



从特斯拉视角，看智能驾驶研究框架 ---智能驾驶系列研究（一）

投资评级：推荐（维持）

报告日期：2024年06月04日

- 分析师：林子健
- SAC编号：S1050523090001
- 联系人：谢孟津
- SAC编号：S1050123110012

研究创造价值

□ 核心结论:

- **第一章：回顾历史，智能驾驶的核心主线是算法的演进史，从2017年至今，在感知侧+规控侧实现算法从规则为主走向端到端。算法方面，2017-2022年，特斯拉在感知侧走向端到端，实现BEV+Transformer+Occupancy。2021-2023年，特斯拉在规控侧从规则走向端到端。数据闭环方面，特斯拉在2022年实现模拟仿真数据、自动标注、云端算力等三个方面的升级。硬件方面，特斯拉从HW1.0升级至HW4.0，期间通过算法升级+自研FSD芯片，实现更为适配智能驾驶进化的硬件体现。**
- **第二章：展望未来，我们认为智能驾驶的算法将走向收敛，核心主线将从算法走向数据闭环。向未来看，我们提出由算法+数据闭环+硬件降本+政策法规四个维度构成的研究框架。围绕这些角度展开，我们提出未来智能驾驶核心的三个趋势：数据竞赛+大模型+任务导向。**
- **第三章：对国内智驾能力的区分，我们提炼四个维度：数据积累能力+智驾好用能力+安全性+舒适性。基于数据闭环（背后竞争要素对应为组织的工程化能力）成为未来核心分水岭，我们认为基于算法来判断各车企领先程度的意义将愈发有限，以对数据为主的跟踪将成为未来判断各车企竞争水平的重要指标。**
- **第四章：智驾下半场是城区NOA，智驾有望在2025H1迎来“好用”拐点。通过复盘高速NOA发展历史，我们总结出高速NOA与城区NOA的两点不同，提出城区NOA发展的三个阶段，判断2025H1有望实现“好用拐点”。**

算法

数据闭环

硬件配置

算法

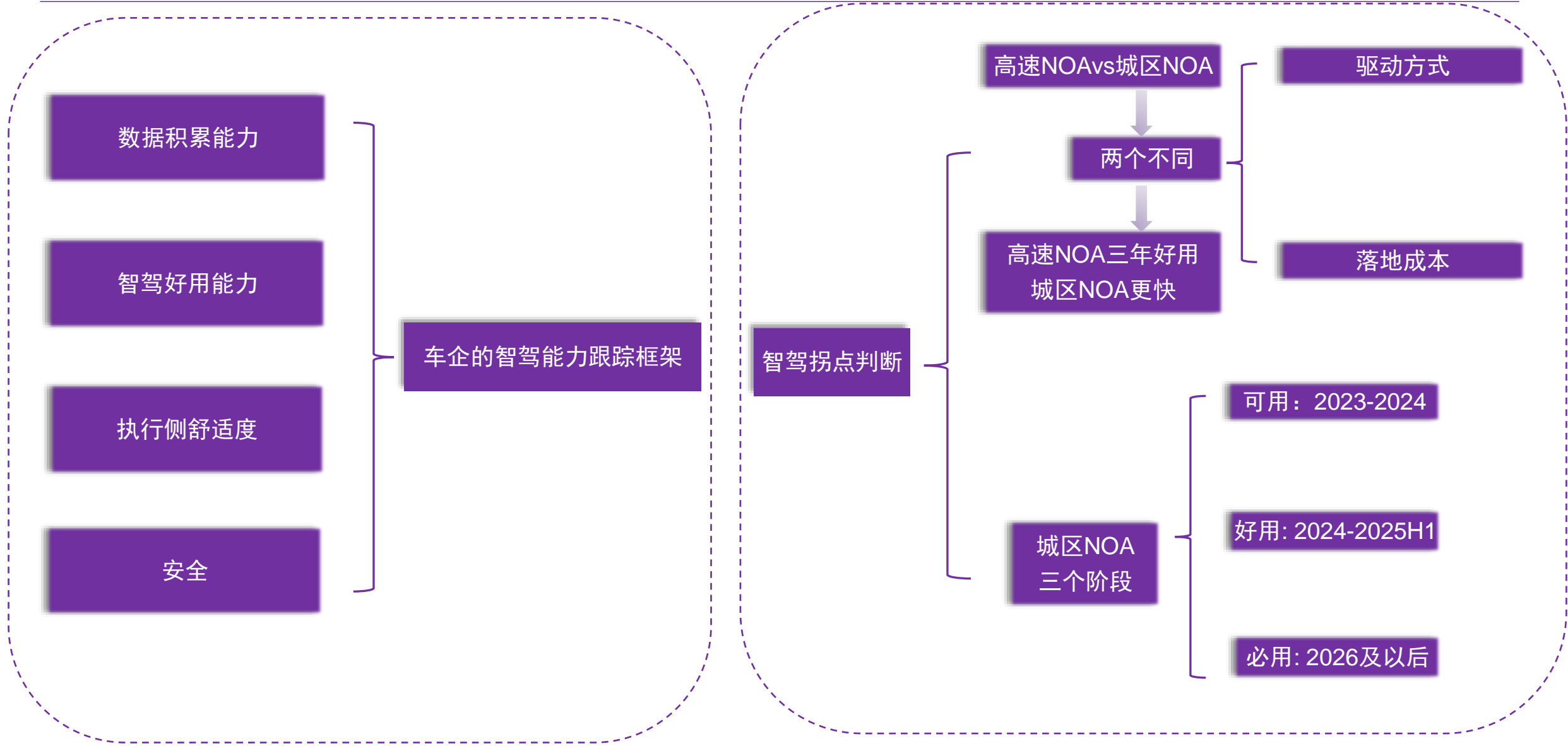
数据闭环

硬件降本

政策法规

特斯拉视角
智能驾驶历史复盘

智能驾驶未来
研究框架



- 智能化落地不及预期;
- 技术迭代风险;
- 宏观经济波动风险;
- 下游需求不及预期的风险。

目录

CONTENTS

1. 历史：特斯拉视角看智驾演进
2. 未来：智能驾驶研判框架
3. 供给：车企智驾能力分析
4. 需求：智驾拐点何时来临

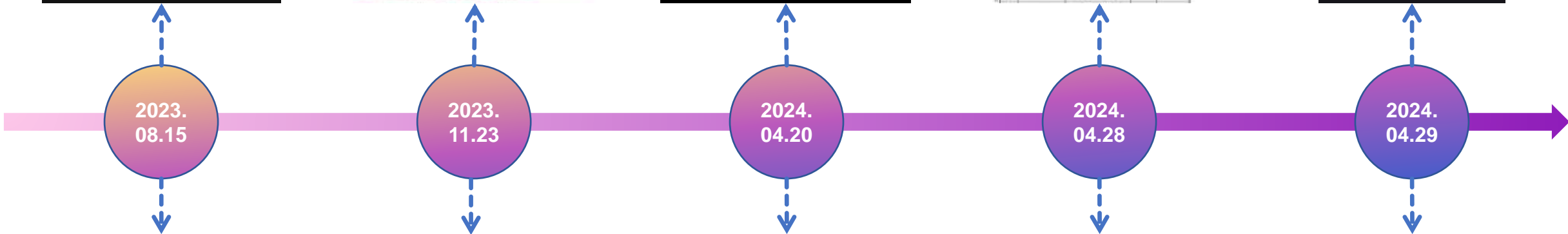
01 特斯拉视角：智驾历史复盘

研究创造价值

FSD入华落地进入倒计时，从特斯拉视角看智驾



姓名	手机号	身份证号	车牌号	车型	颜色	购买日期	续航里程	购车地点
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								
46								
47								
48								
49								
50								



2023.08.15
特斯拉计划组建一个20人左右的本地运营团队，以推动自动驾驶在中国市场落地。与此同时，特斯拉还在中国尝试成立一个数据标注团队，规模约上百人，为训练FSD的算法作准备。

2023.11.23
特斯拉中国回应，FSD落地中国正在推进的消息属实。

2024.04.20
马斯克在twitter上的回复中表态，FSD入华“可能很快就会到来”，本次访问中国预计将推动相关进程。

2024.04.28
马斯克访问中国：特斯拉通过国家汽车数据安全4项全部要求。

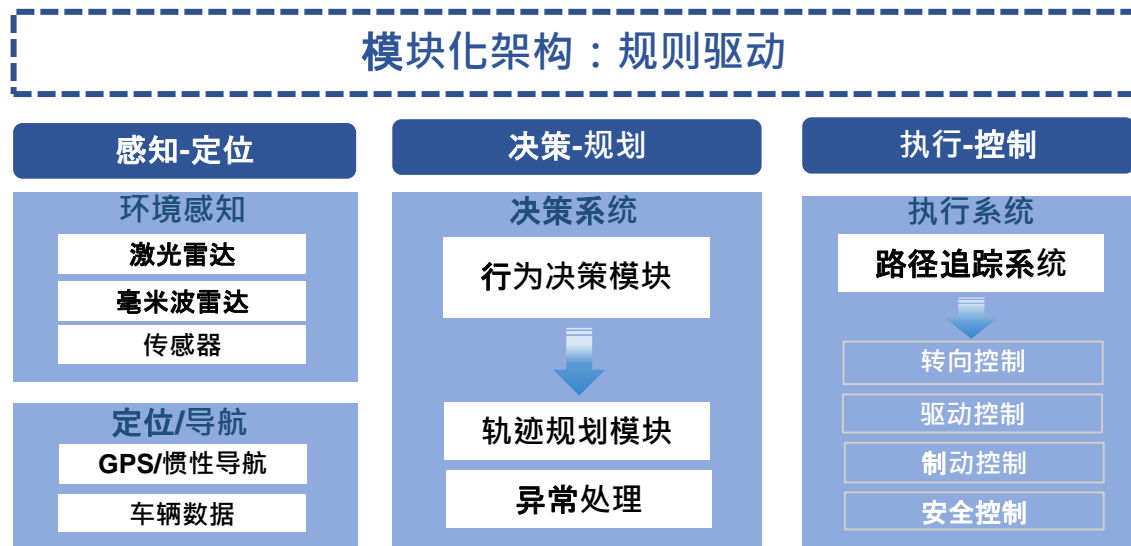
2024.04.29
据特斯拉用户APP表示，特斯拉中国官方的FSD购买页面描述由“稍后推出”改为“即将推出”，特斯拉FSD离进入中国更进一步。

资料来源：财联社，twitter，中国汽车工业协会，特斯拉官方，华鑫证券研究

1.1 智能驾驶设计理念分类：模块化vs端到端

- **模块合成式驾驶方法：**包含感知、规划决策，执行控制三大模块，通过分别调试每个模块的参数来适应各种各样的驾驶场景。
 - **(1) 感知模块：**利用各种传感器来实现对静止环境、行车相关信息及移动障碍物的**全面检测和跟踪**，进而将场景图像转化为关键感知指标。
 - **(2) 决策模块：**在完成道路交通场景的感知后，从感知模块获取全局和局部信息，对起点到终点的行驶路线进行**分析和规划**，确定车辆的行驶路线并最终输入执行模块以实现车辆控制。
 - **(3) 控制模块：**负责将来自决策模块的行驶策略转化为具体的**车辆控制指令**，实现车辆的实际运动。
- **端到端智能驾驶方法：**端到端智能驾驶方法本质上是使用一个独立系统进行驾驶，通过训练一个深度神经网络从感官输入（如摄像头采集的道路信息）直接映射到驾驶动作。

图表：智能驾驶模块化设计理念



图表：智能驾驶端到端设计理念



资料来源：《面向大场景的智能驾驶端到端算法研究》，亿欧智库，华鑫证券研究

1.1 感知侧走向端到端历程

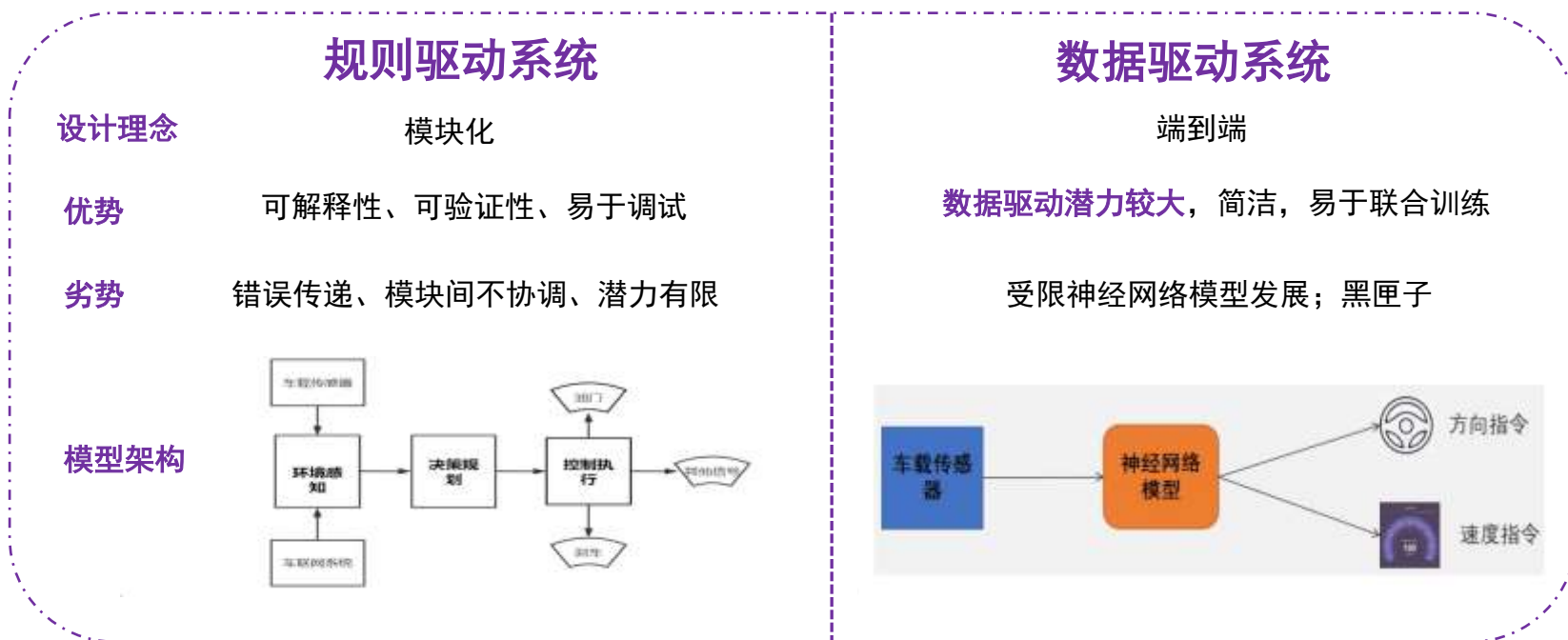
- 1.1.1 2014-2016年以规则驱动为主
- 端到端的设计理念是输入原始数据后，直接反应输出结果，最早可追溯到上世纪80年代。1988年，第一辆端到端驱动的陆军救护车 ALVINN，当时还没有出现卷积神经网络 CNN，只构建了一个三层可反向传播的全连接神经网络，并在卡内基梅隆大学的校园内以 0.5m/s 的速度准确的行驶了 400 米。
- 相比规则驱动，端到端的框架更为简洁，应用潜力更大，但受制于神经网络模型的发展，一直未在产业中大规模落地使用。

图表：第一台端到端ALVINN



Figure 3: NAVLAB, the CMU autonomous navigation test vehicle.

图表：规则驱动与数据驱动对比



资料来源：《ALVINN：An autonomous land vehicle in a neural network》，《基于深度学习的端到端自动驾驶模型研究及仿真》，Building the Software 2.0 Stack，《End-to-end Autonomous Driving: Challenges and Frontiers》，华鑫证券研究

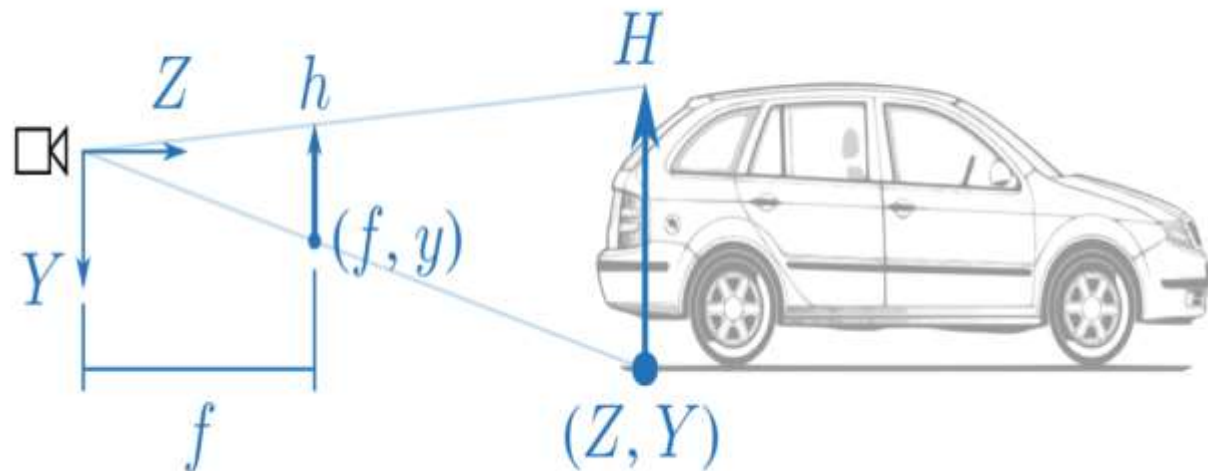
1.1 感知侧走向端到端历程

- 1.1.1 2014-2016年以规则驱动为主：由Mobileye提供智驾解决方案。** 早年的特斯拉并没有自研自动驾驶芯片，从2014年开始特斯拉与Mobileye合作，在其量产车型上一直采用Mobileye的EyeQ3技术方案。Mobileye届时的算法主要由规则驱动，以单目相机成像测距为例，通过物体在图像中的像素高度 h 和焦距 f ，即可计算出前方车距。
- 2016年特斯拉和Mobileye终止合作：**
 - 导火索：**2016年5月第一起配备 Autopilot 的 Model S 发生致命事故，无法识别白色拖车和天空；
 - 核心原因：**Mobileye提供的车企的是一个封闭的黑盒方案，车企不仅不能修改其中的算法，而且还不能与Mobileye共享车辆数据。

图表：MobileEye距离测试规则示例



图表：利用焦距计算距离原理示意

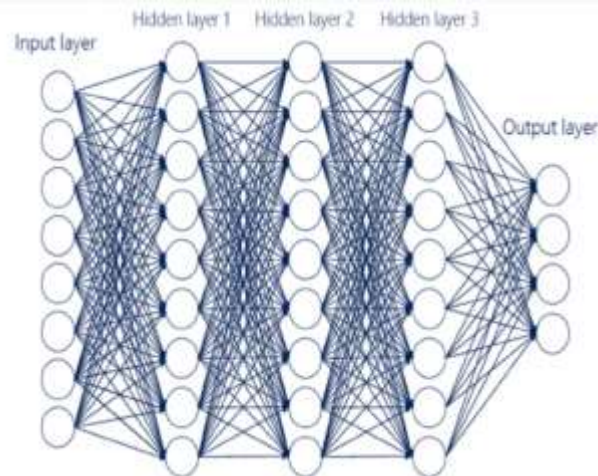
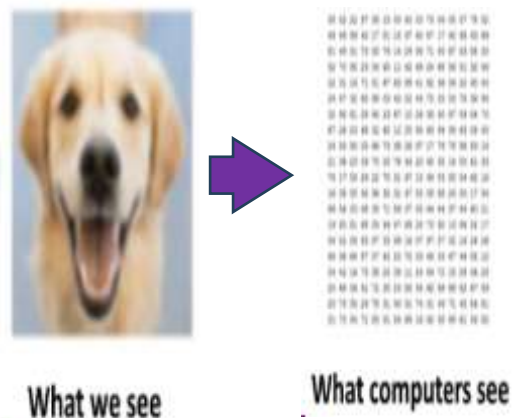


资料来源：Mobileye, The Distance Estimation of Monocular Camera, Theverge, 华鑫证券研究

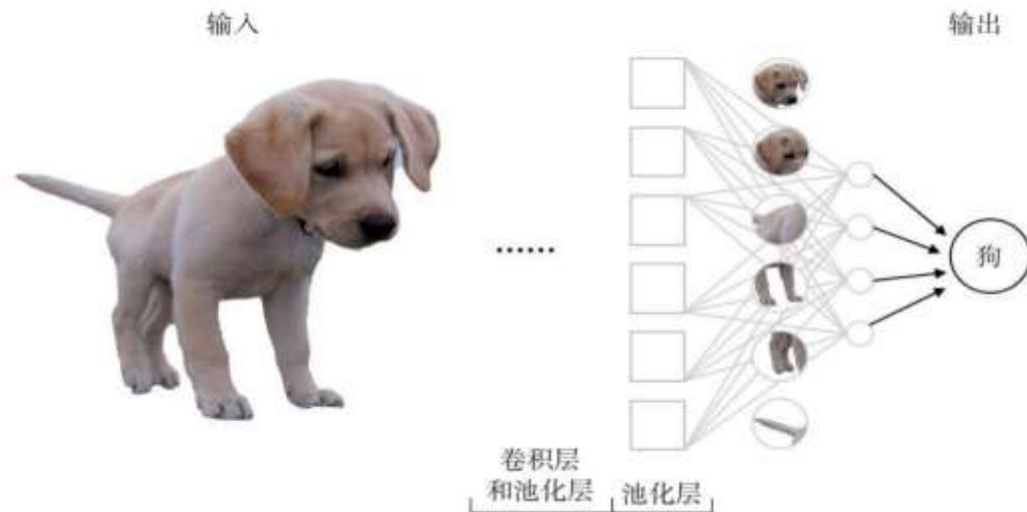
1.1 感知侧走向端到端历程

- 1.1.2 感知侧2017-2022走向端到端:Transformer+BEV + Occuopancy的主流架构
- CNN极大提高了机器视觉的识别效率，让机器视觉走向深度神经网络结合的端到端架构成为可能。从机器认识一只狗的过程来类比，此前的DNN网络依赖于先认识狗的每个“细胞”，而CNN则从认识狗的一个部位开始，例如眼睛、耳朵，来判断一只图像为狗，其中涉及到三个主要的不同：
 - (1) 不需要认识图像的全部，识别难度降低；
 - (2) 通过局部特征训练出来的神经元，能更好的迁移到其他图像（从认识狗的专家，变成认识耳朵的专家）；
 - (3) 卷积过程降低了图像特征的维度，减少数据量。

图表：CNN去认识一只小狗



图表：DNN去认识一只小狗

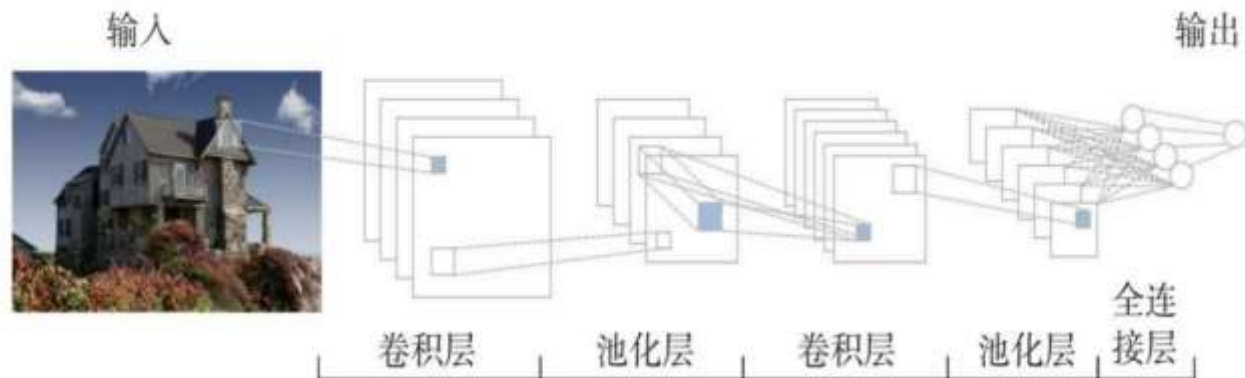


资料来源：《丁磊：生成式人工智能》，《Edge Machine Learning for AI-Enabled IoT Devices: A Review》，《Image Processing: How Do Image Classifiers Work?》，华鑫证券研究

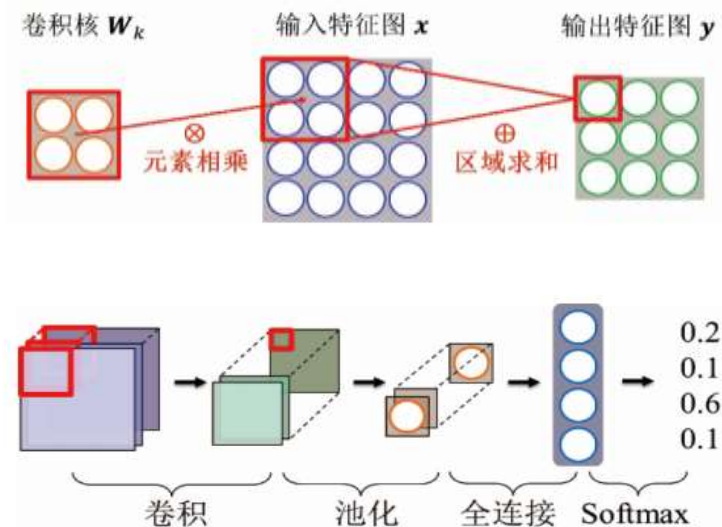
1.1 感知侧走向端到端历程

- 1.1.2 感知侧2017-2022走向端到端:Transformer+BEV + Occuopancy的主流架构
- 深入来看, CNN神经网络的效率核心在于卷积+池化的过程。**相比全连接DNN神经网络, CNN需要训练的参数数量明显减少。举例来说, 一幅像素为1K*1K的图像作为输入, Hidden layer有1M节点, 仅一层就有 10^{12} 个权重需要训练, 如果使用CNN网络, 采用100*100的卷积核, 共使用100个卷积核, 输入到Hidden layer的参数便降低到了 $100*100*100=10^6$ 个。
- 如果说CNN将管理100人的工作变成管理10个组长, 那卷积核就像不同的组长:** 不同的卷积核代表了不同的特征提取能力。该结构上下层不再直接全部连接, 同一层将共用单个或一定数量的卷积核, 因此大大减少了训练权重的数量。

图表: CNN工作过程示意图



图表: CNN卷积-池化层核心结构示意图



资料来源: 《丁磊: 生成式人工智能》, 《深度神经网络的关键技术及其在自动驾驶领域的应用》, 华鑫证券研究

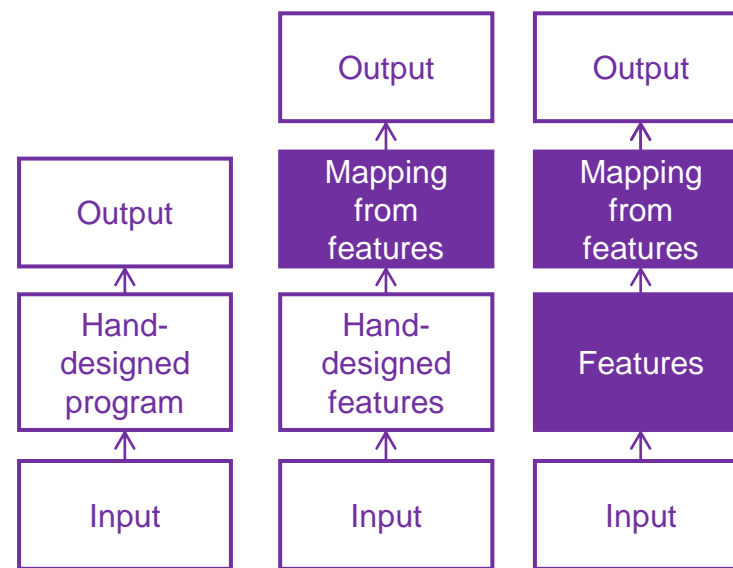
1.1 感知侧走向端到端历程

- **1.1.2 感知侧2017-2022走向端到端:Transformer+BEV + Occuopancy的主流架构**
- **2017年Andrej Karpathy加入特斯拉，推动CNN神经网络落地，感知侧端到端拉开序幕。** Andrej Karpathy 2015年在斯坦福执教，设计并创办了课程卷积神经网络CNN在机器视觉中的应用。
- **特斯拉提出Software 2.0吞噬1.0，CNN网络架构将设计特征的工作从专家交给机器。** 传统的特征设计往往由特定领域内的专家设计，但当面对复杂任务情景是，专家设计的特征往往存在诸多局限，例如特征本身的有效性、有限性等等。 Andrej Karpathy 2017年加入特斯拉，推出Software 2.0，提出用2.0（基于CNN神经网络模型）吞噬传统Software 1.0（由Python、C++等语言编写的代码）的理念。

图表：特斯拉Software2.0吞噬1.0过程图



图表：神经网络将设计特征从专家交给机器

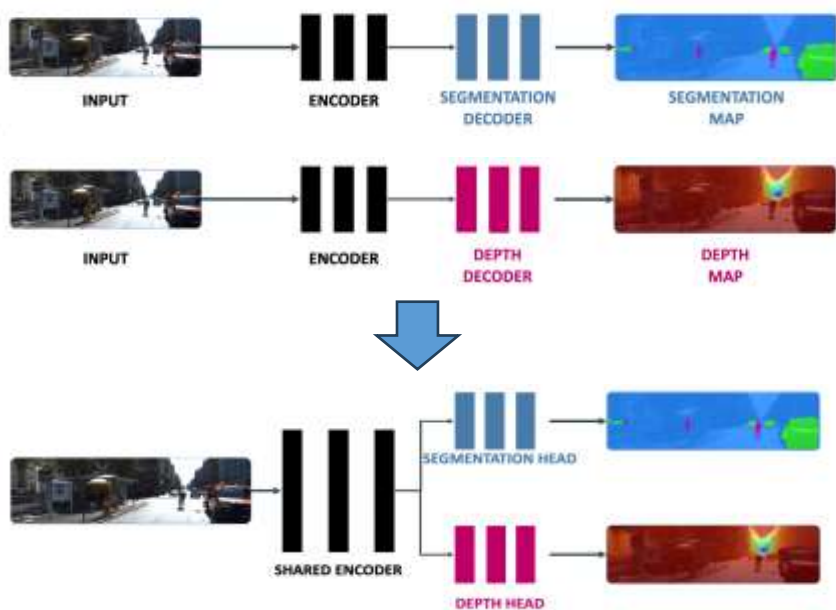


资料来源：Building the Software 2.0 Stack, Enhancing Deep Learning Performance using Displaced Rectifier Linear Unit, 华鑫证券研究

1.1 感知侧走向端到端历程

- 1.1.2 感知侧2017-2022走向端到端:Transformer+BEV + Occuopancy的主流架构
- 2019年推出HydraNet架构，处理不同的任务。感知侧有许多不同的任务，如果每一项任务都单独使用神经网络，则成本高昂。HydraNet的架构通过一个共享的主干网络backbone，能有效的实现三个方面的优点: (1) **特征共享**: 减少重复的卷积计算，减少主干网的数量; (2) **任务解耦**: 将特定任务与主干分离，能够单独微调任务; (3) **能缓存特征，更高效的微调**。

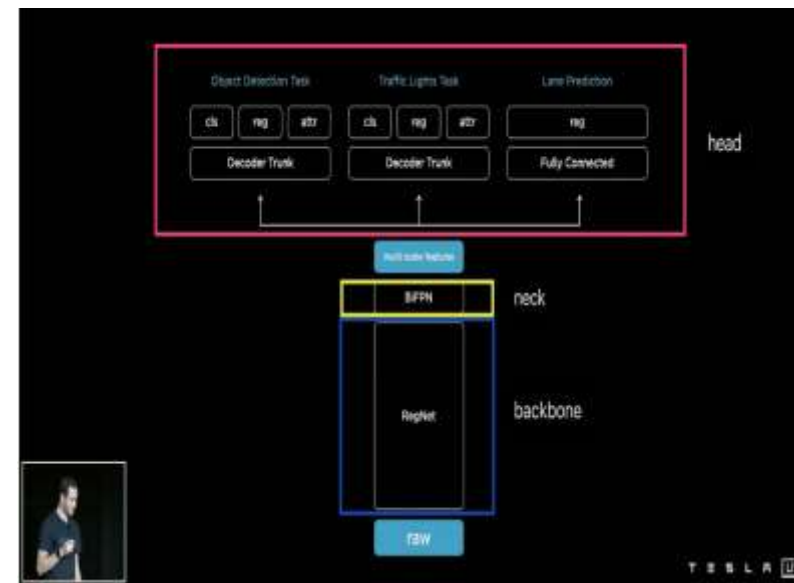
图表：不同的任务共用一个Shared Encoder



图表：驾驶过程中的不同任务繁杂



图表：特斯拉的HydraNet架构

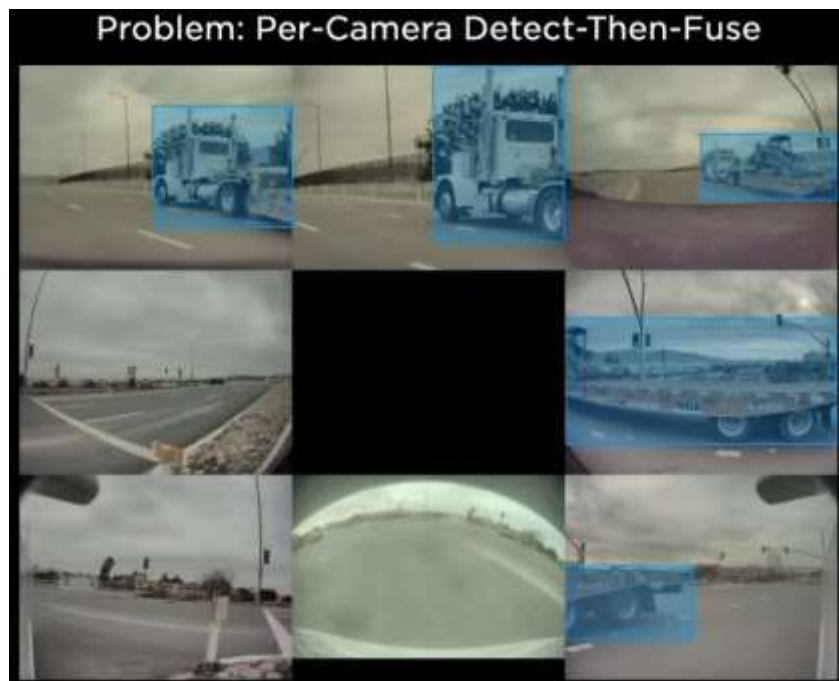


资料来源: Tesla AI Day, LEARN HYDRANETS: Monstrous Multi-Task Learning Techniques with PyTorch, 华鑫证券研究

1.1 感知侧走向端到端历程

- 1.1.2 感知侧2017-2022走向端到端:Transformer+BEV + Occuopancy的主流架构
- 2021年特斯拉提出BEV，从2D图像走向3D空间。相比于传统的2D图像视为BEV的推出克服了传统2D图像存在的几个问题：
 - (1) 2D任务中常见的遮挡或缩放问题，识别遮挡或交叉车辆的场景存在问题。
 - (2) 将不同视角在 BEV 下统一表达遵循第一性原理，有利于后续规划控制模块任务。以大货车为例，特斯拉8个摄像头分别观察到了一部分的卡车躯体，每一部分都需要单独对卡车未来的行进路线做出预测，无法准确预测后续路线（每个摄像头只有一部分）。

图表：8个不同的摄像头观察一辆卡车



图表：BEV融合8个2D图像到一个3D空间

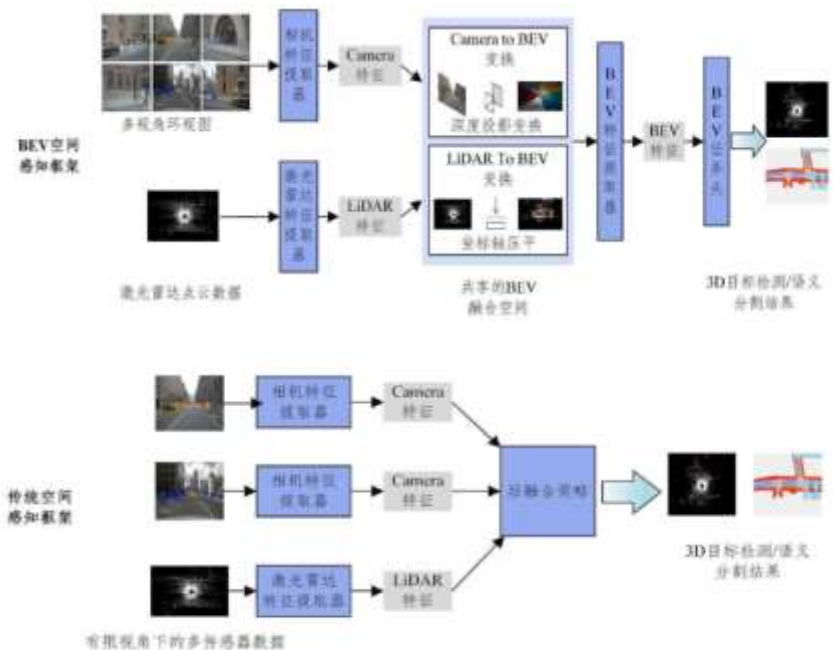


资料来源：Tesla AI Day，华鑫证券研究

1.1 感知侧走向端到端历程

- 实现BEV空间的路径主要分为**后融合**、**前融合**与**特斯拉采用的特征级融合**三种路径，**特斯拉使用特征级融合取代传统的后融合策略：**
- (1) **前融合**指的直接对数据融合，主要优势在于信息保留度较高，但由于其算力消耗较高，技术难度较大，在行业内极少使用。
- (2) **后融合**主要基于规则的运算，将2D图片还原到3D空间，但由于转换过程对于前提假设（例如路面水平的假设）并不能在真实世界里时刻满足，所以整体的融合精度偏差。
- (3) **特斯拉采用特征级融合效果显著：**在特征层进行融合，数据损失较少，融合效果更加显著，算力消耗较后融合仍然较大。

图表：BEV特征级融合与目标级融合对比



特征级融合（中融合）

优势：数据损失少、目标特征级信息使得不同传感器之间融合效果较好
劣势：算力消耗大、不同模态间语义差异较大
 特征级融合方案将不同传感器采集的数据进行特征提取后，再进行融合，其是**目前 BEV + Transformer 架构下，较常用的一种融合方式。**

目标级融合（后融合）

优势：算法难度低、各传感器之间解耦性强
劣势：关键信息容易丢失、整体融合精度低
 目标级融合方案采用的算法仍然是基于规则的运算，虽然方案整体的算法开发难度较低，但有效信息容易缺失，易引起感知系统误报、漏报等问题。

图表：融合效果对比图

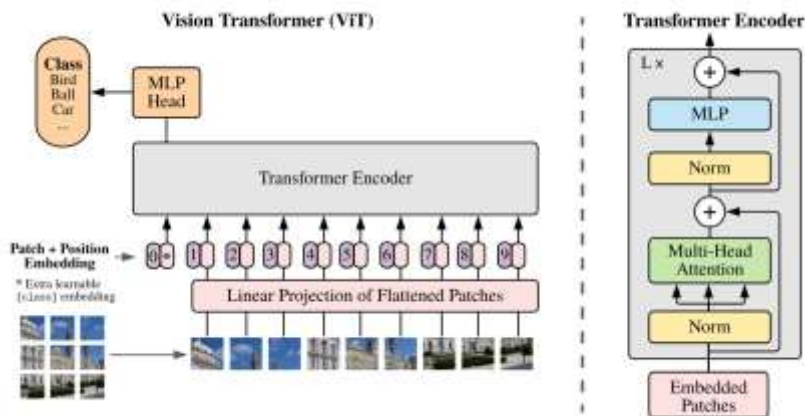


资料来源：Tesla AI Day, 《Lift, Splat, Shoot: Encoding Images From Arbitrary Camera Rigs by Implicitly Unprojecting to 3D》, 亿欧智库, 华鑫证券研究

1.1 感知侧走向端到端历程

- Transformer架构中的自注意机制，对实现特征级BEV的适配性更高。Transformer架构核心在于自注意力机制，能计算每个输入元素之间的相关性，相关性较高的元素需要给予更多的注意力。相比于之前的CNN网络有两个更显著的优势：
 - Transformer提供全局的感受野，对特征的学习能力更强。**视觉任务一个关键的步骤就是要提取像素之间的相关性，普通的CNN是通过卷积核来提取局部的相关性（局部感受野），Transformer因为能对每个元素及其相关性进行考虑，可以提供全局的感受野，因此特征学习能力相比CNN要强很多。
 - 如果未来进一步考虑以视频作为输入数据的话，其时序数据的特征更加适合采用Transformer来处理，CNN与RNN在考虑输入变量之间相关性能力方面要更弱。**

图表：Vision Transformer模型



图表：Transformer架构与CNN对比

	Transformer模型表现, H的层数最多为32, L为24			CNN模型表现	
	Ours-JFT (ViT-H/14)	Ours-JFT (ViT-L/16)	Ours-I21k (ViT-L/16)	BiT-L (ResNet152x4)	Noisy Student (EfficientNet-L2)
ImageNet	88.55 ± 0.04	87.76 ± 0.03	85.30 ± 0.02	87.54 ± 0.02	88.4/88.5*
ImageNet Real	90.72 ± 0.05	90.54 ± 0.03	88.62 ± 0.05	90.54	90.55
CIFAR-10	99.50 ± 0.06	99.42 ± 0.03	99.15 ± 0.03	99.37 ± 0.06	-
CIFAR-100	94.55 ± 0.04	93.90 ± 0.05	93.25 ± 0.05	93.51 ± 0.08	-
Oxford-IIIT Pets	97.56 ± 0.03	97.32 ± 0.11	94.67 ± 0.15	96.62 ± 0.23	-
Oxford Flowers-102	99.68 ± 0.02	99.74 ± 0.00	99.61 ± 0.02	99.63 ± 0.03	-
VTAB (19 tasks)	77.63 ± 0.23	76.28 ± 0.46	72.72 ± 0.21	76.29 ± 1.70	-
TPUv3-core-days	2.5k	0.68k	0.23k	9.9k	12.3k

不同数据集下的表现

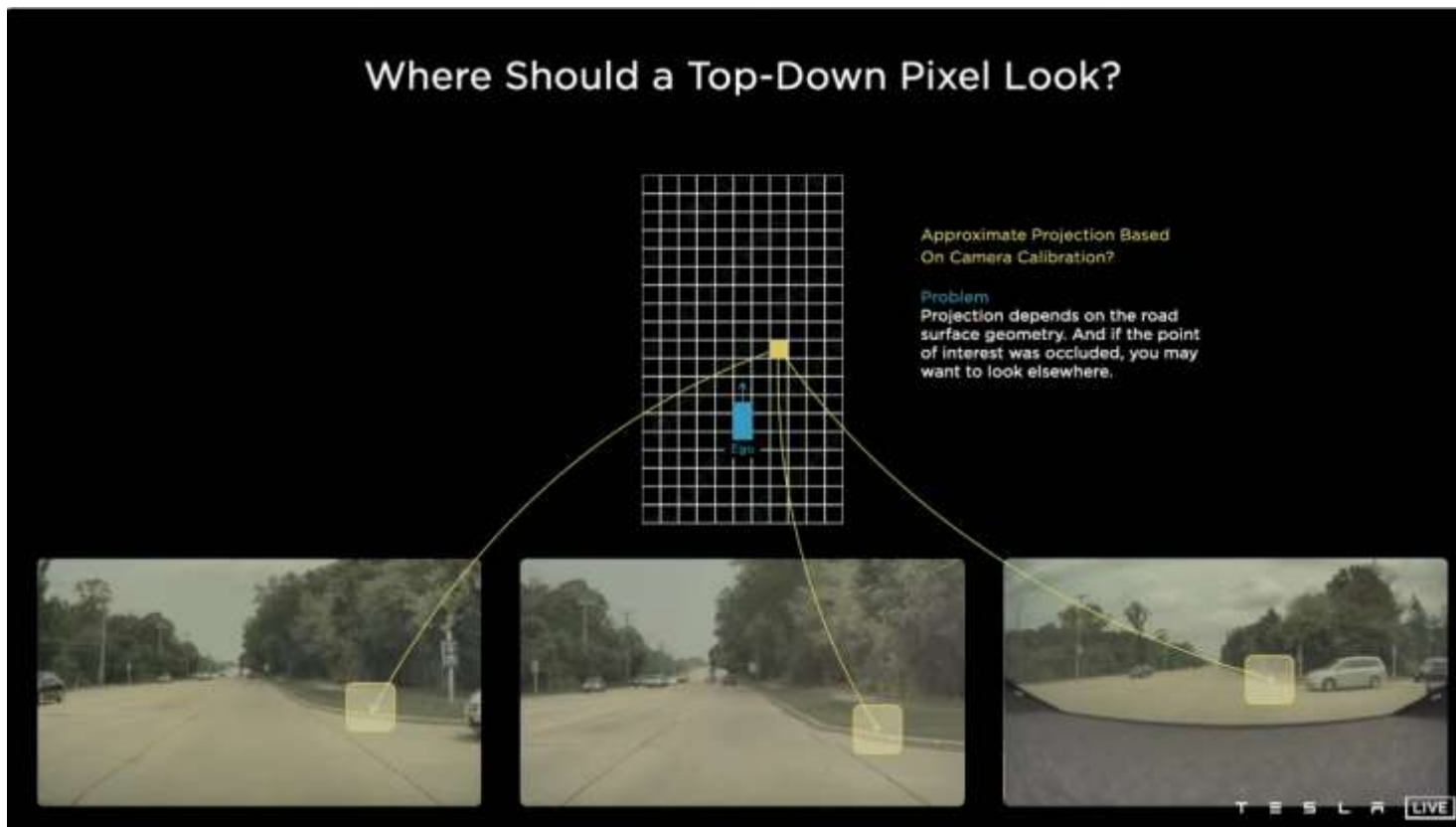
Transformer所需算力减少，训练效率提升显著

资料来源：An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale, 华鑫证券研究

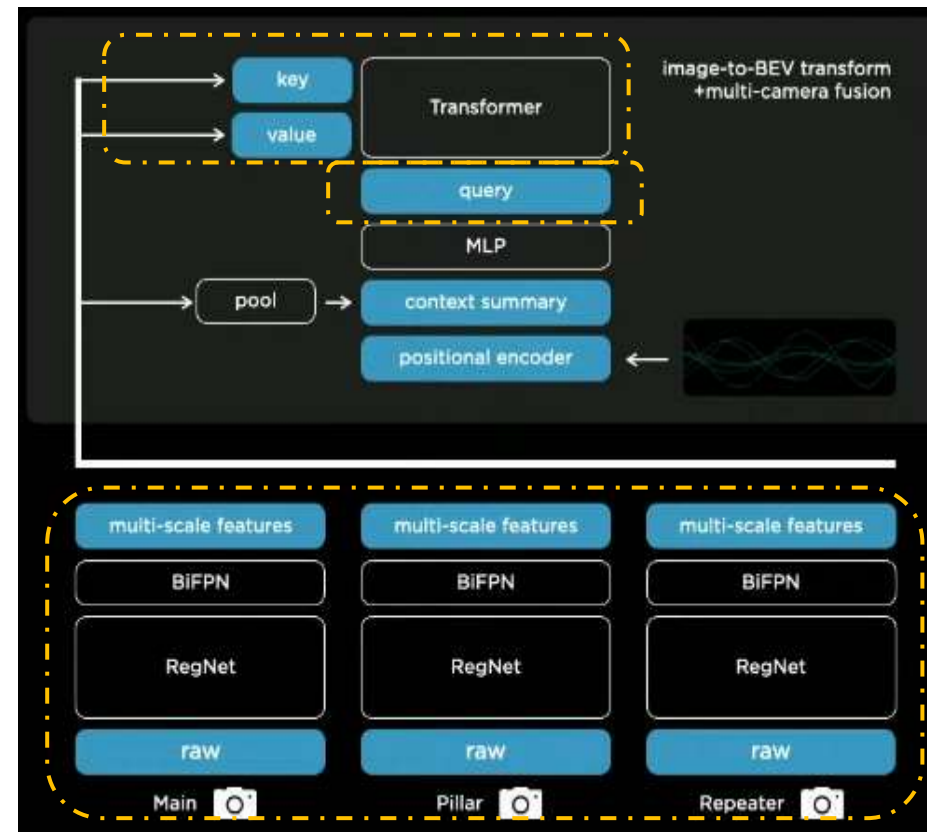
1.1 感知侧走向端到端历程

- 特斯拉在2021年采用BEV+Transformer架构，采用Top-down方法构建BEV空间：首先在空间中构建一组3D空间网格（Query），接着对相应位置处的二维图像特征进行访问（Key、Value），然后通过多层Transformer与每个图像特征交互，最终获得 BEV 特征。

图表：TOP-down建立BEV



图表：特斯拉基于Transformer转换BEV过程示意

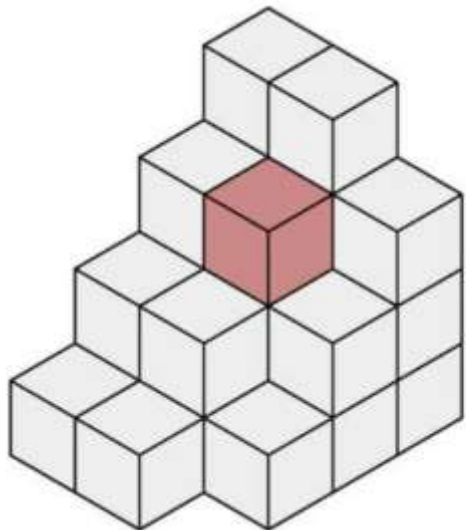


资料来源：Tesla AI Day (2021)，华鑫证券研究

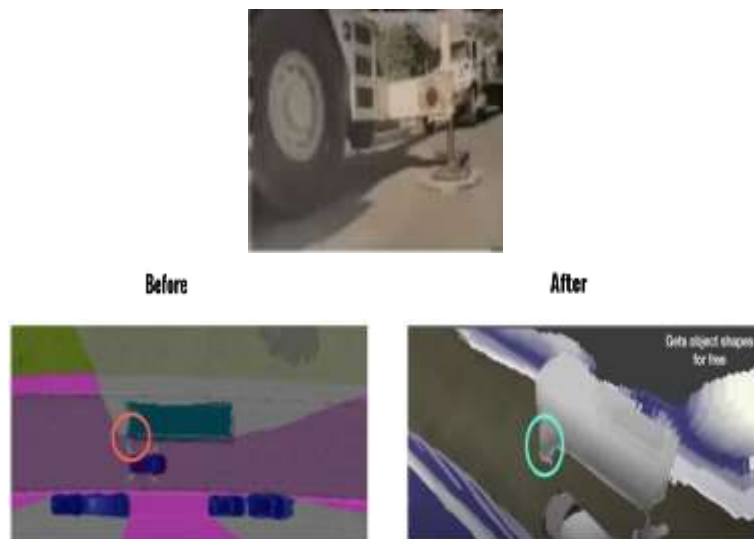
1.1 感知侧走向端到端历程

- 现实驾驶情景中，存在大量长尾问题，视觉系统无法“认识”所有的物体。如果看到不属于数据集的物体，或者不规则的长尾数据，仅用传统可能就出现无法检测到的情况。
- 为此，特斯拉在2022年推出Occupancy占用网络，从识别检测到识别占用。Occupancy Networks将世界划分为网格单元，然后定义单元是空闲还是被占用，不以认识分类为第一优先级，而以空间占用为主要测量目标，将BEV融合空间从2D升维至3D，同时大大提升了系统的泛化能力。

图表：Occupancy Networks 划分空间为网格单元示意



图表：无法检查到的不规则物体



图表：遇见不属于数据集的物体无法识别情况

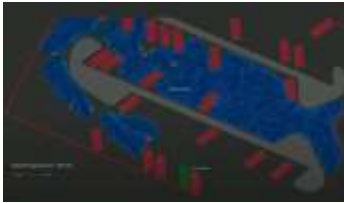
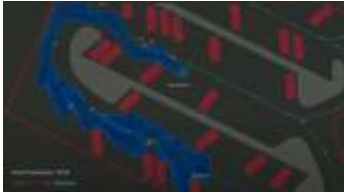



资料来源：Tesla AI Day (2022)，《MonoScene: Monocular 3D Semantic Scene Completion》，《OccDepth: A Depth-Aware Method for 3D Semantic Scene Completion》，华鑫证券研究

1.1 规控侧2021-2023走向端到端

- 2021年，特斯拉开始在路径规划层面部分加入神经网络的元素，推出蒙特卡罗树与神经网络结合的算法。在2021年的Tesla AI Day上，特斯拉用寻找停车场的路径规划作为案例，对比了传统的两种人工规则代码和结合神经网络的第三种算法：推出的Monte-Carlo Tree 结合神经网络的算法，可以将潜在路径的可扩展次数从传统A*算法的接近40万次降低到288次，但这个阶段并非全部都使用了神经网络，大部分依然是人工规则代码。

图表：结合神经网络的蒙特卡罗算法实现最小扩展次数

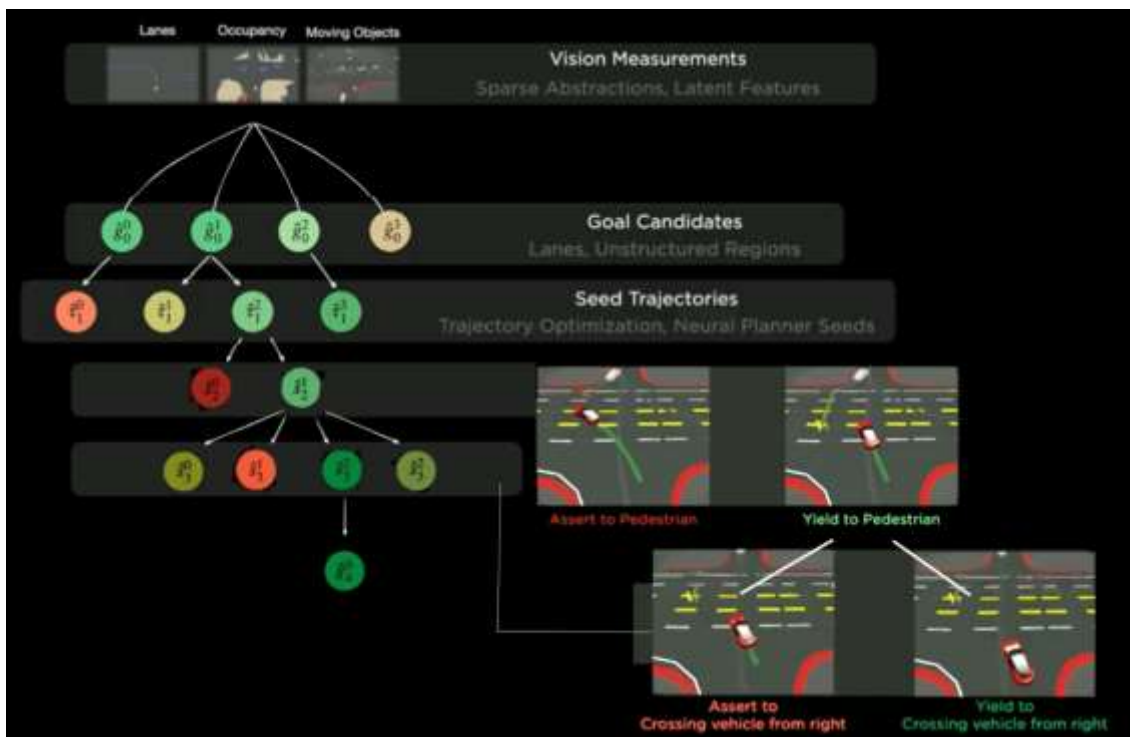
图像示例	Algorithm	Search Heuristic	Number of Expansion
	A*	Euclidean: 欧氏最小距离测算方法	398320
	A*	Euclidean+Navigation: 欧氏最小距离测算方法+导航	22224
	MCTS Argmax Sampling	Neural Network Policy & Value Function	228

资料来源：Tesla AI Day (2021)，华鑫证券研究

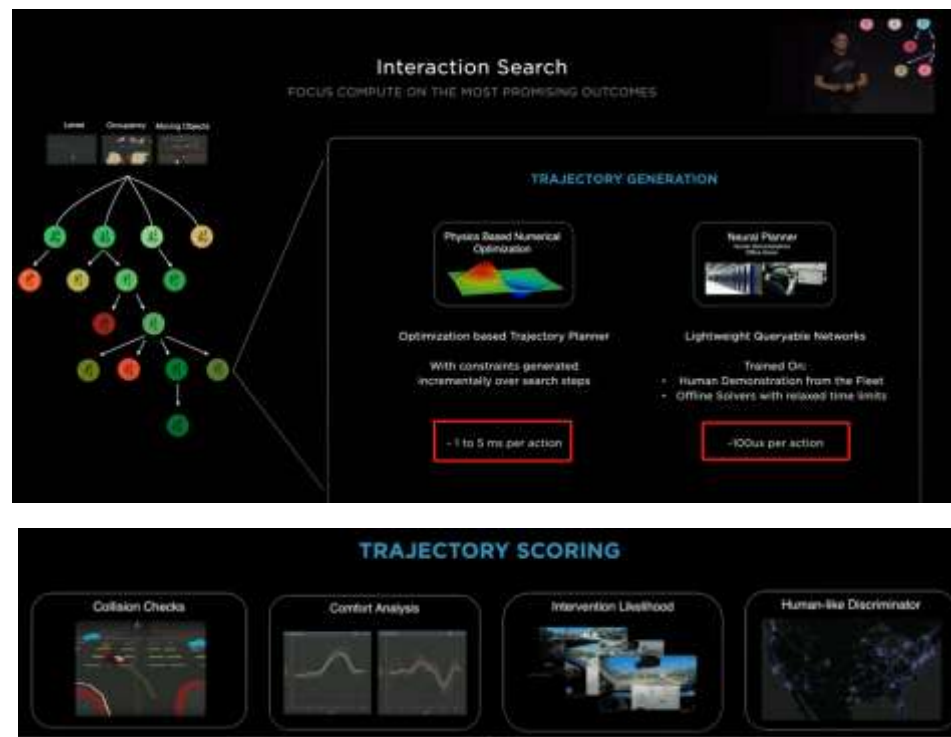
1.1 规控侧2021-2023走向端到端

- 2022年特斯拉在规划层将BEV空间融入神经网络结合的蒙特卡罗算法，进一步实现规控端的端到端。特斯拉推出的交互搜索网络，将结合神经网络的蒙特卡罗算法应用到Occupancy网络中，用轻量级的问询网络替代了传统的优化方法，可以将每个动作计算耗时从1到5毫秒降低到100微秒。同时，计算出的每个轨迹都会有一个成本函数，这一部分仍然是基于规则的代码，该函数取决于4个因素：碰撞概率、舒适度、干预可能性和人类操作相似性。

图表：结合神经网络的蒙特卡罗算法决策流程



图表：每次驾驶动作耗时降低显著



资料来源：Tesla AI Day (2022)，华鑫证券研究

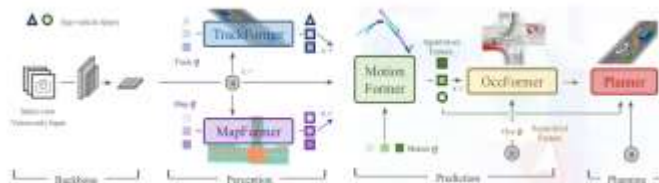
1.1 规控侧走向端到端

- 2023年底，特斯拉推出完全端到端，开启加速进化。

图表：特斯拉2023年走向端到端进程梳理



2023年4月，马斯克首次试驾神经网络规划路径项目，**Dhaval Shroff**指出运行速度快出10倍，可以直接删掉30万行代码。



2023年8月，马斯克在社交平台上进行了一场关于特斯拉端到端自动驾驶测试版（FSD V12 Beta）的直播。从直播中的内容来看，马斯克信心满满，而这辆车在自动驾驶过程中也，补充公里数，仅仅出现了一次与红绿灯相关的失误。



2023年年初，Dhaval Shroff 提出 Neural network planner项目，用车上的GPT说服马斯克支持，神经网络路径规划项目已经分析了从**特斯拉客户车辆上收集的1000万帧视频画面**，马斯克让他们找出“Uber五星司机会采取的做法”。

2023年6月，上海人工智能实验室提出业界**首个具备全栈关键任务的端到端自动驾驶模型UniAD**，获得2023年CVPR最佳论文奖。本方案利用多组查询向量（query）串联起多个任务，并在网络中传递信息，将所有融合的信息传至最终的规划模块。同时，每个模块的Transformer架构可以有效地对查询向量通过注意力机制进行交互。**UniAD首次将全栈关键任务端到端地包含在一个统一的网络架构中，提出“全栈可控端到端方案”。**

2023年12月，开始扩大内测范围到特斯拉内部员工。**2024年1月**，FSD V12又分别在1月推送给媒体人。**2024年2月**，特斯拉把FSD V12推送给一定范围内的普通用户。**2024年3月**，FSD Beta更名FSD Supervised。**特斯拉智驾团队负责人Shok Elluswamy发文，端到端模型在数月的训练时间内，已经完全超过经过数年积累的V11。**

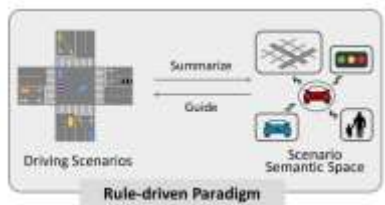
资料来源：《埃隆马斯克传》，Planning-oriented Autonomous Driving，Twitter，新浪财经，华鑫证券研究

小结：一图看特斯拉智驾算法历史

模块化



规则驱动



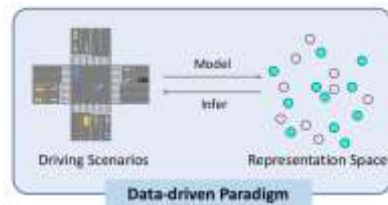
优势：
①可解释性②可验证性
③易于调试

特征：
“大学毕业但很难进修”

端到端



数据驱动



优势：
模型远期的潜力较大

特征：
“仍在小学，但可读到博士，
学习速度快”

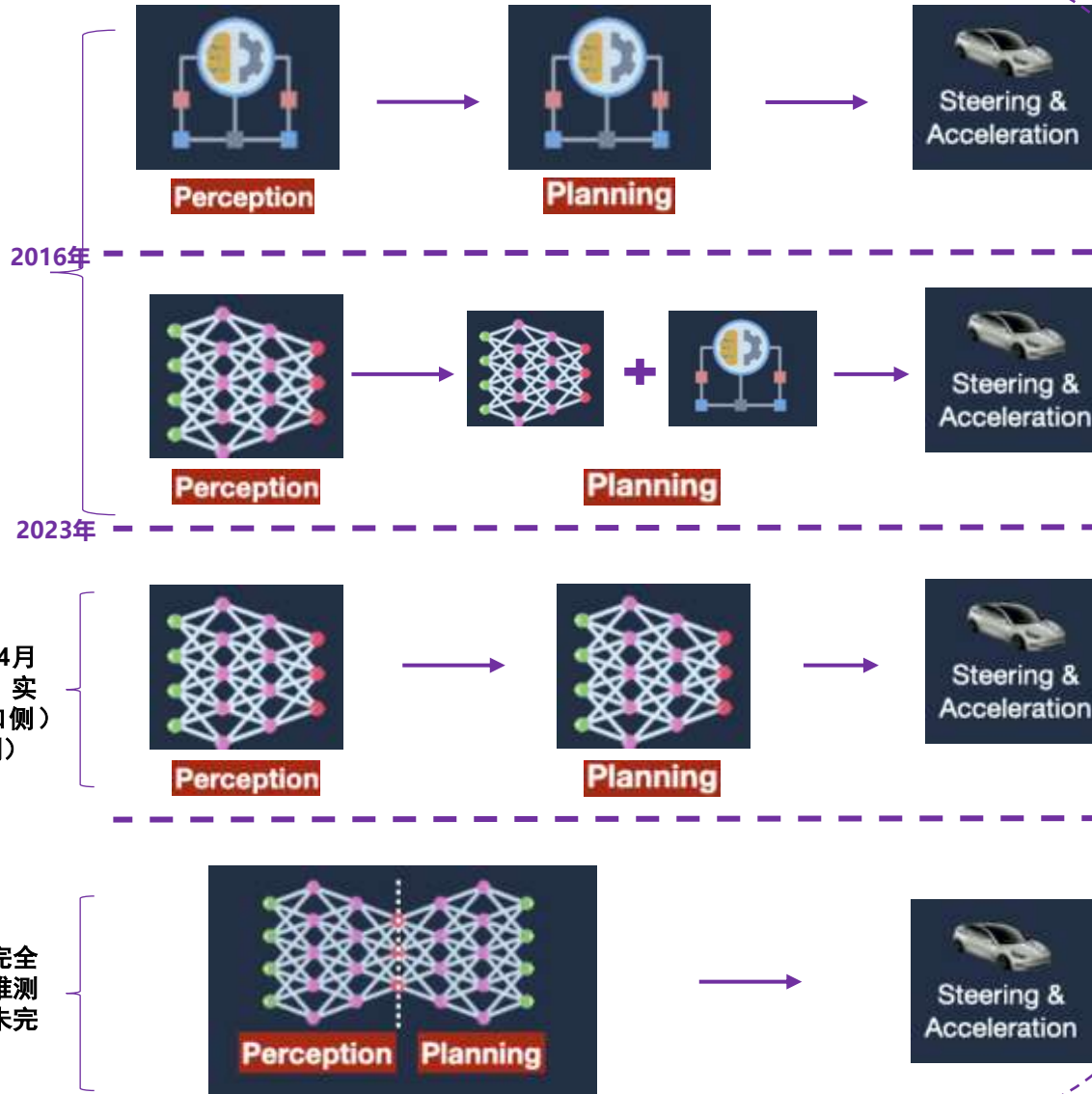
以CNN、Transformer等为代表的
算法升级是迭代的核心驱动

感知侧：
Transformer
+ BEV
+ Occupancy

规控侧：
结合神经网络
实现部分端到端

参考华为24年4月
26日ADS3.0，实现
GOD（感知侧）
+PDP（规控侧）

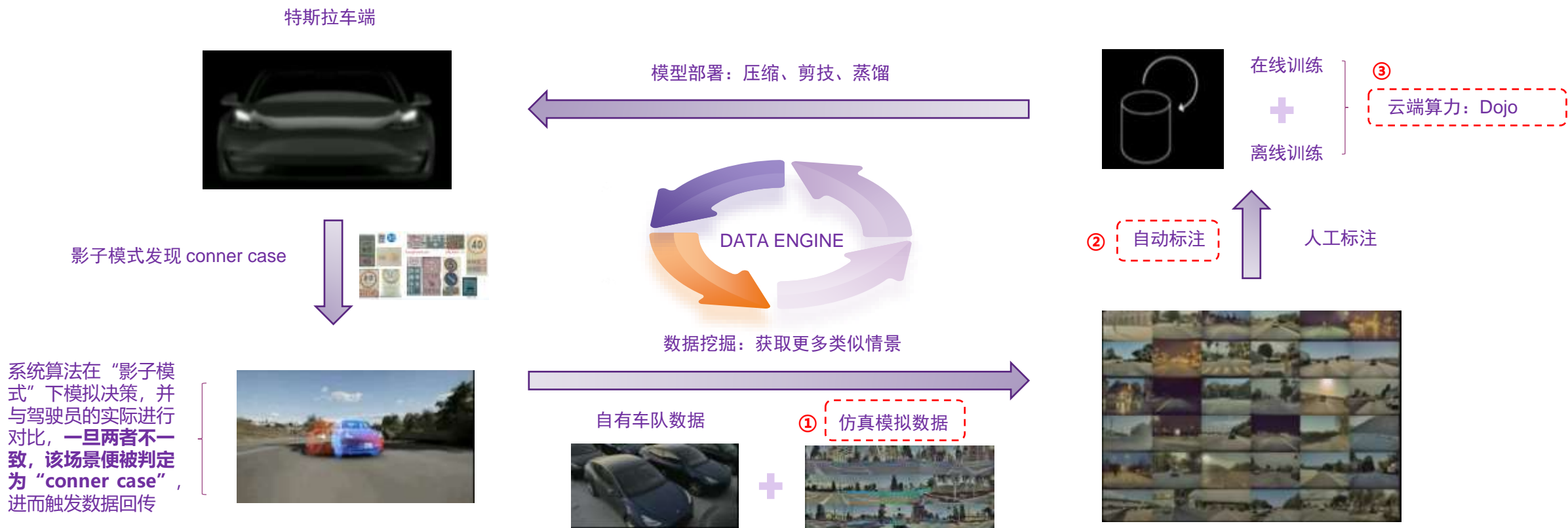
特斯拉声称的完全
端到端，仅为推测
模型，具体并未完全
公布细节



1.2 特斯拉的数据引擎进化史

- **数据引擎的核心在于提高模型的泛化能力。** 现实驾驶情景中存在大量的conner case，特斯拉建立数据引擎通过车端的影子模式发现特定问题>数据挖掘：自有车队或仿真模拟获取类似数据>数据标注：自动标注+人工标注>数据训练：在线训练+离线训练>重新车端部署。
- **特斯拉在2019年首先提出数据引擎闭环，2022年对三个方面实现改进：（1）仿真模拟；（2）自动标注；（3）云端算力。**

图表：特斯拉数据训练闭环及改进



资料来源：Tesla AI day 2022，华鑫证券研究

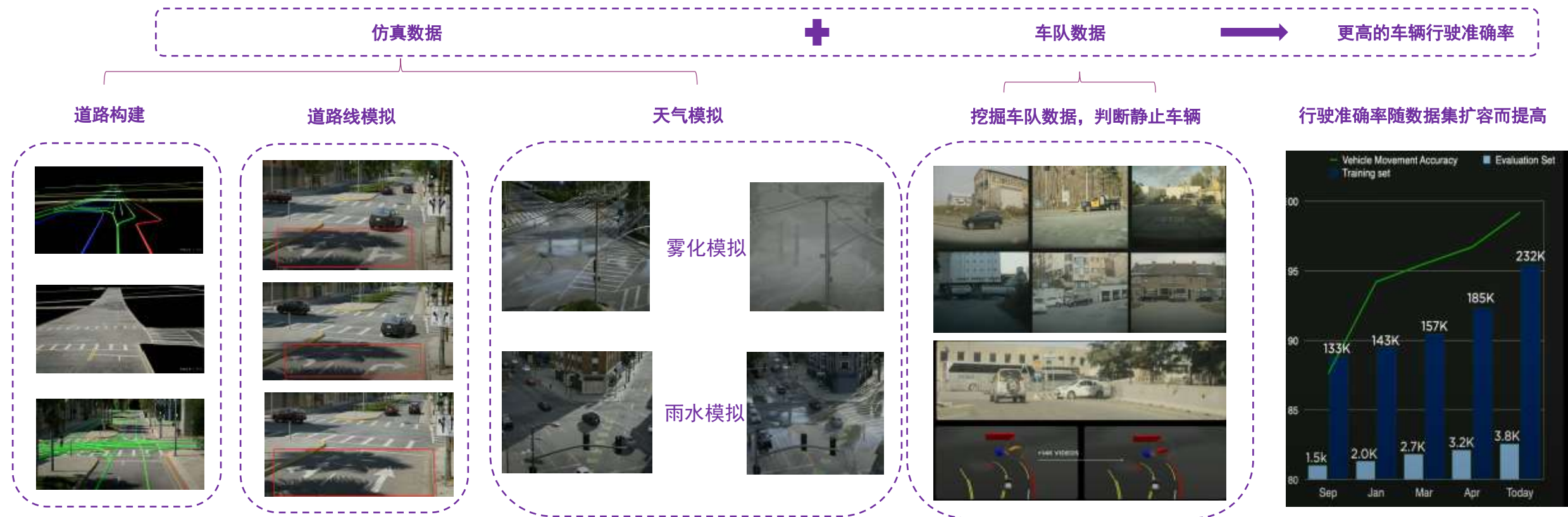
1.2 特斯拉的数据引擎进化史

改进一：现实车队数据+模拟仿真数据。

(1) 车队的数据：特斯拉的数据可以通过现实车队获取。通过14000+个视频就显著降低将“静止车辆”视作“待行车辆”而误停的概率。

(2) 模拟仿真数据：提供现实车队中难以获得的数据来源，进一步提升获取相同场景数据的效率。一般来说，首先会从真实世界获取初步的标注数据，基于此获得基本的道路情况，进而可以对情景进行不同的路标、天气、道路线等条件的模拟。

图表：特斯拉行驶准确率随着数据集增加而提高示意图



资料来源：Tesla AI Day (2021-2022) , 华鑫证券研究

1.2 特斯拉的数据引擎进化史

- **改进二：自建千人团队，从2D人工标注到4D自动标注。** 获取大量数据之后，需要有一个标注“清洁”的过程，符合条件之后才能使用。数据的标注需要涵盖深度、速度、加速度信息。特斯拉2016年开始，仍是通过第三方外包数据标注，但存在响应慢，标注质量不够等问题，到2019年开始自建1000人团队，从2D人工标注发展到4D自动标注。特斯拉自动标注系统可以取代 500 万小时的人工作业量，人工仅需要检查补漏。

特斯拉标注演进史

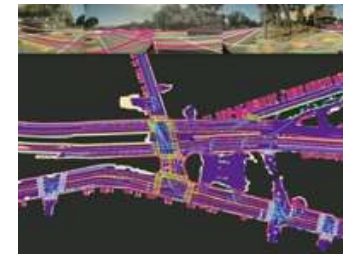


	image space (2018)	single trip (2019)	top-view (2020)	multi-trip (2021-)
3D label	unknown	manual	aligned	reconstructed
reprojection	<1 pixel	<3 pixel	<7 pixel	<3 pixel
topology	local	up to trajectory	unlimited	up to reconstruction
Labeling / clip	533hrs	3.5 hrs	<0.1hravg	<0.1hrsavg
compute / clip	notneeded	1 hr	2hrs	0.5hrsavg
scalability	low	medium	high	Very high
eng. effort	low	medium	high	Very high

资料来源: Tesla AI Day (2021-2022), 华鑫证券研究

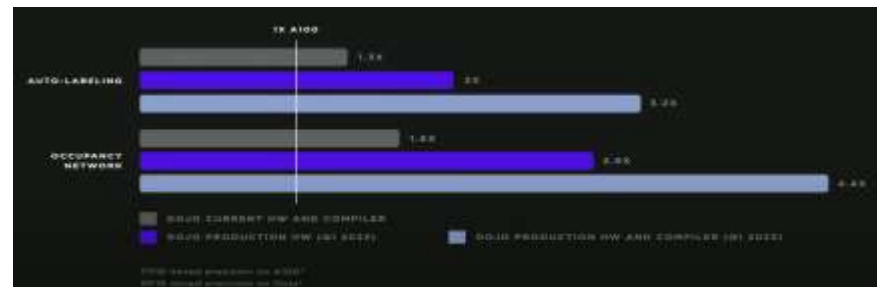
1.2 特斯拉的数据引擎进化史

改进三：自建Dojo算力中心+自研D1芯片。

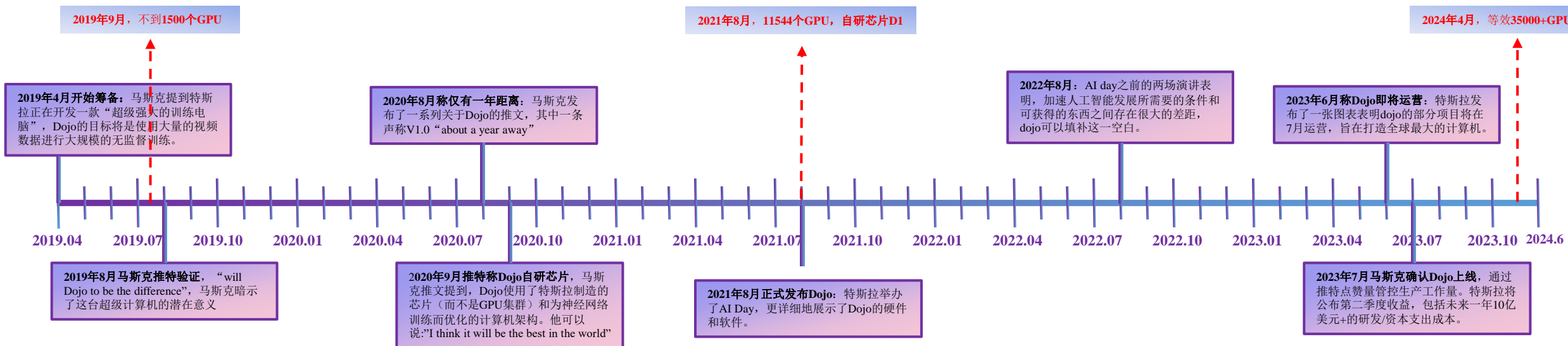
对比英伟达的A100而言，D1自研芯片对于特斯拉数据训练的适配性更高：

- ①自动标注任务：一颗 D1 芯片在最高能够实现 3.2 倍的计算性能。
- ②占用网络任务：一颗 D1 芯片在最高能够实现 4.4 倍的计算性能。

图表：D1芯片与A100训练性能对比



图表：特斯拉Dojo历史进展梳理

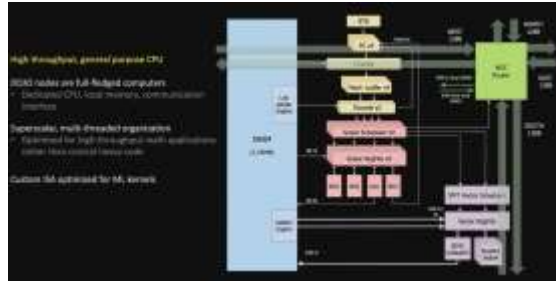


资料来源：Tesla AI Day (2021-2022) , Unlocking Tesla’s AI Mojo, 华鑫证券研究

1.2 特斯拉的数据引擎进化史

Dojo Core

每个DOJO节点都有一个内核，具有CPU专用内存和IO接口。每个内核拥有一个1.25MB的SRAM 作为主存。其中SRAM能以400GB/s速度加载，并以270GB/s存储。



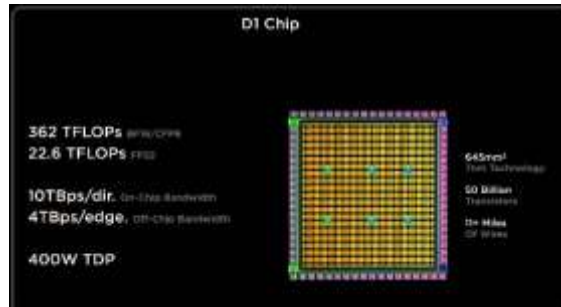
Dojo system tray

6个Training Tile组成一个System Tray。其中有非常多的电缆直接连接，具有高速连接，密集集成的特性。BF16/CFP8 峰值算例可达到54TFLOPS，功耗大概 100+kW。



D1 Chips

D1 芯片是 DOJO 超级计算机的基本单元，由多个Dojo Core组成。D1采用台积电 7nm 制程工艺FP32 算力可达 22.6TFLOPS，TDP(热设计功耗)为 400W。645mm²面积上拥有 500 亿颗晶体管，BF16、CFP8 算力可达 362TFLOPS



DIP

DIP (DOJO 接口处理器) 是一个具有高带宽内存的PCIe卡，使用了特斯拉独创的传输协议TTP (Tesla Transport Protocol)。每个DIP都包含PCIe插槽和两个32GB的HBM。DIP是主机与Training Tiles之间的桥梁。TTP可以将标准以太网转化为Z平面拓扑，拥有高Z平面拓扑。Z 平面拓扑可以更好的帮助Training Tiles进行数据的交换，进而实现近存计算。



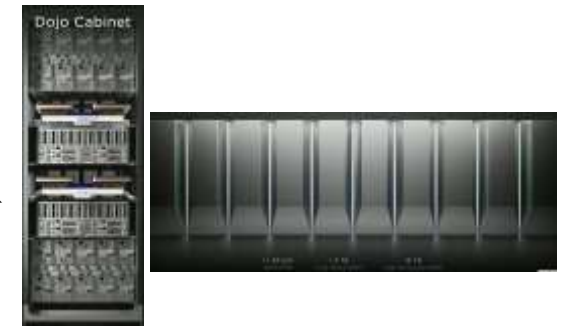
Training Tile

基于 D1 芯片，特斯拉推出晶圆上系统级方案，通过应用台积电 SoW 封装技术，以极低的延迟和极高的带宽实现大量的计算集成，将所有 25 颗 D1 裸片集成到一个Training Tiles上，横排 5 个竖排 5 个，成方阵排列。每个 D1 芯片之间都是通过 DIP (DOJO 接口处理器) 进行互连。每个 DOJO Training Tiles都需要单独供电，每个瓦片消耗 15 kW。由计算、I/O、功率和液冷模块就组成了一个完整的Training Tiles。



DOJO ExaPOD

最多可以将 5 个 DIP 以 900GB/s 的速度连接到一个训练瓦片上，达到 4.5TB/s 的总量。每个训练瓦片都有 160GB 的 HBM。两个System Tray组成一个 DOJO Cabinet，每个 DOJO ExaPOD 拥有 10 个 DOJO Cabinet，集成了120 个Training Tiles，内置 3000 个 D1 芯片，拥有 100 万个 DOJO core，BF16/CFP8 峰值算力达到 1.1EFLOPS (百亿亿次浮点运算)，拥有 1.3TB 高速 SRAM 和 13TB 高带宽 DRAM



1.3 特斯拉的硬件进化史

➤ 硬件迭代历史：自研核心芯片FSD+算法升级传感器配置。

时间	2014年	2016年	2017年	2019年	2021年	2022年	2023年
版本	HW1.0	HW2.0	HW2.5		HW3.0		HW4.0
芯片	Mobileye EyeQ3	Nvidia Parker SoC*1 Nvidia Pascal GPU*1 英飞凌TriCore MCU*1	Nvidia Parker SoC*2 Nvidia Pascal GPU*1 英飞凌TriCore MCU*1		FSD 1.0*2		FSD 2.0*3
算力	0.256	/	/		144		/
内存	256MB	6GB	8GB		8GB*2		8GB*2
闪存					4GB*2		4GB*2
每秒处理帧数	36	110	110		2300		6900
处理能力	1x	40x	40x, 带冗余		420x, 带冗余		1260x, 带冗余
转向架	单电源	单电源	冗余电源		冗余电源		冗余电源
传感形式	纯视觉	纯视觉	纯视觉		纯视觉		纯视觉
前置摄像	1个	三目摄像头 (长焦250m+中焦150m+广角60m)	三目摄像头 (长焦250m+中焦150m+广角60m)		三目摄像头 (长焦250m+中焦150m+广角60m)		12个摄像头接口(前置变为双目, 预留一个做冗余, 舱内监控1个) 前侧摄像头和后侧摄像头均为5百万像素
前侧摄像	0	2个(80m)	2个(80m)		2个(80m)		
后侧摄像	0	2个 (100m)	2个 (100m)		2个 (100m)		
后置摄像	1个	1个(50m)	1个(50m)		1个 (50m)		
毫米波雷达	1个 (160m)	1个前向(160m)	1个前向(170m)		1个前向(170m)	0	
超声波雷达	12个 (5m)	12个 (8m)	12个 (8m)		12个 (8m)		0
应用车型	MS、MX	MS、MX	全部车型		全部车型		全部车型
							MS、MX1个向前 (300m) M3、MY无

资料来源：Tesla AI Day, Tesla Investor Day 2023, Donews等整理, 华鑫证券研究

1.3 特斯拉的硬件进化史

	FSD一代	FSD二代	Jetson AGX Orin 32GB	Jetson AGX Orin 64GB
工艺制程	三星14nm	\	7nm	7nm
AI性能指标	144TOPS	\	200 TOPS (INT8)	275 TOPS (INT8)
CPU	12个ARM Cortex-A72 CPU 内核，分成3集群，每个集群包含4个CPU核心	20个ARM Cortex-A72 CPU 内核，分成5个集群，每个集群包含4个CPU核心	8-core Arm® Cortex®-A78AE v8.2 64-bit CPU 2MB L2 + 4MB L3	12-core Arm® Cortex®-A78AE v8.2 64-bit CPU 3MB L2 + 6MB L3
CPU最大频率	2.2GHz	2.35GHz	2.2GHz	
GPU	Mali G71 MP12		NVIDIA Ampere architecture with 1792 NVIDIA® CUDA® cores and 56 Tensor Cores	NVIDIA Ampere architecture with 2048 NVIDIA® CUDA® cores and 64 Tensor Cores
GPU工作频率	1.0GHz	\	930MHz	1.3GHz
NPU数	2	3	\	\
NPU工作频率	2.0GHz	2.2GHz	\	\
NPU性能	73.7 TOPS	121.65TOPS	\	\
内存	8GB 128-bit LPDDR4 68 GB/s	16GB 128-bit GDDR6 224GB/s	32GB 256-bit LPDDR5 204.8 GB/s	64GB 256-bit LPDDR5 204.8 GB/s
功率	36W	\	15W-40W	15W-60W
晶体管数量	\	\	170亿晶体管	
成本估算	30	105	85	

➤ **FSD芯片与英伟达芯片对比：牺牲小量性能，追求更低成本与供应链安全。** 特斯拉避免受制于英伟达芯片产能限制，同时降低成本，推出FSD芯片：

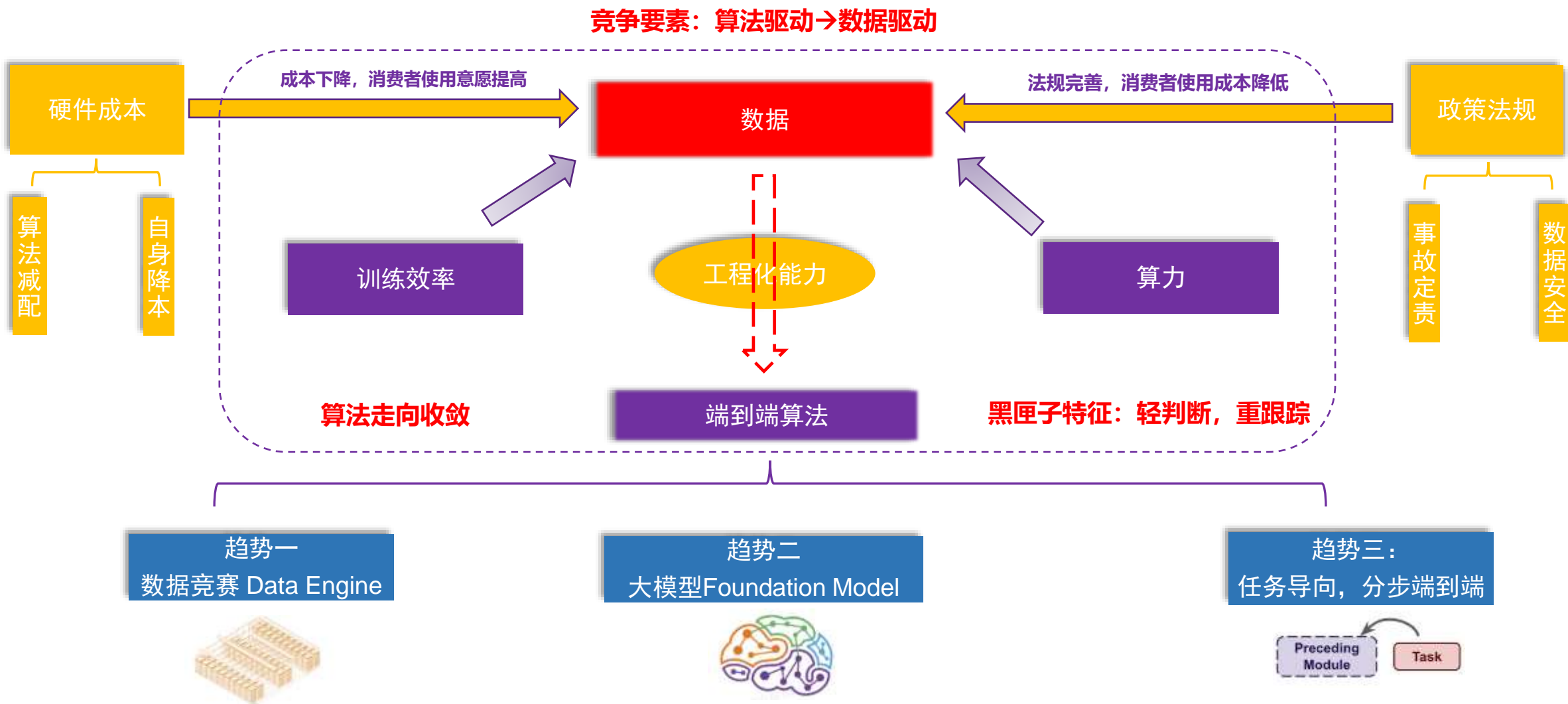
- 从工艺和构成来看，特斯拉芯片的设计更倾向于优化特定的自动驾驶任务，而不追求极限的计算能力：** 特斯拉FSD芯片内置60亿个晶体管，而英伟达Drive AGX Orin 的晶体管数量为170亿颗，A100 Tensor Core GPU的晶体管数量为542亿颗。 特斯拉的芯片在自动驾驶特定任务上进行了优化，特别是在处理视觉数据方面具有高效的性能
- 从成本来看，特斯拉的芯片更适合在电动车上长期运行：** 特斯拉FSD芯片的功耗仅为36瓦，而英伟达的Drive PX系统的功耗高达1000瓦。这一差异显著影响了两种芯片的成本效率，特斯拉的设计明显更加节能，更适合电动车的长期运行和成本控制。

资料来源：NextBigFuture，Teals Autonomy Day，佐思汽研，焉知汽车等整理，华鑫证券研究

02 从特斯拉历史出发， 看未来落地的研判框架

研究创造价值

总结特斯拉的历史，如何看未来



资料来源：《End-to-end Autonomous Driving: Challenges and Frontiers》，华鑫证券研究

2.1 感知侧算法逐渐走向收敛，特斯拉领先0.5-1.5年

- 从算法架构来看，各厂商跟随特斯拉走向收敛，感知侧大模型普遍走向BEV+Transformer+占用网络的架构。
- 从感知侧算法的推出时间来看，特斯拉领先国内0.5-1.5年时间，华为和小鹏相对靠前。

特斯拉与国内车企：感知侧算法推出时间对比

占用网络推出时间

特斯拉：2022年10月，AI Day特斯拉引入Occupancy占用网络。

华为：2023年4月上海车展发布了ADS2.0，ADS2.0架构引入为GOD占用网络。

蔚来：2023年9月发布了基于BEV与占位栅格感知模型NOP+

理想：在2023年12月理想推出了AD Max 3.0，引入了BEV+Occupancy。

小鹏：2023年10月发布了XNet2.0，在BEV和Transformer的基础上引入Occupancy

特斯拉：2021年9月，在AI大会上推出BEV+Transformer架构。

华为：2022年5月极狐阿尔法S HI版上市，搭载ADS1.0，实现基于Transformer的BEV架构（后在2023年4月上海车展披露信息）

小鹏：2022年10月发布Xnet，引入BEV+Transformer网络

Transformer+BEV架构推出时间

2021.9

2022

2023

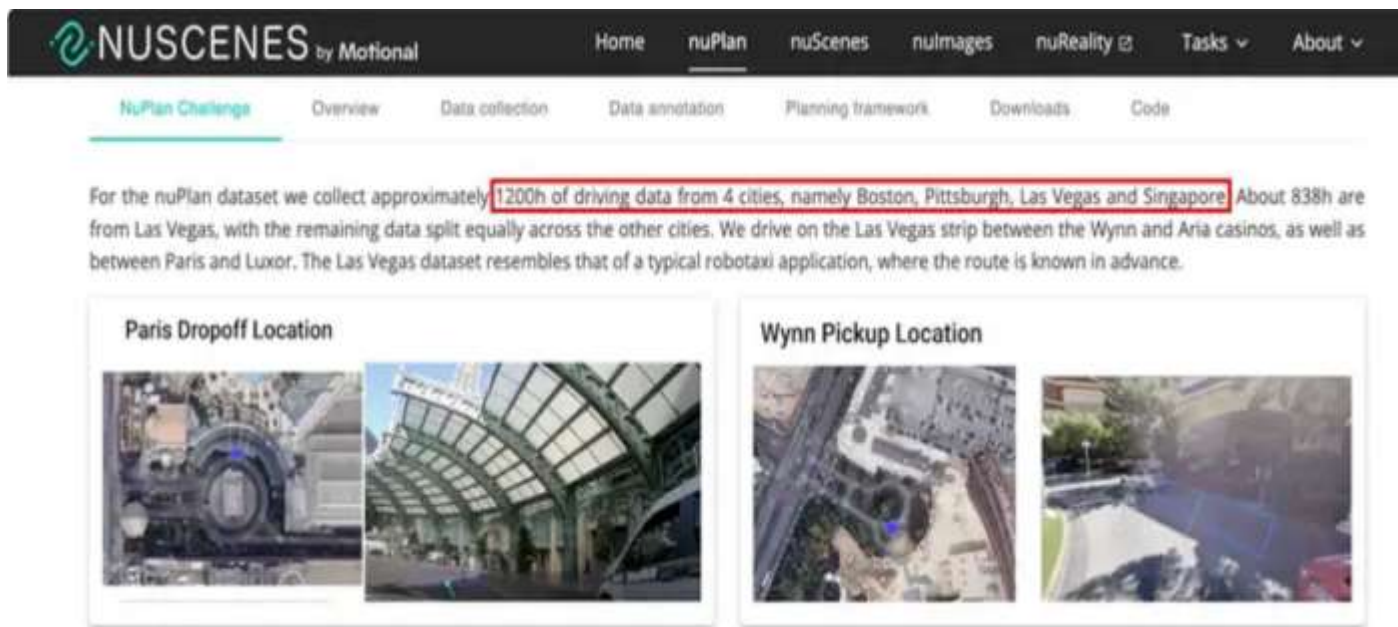
2024

资料来源：Tesla AI Day，特斯拉，小鹏汽车，华为智能汽车解决方案，蔚来汽车，理想汽车，2022CVPR，中国基金报，acrfox官网等，华鑫证券研究

2.1.1 趋势一：数据竞赛

- 规控侧端到端的核心难点之一：如何获取大量优质的数据。** BEV属于感知层面，高质量的学术开源数据集Nuscenes的推出为很多BEV研究提供了便利的前置条件。然而学术界目前仍然缺乏大规模的端到端可用数据（相对感知侧数据来说，规划控制的数据更难获取），目前最大规模的NuPlan数据集包含了4个城市1200小时的实车采集数据，在2023年的财报会议上，Musk表示对于端到端的自动驾驶“训练了100万个视频case，勉强可以工作；200万个，稍好一些；300万个，就会感到Wow；到了1000万个，它的表现就变得难以置信了”。Tesla的Autopilot回传数据假设为普遍的1min片段，即入门级别的100w视频case约为16000小时，相较Nuscenes学术数据集1200小时，超出十倍以上。
- 领先车企纷纷推出奖励活动，激励消费者生成更多智驾数据。**

图表：学术开源数据集nuscenes的数据量



图表：小鹏&华为推出消费者使用智驾的激励活动

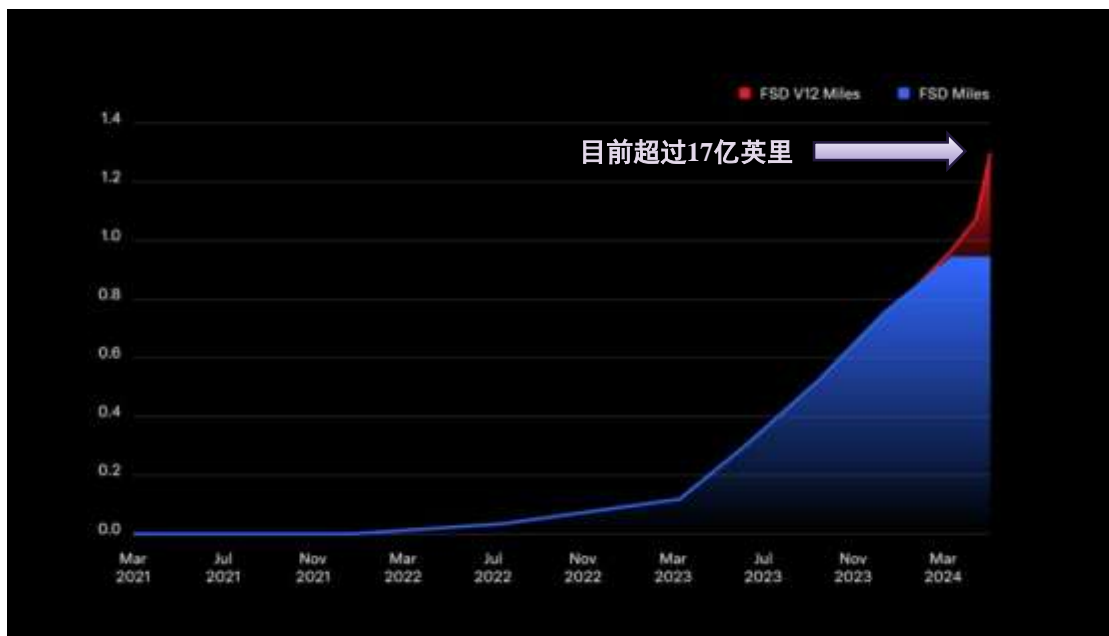


资料来源：NUSCENES，鸿蒙智行，小鹏汽车公众号，特斯拉财报会议，华鑫证券研究

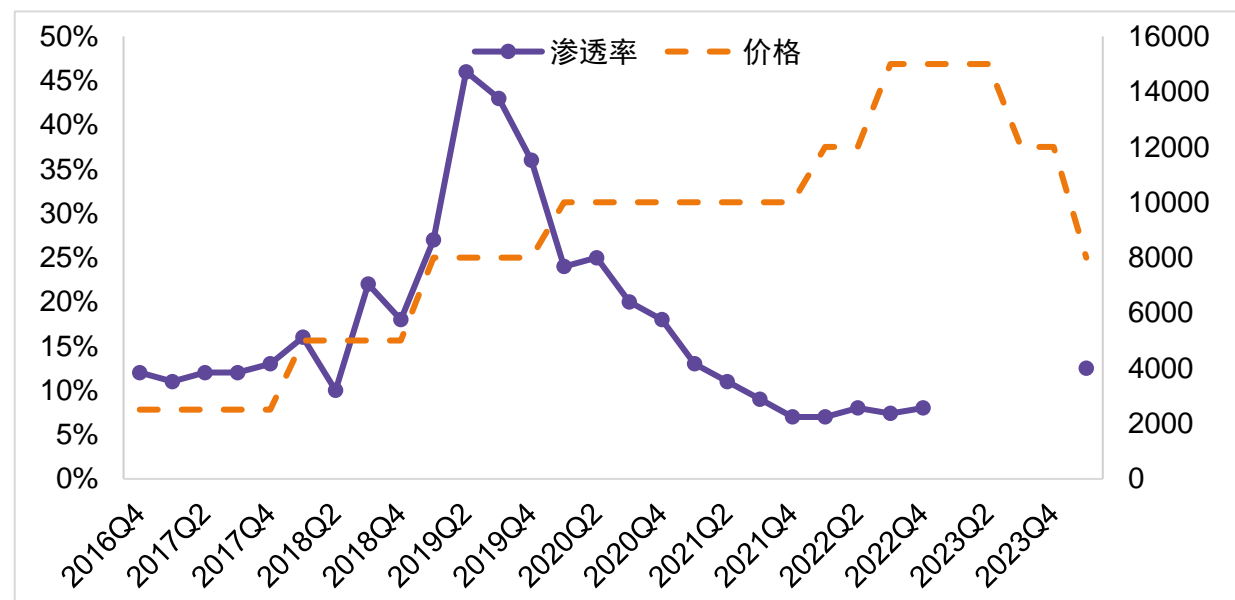
2.1.1 数据竞赛：特斯拉里程数据加速积累，降价提高渗透率

- FSD V12推出以来，里程数呈加速向上趋势，4月累积里程突破13亿英里：** 特斯拉总的FSD行驶里程自2021年3月起稳步增长，初始阶段增长相对平稳，2023Q4开始呈现出加速上升的趋势。FSD V12版本上线后，特斯拉的行驶里程迅速突破13亿英里。
- 全球渗透率从2024Q1出现回升趋势：** 从2016第四季度至2019年第三季度，特斯拉的市场渗透率呈现出上升趋势，从约10%增长到超过40%。随后在2018年第四季度到2022年第三季度，由于价格的迅速上涨，渗透率迅速下降至约7%（侧面说明届时消费者为FSD买单意愿仍不强），从2022年第四季度开始，渗透率迎来了另一轮的显著上升。
- FSD价格Q1进一步降低至8000美元买断，订阅价格从199美元降低至99美元/月：** 2023年推出端到端以来，特斯拉将数据获取放在首位，推出首月免费及推荐积分等制度，同时进一步采取以价换量策略，将价格不断压低换取渗透率的提升。

图表：特斯拉FSD里程数变化（十亿英里）



图表：特斯拉FSD渗透率（左轴）和价格（右轴：美元）

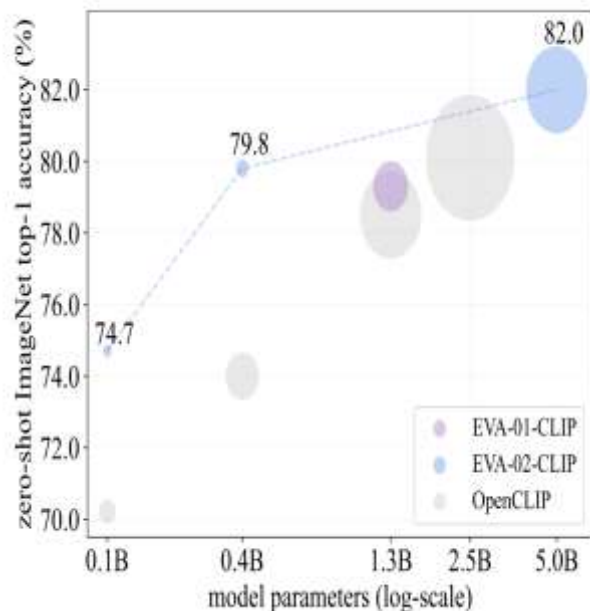
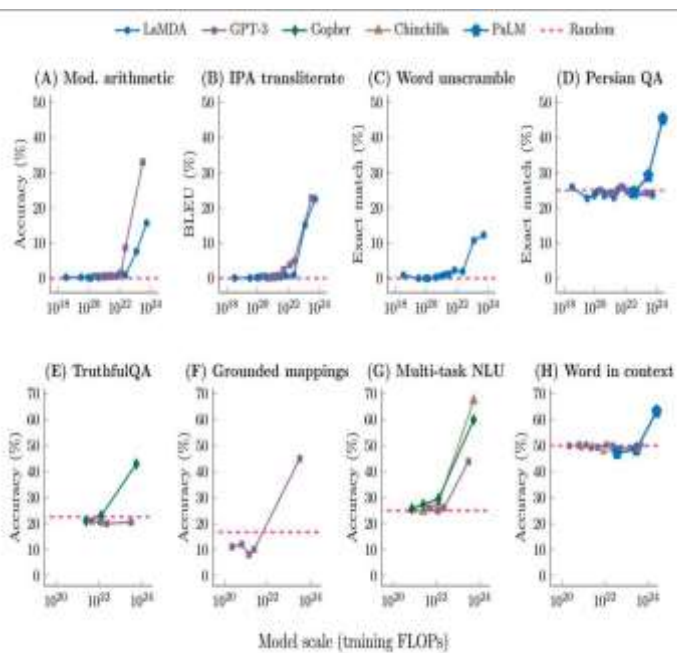


资料来源：Teslarati，特斯拉年报，华鑫证券研究

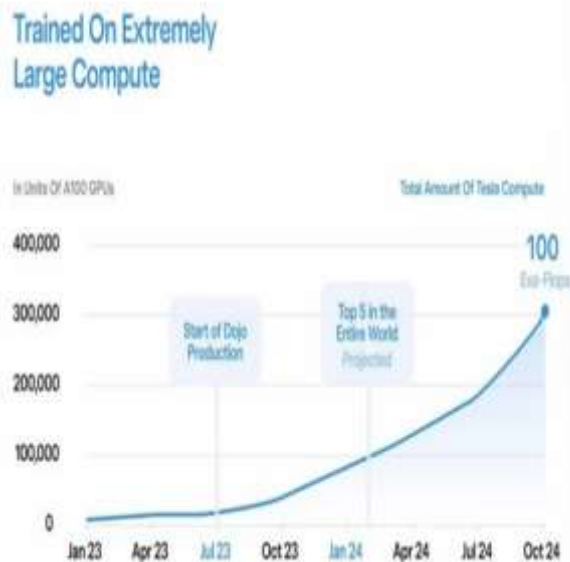
2.1.2趋势二：走向大模型，算力投入持续加大

- 走向大模型，智能驾驶“GPT时刻”持续酝酿。参考GPT的训练路径，模型训练达到一定规模后会发生性能上的显著跃升。
- 算力投入军备赛拉响，特斯拉预计在2024年10月实现100Exa-Flops (1×10^{20})，算力优势领先显著。2024年3月，马斯克推文指出算力是目前主要的限制因素。2024年4月，马斯克言及100亿美元的算力支出，且能高效使用算力训练是竞争智驾的门槛。2024年Q1财报会议上Tesla披露已经拥有35000块H100的计算资源，并透漏在2024年底或将达到85000块。

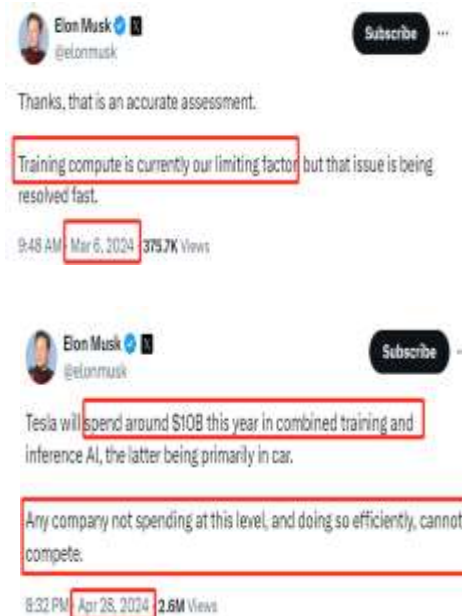
图表：语言类大模型、机器视觉模型，都展现出Scaling Law



图表：特斯拉算力计划



图表：马斯克推特强调算力



资料来源：《Emergent abilities of large language models》，《EVA-CLIP: Improved Training Techniques for CLIP at Scale》，特斯拉年报，推特，华鑫证券研究

2.1.2趋势二：走向大模型，加大算力投入

- 国内方面，算力投入差距仍然明显，智驾提供商Tier1相对整车厂的算力投入更大。

图表：国内厂商算力投入对比

		小鹏	华为系 (问界)	理想	蔚来	上汽智己	长城/毫末智行	吉极极氪	特斯拉	百度	商汤
类型		NPG	NCA	NOA	NOP+	NOA		NZP	FSD		
软件	架构名称	XNGP	ADS 2.0	AD MAX 3.0	NOP+	IM AD (Momenta)	Hpilot 3.0	ZAD	FSD	Apollo ANP 3.0	绝影领航
	BEV	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	Transformer	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	占用网络 (类)		√	√		√					
云算力	智算中心名称	扶摇	/	理想智算中心	蔚来云	云上数据超级工厂	雪湖绿洲	星睿	Dojo	阳泉智算中心	AIDC
	发布时间	2022.08	/	2023Q3	2022.11	2022.06	2023.01	2023.01	2021.06		
	合作厂商	阿里云	/	火山引擎	腾讯	阿里云	火山引擎	/	/		
	训练里程数			超6亿公里	超5亿公里		1亿公里		超10亿英里		
	算力	0.60EFLOPS	/	0.75EFLOPS	/	/	0.67EFLOPS	0.81EFLOPS	100EFLOPS (24年10月)	4.0 EFLOPS	12 EFLOPS
车端	算力芯片	Orin X*2	MDC810	Orin X*2	Orin X*4	Orin X		Mobileye Q5H*2	自研FSD*2	Orin X*2	
	算力/TOPS	508	400	508	1016	254		48	/	508	

资料来源：小鹏、问界等各车企官网，NVIDIA，亿欧智库，圆周智行，赛博汽车，Teslaside等，华鑫证券研究

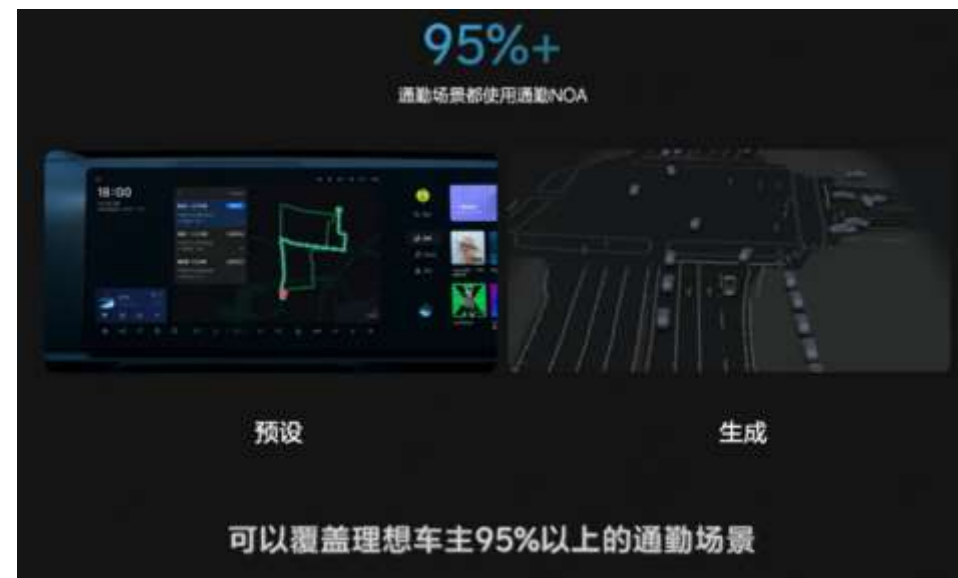
2.1.3趋势三：任务导向，分步端到端---通勤模式

- **通勤模式的核心是在有限数据内实现更高效的智驾体验，主要针对于上下班通勤。**通勤模式又称是记忆行车模式，是利用限定固定路线以及多次采集数据来限制和简化城市导航辅助驾驶功能，将原本的城市域高阶辅助驾驶的实范围，从全国所有城市道路缩小到了驾驶者的通勤道路。驾驶者主动针对自己最需要的场景进行强化训练，车端的驾驶数据会传递至云端，并在特征标注后交由认知模型进行训练，最终再经过仿真验证回传至车端，通过反复学习训练，得到驾驶风格更自然、更接近真人驾驶的效果。
- **小鹏汽车较早在2023年6月提出“通勤模式”概念，理想、大疆、智己在后续纷纷推出。**在2023年3月，小鹏汽车首次提出了这一概念，旨在通过限定固定路线和多次数据采集，为在高精地图未覆盖区域的用户提供城市辅助驾驶体验。

图表：国内车企通勤模式情况梳理

车企	小鹏	理想	大疆	智己
时间	2023年6月	2023年9月	2023年8月	2024年3月
名称	Ai代驾	通勤NOA	记忆行车	通勤模式beta
特点	AI代驾在全国的规范城镇中都能适用，可记忆多条路线，这些路线可支持跨城同时也支持车主们的私人定制路线，每位车主都能有自己的专属路线。	/	不依赖激光雷达的支持	基于DDL去高精地图技术方案，无需依赖高精地图或设置导航

图表：理想通勤模式



资料来源：AutoLab，小鹏、理想汽车官网，大疆车载，华鑫证券研究

2.1.3趋势三：任务导向，分步端到端---智能泊车

- 智能泊车基于其功能的实用性，有望成为另一个智驾突破的情景。小米发布会，推出的全球首个端到端大模型主要应用在智能泊车情景下的任务，将感知、决策、规划算法多合一，可以停入最少5cm的极窄车位，未来细化跟踪不同停车场景是分化车企能力的关键。

图表：小米代客泊车实现端到端



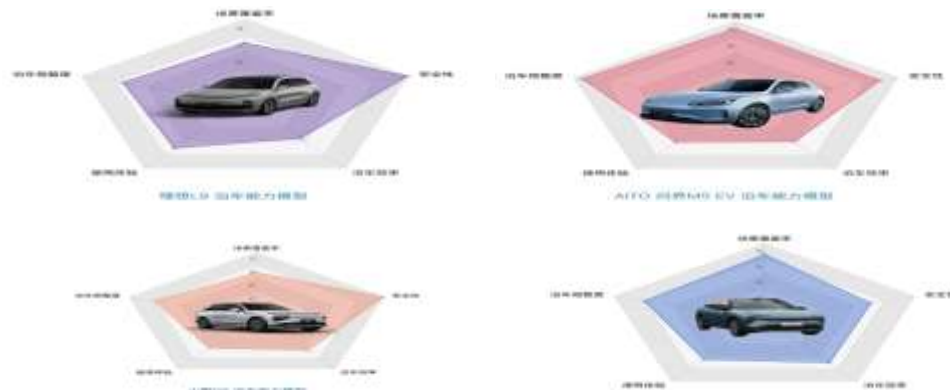
图表：AutoLab智能泊车测试

智能泊车测试 不同车位泊车识别效果

车位类型	理想L9	蔚来ES7	小鹏G9	极狐阿尔法S全新HI	AUTO何赛M5 EV	智己L7	比亚迪汉	宝骏KIWI大疆版	本田e: NS1
两侧无车直角库	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆
两侧有车直角库（宽边距）	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🚫
两侧有柱子直角库	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	😞
无柱转头线直角库	🏆	🏆	😞	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	😞
立体直角库	🚫	🚫	🚫	🚫	🚫	🚫	🚫	🚫	🚫
尽头直角库	🚫	🚫	🚫	🏆	🚫	🚫	🚫	🏆	🚫
两头有车侧方位	😞	🏆	🏆	🏆	🏆	😞	😞	🏆	😞
一头有车侧方位	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	😞
窄边侧方位	😞	🚫	🚫	🏆	🚫	🚫	😞	🏆	🚫
逆向两侧有柱鱼骨	🚫	🚫	🚫	🏆	🏆	🚫	🚫	🏆	🚫
正入两侧有柱鱼骨	🚫	🚫	🚫	🏆	🏆	🚫	🏆	🏆	🚫
黑夜暗光城市柱侧方位	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🚫
黑夜暗光两侧有车直角库	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	🏆	😞

🏆：识别车位并且完美泊入。 😞：识别率低/泊入不规整。 🚫：识别“无法泊入车位”。 🚫：识别车位“可以泊入”，但泊车中途因“无法泊入”而停止。

图表：智能泊车测试维度评价



资料来源：AutoLab，小米汽车官网，华鑫证券研究

2.2 算法竞争落幕，数据驱动的时代下，工程化能力是竞争核心要素

- 数据闭环能力的背后，是一个企业的工程化能力。
- 该如何跟踪工程化能力？从测评结果指标切入。

数据工程化：形成闭环数据驱动系统，有效获取数据、筛选数据、利用数据，提高数据闭环的效率和算法迭代的速度。

车辆工程的集成：智驾系统与整车底盘及其他功能件的融合。

软件工程化：以标准化的研发流程、系统化的研发体系为支撑，达到“过程可重复、结果可预期、问题可追溯”

硬件工程化：诸多新增的或性能升级的汽车零部件（如芯片、域控制器等）的质量标准能否快速构建，并建立较稳定的供应体系，做到稳定供应、故障率低、成本可控。



测试工程化：有效利用仿真和测试的工具，组合使用真实单场景、云仿真多场景、影子模式等多种测试环境，实现测试结果的一致性、可靠性和精确性。

2.2 算法竞争落幕，数据驱动的时代下，工程化能力是竞争核心要素

	2023年1月16日	2023年4月8日	2023年5月26日	2023年6月19日	2024年2月18日	2024年3月12日	
个体FSD进展追踪调查	10.69.25.2	11.3.6	11.4.2	11.4.4-9	12.2.1	12.3	
舒适度	左右转弯平稳	7	8	8	8	10	10
	急转弯平稳	3	8	8	8	10	10
	变道平稳快速	3	9	9	9	9	9
	行车数量适中时变道	3	8	8	9	9	9
	行车拥挤时变道	1	5	6	7	8	8
	舒适平稳与加速	7	8	8	8	7	7
	汇入拥挤高速	6	6	7	8	8	8
	减速或平稳驶过减速带或斜坡	5	5	5	5	9	9
一般安全标准	连续无保护左转弯	6	6	6	6	6	7
	连续红灯右转	6	6	6	6	7	8
	下雨或恶劣天气下行驶	2	7	7	7	7	7
	高速有车汇入	7	7	7	7	7	7
	在高速减速的反应及时度	5	7	7	7	7	7
低频安全标准	环岛	4	4	4	4	8	8
	警察/手势通过	1	1	1	1	1	1
	校车停靠（社会调查）	2	2	2	2		
	施工区/锥形车道通过	3	3	3	3	7	7
	躲避碎片/危险物	1	3	4	4		
法规遵守度	特殊路标熟悉度	1	1	1	1	1	1
	让道救护车	1	1	1	1	1	1
	识别正确限速	6	6	7	7	7	7
	注意红灯闪烁	5	5	5	5	2	2
	注意让行标志	3	3	3	3	7	7
无人驾驶特定标准	车道畅通（公路及铁路）	1	1	1	1	7	7
	注意转向灯	5	7	7	7	8	8
	正确规划行驶路线	3	5	5	5	7	7
	掉头	1	1	1	1	7	7
	倒车	1	1	1	1	1	1
驱动	停车场导航	1	1	1	1	6	6
	泊车	1	1	1	1	4	4
	堵车反应快速度	3	3	5	6	8	8
	车流适速与自动控速	6	9	8	8	8	7
	地面凹陷躲避度	1	1	1	1	1	1
	盲区躲避度	1	1	1	1	1	1
	无干预驱动（启动油门）	3	3	5	5	7	7
干预频率	6	6	7	7	8	8	
加权总分	3.62	4.59	4.89	4.99	6.49	6.54	

执行侧的流畅性更加拟合平稳

- 最大的改进体现在规划侧（无人驾驶）+执行侧（舒适度）
- FSD V12版本核心变化，是实现了在规划和控制两个层面的端到端，所以从图表可以看到两个相关评分显著提高。相比目前国内车企，包括2022年的FSD都只在感知侧实现完全端到端。

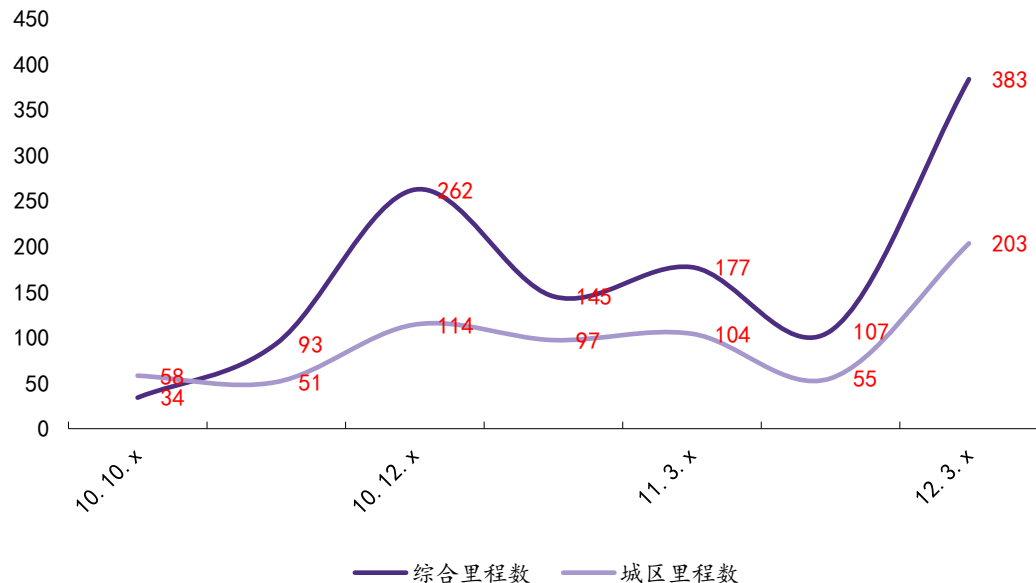
规控侧的准确性显著提高

资料来源：FSD Community Tracker，华鑫证券研究

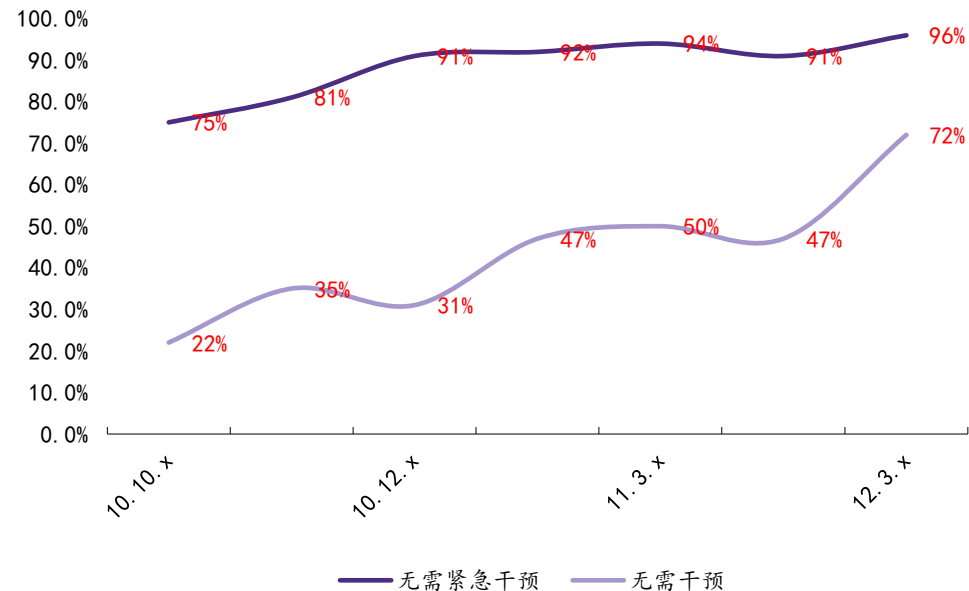
2.2 算法竞争落幕，数据驱动的时代下，工程化能力是竞争核心要素

- **能力新高，干预里程数创FSD推出以来的新高：城区的干预里程数创下新高达203英里。**根据FSD Community Tracker 的数据，特斯拉的Miles to Critical Disengagement在V12.3版本后达到了新高203英里（平均每隔203英里才需要一次严重干预）。
- **无需干预比例提升显著。**根据FSD Community Tracker 的数据统计，从进入V12.3版本后，特斯拉无需干预（包括严重干预CriticalDE和普通干预DE）的司机比例从11.4版本的47%提高到了12.3版本的72%，提升程度显著。

图表：平均每次严重干预，特斯拉的行驶里程数（英里）



图表：无需干预&无需严重干预的司机比例



资料来源：Tesla Community Tracker, Twitter, 华鑫证券研究

2.2 算法竞争落幕，数据驱动的时代下，工程化能力是竞争核心要素

- 不同于国外，国内第三方测评跟踪尚处于起步期，车控CHEK基于AIGC大模型推出全国首个智能汽车智驾表现数据开放平台。参考海外Tesla Community Track等测评平台，国内第三方测评未来有望成为消费者购车智驾的重要参考依据，基于两个角度：

(1) 安全性：事故分类+合理归因。事故本身并不是问题，需要对事故严重程度，事故原因做出合理归类。车控CHEK考虑多种道路情况，事故类型及原因。

(2) 使用体验：从结果看，体现在NOA接管里程；从过程看，体现在刹车、转弯的舒适度。车控CHEK的测评使用多传感器智能化采集、评价，减少竞品性能评估上的50%人员投入和30%数据采集成本，提高统计准确性和效率的同时，增加了对行驶过程中加速度等维度的策略。

资料来源：车控CHEK，华鑫证券研究

指标	数据	JIYUE 01	IM LS	NIO FTY
数据概览	Test time	测试时间	2024. 4	2024. 4
	Test city	测试城市	Shanghai Urban	Shanghai Urban
	Vehicle version	测试版本	V1. 4. 0	IMOS_2. 7. 0
干预汇总	Intelligent driving supplier	智驾供应商	Baidu	Momenta
	intervention_cnt_tota	接管次数	56	77
	intervention_risk_cnt_total	危险接管次数	9	14
	intervention_risk_proportion_total (%)	危险接管占比	16. 10%	18. 20%
NOA 智驾道路情况汇总	Crosswlks, zebra crossings	人行横道	135	156
	Traffic light	交通灯	137	146
	Construction road	施工或事故	6	5
NOA 智驾行驶操作汇总	Left turn	右转	16	17
	Right tumn	左转	20	9
	U-turn	掉头	3	2
	Unprotected left turn	无保护左转	3	4
NOA 过错分类	Risk of scratches or collisions	车距过近或刮蹭或碰撞风险	7	4
	Failing to yield to a pedestrian in a crosswalk	人行横道未礼让行人	2	1
	Not following the map	不遵守导航行驶	5	1
NOA 严重过错分类	Not following traffic lights (yellow light)	闯交通灯（黄灯）	1	1
	Failure to overtake or maneuver around obstacles	未能超车或绕行	2	2
	The system prompts that NOA ends	NOA结束	14	15
	Ghost brake	幽灵刹车	8	6
	Failed to avoid the bus lane	未能避开专有车道	2	1
	Vehicle stanstill (no obstacle ahead)	车辆停滞	10	2
	illegal lane changs	违规变道	2	2
	others	其他接管原因	3	3

2.2算法竞争落幕，数据驱动的时代下，工程化能力是竞争核心要素

指标维度	数据指标	问界M5	小鹏G9	智己LS6	小鹏X9	极越01	智己LS7	NIO ET7	
Overview data	Test time	测试时间	2024. 2	2024. 2	2024. 2	2024. 2	2024. 4	2024. 4	
	Test city	测试城市	上海	上海	上海	北京	上海	上海	
	Vehicle version	测试版本	ADS Pro v2.0	XmartOS_ 4.5.0	IMOS 2.70	XmartOS_ 5.0.3	V1.4.0	IMOS_2.7.0	BANYAN_2.4.5_CN
	duration (h)	持续时间	7.2522774	6.5967836	17.547386	5.7932415	2.8168688	3.4998689	4.3419404
	odometer_total (km)	行程总里程	170.62964	215.90381	415.37897	153.66281	84.24362	114.258224	107.92926
	odometer_auto (km)	智驾总里程	131.25558	53.59805	136.98163	40.444565	75.625626	101.88807	67.38076
	speed_average_auto (km/h)	智驾平均车速	27.162231	26.060223	43.410282	26.729715	32.314285	37.013874	24.147665
	speed_max_auto (km/h)	智驾最高速度	83	120	131	91	88	93	106
	dcc_average_auto (m/s ²)	智驾急刹平均加速度	-3.4429026	-3.4981616	-4.27587	-4.0552125	-3.7209795	-3.609527	-3.604335
	acc_average_auto (m/s ²)	智驾急加速平均加速度	3.5566564	3.5270221	4.251781	3.6495078	3.672642	3.759584	3.4262085
Human driving data	dcc_max_auto (m/s ²)	智驾急刹最大加速度	-6.5487537	-8.264024	-8.82	-8.792294	-8.604759	-6.9376693	-8.090864
	acc_max_auto (m/s ²)	智驾急加速最大加速度	5.4669566	8.401072	8.82	7.8207054	8.82	7.893925	8.0903845
	speed_average_driver (km/h)	车主平均车速	15.913217	35.135597	18.531155	24.345322	17.701372	14.64603	23.649574
	speed_max_driver (km/h)	车主最大速度	130	124	127	92	59	68	117
	dcc_cnt_driver	车主急刹次数	123	150	174	234	23	48	24
	dcc_max_driver (m/s ²)	车主急刹最大加速度	-8.82	-8.82	-8.82	-8.82	-4.5965357	-7.588121	-5.309973
	acc_max_driver (m/s ²)	车主急加速最大加速度	7.343886	8.378045	8.714691	8.779946	8.82	5.652551	5.7322097
	intervention_cnt_total	接管次数	401	146	163	142	56	77	122
	intervention_risk_cnt_total	危险接管次数	17	10	14	13	9	14	18
	intervention_risk_proportion_total (%)	危险接管占比	16.83168317	6.849315068	8.588957055	9.154929577	0.160714286	0.181818182	0.147540984
Intervention data	intervention_mpi_total (km)	接管里程(频次)	1.2868195	0.36461258	0.83525383	0.28282914	1.350457607	1.323221688	0.552301311
	intervention_risk_mpi_total (km)	危险接管里程(频次)	7.291977	4.87255	9.132109	2.8888974	8.402847333	7.277719286	3.743375556
	odometer_noa (km)	noa智驾里程	122.20403	16.032043	112.94753	17.808811	75.625626	69.06348	64.16629
NOA data	odometer_rate_noa (%)	noa智驾里程占比	71.61946189	7.425548905	27.19144159	11.58953881	89.77015233	60.44508446	59.45217265
	intervention cnt noe	noa接管次数	50	67	102	89	56	38	108
	intervention_risk_cnt_noa	noa危险接管次数	3	2	7	7	9	5	17
	intervention_mpi_noa (km)	noa接管里程(频次)	2.3961575	0.23576534	1.096578	0.19787568	1.350457607	1.81746	0.594132315
	intervention_risk_mpi_noa (km)	noa危险接管里程(km)	40.73467667	8.0160215	16.13536143	2.544115857	8.402847333	13.812096	3.774487647
LCG data	odometer_lcc (km)	lcc智驾里程	9.051481	37.56594	24.033993	2.226101375	-	32.824677	3.214517
	odometer_rate_lcc (%)	lcc智驾里程占比	5.304753031	17.39938725	5.786039914	22.635727	-	28.72850273	2.978355452
	intervention_cnt_lcc	lcc接管次数	51	79	61	14.73077773	-	39	14
	intervention_risk_cnt_lcc	lcc危险接管次数	14	8	7	53	-	9	1
	intervention_mpi_lcc (km)	lcc接管里程(频次)	0.17406695	0.46957427	0.38764504	6	-	0.8206169	0.21430114
	intervention_risk_mpi_lcc (km)	lcc危险接管里程(km)	0.646534357	4.6957425	3.433427571	0.042001913	-	3.647186333	3.214517

资料来源：车控CHEK，华鑫证券研究

2.3硬件降本：模型升级的减配

- 参考华为和特斯拉，在模型迭代升级的情况下减少了传感器的配置。华为从ADS1.0升级至华为ADS2.0，减少了2个前视摄像头，3个毫米波雷达，考虑车端算力等其他配置，综合成本预计下降1-2万元。特斯拉从HW2.0走向HW3.0的过程中，将部分车型毫米波雷达和超声波去掉。

图表：特斯拉2021年去掉毫米波雷达



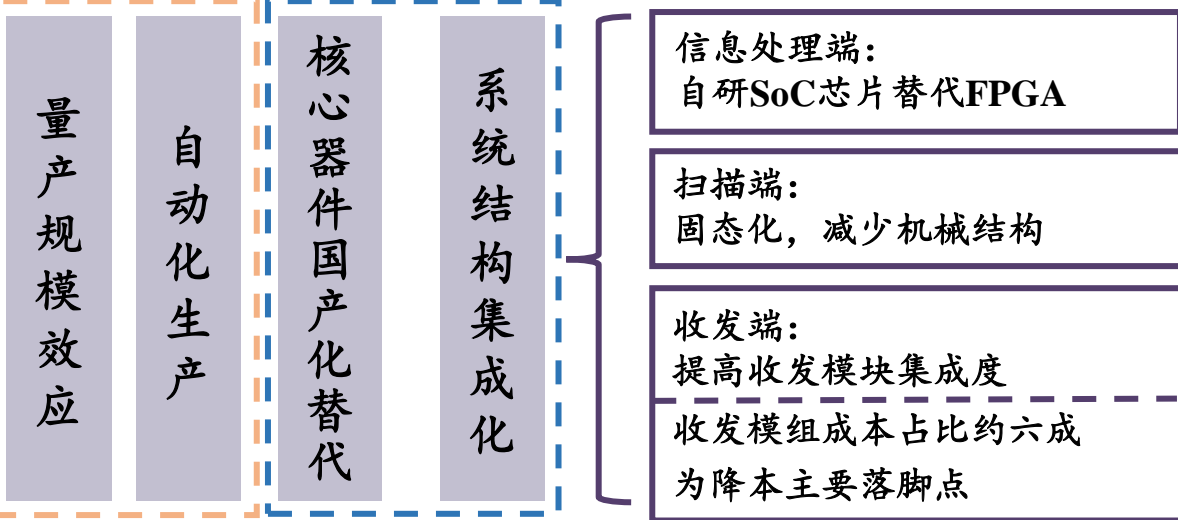
图表：汽车厂硬件配置方案

	华为 ADS1.0	华为 ADS2.0	特斯拉 HW2.0	特斯拉 HW3.0	大疆 成行平台7V	大疆 成行平台9V	毫末智行 HP170	毫末智行 HP370	毫末智行 HP570
激光雷达	3	1	0	0	0	0	0	0	1/0
外部感知摄像头	11	11	8	8	7	9	5	9	11
前视	4	2	2	2	2	2	1	2	2
周视	4	4	4	4	0	2	0	2	4
后视	1	1	1	1	1	1	0	1	1
环视	4	4	1	1	4	4	4	4	4
毫米波雷达	6	3	1	1/0	0	5	1/3/5	0.6	1
超声波	12	12	12	0	12	12	12	12	12
智驾系统处理器	MDC 810	MDC 610	Nvidia DRIVE PX 2	FSD1.0X2	TI TDA4	高通8650	地平线征程3	TI TDA4	高通8650
算力 (TOPS)	400	200	508	144	32-100	32-200	5	32	72/100
成本估算	约4万元	约2-3万元	约3万元	约1万元	5000-10000元级别		3000元级别	5000元级别	8000元级别

资料来源：Tesla AI Day, Teslatap, 小鹏、问界、理想等各车企官网，盖世汽研等公开新闻整理，华鑫证券研究

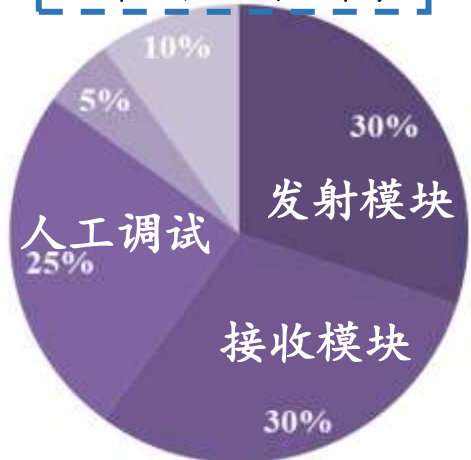
2.3 硬件降本：激光雷达主要在收发模块的集成化与国产替代

降本路径



单位	2022A	2023A	2024E	2025E	2026E	
中国乘用车销量	百万辆	23.6	26.1	28.7	31.2	33.7
乘用车销量yoy	%	9.7%	10.6%	10.0%	9.0%	8.0%
L2+/L3渗透率	%	4%	6%	8%	10%	13%
L2+/L3乘用车销量	万辆	94.3	156.4	229.4	312.5	438.7
L2+/L3乘用车激光雷达使用率	%	80%	80%	82%	82%	85%
L2+/L3乘用车单车搭载激光雷达数量	个	1	1	1	1	1
L2+/L3乘用车搭载激光雷达总量	万个	75.4	125.1	188.1	256.2	372.9
L4/L5渗透率	%	0%	0%	0.5%	0.7%	1%
L4/L5乘用车销量	万辆	0	0	14.3	21.9	33.7
L4/L5乘用车激光雷达使用率	%	90%	90%	90%	90%	90%
L4/L5乘用车单车搭载激光雷达数量	个	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
L4/L5乘用车搭载激光雷达总量	万个	0	0	45.2	68.9	106.3
乘用车搭载激光雷达总量	万个	75.4	125.1	233.2	325.1	479.2
乘用车搭载激光雷达均价	元/个	4300	3200	2912	2650	2411
价格下降yoy	%	-57.0%	-25.6%	-9%	-9%	-9%
激光雷达市场规模	亿元	32.4	40.0	67.9	86.2	115.6

转镜等光学部件、主控芯片、收发端芯片等



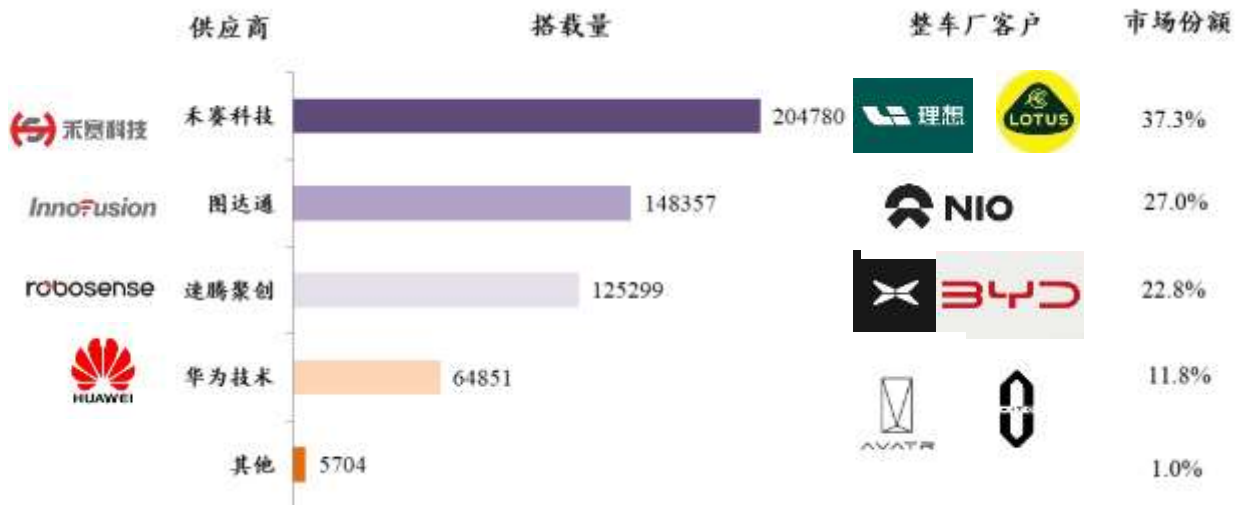
降低人工调试、制造成本



- 发射模块
- 接收模块
- 人工调试
- 控制模组
- 机械装置等部件

60%

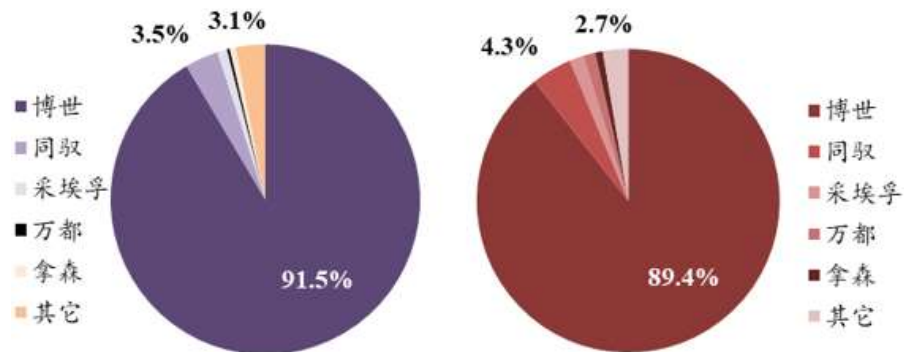
2023年中国激光雷达市场份额及搭载量（单位：颗）



资料来源：WIND，工信部，中国通信院，禾赛科技，智能汽车网，佐思汽研，盖世汽车，共研网，速腾聚创等，华鑫证券研究

2.3硬件降本：线控制动主要在ECU转向DCU

2021-2022年中国乘用车线控制动市场份额



线控制动市场规模测算

	单位	2022A	2023A	2024E	2025E	2026E
新能源汽车销量	万辆	688.7	949.5	1234.4	1604.7	2086.1
新能源汽车线控制动渗透率	%	48%	50%	53%	56%	58%
燃油车销量	万辆	1513.7	1404.3	1334.1	1267.4	1204.0
燃油车线控制动渗透率	%	5%	8%	11%	17%	25%
线控制动单车价值量	元	1940	1882	1825	1771	1717
新能源汽车线控制动市场规模	亿元	64	90	119	158	209
燃油车线控制动市场规模	亿元	15	20	27	38	52
线控制动市场规模	亿元	79	110	147	196	261

线控制动

电子机械
制动系统
EMB

电子液压
制动系统
EHB

TWO BOX方案

ONE BOX方案

趋势一：

EHB→EMB

趋势二：

Twobox→Onebox

趋势三：

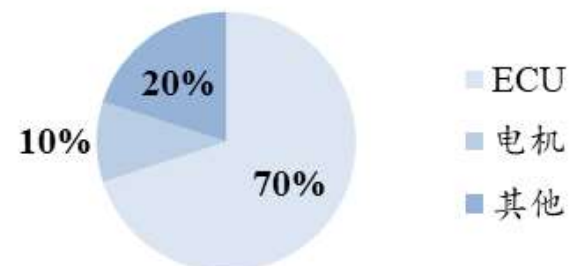
ECU→DCU

EMB简化结构部件，反应更灵敏，为未来趋势。但EMB无冗余备份且电机性能受限，预计5年内仍以EHB为主。

相比Twobox方案，Onebox方案集成度更高、重量轻、成本低，满足自动驾驶的冗余要求。

ECU构成当前线控制动的绝对成本，OEM未来趋势为转向DCU域控制器，即软硬件解耦，软件自研。

典型EHB线控制动成本构成



未来以域控制器DCU集成替代ECU，实现软硬件解耦，ECU作为冗余备份，总成本将大幅降低。

资料来源：佐思汽研，盖世汽车，中国汽车工业协会，中国经济网，华鑫证券研究

2.3硬件降本：线控转向仍处于国产技术突破早期

线控转向市场规模测算	单位	2022A	2023A	2024E	2025E	2026E
新能源车销量	万辆	688.7	949.5	1234.4	1604.7	2086.1
新能源车线控转向渗透率	%	2%	5%	10%	13%	15%
燃油车销量	万辆	1513.7	1404.3	1334.1	1267.4	1204.0
燃油车线转向渗透率	%	0.1%	0.5%	0.7%	1%	2%
线控转向单车价值量	元	4800	4500	4200	4000	3800
新能源车线控转向市场规模	亿元	7	21	52	83	119
燃油车线控转向市场规模	亿元	1	3	4	5	9
线控转向市场规模	亿元	7	25	56	89	128

线控转向技术发展目标	2025年	2030年
技术水平发展目标	▶满足L3+级自动驾驶及特殊场景无人驾驶的SBW国际领先	▶满足L4+级自动驾驶及一般场景无人驾驶的SBW国际领先
关键零部件发展目标（传感器、控制器、电机、减速机构）	▶满足L3+级SBW用零部件具备自主设计能力，且进入小批量试装阶段	▶满足L4+级SBW用零部件具备自主设计能力，且进入小批量试装阶段
系统特性目标	▶自动驾驶跟随性达到传统驾驶模式的100% ▶手动驾驶模式手感主观评价达到6分	▶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到8分
量产目标	▶线控转向渗透率达到5% ▶线控转向系统成本目标：4000元以内	▶线控转向渗透率达到30%

企业	线控转向产品布局情况
NIO	与采埃孚合作开发线控转向产品。其中蔚来ET9首发的天行底盘系统将线控转向、后轮转向和全主动悬架三大核心硬件系统集成在一起，是目前全球唯一全线控智能底盘系统。
TOYOTA	丰田bZ4X海外版搭载JTEKT线控转向系统OMG(One Motion Grip)，取消了传统方向盘和转向轮之间的机械连接，完全采用电子信号来控制车辆的转向。
LEXUS	纯电动车型RZ的线控转向系统与异形方向盘结合使用。
TESLA	获得线控转向系统专利，应用于Cybertruck，以传统转向为基础，取消了机械中间轴，通过电信号来传输驾驶员的转向意图、做出路面信息反馈。
吉利汽车	与海拉共同开发线控转向系统解决方案。
JTEKT CORPORATION	捷太格特线控转向系统2022年在丰田旗下bZ4X上量产搭载，2024年将在北美地区的雷克萨斯RZ上搭载。

未来线控转向系统发展要点

难点一：线控专项冗余架构

双电源	双控制板	fail-operational	ADAS扩展接口
双电机	双传感器	硬件信息安全HSM	多核冗余互诊
多总线校验	功能安全ASILD	力矩仲裁分配	

难点二：路感反馈力矩获取

参数拟合：将汽车状态和参数信息进行数据拟合

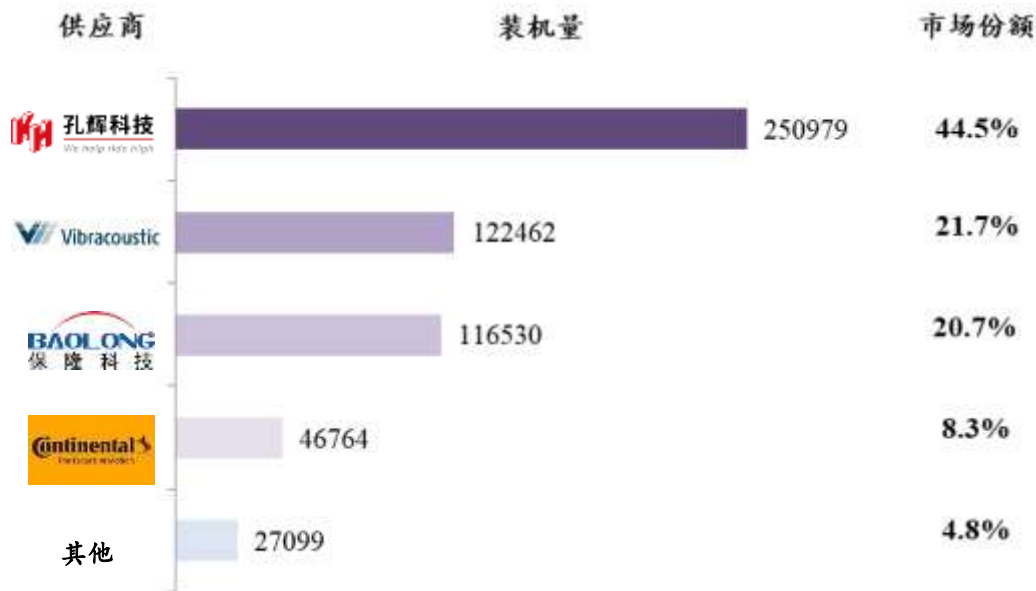
传感器测量：利用扭矩传感器直接测量齿条力矩

动力学模型：依据车辆动态响应、驾驶员转向盘输入等状态，利用车辆动力学模型估算轮胎回正力矩和需要补偿的反馈力矩

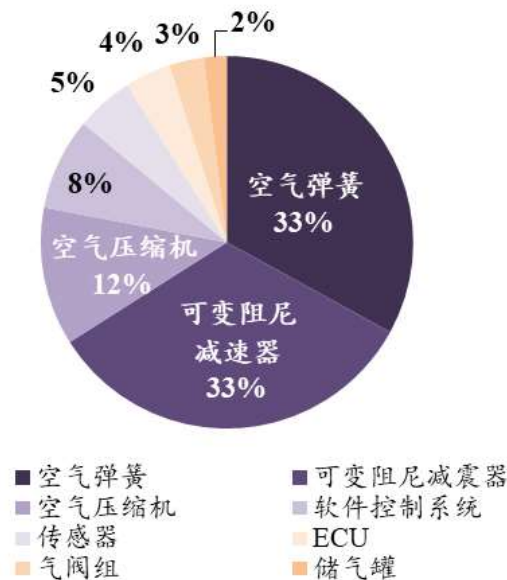
资料来源：盖世汽车，佐思汽研，华经产业研究院，华鑫证券研究

2.3 硬件降本：空气悬架的核心部件国产替代加速

2023年中国空气悬架市场份额及装机量（单位：套）



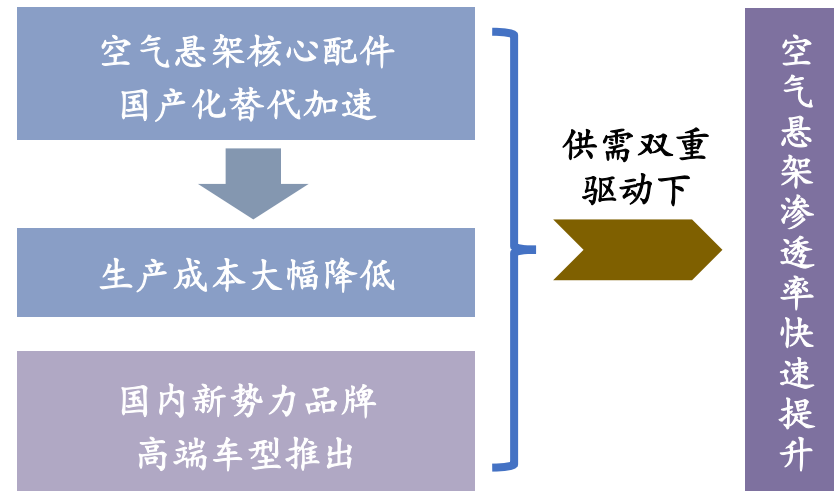
空气悬架系统成本构成



空气悬架零部件 进口配件价格 预计国产化价格

空气压缩机	1500	1200
气阀组	400	300
储气罐	300	200
空气弹簧 (整车配套4根)	4000	3000
ECU	500	250
传感器	600	400
软件控制系统	1000	800
可变阻尼减震器 (整车配套4根)	4000	3000
合计	12300	9200

空气悬架市场规模测算	单位	2022A	2023A	2024E	2025E	2026E
中国乘用车销量	万辆	2356.3	2606.3	2866.9	3124.9	3374.9
乘用车销量yoy	%	9.7%	10.6%	10.0%	9.0%	8.0%
空气悬架渗透率	%	1.2%	2.7%	9%	12%	15%
空气悬架出货量	万套	28.3	70.4	258.0	375.0	506.2
空气悬架单车价值量	元	12000	11500	11000	10000	9000
空气悬架市场规模	亿元	34	81	284	375	456



资料来源：盖世汽车，佐思汽研，观研天下，成都汽车产业研究院，华鑫证券研究

2.4政策法规：国内历史政策不断落地，促进智驾产业发展

文件名称	发布时间	摘要
《自动驾驶汽车运输安全服务指南(试行)》	2023/12/8	《指南》重点关注安全保障，主要包括6个方面：一是安全生产制度，主要是 保障自动驾驶运输经营者落实安全生产主体责任 ，明确运营安全管理制度体系。二是运输安全保障，主要是 指导自动驾驶运输经营者做好安全风险源头管控 。三是运行状态信息管理，主要是 为车辆故障和安全事故调查溯源提供支撑 。四是车辆动态监控，主要是防止违法违规行引发安全事故。五是安全告知，主要是提升乘客安全乘车及紧急情况下的应急逃生能力，对乘客进行安全教育。六是应急处置， 针对性地提升自动驾驶经营者突发事件应急处置能力 。
《关于开展智能网联汽车准入和上路通行试点工作的通知》	2023/11/17	在智能网联汽车道路测试与示范应用工作基础上，工业和信息化部、公安部、住房和城乡建设部、交通运输部遴选具备量产条件的搭载自动驾驶功能的智能网联汽车产品（以下简称智能网联汽车产品）， 开展准入试点；对取得准入的智能网联汽车产品，在限定区域内开展上路通行试点 ，车辆用于运输经营的需满足交通运输部主管部门运营资质和运营管理要求。
《国家车联网产业标准体系建设指南(智能网联汽车)(2023版)》	2023/7/18	为充分发挥标准在车联网产业生态环境构建中的引领和规范作用，适应我国智能网联汽车发展的新趋势、新特征和新需求，加快构建新型智能网联汽车标准体系，工业和信息化部、国家标准化管理委员会联合修订形成《国家车联网产业标准体系建设指南(智能网联汽车)(2023版)》。
《汽车数据安全若干规定(试行)》	2021/8/16	《规定》倡导，汽车数据处理者在开展汽车数据处理活动中坚持“ 车内处理 ”、“ 默认不收集 ”、“ 精度范围适用 ”、“ 脱敏处理 ”等数据处理原则，减少对汽车数据的无序收集和违规滥用。 《规定》强调，汽车数据处理者开展重要数据处理活动，应当遵守依法在境内存储的规定， 加强重要数据安全保护 ；落实风险评估报告制度要求，积极防范数据安全风险；落实年度报告制度要求， 按时主动报送年度汽车数据安全情况 。因业务需要确需向境外提供重要数据的，汽车数据处理者应当落实数据出境安全评估制度要求，不得超出出境安全评估结论违规向境外提供重要数据，并在年度报告中补充报告相关情况。 《规定》提出，国家有关部门依据各自职责做好汽车数据安全管理和保障工作，包括开展数据安全评估、数据出境事项抽查核验、智能(网联)汽车网络平台建设等工作。对于违反本规定的汽车数据处理者，有关部门将依照《中华人民共和国网络安全法》、《中华人民共和国数据安全法》等法律、行政法规的规定进行处罚。
《关于加强智能网联汽车生产企业及产品准入管理的意见》	2021/7/30	《意见》共5个部分、11项内容， 一是明确管理范围、强化企业主体责任 。《意见》明确管理范围为智能网联汽车生产企业及其产品《意见》明确企业应落实主体责任，加强汽车数据安全、网络安全、软件升级、功能安全和预期功能安全管理，保证产品质量和生产一致性。 二是加强数据和网络安全管理能力 。 三是完善保障措施 。《意见》明确企业应当建立 自查机制 ，发现产品存在数据安全、网络安全、在线升级安全、驾驶辅助和自动驾驶安全等严重问题的，应当依法依规立即停止相关产品的生产、销售，采取措施进行整改，并及时报告。
《智能网联汽车道路测试与示范应用管理规范(试行)》	2021/7/27	《规范》主要包括总则，道路测试与示范应用主体、驾驶人及车辆，道路测试申请，示范应用申请，道路测试与示范应用管理，交通违法与事故处理及附则等七个章节。主要明确了道路测试、示范应用及测试区(场)的定义， 将道路测试和示范应用的范围扩展到包括高速公路在内的公路、城市道路和区域，并对省、市级相关主管部门的主要职责与工作机制进行了说明 。提出了测试主体的单位性质、业务范畴、事故赔偿能力、测试评价规程、远程监控能力、事件分析能力、网络安全保障能力及符合法律法规等八个方面的要求，以及示范应用主体还需额外具备的智能网联汽车示范应用运营业务能力等要求，参照校车驾驶人规定提出了驾驶人的基本要求， 明确了乘用车、商用车和专用作业车的注册登记、安全检验、操作模式以及数据记录等要求 。 《指导意见》贯彻中央创新驱动发展战略，以关键技术研发为支撑，以典型场景应用示范为先导，以政策和标准为保障，按照“鼓励创新、多元发展、试点先行、确保安全”的原则，坚持问题导向，提出了四个方面、十二项具体任务。
《关于促进道路自动驾驶技术发展和应用的指导意见》	2020/12/20	一是加强自动驾驶技术研发 。包括加快关键共性技术攻关、完善测试评价方法和测试技术体系、研究混行交通监测和管控方法、持续推进行业科研能力建设等，引导创新主体围绕融合感知、车路交互、高精度时空服务、智能路侧系统、智能计算平台、网络安全、测试方法和工具、混行交通管理等进行攻关，不断健全技术体系。 二是提升道路基础设施智能化水平 。包括加强基础设施智能化发展规划研究、有序推进基础设施智能化建设等，推动基础设施数字化转型、智能升级，促进道路基础设施、载运工具、运输管理和服务、交通管控系统等互联互通。 三是推动自动驾驶技术试点和示范应用 。包括支持开展自动驾驶载货运输服务、稳步推动自动驾驶客运出行服务、鼓励自动驾驶新业态发展等，鼓励按照从封闭场景到开放环境、从物流运输到客运出行的路径，深化技术试点示范。 四是健全适应自动驾驶的支撑体系 。包括强化安全风险防控、加快营造良好政策环境、持续推进标准规范体系建设等，主动应对由自动驾驶技术应用衍生的安全问题，优化政策和标准供给，支持产业发展。
《智能汽车创新发展战略》	2020/2/10	《战略》指出，要构建协同开放的智能汽车技术创新体系。智能汽车产业将广泛融合先进感知传感器、决策执行电控系统、人工智能芯片、人机交互器件、路测感知设施、智能交通系统、5G-V2X信息通信、智慧城市智能共享出行系统、数据增值服务等新产业。构建跨界融合的智能汽车产业生态体系，增强产业核心竞争力、培育新型市场主体、创新产业发展形态、推动新技术转化应用。《战略》指出需要 构建先进完备的智能汽车基础设施体系，推进智能化道路基础设施规划建设，建设广泛覆盖的车用无线网络，建设国家智能汽车大数据云控基础平台 。

资料来源：工信部，交通运输部，国务院，国家发展改革委，中央网信办，科技部，工业和信息化部，公安部，财政部，自然资源部，住房城乡建设部，商务部，市场监管总局，华鑫证券研究

2.4政策法规两个趋势：事故定责+数据安全

- **事故责任方面，参考海外有望进一步降低消费者事故成本，明确简化智驾提供商的定责方法。**参考海外经验，在定责流程中呈现出更为保护消费者的立场和趋势，明确特定条件下，智驾提供商应该更多或者无条件承担责任。
- **数据安全方面，特斯拉4月28日获批符合数据安全4项合规要求，有望加速落地入华。**早在2021年，特斯拉CEO埃隆·马斯克就公开表示，特斯拉不会向美国政府提供在中国收集的数据，并强调公司在中国建立了数据中心，以确保所有在中国市场产生的数据本地化存储。马斯克在4月28日访华，在北京与中国高级官员会面后，获得中汽协的数据处理安全4项安全检测的合规批准。

图表：各国法规梳理

国家	法规
德国	德国联邦汽车运输管理局允许L3级自动驾驶汽车上路，车辆可以在德国全境1.3万公里高速公路上行驶，速度不高于60Km/h，可以解放双手但不能睡觉，不许连续向后看或离开驾驶员座位，在必要的情况下需要人接管车辆驾驶权。符合上述场景、速度和行为这3项条件，如果车辆出了事故，责任属于主机厂，也就是车辆生产单位。
英国	英国对机动车实行第三者责任强制保险制度，2021年4月，英国交通部发布《安全使用自动车道保持系统（ALKS）：回应和后续步骤》规定当自动驾驶汽车在正常自动驾驶时，司机不需要负责可以把注意力转移到别处，并允许司机双手离开方向盘，只需在紧急时刻进行介入，首次将司机从责任主体上移除。
美国	大多数州既有追究司机责任的侵权责任法，也有制造商责任法，阐明了制造商对其任何产品缺陷应承担的责任。在密歇根州和内华达州等，制造商声明不对未经授权经第三方改装的车辆负责，其承担的责任是有限的。根据德克萨斯州法律，车辆所有人应对事故和交通违法行为负责。在田纳西州，在自动驾驶系统受控制的任何情况下，制造商应承担责任。
中国	车辆在自动驾驶系统功能激活状态下发生交通违法行为或者交通事故后，试点汽车生产企业和试点使用主体要在规定时间里向相关部门提供足以证明交通违法行为事实或者交通事故成因的证明材料；如未按规定提供材料，需承担事故责任。

图表：特斯拉通过数据安全审批

关于汽车数据处理4项安全要求检测情况的通报 (第一批)

发布时间：2024-04-28 来源：中汽协会技术部

为规范汽车数据处理活动，保障用户合法权益，鼓励头部汽车制造商发挥标杆作用，推动形成全社会共同维护汽车数据安全和促进汽车行业发展的良好环境，中国汽车工业协会、国家计算机网络应急技术处理协调中心依据《汽车数据安全管理办法（试行）》、GB/T 41871-2022《信息安全技术 汽车数据处理安全要求》等法规标准有关规定，按照企业自愿送检原则，2023年11月起组织对汽车制造商2022-2023年度新上市智能网联汽车数据安全合规情况（车外人脸信息等匿名化处理、默认不收集座舱数据、座舱数据车内处理、处理个人信息显著告知等4项合规要求）进行检测，其中比亚迪、理想、路特斯、合众新能源、**特斯拉**、蔚来等6家企业的76款车型符合汽车数据安全4项合规要求。具体汽车车型名单如下：

资料来源：中汽协，第一电动汽车网，华鑫证券研究

03 国内各车企智驾能力分析

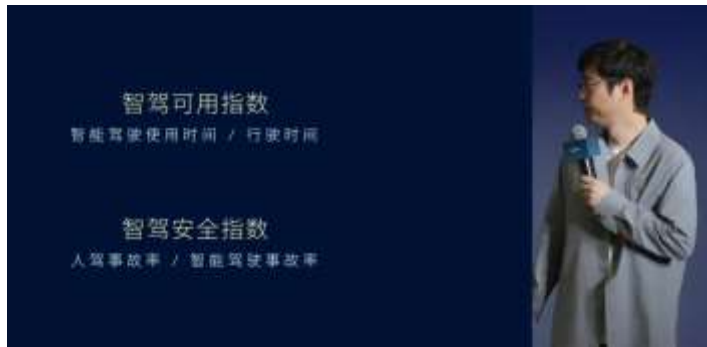
研究创造价值

3.1 如何评价国内车企？目前主要的困难

➤ 目前来说，业内并没有很好的评价车企智驾能力的指标，主要是基于以下难点：

X：缺少统一可比标准，各车企评价维度纷繁

小鹏：智驾里程渗透率 vs 蔚来：用户时间渗透率。



✓：替代对比维度：提炼四个核心维度，跟踪智驾数据表现

从我们研究结论出发，不论是走向端到端的趋势，或是车企之间竞争的需要，我们认为未来对算法跟踪的意义将会愈发有限。

取而代之的，跟踪核心是基于智驾体验的结果，围绕数据为核心驱动表现，因此，**我们提炼四个核心维度作为跟踪判断框架：车队数据积累速度+智驾好用指标+智驾舒适度+智驾安全性。**

X：数据披露有限，难以量化对比

车型	版本号	综合评级	车型	版本号	综合评级
阿维塔12	ADS Pro V2.0	N(良)	理想MEGA	V5.0.5	N(良)
问界M9	ADS Pro V2.0	N(良)	小鹏X9	XOS 5.0.4	N(良)
智己LS6	MOS 2.7.0	N(良)	智界S7	V1.4.0	N(良)

✓：抓住核心指标，推导其余可比指标

面对车企不同的宣传口径及有限的披露程度（很少有车企直接更新城区NOA的接管里程数），我们通过三方口径和专家交流，**交叉验证找到统一的数据基点：在跑智驾车型数量。**基于此，可以将车企不同时间点，不同方式测量的数据积累程度，进一步转化成统一的可比指标来对比智驾“好用”程度：**单车智驾里程比例**，同时结合获取第三方专业测评机构的数据，跟踪交叉验证结果的可靠性。

资料来源：太平洋智驾，蔚来发布会，华鑫证券研究

3.1 维度一：数据积累---理想

数据积累量	披露时间点	23年春节	23年五一	23年十一	24年春节	24年五一	备注
	累积智驾里程（万公里）	2136	1647	4400	4954	2480	数据来自理想公众号披露
	天数	7	5	8	10	5	
	单日智驾里程（万公里）	305	329	550	495	496	
在跑智驾车 辆数	分车型销量	2021	2022		2023		理想ONE目前已经停售，参考2024年北京车展发布数据约为21万辆
	理想L7				134089		
	理想L8		15482		117990		
	理想L9		39262		114377		
	理想MEGA				3299		
	理想ONE		210000				
	合计销量(万辆)		63.4				
	智驾车型渗透率		50%				参考乘联会23年统计数据，假设理想智驾车型渗透率为均值水平50%
近期增长趋势	在跑智驾车队数量（万辆）		31.7				
	2024Q1销量（辆）		80472.0				因Q1销量或存在未交付情况，此处单独统计体现未来增长趋势

资料来源：理想公众号，理想汽车官方，理想发布会，marklines，华鑫证

3.1 维度一：数据积累---小鹏

数据积累	数据积累	披露时间点	23年十一 (9. 29-10. 6)	24年春节 (1. 26-2. 6)	24年五一 (4. 30-5. 5)	备注	
		累积智驾里程 (万公里)	1070	6978	2192	数据来自小鹏车企官微历次运营报告, 红色为自行计算	
		天数	8	12	6		
		单日智驾里程 (万公里)	134	581	365		
数据积累	在跑智驾车辆数	分车型销量	2020	2021	2022	2023	参考G6与G9车型发布数据, 智驾MAX版本分别超过70%与80%, 综合考虑其他车型假设为60%, 专家交流目前小鹏智驾渗透率大于50%, 整体处于头部
		小鹏P5		7865	37982	19813	
		小鹏P7/P7i	15315	60569	59066	45402	
		小鹏G6				44545	
		小鹏G9			6373	26437	
		小鹏X9				7872	
		合计销量(万辆)	33.1				
		智驾车型渗透率	60%				
在跑智驾车队数量 (万辆)	19.9						
近期增长趋势	2024Q1销量 (辆)	13817.0			因Q1销量或存在未交付情况, 此处单独统计体现未来增长趋势		

资料来源：小鹏公众号，小鹏汽车官方，marklines，华鑫证券研究

3.1 维度一：数据积累---华为

数据积累	数据积累量	披露时间点	24年春节(1.26-2.21)		2024年4月24日	备注
		累积智驾里程(万公里)	4621		6681	春节数据来自车企官微运营报告, 4月24日数据来自华为发布会
		天数	27		30	
		单日智驾里程(万公里)	171		223	
	在跑智驾车辆数	分车型销量	2021	2022	2023	
		智界S7			899	
		问界M5	352	56855	35069	
		问界M7		21226	68465	
		问界M9			25870	
		阿维塔11		757	21381	
阿维塔12				5026		
极狐阿尔法S		2816	7593	15195		
合计销量(万辆)		26.2				
智驾车型渗透率	55%			4月24日发布会披露, 70%的问界用户搭载高阶智驾包, 综合考虑其他车型搭载率较低, 综合取值55%		
在跑智驾车队数量(万辆)	14.4			验证配备率: 华为发布会, 声称2024年底有望实现50万辆在跑智驾车型, 参考上半年合计约20万+辆, 验证智驾车型渗透率		
近期增长趋势	2024Q1销量(辆)	119958.0			因Q1销量或存在未交付情况, 此处单独统计体现未来增长趋势	

资料来源: 华为发布会, marklines, 华鑫证券研究

3.1 维度一：数据积累---蔚来

	数据积累量	披露时间点	2024年3月		2024年4月		备注
		累积智驾里程（万公里）	5923	6461		数据来自蔚来车企的3月和4月两篇智驾报告，红色为自行计算	
天数	31	30					
单日智驾里程（万公里）	191	215					
数据积累	在跑智驾车 辆数	分车型销量	2020	2021	2022	2023	
		蔚来ET5			13819	64158	
		蔚来ET7		118	26488	4860	
		蔚来EC6	5367	30121	18169	10718	
		蔚来EC7				4074	
		蔚来EL6	28020	41739	45451	54715	
		蔚来ES7			16113	5651	
		蔚来ES8	11106	20943	15763	12934	
		合计销量(万辆)	43.0				
		智驾车型渗透率	50%				
	在跑智驾车队数量（万辆）	21.5				参考专家交流，蔚来目前合计在跑车型约20万辆	
近期增长趋势	2024Q1销量（辆）	15978.0				因Q1销量或存在未交付情况，此处单独统计体现未来增长趋势	

资料来源：蔚来公众号，蔚来汽车官网，marklines，华鑫证券研究

3.1 维度一：数据积累---特斯拉

数据积累	数据积累量	披露时间点	2024年5月11日-2024年5月18日				备注
		新增智驾里程(万公里)	20947				华鑫汽车组日度统计数据(来源Total Full Self-Driving Miles每日更新)
		天数	7				
		车队单日智驾里程(万公里)	2992				
	在跑智驾车辆数	分国别销量	2020	2021	2022	2023	华鑫汽车组历史统计数据
		欧洲	22.2	38.4	56.3	70.8	
		中国	12.1	47.9	73.7	66.9	
		北美	8.8	16.1	22.3	33.1	
		合计销量(万辆)	468.8				参考2024Q1数据FSD全球渗透率约为12.5%，考虑马斯克推特称FSD的V12转换率远高于2%，推测最新FSD全球渗透率约在15%-20%区间
		智驾车型渗透率	17.5%				
在跑智驾车队数量(万辆)		82.0					
	2024Q1销量(万辆)	37.7					

资料来源: tesla官方, teslafdtracker, Total Full Self-Driving Miles, twitter, 华鑫证券研究

3.1 维度一：数据积累能力理想较为领先，华为增长潜力较显著

- 从数据积累能力看，特斯拉具备量级优势，每日新增里程2992公里，主要体现在北美的路况数据。
- 国内方面，理想凭借过去一年较高的销量，单日智驾里程数据排名第一，单日累计里程为247.8万公里。从未来增长潜力来看，华为凭借智选和供应商模式，未来在数据增长方面更为突出。

图表：各车企的数据积累能力小结

	理想（五一+春节）	小鹏（五一+春节）	蔚来（3、4月数据）	华为（春节+3月数据）	特斯拉（5月数据）	备注
车队单日智驾里程(万公里)	247.8	236.7	203.3	197.0	2992.5	理想和小鹏均为节假日数据 华为包括3月数据，蔚来均为2024年3至4月数据，故对节假日数据做调整为原值0.5倍；特斯拉为5月统计数据原值
在跑智驾车型数量（万辆）	28.5	19.9	20.7	14.4	82.0	特斯拉数据以北美为主，对比中国城区里程仅供参考
2024Q1销量（万辆）	8.1	1.4	1.6	12.0	37.7	

资料来源：理想、蔚来、阿维塔、问界公众号，华鑫证券研究；备注：理想、小鹏为2024年春节、五一数据，蔚来为3月、4月数据，华为为春节、3月数据

3.2 维度二：智驾好用维度---华为

		披露时间点	24年春节(1.26-2.21)	2024年4月24日	备注
		智驾可用	单车每日里程	车队单日智驾里程(万公里/天)	171
在跑智驾车队数量(万辆)	14.4				
单车每日智驾里程(公里/天/台)	11.9			15.5	车队单日里程除以在跑智驾车辆数
假设每日行程(公里)	70.0			北方纵横的调查数据显示,中国城市私家车平均每月行驶2190公里,按30天计算,平均每天行驶73公里	
智驾里程比例	17.0%		22.1%	每日智驾里程除以假设平均里程	
城区NOA干预里程数	智驾测试总里程(公里)		131.3		第三方车控CHEK数据实测
	地点		上海		
	测试日期	2024.2			
	测试车型	问界M5			
	干预里程数(公里)	40.7			

资料来源:车控CHEK,问界公众号,阿维塔公众号,极狐公众号,华鑫证券研究

3.2维度二：智驾好用维度---小鹏

智驾可用	单车每日里程	披露时间点	24年春节 (1.26-2.6)	24年五一 (4.30-5.5)	备注
		车队单日智驾里程(万公里/天)	581	365	前数据统计所得
		在跑智驾车队数量(万辆)	19.9		
		单车每日智驾里程(公里/天/台)	29.2	18.4	车队单日里程除以在跑智驾车辆数
		假设每日行程(公里)	90.0		考虑节假日出行需求较大,为后续标准统一,上调50%节假日里程数
		智驾里程比例	32.47%	20.40%	每日智驾里程除以每日总里程
	单用户每日里程	用户数(万)	21.2	21.2	单日里程数除以总用户数
		单用户每日里程(公里/天/人)	27.5	17.3	
	城区NOA千预里程数	智驾测试总里程(公里)	53.6		第三方车控CHEK数据实测
		地点	上海		
		测试日期	2024.2		
		测试车型	小鹏G9		
		干预里程数	8.0		

资料来源：车控CHEK，小鹏公众号，小鹏汽车官方，华鑫证券研究

3.2维度二：智驾好用维度---理想

智驾可用	单车每日里程	披露时间点	24年春节 (2.8-2.17)	24年五一 (5.1-5.5)	备注
		车队单日智驾里程 (万公里/天)	495	496	前数据统计所得
		在跑智驾车队数量 (万辆)	31.7		
		单车每日智驾里程 (公里/天/台)	15.6	15.6	车队单日里程除以在跑智驾车辆数
		假设每日行程 (公里)	90.0		考虑节假日出行需求较大, 为后续标准统一, 上调50%节假日里程数
		智驾里程比例	17.4%	17.4%	每日智驾里程除以每日总里程
	单用户每日里程	用户数 (万)	35.5	30.9	单日里程数除以总用户数
		单用户每日里程 (公里/天/人)	14.0	16.1	

资料来源：车控CHEK，理想公众号，理想汽车官方，华鑫证券研究

3.2维度二：智驾好用维度---蔚来

	披露时间点	2024年3月	2024年4月	备注	
智驾可用	单车每日里程	车队单日智驾里程（万公里/天）	191	215	前数据统计所得
		在跑智驾车队数量（万辆）	21.5		
		单车每日智驾里程（公里/天/台）	8.9	10.0	车队单日里程除以在跑智驾车队数
		假设每日行程（公里）	70		北方纵横的调查数据显示，中国城市私家车平均每月行驶2190公里，按30天计算，平均每天行驶73公里
		智驾里程比例	14.8%	16.7%	智驾里程比例未直接公布，通过测算得来。同蔚来智驾工作人员核对口径约在10%-20%之间，验证合理
		单用户每日里程	用户数（万）	30.78	49.5
	单用户每日里程（公里/天/人）		6.2	4.4	
	城区NOA干预里程数	智驾测试总里程（公里）	67.4		第三方车控CHEK数据实测
		地点	上海		
		测试日期	2024.4		
干预里程数		3.8			

资料来源：车控CHEK，各车企官方信息整理，华鑫证券研究

3.2 维度二：智驾好用维度---特斯拉

智驾可用	单车每日里程	披露时间点	2024年5月11日-2024年5月18日		备注
		车队单日智驾里程 (万公里/天)	2992	前数据统计所得	
		在跑智驾车队数量 (万辆)	82.0		
		单车每日智驾里程 (公里/天/台)	36.5	车队单日里程除以在跑智驾车辆数	
		假设每日行程 (公里)	-		
		智驾里程比例	-		
	城区NOA干预里程数	版本	V12.3x	Tesla Community Tracker	
		干预里程数 (公里)	326.7		

资料来源：车控CHEK, FSD Community Tracker, 华鑫证券研究

3.2 维度二：智驾好用维度，华为和小鹏靠前

- 从智驾体验的总结四个核心指标来看：特斯拉的接管里程数上百公里，国内华为和小鹏领先，智驾使用的里程比例分别为22.1%和20.4%。具体来看，小鹏和理想的数据皆为五一采集，直接可比的情况下，小鹏用户愿意使用智驾的比例显著更高。蔚来和华为的数据皆为3月数据，直接可比情况下，华为更为领先。
- 特斯拉在海外路况可以实现326的城区接管里程。根据FSD Community Tracker跟踪数据，FSDV12版本的城区NOA接管里程显著提高。

图表：各车企的智驾好用程度对比

	华为（4月数据）	小鹏（五一数据）	理想（五一数据）	蔚来（4月数据）	特斯拉（5月数据）	备注
单车单日智驾里程（公里）	15.5	18.4	15.6	10.0	36.5	特斯拉数据皆为北美路况，仅供参考
智驾里程比例	22.10%	20.40%	17.40%	16.70%	-	理想和小鹏均为节假日数据，智驾里程比例故调整为原值0.66倍
用户每日使用里程（公里）	-	17.3	16.1	4.4	-	
城区NOA干预里程数（公里）	40.7	8.0	-	3.8	326	第三方测试车控CHEK的单次测试数据，平均测试里程数在100公里，仅供参考

资料来源：理想、蔚来、阿维塔、问界公众号，FSD Community Tracker，华鑫证券研究；备注：理想、小鹏为2024年五一数据，蔚来为4月数据，华为为3月数据

3.3 维度三：驾驶舒适度

- 从驾驶体验的舒适度来看，问界M5表现突出，加速减速平稳丝滑。汽车平顺性是衡量车辆行驶舒适性的重要指标之一，对于提高乘坐体验和保障行车安全至关重要。现有的汽车测试结果显示，问界M5的平均加速度与最大加速度均压到最低值，行车更“稳”，提升用户出行体验感。

图表：各车企的驾驶舒适度对比

数据指标	问界M5	小鹏G9	智己LS6	小鹏X9	极越01	智己LS7	蔚来
智驾平均车速(km/h)	27.16	26.06	43.41	26.73	32.31	37.01	24.15
智驾最高速度(km/h)	83.00	120.00	131.00	91.00	88.00	93.00	106.00
智驾急刹平均加速度(m/s ²)	-3.44	-3.50	-4.28	-4.06	-3.72	-3.61	-3.60
智驾急加速平均加速度(m/s ²)	3.56	3.53	4.25	3.65	3.67	3.76	3.43
智驾急刹最大加速度(m/s ²)	-6.55	-8.26	-8.82	-8.79	-8.60	-6.94	-8.09
智驾急加速最大加速度(m/s ²)	5.47	8.40	8.82	7.82	8.82	7.89	8.09

资料来源：车控CHEK，华鑫证券研究

3.4 维度四：安全性能

- 从太平洋的AEB测试来看，华为智驾安全性能靠前。对安全性能关注度从L2开始就一直较高，太平洋智驾AEB测试结果显示，问界M9、阿维塔12和智界S7均取得G级评级。在行人横穿、倒车遇人等情境下，能够自动触发紧急干预；项目最高通过车速均达到行业最高水平，应急情况更广泛。

太平洋AEB测试结果对比

项目最高通过车速 (km) 车型	行人横穿 (30-80km/h)	儿童与成人横穿 (50-80km/h)	左转遇行人 (15-45km/h)	倒车遇到儿童 (怠速)	追尾电瓶车 (30-120km/h)	探头电瓶车	致盲远光遇儿童 (30-90km/h)	雨夜遇坏车 (0-100kmh)	综合评级
问界M9	80	80	45	✓	120	90	90	100	G(好)
阿维塔12	80	70	35	✓	120	90	50	100	G(好)
智界S7	70	80	30	✓	120	90	50	100	G(好)
宝马5系	70	70	25	✓	80	✗	30	60	N(良)
理想MEGA	70	70	✗	✗	70	✗	90	80	N(良)
蔚来ET5	60	70	20	✗	90	✗	30	90	N(良)
特斯拉MODEL3 换新版	60	60	25	✗	70	✗	50	60	N(良)
宝骏云朵	60	50	25	✗	80	✗	✗	50	N(良)
本田雅阁	60	70	25	✗	60	✗	✗	50	N(良)
智己LS6	70	70	✗	✗	60	✗	50	✗	N(良)
极氪007	70	70	✗	✗	60	✗	30	✗	N(良)
极越01	50	60	✗	✗	40	✗	40	50	N(良)
小鹏G6	60	60	✗	✗	30	✗	✗	40	P(差)
小鹏×9	60	✗	✗	✗	40	✗	✗	✗	P(差)

资料来源：太平洋汽车、华鑫证券研究

04 智驾拐点何时来临?

研究创造价值

4.1 智驾未来预演

- 我们认为，汽车的下半场是智能化，智能化的下半场是城区NOA。
- 方法上，我们复盘高速NOA发展历史，认为城区NOA落地时间预计拐点2.5年，头部车企有望在2025年H1实现拐点。

高速NOA vs 城区NOA

两个不同

结论：2020年底-2023年底，高速NOA实现“好用”历时三年，我们判断城区NOA将会这个时间基础上“更快”实现“好用”拐点，主要是因为高速与城区NOA的两个不同



城区NOA发展

三个阶段

2023-2024H1

华为、小鹏在2024H1率先实现全国都能开，其他车企陆续跟进

可用：开城阶段

2024H1-2025H1

好用阶段：渗透率快速提升

好用：接管次数拐点

2026及以后

离不开阶段：头部竞争加剧，降本普及智驾

必用：竞争降本



4.1 各车企高速NOA功能推出时间点：3年走向商业化落地

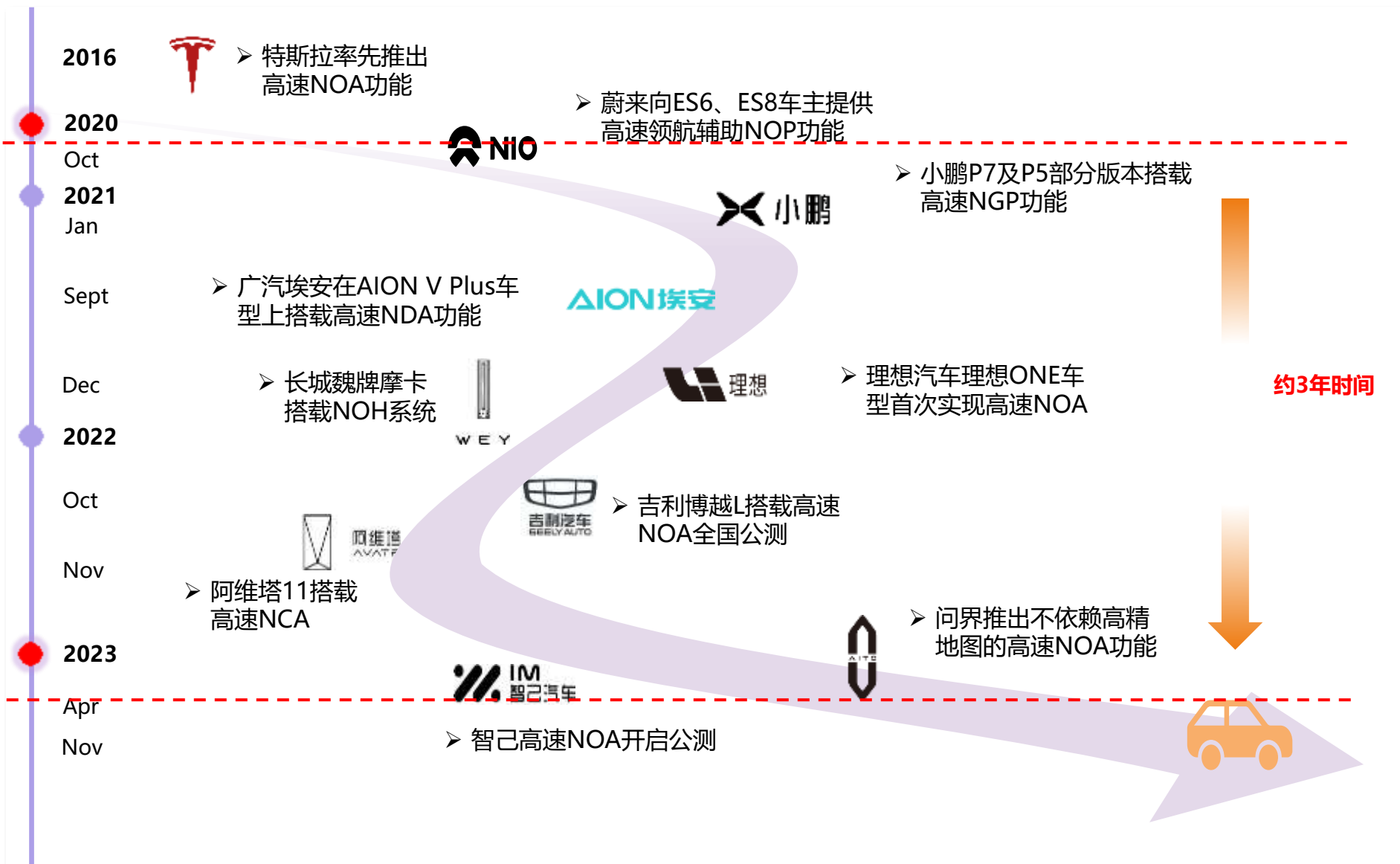
□ L2智能化驾驶功能已成标配，且搭载车型价格不断下探

2020年底，头部车企开始推出高速NOA功能

□ 高速NOA功能量产落地
□ 高阶/轻量化行泊一体搭载上车

2023年底高速NOA功能实现规模化落地

□ 2023上半年，中国乘用车市场30万以上新车型交付占比约为20%，其中高速NOA功能的交付占比已超85%。



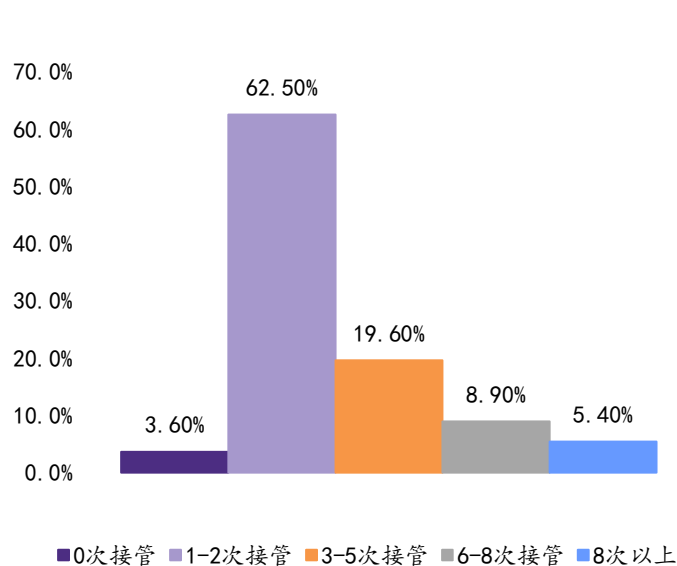
资料来源：小鹏汽车、华为、广汽官网，理想、毫末智行等各车企公众号，智己官方微博，CRLonline，盖世汽车，亿欧智库等，华鑫证券研究

4.1 2023年高速NOA成为消费者考虑的主要参考因素

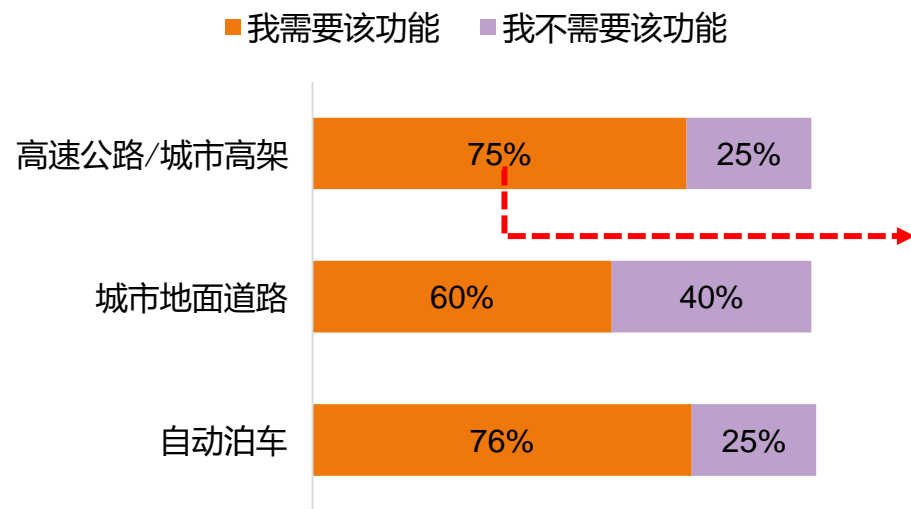
2023年成为消费者考虑的必需功能条件之一，66.1%以上的用户的100公里接管次数降到1-2次以内。

- 2023年8月，亿欧智库招募样本量N=400的消费者调查，发现长期高速NOA功能每100公里的用户接管频率多为1-2次，占比62.5%。
- 2023年75%消费者表示需要高速公路和城市高架的智驾功能，其中约有41.1%的消费者表示高速NOA为消费者购买决策考虑主要的参考因素，90%以上的消费者都会考虑高速NOA作为购买决策之一。

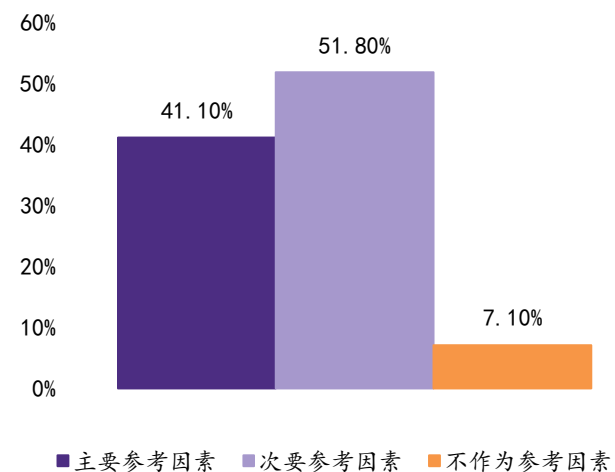
图表：2023年高速NOA每100公里的用户接管频率



图表：2023年消费者对自动驾驶功能的需求



图表：2023年高速NOA对消费者购买决策统计



资料来源：麦肯锡2023《中国汽车消费者洞察》，亿欧智库《2023中国智能驾驶功能体验及技术方案研究报告》，华鑫证券研究

4.2.1 高速NOA与城区NOA第一个不同：驱动方式

- **高速NOA时代背后是高精地图下的算法驱动，城区NOA时代是重感知下的数据驱动。之所以有这个转变，主要是因为如下原因：**
- **(1) 高昂成本：促使智能驾驶选择“重感知，轻地图”路线。**根据《智能网联汽车高精度地图白皮书》，实现厘米级地图精度的日成本高达千万元。而轻地图对地图精度要求较低，运用感知硬件通过算法升级和适度减少地图元素的方式大幅降低了制作成本。
 - **(2) 覆盖率低：城市复杂路况限制高精地图覆盖率，轻地图更具灵活性。**城市路况复杂度高且变化较快，高精地图覆盖率较低导致Corner case问题频发。轻地图可以通过传感器实时感知周围环境，及时更新地图信息，提供更准确的导航和路径规划，更灵活地适应各种突发道路因素。
 - **(3) 安全性：高精地图的安全隐患，轻地图成为提升安全性的有效方案。**高精地图标记错误、地图数据拼接不准确等问题会导致车辆莫名减速、被迫接管等，而重感知、轻地图不依赖于高精度地图等外部信息，在地图数据缺失或不准确的情况下仍能提供较为安全可靠的自动驾驶体验。

高速NOA：重地图

城区NOA：重感知

特点	高精地图	轻地图
成本	每公里约1000元，每天制作成本高达千万元	成本较低，可直接降到百元级
覆盖率	覆盖率低，尤其位于城市路况复杂度高且发展较快的环境中	实时更新。通过传感器实时感知周围环境，灵活适应变化，提供及时更新的地图信息
安全性	可能存在标记错误、地图数据拼接不准确等问题，导致车辆莫名减速、被迫接管等安全隐患	不依赖于外部高精度地图等信息，即使没有或者数据不准确，仍能提供安全可靠的自动驾驶体验

资料来源：智能网联汽车高精地图白皮书(2020)，圆周智行，华鑫证券研究

4.2.1 数据驱动范式的进化速度更快，特斯拉V12.4马上推出

2021		2022		2023		2024	
v8.1	2021.01.26.	v10.8.1	2022.01.07.	v10.69.25.2	2023.01.16.	v12.1.1(2023.44.30.11)	2023.01.12.
v8.2	2021.03.04.	V10.9	2022.01.16.	V11.3(2022.45.5)		2023.02.14.	v12.1.2(2023.44.30.12)
						v12.2(2023.44.30.15)	2024.02.10.
V9.0	2021.07.10.	V10.10	2022.02.01.	v11.3.1(2022.45.10)	2023.03.07.	v12.2.1(2023.44.30.20)	2024.02.19.
v9.1	2021.07.31.	v10.10.1	2022.02.15.	v11.3.2(2022.45.11)	2023.03.19.	v12.3(2023.44.30.25)	2024.03.12.
v9.2	2021.08.15.	v10.10.2	2022.02.18.	v11.3.3(2022.45.12)	2023.03.25.	v12.3.1(2023.44.30.30)	2024.03.24.
				v11.3.4(2022.45.13)	2023.04.01.	v12.3.2(2024.3.5)	2024.3.26.
V10.0	2021.09.11.	V10.11	2022.03.13.	v11.3.5(2022.45.14)	2023.04.01.	v12.3.2.1(2024.3.6)	2024.3.28.
v10.0.1	2021.09.17.	v10.11.1	2022.03.26.	v11.3.6(2022.45.15)	2023.04.08.	v12.3.3(2024.3.10)	2024.03.31.
		v10.11.2	2022.04.03.			-Supervised	
V10.1	2021.9.27.			V11.4(2023.6.15)		2023.04.17.	V12.3.4
		V10.12	2022.05.18.	v11.4.1(2023.7.5)	2023.05.11.	V12.3.5	2024.04.19
V10.2	2021.10.11.	v10.12.1	2022.05.20.	v11.4.2(2023.7.10)	2023.05.26.	V12.3.6	2024.04.28
		v10.12.2	2022.05.27.	v11.4.3(2023.7.15)	2023.06.09.		
V10.3	2021.10.24.			v11.4.4(2023.7.20)	2023.06.19.		
V10.3.1	2021.10.25.	V10.13	2022.07.18.	v11.4.5(2023.7.25)	2023.07.08.	V12.4	即将推出
				v11.4.6(2023.7.26)	2023.07.21.		
V10.4	2021.11.06.	V10.69	2022.08.21.	v11.4.7(2023.7.30)	2023.08.24.		
		v10.69.1	2022.08.30.	v11.4.7.1(2023.27.5)	2023.09.19.		
V10.5	2021.11.21.	v10.69.1.1	2022.09.04.	v11.4.7.2(2023.27.6)	2023.09.24.		
		v10.69.2	2022.09.10.	v11.4.7.3(2023.27.7)	2023.10.19.		
V10.6	2021.12.04.	v10.69.2.1	2022.09.17.	v1.4.8(2023.27.11)	2023.11.18.		
V10.6.1	2021.12.11.	v10.69.2.2	2022.09.19.	v11.4.8.1(2023.27.12)	2023.11.30.		
		v10.69.2.3	2022.10.03.	v11.4.9(2023.44.30.1)	2023.12.15.		
V10.7	skip	v10.69.2.4	2022.10.31.				
		v10.69.3	2022.11.01.	V12(2023.38.10)	2023.11.24		
V10.8	2021.12.24.	v10.69.3.1	2022.11.18.	v12.1(2023.44.30.10)	2023.12.22.		
		v10.69.3.2	2022.12.05.				
		v10.69.3.3	2022.12.11.				
		v10.69.25	2022.12.19.				
		v10.69.25.1	2022.12.23.				
		V11(2022.40.5)	2022.11.11.				
		v11.2(2022.44.25.20)	2022.12.25.				

推出时间	版本	具体更新内容
2021年8月15日	FSD Beta 9.2	<ul style="list-style-type: none"> 推动可视化改进：后视镜上方的驾驶室摄像头现在可以在 自动驾驶仪启用时检测并提醒驾驶员注意力不集中
2021年10月25日	FSD Beta 10.3.1	<ul style="list-style-type: none"> 将交叉物体速度估计提高了 20%，偏航估计提高了 25%； 改进了车辆语义检测（例如刹车灯、转向指示灯、危险）
2021年11月21日	FSD Beta 10.5	<ul style="list-style-type: none"> 将静态世界预测（道路线、边缘和车道连通性）提高了165%； 在阴影模式下启用“紧急防撞机动”；保持路线并避免不必要的绕道；改进了横向控制
2022年1月16日	FSD Beta 10.9	<ul style="list-style-type: none"> 整体召回率提高了 3.9%，准确率提高了 1.7%；将车道偏好和拓扑估计提高了 1.2%；改进不局限于车道几何形状的物体的未来路径；改进在狭窄道路上向迎面而来的汽车让路时的间隙选择
2022年2月1日	FSD Beta 10.10	<ul style="list-style-type: none"> 使用高保真轨迹基元进行更平滑的叉子操作和转弯车道选择；使用改进的地面真实轨迹将广义静态对象识别改进了 4%；提高了在交叉路口停车时的平滑度
2022年7月18日	FSD Beta 10.13	<ul style="list-style-type: none"> 全矢量车道神经网络更新；减少人行横道周围的错误减速；改善了宽阔住宅道路上的车道内定位；改进了高偏航角率场景中的对象未来路径预测
2022年11月12日	FSD Beta 11	<ul style="list-style-type: none"> 改进了占用网络在恶劣天气条件下接近障碍物的召回和结度；添加了高速公路行为；改进了基于速度的车道变更决策；提高了高速公路车道分割的平稳性 改善了车辆在VRU（即行人和骑行者）附近的行为；改进了密集的非结构化城市环境中的转弯性能；
2023年4月17日	FSD Beta 11.4	<ul style="list-style-type: none"> 改进了车道引导模块；提高了车道、线、道路边缘和受限空间检测之间的几何一致性； 改进了变道期间的速度控制；添加了新的视觉速度网络
2023年6月19日	FSD Beta 11.4.4	<ul style="list-style-type: none"> 改进了短期车道变更，以避免偏离路线；改进了控制静态障碍物时的偏移一致性；改进对迎面而来的汽车轨迹的预测；将占用网络对任意移动障碍物的占用流预测提高了 8%；改进了对人行横道附近VRU的处理；改进了自动紧急制动召回
2023年12月14日	FSD Beta 11.4.9	<ul style="list-style-type: none"> 通过额外的数据和对视频架构的更改来提高性能和延迟，将切入车辆检测的精度提高了 15%；利用新的视频模块架构将车辆语义网络的延迟降低了15%，且不影响性能；
2024年3月31日	FSD Supervised 12.3.3	<ul style="list-style-type: none"> FSD（监督）v12 将城市街道驾驶堆栈升级为单个端到端神经网络，经过数百万个视频剪辑的训练，取代了超过 30 万行显式 C++ 代码。
2024年5月9日	FSD Supervised 12.4（尚未推出）	<ul style="list-style-type: none"> 马斯克相关披露，12.4几乎完全重新训练了模型。最后的润色着眼于舒适度，因为它有时加速或刹车太快，不符合大多数人的口味。

资料来源：not a tesla app，华鑫证券研究

4.2.1 高速NOA与城区NOA第一个不同：驱动方式

➤ 特斯拉从两个视角，已经展现出数据驱动方式的进化速度更快的特征：

1. 5月12日，特斯拉智能驾驶总监马斯克表示，将于5月17-18日内部发布FSD12.4版本，并于5月19日后进行外部测试。与12.3相比，12.4单次干预的行驶里程提高大约5-10倍。此外，预计6月底发布的12.5版本也将显著提高每次干预的行驶里程，并取消高速公路上的隐式堆栈，实现单一堆栈架构。
2. 5月17日，特斯拉智能驾驶总监表示，新的V12系统已超越了开发多年的V11堆栈，表明V12已经全面超越了以往版本，下一系列的12.x版本预计将带来前所未有的进展。

图表：马斯克推特称12.4版本会提供5x-10x干预里程数



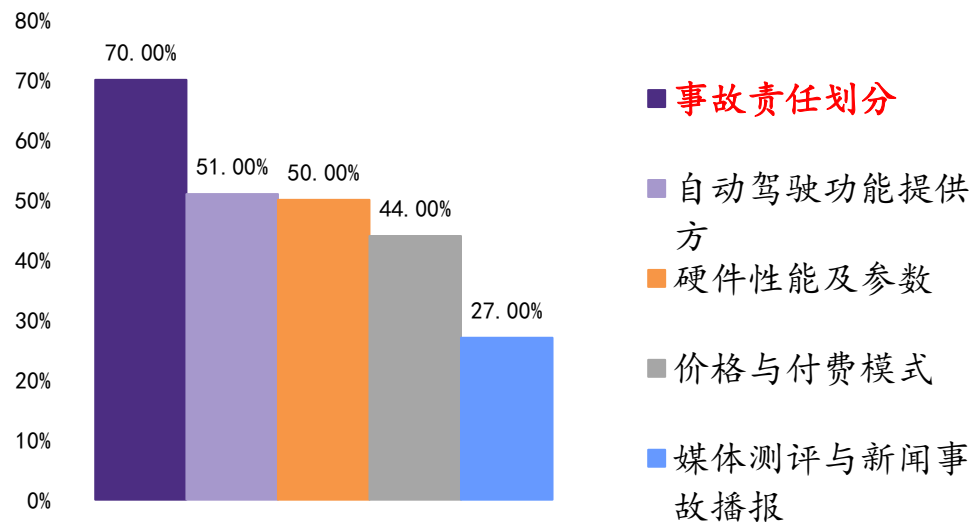
图表：特斯拉智驾总监Ashok称V12版本进化速度极快



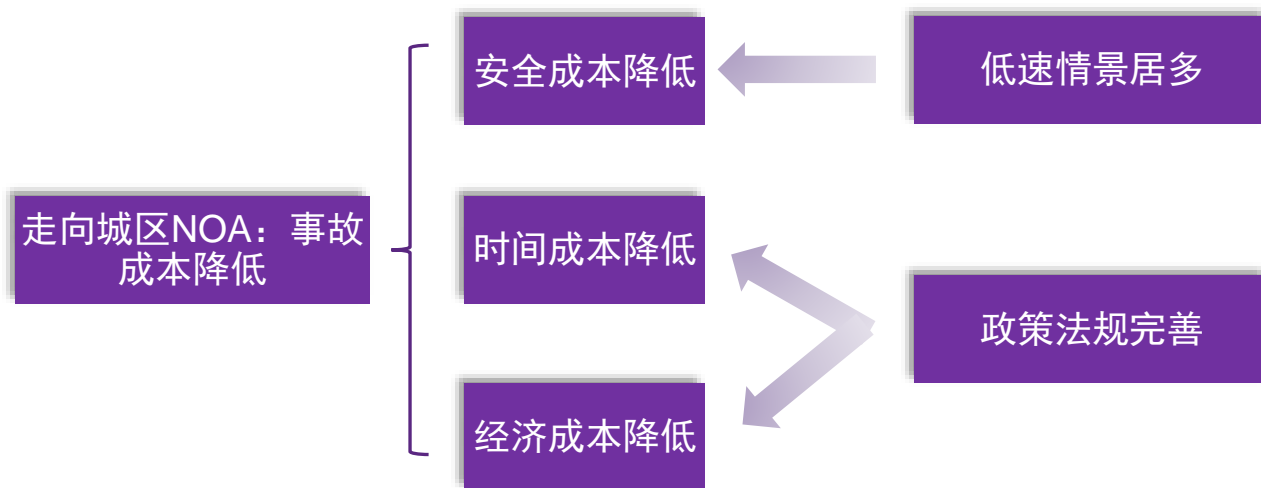
4.2.2 高速NOA与城区NOA第二个不同：事故成本不同

- 当进入城区NOA，低速情景居多，消费者主要关心点从高速的“事故发生”本身走向事故发生后的“责任划分”。对于消费者而言，我们认为事故成本主要可以归为三类：**安全成本+时间成本+经济成本**。安全成本指的是事故本身对自己和其他人造成的危险，时间和经济成本指消费者需要处理事故的时间和财力。城区NOA的事故成本有望降低，主要由以下几个因素：
 - (1) **安全成本由低速情景缓和**：由高速NOA走向城区NOA，高速情景居多走向低速情景居多，人身安全后果的严重性和损害程度有望降低。
 - (2) **经济成本和时间成本将由政策法规补偿**：未来随着政策法规的完善，参考海外政策趋势，对消费者的保护逐渐加深会成为政策未来主要走向之一，有望逐渐降低时间和经济成本。

图表：消费者是否使用自动驾驶考虑的五大因素



图表：消费者成本构成及降低原因



资料来源：麦肯锡2023《中国汽车消费者洞察》整理，华鑫证券研究

4.3.1 城区NOA第一个阶段（2023年-2024年H1）：小鹏开城

图表：小鹏智能驾驶开城发展历程



资料来源：小鹏汽车官网，小鹏公众号，小鹏新春智驾启动发布会，华鑫证券研究

4.3.1 城区NOA第一个阶段 (2023年-2024年H1)：华为开城

5城有图

上海、深圳、广州、重庆、杭州

高速NCA覆盖259个城市
30万公里纵贯华夏

1 城区智驾领航辅助 (City NCA) 五城齐开

城区NCA的时代已经到来！用户可以在上海、深圳、广州、杭州、重庆5个城市使用和体验城区NCA，感受高阶智能驾驶带来的全新出行体验。

- 城区NCA为高阶智能驾驶ADS 2.0的City NCA功能，支持5城。
- NCA功能为NCA功能，支持5城。



2023Q2

15城无图

上海、广州、深圳、重庆、杭州、成都、苏州、南京、郑州、东莞、长沙、西安、武汉、宁波、济南

2023年4月，华为首发了高阶智能驾驶系统ADS 2.0，宣布不再依赖高精地图。同时，公布了一项激进计划：**第三季度将在15城落地**，第四季度扩大至45城。



2023Q3

45城无图



2023Q4

全国开城

2024年2月2日，华为宣布全国范围内的无图智能驾驶2.0功能通过OTA升级推出，华为的无图智能驾驶功能已覆盖超过**72万个地点**，包括广大的乡镇地区，实现了**全国近99%路段的覆盖**。



2024Q1

华为智驾开城OTA，覆盖全国**4个直辖市**，**43个地区**，**290个地级市**，**1636个县**，**374个县级市**，**14677个乡**，**19531个镇**，**691510个行政村**，问界智驾合计开城数量**728065个**。

资料来源：AITO汽车，车控CHEK，IT之家、腾讯网等公开新闻整理，华鑫证券研究

4.3.1 城区NOA第一个阶段（2023年-2024年H1）：蔚来开城

蔚来智能驾驶推广过程



蔚来智驾推广数据

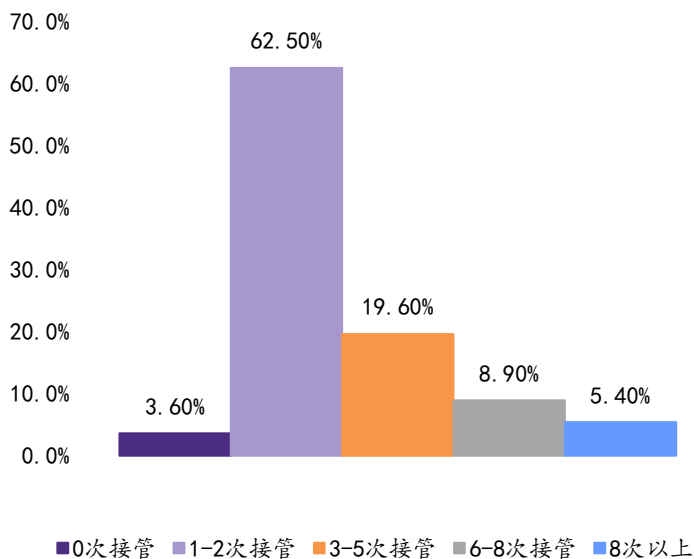


资料来源：易车，蔚来公众号，蔚来汽车官网，华鑫证券研究

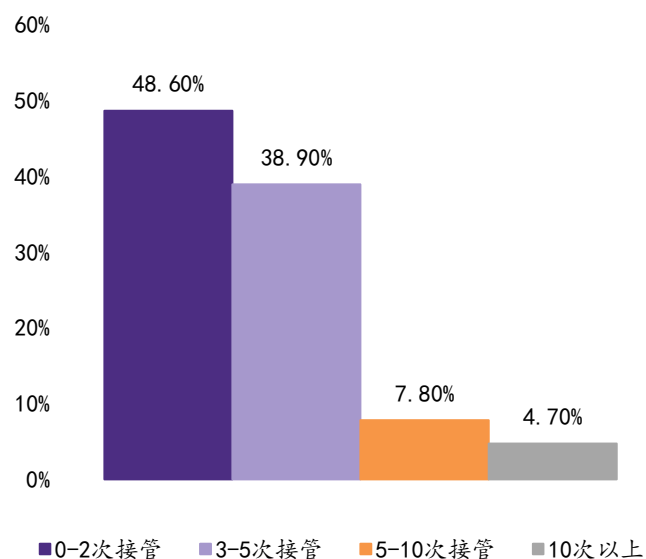
4.3.2 城区NOA第二个阶段(2024H1-2025H1)：走向好用。

- **高速NOA与城区NOA平均接管次数存在显著差距。**目前，高速NOA在较长距离内的接管次数相对较少，而城区NOA在较短距离内的接管次数较多。表明在城市复杂环境中，NOA系统仍需频繁进行人工接管，距离“好用”仍有一定差距。
- **小鹏发布会称2023年百公里接管次数平均4次，预计在2025年实现百公里接管小于1次。**2023年4月16日，上海车展后小鹏在其技术架构发布会上宣布，XNGP在2023年城区场景的每百公里接管次数为平均4次，预计到2025年实现城市场景每百公里接管次数小于1次。

图表：高速NOA每100公里接管次数比例



图表：城区NOA每30公里接管次数比例



图表：小鹏发布会提出2025年实现百公里接管次数小于1次

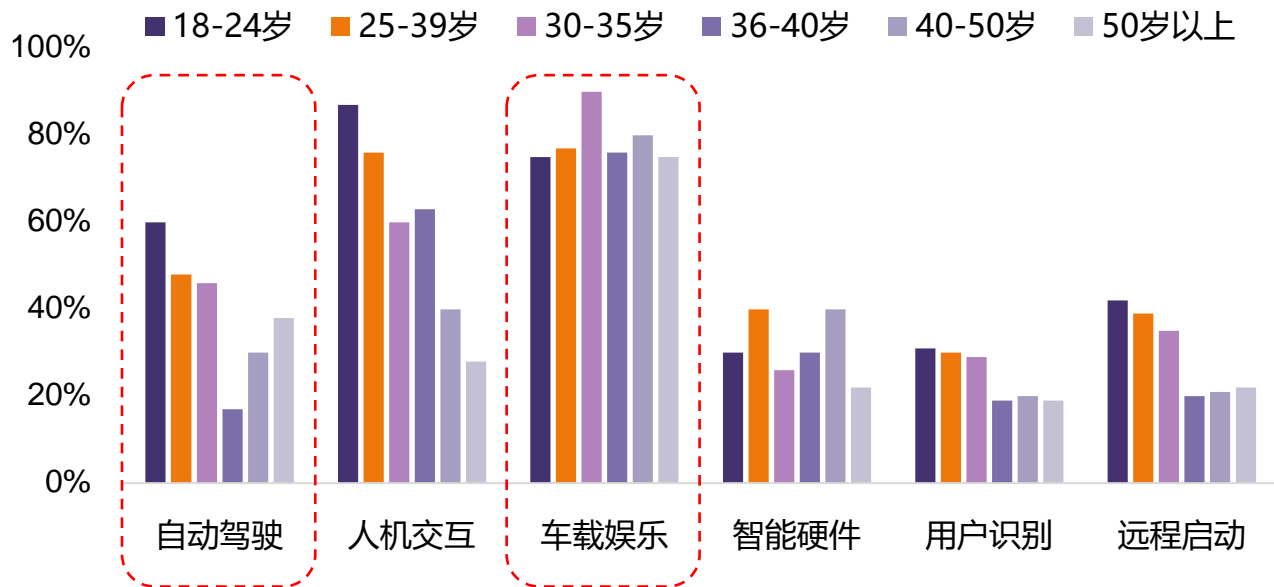


资料来源：亿欧智库，小鹏发布会，华鑫证券研究

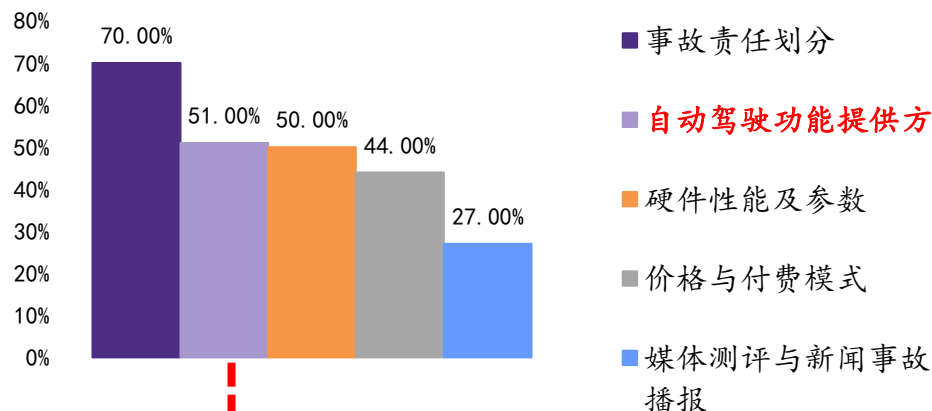
4.3.2 城区NOA第二个阶段(2024H1-2025H1)：走向好用。

- 智驾“好用”阶段的产品周期有望聚焦在18-24年轻人。过去的产品爆款往往聚焦在30-35岁的大空间SUV，背后智能化方面的产品力主要体现在车载娱乐。进入智能驾驶好用阶段后，我们认为聚焦在18-24岁年轻人的产品有望形成自身新一轮的产品爆款。
- 51%的消费者仍会看重智驾的提供方，相对于第三方技术公司，整车厂中的新势力产品更受消费者信赖。

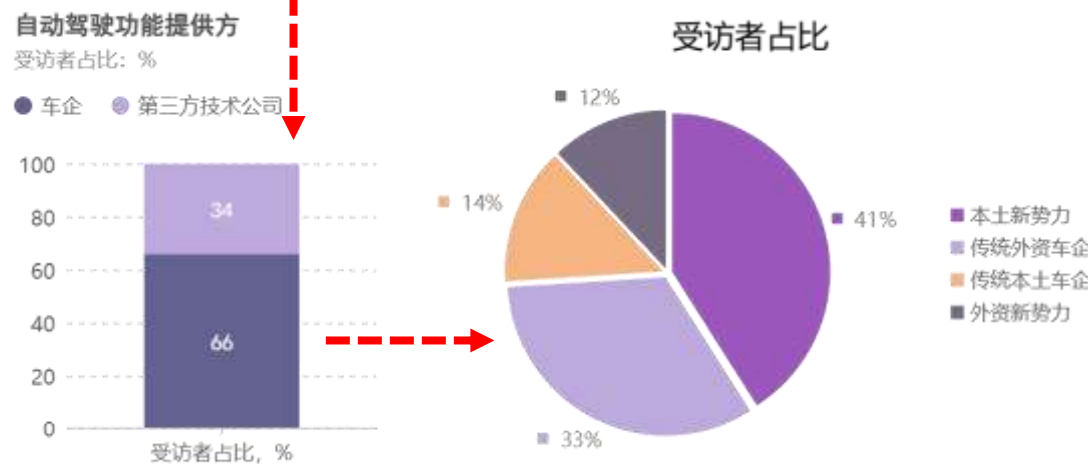
图表：不同年龄人群对智驾功能关注度观察



图表：消费者是否使用自动驾驶考虑的五大因素



图表：受消费者信赖程度的智驾提供方



资料来源：易观分析，亿欧智库，麦肯锡2023《中国汽车消费者洞察》，华鑫证券研究

4.3.2 城区NOA第二个阶段(2024H1-2025H1)：走向好用。

- **第二个阶段：10-15w区间是“数据放量”主战场之一，小鹏Mona推出定位该价格带年轻群体。**10-15w的智驾对厂商降本能力和智驾好用性的兼顾有着严峻挑战，宝骏云朵携带大疆智驾此前效果并不显著，**此次小鹏声称将要落地“智驾硬件降本50%”**，定位更加专注年轻人（有消费力的商务人群不见得更好推智驾），有望实现产品突围。**小鹏2024Q3城区接管里程数的能否实现临界拐点，仍是跟踪产品成为爆款的先决条件。**

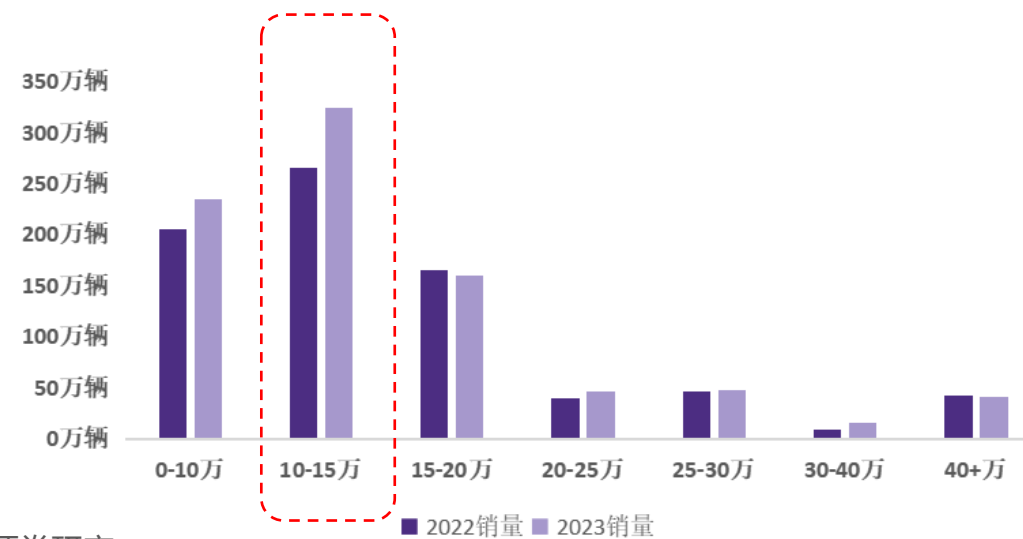
图表：小鹏MONA新车型宣传



图表：不同车企最新车型智驾功能及价格

车企	品牌	价格区间	智驾功能
小鹏	MONA (6月发布 Q3上市交付)	10-15w	XNGP
理想	L6	20-30W	城市 NOA
蔚来	乐道L60	20w+	NOP+
长安	深蓝SL03	15-20W	自适应巡航+并线辅助
华为	华为北汽智选	20w以上	华为 ADS 2.0
智己	轿跑车型	20w以上	城市 NOA
极氪	M-Vision	30w以上	NZP
长城	魏牌蓝山	25-30W	城市NOH

图表：2022和2023年各价位销量情况



资料来源：小鹏、理想、蔚来、长安汽车、北汽等各车企官网，marklines，小鹏发布会等，华鑫证券研究

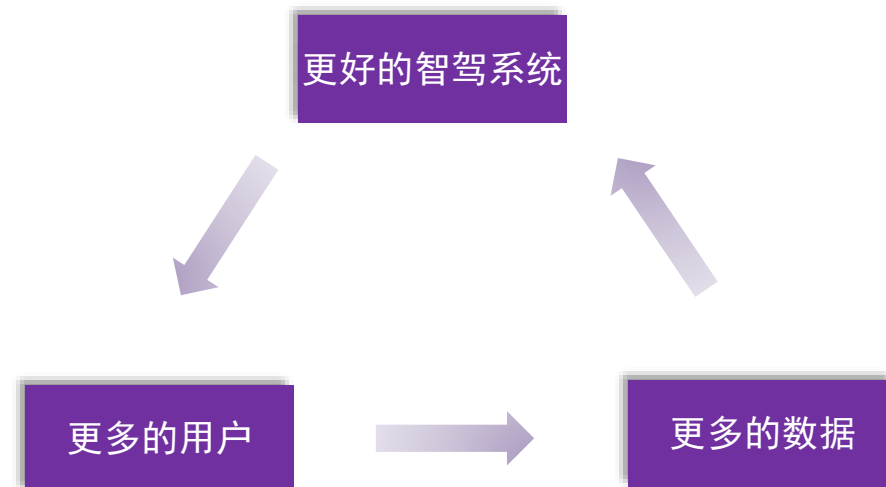
4.3.3 城区NOA第三个阶段(2026及以后)：成为必用。

- 第三个阶段：智驾终局或将呈现自建生态vs开放生态两种格局，商业模式决定终将走向寡头垄断格局：好用的智驾系统---用户增加---数据增加---更好用的智驾---更多用户---更多数据。华为智选+Hi模式+Tier1模式，建立开放生态未来有望从数据维度实现追赶。

图表：智能驾驶终局展望

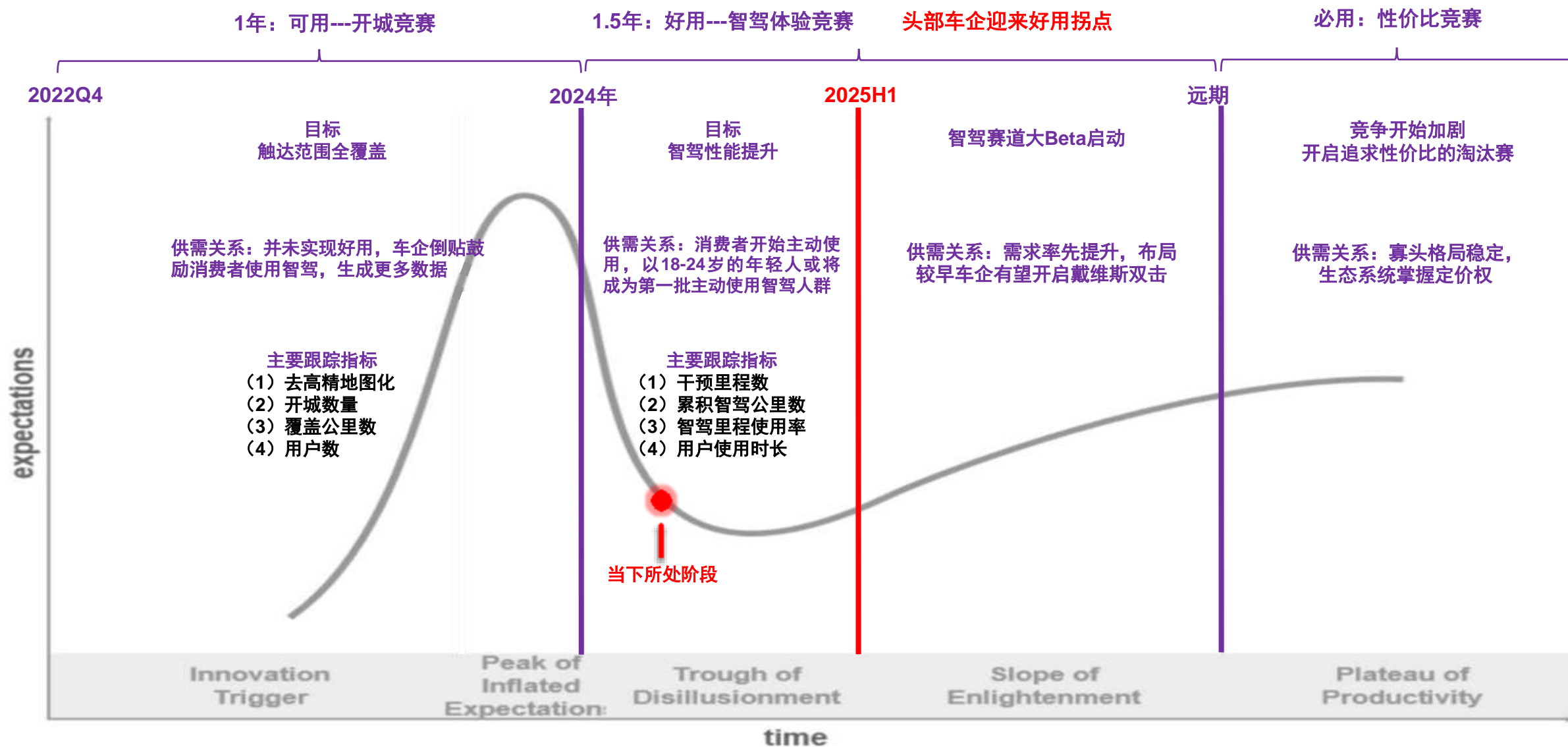


图表：头部智驾提供商的飞轮效应



资料来源：小鹏、理想、蔚来等车企官网，华为官网，Tesla官方，华鑫证券研究

小结：城区NOA预演三个发展阶段



05 投资机会推荐

研究创造价值

- 整体而言，我们认为未来智能化的趋势将会加速到来，推荐投资机会可以分为两个方向：
- **方向一：高赔率的头部智驾车企。**终局来看，智能驾驶的终局可能面临“**市场规模+集中度**”双提升的格局，赢家大概会自建智驾生态，具备较高的估值溢价潜力。现阶段看，我们看好国内车企在“工程化能力”维度下的国际竞争，推荐国内目前较为领先的华为系（江淮汽车+赛力斯+长安汽车）和头部新势力小鹏汽车，**尤其推荐关注2024下半年小鹏MONA车型的推出。**
- **方向二：高胜率+受益智能化增量零部件。**智能驾驶的迭代速度很快，**我们推荐其中长期确定性较高的零部件**，未来有望随着智能化浪潮，结构性的市场规模不断提高，同时具备技术壁垒的赛道，推荐域控制器领域的德赛西威、经纬恒润、华阳集团、均胜电子，线控底盘相关标的伯特利、耐世特、拓普集团。

感知		决策		执行	
摄像头		芯片		空气悬架	
博世 (未上市)	德赛西威 (002920. SZ)	特斯拉 (TSLA. O)	地平线 (未上市)	大陆 (CONG. DF)	保隆科技 (603197. SH)
电装 (6902. JP)	舜宇光学 (2382. HK)	英伟达 (NVDA. O)	黑芝麻 (未上市)	采埃孚 (700688. QDS)	孔辉科技 (未上市)
大陆 (CONG. DF)	欧菲光 (002456. SZ)	Mobii eye (未上市)	华为 (未上市)	威巴克 (未上市)	中鼎股份 (000887. SZ)
采埃孚 (700688. QDS)	联创电子 (002036. SZ)	德州仪器 (TXN. O)	寒武纪 (未上市)	万都 (未上市)	天润工业 (002283. SZ)
安波福 (APT.V. N)	宇瞳光学 (300790. SZ)	AMD (AMD. O)	芯驰科技 (未上市)	日立 (6810. JP)	京西重工 (2339. HK)
索尼 (6758JP)	海康威视 (002415. SZ)	英特尔 (INTC. O)	芯擎科技 (未上市)		拓普集团 (601689. SH)
		瑞萨 (6723. JP)	爱芯元智 (未上市)		瑞玛精密 (002976. SZ)
					瑞尔实业 (未上市)
超声波雷达		域控制器		线控制动	
法雷奥 (FR. PA)	豪恩汽电 (301488. SZ)	博世 (未上市)	德赛西威 (002920. SZ)	博世 (未上市)	同驭汽车 (未上市)
博世 (未上市)	珠海上富 (未上市)	大陆 (CONG. DF)	经纬恒润 (688326. SH)	大陆 (CONG. DF)	拿森科技 (未上市)
同致电子 (3552. TWO)	辉创电子 (未上市)	采埃孚 (700688. QDS)	宏景智驾 (未上市)	采埃孚 (700688. QDS)	伯特利 (603596. SH)
摩比斯 (012330. KS)	晟泰克 (未上市)	安波福 (APT.V. N)	东软集团	万都 (未上市)	亚太股份 (002284. SZ)
松下 (6752. JP)	海康威视 (002415. SZ)	伟世通 (VC. O)	华为 (未上市)	博格华纳 (BWVA. N)	格陆博 (未上市)
	德赛西威 (002920. SZ)	电装 (6902. JP)	知行科技 (未上市)		英创汇智 (未上市)
			均胜电子 (600699. SH)		拓普集团 (601689. SH)
			纵目科技 (未上市)		利氮科技 (未上市)
			福瑞泰克 (未上市)		
			毫末智行 (未上市)		
			创时智驾 (未上市)		
毫米波雷达				线控转向	
博世 (未上市)	森思泰克 (未上市)			博世 (未上市)	浙江世宝 (002703. SZ)
大陆 (CONG. DF)	福垆鄞瑞泰克 (未上市)			KAYABA (7242. T)	耐世特 (1316. HK)
安波福 (APT.V. US)	德赛西威 (002920. SZ)			捷太格特 (6473. T)	联创汽车电子 (未上市)
维宁尔 (VNE. US)	经纬恒润 (688326. SH)			万都 (未上市)	德科智控 (未上市)
海拉 (HLE. DF)	珠海上富 (未上市)			恩斯克 (6471. T)	蜂巢易创 (未上市)
电装 (6902. JP)	杭州智波科技 (未上市)			采埃孚 (700688. QDS)	伯特利 (603596. SH)
				安波福 (APT.V. N)	清车智行 (未上市)
				海拉 (HLE. DF)	拓普集团 (601689. SH)
激光雷达					
法雷奥 (FR. PA)	速腾聚创 (未上市)				
电装 (6902. JP)	大疆览沃 (未上市)				
大陆 (CONG. DF)	禾赛科技 (HSALO)				
Luminar	华为 (未上市)				
Cepton					

- 智能化落地不及预期;
- 技术迭代风险;
- 宏观经济波动风险;
- 下游需求不及预期的风险。

- 林子健：厦门大学硕士，自动化/世界经济专业，CPA，6年汽车行业研究经验。曾任职于华福证券研究所，担任汽车行业分析师。2023年加入华鑫证券研究所，担任汽车行业首席分析师。兼具买方和卖方行业研究经验，立足产业，做深入且前瞻的研究，擅长自下而上挖掘个股。深度覆盖特斯拉产业链/一体化压铸等细分领域。
- 谢孟津：伦敦政治经济学院硕士，2023年加入华鑫证券。
- 张智策：武汉大学本科，哥伦比亚大学硕士，2024年加入华鑫证券。2年华为汽车业务工作经验，主要负责智选车型战略规划及相关竞品分析。

证券分析师承诺

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告清晰准确地反映了本人的研究观点。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

免责声明

华鑫证券有限责任公司（以下简称“华鑫证券”）具有中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。本报告由华鑫证券制作，仅供华鑫证券的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告中的信息均来源于公开资料，华鑫证券研究部门及相关研究人员力求准确可靠，但对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。我们已力求报告内容客观、公正，但报告中的信息与所表达的观点不构成所述证券买卖的出价或询价的依据，该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并同时结合各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就财务、法律、商业、税收等方面咨询专业顾问的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，华鑫证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露。

本报告中的资料、意见、预测均只反映报告初次发布时的判断，可能会随时调整。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。在不同时期，华鑫证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。华鑫证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。

本报告版权仅为华鑫证券所有，未经华鑫证券书面授权，任何机构和个人不得以任何形式刊载、翻版、复制、发布、转发或引用本报告的任何部分。若华鑫证券以外的机构向其客户发放本报告，则由该机构独自为此发送行为负责，华鑫证券对此等行为不承担任何责任。本报告同时不构成华鑫证券向发送本报告的机构之客户提供的投资建议。如未经华鑫证券授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。华鑫证券将保留随时追究其法律责任的权利。请投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的华鑫证券研究报告。

证券投资评级说明

股票投资评级说明：

	投资建议	预测个股相对同期证券市场代表性指数涨幅
1	买入	>20%
2	增持	10%—20%
3	中性	-10%—10%
4	卖出	<-10%

行业投资评级说明：

	投资建议	行业指数相对同期证券市场代表性指数涨幅
1	推荐	>10%
2	中性	-10%—10%
3	回避	<-10%

以报告日后的12个月内，预测个股或行业指数相对于相关证券市场主要指数的涨跌幅为标准。

相关证券市场代表性指数说明：A股市场以沪深300指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以道琼斯指数为基准。



华鑫证券

CHINA FORTUNE SECURITIES

研 究 创 造 价 值