

车辆工程专业学生创新实践能力培养 ——基于大学生方程式汽车大赛

李 强¹, 黄富平², 吴 坚¹

(1. 浙江科技学院 机械与汽车工程学院, 杭州 310023; 2. 宁波孔辉汽车科技有限公司, 浙江 宁波 315100)

摘 要: 中国大学生方程式汽车大赛是培养学生创新应用能力、设计制造能力和动手实践能力的平台。以此大赛为契机,紧扣车辆工程专业课程教学内容,阐述了赛车的总布置、动力系统和底盘系统等,在设计、制作和装配过程中的注意事项和要领,运用启发式和讨论式等教学手段,积极鼓励学生多方案多思路解决问题和克服困难,培养学习能力和独立思考能力,同时也丰富课程教学内容。参与该大赛一年多来的实践证明,构建注重学生创新实践素质模式的平台,对培养具有工程实践能力的人才效果显著,可以满足汽车及零部件产业对该类精于专业理论、长于实践应用人才的需求。

关键词: 大学生方程式汽车大赛; 车辆工程; 教学方法; 教学改革

中图分类号: G642.4; U469.696.02

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2015)03-0236-05

Improvement in innovation and practice ability for automotive engineering specialty —Based on Formula Student China

LI Qiang¹, HUANG Fuping², WU Jian¹

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China; 2. KH Automotive Technologies(Ningbo) Co., Ltd., Ningbo 315100, China)

Abstract: Regarded as an important opportunity of platform on the cultivation of students' design, manufacture and practical ability, Formula Student China(FSC) has attracted more and more attention, by following closely with the teaching contents of specialized course on vehicle engineering. The general arrangement of formula racing car for power system and chassis system need to pay attention to key points during the process of design, manufacture and assembly are presented. The various teaching methods of heuristic and discussion are presented to encourage students to actively solve those problems using different schemes with multi thoughts, which also cultivate students' learning ability and independent thinking ability and

收稿日期: 2014-12-09

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LY13E050023);浙江省公益性技术应用研究计划项目(2015C32075)

作者简介: 李 强(1979—),男,江苏省溧阳人,副教授,博士,主要从事汽车机电一体化仿真控制研究。

rich teaching content of these specialized courses, such as automobile design, automobile theory and automobile structure. The practice of participating this competition in one more year shows that the construction innovative platform of college students' practice quality can effectively improve ability of engineering practice and application, satisfy the professional theory and practical application of talents demand for automobile and parts industries.

Key words: Formula Student China; vehicle engineering; teaching method; teaching reform

浙江科技学院是浙江省首批设立“车辆工程”本科专业的高等院校,该专业自2004年设立以来,秉承“扬长避短、错位发展”的办学理念,经过多年的建设与发展,逐步形成了较为鲜明的专业人才培养特色,在行业内具备了一定的知名度和影响力。在学校职能部门和学院的大力支持下,首次组织学生成功参加2014年中国大学生汽车方程式大赛,并获得团体总分第18名的成绩。

在研制方程式赛车(Formulas Student China, FSC)这一科技创新平台上,不仅锻炼了学生的设计制造能力和实践动手能力,也丰富了车辆工程专业的教学内容,尤其是汽车构造和汽车设计等课程。本研究结合车辆工程专业课程内容,阐述了方程式赛车的总布置、动力、底盘等核心部分,重点涉及设计、制造、装配和试车等关键环节,采用启发式和讨论式相结合的教学模式,让学生提供多种设计解决方案,及时分析归纳总结,调动学生的主动参与意识,激发学生的科技创新热情,力争寻求最优解决途径,从而培养学生的学习能力和独立思考能力。

1 赛车车架设计

车架是赛车主体的重要部件,包括外形设计、有限元分析、制作加工等步骤。在满足设计和大赛规则^[1]要求的同时,尤其需要注意4130合金钢圆管在焊接后会产生较大的热变形,如何控制热变形是首要考虑的问题。在汽车制造工艺学中可以通过采用合适夹具和焊接工艺,控制车架焊接后的热变形所引起的尺寸误差,这就要求学生在赛车设计过程中考虑设计、加工和装配之间的协调关系,设计的赛车车架如图1所示。

在关于汽车空间车架授课过程中,结合赛车实际工况^[2],对如扭转、制动、碰撞和弯曲等工况的受力情况进行分析,扭转总变形云图见图2。将原设计结构由2根圆管焊接改为整根圆管弯曲,以满足原有强度和刚度要求,能有效减少车架管件数量,提高加工效率。

发动机和赛车手是占整车质量最大的两部分,同时发动机安装处的管件和悬架安装处的管件在竖直方向上存在着高度差。发动机和座椅装配好后离地高度降低,可以显著降低整车重心,提高赛车高速的行驶稳定性。结合车身设计课程的动力总成布置要求:通常为设计、维修和保养等便于接近性,赛车的桁架结构设计为自上而下安装发动机,同时在发动机安装位置,尽可能挖掘潜力,以相互协调整车总布置和车身总布置矛盾,比如通过调整发动机的倾斜角度来降低发动机整体高度,从而优化进气管布置。

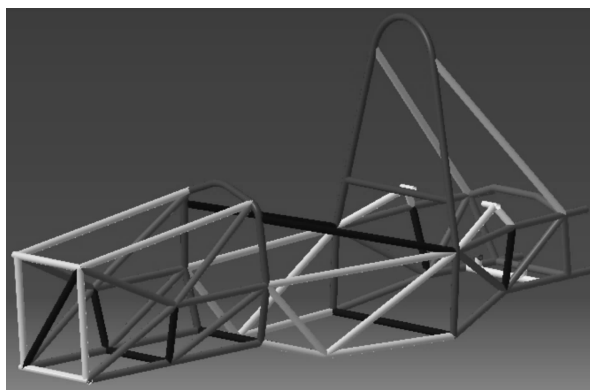


图1 赛车车架整体结构

Fig. 1 Whole structure of racing car framework

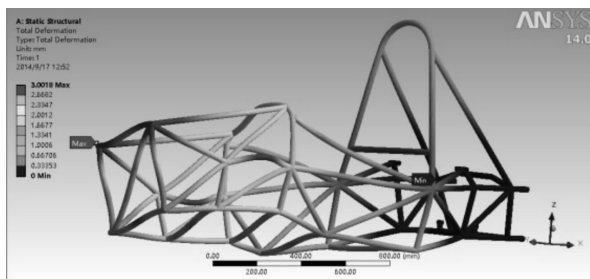


图2 车架总变形云图

Fig. 2 Diagram of total deformation of racing car framework

2 动力系统设计

2.1 进气管设计

根据赛事规则,为限制发动机功率,一个内部截面为圆形的限流阀必须安装在进气系统的节气门与发动机之间,并且所有发动机的进气都应流经此限流阀^[1]。根据选用的钱江黄龙四缸四冲程电喷发动机 BJ465MS,通过讨论方案确定进气总管的结构为文氏管(截面渐缩后渐扩),结合车身设计课程的内容,汽车空气动力性能关于汽车气动升力有着文氏管效应,由于汽车顶部空气流动快于汽车底部,产生升力而不利汽车行驶稳定,需要设法提高底部气流速度,从而产生负升力。应用 GT-Power 软件模拟仿真稳压腔内的气流速度和压力、限流阀处的速度和压力分布情况,其中限流阀处收缩的截面可加快气流的速度,如图 3 所示。

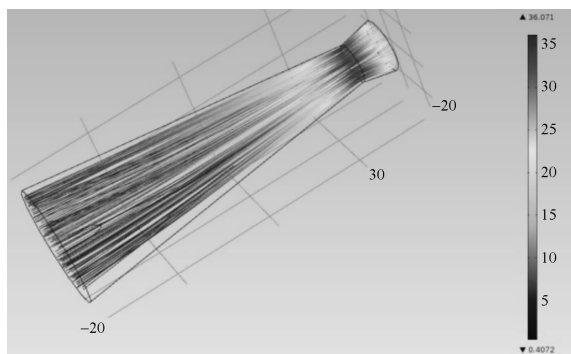


图 3 限流阀内气体速度分布

Fig. 3 Velocity distribution of restricted flow valve

2.2 附件的布置

要求赛车总质量均匀分布^[3],将水箱和油箱同时布置在驾驶员左侧,水箱在车身侧翼内可提高散热效果,同时为合理利用侧翼的空间,水箱调节成倾角使迎风面积达到最佳。正常情况下发动机的燃油消耗率为 7 L/100 km 左右,由于进气限流阀的限制,加之油管压力增大近 50%,导致喷油量变大,综合考虑燃油余量后,设计油箱最大容量 4.7 L。中间布置隔热铝板防护以防止热辐射导致油箱温度过高。U 形排气布置在赛车手右侧,回压式排气管能有效减少噪音。

2.3 传动比计算

发动机的动力经过离合器、变速器,由链轮传给差速器,再通过差速器分配给半轴,最后传递到后轮,与路面间产生附着力驱动赛车。动力传动采用结构紧凑的链传动,大链轮与小链轮的齿数比起到主减速器减速增扭的作用。结合汽车理论课程关于最高车速和最高车速时的功率,赛车链传动的传动比经计算为 3.32,为了清晰直观地描述赛车行驶时受力情况,绘出各档下驱动力随车速的变化,如图 4 所示。

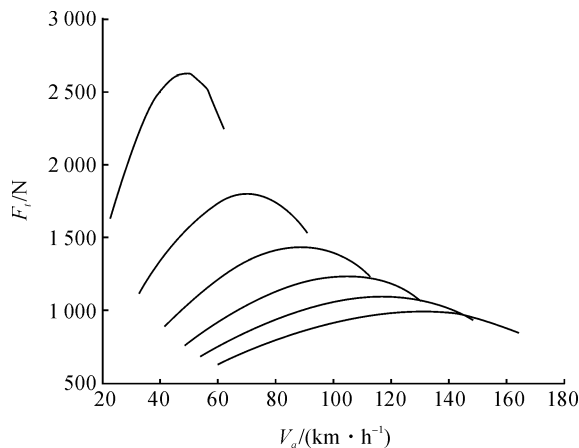


图 4 赛车驱动力图

Fig. 4 Diagram of driving force for racing car

3 底盘系统设计

3.1 悬架系统设计

为便于转向立柱和制动等部件的空间布置,选用规格 13×6 的万丰轮辋。与之匹配的佳通轮胎型号为 20.5×7.0-13,轮胎外径为 510 mm。在汽车设计课程的悬架设计过程中要求轮距与整车重心共同提供充足的侧倾稳定性,因此采用前后悬架均为独立悬架,但没有赛制规则对悬架行程(车轮中心点垂直位移)不少于 50.8 mm 的要求,同时悬架在坐有车手的情况下可分别抬起和压下 25.4 mm 要求^[1]。前悬采用拉杆式不等长双横臂独立悬架,后悬采用推杆式不等长双横臂独立悬架。在赛车高速转弯时,负外倾角能抵消因横向离心力导致车轮外倾角往正方向变化的趋势,使车轮保持和地面的良好接触,增强轮胎地面附着力,确保赛车顺利过弯,负前束能使赛车入弯更快,转向响应更快,能减少过弯的时间。在悬架设计教学过程中,要求学生选择空间导向杆系的铰接点位置、控制臂的长度及其布置,使得悬架具有合

适的运动特性,形成恰当的侧倾中心和纵倾中心,计算出前悬侧倾中心高度 $h_{w1}=23.2$ mm,后悬侧倾中心高度 $h_{w2}=34.6$ mm。前轮主销偏距为 48 mm,后轮为 40 mm。汽车设计课程中偏频的选取都满足舒适性和平顺性,而综合权衡赛车的转向、制动方面的稳定性和操控性等因素,前悬偏频取 3.0 Hz,后悬偏频取 2.8 Hz。经过 ADAMS/Insight 分析,上控制臂前点 z 坐标、上控制臂后点 z 坐标、下控制臂前点 z 坐标、下控制臂后点 z 坐标和横拉杆内点 z 坐标这 5 个设计变量,对车轮外倾角、主销内倾角和前轮前束角这 3 个设计目标影响程度较大,对车轮定位参数进行多目标优化分析,求解出使目标函数取得最小值时的设计变量值。

分析表征悬架性能的参数曲线,再利用 Insight 进行灵敏度分析,根据分析结果,优化在跳动行程范围内变化较大的参数,再进行运动学仿真分析,直到参数的变化符合要求,最终确定前后悬各硬点的具体坐标,前悬外倾角参数优化对比如图 5 所示。后悬的设计优化也采用同样的方法。

3.2 转向系统设计

考虑轻量化的设计目标,方向盘用自重轻、强度高的碳纤维制作。快拆器便于车手快速拆装,方便车手上下车,在紧急情况时也能为车手赢得宝贵的逃生时间。采用轴承座连接转向传动轴和快拆器,并固定在车架前环上。

汽车设计中,悬架采用双横臂式独立悬架,转向采用断开式转向梯形前置机构。赛车行驶速度较快,要求转向灵敏性高^[4],转向系统设计的教学中,角传动比推荐在 17~25 范围内选取,经计算,原地转向阻力矩 320 N·m,作用在转向盘上的手力为 90 N,确定角传动比为 4.3。利用 ADAMS 软件进行了转向特性的运动仿真,将阿克曼百分比调至 60%,控制梯形的阿克曼与理想的阿克曼误差。

$$\alpha = \arccot\left(\cot\beta + \frac{B}{L}\right) \quad (1)$$

式(1)中: α —外轮转角; β —内轮转角; B —轮距, $B=1\,222$ mm; L —轴距, $L=1\,555$ mm。

实际与理论转角对比见表 1。

3.3 制动系统设计

制动系统由制动踏板、平衡杠杆、制动主缸、制动管路、制动器等部分组成,设计 II 型双回路,如图 6 所示。该回路布置简单,容易调节前后制动力之比^[5]。

汽车理论中关于各种路面上的平均附着系数均在 1.0 以下,范围在 0.1(冰面)~0.9(干沥青或混凝土)内,但是附着系数也和轮胎因素有非常重要的关系,用于赛车的热熔胎,就是随着与路面摩擦,胎面温度升高,自身融化呈凝胶状态,附着系数达 1.4,因此,计算前后轴单轮地面制动力要区别于不同常规计算参数。

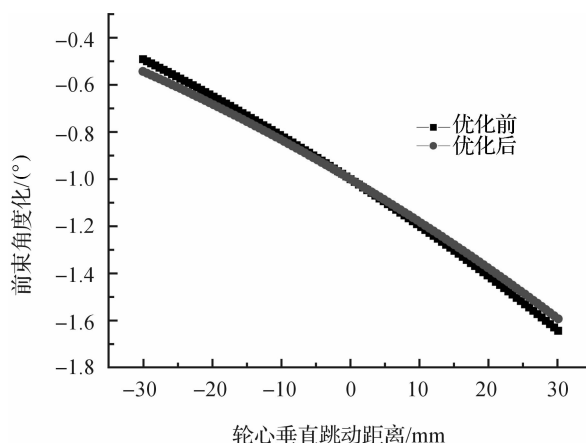


图 5 赛车前悬外倾角优化前后对比分析

Fig. 5 Comparative analysis on camber of front suspension before and after optimization of racing car

表 1 实际与理论转角对比

Table 1 Comparison of actual steering angle and theoretical steering angle (°)

内轮转角	理想外轮转角	实际外轮转角
5	4.68	4.41
10	8.8	8.34
15	12.5	12.2
20	15.8	16.0
25	18.5	19.8
30	21.7	23.4

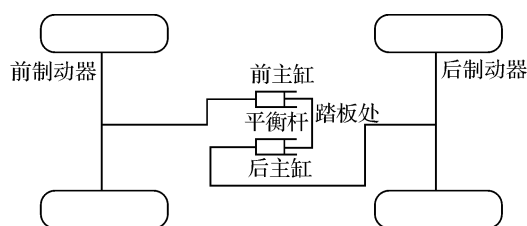
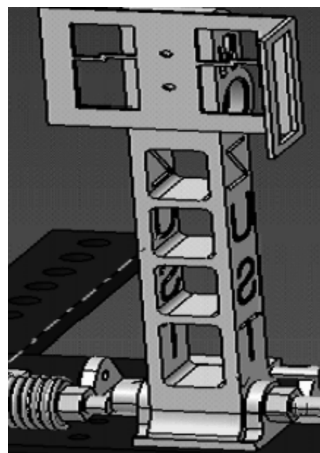


图 6 赛车双回路制动系统

Fig. 6 Diagram of dual-circuit braking system for racing car

在制动系统设计中,根据制动主缸的选型,赛车为四轮全盘式制动,双活塞式制动卡钳,活塞直径为 34 mm,前后轮制动采用相同直径的独立单活塞主缸,活动行程为 10 mm,采用平衡杆调节前后轮制动力矩的分配,计算时按平衡最大分配比分配前、后回路主缸踏板力。制动踏板由踏板杆、踏板面和脚座组成,踏板杆上有学校英文缩写 ZUST 镂空的 logo,如图 7 所示,经过 ANSYS 静力分析后,确保踏板杆强度的同时兼顾踏板的减重和美观设计,自主设计制作碳纤维踏板面体现设计轻量化的原则,踏板面具有侧挡面,确保在驾驶过程脚不打滑,增加赛车驾驶安全系数。



(a) 踏板杆三维模型



(b) 加工实物

图 7 制动踏板结构

Fig. 7 Structure of brake pedal for racing car

以参加中国汽车工程协会举办的大学生方程式赛车大赛为突破口,搭建科技创新舞台,以机械工程学科为载体,发挥车辆工程专业特色,专业课程的教学内容始终贯彻以赛车的设计和制作为主线,提高学生的专业素养,引导学生投身赛车制作的实践活动,同时培养学生的团队意识和实践动手能力。

参考文献:

- [1] 李理光. 中国大学生方程式汽车大赛规则(2014 版)[Z]. 北京:中国汽车工程学会,2014.
- [2] 赵诚,王国权,姜立嫚,等. FSAE 方程式赛车车架结构强度试验[J]. 北京信息科技大学学报:自然科学版,2013,28(3):43-48.
- [3] 柴天. FSAE 赛车整车性能分析与研究[D]. 长沙:湖南大学,2009.
- [4] 吴健瑜. 大学生方程式赛车悬架设计及优化研究[D]. 广州:华南理工大学,2011.
- [5] 唐应时,李雪鹏,肖启瑞,等. FSAE 赛车制动性能仿真与优化[J]. 计算机仿真,2010,27(5):186-188,208.

(上接第 173 页)

参考文献:

- [1] Sadeek S A, El-Shwiniy W H. Metal complexes of the fourth generation quinolone antimicrobial drug gatifloxacin: Synthesis, structure and biological evaluation[J]. Journal of Molecular Structure,2010,977(1-3):243-253.
- [2] 万志龙,刘明亮,冯连顺,等. 含有取代吡啶满二酮-1-乙基的加替沙星衍生物的合成与抗结核作用研究[J]. 中国抗生素杂志,2011,36(1):37-43.
- [3] 李宏力,樊代明,李哲,等. 甲磺酸加替沙星胶囊人体药代动力学及生物等效性评价[J]. 第四军医大学学报,2003,24(20):1915-1918.
- [4] Gurwitz M D, Jerry H. Serious adverse drug effects: Seeing the trees through the forest[J]. The New England Journal of Medicine,2006,354(13):1413-1415.
- [5] Masood I, Bhargava R, Ahmad Z, et al. Gatifloxacin-induced purpura: An unusual adverse drug reaction[J]. Journal Indian Academy of Clinical Medicine,2005,6(3):239-240.
- [6] 马超,李钢,葛青,等. 巴罗沙星化学结构分析[J]. 药物分析杂志,2011,31(1):163-168.
- [7] Wille K, Claessens M, Rappé K, et al. Rapid quantification of pharmaceuticals and pesticides in passive samplers using ultra high performance liquid chromatography coupled to high resolution mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A,2011,1218(51):9162-9173.
- [8] 李钢,徐群为,李瑞,等. 那格列奈的多晶型与溶解度[J]. 化学学报,2007,65(24):2817-2820.
- [9] 叶皓,刘学军,白东鲁,等. 依碳氯替泼诺的结构分析研究[J]. 分析化学,2005,33(3):351-354.
- [10] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:二部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2005:附录 VI 22-24.
- [11] 孙毓庆,胡育筑. 分析化学[M]. 2 版. 北京:科学出版社,2006:333.