

文章编号:1005-0523(1999)04-0044-04

动态设计中的支承建模与参数识别

施阳和

(华东交通大学 机械工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要:综述了支承建模中的各种模型,并提出了基于带普遍性的模型参数识别原理^[1]。采用激振实验所获取的导纳值,便可求得支承参数^[1]。

关键词:动态设计; 轴承; 支承模型; 参数识别

中图分类号: TB535.1 **文献标识码:** A

0 引言

在机械传动系统的动态设计时,存在动力学模型的建立问题,建模的方法不同,其参数识别方法也不同^[1]。例如,把主轴系统建立为有限元模型时,可将实验复模态分析和有限元结合起来识别支承参数^[1]。若把主轴系统建立为集中参数模型时,则可用传递矩阵来识别支承参数^[1]。

支承作为传动系统中的一个重要子系统,其模型及相关参数的确定,是动态设计时的一项必不可少的工作^[1]。根据这种想法,笔者分析现有的支承模型,提出了一种基于带有普遍性支承模型的传递矩阵法参数识别原理^[1]。

1 支承模型

在传动系统中采用轴承不同,其相应的支承模型便有相应不同的简化结果^[1]。

假设主轴只承受径向载荷,轴承对轴的角位移无约束,则可建立如图 1(a) 的支承模型^[1]。

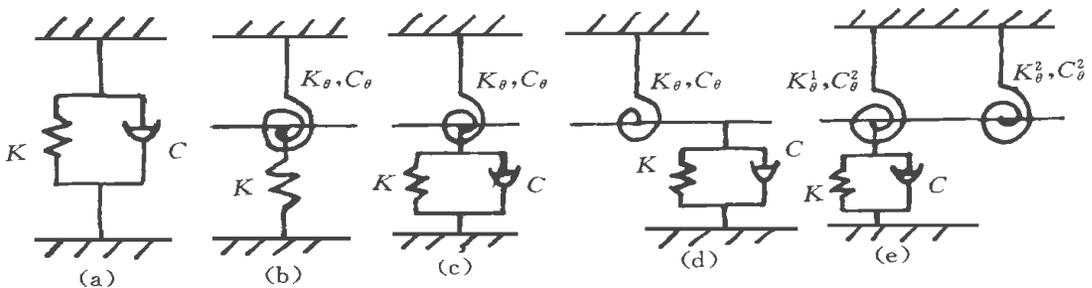


图 1 支承模型

假若采用滚锥轴承,则在振动中消耗了主要能量的是角阻尼,同时因径向刚度很大,径向

收稿日期:1999-05-21; 修订日期:1999-07-06

作者简介:施阳和(1965-),男,江西婺源人,华东交通大学讲师,工学硕士。

位移很小, 径向阻尼可忽略不计, 则其支承模型可简化如图 1(b) 形式¹⁹。

事实上, 支承处的轴段既有径向振动, 也有角振动¹⁹任何一个有预负荷的轴承组, 不但对轴的径向位移有约束, 且对角位移也有约束, 则其支承模型简化如图 1(c) 形式¹⁹而对于推力球轴承, 尽管不能承受径向载荷, 亦应考虑为一个角弹簧和角阻尼器, 则其支承模型简化为如图 1(e) 的形式¹⁹。

综合上述, 其最有普遍性的支承模型当属图 1(e) 形式¹⁹。仅依据具体情况对支承模型进行简化, 则图 1(e) 则可转化为图 1 中其它类型的支承模型¹⁹例如, 文献[1]通过研究, 把图 1(e) 所示支承模型转化为图 1(d) 所示形式¹⁹。

2 支承参数识别原理

综合上述, 在支承参数识别时, 只要解决了图 1(e) 所示支承模型参数识别问题, 然后通过缩减相应支承参数, 就可以解决其它支承模型的参数识别问题⁽¹³⁾

推导支承参数识别原理的模型如图 2⁽¹³⁾图中角刚度 K^1_0, K^2_0 , 角阻尼 C^1_0, C^2_0 及径向刚度 K 、径向阻尼 C 为待识别参数, 其识别过程如下:

第 1 步, 利用测点 0, 1 的导纳值求 0 点端态矢量 Z_0 ⁽¹³⁾

导纳形式的传递方程

$$Z_1 = T_1 Z_0 \tag{1}$$

式中: $Z_0 = \{Y^R_0 \ \theta \ 0 \ -1 \ T^l_0 \ \theta \ 0 \ 0\}^T, Z_1 = \{Y^R_1 \ \theta \ M^R_1 \ Q^R_1 \ Y^l_1 \ \theta \ M^l_1 \ Q^l_1\}^T, T_1$ 为 0、1 点之间总传递矩阵, 其元素为 t^{ij}_1

取式(1)中第 1、5 行可得下列方程组

$$\begin{cases} Y^R_1 = t^{11}_1 Y^R_0 + t^{12}_1 \theta - t^{14}_1 \\ Y^l_1 = t^{51}_1 Y^R_0 + t^{52}_1 \theta \end{cases}$$

方程组中 Y^R_1, Y^l_1, Y^R_0 为相应测点位移导纳, 可实验测取, 所以唯有 0 点转角 θ 、 θ 待求, 解此方程组可得⁽¹³⁾

第 2 步, 用测点 2、3、4 的导纳值, 求支承 B 的支承参数 K^2_0, C^2_0 , 对测点 2, 其态矢量

$$Z_2 = T_2 T_{B支} T_{NM} T_{A支} T_{MP} Z_0 \tag{2}$$

式中: T_2 为测点 2 到支承 B 的右侧的总传递矩阵; $T_{A支}, T_{B支}$ 分别为支承 A、B 的传递矩阵; T_{NM} 为支承 A、B 间的传递矩阵; T_{MP} 为端点到支承 A 左侧的传递矩阵⁽¹³⁾

为识别方便, 特作以下标记

$$I_{41} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad TI_{41} = \begin{bmatrix} t_{14} & 0 & 0 & 0 \\ t_{24} & 0 & 0 & 0 \\ t_{34} & 0 & 0 & 0 \\ t_{44} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

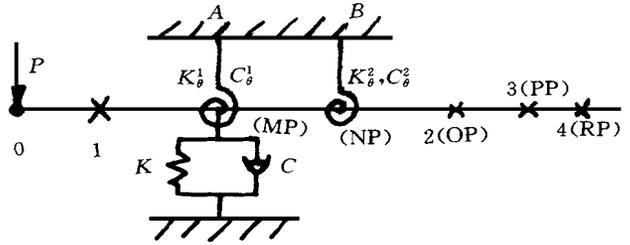


图 2 参数识别模型

$$I_{32} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{TI}_{32} = \begin{bmatrix} 0 & t_{13} & 0 & 0 \\ 0 & t_{23} & 0 & 0 \\ 0 & t_{33} & 0 & 0 \\ 0 & t_{43} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

其余类推⁽¹³⁾则

$$T_{A支} = I - KI_{41} + K^1 \mathbf{a}_{32} - C^1 \omega_{36} + C \omega_{45} - KI_{85} + K^1 \mathbf{a}_{76} + C^1 \omega_{72} - C \omega_{81}$$

$$T_{B支} = I + K^2 \mathbf{a}_{32} - C^2 \omega_{36} + K^2 \mathbf{a}_{76} + C^2 \omega_{72}$$

又 $Z_{A左} = T_{MP} Z^0$, $Z_{A右} = T_{A支} Z_{A左}$, $Z_{N左} = T_{NM} Z_{A右}$, $Y_{A左} = Y_{A右}$, $\theta_{左} = \theta_{右}$ ⁽¹³⁾

记 T_2 、 T_{NM} 相乘后所得矩阵元素为 $L_{ij}^{(2)}$, 令 $B_{21} = Y_2^R - L_{11}^{(2)} Y_{A右}^R - L_{12}^{(2)} \theta_{右}$, $B_{22} = Y_2^I - L_{11}^{(2)} Y_{A右}^I - L_{12}^{(2)} \theta_{右}$, 则取(2)式第1、5行, 则有

$$\left. \begin{aligned} M_{A右}^R L_{13}^{(2)} + Q_{A右}^R L_{14}^{(2)} + \theta_{左} K^2 \mathbf{a}_{13}^{(2)} - \theta_{左} C^2 \omega_{13}^{(2)} &= B_{21} \\ M_{A右}^I L_{13}^{(2)} + Q_{A右}^I L_{14}^{(2)} + \theta_{左} K^2 \mathbf{a}_{13}^{(2)} + \theta_{左} C^2 \omega_{13}^{(2)} &= B_{22} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

同理, 对测点3、4, 有

$$\left. \begin{aligned} M_{A右}^R L_{13}^{(3)} + Q_{A右}^R L_{14}^{(3)} + \theta_{左} K^2 \mathbf{a}_{13}^{(3)} - \theta_{左} C^2 \omega_{13}^{(3)} &= B_{31} \\ M_{A右}^I L_{13}^{(3)} + Q_{A右}^I L_{14}^{(3)} + \theta_{左} K^2 \mathbf{a}_{13}^{(3)} + \theta_{左} C^2 \omega_{13}^{(3)} &= B_{32} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} M_{A右}^R L_{13}^{(4)} + Q_{A右}^R L_{14}^{(4)} + \theta_{左} K^2 \mathbf{a}_{13}^{(4)} - \theta_{左} C^2 \omega_{13}^{(4)} &= B_{41} \\ M_{A右}^I L_{13}^{(4)} + Q_{A右}^I L_{14}^{(4)} + \theta_{左} K^2 \mathbf{a}_{13}^{(4)} + \theta_{左} C^2 \omega_{13}^{(4)} &= B_{42} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

对(3)、(4)、(5)式作进一步简化, 则得关于 $M_{A右}^R$ 、 $Q_{A右}^R$ 、 $M_{A右}^I$ 、 $Q_{A右}^I$ 的四元一次方程组⁽¹³⁾

$$\left\{ \begin{aligned} (L_{13}^{(2)} t_{13}^{(3)} - L_{13}^{(3)} t_{13}^{(2)}) M_{A右}^R + (L_{14}^{(2)} t_{13}^{(3)} - L_{14}^{(3)} t_{13}^{(2)}) Q_{A右}^R &= B_{21} t_{13}^{(3)} - B_{31} t_{13}^{(2)} \\ (L_{13}^{(2)} t_{13}^{(3)} - L_{13}^{(3)} t_{13}^{(2)}) M_{A右}^I + (L_{14}^{(2)} t_{13}^{(3)} - L_{14}^{(3)} t_{13}^{(2)}) Q_{A右}^I &= B_{22} t_{13}^{(3)} - B_{32} t_{13}^{(2)} \\ (L_{13}^{(2)} t_{13}^{(4)} - L_{13}^{(4)} t_{13}^{(2)}) M_{A右}^R + (L_{14}^{(2)} t_{13}^{(4)} - L_{14}^{(4)} t_{13}^{(2)}) Q_{A右}^R &= B_{21} t_{13}^{(4)} - B_{41} t_{13}^{(2)} \\ (L_{13}^{(2)} t_{13}^{(4)} - L_{13}^{(4)} t_{13}^{(2)}) M_{A右}^I + (L_{14}^{(2)} t_{13}^{(4)} - L_{14}^{(4)} t_{13}^{(2)}) Q_{A右}^I &= B_{22} t_{13}^{(4)} - B_{42} t_{13}^{(2)} \end{aligned} \right.$$

解之则求得 $M_{A右}^R$ 、 $Q_{A右}^R$ 、 $M_{A右}^I$ 、 $Q_{A右}^I$ ⁽¹³⁾

由 $Z_{B左} = T_{NM} Z_{A右}$ 可求解 $\theta_{左}$ 、 $\theta_{右}$ ⁽¹³⁾代入(3)式就可求得 $K^2 \mathbf{a}$ 、 $C^2 \omega$ ⁽¹³⁾

第3步, 用支承A右侧态矢量求其参数 K 、 C 、 $K^1 \mathbf{a}$ 、 $C^1 \omega$ ⁽¹³⁾

由 $Z_{A右} = T_{A支} Z_{A左}$, 可得

$$\left\{ \begin{aligned} M_{A右}^R &= K^1 \theta_{左} + M_{A左}^R - C^1 \omega \theta_{左} \\ M_{A右}^I &= C^1 \omega \theta_{左} + K^1 \theta_{左} + M_{A左}^I \\ Q_{A右}^R &= -K Y_{A左}^R + Q_{A左}^R + C \omega Y_{A左}^I \\ Q_{A右}^I &= -C \omega Y_{A左}^R - K Y_{A左}^I + Q_{A左}^I \end{aligned} \right.$$

解之可得 K 、 C 、 $K^1 \mathbf{a}$ 、 $C^1 \omega$ ⁽¹³⁾

3 结论

采用油膜阻尼器, 可以有效提高机床主轴系统的动态性能⁽¹³⁾但油膜阻尼器的相关参数(径向阻尼、径向刚度), 长期采用经验公式, 且忽略径向刚度⁽¹³⁾主轴试验台前支承是由两列向心球轴承构成, 其支承模型建立如图1(b)⁽¹³⁾一般有径向阻尼、径向刚度、角阻尼、角刚度4个参数⁽¹³⁾

一旦在该支承处增加一个油膜阻尼器后,则增加了二个参数⁽¹³⁾这时支承再简化,则有 6 个参数,正好用本文识别方法识别⁽¹³⁾

[参 考 文 献]

- [1] 唐一科,张济生. 机床主轴部件的支承参数识别[C]¹⁹.中国机械工程学会机械加工学会第三届年会论文集,1982,10 19.
- [2] 郭勇智,徐侠. 利用传递矩阵法识别主轴支承参数[C]¹⁹.全国第四届机械阻抗与参数识别技术学术会议论文集,专题科技资料(85) 026 号:11~18 19.

Bearing Model and Parametric Recognition on Dynamic Design

SHI Yang-he

(College of Mechanical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Various Bearing models are introduced and principles of parametric recognition based on universal model are advanced. On the basis of dynamic compliance from the vibration test excited by pulse, bearing parameters are obtained.

Key words: dynamic design; bearing; bearing model; parametric recognition