

基于 ANSYS Workbench 的高速轴瞬态动力学分析

王 鹏^{1,2},张柱银¹,夏建生²,许 宁²

(1. 湖南工业大学 机械工程学院,湖南 株洲 412700;
2. 盐城工学院 机械工程学院,江苏 盐城 224051)

摘要:以汽车高速轴为研究对象,基于 Solidworks 软件,对高速轴建立三维实体模型,并将模型无缝导入 ANSYS Workbench 13.0;基于 ANSYS Workbench 13.0 对高速轴的材料及属性进行定义,对高速轴进行网格划分以建立有限元模型,并添加与实际工况相同的载荷与约束;借助 ANSYS Workbench 13.0 对高速轴在汽车加速瞬间的动力学特性进行数值模拟分析,获得高速轴在变载荷下的总变形分布云图、应力分布云图和应变分布云图;对有限元模拟结果进行分析可以看出高速轴的轴肩在汽车加速瞬间的总变形和应力变化很大。

关键词:高速轴;有限元;瞬态动力学;模拟仿真

中图分类号:TP391.77 文献标识码:A 文章编号:1671-5322(2017)03-0022-05

近年来,随着轿车的普及,汽车安全问题越来越受到人们的重视。汽车的主要换速装置减速器是汽车的重要零部件之一,其质量对汽车性能与安全性的巨大影响也越来越受到人们的关注。高速轴作为减速器的关键部件,主要起降低发动机的输出转速、增大发动机输出扭矩的作用。高速轴瞬态动力学性能的好坏直接影响着减速器的传动精度和汽车运行的安全性,而汽车的实际行驶环境,发动机输出转速与扭矩的频繁变化,发动机与减速器的配合误差、阻尼以及减速器内部齿轮轴配合的相互切换等众多因素对高速轴的瞬态动力学特性都有影响,因此,对高速轴实际工况下的瞬态动力学特性进行准确的模拟难度较大。本文基于 3D 建模软件 SolidWorks 对高速轴的 3D 实体进行建模,并将 3D 实体模型导入有限元分析软件 ANSYS Workbench,借助 ANSYS Workbench 分析软件对高速轴在汽车加速瞬间的动力学特性进行数值分析。

1 瞬态动力学分析理论

瞬态动力学分析又称为时间—历程分析,主

要用于分析零件在动态载荷作用下的力学性能^[1]。瞬态动力学分析与静力学分析的不同之处在于瞬态动力学分析综合考虑了随时间变化的载荷、惯性以及阻尼等的影响^[2]。因此,运用瞬态动力学分析时只要添加适当的约束条件,就可以在在一定程度上模拟零件在实际工况条件下的力学性能,从而得出零件各部分的应力状态、应变状态以及位移状态云图。

瞬态动力学分析理论模型如下:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F(t)\} \quad (1)$$

式中:[M]为质量矩阵;[C]为阻尼矩阵;[K]为刚度矩阵; $\{\ddot{x}\}$ 为加速度向量; $\{\dot{x}\}$ 为速度向量; $\{x\}$ 为位移向量; $\{F(t)\}$ 为变载荷向量。

由瞬态动力学的理论模型可以看出,瞬态动力学分析与静力学分析的不同之处在于,在给定时间 t 内,动力学模型同时考虑了惯性力 $[M]\{\ddot{x}\}$ 以及阻尼力 $[C]\{\dot{x}\}$ 对零件力学性能的影响^[3]。

2 高速轴数学模型的建立

高速轴由于各个部位承受载荷不同,通常情况下不是一根光轴,而是设计成阶梯轴的形式。

收稿日期:2017-02-17

基金项目:国家自然科学基金项目青年基金(2015GA690042);江苏省生态建材与环保装备协同创新中心(2015GA690042);国家星火计划(2015GA690042);江苏省政策引导类计划项目(SBY2016020382)

作者简介:王鹏(1992—),男,河南周口人,硕士生,主要研究方向为智能优化设计。

汽车减速器中的高速轴主要起到降低发动机的输出转速、增大发动机输出扭矩的作用。根据某汽车减速器中高速轴的参数,利用 Solidworks 软件对该高速轴建立三维模型;由于软件 Solidworks 与 ANSYS Workbench 之间具有完美兼容性,在 Solidworks 中建立的高速轴三维模型无需更改格式即可直接导入 ANSYS Workbench,且模型尺寸在 ANSYS Workbench 中不会发生任何变化。由于高速轴材料为结构钢,在 ANSYS Workbench 中系统默认材料同样是结构钢,因此高速轴的材料属性无需进行修改。导入 ANSYS Workbench 中的三维模型如图 1 所示。

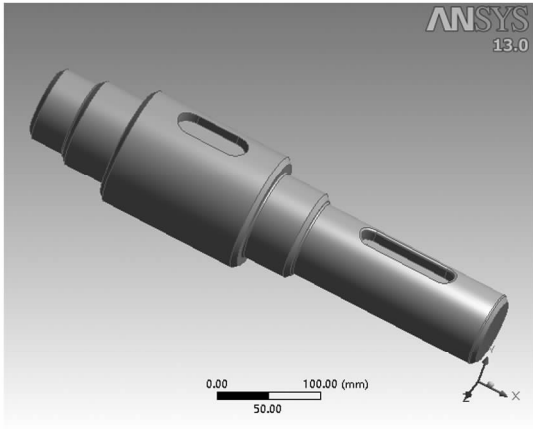


图 1 高速轴三维模型

Fig.1 3D model of high speed shaft

根据有限元法基本原理,对高速轴进行网格划分以建立有限元模型。为了得到更加精确的数值仿真结果,首先选用 10 节点四面体网格单元对模型整体采用自动划分功能进行网格划分,设置网格尺寸为 2 mm;再对高速轴轴肩等部位进行手动划分。划分完成后整个高速轴模型共有 21 662 个单元、35 167 个节点。有限元模型如图 2 所示。

3 边界条件加载及结果分析

考虑到高速轴的实际工作环境,为了保证模拟仿真结果的准确性,在高速轴有限元分析模型添加载荷和约束的过程中,高速轴两端依次添加限制 X 轴、Y 轴、Z 轴 3 个方向位移以及绕 Y 轴、Z 轴旋转这 5 个自由度的约束。并同时在高速轴开有键槽的两段轴上分别施加 2 个大小相等方向相反且随时间变化的扭矩,时间为 5 s,载荷变化情况如表 1 和图 3 所示(由于两段轴上施加载荷大

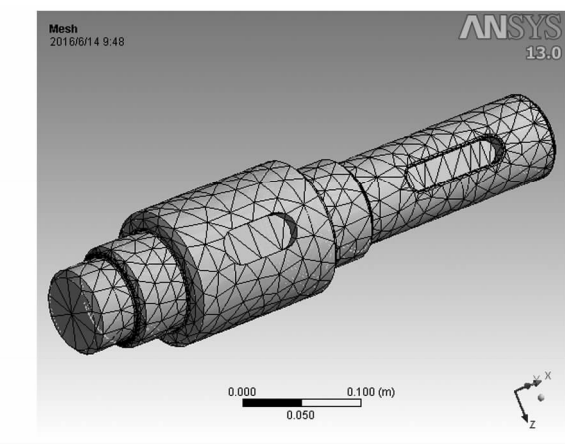


图 2 高速轴网格划分结果

Fig.2 Meshing results of high speed shafts

小相等方向相反,故表 1 和图 3 中只给出一段轴上的载荷变化情况)。

表 1 载荷变化					
Table 1 Load variation					
序号	工作步	时间/s	X/(N·m)	Y/(N·m)	Z/(N·m)
1	1	0	0	0	0
2	1	1	-100	0	0
3	2	2	-50	0	0
4	3	3	50	0	0
5	4	4	100	0	0
6	5	5	150	0	0

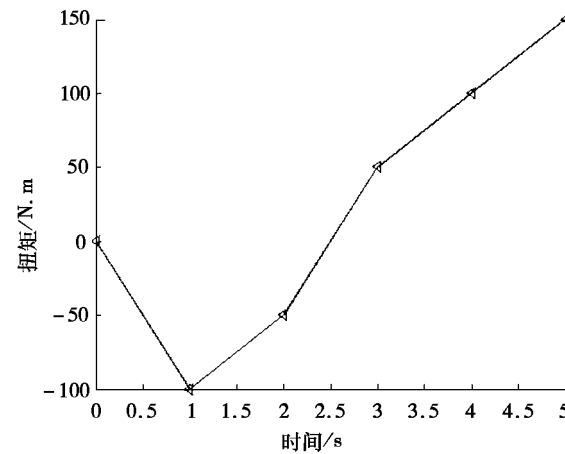


图 3 载荷变化曲线图

Fig.3 Curve graph of load variation

对高速轴设置约束与载荷后,运用 ANSYS Workbench 软件进行瞬态动力学计算,得出高速轴在仿真时间内 X 轴、Y 轴、Z 轴的等效位移云图及其位移变化曲线,总变形分布云图及其总变形

变化曲线,等效应力云图及其等效应力变化图如图 4 ~ 图 13 所示。

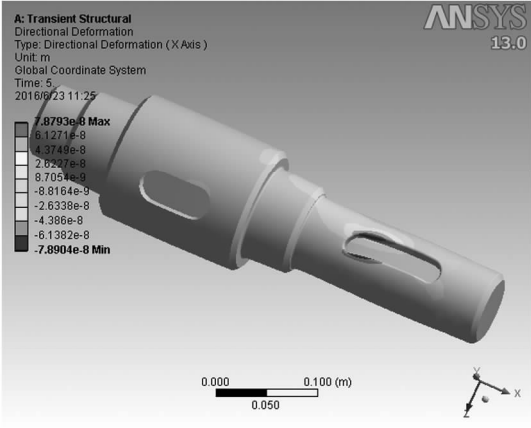


图 4 X 方向的等效位移云图
Fig.4 Equivalent displacement nephogram in X direction

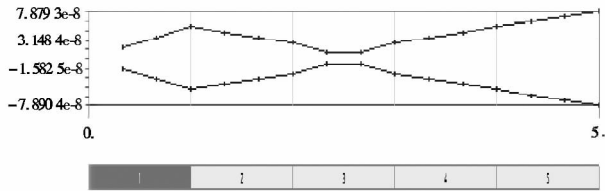


图 5 X 方向的位移变化曲线
Fig.5 Displacement curve in X direction

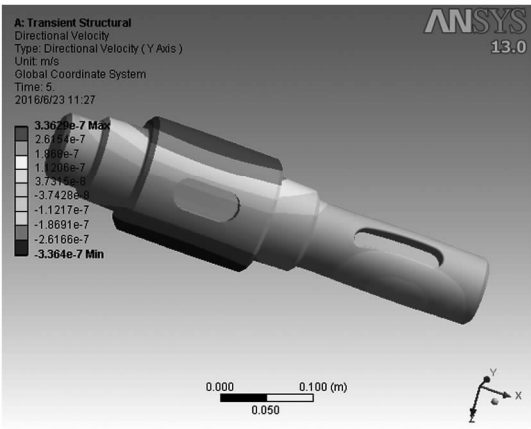


图 6 Y 方向的等效位移云图
Fig.6 Equivalent displacement nephogram in Y direction

由图 5X 方向的位移变化曲线可知,在第 6 s 初高速轴在 X 方向上的变形量最大;由图 7Y 方向的位移变化曲线可知,在第 2 s 内 Y 方向上高速轴的变形达到最大;由图 9Z 方向的位移变化曲线可知,在第 6 s 初高速轴 Z 方向的变化达到

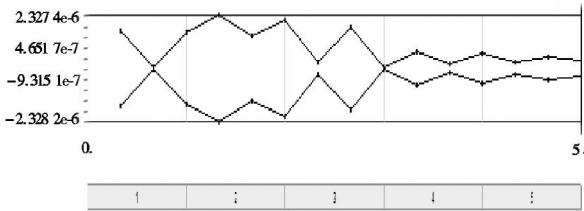


图 7 Y 方向的位移变化曲线
Fig.7 Displacement curve in Y direction

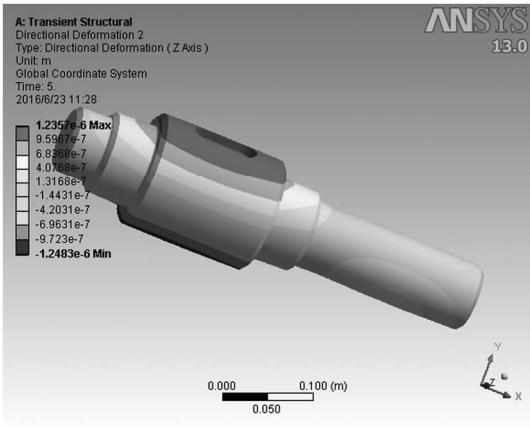


图 8 Z 方向的等效位移云图
Fig.8 Equivalent displacement nephogram in Z direction

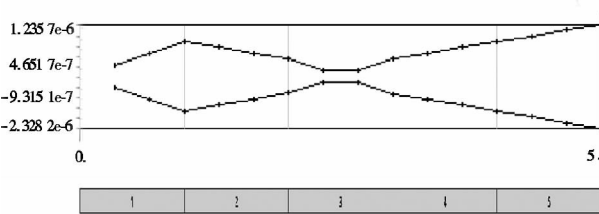


图 9 Z 方向的位移变化曲线
Fig.9 Displacement curve in Z direction

最大;由图 11 总变形变化曲线可知,在第 6 s 初高速轴的变形量达到最大;由图 13 等效应力变化图可知,在第 6 s 初高速轴的等效应力最大。

4 结论

基于 3D 建模软件 Solidworks,建立汽车减速器高速轴的 3D 实体模型,将其导入 ANSYS Workbench 后,再对其进行网格划分以建立有限元模型;引用 ANSYS 的动力学仿真分析模块赋予高速轴在 5 s 内阶段性连续变化的扭矩,再对施加了载荷与约束的高速轴有限元模型进行瞬态动力学数值模拟分析,得出阶段线性变载荷下高速

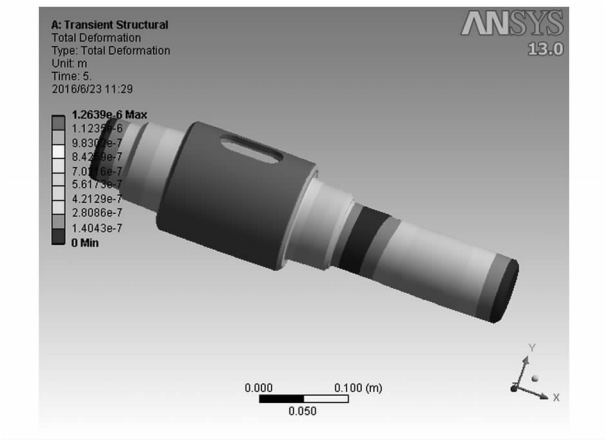


图 10 高速轴总变形分布云图

Fig. 10 The total deformation distribution nephogram of high speed shaft

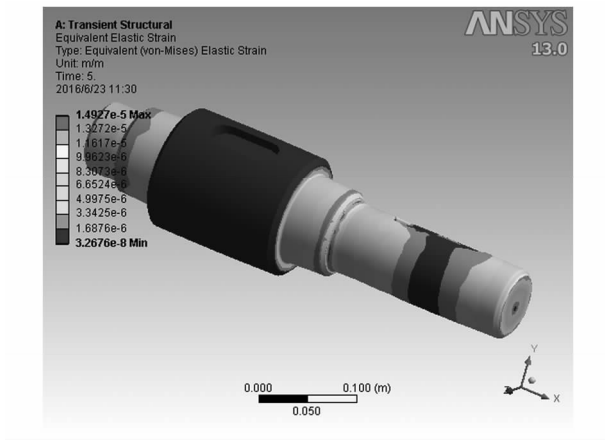


图 12 高速轴的等效应力云图

Fig. 12 Equivalent stress nephogram of high speed shaft

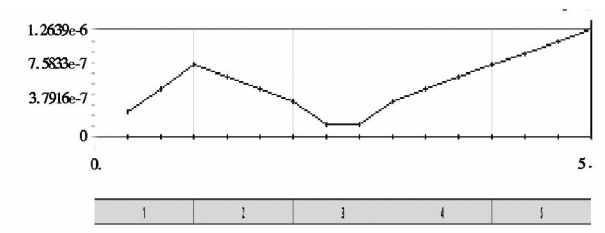


图 11 高速轴总变形变化曲线

Fig. 11 Total deformation curve of high speed shaft

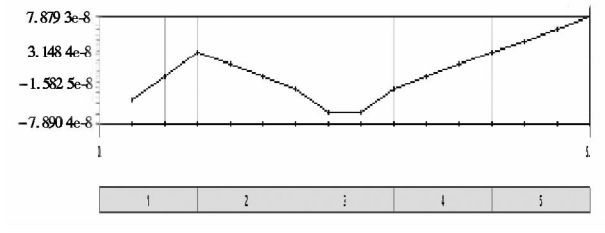


图 13 高速轴的等效应力变化图

Fig. 13 Equivalent stress change diagram of high speed shaft

轴的应力分布云图、应变分布云图以及位移分布云图;分析数值模拟结果可以看出高速轴在载荷变化瞬间,应力变化很大,其中轴肩部位应力尤其突出,在持续变化的载荷作用下有发生破坏的风险。

参考文献:

[1] 任爱华,龚青山,常治斌,等. 弧面分度凸轮机构瞬态动力学分析[J]. 机械设计与制造,2012(5):205-207.
[2] 起雪梅,张敬东. 基于 ANSYS Workbench 的汽车主轴瞬态动力学分析[J]. 机械,2014,41(11):41-43.
[3] 李福海,张宏文,李勇,等. 摘锭式采棉机凸轮机构的瞬态动力学分析[J]. 机械设计与制造,2013(4):128-130.