

特斯拉(TSLA)深度：短期看新车型销量及 FSD，中期看能源，长期看 Optimus

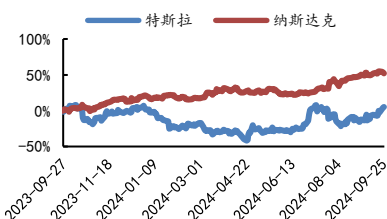
投资评级：增持

首次覆盖

报告日期：2024-09-26

收盘价 (USD)	257.02
近 12 个月最高/最低 (USD)	263.6/142.1
总股本 (亿股)	31.95
流通股本 (亿股)	31.95
流通股比例 (%)	100
总市值 (\$亿)	8,210.86
流通市值 (\$亿)	8,210.86

公司价格与纳斯达克走势比较



分析师：金荣

执业证书号：S0010521080002

邮箱：jinrong@hazq.com

分析师：石月昊

执业证书号：S0010524080002

邮箱：shiyuehao@hazq.com

相关报告

- 公司深度：微软 (MSFT)：拥抱云与 AI，开启新的增长飞轮 2024-07-04
- 公司深度：Salesforce (CRM)：AI 工具多场景覆盖，经营利润持续释放 2024-05-13
- 公司深度：Amazon (AMZN)：壁垒高筑，资本投入下带来业绩展望 2024-04-04
- 公司深度：Adobe (ADBE)：生态为主 AI 为辅，创意工具厚积薄发 2024-03-03
- 公司深度：亚德诺 (ADI)：24Q1 预计收入符合指引，汽车芯片需求相对稳健 2024-02-19

主要观点：

- 公司简介：从汽车生产到可持续能源，为实现全球可持续能源经济提供可行方案

1) 公司简介：特斯拉 (Tesla, Inc.) 成立于 2003 年，2010 年在美国纳斯达克上市，为自 1956 年福特汽车 IPO 以来第一家上市的美商汽车制造商，也是第一家在美国上市的纯电动汽车独立制造商。根据 2023 年 3 月 1 日公司发布的秘密宏图第三篇章，特斯拉旨在推动全球向可持续能源转型，并提升人类生活质量，其中重点关注规模化生产可再生能源和电动车、深入开发 AI 和机器人技术。

2) 营收结构：公司业务包括汽车业务 (Automotive)、能源业务 (Energy generation and storage)、服务及其他业务 (Services and other)，其中汽车业务 (包括汽车销售、碳排放积分及汽车租赁) 是公司最主要的营收来源，近五年占收比稳定在 84%-88%。

3) 最新财务情况：2023 年得益于汽车交付辆的大幅增长，公司实现收入 967.7 亿美元 (yoy +19.0%)，由于汽车售价的下降，实现经调整归母净利润 108.8 亿美元 (yoy -26.5%)；24H1 由于汽车整体售价下降、弗里蒙特工厂更新后的 Model 3 处于生产爬坡早期阶段产能运用不足、红海危机和柏林工厂火灾导致部分工厂停工，24H1 公司实现收入 468.01 亿美元 (yoy -3.02%)，由于汽车售价下降及 AI 投入增加，24H1 公司实现经调整归母净利润 33.5 亿美元 (yoy -44.9%)。

- 短期看新车型销量及 FSD：关注 25 年新车型发售情况及 25Q1 FSD 入华、入欧进展

1) 已有车型：特斯拉旗下车型包括电动跑车 Roadster、乘用车 Model SX3Y、电动皮卡 Cybertruck、电动卡车 Semi，23 年汽车总交付量为 180.9 万台 (yoy +37.65%)；考虑到 25 年有望上新低成本新车型，部分有购车意愿的消费者会选择持币等待，因此 24H1 已有车型的销量同比小幅下降，达 83.1 万台 (yoy -6.6%)。

2) 低成本新车型：24Q1 业绩会上，特斯拉表示正在加速新车型的推出，计划提前至 2025 年初、甚至可能在 24 年晚些时候推出，这些新车型将同时利用新一代及当前平台的技术，并在现有生产线上生产，从而让公司最大限度地利用接近 300 万的最大年产能。

3) FSD 进展：2024 年 1 月特斯拉正式推出首个端到端 AI 自动驾驶系统 FSD V12，首次使用神经网络进行车辆控制 (包括控制转向、加速和制动)，减少了对硬编码编程的依赖，V12 的 C++ 代码只有 2000 行，而 V11 有 30 多万行；24Q1 业绩会上，公司表示，北美已有 180 万辆车搭载 HW 3.0 版本硬件，其中 FSD 使用率超 50%，且在持续上升；2024 年 7 月，特斯拉开始推送 FSD V12.5，参数比 V12 提高了 5 倍，并将高速、城区智驾全面切换为端到端方案；24 年 9 月，特斯拉发布技术路线图，表示将于 24 年 10 月推送 FSD V13、接管率改进 6 倍，预计将于 25Q1 在中国和欧洲推出 FSD，目前还在等待监管部门批准。

● **中期看能源：算力的尽头是电力，24 年储能产品部署量至少同比翻倍**

特斯拉能源产品主要包括储能产品、光伏产品和能源软件。其中储能产品包括户储产品 Powerwall、大储产品 Megapack，光伏产品包括 Solar Roof（太阳能屋顶）、Solar Panel（太阳能电池板）。

由于全球电力需求增加、发电结构中可持续能源占比提升、且电储能市场规模随着可持续能源电力的增长而增长，Statista 数据显示，2023-2030 年电储能容量的 CAGR 高达 37.1%；而 Wood Mackenzie 数据显示，2023 年全球电池储能市场中特斯拉市占率为全球第一，高达 15%，并呈现增长态势。

行业规模高速增长叠加市占率稳步提升，24Q2 特斯拉能源装机量达 9.4 GWh (yoy +158%)，24 年 6 月年度股东大会上，公司表示储能产品的装机量将保持增长态势，24 年装机量有望同比增长 200-300%。

● **长期看 Optimus：Optimus 与自动驾驶共用大脑、快速迭代，已小范围进驻特斯拉超级工厂，预计 2026 年投放市场**

自 21 年 8 月发布 Tesla Bot 概念图以来，特斯拉人形机器人快速迭代，于 22 年 9 月发布 Optimus 原型机（无外壳）、23 年 3 月发布 Optimus Gen 1、23 年 12 月发布 Optimus Gen 2，并有望于 24 年底发布 Optimus Gen 3。

由于人形机器人和自动驾驶都是 AI 技术的载体，同样需要经过传感器收集数据、感知算法、规划算法、控制算法、执行器执行任务等过程，因此 Optimus 大量复用特斯拉在自动化驾驶领域的研究成果，包括神经网络算法（感知+规控）、自动标注系统（需要重新收集训练数据）、FSD 硬件设施（FSD 芯片）、Dojo 训练平台等。其中，感知侧，Optimus 与汽车一样，同样采用纯视觉路线，使用三颗摄像头（一个前置鱼眼摄像头，左右各一个摄像头），在采集信息后通过其胸腔的 FSD 芯片处理信息。

24Q2 业绩会上，公司表示，Optimus 机器人已经在工厂中执行任务，预计 25 年年初开始生产并限量生产；预计 25 年年底将生产几千个 Optimus 机器人并执行工作；2026 年将大幅提高生产，提供给外部客户。

● **投资建议**

由于 Optimus 将于 2026 年开始量产，仍未开启商业化，在不考虑人形机器人收入、不考虑 Robotaxi 收入（暂定于 24 年 10 月 10 日推出），考虑 FSD 收入、考虑 25 年发布新车型的情况下，预计 2024-2026 年公司实现收入 996.25/1162.32/1426.71 亿美元，同比增长 2.9%/16.7%/22.7%；考虑到 2024 年公司在 AI 等技术领域加大投入，导致公司研发费率和销售行政费率小幅增长，且 23Q4 存在大笔所得税退回（57.5 亿美元），导致 23Q4 及 23 年归母净利润为高基数，预计 2024-2026 年公司实现归母净利润 65.69/99.26/140.59 亿美元，同比变动 -56.2%/+51.1%/+41.6%。首次覆盖，给予“增持”评级。

● **风险提示**

新车型销售表现不及预期；工厂产能释放不及预期；FSD 渗透率不及预期；自动驾驶及人形机器人技术发展不及预期；关税风险。

● 重要财务指标

单位:百万元

主要财务指标	2023A	2024E	2025E	2026E
营业收入	96,773	99,625	116,232	142,671
收入同比 (%)	18.8%	2.9%	16.7%	22.7%
归母净利润 (GAAP)	14,997	6,569	9,926	14,059
归母净利润同比 (%)	19.4%	-56.2%	51.1%	41.6%
毛利率	18.2%	17.3%	18.3%	19.6%
ROE (%)	17.1%	11.0%	13.6%	15.8%
EPS Adj. (diluted)	3.12	2.30	3.33	4.63
P/E Adj.	72.6	102.6	70.8	51.0
P/B	12.4	11.3	9.7	8.1
P/S	8.2	8.2	7.1	5.8

资料来源: WIND, 华安证券研究所

正文目录

1 公司简介：从汽车生产到发展可持续能源，实现产业链闭环.....	9
1.1 发展历程：三步走战略，实现汽车生产到智能驾驶转变.....	9
1.2 业务概况：以汽车业务为主，总营业收入持续增长.....	11
1.3 股权结构：股权结构稳定，善用股权激励.....	13
2 汽车业务：大众车型带动汽车业务快速放量，FSD 有望成为新增长点.....	15
2.1 特斯拉汽车业务是什么.....	15
2.2 特斯拉汽车业务做了什么.....	16
2.2.1 电动跑车 Roadster：以小众高端电动跑车切入汽车市场，高举高打颠覆用户认知.....	16
2.2.2 乘用车 Model SX3Y：大单品策略降本增效，产品线覆盖主流车种.....	18
2.2.2.1 Model S.....	18
2.2.2.2 Model X.....	19
2.2.2.3 Model 3.....	20
2.2.2.4 Model Y.....	21
2.2.2.5 新车型展望.....	22
2.2.3 电动皮卡 Cybertruck.....	22
2.2.4 电动卡车 Semi.....	24
2.3 特斯拉汽车业务做对了什么.....	25
2.3.1 一体化压铸+CTC，助力技术性降本.....	25
2.3.2 工程交叉论+工厂高效率，助力流程性降本.....	26
2.4 特斯拉智能驾驶做了什么.....	32
2.4.1 硬件：4 代计算平台.....	32
2.4.2 算法：三大算法模块引领行业发展.....	34
2.4.2.1 感知算法.....	34
2.4.2.2 规划与控制算法.....	39
2.4.3 算力：构建云端算力 Dojo.....	42
2.4.4 数据：从人工标注转向自我标注，并构建真实世界的虚拟仿真空间.....	43
2.4.5 软件：12 个软件版本.....	46
3 人形机器人：OPTIMUS 已小范围进驻超级工厂，预计 2026 年投放市场.....	50
3.1 OPTIMUS 做了什么？.....	50
3.1.1 2021 年 8 月：发布 Tesla Bot 概念图.....	50
3.1.2 2022 年 9 月：发布 Optimus 人形机器人原型机（无外壳）.....	50
3.1.2.1 硬件架构.....	51
3.1.2.2 研发逻辑.....	52
3.1.3 2023 年 3 月：发布 Optimus Gen 1.....	55
3.1.4 2023 年 12 月：发布 Optimus Gen 2.....	57
3.2 OPTIMUS 未来能做成什么？.....	58
3.2.1 需求侧（雇主）有无动力使用人形机器人？.....	58
3.2.2 供给侧（生产者）有无动力生产人形机器人？.....	59
4 能源业务：AI 发展对电力需求增加，24 年储能产品部署量至少同比翻倍.....	61

4.1 特斯拉能源业务做了什么?	61
4.1.1 储能产品: 户储产品 Powerwall + 大储产品 Megapack	61
4.1.2 光伏 (太阳能) 产品: 太阳能屋顶+太阳能电池板	63
4.2 特斯拉储能业务做对了什么?	64
5 盈利预测与估值分析	67
5.1 财务指标	67
5.2 盈利预测	69
风险提示:	69
财务报表与盈利预测	70

图表目录

图表 1 特斯拉主要产品	10
图表 2 特斯拉发展阶段	10
图表 3 2009-2023 年公司收入及同比 (亿美元)	11
图表 4 2009-2023 年公司归母净利润及同比 (亿美元)	11
图表 5 2014-2023 年公司分地区营业收入占比	12
图表 6 2021-24Q2 公司营收结构	13
图表 7 特斯拉股权结构	13
图表 8 2012 年 CEO 绩效奖触发条件	14
图表 9 2012 年 CEO 绩效奖触发条件	14
图表 10 2021-24Q2 特斯拉汽车业务收入及毛利率 (\$MILLION)	15
图表 11 特斯拉汽车业务收入拆分	15
图表 12 特斯拉汽车业务毛利率	16
图表 13 2008 年 ROADSTER 图片	17
图表 14 特斯拉官网在售车型及交付时间	18
图表 15 2012 年 MODEL S 图片	18
图表 16 13 年 Q1-Q3 美国汽车销量对比 (台)	18
图表 17 2009-14Q4 公司收入及同比变化	19
图表 18 2009-14Q4 公司归母净利润及同比变化	19
图表 19 2015 年 MODEL X 图片	19
图表 20 2017 年 MODEL 3 图片	20
图表 21 18 年 Q1-Q3 美国汽车销量对比 (台)	20
图表 22 2016-20Q4 公司收入及同比变化	20
图表 23 2016-20Q4 公司归母净利润及同比变化	21
图表 24 特斯拉在售车型参数 (性能更新至 2024 年 7 月)	21
图表 25 2018-23Q3 公司各车型交付量	22
图表 26 特斯拉 CYBERTRUCK 官网宣传图	22
图表 27 特斯拉 CYBERTRUCK 官网宣传图	23
图表 28 线控转向系统示意图	23
图表 29 特斯拉 SEMI 示意图	24
图表 30 特斯拉一体化压铸示意图	25
图表 31 特斯拉、蔚来、小鹏、理想的汽车业务毛利率	26
图表 32 星舰 STARSHIP 简介	27
图表 33 CYBERTRUCK 的防弹测试	27
图表 34 特斯拉弗里蒙特工厂示意图	27
图表 35 特斯拉内华达超级工厂扩建计划示意图	28
图表 36 特斯拉纽约超级工厂图片	29
图表 37 特斯拉柏林工厂第二阶段扩建计划图	30
图表 38 德州超级工厂设计图	31
图表 39 21Q1-24Q2 特斯拉各工厂产能梳理	32
图表 40 HW 2.5 有 2 颗 TEGRA PARKER 芯片、1 颗英伟达 PASCAL GPU	32
图表 41 HW 3.0 有 2 颗 FSD 芯片	33
图表 42 HW 3.0 超声波传感器、雷达和摄像头	33

图表 43 特斯拉自动化驾驶硬件迭代.....	34
图表 44 自动驾驶基本架构.....	34
图表 45 HYDRANET 算法示意图.....	35
图表 46 BEV 图示.....	37
图表 47 OCCUPANCY NETWORK.....	39
图表 48 特斯拉采用按层级分解的方法同时解决规控的非凸性和高维性.....	40
图表 49 特斯拉引入蒙特卡洛树搜索, 高效完成任务.....	40
图表 50 特斯拉规划交通参与者联合轨迹.....	41
图表 51 特斯拉自动驾驶算法架构.....	41
图表 52 为 DoJo 超算打造的自研 AI 训练芯片 D1.....	42
图表 53 DoJo 超级计算机的单个训练模块由 25 个 D1 芯片组成.....	42
图表 54 TESLA AI 算力规模规划 (发布于 23Q2).....	43
图表 55 截至 24Q2 TESLA AI 算力规模进展.....	43
图表 56 随着时间的推移, 标注数量快速增长.....	44
图表 57 随着时间的推移, 标注数量快速增长.....	45
图表 58 SAE 自动化驾驶分级标准.....	46
图表 59 特斯拉自动化驾驶产品功能对比.....	47
图表 60 19 年-24 年美国 FSD 价格变化 (\$).....	47
图表 61 FSD V9 以来的迭代内容整理.....	48
图表 62 特斯拉自动驾驶技术迭代过程.....	48
图表 63 端到端的定义.....	49
图表 64 特斯拉 AI DAY 2021 人形机器人概念图.....	50
图表 65 OPTIMUS 原型机在特斯拉工厂浇花.....	50
图表 66 OPTIMUS 原型机看到的渲染后画面.....	50
图表 67 特斯拉 AI DAY 2022 人体参数展示图.....	51
图表 68 OPTIMUS 硬件架构.....	51
图表 69 OPTIMUS 旋转执行器与线性执行器参数.....	52
图表 70 最大的线性执行器可吊起半吨重的钢琴.....	52
图表 71 OPTIMUS 膝关节设计.....	53
图表 72 OPTIMUS 手部设计.....	53
图表 73 汽车碰撞模拟软件.....	54
图表 74 OPTIMUS 编写跌倒测试软件.....	54
图表 75 OPTIMUS 使用三个摄像头完成行走.....	54
图表 76 特斯拉机器人与 FSD 软硬件通用.....	54
图表 77 OPTIMUS 走路进化过程.....	55
图表 78 OPTIMUS 在装配另一台 OPTIMUS.....	55
图表 79 OPTIMUS 抓取电动工具作业.....	55
图表 80 OPTIMUS 在学习人类.....	56
图表 81 学习后 OPTIMUS 独立完成抓取任务.....	56
图表 82 使用视觉系统和关节位置编码器校准位置.....	56
图表 83 OPTIMUS 按颜色对色块进行分类.....	56
图表 84 OPTIMUS 自我纠正 (把倒下的方块重新扶起).....	56
图表 85 OPTIMUS 做瑜伽.....	56
图表 86 OPTIMUS GEN 2.....	57

图表 87 OPTIMUS GEN 2 做深蹲.....	57
图表 88 OPTIMUS GEN 2 手部的 11 个自由度响应更快.....	57
图表 89 OPTIMUS GEN 2 抓鸡蛋 (右侧显示手指压力).....	57
图表 90 OPTIMUS GEN 2 分拣电池.....	58
图表 91 OPTIMUS GEN 2 的摄像头视角.....	58
图表 92 人工 vs 中期情境下人形机器人 vs 远期情境下人形机器人 1 单位产出对应薪水 (\$).....	59
图表 93 人形机器人 2030 年/2035 年对美国就业人员的渗透率.....	60
图表 94 特斯拉在售能源产品.....	61
图表 95 特斯拉储能产品.....	61
图表 96 上海储能工厂完工示意图.....	62
图表 97 上海储能工厂实际进度.....	62
图表 98 2023 年全球电池储能系统集成商排名.....	62
图表 99 特斯拉 SOLAR ROOF 产品规格.....	63
图表 100 特斯拉太阳能产品部署量及同比变化.....	63
图表 101 2022-2026 全球电力需求变化.....	64
图表 102 22 年和 26 年传统数据中心、AI 数据中心和加密货币的电力需求预计.....	64
图表 103 2022-2026 年全球电力来源变化.....	65
图表 104 储能产品分类.....	65
图表 105 2023、2030 年全球抽水储能容量和电池储能容量.....	65
图表 106 特斯拉储能产品部署量及同比变化率.....	66
图表 107 2017-24H1 公司营业收入及同比增速.....	67
图表 108 2017-24H1 公司毛利润及毛利率.....	67
图表 109 2017-24H1 特斯拉期间费用 (亿元).....	68
图表 110 2017-24H1 特斯拉期间费用率.....	68
图表 111 2017-24H1 特斯拉营业利润及营业利润率.....	68
图表 112 2017-24H1 归母净利润及归母净利润率.....	68
图表 113 2021-2026 年特斯拉核心财务指标拆分.....	69

1 公司简介：从汽车生产到发展可持续能源，实现产业链闭环

特斯拉 (Tesla, Inc.) 成立于 2003 年，总部位于美国加利福尼亚州的帕洛阿托，由马丁·艾伯哈德 (Martin Eberhard) 和马克·塔彭宁 (Marc Tarpenning) 创立，目标是开发和生产高性能的电动汽车。

2004 年，伊隆·马斯克 (Elon Musk) 成为公司的主要投资者和董事会主席，随后逐渐成为公司的灵魂人物和 CEO。

2010 年在美国纳斯达克上市，成为自 1956 年福特汽车 IPO 以来第一家上市的美国家汽车制造商，也是第一家在美国上市的纯电动汽车独立制造商。

1.1 发展历程：三步走战略，实现汽车生产到智能驾驶转变

特斯拉的战略方向通过三篇“秘密宏图” (Master Plan 3) 逐步展现：

第一篇宏图旨在加速世界向可持续交通的转变，先生产小众电动车如 Roadster，然后投资生产中高端车型 Model S，再扩大到更具性价比的 Model 3，从而推广零排放电力产品。

第二篇宏图强调创建全面的可持续能源和交通生态系统，包括开发太阳能产品、扩展电动车产品线、推出自动驾驶技术，并提出未来的汽车共享理念。

第三篇宏图旨在推动全球向可持续能源转型，并提升人类生活质量。重点关注规模化生产可再生能源和电动车、深入开发 AI 和机器人技术。

以公司官网发布的秘密宏图三大篇章，将公司的发展历程分为三大阶段：

1) 2006 年-2015 年：探索阶段，从高端跑车到大众市场

2006 年马斯克发布秘密宏图第一篇章，公司希望打造一款产量小的运动跑车率先进入高端市场，随后不断推出容量更大、价更低的车型迈向大众市场；

利用 Roadster 电动汽车动力集合系统，公司于 2009 年 3 月发布了第二款电动汽车 Model S 并于 2012 年交付；

2015 年公司推出了 Model S 新型号和 Model X，并引入了突破性的 Autopilot (自动辅助驾驶功能)。

2) 2016 年-2022 年：扩张阶段，推陈出新，不断完善能源系统。

2016 年 8 月公司推出太阳能光伏屋顶；2016 年 11 月 12 日公司收购美国太阳能发电系统供应商 Solar City，使特斯拉成为世界上唯一一家从发电到储存再到运输的综合性可持续能源公司；

2017 年 1 月收购德国 Grohmann Engineering 自动化生产公司，并推出了 Tesla Advanced Automation Germany，以此创新 Model3 的制造流；2017 年交付为大众市场设计的低价轿车 Model3，成为世界上最畅销的车型之一，进一步巩固了特斯拉在电动车市场的主导地位；并分别于 2016 年底和 2017 年开始交付 Powerwall 和 Powerpack 产品；

2019 年基于 Model3 发布新型 SUV Model Y，同年宣布开设上海超级工厂提高产能；并于 2019 年底开始交付 Megapack 产品。

2022 年 12 月，生产和交付首款商用电动汽车 Tesla Semi，同时宣布计划生产 Cybertruck 和新 Roadster 等车型。

3) 2023 年以后：持续发展阶段，可持续能源与 AI 技术不断融合。

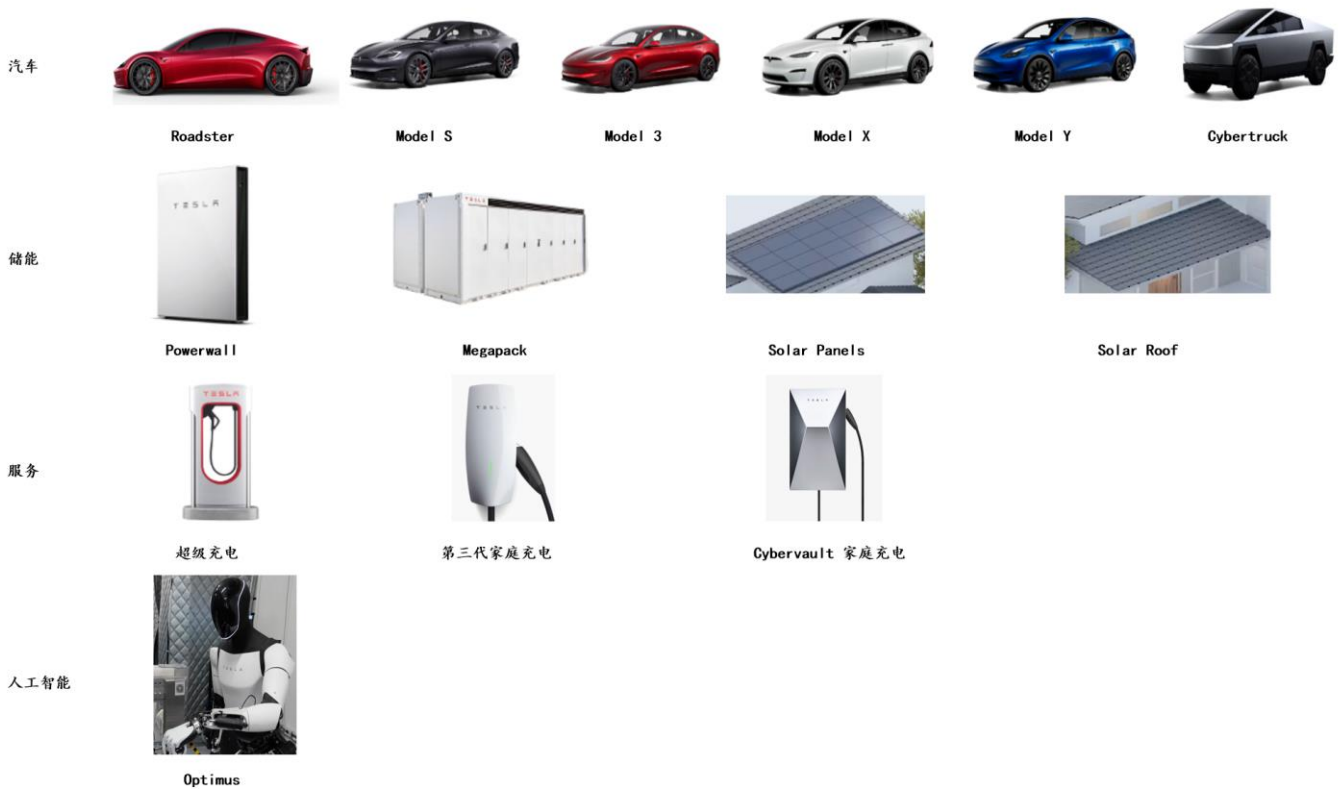
2023 年 3 月 1 日，发布秘密宏图第三篇章，希望通过终端电气化、可持续的发

电和储能，为实现全球可持续能源经济提供可行方案；

2023 年 11 月，交付电动皮卡 Cybertruck，正式进入市场前景广阔的皮卡市场；

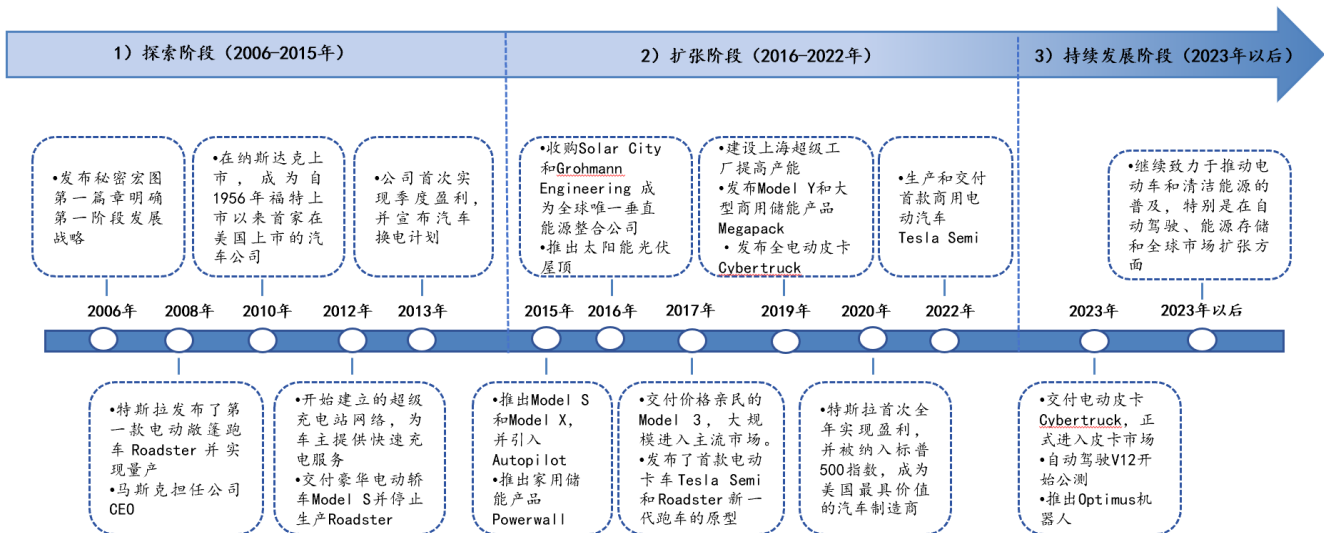
2023 年 12 月下旬开始在北美公测自动驾驶 V12 (FSD Beta)，与此同时，特斯拉还推出了 Optimus 机器人，标志着公司将 AI 技术从自动驾驶领域扩展到更广泛的具身智能应用。

图表 1 特斯拉主要产品



资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 2 特斯拉发展阶段

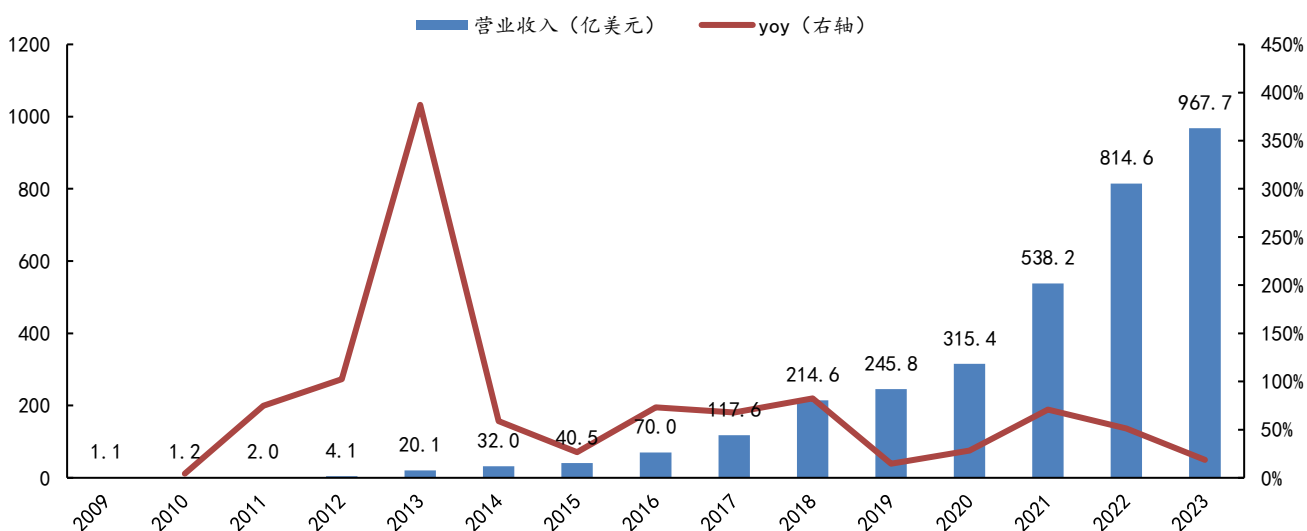


资料来源：公司官网，华安证券研究所整理

1.2 业务概况：以汽车业务为主，总营业收入持续增长

公司的业务包括汽车业务、能源生产和储蓄业务、服务及其他业务。2023年，公司实现营业收入 967.73 亿美元，同比增长 19.00%，主要得益于汽车交付辆的大幅增长；24 年前两季度实现营收 468.01 亿美元，同比下降 3.02%，主要由于汽车整体售价下降，同时弗里蒙特工厂更新后的 Model 3 处于生产爬坡早期阶段产能运用不足，红海危机和柏林工厂火灾导致部分工厂停工。

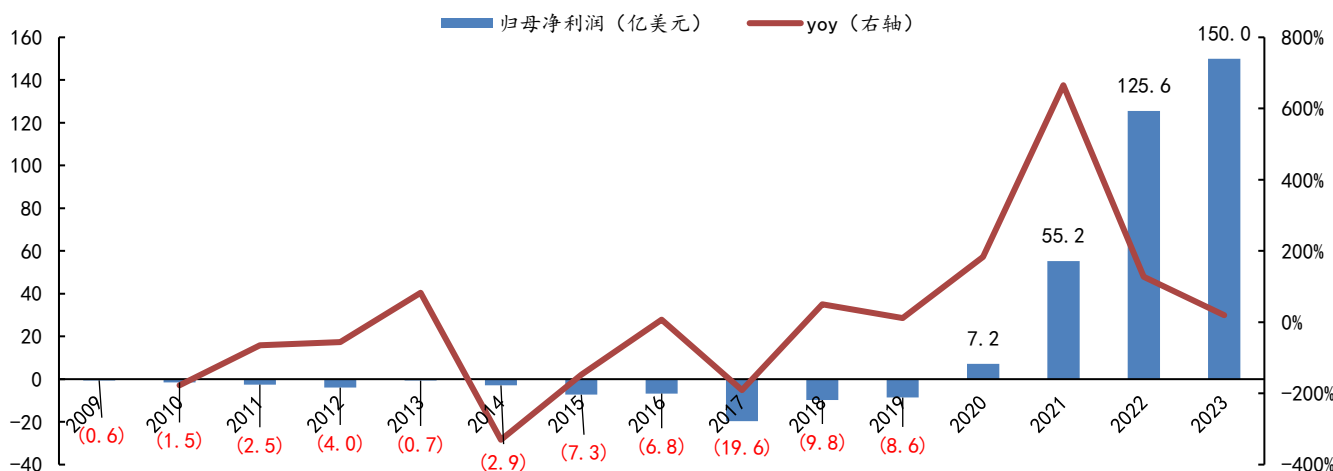
图表 3 2009-2023 年公司收入及同比（亿美元）



资料来源：公司财报，华安证券研究所整理

利润层面，2020 年以来，公司归母净利润扭亏为盈，且不断保持增长，2023 年公司归母净利润达 149.97 亿美元，同比增长 19.18%。24 年前两季度实现归母净利润 26.07 亿美元，同比下降 50.02%，主要由于 AI 项目相关费用增加和汽车销售价格下降所致。

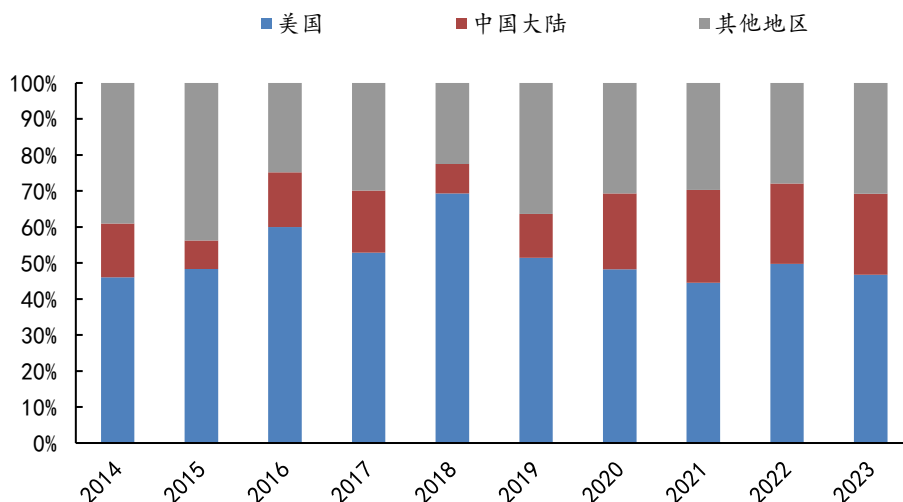
图表 4 2009-2023 年公司归母净利润及同比（亿美元）



资料来源：公司财报，华安证券研究所整理

从地区角度来看，公司营业收入主要来自美国和中国两大市场，2023 年美国和中国分别占营业收入的 46.74% 和 22.47%。

图表 5 2014-2023 公司分地区营业收入占比



资料来源：公司财报，华安证券研究所整理

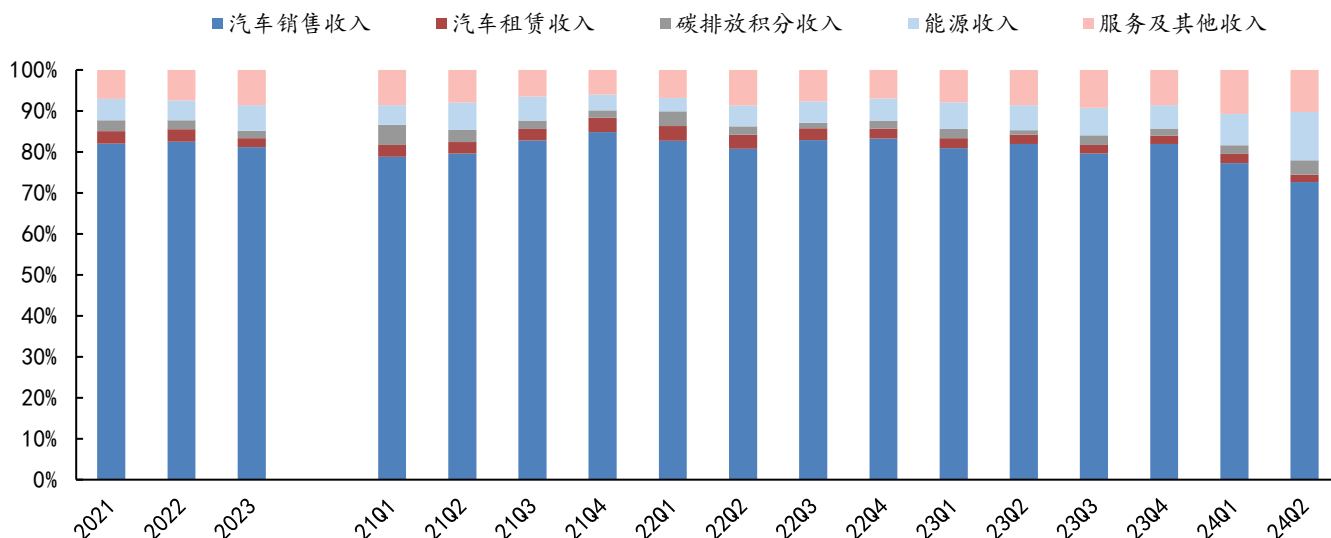
1) 汽车业务：是公司最主要的营收来源，包括汽车销售、碳排放积分及汽车租赁三部分。2023 年公司实现汽车业务总收入 824.19 亿美元 (yoy +15.3%)，主要得益于 Model 3 和 Model Y 在全球范围内的产量增加以及新车型 Cybertruck 的开发；汽车业务总毛利率达 19.45% (同比下降 9.03pp)，主要系汽车售价下降所致。2018-2023 汽车业务占收比分别为 86.27%/84.71%/86.36%/87.75%/87.72%/85.17%。

其中，汽车销售收入占汽车业务的 85% 以上。2023 年汽车销售收入达 785.09 亿美元 (yoy +16.8%)，2023 年公司共生产 185 万辆 (yoy +35%)，交付 181 万辆 (yoy +38%)。

2) 能源业务：主要包括光伏产品 (太阳能) 和储能产品的销售和租赁。其中储能产品包括户储产品 Powerwall、大储产品 Megapack，光伏产品包括 Solar Roof (光伏屋顶)、Solar Panel (太阳能电池板)。2023 年，公司部署了 14.72 GWh 的储能产品 (部署量 yoy +125.1%) 和 223 MW 的太阳能产品 (部署量 yoy -35.9%)，得益于 Megapack 储能产品部署量的显著增加，2023 年实现储能业务总收入 60.35 亿美元 (yoy+54.4%)，毛利率 18.91% (同比提升 11.54pp)。2018-2023 储能业务占收比分别是 7.25%/6.23%/6.32%/5.18%/4.80%/6.24%；

3) 服务及其他业务：主要包括车身修理厂和零部件销售收入、非保修维修服务收入、付费超级充电收入和保险服务收入等。2023 年公司实现服务及其他业务收入 83.19 亿美元，同比增长 36.58%；2018-2023 服务及其他业务收入占收比分别是 6.48%/9.06%/7.31%/7.06%/7.48%/8.60%。

图表 6 2021-24Q2 公司营收结构

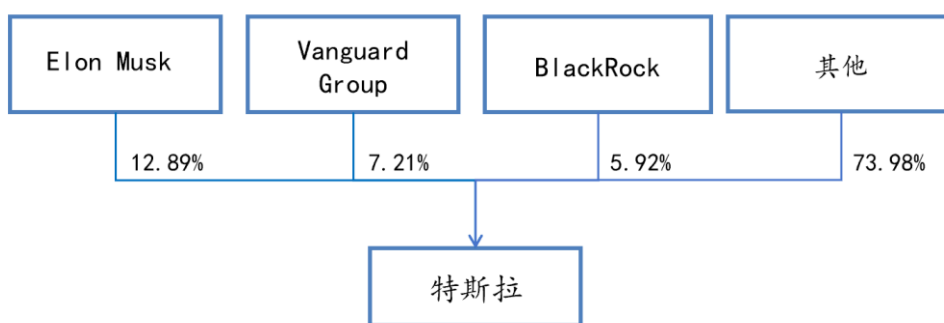


资料来源：公司财报，华安证券研究所整理

1.3 股权结构：股权结构稳定，善用股权激励

创始人兼 CEO 伊隆·马斯克是公司的最大个人股东，截至 2024 年 3 月 31 日，持有 12.89% 的股份。其他主要股东包括大型机构投资者，如 Vanguard Group 和 BlackRock，它们分别持有 7.21% 和 5.92% 的股份。此外，机构投资者如基金公司、养老基金和投资银行也是特斯拉的重要股东。公司股东结构相对分散，这也反映了特斯拉在全球市场上的广泛影响力和投资者的高度关注。

图表 7 特斯拉股权结构



资料来源：wind，华安证券研究所整理

公司上市后，在不同发展阶段中面向不同群体实施了多次关键的股权激励计划：公司 2010、2019 年发布 2 次面向员工的股权激励计划；于 2010、2014 年发布 2 次面向管理层的股权激励计划，以吸引和留住优秀的人才；于 2012、2018 年发布 2 次针对 CEO 马斯克的股权激励计划。

1. 2012 年，董事会为马斯克制定第一个股权激励 10 年计划，允许马斯克以每股 \$31.17 的行权价购买特斯拉 527 万股普通股期权，占当时特斯拉流通股总数的 5%。该计划完全由业绩股票期权组成，一共包括 10 个档次，只有同时完成市值目标和运

营目标时，该档次的期权才会归属马斯克。截至 2018 年 2 月，10 档市值目标便已经完成，10 档运营目标也已经完成 9 个。

图表 8 2012 年 CEO 绩效奖触发条件

经营指标	市值指标 (\$亿)	股权奖励
成功完成 Model X Alpha 原型车	72	0.50%
成功完成 Model X Beta 原型车	112	0.50%
完成首款 Model X 量产车	152	0.50%
成功完成 Model 3 Alpha 原型机	192	0.50%
成功完成 Model 3 Beta 原型机	232	0.50%
完成第一辆 Model 3 量产车	272	0.50%
连续四个季度毛利率达到 30%或以上	312	0.50%
汽车总产量 10 万辆	352	0.50%
汽车总产量 20 万辆	392	0.50%
汽车总产量为 30 万辆	432	0.50%

资料来源：公司公告，华安证券研究所整理

2. 2019 年，董事会为马斯克制定第二个股权激励 10 年计划，允许马斯克以每股 \$350.02 的行权价购买特斯拉 2030 万股普通股期权，占当时特斯拉流通股总数的 12%。和 12 年的股权激励计划类似，该计划完全由业绩股票期权组成，一共包括 12 个档次，只有同时完成市值目标和运营目标时，该档次的期权才会归属马斯克。

图表 9 2012 年 CEO 绩效奖触发条件

经营指标	市值指标 (\$亿)	股权奖励	
在 16 个经营指标任选 12 个完成即可	1000	1.00%	
	1500	1.00%	
收入	Adjusted EBITDA	2000	1.00%
(\$ billions)	(\$ billions)	2500	1.00%
200	1.5	3000	1.00%
350	3	3500	1.00%
550	4.5	4000	1.00%
750	6	4500	1.00%
1000	8	5000	1.00%
1250	10	5500	1.00%
1500	12	6000	1.00%
1750	14	6500	1.00%

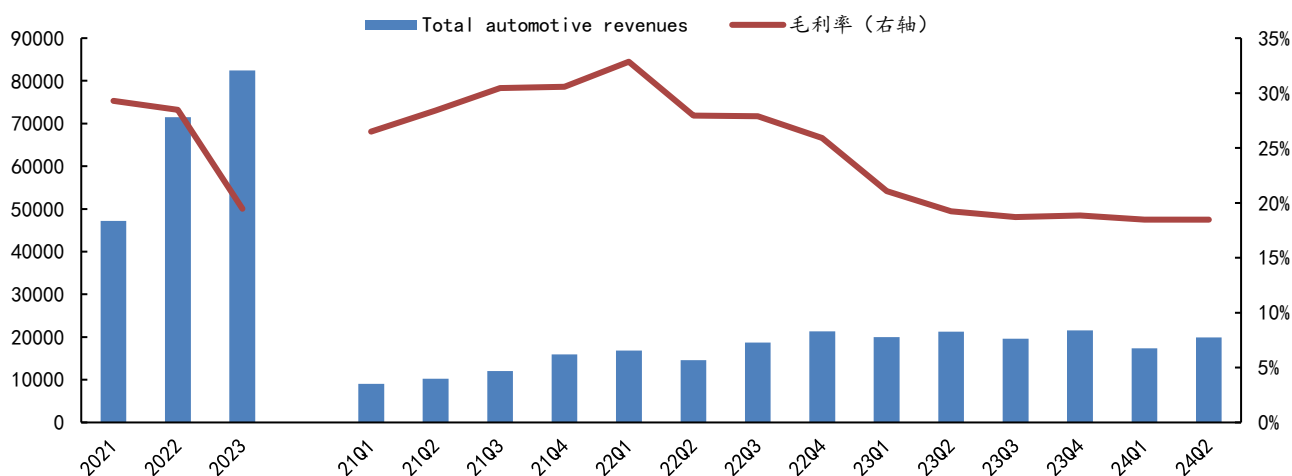
资料来源：公司公告，华安证券研究所整理

2 汽车业务：大众车型带动汽车业务快速放量，FSD 有望成为新增长点

2.1 特斯拉汽车业务是什么

2023 年公司汽车业务收入达 824.2 亿美元 (yoy +15.33%)，占总收入的 85.2%；毛利润达 160.3 亿美元 (yoy -21.24%)，毛利率达 19.45%，同比下降 9pp，主要是汽车售价下降所致；24Q2 特斯拉汽车业务收入达 198.8 亿美元 (yoy -6.5%)，占总收入的 77.9%，24Q2 汽车业务毛利润达 36.7 亿美元 (yoy -10.2%)，毛利率达 18.5%，同比下降 0.8pp。

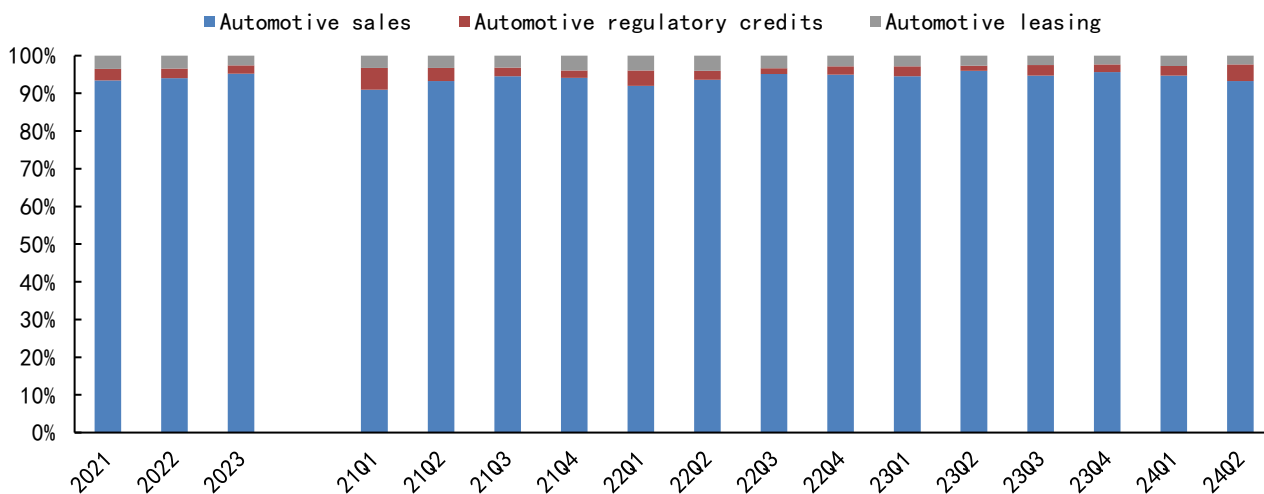
图表 10 2021-24Q2 特斯拉汽车业务收入及毛利率 (\$MILLION)



资料来源：公司财报，华安证券研究所整理

公司汽车业务包括汽车销售业务 (Automotive sales)、汽车监管积分业务 (Automotive regulatory credits)、汽车租赁业务 (Automotive leasing) 三块，其中汽车销售业务 (Automotive sales) 最近三年每年的占比均超过九成，为特斯拉的基石业务。

图表 11 特斯拉汽车业务收入拆分



资料来源：公司财报，华安证券研究所整理

1. 汽车销售业务 (Automotive sales) : 包括销售 Model S、Model X、Semi、Model 3、Model Y 和 Cybertruck 取得的收入，以及订阅特斯拉 FSD 功能及其持续维护、互联网连接、免费超级充电计划和无线软件更新服务。汽车销售业务 (Automotive sales) 2023 年有较大下滑，主要由于 2023 年整体价格同比下降、销售组合以及美元兑其他外币走强的负面影响，车辆平均售价有所下降。

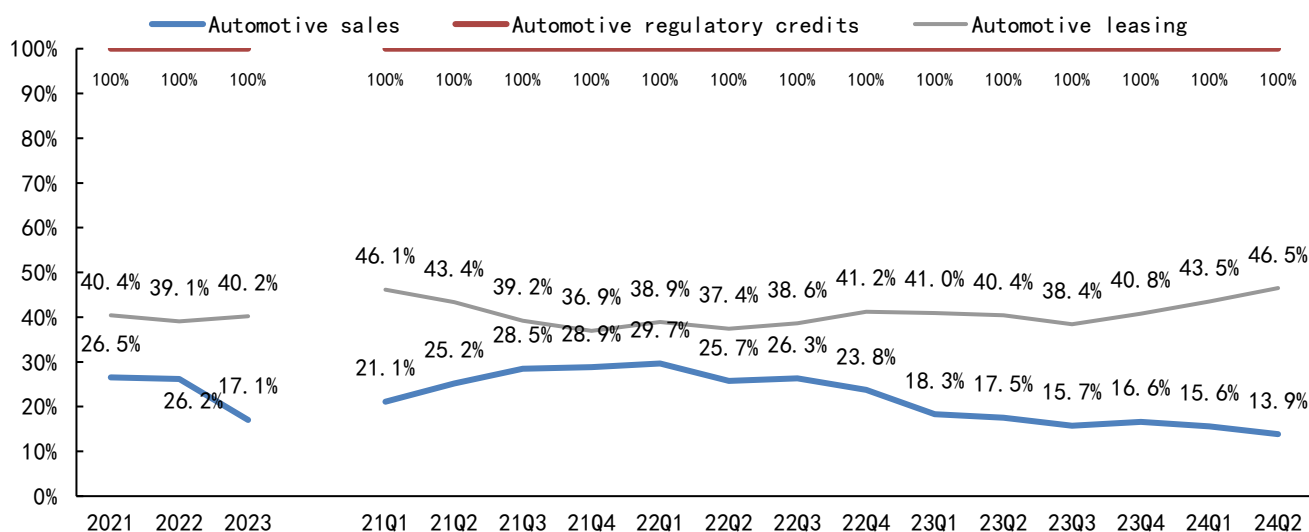
2. 碳积分业务 (Automotive regulatory credits) : 政府为鼓励汽车制造商生产更环保的车辆设立的政策，汽车制造商需要达到一定积分，特斯拉可以把多余的积分出售给未达标的企业。汽车监管积分业务由于没有直接成本，所以此项业务毛利率是 100%。

3. 汽车租赁业务 (Automotive leasing) : 汽车租赁业务分为两类：

1) 车辆租赁模式 (Direct Vehicle Operating Leasing Program) 这种模式主要适用于美国、加拿大，车主最长可以租赁特斯拉车辆 48 个月。租赁到期后，部分 Model S、X 车主可以预定的价格购买车辆。但大部分车辆在租赁到期后产权归属特斯拉，特斯拉可以进行二次销售。

2) 销售型租赁模式 (Direct Sales-Type Leasing Program) 2020 年 3 季度起，特斯拉在亚洲和欧洲的一些国家推出了“销售型租赁模式”，最长租期 48 个月。这种“租赁模式”类似于“明股实债”，主要是为了满足监管方面的要求，实际上就是分期付款。

图表 12 特斯拉汽车业务毛利率



资料来源：公司财报，华安证券研究所整理

2.2 特斯拉汽车业务做了什么

2.2.1 电动跑车 Roadster：以小众高端电动跑车切入汽车市场，高举高打颠覆用户认知

Roadster 作为特斯拉的首款车型，回答了“特斯拉如何造出一台车”的问题。

造车背景：特斯拉成立初期，无论生产制造工艺、供应链管理或是企业品牌，都无法与有着几十年甚至上百年积淀的传统车企相提并论。而且当时电池成本高达 \$1000/KWh、产业链配套也不成熟，所以造电动车的成本十分昂贵。既然第一款车注定亏钱，不如面向高收入用户群体推出高端电动跑车，颠覆人们对于电动车续航

里程短、性能差的认知。

交付情况：2006年7月，在经历三年研发后，特斯拉首次公开其黑红两色原型车——EP1和EP2，并表示第一批Roadster交货时间为2007年年中。但是从研发转向生产后，暴露出来一些生产问题：碳纤维车身喷漆困难、变速系统存在问题、在泰国建立的电池工厂无法完成生产任务等；而且由于供应链采购缺乏规模效应，最初的50辆Roadster的研制成本从平均6.5万美元上涨到超10万美元，1000名预定用户中有30多名因为交付延期而取消订单。最终2008年第一代Roadster才正式上市，基本价格为98950美元，首辆Roadster被交付给马斯克。

汽车性能：初代Roadster由特斯拉汽车公司与英国汽车制造商莲花公司合作开发，以莲花公司的轻型双座跑车Lotus Elise为基础，由Lotus提供车身设计以及底盘研发，特斯拉负责把电池组、电动机、变速器和PEM（功率电子模块）等动力系统搭载上去。最初版本配备了53千瓦时的锂离子电池组，百公里加速度约3.7秒，最高续航约400公里，起步阶段的推背感甚至超越法拉利等传统跑车，这些性能数据证明了可以制造出具有汽油跑车的续航能力和性能的电动汽车。作为第一款采用锂电池技术的超跑，Roadster一经推出便受到诸多好莱坞明星和硅谷高管等社会名流青睐。

图表 13 2008 年 Roadster 图片



资料来源：特斯拉投资者关系网站，华安证券研究所整理

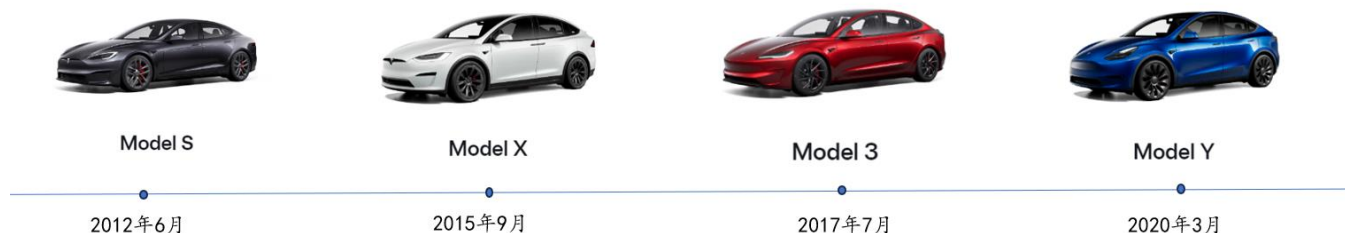
销量情况：因为产品定位和受众的局限性，Roadster带来的经济效益有限，于2012年宣布停止生产。公司公告显示，从2008年2月上市到2012年停产，特斯拉共生产了2450辆Roadster，售价约为10万美元以上。

12年停产，17年重启Roadster车型：2017年11月，特斯拉在电动卡车Semi发布会的尾声发布新一代Roadster超跑，起售价20万美元。至今仍未交付，24年2月，马斯克表示计划在2024年底推出新一代Roadster超跑；24年7月马斯克表示，下一代Roadster将填补Model S Plaid Plus的空白，有望成为特斯拉的旗舰级光环汽车（在汽车性能方面能与最高水平竞争的汽车）。

2.2.2 乘用车 Model SX3Y: 大单品策略降本增效, 产品线覆盖主流车种

不同于传统车企丰富的车型和产品线, 特斯拉选择从高端到低端每个主流价格段推出一款车型, 实现对传统车企品牌壁垒的冲击。继 2012 年发布四门纯电动豪华轿跑车 Model S、2015 年交付全尺寸纯电动 SUV 车型 Model X 之后, 特斯拉依靠公司的技术优势, 分别于 2017 年/2020 年推出更具性价比的 Model 3/Y, 快速抢占中端市场份额。**2024 年 7 月, 马斯克在 24Q2 业绩交流会上表示, 2025 年上半年将推出一款更实惠的车型。**

图表 14 特斯拉官网在售车型及交付时间



资料来源: 公司官网, 维基百科, 华安证券研究所整理

2.2.2.1 Model S

Model S 作为特斯拉的首个畅销车型, 回答了“特斯拉如何造好一台车”的问题。Model S 是特斯拉第一款真正意义上的量产车型, 于 2012 年 6 月正式交付, 定位为中大型豪华轿车。当时共推出三款, 配备电池 40kWh、60kWh、85kWh, 售价 5.74 万美元-8.74 万美元, 对应百公里加速度最快达 4.4 秒, 续航里程最高可达 483 公里。Model S 首次引入了 17 寸中控触摸屏, 集成车辆信息查询、导航、音乐等多种功能, 同时配备 4GLTE 无线网络, 车主可以免费享受系统 OTA 空中升级服务, 例如 2014 年推出的 Autopilot 自动辅助驾驶功能。

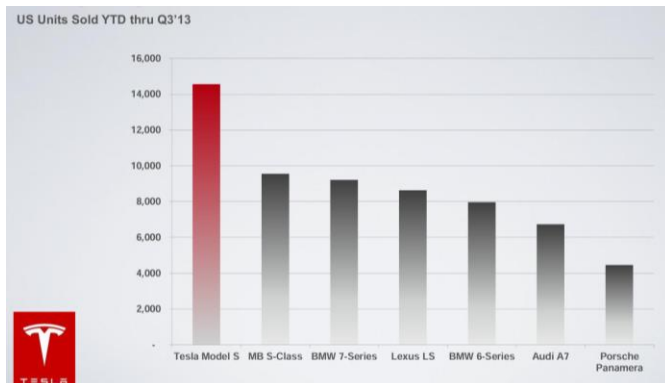
作为首款高端电动车, Model S 一经推出便大受好评, 带动特斯拉收入利润快速增长。2012 年年末, Model S 预定量达 15000 辆; 2013 年, Model S 在美国中大型豪华轿车市场的市占率超过奔驰 S 系、宝马 7 系等老牌豪车品牌, 排名第一。随着 Model S 交付, 特斯拉收入成倍增长, 并于 13Q1 年首次扭亏为盈, 实现净利润 1125 万美元。

图表 15 2012 年 Model S 图片



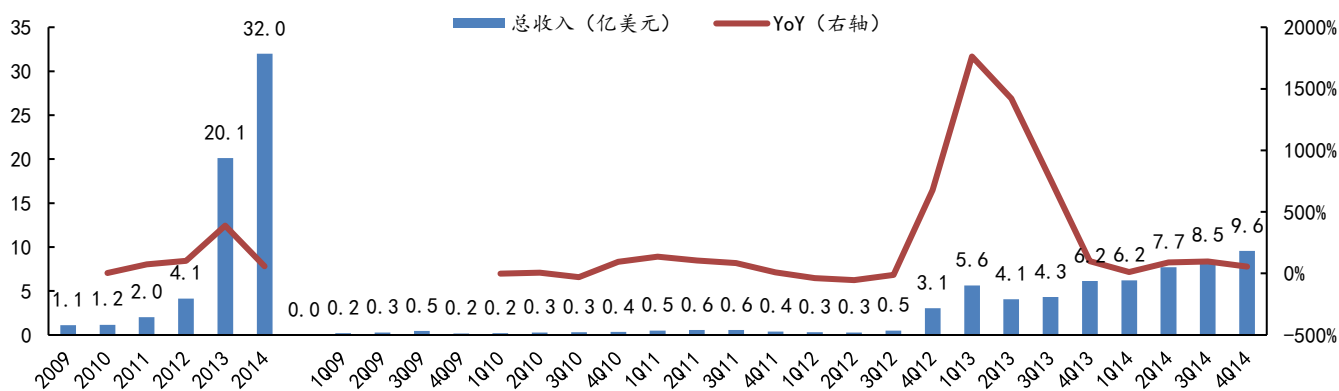
资料来源: 特斯拉投资者关系网站, 华安证券研究所

图表 16 13 年 Q1-Q3 美国汽车销量对比 (台)



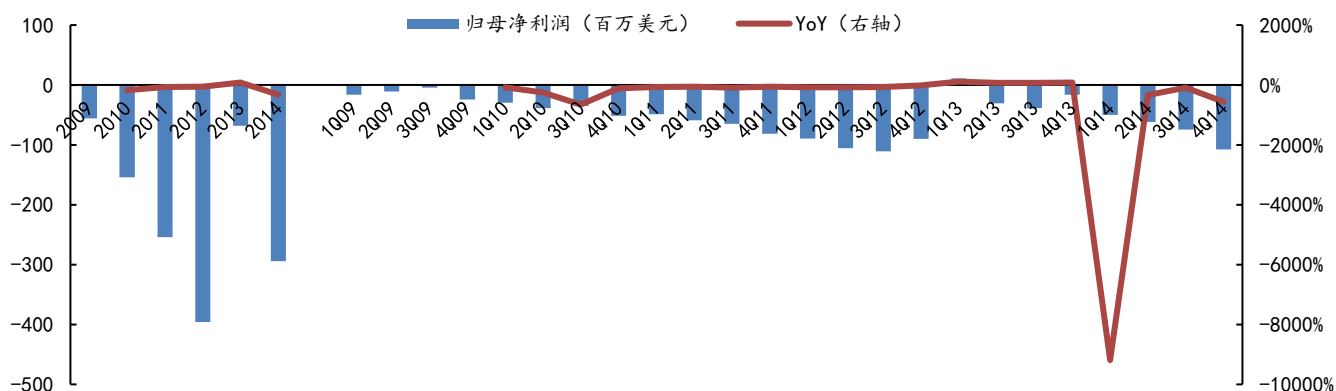
资料来源: 特斯拉投资者关系网站, 华安证券研究所

图表 17 2009-14Q4 公司收入及同比变化



资料来源：公司财报，华安证券研究所整理

图表 18 2009-14Q4 公司归母净利润及同比变化



资料来源：公司财报，华安证券研究所整理

2.2.2.2 Model X

2015 年 9 月，搭载鹰翼门的首款纯电动 SUV Model X 正式交付。Model X 和 Model S 底盘同源，共用约 30%的零部件，因此性能和价格也与 Model S 类似。Model X 拥有双电机四轮驱动技术，其最高端版本仅需 3.2 秒便可完成百公里加速，最高时速可达 155 英里/小时（约合 249 公里/小时），续航里程 257 英里（约合 414 公里），充电时间和 Model S 接近，并配备和 Model S 一样的由 NVIDIA Tegra 驱动的信息娱乐系统。

图表 19 2015 年 MODEL X 图片



资料来源：特斯拉投资者关系网站，华安证券研究所整理

2.2.2.3 Model 3

继 Roadster 回答“特斯拉如何造出一台车”的问题、Model S 回答“特斯拉如何造好一台车”的问题之后，Model 3 回答了“特斯拉如何大规模的造好车”的问题。

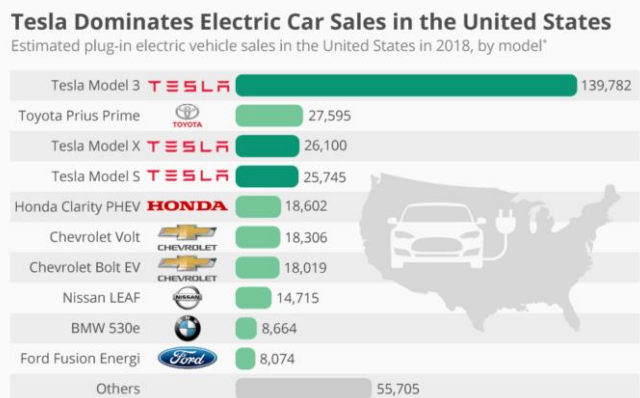
2016 年 3 月特斯拉发布 Model 3 并表示该车型将于 17 年交付；发布 24 小时内就有超 115000 人预订了 Model 3，超过了 2015 年全年特斯拉的交付量；两天后，特斯拉宣布预定数量超过 232000 个；一周后，特斯拉表示预定数量超 325,000 个，比截至 2015 年底 Model S 累计销量的三倍还多，其中 93% 来自没有特斯拉的新买家。

2017 年 7 月，Model 3 正式交付，标准版起步价 3.5 万美元、续航里程 354 公里，百公里加速 5.6s，最高时速 210 公里。insideEVs 数据显示，2018 年 Model 3 北美销售量达 139782 台，为 18 年北美电动车销量冠军，占北美电动车总销量的 39%。

图表 20 2017 年 Model 3 图片



图表 21 18 年 Q1-Q3 美国汽车销量对比 (台)

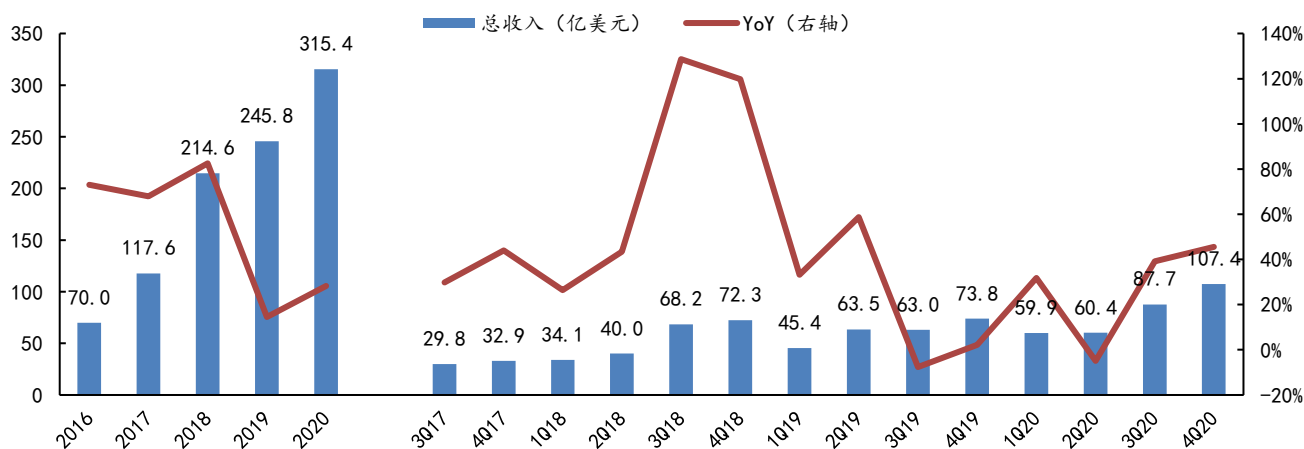


资料来源：特斯拉投资者关系网站，华安证券研究所

资料来源：insideEVs，华安证券研究所

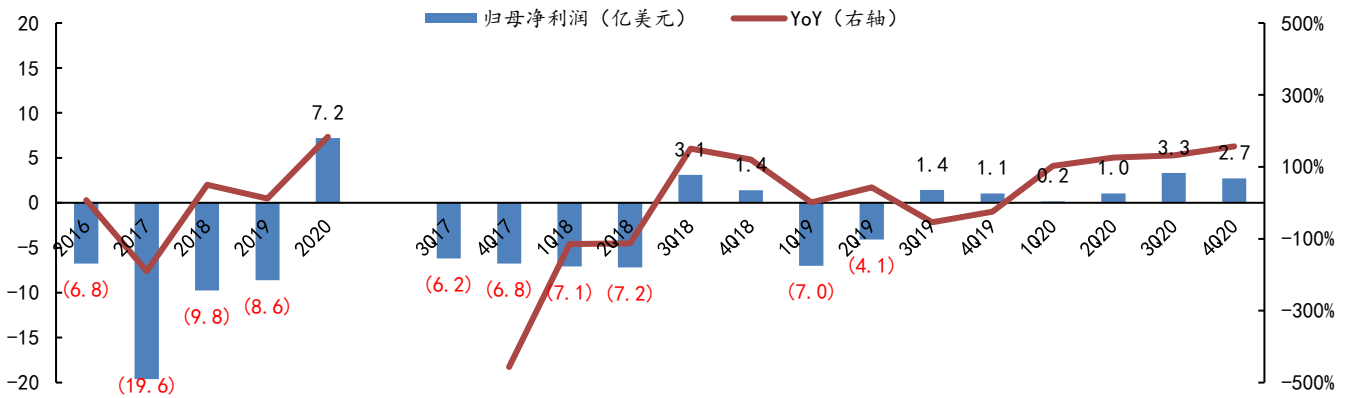
Model 3 的大获成功带动特斯拉的营收快速增长。2018 年全年公司收入达 214.6 亿美元 (yoy +82.5%)，净亏损达 9.8 亿美元 (同比收窄 50%)；其中，18Q3、18Q4 收入均同比翻倍，并实现单季度扭亏为盈。

图表 22 2016-20Q4 公司收入及同比变化



资料来源：公司财报，华安证券研究所整理

图表 23 2016-2024 公司归母净利润及同比变化



资料来源：公司财报，华安证券研究所整理

2.2.2.4 Model Y

2019 年 3 月特斯拉发布纯电动紧凑型中型 SUV Model Y，并于 2020 年 3 月正式交付。Model Y 基于 Model 3 的平台生产，与 Model 3 共享约 75% 的零部件，Model Y Performance 版的百公里加速达 3.5s，EPA 续航里程为 483km，和 Model 3 一样，支持高达 250kw 的第三代超充，仅需 15 分钟即可将电量从 20% 充至 80%。

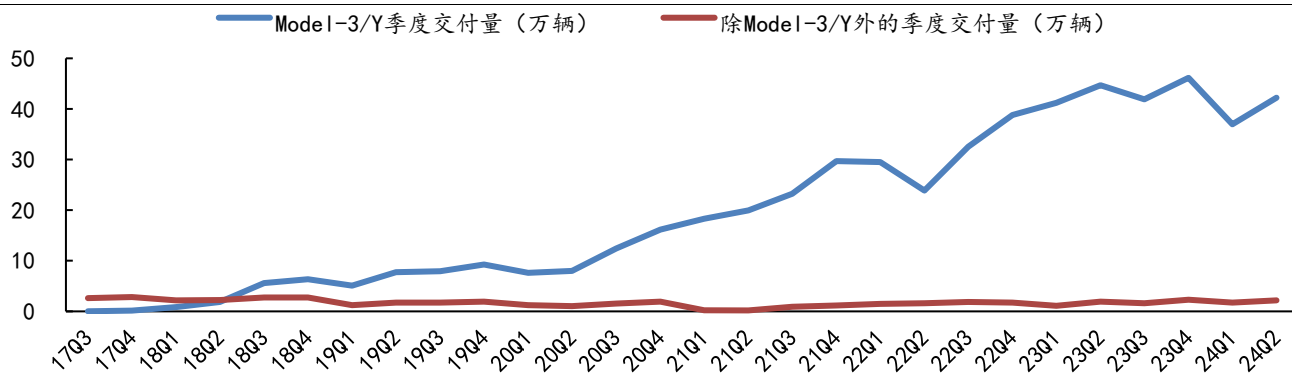
各个车型发售后，特斯拉致力于持续迭代性能，我们将截至 24 年 7 月在售车型的性能参数整理如下：

图表 24 特斯拉在售车型参数 (性能更新至 2024 年 7 月)

	Model S		Model X	
车型	Model S	Model S Plaid	Model X	Model X Plaid
驱动方式	双电机全轮驱动	三电机全轮驱动	双电机全轮驱动	三电机全轮驱动
售价 (元)	684,900	814,900	724,900	824,900
CLTC 续航里程 (km)	715	672	700	664
最大时速 (km/h)	250	322	250	262
百公里加速 (s)	3.2	2.1	3.9	2.6
电池容量 (Kwh)	100	100	100	100
	Model 3			
车型	Model 3 标准续航版	Model 3 长续航版	Model 3 高性能版	
驱动方式	后轮驱动	双电机全轮驱动	双电机全轮驱动	
售价 (元)	231,900	271,900	335,900	
CLTC 续航里程 (km)	606	713	623	
最大时速 (km/h)	200	200	261	
百公里加速 (s)	6.1	4.4	3.1	
电池容量 (Kwh)	60	78.4	78.4	
	Model Y			
车型	Model Y 标准续航版	Model Y 长续航版	Model Y 高性能版	
驱动方式	后轮驱动	双电机全轮驱动	双电机全轮驱动	
售价 (元)	249,900	290,900	354,900	
CLTC 续航里程 (km)	554	688	615	
最大时速 (km/h)	217	217	250	
百公里加速 (s)	5.9	5	3.7	
电池容量 (Kwh)	60	78.4	78.4	

资料来源：汽车之家，华安证券研究所

图表 25 2018-23Q3 公司各车型交付量



资料来源：公司官网，华安证券研究所整理

2.2.2.5 新车型展望

24Q1 业绩会上，特斯拉表示正在加速低成本新车型的推出，计划提前至 2025 年初、甚至可能在今年晚些时候推出，新车型将同时利用新一代及当前平台的技术，并在现有生产线上生产，从而让公司最大限度地利用接近 300 万的最大年产能。

2.2.3 电动皮卡 Cybertruck

Cybertruck 是特斯拉旗下首款电动皮卡，于 2019 年 11 月 22 日在洛杉矶总部发布；官方数据表示，亮相仅一周时间，订单数超 25 万辆；23 年 12 月，Cybertruck 开启首批交付；标普全球数据显示，7 月份共交付 5175 辆 Cybertruck。该款车型共提供三个版本，后轮驱动版、全轮驱动版、Cyberbeast 版起售价分别 60990 美元（约合人民币 435242 元）、79990 美元（约合人民币 570833 元）、99990 美元（约合人民币 713558 元），其中野兽版的零百公里加速仅需 2.6 秒，是全世界加速最快的皮卡。24Q1 业绩会，公司表示 Cybertruck 产量已达到每周 1000 辆。

能装货、能载人，皮卡已经成为美国文化的重要组成部分。Car&Driver 的《2023 年美国轻型车销量报告》显示，2023 年美国本土 SUV、轿车、MPV 以及皮卡的总销量达到 1560.8 万台，其中皮卡的销量达 286 万台，份额达 18.3%。与传统皮卡不同，特斯拉 Cybertruck 拥有多项更新，有望颠覆现有皮卡市场：

1. 外骨骼采用 30X 不锈钢：更坚硬、更具未来感

车辆外壳采用特斯拉自研的 30X 冷轧不锈钢材质（无需车漆），硬度比普通铝合金更硬，可以减少表面凹陷、损坏和长期使用造成的腐蚀，甚至可以防弹。而且，与使用冲压机器将碳纤维雕琢成曲线玲珑的车身面板相比，不锈钢更适合做直线和锐角设计，因此拥有更具未来感的楔形外观设计。

图表 26 特斯拉 CYBERTRUCK 官网宣传图



资料来源：公司官网，华安证券研究所整理

2. 车顶光伏：更坚硬、更便宜、更具未来感

Cybertruck 车后顶有一块光伏板（即车顶光伏），暴晒一天可增加 24 公里的续航里程，可以在应急条件下补能。而且是无感知补能，可以维持电池低温管理、整车热管理系统等所需的电量，显著改善车辆长时间停放导致的锂电池掉电。

图表 27 特斯拉 CYBERTRUCK 官网宣传图



资料来源：公司官网，华安证券研究所整理

3. 线控转向：狭窄空间更易操控

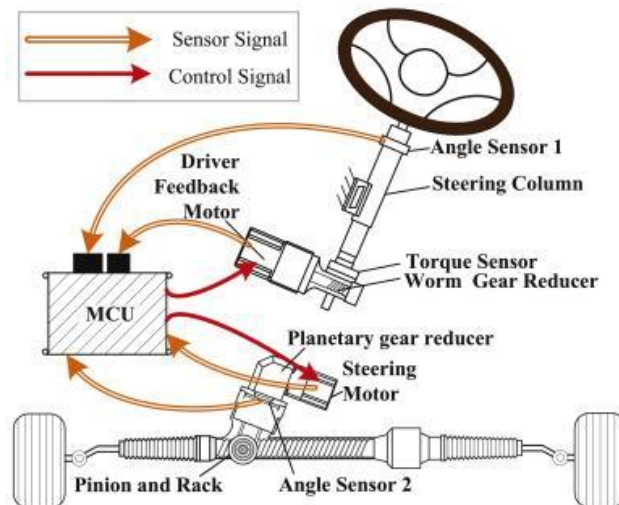
线控转向系统（Steer-by-Wire System）作为新一代的转向系统，其转向盘和转向轮之间没有直接的机械连接，而是通过电子信号进行控制。其优点在于：

1) 灵活性高：由于没有直接的机械连接，因此可以在不改变现有车辆结构的前提下，轻松地进行升级和改造。

2) 操纵稳定性好：通过电子控制单元（ECU）对转向轮进行精确控制，能够更好地适应不同的驾驶环境和驾驶风格。

3) 安全性强：ECU 可以实时监测车辆的行驶状态和驾驶员的转向操作，一旦发现异常情况，可以立即采取相应的措施，提高车辆的安全性能。

图表 28 线控转向系统示意图



资料来源：ScienceDirect，华安证券研究所整理

4. 48V 低压架构：更好地适应高负载设备

Cybertruck 是世界上第一辆全 48V 低压架构车型。这里的 48V 指的是给车内设备供电的那块电池的输出电压，而不是给车辆提供动力的那块动力电池的输出电压。目前高端电动车的主动力电池基本都是 800V 的高电压平台，但很多车型的车内系统的供电电池还停留在 12V，这导致接线和组件必须更大、更重，才能处理高电力负载，对于那些对功率要求更大的设备，比如照明、绞车、空气压缩机等等，12V 可能不够用。

而 Cybertruck 直接采用 48V 电气架构，可以更好地适应高负载设备，采用更细、更少的车内线束，随着电动车的智能化需求越来越多，48V 电气架构可以为未来高算力芯片提供充足的电力保障。

2.2.4 电动卡车 Semi

特斯拉首款电动卡车 Semi 最早在 2017 年公开亮相，原计划在 2019 年投产，但因各种原因被多次推迟，直到 2022 年 12 月，才开始向百事公司小批量交付 Semi 电动卡车。特斯拉 Semi 共有两个版本，入门版单次充满电后续续航里程为 300 英里（约 482.8 公里），售价为 15 万美元（约合人民币 105.9 万元）；高配版单次充满电后续续航里程为 500 英里（约 804.7 公里），售价为 18 万美元（约合人民币 127.1 万元）。

Semi 在满载（约 36 吨）状态下，零百加速 20 秒左右，而传统的半挂卡车在 36 吨载重的情况下，加速度普遍在 45 秒以上；空载状态下，零百加速时间只有 5 秒。此外，官方信息还显示，特斯拉 Semi 的风阻系数为 0.36，而平头重卡的风阻系数在 0.51-0.56，因此 Semi 相对于平头重卡可以有效节能。

图表 29 特斯拉 Semi 示意图



资料来源：公司官网，华安证券研究所整理

24Q1 业绩会，公司表示，Semi 工厂计划于 2025 年完工，并于 2025 年底推出首批 Tesla Semi，外部客户将从 2026 年开始可以购买 Tesla Semi；

7 月 29 日，公司公布了即将建设的 Semi 工厂的效果图，其落座于美国内华达州的特斯拉超级工厂（Gigafactory Nevada）附近，专门用于生产特斯拉 Semi 电动重卡，预计将于明年正式投产。

2.3 特斯拉汽车业务做对了什么

2.3.1 一体化压铸+CTC，助力技术性降本

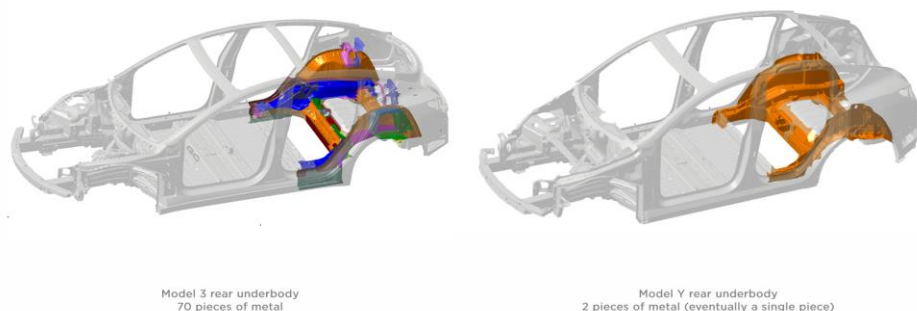
马斯克曾表示，一体化压铸技术配合 CTC 技术，可以节省 370 个零部件，为车身减重 10%，将每千瓦时的电池成本降低 7%。

1. 一体化压铸技术

2020 年 9 月特斯拉在电池日上宣布 Model Y 将采用一体化压铸后底板总成，该技术取代传统的“冲压+焊接”工艺，利用超大吨位压铸机一次压铸成形，一体化压铸后底板总成替代原有的 79 个零部件，使下车体总成减重 30%，白车身焊点从 700~800 个减少到 50 个，生产节拍也从传统工艺的 1~2h 短至 3~5min，成本从全铝焊接的 3w 降低至 1-1.2w。

图表 30 特斯拉一体化压铸示意图

SIMPLIFICATION OF VEHICLE STRUCTURE AND MANUFACTURING



资料来源：特斯拉投资者关系网站，华安证券研究所整理

2. 4680 及 CTC 技术

2020 年 9 月 22 日的电池技术日活动上，特斯拉发布全新 4680 型电池，这款电池采用了无极耳、高镍（无钴）、硅碳负极等关键技术和材料，将直径和厚度扩大至 46mm 和 80mm，相较于上一代圆柱型电池，单颗电芯容量提升 5 倍，功率将是以前的 6 倍；在整车层面实现了 16% 续航里程的提升，成本降低了 14%，单 GWh 投资成本降低了 7%。根据海外车主实测，4680 电池组只需 52 分钟就能充入 97%，而且剩余电量显示为零之后依然能行驶近 5 公里。

会议上，特斯拉同时发布了全新的整包封装技术 CTC (Cell to Chassis)，即取消电池包设计，直接将电芯或模组安装在车身上。应用 CTC 技术后的新架构是物理层面的创新，将电池组作为车身结构的一部分，连接前后两个车身大型铸件，取消原有座舱底板，取代以电池上盖，座椅直接安装在电池上盖上。

技术投入回报明显，持续降本增强优势。随着近三年一体化压铸以及 4680 电池投产等新技术的运用，特斯拉单车成本不断降低，部分抵消了近两年的车企价格战中由于单车售价造成的毛利率下滑。

图表 31 特斯拉、蔚来、小鹏、理想的汽车业务毛利率

单车收入 (万元/辆)	2021	2022	2023	21Q1	21Q2	21Q3	21Q4	22Q1	22Q2	22Q3	22Q4	23Q1	23Q2	23Q3	23Q4	24Q1
特斯拉	37.7	37.0	32.0	32.2	36.0	40.1	42.6	33.2	37.3	37.9	36.1	32.4	33.2	31.9	30.8	30.7
蔚来	36.2	37.1	30.7	36.9	36.1	35.2	36.8	35.7	38.3	37.6	37.0	29.6	30.6	31.4	30.8	28.0
小鹏	20.5	20.6	19.7	21.0	20.7	21.4	19.6	20.3	20.2	21.1	21.0	19.3	19.1	19.6	20.3	16.0
理想	29.0	33.1	32.0	27.8	27.9	29.5	29.5	29.4	29.6	34.1	37.3	34.9	32.3	32.0	30.6	30.2
单车成本 (万元/辆)	2021	2022	2023	21Q1	21Q2	21Q3	21Q4	22Q1	22Q2	22Q3	22Q4	23Q1	23Q2	23Q3	23Q4	24Q1
特斯拉	27.7	27.3	26.6	25.4	26.9	28.7	30.3	23.3	27.7	27.9	27.6	26.4	27.4	26.9	25.7	26.1
蔚来	29.0	32.1	27.9	28.9	28.8	29.1	29.2	29.5	31.9	31.6	34.2	28.3	28.5	28.0	27.2	29.3
小鹏	18.3	18.6	20.1	21.0	18.4	18.3	17.5	18.2	18.3	18.6	19.8	19.8	20.7	20.8	19.5	16.5
理想	23.0	26.8	25.1	23.1	22.8	23.1	23.0	22.8	23.3	30.0	29.8	28.0	25.5	25.2	23.7	24.4
毛利率	2021	2022	2023	21Q1	21Q2	21Q3	21Q4	22Q1	22Q2	22Q3	22Q4	23Q1	23Q2	23Q3	23Q4	24Q1
特斯拉	26.54%	26.19%	17.04%	21.03%	25.29%	28.45%	28.88%	29.66%	25.73%	26.34%	23.73%	18.27%	17.52%	15.74%	16.61%	15.15%
蔚来	19.94%	13.63%	9.35%	21.62%	20.25%	17.44%	20.65%	17.39%	16.67%	15.97%	7.43%	4.35%	6.94%	10.92%	11.69%	-4.76%
小鹏	10.45%	9.49%	-1.79%	0.00%	11.11%	14.55%	10.98%	10.40%	9.10%	11.60%	5.70%	-2.50%	-8.60%	-6.10%	4.10%	-2.86%
理想	20.61%	19.02%	21.45%	17.14%	18.37%	21.62%	22.12%	22.44%	21.17%	12.00%	20.00%	19.80%	21.00%	21.20%	22.70%	19.34%

资料来源：公司财报，华安证券研究所整理

2.3.2 工程交叉论+工厂高效率，助力流程性降本

1. 工程交叉论

我们认为，工程交叉论是对平台化的进一步升级，可以最大程度的复用工作成果、提升工作效率、快速提高产品性能。

平台化：造车领域的平台化就是先投入较多的成本、时间开发出若干平台，将大部分可通用的零部件确定，并留有一定调整余地，未来 3-5 年在平台上进行类似“套娃”的设计开发，从而大大缩减开发工作量。3-5 年之后，如果老平台过时了，那就再开发新平台，或者在老平台基础上改一改成为新平台。

平台化的意义：车企可显著降低成本。如果某车企有 10 款车，每款车有 1000 个零件，平台化之前零件复用率为 10%，那么这 10 款车就有 $1000 * (1-10%) * 10 + 1000 * 10% = 9100$ 个不同的零件；平台化之后，假设零件复用率达到 70%，那么 10 款车型有 $1000 * (1-70%) * 10 + 1000 * 70% = 3700$ 个不同的零件。总零件数下降 60%，大大降低了供应商管理及制造过程的复杂度，而且复用的零件需求量增加了，设计与采购成本会大大降低，因此车企会追求较高的零件复用率。对于特斯拉而言，趋势也是如此，Model X/S 同平台，共用约 30%的零部件，Model Y/3 同平台，共享约 75%的零部件。

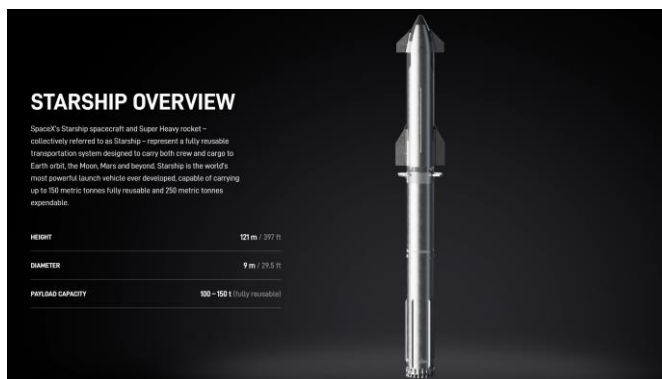
工程交叉论：由于同时拥有多家公司，马斯克提出工程交叉论，指的是将火箭及宇宙飞船领域与汽车工业领域的专业知识交叉应用

起源：2015 年 12 月，时任苹果产品设计总监的 Charles Kuehmann 和马斯克达成了一项人事协议：Charles 将同时担任 SpaceX 和特斯拉两家公司的材料工程副总裁。在苹果工作之前，Charles 曾在集成计算材料工程领域的头部公司 QuesTek 工作，Questek 独立研发了名为 Materials by Design 材料设计方法，借助专业的应用程序和计算机建模来开发新型合金，这种方法比传统试错开发法的开发周期快 50%、开发成本低 70%。QuesTek 开发的合金材料广泛应用于航空航天、高性能汽车行业，客户包括波音、劳斯莱斯、NASA，以及 SpaceX，因此马斯克认为 Charles 同时在特斯拉和 SpaceX 任职才是合乎逻辑的。

过程：加入特斯拉和 SpaceX 后，Charles 领导成立了特斯拉 & SpaceX 联合材料工程小组，并推动两家公司定期举行联席会议来同步最新的研究进展。Charles 认为，两家公司在工程方面拥有很多相同的追求，例如，特斯拉汽车每增加 1kg 车身质量，就会减少 1kg 有效载荷质量，降低本身质量的追求与火箭类似；此外，特斯拉全系汽车都保持着同级量产车最低的风阻，而 SpaceX 有专业的轻量化材料专家和风阻设计工程师。

成果：17Q2 财报会议上，马斯克公布了工程交叉论的成果，在 SpaceX 科学家的帮助下，特斯拉工程师将 Model 3 的制造工时降低了 8 个小时；而 Cybertruck 和星舰 Starship 同宗同源的 30x 不锈钢合金材料，终于让 Charles 领导的联合材料工程小组所做的工作归于统一。

图表 32 星舰 Starship 简介



资料来源：Space X 官网，华安证券研究所

图表 33 Cybertruck 的防弹测试



资料来源：evbase，华安证券研究所

2. 工厂高效率

目前，特斯拉在全球有 6 个工厂，分别是美国加州弗里蒙特工厂、得州奥斯汀超级工厂、内华达超级工厂、纽约超级工厂、上海超级工厂、柏林超级工厂。

1) 加州弗里蒙特工厂（生产 S3XY）：加州弗里蒙特工厂是特斯拉第一座整车组装厂。1962 至 1982 年间，弗里蒙特工厂隶属于通用汽车公司；1984 至 2009 年间，弗里蒙特工厂隶属于丰田汽车公司创立的新联合汽车制造公司；2010 年，特斯拉收购该工厂并进行了大规模升级改造。

弗里蒙特超级工厂占地面积 150 万平方米，主要生产 Model 3/Y 以及部分 Model S/X。24Q2 季报显示，加州工厂 Model S/Model X 的年产量达 100,000 辆，Model 3/Model Y 的年产量达 >550,000 辆。

图表 34 特斯拉弗里蒙特工厂示意图



资料来源：特斯拉弗里蒙特工厂官网，华安证券研究所整理

2) 内华达超级工厂 (Giga 1, 生产各种电池+Semi)：内华达超级工厂于 2014 年在美国内华达州破土动工，16Q1 开始投产，集成 Model 3/Y 和新能源产品的电池材料的生产，每年生产数十亿个电池。

23 年 1 月，特斯拉表示将追加至少 36 亿美元用于内华达超级工厂的扩建，将在特斯拉现有的内华达超级工厂基础上，增加 400 万平方英尺的占地面积，包括一家 4680 电池工厂和一家 Semi 半挂电动卡车工厂。扩建示意图显示，将在原有的工厂（紫色）旁扩建一座 4680 电池工厂（绿色）和一座 Semi 生产工厂（蓝色）。

图表 35 特斯拉内华达超级工厂扩建计划示意图



资料来源：tesla oracle，华安证券研究所整理

在内华达之前，特斯拉已经在加州工厂与得州工厂铺设 4680 产能。22 年 2 月，特斯拉官方表示，位于加州的试点工厂在 22 年 1 月生产了 100 万块 4680 电池，新电池将在得州生产的 Model Y 上装车；24Q2 财报会上，公司表示，得州工厂目前每周为 Cybertruck 生产超 1400 个 4680 电池。

内华达扩建后 4680 电池工厂的产能短期是 100GWh，长期是 1000GWh。23Q1 财报会上，马斯克表示，扩建后内华达 4680 电池工厂的产能规划是达到 100GWh，目前仅 35GWh，而 100GWh 的规模每年将生产足够 150 万辆轻型汽车使用的电池数量。长期目标是自主生产超 1000 GWh 电池，并继续采用外部供应商提供的电池，以扩大生产规模。

3) 纽约超级工厂 (Giga 2, 生产太阳能电池板+Dojo)：纽约超级工厂由 2016 年特斯拉收购 SolarCity 公司获得，并于 2017 年投产，厂区共 11 万平方米。2017 年建成后，这家工厂曾与松下合作，使用进口的日本光伏电池进行组装产品；2018 年，开始生产单个太阳能电池；2019 年至 2020 年初，推出太阳能屋顶光伏电池板；2020 年 5 月，松下结束了与纽约工厂太阳能电池联合生产的合作关系，9 月底前彻底退出了该工厂，之后，纽约工厂为其他超充网络运营商生产充电设备。

目前，纽约工厂主要生产太阳能电池板和太阳能电池，最终扩展到制造增压器组件，还有一些员工专门负责自动驾驶数据分析，暂未直接参与汽车制造业务。24 年 1 月，公司表示，将投资 5 亿美元在纽约超级工厂建造其下一个 Dojo 超级计算机集群。

图表 36 特斯拉纽约超级工厂图片



资料来源：公司官网，华安证券研究所整理

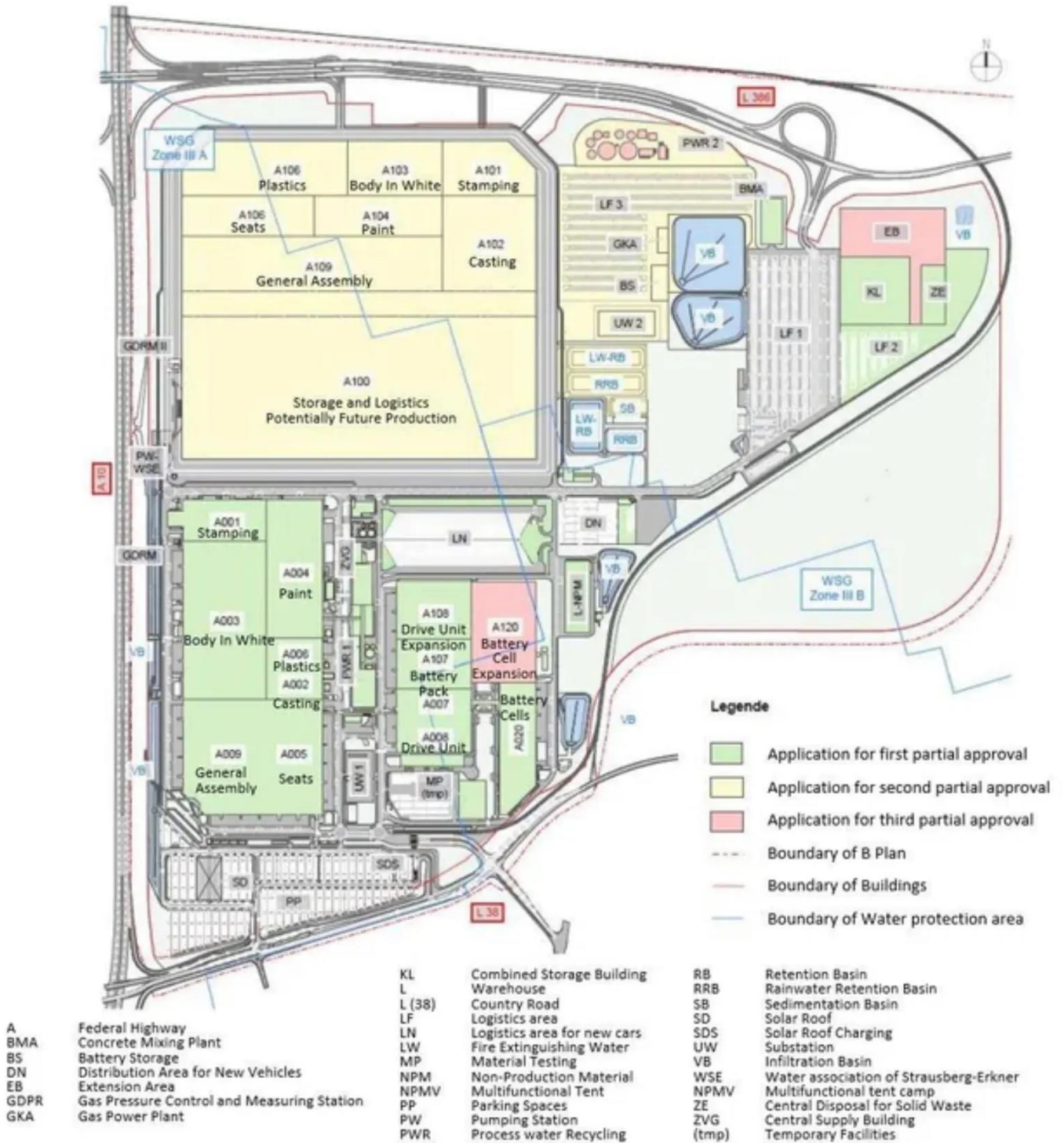
4) 上海超级工厂 (Giga 3, 生产 3Y+储能工厂即将投产)：上海超级工厂是特斯拉在海外建设的第一座工厂，占地面积 86 万平方米，18 年 12 月开始建设，19Q4 开始投产。最初，特斯拉在上海主要生产中型电动汽车 Model 3，随后扩展到 Model Y，24Q2 公司财报表示，以 24Q2 的产能推算，上海超级工厂 24 年 Model 3/Y 的产能有望超 95 万辆。

5) 德国柏林超级工厂 (Giga 4, 主要生产销往欧洲的 Model Y)：特斯拉德国柏林超级工厂是特斯拉在欧洲建立的首家超级工厂，自 2022 年 3 月起，开始生产特斯拉 Model Y。这家工厂占地 300 万平方米，是上海工厂一期的 3 倍以上，投资 50 亿欧元。

第一阶段，柏林工厂产能目标为 50 万辆，24Q2 财报显示，柏林工厂最新 Model Y 年产能大于 37.5 万，和产能目标相比仍有提升空间。

23 年 7 月，德国勃兰登堡环境部宣布，特斯拉正计划扩建柏林超级工厂，并将扩建工作分为三个阶段进行，目标是扩建后每年生产 100 万辆汽车和 100 GWh 的电池。24 年 4 月，该项扩建计划终于获得批准。

图表 37 特斯拉柏林工厂第二阶段扩建计划图

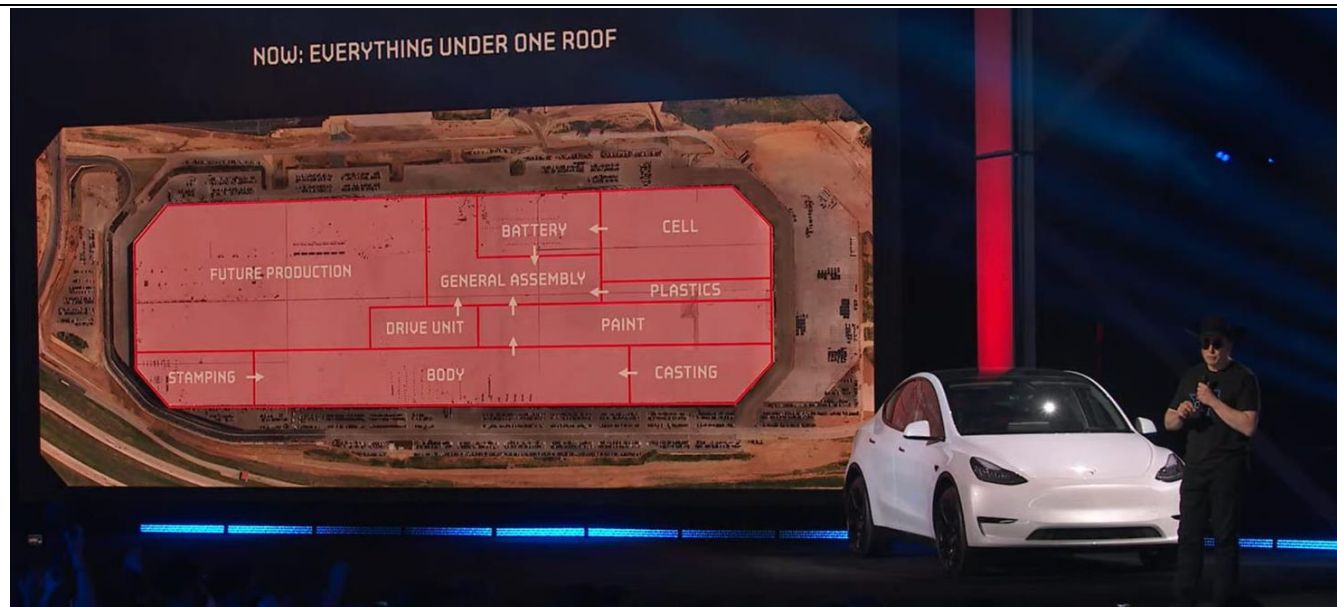


资料来源: electrek, 华安证券研究所整理

6) 德州超级工厂 (Giga 5, 生产 Model Y 和 Cybertruck+4680 电池+超级计算集群 Cortex) : 德州超级工厂于 2020 年 7 月开工建设, 2022 年 4 月投入生产, 占地面积达 12000 亩, 是目前特斯拉占地面积最大的工厂, 大约是上海超级工厂的 4 倍, 投资额至少 100 亿美元, 目前主要生产 Model Y 和 Cybertruck, 并拥有多条 4680 产线。

布局：与加州弗里蒙特工厂不同，得州超级工厂采用芯片式的布局设计，内部建筑群高度集中，减少了建筑物之间的物料移动时间，原料从厂房的一端进来，经过一系列加工后，成品车会从厂房的另一端出来，形成效率极高的生产闭环。得州工厂在原有冲压、焊接、油漆、总装四大工艺外，还加上了电池组装环节。

图表 38 得州超级工厂设计图



资料来源：dolubataraya，华安证券研究所整理

Model Y 及 Cybertruck 进展：2022 年 4 月，得州工厂开始交付 Model Y，24Q2 财报显示，得州工厂的 Model Y 年产能大于 25 万台；Cybertruck 于 23Q4 正式在得州工厂投产，24 年 4 月周产量超过 1000 辆，24Q2 财报显示，得州工厂的 Cybertruck 大于 12.5 万，并有望在 24 年年底实现盈利。

4680 电池进展：24 年 6 月 6 日，特斯拉表示第 5000 万枚 4680 电池于得州工厂下线；24Q2 财报会上，公司表示，得州 4680 电池产量环比增加 51%，且销售成本显著降低，目前每周为 Cybertruck 生产超 1400 个 4680 电池。同时，公司用量产设备制造出了第一辆采用干法阴极工艺的验证型 Cybertruck，并有望在 24Q4 量产全干法 4680 电池，大幅降低电池成本。

超级计算集群 Cortex 进展：24Q2 财报会上，公司表示，即将完成 Giga Texas 工厂的扩张，超级计算集群将增加 5 万个 Nvidia H100 AI 芯片，2 万个 FSD 计算硬件 AI5；24 年 8 月，马斯克表示，得州超级计算集群被命名为“Cortex”，拥有约 10 万颗英伟达 H100/H200 芯片，用于训练 FSD 和人形机器人擎天柱。

其他：24Q2 财报会上，公司表示，Robotaxi 将在得州总部生产，Optimus 生产版本也将于 25 年年底在得州生产。

7) 墨西哥超级工厂：2023 年 3 月，特斯拉宣布将在墨西哥建设一座超级工厂，用于生产基于新汽车平台的下一代电动汽车。该工厂的面积将是国内上海工厂的 20 倍，占地超 4200 英亩，第一阶段投资为 50 亿美元、计划员工规模为 5000 人，第二阶段，会再加 50 亿美元及 5000 名员工。

24Q2 财报会上，公司表示，目前暂停了墨西哥工厂项目，需要在选举后看看情况，因为特朗普曾表示对在墨西哥生产的车辆征收重税。如果情况确实如此，那么在墨西哥投资很多就没有意义。

图表 39 21Q1-24Q2 特斯拉各工厂产能梳理

工厂	车型	年产能/辆 (由当前季度产能判断当年产能)												Q2最新状态		
		21Q1产能	21Q2产能	21Q3产能	21Q4产能	22Q1产能	22Q2产能	22Q3产能	22Q4产能	23Q1产能	23Q2产能	23Q3产能	23Q4产能		24Q1产能	24Q2产能
California	Model S/Model X	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	在生产
	Model 3/Model Y	550,000	550,000	550,000	550,000	550,000	550,000	550,000	550,000	550,000	550,000	550,000	550,000	550,000	550,000	在生产
Texas	Model Y	—	—	—	—	早期爬坡	>250,000	>250,000	>250,000	>250,000	>250,000	>250,000	>250,000	>250,000	>250,000	在生产
	Cybertruck	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	>125,000	>125,000	>125,000	>125,000	在生产
Nevada	Tesla Semi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	试生产
Shanghai	Model 3/Model Y	450,000	>450,000	>450,000	>450,000	>450,000	>750,000	>750,000	>750,000	>750,000	>750,000	>950,000	>950,000	>950,000	>950,000	在生产
Berlin	Model Y	—	—	—	—	早期爬坡	>250,000	>250,000	>250,000	>350,000	375,000	375,000	375,000	>375,000	>375,000	在生产
Various	Next Gen Platform	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	在建
TBD	Roadster	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	在建

资料来源：公司财报，华安证券研究所整理

2.4 特斯拉智能驾驶做了什么

特斯拉是截止目前全球唯一一家实现了自动驾驶核心领域全栈自研自产的科技公司，在数据、算法、算力等各个层面打造了一套包含感知、规控、执行在内的全链路自动驾驶软硬件架构。自2016年特斯拉启动自动驾驶自主研发到2024年6月FSD V12.4版本推出，8年时间里，特斯拉迭代了4代硬件计算平台、12个软件算法版本、3款自动化驾驶解决方案。

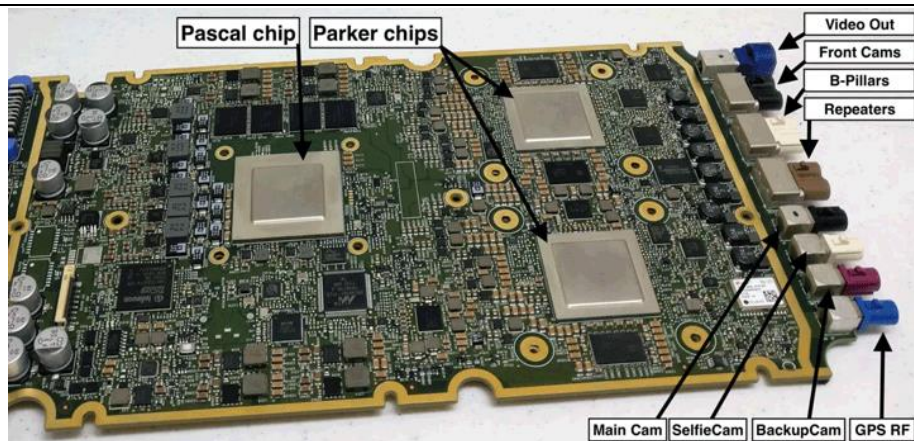
2.4.1 硬件：4代计算平台

HW 1.0：基于英特尔 Mobileye 芯片搭建。2014年，特斯拉推出 HW 1.0，搭载英特尔 Mobileye EyeQ3 单芯片平台，配置一颗英伟达 Tegra 3 (GPU)、一颗检测范围为 160 米的前置毫米波雷达、2 个摄像头、12 个中程超声波雷达。其中，Mobileye 提供底层芯片与视觉算法技术，特斯拉仅负责多传感器融合与应用层软件开发。2014年至2016年期间，HW 1.0 先后装于 Model S 与 Model X 车型。

HW 2.0：与英伟达合作，传感器数量有所增长。2016年，特斯拉推出 HW 2.0，搭载英伟达 DRIVE PX 2 平台，配置 1 颗英伟达 Tegra Parker SoC 芯片（同时，特斯拉在内部启动自研芯片项目）、1 颗英伟达 Pascal GPU、1 颗英飞凌 TriCore MCU，FPS 比 HW 1.0 增加两倍至 110，算力增加 46 倍至 12 TOPS (1 TOPS 代表处理器每秒钟可进行一万亿次操作)。配套组件方面，摄像头增加至 8 个，12 个超声波雷达由中程升级为远程。其中，英伟达提供计算平台与开发工具，特斯拉负责图像识别算法、多传感器融合与应用层软件开发等工作。2016年10月起，特斯拉售出的所有汽车均有配置 HW 2.0。

HW 2.5：芯片增配至两颗，可识别障碍物身份识别。2017年特斯拉推出 HW 2.5，沿用英伟达 DRIVE PX 2 平台，但 Tegra Parker 芯片增至两颗；前置毫米波雷达检测范围增长 10 米至 170 米，相机彩色滤镜阵列切换至 RCCB，可同时感知亮度及颜色，在探测有无障碍物的基础上新增了物体识别功能，是 AP 精准性进展的重要里程碑。

图表 40 HW 2.5 有 2 颗 TEGRA PARKER 芯片、1 颗英伟达 PASCAL GPU



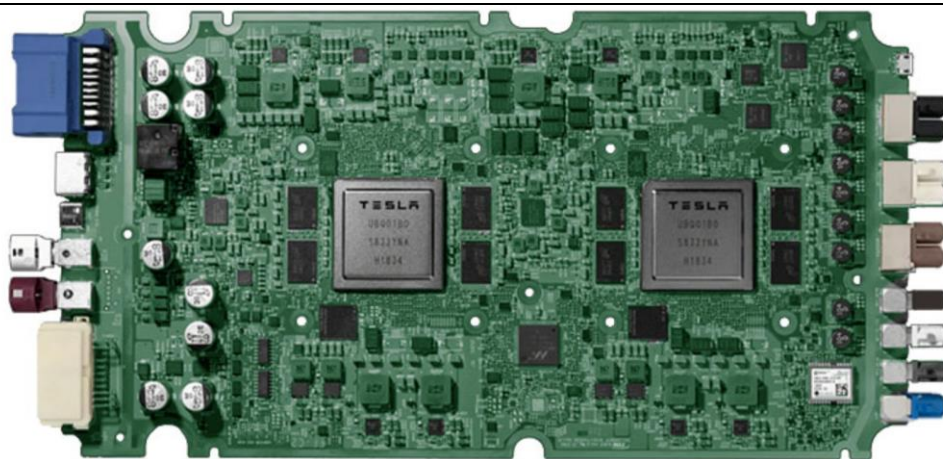
资料来源：electrek，华安证券研究所整理

HW 3.0: 特斯拉自研 FSD 芯片, 性能提升的同时成本有所降低。2019 年, 特斯拉推出 HW 3.0, 搭载特斯拉自研的 FSD Computer, 装配两颗自研 FSD 芯片, FPS 由 110 增加至 2300, 算力由 12 TOPS 增加至 144 TOPS, 而 HW 3.0 的成本却是 HW 2.5 的 80%。

套件方面, HW 3.0 与 HW 2.5 完全一致, 仍采用 8 个可环视摄像头、1 个大陆毫米波雷达、12 个超声波传感器方案。在 HW 3.0 研发过程中, 特斯拉负责了全套芯片设计、图像识别算法、多传感器融合与应用层软件开发等多项工作, 自研比例显著提升。

24Q1 业绩会上, 公司表示, 目前所有车辆均配备 HW 3.0, 在北美有 180 万辆车配备 HW 3.0, FSD 使用率超 50%, 且在持续上升。

图表 41 HW 3.0 有 2 颗 FSD 芯片



资料来源: teslatap, 华安证券研究所整理

图表 42 HW 3.0 超声波传感器、雷达和摄像头



资料来源: teslaoracle, 华安证券研究所整理

HW 4.0: 性能持续提升。2023 年, HW 4.0 开始装车, 采用 FSD 二代芯片, 车载摄像头由 8 个提升至 12 个 (其中 1 个为备用), 4D 毫米波雷口 1 个 (代号 Phoenix), 未配置超声波雷达。24Q1 业绩会上, 公司表示正在积极推进 HW 4.0, HW 5.0 设计工作也基本完成, 期待明年年底前部署到车辆上。

图表 43 特斯拉自动化驾驶硬件迭代

	HW 1.0	HW 2.0	HW 2.5	HW 3.0	HW 4.0
平台	Mobileye EyeQ3	英伟达DRIVE PX 2	英伟达DRIVE PX 2+	FSD Computer	FSD Computer
处理单元	Mobileye EyeQ3 * 1 英伟达Tegra 3 (GPU) * 1	英伟达Tegra Parker * 1 英伟达 Pascal GPU * 1	英伟达Tegra Parker * 1 英伟达 Pascal GPU * 1	FSD 1.0芯片 * 2	FSD 2.0芯片 * 2
决策类硬件					
FPS	36	110	110	2300	/
TOPS	0.256	12	12	144	/
内存	256MB	6GB	8GB	8BG * 2	8BG * 2
处理能力	1x	40x	40x, 带冗余	420x, 带冗余	1260x, 带冗余
摄像头	2	8	8	8	
大灯摄像	0	0	0	0	新增大灯摄像2个, 共12个摄像头(其中 1个为备用)
前置摄像	1	3	3	3	
前侧摄像	0	2	2	2	
后置摄像	1	1	1	1	
后侧摄像	0	2	2	2	
感知类硬件					
毫米波雷达	1	1	1	1	1
超声波雷达	12	12	12	12	0

资料来源: teslatap, 华安证券研究所整理

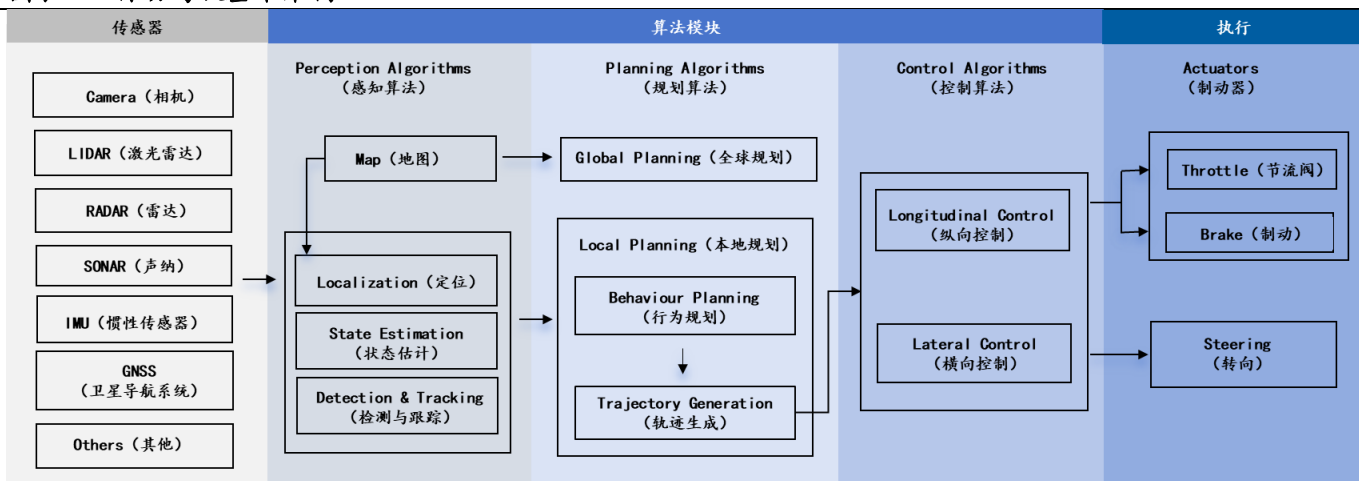
2.4.2 算法：三大算法模块引领行业发展

特斯拉对于自动化驾驶功能始终采取硬件先行上车、软件持续迭代的思路。

整体而言，特斯拉的自动驾驶架构是采用纯视觉方案实现对世界的感知，并基于原始视频数据通过神经网络构建出真实世界的三维向量空间，在向量空间中通过传统规控方法与神经网络相结合的混合规划系统实现汽车的行为与路径规划，生成控制信号传递给执行机构，同时通过完善的数据闭环体系和仿真平台实现自动驾驶能力的持续迭代。

自动驾驶的算法模块分为感知、决策规划和运动控制。其中，感知模块是自动驾驶的核心，大部分的技术升级都集中在感知模块。

图表 44 自动驾驶基本架构



资料来源: 《CONTROL STRATEGIES FOR AUTONOMOUS VEHICLES》，华安证券研究所整理

2.4.2.1 感知算法

正如上文提到的，HW 1.0 时代，由 Mobileye 提供底层芯片与视觉算法技术，特斯拉仅负责多传感器融合与应用层软件开发；HW 2.0 时代，特斯拉才开始负责图像识别算法、多传感器融合与应用层软件开发等工作。

1. 2016 年-2018 年：技术追赶期。

此时，特斯拉使用的是业内常规的骨干网结构，并使用 2D 检测器进行特征提取、用人工对数据进行标注。尽管 2016 年 10 月特斯拉便推出了 HW 2.0，但直到 2017 年 3 月，Model 3/Y 才真正用上 Autopilot 功能。

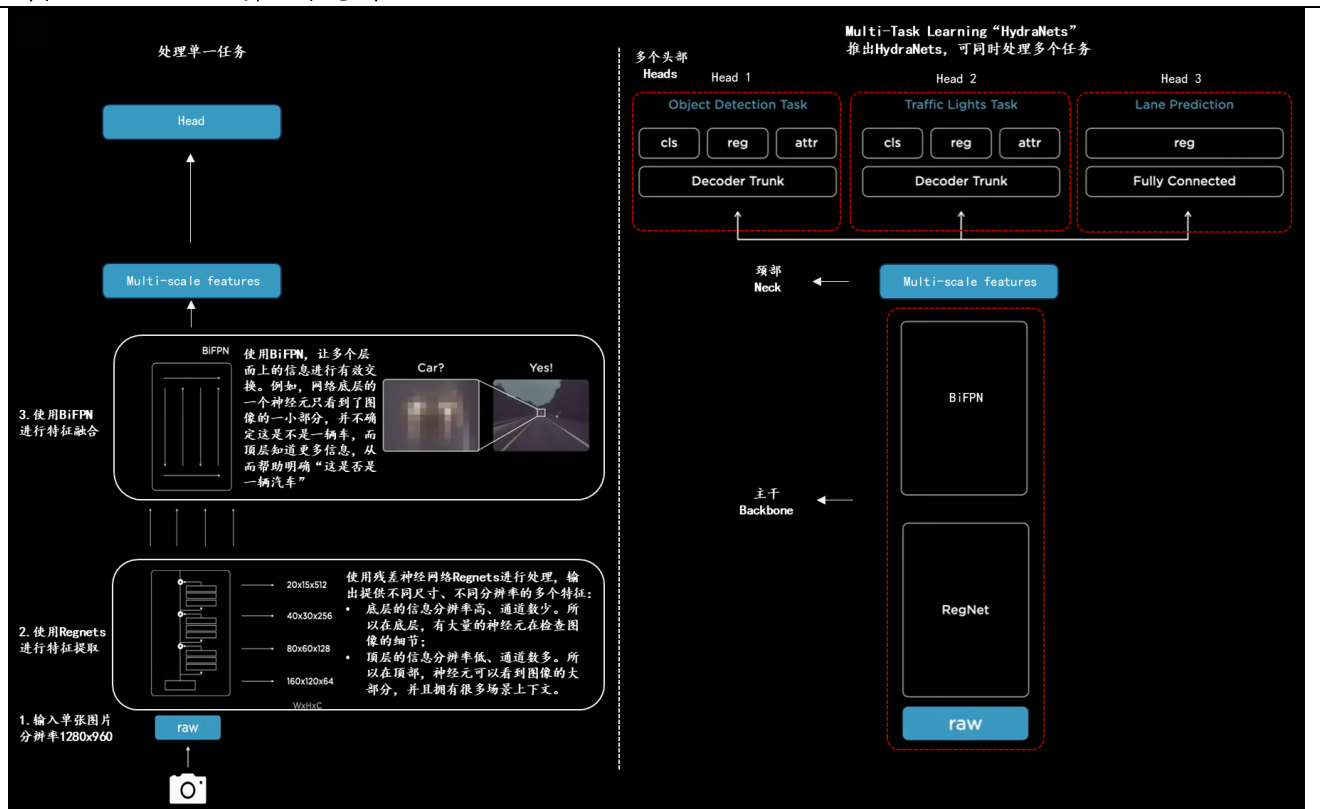
2. 2018 年-2019 年：技术微创新。

当时，自动驾驶的目标检测环节普遍遵循一个通用的网络结构：input（输入信息）→backbone（主干网络）→neck（提取更精细的特征）→head（头部完成任务）→Output（输出结果）。当时的自动驾驶视觉神经网络都只有一个 head，但是在自动驾驶的场景中，往往需要在一个神经网络中同时完成多项任务，如车道线检测、人物检测与追踪、信号灯检测等，这就导致原有算法出现了“脑袋不够用”的情况。因此，2018 年，特斯拉开始对自动驾驶算法进行第一次革新：构建了多任务学习神经网络架构 HydraNet，并使用了特征提取网络 BiFPN。

HydraNet 指的是，通过一个统一的神经网络模型来并行处理多种不同的感知任务。在 HydraNet 中，为了同时完成多种感知任务，特斯拉设计了多个并行的任务头（task-specific heads），每个任务头都连接到共享的基础特征提取层（backbone），从而可以从同一份输入数据中抽取不同层次的语义信息，并分别对特定任务进行处理。其构建了这样一个流程：

- **图像预处理与特征提取：**通过类似于 ResNet 的神经网络结构对环绕车身的 8 个摄像头拍摄的图像进行初步处理；
- **多机位融合：**使用 Transformer-like 架构将来自不同视角和位置的 8 幅图像信息进行深度融合，生成一个综合多个视图信息的超级图像，以消除单个相机视野受限带来的问题；
- **时间融合：**将时间维度纳入考虑范围，将连续时间段内的超级图像序列进行融合以增强感知模型对动态环境的理解。
- **任务导向输出：**最后，融合后的时空特征会被送入多个任务导向的输出层（HEADS），每个 HEAD 专门负责一个特定的感知任务，比如车道线检测、车辆/行人检测与追踪、交通信号识别等。

图表 45 HYDRANET 算法示意图



资料来源：Tesla AI Day 2021，华安证券研究所整理

这种算法可以带来三个好处：

- **特征共享 (Feature Sharing)**。使用同一主干提取特征并共享给头部使用，可以在测试阶段分摊在车上运行的前向判断，从而避免了不同任务的重复计算，提升运行效率。

- **解耦子任务 (De-Couples Tasks)**：HydraNet 可以将所有任务解耦，因此可以单独处理每一项任务，每个子任务可以在 backbone 的基础上进行 fine-tuning 或是修改，而不影响其他子任务。

- **特征缓存到颈部 (Representation Bottleneck)**：训练过程中可以将 feature 缓存到颈部，因此 fine-tuning 的时候可以只使用缓存的 feature 来 fine-tune 模型的 head，而不再需要重复计算。因此，通常特斯拉的训练 workflow 是：将所有内容合在一起进行端到端训练，然后缓存多尺度特征，并予以此进行一段时间的微调，然后再做一次端到端训练，重复此过程。

不过此时，特斯拉采用的仍是后融合策略，数据依旧是人工标注，自动驾驶算法依旧是小模型。

3. 2020 年-2021 年：技术革命期。

2019 年 4 月，特斯拉发布了 HW 3.0 系统，高性能为算法的下一代迭代提供了前提条件；2020 年 8 月，马斯克表示，Autopilot 团队正对软件的底层代码进行重写和深度神经网络重构。在这次重构中，特斯拉带来的一系列技术方向被自动驾驶行业的玩家沿用至今，如 BEV + Transformer、特征级融合取代后融合、数据自标注取代人工标注等。

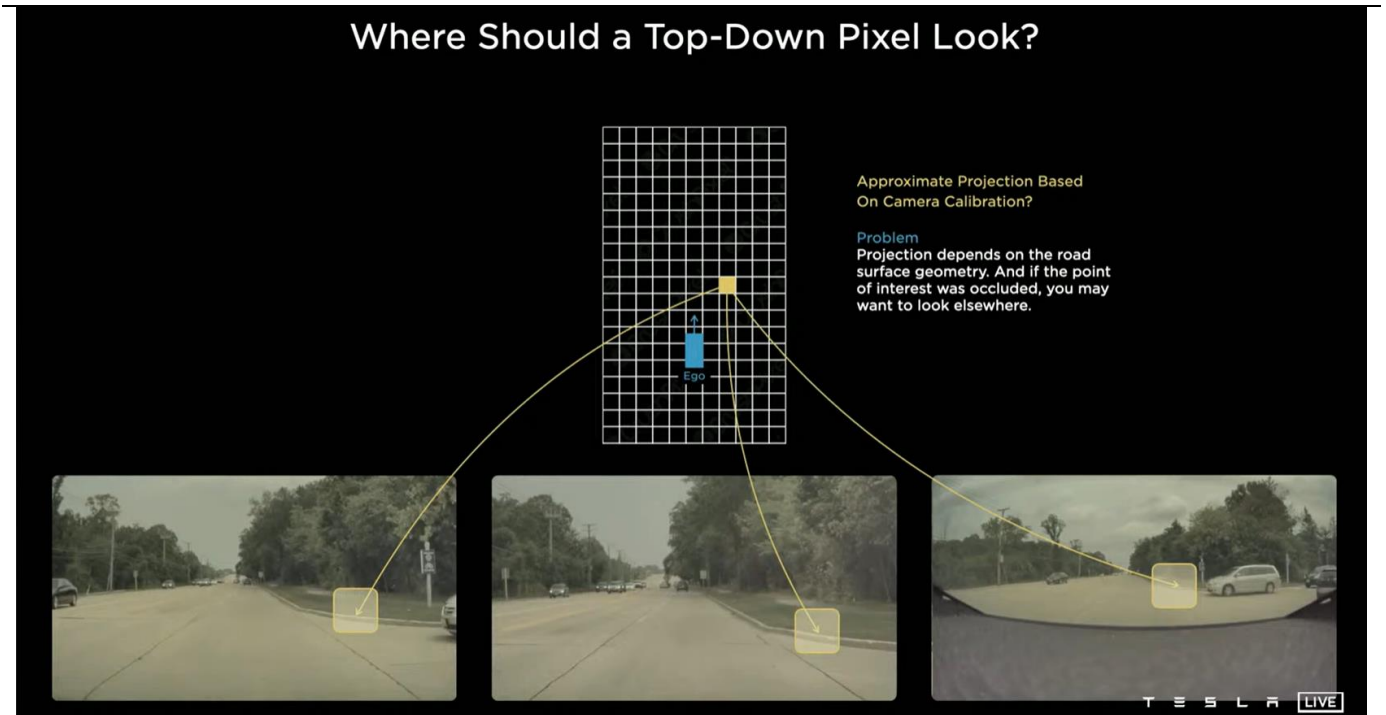
1) BEV + Transformer

2020 年，特斯拉在自动驾驶技术中引入 BEV+Transformer 架构，将 2D 图像升维到 3D。特斯拉先在 BEV 空间层初始化特征，再通过多层的 Transformer 和 2D 图像特征进行交互融合，最终得到 BEV 特征。也就是先 3D 再 2D，反向开发，实现 BEV 的转换。

为什么要引入 BEV (鸟瞰图)？ 摄像头采集的是 2D 图像，而自动驾驶面对的却是三维真实世界，只有引入 3D 空间，才能使自动驾驶的思维方式更接近真实世界。

为什么要引入 Transformer？ 与传统神经网络 RNN 和 CNN 不同，Transformer 是一种基于注意力机制 (Attention) 的神经网络模型，不按照串行顺序来处理数据，而是通过注意力机制去挖掘序列中不同元素的联系及相关性，因此 Transformer 可以适应不同长度和不同结构的输入。Transformer 的引入，使得 BEV 视角在自动驾驶领域得以实现。

图表 46 BEV 图示



资料来源：Tesla AI Day 2021，华安证券研究所整理

BEV 可以带来四大优势：

1. BEV 视角下的物体，不会出现图像视角下的尺度（scale）和遮挡（occlusion）问题。由于视觉的透视效应，物理世界物体在 2D 图像中很容易受到其他物体遮挡，2D 感知只能感知可见的目标，而在 BEV 空间内，算法可以基于先验知识，对被遮挡的区域进行预测。

2. 将不同视角在 BEV 下进行统一表达，利于后续的规划和控制任务。对于主流的规划和控制算法而言，不论上游的传感器信息是什么视角，在经过融合之后，信心都会转换到以自车为中心坐标系中（Vehicle Coordinate System, VCS），而对 VCS 来说，最适合的就是 BEV 视角，即 BEV 感知结果输出的空间是规划和控制任务的标准输入。

3. 能够使感知系统更准确。摄像头感知算法工作在 2D 空间，而雷达感知算法工作在 3D 空间，在对 2D 与 3D 几何关系融合过程中，会丢失大量的原始信息。而采用 BEV 之后，摄像头、激光雷达、毫米波雷达的感知均在 BEV 空间中进行，融合过程提前；BEV 还可以引入过去时间片段中的数据，实现时序融合，最终使感知效果更加稳定、准确。

4. 串行改并行，实现端到端优化。感知任务中的识别、跟踪和预测本质上是一个串行系统，因此系统的上游误差会传递给下游。而在 BEV 空间内，感知和预测都在同一个空间进行，可以通过神经网络做到端到端的优化，输出并行结果，因此整个感知网络可以以数据驱动方式来自学习，实现快速迭代。

2) 特征级融合取代后融合

正如上文提到，BEV 视角推动 2D 图像向 3D 车身自坐标系的转变，方便后续的决策和控制。除此之外，BEV 还使得自动驾驶从后融合（决策层融合）向特征级融合（中融合）的方向迈进。

自动驾驶的每一个传感器（摄像头、雷达），都在对周遭世界进行感知，但由于传感器角度、类型的不同，车辆无法依靠一个传感器完成对周遭世界的认识。因此，每个传感器感知的只是现实世界的一块拼图，要想实现自动驾驶，需要对拼图进行拼凑，而传感器数据的融合则可以看成是拼图的拼凑步骤。

后融合指的是由决策层域控制器进行拼图的拼凑，好处是对车端算力要求较低，仅在 100 TOPS 以内，前融合需要 500-1000 TOPS 算力、特征级融合需要 300-400 TOPS。因此，后融合被众多自动驾驶玩家广泛使用。

但是，后融合策略下，低置信度的信息会被过滤掉，从而导致原始数据丢失，误差叠加后，会导致信息失真，从而造成错误决策。在恶劣天气下，这样的情况更为明显。

相较于后融合，特征级融合的信息更接近传感器的原始数据，准确度更高。而且在 BEV 空间层进行特征级融合更容易实现跨摄像头融合和多模融合、时序融合，可脑补出遮挡区域的目标，而且更方便端到端做优化。

4. 2021 年-2022 年：模型突破期。

随着自动驾驶的发展，车辆面临的场景逐渐多样化，corner case（极端情况）越来越多，这便对自动驾驶算法的泛化能力提出了新的要求。因此，为了让算法更接近人类的思考方式，特斯拉对 BEV+Transformer 架构进行了改良：

1) 引入时序信息

在上一个版本中，BEV 只是对瞬时的图像片段进行感知，缺乏时空记忆力。例如，在行车时，如果行人穿马路的过程中被静止的障碍物遮挡，由于车辆只能根据当前时刻感知到的信息进行判断，那汽车可能无法识别到行人，从而存在安全风险。

因此，特斯拉在感知网络架构引入了时空序列特征层，使用视频片段，而不是图像来训练神经网络，为自动驾驶增添了短时记忆能力，使其能够记住之前某一段时间段的数据特征，从而推演目前场景下可能性最大的结果，而不仅仅是基于当前时刻看到的场景进行判断。

2) 引入占用网络

传统的自动驾驶算法大多是依靠大数据喂养、得出经验、然后识别物体、进行决策，但在现实世界里，真实的路况情况是错综复杂的，存在着大量的 corner case，无法让算法认全所有情况。

为了解决这一问题，特斯拉将 BEV 升级为占用网络（Occupancy Network）。在 2D 图像世界中，一个物体由无数个像素点组成；而在占用网络中，3D 真实世界由无数个微小立方体“体素”堆叠组成。

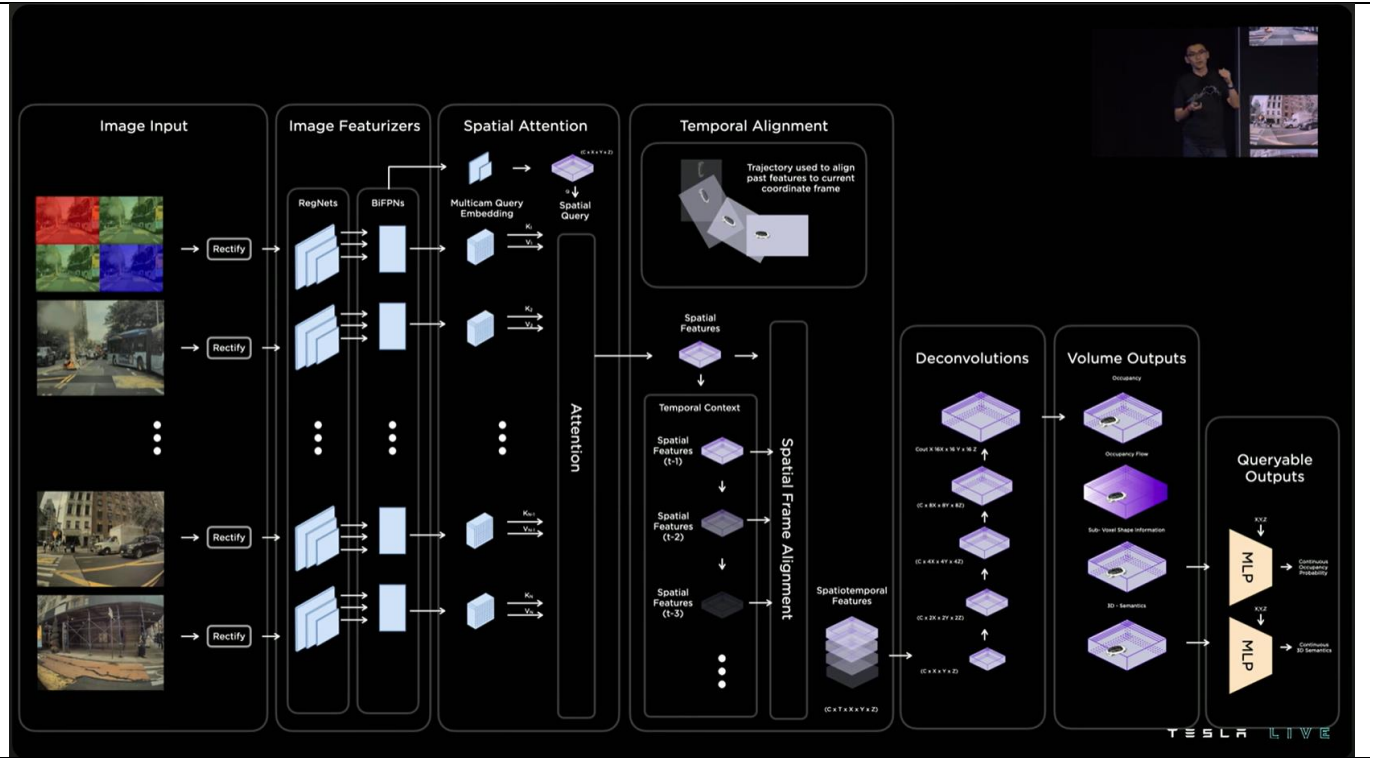
占用网络将原本的 BEV 空间分割成无数的体素，无需考虑这个物体是什么，只需考虑这个体素是否被占用，并用不同的颜色表示物体的速度、方向等。这使得：

1. 把“识别未曾标注的障碍物”转化为“判断障碍物对空间的占用”，使非典型但却存在的事物能直接表示出来，增加了算法的泛化能力和对现实世界的认知。
2. 赋予障碍物速度、轨迹方向等更加广泛的信息，便于后续的决策规划。
3. 纯视觉方案，不再依赖激光雷达。占用网络的 4D 效果完全建立在摄像头视频流的基础上，既可以摆脱对激光雷达的依赖，也不需要解决 Camera-Lidar 的融合问题，也就是说，占用网络最直接的效果便是实现了伪激光雷达的效果。但这只是特斯拉的技术选择，很多公司依旧选择包括激光雷达的方案，因为在不同的环境

条件下，适当的传感器冗余能更加确保安全。

4. 摆脱对高精地图的依赖。本质上是利用 BEV+众包地图（车主分享给特斯拉的实时地图信息），实时绘制出高精度地图，取代上车成本高、更新时效低的高精地图。

图表 47 Occupancy Network



资料来源：Tesla AI Day 2022，华安证券研究所整理

2.4.2.2 规划与控制算法

人体在感知到周围世界的信息后，会基于对这些信息的认知做出相应的判断，来规划躯体应该作何反应并下发控制指令。汽车也是如此，在完成感知任务后下一步是对感知到的信息做出决策方案，指导汽车执行相应的动作，这便是自动驾驶的规划与控制部分。

特斯拉自动驾驶规控的核心目标是基于感知网络输出的三维向量空间，通过规划汽车行为和行车路径使汽车到达指定目的地，同时最大化确保行车安全性、效率性及舒适性。但是规控的关键问题在于：

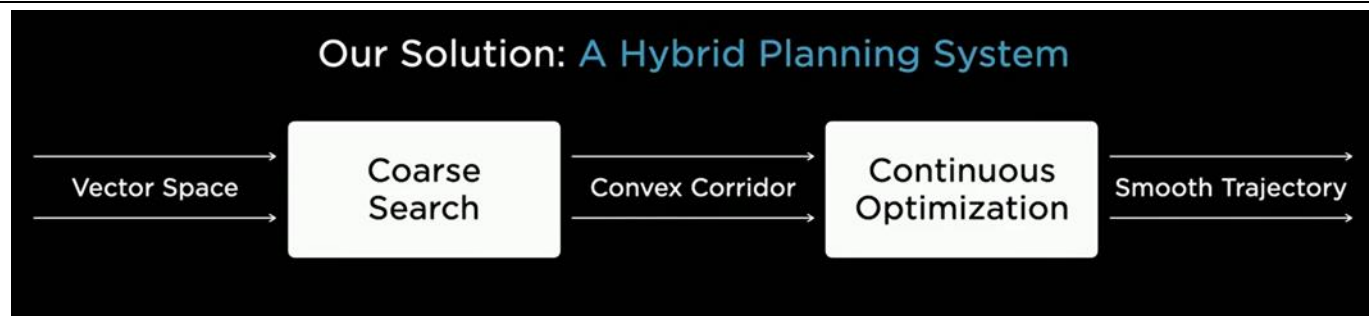
- 一方面，汽车的行为空间具有典型的非凸性。非凸性指的是，同一个目标任务可能对应多个解决方案，他们各自独立且都是好方案，但是难以获得全局最优解。这就导致汽车可能陷入局部最优，从而无法快速做出准确决策。

- 另一方面，规划控制是高维问题。高维指的是，汽车需要为接下来10-15s做规划，并且要在短时间内快速产生速度、加速度等多个指标，这会产生大量的参数。

离散搜索方法适合解决非凸问题，因为搜索是离散的，所以不会陷入局部最小值，而连续优化函数却很容易陷入局部最小值；但是，对于高维问题，离散函数表现很糟糕，因为他不适用任何梯度信息，必须搜索每个点，而连续优化函数基于梯度的方案可以快速找到一个非常好的解决方案。

对此，特斯拉采用的解决方案是按层级分解：先用粗略搜索的方法解决非凸性，得到一个凸的行车空间，然后使用连续优化技术，使最终的轨迹平滑。

图表 48 特斯拉采用按层级分解的方法同时解决规控的非凸性和高维性



资料来源: Tesla AI Day 2021, 华安证券研究所整理

在大部分结构化场景下, 例如高速公路等, 粗搜索选取的是经典的 A-Star 算法 (启发式搜索方法), 但针对一些复杂的场景, 例如闹市中心、停车场等, 由于场景中非结构化元素比较多、搜索空间大, 传统 A-Star 运算节点过多, 会导致决策速度缓慢。

由此, 特斯拉引入强化学习方法。强化学习的机制类似于人类学习模式, 通过奖赏正确的行为来引导其习得某项能力。首先, 利用神经网络学习全场景特点获得价值函数; 然后, 通过 MCTS 算法 (蒙特卡洛树搜索) 引导搜索路径不断靠拢价值函数。这种方法可以大幅度减少搜索空间, 有效提高决策实时性。

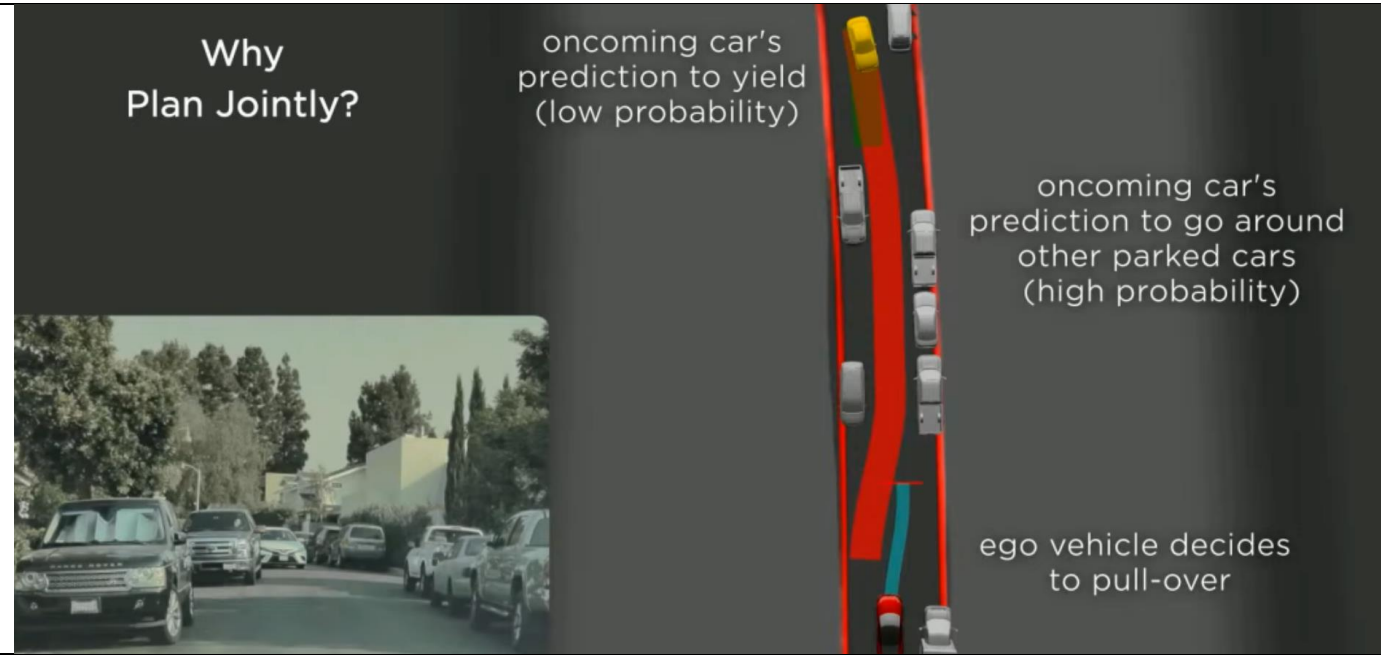
图表 49 特斯拉引入蒙特卡洛树搜索, 高效完成任务

Search Space: 5 constant Curvature Arcs			
Algorithm	A*	A*	MCTS Argmax Sampling
Search Heuristic	Euclidean Distance to Goal	Euclidean+Navigation	Neural Network Policy&Value Function
Number of Expansion	398320	22224	288
	启发式搜索	基于导航的启发式搜索	基于神经网络的蒙特卡洛树搜索
Search Example			

资料来源: Tesla AI Day 2021, 华安证券研究所整理

此外, 在行车过程中, 也会涉及与其他车辆的博弈问题, 如变道、在狭窄路口错车等, 类似场景中需要根据对方车辆的反应变化随时调整自车的决策方案。因此, 除了单车规划外, 特斯拉还做了交通参与者联合轨迹规划, 根据其他车的状态参数 (速度、加速度、角速度等) 规划其路径, 进而选择合适的自车方案。其他车状态发生变化后, 可以随时调整自车方案, 尽量避免出现自车愣在原地不做反应的情况。

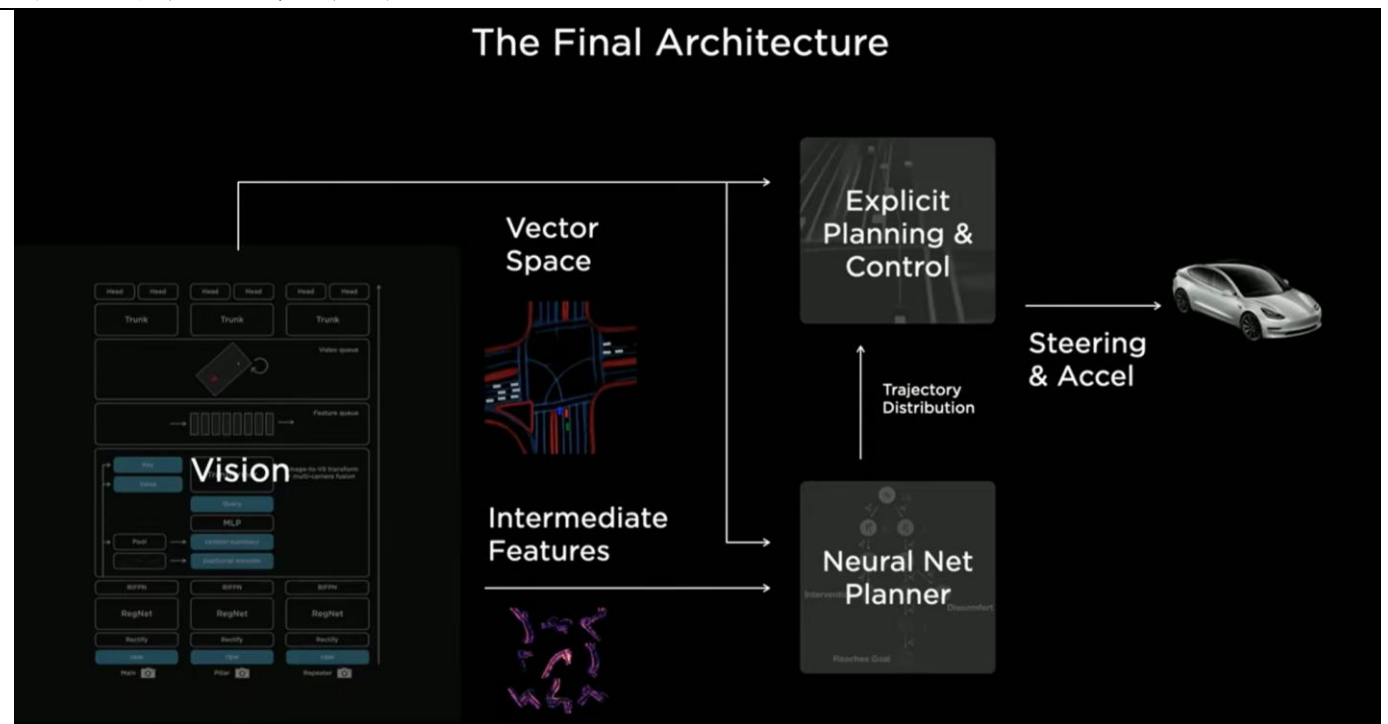
图表 50 特斯拉规划交通参与者联合轨迹



资料来源：Tesla AI Day 2021，华安证券研究所整理

至此，特斯拉 FSD 的最终架构完全形成：视觉系统 (vision) 先把密集的视频数据压缩为向量空间 (vector space)，对于仅有唯一解的问题，可直接生成明确的规控方案；对于有多个可选方案的复杂问题，使用中间层特征 (intermediate features) 训练神经网络规划器，得到轨迹分布 (trajectory distribution)，再融入成本函数、人工干预和其他模拟数据进行端到端的优化，获得最优的规控方案，最终生成汽车转向、加速、刹车等控制指令，由汽车执行模块接受控制指令实现汽车自动驾驶。

图表 51 特斯拉自动驾驶算法架构



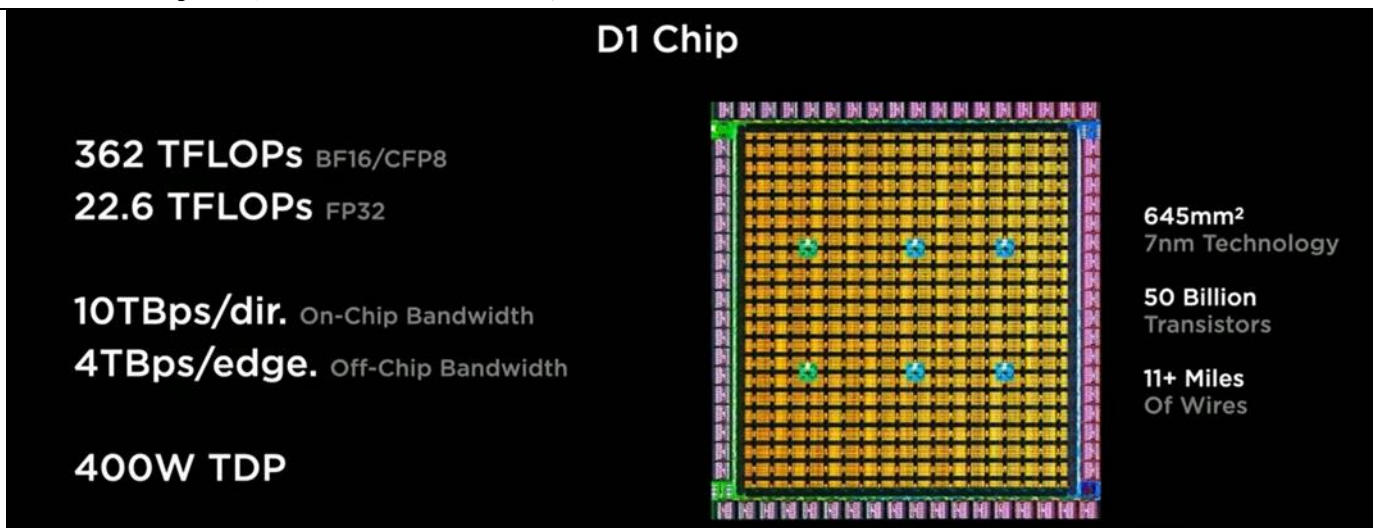
资料来源：Tesla AI Day 2021，华安证券研究所整理

2.4.3 算力：构建云端算力 Dojo

自研服务于自动驾驶的超级计算机 Dojo。自动驾驶超大规模的数据和高性能的算法均需要强大的算力支撑，马斯克多次表示：「FSD V12 端到端模型迭代主要受到云端算力资源的掣肘。」特斯拉为此自研了服务于自动驾驶的超级计算机 Dojo。Dojo 是一种通过网络结构连接的分布式计算架构，具有大型计算平面、极高带宽、低延迟、可扩展性极强等特点。2021 AI Day，特斯拉公布了为 Dojo 超算打造的自研 AI 训练芯片 D1。

Dojo 的关键单元是特斯拉自研的 D1 芯片。D1 芯片采用分布式结构和 7 纳米制造工艺，单片面积仅 645 平方毫米，具有 500 亿个晶体管和 354 个训练节点，内部电路长达 17.7 公里，单片 FP32 算力可达 22.6 TOPs，BF16 算力可达 362 TOPs，同时具有 GPU 级的计算能力和 CPU 的连接能力，I/O 带宽是最先进的网络芯片的 2 倍。

图表 52 为 Dojo 超算打造的自研 AI 训练芯片 D1



资料来源：Tesla AI Day 2021，华安证券研究所整理

25 个 D1 芯片组成 Dojo 的单个训练模块 (Training Tile)。每个 D1 芯片之间都是无缝连接在一起，相邻芯片之间的延迟极低，训练模块最大程度上实现了带宽的保留，再配合特斯拉自创的高带宽、低延迟的连接器的，在不到 1 立方英尺的体积下，算力高达 9PFLOPs (9 千万亿次)，I/O 带宽高达 36TB/s。

图表 53 Dojo 超级计算机的单个训练模块由 25 个 D1 芯片组成



资料来源：Tesla AI Day 2021，华安证券研究所整理

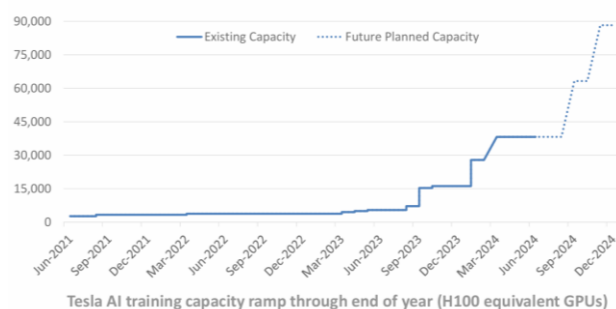
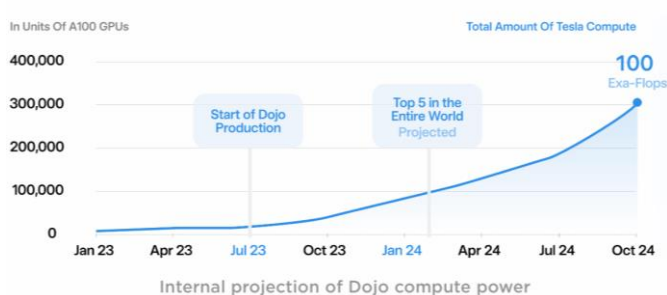
120 个训练模块组装成大规模计算集群 ExaPOD。6 个 Training Tile 组成 1 个 Training Tray, 1 个机柜有 2 个 Training Tray, 10 个机柜组成一台 ExaPOD, 因此 120 个训练模块组装成 ExaPOD。一个 ExaPOD 可提供 1.1EFlops 算力, 与业内其他产品相比, 同成本下它的性能提升 4 倍, 同能耗下性能提高 1.3 倍, 占用空间节省 5 倍。

Tesla AI 算力规模规划: 23Q2, 公司财报显示, Dojo 于 23 年 7 月进入投产阶段; 预计到 2024 年 2 月, 特斯拉的算力规模将进入全球前五, 相当于 10 万块 A100 GPU 的算力总和; 预计到 2024 年 10 月, 特斯拉的算力规模将达到 100EFlops, 相当于 30 万块 A100GPU 的算力总和。

Tesla AI 算力规模进展: 24Q2, 公司财报显示, 截至 24 年 6 月, 特斯拉的 AI 算力规模相当于超 3.8 万块 H100 的算力总和 (H100 的算力约为 A100 的 3 倍多)。

图表 54 Tesla AI 算力规模规划 (发布于 23Q2)

图表 55 截至 24Q2 Tesla AI 算力规模进展



资料来源: 公司财报, 华安证券研究所

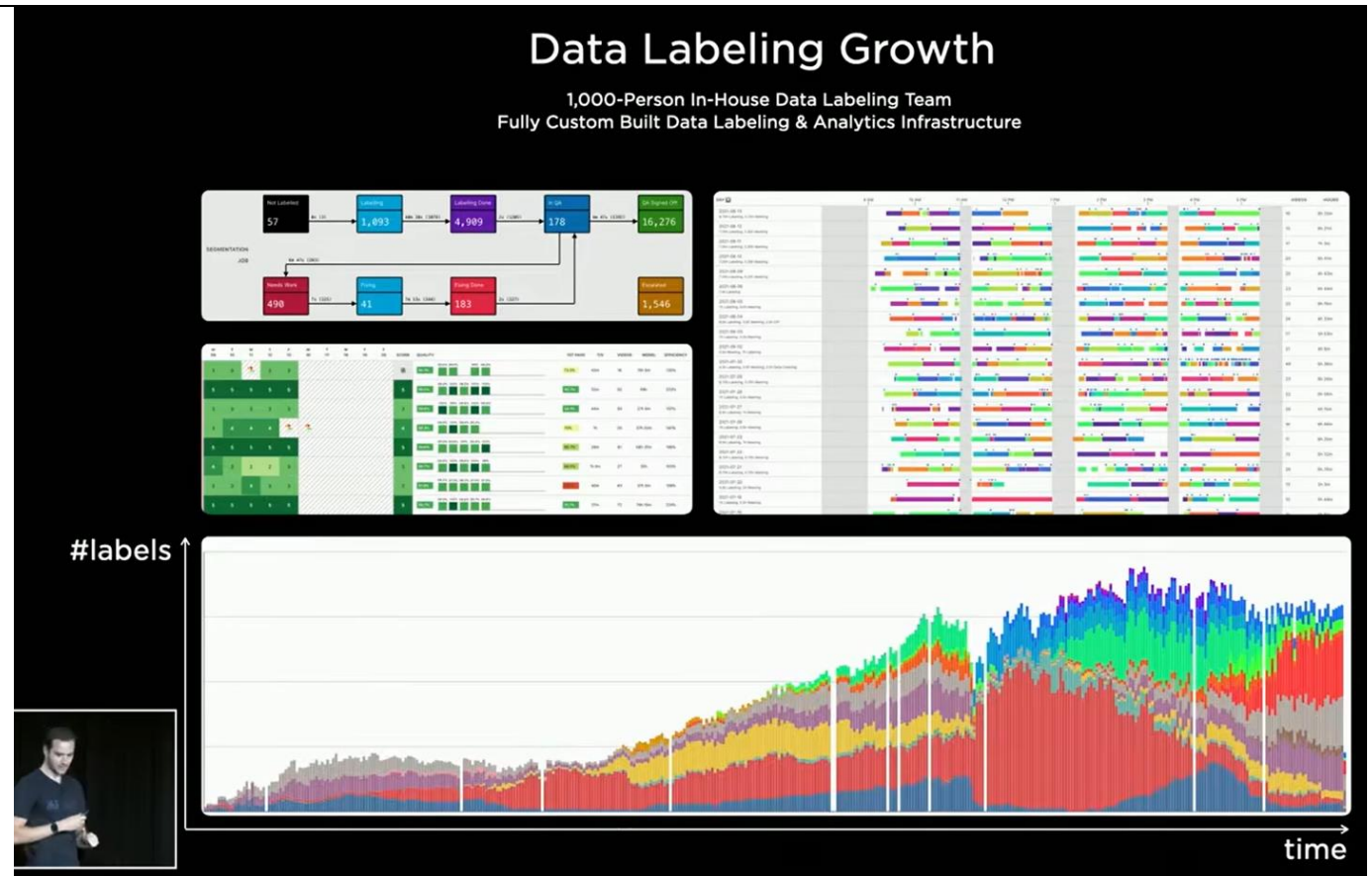
资料来源: 公司财报, 华安证券研究所

2.4.4 数据: 从人工标注转向自我标注, 并构建真实世界的虚拟仿真空间

1. 从人工标注转向自我标注

数据决定了算法的上限, 模型只是不停的逼近这个上限。为了确保投喂给算法的数据正确、有用, 自动驾驶行业往往都采取人工标注的方式。2021 AI DAY 上, 公司表示, 2018 年, 特斯拉是与第三方合作来获得大量的标注数据, 但是这样做不仅延迟高而且质量低; 于是, 特斯拉将所有的标注工作都整合进公司内部, 数据标注团队规模一度超 1000 人, 还从头搭建了所有的软件基础设施。但是, 随着时间的推移, 涉及的人员、任务、标注数量都在快速增长, 成本也水涨船高。

图 表 56 随着时间的推移，标注数量快速增长



资料来源：Tesla AI Day 2021，华安证券研究所整理

引入 BEV + Transformer 引入后，特斯拉的数据标注效率有所提升。引入 BEV 空间层前，大部分标注是在 2D 图像空间中进行的，一张图片需要标记 8 次；而在 BEV 空间层下，只需要对 3D 向量空间标注 1 次便可完成对 1 张图片的标记。尽管标注的效率有所增加，但其产量依旧无法满足数据的指数级增长。

2020 年，特斯拉开始研发并使用了数据自动标注系统：用更多的数据训练更大的模型，再用大模型的数据训练车端小模型。在车辆行驶过程中，摄像头收集的路面信息，会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，然后再反馈给车端各个传感器。由于传感器视角不同，当预测的标注结果在 8 个传感器均呈现一致时，则标注成功。这个过程其实就是车载模型对服务器大模型进行自动标注系统的蒸馏。

同时，车辆也相当于特斯拉“众包地图”的采集车。当不同的车辆走在同一段路时，离线大模型将记录同一段路的不同标注结果。当数据标注系统将不同车辆、不同时间、不同天气状况下的标注结果叠加后，就得到了一个具备高度一致性的标注结果，这也意味着特斯拉得到了自己的高精地图。不过公司强调，这么做的目的并不是为了构建高清地图，只是为了给驶过路口的片段做标注，所以公司不必持续维护这份数据。

图表 57 随着时间的推移，标注数量快速增长



资料来源：Tesla AI Day 2021，华安证券研究所整理

2. 构建真实世界的虚拟仿真空间

路测条件的限制导致积累数据和训练算法的效率偏低且成本高昂，为了更高效的实现数据训练，特斯拉构建了一个真实世界的虚拟仿真空间，通过调整各类交通参与物及环境的模型参数以构建各种虚拟场景，以训练算法应对不同场景的性能，来加速 FSD 能力的训练。其价值体现在：

1) 可以构建在现实世界中难以遇到的极端场景；

2) 针对复杂场景难以直接标注的情况，可以通过仿真进行快速标注，例如在一个路况复杂的十字路口有各种川流不息的汽车、行人，由于元素众多，要直接进行标注难度很大；而在仿真场景中，由于所有的元素的初始参数都是自行设定的，因此在模拟复杂的运动状态时，所需要标注的参数很容易就可以通过计算得到，以此实现快速标注；

3) 仿真为规控算法的训练和验证提供了一个安全的环境，考虑汽车驾驶安全问题的重要性，部分规控算法训练和优化的过程难以通过实际路测实现，在仿真场景中便具有非常高的自由度；

4) 可以对某些闭环场景算法进行长期持续训练，例如泊车场景下空间是闭环的、参与者有限，因此通过仿真持续模拟各种情况，可以有效地对自动驾驶泊车能力进行训练；

5) 对于现实世界中 FSD 失败的场景，可以通过仿真重现失败场景，在仿真环境中寻找失败原因并进行算法训练和优化。

2022 AI Day，公司宣布已绘制了 2000+公里的道路环境，通过仿真获得了 37.1 亿张图片及 4.8 亿标注，且已实际融入车端模型中，用以提升 FSD 性能。

2.4.5 软件：12 个软件版本

自动化驾驶并不等同于自动驾驶，自动化驾驶包括辅助驾驶和自动驾驶。根据 2021 年 5 月 SAE（美国汽车工业学会）提出的自动化驾驶分级标准，自动化驾驶分成 0 级至 5 级，其中，0-2 级为辅助驾驶，系统辅助人类执行动态驾驶任务，驾驶主体仍为驾驶员；3-5 级为自动驾驶，系统在设计运行条件下代替人类执行动态驾驶任务，当功能激活时，驾驶主体是系统。区分辅助驾驶和自动驾驶最明显的特征是，驾驶的主要决策者以及法律责任主体在人还是车。

L0 级（无自动驾驶 No Driving Automation）：现在路上的大部分汽车都是 0 级，尽管车上有相关的系统帮助驾驶者更好地驾驶但是还是人来发布动态的指令。

L1 级（驾驶辅助 Driver Assistance）：L1 级对于辅助驾驶有一个简单地自动系统，例如转向或者加速（巡航控制）。自适应巡航系统可以让车辆与前车保持一个安全的距离，由驾驶员来监控转向、刹车这些驾驶状况。

L2 级（部分自动驾驶 Partial Driving Automation）：L2 级的自动化驾驶程度还达不到自动驾驶，因为还是人坐在驾驶员的位置全时控制汽车，但是 L2 的辅助驾驶系统更先进，汽车可以控制转向和加减速。特斯拉的自动导航（Tesla Autopilot）和凯迪拉克的超级巡航系统都是 L2。

L3 级（有条件的自动驾驶 Conditional Driving Automation）：L3 级的汽车有环境感知的能力，能够根据环境感知做出更明智的决策，例如加速超过一台低速汽车。但是，驾驶员仍须时刻保持警惕并做好自动驾驶系统失效重新掌控汽车的准备。

L4 级（高度自动驾驶 High Driving Automation）：L4 级车辆可以在出现问题或系统故障时进行干预，所以 L4 级车在大多数情况下不需要人的互动，不过驾驶员可以选择手动重新发布指令。L4 级的车辆可在自动驾驶模式下运行，但在法律和基础设施发展之前，他们只能在一个有限的区域内这样做，即所谓的地理围栏。

L5 级（完全自动驾驶 Full Driving Automation）：L5 级的汽车将摆脱地理围栏，能够去任何地方、做任何有经验的人类驾驶员能做的事情，甚至没有方向盘或加速/刹车踏板，目前还没有任何一款 L5 汽车向公众开放。

图表 58 SAE 自动化驾驶分级标准

级别	名称	描述	决策主体	责任主体	覆盖范围
辅助驾驶	L0	无自动化	由人类驾驶者全权操作汽车，在行使过程中可以得到警告和保护系统的辅助	人类驾驶者	无
	L1	辅助驾驶	对方向盘和加减速的一项操作提供辅助驾驶，其他的驾驶动作都由人类驾驶员进行	人类驾驶者	部分
	L2	部分自动驾驶	对方向盘和加减速的多项操作提供辅助驾驶，其他的驾驶动作由人类驾驶员进行	人类驾驶者	
自动驾驶	L3	有条件的自动驾驶	由无人驾驶系统完成所有的驾驶操作，根据系统请求，人类驾驶者提供适当的应答	系统	部分
	L4	高度自动驾驶	由无人驾驶系统完成所有的驾驶操作，根据系统请求，人类驾驶者不一定需要对所有的系统请求作出应答；但是限定道路和环境条件	系统	
	L5	完全自动驾驶	由无人驾驶系统完成所有的驾驶操作，在所有的道路和环境条件下都能行驶	系统	全域

资料来源：SAE international，华安证券研究所整理

目前，特斯拉共 3 款自动化驾驶解决方案：基础版辅助驾驶（Basic Autopilot, AP）、增强版辅助驾驶（Enhanced Autopilot, EAP）、以及 FSD (Full Self-Driving [Supervised])。其中，FSD (Supervised) 是其自动化驾驶程度最高的产品。值得注意的是，官网最新介绍表示，FSD (Supervised) 仍需要驾驶员将手放在方向盘上并随时准备接管。

图表 59 特斯拉自动化驾驶产品功能对比

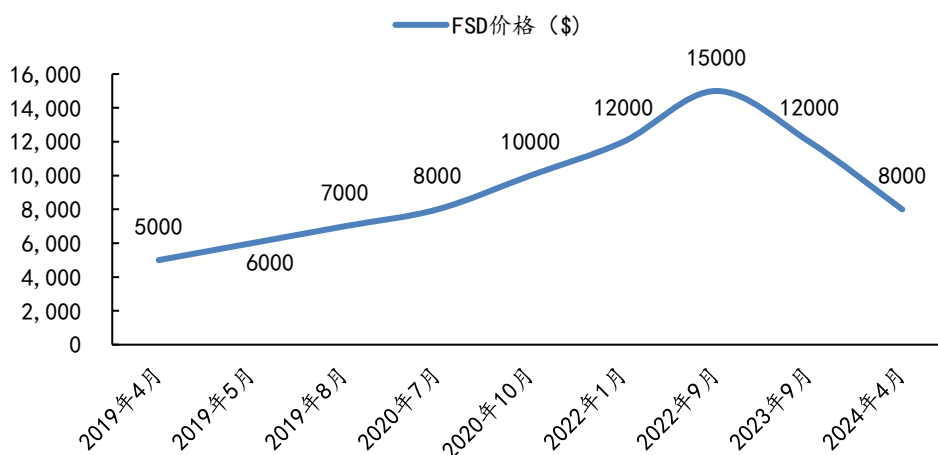
功能	AP	EAP	FSD
主动巡航	√	√	√
车道保持	√	√	√
自动辅助驾驶导航		√	√
自动变道		√	√
自动泊车		√	√
召唤/智慧召唤		√	√
交通信号识别/停车标志识别			√
市区自动辅助转向			√
自动速度偏移调整			√

资料来源：特斯拉官网，华安证券研究所整理

特斯拉的 3 款自动化驾驶产品中，AP 和 EAP 在国内销售的车型已经落地，FSD 尚未引入国内，但可以在购车时进行付费选装，待 FSD 引入中国时才可以正式使用软件。AP 作为最基础的辅助驾驶，所有特斯拉车辆都免费包含；EAP 和 FSD 则需付费购买。

24 年 4 月，特斯拉在美国取消 EAP 付费选项，仅保留 FSD 付费选项，且买断价从 12000 美元降到 8000 美元，订阅价从 199 美元降到 99 美元；中国官网显示，特斯拉在中国市场仍可购买 EAP，EAP/FSD 的付费金额分别为 32000/64000 元。

图表 60 19 年-24 年美国 FSD 价格变化（\$）

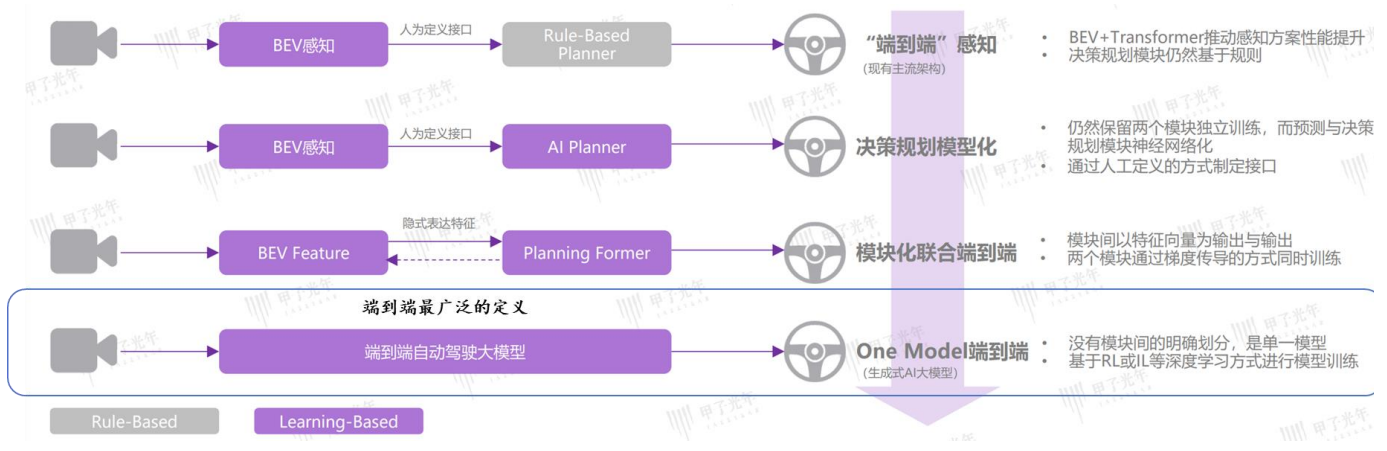


资料来源：not a tesla app，华安证券研究所整理

基于算法的持续迭代，特斯拉自动驾驶软件持续升级，并于 2024 年 1 月正式推出 FSD V12，是有史以来第一个端到端 AI 自动驾驶系统。FSD V12 首次使用神经网络进行车辆控制（包括控制转向、加速和制动），减少了对硬编码编程的依赖，V12 的 C++ 代码只有 2000 行，而 V11 有 30 多万行；2024 年 7 月，特斯拉开始推送 FSD V12.5 版本，与 V12 相比，V12.5 参数提高了 5 倍之多，并且将高速、城区智驾全面切换为端到端方案。

24Q1 业绩会上，公司表示，北美已有 180 万辆车搭载 HW 3.0 版本硬件，其中 FSD 使用率超 50%，且在持续上升；24 年 9 月，特斯拉发布技术路线图，将于 24 年 9 月推送 FSD V12.5.2、接管率改进 3 倍，向 HW 3.0 平台推送 V12.5.2，向

图表 63 端到端的定义



资料来源: 甲子光年, 华安证券研究所整理

端到端的优点: 它通过将传感器收集到的全面信息作为输入, 在单一网络中直接生成车辆的控制指令或运动规划, 使得整个系统针对全局任务进行优化, 而非仅仅针对某个独立的子任务, 拥有更简洁的系统架构、更高的计算效率以及更强的泛化能力。

端到端的缺点: 它面临着对算力和数据的巨大需求 (这些问题特斯拉均已解决方案), 以及尚未解决的黑盒问题和幻觉问题。

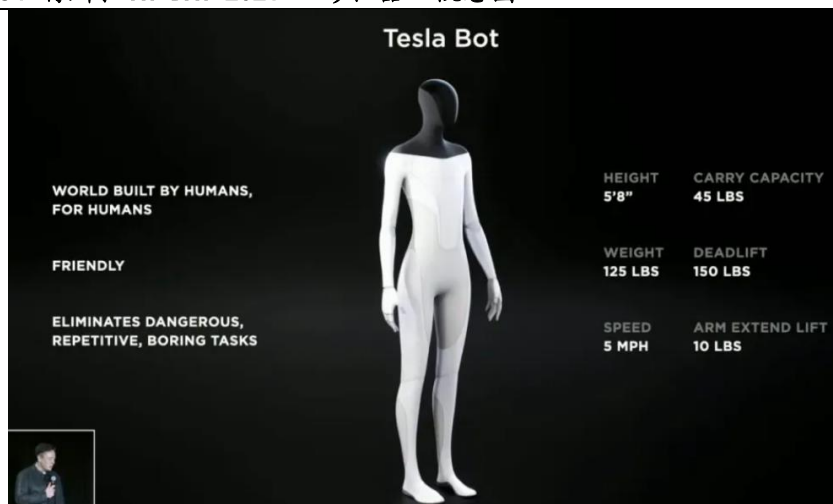
3 人形机器人：Optimus 已小范围进驻超级工厂，预计 2026 年投放市场

3.1 Optimus 做了什么？

3.1.1 2021 年 8 月：发布 Tesla Bot 概念图

2021 年 8 月，特斯拉在首届 AI Day 上展示了人形机器人（Tesla Bot）的设计，根据概念图，这款机器人身高 5'8"（约 1 米 72），体重 56.70 公斤，可以硬拉 150 磅（68 公斤）或者搬运 45 磅（20.4 公斤）的物体，伸开手的状态下可以拿 10 磅（4.5 公斤）的物体，最高时速 8 公里。

图表 64 特斯拉 AI DAY 2021 人形机器人概念图



资料来源：特斯拉 AI DAY 2021，华安证券研究所整理

3.1.2 2022 年 9 月：发布 Optimus 人形机器人原型机（无外壳）

2022 年 9 月，AI DAY 上，Optimus 人形机器人原型机首次亮相，可以走路、打招呼，双手可以完整举过头顶。虽未展示实际能力，但特斯拉通过 Demo 演示了 Optimus 搬箱子、浇花和在超级工厂工作的场景。有图展示的是 Optimus 眼中的世界（渲染后），它通过纯视觉发现并分析周边的一切，然后识别出自己的任务对象。

图表 65 Optimus 原型机在特斯拉工厂浇花



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，华安证券研究所

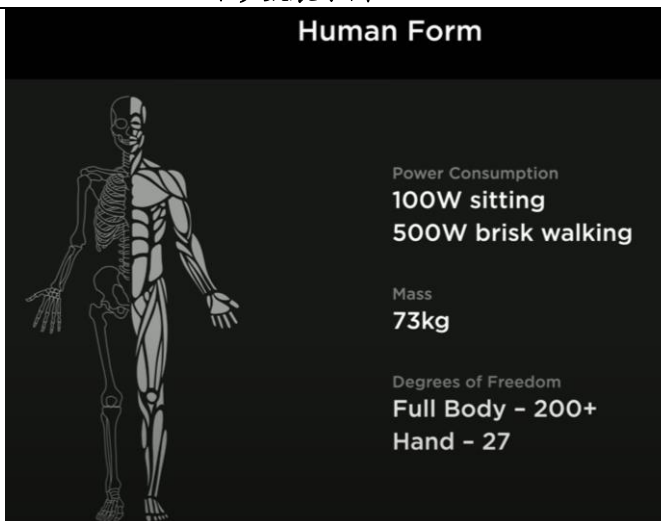
图表 66 Optimus 原型机看到的渲染后画面



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，华安证券研究所

AI Day 2022 上，特斯拉还公布了 Optimus 更进一步的参数信息：100W 静坐功耗、500W 快步走功耗，超 200 档关节自由度、光手部自由度就有 27 档。

图表 67 特斯拉 AI DAY 2022 人体参数展示图



资料来源：Tesla AI Day 2022，华安证券研究所整理

3.1.2.1 硬件架构

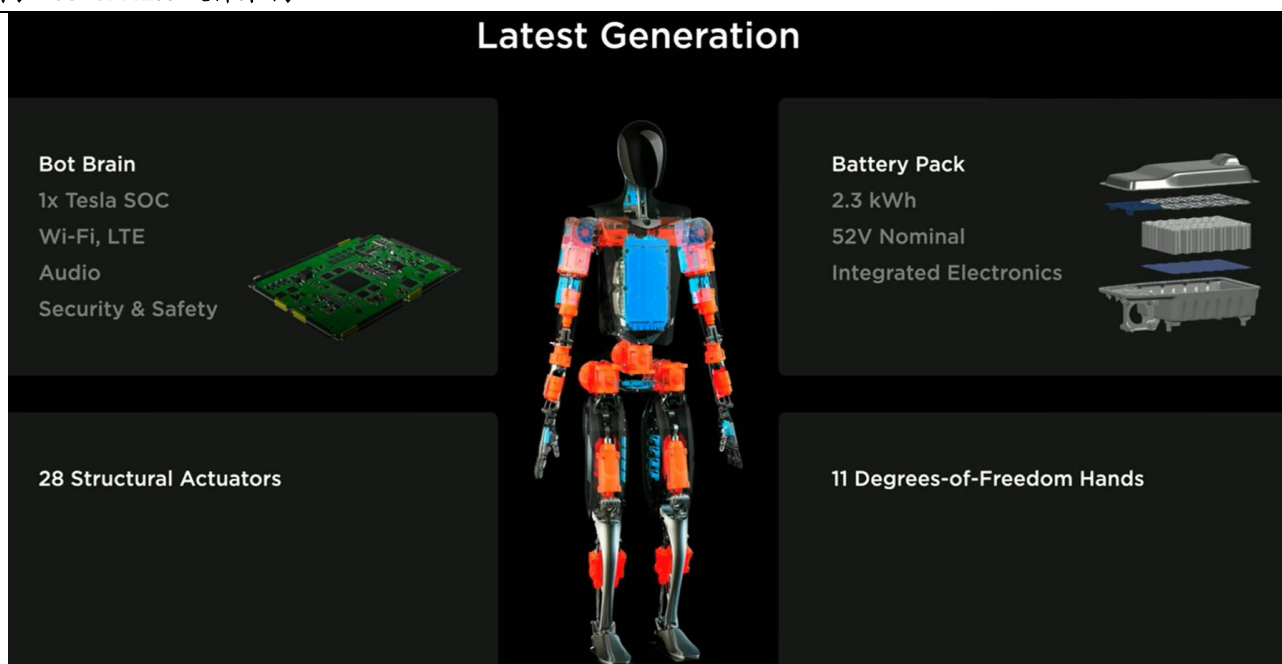
Optimus 硬件架构由 28 个执行器组成（特斯拉汽车仅 2 个执行器），下图 Optimus 展示图中，橙色部分是机械系统（执行器），蓝色部分是电子系统。

1. 心脏（电池组）：躯干中间是电池组，是 52V 电压、2.3kWh 容量、内置电子电气元件的一体单元，可续航一整天。

2. 大脑（Bot Brain）：大脑并不在头部，也在躯干，搭载一颗特斯拉自研 SoC 芯片，集成 WIFI、LTE、音频等，确保流畅处理视觉数据做出迅速反应。

3. 肌肉（Actuator，执行器）：执行器就是产生动作的装置，类似人体的肌肉，橙色部分均为 Optimus 的执行器，而这些执行器都是特斯拉自研的。

图表 68 OPTIMUS 硬件架构



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，华安证券研究所整理

人形机器人的执行器也称为一体化关节，主要负责将能量转化为机器人的机械运动。执行器可以按照不同的方式进行分类：

1) **按运动类型**：分为旋转执行器 (Rotary Actuator) 和直线/线性执行器 (Linear Actuator)。旋转执行器用于使机器人的关节进行旋转运动，而直线执行器则用于推拉动作，如手臂的伸展。

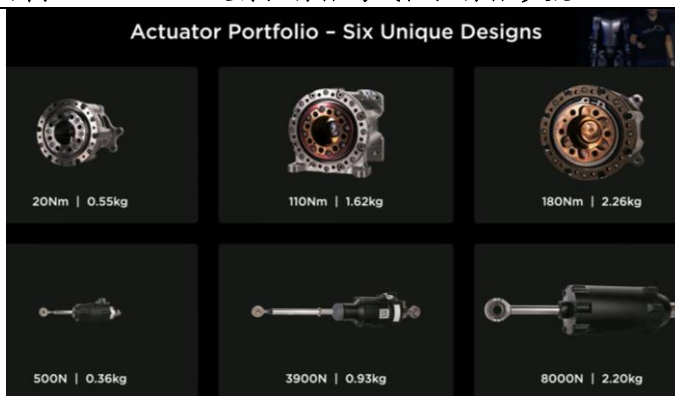
2) **按动力来源**：分为液压 (Hydraulic)、气动 (Pneumatic) 或电机执行器 (Electric)。在人形机器人中，电机执行器因其精度高、噪音小和易于联网反馈信息而常用。

3) **按驱动方式**：分为刚性执行器 (Traditional Stiffness Actuator, TSA)、弹性执行器 (Series Elastic Actuator, SEA) 和准直驱执行器 (Proprioceptive Actuator, PA)。刚性执行器主要由电机、减速器、编码器和力矩传感器等组成；弹性执行器模拟肌肉系统，提供柔顺性和高能量效率；准直驱执行器则不依赖于附加力或力矩传感器，能够直接感知机器人与外界的交互力。

为了降低生产成本，特斯拉需要对执行器的种类进行简化。因此，他们列举了 28 种人类常见的活动，比如抬举手臂、弯曲右膝等，然后对这些活动反馈的云数据进行相同性分析，用尽可能少种类的关节来满足所有需求。

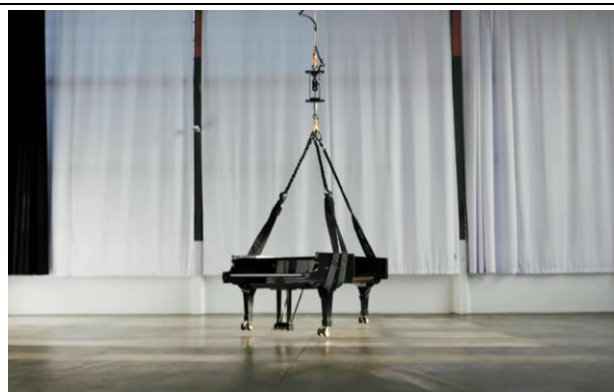
最终，特斯拉设计了 6 种不同的执行器，包括三款旋转执行器、三款直线执行器。其中，旋转执行器由小到大分别为重 0.55kg、1.62kg、2.26kg，扭矩 20Nm、110Nm、180Nm；线性执行器由小到大分别为重 0.36kg、0.93kg、2.2kg，出力 500N、3900N、8000N。根据发布会现场展示视频，最大的直线执行器可以轻松吊起一台半吨重的钢琴。

图表 69 OPTIMUS 旋转执行器与线性执行器参数



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，华安证券研究所

图表 70 最大的线性执行器可吊起半吨重的钢琴



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，华安证券研究所

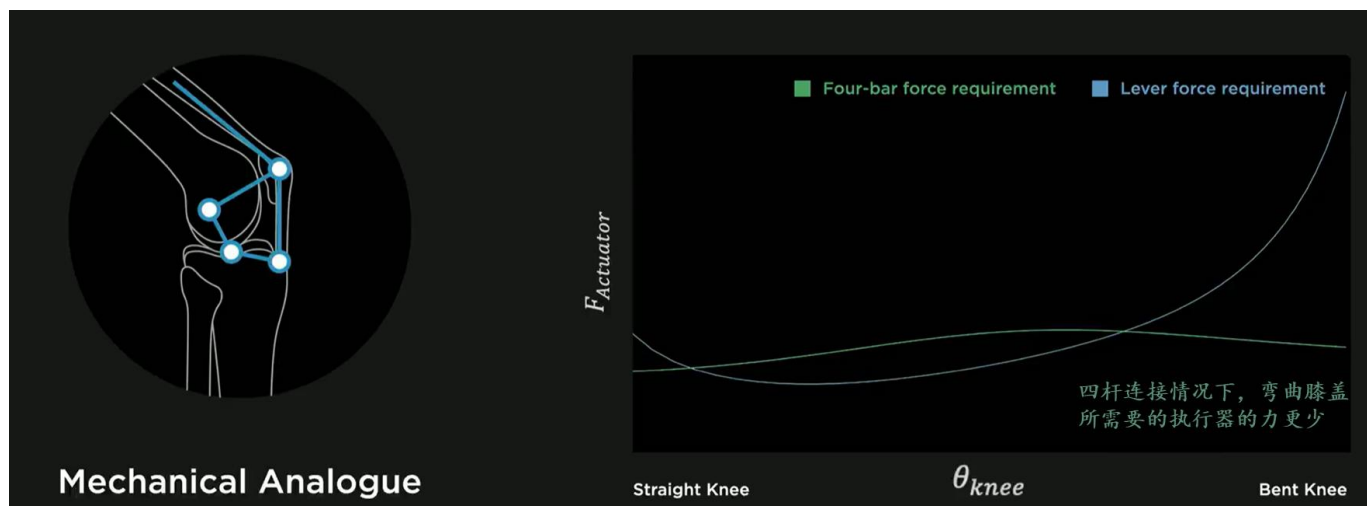
3.1.2.2 研发逻辑

由于人形机器人和自动化驾驶汽车都是 AI 技术的载体，因此，其底层软硬件存在大量可复用部分。除了复用自动化驾驶领域的研究成果，在研发人形机器人的过程中，特斯拉团队也参考了仿生学，并借鉴了一些汽车领域的研发经验。可以说，Optimus 是马斯克的工程交叉论的再一次应用。

1. 设计参考人类仿生学。

1) **膝关节：仿生四连杆膝关节稳定执行器所需扭矩**。人类的膝关节扭矩与膝关节弯曲度呈非线性关系，四杆连接方式可以有效地将非线性的扭矩需求转化为对执行器线性化的要求，让执行器用更少的力完成任务，比简单二杆连接所需要的执行器的力更小、效率更高。

图表 71 OPTIMUS 膝关节设计



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，华安证券研究所整理

2) **手部**：Optimus 的手拥有 6 个执行器和 11 个自由度，其中拇指有三个自由度（可弯曲和侧摆），其余手指两个自由度；同时，采用无法反向驱动的指尖驱动器，实现类似人类手指不能进行反向转动的设计。

为了让机器手像人手一样拥有感知系统，Optimus 的手部搭载力敏传感器和触觉传感器等大量传感器，拥有自适应的抓握角度、20 磅（9 公斤）负荷，具备工具使用能力和小物件精准抓握能力等

图表 72 OPTIMUS 手部设计



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，华安证券研究所整理

2. 借鉴汽车研发经验。

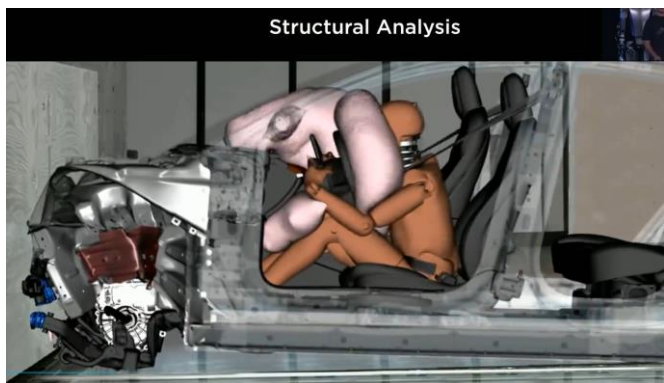
马斯克曾说“当你解决自动驾驶，你就能解决现实世界中的人工智能”，因此，Optimus 的主要研发逻辑就是大量借鉴汽车研发经验。例如：

1) 借鉴汽车碰撞模拟软件，为 Optimus 编写跌倒测试软件，确保机器人在摔跤的时候不会受到过度损伤；

2) 利用汽车大规模零件的生产经验，为 Optimus 挑选尽可能同时保证成本和效率的原材料（不用碳纤维、钛合金是因为像肩膀这样的易损部位，制造和维修成本太贵）；

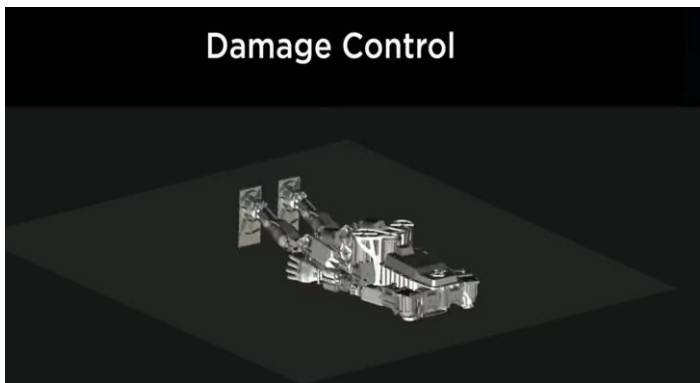
3) 制造并量产 Optimus 的中心思想, 也和智能汽车类似, 即减少线束长度、计算和电子控制单元中心化等。

图表 73 汽车碰撞模拟软件



资料来源: 特斯拉 AI Day 2022, 华安证券研究所

图表 74 Optimus 编写跌倒测试软件

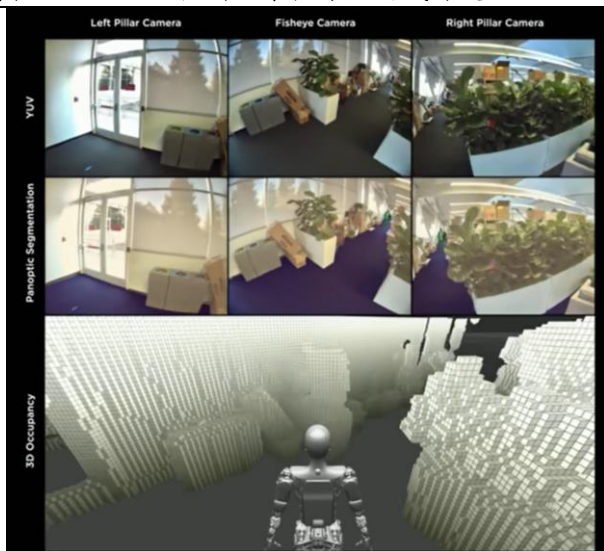


资料来源: 特斯拉 AI Day 2022, 华安证券研究所

3. 复用特斯拉自动化驾驶研究成果。人形机器人与自动驾驶类似, 同样需要经过传感器收集数据、感知算法、规划算法、控制算法、执行器执行任务等过程, 因此 Optimus 可大量复用特斯拉在自动化驾驶领域的研究成果。

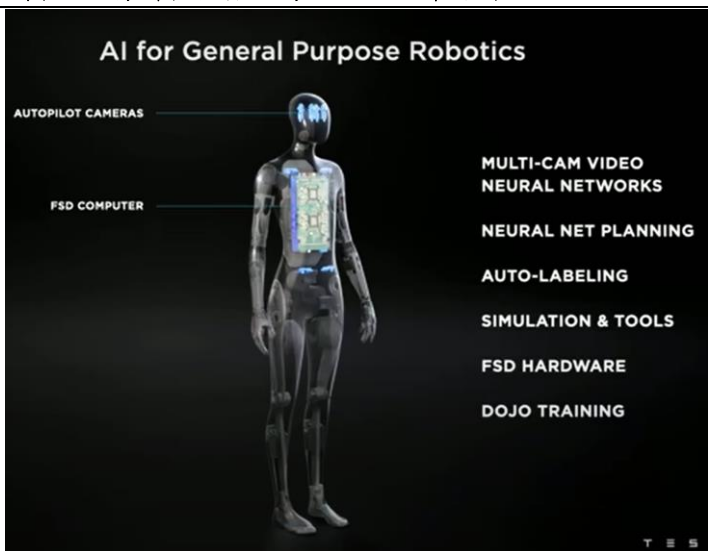
Optimus 可复用的自动化驾驶研究成果包括神经网络算法 (感知+规控)、自动标注系统 (需要重新收集训练数据)、FSD 硬件设施 (FSD 芯片)、Dojo 训练平台等。其中, 感知侧, Optimus 与汽车一样, 同样采用纯视觉路线, 使用三颗摄像头 (一个前置鱼眼摄像头, 左右各一个摄像头), 在采集信息后通过其胸腔的 FSD 芯片处理信息。

图表 75 OPTIMUS 使用三个摄像头完成行走



资料来源: 特斯拉 AI Day 2022, 华安证券研究所

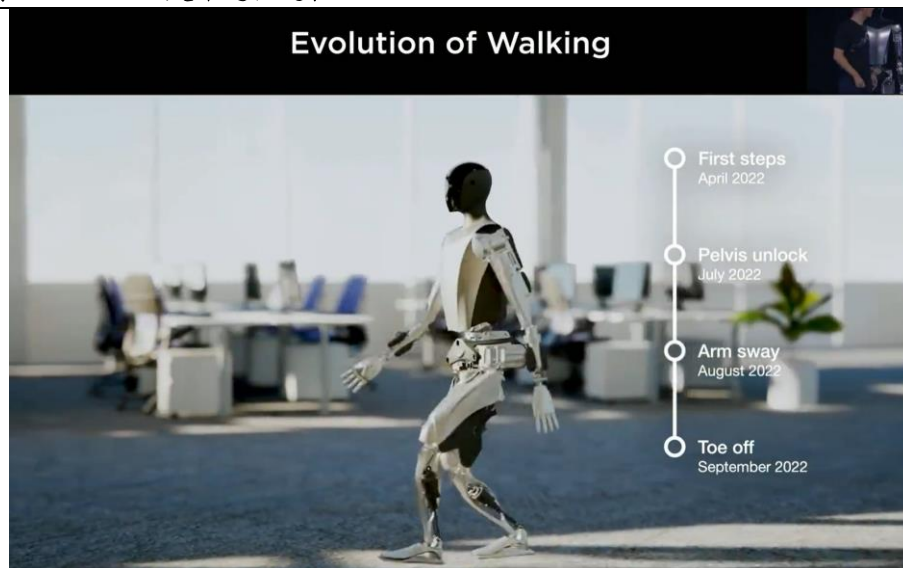
图表 76 特斯拉机器人与 FSD 软硬件通用



资料来源: 特斯拉 AI Day 2021, 华安证券研究所

基于特斯拉在自动化驾驶领域的研究成果, Optimus 的进化非常迅速。2022 年 4 月, Optimus 迈出第一步; 2022 年 7 月, Optimus 学会用骨盆来保持平衡; 2022 年 8 月, Optimus 开始让手臂发挥作用; 2022 年 9 月, Optimus 的脚趾也派上了用场。随着 Optimus 将更多的关节利用起来并加以训练, 它的移动速度有了明显提升。

图表 77 OPTIMUS 走路进化过程

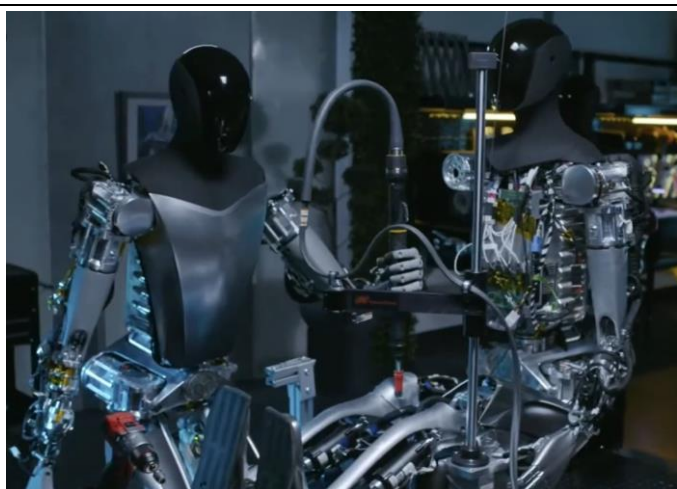


资料来源：特斯拉 AI Day 2022，华安证券研究所整理

3.1.3 2023 年 3 月：发布 Optimus Gen 1

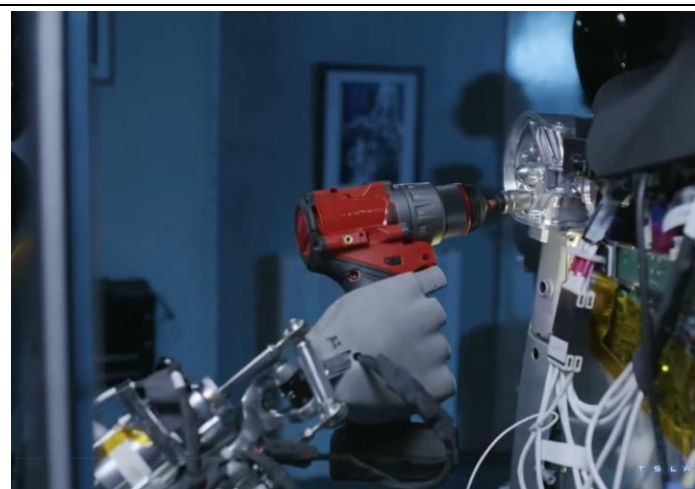
2023 年 3 月的 Investor Day 上，特斯拉正式发布 Optimus Gen 1（有外壳）。历时 5 个月开发，视频中显示人形机器人可以实现独立的直立行走（22 年 9 月，原型机可行走，加上外壳后由于重力改变，无法行走），且能在另一台机器人上实现装配任务，手指关节可满足抓取电动工具、螺丝、覆盖在相框上的布等任务要求。

图表 78 OPTIMUS 在装配另一台 OPTIMUS



资料来源：特斯拉 Investor Day 2023，华安证券研究所

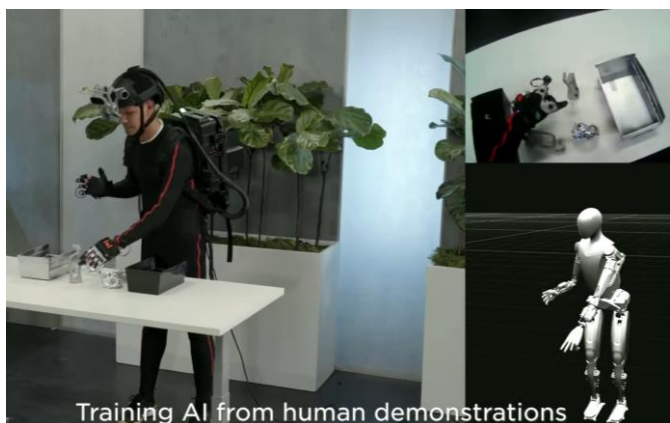
图表 79 OPTIMUS 抓取电动工具作业



资料来源：特斯拉 Investor Day 2023，华安证券研究所

2023 年 5 月的股东大会上，特斯拉发布 Optimus Gen 1 的最新演示视频。视频显示，Optimus 人形机器人已经拥有电机扭矩控制、环境探索与记忆、基于人类跟踪运动的 AI 训练以及物体操纵能力，也展示了其基于端到端学习人类行为的过程。同时，马斯克表示，Optimus 上所有的执行器、电子设备等都是特斯拉自主设计的，并表示未来人形机器人需求将远超汽车，特斯拉的长期价值可能来自于 Optimus。

图表 80 OPTIMUS 在学习人类



资料来源：特斯拉 2023 股东大会，华安证券研究所

图表 81 学习后 OPTIMUS 独立完成抓取任务

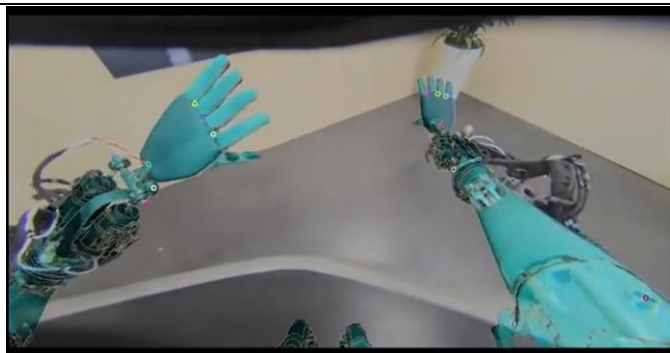


资料来源：特斯拉 2023 股东大会，华安证券研究所

2023 年 9 月，Optimus 再次发布重大更新。视频显示，Optimus 仅用特斯拉纯视觉系统和关节位置编码器，就可以精准的确定其肢体空间中的准确位置。经过精确的自校准，Optimus 现在可以更高效的学习各种任务。

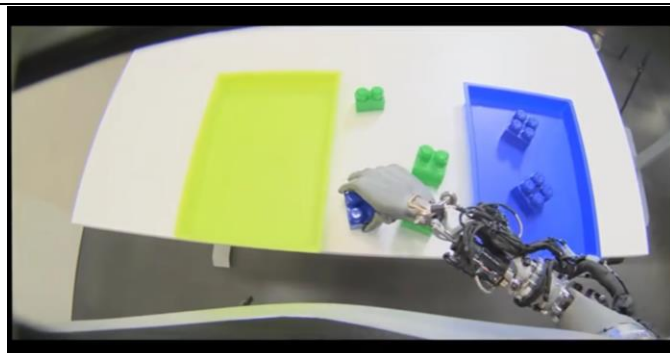
例如，Optimus 能够完全自主的按颜色对色块进行分类，在旁边人的干扰下，它也可以继续完成工作，Optimus 还展示了其自我纠正的能力（把倒下的方块重新扶起）；在这次视频中，还展示了 Optimus 做瑜伽的能力，可见其自平衡能力有显著提升。

图表 82 使用视觉系统和关节位置编码器校准位置



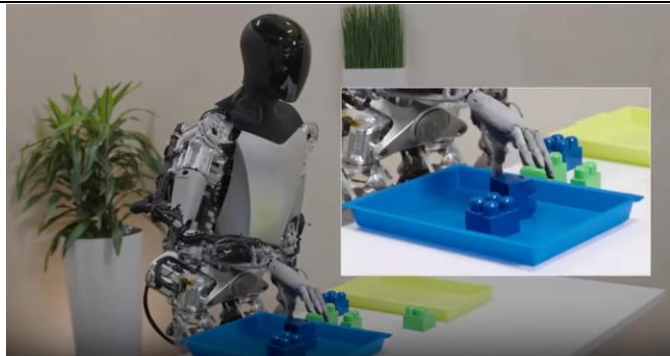
资料来源：Tesla Optimus 官方账号，华安证券研究所

图表 83 OPTIMUS 按颜色对色块进行分类



资料来源：Tesla Optimus 官方账号，华安证券研究所

图表 84 Optimus 自我纠正（把倒下的方块重新扶起）



资料来源：Tesla Optimus 官方账号，华安证券研究所

图表 85 OPTIMUS 做瑜伽



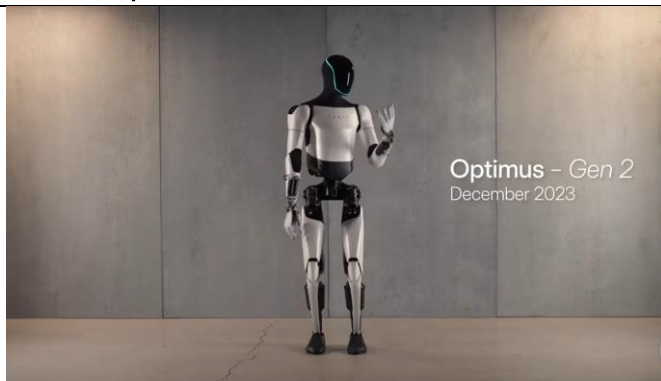
资料来源：Tesla Optimus 官方账号，华安证券研究所

3.1.4 2023 年 12 月：发布 Optimus Gen 2

2023 年 12 月，特斯拉发布 Optimus Gen 2 的展示视频。采用了全部由特斯拉自主设计和制造的执行器和传感器，颈部有 2 个自由度驱动、手部的 11 个自由度响应更快、拥有足部力/扭矩传感器、铰接式脚趾触觉传感器等。

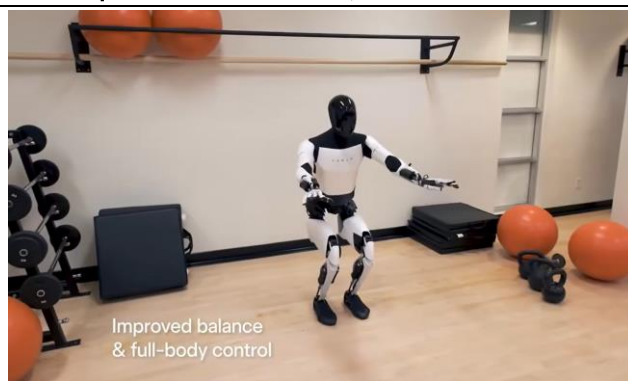
整体外观设计更加精细，执行器集成电子和线束，重量减轻了 10 公斤、行走速度提高了 30%；平衡感和身体控制能力得到改善，视频中演示了其做深蹲的动作；此外，Optimus Gen 2 的手部关节全新升级，活动更加自然，而且所有的手指均搭载触觉传感器，能更精准地抓握细小易碎物品（如鸡蛋等）。

图表 86 Optimus Gen 2



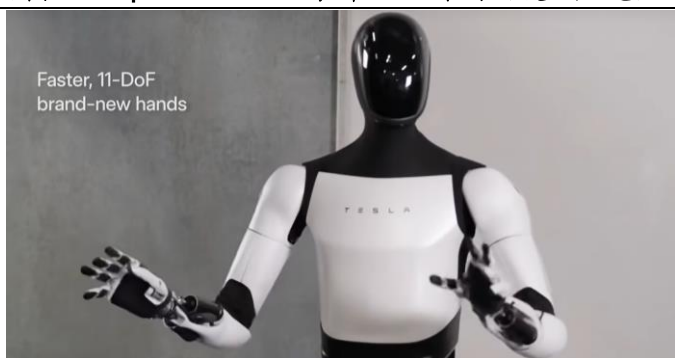
资料来源：Tesla Optimus 官方账号，华安证券研究所

图表 87 Optimus Gen 2 做深蹲



资料来源：Tesla Optimus 官方账号，华安证券研究所

图表 88 Optimus Gen 2 手部的 11 个自由度响应更快



资料来源：Tesla Optimus 官方账号，华安证券研究所

图表 89 Optimus Gen 2 抓鸡蛋（右侧显示手指压力）



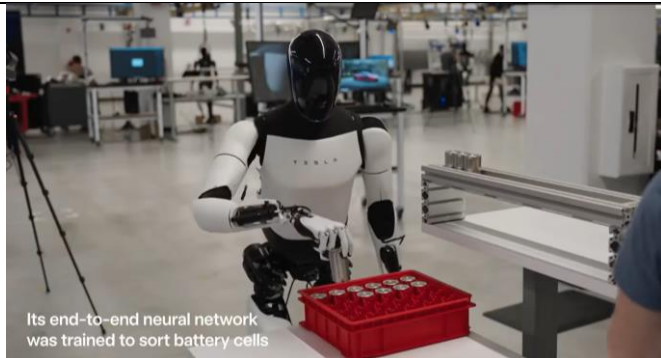
资料来源：Tesla Optimus 官方账号，华安证券研究所

2024 年 5 月，特斯拉发布视频展示了 Optimus Gen 2 的最新进展。视频显示，Optimus 的端到端神经网络经过训练，能够从传送带上捡起 4680 型电池，并准确地将它们放置在电池托盘中。这个端到端神经网络利用机器人自身的 2D 摄像头以及触觉和压力传感器的数据，直接产生控制关节的序列，网络完全在机器人 FSD 计算机上运行，由机器人的电池供电。

在插入电池的过程中需要非常精确的动作，且容错率很低，如果出现错误，Optimus 会自动纠错；插入一个槽位后，神经网络会自动定位下一个空闲槽位；分拣的过程中，神经网络驱动着 Optimus 的上半身，Optimus 利用它的腿保持平衡。

目前特斯拉已在一家工厂部署了多个 Optimus 机器人，它们每日在真实的生产环境中接受测试并不断改进，人工干预率越来越低。

图表 90 Optimus Gen 2 分拣电池



资料来源：Tesla Optimus 官方账号，华安证券研究所

图表 91 Optimus Gen 2 的摄像头视角



资料来源：Tesla Optimus 官方账号，华安证券研究所

24Q2 业绩会上，公司表示，Optimus 机器人已经在工厂中执行任务，预计 25 年年初开始生产并限量生产；预计 25 年年底将生产几千个 Optimus 机器人并执行工作；2026 年将大幅提高生产，提供给外部客户。

3.2 Optimus 未来能做成什么？

3.2.1 需求侧（雇主）有无动力使用人形机器人？

人形机器人优先适配标准化、高时薪、高危险工种。美国劳工局数据显示，23 年 5 月美国建筑和开采、安装和维修行业、运输和物料搬运的时薪分别为 29.57、28.13、19.26 美元，而这 3 个行业的工作性质普遍具有标准化、高时薪性质，均具备被人形机器人替代的空间。

我们先来测算，对于这 3 个行业的雇主而言，使用人形机器人替代人类员工是否具有经济性。

1. 雇佣人类员工：1 单位产出，雇主需要支付\$25

时薪：美国劳工局数据显示，23 年 5 月美国建筑开采、安装维修、运输和物料搬运 3 个行业的平均时薪为 25 美元；

1 单位产出对应薪水：假设人工作 1 小时，产出 1 单位成果，则雇佣一名人类员工，1 单位产出需要支付薪水\$25；

每天工作时长：美国劳工局数据显示，23Q3 每周工作 32.7 小时，即每天工作 6.54 小时；

每年工作天数：每年 52 周，每周 5 个工作日，其中 15 天法定假、10 天年假；即每年工作天数为 235 天，每年发工资天数为 260 天；

年成本：雇佣一名人类员工，每年支付\$4.29 万。

2. 中期：1 单位产出，雇主需要支付\$11.4

年成本：马斯克曾表示，Optimus 远期单价有望降低至 2 万美元。假设中期人形机器人平均售价为 4 万美元、5 年折旧，每年维修保养费为购买价的 10%，则年均成本为\$1.2 万；

每天工作时长：考虑到目前人形机器人续航时间为 2-6 小时，假设中期情况下，扣除充电时间，人形机器人每天工作 10 小时；

每年工作天数：假设扣除停电、维修等突发状况，每年工作 350 天；

时薪：年成本除以总工时得到，人形机器人时薪为\$3.4

1 单位产出对应薪水：假设中期情境下，人形机器人的工作效率是人类员工的 30%，则一名人形机器人产生 1 单位产出需要雇主需要支付\$11.4。

3. 远期：1 单位产出，雇主需要支付\$1.3

年成本：马斯克曾表示，Optimus 远期单价有望降低至 2 万美元。假设远期人形机器人平均售价为 2 万美元、5 年折旧，每年维修保养费为购买价的 10%，则年均成本为\$0.6 万；

每天工作时长：假设扣除充电时间，人形机器人每天工作 18 小时；

每年工作天数：假设扣除停电、维修等突发状况，每年工作 360 天；

时薪：年成本除以总工时得到，人形机器人时薪为\$0.9

1 单位产出对应薪水：假设远期情境下，人形机器人的工作效率是人类员工的 70%，则一名人形机器人产生 1 单位产出需要雇主需要支付\$1.3。

可见，若人形机器人单价降至一定水平，且电池续航能力持续提升，其对于雇主而言，具有较大的吸引力。

图表 92 人工 vs 中期情境下人形机器人 vs 远期情境下人形机器人 1 单位产出对应薪水 (\$)

	人工	备注	中期	备注	远期	备注
1 单位产出对应薪水 (\$)【可比指标】	25.0	最终算出，人产生 1 单位产出雇主需要支付\$25	11.4	最终算出，中期人形机器人产生 1 单位产出雇主需要支付\$11.4	1.3	最终算出，中期人形机器人产生 1 单位产出雇主需要支付\$1.3
工作效率	1.0	假设人工作 1 小时，产出的成果为 1	0.3	假设中期人形机器人工作 1 小时，产出的成果为 0.3	0.7	假设中期人形机器人工作 1 小时，产出的成果为 0.7
时薪 (\$)	25.0	建筑开采、安装维修、运输和物料搬运的平均时薪	3.4	年成本除以总工时得到	0.9	年成本除以总工时得到
每天工作时长	6.6	美国劳工局数据显示，23Q3 每周工作 32.7 小时	10	假设扣除充电时间，每天工作 10 小时	18	假设扣除充电时间，每天工作 18 小时
每年工作天数	235	52 周，每周 5 个工作日；15 天法定假、10 天年假	350	假设扣除停电、维修等突发状况，每年工作 350 天	360	假设扣除停电、维修等突发状况，每年工作 360 天
年成本 (\$)	42900	平均时薪*带薪工时得到	12000	假设人形机器人售价 \$40000，5 年折旧，每年维修保养费占总成本 10%	6000	假设人形机器人售价 \$20000，5 年折旧，每年维修保养费占总成本 10%

资料来源：美国劳工局，华安证券研究所测算

3.2.2 供给侧（生产者）有无动力生产人形机器人？

论证完人形机器人对于需求方（雇主）的吸引力，再来论证其对于供给侧的吸引力，即人形机器人市场空间测算。

从渗透顺序来讲，应该是先 TO B、再 TO C，因为相较于 C 端场景，B 端工业场景更通用、可控。to B 工业场景中，汽车制造的渗透会更快，因为汽车制造在冲压、焊接、涂装环节，实现了 80%-90%的自动化率；在总装环节，虽然大部分工作依旧需要人力解决，但其中不可避免地包含部分重复性重体力劳动、对人体有害的劳动工种。因此，从 24 年开始，人形机器人陆续涌入车厂：

24 年 1 月，Figure AI 宣布与宝马达成商业合作协议，计划将人形机器人 Figure 01 引入宝马的美国制造工厂；24 年 2 月，优必选工业人形机器人 WalkerS 进入蔚来第二先进制造基地总装车间进行实地培训，与人类协作完成汽车装配及质量检查作业；24 年 3 月，机器人初创公司 Apptikon 宣布与奔驰合作，将在奔驰美国得州奥斯汀工厂引入人形机器人 Apollo；24Q2 业绩会上，特斯拉表示，Optimus Gen 2 已经在特斯拉工厂中执行任务，预计 2026 年将大幅提高生产，提供给外部客户。其中，优必选表示，目前已经拿到超 500 台的意向订单；智元机器人表示，预

计双足人形机器人 10 月起量产，年内发货 200 台。

考虑到美国时薪高于其他地区，因此从地区来看，人形机器人预计将先替代美国的工厂劳动力，所以我们先预测美国市场的 To B 端人形机器人出货量。

假设行业整体量产节奏与特斯拉一样，与 2026 年开启大规模交付，按照美国劳工局公布的各行业就业人数，考虑到各行业工作的标准化程度、危险化程度以及当前员工薪水，我们对 2030 年/2035 年人形机器人对美国各行业的渗透率进行假设，结论是 2030 年美国各人形机器人 To B 端出货量有望达 179 万台，2035 年美国各人形机器人 To B 端出货量有望达 567 万台。

图表 93 人形机器人 2030 年/2035 年对美国就业人员的渗透率

就业人数 (万)	就业人数	2030年渗透率	2030年出货量	2035年渗透率	2035年出货量	备注	
建设	793	2.5%	20	6.0%	48	部分标准化工种渗透率较高	
采矿	56	2.5%	1	9.1%	5	存在一定危险性，渗透率较高	
石油和天然气开采	11	3.0%	0	10.0%	1		
采矿业，石油和天然气除外	18	3.0%	1	10.0%	2		
采矿支持活动	26	2.0%	1	8.0%	2		
制造业	1,280	3.2%	41	12.6%	162	标准化较高、渗透率较高	
耐用品	796	3.4%	27	13.0%	104		
木制品	43	3.0%	1	12.0%	5		
非金属矿物产品	42	3.0%	1	12.0%	5		
初级金属	37	3.0%	1	12.0%	4		
金属制品	143	3.0%	4	12.0%	17		
机械	111	4.0%	4	15.0%	17		
计算机和电子产品	109	4.0%	4	15.0%	16		
电气设备、电器和组件	41	4.0%	2	15.0%	6		
机动车辆、车身和拖车以及零件	100	4.0%	4	15.0%	15		
其他运输设备	71	3.0%	2	12.0%	8	标准化较高、渗透率较高	
家具及相关产品	38	3.0%	1	12.0%	5		
其他制造	63	2.0%	1	8.0%	5		
非耐用品	484	3.0%	15	12.0%	58		
食品和饮料以及烟草产品	202	3.0%	6	12.0%	24	标准化较高、渗透率较高	
纺织厂和纺织产品厂	20	3.0%	1	12.0%	2		
服装、皮革及相关产品	12	3.0%	0	12.0%	1		
纸制品	37	3.0%	1	12.0%	4		
印刷及相关支持活动	38	3.0%	1	12.0%	5		
石油和煤炭产品	11	3.0%	0	12.0%	1		
化工产品	90	3.0%	3	12.0%	11		
塑料和橡胶产品	75	3.0%	2	12.0%	9		
运输和仓储	665	3.0%	20	10.0%	66		仓储渗透率较高，运输更多被自动驾驶替代
农业、林业、渔业和狩猎	142	1.5%	2	5.0%	7		标准化较低、渗透率较低
公用事业	56	1.5%	1	5.0%	3		
批发贸易	601	1.5%	9	5.0%	30		
零售贸易	1,562	1.5%	23	5.0%	78		
行政和废物管理服务	962	1.5%	14	5.0%	48		
住宿和餐饮服务	1,352	1.5%	20	5.0%	68		
信息	305	0.5%	2	1.0%	3		
金融和保险	670	0.5%	3	1.0%	7	标准化低、渗透率低	
房地产和租赁	244	0.5%	1	1.0%	2		
专业、科学和技术服务	1,064	0.5%	5	1.0%	11		
公司和企业管理	251	0.5%	1	1.0%	3		
教育服务	380	0.5%	2	1.0%	4		
医疗保健和社会援助	2,067	0.5%	10	1.0%	21		
艺术、娱乐和休闲	235	0.5%	1	1.0%	2		
合计 (万)	12,684	1.4%	179	4.5%	567		

资料来源：美国劳工局，华安证券研究所整理

值得注意的是，虽然我们认为人形机器人的渗透场景是先 To B、再 To C，但是 To C 的远期空间更大。以智能手机为例，2000 年首款智能手机摩托罗拉 A6188 发布（全球首部具有触摸屏的手机）、2007 年苹果发布，Statista 数据显示，2010 年智能手机对美国人口的渗透率达 20.2%，2015 年渗透率达 59.4%。如果我们将 2026 年人形机器人的量产看作 2000 年首款智能手机摩托罗拉 A6188 的发布，考虑到现在技术发展速度显著快于当年，或许 2035 年人形机器人对美国人口的渗透率有望达 20%，但这仍需持续验证。

4 能源业务：AI 发展对电力需求增加，24 年储能产品部署量至少同比翻倍

4.1 特斯拉能源业务做了什么？

特斯拉能源产品主要包括储能产品、光伏产品（太阳能）和能源软件。其中储能产品包括户储产品 Powerwall、大储产品 Megapack，光伏产品包括 Solar Roof（光伏屋顶）、Solar Panel（太阳能电池板），能源软件包括自动化能源实时交易和控制平台 AutoBidder、能源监控平台 Powerhub。

图表 94 特斯拉在售能源产品



资料来源：特斯拉官网，华安证券研究所整理

4.1.1 储能产品：户储产品 Powerwall + 大储产品 Megapack

2015 年，特斯拉推出家用储能产品 Powerwall 和商用储能产品 Powerpack（现已停产），正式进入储能领域；

2016 年，特斯拉收购户用光伏龙头 SolarCity，进一步整合特斯拉在能源领域的布局，并于当年推出升级版的 Powerwall 2 和 Powerpack 2；

2017 年 2 月，公司由“特斯拉汽车”正式改名为“特斯拉”，意味着汽车不再是特斯拉的唯一业务，公司将进一步迈向能源一体化的业务格局；

2019 年 7 月，特斯拉推出面向公用事业级储能市场的大型储能系统 Megapack，单个 Megapack 系统的容量在 3MW 左右，约为一个集装箱大小，足以满足 3600 户家庭一小时的用电需求；

2023 年 9 月，特斯拉推出 Powerwall 3，将逆变器集成到电池系统的外壳内。

图表 95 特斯拉储能产品

场景	型号	推出时间	容量 (KWh)	最大功率 (KW) (持续)	最大功率 (KW) (瞬时)	重量 (Kg)	尺寸 (H×W×D)
家庭住宅	Powerwall 1	2015 年 4 月	6.4	3.3	2	95	130.2 cm*86.2 cm*18.3 cm
	Powerwall 2	2016 年 10 月	13.5	5	7	114	115.1cm*75.2cm*14.6cm
	Powerwall 2(升级版)	2020 年 11 月	13.5	5.8	10	114	115.1cm*75.2cm*14.6cm
	Powerwall+	2021 年 4 月	13.5	9.6、7	22、10	140	160cm*75cm*16cm
	Powerwall 3	2023 年 9 月	13.5	-	11.5	130	109 cm*61 cm*18 cm
工商业 (已停产)	Powerpack 1	2015 年 4 月	100	-	-	-	218.5 cm*82.2 cm*130.8 cm
	Powerpack 2 (2h)	2016 年 10 月	200	-	-	1622	218.5cm*82.2cm*130.8cm
	Powerpack 2 (4h)	2016 年 10 月	210	55	-	2160	218.5cm* 82.2cm*130.8cm
公用事业 / 发电站	Megapack (2h)	2019 年 7 月	3854	1927	-	30500	7.25 m*2.506 m*1.637 m
	Megapack (4h)	2019 年 7 月	3916	979	-	38100	8.8 m*2.785 m*1.65 m

资料来源：维基百科，特斯拉官网，华安证券研究所

特斯拉在全球有两个 Megafactory，分别坐落于加利福尼亚的 Lathrop（年产能 40GWh）和中国上海（25Q1 投产，预计年产能 40GWh）。

1) Lathrop Megafactory:

是北美最大的公用事业规模电池工厂之一，24Q1 业绩会上，公司表示，Lathrop 工厂已启用第二条总装线，将产能从年初的 20GWh 提升至年底的 40GWh。

2) 上海 Megafactory:

2023 年 4 月 9 日，特斯拉储能超级工厂项目正式落户上海，这是特斯拉在美国本土之外的第一座储能超级工厂；

24 年 5 月，特斯拉上海储能超级工厂正式开工，这是特斯拉在美国本土之外的第一座储能超级工厂，位置临近上海超级工厂。活动现场，特斯拉与临港集团完成中国首批超大型商用储能电池 Megapack 的签约，标志着特斯拉储能在华业务开启新篇章。预计将于 25Q1 投产，投产后超大型储能电池 Megapack 产量将高达 1 万台，储能规模近 40 吉瓦时（1 吉瓦时=1000 兆瓦时），即每小时的发电量达到 4000 万度，相当于上海 5 万户家庭一年的用电量。

24 年 8 月 20 日，特斯拉全球副总裁陶琳表示，上海储能超级工厂建设进度已达 45% 左右。同时特斯拉一直在提高位于加利福尼亚州拉斯罗普的 40GWh Megapack 工厂的产量。

图表 96 上海储能工厂完工示意图



资料来源：IT 之家，华安证券研究所

图表 97 上海储能工厂实际进度



资料来源：IT 之家，华安证券研究所

Megapack 助力特斯拉成为全球市场份额第一的电池储能系统集成商。根据 Wood Mackenzie 《2024 年全球电池储能系统集成商排名》报告，由于特斯拉拥有储能行业最垂直整合的供应链（从制造硬件到提供储能解决方案），使其能够快速向客户提供持续改进和新功能，并帮助客户在整个生命周期内维护储能资产，2023 年特斯拉全球储能市占率达 15%，取代阳光电源成为电池储能系统 (BESS) 集成商市场的份额第一的生产商。

图表 98 2023 年全球电池储能系统集成商排名



资料来源：Wood Mackenzie，华安证券研究所整理

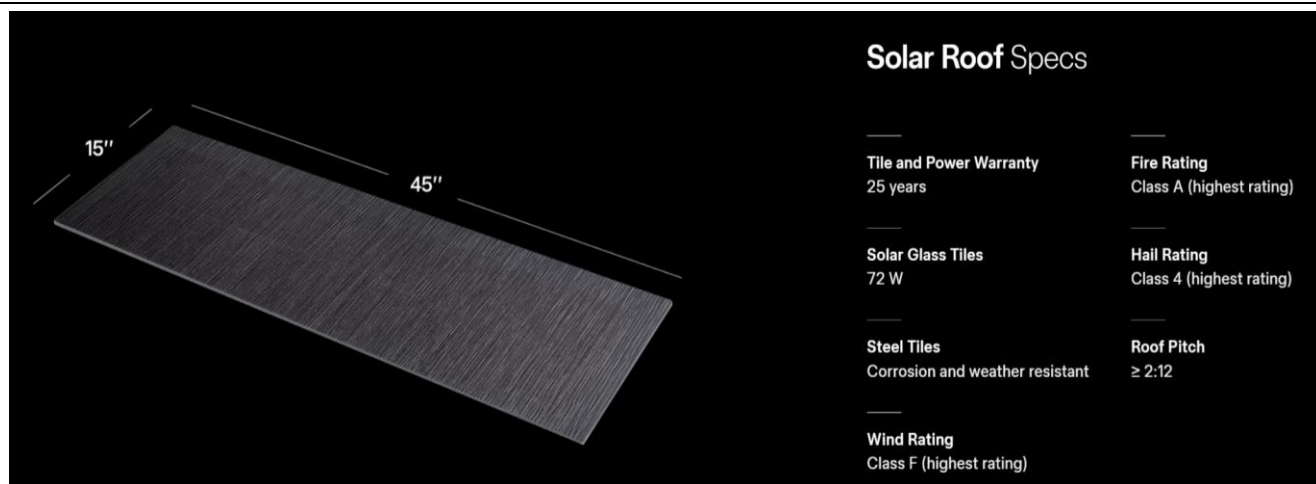
4.1.2 光伏（太阳能）产品：太阳能屋顶+太阳能电池板

特斯拉光伏产品主要包括 Solar Roof（太阳能屋顶）和 Solar Panel（太阳能电池板）。其中，Solar Roof 为 BIPV（光伏一体化建筑）产品，Solar Panel 为 BAPV（附着在建筑物上的太阳能光伏发电系统）产品。

2017 年，特斯拉首次推出 BIPV 屋顶瓦片产品 Solar Roof，但由于成本过高与安装难度过大，未实现大规模应用；

2019 年 10 月，特斯拉推出第三代光伏屋顶 Solar Roof V3，成本下降 40%，安装速度、功率密度、转换效率等也有大幅提升，初始投资与全生命周期内的经济性初显，具备大规模推广条件，引发 BIPV 热潮。

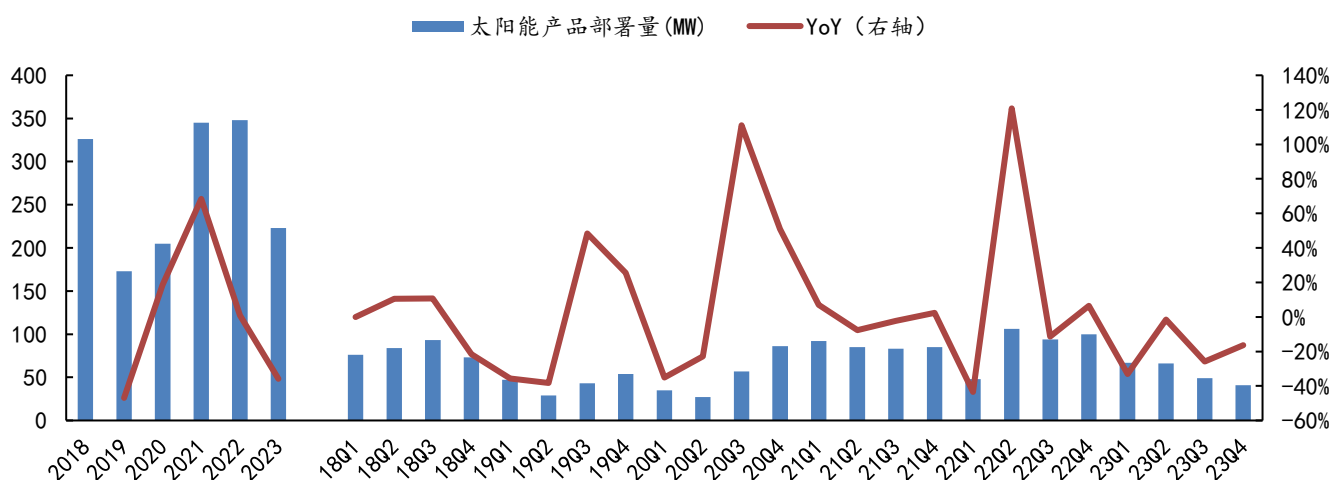
图表 99 特斯拉 SOLAR ROOF 产品规格



资料来源：特斯拉官网，华安证券研究所整理

2019 年到 2021 年，受到 Solar Roof V3 带动，特斯拉光伏系统出货量持续增长。特斯拉曾在 2019 年底表示，目标每周生产 1000 套太阳能屋顶，并将在 2020 年上半年实现每周安装 1000 套。但 Wood Mackenzie 数据显示，由于太阳能屋顶的渗透率较低以及产品竞争激烈（GAF 等老牌屋顶制造公司具有深厚的优势），截至 2023 年 3 月，特斯拉太阳能屋顶在美国的累计安装量为 3000 个，远低于公司目标。公司公告显示，2023 年公司太阳能部署量达 223MW，同比下降 35.9%。

图表 100 特斯拉太阳能产品部署量及同比变化



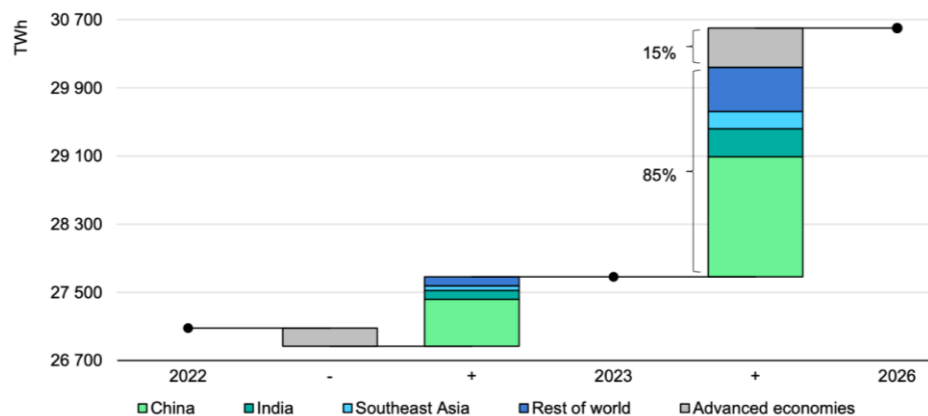
资料来源：特斯拉公告，华安证券研究所整理

4.2 特斯拉储能业务做对了什么？

算力的尽头是电力，储能业务有望受益于 AI 的快速发展。在博世互联 2024 大会上，马斯克提到 AI 的发展速度前所未见，每过 6 个月的时间，算力就会增加 10 倍，远超摩尔定律每 18 个月翻番的速度，预计两年内将由缺硅变为缺电；国际能源署 (IEA) 预计未来三年全球电力需求预计将以年均 3.4% 的速度快速增长。

图表 101 2022-2026 全球电力需求变化

Year-on-year change in electricity demand by region, 2022-2026



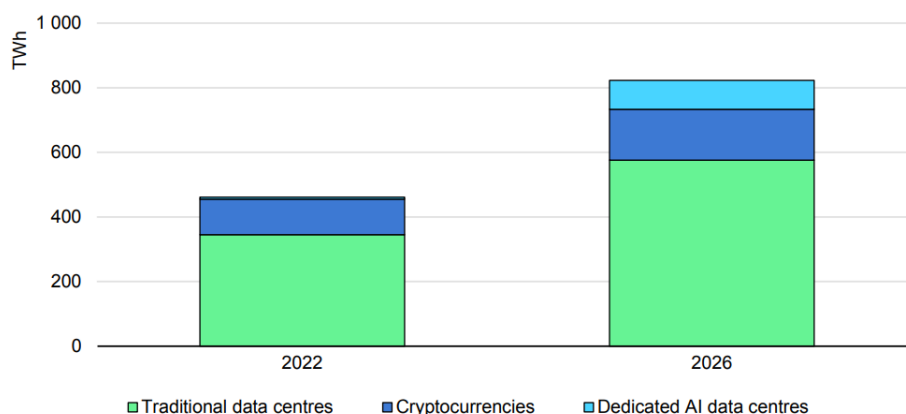
资料来源：IEA《Electricity 2024》，华安证券研究所整理

AI 是电力需求增量的主要驱动因素。国际能源署 (IEA) 数据显示，普通谷歌搜索的平均电力需求为 0.3Wh，而 OpenAI 的 ChatGPT 每次搜索所需 2.9Wh，目前全球每天约需求 90 亿次搜索，每年将会新增近 10TWh 的电力；未来如果在谷歌等搜索工具中全面实施人工智能，搜索所需电力需求可能会增加十倍。

同时，国际能源署 (IEA) 数据显示，2023 年，英伟达的出货量为 100000 台，平均每年耗电 7.3TWh，到 2026 年，人工智能产业预计将呈指数级增长，耗电量至少是 2023 年需求量的 10 倍。

图表 102 22 年和 26 年传统数据中心、AI 数据中心和加密货币的电力需求预计

Estimated electricity demand from traditional data centres, dedicated AI data centres and cryptocurrencies, 2022 and 2026, base case



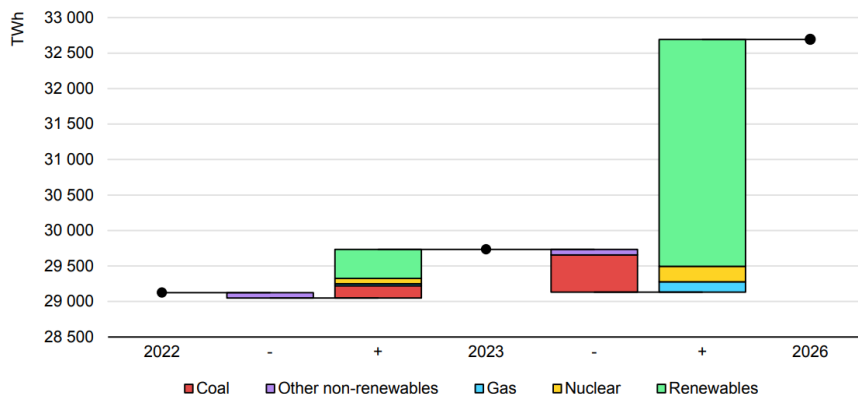
资料来源：IEA《Electricity 2024》，华安证券研究所整理

低排放能源（包括可再生能源和核能等）将满足未来三年全球电力需求的全部增长。根据 IEA 预测，低排放能源（包括可再生能源和核能等）将满足未来三年全

球电力需求的全部增长，预计 2025 年初，可再生能源发电量将超过燃煤发电量，占全球总发电量的三分之一以上；预计到 2026 年低排放能源将占全球发电量的近一半。

图表 103 2022-2026 年全球电力来源变化

Changes in global electricity generation, 2022-2026

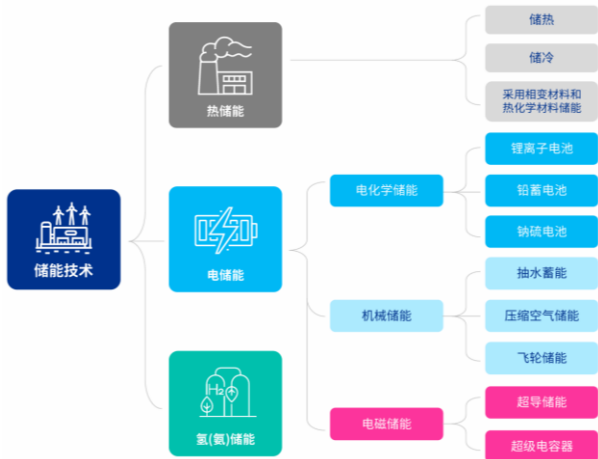


资料来源：IEA 《Electricity 2024》，华安证券研究所整理

储能设备将与可再生能源协同增长。电力即发即用，特别是风电、光伏发电具有随机性、间歇性、波动性特点，而配储可以平滑电力波动性、减少资源浪费，因此为保障电网安全和供电可靠性，发展各类储能至关重要。

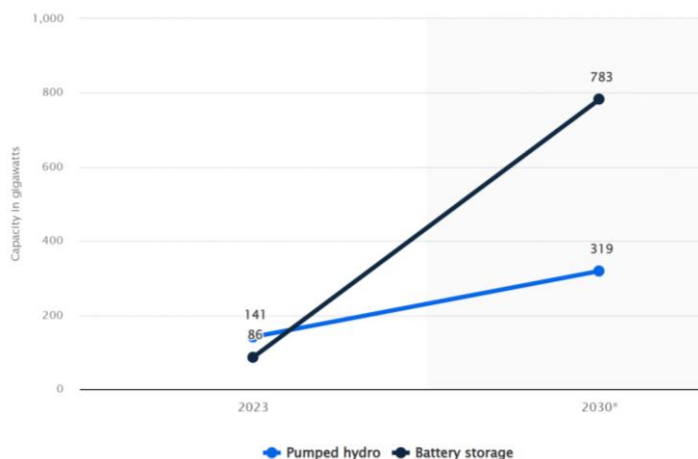
由于全球电力需求增加、发电结构中可持续能源占比提升、电储能市场规模随着可持续能源电力的增长而增长，2023-2030 年电储能容量的 CAGR 高达 37.1%。储能产品包括热储能、电储能、氢（氨）储能，其中，电储能产品应用较为广泛，包括电化学储能（如特斯拉储能产品）和机械储能（如抽水储能）。Statista 数据显示，2023 年全球抽水储能容量和电池储能容量分别为 141GWh、86GWh，2030 年全球抽水储能容量和电池储能容量分别为 319GWh、783GWh，CAGR 分别为 12.4%、37.1%。

图表 104 储能产品分类



资料来源：KPMG，华安证券研究所

图表 105 2023、2030 年全球抽水储能容量和电池储能容量

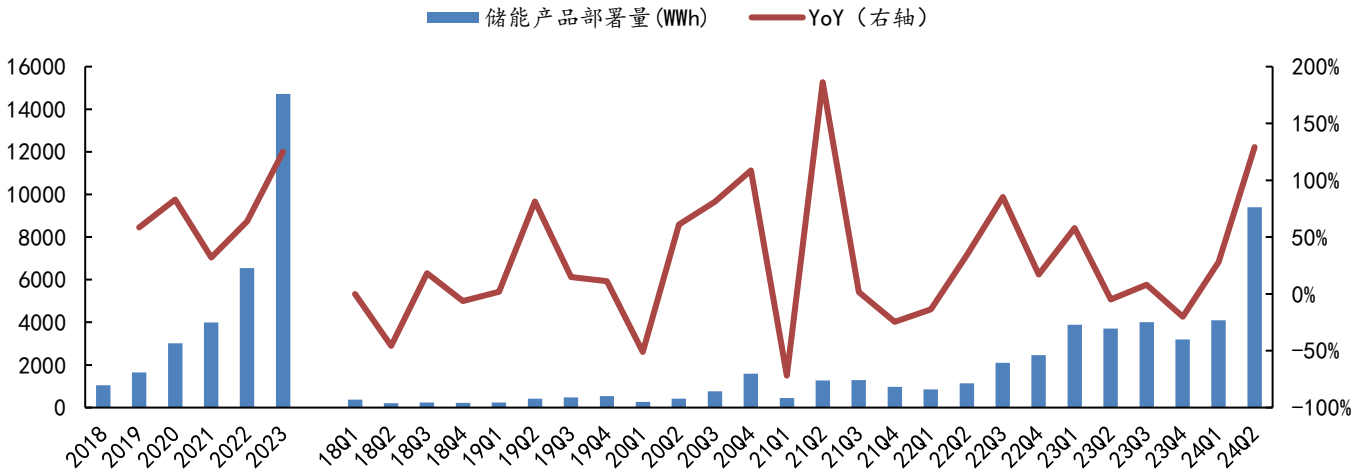


资料来源：Statista，华安证券研究所

特斯拉作为电池储能市场的头部玩家，储能业务有望保持快速增长。正如上文提到，Wood Mackenzie 《2024 年全球电池储能系统集成商排名》报告显示，2023 年全球电池储能市场中特斯拉市占率为全球第一，高达 15%，并呈现增长态势。由于电储能行业市场规模在持续增长、特斯拉市占率也在持续提升，24Q2 特斯拉能源装

机量达 9.4GWh (yoy +158%)；24 年 6 月的年度股东大会上，公司表示，储能产品的装机量将保持增长态势，24 年装机量有望同比增长 200-300%。

图表 106 特斯拉储能产品部署量及同比变化率



资料来源：特斯拉公告，华安证券研究所整理

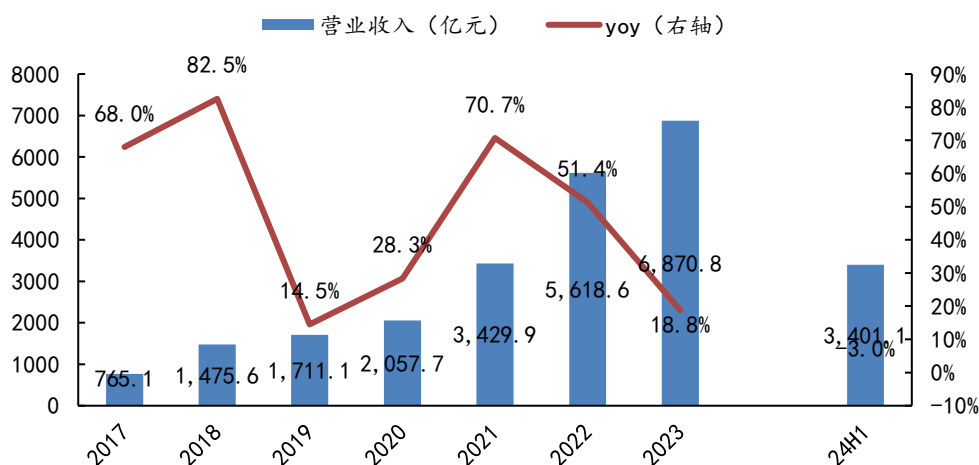
5 盈利预测与估值分析

5.1 财务指标

1. 营业收入：

2017-2023 年，特斯拉营业收入持续高增。2017-2023 年依次取得总营收 765.06/1,475.57/1,711.07/2,057.72/3,429.92/5,618.60/6,870.79 亿元，同比增长 67.98%/82.51%/14.52%/28.31%/70.67%/51.35%/18.80%。24H1 由于红海航运受阻、柏林工厂纵火袭击以及全球汽车销量面临压力，公司实现营业收入 3401.12 亿元，同比下降 3.02%。

图表 107 2017-24H1 公司营业收入及同比增速

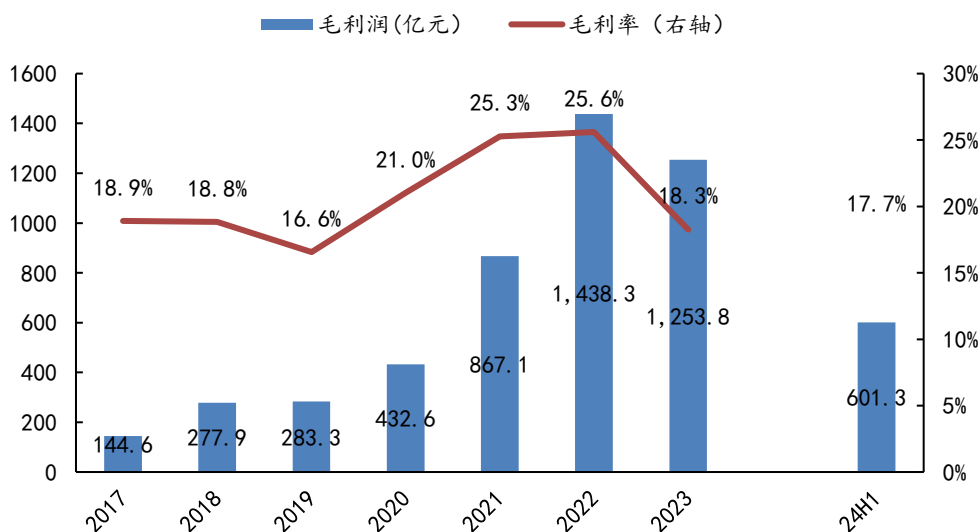


资料来源：公司财报，华安证券研究所整理

2. 盈利能力：

毛利润：2017-2022 年公司毛利润分别为 144.60/277.91/283.28/432.61/867.06/1,438.27/1,253.84 亿元，毛利率分别为 18.9%/18.8%/16.6%/21.0%/25.3%/25.6%/18.3%；2024H1 公司毛利润为 601.29 亿元，毛利率为 17.7%。

图表 108 2017-24H1 公司毛利润及毛利率

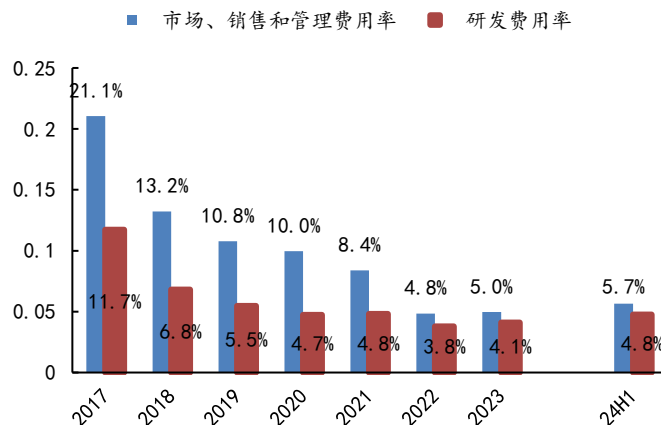
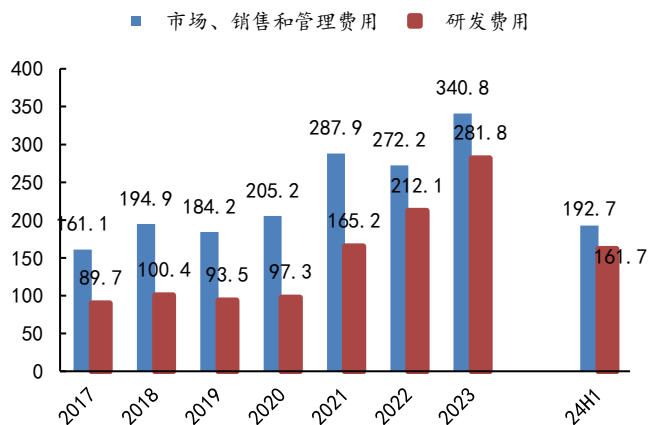


资料来源：公司财报，华安证券研究所整理

期间费用：2017-2023 年，公司市场、销售和管理费用率和研发费用率逐年递减。2022 年以来，公司市场、销售和管理费率稳定在 5%左右，研发费率稳定在 4%左右，2024 年随着公司在 AI 等技术领域加大投入以及包括专业服务在内的员工和劳动力成本增加，导致公司市场、销售和管理费用率和研发费用率出现小幅增长。

图表 109 2017-24H1 特斯拉期间费用（亿元）

图表 110 2017-24H1 特斯拉期间费用率



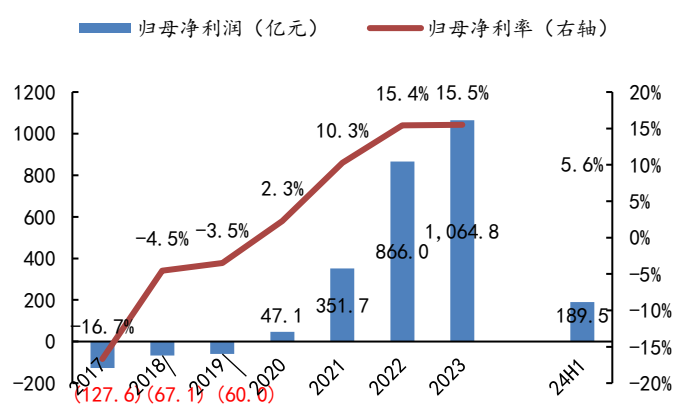
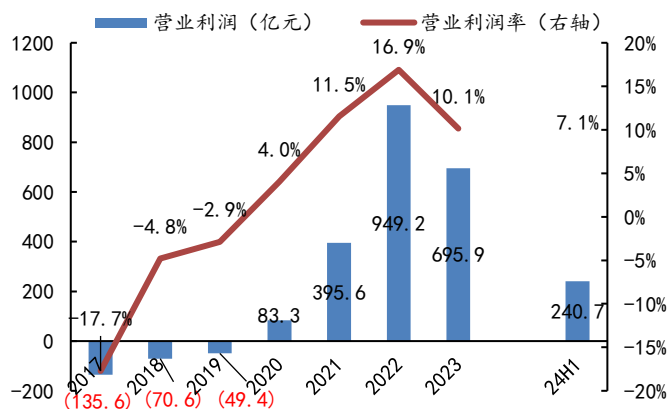
资料来源：特斯拉公告，华安证券研究所

资料来源：特斯拉公告，华安证券研究所

利润水平：2023 年由于汽车平均售价较低，拉低了当年营业利润，营业利润 695.86 亿元，营业利润率 10.13%；实现归母净利润 1064.77 亿元，归母净利率 15.5%；2024 年上半年由于红海航运受阻、柏林工厂纵火袭击以及全球汽车销量面临压力，公司 24H1 实现营业利润 240.69 亿元，营业利润率 7.08%，实现归母净利润 189.46 亿元，归母净利率 5.57%。

图表 111 2017-24H1 特斯拉营业利润及营业利润率

图表 112 2017-24H1 归母净利润及归母净利率



资料来源：特斯拉公告，华安证券研究所

资料来源：特斯拉公告，华安证券研究所

5.2 盈利预测

由于 Optimus 将于 2026 年开始量产，仍未开启商业化，在不考虑人形机器人收入、不考虑 Robotaxi 收入（暂定于 24 年 10 月 10 日推出），考虑 FSD 收入、考虑 25 年发布新车型的情况下，预计 2024-2026 年公司实现收入 996.25/1162.32/1426.71 亿美元，同比增长 2.9%/16.7%/22.7%；考虑到 2024 年公司在 AI 等技术领域加大投入，导致公司研发费率和销售行政费率小幅增长，且 23Q4 存在大笔所得税退回（57.5 亿美元），导致 23Q4 及 23 年归母净利润为高基数，预计 2024-2026 年公司实现归母净利润 65.69/99.26/140.59 亿美元，同比变动-56.2%/+51.1%/+41.6%。首次覆盖，给予“增持”评级。

24 年收入增幅较小，一方面是因为 24H1 由于红海航运受阻、柏林工厂纵火袭击以及全球汽车销量面临压力；另一方面是因为明年有望推出新车型，因此有购车需求的消费者会等待新车型推出，从而影响 24 年现存车型销量。

24 年利润降幅较大，一方面是因为 23Q4 存在大笔所得税退回（57.5 亿美元），导致 23Q4 及 23 年归母净利润为高基数；另一方面是因为 2024 年公司在 AI 等技术领域加大投入，导致公司研发费用率和销售行政费用率小幅增长。

图表 113 2021-2026 年特斯拉核心财务指标拆分

(USD, million)	2021	2022	2023	2024E	2025E	2026E	24Q1	24Q2	24Q3	24Q4
营业收入	53,823.0	81,462.0	96,773	99,625	116,232	142,671	21,301	25,500	25,931	26,893
YOY	70.7%	51.4%	18.8%	2.9%	16.7%	22.7%	-8.7%	2.3%	11.1%	6.9%
Total automotive revenues	47,232.0	71,462.0	82,419	78,351	89,357	108,417	17,378	19,878	20,046	21,049
YOY	73.42%	51.30%	15.33%	-4.94%	14.05%	21.33%	-12.95%	-6.54%	2.15%	-2.38%
占比	87.75%	87.72%	85.17%	78.65%	76.88%	75.99%	81.58%	77.95%	77.31%	78.27%
Automotive sales	44,125.0	67,210.0	78,509	74,026	84,194	101,924	16,460	18,530	18,926	20,110
YOY	0.0%	52.3%	16.8%	-5.7%	13.7%	21.1%	-12.8%	-9.3%	1.9%	-2.5%
占比	82.0%	82.5%	81.1%	74.3%	72.4%	71.4%	77.3%	72.7%	73.0%	74.8%
Automotive regulatory credits	1,465.0	1,776.0	1,790	2,368	3,134	4,146	442	890	582	455
YOY	0.0%	21.2%	0.8%	32.3%	32.3%	32.3%	-15.2%	215.6%	5.0%	5.0%
占比	2.7%	2.2%	1.8%	2.4%	2.7%	2.9%	2.1%	3.5%	2.2%	1.7%
Automotive leasing	1,642.0	2,476.0	2,120	1,957	2,029	2,348	476	458	539	484
YOY	56.1%	50.8%	-14.4%	-7.7%	3.7%	15.7%	-15.6%	-19.2%	10.1%	-3.2%
占比	3.1%	3.0%	2.2%	2.0%	1.7%	1.6%	2.2%	1.8%	2.1%	1.8%
Energy generation and storage	2,789.0	3,909.0	6,035	10,987	14,696	19,367	1,635	3,014	3,255	3,083
YOY	39.87%	40.16%	54.39%	82.05%	33.76%	31.79%	6.93%	99.73%	108.78%	114.37%
占比	5.18%	4.80%	6.24%	11.03%	12.64%	13.57%	7.68%	11.82%	12.55%	11.46%
Services and other	3,802.0	6,091.0	8,319	10,288	12,180	14,886	2,288	2,608	2,630	2,762
YOY	64.87%	60.21%	36.58%	23.66%	18.39%	22.22%	24.55%	21.30%	0.85%	5.00%
占比	7.06%	7.48%	8.60%	10.33%	10.48%	10.43%	10.74%	10.23%	10.14%	10.27%
毛利润	13,606.0	20,853.0	17,660	17,259	21,291	27,961	3,696	4,578	4,460	4,524
YOY	105.2%	53.3%	-15.3%	-2.3%	23.4%	31.3%	-18.1%	1.0%	-2.6%	1.4%
毛利率	25.28%	25.60%	18.25%	17.32%	18.32%	19.60%	17.35%	17.95%	17.20%	16.82%
Total automotive	29.30%	28.48%	19.45%	17.83%	18.70%	20.05%	18.48%	18.47%	17.42%	17.06%
Energy generation and storage	-4.63%	7.37%	18.91%	24.57%	25.57%	26.57%	24.65%	24.55%	24.55%	24.55%
Services and other	-2.74%	3.46%	5.88%	5.77%	6.77%	7.27%	3.54%	6.40%	6.40%	6.40%
经营利润 (GAAP)	6,523	13,656	8,891	7,209	12,036	17,456	1,171	1,605	2,173	2,260
YOY	227.13%	109.35%	-34.89%	-18.91%	66.94%	45.04%	-56.04%	-33.10%	23.20%	9.50%
经营利润率 (GAAP)	12.1%	16.8%	9.2%	7.2%	10.4%	12.2%	5.5%	6.3%	8.4%	8.4%
归母净利润 (GAAP)	5,519	12,556	14,997	6,569	9,926	14,059	1,129	1,478	1,942	2,019
YOY	665.46%	127.50%	19.44%	-56.20%	51.12%	41.63%	-55.07%	-45.32%	4.82%	-74.53%
归母净利率 (GAAP)	10.3%	15.4%	15.5%	6.6%	8.5%	9.9%	5.3%	5.8%	7.5%	7.5%

资料来源：特斯拉公告，华安证券研究所整理

风险提示：

新车型销售表现不及预期；工厂产能释放不及预期；FSD 渗透率不及预期；自动驾驶及人形机器人技术发展不及预期；关税风险。

分析师与研究助理简介

分析师：金荣，香港中文大学经济学硕士，天津大学数学与应用数学学士，曾就职于申万宏源证券研究所及头部互联网公司，金融及产业复合背景，善于结合产业及投资视角进行卖方研究。2015 年水晶球第三名及 2017 年新财富第四名核心成员。执业证书编号：S0010521080002

分析师：石月昊，对外经济贸易大学国际商务硕士，哈尔滨工业大学国际经济与贸易学士。历经腾讯 IEG Global 及百度 MEG，熟悉泛文娱赛道，主要覆盖视频院线、广告和自动驾驶等领域。执业证书编号：S0010524080002。

重要声明

分析师声明

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，以勤勉的执业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，本报告所采用的数据和信息均来自市场公开信息，本人对这些信息的准确性或完整性不做任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。报告中的信息和意见仅供参考。本人过去不曾与、现在不与、未来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接收任何形式的补偿，分析结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

免责声明

华安证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。本报告由华安证券股份有限公司在中华人民共和国（不包括香港、澳门、台湾）提供。本报告中的信息均来源于合规渠道，华安证券研究所力求准确、可靠，但对这些信息的准确性及完整性均不做任何保证。在任何情况下，本报告中的信息或表述的意见均不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。华安证券及其所属关联机构可能会持有报告中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投资银行服务或其他服务。本报告仅向特定客户传送，未经华安证券研究所书面授权，本研究报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。如欲引用或转载本文内容，务必联络华安证券研究所并获得许可，并需注明出处为华安证券研究所，且不得对本文进行有悖原意的引用和删改。如未经本公司授权，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。本公司并保留追究其法律责任的权利。

投资评级说明

以本报告发布之日起 6 个月内，证券（或行业指数）相对于同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准，A 股以沪深 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；美国市场以纳斯达克指数或标普 500 指数为基准。定义如下：

行业评级体系

- 增持—未来 6 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%以上；
- 中性—未来 6 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；
- 减持—未来 6 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%以上；

公司评级体系

- 买入—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 15%以上；
- 增持—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%至 15%；
- 中性—未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；
- 减持—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%至；
- 卖出—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 15%以上；
- 无评级—因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。