

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2019.01.018

矩形纺丝箱模态影响因素

吴超,董金善,曾子杨

(南京工业大学机械与动力工程学院,江苏南京 211816)

摘要:针对纺丝箱工作状态下存在的潜在振源,利用 ANSYS 软件建立矩形纺丝箱的整体有限元模型,运用模态分析理论,通过改变箱体支座的约束方式、内部压力和材料弹性模量等参数,分析比较了前 10 阶固有频率的变化规律。结果表明:在同一约束方式下,箱体的低阶频率比较相近;在不同的约束方式下,低阶频率差距明显,但随着频率阶数的升高频率逐渐趋于一致;内压作用下箱体的变形很小,导致对固有频率的影响很小;材料的弹性模量与结构的刚度有关,随着温度的升高固有频率会下降,且其对高阶固有频率的影响大于低阶固有频率。

关键词:矩形纺丝箱;模态分析;固有频率;约束;内压;ANSYS 软件

中图分类号:TQ340.5 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2019)01-0094-04

Research on Influence Factors of Mode of Rectangular Spinning Box

WU Chao, DONG Jinshan, ZENG Ziyang

(School of Mechanical and Power Engineering, NanjingTech University, Nanjing, 211816, China)

Abstract: In view of the potential vibration source in the working state of the spinning box, the finite element model of the rectangular spinning box was established by using ANSYS software. Through the modal analysis theory, the change rules of the first 10 order natural frequencies were analyzed and compared by changing the constraints of the box support, the internal pressure, the elastic modulus of the material and so on. The lower frequency frequency of the box was similar under the same constraint mode; under the different constraint modes, the low frequency frequency gap was obvious, but with the increase of frequency order the frequency gradually tended to be consistent; the deformation of the box was very small under the action of internal pressure, which led to the small influence on the natural frequency; the modulus of elasticity of the material was related to the stiffness of the structure, with the increase of temperature, the natural frequency decreased and its influence on the higher order natural frequency was greater than that of the lower order.

Keywords: rectangular spinning box; modal analysis; natural frequency; constraint; internal pressure; ANSYS

纺织产品与人们的生活息息相关。作为纺织设备中的纺丝箱在设计时应当考虑避免共振的发生,若容器所受的激振力频率与容器的自振频率相同,纺丝箱的振幅将无限大。

模态分析是研究结构动力特性的方法,可以用于研究存在振源下结构的振动响应,进而确定结构的安全性。毕玉华等^[1]对不同结构的离合器壳体进行模态分析,分析了对各阶模态的影响,达到了优化结构的目的。李志鑫等^[2]经过理论分析,得出边界条件会直接影响结构的有限元模态分析结果,再由试验和模拟

加以验证,得出了正确的边界条件。叶友东等^[3]利用 ANSYS 对直齿轮模态分析,得到前 15 阶频率与实测相似,总结了 6 种直齿轮常见齿轮。杜英军等^[4]利用 ANSYS 对储液罐模态分析,根据振型得出罐体薄弱区域位于上沿处。刘赛等^[5]比较了 3 种约束下斜齿轮固有频率,发现对低阶的影响很大。李春旺等^[6]研究应力和温度对发动机叶片模态的影响,发现应力对叶片有刚化效果,使得频率增加,而温度的影响刚好相反。上述学者在研究结构模态选用数值方法时常利用有限元软件 ANSYS,并与试验结果进行了比较,误差很小,

收稿日期:2018-07-31;修回日期:2018-11-05

第一作者简介:吴超(1994),男,江苏盐城人,硕士研究生,主要研究方向为过程装备现代设计方法。E-mail: wuchao122530304@163.com

说明了该软件在模态分析中的有效性。

熔融纺丝中,纺丝计量泵主要采用外啮合齿轮泵。齿轮泵在封闭空间中的啮合转动,将纺丝液从入口送往出口。封闭腔内高压熔体吸入和排除的方式类似升压或卸压,会导致计量泵的负荷增加,出现发热和振动等问题;熔体管道内受到流动熔体的冲击;每个计量泵都通过变速箱与永磁性变频同步电动机连接,电机的运转中,这些情况都会成为潜在的振源^[7-8],为了确保纺丝箱的安全生产,课题组对箱体结构进行模态分析,分析了前10阶的频率和振型,并讨论了约束方式、材料的弹性模量以及内压对纺丝箱模态的影响。

1 模态分析理论

模态分析是对结构进行动态特性研究的方法,根据分析方法的不同分为试验模态分析和计算模态分析。通过对不受外力且无阻尼的理想结构进行理论分析来理解模态分析的过程。

对于线性结构,通常可以简化为有 n 个自由度的振动系统,可以利用 n 个坐标来表述此结构模型。结构的平衡方程可以表示为

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

式中: $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ 、 $\{X\}$ 、 $\{F(t)\}$ 依次为质量矩阵、阻尼矩阵、刚度矩阵、位移向量、激励力向量。

不受外力且无阻尼的情况下的平衡方程为

$$[M]\{\ddot{X}\} + [K]\{X\} = 0。 (2)$$

令 $\{X\} = \{\varphi\} \sin(\omega t + \theta)$, $\{\varphi\}$ 为特征向量,代入到式(2)中可以求得结构振动的特征方程:

$$([K] - \omega^2[M])\{\varphi\} = 0。 (3)$$

模态分析的过程即为求解 ω^2 的特征值 ω_i 和其对应的特征向量 $\{\varphi_i\}$ 。

2 纺丝箱的模态分析

2.1 模型简化

常见的纺丝箱的结构有:上装或下装纺丝组件结构、上装或侧装计量泵结构、带拉撑或不带拉撑结构^[9]。文中研究的为带拉撑杆的纺丝箱,此结构中泵座和组件沿着箱体的长边布置,安装的纺丝组件直径较大,装有多组纺丝板。矩形纺丝箱的结构较为复杂,特别是箱体上分布着大量焊缝,为便于 ANSYS 的建模和计算,焊缝在计算中被认为全焊透,本次建模的过程不体现焊接区域的焊缝;同时对研究问题影响不大的零部件省略掉;对于进料口、联苯进口、联苯回流口、测量元件安装口等尺寸比较小的部位,在建立模型的时候可以忽略,并对一些细小的结构尺寸进行圆整和简化。纺丝箱结构简化模型如图1所示。

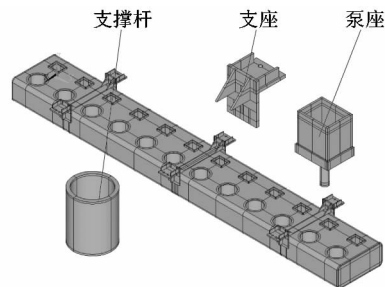


图1 纺丝箱结构简化模型

Figure 1 Simplified model of spinning box structure

纺丝箱各部件材料类型见表1所示。

表1 各结构的材料

Table 1 Materials of each structure

箱体	端盖	隔板	纺丝组件圈
Q345R	Q345R	Q345R	Q345R
支座	支撑杆	泵座	
Q345R	Q345R	06Cr18Ni11Ti	

2.2 模态分析

纺丝箱的主要材料为 Q345R 和奥氏体不锈钢 06Cr18Ni11Ti。Q345R 材料密度为 $7\,850\text{ kg/m}^3$, 弹性模量为 181 GPa , 泊松比为 0.3 ; 奥氏体不锈钢 06Cr18Ni11Ti 材料密度为 $8\,030\text{ kg/m}^3$, 弹性模量为 180.4 GPa , 泊松比 0.3 。通过 ANSYS 计算, 采用分块兰索斯法, 提取了整体结构前 10 阶的固有频率, 结果如表 2 所示。

表2 结构前10阶固有频率

Table 2 Natural frequencies of first 10-order structure

阶数	频率/Hz	阶数	频率/Hz
1	48.169	6	76.164
2	50.122	7	83.685
3	52.704	8	90.085
4	60.319	9	117.010
5	75.948	10	120.120

3 纺丝箱的模态研究

3.1 约束对纺丝箱的模态影响

本文中的纺丝箱比较长, 设置有 3 对支座, 用于模拟分析的约束情况如图 2 所示, 约束方式的分类如表 3 所示。

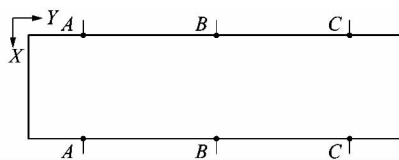


图2 纺丝箱支座简图

Figure 2 Diagram of Spinning box support

表 3 约束方式

Table 3 Constraint mode

方式	A	B	C
约束 1	$U_X = U_Z = 0$	$U_X = U_Y = U_Z = 0$	$U_X = U_Z = 0$
约束 2	$U_X = U_Y = U_Z = 0$	$U_X = U_Y = U_Z = 0$	$U_X = U_Y = U_Z = 0$
约束 3	$U_Z = 0$	$U_X = U_Y = U_Z = 0$	$U_Z = 0$
约束 4	$U_X = U_Y = U_Z = 0$	$U_X = U_Z = 0$	$U_X = U_Z = 0$
约束 5	$U_X = U_Y = U_Z = 0$	$U_X = U_Z = 0$	$U_Z = 0$
约束 6	$U_X = U_Y = U_Z = 0$	$U_Z = 0$	$U_Z = 0$

U_X, U_Y, U_Z 为对应方向上的固定约束,对 6 种约束情况下的箱体进行模态分析^[10],计算求得了前 10 阶的固有频率,如图 3 所示。

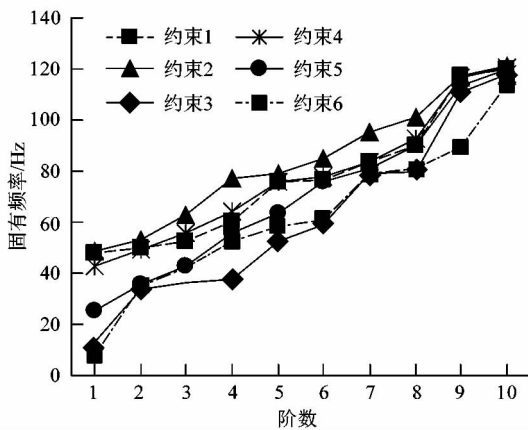


图 3 不同约束下结构的前 10 阶频率

Figure 3 First ten frequencies of structure under different constraints

由图 3 可知,随着阶数的增加,每一种约束类型对应的固有频率逐渐增加,在 10 阶时,6 种约束的固有频率基本趋向一致。在 1 阶时,6 种约束类型的固有频率最大为 48.8 Hz,最小为 8.04 Hz,约为 6 倍的关系,这说明了约束对于求解的基振频率的影响很大。工程上通常对基振频率最为重视,故在进行模态分析时需要准确施加边界约束条件。图中可知约束方式 2 的各阶固有频率均最大。整体上看,约束程度越强,箱体的固有频率越大。

3.2 温度对纺丝箱的模态影响

温度对于纺丝箱模态的影响体现在:①温度升高会改变纺丝箱材料的力学属性;②热应力导致结构变形即几何尺寸的改变^[11]。由于热应力对模态影响的原因是变形导致的,与内压原理一致,故此处不研究。仅从温度导致的弹性模量的变化来研究纺丝箱的模态。选择约束方式 1,在建模中直接定义不同温度对应的材料弹性模量来定义材料属性,而弹性模量可以

通过查阅 GB 150—2011 得到。不同弹性模量下的固有频率如图 4 所示。

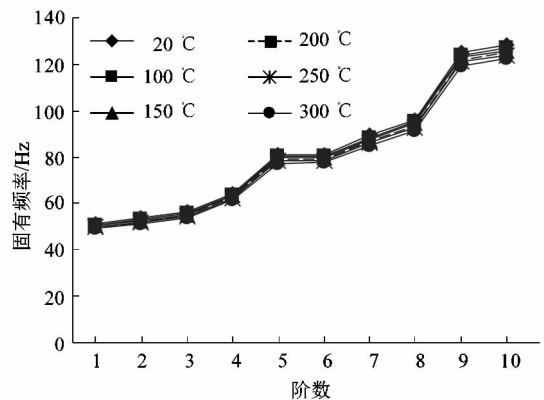


图 4 不同弹性模量下的固有频率

Figure 4 Natural vibration frequency under different elastic modulus

为了方便观察弹性模量对模态分析的影响,将不同弹性模量下的固有频率与表 2 中所对应阶次的频率相减差值作为竖轴,绘制图 5。

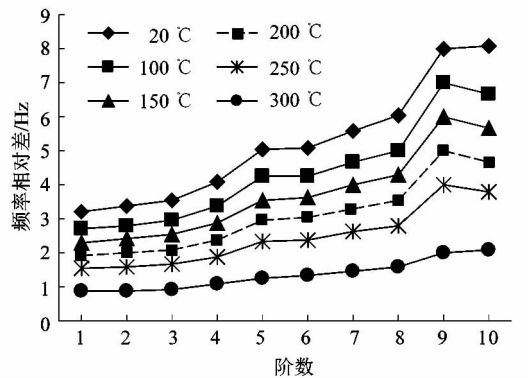


图 5 不同弹性模量下的固有频率差

Figure 5 Natural vibration frequency difference under different elastic modulus

由图 5 可知,随着模态阶数的增加,温度所致的材料的不同弹性模量对于频率的影响趋于明显。在 20 °C 时 10 阶频率差值最大,这是由于材料在 20 °C 和 300 °C 时差值比较大。在低阶频率范围内,频率的差值在 4 Hz 以内。

3.3 内压对纺丝箱的模态影响

通过对箱体施加不同的内压可以得知结构的变形大小,其中若要考虑内压对模态的影响,需要进行有预应力的模态分析。选择工作温度为 320 °C 的材料属性,选择约束方式 1,施加不同的内压,采用有预应力的模态分析,并提取前 10 阶频率。通过观察提取的固有频率可知,在不同的内压作用下,结构的各阶固有频

率变化非常小,为了便于观察,将提取的不同内压作用下的固有频率与表2中相对应的阶次的频率相减的差值作为竖轴,绘制图6。

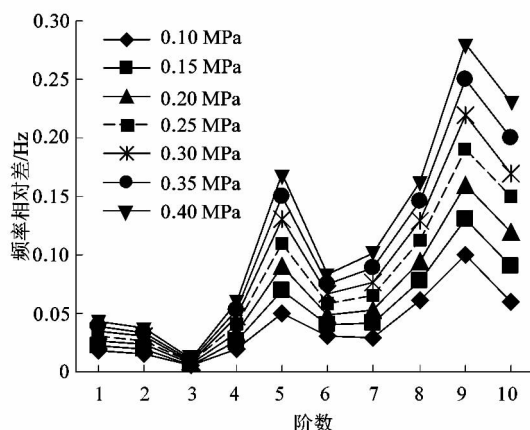


图6 不同内压下各频率差

Figure 6 Frequency difference under different internal pressures

由图6可知,整体上内压对于结构的固有频率影响很小,频率差值在0.25 Hz以内;图中频率差值都大于0,这是由于表2中的频率是在没有考虑预应力的情况下求得的,即可以认为内压使箱体的频率变大了,只是这种变化不明显。从图中竖向观察也可以发现,内压越大频率差越大,即内压大的箱体的固有频率略大于内压小的频率。

4 结语

1) 对纺丝箱进行了模态分析,比较了前10阶的频率和振型,纺丝箱的低阶频率比较接近,高阶的差异性较明显。

2) 通过比较不同约束情况下的模态分析结果,发现约束对于箱体的初始频率影响非常大,而对于高阶

的频率的影响逐渐减弱。

3) 通过分析材料不同温度下的模态,发现温度导致的材料弹性模量的改变会影响纺丝箱的模态,温度升高固有频率会降低,且这种影响在高阶更明显。利用有预应力的模态分析,研究了箱体变形对于模态的影响。发现由于箱体在内压作用下的变形很小,故对频率的影响也很小。

参考文献:

- [1] 毕玉华,申立中,杨永忠,等. 3100QB型柴油机离合器壳体模态的有限元分析[J]. 农业机械学报,2005,36(2):139.
- [2] 李志鑫,李小龙,陈学东,等. 有限元分析中边界条件对模态影响的研究[J]. 中国机械工程,2008,19(9):1086.
- [3] 叶友东,周哲波. 基于ANSYS直齿圆柱齿轮有限元模态分析[J]. 机械传动,2006,30(5):65.
- [4] 杜英军,谢根栓. 基于ANSYS的锚固式储液罐模态分析[J]. 石油化工设备,2005,34(6):25.
- [5] 刘赛,吴飞科,严剑刚,等. 基于ANSYS边界约束条件对斜齿轮动力学模态分析的影响[J]. 上海第二工业大学学报,2015,31(1):50.
- [6] 李春旺,李海云,王澈,等. 航空发动机涡轮叶片振动模态影响因素研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2014,15(1):9.
- [7] 郭英. 合成纤维熔融纺丝装置设计基本知识:第一讲 熔融纺丝用纺丝箱的设计计算[J]. 合成纤维,1994(1):31-33.
- [8] 季玉兰. 熔融纺丝技术的发展趋势[J]. 石化行业动态,1994(2):41-44.
- [9] HILLS W H. 纺丝箱的分析[J]. 蔡玉华,译. 国外纺织技术,1983(3):26-28.
- [10] 李春旺,王澈,李强,等. 基于热固耦合预应力的发动机叶片模态分析方法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2016,17(2):1-4.
- [11] 郑尚敏,马磊,万水. 体外预应力对波形钢腹板箱梁自振频率的影响分析[J]. 东南大学学报(自然科学版),2014,44(1):140-144.

[信息·简讯]

· 行业简讯 ·

台达荣获2018中国自动化学会2大奖项

2018中国自动化学会系列评选活动揭晓,台达以突出创新能力和先进的创新机制荣获“中国自动化学会企业创新奖”。同期揭晓的还有“中国自动化学会智慧系统创新解决方案奖”,台达为客户定制的“华晨装焊车间能源管理系统方案”最终脱颖而出,获得大奖。

作为工业自动化产品和技术的重要提供商,台达高度重视研发创新,每年投入营收的7%以上用作研发预算,2017年更高达7.5%。当前,台达在全球拥有70个研发中心及近9300名研发工程师,拥有深厚的产品研发实力。

近年来,台达不断探索发展智能制造之路,以长期耕耘自动化的丰富经验和行业所需的技术能力,投入物联网、云端技术的开发应用,为客户提供广度和深度兼具的自动化解决方案。2017年,台达全球员工及团队共提出35个优秀的创新专案,在技术与产品、流程改造及新视野模式等方面均有建树。台达亦积极推动技术革新,在其吴江生产基地成立焊锡技术、失效分析、质量工程、环境关联物质分析等不同技术领域的实验室,并与其他组织、企业进行合作,实现技术的创新与完善。

(顾慧玲)