

典型结构静叶分析及程序实现

大连理工大学 裘春航 蔚夺魁 梁继新 李东

为了计算静叶在热负荷、压力负荷和相邻构件作用下所产生的应力、变形以及它们的固有频率和振型,研制了 STAP 程序,由静力和动力分析两个子系统构成。该程序可在 DOS 系统支持下在 IBM-PC 及其兼容机上运行,并具有下列显著特点: (1) 具有方便的前处理功能,只需要型值点的几何及物理特性和荷载数值即可生成分析所用的全部数据。(2) 能处理集中荷载、分布荷载、温度荷载等多种荷载及其组合。(3) 具有完善的后处理功能,计算结果可用数值、图形等多种形式输出。

1. 程序系统结构及部分算法原理 用 STAP 程序进行结构分析按图 1 所示的流程执行。

(1) 网格划分和子结构拼装 STAP 程序能对曲面和块体进行网格自动划分和子结构的拼装。对曲面要划分成结构比较简单的曲面块。为了利用型值点,采用 Hermite 插值块,为:

$$p(s,t) = \begin{bmatrix} h_0(s) \\ h_1(s) \\ \bar{h}_0(s) \\ \bar{h}_1(s) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} p(0,0) & p(0,1) & p_t(0,0) & p_t(0,1) \\ p(1,0) & p(1,1) & p_t(1,0) & p_t(1,1) \\ p_s(0,0) & p_s(0,1) & p_{st}(0,0) & p_{st}(0,1) \\ p_s(1,0) & p_s(1,1) & p_{st}(1,0) & p_{st}(1,1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_0(t) \\ h_1(t) \\ \bar{h}_0(t) \\ \bar{h}_1(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $p(i,j)$, $p_s(i,j)$, $p_t(i,j)$ 和 $p_{st}(i,j)$ ($i=0,1, j=0,1$) 是曲面四角点的坐标、一阶和二阶偏导数; $h_0(s) = (1-s)^2(2s+1)$, $h_1(s) = s^2(3-2s)$, $\bar{h}_0(s) = s(1-s)^2$, $\bar{h}_1(s) = s^2(s-1)$ 等是 Hermite 插值函数(图 2)。

对于块体应划分成若干单连通的任意 20 节点六面体(图 3),为一子结构。其边界面可是平面或双向二次曲面。网格划分用映射法,对参数 $\xi\eta\zeta$ 空间边长为 2 的的方体进行。

某型号叶片的网格图(图 4)中。叶身部分是一连续曲面,作为子结构 1。因叶片空心,须把上下缘板划分成两个曲面块,分别对应子结构 2、3、4、5。缘板上的榫头作为子结构 6、7、8、9、10。对以上子结构拼装,即可自动生成所需的有限元结构。

(2) 温度荷载 $\{H\}^e$

$$\{H\}^e = \iiint_B \mathbf{J}^T \mathbf{D} \{\epsilon\} dv \quad (2)$$

其中 $\mathbf{B}$ 是几何矩阵, $\mathbf{D}$ 是弹性矩阵, 热应变 $\{\epsilon\}$ 由单元节点温度插值求得。对三角

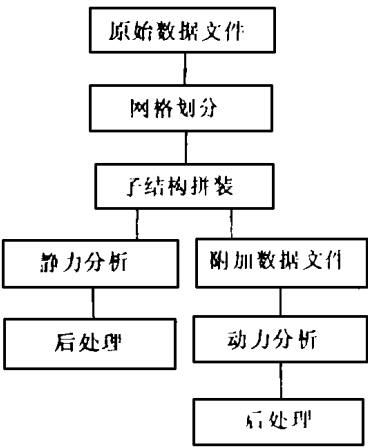


图 1 结构分析流程

形常应变单元, 用以面积坐标为系数的线性插值。对矩形膜元, 用双线性插值。对八节点等参膜元, 单元内变温用与单元内位移同样的插值形函数。对于离散 Kirchhoff 假设板单元, 上下表面各节点的温度差为 T_1 、 T_2 、 T_3 , 并设在单元内部温差呈线性变化 $T = L_1 T_1 + L_2 T_2 + L_3 T_3$ 。其中 L_1 、 L_2 、 L_3 为面积坐标。对于块体单元, 温度插值函数用形函数。

(3) 温度变化对材料性质的影响 STAP 程序中装配了一种离散 Kirchhoff 假设温度板元。设 E_0 、 μ_0 、 α 为常温下的杨氏模量、泊松比及热胀系数。 λ_E 、 λ_μ 、 λ_α 为温度对 E 、 μ 、 α 的影响系数。 T 为单元内温度。材料性质参数和温度 T 的关系可表示为:

$$E = E_0 + \lambda_E T, \quad \mu = \mu_0 + \lambda_\mu T, \quad \alpha = \alpha_0 + \lambda_\alpha T \quad (3)$$

假定温度沿板厚线性变化, 三个节点处的上下表面温差和中面温度为 $\bar{T}_1$ 、 T_1 、 $\bar{T}_2$ 、 T_2 、 $\bar{T}_3$ 、 T_3 。单元内任意点的上下表面温差和中面温度 $\bar{T}$ 、 T 分别用面积坐标线性插值而求得:

$$\begin{aligned} \bar{T}(x, y) &= L_1(x, y) \bar{T}_1 + L_2(x, y) \bar{T}_2 + L_3(x, y) \bar{T}_3 \\ T(x, y) &= L_1(x, y) T_1 + L_2(x, y) T_2 + L_3(x, y) T_3 \end{aligned} \quad (4)$$

这种单元的刚度阵与温度有关, 通过数值积分可求得其近似值。因此, 温度既是一种荷载, 又可以说是一种性质参数。

2. 结构模型化和程序考核 STAP 利用了主—从关系解决了各种单元之间的连接, 故用户可直接干预结构模型化。程序中避免用“过渡元”、“伪单元”等。利用位移规格数和相对坐标系解决了复杂边界的描述。故可大量减少未知数个数, 避免方程病态, 用户可以通过主—从关系直接干预结构模型化。

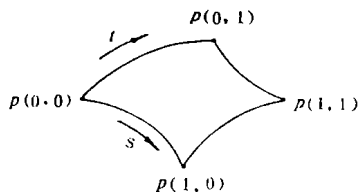


图 2 插值函数

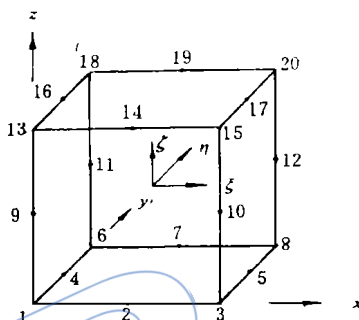


图 3 六面体

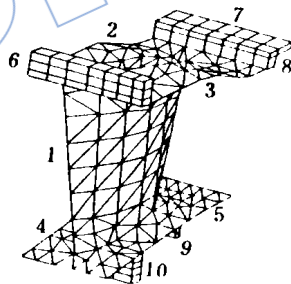


图 4 网格图

THE TREATMENT OF $1/r$ SINGULARITY AND DISCONTINUOUS TRACTIONS IN 3-D ELASTIC BOUNDARY ELEMENT METHOD

Wen Weidong and Gao Deping
(*Nanjing Aeronautical Institute*)

ABSTRACT

For treatment of common discontinuous tractions in 3-D elastic boundary element method, a simple and practical approach is proposed in this paper. The problem of the $1/r$ integral singularity and its treatment are discussed and analyzed as well. The numerical results show that the approach in this paper is satisfactory.

ANALYSIS FOR TYPICAL STATOR BLADE STRUCTURE AND ITS IMPLEMENTATION

Qiu Chunhang, Yu Duokui, Liang Jixin, Li Dong
(*Dalian University of Technology*)

ABSTRACT

A program named the STAP for the stator blade analysis with preprocessor and postprocessor is briefly introduced. Using the mesh generation and substructure assemblage functions of the STAP, it is possible to accomplish conveniently the stress and vibration analyses of the stator blade if only the coordinates of points on the contour of a blade and a few of mechanical properties of materials are inputted. Since mechanical properties, particularly Young's modulus and coefficient of thermal expansion, are temperature dependent, it is very important to take this fact into account for calculating the stress of a cooled gas turbine blade. For this end the STAP provides for user a finite element method with a temperature dependence on the properties. In structure modelling, in order to reduce the number of unknown variables and to describe the complex boundary conditions, the STAP is possessed of the function of Master-Slave relations between the nodal displacements.