

巴哈赛车的车架结构设计与分析

唐文昌

(广西电力职业技术学院 广西南宁 530222)

摘要: 通过 CATIA 软件设计出适合巴哈大赛的赛车车架三维模型。在 ANSYS 软件中导入三维模型进行有限元分析,利用静力学分析的方法,分析车架不用的状态下的所受应力分布和变形程度,并在此基础上进行结构的优化,进一步进行车架的模态分析。通过优化车架的结构参数,让车架行驶起来更加自如。这在满足车架强度的条件下,优化的车架,对巴哈赛车的动力性以及赛车车架的稳定性有着重大意义。

关键词: 赛车车架;优化分析;ANSYS;CATIA

中图分类号: U463

文献标识码: B

文章编号: 1671-3567(2022)06-0053-04

Frame Structure Design and Analysis of Baja Racing

TANG Wenchang

(Guangxi Electric Power Vocational and Technical College, Nanning, Guangxi Zhuang Autonomous Region, 530222 China)

Abstract: The 3D model of the racing frame suitable for Baja competition is designed by CATIA software. The 3D model is imported into ANSYS software for finite element analysis, and the static analysis method is used to analyze the stress distribution and deformation degree of the frame when it is not in use. Modal analysis. By optimizing the structural parameters of the frame, the frame can be driven more freely. Under the condition of satisfying the strength of the frame, the optimized frame is of great significance to the dynamic performance of the Baja racing car and the stability of the racing frame.

Key Words: Racing car frame; Optimization analysis; ANSYS; CATIA

1 简介

巴哈大赛是一种汽车文化的展现,也是一种娱乐项目的体现。随着巴哈大赛进入了高校,对学生有着提升创造力、专注力以及独立思考能力等有着重大的帮助。对未来汽车行业人才的发展有着重大的意义。

巴哈大赛的赛车是一辆由高校以及相关专业团队设计的具备运动的能力、便于驾驶、能够控制且能在各种崎岖不平的地形上驾驶及在各个恶劣的环境与天气下运行驾驶的特殊汽车。

故在对巴哈赛车的车架进行设计以及分析时,需了解车架的易损点,保证车架的安全性,让车架更加合理,又保证车架有着足够的强度,在各种不同的路段行驶更加自如,以获得稳定结构赛车车架从而顺利完成比赛项目。

2 赛车车架设计要求

2.1 赛车最大尺寸

横向长度:在赛车整体静止状态下,不装载的情况下,横向长度不得超过 1.62 m。

纵向长度:在赛车整体静止状态下无限制。

2.2 全地形性能

该赛车能在各种不同的地形下合理地行驶,包含雪地、岩地、沙土、坡道、泥地等各种路段。还要克服各种天气的影响,如雨天、雪天、冰冻等。

2.3 车架设计基本要求

由于巴哈赛车行驶的工况复杂,进行车架设计时应该分别考虑到最重要的两个因素:(1)

要有合理的强度(在车辆行驶在不同的地形,车架的弯曲变形和扭转程度不能过大);(2)

要有合理的抗弯刚度和扭转(过大的变形和扭转,会影响到赛车车架的可靠性和耐用性)。

作者简介:唐文昌(1976—),男,本科,工程师,专业方向为汽车运用与维修、新能源汽车技术。

2.4 承载要求

车架必须要能承入一名 180 cm、100 kg 的车手。

3 赛车车架材料选择

3.1 不适用材料分析

普通碳素钢是普通碳素结构钢的简称，含碳量 $\leq 0.38\%$ ，含碳量 $\leq 0.25\%$ 最为常用。属于是低碳钢。缺点是重量大，杂质和非金属夹杂物比较多。不太适合用于复杂地形环境行驶的赛车车架。

铝合金通常使用锰 Mn、镁 Mg、铜 Cu、锌 Zn、硅 Si 等合金元素制作而成，缺点是抗疲劳强度低，弹性比较差。也不太适合用于复杂地形环境行驶的赛车车架。

钛合金主要是以钛 Ti 元素为基础然后加入其他元素组合而成的合金。钛 Ti 及其合金应用在汽车工业中的非常少，原因就是价格比较昂贵、成形性不好以及焊接性能差等问题。故性价比较低，不适合作为巴哈赛车的车架材料。

纤维材料，外部显示纤维状，变形程度大。主要由碳 C 元素组成。它的不足就在于材料对人力成本的需求大，碳纤维材料的加工生产效率不高；其次就是碳纤维材料加工时需要进行大量复杂的应力等计算，冲击性能差。巴哈赛车车架需在各种不同的崎岖不平的道路上行驶，为了保证赛车车架的安全性，故碳纤维赛车车架不太适合作为巴哈赛车的车架。

3.2 适用材料 4130 结构钢分析

3.2.1 4130 结构钢简介

4130 结构钢具有比较高的抗拉强度和屈强比的特性。抗拉强度和屈强比来源于合适的热处理，经过合适的热处理之后，有着良好的索氏体、贝氏体或者是极细的珠光体。具有比较合适的渗透性。

4130 结构钢有着良好的强度和韧性，淬透性高，切削性良好。焊接前温度要达到 175 °C 以上。

3.2.2 4130 结构钢化学成分

4130 结构钢含碳 C 元素 (0.28 ~ 0.33)、硅 Si 元素 (0.15 ~ 0.35)、锰 Mn 元素 (0.40 ~ 0.60)、铬 Cr 元素 (0.80 ~ 1.10)、钼 Mo 元素 (0.15 ~ 0.25)、允许元素残余含量硫 S 元素 (≤ 0.040)、磷 P 元素 (≤ 0.035)、镍 Ni 元素 (≤ 0.030)、铜 Cu 元素 (≤ 0.030)。

3.2.3 4130 结构钢力学性能

抗拉强度 σ_b (MPa): $\geq 930(95)$;

屈服强度 σ_s (MPa): $\geq 785(80)$;

伸长率 δ_5 (%): ≥ 12 ;

断面收缩率 ψ (%): ≥ 50 ;

冲击功 Akv (J): ≥ 63 ;

冲击韧性值 α_{kv} (J/cm²): $\geq 78(8)$;

硬度: $\leq 229\text{HB}$;

试样尺寸: 试样毛坯尺寸为 25 mm;

热处理操作: 淬火 880 °C，水冷或者油冷；回火 540 °C，水冷或者油冷。

因此，4130 结构钢具有比较高的强度和韧性，联合合金元素焊接效果会很好，故很适合作为复杂地形环境行驶的巴哈赛车车架。在制作巴哈赛车车架时，连接车架的方法可选择焊接。

4 建立车架 CATIA 模型

在 CATIA 中建立所需要的车架模型，如图 1 所示，车架长 2 100 mm，宽 900 mm，高 1 299 mm。车架共用 64 根管件构成。最长管件 1 400 mm，最短管件 422 mm。钢管外径均为 40mm，管厚为 10 mm，防滚架的两个支撑点长度不得超过 1 016 mm (符合条件)。

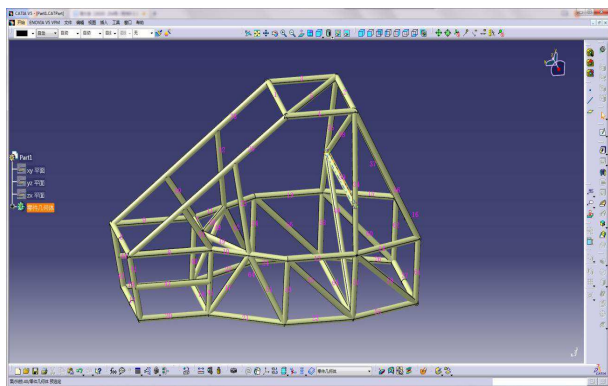


图 1 巴哈赛车车架的总体结构图

车架顶部是由 4 根 500 mm 的管件以及 1 根提高车架顶部结构稳定性的 707.107 mm 管件组合而成。

车架中部结构是由 13 根管件构成，分别为 2 根 460 mm 的管件、3 根 600 mm 的管件、2 根 546.26 mm 的杆件、2 根 500 mm 的管件、2 根 522.015 mm 的管件以及 2 根提高车架结构牢固性的 422.019 mm 的管件结合而成。

车架底部结构由 13 根管件构成，分别为 2 根 460 mm 的管件、4 根 500 mm 的管件、2 根 546.26 mm 的管件，2 根 522.015 mm 的管件、2 根 900 mm 的管件以及 1 根 600 mm 的管件结合而成。

车架的顶部结构与车架的中部结构是由 2 根 1 400.127 mm 的管件、2 根 1 001.227 mm 管件、2 根 888.795 mm 的管件和在 35 号管件的 2/3 处连接对侧

顶点形成的长度为 852.118 mm 的管件连接相应的顶点作为支撑而形成的一个上部分的框架。

车架的中部结构和车架的底部结构是由 8 根长度为 433 mm 的管件、2 根长度为 444.397 mm 的管件、2 根长度为 511.946 mm 的管件、2 根长度为 511.946 mm 的管件、2 根长度为 661.43 mm 的管件以及 2 根长度为 678.225 mm 的管件连接中部结构和底部结构对应的点作为支撑。

底部车架前方是一个 460 mm × 500 mm 的正方形，与上方的管件形成一个可以装载巴哈赛车的转向部件以及其他相关的部件。车架的中间部分用于装入驾驶座以及方向盘，运用安全带固定车手的位置以保障车手的安全，用方向盘控制赛车的行驶方向。中后部有一个支撑面，支撑面后面用于装载巴哈赛车的发动机变速器。

当管件的截面受到拉压力时，受到的力为 F_N ，则所对应的正应力为 σ 。把 A 作为横截面的面积，则微元面积 dA 上面的内力元素 σ 与 dA 的乘积就是轴力 F_N 。于是得静力关系：

$$F_N = \int_A \sigma dA$$

则：

$$F_N = \sigma A; \quad \sigma = \frac{F_N}{A}$$

管件中能守到最大的轴向力

$$F_{N_{\max}} = \sigma_b A = 930 \text{ MPa} \times (\pi 20^2 \text{ mm}^2 - 10^2 \text{ mm}^2) = 876504 \text{ N}$$

远远超出了车架的承载能力。

(车架总重量 20 kg+ 赛车发动机与变速器重量 50 kg+ 人体重量 100 kg) × 重力加速度 9.8 N/kg = 1666 N

5 车架有限元静力学分析

当车架承载负载后导致车架轻微变形，在运动的时候也可能发生形变，故需用 ANSYS 进行车架承载有限元静力分析。对不同的力在车架各个方向施加不同大小的力来对车架进行合理的分析。来模拟仿真在实际上车架的受力和形变。

5.1 车架的变形弯曲分析

当赛车承载了车手、发动机、变速器以及其他的部件之后，车架会发生轻微的变形。在行驶过程中也会受到不同的力，发生形变，因冲击也可能发生形变。故在合适的位置施加应有的载荷，来模仿赛车在实际行驶中，以便观察巴哈赛车车架的受力情况以及变形情况。

载荷：(1) 在车架 Z 轴方向加载重力加速度 9.8 N/kg。(2) 发动机与变速器以支撑杆大约质量为 50 kg，由于发动机位于赛车车架后部，总重量等于 $m \times g = 50 \text{ kg} \times 9.8 \text{ N/kg} = 490 \text{ N}$ 平分到后部车架的 4 根管件上，每根管件在 Z 轴的负方向上添加 122.5 N。(3) 车手与车座以质量为 70 kg 作为计算，得到重力 $m \times g = 70 \text{ kg} \times 9.8 \text{ N/kg} = 686 \text{ N}$ 。将 686 N 平均增加在中部的 6 根管件上，作为附加的载荷，每根管件将承受一个方向为 Z 轴负方向，大小为 114.3 N 的力。(4) 其余的各种部件均采用均布载荷的方法对车架进行载荷的施加。

约束：对前端车架连接的悬架接触面进行约束，前端车架左右两侧分别 Y 轴方向上的 1 根管件以及 X 轴上的 1 根管件约束，对后端车架与悬架连接的接触面进行约束，对后车架的左右两侧 Y 轴上的 1 根横向管件以及 X 轴上的 1 根管件进行约束。

通过软件分析最大应力在侧防撞构架与中后部顶角附近，值为 115.35 MPa，小于 4130 结构钢的屈服极限 783 MPa。故车架在静态下是一个安全的工况。

5.2 车架的转向制动分析

为了能清晰地看到车架在遇到障碍或者是需要转向时所发生的形变和受力情况，加入一个侧向的加速度，以及一个向后的加速度来模拟赛车的一个实际转向制动运动过程。

载荷：结合前文载荷分析，(1) 在车架中以 Z 轴方向加载重力加速度为 9.8 N/kg，在车架中以 X 轴方向加载一个为重力加速度的 1.5 倍的转向加速度 $1.5 \times 9.8 \text{ N/kg} = 14.7 \text{ N/kg}$ 。(2) 发动机与变速器在 Y 轴负方向上的力为 $m \times g = 50 \text{ kg} \times 14.7 \text{ N/kg} = 735 \text{ N}$ ，合理的分配在沿 Y 轴的车架上。(3) 车手与车座部分在 Y 轴负方向上的力为 $m \times g = 70 \text{ kg} \times 14.7 \text{ N/kg} = 1029 \text{ N}$ ，合理地分配在沿 Y 轴的车架上。(4) 其余的各种部件均采用均布载荷的方法对车架进行载荷的施加。

约束：按前文分析约束进行。

通过软件分析转向制动时，座椅位置前后处发生的形变量最大，最大的应力在方向盘安装位置附近，最大的应力值为 179.67 MPa，小于 4130 结构钢的屈服极限 783 MPa。故车架在制动转向时是一个安全的工况。

5.3 车架的紧急制动分析

制动时赛车的总重量由于惯性会给车架一个强大的力，有可能导致车架的变形。故运用 ANSYS 软件进行模型有限元分析，可以知道巴哈赛车车架在制动

受力情况是否安全。

载荷：结合前文载荷分析，（1）在车架中以 Z 轴方向加载重力加速度 9.8 N/kg，由于惯性 Y 轴上的加速度就为 1.5 倍。（2）发动机与变速器在 Y 轴负方向上的力为 $m \times g = 50 \text{ kg} \times 14.7 \text{ N/kg} = 735 \text{ N}$ ，合理地分配在沿 Y 轴的车架上。（3）车手与车座部分在 Y 轴负方向上的力为 $m \times g = 70 \text{ kg} \times 14.7 \text{ N/kg} = 1029 \text{ N}$ ，合理地分配在沿 Y 轴的车架上。（4）其余的各种部件均采用均布载荷的方法对车架进行载荷的施加。

通过软件分析紧急制动时，车架前端处发生的形变量最大，最大的应力在座椅与发动机连接面的顶点处附近，最大的应力值为 526.56 MPa，小于 4130 结构钢的屈服极限 783 MPa，故车架在紧急制动时是一个安全的工况。

5.4 车架的扭转变形分析

当巴哈赛车通过各种不同的崎岖道路时，由于支撑点不平衡，会导致有一个轮胎悬空的情况，从而车架发生扭曲变形。因此使用 ANSYS 有限元分析来模拟赛车的受力，以及形变情况。

载荷：结合前文载荷分析，（1）在车架中以 Z 轴方向加载重力加速度 9.8 N/kg。（2）发动机与变速器总重量等于 $m \times g = 50 \text{ kg} \times 9.8 \text{ N/kg} = 490 \text{ N}$ 平分到后部车架的 4 根管件上，每根管件在 Z 轴的负方向上添加 122.5 N。（3）车手与车座以质量为 70 kg 作为计算，得到重力 $m \times g = 70 \text{ kg} \times 9.8 \text{ N/kg} = 686 \text{ N}$ 。将 686 N 平均增加在中部的 6 根管件上，作为附加的载荷，每根管件将承受一个方向为 Z 轴负方向，大小为 114.3 N 的力。（4）其余的各种部件均采用均布载荷的方法对车架进行载荷的施加。

约束：对前端车架连接的悬架接触面进行约束，前端车架左右两侧分别 Y 轴方向上的 1 根管件以及 X 轴上的 1 根管件约束，对后端车架与悬架连接的接触面进行约束，对后车架的左侧 X 轴上的 1 根横向管件进行约束，右侧不需要约束这样就形成了右后车轮悬空的效果。最后在车架底部的两根横向管件进行约束，作为车架的支撑面。

通过软件分析，当赛车右后轮悬空时，车架前顶部处发生的形变量最大，最大的应力在座椅支撑面左侧顶角附近，最大的应力值为 309.39 MPa，远小于 4130 结构钢的屈服极限 783 MPa，故车架在扭转变形时是一个安全的工况。

6 改进车架模型

为了提高赛车的动力性，在对车架影响不大的情

况下，对车架上部分的车架管件进行轻量化设计。将应力要求不大的管件由原来的半径为 20 mm 转换为 15 mm，壁厚不变，均为 10 mm，原管件横切面积为 942.48 mm²，优化后横切面积为 395.7 mm²，横切面积减小了 549.78 mm²，让车架质量有所下降。对优化后的车架导入到 ANSYS Workbench 进行有限元的分析。

通过软件分析，得到在不同工况下的车架强度数据：当静态下的车架所受应力大小时，最大应力为 128.04 MPa，小于 4130 结构钢的屈服极限 783 MPa。当车架处于制动转向的情况时，最大应力为 302.02 MPa，小于 4130 结构钢的屈服极限 783 MPa。当车架处于扭曲变形的情况时，最大应力为 390.34 MPa，小于 4130 结构钢的屈服极限 783 MPa。当车架处于紧急制动的情况时，最大应力为 607.81 MPa，小于 4130 结构钢的屈服极限 783 MPa，所有工况都属安全工况。

7 分析总结

在 CATIA 建立巴哈赛车车架的模型，且对巴哈赛车车架的性能仿真分析以便对巴哈赛车的车架设计的优化。通过对巴哈赛车车架结构的有限元分析，得到了不同工况下车架结构的应力分析，得到了仿真的数据，从而发现巴哈赛车车架的设计缺陷，优化巴哈赛车的车架设计，轻量化巴哈赛车的车架，提高赛车的动力性。让巴哈赛车在不同工况下运行更加自如。

参考文献

- [1] 刘鸿文. 材料力学 I [M]. 6 版. 北京: 高等教育出版社, 2017.
- [2] 李跃辉. FSC 赛车车架设计及轻量化研究 [D]. 太原: 中北大学, 2014.
- [3] 谭继锦, 张代胜. 汽车结构有限元分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [4] 张宏庆, 孟岩, 陈刚, 等. 中国汽车工程学会巴哈大赛规则 [R/OL]. <https://max.book118.com/html/2020/0127/6114201054002140.shtml>.
- [5] 贺绍华. 赛车轻量化系统方法与车架设计 [D]. 广州: 广东工业大学, 2013.
- [6] 陶超, 马其华, 黄天柱, 等. 基于轻量化的全地形巴哈赛车车架设计与优化 [J]. 制造业自动化, 2017, 39 (11): 109-112.
- [7] 闫庆伟. 引入成形因素的车身结构分析 [D]. 大连: 大连理工大学, 2008.
- [8] 倪彰, 何宇. 巴哈赛车车架额仿真分析与优化设计 [J]. 科技创新应用, 2017 (28): 9-13.