

离心机主轴橡胶缓冲器实验研究

徐 宏 王 欢

(机械工程系)

摘要 本文首先将离心机主轴橡胶缓冲器简化成线性阻尼力学模型,并推出实验时的原点加速度导纳表达式。根据正弦激振测得的数据用计算机程序进行最小二乘曲线拟合,得到橡胶缓冲器的径向动刚度和阻尼系数值。

关键词 橡胶缓冲器;导纳;曲线拟合;刚度和阻尼系数

0 前 言

由于高速碟式分离机的工作转速一般在机器的一阶临界转速以上,因而为了使临界转速远离工作转速,主轴采用弹性支承,以降低一阶临界转速和减小启动时通过共振的最大振幅。弹性支承有两种形式,一是较为通行的 6 只螺旋弹簧等分布径向支承,另一种是采用橡胶缓冲器作为弹性阻尼支承。橡胶元件是理想的隔振减振元件,其结构简单、阻尼大、吸振效果好,因而越来越得到广泛使用,如上海酵母厂引进的西德 HDA-50 酵母分离机就使用了橡胶缓冲器作为弹性支承(图 1)。

目前,对于离心机主轴中使用的橡胶缓冲器的研究进行得很少,理论计算只能计算出静刚度,而且不同方法计算结果相差较大。因为橡胶是粘弹性材料,具有蠕变性质,因而当受静载荷作用时,其变形是要比受动载荷时大得多。换句话说,橡胶缓冲器的动刚度要远大于静刚度。

确定动刚度的通用方法是将静刚度乘以动刚度系数 n_d ,而 n_d 的选择又有两种不同方法,国内多采用 $n_d=2.0-2.5^{[1]}$;另一种取 $n_d=1-2^{[2]}$ 。

由以上分析可以看出,橡胶缓冲器的动刚度确定,用计算方法有一定的难度也不精确,而且橡胶元件这种高阻尼材料的阻尼系数是无法用计算方法得到的,因而进行实验研究是非常必要的。本文采用激振实验测定及计算机曲线拟合的方法,确定离心机主轴橡胶缓冲器的径向动刚度和阻尼系数,其实验方法同样适用于类似的轴套式橡胶元件的研究。

1 橡胶缓冲器的力学模型

图 1 所示橡胶缓冲器由一圆环形橡胶元件与内、外金属环组成,故整个缓冲器又称金属

橡胶缓冲器。内外金属环的弹性相对于橡胶元件可忽略不计,因而缓冲器相当于是两个质量块(m_1 和 m_2)通过一个弹性元件(m_3)相联,把弹性元件简化成一等直杆使 $m_3=l\rho$ (ρ 为橡胶线密度、 l 为等效长度),采用瑞雷法考虑质量 m_3 的影响,采用图2所示的线弹性阻尼力学模型,用复刚度方法进行推导^[3]可得原点加速度导纳:

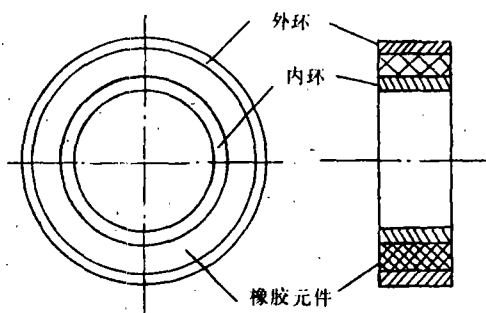


图1 HDA-50 酵母分离机主轴缓冲器

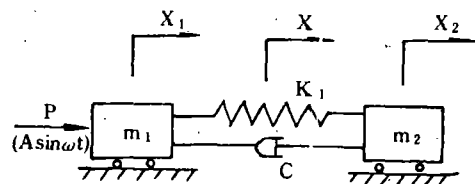


图2 缓冲器线弹性阻尼力学模型

瑞雷法认为弹簧在任何时刻是均匀变形的,也就是有

$$x = x_1 + \frac{y}{l}(x_2 - x_1)$$

式中 x_1 和 x_2 分别为 m_1 和 m_2 的位移, x 为距 m_1 质量块 y 处的橡胶的位移。

1.1 无阻尼力学模型

系统的动能为

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2}m_1\dot{x}_1^2 + \frac{1}{2}m_2\dot{x}_2^2 + \int_0^l \frac{1}{2}\rho\dot{y}^2 dy \\ &= \frac{1}{2}\left(m_1 + \frac{m_3}{3}\right)\dot{x}_1^2 + \frac{1}{2}\left(m_2 + \frac{m_3}{3}\right)\dot{x}_2^2 + \frac{m_3}{6}\dot{x}_1\dot{x}_2 \end{aligned}$$

势能为:

$$U = \frac{1}{2}K(x_2 - x_1)^2$$

若在质量块 m_1 上作用简谐激励力 $P = A\sin\omega t$,则广义力为

$$Q_1 = P = A\sin\omega t$$

$$Q_2 = 0$$

以 x_1, x_2 为广义坐标,根据Lagrange方程可得

$$\left(m_1 + \frac{m_3}{3}\right)\ddot{x}_1 + \frac{m_3}{6}\ddot{x}_2 - K(x_2 - x_1) = A\sin\omega t$$

$$\frac{m_3}{6}\ddot{x}_1 + (m_2 + \frac{m_3}{3})\ddot{x}_2 + K(x_2 - x_1) = 0$$

设响应为

$$\begin{cases} x_1 = A_1 \sin(\omega t + \varphi) \\ x_2 = A_2 \sin(\omega t + \varphi) \end{cases}$$

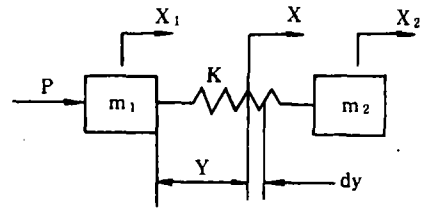


图3 无阻尼力学模型

经推导后则有

$$\frac{x_1}{P} = \frac{K - (m_2 + \frac{m_3}{3})\omega^2}{\left[K - (m_1 + \frac{m_3}{3})\omega^2 \right] \left[K - (m_2 + \frac{m_3}{3})\omega^2 \right] - \left(K + \frac{m_3}{6}\omega^2 \right)^2}$$

故 m_1 上力作用点处的加速度导纳为

$$\begin{aligned} D_0 &= \frac{\ddot{x}_1}{P} = -\frac{\omega^2 x_1}{P} \\ &= \frac{K - (m_2 + \frac{m_3}{3})\omega^2}{K(m_1 + m_2 + m_3) \left[\left(m_1 + \frac{m_3}{3} \right) \left(m_2 + \frac{m_3}{3} \right) - \left(\frac{m_3}{6} \right)^2 \right] \omega^2} \end{aligned}$$

1.2 线性弹性阻尼力学模型

由于橡胶元件存在较大阻尼,因而上述刚度 K 实际上是图2所示的复刚度:

$$K = K_1 + i\omega C$$

式中 $i = \sqrt{-1}$ 为虚数单位。

将 K 表达式代入已得的 D_0 式中,得原点加速度导纳为

$$\begin{aligned} D(\omega) &= \frac{\ddot{x}_1}{P} \\ &= \frac{K_1 + i\omega C - \left(m_2 + \frac{m_3}{3} \right) \omega^2}{K_1 M + i\omega C M - \left[\left(m_1 + \frac{m_3}{3} \right) \left(m_2 + \frac{m_3}{3} \right) - \left(\frac{m_3}{6} \right)^2 \right] \omega^2} \end{aligned}$$

其导纳幅值(模)为

$$|D(\omega)|^2 = \frac{\left[K_1 - \left(m_2 + \frac{m_3}{3} \right) \omega^2 \right]^2 + \omega^2 C^2}{\left\{ K_1 M - \left[\left(m_1 + \frac{m_3}{3} \right) \left(m_2 + \frac{m_3}{3} \right) - \left(\frac{m_3}{6} \right)^2 \right] \omega^2 \right\}^2 + [\omega C M]^2}$$

式中 $M = m_1 + m_2 + m_3$ 为整个橡胶缓冲器的质量。

2 曲线拟合、参数识别

根据实验得到的 $|D_i(\omega_i)| - \omega_i$ 的数值关系,对已推得的力学模型的加速导纳 $|D(\omega)| - \omega$ 的解析表达式进行最小二乘曲线拟合,从而确定参数 K_1 和 C 。

残差平方和为

$$Q = \sum_{i=1}^n (|D_i(\omega_i)| - |D(\omega_i)|)^2$$

n 为实验观测点数,由于 K_1 和 C 均为参变量,因而要使 Q 取极小,必有

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial K_1} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial C} = 0 \end{cases}$$

解此联立方程,可得参数 K_1 和 C 。但上式是关于两个参数的非线性表达式,且有几组相互矛盾的方程,因而必须用非线性曲线拟合方法来确定各参数,如麦夸脱法^[4]。

3 实验原理及仪器框图

为了得到不同频率所对应的加速度导纳的数值,采用正弦激振测得一组 $|D_i(\omega_i)| - \omega_i$ 值。

为了消除接地约束的影响,采用将激振器和被测缓冲器同时悬挂的方法,两者采用挠性杆连接,以消除横向刚度的影响。

3.1 实验框图

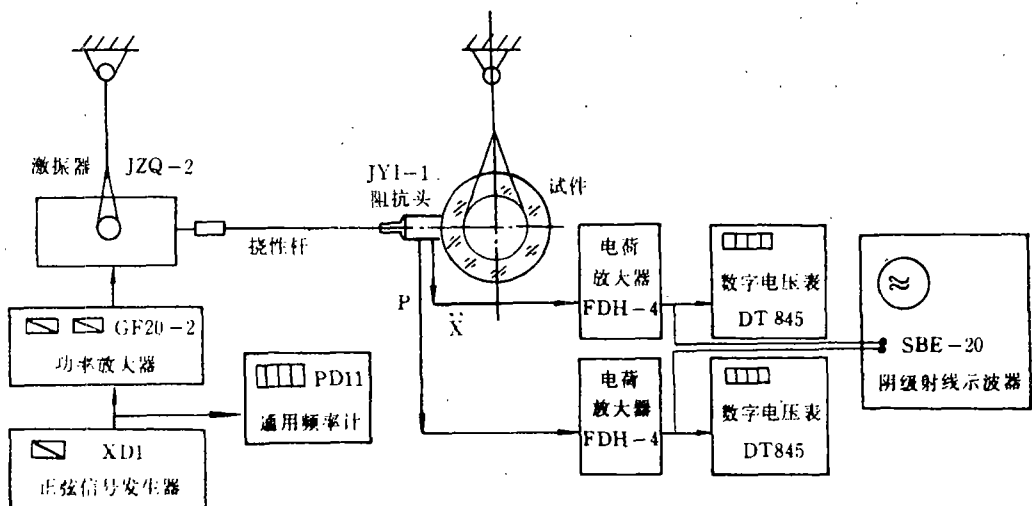


图 4 正弦激振试验仪器框图

3.2 实验原理

正弦信号发生器产生某一固定频率的正弦信号,经放大器放大后输给激振器,经挠性杆加给被测元件(缓冲器的外环)一正弦变化的激振力。由安装在杆端的阻抗头的力和加速度响应接线柱分别得到激励和响应信号,经电荷放大器放大后分别输给两数字电压表,得到力和加速度对应的电压有效值,由数字频率计得频率值,并且用阴极射线示波器观察波形。

3.3 标 定

为了提高信噪比以及便于对测试系统进行标定,直接测量并记录激振点的加速度响应。这样在低频段时令 $\omega=0$,可得

$$|D(\omega)| = \frac{1}{M}$$

由此可见,这时加速度导纳的幅值倒数等于试验台的总质量 M ,可用称重法得出 M 的数值,以此标定 0_{an} 线。

3.4 验 证

验证采用锤击脉冲激励传递函数法,其仪器框图如图5所示。

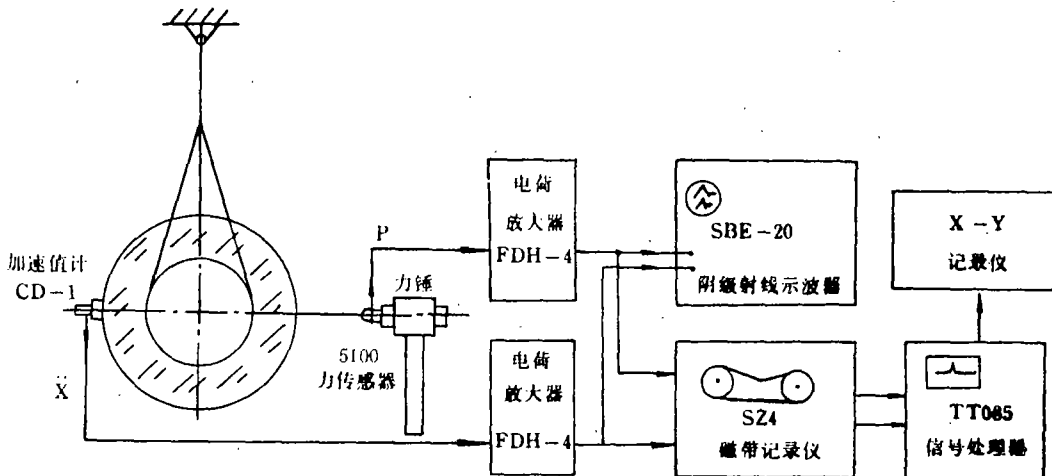


图5 锤击脉冲试验仪器框图

4 试验结果及数据处理

本实验用缓冲器的总质量 $M=2.7436\text{kg}$ (包括传感器质量);内环 $m_2=1.5023\text{kg}$ 外环 (包括传感器) $m_1=1.04\text{kg}$,橡胶环质量 $m_3=0.2012\text{kg}$ 。正弦激振共做9次试验,有7次重复

性较好,根据1次典型试验结果绘制的加速度导纳如图5所示。计算机曲线拟合结果为 $K_1 = 3.422 \times 10^6 \text{N/m}$, $C = 4254 \text{N/(m/s)}$ 。

锤击法传递函数幅频曲线与正弦激励的加速度导纳曲线相似。

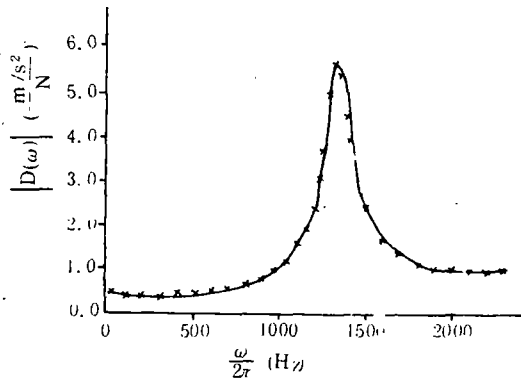


图6 缓冲正弦激励试验加速度导纳图

致 谢

本文曲线拟合部分的计算机运算是由力学教研室范本隽老师完成的,特此致谢。

参 考 文 献

- 1 机械振动. 机械工程手册. 1978
- 2 Crede C E. Vibration and Shock Isolation. 1957
- 3 徐宏. 有限元与传递矩阵组合法及其应用. 无锡轻工业学院硕士论文, 1985
- 4 冯康. 数值计算方法. 国防工业出版社, 1977
- 5 罗德扬, 宋学曾. 正弦激励测定轴承的刚度和阻尼, 振动与动态测试, 1983; 2

A Study of Testing in the Rubber Buffer Used in Centrifuges

Xu Hong Wang Huan

(Dept. of Mech. Eng.)

Abstract In this paper, the rubber buffer used in centrifuges is described by the linear $K-C$ (Elasticity -damping) vibration model. The acceleration transfer mobility on the forced point is derived. The radial stiffness and damping constant is calculated by using curve-fitting according to the data obtained by sinusoidal wave vibration testing.

Key words , rubber buffer; mobility; curve-fitting; stiffness; damping constant

麦芽低聚糖在我院研制成功

健康的人体上存在着 10 亿个细菌,其中大部分栖息在大肠之中。母乳喂养的婴儿肠道中双歧杆菌占细菌总数的 99% 以上,大肠杆菌和链球菌只占 1% 以下。到了断乳期,肠杆菌类等菌开始增多。随着年龄的增长,接近成人时,双歧杆菌数目减少,腐败菌逐步增加,过了壮年期进入老年期,肠内细菌组成发生变化,双歧杆菌继续减少,它是有益细菌,对人体具有许多有益作用。到了老年期,能产生细菌毒素的产氮荚膜梭菌等腐败细菌数量剧增,它们除分泌毒素外,还产生氨、硫化氢、胺类、酚类、吲哚、硫醇等,被肠道吸收后,会损害人的肝、脾、心、肾、脑等并使人体免疫功能下降。为了抗衰老,经常食用廉价的能明显抑制上述产氮荚膜梭菌等腐败菌的麦芽低聚糖是至关重要的。

麦芽低聚糖不必经唾液淀粉酶和胰淀粉酶消化,直接经肠道吸收。因而广泛应用于各种婴儿食品和滋补品,以及要求肠道钙吸收增强的病人。

笔者等研制成功已投入工业化生产的麦芽低聚糖除含少量葡萄糖外,主要含有麦芽三糖、麦芽四糖、麦芽五糖等占总糖 60% 以上,不含糊精,不粘牙齿,甜度为蔗糖 40%,口感好。产品有含浓度为 72% 的糖浆和含水分 3% 的白色速溶糖粉两种,已经应用于糖果、饮料、糕点、固体饮料以及人参口服液等。此产品在日本已大量生产和应用。1990 年年产 2000T, 1991 年年产达 20000T, 猛增了 10 倍。

(金其荣)