



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108170972 A

(43)申请公布日 2018.06.15

(21)申请号 201810022680.5

(22)申请日 2018.01.10

(71)申请人 浙江吉润汽车有限公司

地址 315000 浙江省宁波市宁波经济技术
开发区新矸镇恒山路1528号

申请人 浙江吉利汽车有限公司
浙江吉利控股集团有限公司

(72)发明人 张凯 杨志远 商耀 孙昌

(74)专利代理机构 台州市方圆专利事务所(普
通合伙) 33107

代理人 徐斌斌

(51)Int. Cl.

G06F 17/50(2006.01)

权利要求书2页 说明书8页

(54)发明名称

一种方程式赛车车架的有限元分析方法

(57)摘要

本发明提供了一种方程式赛车车架的有限元分析方法,属于计算机辅助工程技术领域。它解决了现有的赛车车架优化分析准确性差和设计周期长的问题。本有限元分析方法,包括以下步骤:A、构建三维模型再进行划分网格转换成有限元模型;B、根据各工况施加边界条件,并对在各工况下的车架弯曲刚度进行有限元分析计算,再将分析结果与材料屈服强度比较进行结构优化;C、对车架的两侧分别施加相反方向的强制位移,进行有限元分析并通过计算能够得到车架的扭转刚度,然后根据分析结果进行结构优化;D、分析对比车架各阶模态的固有频率是否异于外部主要激励频率并根据结果进行结构优化,提高了优化分析的准确性,减少了经费,缩短了设计周期。

1. 一种方程式赛车车架的有限元分析方法,其特征在于,包括以下步骤:

A、模型建立:通过对空间桁架式钢管车架进行车架设计并构建三维模型,然后再进行划分网格转换成有限元模型;

B、车架弯曲刚度的分析计算:根据各工况施加边界条件,分析计算各工况下车架的实际受力情况,并对在各工况下的车架进行有限元分析计算,得出各工况下弯扭组合应力云图,再将分析结果与材料屈服强度比较,根据比较结果对不满足材料屈服强度的部分进行结构优化;

C、车架扭转刚度的分析计算:对车架的两侧分别施加相反方向的强制位移,进行有限元分析得到车架的扭转刚度受力图,然后通过计算能够得到车架的扭转刚度,根据分析计算的结果对不满足要求的部分进行结构优化;

D、车架模态分析:分析车架静载工况下车架所对应的八阶模态,并根据分析结果对比车架各阶模态的固有频率是否异于外部主要激励频率,根据对比结果对不满足要求的部分进行结构优化。

2. 根据权利要求1所述的方程式赛车车架的有限元分析方法,其特征在于,在所述步骤B中,车架的各工况包括静载工况、制动工况、急转弯工况和碰撞工况。

3. 根据权利要求2所述的方程式赛车车架的有限元分析方法,其特征在于,在所述步骤B中,对在各工况下车架的弯曲刚度的有限元分析计算结合以下公式来完成:当 $x \leq b$ 时,

$$EI = \frac{F_1 ax(L_1^2 - x^2 - b^2)}{6L_1 f}; \text{当 } b \leq x \leq L_1 \text{ 时, } EI = \frac{F_1 ax \left[\frac{L_1}{a}(x-b)^3 + (L_1^2 - a^2)x - x^3 \right]}{6L_1 f};$$

式中:EI为弯曲刚度, F_1 为施加的集中力, x 为最大变形点到后悬架约束点的距离, a 为力作用点到前悬架约束点的距离, b 为力作用点到后悬架约束点的距离, L_1 为前悬架约束点到后悬架约束点的距离, f 为车架底板最大挠曲变形量。

4. 根据权利要求3所述的方程式赛车车架的有限元分析方法,其特征在于,在所述步骤B中,车架在静载工况下的具体分析过程为:设定CAE模型,约束车架前悬架两侧硬点的所有自由度,约束后悬架两侧硬点Z方向的自由度,将与车手重量和发动机重量相同的力均布载荷施加在车架相应的节点上,然后进行有限元分析计算,得出静载工况下弯扭组合应力云图,再将分析结果与材料屈服强度比较,根据比较结果对不满足材料屈服强度的部分进行结构优化。

5. 根据权利要求3所述的方程式赛车车架的有限元分析方法,其特征在于,在所述步骤B中,车架在制动工况下的具体分析过程为:设定赛车满载质量值、动载系数值和纵向加速度作为施加的边界条件,计算得出整车的制动力,根据后轴载荷与满载总质量的百分比计算得出得出后轴两侧的平均每侧承受的制动力,约束车架前悬架两侧硬点的所有自由度,约束后悬架两侧硬点Z方向的自由度,在后悬架两侧硬点施加对应的制动力,将与车手重量、发动机重量、前翼下压力和尾翼下压力相同的力均布载荷施加在车架相应的节点上,然后进行有限元分析计算,得出制动工况下弯扭组合应力云图,再将分析结果与材料屈服强度比较,根据比较结果对不满足材料屈服强度的部分进行结构优化。

6. 根据权利要求3所述的方程式赛车车架的有限元分析方法,其特征在于,在所述步骤B中,车架在急转弯工况下的具体分析过程为:设定赛车满载质量值、动载系数值、侧向加速

度值和纵向加速度值作为施加的边界条件,计算得出整车的侧向力和纵向力,根据前轴载荷与满载总质量的百分比和后轴载荷与满载总质量的百分比计算得出前轴单侧的侧向力、后轴单侧的侧向力和后轴单侧的纵向力,约束车架前悬置架两侧硬点的X方向和Z方向的自由度,约束后悬置架左侧硬点所有的自由度,约束后悬置架右侧硬点Z方向的自由度,在前悬置架右侧硬点施加对应的前轴单侧的侧向力,在后悬置架右侧硬点施加对应的后轴单侧的侧向力和后轴单侧的纵向力,将与车手重量、发动机重量、前翼下压力和尾翼下压力相同的力均布载荷施加在车架相应的节点上,然后进行有限元分析计算,得出急转弯工况下弯扭组合应力云图,再将分析结果与材料屈服强度比较,根据比较结果对不满足材料屈服强度的部分进行结构优化。

7. 根据权利要求3所述的方程式赛车车架的有限元分析方法,其特征在于,在所述步骤B中,车架在碰撞工况下的具体分析过程为:设定赛车满载质量值和正面碰撞减速度瞬间极限值作为施加的边界条件,计算得出碰撞力,约束车架前悬置架两侧硬点的Z方向的自由度,约束后悬置架两侧硬点的X方向和Z方向的自由度,在前悬置架两侧硬点施加对应的碰撞力,将与车手重量和发动机重量相同的力均布载荷施加在车架相应的节点上,然后进行有限元分析计算,得出碰撞工况下弯扭组合应力云图,再将分析结果与材料屈服强度比较,根据比较结果对不满足材料屈服强度的部分进行结构优化。

8. 根据权利要求1-7中的任意一项所述的方程式赛车车架的有限元分析方法,其特征在于,所述车架扭转刚度的有限元分析包括以下步骤:

a、约束前悬置架硬点的所有自由度,在后悬置架硬点两侧分别于Z方向施加相反的强制位移,释放X和Y方向的自由度,进行有限元分析得到车架的扭转刚度受力图,然后通过计算得到第一个扭转刚度;

b、约束后悬置架硬点的所有自由度,在前悬置架硬点两侧分别于Z方向施加相反的强制位移,释放X和Y方向的自由度,进行有限元分析得到车架的扭转刚度受力图,然后通过计算得到第二个扭转刚度;

c、在前悬置架左侧硬点和后悬置架右侧硬点施加固定约束,在前悬置架右侧硬点和后悬置架左侧硬点分别在Z方向施加相反的强制位移,释放X和Y方向的自由度,进行有限元分析得到车架的扭转刚度受力图,然后通过计算得到第三个扭转刚度;

d、在前悬置架右侧硬点和后悬置架左侧硬点施加固定约束,在前悬置架左侧硬点和后悬置架右侧硬点分别在Z方向施加相反的强制位移,释放X和Y方向的自由度,进行有限元分析得到车架的扭转刚度受力图,然后通过计算得到第四个扭转刚度。

9. 根据权利要求8所述的方程式赛车车架的有限元分析方法,其特征在于,所述扭转刚度通过以下公式计算得出: $\theta = \arctan(2/L_2)$, $G = F_2 L_2 / \theta$; 式中: θ 为车架扭转角, L_2 为受力处悬架硬点间的平均距离, F_2 为悬架硬点处的支反力, G 为车架扭转刚度。

10. 根据权利要求1-7中的任意一项所述的方程式赛车车架的有限元分析方法,其特征在于,在所述的步骤D中,所述外部主要激励频率包括赛车的激励频率、车轮不平衡引起的激励频率和发动机的怠速频率。

一种方程式赛车车架的有限元分析方法

技术领域

[0001] 本发明属于计算机辅助工程技术领域,涉及一种方程式赛车车架的有限元分析方法。

背景技术

[0002] 赛车必须依照国际汽车联合会制定颁发的车辆技术规则规定的程式制造,包括车体结构、长度和宽度、最低重量、发动机工作容积、汽缸数量、油箱容量、电子设备、轮胎的距离和大小等,以共同的方程式(规则限制)所造出来的赛车,就是方程式赛车。

[0003] 车架作为赛车其他零部件的载体,在赛车跑动过程中不但要承受连接在车架上零部件的重量,同时它还承受着路面和零部件传递给它的各种力和力矩。对于赛车而言,减轻自身车重可提高燃油经济性与动力性,因此,对于国内外汽车车架而言如何使汽车车架要在尽量减少重量的基础上,保证有足够的强度、刚度、可靠性及寿命是一个重要的课题,要求制造出一辆在加速、制动、操控性等方面具有优异表现的小型单人座休闲赛车,来完成所有的静态和动态比赛项目;目前在FSAE赛事中,国外许多车队都采用复合材料车身其中大都使用碳纤维材料,其质量轻抗拉强度刚度大等优点受到青睐。国内一些一流车队也采用单体壳式车身,其它大都采用钢管桁架式结构车架。

[0004] 所谓桁架式金属车架就是用很多金属管焊接成具有空间三角结构的框架,车上的其他零部件全部都装载这个框架上。这种车架生产工艺简单,不需要特殊的加工技术与专用的设备,只用焊接或着铆接即可完成车架。这种方式的加工成本较低,并且对车架进行修改或局部加强十分容易,只需修改金属管的焊接位置或架焊金属管即可。

[0005] 现有的空间桁架式钢管车架的设计制造凭借的是以往车架成功案例和设计者的主观经验,优化分析准确性差,设计的车架局部强度弱,整体强度不均匀,或者是设计过度,材料无法得到充分的应用,车架优化不够好显得笨重,影响赛车的燃油经济性、动力性以及轻量化要求。而且在设计过程中赛车车架的改进优化也是通过一步一步设计试验分析完成,实验经费昂贵,车架的设计周期较长。

发明内容

[0006] 本发明的目的是针对现有的技术存在上述问题,提出了一种方程式赛车车架的有限元分析方法,本发明所要解决的技术问题是:如何缩短车架设计的周期,提高优化分析的准确性。

[0007] 本发明的目的可通过下列技术方案来实现:一种方程式赛车车架的有限元分析方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0008] A、模型建立:通过对空间桁架式钢管车架进行车架设计并构建三维模型,然后再进行划分网格转换成有限元模型;

[0009] B、车架弯曲刚度的分析计算:根据各工况施加边界条件,分析计算各工况下车架的实际受力情况,并对在各工况下的车架进行有限元分析计算,得出各工况下弯扭组合应

力云图,再将分析结果与材料屈服强度比较,根据比较结果对不满足材料屈服强度的部分进行结构优化;

[0010] C、车架扭转刚度的分析计算:对车架的两侧分别施加相反方向的强制位移,进行有限元分析得到车架的扭转刚度受力图,然后通过计算能够得到车架的扭转刚度,根据分析计算的结果对不满足要求的部分进行结构优化;

[0011] D、车架模态分析:分析车架静载工况下车架所对应的八阶模态,并根据分析结果对比车架各阶模态的固有频率是否异于外部主要激励频率,根据对比结果对不满足要求的部分进行结构优化。

[0012] 本分析方法通过对空间桁架式钢管车架建立三维模型,借助有限元分析车架的强度、刚度以及模态等特性,为结构的改进设计提供理论依据,并根据计算得到的车架的扭转刚度和弯曲刚度等有关车架的参数,通过有限元法对车架结构进行性能分析与优化计算得到基本参数模型,其可以解决以往实验手工计算无法解决的问题,完成现实中难以完成或无法完成的实验,提高了优化分析的准确性,减少了实验经费。同时相较于之前赛车车架一步一步设计试验改进优化,在二次设计上更加快捷有效,缩短了车架的设计周期,而且这种包裹式结构有很棒的安全性。

[0013] 在上述的方程式赛车车架的有限元分析方法中,在所述步骤A中,车架设计包括前舱设计、驾驶舱设计、后舱设计和车架人机工程的匹配。

[0014] 对于前舱的设计,国际汽车联合会制定颁发的车辆技术规则规定对其大部分结构都有明确的规定,对某些局部的结构可进行改进设计,如根据赛车的绕桩灵活性,可对前舱的长度进行缩短改进设计,可对制动方面进行改进,如将制动主缸由卧式主缸更改成立式主缸,使得前舱尺寸又可以缩短一截,同时跟空气动力学的性能和车手的视野,能够将前环斜撑的高度降低,或者把前环斜撑结构由一根直管改成弯管结构等。而驾驶舱的设计,一方面取决于规则和人机工程,另一方面赛车的离地间隙对其也有极大的影响。为了更好地降低整车质心高度,充分利用驾驶舱的空间,车架可以延续断开式侧防撞结构设计,同时驾驶舱主环的离地高度可以适当增加。至于后舱,规则对后舱的限制相对较少,因此后舱的结构设计可以更加自主,首先,后舱空间能够容纳发动机,其次是可以方便悬架系统和传动系统的布置安装,充分利用后舱空间,让其他系统有机地布置成一种紧凑地状态,是车架后舱设计的关键。在现代汽车设计过程中,人机工程设计是及其重要的设计工作,FSAE赛车作为竞技性方程式赛车,在满足大赛规则规定的前提下,应尽量保证车手具有合适的驾驶姿势、在高压环境下能够以比较舒适的驾驶姿势完成比赛;保证车手在驾驶舱内可以方便地进行各项驾驶操作,并合理安排赛车驾驶舱的空间布置,使整辆赛车紧凑而高效。在完成了前期的车架的大致构建设计后,再借助有限元分析车架的强度、刚度以及模态等特性,提高了优化分析的准确性,减少了实验经费。同时相较于之前赛车车架一步一步设计试验改进优化,在二次设计上更加快捷有效,缩短了车架的设计周期,而且这种包裹试结构有很棒的安全性。

[0015] 在上述的方程式赛车车架的有限元分析方法中,在所述步骤B中,车架的各工况包括静载工况、制动工况、急转弯工况和碰撞工况。因为载荷在车辆不同工况下会变化,因此通过判断车架在载工况、制动工况、急转弯工况和碰撞工况下是否会发生结构变形、钢管是否会屈服疲劳影响产品结构性能、使用寿命等,提高了优化分析的准确性。

[0016] 在上述的方程式赛车车架的有限元分析方法中,在所述步骤B中,对在各工况下车

架的弯曲刚度的有限元分析计算结合以下公式来完成:当 $x \leq b$ 时, $EI = \frac{F_1 ax(L_1^2 - x^2 - b^2)}{6L_1 f}$;

当 $b \leq x \leq L_1$ 时, $EI = \frac{F_1 ax \left[\frac{L_1}{a}(x-b)^3 + (L_1^2 - a^2)x - x^3 \right]}{6L_1 f}$; 式中:EI为弯曲刚度, F_1 为施加的集

中力, x 为最大变形点到后悬架约束点的距离, a 为力作用点到前悬架约束点的距离, b 为力作用点到后悬架约束点的距离, L_1 为前悬架约束点到后悬架约束点的距离, f 为车架底板最大挠曲变形量。车架的弯曲刚度指车架在承受垂直载荷时挠曲变形的程度,弯曲刚度会影响整车轴距以及车轮定位参数,进而影响整车的操纵稳定性。而赛车车架结构关于纵向中间平面对称,可将车架视为简支梁,支点为前、后悬架与车架的连接点,施加集中力可以得到简支梁垂直方向的最大挠度值。参照上述公式算法设置边界条件,能够准确的进行分析仿真,保证车架结构具有足够的刚度和强度。

[0017] 在上述的方程式赛车车架的有限元分析方法中,在所述步骤B中,车架在静载工况下的具体分析过程为:设定CAE模型,约束车架前悬架两侧硬点的所有自由度,约束后悬架两侧硬点Z方向的自由度,将与车手重量和发动机重量相同的力均布载荷施加在车架相应的节点上,然后进行有限元分析计算,得出静载工况下弯扭组合应力云图,再将分析结果与材料屈服强度比较,根据比较结果对不满足材料屈服强度的部分进行结构优化。车架在静载工况下主要所受的力分别为车手重量和发动机重量,通过上述过程能够准确分析车架在静态满载时的最大弯扭组合值,对比材料屈服强度进行分析优化保证车架结构具有足够的刚度和强度。

[0018] 在上述的方程式赛车车架的有限元分析方法中,在所述步骤B中,车架在制动工况下的具体分析过程为:设定赛车满载质量值、动载系数值和纵向加速度作为施加的边界条件,计算得出整车的制动力,根据后轴载荷与满载总质量的百分比计算得出得出后轴两侧的平均每侧承受的制动力,约束车架前悬架两侧硬点的所有自由度,约束后悬架两侧硬点Z方向的自由度,在后悬架两侧硬点施加对应的制动力,将与车手重量、发动机重量、前翼下压力和尾翼下压力相同的力均布载荷施加在车架相应的节点上,然后进行有限元分析计算,得出制动工况下弯扭组合应力云图,再将分析结果与材料屈服强度比较,根据比较结果对不满足材料屈服强度的部分进行结构优化。车架在紧急制动时,在惯性力的作用下,车架后舱受力较大,因此,在制动工况下车架主要所受的力分别为后轴两侧的制动力、车手重量、发动机重量、前翼下压力和尾翼下压力。通过上述过程能够准确分析车架在制动工况时的最大弯扭组合值,对比材料屈服强度进行分析优化,利用适当三角结构,合理地把后舱的力传递到车架前面,使车架整体受力更均衡,保证车架结构具有足够的刚度和强度。

[0019] 在上述的方程式赛车车架的有限元分析方法中,在所述步骤B中,车架在急转弯工况下的具体分析过程为:设定赛车满载质量值、动载系数值、侧向加速度值和纵向加速度值作为施加的边界条件,计算得出整车的侧向力和纵向力,根据前轴载荷与满载总质量的百分比和后轴载荷与满载总质量的百分比计算得出前轴单侧的侧向力、后轴单侧的侧向力和后轴单侧的纵向力,约束车架前悬架两侧硬点的X方向和Z方向的自由度,约束后悬架左侧硬点所有的自由度,约束后悬架右侧硬点Z方向的自由度,在前悬架右侧硬点施加对应的前轴单侧的侧向力,在后悬架右侧硬点施加对应的后轴单侧的侧向力和后轴单侧

的纵向力,将与车手重量、发动机重量、前翼下压力和尾翼下压力相同的力均布载荷施加在车架相应的节点上,然后进行有限元分析计算,得出急转弯工况下弯扭组合应力云图,再将分析结果与材料屈服强度比较,根据比较结果对不满足材料屈服强度的部分进行结构优化。赛车在动态比赛时,需要不断绕桩转弯,转向的同时还存在加减速,车架会受到侧向力的作用,同时还存在纵向力,因此,急转弯工况下车架主要所受的力分别为前轴单侧的侧向力、后轴单侧的侧向力、后轴单侧的纵向力、车手重量、发动机重量、前翼下压力和尾翼下压力,通过上述过程能够准确分析车架在急转弯工况时的最大弯扭组合值,对比材料屈服强度进行分析优化,使车架整体受力更均衡,保证车架结构具有足够的刚度和强度。

[0020] 在上述的方程式赛车车架的有限元分析方法中,在所述步骤B中,车架在碰撞工况下的具体分析过程为:设定赛车满载质量值和正面碰撞减速度瞬间极限值作为施加的边界条件,计算得出碰撞力,约束车架前悬置架两侧硬点的Z方向的自由度,约束后悬置架两侧硬点的X方向和Z方向的自由度,在前悬置架两侧硬点施加对应的碰撞力,将与车手重量和发动机重量相同的力均布载荷施加在车架相应的节点上,然后进行有限元分析计算,得出碰撞工况下弯扭组合应力云图,再将分析结果与材料屈服强度比较,根据比较结果对不满足材料屈服强度的部分进行结构优化。赛车在动态比赛,若突然失控或发生意外碰撞时,首当其冲的是车架缓冲块和前隔板结构,要求车架前舱由足够的强度,才能保护车手的安全,因此,碰撞工况下车架主要所受的力分别为碰撞力、车手重量和发动机重量。通过上述过程能够准确分析车架在碰撞工况时的最大弯扭组合值,对比材料屈服强度进行分析优化,使车架整体受力更均衡,保证车架结构具有足够的刚度和强度。

[0021] 在上述的方程式赛车车架的有限元分析方法中,在所述步骤C中,所述车架扭转刚度的有限元分析包括以下步骤:

[0022] a、约束前悬置架硬点的所有自由度,在后悬置架硬点两侧分别于Z方向施加相反的强制位移,释放X和Y方向的自由度,进行有限元分析得到车架的扭转刚度受力图,然后通过计算得到第一个扭转刚度;

[0023] b、约束后悬置架硬点的所有自由度,在前悬置架硬点两侧分别于Z方向施加相反的强制位移,释放X和Y方向的自由度,进行有限元分析得到车架的扭转刚度受力图,然后通过计算得到第二个扭转刚度;

[0024] c、在前悬置架左侧硬点和后悬置架右侧硬点施加固定约束,在前悬置架右侧硬点和后悬置架左侧硬点分别在Z方向施加相反的强制位移,释放X和Y方向的自由度,进行有限元分析得到车架的扭转刚度受力图,然后通过计算得到第三个扭转刚度;

[0025] d、在前悬置架右侧硬点和后悬置架左侧硬点施加固定约束,在前悬置架左侧硬点和后悬置架右侧硬点分别在Z方向施加相反的强制位移,释放X和Y方向的自由度,进行有限元分析得到车架的扭转刚度受力图,然后通过计算得到第四个扭转刚度。

[0026] 车架的扭转刚度决定了车辆在扭曲路面或急速转弯时,车架抵抗变形的能力,对悬架几何的精确度有很大的影响,通过进行上述四个扭转刚度的分析,能够保证车架拥有足够的扭转刚度,保证赛车的操纵稳定性和行驶安全性。

[0027] 在上述的方程式赛车车架的有限元分析方法中,在所述的步骤C中,所述扭转刚度通过以下公式计算得出: $\theta = \arctan(2/L_2)$, $G = F_2 L_2 / \theta$; 式中: θ 为车架扭转角, L_2 为受力处悬架硬点间的平均距离, F_2 为悬架硬点处的支反力, G 为车架扭转刚度。在测试扭转刚度时,通

过施加的相反方向的强制位移,可以计算得到悬架硬点处的支反力 F_2 ,进而可以根据受力处悬架硬点间的平均距离 L_2 计算得到扭矩,最终可以得到车架扭转角 θ ,继而可以计算得到车架的扭转刚度。

[0028] 在上述的方程式赛车车架的有限元分析方法中,在所述的步骤D中,所述外部主要激励频率包括赛车的激励频率、车轮不平衡引起的激励频率和发动机的怠速频率。通过分析,保证车架的固有频率异于外部主要激励频率,保证车架不会发生共振现象。

[0029] 与现有技术相比,本方程式赛车车架的有限元分析方法具有以下优点:

[0030] 1、通过对空间桁架式钢管车架建立三维模型,借助有限元分析车架的强度、刚度以及模态等特性,为结构的改进设计提供理论依据,并根据计算得到的车架的扭转刚度和弯曲刚度等有关车架的参数,通过有限元法对车架结构进行性能分析与优化计算得到基本参数模型,其可以解决以往实验手工计算无法解决的问题,完成现实中难以完成或无法完成的实验,提高了优化分析的准确性,减少了实验经费。

[0031] 2、相较于之前赛车车架一步一步设计试验改进优化,在二次设计上更加快捷有效,缩短了车架的设计周期,而且这种包裹式结构有很棒的安全性。

具体实施方式

[0032] 以下是本发明的具体实施例,对本发明的技术方案作进一步的描述,但本发明并不限于这些实施例。

[0033] 本方程式赛车车架的有限元分析方法,包括以下步骤:

[0034] A、模型建立:通过对空间桁架式钢管车架进行车架设计,包括:

[0035] 前舱设计:对于前舱的设计,国际汽车联合会制定颁发的车辆技术规则规定对其大部分结构都有明确的规定,因此对某些没有规定的局部结构进行改进设计:根据赛车的绕桩灵活性,可对前舱的长度进行缩短改进设计,同时对制动方面进行改进,将制动主缸由卧式主缸更改成立式主缸,使得前舱尺寸又可以缩短一截。同时跟空气动力学的性能和车手的视野,能够将前环斜撑的高度降低,同时把前环斜撑结构由一根直管改成弯管结构等。

[0036] 驾驶舱设计:对于驾驶舱的设计,一方面取决于规则和人机工程,另一方面赛车的离地间隙对其也有极大的影响。为了更好地降低整车质心高度,充分利用驾驶舱的空间,车架可以延续断开式侧防撞结构设计,同时驾驶舱主环的离地高度可以适当增加。

[0037] 后舱设计:至于后舱,规则对后舱的限制相对较少,因此后舱的结构设计可以更加自主,首先,后舱空间能够容纳发动机,其次是可以方便悬架系统和传动系统的布置安装,充分利用后舱空间,让其他系统有机地布置成一种紧凑地状态,是车架后舱设计的关键。

[0038] 车架人机工程的匹配:在现代汽车设计过程中,人机工程设计是及其重要的设计工作,FSAE赛车作为竞技性方程式赛车,在满足大赛规则规定的前提下,应尽量保证车手具有合适的驾驶姿势、在高压环境下能够以比较舒适的驾驶姿势完成比赛;保证车手在驾驶舱内可以方便地进行各项驾驶操作,并合理安排赛车驾驶舱的空间布置,使整辆赛车紧凑而高效。

[0039] 通过上述的前舱设计、驾驶舱设计和后舱设计构建车架三维模型,然后再通过人机工程的匹配结合车架三维模型和大赛规则手册相关知识,并进行划分网格转换成有限元模型。本实施例中,网格划分方式选择默认的自动划分网格,选择网格大小为4mm,最后模型

被分成了8512个单元,16967个节点。

[0040] B、车架弯曲刚度的分析计算:根据各工况施加边界条件,分析计算各工况下车架的实际受力情况,并结合以下公式:当 $x \leq b$ 时, $EI = \frac{F_1 ax(L_1^2 - x^2 - b^2)}{6L_1 f}$;当 $b \leq x \leq L_1$ 时,

$$EI = \frac{F_1 ax \left[\frac{L_1}{a} (x-b)^3 + (L_1^2 - a^2)x - x^3 \right]}{6L_1 f};$$

式中:EI为弯曲刚度, F_1 为施加的集中力, x 为最大

变形点到后悬架约束点的距离, a 为力作用点到前悬架架约束点的距离, b 为力作用点到后悬架架约束点的距离, L_1 为前悬架架约束点到后悬架架约束点的距离, f 为车架底板最大挠曲变形量,对在各工况下的车架进行有限元分析计算,得出各工况下弯扭组合应力云图,具体如下:

[0041] 静载工况:设定CAE模型,通过简化CAE模型,忽略其他较小的力,赛车在静载工况下车架主要所受的力分别为车手重量和发动机重量,然后约束车架前悬架架两侧硬点的所有自由度,约束后悬架架两侧硬点Z方向的自由度,将与车手重量和发动机重量相同的力均布载荷施加在车架相应的节点上,然后进行有限元分析计算,得出静载工况下弯扭组合应力云图,再将分析结果与材料屈服强度比较,根据比较结果对不满足材料屈服强度的部分进行结构优化。

[0042] 制动工况:制动工况下车架主要所受的力分别为后轴两侧的制动力、车手重量、发动机重量、前翼下压力和尾翼下压力,设定赛车满载质量值、纵向加速度和动载系数值作为施加的边界条件,计算得出整车的制动力,根据后轴载荷与满载总质量的百分比计算得出后轴两侧的平均每侧承受的制动力,如本实施例中,将边界条件设置为:赛车满载质量为300KG,取动载系数为1.5,纵向加速度1.3g,则能够算出整车的制动力为 $F = kma = 300 * 1.5 * 9.8 * 1.3 = 5733N$,后轴载荷为满载总质量的55%,后轴两侧的平均每侧承受的制动力为 $5733 * 55\% / 2 = 1576.6N$ 。约束车架前悬架架两侧硬点的所有自由度,约束后悬架架两侧硬点Z方向的自由度,在后悬架架两侧硬点施加对应的制动力,将与车手重量、发动机重量、前翼下压力和尾翼下压力相同的力均布载荷施加在车架相应的节点上,然后进行有限元分析计算,得出制动工况下弯扭组合应力云图,再将分析结果与材料屈服强度比较,根据比较结果对不满足材料屈服强度的部分进行结构优化。

[0043] 急转弯工况:在急转弯工况下,车架主要所受的力分别为前轴单侧的侧向力、后轴单侧的侧向力、后轴单侧的纵向力、车手重量、发动机重量、前翼下压力和尾翼下压力,设定赛车满载质量值、动载系数值、侧向加速度值和纵向加速度值作为施加的边界条件,计算得出整车的侧向力和纵向力,根据前轴载荷与满载总质量的百分比和后轴载荷与满载总质量的百分比计算得出前轴单侧的侧向力、后轴单侧的侧向力和后轴单侧的纵向力,如在本实施例中,设定边界条件为:侧向加速度为1.3g,纵向减速度为1.3g,动载系数选择1.5。则整车的侧向力为 $F = kma = 1.5 * 300 * (1.3 * 9.8) = 5733N$,前轴载荷为满载总质量的45%,则前轴单侧侧向力为 $5733 * 45\% * 0.5 = 1289.9N$,后轴载荷为总质量的55%,则后轴单侧侧向力为 $5733 * 55\% * 0.5 = 1576.6N$,急转弯整车所受纵向力为 $F = kma_2 = 1.5 * 300 * (1.3 * 9.8) = 5733N$,后轴载荷为总质量的55%,后轴单侧制动力为 $5733 * 55\% * 0.5 = 1576.6N$ 。约束车架前悬架架两侧硬点的X方向和Z方向的自由度,约束后悬架架左侧硬点所有的自由度,约束

后悬置架右侧硬点Z方向的自由度,在前悬置架右侧硬点施加对应的前轴单侧的侧向力,在后悬置架右侧硬点施加对应的后轴单侧的侧向力和后轴单侧的纵向力,将与车手重量、发动机重量、前翼下压力和尾翼下压力相同的力均布载荷施加在车架相应的节点上,然后进行有限元分析计算,得出急转弯工况下弯扭组合应力云图,再将分析结果与材料屈服强度比较,根据比较结果对不满足材料屈服强度的部分进行结构优化。

[0044] 碰撞工况:设定赛车满载质量值和正面碰撞减速度瞬间极限值作为施加的边界条件,计算得出碰撞力,如本实施中,由于赛车速度高,根据赛车设计手册相关资料假设正面碰撞减速度瞬间极限值达到20g,则碰撞力 $F=ma=300*(20*9.8)=58800\text{N}$ 。约束车架前悬置架两侧硬点的Z方向的自由度,约束后悬置架两侧硬点的X方向和Z方向的自由度,在前悬置架两侧硬点施加对应的碰撞力,将与车手重量和发动机重量相同的力均布载荷施加在车架相应的节点上,然后进行有限元分析计算,得出碰撞工况下弯扭组合应力云图,再将分析结果与材料屈服强度比较,根据比较结果对不满足材料屈服强度的部分进行结构优化。

[0045] C、车架扭转刚度的分析计算:对车架的两侧分别施加相反方向的强制位移,进行有限元分析得到车架的扭转刚度受力图,然后结合以下公式: $\theta=\arctan(2/L_2)$, $G=F_2L_2/\theta$;式中: θ 为车架扭转角, L_2 为受力处悬架硬点间的平均距离, F_2 为悬架硬点处的支反力, G 为车架扭转刚度,计算能够得到车架的扭转刚度,具体分为以下步骤:

[0046] a、约束前悬置架硬点的所有自由度,在后悬置架硬点两侧分别于Z方向施加相反的强制位移,释放X和Y方向的自由度,进行有限元分析得到车架的扭转刚度受力图,然后通过计算得到第一个扭转刚度。如在本实施例中,施加相反的强制位移1mm,根据扭转刚度受力图计算得出悬架硬点处的支反力 $F_2=(4790.4+4626.9)/2=4708.65\text{N}$, $L_2=430.5\text{mm}$,由公式计算得第一个扭转刚度 $G=7615.4\text{N}\cdot\text{m}/^\circ$ 。

[0047] b、约束后悬置架硬点的所有自由度,在前悬置架硬点两侧分别于Z方向施加相反的强制位移,释放X和Y方向的自由度,进行有限元分析得到车架的扭转刚度受力图,然后通过计算得到第二个扭转刚度;如在本实施例中,施加相反的强制位移1mm,根据扭转刚度受力图计算得出悬架硬点处的支反力 $F_2=(4786.6+4659.2)/2=4722.9\text{N}$, $L_2=390\text{mm}$,由公式计算得第二个扭转刚度 $G=6268.8\text{N}\cdot\text{m}/^\circ$ 。

[0048] c、在前悬置架左侧硬点和后悬置架右侧硬点施加固定约束,在前悬置架右侧硬点和后悬置架左侧硬点分别在Z方向施加相反的强制位移,释放X和Y方向的自由度,进行有限元分析得到车架的扭转刚度受力图,然后通过计算得到第三个扭转刚度;如在本实施例中,施加相反的强制位移1mm,根据扭转刚度受力图计算得出悬架硬点处的支反力 $F_2=(4180+3908.1)/2=4044\text{N}$, $L_2=1588.6\text{mm}$,由公式计算得第三个扭转刚度 $G=8906.1\text{N}\cdot\text{m}/^\circ$ 。

[0049] d、在前悬置架右侧硬点和后悬置架左侧硬点施加固定约束,在前悬置架左侧硬点和后悬置架右侧硬点分别在Z方向施加相反的强制位移,释放X和Y方向的自由度,进行有限元分析得到车架的扭转刚度受力图,然后通过计算得到第四个扭转刚度。如在本实施例中,施加相反的强制位移1mm,根据扭转刚度受力图计算得出悬架硬点处的支反力 $F_2=(4214+3890.2)/2=4052.1\text{N}$, $L_2=1588.6\text{mm}$,由公式计算得第三个扭转刚度 $G=8923\text{N}\cdot\text{m}/^\circ$ 。

[0050] 然后再根据分析计算的结果对不满足要求的部分进行结构优化。

[0051] D、车架模态分析:分析车架静载工况下车架所对应的八阶模态,并根据分析结果对比车架各阶模态的固有频率是否异于外部主要激励频率,外部主要激励频率包括赛车的

激励频率、车轮不平衡引起的激励频率和发动机的怠速频率,根据对比结果对不满足要求的部分进行结构优化,保证车架的固有频率异于外部主要激励频率,保证车架不会发生共振现象。

[0052] 经过以上结构设计及有限元分析优化,在满足大赛规则要求下与整车参数匹配条件下对车架进行结构更改,分析优化得到车架的结构。此外,在对车架进行结构更改优化过程中,在一些应力较小的地方可以将该处钢管换成管径更小或壁厚较薄的钢管,将驾驶舱管件的结构参数优化,对扶手杆和驾驶舱底座管径尺寸可以有效降低车架重量。同时在改进措施时,还可以选择做副车架,将传动系统和避震安装到副车架上,这样不但设计简单而且结构紧凑,并且拆装方便、便于维修检查。

[0053] 本文中所描述的具体实施例仅仅是对本发明精神作举例说明。本发明所属技术领域的技术人员可以对所描述的具体实施例做各种各样的修改或补充或采用类似的方式替代,但并不会偏离本发明的精神或者超越所附权利要求书所定义的范围。