

# 智能驾驶研究框架

## (三) 特斯拉专题

分析师 杨 焯

SAC证书编号：S0160522050001

联系人 王妍丹

发布日期：2024年2月23日

- ◆ **特斯拉的自动驾驶之路分为三个阶段，目前已经进入全面自研阶段，从底层硬件到上层软件做到全面自研。** 特斯拉为智能驾驶行业带来的技术革新主要包括：
  - ① 影子模式，为特斯拉现实数据获取打基础。
  - ② HydraNet，重构自动驾驶目标检测网络结构，提升算法效率。
  - ③ BEV+Transformer，通过BEV升维采集后的2D图像，形成车辆自身坐标系。
  - ④ 占用网络，在BEV基础上补充了物体高度识别和未经标注的障碍物识别。
  - ⑤ 端到端，基于深度神经网络，更接近真实人类驾驶。
  
- ◆ **特斯拉FSD目前仅在北美开放，选购率在地区间差异较大。**
  - ✓ 目前特斯拉在北美地区已开放FSD并提供订阅&买断两种付费模式，其他地区仅限于付费预装。因此FSD的选购率在地区之间差距较大。
  - ✓ 计算中心方面，2023年7月特斯拉DOJO正式量产，根据特斯拉算力发展规划，DOJO将在2024年10月达到100EFlops的超级算力。
  
- ◆ **投资建议：**建议关注德赛西威、均胜电子、中科创达、经纬恒润、光庭信息、华阳集团等在汽车智能化中具有优势地位且软件能力领先的公司。
  
- ◆ **风险提示：**汽车智能化渗透率提升速度低于预期的风险；政策法规的支持不及预期的风险；芯片等原材料短缺风险；宏观经济形势下行的风险等。

## 一、特斯拉：产品框架

---

## 二、特斯拉自动驾驶之路

---

## 三、软硬服务内外兼修

---

## 四、投资建议

---

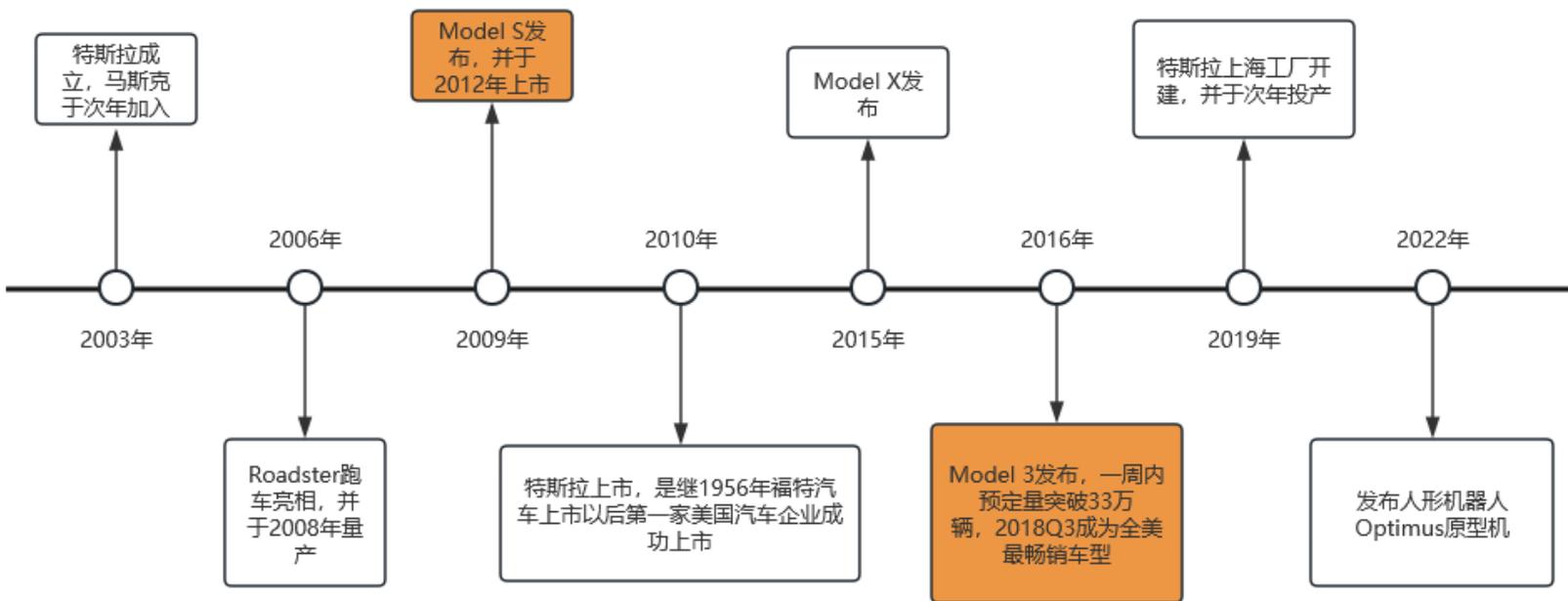
## 五、风险提示

---

## 1.1 特斯拉：成立20年，主要车型包括四款

- ◆ 特斯拉2003年成立，目前主流车型包括高端车Model S、Model X，经济乘用车Model 3、Model Y四款车型。
- ✓ 此外还有皮卡Cybertruck、跑车Roadster、卡车Semi等车型在售。
- ✓ 根据Rho Motion，2023年全球纯电动车销量950万辆；特斯拉2023年全球交付量为181万辆，约占全球销量19%。
- ✓ 截至2023年底，特斯拉全球员工超过14万人。

图表1 特斯拉历史沿革



图表2 四款车型



Model S



Model 3



Model X

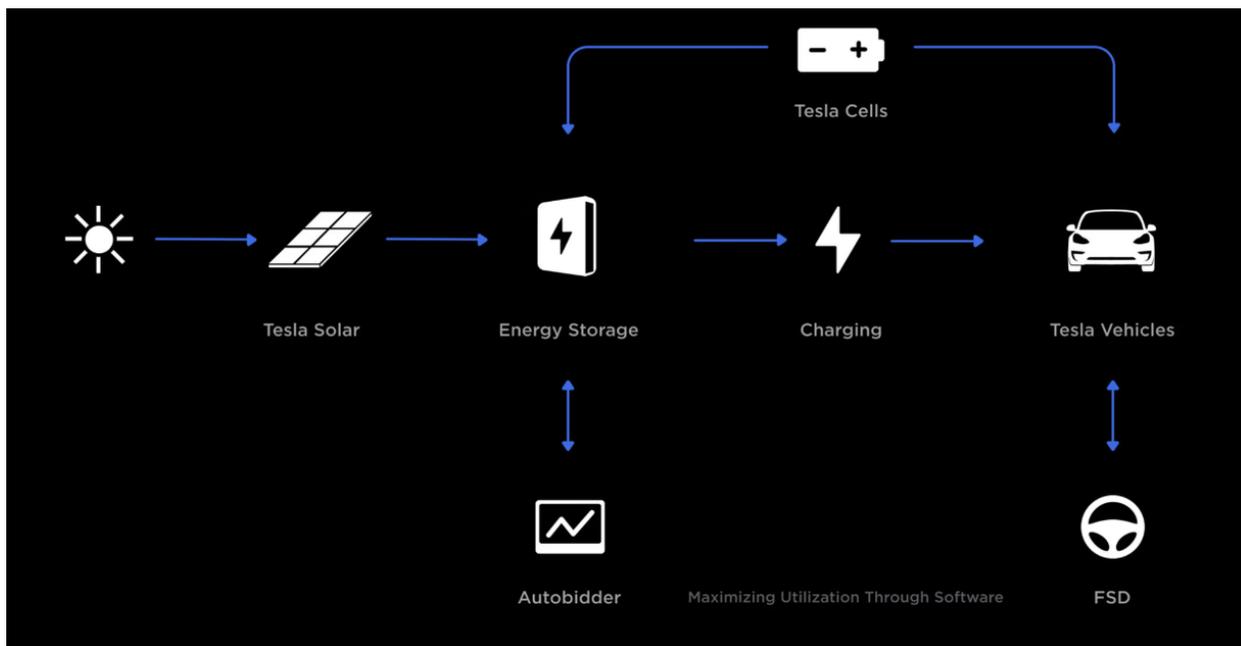


Model Y

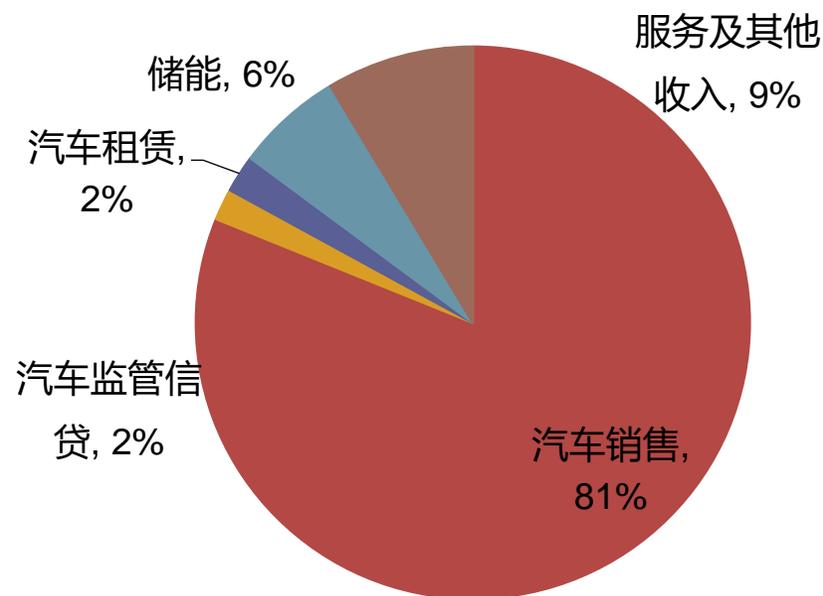
◆ 特斯拉有汽车和能源（包括储能）两个部门，主要业务包括：

- ① 汽车销售：特斯拉乘用车及卡车等车型销售。
- ② 汽车租赁：特斯拉在北美、欧洲、亚洲等地提供租赁服务。
- ③ 汽车监管信贷：业务运营中赚取的碳积分的销售。
- ④ 储能：主要包括Powerwall、Megapack储能产品，以及Solar Energy事业部的太阳能屋顶。
- ⑤ 服务及其他收入：主要包括付费超级充电桩、汽车维修和保险等业务。

图表3 特斯拉业务布局



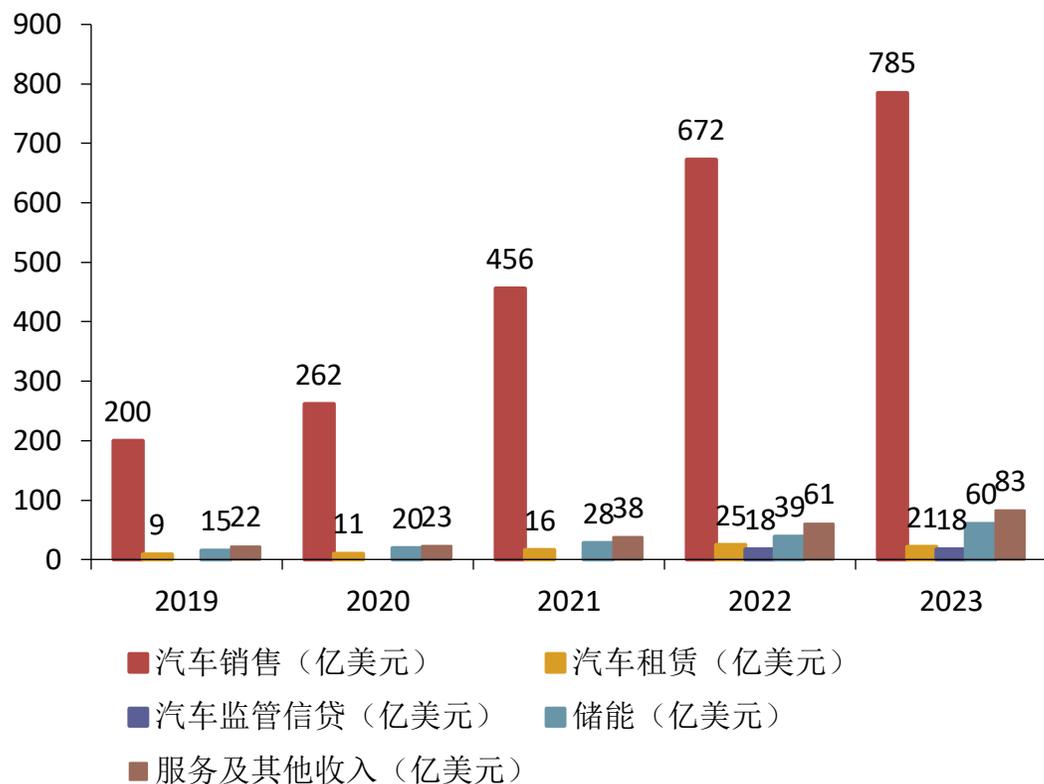
图表4 特斯拉业务收入占比 (2023年)



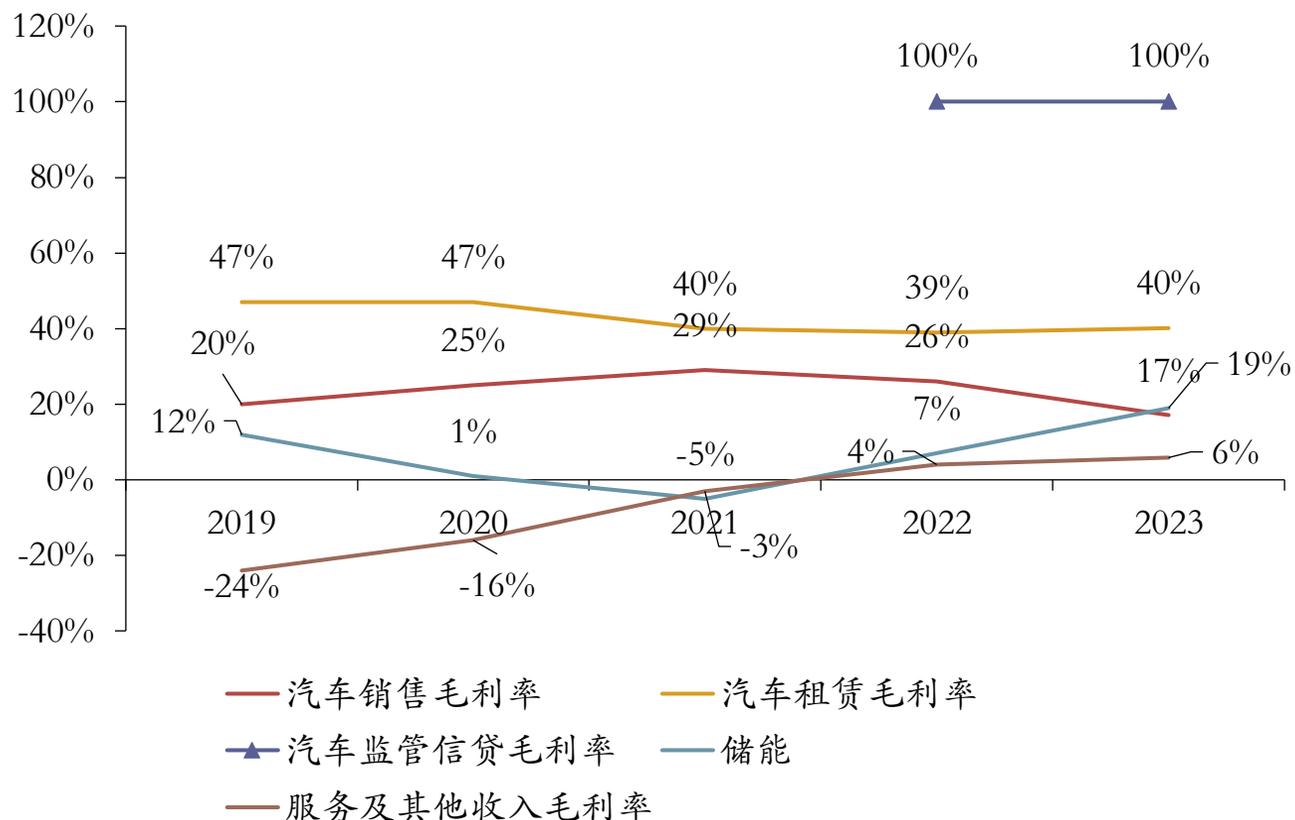
数据来源：特斯拉官网，Wind，财通证券研究所

- ◆ 特斯拉近年成长主要源于汽车销售，2020年特斯拉中国工厂启动制造，有效提升特斯拉汽车销量毛利率。
- ◆ 公司其他业务收入及毛利率成长较平稳。

图表5 特斯拉各业务收入情况 (2019-2023年)



图表6 特斯拉各业务毛利率情况 (2019-2023年)



数据来源: Wind, 财通证券研究所

1. PayPal (贝宝)：1999年马斯克创办X.com网络银行，后与Confnity合并并更名为PayPal，他持有该公司约10%的股份。
  2. SpaceX (太空探索技术公司)：2002年马斯克创办，太空探索技术公司是一家私人航天公司，致力于实现太空旅行的商业化。马斯克持有该公司约一半的股份，是太空探索技术公司的最大股东。
  3. Tesla (特斯拉)：2004年马斯克加入特斯拉，担任董事长和产品设计师，也是马斯克最重要的绿色能源项目之一。马斯克持有该公司约20%的股份，是特斯拉最大的股东。
  4. Twitter (推特)：作为一位活跃的社交媒体用户，马斯克也是推特的用户之一。他持有推特约10%的股份，是该公司的最大股东之一。
  5. Square (方块集团)：这是另一家由马斯克投资的公司，方块集团是一家移动支付公司，致力于为个人和小型企业提供便捷的支付解决方案。马斯克持有该公司约10%的股份，是方块集团的最大股东之一。（主要为消费者提供配合智能手机使用的读卡器，让消费者可以在任何地方进行付款和收款。）
- ◆ 除了以上列举的公司，马斯克还投资了其他许多公司和项目，包括SolarCity、LinkedIn和Zip2等。

## 一、特斯拉：产品框架

---

## 二、特斯拉自动驾驶之路

---

## 三、软硬服务内外兼修

---

## 四、投资建议

---

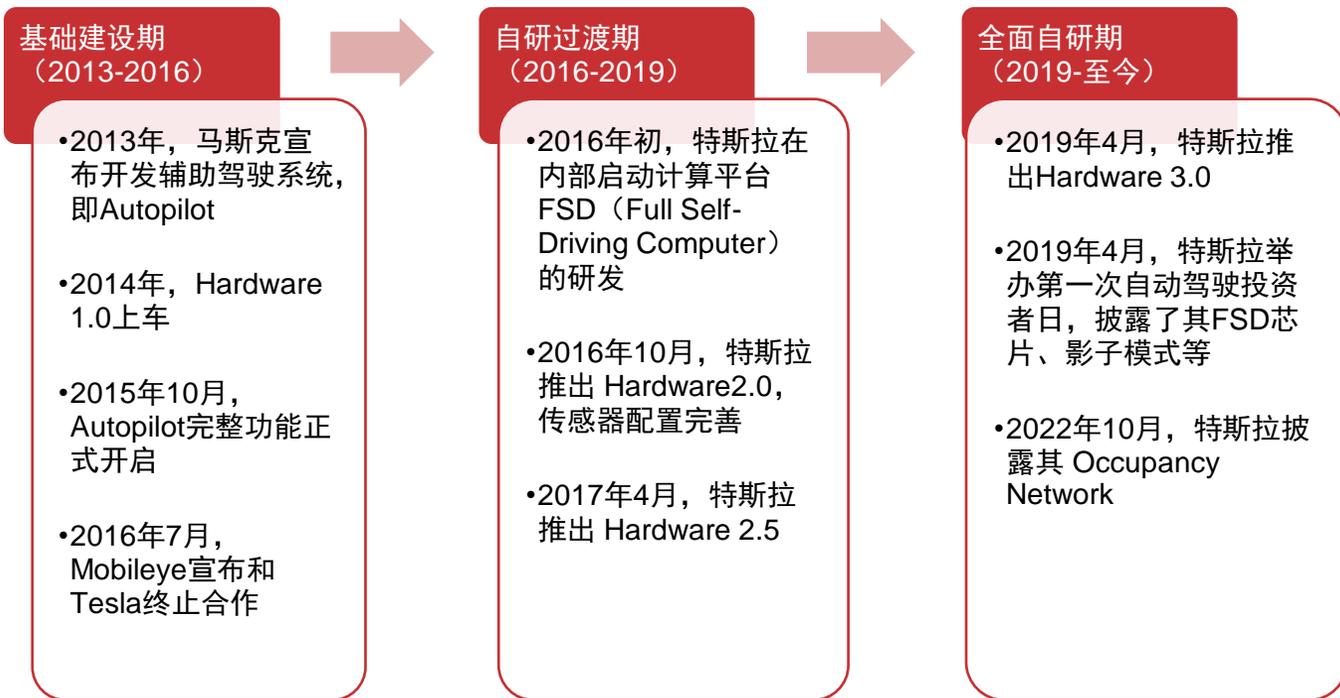
## 五、风险提示

---

◆ 迄今为止特斯拉自动驾驶的发展分为三个阶段，从特斯拉HW硬件迭代可见一斑：

- ① **2013-2016：基础建设期**，这一阶段特斯拉使用mobileye的前装智能驾驶产品。
- ② **2016-2019：自研过渡期**，特斯拉核心处理器使用英伟达产品，传感器配置已完善。
- ③ **2019-至今：全面自研期**，从底层硬件到上层软件做到全面自研。

图表7 特斯拉智能驾驶大事件



图表8 特斯拉智能驾驶硬件迭代

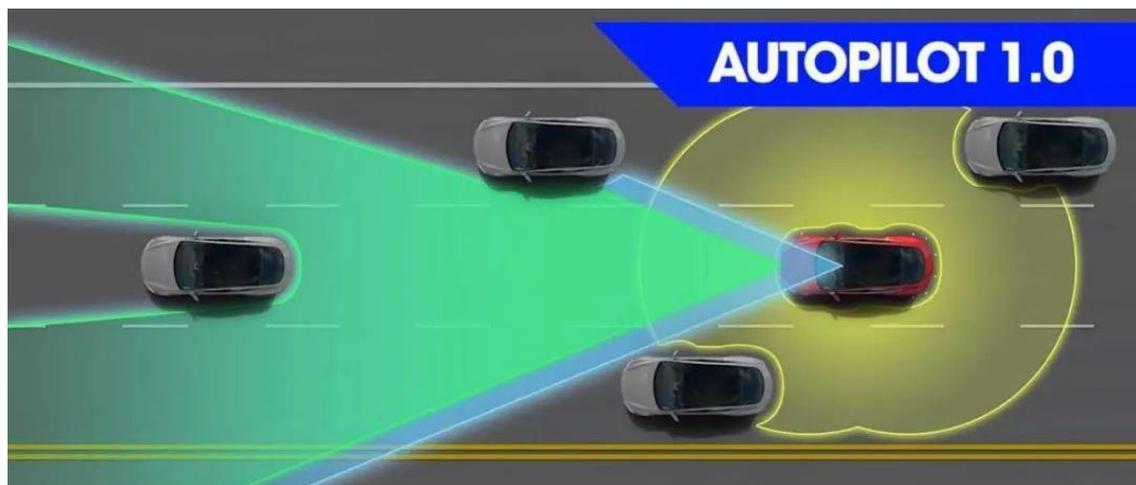
项目	HW1.0	HW2.0	HW2.5	HW3.0	HW4.0
时间	2014.9	2016.1	2017.8	2019.3	2023.3
前置摄像头	1个	3个		3个	
侧面摄像头	0	2个		4个	
侧面后置摄像头	0	2个		2个	
后置摄像头	0	0		1个	
毫米波雷达	Radar*1(160米)		Radar*1(170m)		Phoenix高精度雷达*1
超声波雷达	Lidar*12(5m)	Lidar*12(8m)			0
核心处理器	Mobileye EyeQ3*1	Nvidia Parker SoC*1 Nvidia PascalGPU*1 英飞凌 TriCoreMCU*1	Nvidia Parker SoC*2 Nvidia PascalGPU*1 英飞凌 TriCoreMCU*1	FSD 芯片*2	FSD芯片2.0*2

数据来源：搜狐汽车E电园，中国能源报，BLOGTESLA，42号车库，财通证券研究所

### ◆ 推出Autopilot，软硬件产品均与Mobileye紧密合作。

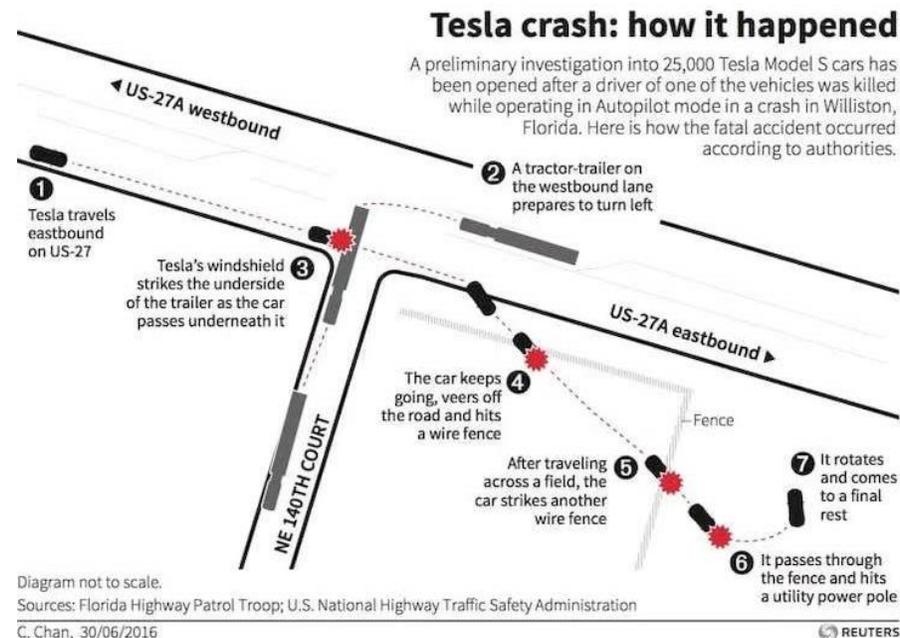
- ✓ 2013年8月，马斯克宣布特斯拉要为Model S开发辅助驾驶系统，即Autopilot。
- ✓ 2014年10月，特斯拉发布第一代硬件 Hardware 1.0以及初代Autopilot，软硬件均由 Mobileye 提供，自动驾驶芯片采用 Mobileye 的 EyeQ3。
- ✓ 2016年5月，一辆 Model S (2015 年款) 在使用 Autopilot 状态下，拦腰撞向了一辆垂直方向开来的白色挂车，事故导致了一人死亡。特斯拉的Autopilot陷入舆论风波。随后同年7月，Mobileye宣布终止和特斯拉的合作。

图表9 AUTOPILOT 1.0



数据来源：汽车之家，电动知士，车东西，财通证券研究所

图表10 特斯拉2016年5月车祸解析图



### ◆ 完成自研Autopilot，推出FSD，计算硬件由英伟达提供。

- ✓ 2016年初，特斯拉在内部启动计算平台 FSD（Full Self-Driving Computer）的研发，FSD芯片研发由传奇芯片架构师Jim Keller负责。
- ✓ 2016年10月，特斯拉推出 Hardware2.0，硬件切换至英伟达，同时完善了传感器配置。
- ✓ 2017年3月，特斯拉推送Autopilot8.1，自研算法能力追平Mobileye，从此开启了其自研算法1-N的超越。同年6月，有车主发现特斯拉正通过摄像头收集路况以改进Autopilot（即影子模式）。
- ✓ 2017年4月，特斯拉推出 Hardware 2.5。

图表11 特斯拉Autopilot软件副总裁宣布AP更新至8.1



图表12 特斯拉AP2.0



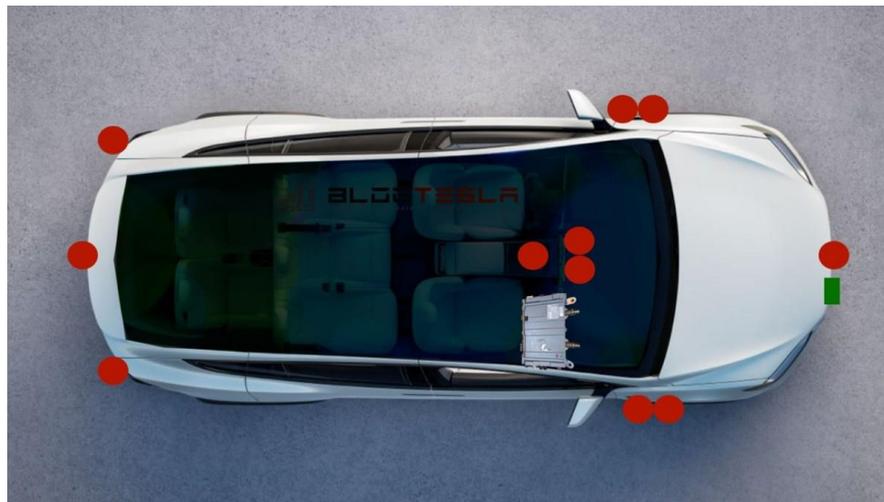
### ◆ 特斯拉中央计算自HW3.0启全面自研。

- ✓ 2019年4月，特斯拉推出Hardware 3.0，自研芯片FSD芯片亮相。
- ✓ 2020年8月，马斯克宣布全新训练服务器Dojo正在开发，同年特斯拉引入BEV+Transformer架构。
- ✓ 2022年10月，特斯拉披露其 Occupancy Network。
- ✓ 2023年3月，HW4.0低调上车，FSD芯片升级至2.0。
- ✓ 2024年1月，特斯拉FSD v12 (FSD v12.1.2) 开始正式向用户推送，将城市街道驾驶堆栈升级为端到端神经网络。

图表13 特斯拉自研FSD中央计算

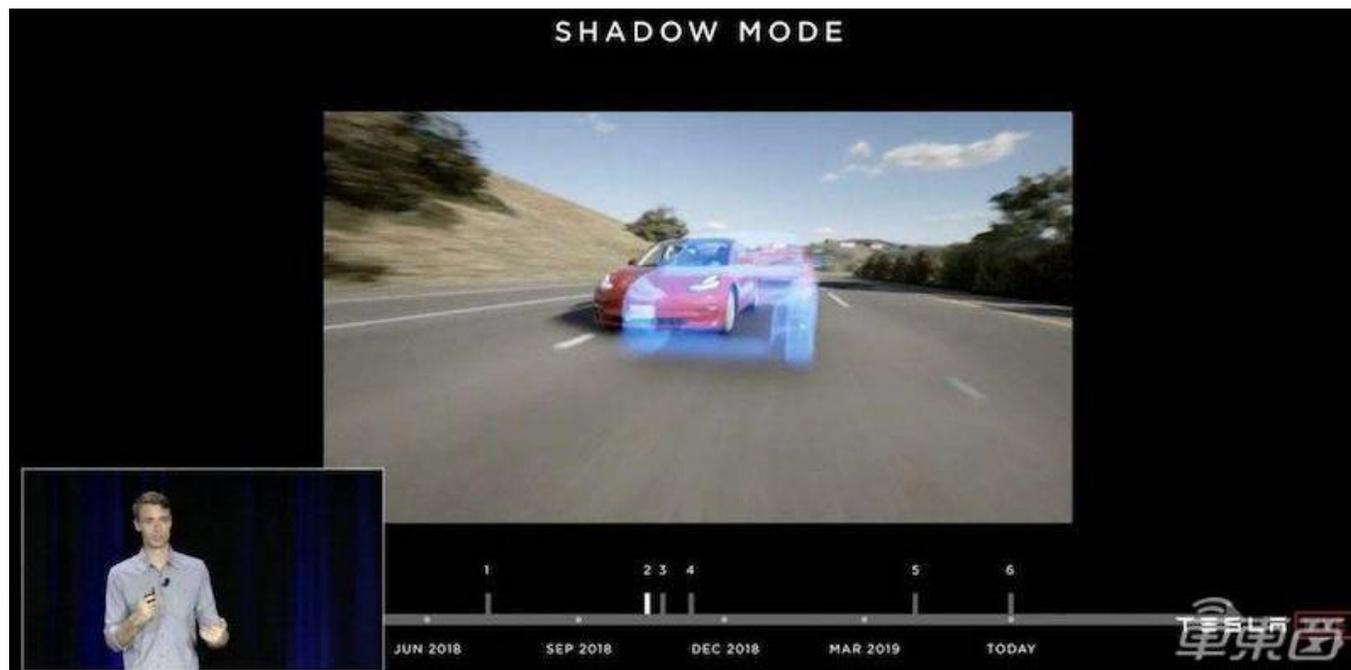


图表14 HW4.0系统11个摄像头布置示意图



- ◆ 影子模式是特斯拉真实驾驶数据获取的核心。
- ✓ 2019年4月，特斯拉发布“影子模式”。
- ✓ 特斯拉车在行驶过程中（所有状态下），传感器会持续对决策算法进行验证——系统的算法在“影子模式”下做持续模拟决策，并且把决策与驾驶员的行为进行对比，一旦两者不一致，该场景便被判定为“极端工况”，进而触发数据回传（大幅缩小计算中心存储需求）。

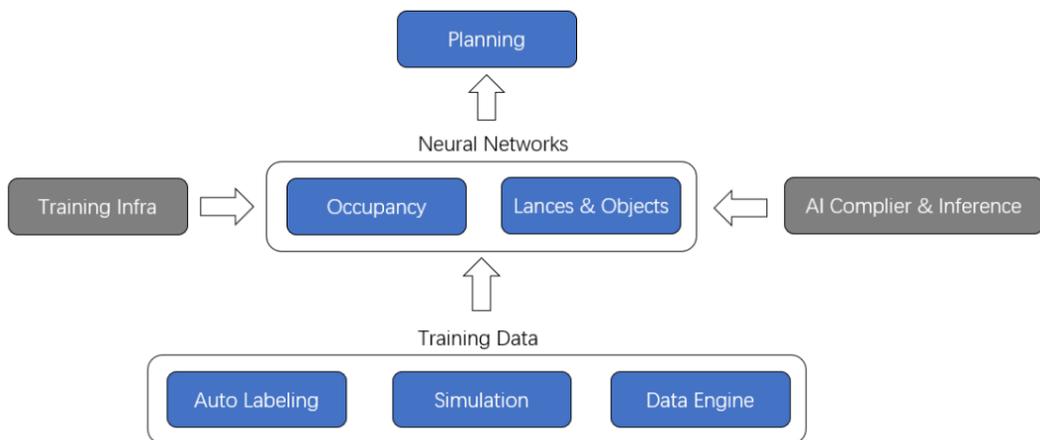
图表15 特斯拉发布影子模式



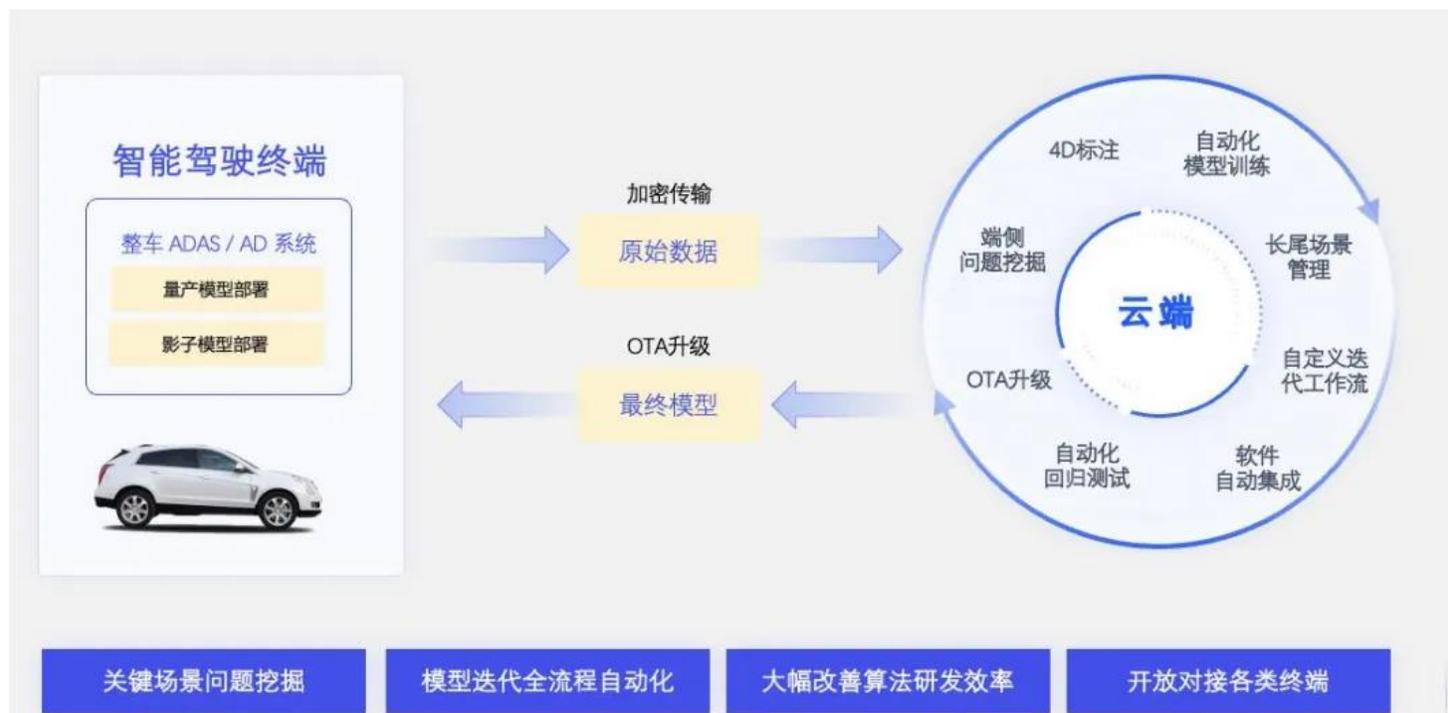
数据来源：特斯拉，车东西，财通证券研究所

- ◆ **特斯拉的数据闭环：**通过影子模式搜集数据，经过清洗、标注（自动标注+人工标注），与仿真数据共同构建训练集。训练集也用于车载模型的训练，完成之后更新到车上；以此往复，完成数据流的闭环。
- ✓ **2020年起，特斯拉开始研发数据自动标注系统。**
- ✓ 在车辆行驶过程中，摄像头收集的路面信息，打包上传到服务器的离线神经网络大模型，由大模型进行预测性标注，再反馈给车端各个传感器，当预测的标注结果在 8 个传感器均呈现一致时，则这一标注成功。

图表16 特斯拉模型训练流程



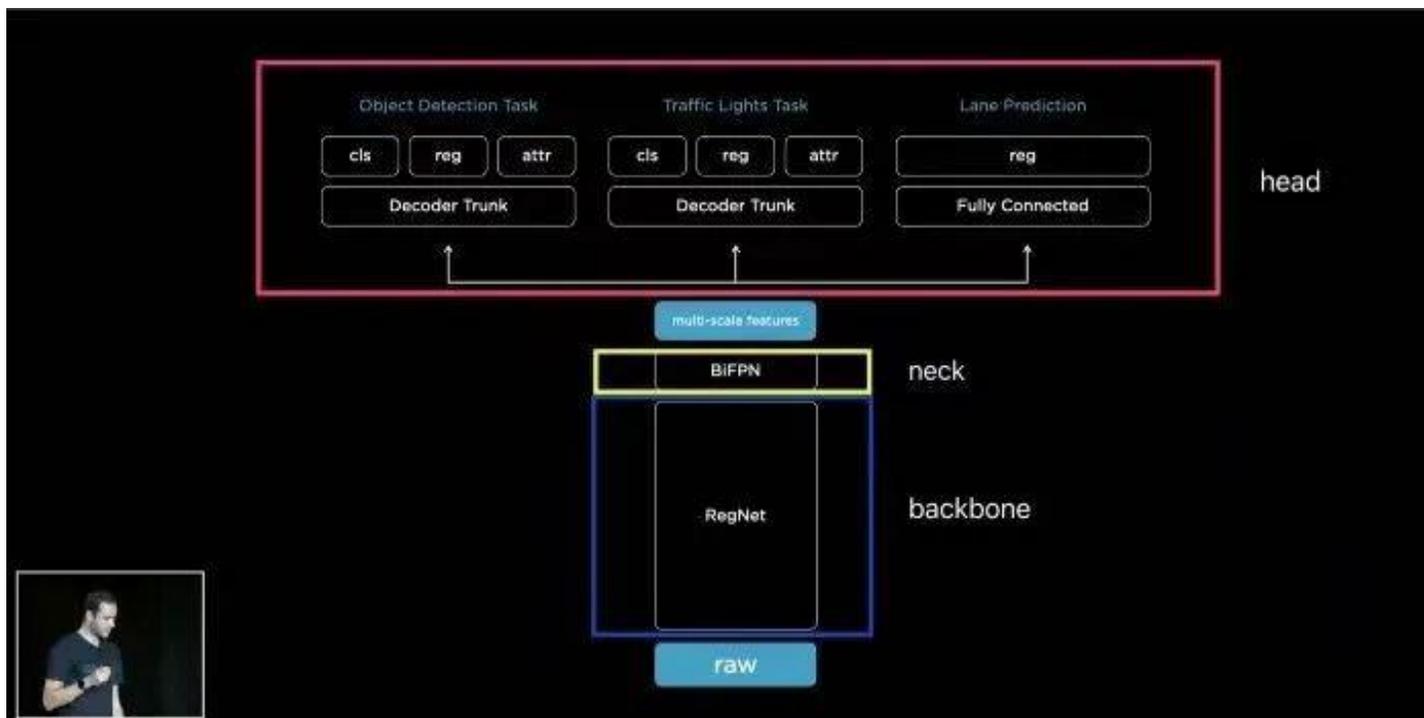
图表17 自动驾驶模型训练以数据为中心



数据来源：特斯拉，深蓝学院，财通证券研究所

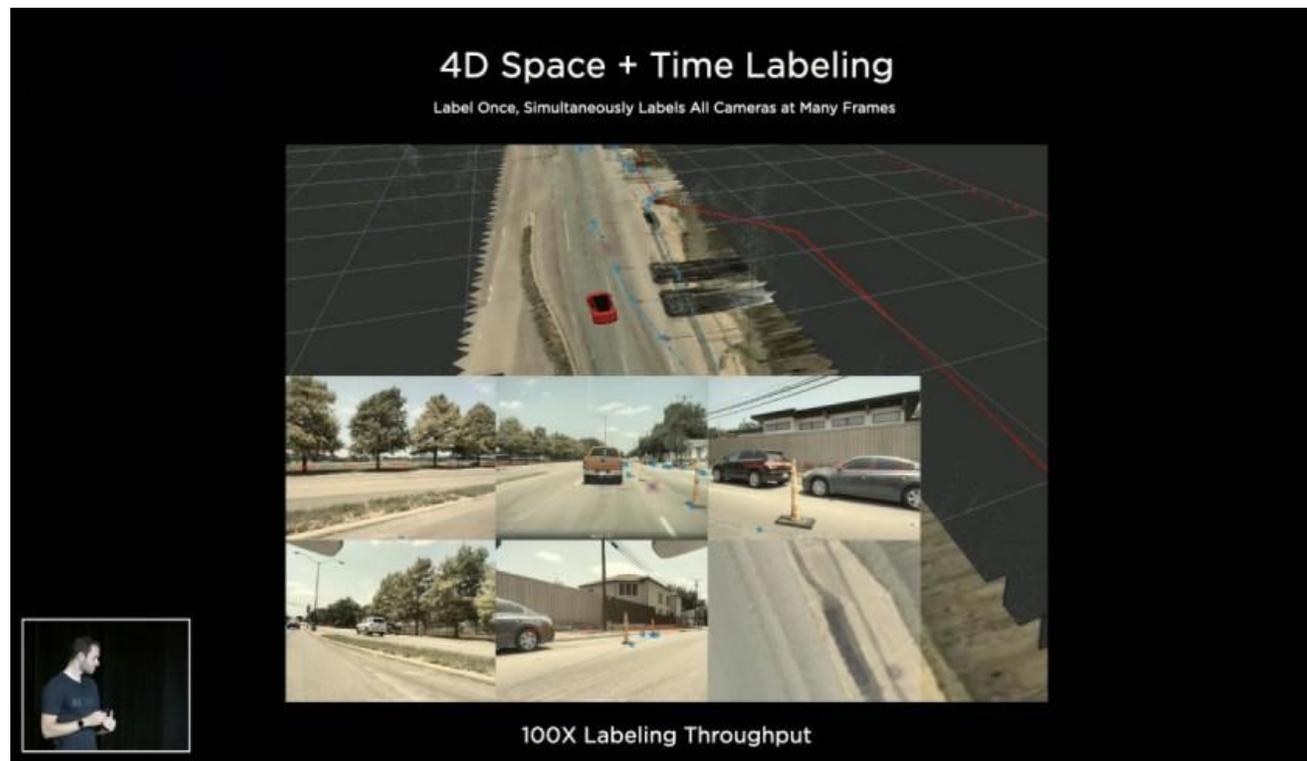
- ◆ 背景：传统**自动驾驶目标检测**采用通用网络结构，当时业内自动驾驶视觉神经网络只有一个head，在同时完成多项任务方面（如车道线检测，人物检测与追踪，信号灯检测等等视觉任务）存在效率低下的问题。
- ◆ 2018年，特斯拉做出对其自动驾驶算法的第一次革新，构建HydraNet，重构自动驾驶目标检测结构。
- ✓ HydraNet 结构能够完成多头任务，减少重复的卷积计算，提升算法效率。

图表18 HydraNet结构能够处理多头任务



- ◆ 背景：传统SLAM+DL下，①融合不同传感器的采集数据，并实时输出下游所需的一系列任务结果是当时的核心挑战；②多采用后融合处理方式，每个传感器对应一个神经网络，计算量大、效率低。
- ◆ 2020年，特斯拉引入BEV+Transformer架构，后引入时序信息。
  - ✓ 特斯拉认为采集后的2D图像需要升维才能实现自动驾驶，而升维的最佳表达方式是BEV（鸟瞰图）。因此引入大模型Transformer进行升维开发，实现将2D图像转换成BEV视角，形成车辆自身坐标系。
  - ✓ BEV 使得自动驾驶从后融合（或称「决策层融合」）向特征级融合（或称「中融合」）方向迈进，提升决策精准度且降低计算量。
  - ✓ 特斯拉引入时空序列特征层，为自动驾驶增添短时记忆功能，从而具有推演能力，提升系统安全性。

图表19 算法将二维图像升级到四维



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/517022066012006044>