

机电系统数值计算和数值模拟的研究

王 裴 王 炅

(吉林工业大学交通学院道桥系, 长春 130025)

王 裕

(新疆工学院机械系, 乌鲁木齐 830000)

摘要 在工程实践中, 特别是在自动控制装置中, 机械结构和反馈控制的电路系统是具有广泛应用的机电耦合系统。本文讨论该系统的数值计算和数值模拟的方法。对于机械结构部分采用有限元法进行模拟计算, 对于反馈电路控制系统, 在输入与输出之间通过传递函数建立联系, 最后联立对机—电耦合系统的运动微分方程进行求解, 分析其稳定性, 供工程技术人员和设计者参考。

关键词: 机电系统; 数值计算; 数值模拟

1 引 言

在工程中, 机电耦合系统有着广泛的应用, 例如火箭飞行控制系统, 它是由机械结构(火箭本体)部分和一个电路反馈控制部分组成, 一旦火箭偏离预定的运动方向, 反馈电路控制系统就将机械量 θ , 角, 转变为电量进行放大, 产生一个输出的传递函数力 F , 如图 1 所示, 再使火箭恢复其稳定性的工作。其它的机—电耦合系统其工作原理亦同。

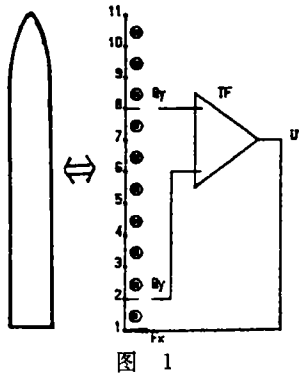


图 1

这类机电耦合系统主要由机械系统和电路系统两部分构成, 该系统工作的稳定性直接受到电路系统的控制, 而电路系统又受到机械系统中各种因素(例如弹性变形、摩擦等)的影响, 从而形成相互关联的机电耦合系统。显然这是一个复杂的系统, 要深入地分析整个系统的运动状态, 特别是要分析整个系统的稳定性, 就必需把反馈的电路结构与机械结构综合到一

体加以分析。

2 数值计算、数值模拟

根据图 1 结构的几何特性和约束及载荷特性, 结构部分(火箭本体)用梁单元来模拟。经过离散化后得到节点总数 $N_p=11$, 单元总数 $N_e=10$ 。有限元的控制方程为

$$\underline{M}_s \ddot{\underline{U}} + \underline{K}_s \underline{U} + \underline{B}_s \dot{\underline{U}} = \underline{F}_s(t) \quad (1)$$

\underline{M}_s 为结构的质量阵, 有集中质量和均布质量;

\underline{K}_s 为结构的刚度阵;

\underline{B}_s 为结构的阻尼矩阵;

$\underline{U}, \dot{\underline{U}}, \ddot{\underline{U}}$ 为节点的位移, 速度, 加速度;

\underline{F}_s 为外载列阵。

对于反馈调节的控制系统, 可以通过输入与输出之间传递函数方法来处理, 也可以通过非结构的纯量单元(即非结构的“电单元”)方法进行求解。

对于传递函数的方法, 例如火箭反馈调节控制系统, 根据其控制系统的运动微分方程, 可以得到输入量 θ_2^y , θ_8 与输出量 u 的传递函数形式^[1]

$$u = \frac{1}{1 + 0.688P + 0.948P^2} [(5 + 0.688P)\theta_2 + (0.5 + 0.688P)\theta_8] \quad (2)$$

控制力 F_x 与输出控制量 u 之间的关系

$$F_x = - .718 \times 10^6 u$$

一般简记为

$$\underline{F}_x = - \underline{\beta} u \quad (3)$$

联立 (1) 与 (3) 得

$$\underline{M} \ddot{\underline{U}} + \underline{K} \underline{U} + \underline{B} \dot{\underline{U}} = - \underline{F}_x$$

即

$$\underline{M} \ddot{\underline{U}} + (\underline{K} + \underline{\beta}) \underline{U} + \underline{B} \dot{\underline{U}} = 0 \quad (4)$$

根据 (4) 式进行复特征值的分析来判断系统的稳定性。

对于引入非结构单元的方法来处理机电耦合时, 可以模仿结构弹簧元的有限元方程。

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K & -K \\ -K & K \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix}$$

未定义电系统非结构的电单元有限元方程, 即由控制器产生的输出量 (力 f) 和输入量 (位移 y) 之间的关系为

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -K & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix}$$

在动态的情况下, 反馈控制系统电单元有限元方程为

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -m & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -b & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -K & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{Bmatrix} \quad (5)$$

式中 m, b, K 为包括电参数在内的广义质量、广义阻尼和广义刚度。

进一步把结构单元和非结构电单元组合起来就能得到机电耦合单元的有限元方程。假设控制系统的微分方程为

$$\underline{\underline{M}}_c \ddot{\underline{\underline{U}}} + \underline{\underline{B}}_c \dot{\underline{\underline{U}}} + \underline{\underline{K}}_c \underline{\underline{U}} = \underline{\underline{F}}_c \quad (6)$$

结构单元的有限元方程为

$$\underline{\underline{M}}_s \ddot{\underline{\underline{U}}} + \underline{\underline{B}}_s \dot{\underline{\underline{U}}} + \underline{\underline{K}}_s \underline{\underline{U}} = \underline{\underline{F}}_s \quad (7)$$

联系 (6)、(7), 得到机电耦合系统单元的有限元方程:

$$\begin{bmatrix} \underline{\underline{M}}_s & 0 \\ 0 & \underline{\underline{M}}_c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\underline{\underline{U}}}_s \\ \ddot{\underline{\underline{U}}}_c \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{\underline{B}}_s & 0 \\ 0 & \underline{\underline{B}}_c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\underline{\underline{U}}}_s \\ \dot{\underline{\underline{U}}}_c \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{\underline{K}}_s & 0 \\ 0 & \underline{\underline{K}}_c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \underline{\underline{U}}_s \\ \underline{\underline{U}}_c \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \underline{\underline{F}}_s \\ \underline{\underline{F}}_c \end{Bmatrix} \quad (8)$$

组装后的机电系统有限元方程为

$$\underline{\underline{M}} \ddot{\underline{\underline{U}}} + \underline{\underline{B}} \dot{\underline{\underline{U}}} + \underline{\underline{K}} \underline{\underline{U}} = \underline{\underline{F}} \quad (9)$$

由于非结构电单元的刚度阵, 质量阵、阻尼阵都是非对称的, 组装后的 $\underline{\underline{M}}, \underline{\underline{B}}, \underline{\underline{K}}$ 也是不对称的。求解方程 (9) 可以通过通用的程序, 例如, NASTRAN 程序, ANSYS 程序等, 也可以采用自编程序进行。

3 结 束 语

现代大型仪器设备中, 机电耦合已经成为不可缺少的重要成分。本文提出的计算方法及应用软件, 已在笔者的工作中多次使用。因此, 本文可为从事类似设计工作的工程技术人员参考。

参 考 文 献

- [1] API 程序用户手册·理论说明书, 第一汽车厂资料, 1990
- [2] 杨洪波, 精密随动系统动态稳定性分析与优化, 中科院长春光机所硕士学位论文, 1991

A Study on the Numerical Calculation and the Numerical Simulation of the Electromechanical System

Wang Pei Wang Jiong

(Depa. of Roads and bridges, Jilin University of Technology, Changchun 130025)

Wang Yu

(Peqa. of Machinery, Xinjiang Institute of Technology, Urumqi 830000)

Abstrat

This papr deals with the numerical calculation and the numerical simulation of this system. Finite Element Method (FEM) is applied in the part of mechanical structures, while in the part of feed-back control circuits, we used transformation function to connect input variables with output variables, then we combinate those two parts and solve the motion differential equations of this electromechanical system to analyse system stability for the reference to engineers and designers.

Key words: Electromechanical system, Numericl calculation, Numerical simulation