

欢迎感兴趣的投资者与中信 TMT+汽车团队成员进一步沟通：

丁奇/许英博/袁健聪/尹欣驰/杨泽原

## 摘要

### 核心观点：

中国智能电动汽车目前正处在蓬勃发展阶段，今年国内新能源汽车销量有望突破 600 万辆。我们拆解了具有标志性意义的 Model3 标准续航版，对特斯拉的 E/E 架构、三电、热管理、车身等进行了详细深入地分析。我们坚定看好中国智能电动化发展趋势，持续推荐宁德时代、比亚迪、德赛西威等智能电动汽车产业链标的。

■ **域控制器架构：**E/E 架构由分布式转向域控制结构，软硬件实现解耦，是软件定义汽车的关键，特斯拉的 Model3 是域控架构的引领者。1) **车身域：**前左右三个车身采用位置分区而非功能分区，意在降低布线难度，大量采用 HSD 替代继电器；2) **座舱域：**将 T-BOX 集成到座舱域控制器，同时采用了 Intel 的 A3950 芯片，思路更接近游戏平台而非手机；3) **驾驶域：**双 FSD 芯片，NPU 在同等面积下相比 Orin 有更高的性价比，采用 Linux 操作系统更适配 AI 大模型；4) **电控域：**Model3 首创采用 48 颗 SiC MOSFET 替代了 84 颗 IGBT，体积、功耗大幅减小；5) **动力域：**BMS 共管理 2976 节 21700 电池，强大的软件能力实现每节电池充放电的一致性。

■ **线束和连接器：**1) **线束：**线束单车价值量约 2000 元，高压线束是新能源汽车的主要增量，Model3 为了轻量化开始用铝替代铜，低压数据线在域控化进程下将有所减少；2) **连接器：**电动化带来高压连接器增量，智能化带来高速连接器需求，TE（泰科）是 Model3 的核心供应商，国产厂商有望取得突破。

■ **电池：**特斯拉代际技术领先，4680 和 CTC 是后续发展方向。1) **电池设计核心理念在于提升比能量：**由小模组到大模组再到无模组 CTC，电芯尺寸由 1865 到 2170 再到 4680，核心趋势都是减少电池包中非能量的结构件数量，降低成本减少重量，提升续航里程。2) **4680 电池的价值及变化：**4680 通过全极耳、高镍高硅、干电极、CTC 的组合，实现了“能量密度高、倍率高、成本低”的不可能三角。随着模组内电池数量增加、快充需求提升，对于电池包的冷却、导热阻燃要求提升，电池包内冷却管数量增加、冷管长度减少，增加灌封、防火泡棉，保障电池包热稳定性。

■ **三电与热管理：**三电集成度不断提高，热管理率先实现全域打通。1) **三合一提升集成度，双电机实现优势互补：**Model 3/Y 上驱动电机、电机控制器、变速箱三者合一，集成度相比 Model S/X 提高，同时“小三电”和电池包集成，结构紧凑成本更低；单电机版本由感应电机向永磁电机演变，双电机版本向前感应电机后永磁电机布置演进，两种电机在高速低速区优势互补。2) **热管理全域打通，大大提升能量利用效率：**热管理上，通过四通阀、八通阀的应用，由各部分独立的回路，向空调、电池系统、动力系统打通的整车热管理升级，整车热源集成，提升系统的能量利用效率。特斯拉的三电与热管理系统在高集成度方面保持领先，其示范作用将引领行业追赶升级与二次创新。

■ **汽车车身：**轻量化需求铝车身一体压铸成趋势，消费升级天幕玻璃、智能车灯变潮流。1) **车身：**轻量化以满足节能及提高续航要求，以铝代钢是最佳选择，并从 Model Y 开始进行后车身的一体压铸；2) **车灯：**Model3 外饰搭配兼具科技感和美感，车灯选用矩阵式

LED 灯源；**3) 汽车玻璃：**Model3 天幕引领行业趋势，渗透率有望不断提升；**4) 底盘：**采用线控底盘，是高级别自动驾驶必由之路。

■ **风险因素：**新能源汽车增速不及预期、汽车智能化发展不及预期、电池技术路径的不确定性、动力电池上游材料涨价、全球与国内疫情的不确定性

■ **投资策略。**智能汽车的域控化已成趋势，重点推荐域控制器相关公司德赛西威、中科创达。主流车企的车型平台不断升级出新，新能源车的三电和热管理环节处于高速增长期，当前时点建议关注特斯拉、宁德时代、LG 化学等优质整车、电池企业供应链，包括 1. 电池/电机环节的宁德时代、比亚迪（A+H）、欣旺达、鹏辉能源、精达股份、亿华通等，建议关注亿纬锂能；锂电材料的德方纳米、中伟股份、天奈科技、璞泰来、贝特瑞、中科电气、杉杉股份、科达利、新宙邦、厦门钨业等，建议关注恩捷股份、天赐材料；2. 上游设备及资源：赣锋锂业等，关注杭可科技、先导智能；3. 热管理供应链：三花智控（热管理）、银轮股份（热管理）等。**零部件方面**，轻量化领域重点推荐文灿股份、拓普集团、爱柯迪、旭升股份，车灯领域重点推荐星宇股份，汽车玻璃领域重点推荐福耀玻璃，底盘领域重点推荐伯特利、保隆科技、中鼎股份。

## 重点公司盈利预测、估值及投资评级

| 简称   | 代码        | 收盘价    | EPS  |       |       |       | PE  |     |     |     | 评级 |
|------|-----------|--------|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|----|
|      |           |        | 21   | 22E   | 23E   | 24E   | 21  | 22E | 23E | 24E |    |
| 德赛西威 | 002920.SZ | 164.19 | 1.50 | 1.95  | 2.70  | 3.51  | 109 | 84  | 61  | 47  | 买入 |
| 中科创达 | 300496.SZ | 133.74 | 1.52 | 2.21  | 3.01  | 4.08  | 88  | 61  | 44  | 33  | 买入 |
| 瑞可达  | 688800.SH | 143.00 | 1.05 | 1.86  | 2.82  | 4.14  | 136 | 77  | 51  | 35  | 买入 |
| 宁德时代 | 300750.SZ | 533.00 | 6.83 | 10.15 | 17.09 | 23.36 | 78  | 53  | 31  | 23  | 买入 |
| 比亚迪  | 002594.SZ | 338.19 | 1.06 | 2.82  | 4.03  | 7.26  | 319 | 120 | 84  | 47  | 买入 |
| 欣旺达  | 300207.SZ | 31.48  | 0.53 | 0.83  | 1.45  | 1.96  | 59  | 38  | 22  | 16  | 买入 |
| 鹏辉能源 | 300438.SZ | 81.78  | 0.42 | 1.60  | 2.30  | 3.07  | 195 | 51  | 36  | 27  | 买入 |
| 精达股份 | 600577.SH | 5.52   | 0.27 | 0.35  | 0.50  | 0.66  | 20  | 16  | 11  | 8   | 买入 |
| 德方纳米 | 300769.SZ | 382.30 | 4.97 | 10.13 | 15.61 | 23.87 | 77  | 38  | 24  | 16  | 买入 |
| 中伟股份 | 300919.SZ | 147.81 | 1.54 | 3.49  | 5.17  | 7.18  | 96  | 42  | 29  | 21  | 买入 |
| 天奈科技 | 688116.SH | 164.88 | 1.27 | 2.64  | 4.89  | 7.78  | 130 | 62  | 34  | 21  | 买入 |
| 璞泰来  | 603659.SH | 80.25  | 1.25 | 2.19  | 2.94  | 4.29  | 64  | 37  | 27  | 19  | 买入 |
| 中科电气 | 300035.SZ | 26.29  | 0.51 | 1.04  | 1.53  | 2.19  | 52  | 25  | 17  | 12  | 买入 |
| 杉杉股份 | 600884.SH | 30.71  | 1.56 | 1.57  | 1.96  | 2.28  | 20  | 20  | 16  | 13  | —  |
| 科达利  | 002850.SZ | 177.85 | 2.33 | 5.42  | 8.10  | 11.39 | 76  | 33  | 22  | 16  | 买入 |
| 新宙邦  | 300037.SZ | 49.04  | 3.17 | 4.80  | 5.89  | 6.95  | 15  | 10  | 8   | 7   | 买入 |
| 厦门钨业 | 600549.SH | 21.07  | 0.83 | 1.07  | 1.44  | 1.70  | 25  | 20  | 15  | 12  | 买入 |
| 赣锋锂业 | 002460.SZ | 100.02 | 3.64 | 7.54  | 11.78 | 13.39 | 27  | 13  | 8   | 7   | 买入 |
| 三花智控 | 002050.SZ | 29.22  | 0.41 | 0.64  | 0.82  | 0.97  | 71  | 46  | 36  | 30  | 买入 |
| 银轮股份 | 002126.SZ | 11.92  | 0.28 | 0.48  | 0.69  | 1.00  | 43  | 25  | 17  | 12  | 买入 |
| 拓普集团 | 601689.SH | 83.16  | 0.92 | 1.54  | 2.15  | 2.68  | 90  | 54  | 39  | 31  | 买入 |
| 文灿股份 | 603348.SH | 76.45  | 0.37 | 1.23  | 2.03  | 2.82  | 207 | 62  | 38  | 27  | 买入 |
| 爱柯迪  | 600933.SH | 18.02  | 0.36 | 0.67  | 0.91  | 1.14  | 50  | 27  | 20  | 16  | 买入 |
| 旭升股份 | 603305.SH | 33.63  | 0.92 | 1.44  | 1.98  | 2.67  | 37  | 23  | 17  | 13  | 买入 |
| 星宇股份 | 601799.SH | 181.70 | 3.32 | 4.79  | 6.46  | 8.34  | 55  | 38  | 28  | 22  | 买入 |
| 福耀玻璃 | 600660.SH | 41.81  | 1.21 | 1.65  | 2.18  | 2.73  | 35  | 25  | 19  | 15  | 买入 |
| 伯特利  | 603596.SH | 87.95  | 1.24 | 1.54  | 2.23  | 3.07  | 71  | 57  | 39  | 29  | 买入 |
| 保隆科技 | 603197.SH | 54.58  | 1.29 | 1.46  | 2.45  | 3.40  | 42  | 37  | 22  | 16  | 买入 |
| 中鼎股份 | 000887.SZ | 19.94  | 0.73 | 0.84  | 1.01  | 1.17  | 27  | 24  | 20  | 17  | 买入 |
| 移远通信 | 603236.SH | 149.18 | 1.89 | 3.57  | 5.02  | 6.66  | 79  | 42  | 30  | 22  | 买入 |

资料来源：Wind，中信证券研究部预测

注：股价为2022年7月15日收盘价（CNY）

# 目录

|  |    |
|--|----|
| <b>报告源起</b> .....                                  | 9  |
| <b>域控制器：软件定义汽车，迭代决定智能</b> .....                    | 9  |
| 车身域：按位置而非功能进行分区，彻底实现软件定义车身 .....                   | 10 |
| 驾驶域：FSD 芯片和算法构成主要壁垒，NPU 芯片效率更优.....                | 21 |
| 座舱域：特斯拉更多将座舱视为 PC 而非手机 .....                       | 25 |
| 电控域：IGBT 宏图大展，SiC 锋芒初露 .....                       | 29 |
| 动力域：主从架构 BMS 为躯干，精细电池管理为核心 .....                   | 36 |
| <b>线束和连接器：高压线束和连接器是最大增量，集中式 E/E 架构减少线束用量</b> ..... | 43 |
| 线束：架构革新缩短线束长度，轻量化为车厂降本提效关键 .....                   | 43 |
| 连接器：电气化催生增量应用，设计革新持续优化 .....                       | 49 |
| <b>电池：技术代际领先，未来向耐用消费品发展</b> .....                  | 53 |
| 集成方式：小模组→大模组→无模组 CTC，集成度不断提升，降本增效 .....            | 54 |
| 冷却管路设计：蛇形冷却→直线冷却，缩短冷管长度，更快、更充分冷却 .....             | 56 |
| 导热阻燃设计：增加灌封胶与防火泡棉，导热阻燃升级 .....                     | 59 |
| 电芯：从 18650 到 2170 再到 4680，成本降低、续航里程提升 .....        | 60 |
| <b>机电电控：集成度高，持续向高能效优化</b> .....                    | 62 |
| 总成：驱动单元集成度高，系统效率提升 .....                           | 62 |
| 电机：向高功率、低能耗演进，性能和成本持续优化.....                       | 63 |
| 小三电：和电池包集成，空间布局更为紧凑 .....                          | 66 |
| 快充：搭载 V3 大电流超充技术，快充水平持续提高.....                     | 67 |
| <b>热管理：跨域集成，向系统性工程升级</b> .....                     | 68 |
| 拓扑结构：结构持续创新，系统集成逐渐深化.....                          | 68 |
| 电子膨胀阀：热管理精细化管控重要部件，技术壁垒较高 .....                    | 78 |
| 八通阀：热管理系统集成核心部件，回路转换提升效率 .....                     | 79 |
| <b>汽车车身：一体压铸减重，线控底盘提效</b> .....                    | 80 |
| 车身材料及工艺：轻量化协同一体压铸，节能、提效最优解.....                    | 80 |
| 车灯：消费升级、智能化升级两大属性驱动技术迭代.....                       | 83 |
| 汽车玻璃：Model 3 天幕引领行业趋势，渗透率有望持续提升 .....              | 85 |
| 底盘：线控底盘是实现高级别自动驾驶的必由之路 .....                       | 87 |
| <b>风险因素</b> .....                                  | 90 |
| <b>投资策略</b> .....                                  | 90 |

## 插图目录

|  |    |
|--|----|
| 图 1: 奔驰的网络连接及 ECU 架构 .....                     | 10 |
| 图 2: 博世提出的汽车控制 5 域架构 .....                     | 11 |
| 图 3: 特斯拉 model3 的 3 个车身控制器 (红色部分) .....        | 11 |
| 图 4: 三个域控制器按照位置分工 .....                        | 11 |
| 图 5: 前车身域 (FBCM) .....                         | 12 |
| 图 6: 左车身域 (LBCM) 和右车身域 (RBCM) .....            | 12 |
| 图 7: 几个车身域的实景图 .....                           | 12 |
| 图 8: 特斯拉 model3 前车身控制器 (FBCM) 接口功能与位置布局 .....  | 13 |
| 图 9: 前车身控制器 (FBCM) 电路板 .....                   | 14 |
| 图 10: 特斯拉 model3 左车身控制器 (LBCM) 接口功能与位置布局 ..... | 15 |
| 图 11: 左车身控制器 (LBCM) 电路板 .....                  | 15 |
| 图 12: 特斯拉 model3 右车身控制器 (RBCM) 接口功能与位置布局 ..... | 16 |
| 图 13: 右车身控制器 (RBCM) 电路板 .....                  | 17 |
| 图 14: HSD 芯片能够取代继电器与保险丝 .....                  | 17 |
| 图 15: HSD 芯片在中小电流情境下比继电器节约成本 .....             | 17 |
| 图 16: model Y 控制器元件间距明显更小 .....                | 18 |
| 图 17: model Y 车身控制器背面也增加了大量元件 .....            | 18 |
| 图 18: model Y 车身控制器可拼合成矩形 .....                | 19 |
| 图 19: 第三代与第四代 BCM 对比 .....                     | 19 |
| 图 20: 第四代前车身控制器 .....                          | 20 |
| 图 21: 自动驾驶域控制器 (AP) 电路板 .....                  | 21 |
| 图 22: 特斯拉 model 3 自动驾驶域控制器电路板背面被动元器件非常密集 ..... | 22 |
| 图 23: 特斯拉 model 3 自动驾驶传感器配置 .....              | 22 |
| 图 24: 特斯拉三目摄像头方案 .....                         | 23 |
| 图 25: 毫米波雷达电路板与天线 .....                        | 23 |
| 图 26: 英伟达 Xavier 芯片 Die shot .....             | 24 |
| 图 27: 特斯拉 FSD 芯片 Die shot .....                | 24 |
| 图 28: NPU 让 FSD 芯片面积和综合成本更低 .....              | 24 |
| 图 29: 座舱域控制器电路板正面 .....                        | 25 |
| 图 30: 座舱域控制器电路板背面 .....                        | 26 |
| 图 31: 特斯拉工作人员在 MCU3 上运行赛博朋克 2077 .....         | 28 |
| 图 32: 特斯拉官网渲染图中车机上显示巫师 3 等游戏 .....             | 28 |
| 图 33: IGBT 在新能源汽车上的应用 .....                    | 30 |
| 图 34: 特斯拉的逆变器分布 .....                          | 30 |
| 图 35: 特斯拉 LDU 内部结构实物图 .....                    | 31 |
| 图 36: 特斯拉 Model S 中 LDU 逆变器 IGBT 排布 .....      | 31 |
| 图 37: 各功率半导体适用范围比较 .....                       | 32 |
| 图 38: Model 3 逆变器中 24 颗 SiC MOSFET 所处位置 .....  | 32 |
| 图 39: Model 3 逆变器中 SiC MOSFET 放大图 .....        | 32 |
| 图 40: Model 3 SiC 模块 ST GK026 (意法半导体) .....    | 33 |
| 图 41: Model 3 SiC 模块输入母排 .....                 | 33 |
| 图 42: 逆变器壳体散热结构三维示意图 .....                     | 33 |



|  |    |
|--|----|
| 图 43: 逆变器壳体散热结构实物图 .....                         | 34 |
| 图 44: 逆变器壳体散热结构进水口与出水口实物图 .....                  | 34 |
| 图 45: 比亚迪 SiC 功率模块 .....                         | 34 |
| 图 46: 蔚来第二代电驱动系统中的 SiC 功率模块 .....                | 34 |
| 图 47: 不同工况测试下 MOSFET-SiC 和 IGBT-Si 功耗对比 .....    | 35 |
| 图 48: 不同工况测试下 MOSFET-SiC 和 IGBT-Si 效率对比 .....    | 35 |
| 图 49: MOSFET-SiC 和 IGBT-Si 价格对比 .....            | 35 |
| 图 50: SiC 在功率器件领域的渗透情况 .....                     | 36 |
| 图 51: 国内外 SiC 产业链梳理 .....                        | 36 |
| 图 52: 锂电池狭小的安全窗口与不一致性给电池组管理带来了巨大难度 .....         | 37 |
| 图 53: 特斯拉 model S 诊断界面显示的电池组温度电压采样信息 .....       | 38 |
| 图 54: 特斯拉会在充电期间使电池组保持在 55°C .....                | 39 |
| 图 55: 特斯拉采用短时间超大电流来实现缩短充电时间 .....                | 40 |
| 图 56: 其他车企往往采取分段恒流充电 .....                       | 40 |
| 图 57: model 3 BMS 主控板 .....                      | 40 |
| 图 58: model 3 标准续航版电池组及其采样板、采样点 .....            | 41 |
| 图 59: model 3 长续航版电池组及采样板 .....                  | 41 |
| 图 60: model 3 标准续航版 4 号采样板 .....                 | 42 |
| 图 61: model 3 长续航版 4 号采样板 .....                  | 42 |
| 图 62: model 3 充电控制器电路板 .....                     | 42 |
| 图 63: model 3 能量转换系统 .....                       | 43 |
| 图 64: 汽车电气架构变化趋势 .....                           | 44 |
| 图 65: 博世电子电气架构演进图 .....                          | 44 |
| 图 66: Model 3 左、前、右车身控制模块 .....                  | 45 |
| 图 67: BCM RH (右车身控制模块) 周围线束展示 .....              | 46 |
| 图 68: 部分低压线束展示 .....                             | 46 |
| 图 69: Model 3 高压铝材质导线及其结构图 .....                 | 46 |
| 图 70: Model 3 高压线束展示 .....                       | 47 |
| 图 71: 不同车型线束单车价值量分布 .....                        | 48 |
| 图 72: 国内线束厂商毛利率变化趋势 .....                        | 48 |
| 图 73: 高压连接器在新能源整车系统中的应用 .....                    | 50 |
| 图 74: Model 3 片式高压快充连接器所在位置 .....                | 51 |
| 图 75: 插片式与圆柱式高压连接器尺寸对比 .....                     | 51 |
| 图 76: 多片叠加的刀叉型端子结构示意图 .....                      | 51 |
| 图 77: 动力电池-电驱高压连接器所在位置 .....                     | 52 |
| 图 78: HC Stak 35 (左) 与 HC Stak 35 (右) 尺寸比较 ..... | 52 |
| 图 79: Model 3 材料高压连接器外壳 .....                    | 52 |
| 图 80: Model Y 铝合金高压连接器外壳 .....                   | 52 |
| 图 81: 2020 年全球连接器按应用领域市占率 .....                  | 53 |
| 图 82: 2019 年全球连接器厂商竞争格局 .....                    | 53 |
| 图 83: Model 3 电池包外观 .....                        | 54 |
| 图 84: ID.4 X 电池包外观 .....                         | 54 |
| 图 85: BMW iX3 电池包外观 .....                        | 54 |
| 图 86: 旧款 Model S 上的小模组电池包 .....                  | 54 |
| 图 87: 2022 款 Model S 上的大模组电池包 .....              | 54 |
| 图 88: 特斯拉展示无模组结构化电池包方案 .....                     | 55 |





|   |    |
|---|----|
| 图 89: 结构化电池包拆解图 .....                               | 55 |
| 图 90: 特斯拉 Model 3 底盘上电池包总体积为 188L, 可分为 4 条小电池包..... | 55 |
| 图 91: 三元电池版标续 Model 3 电池包.....                      | 56 |
| 图 92: 磷酸铁锂电池版标续 Model 3 电池包.....                    | 56 |
| 图 93: 2013 款 Model S 中一条蛇形冷却管排布示意图.....             | 56 |
| 图 94: 2017 款 Model S 中两条蛇形冷却管排布示意图.....             | 56 |
| 图 95: 旧款 Model S/X 上蛇形布置的液冷管实物图.....                | 56 |
| 图 96: Model 3 中多条直线冷却管排布示意图.....                    | 57 |
| 图 97: Model 3 上直线布置的液冷管流入段实物图.....                  | 57 |
| 图 98: Model 3 上直线布置的液冷管实物图.....                     | 57 |
| 图 99: 纵向 U 型设置的冷却管.....                             | 58 |
| 图 100: 俯视直线排布的冷却管.....                              | 58 |
| 图 101: Model S Plaid 中 U 型直线冷却管实物图.....             | 58 |
| 图 102: 大众 MEB 平台电池包下方的冷板.....                       | 59 |
| 图 103: 宁德时代麒麟电池中多功能弹性夹层面冷.....                      | 59 |
| 图 104: 特斯拉电池包中的防火泡棉.....                            | 59 |
| 图 105: 特斯拉电池包中采用的灌封胶.....                           | 59 |
| 图 106: 弹匣电池阻燃设计——气凝胶.....                           | 60 |
| 图 107: 极狐阻燃设计——陶瓷纤维防火毯.....                         | 60 |
| 图 108: Rivian 电池阻燃设计——金云母.....                      | 60 |
| 图 109: 18650、2170、4680 电池尺寸及能量密度对比.....             | 60 |
| 图 110: 圆柱电池尺寸与性能变化.....                             | 60 |
| 图 111: 全极耳相比单极耳能效提升.....                            | 61 |
| 图 112: 特斯拉围绕 4680 电池料将搭配多种新材料、结构.....               | 61 |
| 图 113: 特斯拉 Model 3 电驱动总成.....                       | 62 |
| 图 114: 特斯拉 Model Y 双电机版本采用前感应电机/后永磁电机的动力总成布局.....   | 63 |
| 图 115: 特斯拉双电机方案演变.....                              | 64 |
| 图 116: 永磁同步电机 vs 交流感应电机特性与适用场景.....                 | 64 |
| 图 117: 永磁同步电机 vs 交流感应电机扭矩-功率 Map 示意图.....           | 64 |
| 图 118: 圆线电机 vs 扁线电机.....                            | 65 |
| 图 119: Model Y 十层油冷扁线电机.....                        | 65 |
| 图 120: Model 3 电机油冷系统示意图.....                       | 66 |
| 图 121: Model 3 小三电集成系统.....                         | 66 |
| 图 122: 市场快充技术方向.....                                | 67 |
| 图 123: V2-V4 超充功率不断提高.....                          | 68 |
| 图 124: 特斯拉电动汽车热管理系统技术发展历程.....                      | 68 |
| 图 125: 特斯拉第一代热管理系统拓扑结构.....                         | 69 |
| 图 126: 特斯拉第二代热管理系统拓扑结构.....                         | 70 |
| 图 127: 特斯拉第三代热管理系统拓扑结构.....                         | 70 |
| 图 128: 电机低效制热模式加热电池回路示意图.....                       | 71 |
| 图 129: 电机低效制热模式润滑油和热流量示意图.....                      | 71 |
| 图 130: Model 3 热管理系统制冷过程.....                       | 71 |
| 图 131: Model 3 热管理系统制热过程.....                       | 71 |
| 图 132: 集成式储液罐 (Superbottle) 结构示意图.....              | 72 |
| 图 133: Model Y 整车热管理方案.....                         | 73 |
| 图 134: Model Y 热管理系统八通阀示意图.....                     | 73 |



|  |    |
|--|----|
| 图 135: 第四代热管理系统拓扑结构 .....              | 73 |
| 图 136: 大众 ID.4 二氧化碳热泵系统解析 .....        | 74 |
| 图 137: Model Y 整车热管理方案 .....           | 75 |
| 图 138: 蔚来 2022ES8 空调系统配置 .....         | 75 |
| 图 139: 蔚来热管理系统专利中的四通阀结构 .....          | 75 |
| 图 140: 小鹏 P7 整车热管理系统方案 .....           | 76 |
| 图 141: 热管理集成单元的平面结构示意图 .....           | 77 |
| 图 142: 比亚迪 e 平台 3.0 热管理实物图 .....       | 77 |
| 图 143: 比亚迪 e 平台 3.0 热泵控制模块 .....       | 77 |
| 图 144: 2020 年全球电子膨胀阀市场份额 .....         | 79 |
| 图 145: 2021 年全球电子膨胀阀市场份额 .....         | 79 |
| 图 146: 八通阀实现各工作状态的转换 .....             | 79 |
| 图 147: Model S 四通阀 .....               | 80 |
| 图 148: Model 3 Superbottle 中的四通阀 ..... | 80 |
| 图 149: Model Y 八通阀 .....               | 80 |
| 图 150: Model 3 车身材料分布 .....            | 81 |
| 图 151: Model 3 前副车架 .....              | 81 |
| 图 152: Model 3 后地板及车身结构件 .....         | 81 |
| 图 153: 铸造工艺类型分类示意图 .....               | 82 |
| 图 154: 特斯拉 Model Y 一体压铸后车身结构件 .....    | 83 |
| 图 155: Model 3 尾灯 .....                | 83 |
| 图 156: Model 3 矩阵式 LED 灯 .....         | 83 |
| 图 157: 汽车头灯光源进化过程 .....                | 84 |
| 图 158: 汽车前大灯 AFS 系统功能 .....            | 85 |
| 图 159: 汽车前大灯 ADB 系统功能 .....            | 85 |
| 图 160: DLP 技术原理 .....                  | 85 |
| 图 161: DLP 车灯投影车道效果图示 .....            | 85 |
| 图 162: Model 3 天幕 .....                | 86 |
| 图 163: 汽车天窗发展趋势 .....                  | 86 |
| 图 164: Model 3 线控制动系统 Ibooster .....   | 88 |
| 图 165: Model 3 ESP .....               | 88 |
| 图 166: Model 3 EPS .....               | 89 |
| 图 167: Model 3 转向管柱 .....              | 89 |
| 图 168: Model 3 双叉臂式独立悬架 .....          | 89 |
| 图 169: Model 3 多连杆式独立悬架 .....          | 89 |

## 表格目录

|   |    |
|---|----|
| 表 1: 特斯拉 Model Y 与大众 ID.4、福特 Mach E 电子电气架构的部分对比 ..... | 18 |
| 表 2: 特斯拉三代座舱域控制器配置对比 .....                            | 27 |
| 表 3: 特斯拉 MCU3 与最新一代游戏主机性能对比 .....                     | 27 |
| 表 4: 高通座舱域芯片算力提升明显 .....                              | 28 |
| 表 5: 部分座舱平台已经融合了泊车功能（舱泊一体） .....                      | 29 |
| 表 6: 汽车线束主要线束产品及基本功能 .....                            | 45 |
| 表 7: 铝、铜各性能系数对比 .....                                 | 47 |

|   |    |
|---|----|
| 表 8: 2019 年沪光股份成套线束主要项目销售单价及毛利情况 .....      | 47 |
| 表 9: 汽车整车制造商对应主要线束供应商 .....                 | 49 |
| 表 10: 车用连接器种类及应用场景 .....                    | 49 |
| 表 11: 瑞可达新能源连接器产品收入及其变动 .....               | 53 |
| 表 12: Model 3/Y 与 Model S/X 电驱动总成参数对比 ..... | 62 |
| 表 13: 交流异步电机和永磁同步电机参数对比 .....               | 63 |
| 表 14: 特斯拉五种电机参数对比 .....                     | 65 |
| 表 15: 行业由“三合一”向“N 合一”发展 .....               | 67 |
| 表 16: 四通阀实现电池回路和电机回路的交互方式 .....             | 70 |
| 表 17: 特斯拉各代热管理系统加热及制冷模式 .....               | 73 |
| 表 18: 小鹏 P7 热管理系统零部件清单 .....                | 76 |
| 表 19: 比亚迪部分车型热管理特点 .....                    | 77 |
| 表 20: 各厂商热管理系统横向对比 .....                    | 78 |
| 表 21: 电子膨胀阀与热力膨胀阀对比 .....                   | 78 |
| 表 22: 特斯拉热管理结构改进特点 .....                    | 80 |
| 表 23: 特斯拉各量产车型车身材料 .....                    | 81 |
| 表 24: 不同类型汽车前大灯的性能对比 .....                  | 84 |
| 表 25: 近年来车企发布新车型均以天幕为主 .....                | 87 |
| 表 26: 特斯拉各车型悬架、转向系统及制动系统 .....              | 87 |
| 表 27: 自动驾驶技术分级 .....                        | 88 |
| 表 28: 线控转向发展历程 .....                        | 88 |
| 表 29: 智能电动汽车重点跟踪公司盈利预测 .....                | 91 |

## 正文

### 报告源起

被誉为“工业皇冠上明珠”的汽车制造业，近年来和科技产业结合越来越紧密，迎来了电动化、智能化、网联化的浪潮。今年新能源汽车销量继续高增，根据乘联会数据，2022 年上半年，新能源乘用车销量 224.8 万辆，同比增长 122.5%，其中 6 月新能源汽车渗透率达到了 27.4%。智能化也高歌猛进，根据佐思汽研数据，2022 年 1-4 月，中国自主品牌汽车 ADAS 的装配率达到了 33.9%。

在这样的背景下，中信证券研究部 TMT 和汽车团队协同多家公司和机构经过了两个月的时间对一辆特斯拉的 Model3 进行了完整的拆解。其中整车、三电拆解分析的合作方是中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，座舱域、驾驶域拆解分析的合作方是深圳市奥途智能网联汽车创新中心，E/E 架构及车身域拆解分析的合作方是广州领世汽车科技有限公司，电子元器件分析的合作方是深圳市钛和巴伦技术股份有限公司。中信证券研究部 TMT 和汽车团队以及相关参与机构希望通过通过对特斯拉 Model3 这一智能电动的标杆车型的分析，展现特斯拉作为一家全球头部汽车企业对汽车智能电动化的思

考，以期厘清后续产业发展的可能方向，更好地支持相关决策。

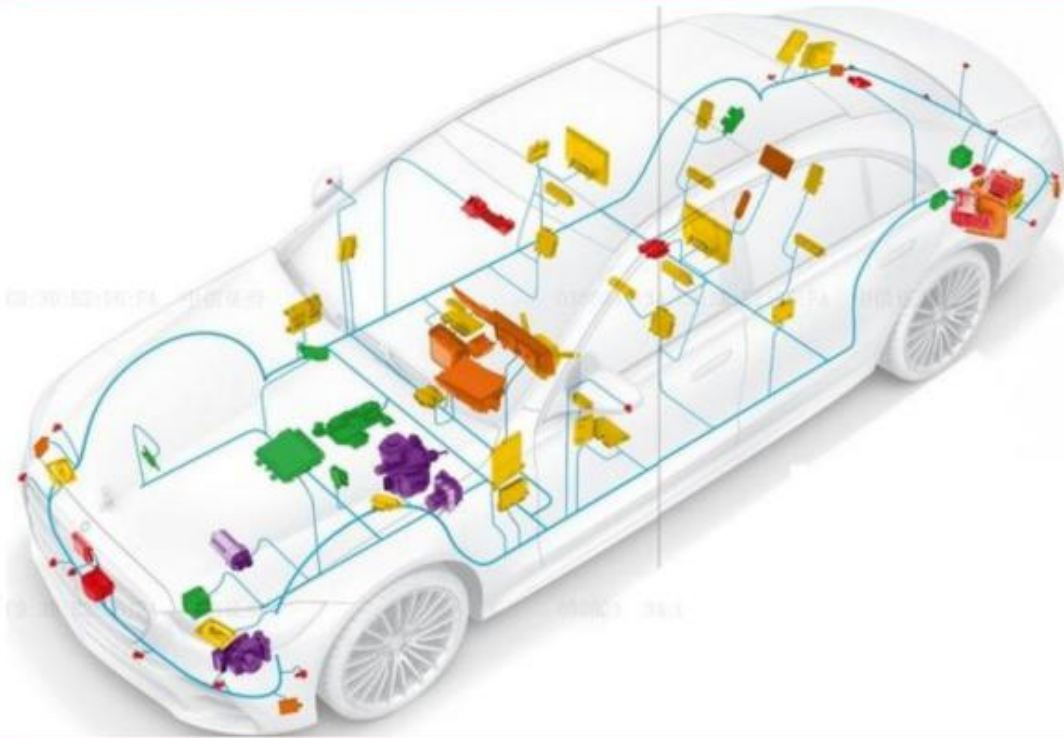
## 域控制器：软件定义汽车，迭代决定智能

一个产业的进步和变革，往往是供给和需求两方面因素共同驱动的。当新航路带来的新市场遇到珍妮纺纱机，就足够引发一场工业革命；出行的需求遇上热机，就产生了各类交通工具。集成电路出现以来，人们对电子化、自动化、智能化的需求越来越高，其根源还是对低成本美好生活的需求，这种需求与不断发展的 IT 技术供给相结合，相继诞生了 PC、智能手机、智能家居等诸多大型产业，如今又开始推动汽车往智能化方向演进。

汽车的智能化的大方向已经成为了产业共识和市场共识，然而什么叫智能化却没有一个明确的定义。我们认为，智能化的关键在于智能汽车的软件“可迭代、可演进”。比如说 2008 年安卓 1.0 发布之初，使用体验是比较一般的，经过不断的数据收集、用户反馈和持续迭代，最终交互和用户体验越来越好，逐步向我们理想中的“智能终端”逼近。

无论每个人如何去定义自己心目中的汽车智能化，但我们相信会有一个共识，那就是现在仅仅只是汽车智能化的起点，离终局还非常遥远，这中间软件需要不断进行升级迭代。而汽车过去的 E/E 架构（如下图所示），是由多个厂商提供 ECU 组成的电子电气架构，正因为硬件和软件功能都被切割成很多块分布在不同厂家提供的 ECU 里，使得软件 OTA 的难度非常大。这使得很多型号的汽车从出厂到最终报废，软件功能都没有升级过，都没有迭代，又何谈智能？

图 1：奔驰的网络连接及 ECU 架构



资料来源：知乎答主-朱玉龙

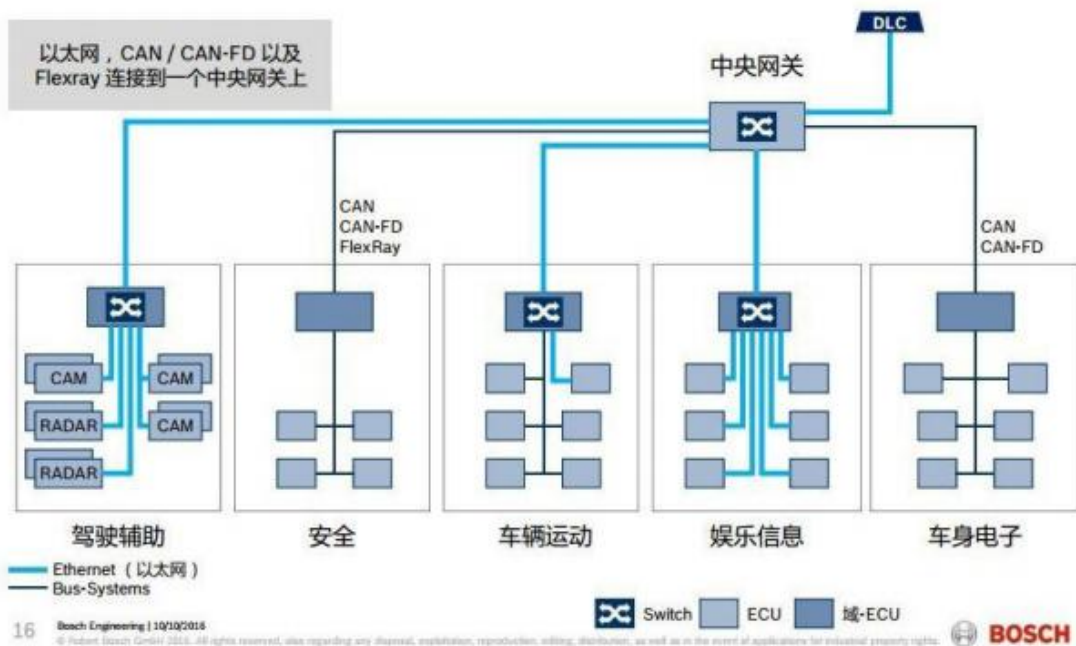
显而易见，汽车如果要能像手机一样持续根据数据和用户反馈进行软件迭代，现有的 E/E 架构势必然是要进行大的变革的。软件和硬件必须解耦，算力必须从分布走向集中，特斯拉的 Model3 率先由分布式架构转向了分域的集中式架构，这是其智能化水平遥遥领先于许多车厂的主要原因，我们接下来就对特斯拉的车身域、座舱域、驾驶域进行详细的

解读。

## 车身域：按位置而非功能进行分区，彻底实现软件定义车身

同样是域控制器，特斯拉的域控制器思路始终是更为领先的。举例来说，作为传统汽车供应链中最核心的供应商之一，博世是最早提出域控制器概念的企业之一。但博世的思路仍然受到传统的模块化电子架构影响，其在 2016 年提出了按照功能分区的五域架构，将整车的 ECU 整合为驾驶辅助、安全、车辆运动、娱乐信息、车身电子 5 个域，不同域之间通过域控制器和网关进行连接。在当时看来，这一方案已经能够大大减少 ECU 数量，然而用今天的眼光来看，每个域内部仍然需要较为复杂的线束连接，整车线束复杂度仍然较高。

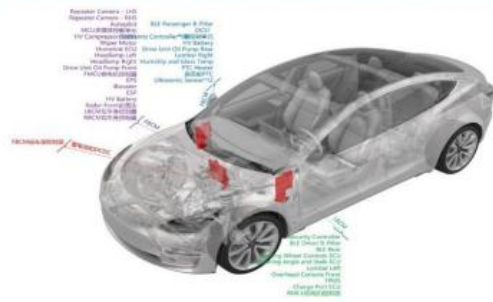
图2：博世提出的汽车控制 5 域架构



资料来源：智驾最前沿微信公众号

与博世形成对比，特斯拉 model 3 在 2016 年发布，2017 年量产上市，与博世的报告几乎处于同一时期。然而，model 3 的域控制器架构核心直接从功能变成了位置，3 个车身控制器就集中体现了特斯拉造车的新思路。按照特斯拉的思路，每个控制器应该负责控制其附近的元器件，而非整车中的所有同类元器件，这样才能最大化减少车身布线复杂度，充分发挥当今芯片的通用性和高性能，降低汽车开发和制造成本。所以特斯拉的三个车身域控制器分别分布在前车身、左前门和右前门前，实现就近控制。这样的好处是可以降低布线的复杂度，但是也要求三个车身域要实现彻底的软硬件解耦，对厂商的软件能力的要求大大提高。

图 3：特斯拉 model3 的 3 个车身控制器（红色部分）



资料来源：知乎@冷酷的冬瓜

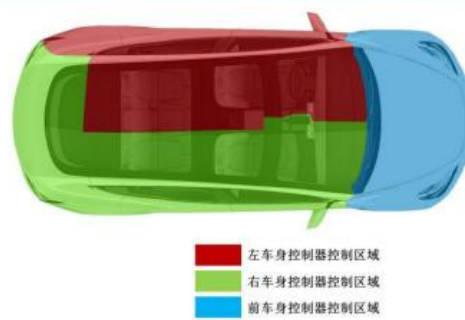
以下分别介绍三个车身控制器的情况，车身域分为前车身域、左车身域、右车身域，其在 Model3 车身上的位置如下图所示。

图 5：前车身域（FBCM）



资料来源：中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，中信证券研究部

图 4：三个域控制器按照位置分工



资料来源：汽车小将微信公众号

图 6：左车身域（LBCM）和右车身域（RBCM）



资料来源：中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，中信证券研究部

前车身域控制器的位置在前舱，这个位置理论上来说遇到的碰撞概率要更高，因此采用铝合金的保护外壳，而左右车身域控制器由于在乘用车内，遇到外界碰撞的概率较低，保护外壳均采用塑料结构，如下图所示。

图 7：几个车身域的实景图

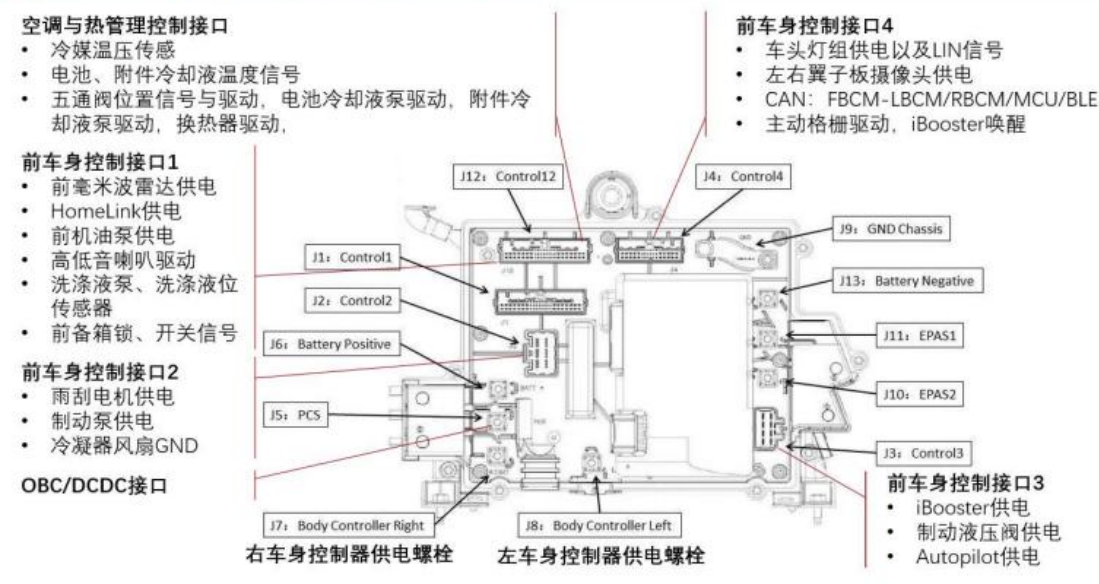


资料来源：中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，中信证券研究部

### 前车身控制器：全车电子电气配电单元以及核心安全 ECU 连接

前车身控制器位于前舱中，主要负责的功能是前车体元件控制以及主要的配电工作。该控制器离蓄电池比较近，方便取电。其主要负责三类电子电气的配电和控制：**1、安全相关**：i-booster、ESP 车身稳定系统、EPS 助力转向、前向毫米波雷达；**2、热管理相关**：如冷却液泵、五通阀、换热器、冷媒温度压力传感器等；**3、前车身其它功能**：车头灯、机油泵、雨刮等。除此之外，它还给左右车身控制器供电，这一功能十分重要，因为左右车身控制器随后还将用这两个接口中的能量来驱动各自控制的车身零部件。

图 8：特斯拉 model3 前车身控制器（FBCM）接口功能与位置布局



资料来源：汽车小将，知乎@冷酷的冬瓜，中信证券研究部

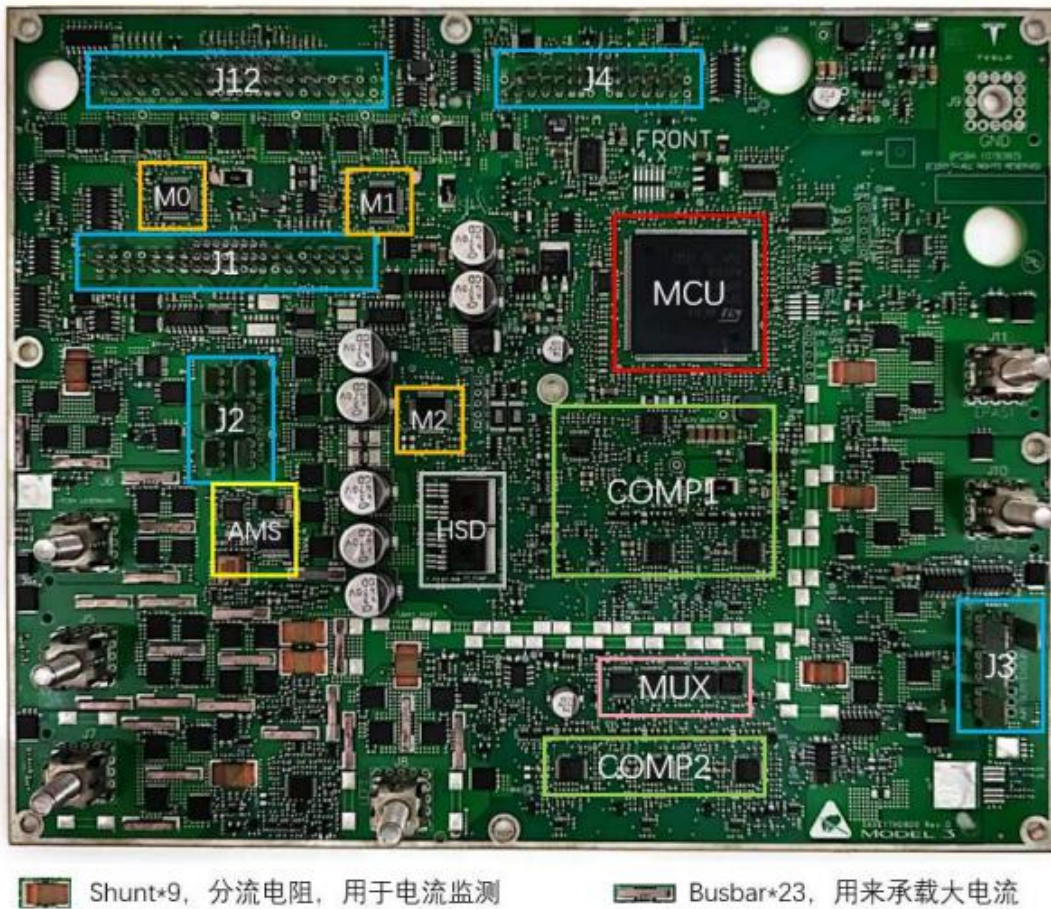
将其拆开来看，具体功能实现方面，需要诸多芯片和电子元件来配合完成。核心的芯片主要完成**控制和配电**两方面的工作。

**先说控制部分**，主要由一颗意法半导体的 MCU 来执行（图中红框）。此外，由于涉及到冷却液泵、制动液液压阀等各类电机控制，所以板上搭载有安森美的直流电机驱动芯片（图中橙色框 M0、M1、M2），这类芯片通常搭配一定数量的大功率 MOSFET 即可驱动电机。

**配电功能方面**，一方面需要实时监测各部件中电流的大小，另一方面也需要根据监测的结果对**电流通断和电流大小**进行控制。电流监测方面，AMS 的双 ADC 数据采集芯片和电流传感器配套芯片（黄色框 AMS 中的芯片）可以起到重要作用。而要控制电流的状态，一方面是通过 MOSFET 的开关，另一方面也可以通过 HSD 芯片（High Side Driver，高边开关），这种芯片可以控制从电源正极流出的电流通断。



图9：前车身控制器（FBCM）电路板



资料来源：中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，中信证券研究部

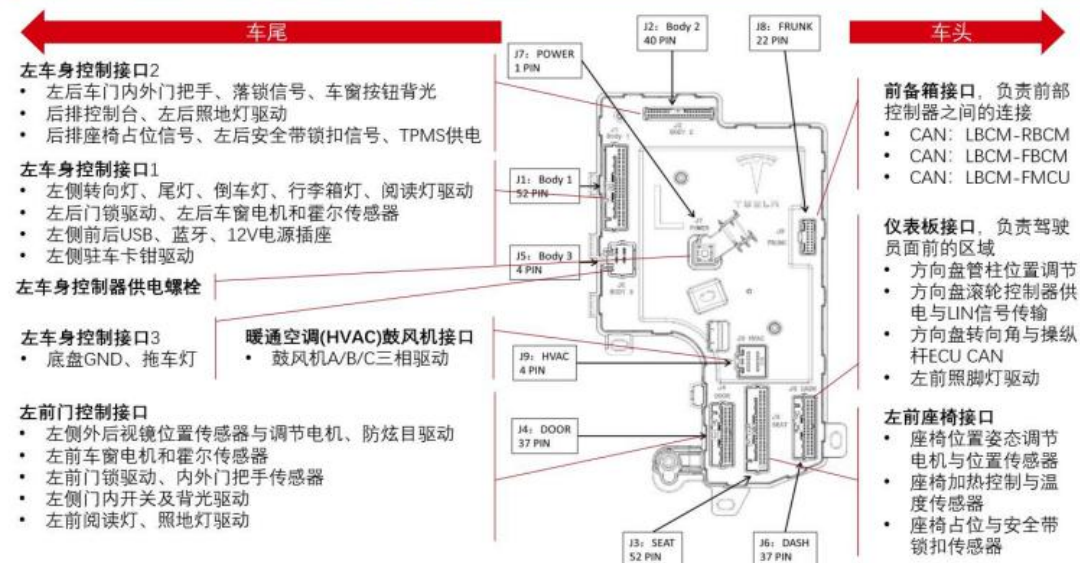
这一块控制器电路板共使用了 52 个安森美的大功率 MOSFET，9 个功率整流器芯片，以及 ST 和英飞凌的共计 21 个 HSD 芯片。在前车身控制器上我们可以看到，特斯拉已经在很大程度上用半导体元件取代了传统电气元件。

### 左车身域控制器：负责车身左侧电子电气调度

左车身控制器位于驾驶员小腿左前方位置，贴合车体纵向放置，采用塑料壳体封装，可以在一定程度上节约成本。左车身控制器负责管理驾驶舱及后部的左侧车身部件，充分体现了尽可能节约线束长度以控制成本的指导思想。

左车身控制器主要负责了几类电子电气的配电和控制：**1、左侧相关**：包括仪表盘、方向盘位置调节、照脚灯；**2、座椅和车门**：左前座椅、左后座椅、前门、后车门、座椅、尾灯等。

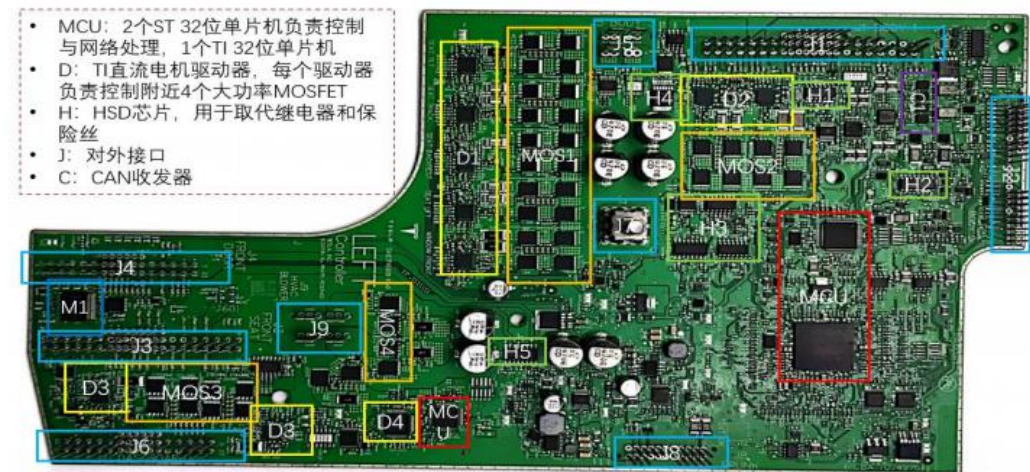
图 10: 特斯拉 model3 左车身控制器 (LBCM) 接口功能与位置布局



资料来源: 汽车小将, 知乎@冷酷的冬瓜, 中信证券研究部

左车身域控制的核心芯片主要也分为控制和配电。核心控制功能使用两颗 ST 的 32 位 MCU 以及一颗 TI 的 32 位单片机来实现。左车身的灯具和电机比较多，针对灯具类应用，特斯拉选用了一批 HSD 芯片来进行控制，主要采用英飞凌的 BTS 系列芯片。针对电机类应用，特斯拉则选用了 TI 的电机控制芯片和安森美的大功率 MOSFET。

图 11: 左车身控制器 (LBCM) 电路板

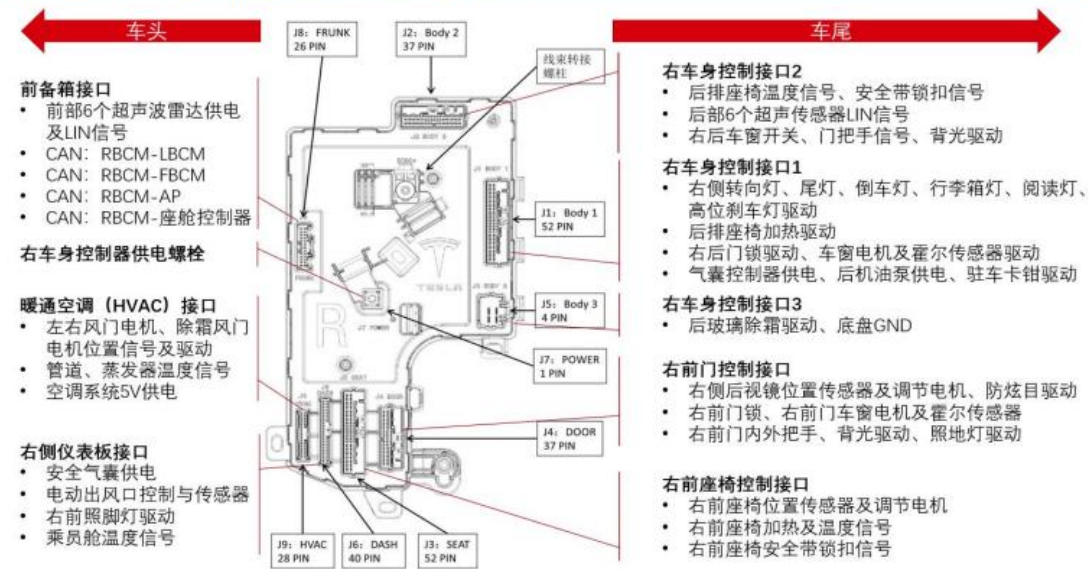


资料来源: 各公司官网, 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司, 中信证券研究部

## 右车身域控制器: 负责车身右侧电子电气调度

右车身控制器与左车身基本对称，接口的布局大体相同，也有一些不同点。右车身负责超声波雷达以及空调，同时右车身承担的尾部控制功能更多一些，包括后方的高位刹车灯和后机油泵都在此控制。

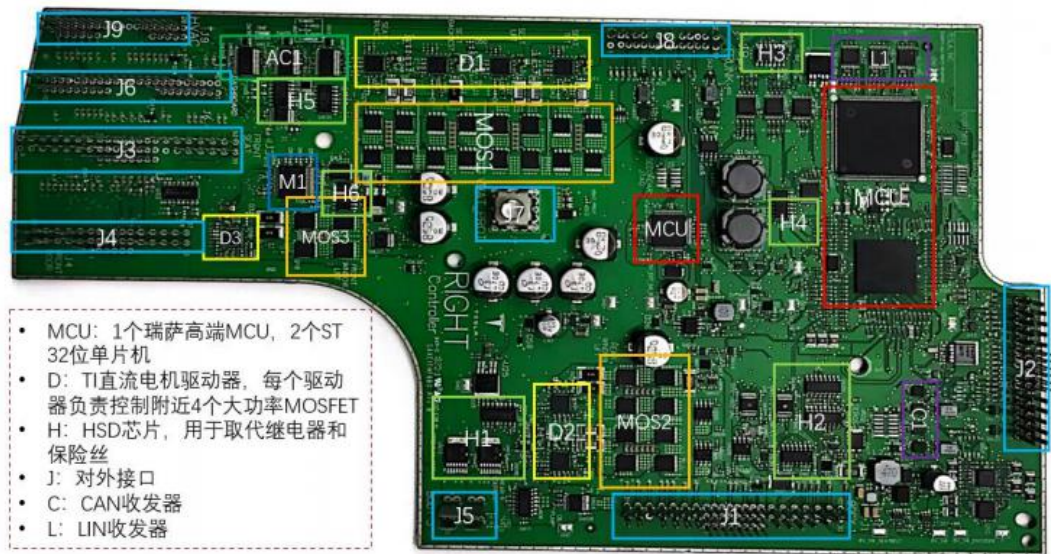
图 12: 特斯拉 model3 右车身控制器 (RBCM) 接口功能与位置布局



资料来源: 汽车小将, 知乎@冷酷的冬瓜, 中信证券研究部

具体电路实现方面, 由于功能较为相似, 电路配置也与左车身较为相似。一个不同点在于右车身信号较多, 所以将主控单片机从左车身的 ST 换成了瑞萨的高端单片机 RH850 系列。此外由于右车身需要较多的空调控制功能, 所以增加了三片英飞凌的半桥驱动器芯片。

图 13: 右车身控制器 (RBCM) 电路板

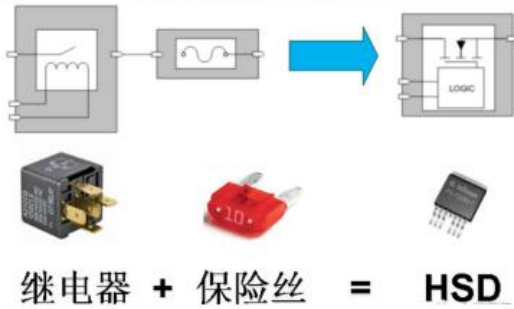


资料来源: 各公司官网, 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司, 中信证券研究部

## 特斯拉车身域的思路: 彻底地软件定义汽车, 用芯片替代保险丝和继电器

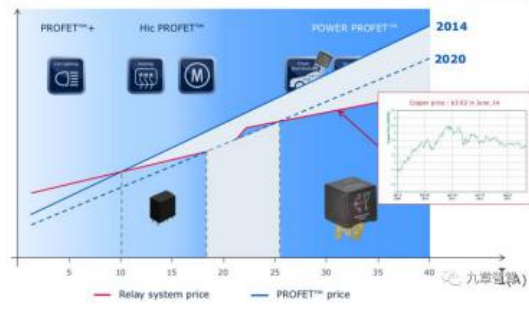
车身域是特斯拉相比传统汽车变化最大的地方, 传统汽车采用了大量 ECU, 而特斯拉通过三个域实现了对整车的一个控制。虽然都是往域控制器方向走, 但特斯拉没有采用博世的功能域做法, 而是完全按区域来进行划分, 将硬件尽量标准化, 通过软件来定义汽车的思路体现得淋漓尽致。除此之外, 特斯拉还将一些电气化的部件尽量芯片化, 如车身域中采用了大量 HSD 芯片替代了继电器和保险丝, 可靠性提高, 而且可以编程, 能更好实现软件定义汽车。

图 14: HSD 芯片能够取代继电器与保险丝



资料来源: 九章智驾

图 15: HSD 芯片在中小电流情境下比继电器节约成本



资料来源: 英飞凌, 九章智驾

表 1: 特斯拉 Model Y 与大众 ID.4、福特 Mach E 电子电气架构的部分对比

|          | ID.4     | Model Y      | Mach E    |
|----------|----------|--------------|-----------|
| CAN      | 7        | 10           | 8         |
| CAN-FD   | 6        | 部分 CAN 支持 FD | 1         |
| Ethernet | 12       | 2            | 4         |
| LIN      | 9 主 43 从 | 5 主 24 从     | 13 主 44 从 |
| LVDS     | 3        | 10           | 3         |
| 12V 保险丝  | 77       | 0            | 88        |
| 12V 继电器  | 7        | 0            | 22        |
| 保险盒      | 3        | 0            | 3         |

资料来源: Munro Live: Comparing Tesla, Ford, & VW's Electrical Architectures, 中信证券研究部

## 特斯拉控制器的未来走向: 走向更高集成度, 优化布置持续降本

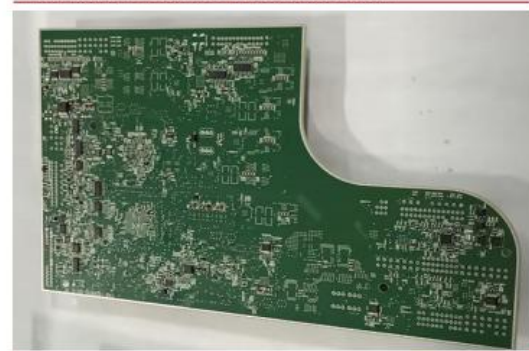
从特斯拉车身控制器能够体现出的另一个发展趋势是器件的持续集成和持续降本。早期版本的 model S 和 model X 并无如此集中的车身控制器架构, 但如今较新的 model 3 和 model Y 已经体现出集成度增加的趋势。左下图中我们可以看到, 作为第三代车身域控制器产品, model Y 的车身控制器已经与第一代的 model 3 有所不同, 直观上就是其元器件密度有所增加。比如图中的 MOSFET (黑色小方块), model Y 的间距明显要比 model 3 更小。因此, 在同样的面积下, 控制器就能容纳更多元件, 融合更多功能。另外, 与现有的 model 3 不同, model Y 控制器的背面也被利用起来, 增加了一定数量的元器件, 这使得控制器的集成度进一步提高。集成度提高的结果就是车身电子电气架构的进一步简化, 汽车电子成本的进一步降低。

图 16: model Y 控制器元件间距明显更小



资料来源: 汽车电子设计微信公众号

图 17: model Y 车身控制器背面也增加了大量元件

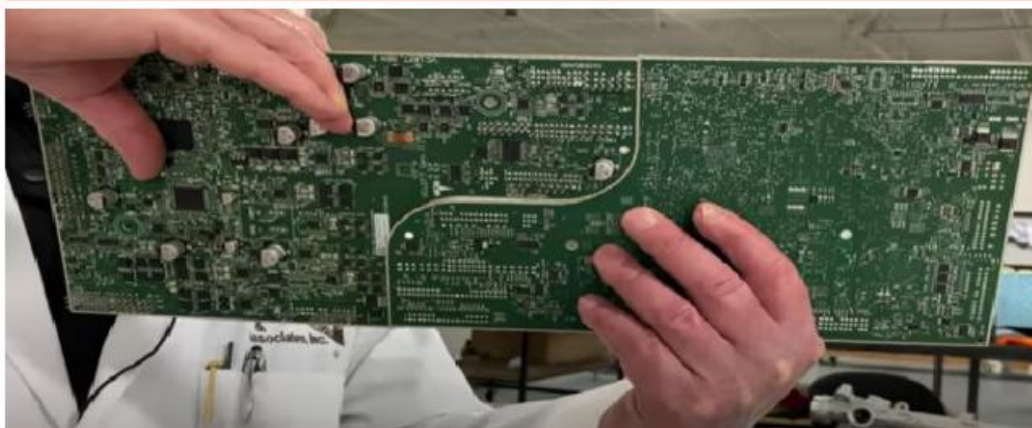


资料来源: 汽车电子设计微信公众号

另外 2020 款 model Y 的 PCB 板也得到进一步节约。初代 PCB 板由于形状不规则, 必然

有一部分 PCB 材料被浪费，推高了成本。而第三代控制器的 PCB 形状能够紧密贴合，两个左右车身控制器可以合并成为一个矩形，因此 PCB 材料的利用率得到有效提升，也能够一定程度上降低成本。

图 18: model Y 车身控制器可拼合成矩形



资料来源: Munro Live: 2020 Model Y Teardown

未来车身控制器会如何发展，是否会走向一台统一的控制器？至少目前来看，特斯拉用产品对此做出了否定的回答。我们可以看到，2021 年交付的 model S plaid，其第四代车身控制器仍旧使用了分离的两片左右车身控制器。

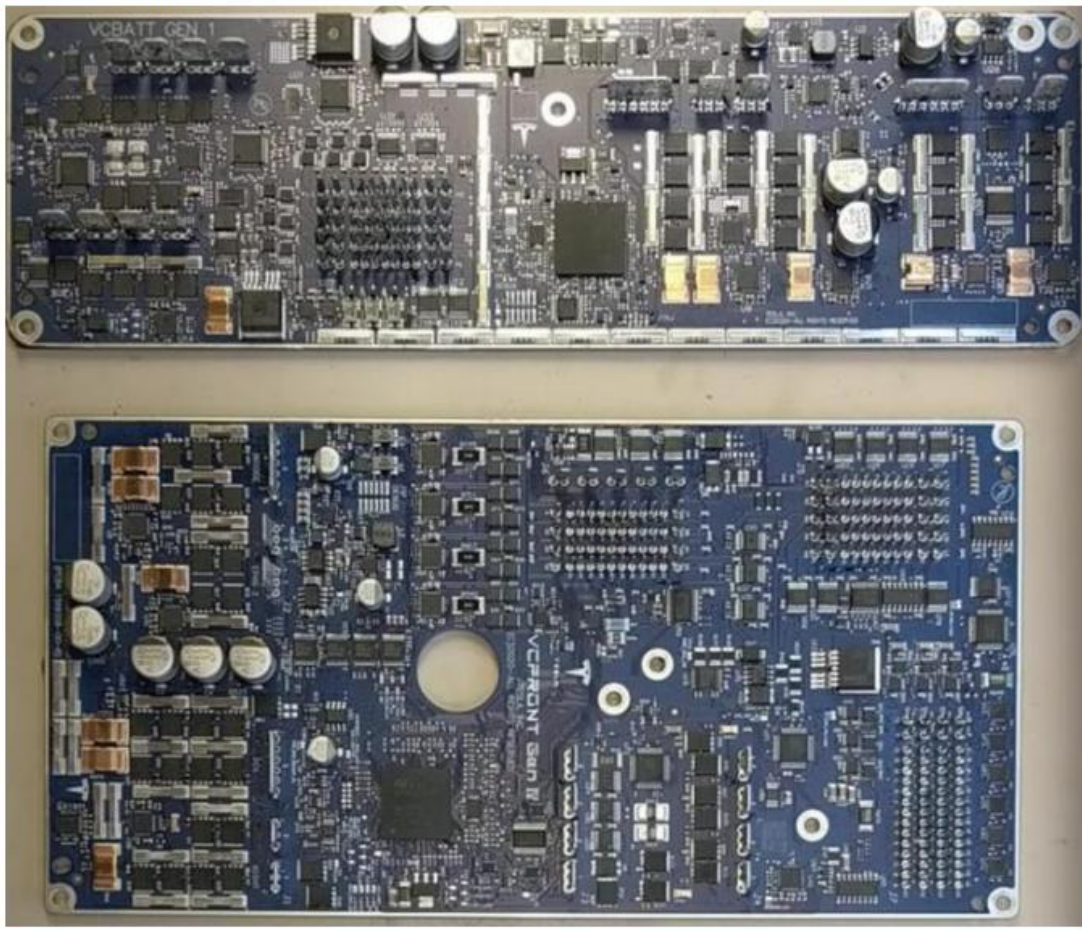
图 19: 第三代与第四代 BCM 对比



资料来源: 2030 出行研究室微信公众号

而且在第四代车身控制器设计中，前车身控制器也分成了两片，一片负责能量管理和配电，另一片负责车身管理、热管理以及少量配电工作。整体来看，第四代控制器的元件密度仍旧很高，体现出了集成降本的趋势。另外，第四代控制器的元件连接采用 Press-Fit 技术取代了传统焊接，进一步提高了良率，也有利于实现更高的元器件密度。

图 20：第四代前车身控制器



资料来源：2030 出行研究室微信公众号

整体来看，统一的中央计算机虽然集成度高，但不可避免地带来了控制器和受控器件的距离增加，从而增加线束长度，提高成本，而且元件集成密度也有一定的限制，我们无法在有限的空间内无限制集成，因此集中化也是有上限和最优解的，目前看来特斯拉正逐渐改善设计和工艺来逼近这个最优解。

**硬件方面的持续集成也为软件的集成和发展创造了条件。**传统汽车产业链当中不同功能独立性很高，各功能的 ECU 都来自不同厂商，难以协同工作。但特斯拉将大量 ECU 集成后，车身上只需保留负责各个功能的执行器，而主要的控制功能都统一在域控制器中，采用少量的 MCU，更多使用软件来完成功能控制。比如特斯拉 model 3 的左右车身域控制器中各有 3 个 MCU，数量大大减少，不同控制功能采用软件的形式进行交互，能够有更大的协同创新空间。比如特斯拉可以协同全车空调出风口来调节车内风场，或对副驾驶座位上的乘客进行体重检测，判断其是否属于儿童，从而灵活调整安全气囊策略，而不是像传统车企一样只能让儿童坐在后排。而且特斯拉可以从软件控制当中收集数据，并持续不断改善控制功能，改善用户体验。

特斯拉这种软硬件持续集成的方案在带来优势的同时也对软件开发能力提出了更高要求。只有统揽全局软硬件方案、熟悉各个部件特性的整车厂商才有能力开发如此庞大复杂的软件系统，传统车企一直以来扮演集成商的角色，ECU 软件开发更多依赖供应商，其人才队伍构成和供应链方面的利益关系导致其短时间内难以模仿特斯拉的方式，因而特斯拉的车身控制软件也成为其独特的竞争力。

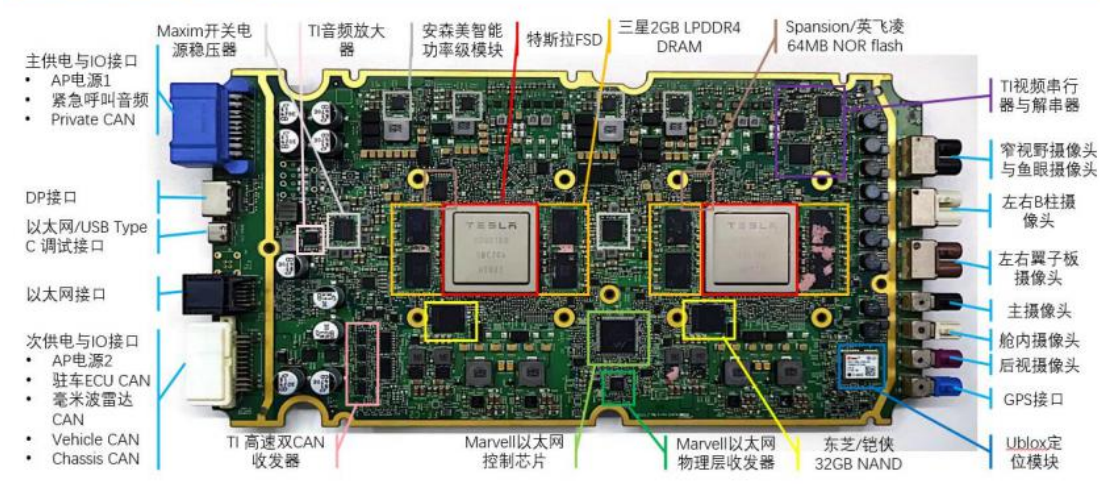
## 驾驶域：FSD 芯片和算法构成主要壁垒，NPU 芯片效率更优

特斯拉的另一个重要特色就是其智能驾驶，这部分功能是通过其自动驾驶域控制器（AP）来执行的。本部分的核心在于特斯拉自主开发的 FSD 芯片，其余配置则与当前其他自动驾驶控制器方案没有本质区别。

在 model 3 所用的 HW3.0 版本的 AP 中，配备两颗 FSD 芯片，每颗配置 4 个三星 2GB 内存颗粒，单 FSD 总计 8GB，同时每颗 FSD 配备一片东芝的 32GB 闪存以及一颗 Spansion 的 64MB NOR flash 用于启动。网络方面，AP 控制器内部包含 Marvell 的以太网交换机和物理层收发器，此外还有 TI 的高速 CAN 收发器。对于自动驾驶来说，定位也十分重要，因此配备了一个 Ublox 的 GPS 定位模块。

外围接口方面，model 3 整车的所有摄像头都直接连接到 AP 控制器，与这些相机配合的还有 TI 的视频串行器和解串器。此外还有供电接口、以太网接口和 CAN 接口使得 AP 控制器能够正常运作。作为一款车载控制器，特斯拉的自动驾驶域控制器还考虑到了紧急情况，因此配备了紧急呼叫音频接口，为此搭配了 TI 的音频放大器和故障 CAN 收发器。

图 21：自动驾驶域控制器（AP）电路板



资料来源：中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，中信证券研究部

另外一点值得注意的是，为了保障驾驶安全，AP 控制器必须时刻稳定运行，因此特斯拉在 AP 控制器中加入了相当大量的被动元件，正面有 8 颗安森美的智能功率模块，并搭配大量的电感和电容。背面更为明显，在几乎没有太多控制芯片的情况下将被动元件铺满整个电路板，密度之高远超其他控制器，也明显高于生活中各种常见的智能终端。从这一点来看，随着智能汽车的发展，我国被动元器件企业也有望获益。

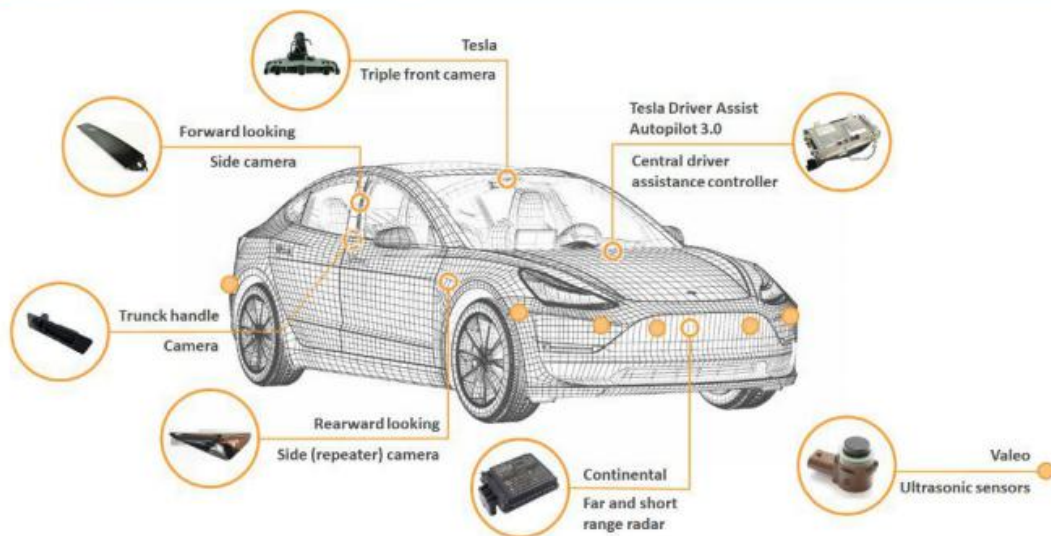
图 22：特斯拉 model 3 自动驾驶域控制器电路板背面被动元器件非常密集



资料来源：中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，中信证券研究部

为了实现自动驾驶，特斯拉提出了一整套以视觉为基础，以 FSD 芯片为核心的解决方案，其外围传感器主要包含 12 个超声传感器（Valeo）、8 个摄像头（风挡玻璃顶 3 个前视，B 柱 2 个拍摄侧前方，前翼子板 2 个后视，车尾 1 个后视摄像头，以及 1 个 DMS 摄像头）、1 个毫米波雷达（大陆）。

图 23：特斯拉 model 3 自动驾驶传感器配置



资料来源：Automotive Teardown Tracks

其最核心的前视三目摄像头包含中间的主摄像头以及两侧的长焦镜头和广角镜头，形成不同视野范围的搭配，三个摄像头用的是相同的安森美图像传感器。



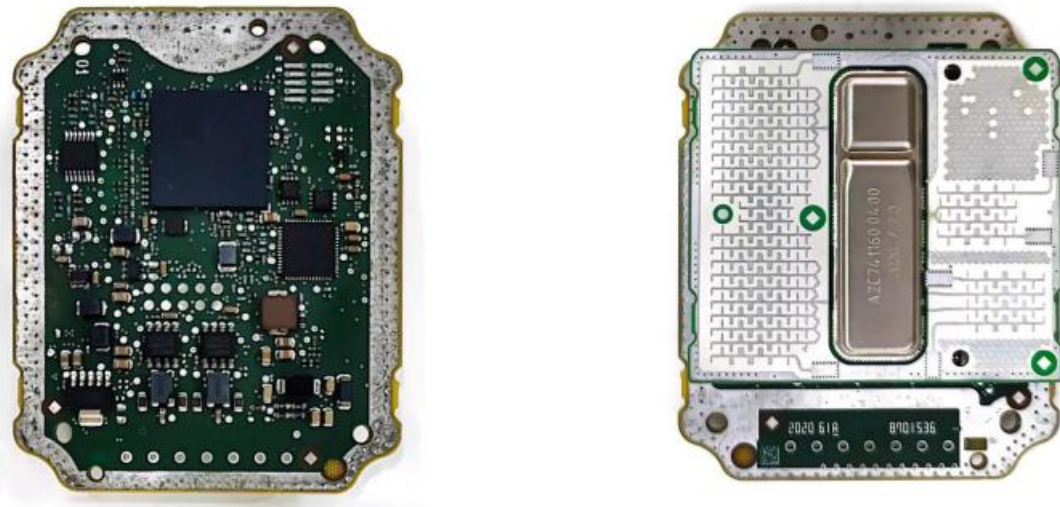
图 24：特斯拉三目摄像头方案



资料来源：OK 特斯拉、2030 出行研究微信公众号

毫米波雷达放置于车头处车标附近，包含一块电路板和一块天线板。该毫米波雷达内部采用的是一颗 Freescale 控制芯片以及一颗 TI 的稳压电源管理芯片。

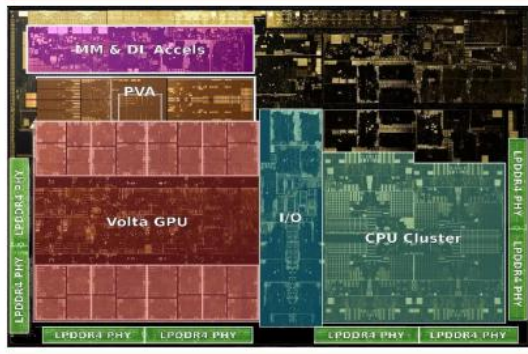
图 25：毫米波雷达电路板与天线



资料来源：中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，中信证券研究部

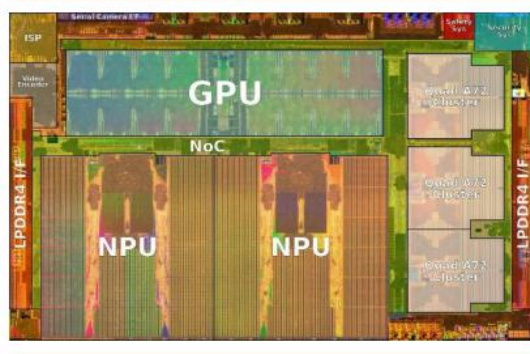
而整个 AP 控制器的真正核心其实就是 FSD 芯片，这也是特斯拉实现更高 AI 性能和更低成本的的一个重点。与当前较为主流的英伟达方案不同，特斯拉 FSD 芯片内部占据最大面积的并非 CPU 和 GPU，而是 NPU。虽然此类设计完全是为神经网络算法进行优化，通用性和灵活性相对不如英伟达的 GPU 方案，但在当前 AI 算法尚未出现根本性变化的情况下，NPU 的适用性并不会受到威胁。

图 26: 英伟达 Xavier 芯片 Die shot



资料来源: wikichip

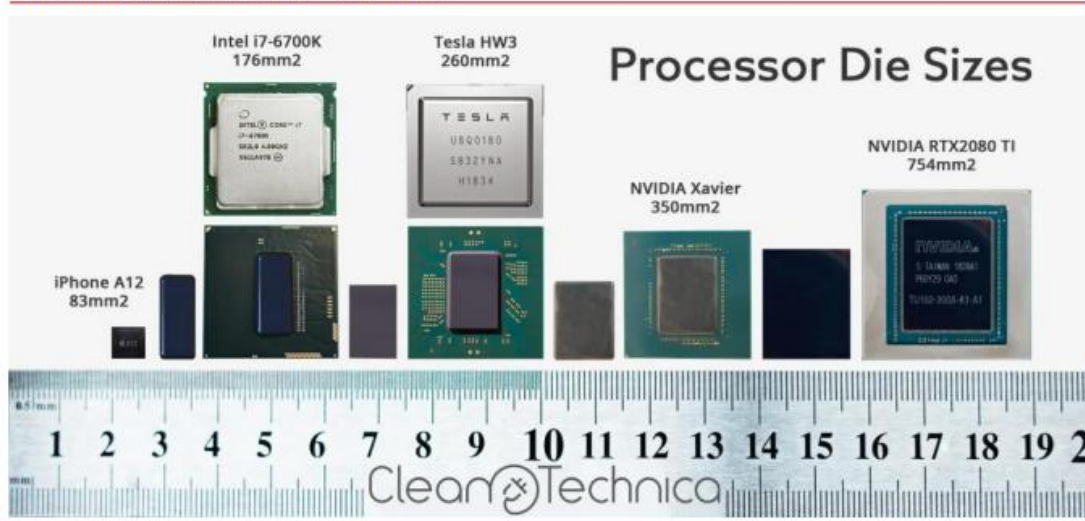
图 27: 特斯拉 FSD 芯片 Die shot



资料来源: wikichip

NPU 单元能够对常见视觉算法中的卷积运算和矩阵乘法运算进行有效加速，因此特斯拉 FSD 芯片能够使用三星 14nm 工艺，达到 144TOPS 的 AI 算力，而面积只有约 260 平方毫米。相比而言，英伟达 Xavier 使用台积电 12nm 工艺，使用 350 平方毫米的芯片面积却只得到 30TOPS 的 AI 算力。这样的差距也是特斯拉从 HW2.5 版本的英伟达 Parker SoC 切换到 HW3.0 的自研 FSD 芯片的原因。因此，在算法不发生根本性变革的情况下，特斯拉 FSD 能取得成本和性能的双重优势，这也构成了特斯拉自动驾驶方案的竞争力。

图 28: NPU 让 FSD 芯片面积和综合成本更低



资料来源: Clean Technica

AI 算法方面，根据特斯拉官网人工智能与自动驾驶页面的描述，AutoPilot 神经网络的完整构建涉及 48 个网络，每天依据其上百万辆车产生的数据进行训练，需要训练 70000 GPU 小时。基础代码层面，特斯拉具备可以 OTA 的引导程序，还有自定义的 Linux 内核（具有实时性补丁），也有大量内存高效的低层级代码。

未来自动驾驶域的创新仍然会集中在芯片端，另外传感器的创新如激光雷达、4D 毫米波雷达等也能够很大程度上推动智能驾驶。在可见的未来，专用 AI 芯片将能够成为与英伟达竞争的重要力量，我国 AI 芯片企业有望借助智能汽车的东风获得更好发展。

## 座舱域：特斯拉更多将座舱视为 PC 而非手机

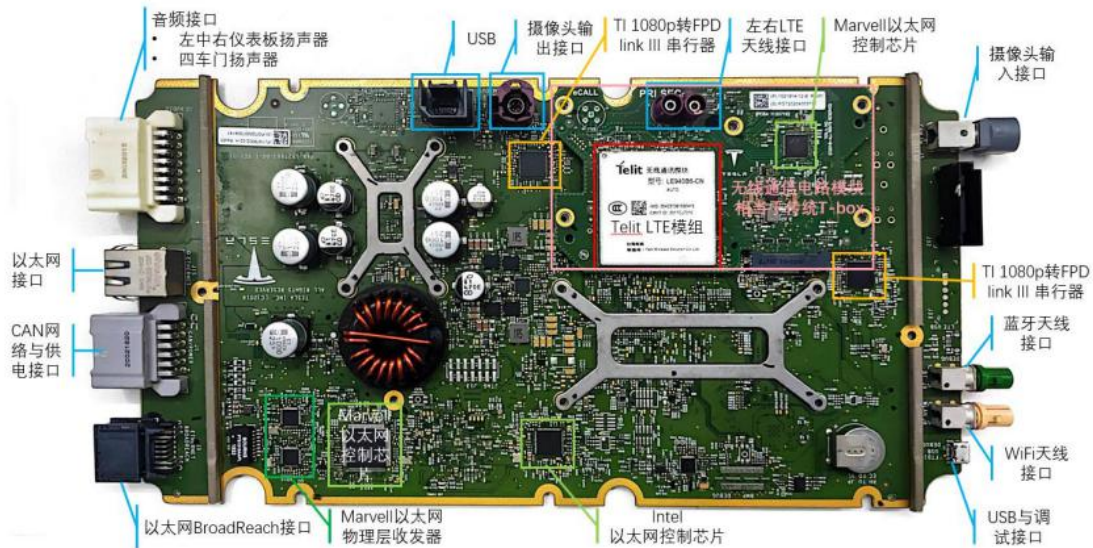
座舱域是用户体验的重要组成部分，特斯拉的座舱控制平台也在不断进化中。本次拆解的特斯拉 model 3 2020 款采用的是第二代座舱域控制器（MCU2）。

MCU2 由两块电路板构成，一块是主板，另一块是固定在主板上的一块小型无线通信

电路板（图中粉色框所示）。这一块通信电路板包含了 LTE 模组、以太网控制芯片、天线接口等，相当于传统汽车中用于对外无线通信的 T-box，此次将其集成在 MCU 中，能够节约空间和成本。我们本次拆解的 2020 款 model 3 采用了 Telit 的 LTE 模组，在 2021 款以后特斯拉将无线模组供应商切换成移远通信。

MCU2 的主板采用了双面 PCB 板，正面主要布局各种网络相关芯片，例如 Intel 和 Marvell 的以太网芯片，Telit 的 LTE 模组，TI 的视频串行器等。正面的另一个重要作用是提供对外接口，如蓝牙/WiFi/LTE 的天线接口、摄像头输入输出接口、音频接口、USB 接口、以太网接口等。

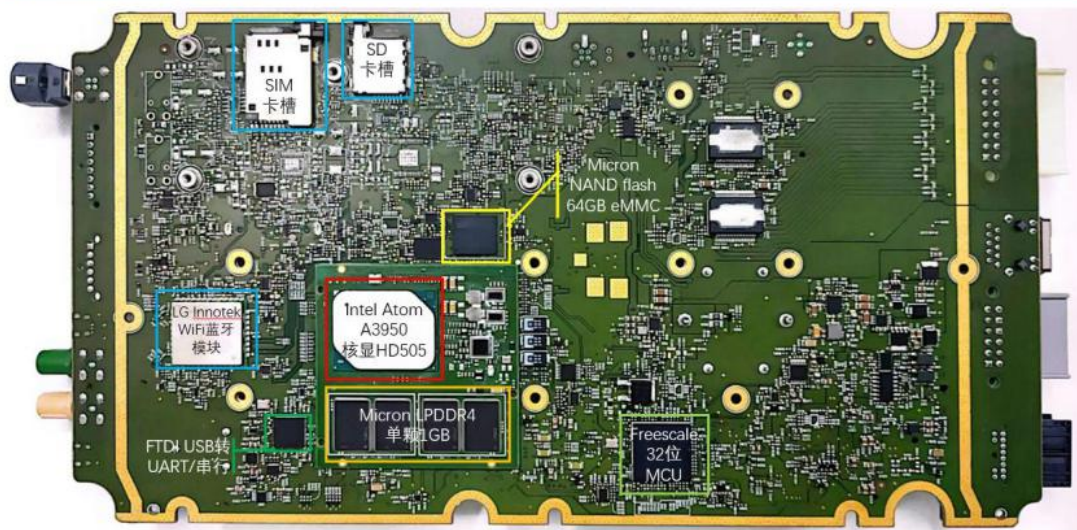
图 29：座舱域控制器电路板正面



资料来源：各公司官网，中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，中信证券研究部

而 MCU2 的背面更为重要，其核心是一颗 Intel Atom A3950 芯片，搭配总计 4GB 的 Micron 内存和同样是 Micron 提供的 64GB eMMC 存储芯片。此外还有 LG Innotek 提供的 WiFi/蓝牙模块等。

图 30：座舱域控制器电路板背面



资料来源：各公司官网，中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，中信证券研究部

在座舱平台上，特斯拉基于开源免费的 Linux 操作系统开发了其自有的车机操作系统，由于 Linux 操作系统生态不如 Android 生态丰富，特斯拉需要自己进行一部分主流软件

的开发或适配。

座舱域的重要作用就是信息娱乐，MCU2 在这一方面表现尚显不足。伴随 A3950 芯片低价的是其性能有限，据车东西测试称，在 MCU2 上启动腾讯视频或 bilibili 的时间都超过了 20 秒，且地图放大缩小经常卡顿。卡顿的原因是多方面的，一方面 A3950 本身算力有限，集成显卡 HD505 性能也比较弱，处理器测评网站 NotebookCheck 对英特尔 HD 505 的评价是，截至 2016 年的游戏，即使是在最低画质设置下，也很少能流畅运行。另一方面，速度较慢、寿命较短的 eMMC（embedded MultiMedia Card）闪存也会拖累系统性能。eMMC 相对机械硬盘具备速度和抗震优势，但擦写寿命可能只有数百次，随着使用次数增多，坏块数量增加，eMMC 的性能将逐渐恶化，在使用周期较长的汽车上这一弊端可能会得到进一步放大，导致读写速度慢，使用卡顿，2021 年年初，特斯拉召回初代 MCU eMMC 可以佐证这一点。综合来看，特斯拉 MCU2 相比同时期采用高通 820A 的车机，属于偏弱的水平。

但特斯拉作为一家重视车辆智能水平的企业，并不会坐视落后的局面一直保持下去。2021 年发布的所有新款车型都换装 AMD CPU（zen+ 架构）和独立显卡（RDNA2 架构），GPU 算力提升超过 50 倍，存储也从 eMMC 换成了 SSD，读写性能和寿命都得到大幅改善。整体来看，相比 MCU2，MCU3 性能获得明显提升，提升幅度比第一代到第二代的跨度更大。

表 2：特斯拉三代座舱域控制器配置对比

|              | 第一代座舱域控制器                                    | 第二代座舱域控制器              | 第三代座舱域控制器 (Model S)                 | 第三代座舱域控制器 (国产 Model Y Performance)  |
|--------------|--|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 方案           | 英伟达 Tegra VCM Tegra 3 T30                    | 英特尔 Atom A3950         | AMD                                 | AMD                                 |
| CPU          | ARM Cortex-A9 (4+1 核心)<br>1.4GHz 单核最高 1.5GHz | 4 核 4 线程 x86_64        | AMD 锐龙<br>YE180FC3T4MFG<br>4 核 8 线程 | AMD 锐龙<br>YE180FC3T4MFG<br>4 核 8 线程 |
| GPU          | 集成 12 核心 GeForce ULP<br>520MHz               | 集成 Intel HD 505 500MHz | 独 11AMD Radeon<br>215-130000026     | 独立 AMD Radeon<br>215-130000026      |
| GPU 算力 (单精度) | 12.4GFLOPS                                   | 187GFLOPS              | 10TFLOPS                            | 10TFLOPS                            |
| TDP          | 20W  | 12W                    | 45W+130W                            | 45W+130W                            |
| CPU 制程       | 40nm   | 14nm                   | 12nm                                | 12nm                                |
| GPU 制程       | 40nm   | 14nm                   | 7nm                                 | 7nm                                 |
| 显存           | 1GB  | 4GB                    | 8GB                                 | 8GB                                 |
| 内存           | 1GB  | 4GB                    | 10GB                                | 16GB                                |
| 闪存           | 8GB eMMC                                     | 64GB eMMC              | 256GB SSD                           | 256GB SSD                           |
| 娱乐屏幕         | 17 英寸  | 17 英寸+12.3 英寸/15.4 英寸  | 17 英寸+8 英寸+12.3 英寸                  | 15.4 英寸                             |
| 交付时间         | 2012   | 2018                   | 2021                                | 2021                                |

资料来源：车东西，中信证券研究部

最新一代的特斯拉 MCU 配置已经与当前最新一代的主流游戏主机较为接近，尤其是 GPU 算力方面不输索尼 PS5 和微软 Xbox Series X。

表 3：特斯拉 MCU3 与最新一代游戏主机性能对比

|        | Tesla MCU3        | Sony PlayStation 5 | Xbox Series X   | Xbox Series S      |
|--------|-------------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| CPU    | 12nm AMD Zen+     | 7nm AMD Zen2       | 7nm AMD Zen2    | 7nm AMD Zen2       |
| CPU 配置 | 4C/8T             | 8C/16T             | 8C/16T          | 8C/16T             |
| CPU 主频 | 最高 3.8GHz         | 最高 3.5 GHz         | 最高 3.8GHz       | 最高 3.6GHz          |
| GPU    | AMD RDNA2 Navi 23 | AMD RDNA2          | AMD RDNA2       | AMD RDNA2          |
| GPU 配置 | 28 CUs            | 36 CUs             | 52 CUs          | 20 CUs             |
| GPU 主频 | 2.79 GHz          | 2.23 GHz           | 1.83 GHz        | 1.57 GHz           |
| GPU 算力 | ~10 TFLOPS        | 10.28 TFLOPS       | 12.15 TFLOPS    | 4 TFLOPS           |
| 显存     | 8GB G6            | 16GB G6            | 16GB G6         | 10GB G6            |
| 最大带宽   | 224 GB/s          | 448 GB/s           | 560 GB/s        | 224 GB/s           |
| 性能目标   | up to 200mph      | 4K up to 120fps    | 4K up to 120fps | 1440p up to 120fps |
| 价格     | \$122.99          | \$399*-\$499       | \$499           | \$299              |
| 发布时间   | 2021 年 6 月        | 2020 年 11 月        | 2020 年 11 月     | 2020 年 11 月        |

资料来源：VideoCardz，中信证券研究部

提升的配置也让使用体验得到大幅提升。根据车东西的测试，MCU3 加载 bilibili 的时间缩短到 9 秒，浏览器启动时间为 4 秒，地图也能够流畅操作，虽然相比手机加载速度仍然不够，但已经有明显改善。另外 MCU3 的庞大算力让其能够运行大型游戏，比如 2021 年 6 月新款特斯拉 model S 交付仪式上，特斯拉工作人员就现场展示了用手柄和车机玩赛博朋克 2077。而且特斯拉官网上，汽车内部渲染图中，车机屏幕上显示的是巫师 3。这两个案例已经说明，MCU3 能够充分支持 3A 游戏，使用体验一定程度上已经可以与 PC 或游戏主机相比较。

图 31：特斯拉工作人员在 MCU3 上运行赛博朋克 2077



资料来源：Tesla Live

图 32：特斯拉官网渲染图中车机上显示巫师 3 等游戏



资料来源：特斯拉官网

从特斯拉车机与游戏的不断靠拢我们可以看到未来座舱域的发展第一个方向，即继续推进大算力与强生态。目前除特斯拉采用 x86 座舱芯片外，其他车企采用 ARM 体系较多，但同样呈现出算力快速增长的趋势，这一点从主流的高通 820A 到 8155，乃至下一代的 8295 都能够得到明显体现。高通下一代座舱芯片 8295 性能基本与笔记本电脑所用的 8cx 相同。可以看到无论是特斯拉用的 AMD 芯片还是其他车企用的高通芯片，目前趋势都是从嵌入式的算力水平向 PC 的算力水平靠拢，未来也有可能进一步超越 PC 算力。

表 4：高通座舱域芯片算力提升明显

|        | SA8155P              | SA8195P               | SA8295P           | 8cx Gen3          |
|--------|----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| 制造工艺   | 7 纳米                 | 7 纳米                  | 5 纳米 5LPE         | 5 纳米 5LPE         |
| 晶圆代工   | 台积电                  | 台积电                   | 三星                | 三星                |
| CPU    | 8 核                  | 8 核                   | 8 核               | 8 核               |
| 大核     | Kryo 435 GP          | Kryo 495GP*4          | Kryo 695 Gold*4   | Kryo 695 Gold*4   |
| 大核运行频率 | 2.42GHz              | ?                     | 3.00GHz           | ?                 |
| 中核     | Kryo Gold*3          |                       |                   |                   |
| 中核运行频率 | 2.13GHz              |                       |                   |                   |
| 小核     | Kryo Silver*4        | Kryo495 Silver        | Kryo 680 Silver*4 | Kryo 680 Silver*4 |
| 小核运行频率 | 1.785GHz             | ?                     | 2.40GHz           | ?                 |
| CPU 算力 | 105kDMIPS            | 125kDMIPS (估)         | 200k DM IPS       | 200kDMIPS         |
| GPU    | Adreno 640           | Adreno 680            | Adreno 695        | Adreno 695        |
| GPU 算力 | 986GFLOPS<br>@650MHz | 1720GFLOPS@8<br>40MHz | 3TFLOPS           | 3TFLOPS           |
| NPU 算力 | 3.4TOPS              | 4TOPS (估)             | 30TOPS            | 29TOPS            |

资料来源：佐思汽车研究，中信证券研究部

而且高算力让座舱控制器能够利用现有的软件生态。特斯拉选用 x86，基于 Linux 开发操作系统，利用现有的 PC 游戏平台，其他厂商更多利用现有的 ARM-Android 移动生态。这一方向发展到一定阶段后，可能会给车企带来商业模式的改变，汽车将成为流量入口，车企可以凭借车载的应用商店等渠道获得大量软件收入，并且大幅提高毛利率。

座舱域控制器的第二个发展方向则是可能与自动驾驶控制器的融合。首先，当前座舱控制器的算力普遍出现了过剩，剩余的算力完全可以用于满足一些驾驶类的应用，例如自

动泊车辅助等。其次，一些自动驾驶功能尤其是泊车相关功能需要较多人机交互，这正是座舱控制器的强项。而且，座舱控制器与自动驾驶控制器的融合还能够带来一定的资源复用和成本节约，停车期间可以将主要算力用于进行游戏娱乐，行驶期间则将算力用于保障自动驾驶功能，而且这种资源节约能够让汽车少一个域控制器，按照 MCU3 的价格，或许能够为每台车节约上百美元的成本。目前已经出现了相当多二者融合的迹象，比如博世、电装等主流供应商纷纷在座舱域控制器中集成 ADAS 功能，未来这一趋势有望普及。

表 5：部分座舱平台已经融合了泊车功能（舱泊一体）

| 厂商   | 座舱域/平台              | 量产时间 | 集成或支持的 ADAS 功能         |
|------|---------------------|------|------------------------|
| 伟世通  | SmartCore           | 2018 | DMS、360 环视等            |
| 博世   | Autosee2.0          | 2022 | 驾驶员和乘员监控(DOMS)、360 环视等 |
| 电装   | Intelligent-cockpit | 2020 | 驾驶员监控、360 环视等          |
| 哈曼   | 座舱域平台               | 2020 | DMS、OMS、360 环视、夜视等     |
| 东软   | 座舱域平台               | 2020 | 360 环视、V2X 等           |
| 中科创达 | Turbox Auto4.5      | 2021 | 前视 ADAS、DMS 和自动泊车功能等   |
| 诺博科技 | iN9.0               | 2021 | 360 环视、DMS 等           |

资料来源：九章智驾，中信证券研究部

## 电控域：IGBT 宏图大展，SiC 锋芒初露

### IGBT：汽车电力系统中的“CPU”，广泛受益于电气化浪潮

IGBT 相当于电力电子领域的“CPU”，属于功率器件门槛最高的赛道之一。功率半导体又称为电力电子器件，是电力电子装置实现电能转换、电路控制的核心器件，按集成度可分为功率 IC、功率模块和功率分立器件三大类，其中功率器件又包括二极管、晶闸管、MOSFET 和 IGBT 等。

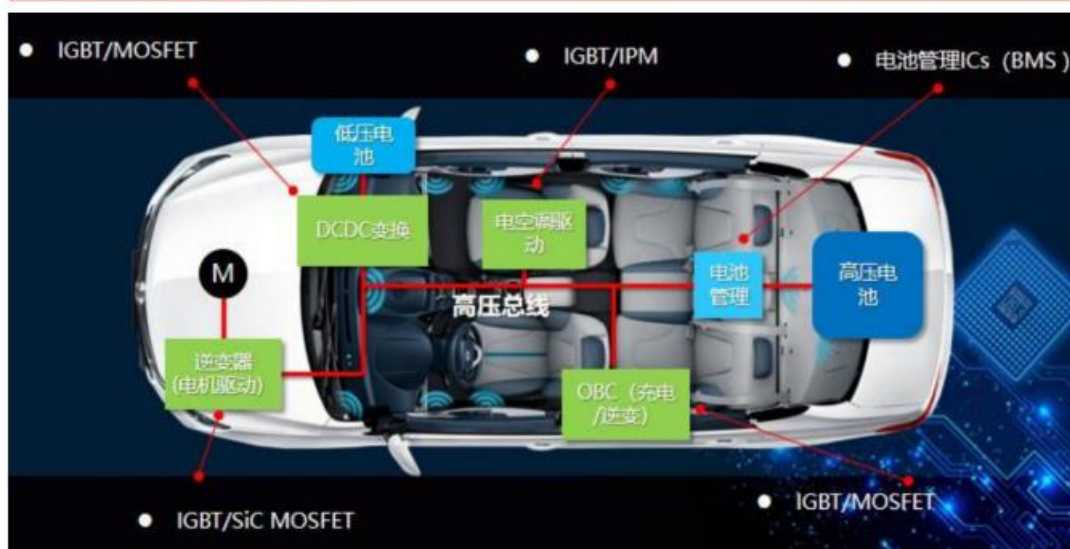
应用场景的增量扩张使得汽车领域成为市场规模最大，增长速度最快的 IGBT 应用领域。根据集邦咨询数据，新能源汽车（含充电桩）是 IGBT 最主要的应用领域，其占比达 31%。IGBT 在汽车中主要用于三个领域，分别是电机驱动的主逆变器、充电相关的车载充电器（OBC）与直流电压转换器（DC/DC）、完成辅助应用的模块。

**1）主逆变器：**主逆变器是电动车上最大的 IGBT 应用场景，其功能是将电池输出的大功率直流电流转换成交流电流，从而驱动电机的运行。除 IGBT 外，SiC MOSFET 也能完成主逆变器中的转换需求。

**2）车载充电器（OBC）与直流电压转换器（DC/DC）：**车载充电器搭配外界的充电桩，共同完成车辆电池的充电工作，因此 OBC 内的功率器件需要完成交-直流转换和高压变换工作。DC/DC 转换器则是将电池输出的高压电（400-500V）转换成多媒体、空调、车灯能够使用的低压电（12-48V），常用到的功率半导体为 IGBT 与 MOSFET。

**3）辅助模块：**汽车配备大量的辅助模块（如：车载空调、天窗驱动、车窗升降、油泵等），其同样需要功率半导体完成小功率的直流/交流逆变。这些模块工作电压不高，单价也相对较低，主要用到的功率半导体为 IGBT 与 IPM。

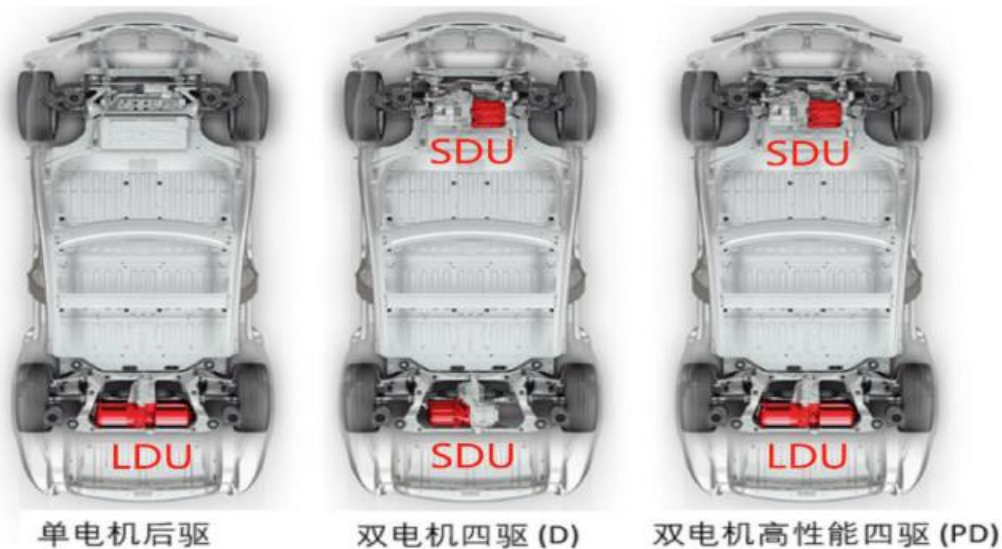
图 33: IGBT 在新能源汽车上的应用



资料来源: 比亚迪官网

以逆变器为例, Model S 的动力总成有两种, 分别为 Large Drive Unit (LDU) 和 Small Drive Unit (SDU), 前者装配在“单电机后驱版本”中的后驱、“双电机高性能四驱版本”中的后驱, 后者装配在“双电机四驱版本”中的前后驱、“双电机高性能四驱版本”中的前驱。

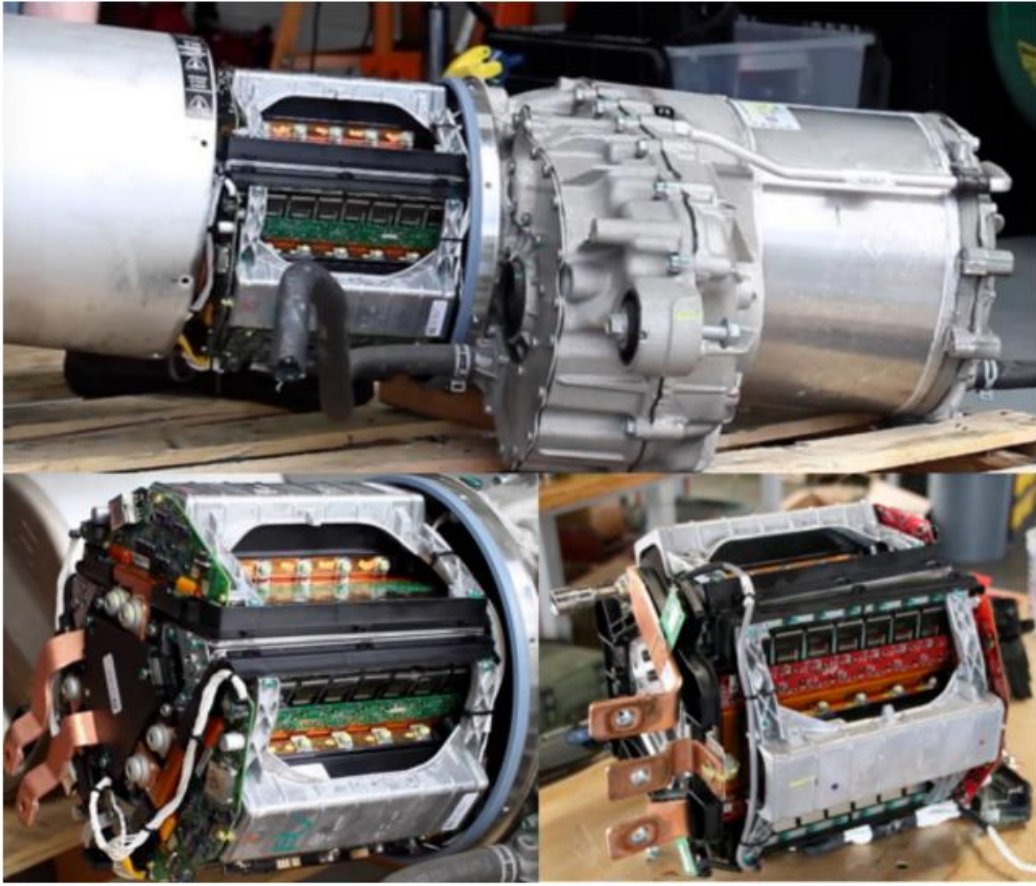
图 34: 特斯拉的逆变器分布



资料来源: 特斯拉官网-车主手册

LDU 尺寸较大, 输出功率也较大, 内部的逆变器包含 84 个 IGBT。LDU 的逆变器呈现三棱镜构造, 每个半桥位于三棱镜的每个面上, 每个半桥的 PCB 驱动板 (三角形) 位于三棱镜的顶部, 电池流出的高压直流电由顶部输入, 逆变后的高压交流电由底部输出。

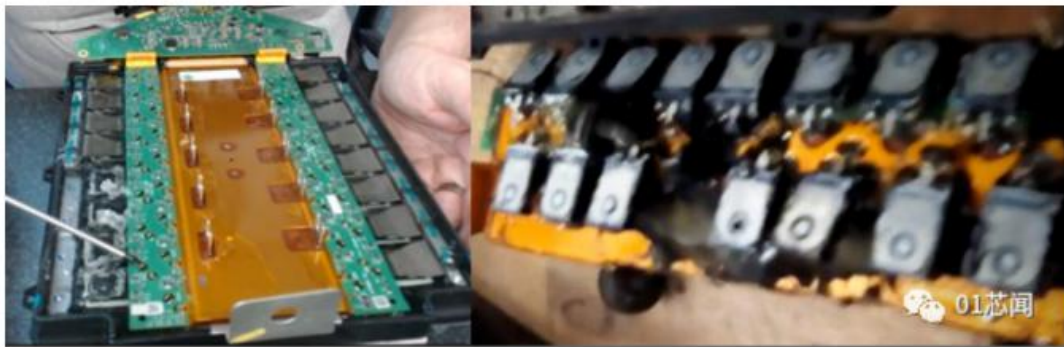
图 35：特斯拉 LDU 内部结构实物图



资料来源：Damien Maguire, Turbo Electric

Model S（单电机版本）全车共有 96 个 IGBT，其中有 84 个 IGBT 位于逆变器中，为其三相感应电机供电，84 个 IGBT 的型号为英飞凌的 IKW75N60T。若以每个 IGBT 5 美元计算，Model S 逆变器所使用的 IGBT 价格约为 420

图 36：特斯拉 Model S 中 LDU 逆变器 IGBT 排布



资料来源：Damien Maguire, Turbo Electric

而 SDU 的形态更小，内部结构也更为紧凑，内部逆变器含 36 个 IGBT。根据 01 芯闻拆解，SDU 中的 IGBT 为单管 IGBT，型号为英飞凌的 AUIRGPS4067D1，总用量为 36 片。IGBT 单管的布局也有较大变化，IGBT 单管背靠背固定在散热器中，组成类似三明治的结构，充分利用内部空间。同时，SDU 内部 IGBT 的管脚也无需折弯，降低失效概率。相比 LDU，



SDU 的出现体现出特斯拉对 IGBT 更高的关注度与要求，其机械、电学、成本、空间等指标均有明显提升。

## SiC: Model 3 开创应用先河，与 IGBT 各有千秋

与 IGBT 类似，SiC 同样具有高电压额定值、高电流额定值以及低导通和开关损耗等特点，因此非常适合大功率应用。SiC 的工作频率可达 100kHz 以上，耐压可达 20kV，这些性能都优于传统的硅器件。其于上世纪 70 年代开始研发，2010 年 SiC MOSFET 开始商用，但目前并未大规模推广。

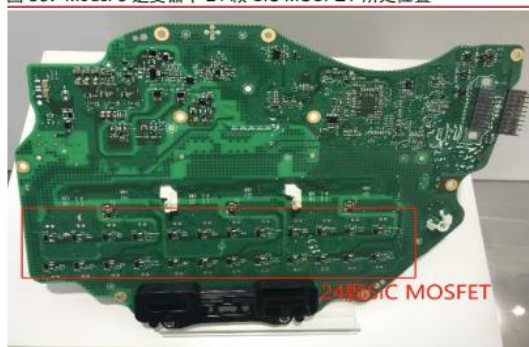
图 37: 各功率半导体适用范围比较



资料来源: ST 官网

Model 3 为第一款采用全 SiC 功率模块电机控制器的纯电动汽车，开创 SiC 应用的先河。基于 IGBT 的诸多优势，在 Model 3 问世之前，世面上的新能源车均采用 IGBT 方案。而 Model 3 利用 SiC 模块替换 IGBT 模块，这一里程碑式的创新大大加速了 SiC 等宽禁带半导体在汽车领域的推广与应用。根据 SystemPlus consulting 拆解报告，Model 3 的主逆变器上共有 24 个 SiC 模块，每个模块包含 2 颗 SiC 裸晶 (Die)，共 48 颗 SiC MOSFET。

图 38: Model 3 逆变器中 24 颗 SiC MOSFET 所处位置



资料来源: 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司, 中信证券研究部

图 39: Model 3 逆变器中 SiC MOSFET 放大图



资料来源: 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司, 中信证券研究部

Model 3 所用的 SiC 型号为意法半导体的 ST GK026。在相同功率等级下，这款 SiC 模块采用激光焊接将 SiC MOSFET、输入母排和输出三相铜进行连接，封装尺寸也明显小于硅模块，并且开关损耗降低 75%。采用 SiC 模块替代 IGBT 模块，其系统效率可以提高 5% 左右，芯片数量及总面积也均有所减少。如果仍采用 Model X 的 IGBT，则需要 54-60 颗 IGBT。

图 40: Model 3 SiC 模块 ST GK026 (意法半导体)



资料来源: 知乎答主-杨逸轩

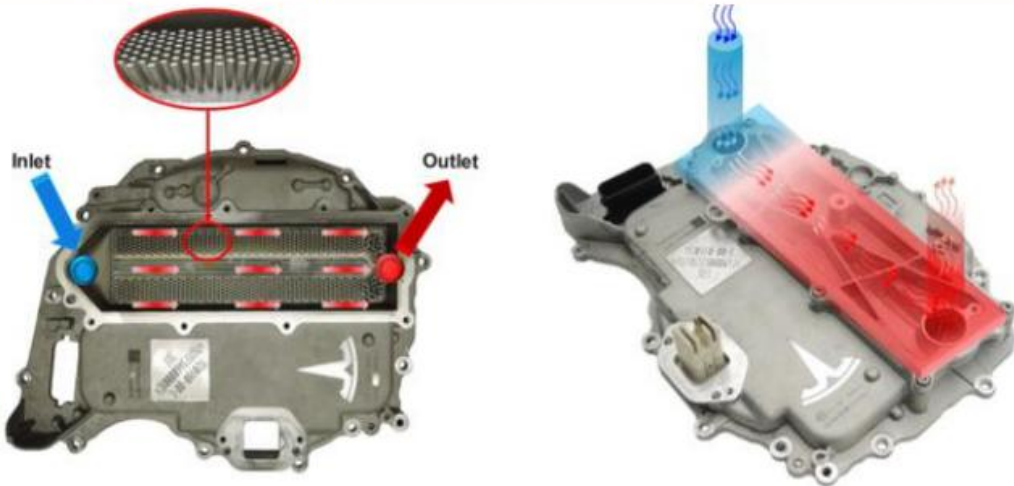
图 41: Model 3 SiC 模块输入母排



资料来源: 知乎答主-杨逸轩

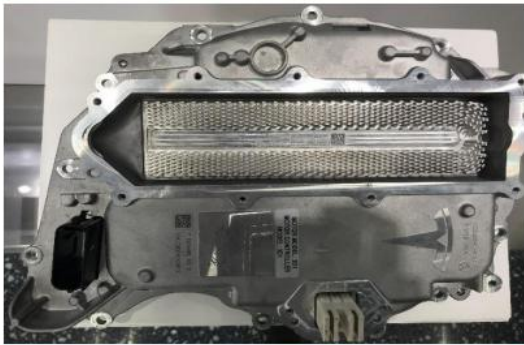
24 个模组每个半桥并联四个，利用水冷进行散热。24 个模块排列紧密，每相 8 个，单个开关并联 4 个。模组下方紧贴水冷散热器，并利用其进行散热。可以看到，模块所在位置的背面有多根棒状排列的散热器（扰流柱散热器），利用冷却水进行水冷。水通道由稍大的盖板覆盖和密封。

图 42: 逆变器壳体散热结构三维示意图



资料来源: Munro

图 43: 逆变器壳体散热结构实物图



资料来源: 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司, 中信证券研究部

图 44: 逆变器壳体散热结构进水口与出水口实物图



资料来源: 中汽创新创业中心, 中信证券研究部

Model 3 形成“示范效应”后，多家车厂陆续跟进 SiC 方案。在 Model 3 成功量产并使用后，其他厂商开始逐渐认识到 SiC 在性能上的优越性，并积极跟进相关方案的落地。2019

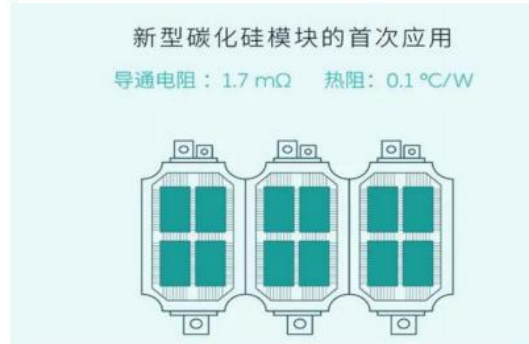
年 9 月，科锐与德尔福科技宣布开展有关车用 SiC 器件的合作，科锐于 2020 年 12 月成为大众 FAST 项目 SiC 独家合作伙伴；2020 年，比亚迪“汉”EV 车型下线，该车搭载了比亚迪自主研发的 SiC MOSFET 模块，加速性能与续航显著提升；2021 年，比亚迪在其“唐”EV 车型中加入 SiC 电控系统；2021 年 4 月，蔚来推出的轿车 ET7 搭载具备 SiC 功率模块的第二代高效电驱平台；小鹏、理想、捷豹、路虎也在逐渐布局 SiC。

图 45：比亚迪 SiC 功率模块



资料来源：比亚迪官网

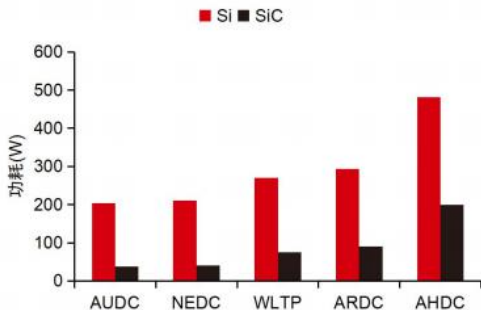
图 46：蔚来第二代电驱系统中的 SiC 功率模块



资料来源：蔚来官网

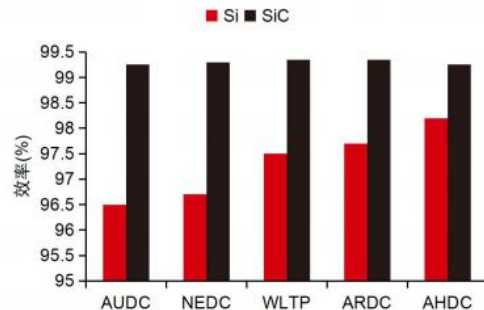
相比 IGBT，SiC 能够带动多个性能全面提升，优势显著。由于 Si-IGBT 和 Si-FRD 组成的 IGBT 模块在追求低损耗的道路上走到极致，意法半导体、英飞凌等功率器件厂商纷纷开始研发 SiC 技术。与 Si 基材料相比，SiC 器件的优势集中体现在：1) SiC 带隙宽，工作结温在 200°C 以上，耐压可达 20kV；2) SiC 器件体积可以减少至 IGBT 的 1/3~1/5，重量减少至 40%~60%；3) 功耗降低 60%~80%，效率提升 1%~3%，续航提升约 10%。在多项工况测试下，SiC MOSFET 相比 Si-IGBT 在功耗和效率上优势显著。

图 47：不同工况测试下 MOSFET-SiC 和 IGBT-Si 功耗对比



资料来源：《Benefits of new CoolSiCTM MOSFET in HybridPACKTM Drive package for electrical drive train applications》(Waldemar Jakobi etc.)，中信证券研究部

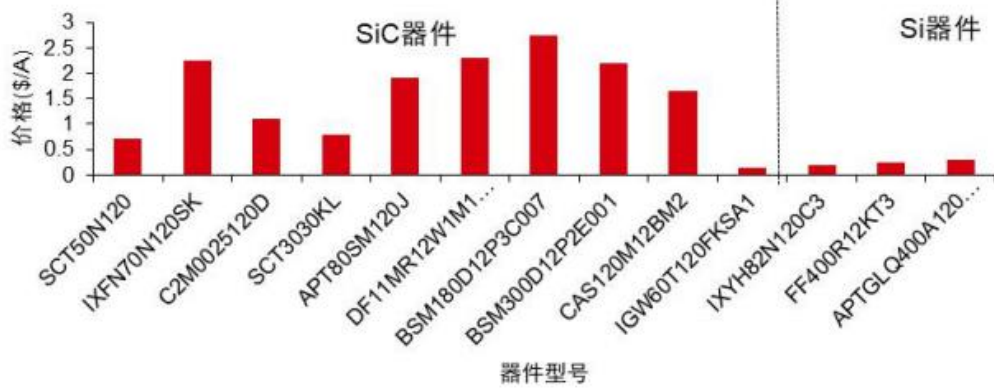
图 48：不同工况测试下 MOSFET-SiC 和 IGBT-Si 效率对比



资料来源：《Benefits of new CoolSiCTM MOSFET in HybridPACKTM Drive package for electrical drive train applications》(Waldemar Jakobi etc.)，中信证券研究部

但 SiC 的高成本制约普及节奏，未来 SiC 与 Si-IGBT 可能同步发展，相互补充。与 IGBT 相比，SiC 材料同样存在亟待提升之处。1) 目前 SiC 成品率低、成本高，是 IGBT 的 4~8 倍；2) SiC 和 SiO<sub>2</sub> 界面缺陷多，栅氧可靠性存在问题。受限于高成本，SiC 器件普及仍需时日，叠加部分应用场景更加看重稳定性，我们认为 SiC 在逐步渗透的过程中将与 Si-IGBT 一同成长，未来两者均有广阔的应用场景与增长空间。

图 49: MOSFET-SiC 和 IGBT-Si 价格对比



资料来源：中科院电工研究所，中信证券研究部

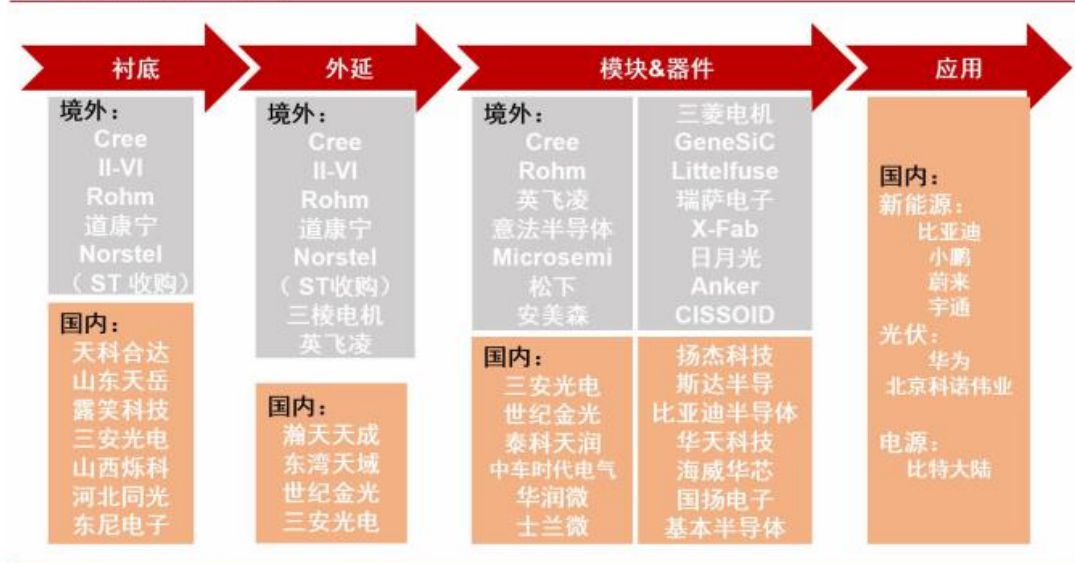
图 50: SiC 在功率器件领域的渗透情况



资料来源：CASA（含预测），中信证券研究部

由于应用落地较慢，目前整个 siC 市场仍处于发展阶段，国外厂商占据主要份额。根据 Cree（现公司名为 Wolfspeed）数据，2018 年全球 SiC 器件销售额为 4.2 亿美元，预计 2024 年销售额将达 50 亿美元。SiC 产业分链可分为衬底、外延、模组&器件、应用四大环节，意法半导体、英飞凌、Cree、Rohm 以及安森美等国外龙头主要以 IDM 模式经营，覆盖产业链所有环节，五家龙头占据的市场份额分别为 40%、22%、14%、10%、7%。国内三安光电、中车时代电气、扬杰科技、华润微等厂商以 IDM 模式经营，而天岳先进、露笑科技、华天科技等厂商则专注于某一细分环节。

图 51：国内外 SiC 产业链梳理



资料来源：各公司官网，中信证券研究部

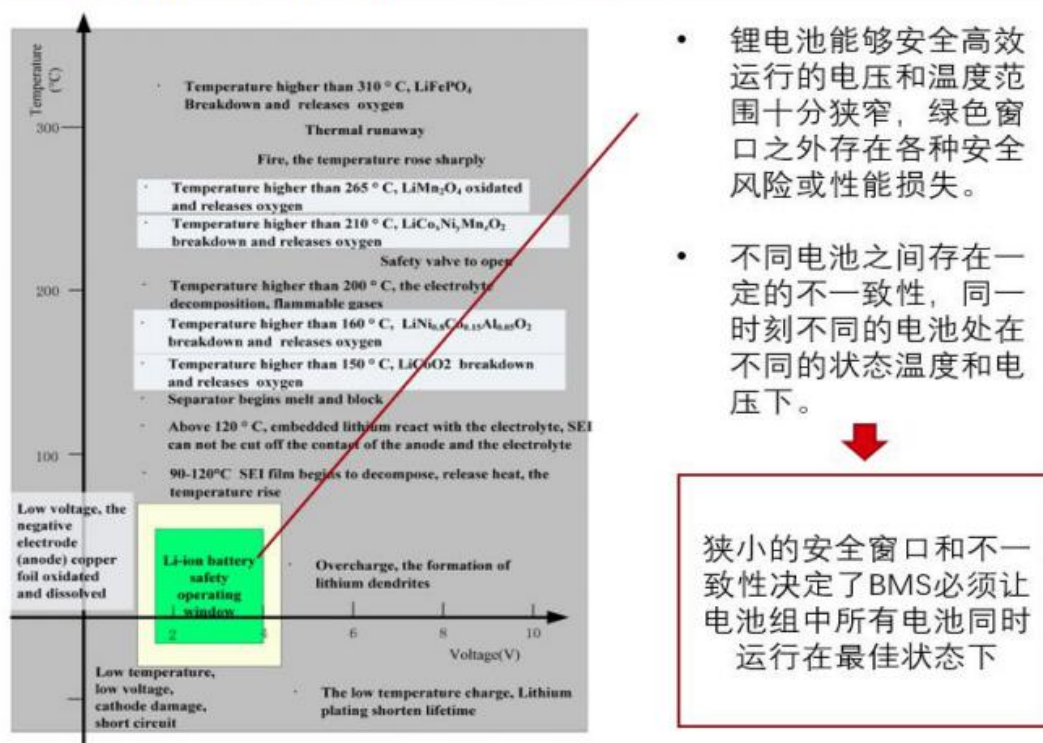
## 动力域：主从架构 BMS 为躯干，精细电池管理为核心

Model 3 作为电动车，电能和电池的管理十分重要，而负责管理电池组的 BMS 是一个高难度产品。BMS 最大的难点之一在于，锂电池安全高效运行的条件是十分苛刻的。当今的锂电池，无论正负极还是电解液都十分脆弱。正负极均为多孔材料，充放电时锂离子就在正极和负极的孔隙中移动，导致正负极材料膨胀或收缩，当锂电池电压过高或过低，就意味着锂离子过度集中在正负极其中之一，导致这一边的电极过度膨胀而破碎，还容易产生锂枝晶刺破电池结构，而另一边的电极由于缺乏锂离子支撑，会发生结构坍塌，如此正负极都会受到永久性损害。电解液和三元正极材料都对温度比较敏感，温度过高则容易发生分解和反应，乃至燃烧、爆炸。因此，使用锂电池的前提就是确保其能工作在合适的温度和电压窗口下。如果以电压为横轴，温度为纵轴绘制一张图，这就意味着锂电池必须运行在图中一个较小的区域内。

BMS 的第二大难点在于，不同的锂电池之间必然存在不一致性。这种不一致性就导致同一时间，在同一电池组内，不同的电池仍然工作在不同的温度、电压、电流下。如果继续用一张图来描述，就代表着不同电池处在图上的不同位置。而要保证电池组的安全高效运行，就意味着诸多电池所在的点位必须同时处于狭小的安全窗口内，这就导致电池数量越多，管理就越困难。

为了解决锂电池运行的这一难题，就必须有可靠的 BMS 系统来对电池组进行监控和管理，让不同电池的充放电速度和温度趋于均衡。

图 52：锂电池狭小的安全窗口与不一致性给电池组管理带来了巨大难度



资料来源：A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles（欧阳明高等），中信证券研究部

在诸多厂家的 BMS 中，特斯拉的 BMS 系统是复杂度和技术难度最高的之一，这主要是由于特斯拉独特的大量小圆柱电池成组设计。

为什么特斯拉选用难以控制的小圆柱电池？早在特斯拉成立的早期，日本厂商在 18650 小圆柱电池上积累了丰富的经验，一年出货量达到几十亿节，因而这类电池一致性较好，有利于电池管理。因此特斯拉在 model S 上选用了小圆柱电池。出于技术积累等方面的原因，特斯拉在 model 3 上使用了仅比 18650 略大的 2170 电池，并且至今还在使用圆柱形电池。

由于特斯拉一直采用数量庞大的小圆柱电池来构造电池组，导致其 BMS 系统的复杂度较高。在 model S 时代，特斯拉全车使用了 7104 节电池，BMS 对其进行控制是需要一定软件水平的。根据汽车电子工程师叶磊的表述，在 model S 当中，采用每 74 节电池并联检测一次电压，每 444 节电池设置 2 个温度探测点。从汽车电子工程师朱玉龙发布的 model S 诊断界面图也可以看出，整个电池组共有 16\*6=96 个电压采样点，以及 32 个温度采样点。可以看到采样的数据是很多的，需要管理的电池数量也为其增加了难度，最终 BMS 将依据这些数据设置合理的控制策略。高复杂度的电池组也让特斯拉在 BMS 领域积累了相当强的实力。与之相对，其他厂商的 BMS 复杂度就远不如特斯拉高，例如大众 MEB 平台的首款电动车 ID.3 采用最多 12 个电池组模块，其电池管理算法相对会比较简单。

图 53：特斯拉 model S 诊断界面显示的电池组温度电压采样信息

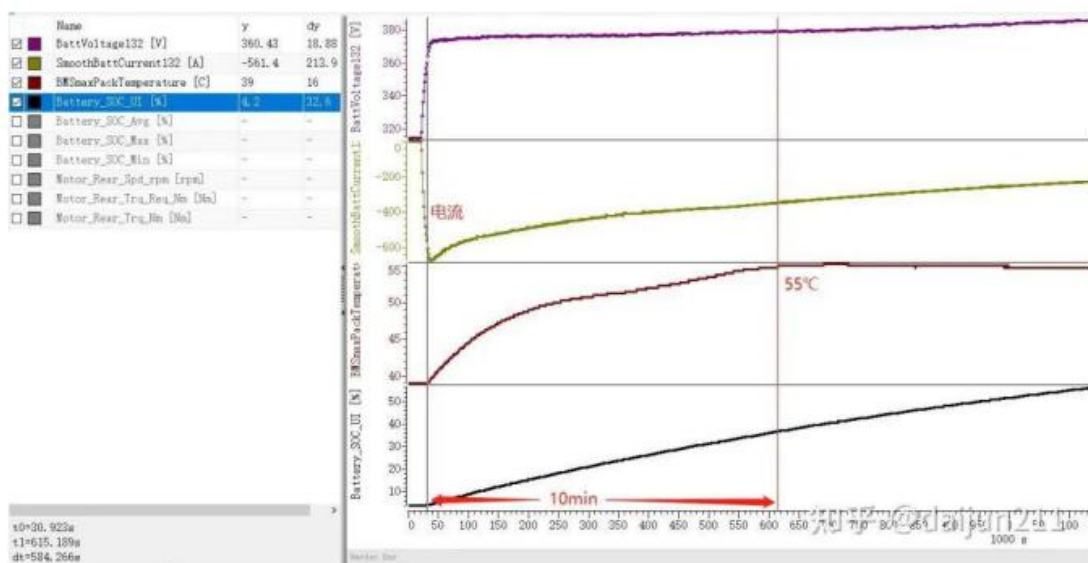


资料来源：汽车电子设计微信公众号

未来特斯拉的 BMS 是否会维持这样的复杂度？从目前趋势来看，随着采用的电池越来越大，BMS 需要管理的电池数量是越来越少的，BMS 的难度也有所降低。比如从 model S 到 model 3，由于改用 2170 电池，电芯数量出现了较明显的下降，长续航版电芯数量缩减到 4416 颗，中续航版 3648 颗，标准续航版 2976 颗。本次拆解的标准续航版配置 96 个电压采样点，数量与 model S 相同，平均每 31 节电池并联测量一个电压值。整车 4 个电池组，每个都由 24 串 31 并的电池组组成，对电流均衡等方面提出了较高的要求。未来，随着 4680 大圆柱电池的应用，单车电芯数量将进一步减少，有利于 BMS 更精确地进行控制，或许能够进一步强化特斯拉的 BMS 表现。

尽管面临着最高的 BMS 技术难度，但特斯拉仍旧在这一领域做到优秀水准，而且还有超越其他公司的独到之处。比如特斯拉在电池管理的思路方面显得更加大胆，热管理方面是一个典型体现。特斯拉会在充电期间启动热管理系统将电池加热到 55 度的理论最佳温度，并在此温度下进行持续充电，相比而言，其他厂商往往更在意电池是否会过热，不会采用此类策略，这更加显现出特斯拉在 BMS 方面的实力。

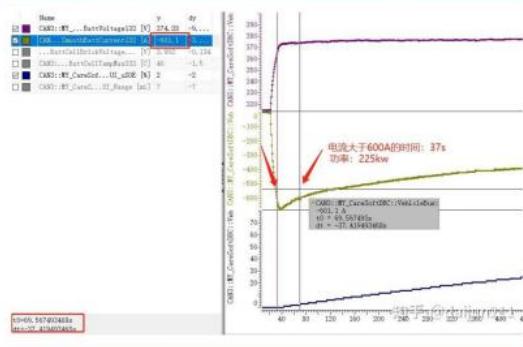
图 54：特斯拉会在充电期间使电池组保持在 55°C



资料来源：知乎答主-daijun211

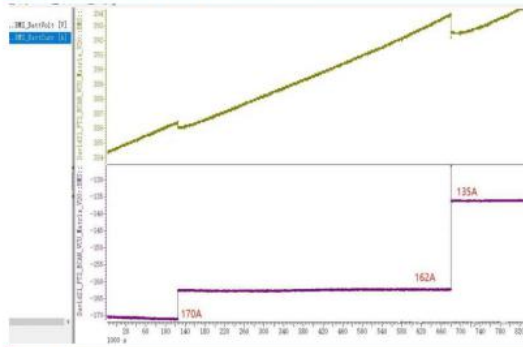
特斯拉在充电或电能利用方面的用户体验设计是其 BMS 系统的另一个独到之处。比如特斯拉会用车身电池来使其他重要控制器实现“永不下电”，提高启动速度，改善用户体验。充电时，特斯拉采取的策略也更加灵活，会在充电刚开始时将电流提高到极大的程度，迅速提升电池电量，随后再逐渐减小充电电流到一个可以长期持续的水平，比如 model Y 可以在 40 秒内达到 600A 的超大电流充电（如图中黄绿色线所示）。相比而言，一般的车企甚至消费电子厂商通常会用一个可以长期持续的电流进行恒流充电。考虑到车主有时需要在几分钟内迅速补充电池电量，特斯拉的这种策略无疑是更有优势的，这也体现出特斯拉比传统车企思路更灵活，更能产生创新。

图 55：特斯拉采用短时间超大电流来实现缩短充电时间



资料来源：知乎答主-daijun211

图 56：其他车企往往采取分段恒流充电



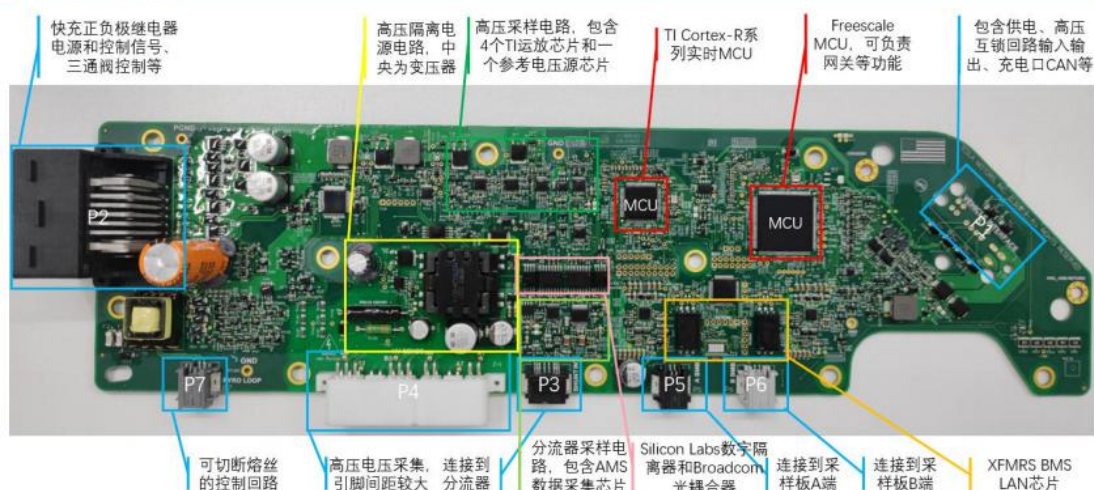
资料来源：知乎答主-daijun211

而具体如何实现这样优秀的 BMS 功能？前文所说的种种 BMS 管理策略依赖于软件，软件的基础在于特斯拉的 BMS 硬件设计。特斯拉 model 3 的硬件设计包括了核心主控板、采样板、能量转换系统（PCS，由 OBC 和 DCDC 两部分组成）以及位于充电口的充电控制单元。BMS 部分所有电路均覆盖有透明三防漆以保护电路，导致电路元件外觀光滑且反光。

主控板负责管理所有 BMS 相关芯片，共设置 7 组对外接口，包含了对充电控制器（CP）、能量转换系统（PCS）的控制信号，以及到采样板（BMB）的信号，另外还包含专门的电流电压采集信号。电路板上包含高压隔离电源、采样电路等电路模块。元器件方面，有 Freescale 和 TI 的单片机，以及运放、参考电压源、隔离器、数据采样芯片等。



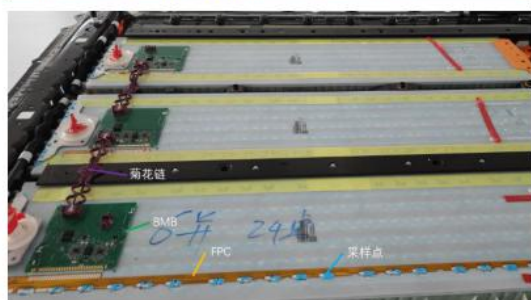
图 57: model 3 BMS 主控板



资料来源：各公司官网，中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，汽车电子设计微信公众号，中信证券研究部

在 BMS 的控制下，具体对电池组进行监测的是 BMB 电路板，对于特斯拉 model 3 而言，共有 4 个电池组，每一组配备一个 BMB 电路板，并且 4 个电路板的电路布局各不相同，彼此之间可以很容易地利用电路板上的编号进行区别，并且按照顺序用菊花链连接在一起，在 1 号板和 4 号板引出菊花链连接到主控板的 P5 和 P6 接口。我们本次拆解的 model 3 单电机标准续航版电池组较短，沿着每个电池组都布置了一条 FPC（柔性电路板），并且在其沿线设置了对电池进行采样的采样点，每个采样点都用蓝色聚氨酯进行覆盖保护，最后在其上方覆盖淡黄色胶带进行保护。需要注意的是，标准续航版尽管每个电池组仍有两条淡黄色胶带，但只有其中一条下面有 FPC，另一条仅起到对下方电池触点的保护作用。而对于长续航版本，由于电池较多，每个电池组都需要分成两条 FPC 进行采样。

图 58: model 3 标准续航版电池组及其采样板、采样点



资料来源：中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，中信证券研究部

图 59: model 3 长续航版电池组及采样板



资料来源：Munro Live，新能源 BMS，中信证券研究部

具体到 BMB 电路方面，标准续航版和长续航版也有所不同，我们以元器件较多的 4 号采样板为例进行说明。首先，在采样点数量方面就有所不同，标准续航版共设置 24 个采样点，因此 FPC 上有 24 个触点与 BMB 进行对应。长续航版的电池组顶格设置，4 个电池组当中，中间两组较长，左右各设置 25 个采样点，共 50 个，两边的电池组略短一些，共设置 47 个采样点，一侧 24 个，另一侧 23 个，因此长续航版的 BMB 需要在两侧都设置触点。

其次，电路布置和元器件数量也有较大不同。经过触点传来的信号需要由 AFE（模拟前端）芯片进行处理，这是整个 BMB 电路的核心。标准续航版每个 BMB 有两颗定制的 AFE 芯片，其配置有些类似 Linear Technology（ADI）的 LTC6813 芯片但不完全相同，同时

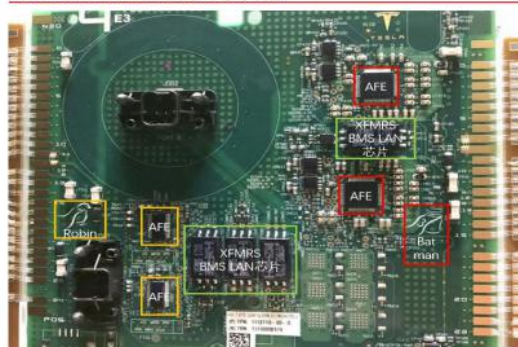
配置了 3 颗 XFMRS 的 BMS LAN 芯片用于与其他电路板的信号传输。长续航版 BMB 由于两侧均有触点，信号数量较多，因此为每个 AFE 另外配置了两颗简化版的 AFE 芯片（图中橙色长方形），用来辅助信号处理。同时 BMS LAN 芯片的数量也增加了 1 颗。

图 60: model 3 标准续航版 4 号采样板



资料来源：中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，中信证券研究部

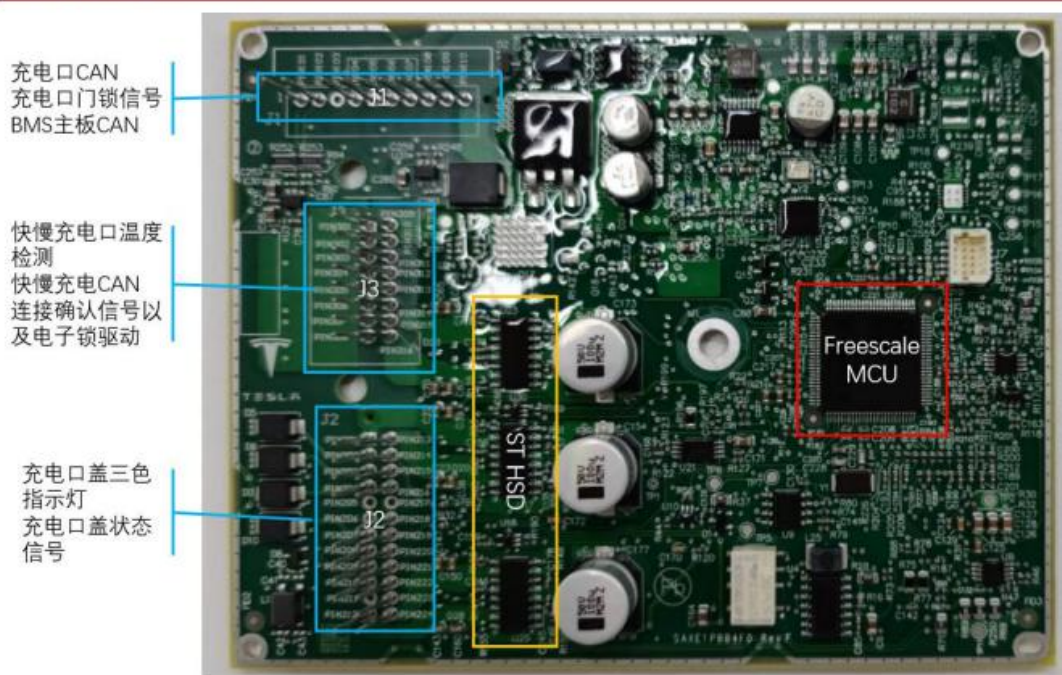
图 61: model 3 长续航版 4 号采样板



资料来源：新能源 BMS，中信证券研究部

BMS 体系的另一个重要组成部分是充电控制，特斯拉为此开发了充电控制器，位于左后翼子板充电口附近。该控制器有三个对外接口，负责控制充电口盖、充电枪连接状态与锁定、充电信号灯、快慢充控制及过热检测等。电路方面则包括了 Freescale 的 MCU 和 ST 的 HSD 芯片等。

图 62: model 3 充电控制器电路板



资料来源：中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，汽车电子设计微信公众号，中信证券研究部

BMS 还有一个重要功能就是电能转换，包括将高压直流电转化成低压直流电来供给车内设备，或者将高压交流电转化为高压直流电用于充电等，这一部分是通过能量转换系统（PCS，也称高压配电箱）完成的。PCS 包括两个主要部分，分别是将交流电转化成直流电的 OBC（车载充电器，On Board Charger）和进行直流电压变换的 DCDC。这部分电路中主要是各种大电容和大电感，也包含了整车中十分罕见的保险丝。

图 63: model 3 能量转换系统



资料来源: 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司, Tech Gear, 中信证券研究部

从元器件层面来看 BMS 系统，最核心的主要就是 AFE 芯片和各类功率器件/被动元件。其中 AFE 芯片领域，国内最主流的是三家美国公司产品，Linear Technology（被 ADI 收购）、Maxim（被 ADI 收购）、TI，所以其实还是归结于全球最大的两家模拟芯片公司。此外 NXP/Freescale、Intersil 等大型厂商也有一定份额。随着国内产业发展，国产 AFE 芯片通道数和产品稳定性逐渐提高，也有望获得发展空间。功率器件方面，我国产业已经有一定市场地位，在汽车领域仍可以进一步突破。

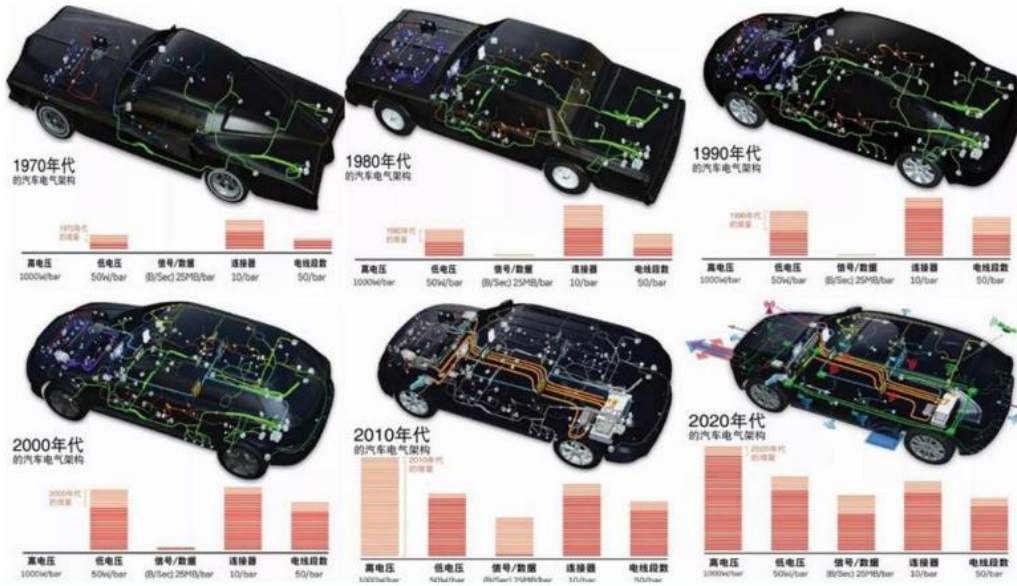
从电路和系统层面来看，依据汽车电子工程师朱玉龙的说法，BMS 真正的核心价值，其实是在电池的测试，评价，建模和后续的计算。整个 EE 的软硬件架构，已经基本是红海，未来产业不需要大量的 BMS 公司，长久来看还是电池厂商和车厂能够在 BMS 领域获得较高的地位。随着汽车产业崛起，未来我国电动汽车厂商在 BMS 领域也有望获得更深厚的积累。

## 线束和连接器：高压线束和连接器是最大增量，集中式 E/E 架构减少线束用量

### 线束：架构革新缩短线束长度，轻量化为车厂降本提效关键

车结构日益复杂，功能日益多样，导致线束长度与复杂度提升。线束是汽车电路的网络主体，其连接车上的各个组件，负责相关电力与电信号的传输，被誉为“汽车神经”。汽车智能化与电气化程度的提升，依赖于汽车传感器、ECU（电子控制单元）数量的增加，90 年代一辆车的 ECU 数量大约为十几个，而目前单车 ECU 数量已增至上百个。控制单元的数量增加使得网线结构日益复杂，大大增加了车辆中的线束长度。

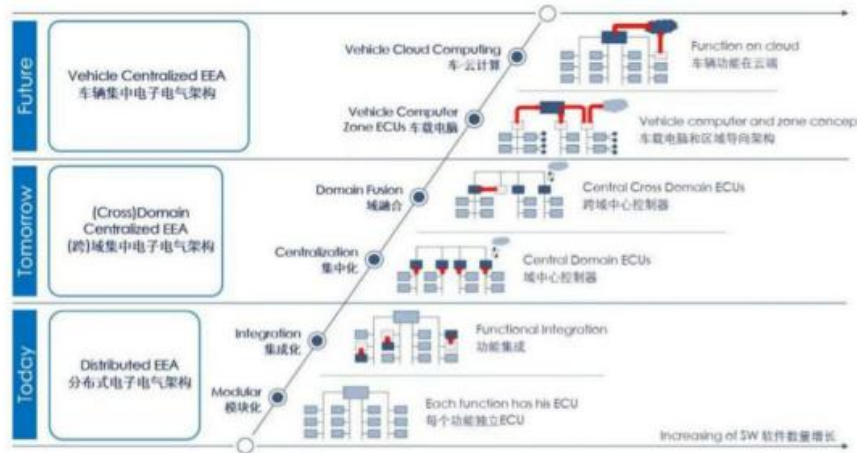
图 64：汽车电气架构变化趋势



资料来源：安波福

降低线束复杂程度，依赖电子电气架构的革新。根据博世的电子电气架构战略图，汽车的电子电气架构主要分为三大类：分布式电子电气架构、域集中式电子电气架构与车辆集中式电子电气架构。传统汽车主要采用分布式架构，该架构由多个相对独立的 ECU 组成，各个 ECU 与功能一一对应。而线束则负责将不同的 ECU 进行连接，以实现信息的交互。因此在传统的分布式架构下，ECU 模块数量的增多与分散化的布局，不可避免地会导致线束长度的增加，提高制造成本。目前传统分布式架构汽车的线束长度大约为 5km。

图 65：博世电子电气架构演进图



资料来源：智驾最前沿微信公众号

特斯拉早期的 Model S 与 Model X 对架构进行改革，根据功能划分域控制器，整体架构介于分布式和域集中式之间。Model S 与 Model X 车内仅由驾驶域、动力域、底盘域、座舱域、车身域等域控制器构成，因此极大减少 ECU 的数量并同步缩短了 CAN 总线的长度，Model S 线束长度约为 3km。

而 Model 3 对“域”进行重新划分，在 Model S 与 Model X 的基础上进行跨域融合。各个 ECU 不再按功能进行划分，而是以物理位置直接分为 CCM（中央处理模块）、BCM LH（左车身控制模块，LBCM）、FBCM（前车身控制模块）、BCM RH（右车身控制模块，RBCM）四大部分。CCM 负责原本驾驶域与座舱域的功能需求，包括自动驾驶模块、信息

娱乐模块、车内外通信连接等；BCM LH 负责左侧车身转向、制动、稳定控制等；FBCM 负责电源分配、逻辑控制等；BCM RH 负责动力系统、热管理等。利用少量的高性能计算单元替代分散的 ECU，把需要实现的功能通过软件迁移到几大模块中，从而进一步提升集成度，因此，Model 3 的线束长度进一步缩短到 1.5km。

图 66：Model 3 左、前、右车身控制模块



资料来源：中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，中信证券研究部

缩短线束长度是提升产品续航与制造效率的共同需求。传统汽车线束的重量约占整车的 5%，长度的缩短能够为汽车设计让出更多的物理空间，并能减轻汽车总重从而减少油耗提升续航。同时，线束种类多样、布局复杂且质地较软，因此线束的生产与安装都主要依赖于人工。根据佐思汽研数据，95%的线束需要人工生产，线束低自动化的生产模式限制了车厂进一步扩大产能。针对这一问题，Model 3 通过革新架构缩短线束长度，减少其对产能提升的阻滞。

表 6：汽车线束主要线束产品及基本功能

| 产品     | 功能  |
|--------|---|
| 车身总成线束 | 实现了整车电路无触点化及对系统多个负载的控制功能,解决了线束繁杂问题,提高了系统工作的可靠性和安全性。 |
| 电喷发动机线 | 采用一束普通导线传输多路信号,实现了对发动机电喷系统多个负载的控制功能,解               |

|        |  |
|--------|--|
|        | 决了线束繁杂问题。                                  |
| 仪表板线束  | 线束装配极为方便,工艺性更好。                            |
| 门控系统线束 | 通过与车身线束的对接,实现了电动玻璃升降、电加热控制反光镜、电控门锁及扬声器等功能。 |
| 安全气囊线束 | 通过与仪表线束的对接,实现了方向盘主气囊,副驾驶副气囊及车内侧气帘等功能。      |
| 车顶线束   | 通过与车身线束对接,实现了车内顶灯、电动天窗、雨量传感器及 ONSTAR 等功能。  |
| 行李箱线束  | 通过与车身线束对接,实现了后制动灯、后雾灯、后方向灯、行李箱灯及倒车雷达等功能。   |

图 67: BCM RH (右车身控制模块) 周围线束展示



资料来源: 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司, 中信证券研究部

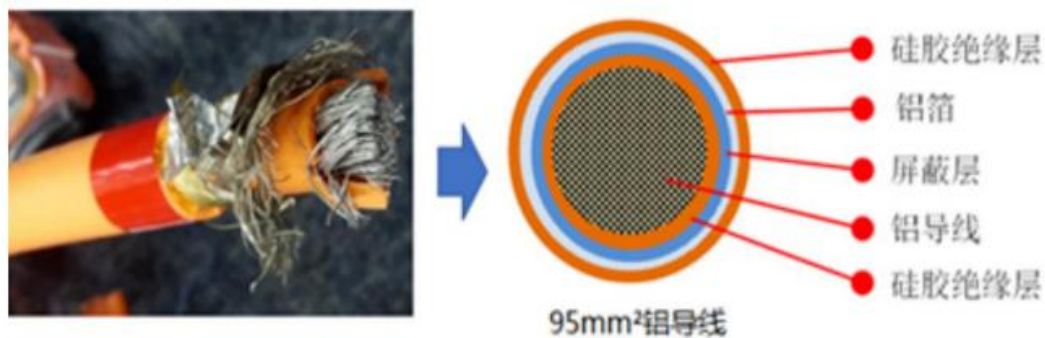
图 68: 部分低压线束展示



资料来源: 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司, 中信证券研究部

除了架构调整缩短线束长度, 拆解发现, **Model 3** 在高压线束中采用铝导线代替传统的铜导线, 进一步实现轻量化。铝与铜的密度分别为  $2.7\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $8.9\text{kg}/\text{m}^3$ , 且铝料的成本较铜便宜一半以上。即使考虑铝在导电性能上的劣势, 增大线径的铝导线 (增大约 1.6 倍) 依旧可以进一步减少车身重量 (约 21%), 降低制造成本。

图 69: Model 3 高压铝材质导线及其结构图



资料来源: 电动知家

但使用铝导线代替铜导线也会面临诸多问题, 使得此前车厂不敢轻易尝试高压铝导线。首先, 铝的导电率明显低于铜如若要达到相同的导电性能, 需要进一步加大导线线径; 铝的抗拉强度更低, 影响机械性能; 铝和铜在膨胀系数的差异, 也会使得铝导线与铜端子在结合界面产生空隙, 导致阻抗的增加; 铝极易氧化, 且绝缘的氧化铝可能影响接触性能。虽然铝导线在汽车领域中应用广泛, 但基本都在低压领域, **Model 3** 在高压导线领域使用铝导线, 是其利用自身技术禀赋实现成本管理与技术提升的重要表现。

表 7：铝、铜各性能系数对比

|      | 铝                    | 铜                     |
|------|----------------------|-----------------------|
| 密度   | 2.7kg/m <sup>3</sup> | 8.9 kg/m <sup>3</sup> |
| 导电率  | 35.3                 | 58.1                  |
| 抗拉强度 | 约 0.64:1             |                       |
| 膨胀系数 | 23.5                 | 16.6                  |

资料来源：线束世界，中信证券研究部

图 70：Model 3 高压线束展示



资料来源：中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，中信证券研究部

从行业看，线束行业的单车价值量相对稳定，单价主要受车型的不同、项目定价的差异及结构影响。在新车型和改款车型上市的初期，由于车辆的售价较高，相应的零部件定价也相应较高。而随着推出时间的增长及新车型的推出，整车厂会对原有车型进行降价，同时也要求汽车零部件生产商降价，从而降低公司产品的销售价格。根据沪光股份招股说明书，2019 年公司成套线束（构成车身的主要线束组合，不包括发动机相关的线束）、发动机线束、其他线束单价分别为 1587 元/套、199 元/件、29 元/件。相同车型的线束单价相对稳定，单价差异主要取决于车型的不同，2019 年，公司不同车型成套线束的单价普遍在 1000 到 3000 元之间。

表 8：2019 年沪光股份成套线束主要项目销售单价及毛利情况

|                   | 车辆价位 (万元) | 线束单价 (元) | YoY | 线束毛利率 | 能源类型 |
|-------------------|-----------|----------|-----|-------|------|
| BSUV COUPE (途昂 X) | 28.5+     | 3012     | 新项目 | 9.4%  | 汽油   |
| M32T (奇瑞星途 TXL)   | 14.79+    | 2775     | 新项目 | 18.2% | 汽油   |

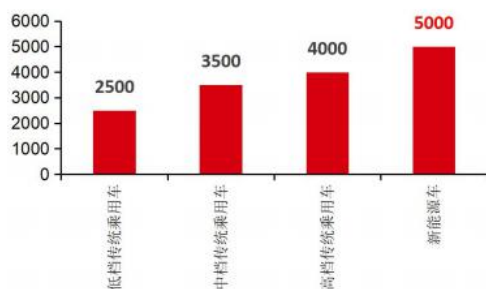
|              |        |      |         |       |    |
|--------------|--------|------|---------|-------|----|
| Octavia (明锐) | 13.89+ | 1399 | -3.97%  | 14.4% | 汽油 |
| S500 (BX5)   | 12.98+ | 3315 | 19.06%  | 18.2% | 汽油 |
| T-CROSS (途铠) | 11.59+ | 1768 | 新项目     | 22.6% | 汽油 |
| K218 (科鲁泽)   | 11.19+ | 877  | 新项目     | 10.0% | 汽油 |
| CUV (柯米克)    | 11.19+ | 1799 | -13.98% | 16.6% | 汽油 |
| T18 (瑞虎 8)   | 9.99+  | 1898 | 2.09%   | 27.5% | 汽油 |
| S4 (江淮瑞风 S4) | 7.58+  | 2176 | 73.00%  | 9.5%  | 汽油 |
| T17 (瑞虎 5X)  | 6.99+  | 1753 | 新项目     | 19.8% | 汽油 |
| SK351/VW351  | -      | 1397 | 9.09%   | 18.9% | 汽油 |

资料来源：沪光股份招股说明书，汽车之家，中信证券研究部

**Model 3 等新能源车发展方兴未艾，量价提升打开线束行业成长空间。**目前线束行业为存量市场，市场规模依赖下游汽车的销售情况，汽车“新四化”趋势下 2021 年我国汽车产销量分别为 2608.2 万辆与 2627.5 万辆，结束了 2018 年以来连续三年的下降局面。同时，**高压线束的增量需求与轻量化趋势提升单车价值量，行业空间进一步打开。**根据华经产业研究院数据，传统低、中、高端汽车的线束单车价值量约为 2500、3500、4500 元，而新能源车线束单车价值平均提升至 5000 元左右。若以 3000 元的单车价值量计算，2021 年线束市场规模可达 782 亿元。

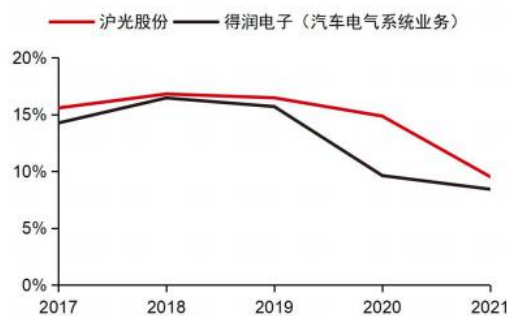
**从盈利上看，成本冲击使得行业毛利率表现不佳。**线束行业属于劳动密集型行业、产品成本受铜等原材料价格影响严重，因此行业内公司毛利率较低。在人力成本与原料成本的负面冲击下，近年来线束行业毛利率呈现下降趋势。

图 71：不同车型线束单车价值量分布（元）



资料来源：华经产业研究院，中信证券研究部

图 72：国内线束厂商毛利率变化趋势



资料来源：wind，中信证券研究部

**而从格局上看，线束行业与整车厂商合作稳定，市场集中度较高。**汽车线束行业发展高度依赖汽车行业，大部分品牌车厂拥有较成熟稳定的汽车配套体系。长期以来，对零部件的高标准要求使得线束供应商与汽车企业的合作相对稳定。目前，全球汽车线束市场主要由日本的矢崎、住友电气、藤仓，韩国的欲罗、京信以及欧美的莱尼、安波福、科伦伯格舒伯特公司、德克斯米尔、李尔等线束厂商主导。根据前瞻产业研究院，2018 年前五大厂商矢崎、住友电气、德尔福、莱尼、李尔分别占比 29.81%、24.38%、16.71%、6.05%、4.70%，CR5 为 81.65%。

**就国内市场而言，大型自主品牌车厂大多拥有稳定配套生产的本土线束厂，而外资以及合资整车厂，对线束的要求较高，选择的线束厂家大多为国际零部件厂商在国内的独资或者合资厂商，**例如住润电装主要为广州本田、东风本田配套。近年来，由于国际汽车厂商越发重视成本控制，汽车零部件的本土化采购日益加强，国内厂商正逐步进入国际汽车厂商的供应链。



表 9：汽车整车制造商对应主要线束供应商

| 车系 | 整车企业 | 主要供应商                 |                    |                    |
|----|------|-----------------------|--------------------|--------------------|
|    |      | 整车线束                  | 小线束                | 高压线束               |
| 德系 | 上汽大众 | 昆山沪光、科世科、苏州波特尼、莱尼、安波福 | 昆山沪光、上海金亭、李尔       | 昆山沪光、安波福、科世科、苏州波特尼 |
|    | 一汽大众 | 科世得润、长春住电、安波福、李尔      | 昆山沪光、长春捷翼、长春灯泡电线厂  | 科世得润               |
|    | 奥迪   | 科世得润、长春住电、安波福         | 长春捷翼               | 安波福、科世得润           |
|    | 奔驰   | 莱尼、安波福                | 昆山沪光、德科斯米尔、耐克森     | 昆山沪光、德科斯米尔         |
|    | 宝马   | 德科斯米尔、莱尼              | 德科斯米尔、莱尼、迈恩德       | 莱尼                 |
| 美系 | 通用   | 安波福、上海金亭、矢崎、莱尼、昆山沪光   | 科世科、上海金亭、河南天海、昆山沪光 | 昆山沪光、安波福           |
|    | 福特   | 安波福、李尔、矢崎、住友          | 安波福、李尔、矢崎、住友       | 莱尼、安波福、矢崎、李尔       |
|    | 日系   | 矢崎、住友、藤仓              | 矢崎、住友、藤仓           | 矢崎、住友、藤仓           |
|    | 韩系   | 京信、裕罗、悠进              | 京信、裕罗、悠进           | 京信、裕罗、悠进           |
|    | 上汽集团 | 昆山沪光、李尔、天海、安波福        | 昆山沪光、安波福、三智        | Auto-Kable、昆山沪光    |
| 内资 | 一汽集团 | 李尔、长春灯泡电线厂、安波福        | 三智                 | TE（泰科）             |
|    | 吉利汽车 | 豪达、天海、藤仓、京信、李尔        | 天海、京信              | TE（泰科）             |
|    | 长城汽车 | 保定曼德、长春灯泡电线厂、天津精益     | 立讯、乐荣、景程           | TE（泰科）             |
|    | 奇瑞汽车 | 昆山沪光、河南天海、侨云电子、安波福等   | /                  | 中航光电、南京康尼、四川永贵等    |
|    | 江淮汽车 | 昆山沪光、河南天海、安波福等        | /                  | 中航光电、安波福           |

资料来源：沪光股份招股说明书，中信证券研究部

## 连接器：电气化催生增量应用，设计革新持续优化

连接器常在导线的两段，同样用于两个有源器件之间的连接，其形式和结构多样，但通常由接触件、绝缘件、壳体、附件组成。接触件是连接器完成功能的核心零件，其通过阴、阳两个接触件的插合完成电连接；壳体是汽车连接器的外罩，提供机械保护与固定连接器的作用；绝缘体的作用是使接触件按规定的位置和间距排列，并提供绝缘保护；附件可进一步分为结构附件和安装附件，结构附件包括卡圈、定位键、定位销、导向销、联接环等，安装附件包括螺钉、螺母、螺杆、弹簧圈等。按照性能及应用场景的不同，车用连接器可以分为高速连接器、低压连接器和高压连接器。

表 10：车用连接器种类及应用场景

| 类别    | 用途  |
|-------|---|
| 低压连接器 | 用于传统燃油车的 BMS、空调系统、车灯等，工作电压一般为 14V。  |
| 高压连接器 | 用于新能源汽车，一般根据场景不同需要提供 60V-380V 甚至更高的电压等级传输，以及提供 10A-300A 甚至更高的电流等级传输。高压连接器主要应用于新能源汽车的电池、PDU（高压配电盒）、OBC（车载充电机）、DC/DC、空调、PTC 加热、直/交流充电接口等。 |
| 高速连接器 | 分为 FAKRA 射频连接器、Mini-FAKRA 连接器、HSD（High-Speed Data）连接器和以太网连接器，主要应用于摄像头、传感器、广播天线、GPS、蓝牙、WiFi、无钥匙进入、信息娱乐系统、导航与驾驶辅助系统等。                     |

资料来源：智能网联汽车网，中信证券研究部

高压连接器是汽车电气化背景下的关键组件。根据线束世界资料，一台现代车辆包含的连接器数量多达 700 个。而在汽车电气化趋势下，车内 60V 电压以上的场景迅速增加。车辆的驱动离不开高电压大电流电路的驱动，这为高压连接器提供巨大的增量需求。拆解发现，Model 3 中的高压连接器数量也线性增加，功能与形态也有相应的变化。

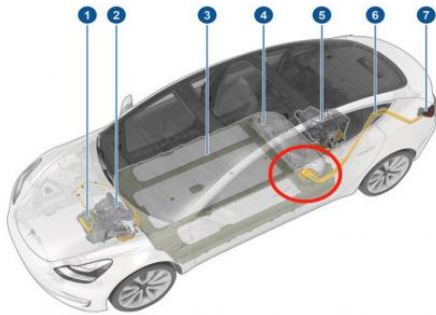
图 73：高压连接器在新能源整车系统中的应用



资料来源：鼎通科技招股说明书

在高压快充连接器上，Model 3 使用的是由 TE（泰科）定制的插片式高压连接器 HC Stak 35，其作用是连接汽车电池与充电线束。插片结构是特斯拉一贯的选择，其能够增加铝导线的焊接选择，与同等的圆柱式端子相比，其尺寸更小，载流更好（提升约 20%），能为电气系统布局尽可能地节约空间。

图 74：Model 3 片式高压快充连接器所在位置



资料来源：特斯拉官网-用户手册，中信证券研究部

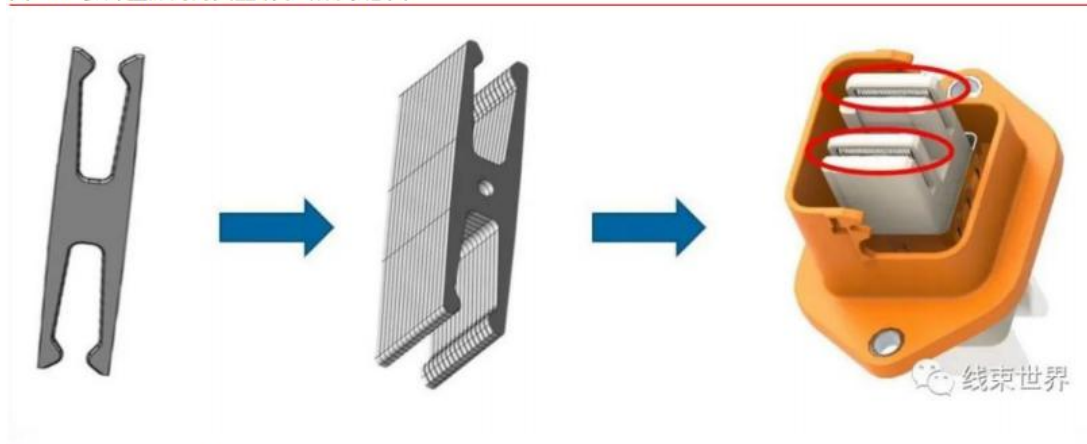
图 75：插片式与圆柱式高压连接器尺寸对比



资料来源：线束世界微信公众号

从设计上看，HC Stak 35 的端子通过铜板（35mm 厚）与 35 片刀叉型端子连接，由于插座端的端子是由 35 片 DEFCON 端子叠加形成，所以其能类似积木一样，根据不同端口的需求不同，通过改变叠片数量来构成不同型号的连接器的，这一模块化设计方式能够进一步降低端子加工成本。HC Stak 35 搭配 95 mm<sup>2</sup> 的高压线束，能够支持 Model 3 充电 15 分钟增加 279 公里的快速充电与长效续航。但插片式连接器同样有其缺点，其不耐拔插，插片容易变形导致正负极插片无法保持在同一水平面上。

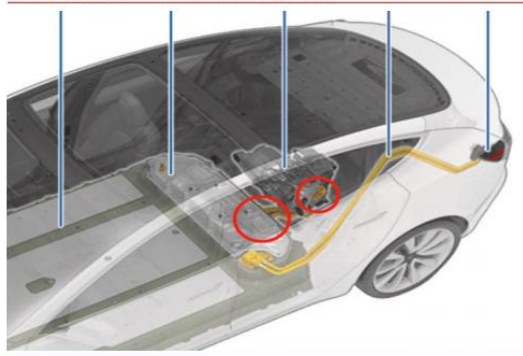
图 76：多片叠加的刀叉型端子结构示意图



资料来源：线束世界微信公众号，中信证券研究部

在动力电池—电驱高压线束的连接器的连接上，Model 3 采用的是 TE 的 HC Stak 25。其结构和功能与 HC Stak 35 类似，不同点在于尺寸的大小，可以看到，HC Stak 25 比 HC Stak 35 更小，因此 HC Stak 25 插座端的端子是 20 片 DEFCON 端子组成（HC Stak 35 为 35 片），不同的型号共用相同的连接器端子。连接器端子通过数量堆叠的变化能够快速完成不同型号的组装，这体现了连接器模块化生产带来的成本管控优势。

图 77：动力电池-电驱高压连接器所在位置



资料来源：特斯拉官网-用户手册，中信证券研究部

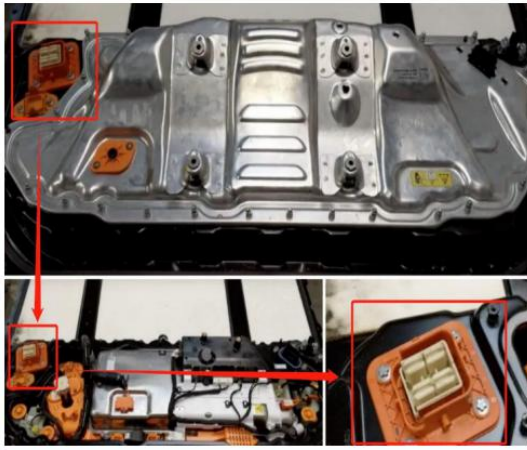
图 78：HC Stak 35（左）与 HC Stak 35（右）尺寸比较



资料来源：中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，中信证券研究部

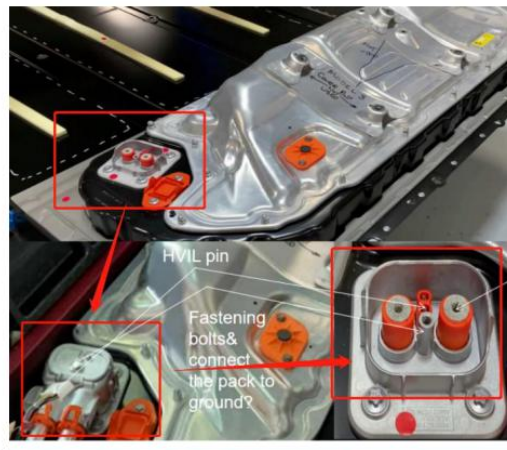
材料方面，Model 3 连接器材料为尼龙塑料材料，但我们认为金属合金外壳的应用未来会愈加普及。虽然金属材料连接器相比尼龙材料的成本更高，但其强度更高，不会出现插件受力处开裂或冲击后断裂的情况；同时快充功能要求连接器短时间内能够耐受更高的电流，金属材料的良好导热性有利于更好地进行升温控制，因此我们认为，金属外壳在未来的应用中会愈加普及。可能也正是基于以上考虑，特斯拉的 Model Y 已将其高压连接器外壳由塑料材料替换成金属材料。

图 79: Model 3 材料高压连接器外壳



资料来源: 新能源高压连接器联盟, 中信证券研究部

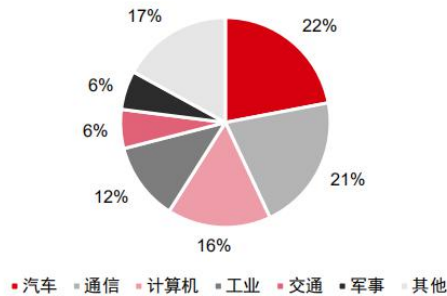
图 80: Model Y 铝合金高压连接器外壳



资料来源: 新能源高压连接器联盟, 中信证券研究部

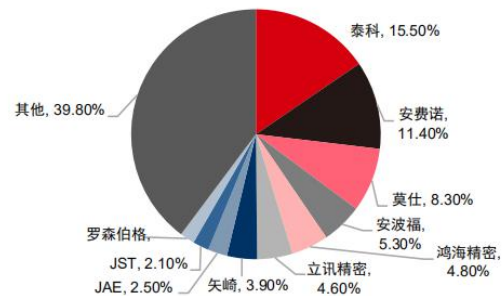
从竞争格局来看, 汽车是连接器最大应用场景, 行业竞争充分, 海外龙头积淀深厚。2020 年, 汽车领域连接器规模占连接器总规模的 22%, 是最大的连接器细分市场, 电气化与智能化趋势有望进一步提高汽车连接器市场空间。同时, 行业内厂商头部化趋势愈加明显, 1980 年全球前 10 大连接器供应商的市场份额为 38.0%, 而在 2019 年前十大供应商的份额提升至 60.2%。2019 年全球前十大连接器厂商分别为泰科、安费诺、莫仕、安波福、鸿海精密、立讯精密、矢崎、JAE、JST、罗森伯格。

图 81: 2020 年全球连接器按应用领域市占率



资料来源: Bishop & associates, Inc., 中信证券研究部

图 82: 2019 年全球连接器厂商竞争格局



资料来源: Bishop & associates, Inc., 中信证券研究部

未来, 新能源车的进一步发展与放量有望推动连接器需求数量延续高速增长态势, 但单价可能呈下降趋势。以国内连接器龙头瑞可达为例, 2019 年其新能源连接器营收同比下降 17.62%, 主要为产品售价降低导致, 当年国家新能源汽车补贴标准平均退坡 50%, 冲击新能源汽车市场需求。2020 年度, 新能源汽车市场逐步回暖, 公司成为蔚来汽车、美国 T 公司及上汽集团等新能源汽车车企的供应商, 销量同比增加 37.18%, 销售额同比增加 3,737.02 万元。2021 年, 汽车“新四化”进一步落地, 公司成功进入国内外优质客户供应链, 包括美国 T 公司、蔚来汽车、上汽集团、长安汽车、比亚迪、江淮汽车、金龙汽车、小康股份、安波福、宁德时代、鹏辉能源等。但伴随行业规模效应、生产工艺的成熟与竞争加剧影响, 连接器价格平稳下降。

表 11: 瑞可达新能源连接器产品收入及其变动

| 项目          | 2021 年度   |         | 2020 年度   |         | 2019 年度   |         | 2018 年度   |
|-------------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
|             | 数额/金额     | 变动率     | 数额/金额     | 变动率     | 数额/金额     | 变动率     | 数额/金额     |
| 销量 (万套)     | 1420.73   | 129.62% | 618.72    | 37.18%  | 451.01    | 6.61%   | 423.04    |
| 单价 (元/套)    | 36.64     | -23.97% | 48.20     | -16.66% | 57.84     | -22.73% | 74.86     |
| 主营业务收入 (万元) | 52,065.92 | 74.58%  | 29,823.43 | 14.33%  | 26,086.41 | -17.62% | 31,667.02 |

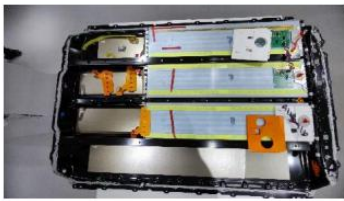
资料来源: 瑞可达 2021 年年报及招股说明书, 中信证券研究部

## 电池：技术代际领先，未来向耐用消费品发展

### 电池包外观对比：集成度领先同时期车型，目前仍然处于领先地位

Model 3 电池包采用 4 块大模组，与同期的 ID.4 X，宝马 iX3 的电池包相比，采用大模组技术，集成度更高，内部布局更为整洁，电池包技术目前仍处于领先地位。

图 83: Model 3 电池包外观



资料来源: 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司, 中信证券研究部

图 84: ID.4 X 电池包外观



资料来源: 汽车之家

图 85: BMW iX3 电池包外观

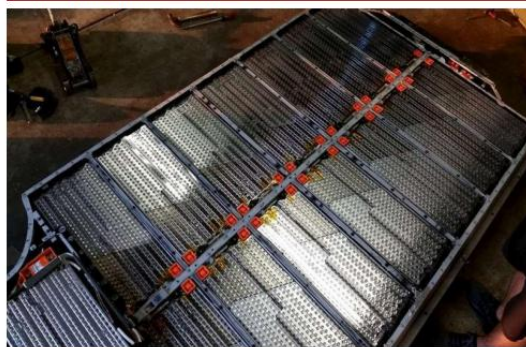


资料来源: 汽车之家

### 集成方式：小模组→大模组→无模组 CTC，集成度不断提升，降本增效

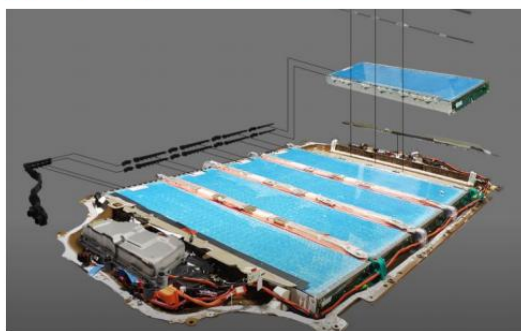
集成度提升，减少非必要零件，降低成本，提高续航里程。在旧款的 Model S 中，电池包采用 16 个小电池模组，分模组进行电池管理；在 2022 款 Model S 中，电池包采用 5 块大模组方式集成，电池包中结构件数量减少，重量减轻，系统能量密度提升，在同样采用 100kWh 的 1865 电池的情况下，整车续航里程从 335 英里增加至 405 英里，提升 21%；在最新的 CTC 技术中，直接由电芯作为车身的一部分，电池包上盖与车身地板融合，取消模组设计，进一步提高系统集成效率，成本降低 6%，续航里程提高 16%。

图 86: 旧款 Model S 上的小模组电池包



资料来源: 汽车之家

图 87: 2022 款 Model S 上的大模组电池包



资料来源: Munro & Associates

图 88: 特斯拉展示的无模组结构化电池包方案



资料来源: 特斯拉官网

图 89: 结构化电池包拆解图



资料来源: Munro & Associates

## 适配性: 兼容不同数量、类型的电芯, 多材料体系、多供应商方案共存

当前特斯拉电池包系统, 多材料、多供应商、多类型电池共存。目前特斯拉电池包采用多材料体系、多供应商方案。当前, 特斯拉的标续版车型中采用磷酸铁锂电池材料体系, 长续航和高性能车型中采用三元锂电池材料体系, 形成了多种材料体系并存的格局。供应商方面, 北美工厂生产的车型采用松下的圆柱电池, 上海工厂生产的车型采用宁德时代的方形电池以及 LGES 的圆柱形电池, 多供应商下多种电池类型共存。

图 90: 特斯拉 Model 3 底盘上电池包总体积为 188L, 可分为 4 条小电池包



资料来源: EVTV, 中信证券研究部测算

### Model 3 电池包体积:

中间 2 条长的: 1854×292×90mm

外侧 2 条短的: 1715×292×90mm

计算得到共 188L

电池包空间灵活排布, 兼容多材料体系。铁锂版标续 Model 3 出现之前, 三元版标续 Model 3 采用不占满电池包的方式, 保留长续版 188L 的电池包体积, 仅占用约 3/4 的电池

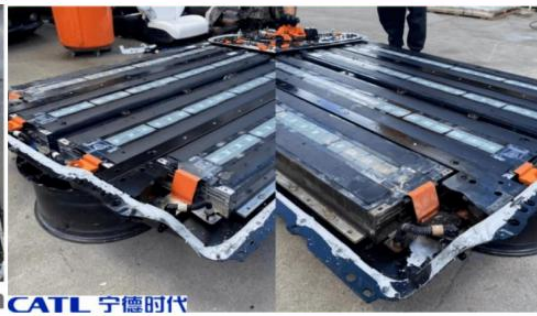
包空间，放入 53kWh 电池；切换到铁锂版标续 Model 3 后，用磷酸铁锂电芯将电池包空间全部填满，由于磷酸铁锂电芯的能量密度低于三元电芯，对应带电量 55kWh，达到与此前三元版标续 Model 3 相同的续航能力。

图 91：三元电池版标续 Model 3 电池包



资料来源：汽车电子设计微信公众号

图 92：磷酸铁锂电池版标续 Model 3 电池包

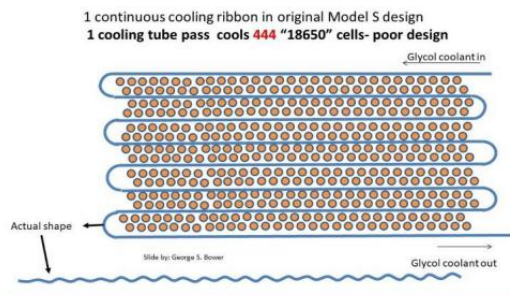


资料来源：汽车电子设计微信公众号

## 冷却管路设计：蛇形冷却→直线冷却，缩短冷管长度，更快、更充分冷却

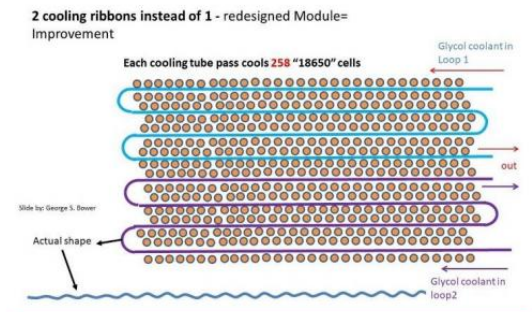
特斯拉早期的 Model S/X 电池模组中，冷却管路采用蛇形布置的冷却管，即长冷却管穿越于整个电池模组中。如图中所示，2013 款 Model S 中采用一条蛇形冷却管，覆盖 444 颗电芯；2017 款 Model S 中采用两条蛇形冷却管，每根冷却管覆盖 258 颗电芯。

图 93：2013 款 Model S 中一条蛇形冷却管排布示意图



资料来源：Inside EVs

图 94：2017 款 Model S 中两条蛇形冷却管排布示意图



资料来源：Inside EVs

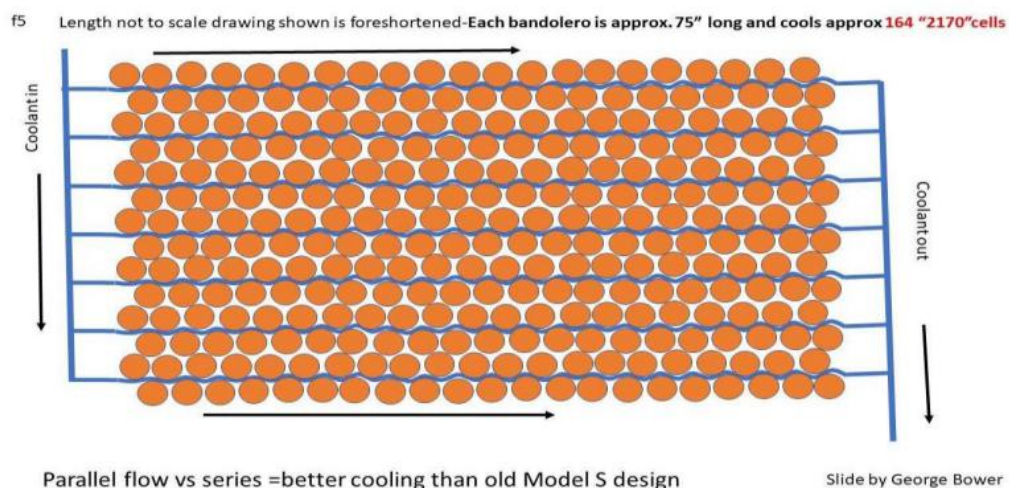
图 95：旧款 Model S/X 上蛇形布置的液冷管实物图



资料来源：汽车之家

Model 3 开始，特斯拉采用直线冷却。冷却液从模组一侧分 7 根直线冷却管流入，从另一端流出，单根冷却管覆盖 164 颗电芯。单根冷却管覆盖数减少，冷却效果更充分；冷管长度减小，冷却更快。核心原因，一方面 Model 3 升级为大模组方案，模组内需冷却的电芯数增加；另一方面，在快充的需求下，对于电芯更快、更充分的冷却需求提升。

图 96: Model 3 中多条直线冷却管排布示意图



资料来源: Inside EVs

图 97: Model 3 上直线布置的液冷管流入段实物图



资料来源: 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司、中信证券研究部

图 98: Model 3 上直线布置的液冷管实物图

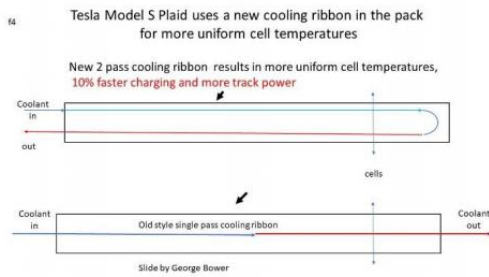


资料来源: 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司、中信证券研究部

在最新的 2022 款 Model S 上，直线冷却进一步升级为 U 型直线冷却。U 型是指横向来看，每根冷却管在竖直方向 U 型折叠，单侧流入流出；直线是指俯视来看，U 型冷却管直线布置。纵向 U 型排布的好处是，对于不同位置的电芯的冷却效果更加均匀；直线排布则是保持单管更少的电芯覆盖量，2022 款 Model S 模组内布置 11 根 U 型冷却管，单管覆盖电芯数进一步下降至单管 144 颗。

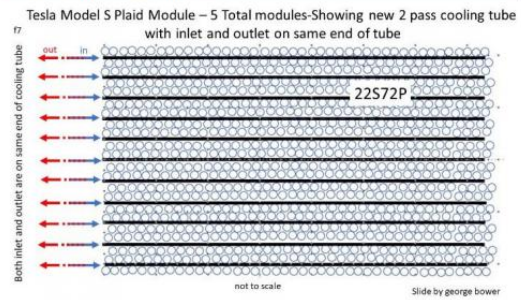


图 99：纵向 U 型设置的冷却管



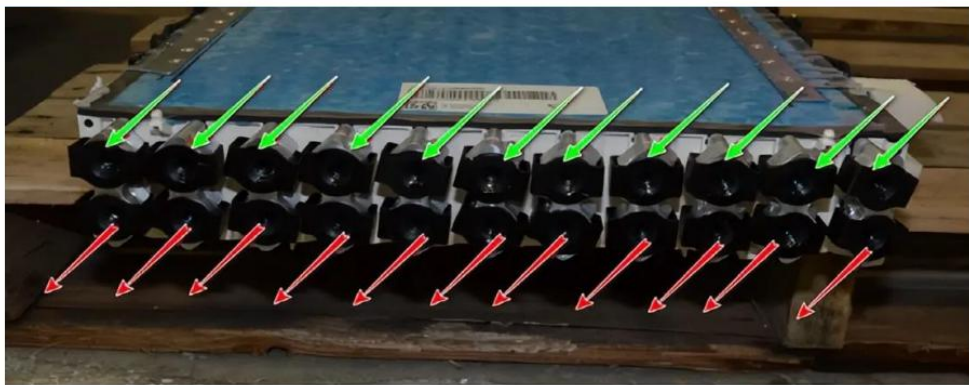
资料来源：Inside EVs

图 100：俯视直线排布的冷却管



资料来源：Inside EVs

图 101：Model S Plaid 中 U 型直线冷却管实物图

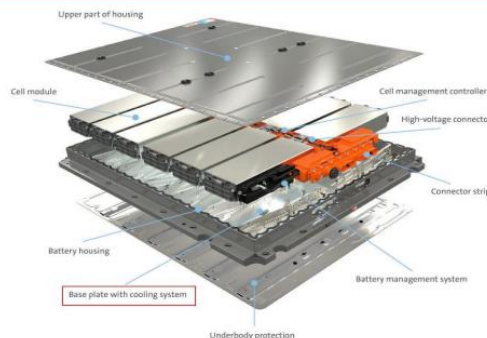


Model S Plaid module showing alignment of 2 pass cooling tubes and parallel wired cell groups \*

资料来源：Inside EVs

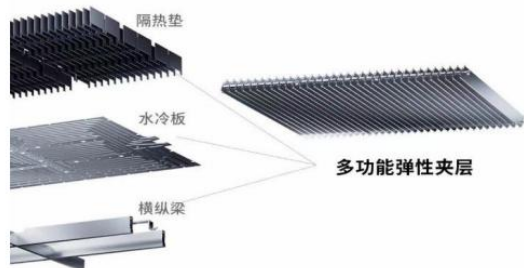
横向对比来看，国内市场电动车方案以方形为主，方形电芯方案下，主流方案是在电池包下方铺设冷板，通过界面导热材料将电芯中的热量导至冷板，实现冷却。随着电池能量密度、充放电功率要求的提升，对于电池冷却的需求提升，宁德时代最新发布的麒麟电池中，将隔热垫、水冷板、纵横梁整合为一体，冷板从水平放置变为类似特斯拉冷却管的竖直、间隔放置，换热面积扩大 4 倍，支持 4C 快充，同时起到冷却与支撑作用。

图 102：大众 MEB 平台电池包下方的冷板



资料来源：大众集团官网

图 103：宁德时代麒麟电池中多功能弹性夹层面冷



资料来源：宁德时代麒麟电池发布会

## 导热阻燃设计：增加灌密封胶与防火泡棉，导热阻燃升级

灌密封胶加发泡泡棉，导热阻燃设计升级。早期 Model S/X 中依靠液冷及热管理系统对

电池包热失控进行软防控。随着电动车自燃事故的发生以及法规层面对热失控要求趋严，特斯拉采用了灌密封胶加发泡棉的阻燃方案。类似于电子元件中灌封的概念，特斯拉在动力电池包中采用灌密封胶填充圆柱电池间的空隙，起到避免电芯间传热、提高对冲击的稳定性，提高电池包整体的热稳定性和机械稳定性。同时，特斯拉在上盖中加入隔热发泡棉，将热量阻绝在客舱外。

图 104：特斯拉电池包中的防火泡棉



资料来源：凌志新材料官网

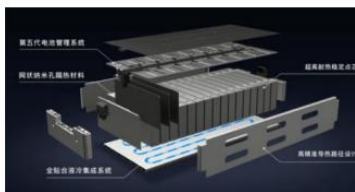
图 105：特斯拉电池包中采用的灌密封胶



资料来源：中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司, 中信证券研究部

市面上多种阻燃设计方案共存，尚未达成共识。当前防火阻燃方案众多，例如凯迪拉克 Lyriq 和广汽埃安采用气凝胶薄片隔绝电芯之间传热，同时达到轻量化的效果；极狐在电池包上覆盖陶瓷纤维防火毯；Rivian 中采用金云母板覆盖在电池包上放；岚图的“琥珀”和“云母”电池系统，分别对应在电池包内加入气凝胶和层状云母的方式达到隔热阻燃效果。

图 106：弹匣电池阻燃设计——气凝胶



资料来源：广汽埃安官网

图 107：极狐阻燃设计——陶瓷纤维防火毯



资料来源：北汽极狐官网

图 108：Rivian 电池阻燃设计——金云母



资料来源：Sandy Munro

## 电芯：从 18650 到 2170 再到 4680，成本降低、续航里程提升

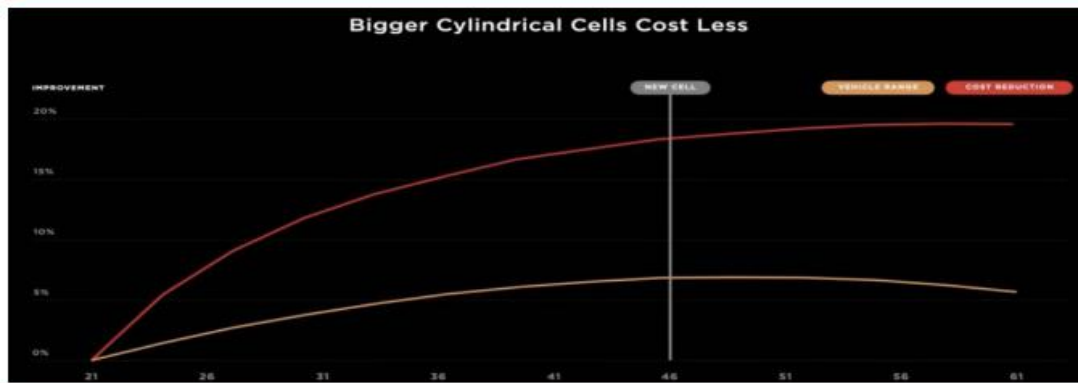
**4680 电池，续航里程提升下的降本最优解。**最早特斯拉采用直径 18mm，高 65mm 的 1865 电池，后续采用直径 21mm，高 70mm 的 2170 电池，相较于 1865 电池能量密度提升，成本下降。2020 年特斯拉电池日上，特斯拉发布 4680 电池，相较于此前采用的 2170 电池，4680 电池的电芯容量是其 5 倍，能够提高相应车型 16% 的续航里程，输出功率 6 倍于 2170 电池。其中电池直径为 46mm 是做大电池后成本降低和续航里程提升同时达到最优得出。

图 109: 18650、2170、4680 电池尺寸及能量密度对比



资料来源：特斯拉电池日

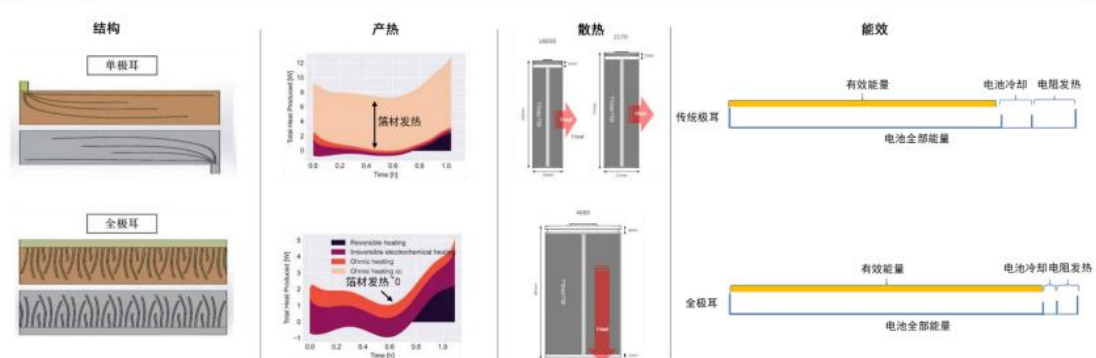
图 110: 圆柱电池尺寸与性能变化



资料来源：特斯拉电池日

**4680 搭配全极耳，提升能量密度的同时，为功率密度提升打开空间。**由于全极耳比单极耳多出两块集流盘，而小电池中集流盘占到电池体积比例更高，影响能量密度，因此大电池更适配全极耳。在产热方面，全极耳结构的电池由于电流在集流体上流过的电流路径更短，电阻减小而产热减小为单极耳结构的 20%；散热方面，全极耳结构电池沿径向形成强导热路径，热管理难度与能耗降低。因此 4680 电池扩大尺寸提升容量的同时，全极耳结构减小了电阻发热和电池冷却所带来的损耗，最终电池的有效能量及能量密度增加。另外，由于全极耳产热小、散热快，为 4680 电池实现大功率快充创造了物理条件。

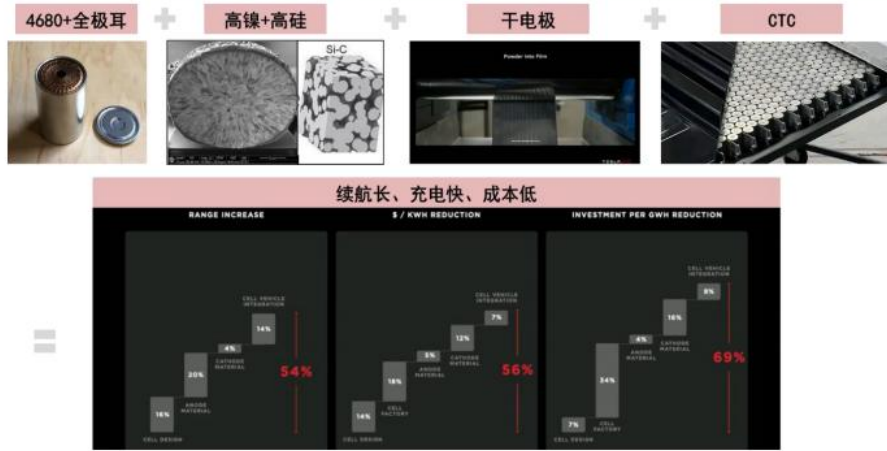
图 111: 全极耳相比单极耳能效提升



资料来源：《Communication—Prediction of Thermal Issues for Larger Format 4680 Cylindrical Cells and Their Mitigation with Enhanced Current Collection》(Thomas George Tranter 等)，联赢激光微信公众号，中信证券研究部

4680 电池通过新结构、新材料应用，实现“能量密度高、倍率高、成本低”的不可能三角。在实现高能量密度、高倍率的情况下，4680 的大电芯摊薄非活性物质成本，尽可能做高能量密度摊薄总体单 Wh 成本，生产过程简化节省成本。

图 112：特斯拉围绕 4680 电池料将搭配多种新材料、结构



资料来源：特斯拉电池日，中信证券研究部

## 电机电控：集成度高，持续向高效优化

### 总成：驱动单元集成度高，系统效率提升

Model 3/Y 搭载驱动电机、电机控制器、单挡变速箱三合一驱动系统，集成度高。电机方面，标准续航版后轮搭载永磁同步电机，四驱高性能版后轮搭载永磁同步电机，前轮搭载交流异步电机，采用定子+转自复合油冷系统，Model Y 还采用扁线电机，电机功率密度较大程度改善，成本亦有降低。电控方面，Model 3/Y 搭载 SiC MOSFET，较 Model X/S IGBT 方案逆变器功率密度显著提高。同时受益于驱动系统集成化提高、电机电控等关键零部件升级，Model 3/Y 驱动系统效率达 89%，较 Model S/X 提高了 6pcts。

图 113: 特斯拉 Model 3 电驱动总成



资料来源: Munro & Associates, 特斯拉官网, 中信证券研究部

表 12: Model 3/Y 与 Model S/X 电驱动总成参数对比

| 车型         | Model S/X   |   | Model 3/Y (国产电机版)  |   |
|------------|---|---|--|---|
|            |  |  |  |  |
| 版本         | 双电机驱动   | 三电机驱动   | 标准续航版  | 四驱高性能版  |
| 电机类型       | 前永磁同步/后交流异步   | Model S: 永磁同步<br>Model X: 前永磁同步/<br>后交流异步   | 永磁同步   | 前交流异步/后永磁同步   |
| 电机总功率 (kW) | 493   | 750 (单电机 250)   | 220  | 前电机: 137<br>后电机: 220  |
| 铜线类型       | 圆线  |   | Model Y 扁线, Model 3 圆线   |   |
| 电机冷却方式     | 前轮油冷、后轮水冷   |   | 油冷   |   |
| 电控         | Si IGBT (Plaid 版采用 SiC MOS)   |   | SiC MOSFET   | 前轮 Si IGBT<br>后轮 SiC MOSFET   |
| 驱动系统重量     | 重   |   | 轻 (其中单电机版重 92kg, 双电机版重 134kg)  |   |
| 驱动系统体积     | 大   |   | 中  |   |
| 驱动效率       | 83%   |   | 89%  |   |
| 售价 (万元)    | 89/94   | 106/100   | 25.09/27.6   | 33.99/34.79   |
| 百公里加速 (s)  | 3.9   | 2.6   | 5.6  | 3.3/3.7   |

资料来源: 特斯拉官网, 汽车之家, 中信证券研究部

## 电机：向高功率、低能耗演进，性能和成本持续优化

**Model S/X→Model 3:** 由感应电机转向永磁同步电机。2012 年特斯拉 Model S 上市，该车型定位高性能（197kW），彼时大功率车用永磁电机尚未成熟。而大功率感应电机相对成熟、成本低，且不受稀土资源制约，亦无高温下退磁的担忧。因此 Model S 搭载的是感应电机而没有选择永磁电机。感应电机具备成本低、功率高等优势，但同时也存在体积大、效率低而影响续航等缺点。随着电动化推进，在 2017 年推出的 Model 3 中开始转向使用永磁同步电机。相比感应电机，永磁同步电机体积小更紧凑，效率高而有利于续航且更易控制，在 Model Y 中，特斯拉继续亦采用永磁同步电机方案。

图 114：特斯拉 Model Y 双电机版本采用前感应电机/后永磁电机的动力总成布局



资料来源：Munro & Associates，特斯拉官网，中信证券研究部

表 13：交流异步电机和永磁同步电机参数对比

| 参数           | 交流异步电机      | 永磁同步电机     |
|--------------|-------------|------------|
| 功率密度         | 中           | 高          |
| 峰值效率 (%)     | 90-95       | 95-97      |
| 负荷效率 (%)     | 90-92       | 85-87      |
| 转速范围 (r/min) | 12000-20000 | 4000-19000 |
| 可靠性          | 好           | 好          |
| 结构坚固性        | 好           | 一般         |
| 外形尺寸         | 中           | 小          |
| 电机重量         | 重           | 轻          |
| 控制性能         | 好           | 最好         |

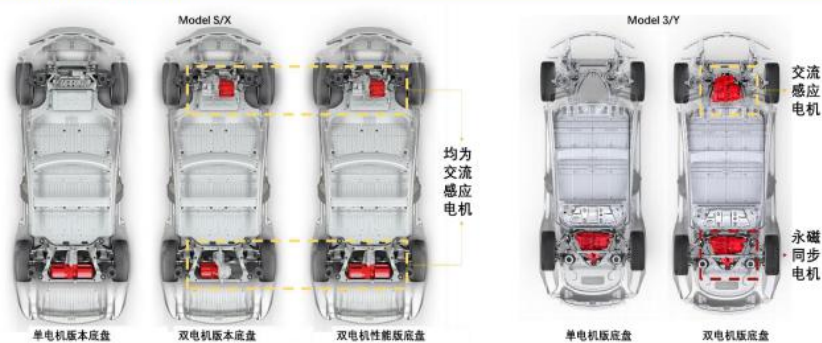
  

|      | Model S   | Model 3  |
|------|---|--|
| 代表车型 |  |  |

资料来源：精进电动招股说明书，特斯拉官网，中信证券研究部

**Model S/X→Model 3/Y：**双电机版本由前后均为感应电机向前感应后永磁电机转向。2015 年特斯拉推出双电机性能版车型 Model S P85D，在前后轴同时使用交流异步电机。而到 Model 3/Y 的四驱高性能版时，则采用了感应（前）+永磁（后）搭配的方案。主要系感应电机高效区在高速、永磁电机高效区在低速，二者搭配有互补效应。而若采用两档永磁电机或单一大功率电机，成本高、冷却难度增加，实现技术难度较大。

图 115：特斯拉双电机方案演变



资料来源：特斯拉官网，中信证券研究部

图 116：永磁同步电机 vs 交流感应电机特性与适用场景

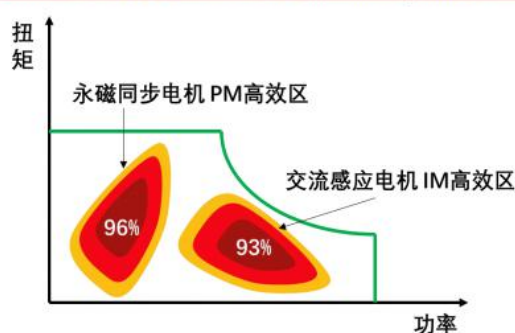
| 交流感应电机 IM | 永磁同步电机 PM  |
|-----------|------------|
| 功率密度低     | 功率密度高      |
| 调速范围小     | 调速范围大      |
| 单位功率成本低   | 单位功率成本高    |
| 无退磁现象     | 温度大幅变化引起退磁 |

适用于高速路网发达的工况

适用于高速路网受限、频繁起停的工况

资料来源：《新能源汽车结构与原理》（瑞佩尔），中信证券研究部

图 117：永磁同步电机 vs 交流感应电机扭矩-功率 Map 示意图



资料来源：《新能源汽车结构与原理》（瑞佩尔），中信证券研究部

**Model 3 → Model Y：由圆线向扁线切换。**目前电机多为圆线电机，绕组一般采用圆形细铜线。扁线电机相比圆线电机的优势在于：1) 槽满率 20% 提升可使电机体积减小；2) 宽截面使其电阻/温升减小 50%/10% 左右，输出功率更高，峰值功率密度可达 4.4kW/kg，显著高于目前圆线电机的 3.2-3.3kW/kg；3) 在电机损耗中，铜耗占到 65%，而在扁线电机中裸铜槽满率提高，有效绕组电阻降低，进而降低铜损耗。

**Model Y 搭载扁线电机，电机体积和功率密度皆有所优化。**目前特斯拉在国内共推出 5 款电机，其中扁线永磁同步电机最大功率从 202kW 提升至 220kW，最大扭矩从 404Nm 提升至 440Nm。Model Y 后电机采用扁线方案，扁线漆包线重量约 5.78kg，焊接一致性和饱满性较优，转子体积和重量也皆有降低。我们预计 Model 3 亦会跟进，示范效应下扁线电机有望加速渗透，比亚迪、蔚来、理想、大众等车企皆开始切换扁线电机。

图 118：圆线电机 vs 扁线电机



资料来源：通用汽车官网，中信证券研究部

图 119：Model Y 十层油冷扁线电机



资料来源：Munro & Associates，中信证券研究部

表 14：特斯拉五种电机参数对比

| 电机型号 | 电机类型       | 最大功率          | 最大扭矩  | 电压   |
|------|------------|---------------|-------|------|
| 3D1  | 永磁同步，圆线，油冷 | 202kW@500rpm  | 404Nm | 320V |
| 3D3  | 交流异步，圆线，油冷 | 137kW@6380rpm | 219Nm | 320V |
| 3D5  | 永磁同步，圆线，油冷 | 180kW@6000rpm | 326Nm | 320V |
| 3D6  | 永磁同步，扁线，油冷 | 220kW@5000rpm | 440Nm | 320V |
| 3D7  | 永磁同步，扁线，油冷 | 194kW@5400rpm | 340Nm | 320V |

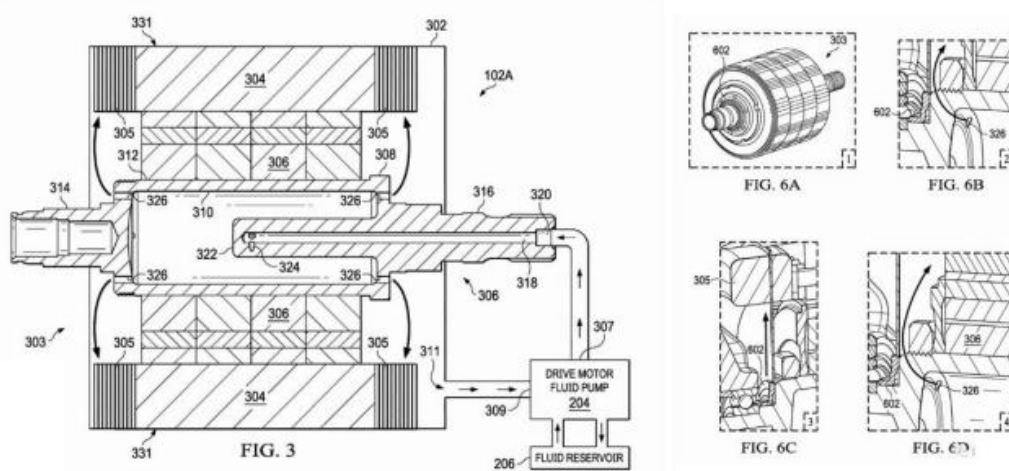
资料来源：特斯拉，中信证券研究部

**Model S→Model 3：由水冷向油冷切换。**早期 Model S 采用水冷系统进行电机热管理，但因是机壳液冷无法对绕组直接冷却，冷却效率较低。后特斯拉电机均以油路冷却方案为主，散热能力和电机功率密度明显提高。

**Model 3：采用“定子冷却+转子冷却”复合方案。**一方面定子铁芯表面开有 162 个方形油道，与机壳过盈形成油路，两端安装塑料油环（圆周均布 16 油孔）进行绕组两端喷油冷却。另一方面转子轴中空且开有甩油孔，转子主动冷却同时，能通过转子甩油实现定子绕组内圈冷却。Model 3 复合式油冷技术使得电机的功率密度和转矩密度明显提升，相较普通的水冷电机，持续转矩能够提升 40%-50%。

**Model Y：整体延用了 Model 3 的油冷方案，在定转子细节上进行优化。**新定子铁芯取消了外表面的横纵油道设计，并采用激光焊接，外壳定子进油口和后油环结构发生调整。转子油孔位置和数量更具针对性，甩油效果提高。

图 120：Model 3 电机油冷系统示意图



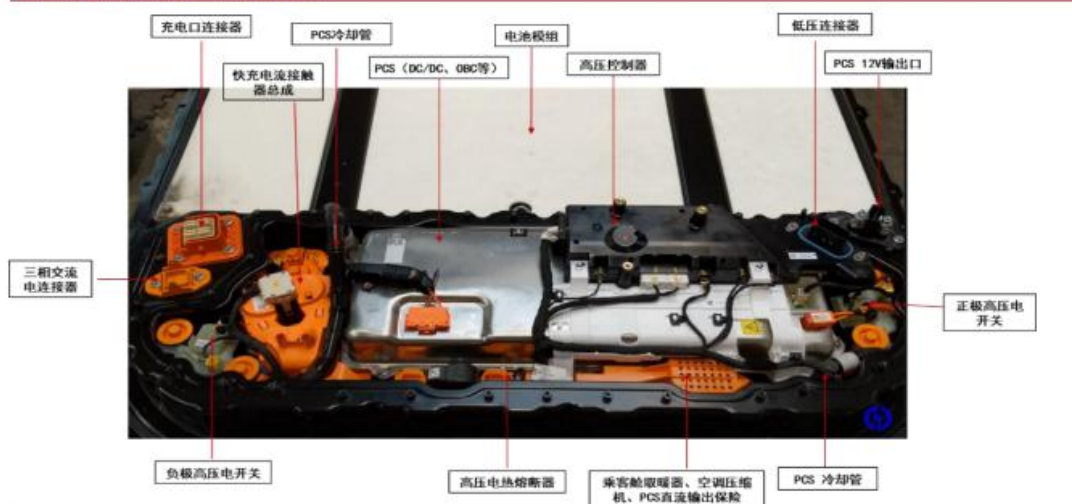
资料来源：Inside EVs

## 小三电：和电池包集成，空间布局更为紧凑

“小三电”和电池包集成，结构紧凑成本更低。将车载充电机（OBC）和 12V-DC/DC 变换器集成为电源转换系统（PCS），并与 PDU、BMS 等和电池包集成在一起，高压三合一壳体采用轻而薄的铝材，与电池包共用外壳体，减少动力电池与三合一之间的布线长度和电缆用量，重量可降低约 5%。同时，零部件集成一起便于电子元器件的维修。Model Y 整体沿用了 Model 3 的集成方案，上壳加入防拆卸设计和安全互锁，低压连接器需通过上底壳连接电路，提高防盗能力和安全性。同时将电路板为上下板，上板组装电气部件，下板则与电池模组固定，便于流水线作业，提高电池系统组装速度。



图 121: Model 3 小三电集成系统



资料来源: Munro & Associates, 特斯拉官网, 中信证券研究部

“三合一”向“N合一”演进，电驱动系统集成度提高。随着电驱动产品集成化的进一步提升，除电机、电机控制器、减速器驱动系统三合一集成之外，PDU、DC/DC、充电机 OBC 等电源器件也可与其一起集成，形成功能更全的多合一动力总成系统，以提高驱动系统的功率密度并降低成本，如长安推出七合一超级电驱动系统，华为 DriveOne 七合一系统，比亚迪 e 平台 3.0 搭载八合一电驱动系统

表 15: 行业由“三合一”向“N合一”发展

|            | 华为 DriveOne   | 比亚迪 e3.0  | 长安超级电驱系统  |
|------------|---|---|---|
| 外观         |  |  |  |
| 集成部件       | 七合一: MCU (微控制单元)、电机、减速器、DCDC (直流变换器)、OBC (车载充电机)、PDU (电源分配单元)、BCU (电池控制单元)          | 八合一: 电机、电控、减速器、OBC、DC/DC、PDU、VCU、BMS  | 七合一: 电机、电控、减速器、OBC、DC/DC、PDU、VCU、BMS  |
| 优势         | 体积减少 20%，重量减轻 15%   | 性能较上一代功率密度提升 20%，整机重量和体积分别降低 15%、20%  | 体积减少了 5%，重量降低了 10%，功率密度提升了 37%，噪音下降了 15%，整体效率提升了 5%，成本下降了 17%。                        |
| 重量 (kg)    | <75   | -   | -   |
| 长*宽*高 (mm) | 410*400*330   | 451*455*450   | -   |
| 峰值效率       | 93%   | 93%   | 95%+  |
| 综合效率       | 89%   | 89%   | 90%   |
| 功率 (kW)    | 120-150@350V  | 150kW (高功率版)  | 160-300@240V-800V   |
| 搭载车型       | 暂无  | 海豹、海豹   | 长安 C385   |

资料来源: 各公司产品发布会, 中信证券研究部

## 快充: 搭载 V3 大电流超充技术, 快充水平持续提高

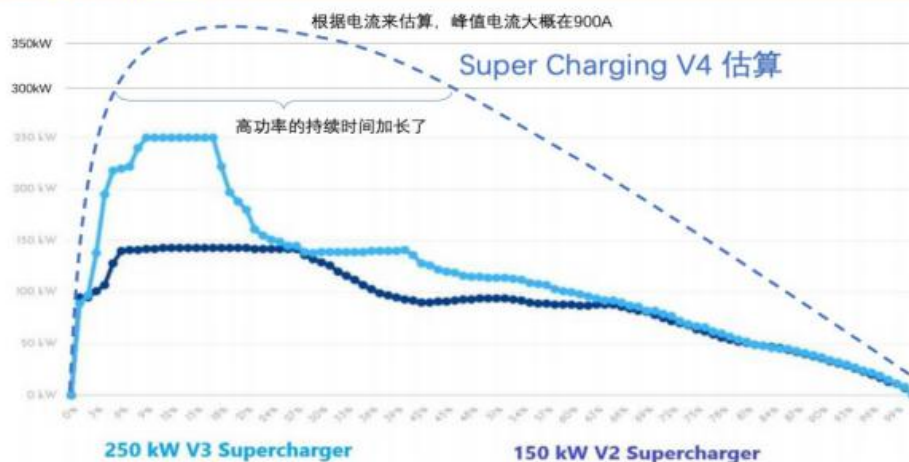
采用第三代大电流快充技术，充电功率大幅提高。快充技术有两种实现途径，一是使用高电压提高功率，代表是保时捷 Taycan 的 800V 方案，另一种是通过大电流实现快充，代表是特斯拉超级快充，该种方案对热管理要求较高。Model 3 配套特斯拉第三代超级快充充电桩，采用水冷散热设计，充电过程中峰值电流为 600A，最大充电功率可达 250kW，较 V2 充电桩峰值功率提高了 72.4%，在该功率环境中，Model 3 的 5 分钟充电量可支持 120km 续航，40 分钟 SOC 即可由 8% 充至 90%。第四代超充技术或将推出，峰值电流 900A，峰值功率有望达到 350kW，将与 4680 兼容，或首先搭载 Plaid 和 Cybertruck 中。

图 122：市场快充技术方向



资料来源：各公司官网，中信证券研究部

图 123：V2-V4 超充功率不断提高



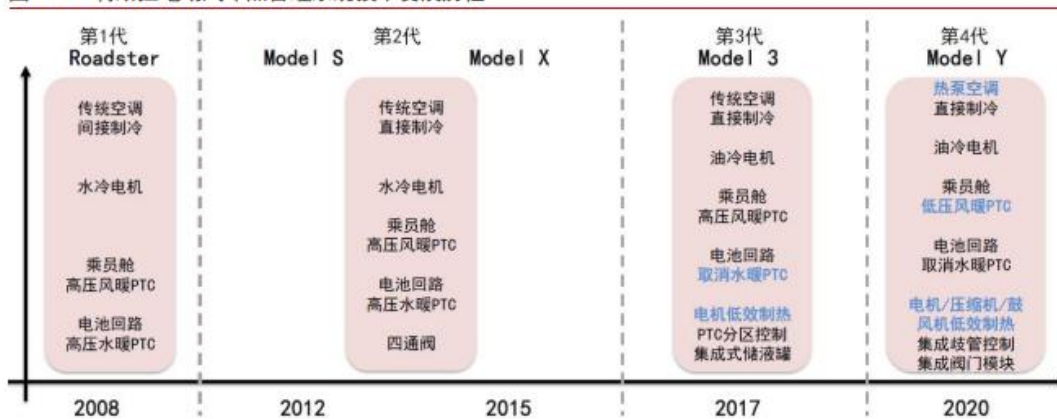
资料来源：易车，中信证券研究部

## 热管理：跨域集成，向系统性工程升级

### 拓扑结构：结构持续创新，系统集成逐渐深化

特斯拉热管理系统经历 4 代发展，在结构集成上不断创新。按照时间序列和匹配车型，特斯拉电动汽车热管理系统技术可以分为 4 代。特斯拉第一代车型传承于燃油车热管理的传统思路，各个热管理回路相对独立。第二代车型中引入四通换向阀，实现电机回路与电池回路的串并联，开始结构集成。第三代 Model 3 开始进行统一的热源管理，引入电机堵转加热，取消水暖 PTC，并采用集成式储液罐，集成冷却回路，简化热管理系统结构。第四代 Model Y 在结构上采用高度集成的八通阀，对多个热管理系统部件进行集成，以实现热管理系统工作模式的切换。从特斯拉车型的演进来看，其热管理系统集成度不断提升。

图 124：特斯拉电动汽车热管理系统技术发展历程



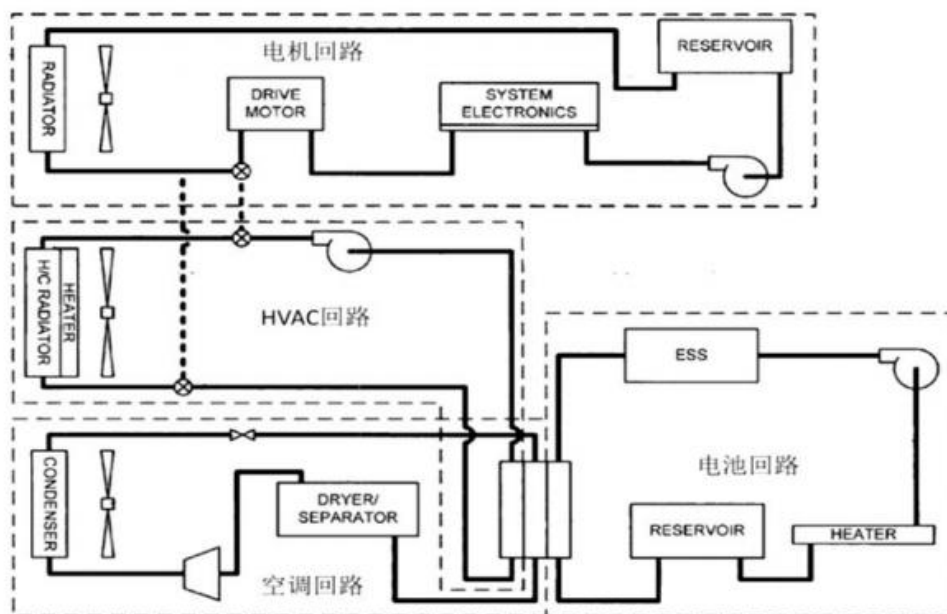
资料来源：《特斯拉电动汽车热管理技术发展趋势》（胡志林等），中信证券研究部

### 1) 第一代热管理系统相对独立，结构集成初步显现。

特斯拉第一代热管理系统不同回路相对独立。特斯拉第一代热管理系统应用于 Tesla Roadster 车型，包含电机回路、电池回路、HVAC（空调暖通）回路和空调回路，各回路相对独立，与传统内燃机汽车架构类似。电机回路上布置驱动电机、电子控制单元、电子水泵、膨胀水箱等，对电机回路上电子部件进行散热。电池回路上布置动力电池、热交换器、膨胀水箱、高压 PTC 等，实现高低温下电池性能的稳定。HVAC 回路布置散热器、高压 PTC 等，调节乘员舱温度。空调系统布置压缩机、冷凝器、膨胀阀和热交换器等，通过压缩机进行制冷循环，并通过热交换器对系统回路和 HVAC 回路进行制冷。

布置控制阀，结构上初步集成。电机回路和 HVAC 回路上布置有 3 个控制阀，实现电机回路余热为 HVAC 回路加热的目的，在低温环境下，通过 HVAC 回路的散热器对鼓风机吸入的低温空气进行预加热，节约高压 PTC 消耗的电能。

图 125：特斯拉第一代热管理系统拓扑结构



资料来源：《特斯拉电动汽车热管理技术发展趋势》（胡志林等）

### 2) 二代热管理系统引入四通阀，电机电池回路实现交互。

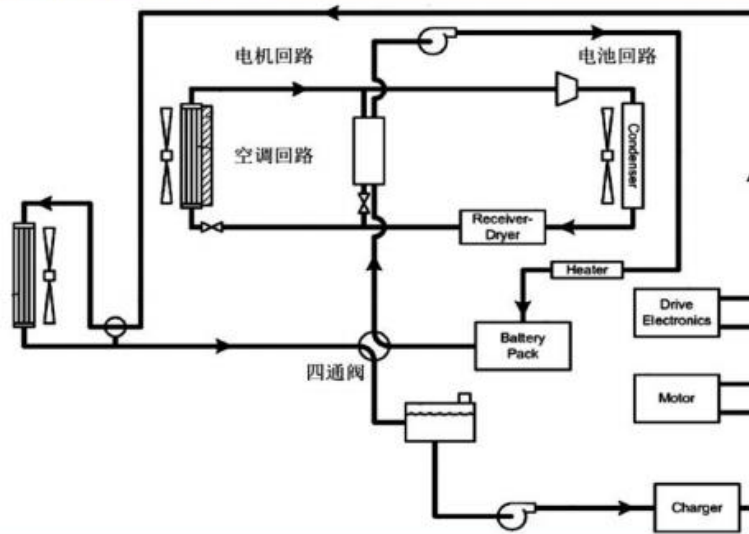
第二代热管理系统引入四通阀，实现电池回路和电机回路的交互。在整车冷启动工况

下，当电池系统有加热需求，可调节四通阀开启状态，实现电机回路和电池回路串联，使用电机系统预热为电池系统进行加热，减少高压 PTC 为电池加热消耗电能。当电池有冷却需求时，如电机回路温度低于电池回路，则通过电机回路散热器为电池系统冷却。如整车工况、两系统工作状态不满足串联模式热管理时，则控制四通阀实现并联，进行独立控制。

**取消 HVAC 回路，新增三通阀短接低温散热器。**第二代热管理系统在空调系统上引入乘员舱内蒸发器和冷媒-水热交换器（Chiller），取消 HVAC 冷却回路，实现空调系统对乘员舱的直接制冷过程。当乘员舱有采暖需求时，采用高压风暖 PTC 加热。除此之外，外置低温散热器上加设三通阀，实现其在不需要散热情况下的短接，实现部分余热回收。

第二代热管理系统相较第一代系统实现拓扑结构的升级，各热管理回路之间实现一定程度的交互。

图 126：特斯拉第二代热管理系统拓扑结构



资料来源：《特斯拉电动汽车热管理技术发展趋势》（胡志林等）

表 16：四通阀实现电池回路和电机回路的交互方式

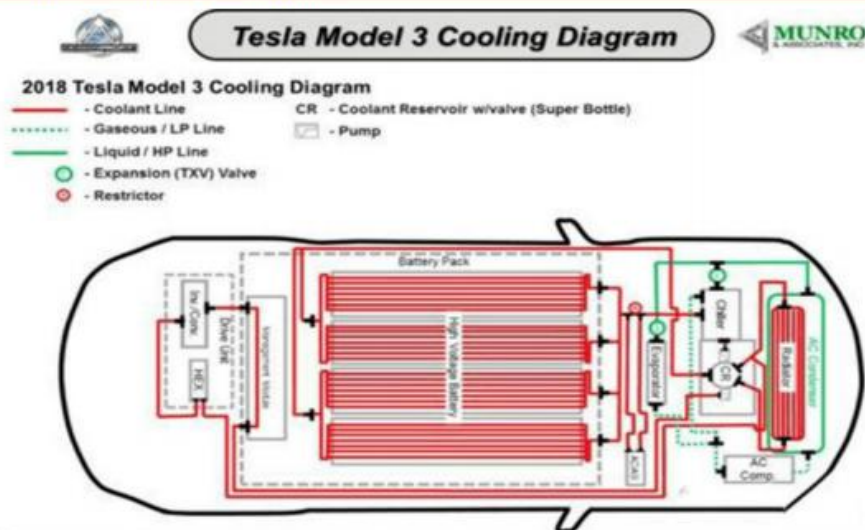
| 电池需求    | 工况、工作状态      | 系统交互状态 | 管理方式           |
|---------|--------------|--------|----------------|
| 加热需求    | 寒冷工况，冷启动     | 串联     | 电机回路为电池回路加热    |
| 冷却需求    | 高温工况，电机回路温度低 | 串联     | 电机回路散热器为电池回路冷却 |
| 加热/冷却需求 | 不满足串联模式      | 并联     | 两回路独立控制        |

资料来源：《特斯拉电动汽车热管理技术发展趋势》（胡志林等），中信证券研究部

### 3) 三代热源统一管理，集成式储液罐加强系统集成。

第三代热管理系统结构设计凸显集成，统一热源管理加强系统联系。Model 3 在拓扑结构上相较第二代热管理系统没有本质差别，但在驱动电机和储液罐结构实现技术创新，在结构设计上更加集成，实现三个管路的热量交换。在该系统下，取消电池回路的高压 PTC，利用电机电控设备废热进行加热，同时功率电子冷却系统与空调系统链接，节省系统成本。

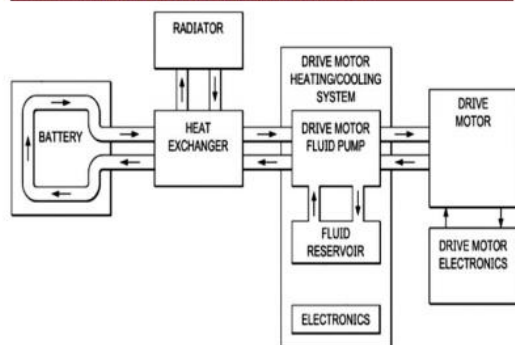
图 127：特斯拉第三代热管理系统拓扑结构



资料来源：Munro & Associates

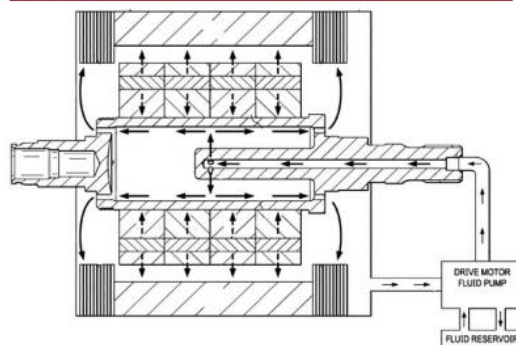
驱动电机采用油冷电机，与电机回路通过热交换器实现热量传递。电机新增低效制热模式，通过电机控制器新的控制方式，可实现电机发热模式。通过四通阀控制，实现与电池回路的串联，采用电机低效制热模式用于电池回路的加热，相应的取消电池回路的高压 PTC，减少成本。

图 128：电机低效制热模式加热电池回路示意图



资料来源：《特斯拉电动汽车热管理技术发展趋势》（胡志林等）

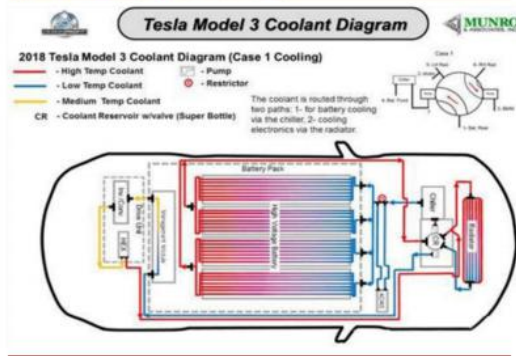
图 129：电机低效制热模式润滑油和热流量示意图



资料来源：《特斯拉电动汽车热管理技术发展趋势》（胡志林等）

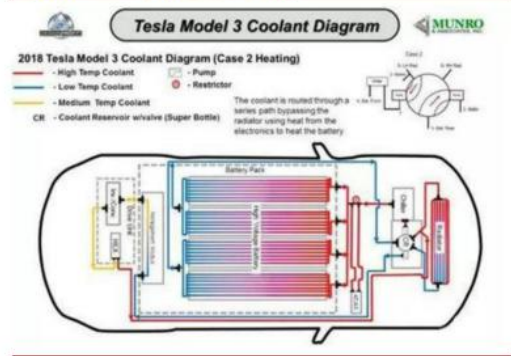
引入冷却液储罐发挥整合优势，集成式储液罐设计进一步联系各系统。采用集成式储液罐（Superbottle）设计，实现膨胀水箱与热管理系统的加热与冷却部件高度集成。Superbottle 核心部件为冷却液储罐 CR（Coolant Reservoir），此外该集成模块包含四通阀、电机水泵、电池水泵、Chiller 热交换器、散热器和执行器等部件。1）冷却模式下，冷却液在抽取至冷却液储存罐中时，分别在两条路径由 Chiller 和散热器冷却，实现对电池和对电机设备及电机的循环冷却。2）加热模式下，电池与功率电子管路切换成串联电路，冷却液进入管理模块、驱动单元的油冷却热交换器吸收其工作中所产生的热量，经过集成阀流经 chiller 为电池进行加热。

图 130: Model 3 热管理系统制冷过程



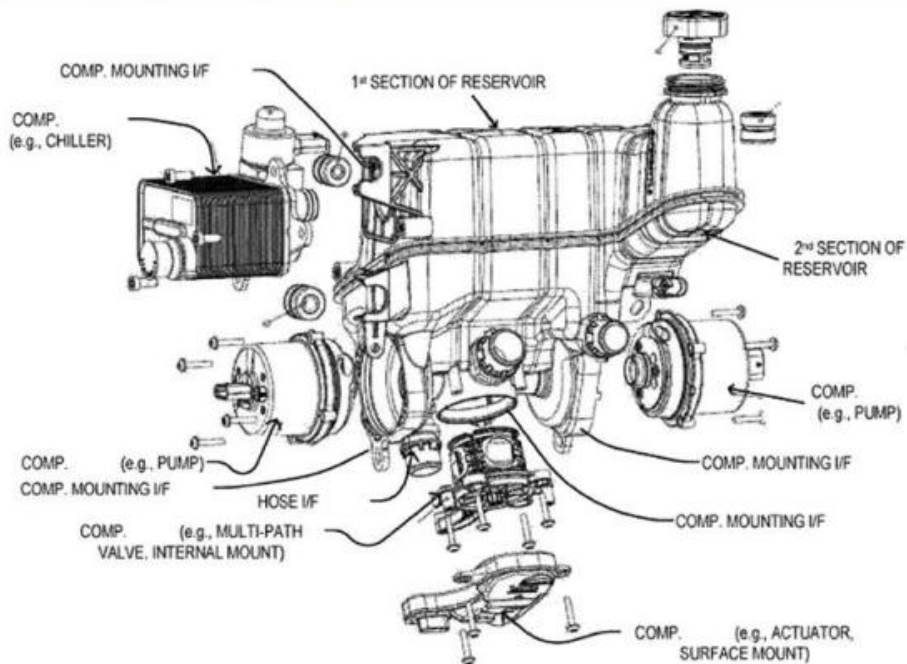
资料来源: Munro & Associates

图 131: Model 3 热管理系统制热过程



资料来源: Munro & Associates

图 132: 集成式储液罐 (Superbottle) 结构示意图



资料来源: 《特斯拉电动汽车热管理技术发展趋势》(胡志林等)

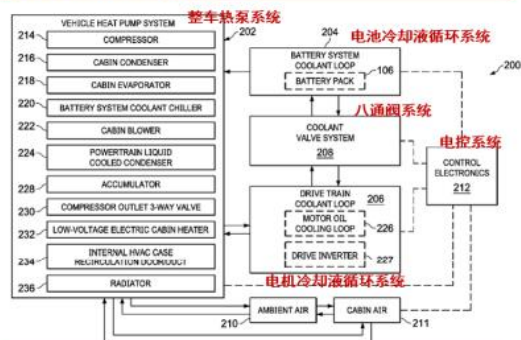
#### 4) 四代系统八通阀结构创新, 热管理整车集成化。

第四代热管理系统使用八通阀集成冷却和制热回路, 实现整车热管理集成化。Model Y 的热管理系统中使用了一个八通阀 (Octovalve), 引入热泵空调系统、空调系统和鼓风机电机的低效制热模式, 将整车热管理集成化, 并通过车载计算机精确的控制各元器件的运转情况。冷却环节, 沿用三代冷却剂回路方案。通过冷却液循环系统, 冷却液在各系统之间流动。在制热环节, 采用热泵空调系统通过热交换器和管路连接, 与电池回路和电机回路进行耦合, 实现整个热管理系统的能量交互。

八通阀设计下能量效率提升, 系统集成降低成本。通过八通阀设计, 打通了传统热泵空调、电池系统、动力系统, 实现 12 种制热模式和 3 种制冷模式, 使用了八通阀的 Model Y 相比 Model 3 能量利用效率提高了 10%。动力系统电驱回路水冷冷凝器可以在冬天将三电系统废热回收利用到热泵系统, 为乘客舱服务。以压缩机全功率工作等同 PTC 进行制热, 实现了 R134a 制冷剂在零下 10°C 以下无法实现热泵功能的代替方案, 将压缩机一物多用节省零件成本。高度集成化零件缩短零件流道, 降低能耗, 方便装配, 同时将 OEM 的装

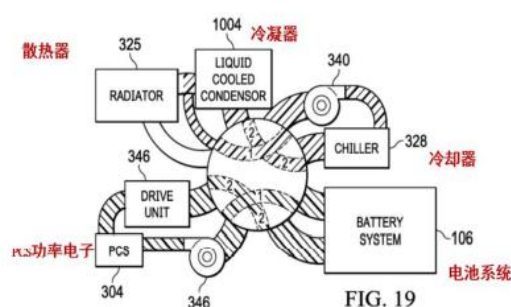
配工序集中下放到 Tier1 供应商，节省人工和产线成本。

图 133: Model Y 整车热管理方案



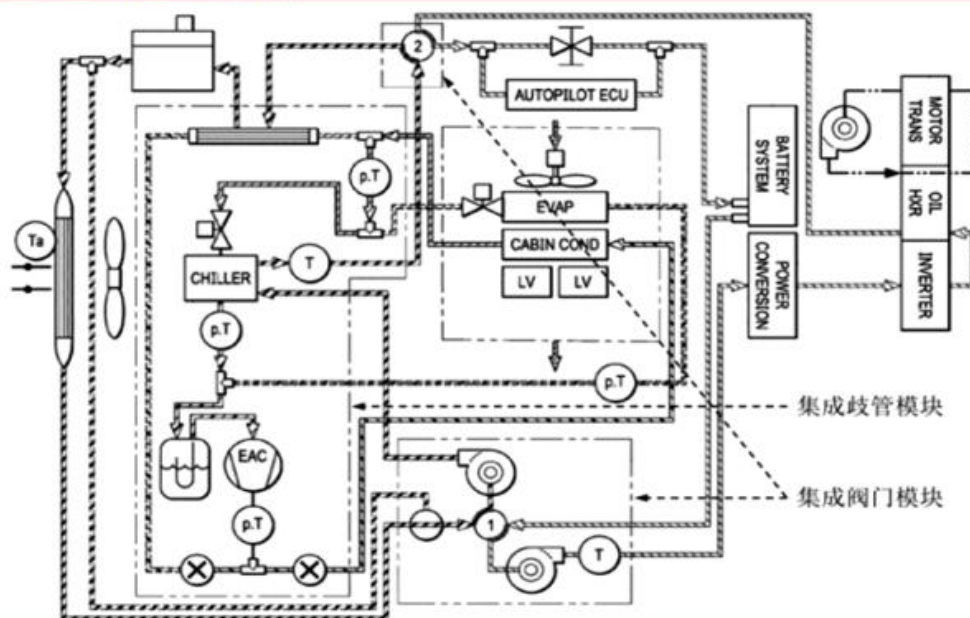
资料来源：特斯拉专利（US 20190070924A1），中信证券研究部

图 134: Model Y 热管理系统四通阀示意图



资料来源：特斯拉专利（US 20190070924A1），中信证券研究部

图 135: 第四代热管理系统拓扑结构



资料来源：特斯拉专利（US 20190070924A1）

技术持续创新，特斯拉热管理系统集成逐渐深化。综合来看，特斯拉热管理通过四通阀、集成式储液罐、热泵系统和四通阀等技术创新，实现结构集成，提升了系统的能量利用效率。以加热方式为例，特斯拉从仅利用电池电能产热（PTC），到利用电池产热+利用电机电控余热，再到电池产热+车内各可产热的部件+环境产热，通过整车热源集成及技术升级完善热能利用。

表 17: 特斯拉各代热管理系统加热及制冷模式

| 车型       | 对象  | 模式需求 | 第一代    | 第二代 | 第三代 | 第四代 |
|----------|-----|------|--------|-----|-----|-----|
| Roadster | 乘员舱 | 加热   | 高压 PTC |     |     |     |
|          |     | 制冷   | 单蒸发器空调 |     |     |     |
|          | 电池  | 加热   | 高压 PTC |     |     |     |
|          |     | 制冷   | 单蒸发器空调 |     |     |     |

| 车型        | 对象  | 模式需求 | 第一代 | 第二代                | 第三代 | 第四代                        |
|-----------|-----|------|-----|--------------------|-----|----------------------------|
| Model S/X | 乘员舱 | 加热   |     | 高压风暖 PTC           |     |                            |
|           |     | 制冷   |     | 双蒸发器空调+舱内蒸发器       |     |                            |
|           | 电池  | 加热   |     | 水暖 PTC+电机余热        |     |                            |
|           |     | 制冷   |     | 冷媒-水热交换器 Chiller   |     |                            |
| Model 3   | 乘员舱 | 加热   |     | 高压风暖 PTC+分区控制升级    |     |                            |
|           |     | 制冷   |     | 双蒸发器空调+舱内蒸发器       |     |                            |
|           | 电池  | 加热   |     | 电机余热+极端工况电机堵转低效制热  |     |                            |
|           |     | 制冷   |     | Superbottle 集成冷却系统 |     |                            |
| Model Y   | 乘员舱 | 加热   |     |                    |     | 热泵系统+2 个低压 PTC             |
|           |     | 制冷   |     |                    |     | 热泵系统                       |
|           | 电池  | 加热   |     |                    |     | 热泵系统+电机余热+电机/压缩机/鼓风机堵转低效制热 |
|           |     | 制冷   |     |                    |     | 热泵系统+四通阀整车热管理              |

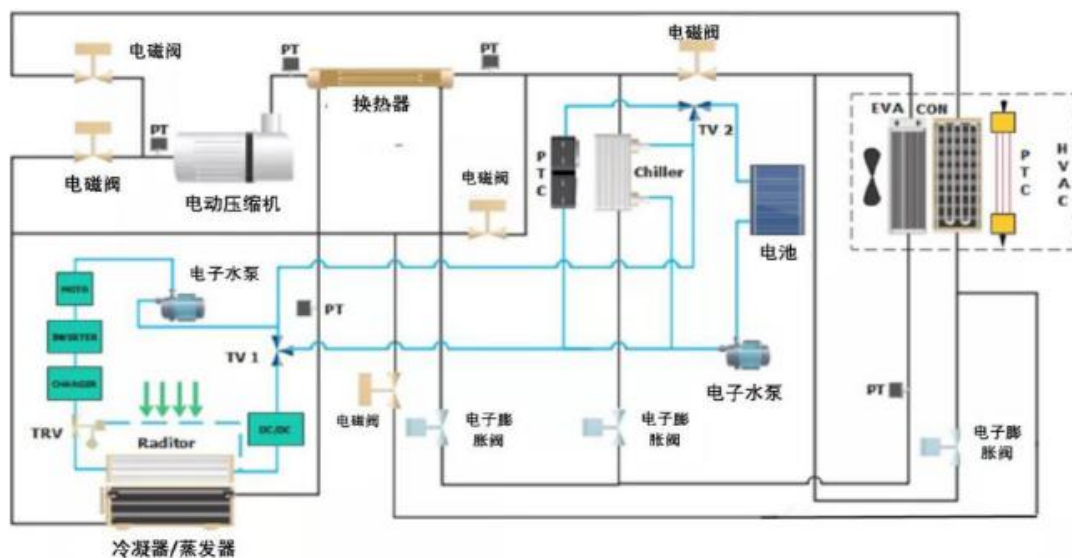
资料来源：《特斯拉电动汽车热管理技术发展趋势》（胡志林等），中信证券研究部

## 同行比较：高集成热管理为行业共识，传统车厂和新势力逐步追赶

### 1) 大众 ID.4：搭载二氧化碳热泵，集成度有待提升。

搭载二氧化碳热泵和水路热力阀，实现电池电机部分集成。大众汽车在 ID 系列车型上搭载了二氧化碳热泵空调，其结构设计延用了普通热泵的结构，其架构主要采用直冷直热架构，制冷蒸发器与热泵冷凝器直接进入乘员舱，并采用电磁阀和双向电子膨胀阀的组合方式对制冷剂回路进行控制，配合舱内 PTC 实现乘员舱温度条件。制冷剂回路使用 CO<sub>2</sub> 冷媒水路循环使用三通阀、水路热力阀连接电池和电机，利用电机余热加热电池，降低电池制热下水路高压 PTC 需求，但制冷剂回路与冷却水路之间的交互较少，相对独立，未采用热泵加热电池的模式。

图 136：大众 ID.4 二氧化碳热泵系统解析



资料来源：汽车热管理公开课微信公众号，中信证券研究部 注：1、蓝色线路为动力电池热管理系统管道，黑色线路为二氧化碳热泵系统管道；2、该图为平台化设计，PTC 为标配，热泵是选装方案，并非同时共存。

### 2) 蔚来：热泵系统逐渐覆盖，整车热管理向集成发展



2022 款全新 ES8 采用热泵系统。蔚来 ES6 采用智能热泵系统。在制热模式下，系统从低温环境中吸取热量，并通过回路输送乘客舱，以达到高效制热效果。2022 年 4 月 19 日，蔚来汽车宣布 2022 款全新蔚来 ES8 正式开启交付，全新蔚来 ES8 不再使用 PTC 热敏电阻的空调加热方式，使用了跟蔚来 ES6 一样的热泵制热方式。

图 137: Model Y 整车热管理方案



资料来源：特斯拉官网，中信证券研究部

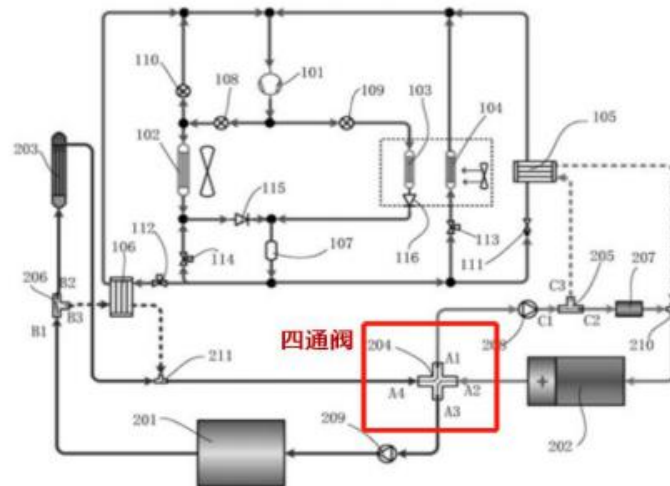
图 138: 蔚来 2022ES8 空调系统配置

| 配置            | 标准版     | 7座版     | 旗舰版     | 旗舰版     | 旗舰版     |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|               | ¥50.000 | ¥49.800 | ¥52.000 | ¥58.000 | ¥58.000 |
| 空调系统          |         |         |         |         |         |
| 自动空调          | ●       | ●       | ●       | ●       | ●       |
| 热泵空调系统        | ●       | ●       | ●       | ●       | ●       |
| 四区空调系统        | ●       | ●       | ●       | ●       | ●       |
| 智能空气净化系统      | ●       | ●       | ●       | ●       | ●       |
| 负离子发生器        | ●       | ●       | ●       | ●       | ●       |
| 车内PM2.5传感器    | ●       | ●       | ●       | ●       | ●       |
| HEPA高效滤网(可选装) | ●       | ●       | ●       | ●       | ●       |
| 智能滤芯提醒        | ●       | ●       | ●       | ●       | ●       |

资料来源：蔚来官网，中信证券研究部

利用电池、电机废热提供冬季空调系统，整车集成进一步提升。蔚来在其公布的专利中说明了一种采用四通阀链接空调回路、电池回路、电机回路的方法。其中，空调系统包含第一和第三通道，第二和第四通道分别串联至电池热管理系统和电机热管理系统，通过四通阀链接四个通道，实现电池和电机废热提供乘员舱，以降低冬季耗电。该方法实现彼此独立分系统的部分集成。

图 139: 蔚来热管理系统专利中的四通阀结构

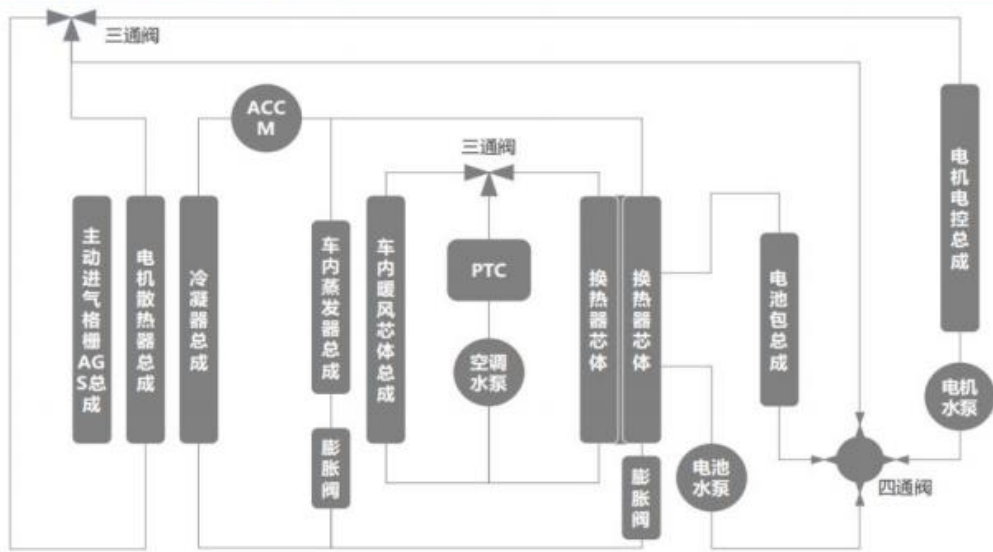


资料来源：天眼查，专利申请公布号 CN109398025A，中信证券研究部

### 3) 小鹏：储液罐一体化及四通阀实现整车热循环，热管理集成继续发展。

小鹏 P7 储液罐一体化设计，四通阀集成实现整车热循环。小鹏 P7 为小鹏汽车的第 2 款纯电车型，整车热管理系统采用一体化储液罐设计和单 PTC 加热方案，利用一个四通阀实现整车系统级的热循环。在储液罐设计上，小鹏 P7 采用电机、电池、乘客舱三者的膨胀罐一体化设计，变为膨胀罐总成，减少零部件数量。同时利用四通阀，将电机冷却水路与电池温控水路串接，使用电机余热加热电池，降低系统能量损失。

图 140：小鹏 P7 整车热管理系统方案



资料来源：一览众车，中信证券研究部

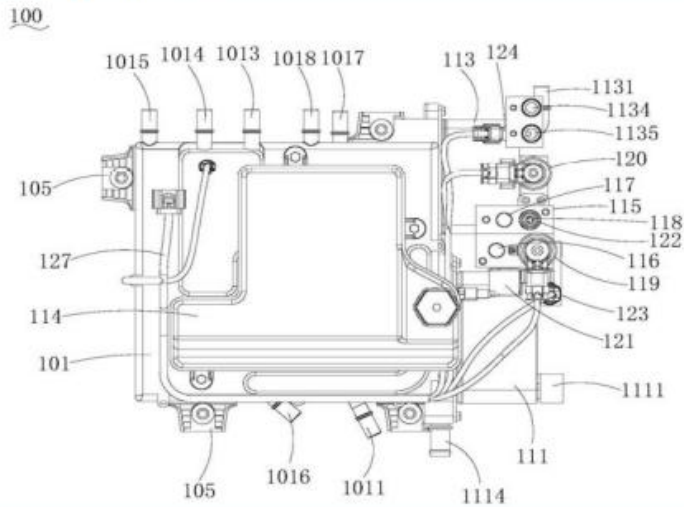
表 18：小鹏 P7 热管理系统零部件清单

| 零件名称    | 零件数量 | 备注            |
|---------|------|---------------|
| 电子水泵    | 3 个  | 电机、电池、乘客舱三者独立 |
| 三通阀     | 2 个  |               |
| 四通阀     | 1 个  |               |
| 电子膨胀阀   | 1 个  | 电池侧           |
| 电磁膨胀阀   | 1 个  | 乘客舱侧          |
| PTC     | 1 个  |               |
| ACCM    | 1 个  |               |
| AGS     | 1 个  |               |
| 电机散热器总成 | 1 个  |               |
| 冷凝器总成   | 1 个  |               |
| 蒸发器总成   | 1 个  |               |
| 暖风芯体总成  | 1 个  |               |
| 双芯体换热器  | 1 个  |               |
| 膨胀罐总成   | 1 个  | 电机、电池与乘客舱三者共用 |

资料来源：热管理文摘精选（微信公众号），中信证券研究部

研发朝向系统进一步集成与能量利用。小鹏在其专利中公开了一种热管理集成单元，包括流道板、泵组件、阀组件、水冷冷凝器、水水换热器和电池冷却器。阀组件连通动力电池的出口和电机水泵的进口，并且连通电池水泵的进口和电驱部件的出口，电池水泵和/或电机水泵将冷却液输送至电驱部件以吸收电驱部件的热量，被加热后的冷却液流经动力电池以对动力电池进行保温，实现低温工况下电驱部件热量对动力电池进行保温，对电驱部件的废热进行利用。

图 141：热管理集成单元的平面结构示意图

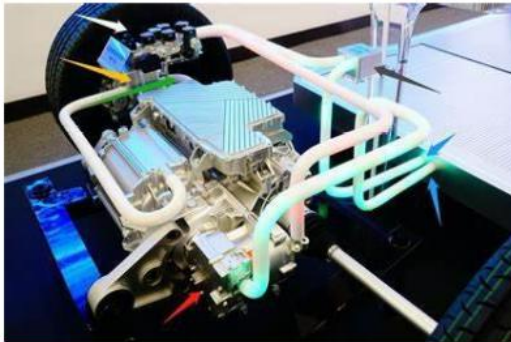


资料来源：天眼查，申请公布号 CN113232489A

#### 4) 比亚迪：乘员舱加热取消 PTC，热管理系统集成一体化不断完善。

一体化热管理不断完善。目前，比亚迪 e 平台 3.0 在热管理上采取了类似特斯拉集成化的阀岛方案，对冷媒回路进行了大规模集成。采用集成的热泵技术，将驾驶舱制暖预热交给热泵电动空调系统以及来自“8 合 1”电驱电控系统的余热，取消对应 PTC 模组，动力电池低温需求则由热泵电空调（包含风暖 PTC）支持，冷媒直接换热，一体化程度提高。

图 142：比亚迪 e 平台 3.0 热管理实物图



资料来源：汽车之家，中信证券研究部

图 143：比亚迪 e 平台 3.0 热泵控制模块



资料来源：汽车之家，中信证券研究部

表 19：比亚迪部分车型热管理特点

| 时间   | 车型      | 热管理特点  |
|------|---------|--|
| 2021 | 海豚      | e 平台 3.0 一体化热管理，采用集成热泵技术，实现各分系统整合，采用冷媒取代冷却液对刀片电池系统进行高精度的低温预热和高温散热技术，制暖余热来自热泵系统和“8 合 1”电动总成余热 |
| 2020 | 汉 EV    | 乘客舱、电池与电机回路相对独立，采用 2 套液态循环管路以冷却液循环方式进行冷热量交换，并以 1 组 PTC 进行低温预热                                |
| 2018 | 秦 EV450 | 3 套液态循环管路、2 组 PTC、多组三通阀体，保证电驱动系统高温散热需求、驾驶舱制暖和空调制冷需求和动力电池高温散热与低温预热需求                          |

资料来源：新能源情报分析网，中信证券研究部

国内车厂竞相追赶，热管理集成为行业共识。从设计逻辑横向对比来看，国内各车厂都不

同程度地向类似特斯拉所采用的集成式热管理系统迭代，采取四通阀、热泵系统等方式管理车内热源或冷却剂，通过整车或部分系统集成提高热管理效率。目前，国内各车厂热管理所处阶段类似于特斯拉第二或第三代热管理系统，呈现追赶特斯拉的特点。

表 20：各厂商热管理系统横向对比

| 厂商     | 特斯拉   | 大众  | 蔚来  | 小鹏   | 比亚迪   |
|--------|---|---|---|--|---|
| 车型     | Model Y   | ID.4 X  | ES8   | P7   | 海豚  |
| 图片     |  |  |  |  |  |
| 电池热管理  | 热泵系统+电机余热+电机/压缩机/鼓风机堵转低效制热  | PTC+电机余热  | 独立电池热管理系统   | PTC+电机余热   | 热泵系统+低压PTC  |
| 乘员舱热管理 | 热泵系统+低压PTC  | PTC+二氧化碳热泵  | 热泵系统+电池电机余热   | PTC  | 热泵系统+电机余热   |
| 集成度对比  | 四通阀+集成热泵实现整车热管理，多工作模式灵活切换   | 实现电机余热加热电池，但制冷剂回路冷却回路相对独立   | 四通阀链接空调系统、电池系统、电机系统，各系统相对独立   | 四通阀+一体化储液罐实现整车热循环  | 集成热泵实现整车管理，有效利用电机余热   |

资料来源：汽车之家，中信证券研究部

## 电子膨胀阀：热管理精细化管控重要部件，技术壁垒较高

电子膨胀阀为电动车热管理精细化管控的重要部件。电子膨胀阀由控制器、执行器和传感器 3 部分构成。由于电子膨胀阀的感温部件为热电偶或热电阻，可以在低温下准确反映出温度的变化，提供更准确的流量调节，同时电子膨胀阀流量控制范围大、调节精细，弥补了毛细管和热力膨胀阀不能调节的缺点，更适合电动车电子化与热管理精细化的管控。

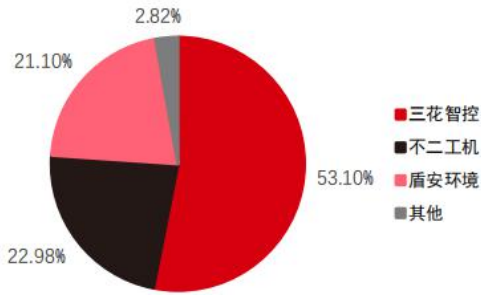
表 21：电子膨胀阀与热力膨胀阀对比

|    | 电子膨胀阀              | 热力膨胀阀                     |
|----|--------------------|---------------------------|
| 优点 | 流量调节更准确，控制范围大，适应低温 | 控制蒸发器的出口过热度，充分的利用蒸发器的换热面积 |
| 缺点 | 成本较高               | 反应慢，精度低，低温下不能有效调节         |

资料来源：QYResearch，中信证券研究部

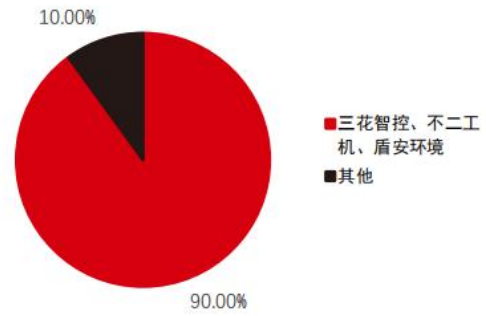
车用电子膨胀阀技术难点在于稳定性、精度要求高，同时阀件工艺存在门槛。1) 稳定性要求高：车用电子膨胀阀需安装在高速行驶、震动等相对动态场景，要求运行稳定、耐震动、轻量化、宽温度范围适用、高可靠性和安全性，且空间紧凑，要求设计体积更小、安装方便和可靠。2) 精度要求高：车用的热管理系统比目前家用或商用空调系统更为复杂，特别是在电池的热管理上对电子膨胀阀有更高的精度要求。3) 工艺要求高：一般来说，一只阀件由几十个精密细小的零部件构成，需 30 余个工序制作，且在制造中需满足公差极限和测试要求，工艺要求高。受限于电子膨胀阀本身技术壁垒，全球电子膨胀阀市场呈现寡头垄断局面，2021 年三花智控、不二工机和盾安环境电子膨胀阀份额合计约 90%。

图 144：2020 年全球电子膨胀阀市场份额



资料来源：QYResearch，中信证券研究部

图 145：2021 年全球电子膨胀阀市场份额

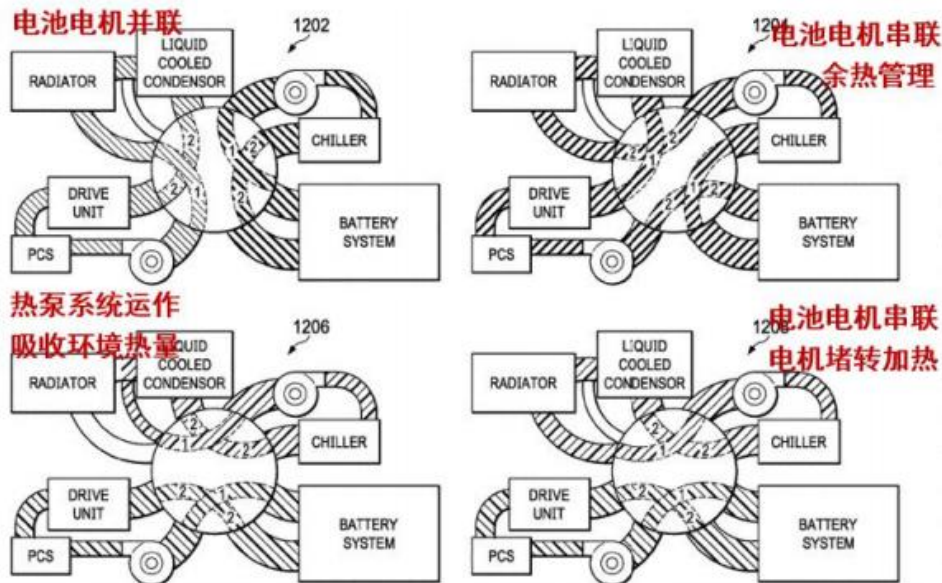


资料来源：QYResearch，中信证券研究部

## 八通阀：热管理系统集成核心部件，回路转换提升效率

八通阀可调节各回路，实现热管理效率提升。八通阀可以改变 9 个管路的链接方式，从而实现不同循环回路，并进一步形成 12 种制热模式和 3 种制冷模式。举例来说，1) 当电池系统温度高于循环中其他部件（DCDC、电机控制器、电机等）温度时，电池循环系统和电机循环系统并联。2) 当电机循环系统温度高于电池系统时，两系统串联，实现余热管理。3) 当电池与乘员舱有制热需求时，分别可通过电机堵转快速加热，热泵系统通过水箱散热器吸收环境热。

图 146：八通阀实现各工作状态的转换



资料来源：特斯拉专利（US 20190070924A1），铭思奇谈，中信证券研究部

特斯拉热管理阀类向高度集成方向演进，以更复杂管理控制策略实现热量分配。汽车各回路热管理的集成需要通过各类阀门控制回路的串并联状态或流道。特斯拉在阀门上不断发展更为创新结构，通过依靠复杂的控制策略来实现热量的合理分配，向高集成方向发展。1) Model S/Y 四通阀：特斯拉在第二代热管理系统上首次引入四通阀结构，实现了电机回路与电池回路的串并联切换。2) Superbottle：到了特斯拉第三代热管理系统，在结构上通过 Superbottle 将四通阀、散热器、水泵等集成，实现电池与功率电子管路串并联、电池与电机回路的交互，与第二代相比则集成更多分系统。3) 八通阀：第四代的八通阀可看

作是 2 个四通阀的集成，将空调系统和三电全部集成，可更有效地实现热管理系统功能的转换。特斯拉以最大限度发挥自身系统设计、集成和控制能力，将热管理系统向更复杂管理策略、高度集成方向演进。

图 147: Model S 四通阀



资料来源: eBay

图 148: Model 3 Superbottle 中的四通阀



资料来源: jalopnik

图 149: Model Y 四通阀



资料来源: Munro & Associates

表 22: 特斯拉热管理结构改进特点

| 结构              | 作用                    | 改进                                       |
|-----------------|-----------------------|--|
| 四通阀             | 集成电池回路、电机回路的热管理       | 为余热回收提供基础                                |
| Superbottle     | 进一步集成四通阀、水泵、交换器等      | 简化了管路和连接件，减重并减空间，实现电机发热模式                |
| 八通阀 (Octovalve) | 进一步集成空调系统、水路制冷系统、热交换器 | 省去空调系统的前端散热器和高压 PTC，把电池包作为热能存储装置，实现整车热管理 |

资料来源: AutoEuro, 中信证券研究部

## 汽车车身：一体压铸减重，线控底盘提效

从 Model 3 的拆车情况来看，传统零部件维度，Model 3 及特斯拉其他车型在车身材料及工艺、车灯、玻璃和底盘上有许多新技术应用。我们在零部件端进行了进一步的拆解分析，具体如下。

### 车身材料及工艺：轻量化协同一体压铸，节能、提效最优解

Model 3 采用钢铝混合车身，制造工艺以冲压焊接为主。经过对 Model 3 的拆解，我们发现 Model 3 车身制造工艺采用冲压焊接技术，车身材料为钢铝混合，具体分为：铝材、低碳钢、高强度钢、超高强度钢。铝材具有低密度特性，主要集中于 Model 3 车身尾部及壳体，以平衡车体前后重量分布。车身其余部位根据设计强度要求，采用三种不同强度的钢铝合金，其中乘客舱骨架（车身纵梁、AB 柱、车顶纵梁、底板梁）采用强度最大的超高强度钢，用以保护乘客安全。铝材的使用令汽车在轻量化方向上迈出重要一步。

图 150: Model 3 车身材料分布



资料来源: 汽车之家

图 151: Model 3 前副车架



资料来源: 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司, 中信证券研究部

图 152: Model 3 后地板及车身结构件



资料来源: 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司, 中信证券研究部

轻量化满足节能及提高续航诉求，“以铝代钢”是最佳选择。全铝车身是特斯拉家族主流，目前 Model Y、Model S、Model X 均已采用。铝合金相较于钢铁密度更低，普通 B 级车钢制白车身重量通常在 300-400kg，采用铝合金可使车身重量降低 30%-40%。除减重外，车身选用铝合金还可大幅降低能耗，提供更大的动力输出，据世界铝业协会报告，NEDC 工况下汽车自重每减少 10%，能减少 6%-8%的能耗。铝合金在新能源车轻量化的进程中优势明显，是车身材料的首选，但因其造价相对较高，目前全铝车身主要应用于中高档车型，低档车型及 Model 3 等“以量取胜”车型只是部分采用铝材，随着铝合金加工工艺不断进步，其价格将逐渐降低，铝合金材料已成为车身轻量化发展的新趋势。

表 23: 特斯拉各量产车型车身材料

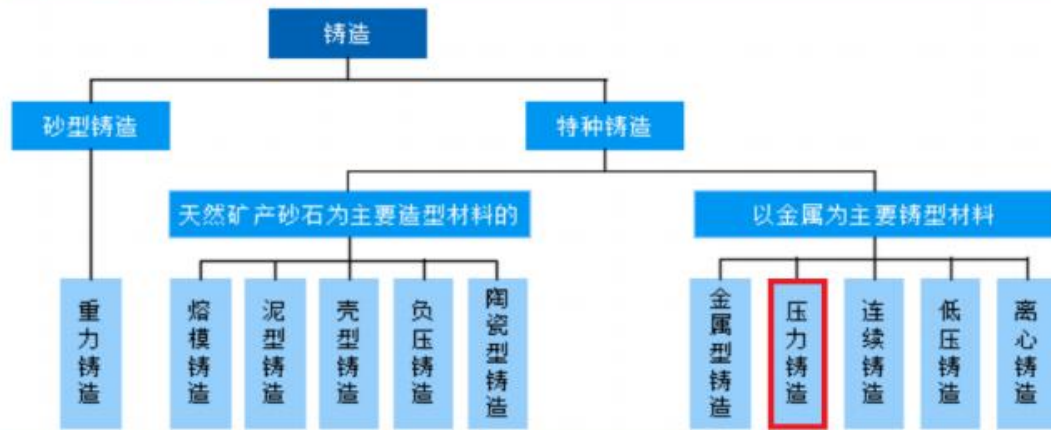
| 量产时间 | 车型       | 车身材料  |
|------|----------|-------|
| 2008 | Roadster | 铝合金车身 |
| 2012 | Model S  | 全铝车身  |

|      |         |      |
|------|---------|------|
| 2015 | Model X | 全铝车身 |
| 2017 | Model 3 | 钢铝混合 |
| 2020 | Model Y | 全铝车身 |

资料来源：Tesla，中信证券研究部

**高压压铸是铝合金材料最高效的成型方法，特斯拉率先提出一体压铸。**金属制品主要采用机床铣削、钣金成型焊接、铸造三种工艺生产。其中铸造主要生产内部结构复杂，难以用钣金成型或机床铣削不具有经济性的零件。压铸全称压力铸造，是一种将金属熔液压入钢制模具内施以高压并冷却成型的一种精密铸造法。压铸适合铸造结构复杂、薄壁、精度要求较高、熔点比钢低的金属零件（铝、锌、铜等）。特斯拉于2019年率先提出一体压铸技术制造工艺，即通过大吨位压铸机将单独、零散的零部件高度集成后一次成型压铸成大型结构件，目前主要应用于车身结构件中。2020年，一体铸造技术开始在Model Y上应用，2021年十月，Model Y一体压铸前舱落地柏林工厂，Cybertruck后地板亦将应用。

图 153：铸造工艺类型分类示意图

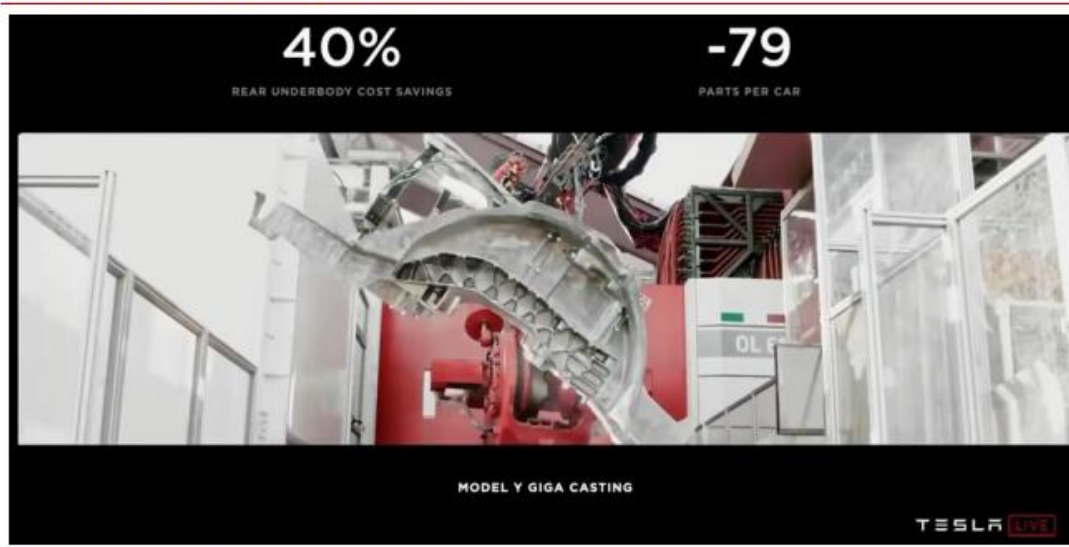


资料来源：文灿股份招股书

**一体压铸降本增效明显，大势所趋。**相较于传统的冲压焊接工艺，一体化压铸技术的主要优势在降本增效。冲压+焊接技术需要先冲压出零部件，再经焊装、涂装、总装后形成零件，一体压铸则是直接将零部件压铸成一个零件，效率明显提升。人工方面，压铸机替代了大部分焊装车间员工，相同产量下，一体压铸车间员工数量仅为传统车企焊装车间的10%左右，人工成本大幅下降的同时，人效显著提升。轻量化方面，采用一体压铸技术可使整车减重约10%，续航里程提升约14%。一体化压铸在降本增效及轻量化方面的优势明显，继特斯拉之后，蔚来、理想、小鹏等造车新势力及大众、奔驰等全球主流车企纷纷跟进，一体压铸大势所趋。



图 154: 特斯拉 Model Y 一体压铸后车身结构件



资料来源: 2020 年特斯拉电池日

## 车灯: 消费升级、智能化升级两大属性驱动技术迭代

Model 3 外饰搭配兼具科技感与美感, 车灯选用矩阵式 LED 光源。Model 3 整车车长 4694mm, 宽度 1850mm, 轴距 2875mm, 典型的轿跑造型, 前脸沿用特斯拉“家族式”的封闭格栅设计, 车门采用隐藏式门把手式设计, 饰条选用铝材, 车灯应用全 LED 光源, 灯体内部为矩阵式构架, 科技感及美感十足。

图 155: Model 3 尾灯



资料来源: 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司, 中信证券研究部

图 156: Model 3 矩阵式 LED 灯



资料来源: 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司, 中信证券研究部

车灯既是功能件又是外观件, 消费升级、智能化升级两大属性驱动技术迭代。车灯早期功能仅限于为行车提供照明, 保障夜间行车的安全。近年来, 需求端车主对智能和美观的诉求逐渐加大的同时, 供给端也在不断挖掘车灯潜在的“噱头”, 共同推动车灯技术的迭代和外观的进化, 汽车车灯开始从静态被动的安全功能系统, 变成了主动响应增进驾驶体验的智能配置, 单车价值量不断提升。具体而言, 一方面, 光源端向更优质、节能、更小体积方向迭代; 另一方面, 智能车灯从 LED 到 ADB 再到 DLP, 功能从方便司机拓展到实现与其他车辆、行人的信息交互。目前, 欧洲生产 Model Y 已确定采用 DLP 车灯。

**光源迭代: 汽车车灯光源变得更优质、节能, 体积更小。**早期车灯主要煤油头灯、乙炔头灯等明火大灯, 照明效果差, 且需要携带燃料, 使用极为不便。20 世纪 70 年代卤素车灯面世, 其照明效果远优于明火大灯, 且成本便宜, 迅速成为汽车车灯的主要光源。随着车灯光源技术的进一步升级, 氙气灯、LED 等照明效果更好、能耗更低的车灯光源逐渐应用于中高端车型, 并开始向中低端车型渗透。2014 年, 宝马旗舰电动超跑 i8 首个搭载激

光大灯，将汽车车灯光源技术又推高到一个新的台阶。回顾车灯光源的迭代历程，每一次光源技术的升级都伴随着光线强度、耐用度、照明效果等性能的提高以及能耗的减少。

图 157：汽车头灯光源进化过程



资料来源：汽车之家，中信证券研究部

表 24：不同类型汽车前大灯的性能对比

|             | 卤素               | 氙气           | LED        | 激光         |
|-------------|------------------|--------------|------------|------------|
| 光线强度        | 输出 1200 流明       | 输出 4500 流明   | 输出 6200 流明 | 约 LED 两倍   |
| 色温          | 3200K            | 4100K        | 4000-6000K | 5500-6000K |
| 耐用度         | 500 小时           | 30000 小时以上   | 100000 小时  | 30000 小时   |
| 照明效果        | 亮度相对均匀，没有明显视觉衰减区 | 中间区域很亮，两侧比较暗 | 光线误差小，无需滤光 | -          |
| 能耗          | 55W              | 35W          | 20-40W     | -          |
| 照射宽度（1 米距离） | 4.4 米            | 5.2 米        | 6.1 米      | -          |
| 体积          | 中                | 大            | 体积小，可任意组合  | -          |
| 其他缺点        | -                | 延迟效应，聚光性差    | 发热量大       | -          |

资料来源：汽车之家，中信证券研究部

**智能化升级：从 AFS 到 ADB 再到 DLP，智能化程度不断加深。**汽车行驶过程中驾驶员需要应对的环境瞬息万变，静态的汽车车灯照明很难实时满足驾驶员的观察需求。在这一背景下，AFS（或 AFLS，Adaptive Front-lighting System）和 ADB（Adaptive Driving Beam）等技术应运而生，近两年，DLP(Digital Lighting Process，数字投影灯光)技术也开始应用在一些车型上。

**1) AFS 前灯：**能够根据汽车的加速、刹车和转向等工况调节大灯照射角度，确保照明范围能持续覆盖驾驶员需要观察的区域，减少盲区。前瞻产业研究院数据显示 2019 年我国 AFS 大灯渗透率为 18%。

**2) ADB 前灯：**能够通过摄像头探测汽车前方的车辆和行人，并依据探测结果控制远光灯的分区照射，避免来车驾驶员和行人因被远光灯照射而产生炫目。前瞻产业研究院数据显示 2019 年我国 ADB 大灯的渗透率为 1.8%。

**3) DLP 前灯：**工作原理和投影机基本一致，就是通过镜片反射数字微镜芯片 DMD，投射数字编辑的信息到车前的地面，像素高达百万级。由于 DLP 车灯的关键零部件数字微型反射镜元件(Digital Micromirror Device，简称 DMD)、德州仪器的数字光处理控制器芯片

(DLPC)、功率微控制器芯片(PMIC)，均由德州仪器独家垄断，成本相对较高。

图 158: 汽车前大灯 AFS 系统功能



资料来源：电子工程世界网

图 159: 汽车前大灯 ADB 系统功能

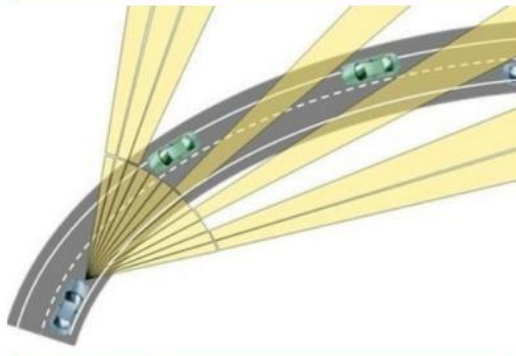


图 160: DLP 技术原理

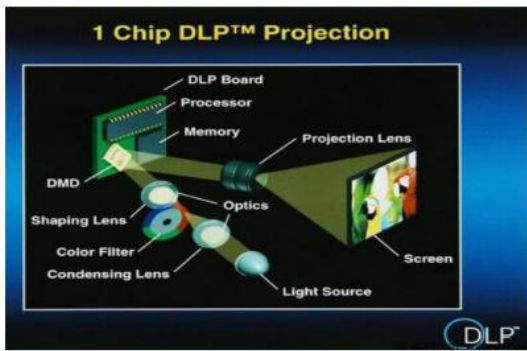
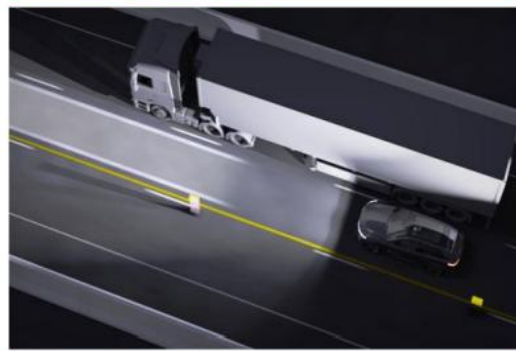


图 161: DLP 车灯投影车道效果图示



## 汽车玻璃：Model 3 天幕引领行业趋势，渗透率有望持续提升

替代传统天窗，特斯拉全景天幕引领行业趋势。2016 年，特斯拉宣布旗下 Model S 和 Model 3 两大车型的最新版更换全景天幕玻璃。其中 Model 3 采用了分段式的天幕玻璃，在车顶中部采用了加强横梁，对视野仍有一定的影响，而 Model S 和 Model Y 更是取消了中间的横梁，采用了一体式的天幕玻璃。我们认为全玻璃车顶在造型设计上更加时尚和具有视觉冲击力，为车内提供更加广阔的视野，采光性能更好，乘坐体验提升显著。同时天幕玻璃省去电机、滑轨、齿轮等复杂结构后，制造成本更低。特斯拉所使用的天幕玻璃采用高强度的夹层玻璃保证安全，并通过镀膜技术阻挡近 98% 的紫外线和 81% 的热量进入车内。特斯拉的天幕设计受到了消费者的广泛好评，料将成为未来趋势。

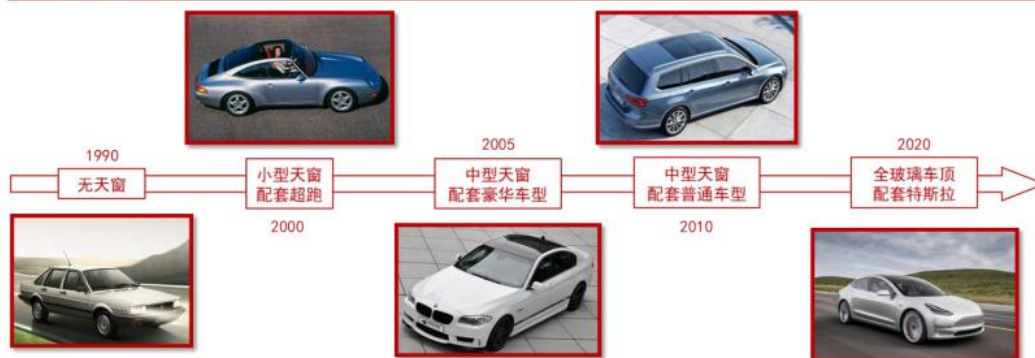
图 162: Model 3 天幕



资料来源：中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，中信证券研究部

**天幕工艺、性能要求提高，推动产业链价值重构。**特斯拉的天幕设计逐渐开始被其他品牌跟进，蔚来、小鹏、理想和比亚迪等国内主机厂均在旗舰车型上开始搭载天幕。从汽车天窗的发展历程来看，从最早的无天窗设计，到小天窗和全景天窗，再到天幕，汽车玻璃的单车使用面积不断提升。天幕玻璃较多采用钢化玻璃，由于其面积比普通玻璃更大，工艺难度更高，单平米价格水平普遍更高。此外，天幕玻璃对隔热、隔音等方面都有更高要求，如采用夹层设计、具备防红外线功能、具备智能调光功能等，其单价也显著高于普通的钢化或夹层玻璃。对于传统汽车玻璃天窗而言，玻璃供应商是 Tier2，天窗机械及密封部件贡献主要价值量，天窗系统整体单车价值量约为 2000-4000 元。而天幕玻璃单车价值量约为 1500 元，玻璃供应商升级为 Tier-1，不仅满足了消费者需求，同时降低了主机厂的成本。因此，主机厂更有动力提升全玻璃车顶的配置率。因此，天幕玻璃将为汽车玻璃行业打开新的增长空间。

图 163: 汽车天窗发展趋势



资料来源：大众官网，保时捷官网，宝马官网，特斯拉官网，中信证券研究部

表 25: 近年来车企发布新车型均以天幕为主

| 品牌  | 车型     | 发布时间    | 是否配置天幕 |
|-----|--------|---------|--------|
| 福特  | Mach E | 2019.11 | ✓      |
| 蔚来  | EC6    | 2019.12 | ✓      |
| 岚图  | FREE   | 2020.12 | ✓      |
| 小鹏  | P7     | 2020.4  | ✓      |
| 长安  | UNI-T  | 2020.6  | ✓      |
| 蔚来  | ET7    | 2021.1  | ✓      |
| 长安  | UNI-V  | 2021.11 | ✓      |
| 大众  | ID4    | 2021.11 | ✓      |
| 蔚来  | ET5    | 2021.12 | ✓      |
| 小鹏  | P5     | 2021.4  | ✓      |
| 大众  | ID6    | 2021.4  | ✓      |
| 极氪  | 001    | 2021.4  | ✓      |
| 比亚迪 | 海豚     | 2021.8  | ✓      |

资料来源: 汽车之家, 中信证券研究部

## 底盘: 线控底盘是实现高级别自动驾驶的必由之路

**Model 3 底盘逐步实现线控化。**通过对 Model 3 底盘结构的拆解, 我们看到: 悬架方面, 特斯拉全车型均采用前轮双叉臂式独立悬架搭配后轮多连杆式独立悬架的配置, 未配置空气悬架; 制动系统方面, 特斯拉车系使用最前沿技术, 即线控制动系统 Ibooster; 转向系统方面, Model 3 仍沿用传统的电动助力转向。

表 26: 特斯拉各车型悬架、转向系统及制动系统

| 车型      | 悬挂          |             | 空气悬架 | 转向系统 | 制动系统     |        |
|---------|-------------|-------------|------|------|----------|--------|
|         | 前           | 后           |      |      | Ibooster | 驻车制动类型 |
| Model 3 | 双叉臂式独立悬架(前) | 多连杆式独立悬架(后) | ×    | 电动助力 | ✓        | 电子驻车   |
| Model Y | 双叉臂式独立悬架(前) | 多连杆式独立悬架(后) | ×    | 电动助力 | ✓        | 电子驻车   |
| Model S | 双叉臂式独立悬架(前) | 多连杆式独立悬架(后) | ✓    | 电动助力 | ✓        | 电子驻车   |
| Model X | 双叉臂式独立悬架(前) | 多连杆式独立悬架(后) | ✓    | 电动助力 | ✓        | 电子驻车   |

资料来源: 汽车之家, 中信证券研究部

**线控底盘是实现自动驾驶 SAE L3 的“执行”基石。**自动驾驶系统共分为感知、决策、控制和执行四个部分, 其中底盘系统属于自动驾驶中的“执行”机构, 是最终实现自动驾驶的核心功能模块。L3 及 L3 以上更高级别自动驾驶的实现离不开底盘执行机构的快速响应和精确执行, 以达到和上层的感知、决策和控制的高度协同。而底盘系统的升级也意味着其中驱动系统、制动系统和转向系统等功能模块的升级。所以, 线控底盘作为更高级别自动驾驶的执行基石, 是发展自动驾驶的具体抓手。

表 27: 自动驾驶技术分级

| 分类            | 功能等级   | 自动化程度  | 代表技术               |
|---------------|--------|--------|--------------------|
| 无自动驾驶         | level0 | 手动驾驶   |                    |
| ADAS (高级辅助驾驶) | level1 | 驾驶辅助   | 前向碰撞预警、车道偏离预警、夜视系统 |
|               | level2 | 部分自动驾驶 | 自动紧急刹车、车道保持系统      |
| 自动驾驶          | level3 | 半自动驾驶  | 高速路段自动驾驶、全自动泊车     |
|               | level4 | 完全自动化  | 全工况自动驾驶            |

资料来源: SAE, 中信证券研究部

**制动系统：线控制动是 L3 及以上高级别自动驾驶的必然选择。**发展至今，汽车制动领域先后历经四个阶段：机械制动、发动机动力制动、脱离发动机的电力制动和数控制动，以及现阶段具备完备冗余机制的线控制动。相较于使用电子真空泵，第四代的线控制动能进行能量回收，在能耗降低的同时，效率提升。随着汽车行业智能化、自动化发展，线控制动是必然选择。

图 164：Model 3 线控制动系统 Ibooster



资料来源：中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，中信证券研究部

图 165：Model 3 ESP



资料来源：中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司，中信证券研究部

**转向系统：线控转向是汽车转向系统未来趋势。**汽车转向系统经历“机械-电子辅助-线控”三段式发展，第三代线控转向系统（Steer-By-Wire，SBW）在电子助力转向系统（Electric Power Steering，EPS）的基础之上发展而来，将驾驶员的操纵输入转化为电信号，无需通过机械连接装置，转向时方向盘上的阻力矩也由电机模拟产生，可以自由地设计转向系统的角传递特性和力传递特性，完全实现由电线或者电信号实现指令传递从而操纵汽车。线控转向模式下，方向盘与转向机完全解耦，转向精准度提升，同时节约驾驶舱空间，是 L4 及以上自动驾驶的必选项。

表 28：线控转向发展历程

| 类别         | 结构组成                         | 特点                           | 优势劣势分析                       |
|------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 机械转向系统     | 转向操纵机构、转向器、转向传动器等            | 纯人力驱动、通过机械杠杆放大人力从而操纵轮胎转向     | 结构简单、成本低，但操作费力，稳定性和精确性有限     |
| 机械液压助力转向系统 | 液压泵、油管、压力流量控制阀体、V 型传动皮带、储油罐等 | 结合人力与发动机动力为转向能源，放大人力从而操纵轮胎转向 | 安全性高、成本低、转向动力充足，能耗高、维护成本高    |
| 电子液压助力转向系统 | 储油罐、控制单元、电动泵、转向机、助力转向传感器等    | 转向油泵由电动机驱动，并加装电控系统           | 能耗低、反应灵敏，但是稳定性较差，维护成本高       |
| 电子助力转向系统   | 扭矩传感器、车速传感器、电动机、减速机构、控制单元等   | 通过电子控制电机产生辅助动力，实现转向          | 结构精简、轻量化程度高、体积小，辅助力度有限、成本高   |
| 线控转向系统     | 转向盘模块、前轮转向模块、主控制器、自动防故障系统等   | 取消转向盘与转向轮之间的机械连接             | 体积小、安全性高，但能耗高，需要高功率反馈电机和转向电机 |

资料来源：汽车之家，中信证券研究部

图 166: Model 3 EPS



资料来源: 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司, 中信证券研究部

图 167: Model 3 转向管柱



资料来源: 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司, 中信证券研究部

**悬架: 空气悬架是核心趋势, 配置价格区间明显下探。**传统汽车的悬架一般由螺旋弹簧和减振器组成, 被动地进行受力缓冲和反弹力消减。空气悬架是一种主动悬架, 它可以控制车身底盘高度、车身倾斜度和减振阻尼系数等。与传统钢制汽车悬架系统相比较, 空气悬架在提高车身稳定性及乘坐舒适性方面有显著优势, 是汽车悬架的核心趋势。空气悬架系统此前多配置于 BBA 等高端豪华品牌, 标配价格在 70 万元以上。随着国内自主主机厂不断推出高端品牌, 同时希望给消费者带来“性价比”, 空悬成为其增配的主要产品, 国内自主品牌空悬配置价格区间明显下探。

图 168: Model 3 双叉臂式独立悬架



资料来源: 中城康帕斯科技发展(深圳)有限公司, 中信证券研究部

图 169: Model 3 多连杆式独立悬架



资料来源: 汽车之家, 中信证券研究部

## 风险因素

**新能源汽车增速不及预期:** 新能源汽车的渗透率与在寒冷地区的适应性、安全性、政府补贴政策等因素都有关。气候适应性方面, 当前新能源汽车在北方部分寒冷地区的适应性仍显不足, 能否改进技术, 吸引北方消费者, 在很大程度上影响新能源汽车销售量。政府补贴方面, 2022 年 6 月财政部、工信部、科技部、发改委发布通知, 2022 年新能源汽车补贴标准在 2021 年基础上退坡 30%, 公交、客运、物流、环卫等车辆补贴退坡 20%, 并且 2022 年购置补贴将于 12 月 31 日终止, 此后上牌的车辆不再给予补贴。补贴的减少将在一定程度上影响用户的购买选择, 从而导致新能源汽车增速不及预期。

**汽车智能化发展不及预期:** 智能化水平是用户选购新能源汽车的重要考量因素。智能化技术中, 智能驾驶技术难度较高, 发展具有一定的不确定性。在短期内 L4 级别自动驾驶

难以实现，L2 或 L2+级别的技术具备一定可行性，但其装配率和客户对其评价水平仍有一定不确定性。客户对智能驾驶技术的评价可能低于市场预期，从而将影响智能汽车的渗透率水平。

**电池技术路径的不确定性：**当前电池技术仍然处于快速发展之中。单电芯层面，正极材料方面存在各类三元材料和磷酸铁锂的竞争，电解质方面存在固态电池逐渐取代电解液的潜在趋势，负极材料方面存在碳硅配比等问题，电芯的包装形式也各有优缺点。模组和电池包层面，存在 CTP、CTC 等各种不同成组技术。无论电芯层面还是模组、电池包乃至整车层面，各类技术路线的渗透率都具有一定不确定性，并且存在着被新技术颠覆的风险，因而会对产业链上的企业产生影响。

**动力电池上游材料涨价：**当前动力电池需要大量的锂、有色金属等材料，诸多材料属于大宗商品，其价格受供需水平波动影响较大，且全球分布不均。当前锂矿价格正在上涨，随着新能源汽车渗透率提升，电池消耗量增加，对于锂矿和其他材料的需求也将增加，可能进一步推升上游材料价格，从而影响产业链中下游企业的盈利能力。

**全球与国内疫情不确定性：**当前疫情仍在持续，对国内外宏观经济都产生了影响，国外为应对疫情产生了通胀，并进一步伴随加息产生衰退风险，而国内则面临防疫政策限制，居民消费行为受到限制，且经过长时间封控管理，居民现金储备下降，消费意愿也随之发生变化，尤其是对于耐用消费品的购买意愿可能下降，更换周期可能延长。疫情持续下去，居民的消费意愿仍有下降的可能性，从而导致汽车行业整体业绩不及预期。

## 投资策略

智能汽车的域控化已成趋势，重点推荐**域控制器相关公司**德赛西威、中科创达，**高压连接器**数量大增推荐瑞可达。主流车企的车型平台不断升级出新，**新能源车的三电和热管理环节**处于高速成长期，当前时点建议关注特斯拉、宁德时代、LG 化学等优质整车、电池企业供应链，包括 1. 电池/电机环节的宁德时代、比亚迪（A+H）、欣旺达、鹏辉能源、精达股份、亿华通；锂电材料的德方纳米、中伟股份、天奈科技、璞泰来、贝特瑞、中科电气、杉杉股份、科达利、新宙邦、厦门钨业；2. 上游设备及资源：赣锋锂业；3. 热管理供应链：三花智控（热管理）、银轮股份（热管理）。**零部件方面**，轻量化领域重点推荐文灿股份、拓普集团、爱柯迪、旭升股份，车灯领域重点推荐星宇股份，汽车玻璃领域重点推荐福耀玻璃，底盘领域重点推荐伯特利、保隆科技、中鼎股份。



表 29：智能电动汽车重点跟踪公司盈利预测

| 简称   | 代码        | 收盘价    | EPS  |       |       |       | PE  |     |     |     | 评级 |
|------|-----------|--------|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|----|
|      |           |        | 21   | 22E   | 23E   | 24E   | 21  | 22E | 23E | 24E |    |
| 德赛西威 | 002920.SZ | 164.19 | 1.50 | 1.95  | 2.70  | 3.51  | 109 | 84  | 61  | 47  | 买入 |
| 中科创达 | 300496.SZ | 133.74 | 1.52 | 2.21  | 3.01  | 4.08  | 88  | 61  | 44  | 33  | 买入 |
| 移远通信 | 603236.SH | 149.18 | 1.89 | 3.57  | 5.02  | 6.66  | 79  | 42  | 30  | 22  | 买入 |
| 瑞可达  | 688800.SH | 143.00 | 1.05 | 1.86  | 2.82  | 4.14  | 136 | 77  | 51  | 35  | 买入 |
| 宁德时代 | 300750.SZ | 533.00 | 6.83 | 10.15 | 17.09 | 23.36 | 78  | 53  | 31  | 23  | 买入 |
| 比亚迪  | 002594.SZ | 338.19 | 1.06 | 2.82  | 4.03  | 7.26  | 319 | 120 | 84  | 47  | 买入 |
| 欣旺达  | 300207.SZ | 31.48  | 0.53 | 0.83  | 1.45  | 1.96  | 59  | 38  | 22  | 16  | 买入 |
| 鹏辉能源 | 300438.SZ | 81.78  | 0.42 | 1.60  | 2.30  | 3.07  | 195 | 51  | 36  | 27  | 买入 |
| 精达股份 | 600577.SH | 5.52   | 0.27 | 0.35  | 0.50  | 0.66  | 20  | 16  | 11  | 8   | 买入 |
| 德方纳米 | 300769.SZ | 382.30 | 4.97 | 10.13 | 15.61 | 23.87 | 77  | 38  | 24  | 16  | 买入 |
| 中伟股份 | 300919.SZ | 147.81 | 1.54 | 3.49  | 5.17  | 7.18  | 96  | 42  | 29  | 21  | 买入 |
| 天奈科技 | 688116.SH | 164.88 | 1.27 | 2.64  | 4.89  | 7.78  | 130 | 62  | 34  | 21  | 买入 |
| 璞泰来  | 603659.SH | 80.25  | 1.25 | 2.19  | 2.94  | 4.29  | 64  | 37  | 27  | 19  | 买入 |
| 中科电气 | 300035.SZ | 26.29  | 0.51 | 1.04  | 1.53  | 2.19  | 52  | 25  | 17  | 12  | 买入 |
| 杉杉股份 | 600884.SH | 30.71  | 1.56 | 1.57  | 1.96  | 2.28  | 20  | 20  | 16  | 13  | —  |
| 科达利  | 002850.SZ | 177.85 | 2.33 | 5.42  | 8.10  | 11.39 | 76  | 33  | 22  | 16  | 买入 |
| 新宙邦  | 300037.SZ | 49.04  | 3.17 | 4.80  | 5.89  | 6.95  | 15  | 10  | 8   | 7   | 买入 |
| 厦门钨业 | 600549.SH | 21.07  | 0.83 | 1.07  | 1.44  | 1.70  | 25  | 20  | 15  | 12  | 买入 |
| 赣锋锂业 | 002460.SZ | 100.02 | 3.64 | 7.54  | 11.78 | 13.39 | 27  | 13  | 8   | 7   | 买入 |
| 三花智控 | 002050.SZ | 29.22  | 0.41 | 0.64  | 0.82  | 0.97  | 71  | 46  | 36  | 30  | 买入 |
| 银轮股份 | 002126.SZ | 11.92  | 0.28 | 0.48  | 0.69  | 1.00  | 43  | 25  | 17  | 12  | 买入 |
| 拓普集团 | 601689.SH | 83.16  | 0.92 | 1.54  | 2.15  | 2.68  | 90  | 54  | 39  | 31  | 买入 |
| 文灿股份 | 603348.SH | 76.45  | 0.37 | 1.23  | 2.03  | 2.82  | 207 | 62  | 38  | 27  | 买入 |
| 爱柯迪  | 600933.SH | 18.02  | 0.36 | 0.67  | 0.91  | 1.14  | 50  | 27  | 20  | 16  | 买入 |
| 旭升股份 | 603305.SH | 33.63  | 0.92 | 1.44  | 1.98  | 2.67  | 37  | 23  | 17  | 13  | 买入 |
| 星宇股份 | 601799.SH | 181.70 | 3.32 | 4.79  | 6.46  | 8.34  | 55  | 38  | 28  | 22  | 买入 |
| 福耀玻璃 | 600660.SH | 41.81  | 1.21 | 1.65  | 2.18  | 2.73  | 35  | 25  | 19  | 15  | 买入 |
| 伯特利  | 603596.SH | 87.95  | 1.24 | 1.54  | 2.23  | 3.07  | 71  | 57  | 39  | 29  | 买入 |
| 保隆科技 | 603197.SH | 54.58  | 1.29 | 1.46  | 2.45  | 3.40  | 42  | 37  | 22  | 16  | 买入 |
| 中鼎股份 | 000887.SZ | 19.94  | 0.73 | 0.84  | 1.01  | 1.17  | 27  | 24  | 20  | 17  | 买入 |

资料来源：Wind，中信证券研究部

注：股价为 2022 年 7 月 15 日收盘价（CNY）

## ■ 相关研究

新能源汽车行业 2022 年 6 月销量点评—供需持续释放，新车型推动全年景气向上  
(2022-07-12)

新能源汽车行业 2022 年下半年投资策略—产业深化发展，创新驱动进步 (PPT)  
(2022-07-06)

储能行业之钠电池研究报告—时机已至，花开在即  
(2022-07-05)

新能源汽车产业链专题报告——图看懂捷氢科技  
(2022-07-05)

储能行业之抽水蓄能专题研究报告—行业红利，规划加速  
(2022-06-30)

新能源汽车 2022 年下半年投资策略—产业深化发展，创新驱动未来 (PPT) (2022-06-28)

新能源汽车行业 2022 年下半年投资策略—产业深化发展，创新驱动进步 (2022-06-25)

新能源汽车热管理行业专题报告—主被动协同助力行业发展  
(2022-06-22)

新能源汽车行业安全性问题点评—火灾问题不容小觑，安全配置保驾护航 (2022-06-15)

新能源汽车行业 2022 年 5 月销量点评—产销呈现恢复性增长，市场加速复苏  
(2022-06-13)

新能源汽车行业磷酸铁锂正极行业深度跟踪报告—从成本优势到性能优势，新技术有望打开铁锂长期成长空间 (PPT)  
(2022-05-24)

新能源汽车行业磷酸铁锂正极行业深度跟踪报告—从成本优势到性能优势，新技术有望打开铁锂长期成长空间  
(2022-05-23)

新能源汽车行业日韩电池厂 22Q1 跟踪报告—下游景气度不减，盈利水平回升  
(2022-05-23)

便携式储能行业专题报告—优在便捷，市场高增  
(2022-05-16)

新能源汽车行业热管理专题报告—储能热管理：百家争鸣，高效与低成本者为王  
(2022-05-13)

新能源汽车行业 2022 年 4 月销量点评—局部疫情扰动下产销承压，渗透率趋势不改  
(2022-05-12)

新能源汽车行业 2022 年 3 月销量点评—3 月销量符合预期，新能源车渗透率超预期  
(2022-04-13)

新能源汽车行业储能行业专题报告—变革开启，储能加速  
(2022-04-01)

新能源汽车行业新技术与新材料专题报告之磷酸锰铁锂—新一代锂电正极材料，渗透率有望快速提升  
(2022-03-28)

新能源汽车行业 2022 年电动汽车百人会点评—从电动化到智能化，电动车赛道有望开启下半场  
(2022-03-28)

新能源汽车动力电池回收专题—锂电池回收：加速构建产业链循环一体化 (2022-03-23)

新能源汽车行业 2022 年 2 月销量点评—销量超预期，行业高景气有望持续 (2022-03-14)

新能源汽车行业硅基负极专题报告—4680 电池引领需求，历经蛰伏将迎爆发(2022-03-02)

4680 电池系列报告（一）—集新设计新技术于一身，引领产业变革 (2022-02-28)

新能源汽车行业重大事项点评—特斯拉 4680 电池量产，产业变革有望加速 (2022-02-21)

**丁奇**

云基础设施行业首席分析师

**S1010519120003**

**许英博**

科技产业首席分析师

**S1010510120041**

**袁健聪**

新能源汽车行业首席分析师

**S1010517080005**

**尹欣驰**

汽车及零部件行业首席分析师

**1010519040002**

**杨泽原**

计算机行业首席分析师

**S1010517080002**

**李景涛**

汽车及零部件行业联席首席分析师

**S1010520120003**

**滕冠兴**

新能源汽车分析师

**S1010521080004**

**王诗宸**

汽车及零部件分析师

**S1010522030006**

本文节选自中信证券研究部已于 2022 年 7 月 18 日发布的报告《从拆解 Model3 看智能电动汽车发展趋势》，具体分析内容（包括相关风险提示等）请详见相关报告。若因对报告的摘编而产生歧义，应以报告发布当日的完整内容为准。

☆☆☆

本资料所载的证券市场研究信息是由中信证券股份有限公司（以下简称“中信证券”）的研究部编写。中信证券研究部定位为面向专业机构投资者的卖方研究团队。通过微信形式制作的本资料仅面向中信证券客户中的金融机构专业投资者，请勿对本资料进行任何形式的转发行为。中信证券不因任何订阅本公众号的

行为而将订阅人视为中信证券的客户。若您并非中信证券客户中的金融机构专业投资者，为保证服务质量、控制投资风险，应首先联系中信证券机构销售服务部门或经纪业务系统的客户经理，完成投资者适当性匹配，并充分了解该项服务的性质、特点、使用的注意事项以及若不当使用可能会带来的风险或损失，在此之前，请勿订阅、接收或使用本订阅号中的信息。本资料难以设置访问权限，若给您造成不便，还请见谅！感谢您给予的理解和配合。若有任何疑问，敬请发送邮件至信箱 [kehu@citics.com](mailto:kehu@citics.com)。

**重要声明：**

本资料定位为“投资信息参考服务”，而非具体的“投资决策服务”，并不涉及对具体证券或金融工具在具体价位、具体时点、具体市场表现的判断。需特别关注的是（1）本资料的接收者应当仔细阅读所附的各项声明、信息披露事项及风险提示，关注相关的分析、预测能够成立的关键假设条件，关注投资评级和证券目标价格的预测时间周期，并准确理解投资评级的含义。（2）本资料所载的信息来源被认为是可靠的，但是中信证券不保证其准确性或完整，同时其相关的分析意见及推测可能会根据中信证券研究部后续发布的证券研究报告在不发出通知的情形下做出更改，也可能会因为使用不同的假设和标准、采用不同观点和分析方法而与中信证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。（3）投资者在进行具体投资决策前，还须结合自身风险偏好、资金特点等具体情况并配合包括“选股”、“择时”分析在内的各种其它辅助分析手段形成自主决策。为避免对本资料所涉及的研究方法、投资评级、目标价格等内容产生理解上的歧义，进而造成投资损失，在必要时应寻求专业投资顾问的指导。

（4）上述列示的风险事项并未囊括不当使用本资料所涉及的全部风险。投资者不应单纯依靠所接收的相关信息而取代自身的独立判断，须充分了解各类投资风险，自主作出投资决策并自行承担投资风险。

本订阅号中的所有资料版权均属中信证券。不得以任何方式修改、发送或复制本订阅号中的内容。除经中信证券认可的情况外，其他一切转载行为均属违法。版权所有，违者必究。