

【工程与技术研究】

大学生方程式赛车车架的有限元分析及优化

裴宝浩¹, 于 蓬², 张 帆³, 张元元⁴, 杨 君⁵

- (1. 烟台职业学院 汽车与船舶工程系, 山东 烟台 264670;
2. 济南赢氢动力科技有限公司, 山东 济南 271100;
3. 山东理工大学 交通与车辆工程学院, 山东 淄博 255000;
4. 淄博职业学院 汽车工程学院, 山东 淄博 255314;
5. 山东交通学院 汽车工程学院, 山东 济南 250357)

摘 要:在等效载荷分析的基础上,对某款大学生方程式赛车车架在制动、启动和扭转三种工况下,进行了有限元仿真分析。根据对仿真结果的分析,对车架进行了优化,优化后的车架满足赛车各种工况的安全性要求。

关键词:方程式赛车;车架;有限元;分析优化

中图分类号: U 469.6 **文献标识码:** A **DOI:**10.13486/j.cnki.1673-2618.2022.06.013

车架是大学生方程式赛车的重要组成部分^[1],赛车在参赛过程中最常见的行驶工况包括制动工况、启动工况、转弯工况和扭转工况。不仅车架自身、发动机、驾驶员、变速器的重力作用在车架上,地面的作用力也通过悬架结构作用到车架上。车架直接影响着赛车的性能,其强度和刚度是贯穿整个车架设计和制造的重点。

大学生方程式汽车大赛已经有 40 多年的发展史,国外对赛车的研究起步较早。1978 年,Smith 详细介绍了大学生方程式赛车的设计流程及注意事项^[2]。Riley 和 George 对赛车碳纤维车身进行了描述,并讲解了车身刚度分析与实验,分析了路面激励对车架的影响^[3]。国内大学生方程式汽车大赛起步较晚,对车架的研究较少。姜丽曼利用 DASP 振动模态测试分析系统和 e-DAQ 应力测试数据采集系统对大学生方程式赛车车架结构动态特性进行了分析与优化设计^[4];孙博文对赛车车架进行了有限元分析及优化,对车架进行了减重,实现了轻量化的目标^[5]。此前的报道大多是对车架的静态与动态工况进行研究,对制动、启动及扭转工况的分析鲜有报道,本研究重点对此三种工况进行分析,并进行车架的优化。

有限元法的基本思想是离散化^[6],把一个原本连续性的物体划分为有限个单元体,这些单元通过有限个节点相互连接,承受与实际载荷等效的节点载荷,并根据力的平衡条件进行分析,然后根据变形协调条件把这些单元重新组合成能够进行综合求解的整体。基于上述思想,本文利用载荷等效方式对方程式赛车进行有限元分析,进行制动、启动、扭转工况下车架的变形和应力状态分析,在此基础上进行轻量化改进。

收稿日期:2022-01-24

基金项目:国家自然科学基金项目(61803231);淄博市重点研发计划项目(2019ZC010098);烟台职业学院本科科研项目(2020XBYB014)

第一作者简介:裴宝浩(1987—),男,山东滕州人,副教授,硕士,主要从事车辆工程、燃料电池和汽车维修研究。
E-mail: peibaohao@126.com

1 车架有限元模型的建立

1.1 几何模型的建立

设定大学生方程式赛车车架各杆件的坐标点,在 Workbench 软件中的 DM 模块导入这些坐标点,根据赛车杆件关系,将这些点连成线,给这些线添加一个截面,生成一个线体结构^[7-8]。因为需要添加悬架对车架施加的载荷,所以需要在 DM 模块添加对车架的载荷点^[9],如图 1 所示,灰色点是车架与悬架的连接点,用于添加 Adams 中求解的载荷。

在 DM 模块只是构建了车架的模型,有了车架单独的性质,还需要在 Mechanical 模块中添加动力总成 70 kg,驾驶员及座椅 80 kg,踏板及其他构件 10 kg。在整车的重心位置添加一个重量点^[10-11],输入位置坐标即质心位置坐标。该重量点的作用位置添加在驾驶员的位置及动力总成的安装位置。这样建立了完整的车架模型,其中重量点位于质心处。

1.2 定义车架材料

赋予车架材料属性,车架使用的材料是 4130 钢管,主要成分是 30CrMn。性能参数:杨氏模量为 2.11×10^{11} Pa,泊松比为 0.279,密度为 7850 kg/m^3 ,屈服强度为 785 MPa。

1.3 划分网格

网格划分的目的是对流体和结构模型实现离散化^[12-13],把求解域分解成可得到精确解的合适数量单元。选择自动生成两种划分网格的方法,最大限度减少产生畸形单元格的可能。将车架分成了 940 个梁单元,共有 1832 个节点。划分网格后的车架如图 2 所示。

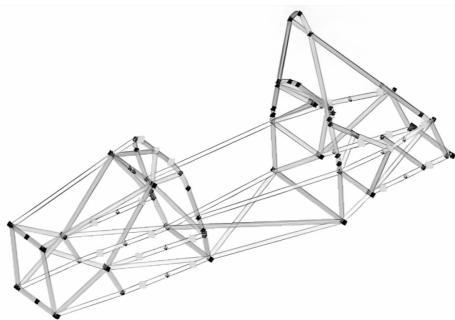


图 1 建模过程图

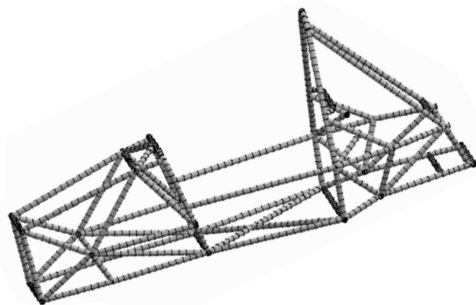


图 2 网格划分结果

2 各工况下的有限元分析

2.1 制动工况的有限元分析

赛车在高速运动中,无法避免紧急制动,产生的减速度大小关系着人、车的安全。制动减速度与赛车的结构、制动系统的设计等因素有关。大学生方程式赛车的结构一共有 22 个受力点,将制动时车架载荷添加到 22 个受力点上,让添加的这些载荷和车架所受重力和制动惯性力平衡。对车架的其中一个点进行固定约束即约束它的六个自由度,对这个点的支反力求解得到总的支反力^[14]。由于固定约束产生的应力集中较大,故通过约束前轴两个点的 X,Y,Z 方向的位移和约束后轴两个点的 X,Y,Z 方向的转动,来平衡误差引起的不平衡力。对车架求解得到车架在制动工况下的应力和变形分布云图(图 3)。

图 3(a)为车架有限元分析求解出的组合应力,包含车架杆件受到的正应力和切应力。由图可知应力集中出现在前悬架前上横臂连接点和后悬架后下横臂和后上横臂附近,最大应力大约为 40 MPa,小于车架杆件安全应力,所以制动工况下车身的强度满足要求。车架前端防撞杆件和驾驶员乘坐位置上部保护钢管的应力为 0,所以可以对这两处应力较小的杆件进行优化,实现车架的轻量化。

图 3(b)为车架有限元分析求解出的总变形量,包含车架杆件的压拉、弯曲和扭转。最大变形量出现

在车架后端,最大变形不超过 2 mm,所以杆件的刚度在制动工况下是满足要求的。最小变形量出现在车架前悬架下横臂连接点附近。由以上分析得出,在制动工况下,驾驶员乘坐位置的上围杆和车架前端的杆件对刚度强度的要求都不是很高。

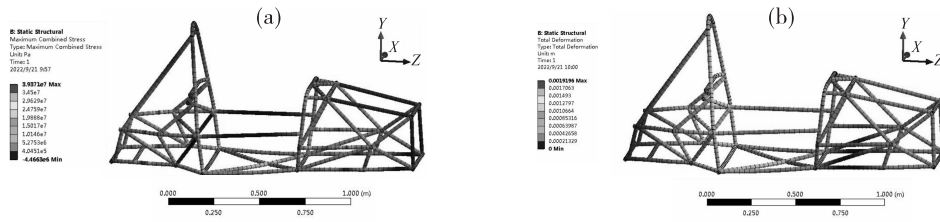


图 3 制动工况应力云图及变形云图

2.2 启动工况的有限元分析

启动工况的有限元分析与制动工况相似,在最大启动加速度时,大学生方程式赛车受到 0.4g(基于赛车上的传感器数据)的启动惯性力。对车架求解得到车架在启动工况下的应力和变形分布云图(图 4)。

图 4(a)显示应力集中出现在后悬架后下横臂和后上横臂附近,最大应力约为 75 Mpa 小于车架杆件安全应力,所以启动工况下车身的强度满足要求。最小应力为 0,主要出现在车架前端防撞杆件上和驾驶员乘坐位置上部的保护钢管上。所以可以对这两处应力较小的杆件进行优化,实现车架的轻量化。图 4(b)显示最大变形量出现在车架后端,最大变形约为 3 mm,所以杆件的刚度在启动工况下是满足要求的。最小变形量出现在车架前悬架下横臂连接点附近。综上所述,在启动工况下,驾驶员乘坐位置的上围杆和车架前端的杆件对刚度强度的要求都不很高。

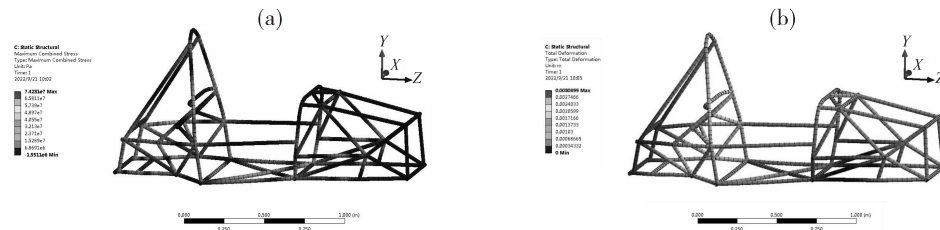


图 4 启动工况应力云图及变形云图

2.3 扭转工况的有限元分析

当大学生方程式赛车行驶在凹凸不平的路面上时,车架就会发生扭曲转动,左右车轮在接触点产生差值,车架上就会产生扭转工况^[15-16]。当大学生方程式赛车行驶过程中遇到凹面时,车轮就会发生悬空,整车出现扭转,以前悬架单侧车轮悬空为极限。扭转时车架载荷添加到 22 个受力点上,让添加的这些载荷和车架所受重力及制动惯性力平衡,然后对车架中的其中一个点进行固定约束即约束它的六个自由度,对这个点的支反力求解得到总的支反力。添加与制动工况下相同的约束,对车架求解得到车架在扭转工况下的应力和变形分布云图(图 5)。

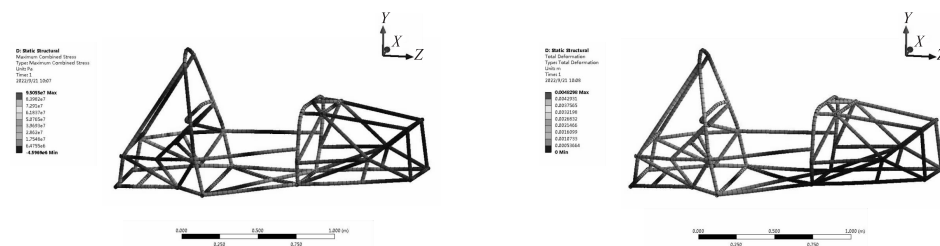


图 5 扭转工况应力云图及变形云图

扭转工况下,车架所受应力和变形都比制动、启动工况下大。由图 5 可以看出,左前车轮悬空状态下,

最大应力点出现在车架后悬架左上横臂的中间位置,最大应力小于 100 Mpa,也小于车架的安全应力。车架最大变形出现在主环附近,最大变形为 4.8 mm 也在许可范围以内。

3 车架优化

经过有限元分析得到车架的强度在三种工况下是完全满足要求的,在扭转工况下车架主环附近的变形量接近许用的最大变形。可以适当提高主环附近钢管的刚度,防止出现危险情况。将产生变形小和应力较小的结构钢管,比如车架前端和驾驶员乘坐舱上端的护杆,进行细化以减小车架的质量。对车架前端防撞杆件和驾驶员乘坐位置上部的保护钢管进行优化,由于上述部位的组合应力较小,故对其进行轻量化设计,具体的改进参数如表 1 所示。

再次对优化后的车架进行制动、启动和扭转三种工况下的有限元分析,结果显示优化后车架仍然能够满足以上三种工况的应力要求,达到了对车架优化、减重的目的。

表 1 优化前后参数

部位	优化前壁厚/mm	优化前质量/kg	优化后壁厚/mm	优化后质量/kg
防撞杆件	2.0	1.24	1.7	1.06
保护钢管	2.0	1.43	1.8	1.27

4 结论

利用求解的等效载荷,通过有限元分析软件,对某款大学生方程式赛车车架在制动、启动和扭转三种工况下进行有限元分析,并得出三种工况下的应力云图和变形云图。通过分析结果的解析,对车架提出了优化方法,在满足车辆运行稳定安全的基础上可以实现轻量化。

参 考 文 献:

- [1] 裴宝浩,邢勤,于蓬,等. 大学生方程式赛车悬架结构及受力分析[J]. 农业装备与车辆工程,2021,59(10):63-67.
- [2] SMITH C. Tune to win[M]. California:Aero Publishers,1978.
- [3] RILEY W B,GEORGE A R. Design,analysis and testing of formula SAE car chassis[C]//Motor-sports Engineering Conference & Exhibition Indianapolis. Indiana:SAE International,2002.
- [4] 姜丽曼. FSAE 赛车车架结构动态特性分析与优化设计[D]. 北京:北京信息科技大学,2012.
- [5] 孙博文. FSC 赛车车架的有限元分析与优化[D]. 锦州:辽宁工业大学,2015.
- [6] 王贤民. 基于 Hyperworks 的 FSEC 赛车车架轻量化研究[D]. 成都:西华大学,2018.
- [7] 黄丽芳,尹晓春,姜亮,等. 基于有限元法的车架仿真分析与试验研究[J]. 机械制造与自动化,2021,50(5):95-98.
- [8] 赵强. 大学生方程式赛车悬架动力特性研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2014.
- [9] 倪晓菊. 大学生方程式赛车车架研究[D]. 南京:南京理工大学,2016.
- [10] 刚宪约,张帆. 基于载荷等效法的空气悬架客车有限元建模方法[J]. 山东理工大学学报(自然科学版),2011,25(5):1-4.
- [11] 刚宪约,张帆,柴山,等. 空气弹簧悬架客车的转弯、扭转工况有限元建模方法研究[J]. 汽车工程,2013,35(12):1099-1104.
- [12] 马粉粉,崔亚辉,王宏江. 基于 ANSYS 的 FSAE 车架轻量化研究[J]. 汽车实用技术,2016(2):130-132.

- [13] 刘钰龙,杜磊,管乐璇.基于有限元的 FSCC 车架碰撞分析[C]//2021 中国汽车工程学会年会论文集(8).北京:机械工业出版社,2021:168-173.
- [14] 程金润,韦斌,徐飞.巴哈越野车车架结构优化设计及仿真分析[J].上海电机学院学报,2021,24(3):149-154.
- [15] 张帆,刚宪约,柴山,等.基于载荷等效和子结构法的客车复合工况拓扑优化方法[J].机械设计,2013,30(3):62-67.
- [16] 刘拥拥,李媛,冯理,等.FSEC 赛车车架有限元分析与优化设计[J].北京汽车,2021(2):24-28.

Finite Element Analysis and Optimization of Formula Car Frame for College Students

PEI Bao-hao¹, YU Peng², ZHANG Fan³, ZHANG Yuan-yuan⁴, YANG Jun⁵

(1. Department of Automotive and Marine Engineering,
Yantai Vocational College, Yantai 264670, China;

2. Jinan Ying Hydrogen Power Technology Co., Ltd., Jinan 271100, China;

3. School of Transportation and Vehicle Engineering,
Shandong University of Technology, Zibo 255000, China;

4. School of Automotive Engineering, Zibo Vocational Institute, Zibo 255314, China;

5. School of Automotive Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China)

Abstract: On the basis of the equivalent load analysis, the finite element simulation analysis of a college student equation racing car frame is carried out under three working conditions of braking, starting and torsion. According to the analysis of the simulation results, the frame is optimized, and the optimized frame meets the safety requirements of the racing car under various working conditions.

Keywords: formula car; the frame; finite element; analysis and optimization

(责任编辑:王新亮)