

# 基于 Workbench 的液压联轴器振动研究

胡 斌, 贾会星, 何 凯

(滁州职业技术学院 汽车工程系, 安徽 滁州 239000)

**摘要:** 液压联轴器在工作过程中通过内轴和外套的接触碰撞传递扭矩, 从而可能产生共振等现象。为此, 针对液压联轴器内轴与外套的碰撞进行振动研究。首先利用 UG 软件对某型号液压联轴器进行三维建模; 然后将其导入 Workbench 进行模态分析, 得到前 6 阶模态振型和固有频率; 最后基于模态叠加法下对液压联轴器的内轴和外套分别进行谐响应分析。结果表明: 液压联轴器内轴在低频率下出现共振, 而外套在高频率下出现共振。

**关键词:** 液压联轴器; 模态分析; 谐响应分析; 模态叠加法

**中图分类号:** TP273

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-5322(2019)02-0023-05

船舶、轧机以及大型化工机械等重型机械机器设备通常使用液压联轴器进行传动。液压联轴器通过控制注入油的压力, 能较大幅度地调整传递的扭矩值<sup>[1]</sup>。由于液压联轴器在传动过程中靠着内轴和外套的接触碰撞传递扭矩<sup>[2]</sup>, 在传递较大扭矩情况下液压联轴器会出现振动, 甚至可能会发生共振的现象。目前国内很多学者只针对液压联轴器的应力分析或者抗冲击方面进行研究, 并没有针对液压联轴器在高速环境下出现的振动问题进行研究。

本文对满足静力学条件下的液压联轴器进行振动分析。首先利用 UG 对液压联轴器进行三维建模, 如图 1; 将三维建模导入有限元软件 Workbench 后进行模态分析, 得到固有频率和振型图<sup>[3-4]</sup>; 从中找出变形量最大的两处位置分别位于液压联轴器的内轴和外套, 对内轴和外套进行有预应力的谐响应分析, 得到相应的响应关系、结构的危险频率及动态特性。

## 1 模态分析

通常液压联轴器是通过联接内套与传动轴之间过盈配合来传递扭矩的, 因此, 本文选取应力分布更均衡的实心轴液压联轴器, 将其三维模型导入 Workbench 后进行模态分析, 得出其自身转速

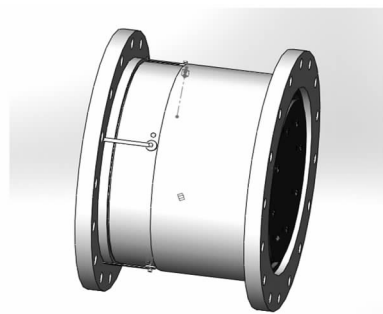


图 1 液压联轴器三维图

Fig. 1 Three-dimensional drawing of hydraulic coupling

对振动的影响。

### 1.1 前处理

已知液压联轴器内轴材料为 42CrMo、外套材料为 40Cr, 有限元前处理包括单元类型定义、材料属性选取、网格划分。经过 Workbench 网格处理, 外套被划分为 27 298 个节点、5 400 个单元, 内轴被划分为 25 815 节点、5 268 个单元, 划分网格后的联轴器几何模型如 2 所示。

模态分析理论公式如下<sup>[5]</sup>:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [K]\{U\} = \{0\} \quad (1)$$

式中:  $[M]$  为结构质量矩阵;  $[K]$  为结构刚度矩阵;  $\{\ddot{U}\}$  为节点加速度矢量;  $\{U\}$  为节点位移矢量。

收稿日期: 2018-11-12

基金项目: 安徽省教育厅科研基金项目(KJ2018A0836)

作者简介: 胡斌(1989—), 男, 江苏镇江人, 助教, 硕士, 主要研究方向为机械 CAD/CAE 优化。

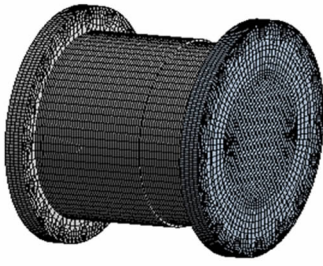


图 2 网格模型  
Fig. 2 Grid model

B: Modal (ANSYS)  
Modal  
Frequency: N/A  
2018/11/9 23:01

A Fixed Support  
B Fixed Support 2

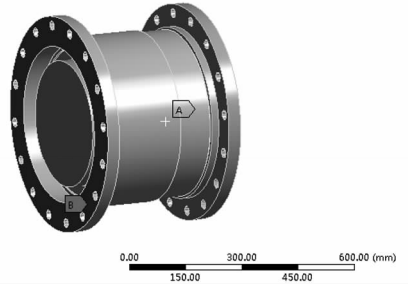


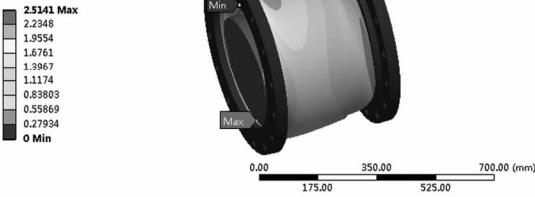
图 3 模态约束模型  
Fig. 3 Modal constraint model

由公式 1 结构无阻尼自由振动方程可知在理论求解模态分析中没有力,则液压联轴器在 Workbench 软件中的加载方式如图 3 所示,即 A 端和 B 端分别约束 X、Y、Z 方向的转动和移动。

### 1.2 模态分析结果

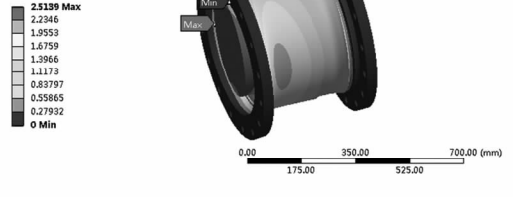
在 Workbench 中完成材料定义、网格划分、工况加载后,进行模态求解。模态算法有 7 种,对于该模型采用分块法可使其求解收敛速度更快。分块法求解该模型后得到各阶振型图,如图 4 所示。分块法同样可以用来求解特征值对称的大矩阵问题。

B: Modal (ANSYS)  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Frequency: 2155. Hz  
Unit: mm  
Time: 2155.  
2018/11/9 19:39



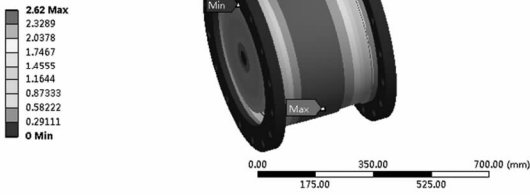
第 1 阶

B: Modal (ANSYS)  
Total Deformation 2  
Type: Total Deformation  
Frequency: 2155.1 Hz  
Unit: mm  
Time: 2155.1  
2018/11/9 19:40



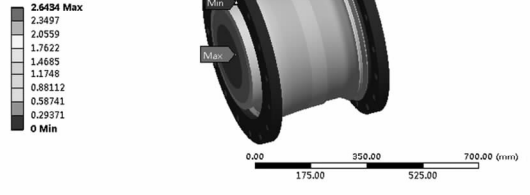
第 2 阶

B: Modal (ANSYS)  
Total Deformation 3  
Type: Total Deformation  
Frequency: 2966.2 Hz  
Unit: mm  
Time: 2966.2  
2018/11/9 19:41



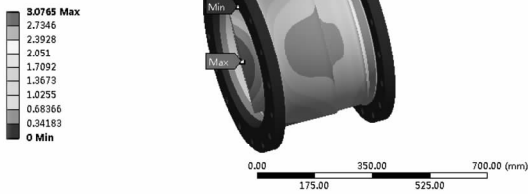
第 3 阶

B: Modal (ANSYS)  
Total Deformation 4  
Type: Total Deformation  
Frequency: 3818.8 Hz  
Unit: mm  
Time: 3818.8  
2018/11/9 19:41



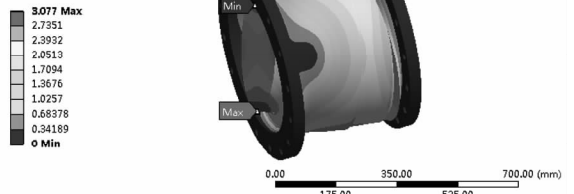
第 4 阶

B: Modal (ANSYS)  
Total Deformation 5  
Type: Total Deformation  
Frequency: 4253.2 Hz  
Unit: mm  
Time: 4253.2  
2018/11/9 19:42



第 5 阶

B: Modal (ANSYS)  
Total Deformation 6  
Type: Total Deformation  
Frequency: 4253.5 Hz  
Unit: mm  
Time: 4253.5  
2018/11/9 19:43



第 6 阶

图 4 模态分析振型图

Fig. 4 Mode diagram of modal analysis

根据模态分析结果绘制表 1。

表 1 模态分析结果  
Table 1 Modal analysis results

振型阶次	固有频率/Hz	振型描述	最大变形量/mm
1	2 155.0	沿 Z 轴方向	2.79
2	2 155.1	沿 Y 轴方向	2.38
3	2 966.2	沿 Z 轴方向	2.62
4	3 818.8	沿 X 轴方向	2.64
5	4 253.2	沿 X 轴方向	2.50
6	4 253.5	沿 X 轴方向	2.64

## 2 谐响应分析

液压联轴器在通过内轴、外套的碰撞接触传递扭矩过程中很容易出现共振、疲劳以及其他受迫振动引起的有害效果。谐响应分析通常采用 4 种方法即完全法、缩减法、模态叠加法和时程分析法<sup>[6]</sup>计算模型在稳态情况下的受迫振动,而不考虑瞬态振动。由表 1 模态分析的前 6 阶结果可知:1、2 两阶固有频率相差 0.1 Hz,2、3 阶固有频率相差 811.1 Hz,3、4 阶固有频率相差 852.6 Hz,4、5 阶固有频率相差 434.4 Hz,5、6 阶固有频率相差 0.3 Hz。由于两阶固有频率相差越小,越容易出现破坏现象<sup>[7]</sup>,因此对液压联轴器的谐响应分析主要集中在 1、2 和 5、6 阶固有频率之间。

### 2.1 内轴的谐响应分析

由 Workbench 软件单独显示的内轴模态振型图可以看出 1 到 5 阶振型变化中内轴固有频率和振型最大,由表 1 可知液压联轴器固有频率范围在 2 155~4 253.5 Hz,在谐响应分析中给定激振频率范围为 2 000~4 500 Hz 和 20 步的载荷步数,选取内轴的外表面作为响应面运用模态叠加法进行谐响应分析,得到内轴的应力—频率曲线、应变—频率曲线分别如图 5、图 6 所示。

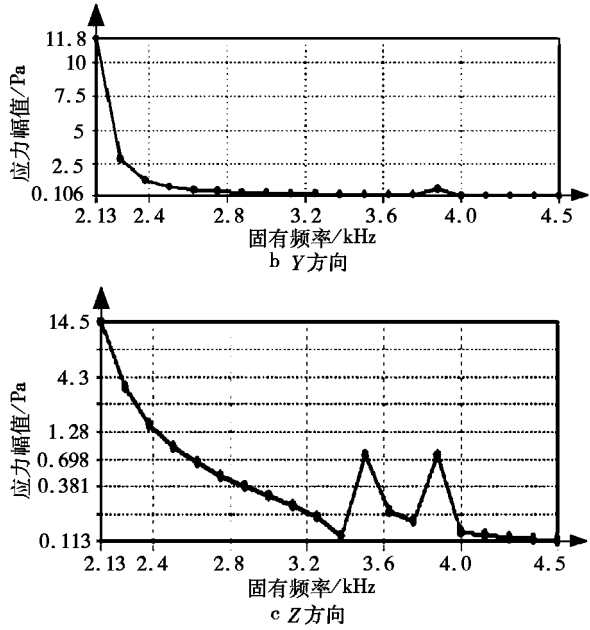


图 5 内轴应力—频率曲线图

Fig.5 Stress-frequency curve of the inner shaft

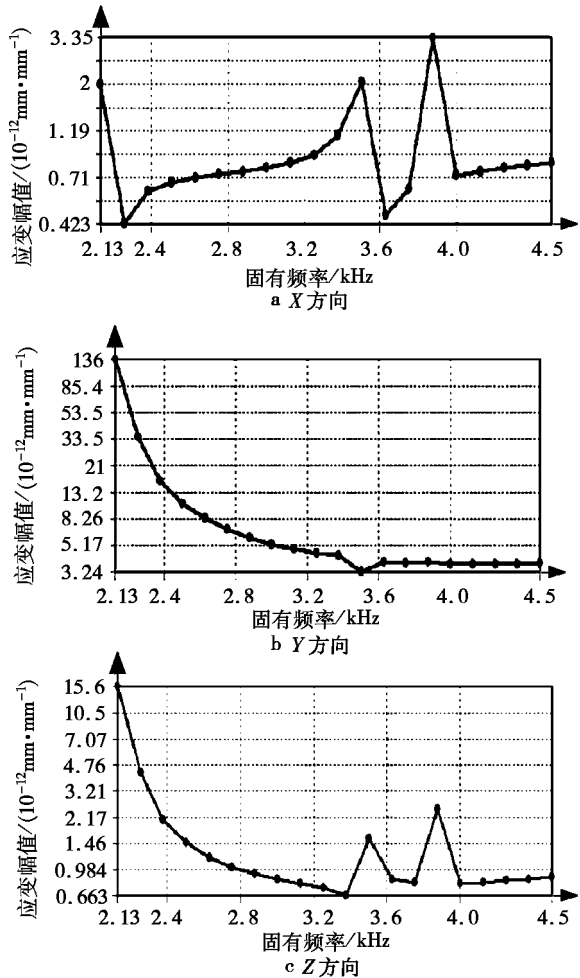
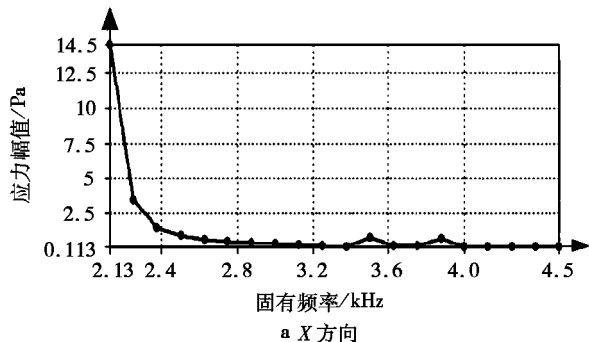


图 6 内轴应变—频率曲线图

Fig.6 Shows the strain-frequency curve of the inner shaft



从图 5 可以看出:内轴应力在 X、Y、Z 三个方向上的分量均在第 1 阶处于峰值,之后随着频率的增加而下降;三个分量在 3 500 ~ 4 000 Hz 时出现了小幅度的突变,但始终没有超过第 1 阶的峰值。因此,液压联轴器的内轴应力主要考虑低阶频率的影响。

图 6 中的应变在 X、Y、Z 三个方向上也出现了第 1 阶峰值,之后开始下降。但 X 方向上的应变在 3 200 ~ 3 600 Hz、3 600 ~ 4 000 Hz 之间出现了 2 次突变,且都大于初始时候的应变值;而 Z 方向的应变虽然也发生突变但是并没有超过初始的值。因此,液压联轴器的内轴应变在 X 方向上不仅要考虑低阶频率,也要考虑 3 200 ~ 3 600 Hz 和 3 600 ~ 4 000 Hz 高阶频率的影响;在 Y、Z 方向上的应变还是考虑低阶频率的影响。

液压联轴器内轴的谐响应分析表明低阶频率比高阶频率对系统振动变形的影响更大,但是对于 X 方向上的应变,不仅要考虑低阶频率,也要考虑高阶频率的影响。

### 2.2 外套的谐响应分析

由 Workbench 软件单独显示的液压联轴器外套的模式振型图可以看出,第 5 阶振型图中外套在高阶固有频率下出现最大变形,从而可能出现共振现象。现以外套为研究对象,按照内轴谐响应分析的设置方法,即激振频率为 2 000 ~ 4 500 Hz、载荷步为 20 步,选取液压联轴器外套的外表面为响应面进行外套的谐响应分析,得到外套的应力—频率曲线、应变—频率曲线分别如图 7、图 8 所示。

由图 7、图 8 可知,与内轴相似,外套在初始激振 2 000 Hz 时曲线从峰值开始下降,中间出现一些小的波动但是都没有超过峰值;当激振到达 4 500 Hz 时,曲线出现了比 2 000 Hz 高的峰值。因此,对于液压联轴器的外套来说,高阶频率是主要影响要素,虽然图 7 中 X 方向外套应力在 4 500 Hz 时没有到达峰值,但是也有向上的趋势。

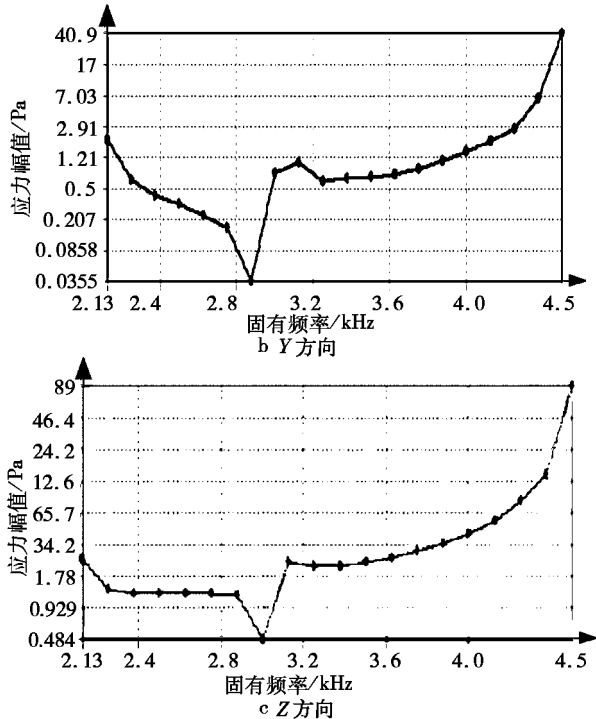


图 7 外套应力—频率曲线图

Fig. 7 Stress-frequency graph of the jacket

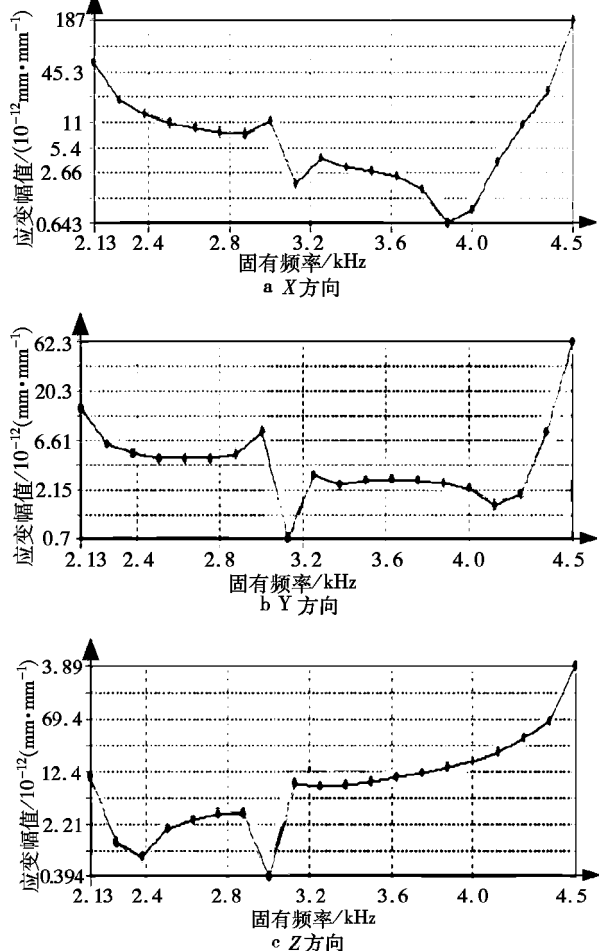
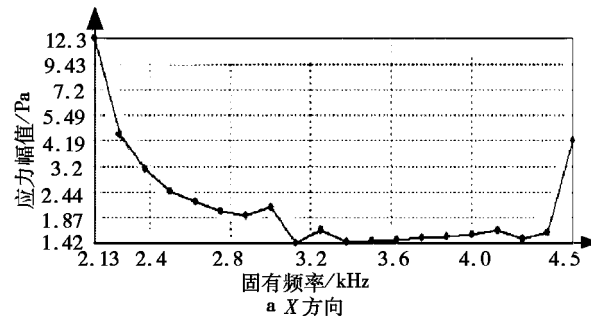


图 8 外套应变—频率曲线图

Fig. 8 Strain-frequency curve of the jacket



### 3 结论

通过对液压联轴器的模态与谐响应分析,可以得出如下结论:

(1)液压联轴器的内套主要受低阶频率影响,外套主要受高阶频率影响,因此液压联轴器的内套要尽力避开第1、2阶的低频,外套要避开第5、6阶的高频;但是对于内套来说,其X方向上的

应变要同时避开低频和高频。

(2)液压联轴器的模态和谐响应分析,表明了液压联轴器的动态特性,可以以此为理论依据,以固有频率为设计变量,对液压联轴器的结构进行优化。但是谐响应分析是以稳态情况下的受迫振动为前提,对液压联轴器的瞬态振动并不适用。因此对液压联轴器瞬态振动的影响需要另外研究。

### 参考文献:

- [1] 范丽丽,张信群. 高速液压联轴器应力分析[J]. 江西理工大学学报,2018,39(3):69-75.
- [2] 孙锋,周建辉,吴炜. 液压联轴器内、外套不同材料摩擦性能对比试验研究[J]. 中国水运:下半月,2018,18(2):102-103.
- [3] 冯立霞,项载毓,陈文勇. 双梁桥式起重机桥架有限元模态及谐响应研究[J]. 机械设计,2018,35(7):85-91.
- [4] 任正义,周元伟,黄同,等. 电磁轴承支承下轴系转子模态及振动响应分析[J]. 机械,2018,45(9):20-27.
- [5] 刘昌领,陈建义,李清平,等. 基于 ANSYS 的六缸压缩机曲轴模态分析及谐响应分析[J]. 流体机械,2012,40(8):17-21,26.
- [6] 常德功,景秀敏,高善豪,等. 汽车用新型等速万向联轴器驱动轴的振动分析[J]. 青岛科技大学学报(自然科学版),2017,38(4):95-101.
- [7] 王正浩,张杜娟. 基于 Ansys Workbench 的 CJ190Z4 机床主轴实验模型振动动力学分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版),2018,34(1):141-149.

## Research on Vibration of Hydraulic Coupling Based on Workbench

HU Bin, JIA Huixing, HE Kai

(Department of Automotive Engineering, Chuzhou Vocational And Technical College, Chuzhou Anhui 239000, China)

**Abstract:** Hydraulic coupling transfers torque through contact and collision between inner shaft and outer sleeve in working process, which may cause resonance and other phenomena. For this reason, the vibration research of the collision between the inner shaft and the outer sleeve of the hydraulic coupling is carried out. Firstly, UG software is used to build 3d model of a hydraulic coupling. Then it is imported into Workbench for modal analysis, and the first six modes and natural frequencies are obtained. Finally, based on the modal superposition method, the harmonic response analysis of the inner shaft and outer sleeve of the hydraulic coupling is carried out respectively. The results show that resonance occurs in the inner shaft of hydraulic coupling at low frequencies, while resonance occurs in the outer sleeve at high frequencies.

**Keywords:** hydraulic coupling; modal analysis; harmonic response analysis; modal superposition method

(责任编辑:李华云)