

IGFEA 接口软件

赵 虹 卢 镔

摘要: 本文概要地介绍了高级图形软件S7K与有限元分析程序SAP6的接口软件IGFEA的开发背景, 指导思想, 功能, 总体结构及流程图, 并介绍了一些实例。

一、引 言

对工程技术人员来说, 应用有限元分析程序的最大障碍是输入数据的准备(结构理想地化为单元、节点、材料、载荷等的形式)。人工准备数据时, 需熟练人员集中精力而仍易于出现错误。根据有关人员的统计, 有限元分析过程中, 有40%的时间用于输入数据的准备工作。这表明, 应用有限元分析程序(尤其是线性的)过程中的计算费用, 与获得结构的理想化模型和把模型整理为分析程序所用的输入数据的费用相比较, 几乎是微不足道的。结构的理想化和建模, 包括了许多探索性的工程判断, 这些重要的决策, 是不可能由计算机来机械地执行的。然而, 最费时和最冗长的部分, 即把理想化模型变成有限元分析程序的输入数据, 是否可以由计算机自动进行, 这对总效率将产生巨大的影响。所以, 可以说配有辅助工程技术人员简化有限元输入数据准备的功能是有限元结构分析实际应用中的首要关键。为解决此问题, 我们结合SAP 6与S7K高级图形软件的特点, 开发了IGFEA接口程序, 该程序已在CCD相机和上海机床厂的砂轮尾架等实际工程分析题目的前处理做了运行, 并做了一定的考题。

二、开发IGFEA程序的软件支撑背景与指导思想

1. 软件支撑背景

光仪设计工程分析的流程是概念设计(生成实体模型)→建立有限元模型(FEM)→IGFEA接口程序→SAP 6→POST, 这一数据流程过程见图1所示。工程分析中的这一系列操作是在同一工程数据库的环境下进行的。如图1所示, 有限元分析数据是在概念设计的基础上, 建立有限元模型, 进行前处理而生成的。

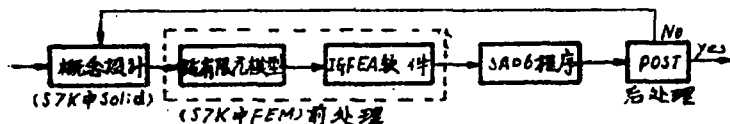


图1 工程分析数据流程图

开发IGFEA接口软件是在SAP 6 结构分析程序与Apollo 机的S 7 K高级图形软件系统支持下进行的。

S 7 K高级图形软件中的FEM模块只具备有限元初步建模功能，它与SAP 6 程序输入数据的要求相差甚远，如在边界条件的引进、材料属性、载荷处理、子结构、刚体单元、动态分析、坐标系选取及参数确定等许多方面均不能满足要求。为此，开发 IGFEA程序的目的就是要增强S 7 K有限元的前处理功能使其直接与 SAP 6 程序数据输入的要求匹配起来，完成二者的结合工作。

2. 指导思想

IGFEA 接口软件开发的指导思想就是使由概念设计生成的模型数据能方便地直接转入SAP 6 结构分析程序，同时还要考虑到用户的方便使用。为此具有以下几点：

(1) 交互式的作业方式，工程技术人员可通过菜单和直观的图形进行人机会话，图形显示。用户与系统间的通讯可直接产生修改前后的几何形状等，可修改模型，并对节点和单元作删除和修改。这打破了有限元模型数据的输入只能由具有工程实际经验的工程技术人员进行的限制，在模型建立后，一般对有限元基础知识稍加了解的人员即可通过人机交互的方式进行整个模型数据的全部输入。

(2) 拥有一个材料特性数据库文件，可供用户选择。

(3) 解决绝大部分光机结构的有限元模型数据的输入问题，做到全面，实用。

(4) 有限元模型建立后，可方便地修改结构、材料、载荷，以便于分析程序再启动，对模型进行多次模拟分析，提高设计——分析的迭代效率。

(5) 软件具有可扩充性。

三、IGFEA接口软件的总体结构和功能

有限元的控制方程为：

$$Mx'' + Cx' + Kx = F(t)$$

有限元方法就是由 M , C , K , F 这些已知条件，求出 x 。方程中 M 为质量阵， C 为阻尼阵， K 为刚度阵， x 为位移， F 为载荷阵， t 为时间。

质量阵、刚度阵及阻尼阵均与几何尺寸，材料特性有关，载荷阵与载荷的性质大小及分布有关，其关系如图 2 所示。由此可说明有限元输入数据间的关系是互有联系又各自独立的。

考虑到有限元输入数据间的关系，IGFEA 接口软件采用模块结构，整个系统由若干不同层次的模块组成，模块间既有机联系又相对独立，各自承担着专门的功能。其结构组成如图 3 所示。这样的系统结构易于扩充、维护、发展。

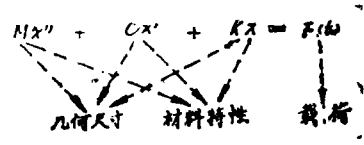


图 2 参数关系示意图

整个软件自始至终采用多层次的菜单驱动结构，只需键入简单的序号，即可执行相应的功能。对于接口软件中常用的功能块及开始与结束功能均在 S 7 K 图形屏幕上设置了专门的功能键，在执行IGFEA接口软件过程中可随时中断去执行这些功能块。

整个接口软件采用FORTRAN高级语言和S 7 K 高级图形应用软件语言 AI 编写的，其

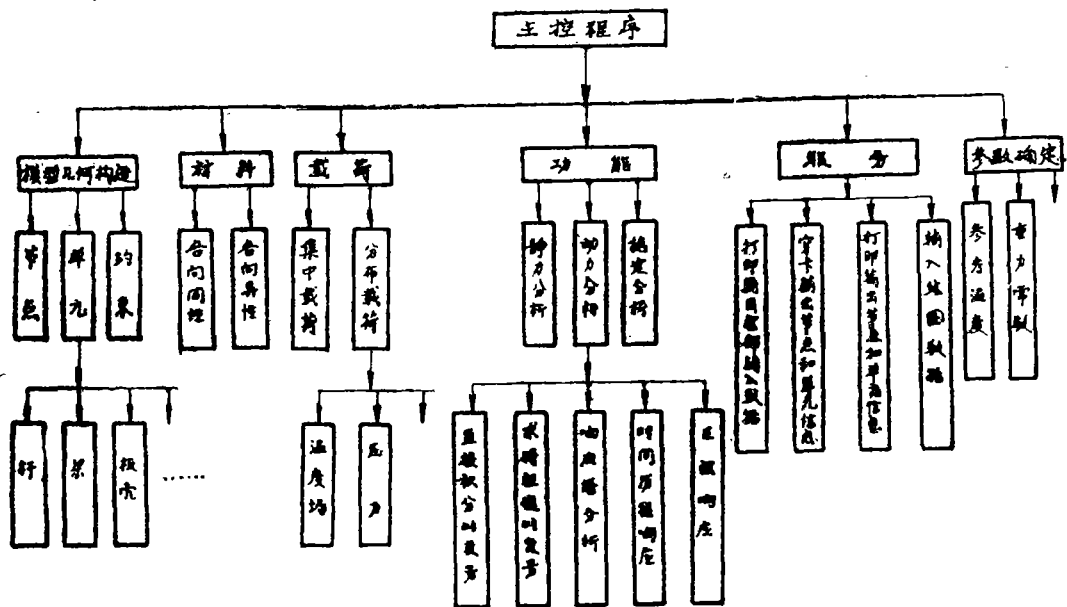


图3 IGFEA程序模块结构图

逻辑流程图如图4所示。

IGFEA接口软件功能如下：

1. 建立和修改控制数据输入文件：包括分析类型，载荷工况数，绘图控制信息，标题等项。
2. 建立和修改几何尺寸输入文件：包括刚体单元，节点网络，单元网络，边界条件，超单元定义节点，节点自由度约束，节点自由度从属于其它节点， 6×6 刚度矩阵单元，读入刚度单元等。
3. 建立和修改材料特性输入文件：包括各项同性材料，各项异性材料的光仪常用材料库中的各种材料，如碳钢、合金钢、铝合金、玻璃、橡胶等。
4. 建立和修改载荷输入文件：包括集中载荷和质量，非均匀分布和均匀分布的温度场，压力类型，载荷乘子，仅有梁单元的模型时指令几种工况组合，输入梁的截面特性以校核应力等等。
6. 建立和修改参数确定文件，包括选取局部坐标系，最大座标值，参考温度与重力常数，最小带宽，子结构时反绕20号文件，节点号重编，结束标志等。
7. 建立和修改动态分析输入文件，包括求特征值的变量，直接积分的变量，正弦响应，时间历程响应，响应谱分析的输入等。

以上这些功能均由若干组子程序构成，在此不做详细的介绍了。

四、应用实例

本文只列举了几个比较有代表性的实际应用题目。

例1. 简支方板的稳定性计算

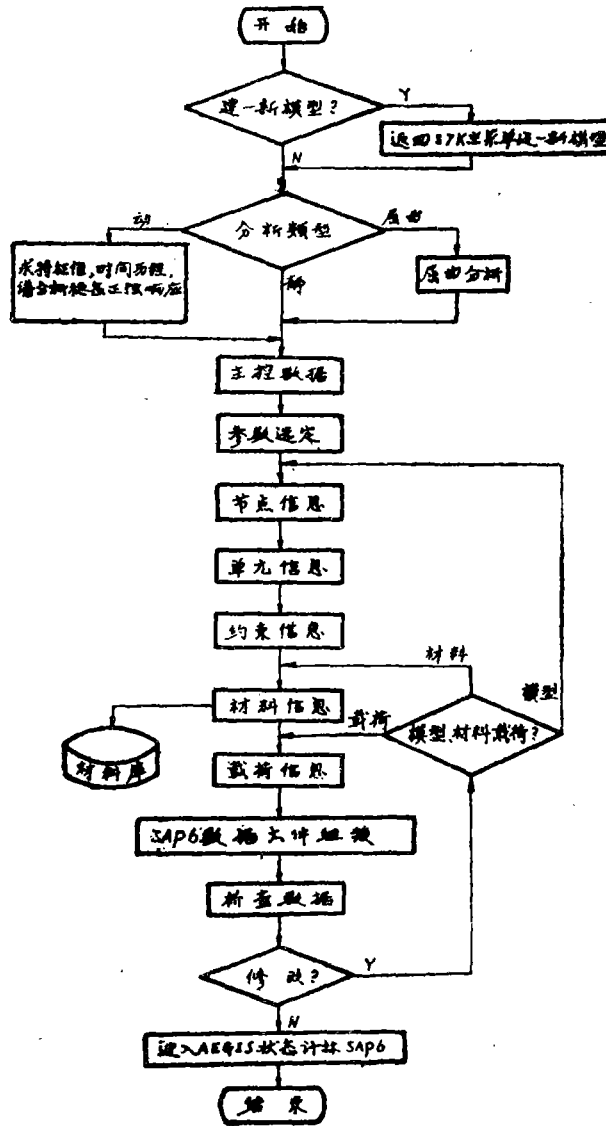


图4 IGFEA程序流程图

已知：四边简支方板两侧边作用均布压力 $p = 1 \text{ lb/in}$ ，边长 $a = 100 \text{ in}$ ，板厚 $t = 2 \text{ in}$ ，材料特性 $E = 30 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$ ， $\mu = 0.33$ 。

求解：确定均布压力 p 的临界值。

图5中左上角小图是简支方板的立体图。简支方板的厚度为 t ，边长为 a ，两侧边作用均布压力 p 。右图是建立的有限元模型图。说明如下：

1. 整个有限元模型采用板壳单元组成，共生成了81个节点，64个单元，节点和单元分布如右图所示。

2. 根据已知条件，给出边界条件：根据板壳单元数字模型特点约束所有节点绕 z 轴的转动，约束 y 轴上诸节点在 x 轴方向的位移，以承受均布压力 p 的作用，约束方板四个边界上诸节点的 z 轴方向的位移，约束节点1的 y 方向的位移，以消除板在该方向的刚体位移。

3. 由于板壳单元不能加入沿边长分布的分布载荷，所以将其转换成作用在节点上的集

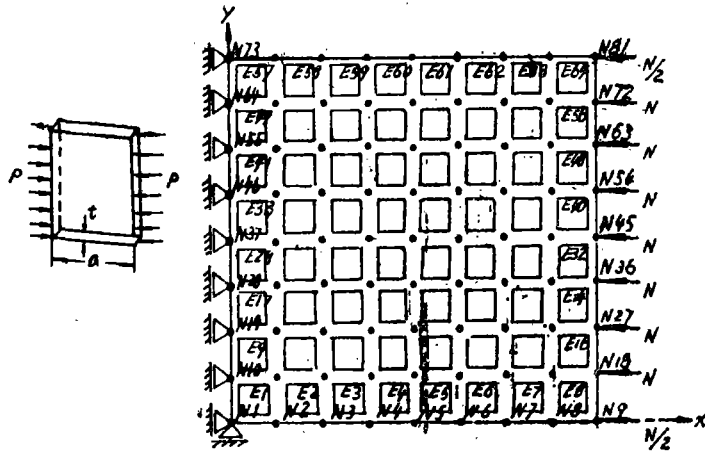


图5 四边简支方板的计算模型

中力，元素边长为12.5 in，所以 $N = p \times 12.5 = 12.5lb$ ，平均分配于两个节点上，得到有限元模型图所示的载荷。

4. 在NEW-PROB指令卡上，置NDYN = 11，表示是屈曲分析问题，在NF处置空白或1，表示求与最低频率相对应的稳定临界载荷值。

由以上说明可由IGFEA 程序通过人机交互的方式给出与图5所示有限元模型相对应的SAP 6输入数据文件，整个建模和生成文件的过程用了10分钟，生成的数据文件从略。

例2 平面桁架的静力分析

已知：材料特性： $E = 30 \times 10^6 lb/in^2$ ， $\alpha = 6.5 \times 10^{-6}$

截面面积 $A = 2in^2$

载荷工况1： $p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = 0$ ，均匀温升为70°F。

载荷工况2： $p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = 10\ 000lb$ ，均匀温降为40°F，节点9的初位移是 $\eta = e = -0.12in$ 。

求解：两种工况时节点5在y方向的位移。

例2简图如图6所示，一平面桁架，A端固定，B端弹性支撑，在桁架上方加了 p_1, p_2, p_3, p_4 四个力，如图所示。对这样一个平面桁架进行静力分析，首先建立有限元模型，模型图如

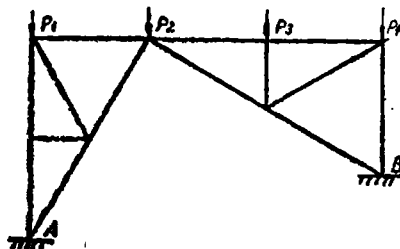


图6 平面桁架图

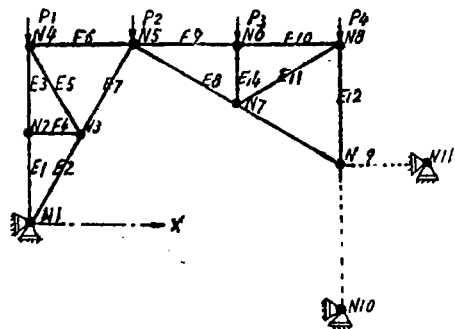


图7 平面桁架的有限元模型

图 7 所示, 说明如下:

1. 采用杆单元组成有限元模型, 共生成了11个节点, 14个单元节点, 单元及载荷分布如图 7 所示, 杆单元只有 3 个平移自由度, 又由于是平面桁架, 所以约束所有节点的 z 轴平移, 节点 1, 10, 11 全约束。

2. 由于结构有均匀的温升与温降, 所以规定参考温度为 0°F , $g = 386.4$ 。

3. 由于在节点 9 有初位移值, 所以在节点 9 设置了两个边界单元, 其定位节点分别为 11, 10, 如图 7 中虚线部分。

由以上说明可由 IGFEA 软件程序很方便地生成与图 7 所示有限元模型相对应的 SAP 6 数据输入文件, 整个建模与生成文件过程用了 5 分钟, 生成的数据文件从略。

例 3 实体梁弯曲的静力分析

已知: $L = 10\text{in}$, $h = 2\text{in}$, $M = 2000\text{in-lb}$,

$E = 30 \times 10^6 \text{Ib/in}^2$, $\nu = 0.29$, $F = 300\text{Ib}$,

一长度为 L , 高为 h 的实体梁, 如图 8 所示在一端固定, 在自由端有: 1. 一剪力 F , 2. 一力矩 M , 求在自由端的挠度 δ 及距固定端 1 英寸处的弯曲应力 σ 。

图 8 所示的两图分别为二种工况, 所建的有限元模型如图 9 所示。说明如下:

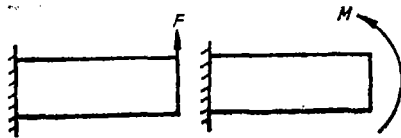


图 8 实体梁图

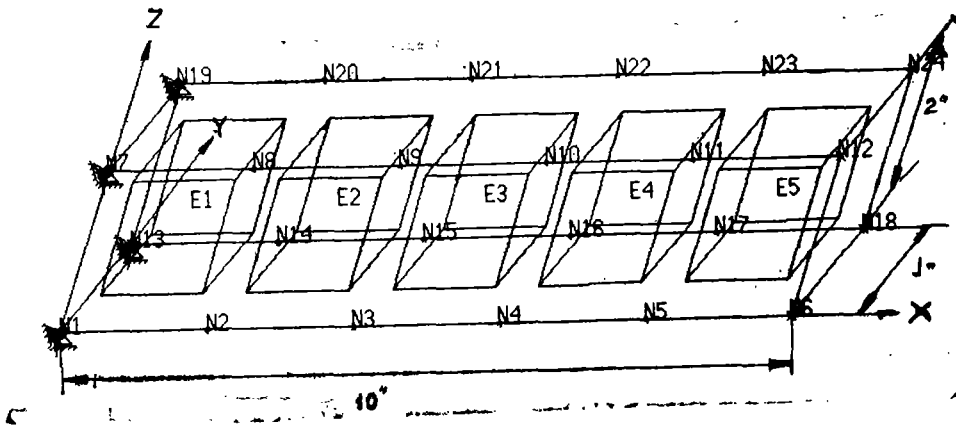


图 9 实体梁的有限元模型

1. 采用三维实体单元组成有限元模型, 共生成24个节点, 5个单元, 约束所有节点的旋转及 y 轴方向上的平移, 节点 1, 7, 13, 19 全部约束。

2. 在节点 6, 12, 18, 24 的 z 方向上分别作用 $F/4$ 的力, $M/2$ 的力矩。

由以上说明可由 IGFEA 软件程序方便地生成与图 9 所示的有限元模型相对应的 SAP 6 数据输入文件, 整个建模与生成文件的过程用了 11 分钟, 生成的数据文件略。

以上梗概地介绍了三个简单的例子, 对于完整的光学仪器, 我们也用接口程序生成数据

文件，如空间相机的结构分析以及上海机床厂砂轮尾架的支持器的结构分析都是十分复杂的实际题目，节点，单元总的高达 300 多个，由于采用了 IGFEA 接口软件，使数据的准备工作变得方便和简单了，整个建模与生成文件的过程只用了几个小时，加之与后处理程序相配合，较快地完成了分析计算任务。为选型及优化提供了有效的参考。

五、结 束 语

通过前面的论述和应用实例，可以说 IGFEA 接口软件是工程技术人员进行结构分析时的方便工具。下一步的工作是继续扩展 IGFEA 接口软件，向一体化，交叉化方向发展；如光学与结构分析接口，机，电分析程序接口等，为形成一个含有不同学科的工程分析管理系统打下基础。

参 考 文 献

- [1] Series 7000, Advanced Graphics Software Finite Element Modeler (FEM) User's Reference 123—12732—003, Revision C, May 1985.
- [2] Series 7000, Advanced Graphics Software Application Interface User's Reference 122—13976—003, Revision A, February 1987.
- [3] 宋国枢编译,《SAP 6 使用指南》,兵器工业部计算机应用技术研究所, 1986
- [4] J. Mackerle, Adv. Eng. Software, 1983, 5, No. 3.
- [5] J. L. Tocher, SAE Transactions 88, (1980).
- [6] B. Fredriks on, J. Mackerle and A. Persson, Computer Aided Design 18, (1981)

Interface Software for Graphics and Finite Element Analysis Program

Zhao Hong Lu E

Abstract

This paper briefly introduces, by some examples, the advanced graphic software S7K and the interface software IGFEA for the finite element analysis program SAP6, including the development, guiding ideology, functions, general structure and flow diagram.