

DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2021.04.031

# 湿喷机上料筛模态与谐响应分析

王清强

(陕西能源职业技术学院, 陕西 咸阳 712000)

**摘要:**为研究湿喷机上料筛的振动特性,避免其在使用过程中发生共振,建立了湿喷机上料筛的三维模型,并将其导入 ANSYS 中进行模态分析,得到前 6 阶固有频率和模态振型。在模态分析基础上,对其进行谐响应分析,得到位移与频率响应曲线。结果表明:当外界激振频率为 30 Hz 和 50 Hz 时,上料筛振幅达到最大值为 10.77 mm,与第 1 阶和第 3 阶固有频率很接近。研究结果对提高湿喷机上料筛的可靠性、避免发生共振具有重要意义。

**关键词:**湿喷机;上料筛;模态分析;谐响应分析

**中图分类号:**TU643 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2021)04-0118-03

## Modal and Harmonic Response Analysis of Feeding Sieve for Wet Sprayer

WANG Qingqiang

(Shaanxi Energy Institute, Xianyang 712000, China)

**Abstract:** In order to study the vibration characteristics of the feeding sieve on a wet sprayer avoiding the resonance in its operation process, the three-dimensional model of the feeding sieve is established and imported to ANSYS to conduct the modal analysis, with which the first six stages of inherent frequencies and modal shapes are obtained. Based on the modal analysis, the harmonic response analysis is achieved to determine the displacement and frequency response curves. The result shows that when the external excitation frequency is 30 Hz and 50 Hz, the maximum amplitude of the feeding sieve is 10.77 mm, which is close to the inherent frequency of the first and third stages. The research achievements are of great significance for improving the reliability of feeding sieve and avoiding resonance on wet spraying machine.

**Keywords:** wet sprayer; feeding sieve; modal analysis; harmonic response analysis

## 0 引言

湿喷机是煤矿巷道喷射混凝土支护的重要机具,目前被广泛应用于基坑支护、涵洞、煤矿井巷等众多施工领域。上料筛是湿喷机的重要组成部分,在现场施工作业过程中,由于上料筛受到物料的冲击力和振动器激振力的共同作用,在长期作业中上料筛会出现共振和应力集中等问题,轻则影响物料的筛分效果,重则需要停机维修,不仅影响施工进度,同时还会增加额外的维修费用。因此,在对湿喷机上料筛结构进行设计时,必须考虑其振动特性,使其工作频率远离结构的固有频率,避免共振现象发生。

目前,国内外对振动筛振动特性进行研究的已有很多。例如柴保明等为提高直线振动筛的使用寿命,采用有限元对 ZKB1548 直线振动筛进行了模态分析,并在模态分析的基础上对结构进行优化设计,使得激振频率远离结构的固有频率<sup>[1]</sup>;黄卓采用有限元分析法和疲劳分析软件对大型圆振动筛横梁、侧板进行模态和疲劳分析来验证振动筛的可靠性<sup>[2]</sup>。尽管现有的文献对振动筛振动特性研究已有很多,但研究对象多为选煤厂的大型振动筛,与本文研究对象不同,其研究结果不能直接应用于指导湿喷机上料筛的结构设计。因此,本文以某型号湿喷机上料筛

为研究对象,分别建立湿喷机上料筛的三维模型和有限元模型,并对其进行模态分析,得到前 6 阶固有频率和振型;并在模态分析的基础上对其进行谐响应分析,确定了上料筛工作时的危险频率范围以及发生共振时系统将会产生的最大振动幅值。

## 1 三维模型的建立及简化

湿喷机上料筛由筛网、外侧板、内侧板、气动振动器、减震弹簧和底座等组成,其结构如图 1 所示。由于筛网网孔和侧板上螺纹孔较小,有可能会降低后续生成的网格质量,并且这些零部件对整体模态分析不会产生太大影响,因此在对模型进行简化时忽略筛网和螺纹孔;同时略去气动振动器,在后续有限元分析中可将其看作点质量单元处理。简化后的上料筛三维模型如图 2 所示。

## 2 上料筛模态分析

### 2.1 模态分析理论

模态分析是动力学分析的基础,其主要是求解结构的固有频率和振型,避免机械零部件在交变载荷作用下产生共振。对于湿喷机上料筛结构设计而言,开展上料筛模态

基金项目:陕西省教育厅专项科研项目(20JK0576)

作者简介:王清强(1991—),男,陕西安康人,助教,硕士,研究方向为现代设计理论及方法。

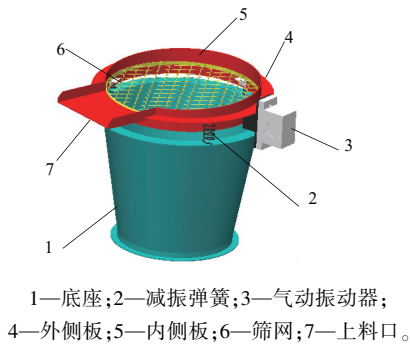


图 1 上料筛结构

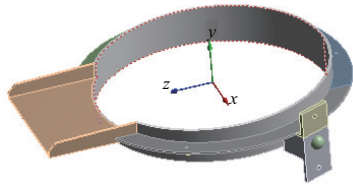


图 2 上料筛简化模型

分析是十分必要的。根据振动理论,建立湿喷机上料筛动力学微分方程为<sup>[3-4]</sup>

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

式中: $M$ 为质量矩阵; $C$ 为阻尼矩阵; $K$ 为刚度矩阵; $F(t)$ 为激振力向量; $\{x\}$ 为位移向量; $\{\dot{x}\}$ 为速度向量; $\{\ddot{x}\}$ 为加速度向量。

因阻尼对结构的固有频率和振型影响很小,在对结构进行模态分析时可以忽略阻尼的影响,并且结构固有频率和振型属于系统的固有属性,与外部载荷无关,因此,令 $F(t) = 0, C = 0$ ,得

$$M\{\ddot{x}\} + K\{x\} = 0 \quad (2)$$

对于线性系统,当自由振动为简谐运动时,其运动方程为

$$x(t) = \phi_i \cos \omega_i t \quad (3)$$

式中: $\phi_i$ 为第*i*阶固有频率对应的特征向量; $\omega_i$ 为第*i*阶固有频率,rad/s; $t$ 为时间,s。

联立式(1)、式(2)、式(3),得

$$(K - \omega_i^2 M)\phi_i = 0 \quad (4)$$

求解式(4)可得角频率 $\omega_i$ ,每一个 $\omega_i$ 对应的向量 $\phi_i$ 即为所求振型。

## 2.2 有限元模型的建立

将上述简化后的三维模型,以 IGES 格式导入 ANSYS Workbench 软件中,首先需要设置上料筛材料属性,由于上料筛结构采用焊接而成,所以在添加材料时应选择适合焊接并且柔韧性较好的低碳钢;其次,需要在振动器安装位置添加点质量单元,代替振动器的质量;随后对上料筛进行网格划分。采用自由划分网格的方式,设置单位尺寸为 7 mm,最终生成的网格模型节点数为 54 432,单元数为 19 680。上料筛有限元模型如图 3 所示。

为了提高仿真结果的准确性,需要根据实际情况对上

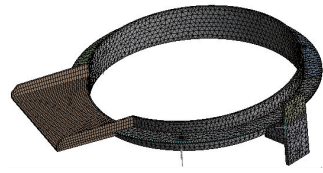


图 3 上料筛有限元模型

料筛施加约束条件,上料筛是通过 4 组弹簧与底座相连,所以在施加约束时在  $y$  方向上设置弹簧与地面连接, $x, z$  方向选择位移固定约束,使其只能沿  $y$  方向上下振动,坐标方向如图 2 所示。

## 2.3 模态分析结果

在前处理完成后,对上料筛进行模态分析,由振动理论可知,低频频率和振型对结构的振动特性影响较大,超过 90% 的能量主要集中在前 6 阶模态中。因此,提取模态分析的前 6 阶固有频率和模态振型图,结果如表 1 和图 4 所示。通过模态振型图可以看出振动筛容易发生变形的部位位于上料口附近。当外界激振频率与结构固有频率接近时,系统将会产生共振,因此需要在模态分析的基础上对其进行谐响应分析,得到位移与频率响应曲线。

表 1 上料筛前 6 阶固有频率及振型

阶次	频率/Hz	振型描述
1	32.11	上料口在 $xOz$ 平面上上下摆动
2	33.22	上料筛整体沿着 $x$ 轴弯曲变形
3	51.48	上料筛整体沿着 $x$ 轴上下摆动形
4	76.60	上料筛整体沿 $z$ 轴扭转
5	107.96	上料筛整体沿 $x$ 轴扭转
6	151.41	上料筛整体在 $yOz$ 平面扭转

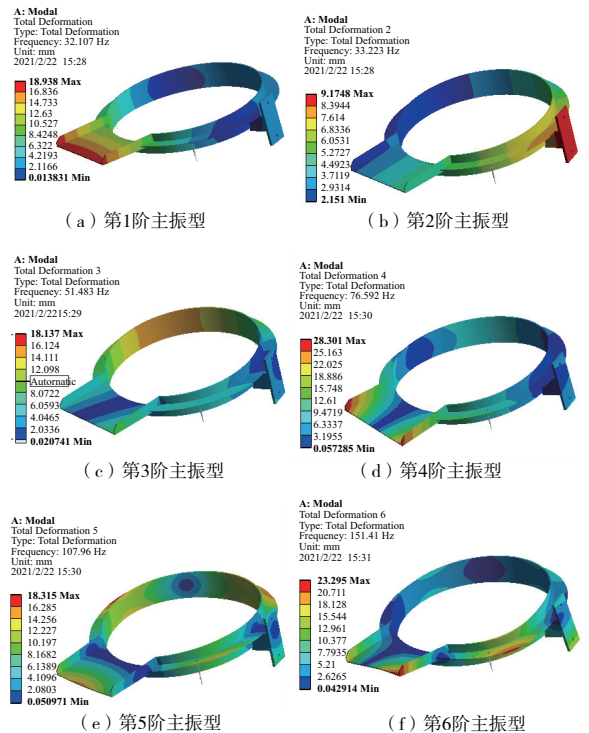


图 4 上料筛前 6 阶主振型

### 3 上料筛谐响应分析

#### 3.1 谐响应分析理论

谐响应分析是确定线性结构在承受按正弦(简谐)规律变化载荷时的稳态响应。其目的是确定结构在外力激励作用下位移、速度、加速度、应力、应变与频率的变化关系,从而帮助设计人员验证结构是否会发生共振、疲劳等其他由受迫振动引起的有害效果<sup>[5]</sup>。

根据动力学理论,结构在周期载荷作用下的运动方程为

$$M\{\ddot{x}\} + C\{\dot{x}\} + K\{x\} = \{F\} \sin(\theta t) \quad (5)$$

式中: $\{F\}$ 为幅值向量; $\theta$ 为激励力频率。

#### 3.2 所需激振力计算

参照文献[2]可得上料筛所需激振力 $P$ 计算公式为

$$P = M\omega^2 A \quad (6)$$

式中: $M$ 为物料质量,kg; $\omega$ 为角速度,rad/s; $A$ 为振幅,m。

上料筛在作业过程中取 $M = 50$  kg, $A = 0.004$  m,振动器额定转速 $n = 3000$  r/min,工作频率 $f = 50$  Hz, $\omega = 314$  rad/s,将数据代入式(6)得 $P = 19\ 719$  N。

#### 3.3 谐响应分析结果

上料筛在工作过程中,筛体在振动器的交变载荷作用下沿着 $y$ 轴上下往复振动,在添加外载荷时,将振动器产生的激振力施加在激振器的安装板上。由于前6阶模态分析的固有频率范围是32.11~151.41 Hz,因此,在设定谐响应分析的频率范围时取0~200 Hz。通过前6阶振型图可以看出,上料筛容易产生最大变形的的位置处于进料口。所以,首先针对这个位置对其进行谐响应分析,从而得到上料口3个方向振幅-频率曲线,如图5所示。

根据振幅-频率曲线图可知,在0~200 Hz范围内, $x$ 方向最大振幅发生在30 Hz,最大振幅为1.91 mm; $y$ 方向最大振幅发生在30 Hz、50 Hz处,最大振幅为10.77 mm; $z$ 方向最大振幅发生在30 Hz处,最大振幅为5.38 mm。综上,当激振频率为30 Hz、50 Hz时,振动幅值达到最大值,接近于模态分析中的1阶和3阶固有频率。因此,上料筛在工作过程中应避免该频率的激励,或者改变上料筛的结构,使其工作频率远离危险频率,避免发生共振问题。

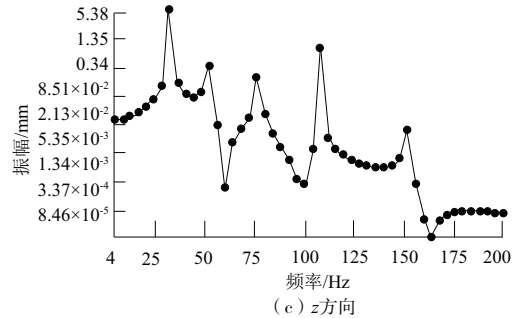
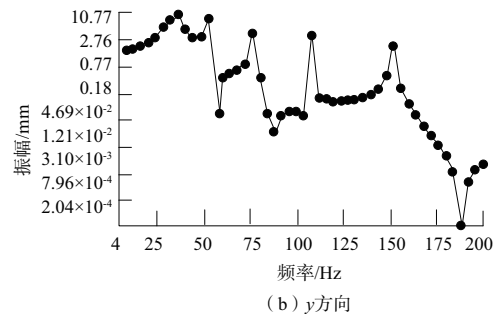
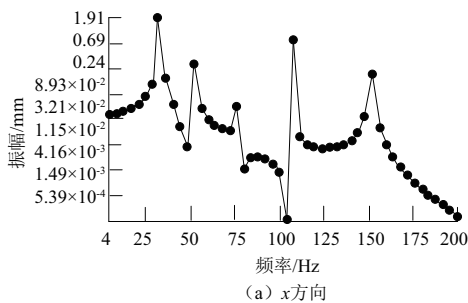


图5 3个方向上振幅-频率曲线

## 4 结语

通过 SolidWorks 软件建立湿喷机上料筛的三维模型,并运用 ANSYS Workbench 软件对湿喷机上料筛进行模态分析,通过模态分析可知上料筛振动过程中容易产生最大变形的的位置是上料筛的进料口;上料筛工作频率为50 Hz,与第3阶固有频率很接近,容易发生共振。因此在实际工作中要避免该段频率的激励,从而避免发生共振问题。通过谐响应分析确定了湿喷机上料筛危险频率点和发生共振时可能产生的最大振动幅值,分析结果为上料筛的动态特性分析和结构优化设计提供了理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 柴保明,史朋波,张娴,等. 基于 ANSYS Workbench 的 ZKB 振动筛的模态分析与优化[J]. 煤炭工程, 2017, 49(9): 162-165.
- [2] 黄卓. 2DYS3075 型圆振动筛动态特性分析及疲劳寿命预测[D]. 徐州:中国矿业大学, 2019.
- [3] 王玮,周肖飞. 基于模态应力法的副车架疲劳分析研究[J]. 机械制造与自动化, 2020, 49(3): 127-129, 174.
- [4] 郝雪弟,张艺莹,刘冰,等. 基于有限元方法的深井提升机制动系统模态分析[J]. 煤炭工程, 2018, 50(10): 88-91.
- [5] 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.

收稿日期:2020-03-02