

基于 ANSYS Workbench 的 变速自行车车架的有限元分析

张功学, 田 杨

(陕西科技大学 机电学院, 陕西 西安 710021)

摘要: 采用 Solidworks 软件建立了车架的三维模型, 并通过 ANSYS Workbench 软件建立了装配体的有限元分析模型, 对自行车架进行了结构的强度、刚度校核及模态分析, 在形状优化基础上进行了改进。

关键词: 车架; ANSYS Workbench; 模态分析; 优化

中图分类号: TP275

文献标识码: A

Finite element analysis for bike body based on ANSYS workbench

ZHANG Gong Xue, TIAN Yang

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Shanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: The Solidworks software was used to establish 3-D frame for bike body and through ANSYS Workbench software finite element analysis model was built. Structure strength and rigidity were checked. According to the model analysis results, the shape optimization was accomplished. It could be extensively used to improve the design of such a frame.

Key words: frame; ANSYS workbench; model analysis; optimization

自行车车架作为自行车总成最重要的一部分, 承受着来自道路复杂载荷的作用, 因而车架的强度和刚度在自行车总体设计中非常重要。但自行车车架受力比较复杂, 传统的经验设计带有许多盲目性, 设计校核的周期长, 一般不能定量分析车架结构强度, 很容易造成车架的强度分配不合理。运用有限元分析使自行车开发始终处于可预见、可控制状态, 从而缩短设计周期, 降低开发成本, 已经成为技术主流^[1]。另外, 车架作为自行车总成的重要承力结构, 不仅需要足够的刚度, 而且要求重量轻, 这既节省了结构耗材, 又为运输安装提供了方便, 降低了运输成本。

1 自行车车架的有限元模型的建立

1.1 车架实体模型的建立

建立准确、可靠的计算模型是应用有限元方法进行自行车车架有限元分析的重要步骤之一。ANSYS 的 CAD/CAE 协同环境 AWE (ANSYS Workbench Environment) 能直接读入各种 CAD 软件的零件模型, 并在其统一环境

中实现任意模型的装配和 CAE 分析。整合相同或不同 CAD 软件模型数据得到 CAE 分析用的 CAD 模型库, 这些模型库保留 CAD 中的设计参数, 并通过连接技术实现与 CAD 的软件之间的共享, 其优点是任何 CAD 和 CAE 人员对设计的改变都立即反应到对方软件环境中, 从而实现设计与仿真的同步协同。本文研究过程中采用目前专业的三维绘图软件 Solidworks 中建立车架模型, 并且在 Solidworks 中对车架与前股叉进行了装配, 存储为 .X_T 格式并导入到 ANSYS Workbench 中, 这样大大提高了建模的效率^[2]。有限元模型及其结构名称如图 1 所示。

1.2 网格划分

由于网格划分是有限元前处理中的主要工作, 也是整个有限元分析的关键工作, 网格划分的质量和优劣将对计算结果产生相当大的影响, 它不仅繁琐、费时, 而且在许多地方依赖于人的经验和技巧。ANSYS Workbench 的网格划分是比较智能化的, 有多种控制方

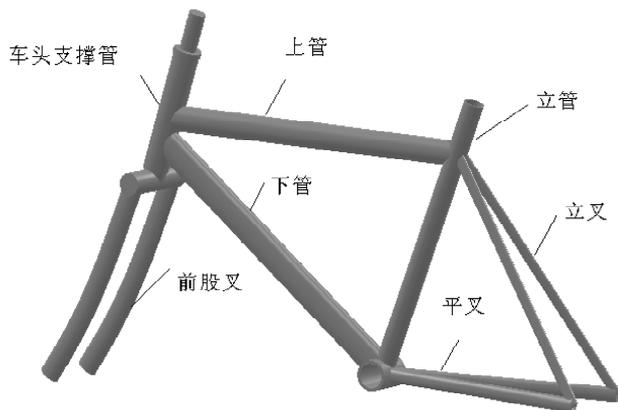


图1 车架结构及各部位名称

法，与 ANSYS 的部分命令效果类似。

在本文中应用了尺寸控制方法和分网法控制。尺寸控制方法选择 Elem Sizing 选项，应用单元尺寸大小为 10 mm，分网控制选择 Auto Sweep if possible 选项对自行车架进行网格划分，共划分成 46 995 个节点、22 959 个单元^[3]。

1.3 载荷与边界的约束

自行车是一个比较复杂的开放性系统，在实际使用过程中道路和行驶状况差异性大，其边界条件非常复杂，计算施加载荷时要作等效的简化。本文将模拟自行车在行车状态下，施加垂直向下 600 N 的力于坐垫支撑上，在脚踏上施加垂直向下 200 N 的力。

用有限元法进行计算时，必须处理好计算结构的边界条件。边界上的位移（或力）一般都是未知的。为了简化计算，常常对支撑条件作一些假设，边界上支撑条件简化恰当与否，对有限元计算的结果影响较大。另一方面，在形成有限元法计算格式时，需要引进已知的位移约束条件，这是为了使生成的刚度矩阵正定。根据自行车的实际支撑情况，本文将对车架的前、后端轮轴处位移 UX、UY 进行零约束，以模拟实际的边界条件^[4]。

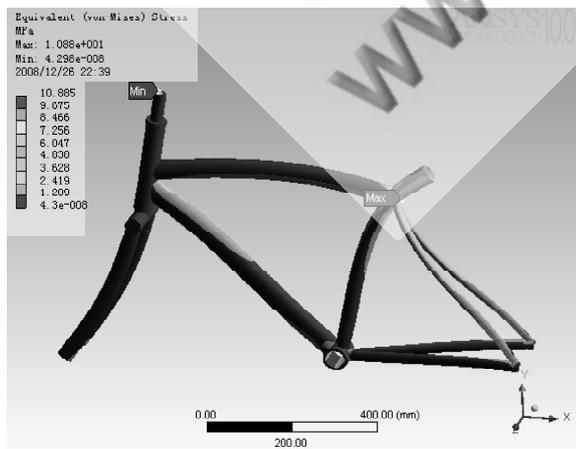


图2 车架应力分布情况

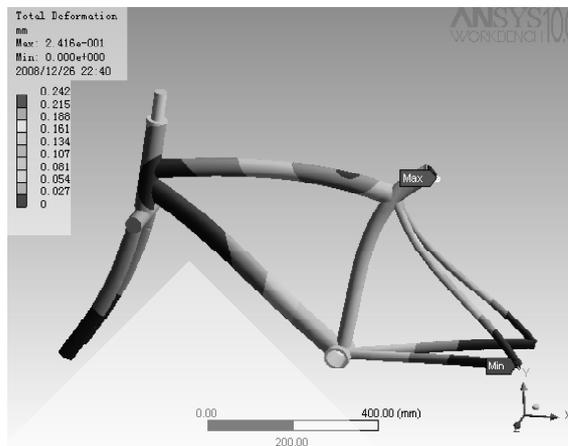


图3 车架的位移变形

2 车架的强度、刚度分析

如图 2 所示，弯曲应力主要集中在立叉、平叉和立管处（1.2Mpa~10.88Mpa）。最大应力发生在立管与立叉连接处，为 10.88 Mpa。车身骨架使用的材质为低合金钢，屈服极限为 360 Mpa，取安全系数为 1.5，许用应力为 240 Mpa，由此可见车身结构满足强度要求。如图 3 所示，车身最大变形出现在立管坐垫支撑处，其最大变形为 0.241 6 mm，由厂方提供的数据要求，自行车车架前后轮处永久变形不得大于 1.5 mm，其他部位不得大于 5 mm，可见其变形量微小，车身骨架刚度满足要求。

3 车架的模态分析

自行车车架可在无阻尼自由振动状态下计算其前三阶固有频率和振型。前两阶车架固有频率振型如图 4、图 5 所示。

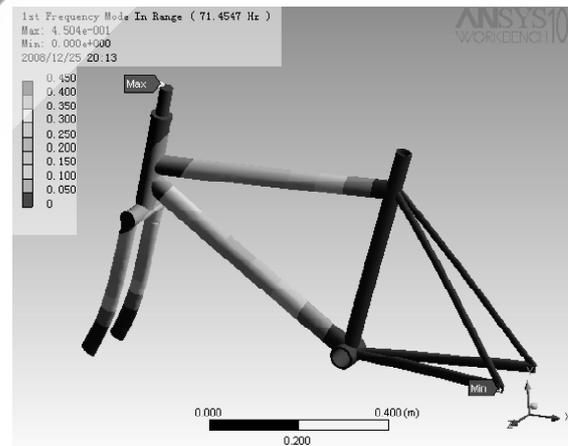


图4 车架一阶模态频率

由计算可知，第一阶模态频率为 71.454 7 Hz，其主要变形发生在前叉和车体三角架处，第二阶模态频率为 155.009 Hz，其主要为后梁的弯曲变形，第三阶模态频率为 202.145 Hz，其主要为后梁的扭转变形。

通过对该自行车车架的模态分析可知，该车架前几

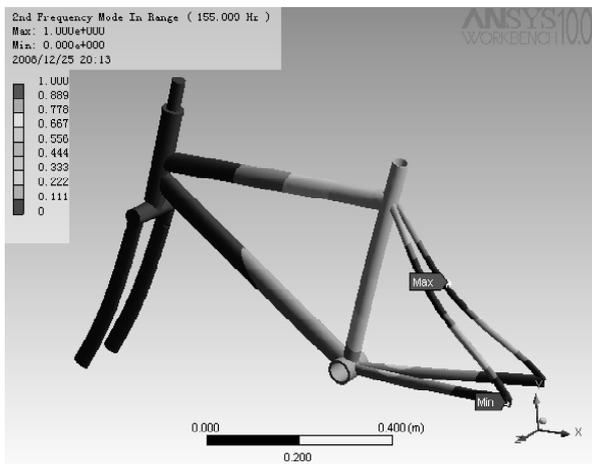


图5 车架二阶模态频率

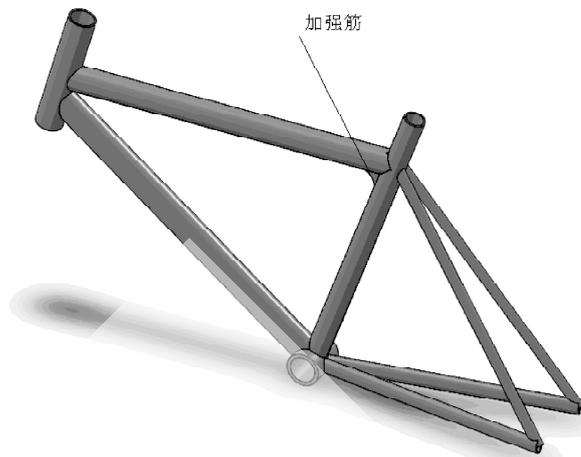


图7 改进后车架图

阶模态频率相互间都有较大的间隔,发生外界干扰时,外界干扰频率只能同某一频率接近,而不可能同时与几阶频率接近,不易发生振动的叠加,这对车架的强度很有好处。该车架的振动主要是由路面不平引起的,而路面不平与路面的功率谱有明显的关系。典型路面实测功率谱密度的频率成为主要在 $\Omega = 0.1 \sim 2$ 次/m的范围内,而自行车的平均车速为 $V=10\text{km/h}$,则输入的时间频率 f (次/s)为: $f=V\Omega = 0.25 \sim 5.5\text{Hz}$,自行车的一阶模态频率为71.4547 Hz。因而,不会由路面激励引起车架的共振。

4 结构改进

本文通过 ANSYS Workbench 中 Shape Finder 模块对形状进行优化分析,Shape Finder 是一个优化问题,其结构能量在减少结构体积的基础上最小化。也就是 Shape Finder 尽量得到关于体积比率最好的刚度尽可能地寻找对整体结构的强度不产生负面影响的去除的面积。本文指定缩减的目标量为 50%。如图 6 所示,白色代表可去除的材料,灰色的是边缘材质。

根据分析得到的数据,对车架提出了如下改进方案:

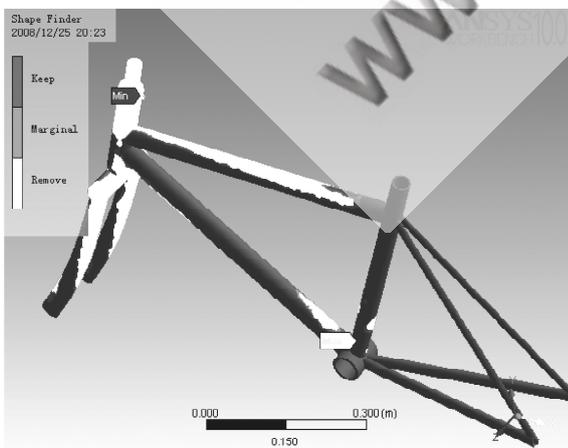


图6 车架优化图

(1) 对局部进行加强——上管与立管连接处添加 10 mm 厚的圆弧状加强筋(如图 7 所示)。

(2) 对上梁及前股叉部位改变其结构尺寸——将上管、车头支撑管及前股叉外径尺寸缩小 5 mm。

5 改进前后的数据对比

改进前车身最大位移为 0.241 6 mm,发生在立管坐垫支撑处,改进后车架的最大位移为 0.218 4 mm,同样发生在立管坐垫支撑处;改进前车架各个梁上的最大应力为 10.88 Mpa,发生在立管与立叉连接处,改进后最大应力为 9 Mpa,发生在同样的梁上;改进前的第一阶模态频率为 71.454 7 Hz,改进后的第一阶模态频率为 81.345 2 Hz;改进前的质量为 13.55 kg,改进后的质量为 9.214 kg,根据对比可知,改进后的强度、刚度、一阶模态频率均优于改进前。由此可见,改进后整体车架具有很高的安全系数。通过计算表明,改进后减少的质量占原来质量的 32%,验证了本改进方案的合理性。

本文用 ANSYS Workbench 对车架进行了有限元分析,验证了其可靠性,并利用对车架形状优化分析,得出了改进的方案,根据实际情况将车架进行了改进,改进后的车架与改进前的相比,其刚度和强度都有所增强,并且降低了原有车架的重量。

参考文献

- [1] 毛显红,温彤.基于有限元分析的摩托车车架优化设计[J].小型内燃机与摩托车,2007,37(5):35-37.
- [2] 熊运星.基于UG和ANSYS Workbench下的协同仿真技术及实现[J].浙江工商职业技术学院院报,2006,5(3):60-61.
- [3] 陈金玉,杨来侠.基于 ANSYS Workbench 手机外壳有限元网格划分研究[J].现代制造技术与装备,2008,34(1):58-60.
- [4] 王建中.摩托车车架的有限元分析[D].长春:吉林大学,2002:27-35.

(收稿日期:2008-12-27)