

基于 ANSYS 的新能源轻量化汽车车架分析与设计

陈和娟

(无锡商业职业技术学院, 江苏 无锡 214153)

摘要:以轻量化赛车为研究对象,利用三维建模软件 SolidWorks 对车架进行设计,导入有限元分析 ANSYS 软件,建立参数化模型,对车架进行弯曲刚度和扭转刚度分析。结果表明:该轻量化赛车结构合理、性能优良、安全可靠,车架弯曲刚度提升了 8%,扭转刚度提升了 11%,满足性能试验要求。

关键词:轻量化;车架;曲度;刚度;设计

中图分类号:TP391.9 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2022)04-0200-03

Analysis and Design of New Energy Lightweight Vehicle Frame Based on ANSYS

CHEN Hejuan

(Wuxi Vocational Institute of Commerce, Wuxi 214153, China)

Abstract: With the lightweight racing car as the research object, the three-dimensional modeling SolidWorks is applied to design its frame, to which the finite element analysis software ANSYS is introduced for establishing the parametric model, and on which its bending stiffness and torsion stiffness are analyzed. The results show that the new lightweight racing car is reasonably structured with excellent performance, safety and reliability, and its frame bending stiffness is increased by 8% and its torsion stiffness by 11%, which meets the performance test requirements.

Keywords: lightweight; frame; curvature; stiffness; design

0 引言

随着新能源汽车快速崛起,汽车产业核心竞争力在变革,低碳、电动、智能化成为未来新能源汽车的发展方向。新能源汽车动力来源有两种:一种是油电混合动力,另一种是纯电动类型。油电混合动力类型是以燃油发动机作为主要动力,电动机作为辅助动力;纯电动类型是以特斯拉为代表的纯电动车型。

世界铝业协会研究表明,车身质量对能量消耗具有很大影响,车质量每减少 10%,能耗随之减少 6%~8%^[1]。相比油电混合动力车型,纯电动汽车彻底摆脱了燃油发动机。因此,在保证强度和安全性性能的前提下,电动汽车需尽可能地降低整车质量。车架是汽车的核心零部件之一,承载了大部分零部件和货物的质量,强度和刚度必须满足一定的要求。车架轻量化技术应用是提升新能源汽车性能的创新应用,在汽车工业中具有广阔的前景。

1 技术要求

车架轻量化材料主要分为两类,一类是高强钢材料,包括普通高强钢、先进高强钢以及超高强钢;另一类是低密度材料,包括铝合金、镁合金、塑料、复合材料等。在结构方面,车架设计需兼顾赛车手驾驶时操作空间舒适性、车辆发生碰撞时保护赛车手安全性以及制造过程装配工序和使用

过程维修处理的方便性等环节。根据“2020 全国新能源汽车关键技术技能大赛”的赛制要求,车架采用下铝、上钢、复合材料覆盖的总体结构设计,底板框架采用强度不低于 6063 无缝铝合金管件的轻量化材料焊接而成,底板框架贯穿车辆前后并清晰可见,防滚架和车架均要求采用钢管桁架式结构,车架的水平轮廓尺寸不得小于底板框架的大小;驾驶舱与驱动系统、控制系统、动力电池之间须有一个防火墙。驾驶舱整个底部装配车身底板,保证赛车手在任何情况下都不接触地面,并防止杂物进入驾驶舱^[2]。

2 方案步骤

车架要轻量化,还要有一定的强度和刚度。车架设计时,首先确定车架整体轮廓和尺寸,再根据人机工程性能,确定驾驶舱座椅、方向盘、加速踏板、制动踏板的位置,然后进行有限元分析,确定最佳设计方案^[3]。

3 分析与设计

3.1 车架轮廓与尺寸

车架由竖杆和横杆组成,其形式主要有边梁式和中梁式两种。边梁式车架由两根位于两边的竖杆和若干根横杆组成,将竖杆与横杆焊接连接成坚固的刚性构架;底板框架的最大长度(外缘)≥ 2 160 mm,最大宽度(外

缘) ≥ 550 mm, 轮距 ≥ 1600 mm。从俯视图上看, 鼻翼不得超出前轮轮胎前端 600 mm, 要求和前轮轮胎外缘等齐; 尾翼不得超出后轮胎后端 500 mm, 要求和后轮轮胎外缘等齐; 鼻翼的横向部分距离地面的高度不得超过 250 mm。所有空气动力学装置的连接方式, 都必须能保持足够的强度, 以保证赛车在行驶时不会出现过度的震动或掉落。车架设计外形轮廓和尺寸如图 1、表 1 所示。

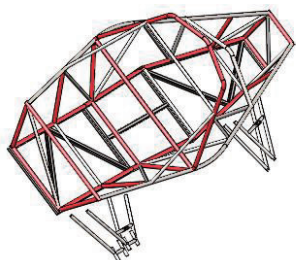


图 1 车架轮廓

表 1 车架设计轮廓尺寸 单位: mm

车长	车底板宽	轮距
2 160	550	1 630

3.2 内部构件位置

驾驶的舒适性、视野对赛车手技能的发挥起着至关重要的作用。为了使驾驶舱适合赛车手舒适, 利于赛车手随时灵活应对赛场状态, 设计要求主驾位置左右护栏中心线的最大宽度 ≥ 1000 mm, 赛车手位置左右护栏的最高点距离座椅上平面最低点的垂直距离 ≥ 300 mm。座椅要符合人体工程学, 对受力集中的部位进行局部加强, 赛车手头盔与防滚架、车架构成的外侧平面之间的距离 ≥ 200 mm, 与防滚架最高外缘水平面的距离 ≥ 180 mm, 距离防滚架最高构件与前部横梁的连线之间的垂直距离(相当于车辆四轮水平朝天) ≥ 100 mm; 赛车手肩部、躯干、臀部、大腿、膝盖、手臂、手肘、手与防滚架构成的内侧平面之间的距离 ≥ 100 mm; 方向盘最高边缘距离防滚架最高构件与前部横梁的连线之间的垂直距离(相当于车辆四轮水平朝天) ≥ 50 mm。驾驶舱主要尺寸如表 2 所示。

表 2 驾驶舱主要尺寸

名称	主要尺寸/单位	数值
防火墙	防火墙距离尾部/mm	800
主梁	车架宽度/mm	1 060
	车架离底板高度/mm	370
座椅	安装点比例	6 : 4
	座椅后背倾斜角/(°)	28
防滚架	距离地板高度/mm	950
踏板	距离座椅前沿/mm	615
方向盘	距离防火墙位置/mm	590

3.3 有限元分析

在满足上述设计要求的基础上, 校验车架的强度和刚度。利用 SolidWorks 建立赛车车架三维实体几何模型, 将

模型离散化, 并将结构体所受实际载荷分别作用到各单元体上, 最后求出各单元体节点力和位移^[4]。有限元分析可进一步指导设计师对结构耐久性、操纵稳定性、可靠性、安全性等性能进行优化, 进一步解决结构轻量化的问题。

1) 网格划分

车架底盘选用 $\Phi 25$ mm \times 25 mm \times 1 mm 6063 铝方管; 主梁、辅梁分别选用 $\Phi 25$ mm \times 1.6 mm、20 mm \times 1.2 mm 4130 航空管。4130 航空管弹性模量为 211 GPa, 泊松比为 0.279, 质量密度为 7 850 kg/m³^[5], 完成赛车架几何建模及清理的模型如图 2 所示。将三维建模导入 ANSYS 有限元软件, 划分网格。网格类型为三角形网格和四边形网格混用。网格划分如图 3 所示。

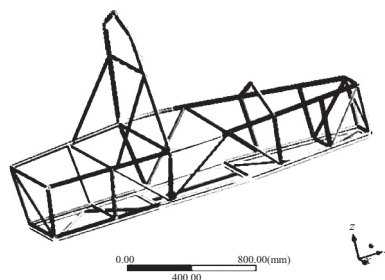


图 2 几何模型

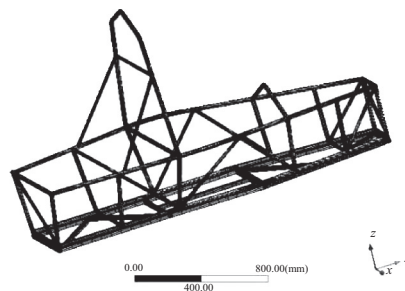


图 3 网格划分

2) 刚度分析与测试

车架的刚度包含弯曲刚度和扭转刚度。弯曲刚度体现了车架在受到垂向载荷作用时抵抗弯曲变形的能力, 扭转刚度体现了车架在崎岖不平路况下行驶时车身结构抵抗扭转变形的能力^[6]。根据赛制要求, 进行弯曲刚度、扭转刚度分析计算, 并完成了抗扭性能测试。

弯曲刚度分析时, 假设车架纵向张力相同, 将车架简化成一根弯曲刚度均匀的简支梁, 在简支梁上任一点施加一垂向载荷, 如图 4 所示, 弯曲刚度载荷如图 5 所示, 弯曲工况变形如图 6 所示, 计算车架的弯曲刚度^[7]如式(1)和式(2)所示。

$$\text{当 } y \leq a \text{ 时, } E_1 = \frac{Fby(L^2 - b^2 - y^2)}{6LZ} \quad (1)$$

$$\text{当 } a \leq y \leq L \text{ 时, } E_1 = \frac{Fb \left[\frac{L}{B} (y-a)^3 + (L^2 - x^2) y - y^3 \right]}{6LZ} \quad (2)$$

式中: E_1 为弯曲刚度, $N \cdot m^2$; F 为施加的集中载荷, N ; L

为两个支撑点间的纵向距离, m ; a 为前支撑点到加载点的距离, m ; b 为后支撑点到加载点的距离, m ; Z 为载荷施加点处垂向变形量, mm 。

施加载荷对称, 经计算得 $E_1 = 51\ 100\ N \cdot m^2$, 由此可判断车架弯曲刚度合理。

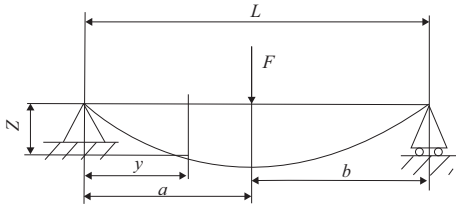


图 4 车架弯曲刚度分析示意图

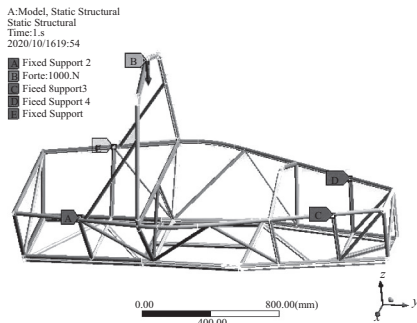


图 5 弯曲刚度载荷

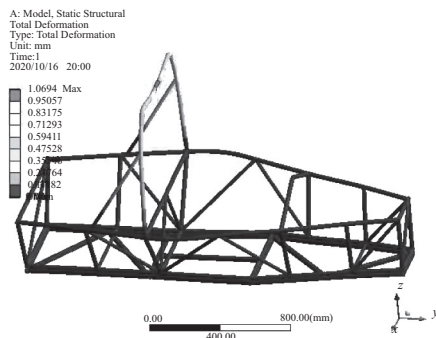


图 6 弯曲工况变形图

扭转刚度分析时, 将车架看成是扭转刚度均匀的杆件, 对其加载设定如图 7 所示, 弯曲工况变形如图 8 所示。计算公式如式(3)所示。

$$G_j = \frac{TL}{\delta} \quad (3)$$

式中: G_j 为车架扭转刚度值; T 为车架所受力矩; L 为轿车车身轴距; δ 为车架前、后轴的相对扭转角。

经计算得 $G_j = 3\ 731.05\ (N \cdot m/\text{deg})$, 车架扭转刚度充足。

进行抗扭转性能测试时, 检测车架、车身、底板的柔性变形和应力后恢复的性能。进行抗扭转性能测试时, 要求驾驶舱的右前、左后角承受合适的向下预紧力, 用液压千斤顶给车辆底板的右后角位置施加 5 min、150~200 kg 的向上压力。模拟赛项, 在车辆右后方加载 2000 N 的力, 如图 9 所示, 总变形只有 3.6 mm, 如图 10 所示。变形量小,

说明安全性高。整体设计如图 11 所示。

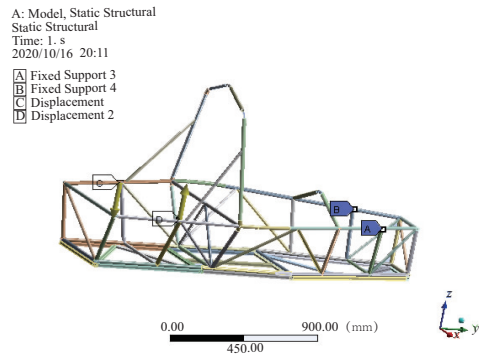


图 7 扭转刚度载荷

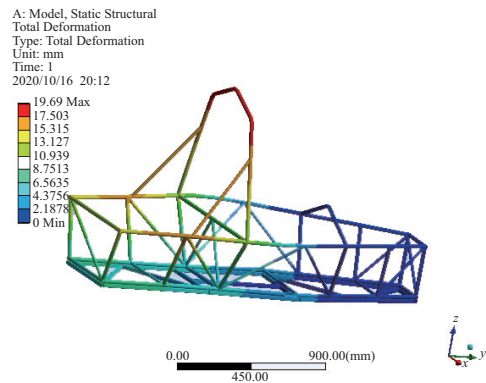


图 8 扭转工况变形图

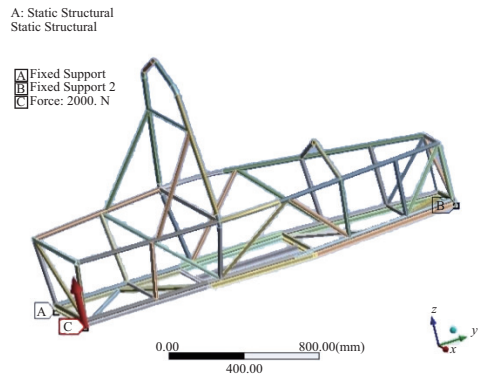


图 9 模拟赛项扭转刚度载荷

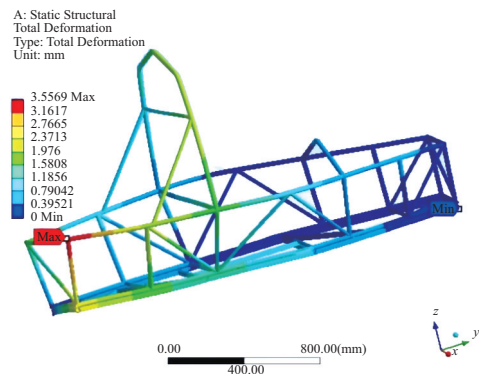


图 10 模拟赛项扭转工况变形图

(下转第 223 页)

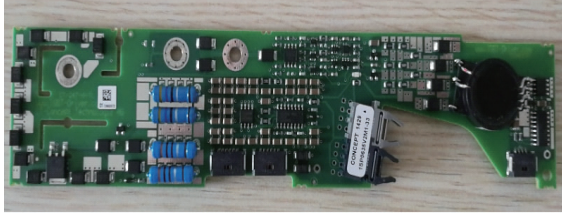


图 11 驱动板

低感母排通常用于高集成、低电感要求的回路中,主要结构包括导体、绝缘体、支撑构件、连接螺栓,其阻抗低、抗干扰能力强、装配简单,被广泛应用于电力机车、风力发电等方面。本文对低感母排的低阻抗特性研究,是功率模块设计关键。IGBT、驱动板、复合母排的实际安装结构如图 12 所示。

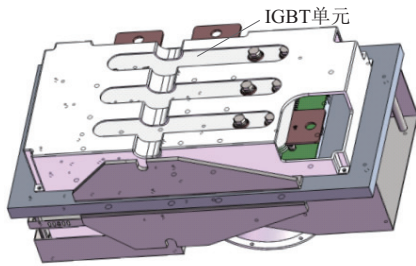


图 12 低感母排

6 结语

IGBT 是 MOSFET 和 BJT 的组合物,拥有电压高、电流大、频率高、导通电阻小等特点,分断时不会导致电压和电流的大幅度抖动及拉弧、烧毁触点的故障。IGBT 无触点接触器使用寿命超过机械式接触器寿命,并且可以降低维护频率,从而有效减小了维修人员劳动强度。

参考文献:

- [1] 吕玮,方太勋,杨浩,等. 基于电弧电压的混合型直流断路器[J]. 电力系统自动化,2015,39(11):83-87,102.
- [2] 赵升,舒亮,吴自然,等. 电磁-永磁复合型接触器数值仿真与控制方法[J]. 电工技术学报,2020,35(5):1083-1092.
- [3] 方朝林,许志红. 基于混合换流技术的交直流接触器无弧控制策略[J]. 中国电机工程学报,2019,39(8):2468-2476,29.
- [4] 张志亮,刘钦甫,姚翔,等. 纳米高岭土在矿用卡车轮胎中的应用及增强机理[J]. 化工新型材料,2020,48(3):245-249.
- [5] 秦斌,黄浩,王欣. 一种接触器和 IGBT 配合使用的风力发电用电压跌落发生器[J]. 大功率变流技术,2017(6):52-55,72.
- [6] 唐勇,汪波,陈明. IGBT 开关瞬态的温度特性与电热仿真模型[J]. 电工技术学报,2012,27(12):146-153.
- [7] 张崇兴,任明,董明,等. 基于 IGBT 触发控制的感应式操作冲击电压产生技术[J]. 电网技术,2015,39(9):2606-2613.

收稿日期:2021-09-23

(上接第 202 页)

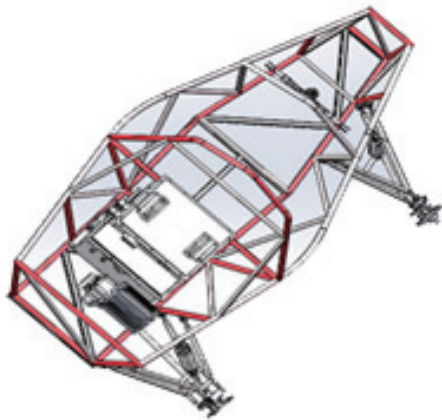


图 11 优化后车架的整体设计

4 结语

通过对车架的设计,建立参数化模型,对车架的弯曲刚度、扭转刚度和模拟赛项扭转刚度进行有限元分析,减小钢管壁厚,增加三角稳定结构。优化后的车架弯曲刚度为 $51\ 100\ \text{N} \cdot \text{m}^2$,扭转刚度为 $3\ 731.05\ \text{N} \cdot \text{m}/\text{deg}$,相比前期

设计开发,分别提升了 8% 和 11%,车辆的安全性得到了提高。根据分析筛选的设计变量进行优化,获得车架最小质量为 35 kg,按照模拟赛制参加比赛,测试车架总变形只有 3.6 mm,达到了赛规设计的要求,满足了对赛车进行轻量化改进的目的。

参考文献:

- [1] 辛天佐. 轻量化 LNG 罐车的强度分析与疲劳研究[D]. 南京:南京理工大学,2012.
- [2] 毛明. 新能源汽车轻量化底盘悬架系统智能制造技术[J]. 机械制造与自动化,2021,50(1):224-226.
- [3] 张淇. 巴哈越野赛车骨架的有限元分析及轻量化设计[D]. 青岛:青岛大学,2020.
- [4] 智淑亚,许牧天,李继秋. 基于 ANSYS 的车架有限元分析[J]. 金陵科技学院学报,2019,35(2):1-5.
- [5] 赵东伟,尹怀仙,赵清海. 纯电动汽车车架有限元分析及轻量化设计[J]. 农业装备与车辆工程,2019,57(12):35-40.
- [6] 王登峰. 车身参数化与轻量化设计[M]. 北京:机械工业出版社,2019.
- [7] 斜李昕. 碳纤维复合材料赛车车身覆盖件设计及原型制作[D]. 杭州:浙江工业大学,2016.

收稿日期:2021-03-16