

传递矩阵法与有限元方法的等效性 及对传递矩阵法的修正

徐 宏
(机械系)

一. 两种方法的基本公式

考虑一端带有集中质量 m 的无质量平面梁单元作横向振动问题。

所谓传递矩阵法,是将结构离散化后得到一系列梁单元和集中惯性单元。根据材料力学和机械振动理论的基本方法,得出单元两端状态向量(位移和内力)之间的传递关系式,则可得到只与结构特性和频率有关的矩阵——单元传递矩阵。根据所有单元传递矩阵,就可推出整个结构两端状态向量之间的传递关系,然后根据边界条件得出频率方程(特征多项式),从而求出系统固有频率和相应的振型。

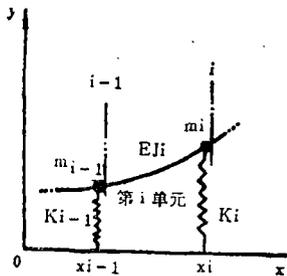


图1 平面梁单元的选取

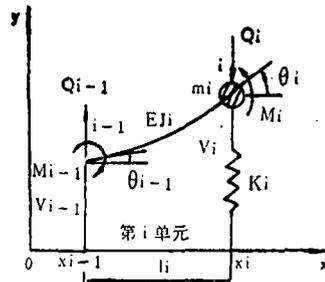


图2 梁单元节点位移和内力

对于一端带有集中质量和弹性支承约束的无质量梁单元作平面横向振动情况,已经推得其单元两端状态向量的传递关系式^[2]为:

$$\begin{Bmatrix} v \\ \theta \\ Q \\ M \end{Bmatrix}_i = \begin{bmatrix} 1 & l & \frac{l^3}{6EJ} & \frac{l^2}{2EJ} \\ 0 & 1 & \frac{l^2}{2EJ} & \frac{l}{EJ} \\ -k + m\omega^2 & (-k + m\omega^2)l & 1 + \frac{(m\omega^2 - k)l^3}{6EJ} & \frac{(m\omega^2 - k)l^2}{2EJ} \\ 0 & 0 & l & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v \\ \theta \\ Q \\ M \end{Bmatrix}_{i-1} \quad (1)$$

式中的 v 和 θ 分别为挠度和转角, θ 和 M 为对应的剪力和弯矩。

下面将根据上式, 推导得出与传递矩阵法完全相同的表达式, 从而证明两种方法是等效的。

目前, 对有限元在结构分析中研究进行得很多, 已得出了考虑多种因素的单元刚度矩阵和质量矩阵。如对于复杂截面形状构件, 考虑剪切变形、分布质量和分布回转效应的影响、取考虑动力修正的刚度和质量特性——即刚度阵和质量阵不再是常数阵(静力刚度和质量阵), 而是包含有与频率有关动力修正阵, 而这些因素在传递矩阵公式, 目前还没有看到介绍。但可以借助有限元方法的单元刚度阵和单元质量阵转换成单元的传递矩阵公式, 从而用传递矩阵法常用的解题方法和步骤确定系统的固有频率和振型。

二. 等效性推证

将公式(6)改写成下列形式:

$$\begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} \\ D_{21} & D_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_{i-1} \\ \delta_i \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_{i-1} \\ P_i \end{Bmatrix} \quad (7)$$

式中

$$\begin{aligned} D_{11} &= \begin{bmatrix} \frac{12EJ}{l^3} & \frac{6EJ}{l^2} \\ \frac{6EJ}{l^2} & \frac{4EJ}{l} \end{bmatrix}_i, & D_{12} &= \begin{bmatrix} -\frac{12EJ}{l^3} & \frac{6EJ}{l^2} \\ -\frac{6EJ}{l^2} & \frac{2EJ}{l} \end{bmatrix}_i, \\ D_{21} &= \begin{bmatrix} -\frac{12EJ}{l^3} & -\frac{6EJ}{l^2} \\ \frac{6EJ}{l^2} & \frac{2EJ}{l} \end{bmatrix}_i, & D_{22} &= \begin{bmatrix} \frac{12EJ}{l^3} & -m\omega^2 + k & -\frac{6EJ}{l^2} \\ -\frac{6EJ}{l^2} & & \frac{4EJ}{l} \end{bmatrix}_i, \\ \{\delta_{i-1}\} &= [v_{i-1}, \theta_{i-1}]^T, & \{\delta_i\} &= [v_i, \theta_i]^T \\ \{P_{i-1}\} &= [Q_{i-1}, -M_{i-1}]^T, & \{P_i\} &= [-Q_i, M_i]^T \end{aligned}$$

展开(7)式得

$$\begin{cases} D_{11}\delta_{i-1} + D_{12}\delta_i = P_{i-1} \\ D_{21}\delta_{i-1} + D_{22}\delta_i = P_i \end{cases}$$

移项并写成矩阵形式

$$\begin{bmatrix} D_{12} & O \\ -D_{22} & I_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_i \\ P_i \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -D_{11} & I_2 \\ D_{21} & O \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_{i-1} \\ P_{i-1} \end{Bmatrix} \quad (8)$$

式中 I_2 为二阶单位矩阵。

求解(8)式得:

$$\begin{Bmatrix} \delta \\ P \end{Bmatrix}_i = [F]_i \begin{Bmatrix} \delta \\ P \end{Bmatrix}_{i-1} \quad (9)$$

式中

$$[F]_i = \begin{bmatrix} D_{12} & O \\ -D_{22} & I_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -D_{11} & I_2 \\ D_{21} & O \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -D_{12}^{-1}D_{11} & D_{12}^{-1} \\ -D_{22}D_{12}^{-1}D_{11} + D_{21} & D_{22}D_{12}^{-1} \end{bmatrix} \quad (10)$$

下面推导出 $[F]_i$ 的具体表达式:

$$\begin{aligned}
 D_{12}^{-1} &= \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} \\ d_{21} & d_{22} \end{bmatrix}^{-1} = \frac{1}{d_{11}d_{22} - d_{12}d_{21}} \begin{bmatrix} d_{22} & -d_{12} \\ -d_{21} & d_{11} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} \frac{l^3}{6EJ} - \frac{l^2}{2EJ} \\ \frac{l^2}{2EJ} - \frac{l}{EJ} \end{pmatrix}_i \\
 -D_{12}^{-1}D_{11} &= \begin{pmatrix} \frac{l^3}{6EJ} - \frac{l^2}{2EJ} \\ \frac{l^2}{2EJ} - \frac{l}{EJ} \end{pmatrix}_i \begin{pmatrix} \frac{12EJ}{l^3} & \frac{6EJ}{l^2} \\ \frac{6EJ}{l^2} & \frac{4EJ}{l} \end{pmatrix}_i = \begin{pmatrix} 1 & l \\ 0 & 1 \end{pmatrix}_i \\
 -D_{22}D_{12}^{-1}D_{11} + D_{21} &= \begin{pmatrix} \frac{12EJ}{l^3} - m\omega^2 + K - \frac{6EJ}{l^2} \\ -\frac{6EJ}{l^2} \end{pmatrix}_i \begin{pmatrix} 1 & l \\ 0 & 1 \end{pmatrix}_i + \begin{pmatrix} -\frac{12EJ}{l^3} - \frac{6EJ}{l^2} \\ \frac{6EJ}{l^2} & \frac{2EJ}{l^2} \end{pmatrix}_i \\
 &= \begin{pmatrix} \frac{12EJ}{l^3} - m\omega^2 + k & \frac{6EJ}{l^2} - m\omega^2 l + kl \\ -\frac{6EJ}{l^2} & -\frac{2EJ}{l} \end{pmatrix}_i + \begin{pmatrix} -\frac{12EJ}{l^3} - \frac{6EJ}{l^2} \\ \frac{6EJ}{l^2} & \frac{2EJ}{l} \end{pmatrix}_i \\
 &= \begin{bmatrix} k - m\omega^2 & (k - m\omega^2)l \\ 0 & 0 \end{bmatrix}_i \\
 D_{22}D_{12}^{-1} &= \begin{pmatrix} \frac{12EJ}{l^3} - m\omega^2 + k & -\frac{6EJ}{l^2} \\ -\frac{6EJ}{l^2} & \frac{4EJ}{l} \end{pmatrix}_i \begin{pmatrix} \frac{l^3}{6EJ} - \frac{l^2}{2EJ} \\ \frac{l^2}{2EJ} - \frac{l}{EJ} \end{pmatrix}_i \\
 &= \begin{pmatrix} -1 - \frac{(m\omega^2 - k)l^3}{6EJ} & \frac{l^2}{2EJ}(m\omega^2 - k) \\ l & -1 \end{pmatrix}_i
 \end{aligned}$$

结果可得

$$[F]_i = \begin{pmatrix} 1 & l & \frac{l^3}{6EJ} & -\frac{l^2}{2EJ} \\ 0 & 1 & \frac{l^2}{2EJ} & -\frac{l}{EJ} \\ k - m\omega^2 & (k - m\omega^2)l & -1 + \frac{(k - m\omega^2)l^3}{6EJ} & -\frac{(k - m\omega^2)l^2}{2EJ} \\ 0 & 0 & l & -1 \end{pmatrix}_i \quad (11)$$

单元 i 两端状态向量之间的传递关系为:

$$\begin{pmatrix} v \\ \theta \\ Q \\ M \end{pmatrix}_i = [T]_i \begin{pmatrix} v \\ \theta \\ Q \\ M \end{pmatrix}_{i-1}$$

其中

$$[T]_i = \text{diag}[1 \ 1 \ -1 \ 1] \cdot [F]_i \cdot \text{diag}[1 \ 1 \ 1 \ -1]$$

此表达式与传递矩阵法结果相同。同理，从传递矩阵公式可推出有限元的刚度矩阵和质量矩阵。也就是说，这两种方法可以相互推证，其本质是一致的。

三. 考虑诸影响因素的有限元公式 及对传递矩阵法的修正

上面推证过程中，是选用的不考虑各种影响因素的最基本的有限元和传递矩阵公式，下面先介绍作为分布质量平面梁单元作横向振动时，考虑剪切变形和分布回转效应影响的有限元刚度矩阵和质量矩阵^[1]。

单元刚度阵

$$[K_e] = \frac{EJ}{(1+\varphi)l^3} \begin{pmatrix} 12 & & & \\ 6l & (4+\varphi)l^2 & \text{对称} & \\ -12 & -6l & 12 & \\ 6l & (2-\varphi)l^2 & -6l & (4+\varphi)l^2 \end{pmatrix} \quad (12)$$

单元质量阵

$$[m_e] = \frac{\rho Al}{(1+\varphi)^2} \begin{pmatrix} \frac{13}{35} + \frac{7}{10}\varphi + \frac{1}{3}\varphi^2 & & & \text{对称} \\ \left(\frac{11}{210} + \frac{1}{120}\varphi + \frac{\varphi^2}{24}\right)l & \left(\frac{1}{105} + \frac{\varphi}{60} + \frac{\varphi^2}{120}\right)l^2 & & \\ \frac{9}{70} + \frac{3}{10}\varphi + \frac{1}{6}\varphi^2 & \left(\frac{13}{420} + \frac{3}{40}\varphi + \frac{\varphi^2}{24}\right)l & \frac{13}{35} + \frac{7}{10}\varphi + \frac{\varphi^2}{3} & \\ -\left(\frac{13}{420} + \frac{3}{40}\varphi + \frac{\varphi^2}{24}\right)l & -\left(\frac{1}{140} + \frac{\varphi}{60} + \frac{\varphi^2}{120}\right)l^2 & & \\ & -\left(\frac{11}{210} + \frac{11}{120}\varphi + \frac{\varphi^2}{24}\right)l & \left(\frac{1}{105} + \frac{\varphi}{60} + \frac{\varphi^2}{120}\right)l^2 & \end{pmatrix}$$

$$+ \frac{\rho Al}{(1+\varphi)^2} \left(\frac{\gamma}{l}\right)^2 \begin{pmatrix} \frac{6}{5} & & & \text{对称} \\ \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{2}\varphi\right)l & \left(\frac{2}{15} + \frac{1}{6}\varphi + \frac{1}{3}\varphi^2\right)l^2 & & \\ -\frac{6}{5} & \left(-\frac{1}{10} + \frac{1}{2}\varphi\right)l & & \frac{6}{5} \\ \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{2}\varphi\right)l & \left(-\frac{1}{30} - \frac{1}{6}\varphi + \frac{1}{6}\varphi^2\right)l^2 & \left(-\frac{1}{10} + \frac{1}{2}\varphi\right)l & \\ & \left(\frac{2}{15} + \frac{1}{6}\varphi + \frac{1}{3}\varphi^2\right)l^2 & & \end{pmatrix} \quad (13)$$

式中

剪切系数 $\varphi = \frac{12EJ}{GA_s l^2}$ 。其中 E 和 G 为材料拉压和剪切弹性模量； $A_s = KA$ 为有效抗剪面积； A 为梁截面面积； K 为截面系数^[3]，其值如下表：

截面形状	矩形	圆形	圆环
K	5/6	0.851	0.5

γ 为截面回转半径 $r^2 = J/A$ ； ρ 为材料密度。

即使考虑了上述诸因素的影响，有限元法仍可直接形成单元及总体刚度阵和质量阵，调用现成的求广义特征值和特征向量的程序来直接求解。因而，一般不需要将有限元公式化为传递矩阵法公式，根据传递矩阵方法进行迭代求解的。但若计算机容量不大，则化为传递矩阵法，然后做一些四阶矩阵的乘法，并求二阶矩阵行列式，这种运算就显出其优越性了。

四. 动力修正的影响

对于振动系统，考虑动力的影响后，形函数不再只是坐标的函数而是与频率有关，即 $[N(x, y, z, \omega)]$ 。将形函数展成 ω 的级数，并代入公式：

$$\left. \begin{aligned} [K_e] &= \int_e [N]^T [C] [N] dv \\ [m_e] &= \int_e \rho [N]^T [N] dv \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

中，则可得到依赖于频率的刚度和质量矩阵：

$$\left. \begin{aligned} [k_e] &= [k_0]_e + \sum_{r=1}^{\infty} \omega^r [k_r]_e \\ [m_e] &= [m_0]_e + \sum_{r=1}^{\infty} \omega^r [m_r]_e \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

将整个结构所有的单元刚度阵和单元质量阵集总成总体刚度阵 $[K]$ 和总体质量阵 $[M]$ ，并根据支承约束和集中惯性元件等进行修改，可得特征方程：

$$|[K^*] - \omega^2 [M^*]| = 0 \quad (16)$$

此方程至少为 ω^2 的二次方程。式中 $[K^*]$ 和 $[M^*]$ 分别为修改后的总体刚度阵和质量阵。

求解此 ω^2 的高次矩阵方程极为困难，只有用迭代法。有限元法中矩阵阶数是节点自由度数(所讨论问题为 2)乘以分割后总节点数。因而，其矩阵阶数相当高，迭代法求行列式也变得几乎不可能。此时就显出将有限元所得单元公式化为传递矩阵法进行求解运算的必要性。因为传递矩阵法只是做一系列阶数为二倍于节点自由度数的矩阵乘法，然后求阶数为节点自由度数的行列式值。故用迭代法求解极为方便，只是在迭代前的预备工作较多，但编制了计算机程序后，可由计算机完成。

已证明^[11]对于作平面横向振动的梁单元，其依赖于频率的单元刚度和质量矩阵为：

$$[k_e] = [k_0]_e + \omega^4 [k_4]_e + \dots \quad (17)$$

$$[m_e] = [m_o]_e + \omega^2 [m_2]_e + \dots \tag{18}$$

其中 $[k_o]_e$ 和 $[m_o]_e$ 同于(12)和(13)式, $[k_4]_e$ 和 $[m_2]_e$ 在不考虑剪切变形的影响时分别为:

$$[k_4]_e = \frac{(\rho Al)^2 l^3}{EJ \times 10^3} \begin{pmatrix} 0.364872 & & & & \text{对称} \\ 0.0766162l & 0.0162624l^2 & & & \\ 0.329571 & 0.0721933l & 0.364872 & & \\ -0.0721933l & -0.0157041l^2 & -0.0766162l & 0.0162624l^2 & \end{pmatrix} \tag{19}$$

$$[m_2]_e = \frac{(\rho Al^2) l^3}{EJ \times 10^3} \begin{pmatrix} 0.729746 & & & & \text{对称} \\ 0.153233l & 0.0325248l^2 & & & \\ 0.659142 & 0.144386l & 0.729746 & & \\ -0.144386l & -0.0314082l^2 & -0.153233l & 0.0325248l^2 & \end{pmatrix} + \frac{(\rho Al^2) l^3}{EJ \times 10^3} \left(\frac{r}{l}\right)^2 \begin{pmatrix} 0.317460 & & & & \\ 0.793651l & 0.317460l^2 & & & \text{对称} \\ -0.317460 & 0.595238l & 0.317460 & & \\ -0.595238l & -0.277778l^2 & -0.793651l & 0.317460l^2 & \end{pmatrix} \tag{20}$$

上式中第一项表示移动惯性, 第二项表示转动惯性。

$[D]$ 矩阵也将作相应修正, 如只取 $[k_e] = [k_o]_e + \omega^4 [k_4]_e$ 和 $[m_e] = [m_o]_e + \omega^2 [m_2]_e$, 并考虑了集中质量和支承的影响得到:

$$[D] = [k_o]_e - \omega^2 [m_o]_e - \omega^4 ([m_2]_e - [k_4]_e) \tag{21}$$

进而得到 $[T]_i$ 表达式。

五. 使用修改后的传递矩阵法的 解题方法和具体步骤

1. 解题方法

由各单元传递矩阵 $[T]_i$ 形成总体传递矩阵

$$[T] = [T]_n [T]_{n-1} \cdots [T]_1 \quad (n \text{ 为单元总数})$$

即有

$$\begin{pmatrix} v \\ \theta \\ Q \\ M \end{pmatrix}_n = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \\ t_{41} & t_{42} & t_{43} & t_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \theta \\ Q \\ M \end{pmatrix}_1 \tag{22}$$

对于具有弹性支承和终止端带有转鼓的离心机主轴系统来说, 在考虑了支承约束和转鼓影响后, 边界条件如下:

起始端边界条件

$$Q_o = 0, M_o = 0 \tag{23}$$

轴终止端边界条件

$$Q_n = 0, M_n = 0 \tag{24}$$

从而有

$$\left. \begin{aligned} Q_n &= t_{31}v_o + t_{32}\theta_o = 0 \\ M_n &= t_{41}v_o + t_{42}\theta_o = 0 \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

由于 v_o 和 θ_o 不同时为零, 应有以下行列式为零的条件, 即:

$$P = \begin{vmatrix} t_{31} & t_{32} \\ t_{41} & t_{42} \end{vmatrix} = 0 \quad (26)$$

上式决定了临界转速值。

在确定了每一阶临界转速数值后, 可得到 v_o 和 θ_o 之间必须满足的关系

$$\theta_o = -\frac{t_{31}}{t_{32}}v_o \quad (27)$$

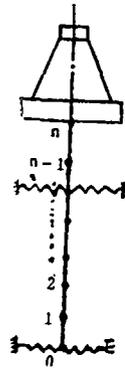


图4 离心机主轴系统

这样, 各点的状态向量在每一临界转速时都可用 v_o 值表示。因而, 确定了各点 v 值的相对大小, 也就是转轴的主振型。

在实际计算中, 为了减少多余运算, 必须把总体传递矩阵中没有用的两列元素消去。为此, 引入初参数矩阵:

$$[A] = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (28)$$

使总体传递矩阵变成一个 4×2 阶矩阵, 即

$$[B]_{4 \times 2} = [T]_{4 \times 4} [A]_{4 \times 2} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{21} & t_{31} & t_{41} \\ t_{12} & t_{22} & t_{32} & t_{42} \end{bmatrix}^T \quad (29)$$

从而达到了去除两列无用元素的目的。

2. 具体步骤

1) 假定一角频率 ω_k , 步长 $\Delta\omega_k$

2) 形成轴单元有限元刚度阵和质量阵, 对于有支承约束的单元修改其质量阵, 从而形成单元的动力矩阵 $[D_e] = [k_e] - \omega^2[m_e]$

3) 由 $[D_e]$ 经过变换, 得到单元传递矩阵 $[T]$

4) 形成总的传递矩阵 $[B]_{4 \times 2} = [T]_{4 \times 4} [A]_{4 \times 2}$

5) 计算行列式(剩余函数)值 P

6) 比较相邻两个试算角频率相对应的剩余函数值的符号。若同号, 则令 $\omega_{k+1} = \omega_k + \Delta\omega_k$, 返回步骤2)继续运算。否则, 说明在这两个角频率之间可能存在有一固有频率, 这时需采用二分法求剩余函数值, 找出固有频率的近似值

7) 根据求得的固有频率的近似值求主振型

8) 继续加大 ω 值, 并选取新的步长 $\Delta\omega$, 返回步骤 2)重新计算, 直至求得所要求的固有频率和主振型

参 考 文 献

- [1] [美]J.S.Przemieniecki 著,王德荣等译,《矩阵结构分析理论》,国防工业出版社,1974。
- [2] 清华大学固体力学组,《机械振动(上)》,机械工业出版社,1980。
- [3] 谢贻权、何福保主编,《弹性和塑性力学中的有限单元法》,机械工业出版社,1975。
- [4] J.S.Przemieniecki,《Quadratic Matrix Equations for Determining Vibration Modes and Frequencies of Continuous Elastic Systems》,《Proc. Conf. Matrix Methods Struct. Meth》,Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, Oct. 1965,《AFFDL TR 66-80》,1966。

85021

微型计算机在电扇电机性能测试中的应用《无锡轻工业学院学报》

1985年, 第四卷, 第3期

关键词 电扇电机, 接口, 应用软件编写, 传感器, 超级隔离, 绝缘电阻, 功能电路。

摘要 本文叙述“微机控制电扇电机检测线”的设计和测量的基本原理。本文包括系统设计, 接口, 应用软件的编写和传感器。

作者: 冯伟, 周宝田, 周锡昌

85023

传递矩阵法与有限元方法的等效性及对传递矩阵法的修正《无锡轻

工业学院学报》1985年, 第四卷, 第3期

关键词 传递矩阵, 刚度矩阵, 质量矩阵, 等效性, 动力修正。
摘要 本文根据求解平面梁结构作横向振动的有限元公式, 推导了传递矩阵的表达式, 此表达式与常用的根据材料力学弯曲变形所得公式相同。从而证明了两种方法在求解链式结构动力问题中是等效的并据此对传递矩阵法进行了修正, 使该方法不仅可以考虑剪切变形和弹性支承的影响, 而且可以考虑分布质量、分布回转效应及动力修正的影响。

作者: 徐宏

85022

无锡市少年宫天文台肋壳结构的有限元电算《无锡轻工业学院学报》

1985年, 第四卷, 第3期

关键词 有限元分析, 肋壳结构, 波前解

摘要 我们编制了用于肋壳结构分析的有限元程序。本文对梁单元刚度矩阵和载荷向量进行了变换, 以实现各个梁单元的节点位移同与其连接的壳单元的节点位移的协调。采用波前法解方程组, 因此可用微机分析中等规模的结构。应用该程序对无锡少年宫天文台的肋壳结构进行了计算。

作者: 范本筠, 邹焕新, 吴家骥

85024

固定凸轮与连杆组合机构的设计《无锡轻工业学院学报》1985年,

第四卷, 第3期

关键词 凸轮, 连杆, 组合机构, 压力角, 优化设计

摘要 本文简要介绍固定凸轮与连杆组合机构的工作原理与设计方法, 并比较全面地分析了结构参数、摆动从动杆支点位置和设计驱动方案对压力角的影响, 从而为该机构的优化设计提供了依据。

作者: 赵治华

85023

THE EQUIVALENCE OF TRANSFER MATRIX METHOD AND FINITE ELEMENT METHOD AND THE CORRECTION TO THE TRANSFER MATRIX METHOD «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No. 3, 1985

KEYWORDS Transfer matrix, Stiffness matrix, Mass matrix, Equivalence, Dynamic correction.

ABSTRACT The transfer matrix formula is derived from the element stiffness and mass matrices of plane beam in the finite element method. It is just the same as the general formula derived by the material mechanics and mechanical vibration. Thus, the equivalence of two methods is proved in the vibration problems of chain structure. The transfer matrix method is corrected, which makes it possible to consider not only the influences of shear deformation and bearing elasticity but also the influences of distributed mass and gyroscopic moment of shaft and the dynamic correction.

Author: Xu Hong

85021

MICROCOMPUTER APPLICATION IN FAN MOTOR PERFORMANCE MEASUREMENT «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol. 4, No.3, 1985

KEYWORDS Fan motor interface application software programming transducer superisolation insulation resistance function circuit.

ABSTRACT This paper describes the designing strategy and basic measuring principle of the "Microcomputer Controlled Electric Fan Motor Performance Measurement Line". It contains system design, interface, application software programming and the design of the transducers.

Author: Feng Wei, Zhou Baotian, Zhou Xichang

85024

THE DESIGN FOR COMBINED MECHANISM OF FIXED CAM AND LINKAGE «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No.3, 1985

KEYWORDS Cam, Linkage, Combined mechanism, Pressure angle, optimum design.

ABSTRACT The paper shows the principle and design method of combined mechanism of fixed cam and linkage, and the influence of the parameters, the support point of swing linkage and with the driving form on the pressure angle discussed. Therefore, a reliable method has been dedicated for optimum design of this mechanism.

Author: Zhao Zhikua

85022

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF THE RIBBED SHELL OF THE ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF WUXI CHILDREN'S PALACE «Journal of the Wuxi Institute of Light Industry», Vol.4, No.3, 1985

KEYWORDS Finite element analysis, ribbed shell, Wavefront solution

ABSTRACT A finite element program designed for the stress analysis of ribbed shells is presented. In this paper, the stiffness matrices and load vectors of the beam elements have been transformed so as to get the nodal displacements of each beam element compatible with those of the adjoining shell elements. The wavefront solution method has been adopted to solve the system of equation, thus the microcomputer may be used to analyze a medium-scale structure. As an example of its applications, the ribbed shell of the astronomical observatory of wuxi children's palace is computed in the way.

Author: Fan Benjun, Zou Huanxin, Wu Jiaji