

板弹簧角度对振动料斗振幅的影响

孙为韬^{1,2}, 吕彦明^{1,2}, 李强^{1,2}

(1. 江南大学 机械工程学院, 江苏 无锡 214122;
2. 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 江苏 无锡 214122)

摘要:针对目前振动料斗板弹簧在安装角度设计时缺乏理论依据的缺陷,通过对振动料斗工作时板弹簧的弹性变形进行分析,实现了一种基于拉格朗日方程法振动料斗数学模型的建立。利用 MATLAB 仿真模块分析了不同板弹簧安装角度对振动料斗振幅的影响。仿真结果表明,在保证零件能够输送的前提下,板弹簧安装角度大的振动料斗其振幅小,输送零件时冲击和噪音小,适合输送精密零件;安装角度小的振动料斗其振幅大,适合在工作环境要求不高的场合输送零件。文章的研究为设计输送不同物料的振动料斗提供了理论依据。

关键词:振动料斗;板弹簧;数学模型;MATLAB 仿真

中图分类号:TH225 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2015)04-0012-05

Influence on Vibratory Bowl Feeder with Different Leaf Spring Angle

SUN Weitao^{1,2}, LÜ Yanming^{1,2}, LI Qiang^{1,2}

(1. School of Mechanical Engineering, JiangNan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;
2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: As lacking the theory in the design of leaf spring installing angle of vibration bowl feeder, through the analysis of elasticity deformation of leaf spring on the vibratory bowl feeder, a mathematical model of vibratory bowl feeder system was established by using Lagrange equation. By using MATLAB software, the simulation of vibratory bowl feeder on different degrees of leaf spring installing angle was carried out. The simulation result reveals that under the premise to ensure parts can be transported, the vibratory bowl feeder has a smaller amplitude with a larger leaf spring installing angle, the shock and noise is small when conveying parts which is suitable for conveying precision parts; and a larger amplitude with a smaller leaf spring mounting angle which is suitable for low requirements for conveying parts. The research provides theoretical basis for vibratory bowl feeder design transporting different material.

Key words: vibratory bowl feeder; leaf spring; mathematical model; MATLAB simulation

振动料斗是一种通电后,在电磁激振力作用下产生振动,使物料零件能够在摩擦力、重力等合力作用下实现定向排列并输送的设备,是中小型零件自动装配和自动加工系统中最常见的供料装置。振动料斗利用共振原理^[1-2],以较小的功率消耗产生较大的机械能,这种特性与其板弹簧安装角度密切相关,为此,本文将进行板弹簧安装角度对振动料斗振幅影响的研究,为振动料斗的设计提供理论依据。

1 振动料斗的组成及工作原理

典型的振动料斗由料盘、托盘、板弹簧、底座、橡胶

垫、电磁线圈、衔铁组成,如图1所示。料盘和其下面的托盘用螺钉紧固并通过3~4根有一定倾斜角度的钢板弹簧连接到底座上,电磁线圈安装在托盘和底座之间,并固定在底座上,安装在底座底面的橡胶垫,用来减少外部环境对振动料斗的影响。接通交流电后,电流逐渐增大,电磁铁产生的吸力也同时增大,迫使板弹簧发生弹性变形,料盘逐渐偏离静平衡位置向下移动同时绕中心轴小幅转动。电流达到最大时,板弹簧的变形量也达到最大,此后电流变小,板弹簧储存的弹性势能使得料盘回归静平衡位置。在交流电的周期

收稿日期:2014-12-25;修回日期:2015-03-18

作者简介:孙为韬(1990),男,江苏盐城人,硕士,主要研究方向为自动机械及机电一体化。通信作者:吕彦明,教授,博士,硕士生导师,主要从事CAD/CAM、工装夹具计算机辅助设计、精密测量与数据处理。E-mail:995846621@qq.com

性变化作用下,料盘产生往复振动,料盘中的物料零件在重力和摩擦力等力的综合作用下,沿着料盘螺旋料槽向上移动,在移动过程中通过定向机构进行自动定向^[3],最后进入输料槽,送往装配或加工位置。

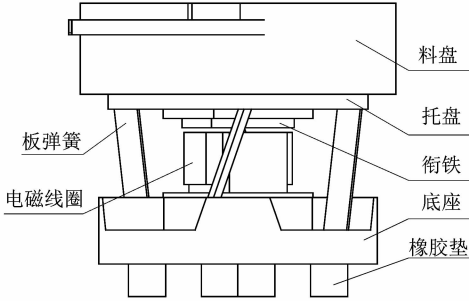


图1 振动料斗结构示意图

Figure 1 Schematic diagram of vibratory bowl feeder

2 振动料斗的数学模型

假定振动料斗的底座和料盘均视为刚体,底座和料盘的运动只有垂直方向的位移 Z_a 、 Z_b 和绕中心轴的转动角度 θ_a 、 θ_b 。忽略板弹簧在长度和宽度方向的弹性变形^[4],只考虑沿厚度方向的弹性变形, k_k 为板弹簧在厚度方向的总刚度, k_{a1} 为橡胶垫沿垂直方向的总刚度, k_{a2} 为橡胶垫沿切线方向的总刚度。板弹簧质量和橡胶垫质量都远小于振动料斗的质量,为了方便计算,忽略板弹簧和橡胶垫的质量,整个模型质量^[5]被简化为下质量体 m_a 和上质量体 m_b ,其中下质量体包括电磁线圈和底座,上质量体包括衔铁、托盘和料盘。板弹簧下端安装位置到底座中心距离为 r_a ,上端安装位置到料盘中心位置为 r_b ,为了便于计算取 $r_a = r_b$ 。

板弹簧的变形^[6]见图2和图3,得到如下几何关系:

$$\tan \varphi = \frac{|AB|}{|AC|} = \frac{|A'B'|}{|A'C'|}, \cos \varphi = \frac{|AC|}{|BC|} = \frac{|A'C'|}{|B'C'|},$$

$$|A'B'| = \Delta\theta_1 r_a, |AB| = \Delta\theta_2 r_b,$$

式中: $\Delta\theta_1$ 为由板弹簧变形后弹簧下端相对变形前转过的角度; $\Delta\theta_2$ 为由板弹簧变形后弹簧上端相对变形前转过的角度。

$$|AC| + |A'C'| = Z_a + Z_b, \theta_b = \Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 + \theta_a。$$

由上述几何关系式推出下面的关系式:

$$|BC| + |B'C'| = \frac{Z_a + Z_b}{\cos \varphi}, \theta_b = \frac{(Z_a + Z_b) \tan \varphi}{r_b} + \theta_a。$$

系统动能方程为

$$T = \frac{1}{2} m_a \dot{Z}_a^2 + \frac{1}{2} m_b \dot{Z}_b^2 + \frac{1}{2} J_a \dot{\theta}_a^2 + \frac{1}{2} J_b \dot{\theta}_b^2。 \quad (1)$$

式中 J_a 、 J_b 分别为底座和料盘的转动惯量。

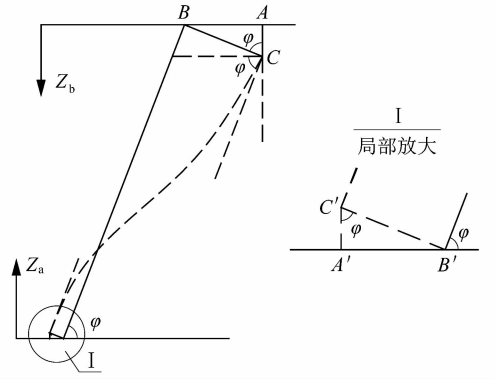


图2 板弹簧弹性变形

Figure 2 Elastic deformation of leaf spring

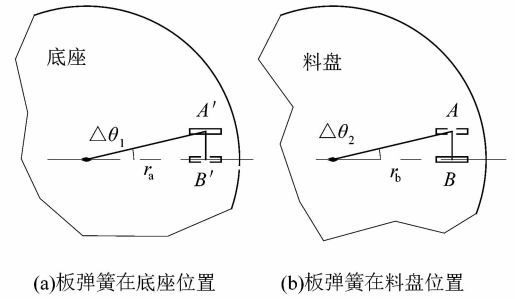


图3 板弹簧在底座和料盘相对安装位置

Figure 3 Relative position of leaf spring at base and bowl

系统势能方程为

$$U = \frac{1}{2} k_k |BC + B'C'|^2 + \frac{1}{2} k_{a1} Z_a^2 + \frac{1}{2} k_{a2} (\theta_a r_a)^2。 \quad (2)$$

系统能量散失方程为

$$D = \frac{1}{2} C_{a1} \dot{Z}_a^2 + \frac{1}{2} C_{a2} (\dot{\theta}_a r_a)^2 + \frac{1}{2} C_k (BC + B'C')^2。 \quad (3)$$

式中: C_{a1} 为橡胶垫沿垂直方向的阻尼系数, C_{a2} 为橡胶垫沿切线方向的阻尼系数, C_k 为板弹簧在厚度方向的阻尼系数。

将上述几何关系分别代入方程(1)~(3),得:

$$T = \frac{1}{2} m_a \dot{Z}_a^2 + \frac{1}{2} m_b \dot{Z}_b^2 + \frac{1}{2} J_a \dot{\theta}_a^2 + \frac{1}{2} J_b \left[\frac{(Z_a + Z_b) \tan \varphi}{r_b} + \theta_a \right]^2, \quad (4)$$

$$U = \frac{1}{2} k_k \left(\frac{Z_a + Z_b}{\cos \varphi} \right)^2 + \frac{1}{2} k_{a1} Z_a^2 + \frac{1}{2} k_{a2} (\theta_a r_a)^2, \quad (5)$$

$$D = \frac{1}{2} C_{a1} \dot{Z}_a^2 + \frac{1}{2} C_{a2} (\dot{\theta}_a r_a)^2 + \frac{1}{2} C_k \left(\frac{Z_a + Z_b}{\cos \varphi} \right)^2。 \quad (6)$$

将方程(4)~(6)代入拉格朗日方程^[7],得

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_j} + \frac{\partial U}{\partial q_j} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_j} = F_j(t)。(7)$$

式中: q_j 为广义坐标, $F_j(t)$ 为广义力。

经过化简得

$$M\ddot{\delta} + C\dot{\delta} + K\delta = F_t, (8)$$

其中

$$M = \begin{pmatrix} m_a + \frac{J_b \tan^2 \varphi}{r_b^2} & \frac{J_b \tan^2 \varphi}{r_b^2} & \frac{J_b \tan \varphi}{r_b} \\ \frac{J_b \tan^2 \varphi}{r_b^2} & m_b + \frac{J_b \tan^2 \varphi}{r_b^2} & \frac{J_b \tan \varphi}{r_b} \\ \frac{J_b \tan \varphi}{r_b} & \frac{J_b \tan \varphi}{r_b} & J_a + J_b \end{pmatrix}, \ddot{\delta} = \begin{pmatrix} \ddot{Z}_a \\ \ddot{Z}_b \\ \ddot{\theta}_a \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} C_a + \frac{C_k}{\cos^2 \varphi} & \frac{C_k}{\cos^2 \varphi} & 0 \\ \frac{C_k}{\cos^2 \varphi} & \frac{C_k}{\cos^2 \varphi} & 0 \\ 0 & 0 & r_a^2 C_{a2} \end{pmatrix}, \dot{\delta} = \begin{pmatrix} \dot{Z}_a \\ \dot{Z}_b \\ \dot{\theta}_a \end{pmatrix}$$

$$K = \begin{pmatrix} k_{a1} + \frac{k_k}{\cos^2 \varphi} & \frac{k_k}{\cos^2 \varphi} & 0 \\ \frac{k_k}{\cos^2 \varphi} & \frac{k_k}{\cos^2 \varphi} & 0 \\ 0 & 0 & r_a^2 k_{a2} \end{pmatrix}, \delta = \begin{pmatrix} Z_a \\ Z_b \\ \theta_a \end{pmatrix}。$$

式中: δ 是广义坐标矩阵, M 为质量矩阵, k 为刚度矩阵, F_t 为激振力矩阵。

$$F_t = F \cdot \mu(t), F = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$\mu(t) = F_0 \sin^2(\omega t)。$$

$\mu(t)$ 是随时间变化的电磁激振力^[8],式中

$$F_0 = \frac{N_e^2 \cdot S \cdot \mu_0 \cdot V_0^2}{2 \cdot R_b^2 \cdot \left(\frac{\alpha}{\mu_r} + \mu\right)}。$$

式中: N_e 为线圈匝数, S 为横截面积, μ_0 是空气磁导率, V_0 为电压峰值, R_b 为线圈电阻, α 为电磁铁平均长度, μ_r 为电磁铁相对导磁率, μ 为衔铁和电磁线圈之间的间距。

3 仿真

仿真过程中的3组振动料斗除板弹簧安装角度不同,其他参数均一致,且激励频率在振动料斗的固有频率附近,选取板弹簧安装角度分别为 70° 、 75° 、 80° 的振动料斗进行仿真,分析安装角度对振动料斗振幅的影响。根据前面建立的振动料斗数学模型建立其

Simulink模型,首先将系统微分方程转换成状态空间方程^[9]。令

$$X(t) = \begin{bmatrix} \dot{\delta} \\ \delta \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}R \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}F_t \end{bmatrix}, C = I_{6 \times 6}, D = 0_{6 \times 1}。$$

式中: R 为阻尼矩阵, C 为 6×6 单位矩阵, D 为 6×1 零矩阵。

将上述矩阵代入状态空间方程(9):

$$\begin{cases} \dot{X}(t) = AX(t) + B\mu(t) \\ Y(t) = CX(t) + D\mu(t) \end{cases}。(9)$$

式中: $Y(t)$ 是输出。

根据状态空间方程(9)建立如图4的Simulink模型^[10]。设定正弦波、正弦波1模块的参数,这2个模块通过乘法器组成输入信号。将3组板弹簧安装角度不同的振动料斗的状态空间方程的相关参数分别输入状态-空间,状态-空间1,状态-空间2模块中。在MATLAB命令窗口中写出计算3组 A 、 B 、 C 和 D 的程序以及绘图代码。启动仿真过程,所得结果如图5~8所示。

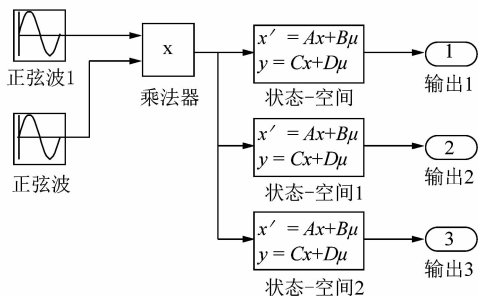


图4 振动料斗的状态空间模型

Figure 4 State-space model of vibratory bowl feeder

振动料斗运行初始阶段会存在振荡衰变,随着时间的推移,外界激振电磁力成为振动的主要因素,图5~8是振荡消失后的时间图像。分别比较图5、图6和图7、图8可以看出,底座相比于料盘在垂直和圆周方向的振动幅度都比较小,且与板弹簧安装角度没有关系,这与实际经验是相吻合的。图6和图8中,振动料斗料盘的振动幅度随板弹簧安装角度的增大而变小,板弹簧安装角度的增大导致料盘振幅的减小,而料盘振幅降低使物料输送速度减小的同时也会减小物料零件的碰撞强度,进而降低振动料斗的工作噪声。所以板弹簧安装角度大的振动料斗适合微小、精密零件的输送,而对工作环境要求不高,需要进行中小型零件输送的场合可以使用板弹簧安装角度较小的振动料斗。

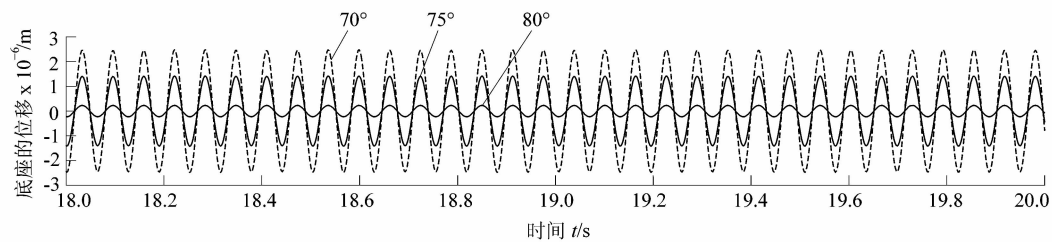


图 5 底座垂直方向位移-时间曲线

Figure 5 Vertical displacement-time curve of the base

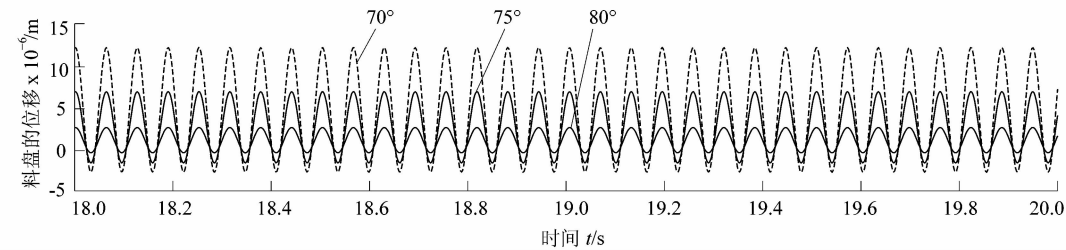


图 6 料盘垂直方向位移-时间曲线

Figure 6 Vertical displacement-time curve of the bowl

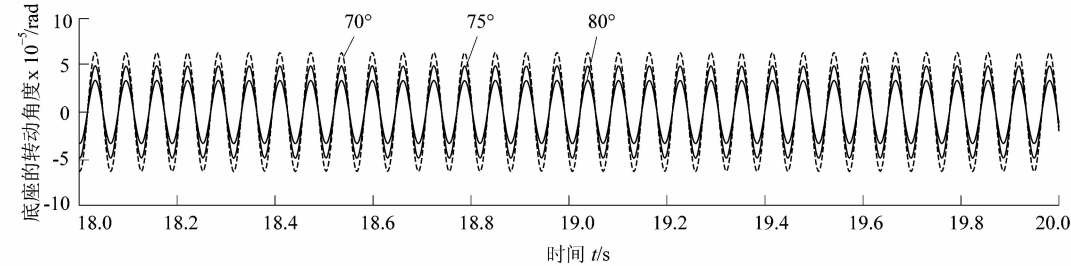


图 7 底座圆周方向转动角度-时间曲线

Figure 7 Rotation angle-time curve in circumferential direction of the base

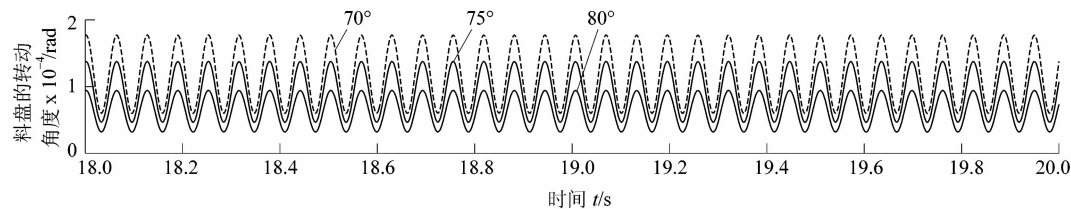


图 8 料盘圆周方向转动角度-时间曲线

Figure 8 Rotation angle-time curve in circumferential direction of the bowl

4 结语

本文针对一般的振动料斗板弹簧安装问题,建立了振动料斗的数学模型,为不同的板弹簧安装角度的设计提供了理论依据。文章首先分析了振动料斗工作时板弹簧的弹性变形,进而采用拉格朗日方程法建立了振动料斗的数学模型,最后通过 Simulink 模型的建立对板弹簧不同安装角度的振动料斗进行仿真。大量的仿真研究显示了该模型的有效性。仿真结果表明随

着弹簧安装角度增大,振动料斗的振动幅度变小,降低了物料碰撞的强度,相比于板弹簧安装角度小的振动料斗更有利于精密零件的输送。但是,板弹簧的安装角度取值范围在 $65^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 之间^[11]。板弹簧安装角度不能太大,否则会导致无法输送物料,同样也不能太小,那样会使振动料斗的体积变得过大。本文的研究为设计输送不同物料的振动料斗提供了理论依据。

(下转第 19 页)