

有限元一体化处理系统

姚 勇 范庆波 马金华 (机电部通用机械研究所)

一、引言

有限元一体化处理系统 FECPS(Finite Element Concertrate Process System),是国家攻关项目《风机、冷冻机、压力容器 CAD》中的一个重要部分。我们在充分剖析 DDM-FEM 软件包和有限元分析(SAP6)程序包的基础上,编写了近五千条 DAL 和 Fortran 程序,将前置处理,分析部分,后置处理三大部分成功地融为一体,实现有限元分析处理的一体化,为机械产品的设计提供了有力的工具。

按照常规,在进行有限元分析时,绝大部分时间都花在准备数据文件,输入数据文件,整理并分析输出的结果上。对坐标值等的计算、加载荷、约束条件、材料、温度等

数据和输入数据都极易出差错,而且非常麻烦。对输出结果,只能逐行、逐单元地阅读,并要分析庞大的数据文件,将所有的数据联系起来,才能得到结构的整体概念。

FECPS 集先进的图形系统和有限元分析程序为一体,用户在工作站上生成几何模型:采用自动或手动的方式生成节点、划分单元;对约束、材料、形状特性、力/力矩、压力、温度等数据,能方便地进行增加、修改、删除、核实等操作;准确无误地生成有限元分析所需的数据卡片;实现有限元分析;将分析结果如位移、应力、温度、振型、时间历程曲线(位移、速度、加速度和应力)等用图形形象、直观地表示出来,用户可以一目了然地知晓机械零部件的应力、位移和温度大小、方向及分布情况,大大加速设计过程,提高设计质量和水平。

FECPS 应用于工程设计,能对梁单元、杆单元、平面应力单元、轴对称单元、三维实体单元、板壳单元、空白单元、平面应变单元、弯管单元、三维曲边单元、曲边轴对称单元、曲边平面应力单元、曲边平面应变单元、6×6 刚度单元、读入刚度单元,实现动态、静态和热分析。

FECPS 对使用环境有以下要求:

1.硬件环境:

- (1) VAX 机(VAX 系列)带 CLAMA 工作站
- (2) Micro VAX II / GPX 工作站
- (3) Apollo 工作站

2.软件环境:

DDM 3.0 以上版本

二、设计原理

有限元一体化处理系统(FECPS)中,关键的技术难题就是数据传递问题。首先有以下数据:节点数据、单元数据、材料数据、形状特性数据、温度数据、压力数据、力/力矩数据等要进行传递,将这些数据增加到有限模型中,然后将这些数据传递到前处理模块,形成有限元分析所需的卡片;将分析所得的应力、位移、温度、时间历程(位移、速度、加速度和应力)等数据,传递到分析结果处理模块和后处理模块,产生位移、应力、温度、振型、时间历程响应(位移、速度、加速度和应力)曲线和位移、应力报告等。如何实现一条龙的数据传递,并且要快速、准确,是我们设计的重点。

下面叙述其设计原理:

1.使用模型数据库,对数据进行管理

在前处理中,涉及到以下参数:

- (1)单元的几何性质
- (2)材料特性
- (3)温度
- (4)模型的拓扑特性
- (5)单元联接和边界的约束
- (6)力/力矩矢量的方向和大小
- (7)作用力和作用在表面单元上的压力大小

在后处理中,要涉及到位移、应力、时间历程(位移、速度、加速度和应力)和温度等数据。

在处理这些数据时,采用系统过滤页号来标识数据

库中的数据类型,系统过滤页号由两部分组成,第一部分为系统过滤页(SYS),标明操作的类型,是系统级的或是用户级的;第二部分为系统过滤号,标识操作的数据类型。在编制程序时,根据系统的过滤页号,对数据进行操作。

下面叙述在后处理中使用数据库对数据进行存取的设计原理:

(1)对分析结果数据进行规范。规范数据采用 ASCII 码格式,全部数据都是单精度浮点数,且所有记录都按 6E13.7 格式。有下列四种记录类型:

- 输出标题记录
- 条目数据标题记录
- 条目数据记录
- 条目数据终止记录

下面分别叙述这四种记录类型:

①输出标题记录。格式为:

工况序号	输出类型	条目类型	条目长度
------	------	------	------

其中:

- 工况序号——在该工况下,所产生的位移或应力
- 输出类型——等于 1 表示位移,等于 5 表示应力,等于 7 表示温度
- 条目类型——等于 1 表示该条目类型为点
- 条目长度——等于节点总数

②条目数据标题记录。格式为:

过滤号 1	过滤号 2	过滤号 3	...	过滤号 N
-------	-------	-------	-----	-------

过滤号规定以下条目数据的关键字,以便存取。

③条目数据记录。格式为:

数据 1	数据 2	数据 3	...	数据 N
------	------	------	-----	------

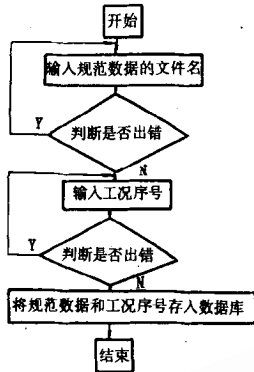
其中:

- 数据 1——为节点序号
 - 数据 2 到数据 N——节点的温度、位移或应力值
- ④条目数据终止记录。格式为:

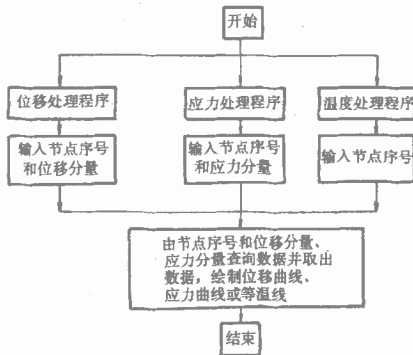
-1	0	0	...	0
----	---	---	-----	---

共有 $N-1$ 个零

(2)将规范数据,存入模型数据库。编制 DAL 程序,将温度、位移和应力数据存入数据库中。其设计框图为:



(3)编制接口程序,实现数据存取,绘制曲线。将过滤号和节点序号作为关键字,编制 DAL 程序,实现数据的存取。其设计框图为:



2.分模块、分单元编写程序

在设计过程中,采用自顶向下的设计方法,将整个系统分成五大模块:模型准备模块、前处理模块、分析模块、分析结果处理模块和后处理模块,各大模块根据功能和 SAP6 的单元类型,分成子模块来设计。

3.设置单元子类型识别码,解决 FECPS 与 SAP6 的单元匹配问题

FECPS 单元类型有三种:线单元、面单元和体单元,而 SAP6 有十五种单元类型,如何解决这个问题,我们设置单元子类型识别码的方法,详见下表:

4.根据一体化的构思,修改 SAP6 分析模块

我们对 SAP6 程序进行改动时所依据的主要原理,

按不同单元类型分述如下:

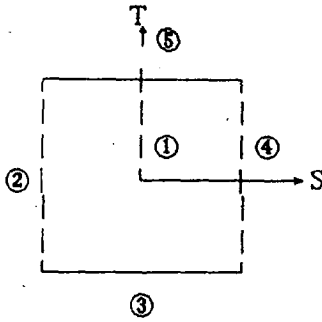
(1)二维单元和平面应力单元。SAP 程序采用四节点等参元和四节点 WILSON 不协调元来处理平面和轴对称问题;四节点等参元也可退化为常应变三角形元,但精度下降。

FECPS 与 SAP6 单元类型对照表

FECPS 单元类型	SAP6 单元类型	子类型识别码
线单元	梁单元	0
	杆单元	10001
	弯管单元	1 或 111
面单元	板壳单元	0
	平面应力单元	11002
	轴对称单元	11003
	平面应变单元	11004
	曲边平面轴对称单元	11005
	曲边平面应力单元	11006
	曲边平面应变单元	11007
固体单元	三维实体单元	21001
	三维曲边实体单元	21002
其它单元	空白单元	31001
	6X6 刚度矩阵单元	31002
	读入刚度单元	31003

根据它的设计原理及计算公式和我们工作的需要,我们进行如下改动:

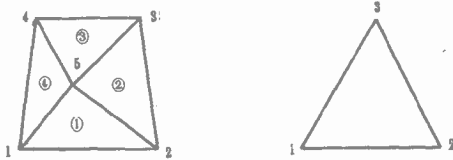
- ①通过改动 S、T 局部节点坐标值,将原来边中点位置转到角节点上(仅对四边形元)。
- ②删除各边中点应力计算转换矩阵[Ti]。
- ③为了消除三角形元在形函数设置点出现 T 坐标值取 1、0 时的错误,增添了一个程序用于保留原程序中的计算方法,见下图示:



其中:①...⑤为输出顺序

④通过设置新变量和公用语句等将单元节点符号输出。(在下面的其它单元也都分别做了类似的修改)

(2)板壳单元。原板壳单元的应力输出结果是单元中性轴上形心应力,显然不符合该接口的后处理程序要求:需要板壳单元上下层各角节点上的应力。板壳单元分为四边形和三角形两种类型单元。四边形单元划分为四个子三角形,分别算出四个子三角形形心处应力,再平均得四边形形心处应力;三角形单元直接计算出形心处应力,示意图见下。



针对上述情况,我们做了如下修改:

①在计算子三角形单元形心应力时,通过修改加权系数,直接计算出四个三角形角节点上的应力,以角节点上的应力计算平均值(角节点力),然后再凝聚消除中间附节点(如五节点)的影响。

②在板壳单元主子程序中应用如下公式:

$$\{B\}z = \pm \frac{h}{2} = \pm \frac{6}{h^2} \{M\}$$

将单元中性轴截面上各角节点的应力(实际上是弯矩)转换成板壳单元上下表面上各节点上的应力。

(3)三维厚壳单元

该单元主要修改工作如下:

为了便于了解厚壳单元的应力分布全貌和实际工程情况,我们通过扩大数组规模及设置相应的一些变量等,约定输出为8个角节点上的应力。

(4)梁单元和管单元

梁单元和管单元计算方法和输出结果相类似,我们将它们加在一起叙述。因为原梁单元和管单元输出的是局部坐标系下各单元节点上的弯矩力,而后处理程序要求的是整体坐标系下单元各节点上的弯矩力、内应力和单元轴应力,所以,做了如下修改:

①在读入数据子程序中,将两个单元的轴截面,抗弯抗扭截面模量等参数传到主子程序来计算出局部坐标系下的应力,公式如下(管单元):

$$B_{11} = \frac{P}{S_1} \quad (\text{轴应力})$$

$$B_{21} = \frac{M_1}{W_1}, \quad \text{其中 } W_1 = \frac{\pi}{16D_1} (D_1^4 - D_2^4)$$

$$B_{22} = \frac{M_2}{W_2}, \quad \text{其中 } W_2 = \frac{\pi}{32D_1} (D_1^4 - D_2^4)$$

$$B_{33} = \frac{M_3}{W_3}, \quad \text{其中 } W_3 = W_3 \text{ (抗扭截面模量)}$$

②在输入数据子程序中,将两单元的局部坐标系与整体坐标系关系矩阵[T]传到主子程序中(弯管单元略有不同),将局部坐标系下计算出的节点处应力和弯矩转换成整体坐标系下的应力和弯矩。公式见下:

$$[B] = [T][B]$$

$$[M] = [T][M]$$

三、FECPS 总体结构框图

