

基于有限元方法的汽车驱动桥壳分析

撰文 / 西华大学机械工程与自动化学院 吴超 廖敏
蚌埠学院机械与电子工程系 业红玲

驱动桥桥壳作为汽车的重要承载和传力部件，其强度和动态性能直接影响汽车运行的安全、平顺性和舒适性。本文运用有限元法研究了驱动桥壳在最大铅垂力工况下的静力分析，得出了驱动桥壳强度和变形符合要求；同时对驱动桥壳进行模态分析得出了驱动桥壳前六阶固有频率并给出了前四阶模态振型，分析结果表明桥壳结构合理。上述研究得出的结论为后续驱动桥壳的优化和实验提供了重要的参考依据。

作为汽车总成的重要组成部件，驱动桥壳支撑着汽车的质量，并将载荷传给车轮。汽车在行驶过程中由于载荷作用产生振动，驱动桥壳振动特性直接影响驱动桥本身的振动和整车行驶的平稳性。因此对驱动桥壳结构的研究很有必要。文中利用有限元法进行静力分析和模态分析，为后续的动力学响应分析提供了参考指导。

一、驱动桥壳有限元分析方法

以计算机和矩阵运算为基础的有限元法是对复杂工程问题或结构问题计算的近似的数值分析方法。驱动桥壳需要有很大的强度和刚度，驱动桥壳传统的经验设计方法是利用数学、力学等理论知识进行计算。这种方法计算量大且很复杂，很难模拟各种工况。根据汽车驱动桥壳的结构、各种受力和约束，应用有限元法模拟，可以计算出驱动桥系统的动态响应，结果可信且接近实际，能较真实地模拟出驱动桥动态使用过程。图 1 是汽车驱动桥壳有限元分析流程。

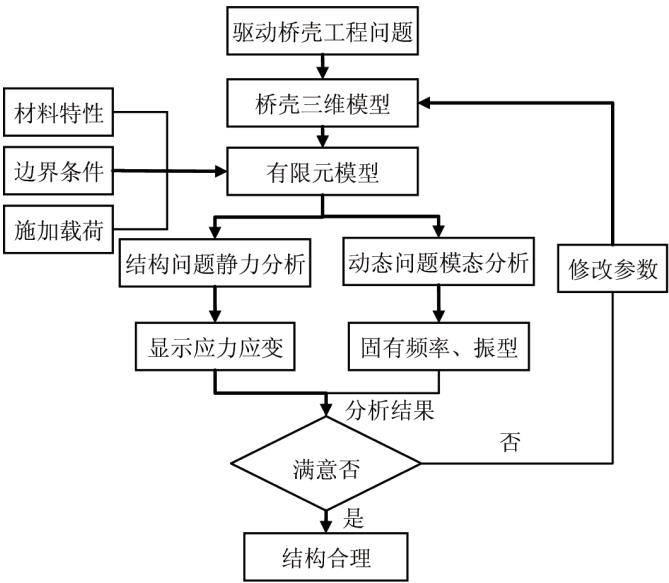


图 1 桥壳有限元分析流程图

首先要建立驱动桥壳的三维数值模型，结合桥壳的材料及属性转化为有限元分析模型，对有限元模型添加约束边界并施加载荷，然后计算求解，进行驱动桥壳的结构静力分析和动力学模态分析，通过有限元后处理分析结果可分别获得驱动桥壳的应力和变形、固有频率和振型，结合材料特性和使用要求进行驱动桥壳的强度和刚度判断，从而为改进和优化驱动桥壳设计提供可靠的数据支持。

二、驱动桥壳有限元模型建立

在 NX 软件中建立某型汽车驱动桥壳的三维模型，由于汽车驱动桥桥壳结构形状较为复杂，包含许多复杂曲面。在保证不影响求解精度的前提下，对几何模型进行一定的简化。对主要承载件，均保留其原结构形状，以反映其力学特性，对非承载件进行一定程度的简化或忽略，可以忽略不重要的小尺寸和小孔结构。然后将驱动桥壳输出为 Parasolid 数据格式，经 ANSYS 的 Parasolid 接口导入进行分析。本文划分网格时选用四面体 10 节点 Tet solid92 实体单元（四面体 10 节点单元具有较高的刚度及计算精度），赋予其单元材料为 16Mn，材料属性详细参数如表 1 所示。通过有限元网格划分得到 20745 个单元，41090 个节点。图 2 是划分网格的有限元分析模型。

表 1 桥壳的材料特性

材料名称	弹性模量 /GPa	泊松比	密度 / (kg/m³)	屈服应力 /MPa
16Mn	206	0.3	7850	343

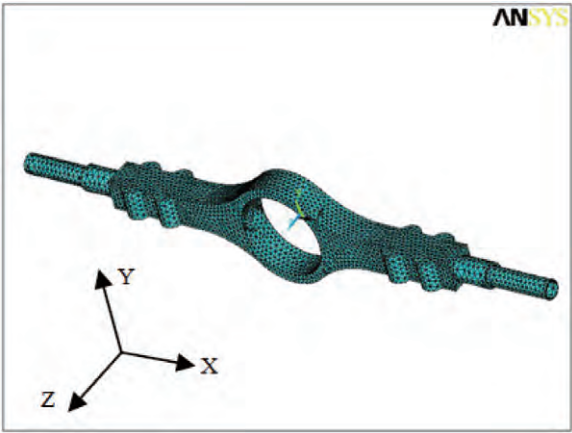


图 2 桥壳的有限元模型

三、驱动桥壳的有限元分析

1. 驱动桥壳的静力分析

驱动桥壳是汽车重要的承重件，在路面凹凸不平时，

将会受到路面冲击载荷的作用，这时铅垂力最大（即冲击载荷）。不考虑驱动桥壳所受的侧向力、切向力和弯矩的作用，取 2.5 倍的静载荷平均施加在两个板弹簧座上。桥壳的相关数据：驱动桥满载后轴荷为 3.2t，簧距 800mm，轮距 1240mm。

$$F_{\text{垂}} = F_{\text{静}} \times \delta = \frac{G \times \delta}{2} = \frac{mg \times \delta}{2}$$

式中， G 是汽车在静止情况下驱动桥给路面的载荷； δ 为动载荷系数，通常情况下取 2.5； g 为重力加速度，其值为 9.8m/s^2 ； m 为驱动桥满载轴荷。经计算得 $F_{\text{垂}} = 39200\text{N}$ 。

桥壳的载荷约束条件：桥壳轮距处两平面固定，板簧上施加铅垂力，具体条件如表 2 所示，载荷约束方式如图 3 所示，求解后得到桥壳的等效位移云图和应力云图，如图 4 和图 5 所示。

表 2 桥壳载荷约束条件

加载条件	垂向力 $F_{\text{垂}}$ 施加在板弹簧上的节点上，大小为 39200N
约束条件	约束桥壳一端轮距处平面 X （轴向）、 Y 、 Z 方向的平动，另一端轮距处平面 Y 、 Z 方向的平动

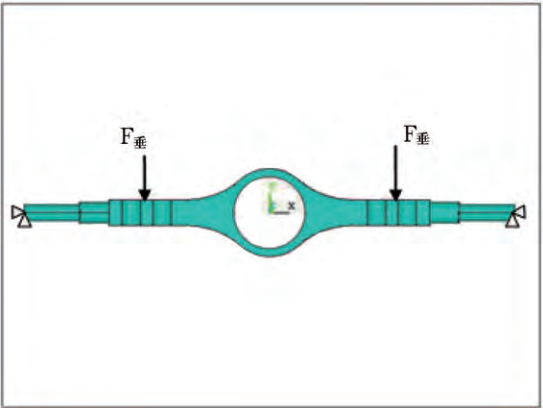


图 3 冲击载荷条件下的载荷约束

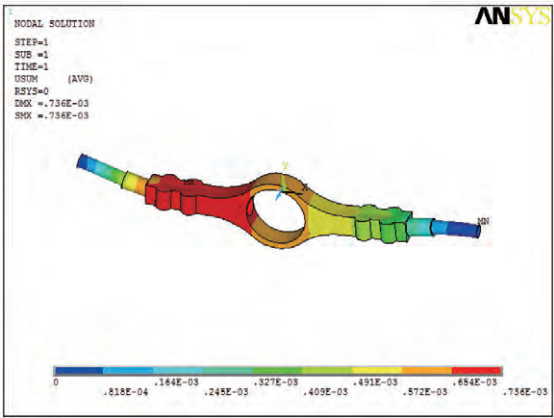


图 4 冲击载荷条件下的的位移云图

(1) 变形分析。

从图4位移云图可知桥壳在冲击载荷作用下最大变形发生在桥壳的中央处,其最大位为0.736mm。根据国家标准,每米轮距桥壳最大变形量不超过1.5mm,承受2.5倍满载轴荷时,桥壳不能出现断裂和塑性变形。桥壳的每米变形 $0.736/1.240 < 1.5$ 符合国家要求。

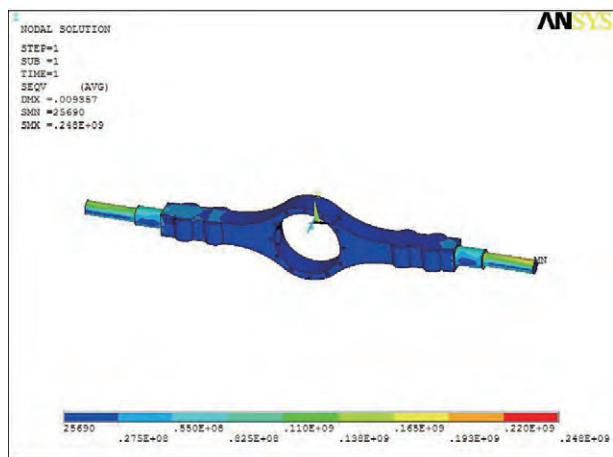


图5 冲击载荷条件下的应力云图

(2) 应力分析。

从图5应力云图可知在冲击载荷作用下其最大应力值为248MPa,发生在桥壳两端附近,大部分部位应力值在27MPa ~ 82MPa之间。其值小于桥壳材料的许用应力343MPa,桥壳的强度符合要求。

根据以上结论可知,该桥壳在冲击载荷作用下的强度和变形均符合要求。

2. 驱动桥壳的模态分析

一般多自由度运动学微分方程为:

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = F(t)$$

式中, M 、 C 、 K 为系统的质量、阻尼和刚度矩阵; $\ddot{X}$ 、 $\dot{X}$ 、 X 为系统的加速度、速度和位移; $F(t)$ 为外激励向量。

经傅立叶变换可得无阻尼模态分析求解的基本方程为:

$$[K]\{\Phi_i\} = \omega_i^2[M]\{\Phi_i\}$$

式中, $[K]$ 为刚度矩阵; $\{\Phi_i\}$ 为第*i*阶模态振型向量; ω_i 为第*i*阶模态固有频率; $[M]$ 为质量矩阵。

模态分析是研究振动的主要手段。模态分析的主要目的是为了识别出系统的模态参数,为结构系统的振动特性分析,振动故障诊断及预报以及结构动力特性优化设计提供依据。驱动桥壳模态分析可以识别出其结构的固有频率以及固有振型,不仅对于防止汽车发生共振等情况具有

指导作用,而且模态动态性能也是驱动桥壳结构动力响应分析的基础。

ANSYS软件模态提取方法有Block Lanczos(分块索斯法)、Subspace(子空间法)、Reduced(缩减法)和Unsymmetrical Method(非对称法)等6种。本文使用ANSYS模态分析方法中的Block Lanczos法模态提取法。Block Lanczos法采用了稀疏矩阵求解法,故其收敛速度更快,求解效率更高。在ANSYS软件中计算得到的前6阶模态下的固有频率值(表3)。同时图6~图9给出了对应于前4阶模态固有频率的振型。

由于结构的振动可以表达为各阶固有振型的线性组合,其中低阶自振频率所引起的共振往往引起结构较大的应变

表3 前6阶固有频率

阶次	1	2	3	4	5	6
计算的 结果/Hz	85.67	97.21	235.35	318.81	351.19	510.08

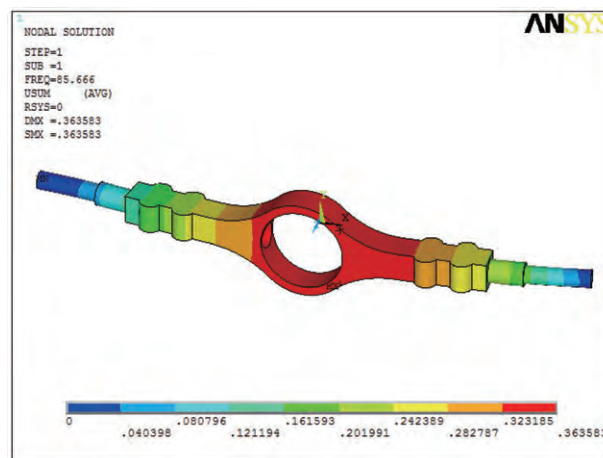


图6 第一阶Z轴一阶弯曲振型

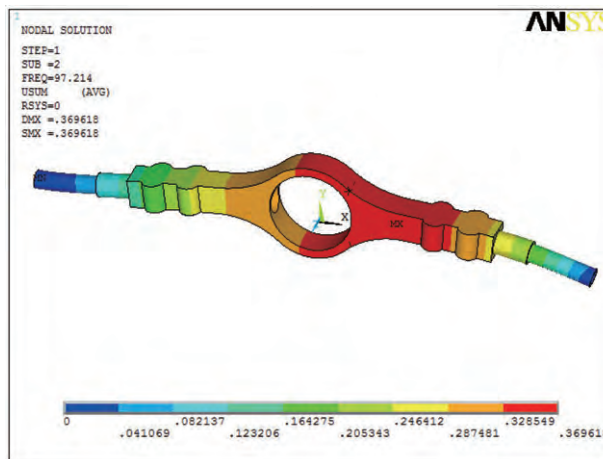


图7 第二阶Y轴一阶弯曲振型

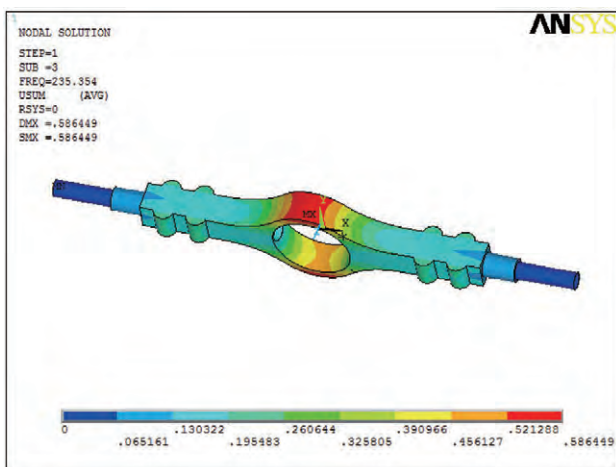


图8 第三阶X轴扭转振型

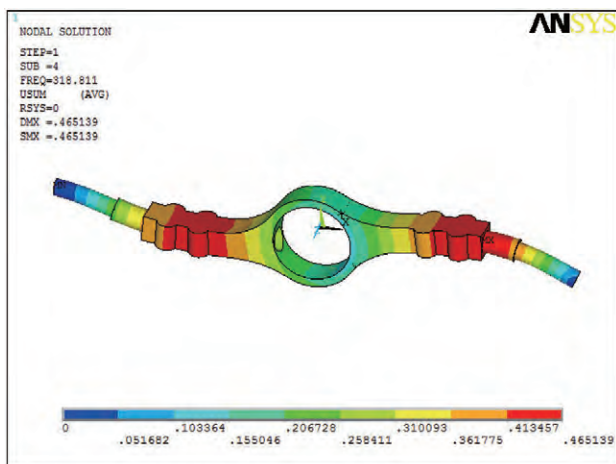


图9 第四阶Y轴二阶弯曲振型

和应力，高阶的影响则很小，因此低阶振型决定了结构的动态特性，从振型显示结果中更容易看出各阶振动的方向和相对幅值大小。

具有代表性的第二和第四阶振型。桥壳第二阶振型表现为整体沿Y轴的一阶垂向弯曲，第四阶振型表现为整体沿Y轴的二阶垂向弯曲，这种振动方式与汽车行驶轮胎上下颠簸一致，在凹凸不平地面时容易引起共振发生壳体破坏。

桥壳第一阶振型表现为整体沿Z轴的纵向弯曲，壳体的中部腔体振动明显，加剧差速器齿轮啮合磨损。

桥壳第三阶振型表现为整体沿X轴的扭转，将会减弱传动轴刚度，影响传递的扭矩。

从整体的模态分析结果可知桥壳的各阶固有频率较为分散，相邻阶次不会同时引起共振。汽车在不平的路面行驶，汽车振动系统承受路面作用的激励多属于1Hz ~ 50Hz垂直振动。驱动桥壳的第一阶固有频率大于激励频率，桥壳

不会因共振而使结构破坏。

四、结语

通过运用CAD/CAE软件对汽车驱动桥壳进行分析，可以降低开发成本，减少实验次数，具有实际意义。本文对驱动桥壳进行静力分析，经仿真得到结果为结构合理性验证提供了有力的条件。由模态分析可知，桥壳的各阶模态大于路面的激励频率，不会产生共振，同时为以后驱动桥壳的振动试验和优化做了一定的基础。IM

更多创意尽在
CAD杂志...

联系电话：010-68993878/79/80
分机号码：255 263 268
投稿邮箱：cadcam@idnovo.com.cn
地址：北京市西城区百万庄大街22号（100037）