

湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划 项目申报表

项目名称: 方程式赛车底盘关键零件复合材料应用设计和测试				
学校名称	长沙理工大学			
学生姓名	学号	专业	性别	入学年份
冯翔	201521030231	机械设计制造及其自动化	男	2015
余伟	201502030217	汽车服务工程	男	2015
郝杰	201569030229	车辆工程	男	2015
石俊杰	201621030302	机械设计制造及其自动化	女	2016
刘学平	201621030203	机械设计制造及其自动化	男	2016
指导教师	伍文广	职称	讲师	
项目所属一级学科	机械工程	项目科类(理科/文科)	理科	
<p>学生曾经参与科研的情况</p> <p>冯翔、石俊杰负责和参与了 2017 年度科技立项《SAE 转向系统的设计、优化与制作》。冯翔在长沙理工大学第七届工程模型设计大赛中荣获三等奖。</p> <p>郝杰参与了 2017 年度科技立项《基于 FSAE 悬架几何参数优化设计》和《方程式赛车关键零部件的创新性设计》项目在 2017 年度长沙理工大学课外学术科技作品竞赛中, 荣获二等奖。</p>				
<p>指导教师承担科研课题情况</p> <p>1、国家自然科学基金青年项目, 51705035, 半主动油气悬架的分布式驱动电动汽车平顺性控制研究, 2018/01-2019/12, 25 万元, 在研, 主持。</p> <p>2、湖南省自然科学基金青年项目, 2017JJ3336, 气固液耦合的油气悬架不确定动力学特性建模与分析方法研究, 2017/01-2018/12, 5 万元, 在研, 主持。</p> <p>3、湖南省科技厅一般项目, 16C0062, 多相耦合的油气悬架动态特性虚拟实验方法研究, 2016/9-2018/8, 1 万元, 在研, 主持。</p>				

4、国家自然科学基金面上项目，5167052422，具有转矩不确定性的分布式驱动电动汽车横向失稳机理与控制研究，2017/01-2019/12，62 万元，在研，参与。

5、国家自然科学基金面上项目，51775056，多源不确定信息下车人碰撞事故高可靠再现方法研究，2018/01-2020/12，62 万元，在研，参与。

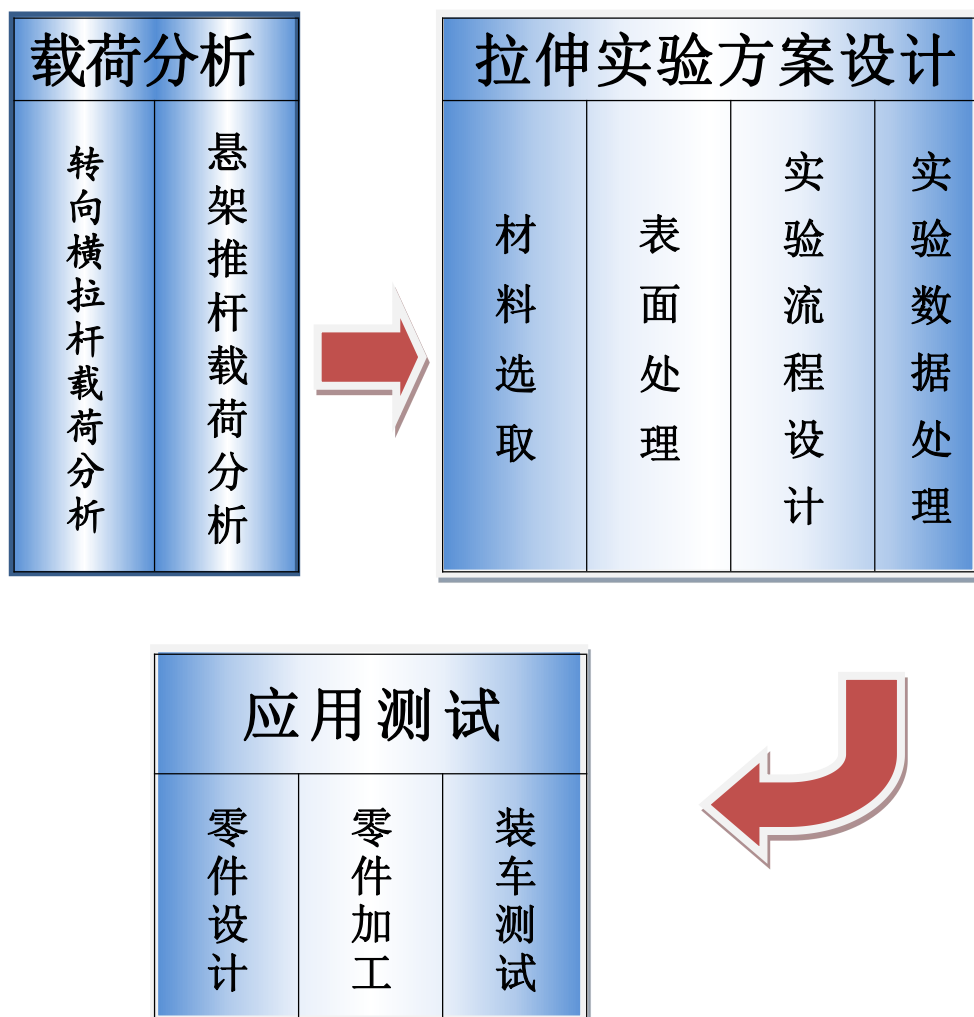
项目研究和实验的目的、内容和要解决的主要问题

一、项目研究和实验目的

1. 通过拉伸实验确定碳纤维管与铝的粘接强度，是否满足强度要求，并得出最优的方案及每个因素影响程度的大小次序，对碳纤维复合材料复合材料与金属制件的粘接工艺起指导作用。

2. 将碳纤维管复合材料应用转向横拉杆悬架的推杆，有可能的话可以是整个悬架，使方程式赛车更加的轻量化。

二、实验内容



1. 载荷分析

1.1 转向横拉杆载荷分析

通过计算原地力矩、回正力矩和在各种工况下力矩，利用理论力学和材料力学知识对横拉杆进行受力分析。

1.2. 悬架推杆载荷分析

根据阻尼位移传感器所得数据进行换算，取平均值以及最大值。

2. 拉伸实验方案设计

2.1. 材料选取

对碳纤维材料、铝接头的材料、胶水的种类进行选取。

2.2. 表面处理

粘接前对粘接表面的两种粘接材料的表面进行的处理方式进行研究。

2.3. 实验流程的设计

对铝头的粘接长度和间隙进行研究和对整个实验的流程及操作步骤进行一系列的规划，以及负压技术的应用。

2.4. 实验结果处理

与湖南大学进行的磁脉冲实验，在强度上满足了要求，但成本比较高。对本次的拉伸实验，从实验准备、实验过程、实验结果进行分析，并且实验成本相比之下会廉价多少，也进行一个比较。

3. 应用测试

3.1. 零件设计

根据实验分析的结果对应用复合材料的零件进行设计，使之适用于方程式赛车

3.2. 零件加工

根据实际需求，对零件加工精度，表面粗糙度等进行考虑。

3.3. 装车测试

将零件装于方程式赛车，在各种工况下对应用零件进行测试。

三、要解决的主要问题

1. 用碳纤维复合材料替换钢材，达到赛车轻量化的目的。

2. 解决运用碳纤维复合材料在赛车上的强度问题和安全问题。

国内外研究现状和发展动态

研究意义

目前在汽车的减重轻量化方面，部分结构的优化已趋近完善，需要寻找新型的材料，碳纤维具时质量轻、有耐高温、耐摩擦等优点，且碳纤维复合材料作为新型材料，具有高的比强度、比模量、耐疲劳、抗拉强度。因此碳纤维材料无疑成为了很好的替代材料^[1]。碳纤维材料在汽车上应用也非常广泛。而碳纤维材料在方程式赛车上的应用没有很好的系统的理论。而碳纤维的应用将会赛车轻量化有很大的帮助。

国内外研究现状

1. 载荷分析

载荷分析有三种方法，其一是通过公式和半经验式计算出杆件在各和工况下的所受

到的力,这类方法得出的是理论值^[2],这种一般是半经验半公式,的出的结果误差较大。

其二是通过有限元分析,施加条件得出的是比较接近实际的理论值。有限元法在汽车悬架系统结构件的强度分析中应用广泛,但大多仅针对单个零件进行强度校核,由于系统各部件间是运动关系,载荷及边界条件难以精确确定,对计算结果的准确性造成影响。

其三是在各杆件上装上传感器,可以知道杆件实际所受的力,这是最好的的方法,国内顶尖大学车队都会装上了传感器,如同济大学,他们在杆件上装了应变片传感器。

2. 碳纤维应用在汽车上的应用

碳纤维复合材料在汽车上的应用碳纤维复合材料用于汽车部件上不仅可以实现汽车轻量化,而且在安全性与乘用舒适性等方面也有很大提高,因此越来越受到汽车工业的重视,很多汽车制造商生产的高档、豪华轿车(如通用、宝马、大众、奔驰、福特、奥迪、本田、日产等)几乎都开始试用或已经采用了各种碳纤维复合材料^[3]。

碳纤维及其复合材料是支撑国家高科技产业发展的关键材料,经过 40 多年的积累与发展,我国碳纤维及其复合材料研发拥有众多突破性进展,但在汽车领域的应用还远落后于航空航天和其他工业领域^[4]。因此有必要分析碳纤维复合材料在我国汽车工业应用中存在的问题,提出合理的发展对策,以适应汽车工业对材料发展的迫切需求。

目前我国车用碳纤维复合材料存在的问题主要有:一是国产碳纤维基础研究工作薄弱造成原丝质量不高、性能不稳定、产品规格和品种少、价格高、难以进行表面处理,目前还无法大批量生产。二是树脂基体的性能和质量不高、产品系列不全,产业规模较小^[5]。三是碳纤维的高价格、低产量和树脂基体的小规模生产导致了碳纤维复合材料的价格比较高,从而部件制品的成本也较高。四是连接困难。碳纤维复合材料与金属部件的连接以及碳纤维复合材料部件间的连接,可以用机械连接、黏接或者两者并用^[6]。仅靠黏接很难满足功能件的连接需求,采用机械连接(螺栓连接或铆接)又会影响制品的强度。五是回收利用难。目前国外有很多碳纤维复合材料的回收利用技术,如粉碎回填料法、焚烧能量回收法和纤维分离法等^[7],但在我国还没有大规模回收利用的成熟案例。

1980 年由麦克劳伦车队首先将碳纤维复合材料应用于底盘,该底盘发其优异的机械性能、自重轻、修补高效和方便获得了广泛认同。目前 F1 的赛车除了变速箱、刹车等,85%的体积和 30%的质量都是碳纤维复合材料^[8]。并且碳纤维复合材料能量吸收的特点很大提高了赛车的安全性。

在国内的大学生方程式汽车大赛上也将碳纤维复合材料应用于赛车上,如:单体壳、悬架各杆件,转向拉杆,方向盘、半轴、进气系统、轮辋、空气动力套件等,在悬架转向等方面,已有很多的车队应用了部分零部件或者整个悬架^[9]。在这方面国内发展虽相对落后于国外的水平,但国内的发展速度也是比较快的,很多大学都积累了不少的理论知识和经验,哈尔滨工业大学(威海)方程式赛车队在这方面是走在了国内高校的前列。

3. 胶粘技术

Petrie EM^[10]指出增大粘接体表面粗糙度能有效提高接头粘接强度;然而 Couvrat P^[11]认为较高的粗糙度会引起胶粘剂浸润不充分,粘接表面容易产生气泡,导致胶接接头的粘接强度降低。Julian Narbon 等^[12]利用磨床、砂纸和机械抛光等方法对搭接接头的表面进行处理,获得具有不同光洁度的接头表面,粗糙度范围为 0.08-6.7 m,然后通过实验研究搭接件的拉伸剪切强度,结果表明:接头表面粗糙度在一定范围内能有效提高胶接接头的粘接强度,但当粗糙度超过该范围后接头的粘接强度降低,因为经砂纸

打磨的接头表面粗糙度较小能产生较好的润湿性,而磨床机加表面虽然有较好的机械自锁效果但润湿性很差,导致接头的承载力大大降低。

E Kara 等^[13]对比分析了粘接长度分别为 30、40、50mm 对粘接强度和耐疲劳性能的影响。实验结果表明:搭接长度能增加接头静载强度但其疲劳寿命缩短。Jae-Hyun Park 等同样对搭接长度对接头粘接强度的影响进行了研究,得到了如上相同的结论。

我国环氧树脂胶粘剂是从上世纪 50 年代末开发研制的。经过 40 多年的发展,特别是改革开放以来,随着国民经济的飞速发展,环氧胶粘剂产量和消费量逐年递增^[14]。目前我国大陆地区从事环氧树脂胶粘剂研发生产的科研单位和公司有:天津合成材料工业研究所、黑龙江省石油化学所、上海合成树脂研究所、中科院北京化学所、大连化物所、晨光化工研究院、北京航空材料所、北京天山新材料公司、天津三友高分子技术公司、上海康达胶粘剂有限公司、上海回天和浙江金鹏化工股份有限公司等单位^[15]。虽然在某些方面和国际上的一些前沿的技术有些差距,在总的方面来说差距并不是很大。

我国的胶粘技术发展有三四十年了,对胶粘的表面处理、固化工艺、端部胶瘤、胶粘长度,胶层厚度等都有了很深的研究,胶接头应力解析模型的研究也有了比较深层次的分析^[16]。

碳纤维复合材料应用于方程式赛车上已经是一种发展方向,一些没有应用碳纤维复合材料的车队也已开始做进行尝试,因此做实验进行分析和优化显得尤为重要。

参考文献

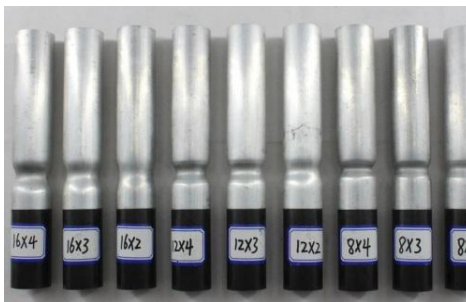
- [1] 赵晓明,刘元军,拓晓.碳纤维及其应用发展[J].成都纺织高等专科学校学报,2015,32(03):1-5.
- [2] 范学梅. FSAE 赛车复合材料悬架的设计与研究[D].哈尔滨工业大学,2013.
- [3] 曹永友,李青青,王强.碳纤维增强复合材料在汽车上应用的新进展[J].汽车工艺与材料,2008(10):54-57.
- [4] 竺铝涛.汽车用碳纤维复合材料加工成型工艺研究进展[J].石油化工技术与经济,2013,29(1):59-62.
- [5] 唐见茂.碳纤维树脂基复合材料发展现状及前景展望[J].航天器环境工程,2010,27(3):269-280.
- [6] 井冢淑夫.碳纤维复合材料应用的最新动向[J].合成纤维,2013,42(9):51-54.
- [7] 周宇飞,朱熠.新型纤维增强复合材料在汽车上的应用[J].汽车工艺与材料,2012,(10):24-29.
- [8] 高晶.复合材料在 F1 赛车运动中的应用[J].科技通报,2012,28(12):173-175.
- [9] 谢逸,宋鹏涛,王永宁,孔晶,刘海华.碳纤维材料的性能及应用[J].科技创新与应用,2013(18):51-52.
- [10] Petrie EM. Handbook of adhesives and sealants[C]. New York: Mc Graw-Hill, 2000.
- [11] Couvrat P. Le collage structural modern: the orie et pratique[C]. Paris: Tec & Doc-Lavoisier, 1992
- [12] Julian Narbon, Cristina Alia. Influence of the surface finish on the shear strength of structural adhesive joints and application criteria in manufacturing processes[J]. The Journal of Adhesion, 2009,85(5):324-340.

- [13] E Kara, et al. Fatigue behavior of adhesively bonded glass fiber reinforced plastic composites with different overlap lengths[J].Journal of Mechanical Engineering Science, 2015, 229(7):1292-1299.
- [14] 郑锡良. 胶粘剂应用技术[J]. 辽宁机械, 1981(01):32-34.
- [15] 马文娇. 环氧树脂导热胶粘剂研究进展[J]. 信息记录材料, 2017, 18(09):9-11.
- [16] 王玉奇. 铝合金单搭粘接接头界面端奇异性及强度研究[D]. 昆明理工大学, 2016.

本项目学生有关的研究积累和已取得的成绩

有关的研究积累

与湖南大学合作进行过碳纤维管与铝管磁脉冲连接试验, 30mm 的碳纤维棒与外径 30mm 内径 26 的铝管进行磁脉冲连接, 内径 25mm 外径 28mm 碳棒与内径 26mm 外径 30mm 铝管进行磁脉冲压/焊混合连接。这两种方式进行铝和碳管的连接所得到的拉伸曲线可以近似认为重合, 并且实验结果满足强度要求。实验试验结果对本次试验可以进行对比分析。



方式一：磁脉冲连接

	碳纤维棒	铝管 6061
外径	30mm	30mm
内径	/	26mm



方式二：磁脉冲压/焊混合连接

	碳纤维管	铝管 6061
外径	28mm	30mm
内径	25mm	26mm

下图 1 为载荷-位移的拉伸曲线图

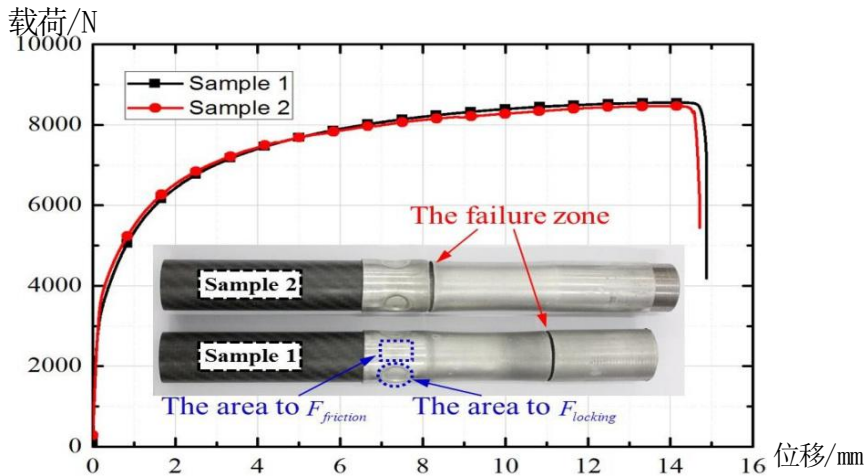


图 1

已取得的成绩

参加长沙理工大学 CRT 方程式赛车队，对于 UG、MATLAB、ADAMS、SINUSYS 等软件有一定的掌握，并能运用这些软件进行悬架转向系统进行设计，对于悬架转向系统有一定的知识储备，并且所设计的悬架转向都应用于赛车上。

本次项目应用的关键零部件转向系统的横拉杆与悬架系统的推杆都与设计完毕，UG 模型也都建好。图 2 为转向横拉杆，图 3 为悬架推杆



图 2

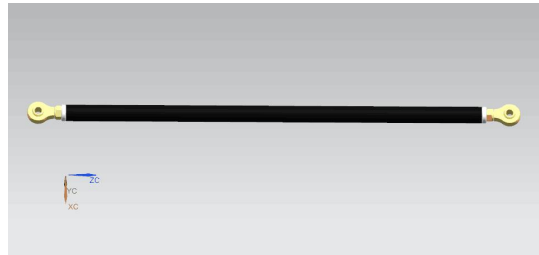


图 3

实践能力:

本项目成员参加了两届 FSAE 赛车的加工环节，参加过很多零件的设计加工和测试，具有较强的实践能力。郝杰作为车手，参加了 2017 年全国大学生方程式汽车大赛，对赛车的驾驶试及操控性有一定的熟知度。

获得成绩:

本项目的成员参加过的 2017 年中国大学生方程式汽车大赛，获得全国第 10 名，一等奖，其中的耐久赛获得了全国第一名。2016 年中国大学生方程式汽车大赛，获得直线加速十一名，8 字绕环第七名。

项目的创新点和特色

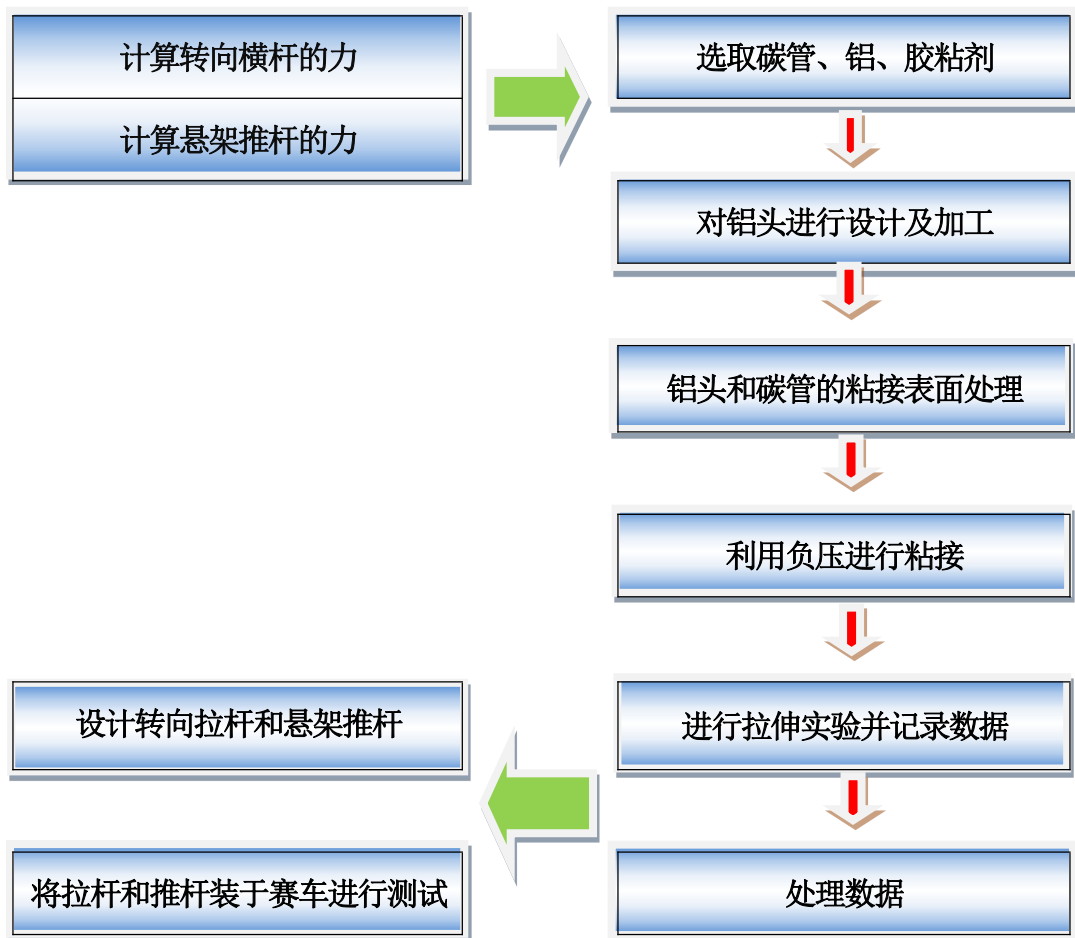
1.本次项目应用了碳纤维新型材料，并且粘接的是两种不同属性的材料，应用范围广。

2.本次项目通过实验验证，并且之前与湖南大学进行碳纤维管与铝管磁脉冲连接试验，可以进行实验实验比较分析，可行性强。

3.目前在国内有关于碳纤维复合材料在悬架转向系统上的应用相关的系统全面性的论文或文献比较缺乏。本次项目具备了悬架系统的分析、做实验并分析数据以及在赛车上的应用反馈一个系统的流程

项目的技术路线及预期成果

一、技术路线



1. 载荷计算

设计初期，出于轻量化的考虑。总布置初定整车整备质量 230Kg，附带 60Kg 的车手，总重 290Kg。设计轴荷分配为 45:55，可得前轮单侧载荷为 650N，后轮单侧载荷 800N。

对转向悬架受力分析，可由计算法和图示法解得。由底盘力学知，在比例尺足够大时，完全可以满足分析要求。

(1) 左后立柱受力分析

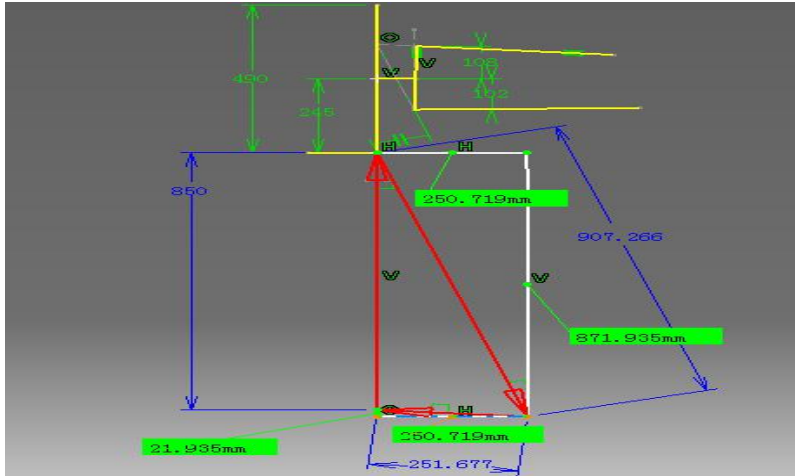


图 4

由于后悬架采用的是推杆式减振器布置形式，故上横臂是二力杆，受力方向为沿杆方向。同时单侧轮胎的受力是 850N，方向垂直向上。有三力汇交原理，即可得出上绞点的受力。根据图 1 测得各点的受力是：

左前立柱上绞点受力为：沿杆方向向外 251.5N。

左前立柱下绞点受力为：垂直向下 872N，水平向右 250N，合力 907N。

(2) 左下横臂受力分析

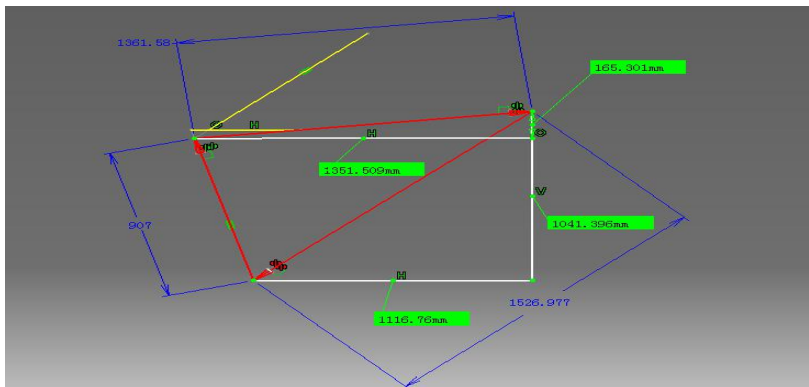


图 5

由 (1) 推出的横臂外绞点受力为立柱上绞点的反力，同时拉杆是二力杆，故根据三力汇交原理可得出横臂内绞点和拉杆的受力：

下横臂外端受力为：垂直向上 871.9N，水平向左 250N，合力 907N

推杆连接点受力为：垂直向下 1041N，水平向左 1116N，合力 1527N

上横臂内段受力为：水平向右 1351N, 垂直向上 169N, 合力 1361N

(3) 上横臂受力分析

由于上横臂是二力杆，故由（4）得上横臂受力为 251.5N 的压力。

(4) 推杆受力分析

由于推杆也为二力杆，故由（5）得拉杆受力为 1527N 的压力

2. 进行拉伸实验

2.1 选择 3K 的碳管、7075 铝，胶粘剂选择 DP460。

2.2 根据相关的文献，将铝头的粘接长度选取在 30MM 左右、粘接间隙选取在 0.2MM 左右共 9 种铝头

2.3 用砂 360 砂纸打磨和丙酮溶液对铝头和碳管的粘接表面进行处理

2.4 粘接时利用负压力进行粘接，并且由同一个人进行。

2.5 对数据的处理用正交实验法，得出粘接间隙和粘接长度对胶粘强度的影响。制出相应的曲线图。所得数据与之前的试验数据进行比较分析。

3. 应用测试

利用数据处理的结果对转向拉杆和悬架推杆进行设计并加工，装于赛车上，让赛车在不同工况下进行跑动，对零件进行检验。

年度目标和工作内容（分年度写）

2018 年第一季度

1. 以 2017 的赛车数据对零部件进行力学分析
2. 对铝制接头进行设计完毕并进行加工，以及实验前的准备工作

2018 年第二季度

1. 进行行拉伸实验，并对实验数据进行分析
2. 对运用碳纤维复合材料的零部件进行设计完毕，并进行仿真分析

2018 年第三季度

1. 对运用碳纤维复合零部件加工完毕，装于 18 赛车，进行检验
2. 参加 2018 年全国大学生方程式汽车大赛，并对运用碳纤维复合材料的零件进行再一次检验。

2018 年第四季度

1. 完善好相关的研究材料。

指导教师意见

签字:

日期:

