹏、理想、通用凯迪拉克 CT6、雪佛兰 Bolt 和 Volt、本田 CR-V、比亚迪 e6、荣威、领克、奇点 is6、法拉第未来 FF91 等
		IPB	One-box		凯迪拉克 XT4 比亚迪含（2020）
	大陆集团	MK C1	One-box	2010（16 年投产）	阿尔法罗密欧 Giulia(2017)、奥迪 E-Tron 全线、宝马新 X5 及 X7 等
	采埃孚天合	IBC	One-box	18 年量产	雪佛兰 Tahoe、suburban、GMCYukon 和凯迪拉克 Escalade 等
	日立	E-ACT	Two-box	2009	除丰田外大部分日系混动或纯电，最典型的的就是日产 Leaf
国内	伯特利	WCBS	One-box	2019	21 年 3 个项目量产；22 年新增定点 61 项
		Nbooster+ESC	Two-box	2018	北汽 EC3 等
	拿森电子	NBC	One-box	23 年 5 月	/
	同驭汽车	EHB	Two-box	18 年量产	日产、吉利、江淮等
	亚太股份	IBS+ESC	Two-box	21 年已量产	奇瑞、东风、一汽、金旅、长城等
		IEHB	One-box	23 年下半年量产	北汽新能源样车搭载测试、长安样车集成测试
	拓普集团	IBS	Two-box	2018 验证	获得车企定点
		IBS-PRO	One-box	2021	

资料来源：盖世汽车、九章智驾、各公司官网，国信证券经济研究所整理

2) **线控转向**，线控转向用电子控制器取代方向盘与转向轮之间的机械连接，将驾驶员操作以电信号行驶向下传输给执行器执行转向操作，甚至更进一步在自动驾驶模式由控制算法给出向下传递的信号实现操作，**将汽车转向的决策核心由人转**

为算法，是实现高阶自动驾驶的必经之路。另外，传统转向的机械连接限制系统传动比为固定值，而线控转向可以根据需求自由设计转向角传动比，谢立刚、陈勇、郭晓光¹通过实验论证这一设计有效提高车辆在低速行驶灵敏性，改善其高速行驶的稳定性，实现“灵”与“轻”共存。

线控转向系统难度高，需要考虑硬件冗余安全、软件设计安全等多种因素，同时2022年之前受到国内法规限制，落地进展较为缓慢。2022年，我国开始实行GB 17675-2021《汽车转向系基本要求》，解除以往对转向系统方向盘和车轮物理解耦的限制，同年中汽研标准所和集度、蔚来、吉利成为中国线控转向相关国家标准制定牵头单位，共同加速线控转向落地。根据中国汽车工程学会《线控转向技术路线图》征求意见稿，线控转向的量产目标为2025年渗透率5%，成本4000元以内；按照2025年中国乘用车大约2500万辆规模，中国乘用车线控转向市场规模约在50亿元水平，长期随高阶自动驾驶上车，线控转向渗透率将加速上行。

图53: 线控转向系统示意图



资料来源：浅谈基于线控转向系统的智能驾驶技术发展趋势，丘马火，《重型汽车》，2023，国信证券经济研究所整理

图54: 线控转向规划

	2025年	2030年
技术水平目标	<ul style="list-style-type: none"> 满足L3+自动驾驶线控转向国际领先 满足特殊场景无人驾驶线控转向系统国际领先 	<ul style="list-style-type: none"> 满足L4+自动驾驶线控转向国际领先 满足一般场景无人驾驶线控转向系统国际领先
关键零部件目标	<ul style="list-style-type: none"> 满足L3+线控转向用传感器、控制器、电机、减速机构具备自主设计能力，小批量试装阶段 	<ul style="list-style-type: none"> 满足L4+级线控转向用传感器、控制器、电机、减速机构具备自主设计能力，小批量试装阶段
系统特性目标	<ul style="list-style-type: none"> 自动驾驶跟随性达传统驾驶100% 手动驾驶模式手感主观评价达6分 	<ul style="list-style-type: none"> 满足全速域自动驾驶场景应用 手动驾驶模式手感主观评价达8分
量产目标	<ul style="list-style-type: none"> 线控转向渗透率达到5% 线控转向系统成本目标4000元以内 	<ul style="list-style-type: none"> 线控转向渗透率达到30%

资料来源：中国汽车工程学会，国信证券经济研究所整理

表18: 部分线控转向供应商布局情况

地域	供应商名称	产品现状
海外	博世	2018年样车展示，预计2024年量产
	采埃孚天合	未量产，有产品介绍
	捷太格特	客户丰田bz4x、雷克萨斯RZ 2022年上市
	日立	2013年量产，客户英菲尼迪Q50，有召回
	Schaeffler	收购帕拉万，拥有Space Drive产品，2023量产智加科技重卡冗余转向
国内	耐世特	Quiet Wheel产品，专利，预计2023年量产
	联创电子	2020年展示无方向盘的线控转向样车方案
	拿森电子	产品支持L3/L4级自动驾驶
	浙江世宝 伯特利	多个客户的线控转向系统开发项目均在稳步推进中 收购万达汽车，研发线控转向

资料来源：华经情报网、佐思汽研、wind、投资者交流、autolab，国信证券经济研究所整理

3) **线控悬架，汽车Z轴调节**。作为主动悬架的空气悬架升级传统悬架的钢制弹簧为空气弹簧调整悬架刚度和车身高度，升级普通减振器为电控减振器调整阻尼，

¹ 谢立刚, 陈勇, 郭晓光. 线控转向系统汽车的主动转向控制研究[J/OL]. 机械设计与制造, 2023, 1-8

具有高稳定性、舒适性、通过性，可提高车辆空间整体利用率。而在高阶自动驾驶上车时代，汽车传感器数量和算力水平不断提升，空气悬架可结合导航信息和汽车传感器输入数据，预先获知前方路况并提前做出反应，未来甚至可以与自动驾驶和智能座舱结合，给消费者带来最优乘车体验。

图55: 领克 ZERO 全自动空气悬架系统部分功能



资料来源：《领克 ZERO 全自动空气悬架系统》，国信证券经济研究所整理

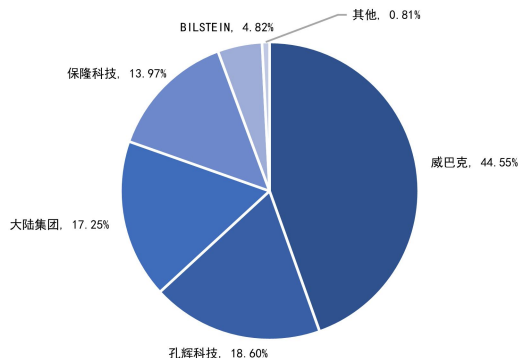
国产化加速空悬渗透率提升，25 年市场规模预计将达 240 亿元。空气悬架整体成本较高，之前产品广泛应用于豪华车型；近些年受车企军备竞赛及国产化供应降本影响，空悬逐步向低价格带车型渗透。根据高工汽车数据，前装标配空气悬架新车均价从 2021 年的 57.52 万元下降至 2022 年的 55.33 万元。2022 年中国乘用车市场搭载空悬配置数量为 28.01 万台，渗透率约为 1%。预计随国内供应商加速量产、高阶自动驾驶进一步催化，2025 年中国市场乘用车空悬系统年搭载交付规模有望冲刺 300 万台，假设单车价格 8000 元，对应市场规模约 240 亿元。

表19: 空气悬架系统及零部件国内供应商

本土厂商	国产化产品	主要客户
中鼎股份	空气供给单元、空气悬架总成	东风汽车、蔚来等
保隆科技	空气弹簧、ECU、储气罐、空气悬架总成等	新能源汽车头部品牌主机厂
科曼股份	商用车用空气悬架总成等	金龙联合汽车、北汽福田等
孔辉科技	空气弹簧、空气悬架总成、空悬控制器等	岚图等
拓普集团	空气供给单元、高度传感器等	/
天润工业	空气悬架总成	/

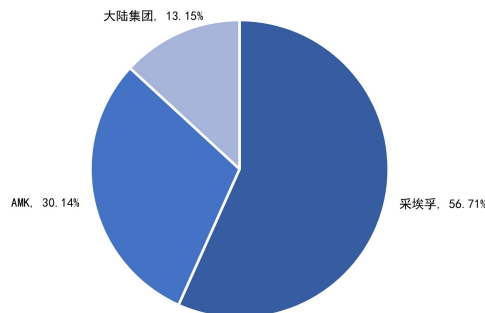
资料来源：公司公告、公司官网、国信证券经济研究所整理

图56: 2022年中国前装空气弹簧竞争格局



资料来源: 高工汽车, 国信证券经济研究所整理

图57: 2022年中国前装空气供给竞争格局



资料来源: 高工汽车, 国信证券经济研究所整理

线控底盘是自动驾驶大势所趋。线控底盘改变底盘架构, 大规模以线束和控制器取代原有的机械连接, 通过电驱动执行操作; 一方面改善底盘各环节响应速度, 减轻整车底盘重量, 契合自动驾驶时代的OTA升级趋势; 另一方面, 也为高阶OTA的全计算控制布局, 线控转向、线控制动将驾驶员与车辆操控解耦, 线控悬架提升驾乘人员舒适度, 未来可以结合摄像头等多传感器数据实现完全自动驾驶。

投资建议

智能驾驶各个环节当前的汽车智能驾驶围绕数据流进行演进, 算法在于整车, 零部件涉及感知层(数据获取)——决策层(数据处理)——执行层(数据应用)。特斯拉新一代技术突破加速智能驾驶方案迭代, 围绕感知、决策、执行环节等环节布局的零部件厂商均有望受益。推荐决策层【德赛西威、科博达】; 算法层【小鹏汽车】; 执行层线控底盘【伯特利】【保隆科技】。

表20: 电动、智能增量零部件赛道选择

	当前渗透率	单车价值量(元)	起配节点	上市公司
车载摄像头	<10%	3000	2020年之前	舜宇光学、联创电子、德赛西威等
激光雷达	<3%	>10000	2022年	炬光科技、长光华芯、永新光学、腾景科技、天孚通信等
智能驾驶域控制器	<5%	>10000	2021年	德赛西威、科博达、均胜电子等
HUD(抬头显示)	7%	1000-4000	2021年	华阳集团
HUD前档玻璃	7%	400-600	2021年	福耀玻璃
全景天幕(不含调光)	5%	1000-2000	2021年	福耀玻璃
调光天幕	0%	3000	2022年	福耀玻璃
ADB车灯	7%	4000	2022年	星宇股份
DLP车灯	<1%	10000	2023年	星宇股份
氛围灯	<5%	1000	2021年	科博达、星宇股份
车载声学(功放)	<20%	1000	2021年之前	上声电子、华阳集团
线控制动	5%	2000	2022年	伯特利、亚太股份、拓普集团等
线控转向	0%	3000	研发阶段	耐世特
空气悬架	<1%	10000	2023年	中鼎股份、保隆科技、天润工业、拓普集团
多合一电驱动	<30%	20000+	2021年之前	巨一科技、英搏尔、精进电动、汇川技术、大洋电机、正海磁材
多合一小三电	<30%	2000	2021年之前	欣锐科技、麦格米特等
新能源热管理	<30%	5000-8000	2021年之前	三花智控、银轮股份、拓普集团等
一体化压铸	<5%	>10000	2022年	文灿股份、广东鸿图、爱柯迪、旭升股份、泉峰汽车、立中集团、永茂泰、力劲科技、合力科技等
高压、高速线束及连接器	<30%	3000+	2021年之前	沪光股份、瑞可达、永贵电器、电连技术、中航光电等

汽车座椅（存量部件）	100%	4000-7000	2021年起国产化加速	继峰股份、天成自控、上海沿浦
安全气囊（存量部件）	100%	1000+	2021年起国产化加速	松原股份、均胜电子

资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理

小鹏汽车：维持盈利预测，维持“买入”评级

小鹏汽车在过去几年中，凭借智能驾驶系统 Xpilot 与 XNGP 的优秀表现，树立起了智能化的品牌形象，并以爆款车型小鹏 P7 获得了市场的关注与消费者的青睐。随着中国新能源汽车市场的竞争日趋激烈，原材料价格不断上涨，以特斯拉、比亚迪为代表的龙头车企开启了从产品力到销售价格的全面竞争，小鹏汽车等体量相对较小的新能源整车厂不可避免的受到冲击，销量与盈利能力都受到一定影响。

展望 2023 年，管理层面，公司引入了长城汽车前任高管王凤英女士担任总裁职务，对公司的组织架构、产品定义与终端渠道进行了全面调整与升级；品牌层面，新车型全面落地 800V 高压平台技术，丰富品牌形象，电动化与智能化两条腿走路；产品层面，2023 年 P7 改款，后续新车不断上市有望强化小鹏的产品矩阵，助力销量回升；财务层面，基于 E、F、H 三大平台造车，落地一体化压铸、标准化电池包等技术，有望控制成本，改善业绩。我们看好小鹏汽车在后续的市场竞争中全面调整、表现回升。

我们维持盈利预测，预计 2023/2024/2025 年，公司的销售收入分别为 382/505/698 亿元，净利润分别为-67/-56/-31 亿元，维持“买入”评级。

德赛西威：打造汽车计算及交互底座

产品端：1) 传统产品受益于单车价值量提升，囊括中控屏和液晶仪表的车机是座舱电子核心组件，是未来智能汽车人机交互的入口，近年来驾驶者对于车载娱乐系统的需求经历了内容、质量、形式的升级。整体趋势是从分区到集成，从按键到一体化屏，单车价值量由原来的 600-700 提升至 2000 元以上，德赛西威作为自主车机龙头企业核心受益于传统车机业务升级。2) 新产品专研智能驾驶、智能座舱等，2022 年，公司智能座舱营收 117.55 亿元，同比+47.97%。第三代智能座舱产品已实现规模化量产；第四代智能座舱系统已获得新项目定点，全年智能座舱新项目订单年化销售额破百亿；2022 年智能驾驶营收 25.71 亿元，同比+83.07%。公司 IPU04 已在理想汽车等客户上实现规模化量产，并有大量在手订单将陆续实现量产配套。IPU02 将推出更多新方案适配国内车市的中低至中高价位区间车型，全年智能驾驶新项目订单年化销售额接近 80 亿元。3) 全新业务车身域控制器，2023 年 1 月公司量产车身域控制器，推出成熟的系统级方案及产品迭代路线，产品具备无钥匙进入与启动、智能空调、电动尾门、智能胎压、智能座椅、雨刮控制、智能车灯、车窗防夹、倒车雷达等车身控制功能。

客户端：公司客户结构逐年优化，核心客户群体包括主流自主品牌客户、合资品牌客户与海外客户，并逐步打开高端品牌市场及海外市场。2022 年公司突破保时捷、捷豹路虎、SUZUKI、SEAT、极氪等新客户，并获得长安汽车、吉利汽车、比亚迪汽车、长城汽车、广汽乘用车、广汽埃安、奇瑞汽车、上汽集团、一汽红旗、理想汽车、小鹏汽车、一汽-大众、上汽大众、广汽丰田、一汽丰田、东风日产、VOLKSWAGEN、TOYOTA、SKODA、MAZDA、FORD 等众多主流车企的项目订单。高算力智能驾驶域控制器、大屏座舱产品和高性能智能座舱域控制器的订单量快速提升，高端品牌、欧洲市场、北美市场、东南亚市场、日本市场的开拓均获得实质性进展。

投资建议：公司是汽车计算和交互的产品底座，是国内汽车智能驾驶龙头标的，在手订单充足，持续看好公司在智能化核心布局（交互+驾驶），我们维持盈利预

测，预计 23/24/25 年利润 16.7/23.1/30.7 亿，维持买入评级。

科博达：打造域控制器平台型企业

打造域控制器平台型企业，产品单车价值量持续提升。公司目前最高单车价值 3000 元左右，随着战略储备产品进一步释放及已有产品导入，我们预计单车价值可达 1 万元以上。**车灯控制器：**当前单车预计 400-500 元，长期单车价值量可以达到 1000-1200 元，主要来源于主光源、氛围灯产品升级以及尾灯控制器应用增加。**域控制器：**单车预计 0.8-1.3 万元，其中车身域控制器单车 2000 元、底盘域控制器单车 1000 元，智能驾驶域控制器 0.5-1 万元。**底盘控制器：**主要为 DCC（自适应悬架控制器）和 ASC（空气悬架控制器），单车价值量预计 300-500 元等。公司已定点比亚迪底盘控制器和底盘域控制器，并在造车新势力客户上首次将域控制器产品从底盘域控制器拓展至车身域控制器。同时，报告期内共获得新定点项目 91 个，其中宝马 CCE 项目获得未来 10 年宝马新车型前灯和尾灯控制器，PDL 控制器获得戴姆勒和福特全球项目定点，Smartlight 拓展至一汽大众、奥迪 PPE 全球平台，新老业务进入快速增长期。

客户方面，公司在深化大众集团合作的同时，进一步加快新客户业务开拓，目前公司核心客户包括大众集团、戴姆勒、宝马、福特、雷诺、吉利、比亚迪及国内外新势力造车企业，客户结构优化。芯片方面合作地平线，加速高级别智能驾驶解决方案量产。公司 2023 年与地平线签署战略合作协议，科博达将基于地平线征程系列芯片，研发不同等级的域控制器及智能驾驶整体解决方案，致力于将该公司打造成集硬件设计、底层软件、中间件、应用层功能算法与终端产品为一体的汽车智能化产品解决方案优秀提供商。

投资建议：维持盈利预测，维持“买入”评级。预测公司 2023-2025 年归属母公司净利润 6.70/9.17/11.77 亿元，同比增长 48.8%/36.9%/28.3%，每股收益分别为 1.66/2.27/2.91 元，维持“买入”评级。

均胜电子：业绩稳步改善，发力智能驾驶

汽车安全业务稳步增长，提升盈利能力。公司发挥国内管理优势，扩大国内份额：
1、公司 2022 年于上海设立全球研发中心。2、建设合肥生产基地，预计一期于 2023 年投产，该智能生产基地包括研发中心、测试验证实验室、乘用车方向盘以及安全气囊生产中心等。3、湖州三期工厂扩建项目竣工投产。2023 年上半年公司全球累计新获客户订单（全生命周期）总金额预计超 420 亿元，其中汽车电子业务新获订单总金额超 215 亿元，汽车安全业务新获订单总金额超 205 亿元。同时，预计新能源汽车相关新获订单（全生命周期）总金额超 300 亿元，占比超 70%；预计国内新获订单（全生命周期）总金额约 167 亿元，占比近 40%，头部主品牌及造车新势力客户订单占比持续提升。

汽车电子业务加速开拓，发力智能驾驶。智能座舱方面，公司合作华为共同推进基于华为芯片和鸿蒙操作系统的座舱域控研发，预计于 2023 年下半年开始量产。智能驾驶方面，公司已和国内外多家整车厂商共同推进基于不同芯片平台的智能驾驶域控制器、驾舱融合域控制器及中央计算单元等项目的研发，2023 年上半年公司与地平线签署战略合作协议，发布了首款基于高通芯片的自动驾驶域控制器产品，发力智能驾驶。公司目前具备了对感知层（战投激光雷达）、决策层（域控制器）、车载导航信息娱乐系统、基于 5G 的 V2X OBU 的量产能力，以及提供导航引擎、定位引擎、自动泊车引擎等软件技术与服务，实现域控制器+激光雷达+车载通信终端+软件服务的解决方案布局。

投资建议：维持盈利预测，维持“买入”评级。公司目前业绩稳步改善，维持盈

利预测，预测公司 2023-2025 年归母净利润为 10.11/13.38/15.86 亿元，同比分别 156.4%/32.4%/18.5%。每股收益 23-25 年分别为 0.74/0.98/1.16 元，维持“买入”评级。

华阳集团：汽车电子核心企业，打造智能座舱全生态

产品端：1) 汽车电子板块，传统产品中控屏和液晶仪表的车机受益于单车价值量提升，从按键到一体化屏再到多联屏，单车价值量由原来的 600-700 元提升至 2000 元以上；车机主业以外专注于智能座舱、智能驾驶核心增量产品开发。智能座舱方面，看点之一在于 HUD，华阳作为 HUD 自主 tier1 龙头，产品端从 W-HUD 向 AR-HUD 升级带动价值量提升，客户端从配套自主优质客户向合资延伸，公司将持续受益于 HUD 快速放量；看点之二在座舱域控制器、数字声学系统、无线充电、电子外后视镜等产品有序落地量产。智能驾驶方面，公司推出的 360 环视系统、自动泊车系统、“焯眼”技术等已在多款车型中应用，规划多个自动驾驶域控方案并陆续投入开发。2) 精密压铸，主要从事铝合金、镁合金、锌合金精密压铸件、精密加工件及精密注塑件，产品应用动力系统、制动系统、转向系统、新能源三电系统、热管理系统和汽车电子零部件（HUD、激光雷达、毫米波雷达）等。

客户端：公司汽车电子业务大客户数量和项目增多，持续突破合资、新势力和国际车企客户，新能源车项目大幅增加，2022 年，公司获得 Stellantis 集团、长安福特、长安马自达、北京现代、悦达起亚、VinFast、长城、长安、吉利、广汽、北汽、比亚迪、奇瑞、东风乘用车、一汽红旗、赛力斯、蔚来、理想、小鹏、小桔智能等客户的新定点项目，一批潜在的优质客户正在推进中。同时精密压铸业务产品应用领域拓展，新能源和汽车电子订单占比大幅增加。2022 年公司成功导入比亚迪、博世、博格华纳、宁德时代、泰科、法雷奥、蒂森克虏伯、捷普、大疆、大陆集团、纬湃、海拉、莫仕、伟世通、舍弗勒、采埃孚、电装、爱信、亿纬锂能、日本精机等客户的新项目。

投资建议：短期维度，公司核心看点在于智能座舱，看好公司中控、液晶仪表、多联屏量产带动 ASP 提升，以及 HUD 快速放量、座舱域控量产、数字功放、电子外后视镜持续落地带来的核心增量。长期维度，公司新增成长曲线自动驾驶，目前规划多个自动驾驶域控方案并陆续投入开发，后续丰富订单量产，有望持续超越行业。维持盈利预测，预期 23/24/25 年利润为 5.4/7.2/9.7 亿，维持买入评级。

伯特利：制动系统国内龙头，智能电控持续增收

伯特利是国内汽车制动系统龙头企业，受益于汽车智能化、轻量化发展趋势，智能电控产品持续增收。

产品端：公司产品主要包括 1) 机械制动，即盘式制动器及轻量化制动零部件；2) 电控制动，即电子驻车制动系统 EPB、制动防抱死系统 ABS、电子稳定控制系统 ESC 及线控制动系统 WCBS。其中公司 EPB 系统受益于国产替代，是短期主要增长动力（产品优势显著，渗透率持续上升，2020 年市场需求 1440 万套，公司销量 87 万套）；公司作为首家自研成功 WCBS 的自主品牌厂商，订单增长迅速。截至 2023 年第一季度在研项目 74 项，其中新能源车型 52 项。3) 智能驾驶即 ADAS 系统，公司产线已在今年 4 月投产，首批 2 个项目批量交付，预计下半年还有 9 个项目陆续量产。4) 机械转向包括机械转向器、机械转向管柱，产品能力来自 2022 年上半年收购万达转向，进一步完善底盘系统产品结构。

客户端：上市之初公司客户主要以吉利、奇瑞、长安等自主品牌为主，逐步向东风日产、长安福特等合资以及通用全球等外资渗透，全球化布局持续推进，仅 23 年一季度新增两家全球著名整车厂铸铝轻量化项目定点，项目金额合计约 4 亿美元；客户集中度上，前五大客户营收占比由 2015 年的 93.3% 降至 2022 年的 42.2%，

大客户依赖程度不断降低，客户结构持续优化。

制造端：公司在手订单充沛、在研项目较多，结合对新能源汽车未来发展预判及公司国际化业务布局，持续加快产能建设，其中墨西哥年产 400 万件轻量化零部件项目已做好生产准备；年产 40 万套 EPB 项目投产；原 ESC 产线改造及新增 ESC 620 产线已投产；22 年新增两条线控制动产线（第二、三条产线于 22H2 投产，预计第四、五条产线将于 23Q1 投产，第六条将于 23Q2 投产）；国内轻量化生产基地三期项目预计 2023 年投产。同时公司 23 年二季度拟在墨西哥投资 1.65 亿美元，建设年产 550 万件铸铝转向节、170 万件控制臂/副车架、100 万件电子驻车制动钳（EPB）、100 万件前制动钳等产能。

投资建议：公司是国产制动系统龙头企业，看好公司智能电控产品加速放量带来的业绩持续上行的动力，我们维持盈利预测，预计伯特利 23/24/25 年归母净利润为 9.7/13.3/16.7 亿元，对应 EPS 为 2.36/3.23/4.06 元，维持“买入”评级。

保隆科技：全球 TPMS 龙头企业，智能驾驶新业务发展迅速

产品端：公司致力于汽车智能化和轻量化产品的研发、制造和销售，主要产品有汽车轮胎压力监测系统（TPMS）、车用传感器（压力、光雨量、速度、位置、加速度和电流类为主）、ADAS（高级辅助驾驶系统）、主动空气悬架、汽车金属管件（轻量化底盘与车身结构件、排气系统管件和 EGR 管件）、气门嘴以及平衡块等。2022 年，公司主营业务营收占比分别为 TPMS 及配件和工具（31%）、汽车金属管件（28%）、气门嘴及配件（15%）、传感器（8%）、空气悬架（5%）。

客户端：公司的主要客户包括全球和国内主要的整车企业如丰田、大众、奥迪、保时捷、现代起亚、宝马、奔驰、通用、福特、日产、本田、Stellantis、捷豹路虎、上汽、东风、长安、一汽、奇瑞、吉利、长城等；公司也与电动车龙头企业如比亚迪、蔚来、小鹏、理想、零跑等建立业务关系。公司还在全球范围内与大型的一级供应商如佛吉亚、天纳克、博格华纳、马瑞利、延锋、麦格纳、大陆集团、克诺尔、采埃孚、三五、布雷博等建立稳定、长期的供货关系；在售后市场，公司向北美和欧洲的知名独立售后市场流通商如 Discount Tire、Tire Kingdom、ASCOT 和伍尔特等供应产品。客户集中度从 2015 年的 35% 下降至 2022 年的 28%。

投资建议：公司为全球 TPMS 龙头企业，空悬业务、传感器等业务发展迅速，营收快速增长。我们维持盈利预测，预计 2023-2025 年公司实现净利润为 3.94/5.38/7.15 亿元，维持买入评级。

重点公司盈利预测及估值

表 21：重点公司盈利预测及估值

公司代码	公司名称	投资评级	2023/08/05 昨收盘（元）	总市值 （亿元）	EPS			PE		
					2022A	2023E	2024E	2022A	2023E	2024E
9868.HK	小鹏汽车-W	买入	74.95	1506	-5.3	-3.9	-3.25	-14	-19	-23
002920.SZ	德赛西威	买入	160.06	889	2.13	3.01	4.15	75	53	39
603786.SH	科博达	买入	76.80	310	1.11	1.66	2.27	69	46	34
601799.SH	星宇股份	买入	140.85	402	3.3	4.37	5.61	43	32	25
600699.SH	均胜电子	买入	19.77	279	0.29	0.74	0.98	68	27	20
603197.SH	保隆科技	买入	58.81	123	1.03	1.89	2.58	57	31	23
603596.SH	伯特利	买入	87.50	360	1.7	2.36	3.23	51	37	27
002906.SZ	华阳集团	买入	33.37	159	0.8	1.13	1.51	42	30	22

资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理

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