

文章编号: 1005-0523(2005)04-0102-04

# 基于 Matlab 的吸振系统的设计与实现

邱英

(华东交通大学 机电工程学院, 江西 南昌 330013)

**摘要:** 论述了利用 Matlab 强大的计算功能及其提供的 GUI 界面设计工具, 设计出可视化的吸振设计系统, 可根据给定的主系统的振动参数自动设计出吸振器的基本参数, 并达到良好的吸振效果.

**关键词:** Matlab; GUI; 振动; 吸振器

**中图分类号:** TB535

**文献标识码:** A

## 1 引言

振动是工业生产和日常生活中普遍存在的物理现象, 各种机器仪器和设备, 当它们运转时, 由于不可避免的存在诸如回转件的不平衡、负载的不均匀等原因而引起受力的变动、碰撞和冲击, 都会诱发和激励振动. 振动在大多数情况下是有害的, 它往往会破坏机器的正常工作和原有性能, 还会直接或间接地产生噪声, 恶化环境. 因此, 减振降噪非常必要. 我们通常采用加隔振垫的方式来减小振源对周围环境的影响, 但这种方法不能减小振源本身的振动强度, 为了减小震源本身的振动强度, 必须加吸振器.

本文利用 Matlab 提供的工具设计了一套可视化的吸振器设计系统. 可根据输入的振动参数, 设计出具有良好减振效果的吸振器.

## 2 吸振器设计方法

一台机器系统虽然是由许多零部件组成, 但从振动学角度看, 往往是某一方向的振动决定了该机器的工作性能的优劣, 因此在分析其振动特性时可

以合理地简化为一个单自由度系统, 再根据其工作状态设计无阻尼吸振器或有阻尼吸振器.

### 2.1 无阻尼吸振器设计

当机器系统是在常速或速度稍有变动的条件下工作, 可以在其上附上一个无阻尼吸振器来实现减振.

假定主系统是由质量  $m_1$  和弹簧  $k_1$  组成的系统, 因受激励力  $F \sin \omega t$  的作用下, 系统发生了强迫振动, 在不改变主系统  $m_1$  和  $k_1$  的情况下, 在其上安装一个由质量  $m_2$  和弹簧  $k_2$  组成的辅助系统——吸振器, 形成一个新的两自由度系统. 如图 1 所示.

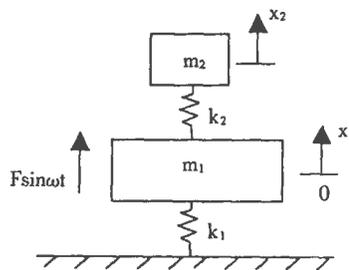


图 1 无阻尼吸振系统

此时, 运动方程为:

收稿日期: 2004-11-11

作者简介: 邱英(1972-), 女, 江西丰城人, 讲师.

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F \\ 0 \end{Bmatrix} \sin \omega t \quad (1)$$

解此方程可分别得出主系统和吸振器的振动  $X_1$  和  $X_2$ ,

$$\bar{X}_1(\omega) = \frac{[1 - (\omega/\omega_2)^2]X_0}{[1 + \mu(\omega_2/\omega_1)^2 - (\omega/\omega_1)^2][1 - (\omega/\omega_2)^2] - \mu(\omega_2/\omega_1)^2} \quad (2)$$

$$\bar{X}_2(\omega) = \frac{X_0}{[1 + \mu(\omega_2/\omega_1)^2 - (\omega/\omega_1)^2][1 - (\omega/\omega_2)^2] - \mu(\omega_2/\omega_1)^2} \quad (3)$$

式中:  $\omega_1 = \sqrt{k_1/m_1}$  为主系统的固有频率,  $\omega_2 = \sqrt{k_2/m_2}$  为吸振器的固有频率,  $X_0 = F/k_1$  为主系统的等效静位移,  $\mu = m_2/m_1$  为吸振器质量与主系统质量的比.

从式(2)可以知道,当  $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ , 即  $\mu = m_2/m_1 = k_2/k_1$  时,主系统质量  $m_1$  的振幅  $X_1$  将等于零. 也就是说,若将吸振器的固有频率设为与主系统的工作频率相等时,则主系统的振动将被消除,据此可设计出吸振器参数.

当  $\omega_1 = \omega_2 = \omega$  时,由(3)式可得  $X_2 = F/k_2$ , 给定允许的  $X_2$  值就可求出  $k_2$  和  $m_2$ . 在实际工作中可使  $\omega_2$  在  $\omega$  附近工作也能满足要求.

### 2.2 有阻尼吸振器设计

对于工作速度在一个比较大的范围内变动的设备,要消除其振动,要加有阻尼吸振器. 系统如图 2 所示.

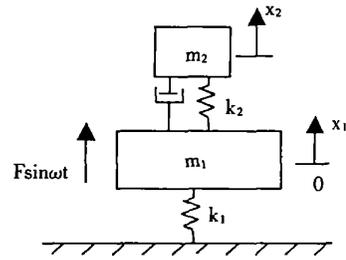


图 2 有阻尼吸振系统

写出此系统的运动方程:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c & -c \\ -c & c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F \\ 0 \end{Bmatrix} \sin \omega t \quad (4)$$

解上述方程得:

$$X_1 = \frac{k_2 - \omega^2 m_2 + j\omega c}{(k_1 - \omega^2 m_1)(k_2 - \omega^2 m_2) - \omega^2 k_2 m_2 + j\omega c(k_1 - \omega^2 m_1 - \omega^2 m_2)} F$$

$$X_2 = \frac{k_2 + j\omega c}{(k_1 - \omega^2 m_1)(k_2 - \omega^2 m_2) - \omega^2 k_2 m_2 + j\omega c(k_1 - \omega^2 m_1 - \omega^2 m_2)} F$$

利用前面定义的符号  $X_0, \omega_1, \omega_2, \mu$ , 并令  $\xi = c/(2m_2\omega_1)$  为阻尼比,  $\delta = \omega_2/\omega_1, \gamma = \omega/\omega_1$  由此可得出

主系统振幅的无量纲表达式:  $\frac{X_1^2}{X_0^2} = \frac{(\delta^2 - \gamma^2)^2 + 4\xi^2\gamma^2}{[(1 - \gamma^2)(\delta^2 - \gamma^2) - \mu\delta^2\gamma^2]^2 + 4\xi^2\gamma^2(1 - \gamma^2 - \mu\gamma^2)^2} \quad (5)$

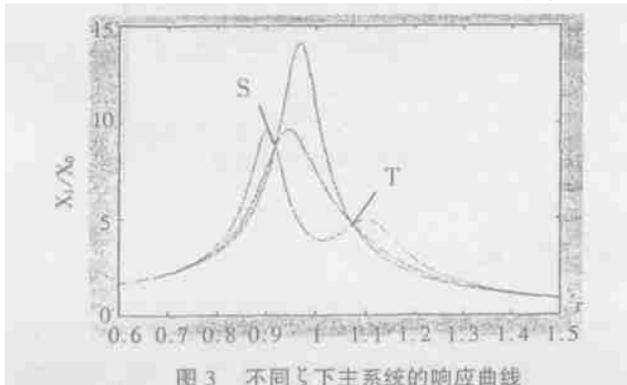


图 3 不同  $\xi$  下主系统的响应曲线

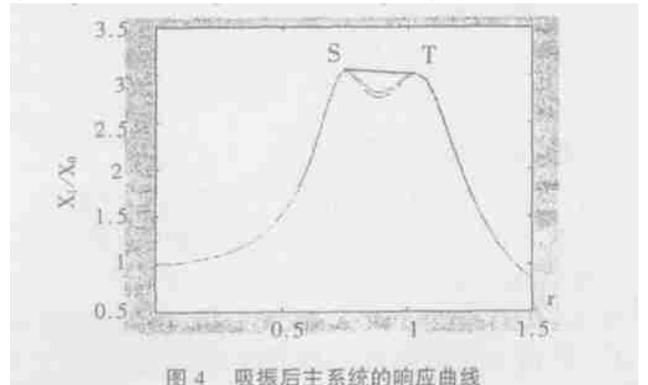


图 4 吸振后主系统的响应曲线

现取一组数据,如  $\mu = 0.05, \delta = 1$ , 主系统 在不同阻尼比下的响应曲线如图 3 所示.

从图中可以看出,对于不同的  $\xi$ , 响应曲线都交于  $S$  点和  $T$  点, 这表明这两个点所对应的  $\gamma$  值及主系统的稳态响应振幅与吸振器的阻尼  $c$  无关. 对于实际的工程问题, 并不要求使主系统的振幅  $X_1$  一定要等于零, 只要小于允许值就可以了. 最理想的吸振器应该是这样的: 响应曲线的两个极大值分别在  $S$  和  $T$  点达到, 且数值相等, 即满足  $X_1 \leq X_S = X_T$ . 一般情况下无法完全满足这一条件, 但受此启发, 可按这个条件设计吸振器的最佳参数, 步骤如下:

1) 在两种极端情况  $c = \xi = 0$  和  $c = \xi = \infty$  下主系统振幅的无量纲表达式分别为

$$\frac{X_1^2}{X_0^2} = \frac{(\delta^2 - \gamma^2)^2}{[(1 - \gamma^2)(\delta^2 - \gamma^2) - \mu\delta^2\gamma^2]^2} \quad (6)$$

$$\frac{X_1^2}{X_0^2} = \frac{1}{(1 - \gamma^2 - \mu\gamma^2)^2} \quad (7)$$

由图3可看出, 在  $S$  和  $T$  点的  $\gamma$  可由任两个不同的响应曲线求得, 我们利用公式(6)和(7)得出:

$$\gamma^4 - 2\gamma^2 \frac{1 + \delta^2 + \mu\delta^2}{2 + \mu} + \frac{2\delta^2}{2 + \mu} = 0 \quad (8)$$

由(8)式可得出  $\gamma_S$  和  $\gamma_T$  的表达式并代入(4)式求得:

$$\frac{X_S}{X_T} = \frac{1}{1 - \gamma_S^2 - \mu\gamma_S^2}, \quad \frac{X_S}{X_T} = \frac{1}{1 - \gamma_T^2 - \mu\gamma_T^2}$$

2) 由  $X_S = X_T$  得  $\delta = \frac{1}{1 + \mu}$  代入(8)式可得

$$\gamma_{S,T}^2 = \frac{1}{1 + \mu} (1 \mp \sqrt{\frac{\mu}{1 + \mu}})$$

从而得出:  $\frac{X_S}{X_0} = \frac{X_T}{X_0} = \sqrt{\frac{2 + \mu}{\mu}}$

3) 由于使  $X_S$  和  $X_T$  为最大值的  $\xi$  并不相等,

由  $\frac{dX}{d\lambda} \Big|_{\lambda=\lambda_S} = 0$ , 得出  $\zeta^2 = \frac{\mu(3 - \sqrt{\mu/(\mu+2)})}{8(1 + \mu)^3}$

由  $\frac{dX_S}{d\lambda} \Big|_{\lambda=\lambda_T} = 0$ , 得出

$$\zeta^2 = \frac{\mu(3 + \sqrt{\mu/(\mu+2)})}{8(1 + \mu)^3}$$

最佳阻尼比可取平均值:  $\zeta = \sqrt{\frac{3\mu}{8(1 + \mu)}}$ , 这样得出的  $X_S$  和  $X_T$  不完全相等, 不过在  $S$  点和  $T$  点有极大值, 且小于允许的数值. 响应曲线如图4所示, 与图3相比主系统的振幅小了很多, 吸振效果良好.

### 3 利用 Matlab 实现吸振器的设计

Matlab 软件于1984年由美国的 MathWorks 公司

推出, 该软件具有使用简单、方便、易编程的特点, 有强大的数值分析、矩阵运算、图形绘制、数据处理等功能. 此外, Matlab 还提供了图形用户界面 (GUI) 的设计与开发功能, 可以设计出具有良好人机交互功能的界面.

吸振器的界面设计如图5所示, 我们输入主系统的参数, 点击“计算吸振器参考参数”按钮可计算出吸振器的参数, 可对这些参数做适当调整, 并绘制主系统响应曲线图查看吸振效果, 把吸振效果良好的参数作为最终的吸振器参数.

程序设计流程如图6, 采用面向对象的程序设计方法实现功能.

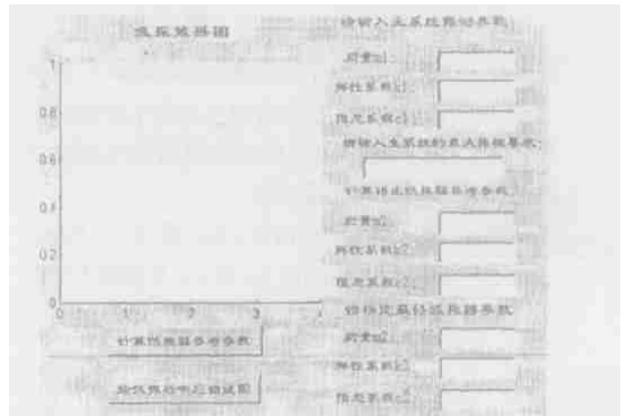


图5 吸振器设计系统界面



图6 程序设计流程

## 4 结论

利用 Matlab 软件设计出的这套系统, 能直接计算出吸振器的参数, 可根据实际需要做适当调整, 并直观地查看吸振效果, 对现实中机器的减振工作有理论指导意义.

**参考文献:**

[1] 阮沈勇,等. MATLAB 程序设计[M]. 北京:电子工业出版社,2004.

[2] 程耀东. 机械振动学[M]. 杭州:浙江大学出版社,1994.

[3] 中川宪治. 工程振动学[M]. 上海:上海科技出版社,1981.

[4] 师汉民. 机械振动系统[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2004.

## Design and Implementation of Vibration-absorber Based on Matlab

QIU Ying

(School of Mechanical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** This thesis describes how to design a visual absorber system with the powerful calculation capability and GUI tool of MATLAB. This dynamic absorber design system can calculate the parameter of absorber and achieve a good vibration-absorbing effect according to the known dynamic parameters of the major system.

**Key words:** Matlab; GUI; vibration; absorber

(上接第 101 页)

## Design of Basic Elements of Graphic User Interface of Configuration Software Based on ActiveX Controls Technology

ZHANG Hong-bin, LI Guang-li

**Abstract:** This paper presents the Graphic User Interface of Configuration Software, and introduces ActiveX Controls which compose of the Graphic User Interface. Finally it analyzes the design flow and key ideas of three ActiveX Controls in detail.

**Key words:** ActiveX Control; configuration software; VC++ 6.0; MFC