



2025 东南大学方程式赛车队设计报告

电气系统

一、整车电气架构

赛车的整车电气系统分为高压系统、低压系统与控制系统：高压部分由动力电池、高压盒、电机控制器及驱动电机构成，同时设计高压 DCDC 保证低压系统能量供应；低压部分除了电源设计之外，整合了低压控制板（融合 BMS/IMD 故障锁存 TSAL 两大功能），并协同 VCU、开关面板、传感器、仪表面板组成整车的低压架构；控制系统由 VCU 和传感器、电子控制单元构成，挂载在 CAN 总线上。

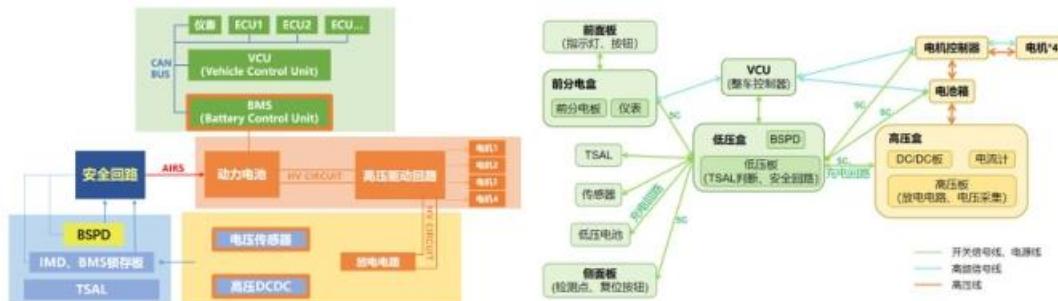


图 1 整车电气架构

二、低压系统

1. 线束系统：整车布局采用三舱分区策略，中部集中布置低压盒与整车控制器（VCU），前舱方向盘两侧集成前分电盒与前面板，后舱线束直通电机控制器。

2. 不同模块的 PCB 集成：将 BMS/IMD 锁存功能、TSAL 逻辑和电源模块整合至同一 PCB，并于 PCB 上分类规划了车辆不同部位的电源、信号接口。

3. 整车信号系统集成：将集成锁存、TSAL 的 PCB 及接口，VCU 的接口，电源模块及其接口整合至同一个防水低压壳体，将不同车辆部位的电源线和信号线整合至不同的航空插头，大幅简化线束制作流程。

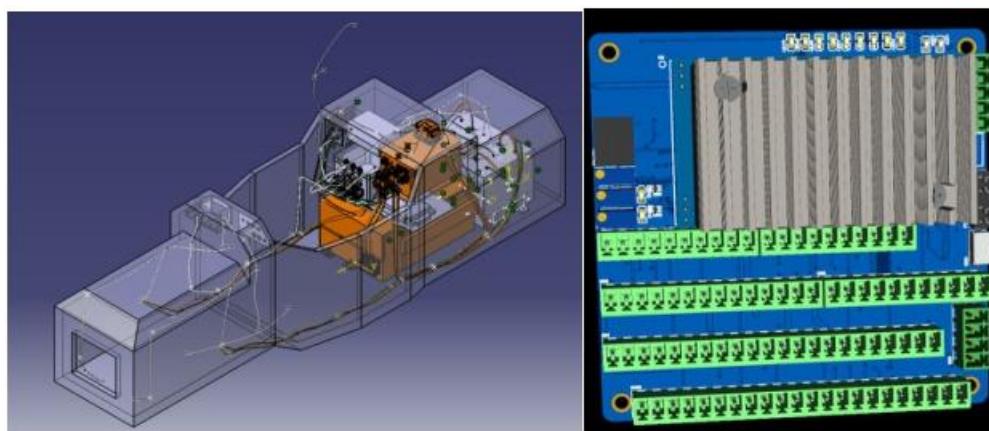


图 2 整车线束

图 3 低压电路板

三、高压驱动系统

1. 电机及控制器参数匹配：

针对 2024 年大学生电动方程式大赛的赛道特点：低速弯居多，最小转弯半径低至 2m，

因此车队选择 4 驱系统来提升低速弯的出弯响应和指向性。电机选择 AMK/DD5-14-10-POW 四轮边电机，控制器选择 KW26-S5-FSE-4Q，这套系统在满足 80kw 功率上限的同时，满足功率密度高，尺寸紧凑，扭矩充沛等优点。

2.动力电池组参数匹配：

电池组匹配参数主要包括电池组的能量、电压和容量的确定。

(1) 电池组的能量是表明其供电能力的重要指标。根据比赛的测试工况，电池组的能量设计需要满足整车续航里程性能指标，依据电动力总成的续航能量参考公式，根据变量取值情况求得续航里程决定的电池组能量为 6.6kWh。

$$Q = \frac{(mgf + C_d A v_{max}^2) \cdot S \cdot 1000}{21.15} \\ 3600 \cdot 1000 \cdot \varepsilon_c \cdot \eta_m \cdot \eta_b \cdot \eta_t$$

(2) 为了匹配能量要求和动力总成的电气参数，确定电池组电量，电芯类型，串并联数量。选择香港明达 EP7064159HP 锂离子聚合物软包电池，单体额定电压 3.7V，最低电压 2.75V，最高电压 4.2V，稳定放电倍率 20C，电量 7.5Ah，能够满足高能量密度和小尺寸布置需求。对于整包，我们选择了 130 串联 2 并联的串并数量，电池组的总能量为 7.5kWh，能够满足所需能量。

(3) 仿真验证：在 Cruise 仿真软件中建立了整车模型，参数化电池、电机、传动、制动以及轮胎模型，使用全负荷加速和循环工况两种计算任务查看 SOC 变化，验证了电池参数的设计性能指标。

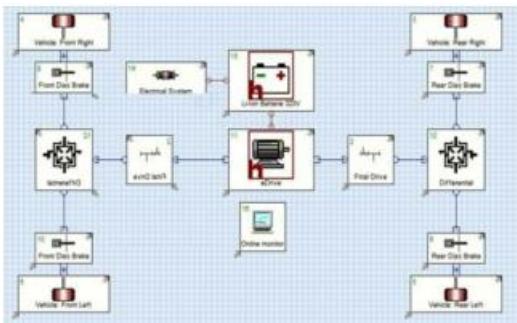


图 4 Cruise 整车模型

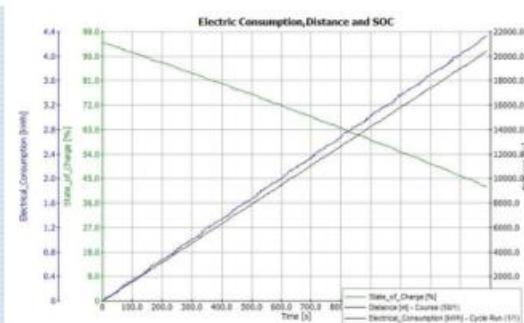


图 5 SOC 变化曲线

(4) 动力电池结构设计：采用 0.9mm 钢结构钣金外壳；设计位于箱体前后的安装吊耳以满足侧向空间收窄的需求；采取 BDU 和采集控制电路 z 轴方向堆叠的方式，缩短电池箱长度，从而帮助赛车缩短轴距。

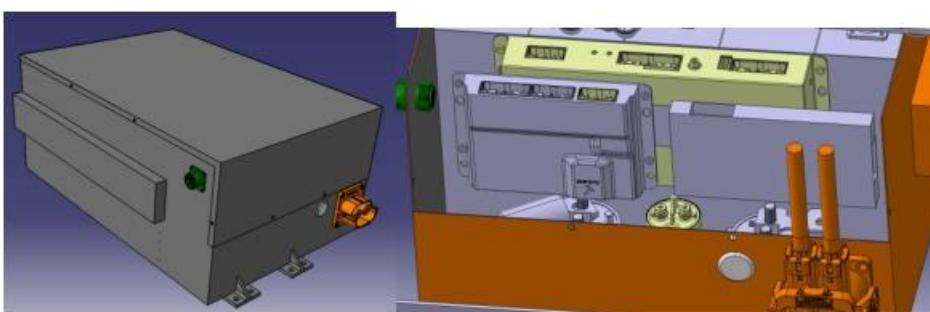


图 6 电池箱三维模型

图 7 BDU 与采集控制电路布置方式

车身车架

一、设计目标

- 协调各组设计任务，使单体壳满足整车各个部件的布置要求。
- 根据人机工程学和比赛要求，保证车手驾驶的舒适性和安全性。
- 保证车架的强度和刚度要求下，实现轻量化设计并简化工艺流程。

二、设计方案及亮点

1. 铺层设计及优化

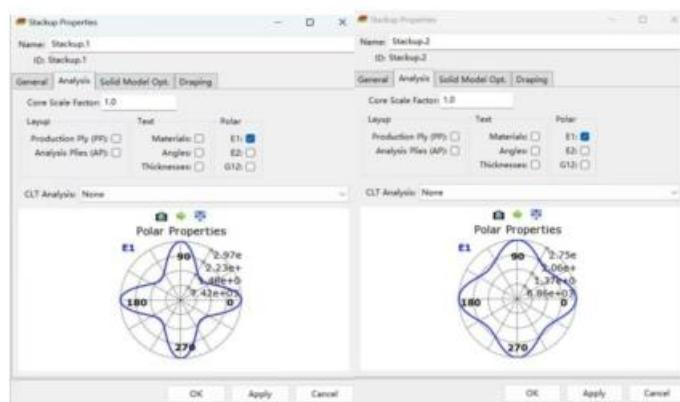


图 8 原铺层（左）与现铺层（右）各向异性差异

基础铺层	编织+45编织+0+90+45+135+编织 +蜂窝铝+编织+45+135+45编织+编织
加强铺层	编织+45编织+编织+0+90+45+135+编织 +蜂窝铝+编织+45+135+编织+编织

图 9 两种铺层方式

2. 人机工程学优化

根据车手的平均身材数据，制作假人模型。选取坐姿，依据踏板的前后位置要求和腿部合适人体角度需求，可以确定座舱长度为 1555mm；为了防止方向盘和腿部干涉同时考虑视野，确定前环最低高度为 650mm，但是考虑解耦支架高度，前环可适当升高，最终根据 95 百分位要求，最终确定主环高度为 1170mm。（高度数据为相对单体壳最低平面的高度）

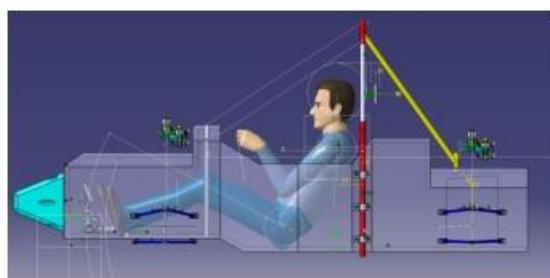


图 10 人机工程仿真图

3. 模具设计及优化

模具采用钢模具内侧阴模加工方式，通过插槽与拼图状凹凸结构保证各模块间定位准确。

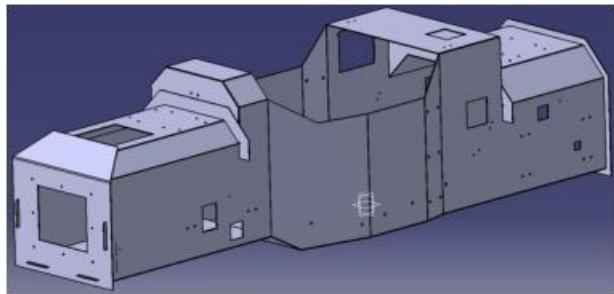


图 11 钢模具三维模型

踏板与制动系统

一、设计目标

1. 保证紧急制动下四轮同时抱死的前提下，优化制动距离；
2. 优化踏板传动比，保证踩踏力和脚感的平衡；
3. 保证强度的前提下尽可能实现轻量化。

二、设计参数

制动系统类型：前后轴独立双回路制动系统

前轴制动力分配系数 $\beta = 0.61$

部件	说明
卡钳	ISR 22-048
主缸	Tilton 78-625 缸径 15.88mm
摩擦片	EBC 摩擦片 最高摩擦系数 0.7
制动盘	IMK 2Cr13 不锈钢

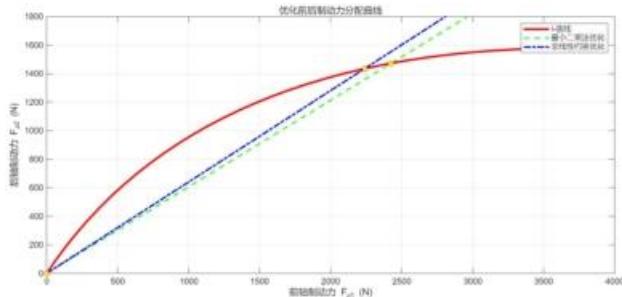


图 12 制动力分配曲线

根据计算，优化制动力分配系数 β 为 0.61。此时同步附着系数约为 1.10。
则四轮同时抱死情况下：

参数名称	数值
前管路内油压	2.13MPa
后管路内油压	1.35Mpa
踏板踩踏力	694N

轮边系统

一、设计目标

1. 选择兼顾车辆加速和极速的减速比；
2. 保证齿轮强度，防止齿发生断裂；
3. 尽可能进行轻量化设计以减轻簧下质量。

二、具体参数

减速比: 12.0		减速器构型: NW 型行星齿轮机构	
构件名称	齿数	模数	变位系数
太阳轮	15	0.8	0.2
一级行星轮	50	0.8	-0.2
二级行星轮	25	0.8	0.2
齿圈	90	0.8	-0.2

同时，水套、电机、立柱一体设计。去除传统辐板设计，将轮毂辐条一体加工设计，极大程度提高轮边集成化、轻量化。

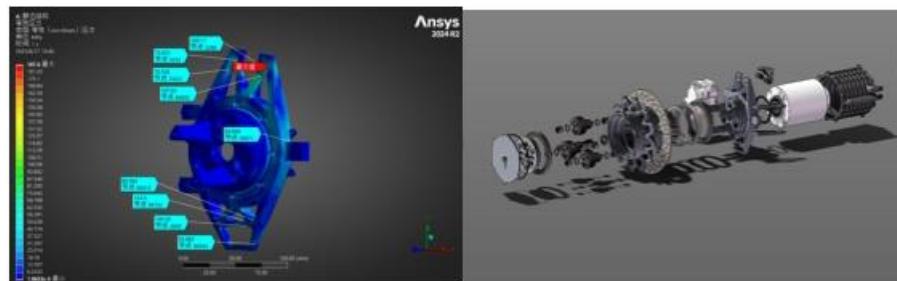


图 13 立柱力学仿真图

图 14 轮边系统爆炸渲染图

悬架系统

一、设计目标

1. 确保车辆在高速过弯、紧急变道时保持轮胎接地性，减少侧倾与俯仰，提升抓地力；
2. 通过轻量化设计和阻尼调校，实现悬架对路面变化的快速响应，平衡舒适性与赛道激进驾驶需求；
3. 优化几何参数（如外倾角、前束角），使轮胎在动态工况下接触面积最大化，减少磨损不均；
4. 根据不同跑动工况设计不同参数（如轮胎外倾角、束角、俯仰刚度等）。

二、参数选择

整车参数

参数名称	参数
满载质量 (含车手)	320kg
轴距	1580mm
轮距	前 1200mm 后 1160mm
轴荷比	45:55

轮辋	10×8.0inch
轮胎	Hoosier 43054 LC0
质心高度	320mm

不变四轮定位参数

参数名称	前轮	后轮
主销内倾角	4°	5°
主销后倾角	3.4°	0°

可变参数

工况	参数名称	前轮	后轮
直线加速	轮胎外倾角	-0.5°	+0.5°
	束角	+0.5°	0°
	俯仰弹簧刚度	250 lbs/in	250 lbs/in
	侧倾弹簧刚度	225 lbs/in	225 lbs/in
八字绕环	轮胎外倾角	-2.0°	-1.0°
	束角	-0.5°	+0.2°
	俯仰弹簧刚度	275 lbs/in	250 lbs/in
	侧倾弹簧刚度	250 lbs/in	250 lbs/in
高速避障	轮胎外倾角	-2.0°	-1.0°
	束角	-0.8°	+0.2°
	俯仰弹簧刚度	275 lbs/in	250 lbs/in
	侧倾弹簧刚度	250 lbs/in	250 lbs/in
耐久测试	轮胎外倾角	-1.5°	-1.0°
	束角	-0.2°	+0.5°
	俯仰弹簧刚度	275 lbs/in	200 lbs/in
	侧倾弹簧刚度	250 lbs/in	225 lbs/in

转向系统

一、设计目标

由于采用独立悬架，所以为减少悬架对转向的影响，转向系采用基于独立悬架的分段式转向梯形设计。

二、参数选择

参数名称	参数
轮距 B	1200mm
轴距 L	1580mm
主销偏置距	36mm
主销拖地点间距 N	1128mm

三、转角关系公式

根据计算结合经验参考，确定阿克曼系数为 0.43：得到理想的转角关系公式

$$\cos\beta - \cos\alpha = \frac{B}{L}$$

四、转向梯形优化

通过 matlab 优化梯形参数，综合考虑到与单体壳的配合及与轮边不发生干涉的前提下，得到的转向梯形优化的结果：

$$h=50\text{mm}; \quad L1=58\text{mm}; \quad \lambda =108^\circ : \quad M=438\text{mm}$$

空气动力学套件

一、设计重点

1. 气动套件轻量化设计；
2. 提升对于地面效应的理解；
3. 进行简单的涡流管理。

二、设计参数与设计方法

1. 整体规划

- (1) 下压力分配：气动套件整体目标下压力配比定位 3: 3: 4。
- (2) 涡流管理：使用旗翼与车身 whisker 组合生成一个在扩散器上方稳定旋转的涡流来给扩散器带来气流下洗从而一定程度上的避免因前翼升流所带来的扩散器进气损失。

2. 设计参数

- (1) 仿真条件：

计算工具	Starccm+
网格类型	多面体+棱柱层
网格数量	1000w
湍流模型	K-epsilon
计算风速	16.7m/s

- (2) 气动整体设计：

整车设计使用双主翼前翼，翼形扩散器以及大弦长尾翼，同时使用前翼旗翼与 whisker 对整车进行涡流管理。

- (3) 整车气动参数：

参数名称	数值
迎风面积	1.1167m ²
CLA	-5.19
CDA	2
前轴气动载荷比	45.5%

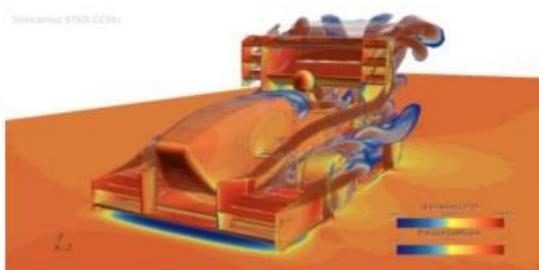


图 15 空套仿真斜二测视图

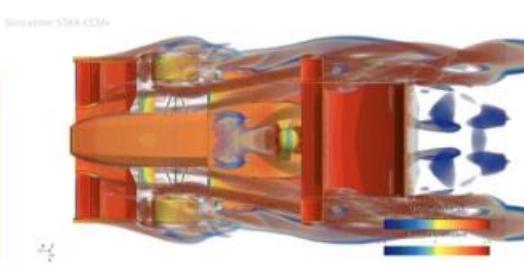


图 16 空套仿真俯视图