



清华大学
Tsinghua University

二维问题有限元程序开发

汇报人：王丽莎
2014-04-15





主要内容

- ◆ 研究背景及目的
- ◆ 研究内容及目标
- ◆ 技术路线
- ◆ 研究成果展示
- ◆ 总结



研究背景及目的

1. 研究背景

- 商业软件更新较慢，如ANSYS
- 基于商业软件二次开发受限制，如ABAQUS
- 缺少相关行业标准



2. 研究目的

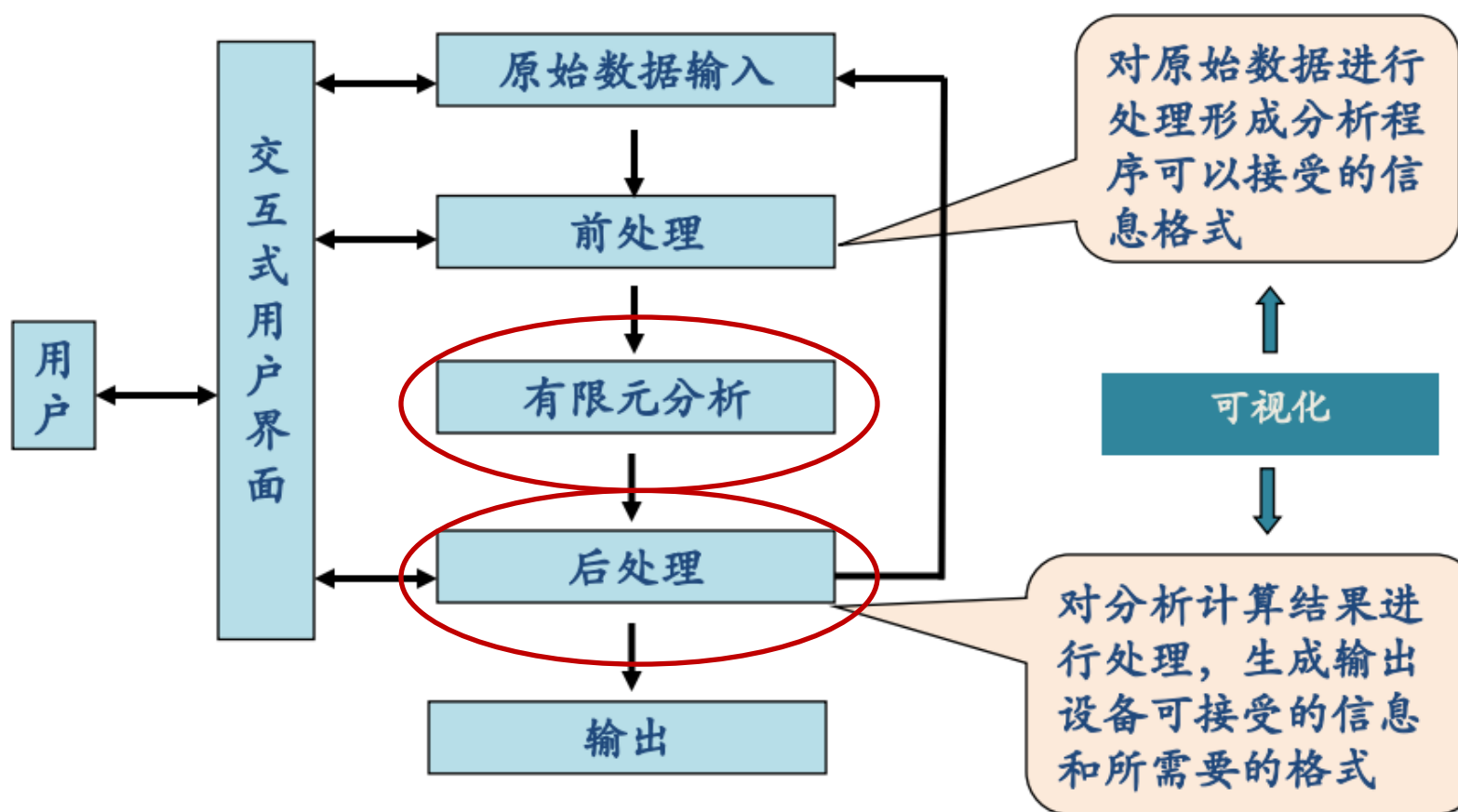
- 开发二维有限元求解程序
- 能够包含多种类型单元库
- 便于单元开发，检验研究成果





研究内容及目标

❖ 有限元计算基本流程





研究内容及目标

研究目标（程序各部分功能）

- 结构参数输入
- 计算结构的刚度矩阵
- 计算节点载荷向量
- 引入边界条件
- 求解线性方程组
- 计算应变和应力

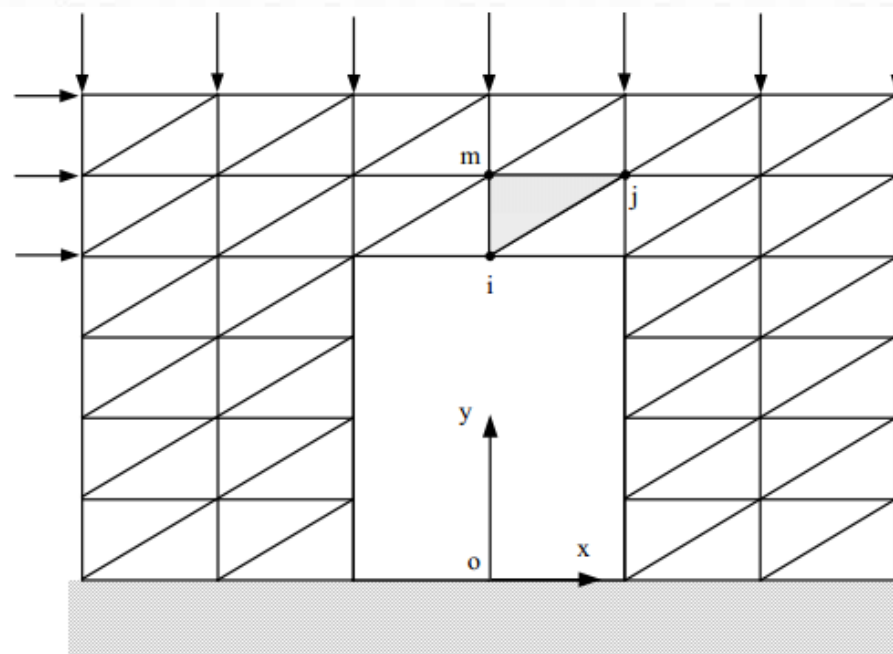


研究内容及目标

结构参数输入，包括：

- 节点坐标值
- 单元类型以及连接信息
- 各单元的弹性模量，截面积，厚度等
- 荷载形式以及作用位置、作用方向、荷载值
- 约束条件

对节点和单元分别编号
每个节点的自由度根据节点号计算得到





研究内容及目标

计算结构的刚度矩阵

- 计算单元形函数及对坐标导数
- 计算单元材料矩阵
- 计算单元的刚度矩阵(Gauss积分, Jacobian矩阵)
- 坐标转换
- 按照自由度顺序叠加到总刚度矩阵中

$$K^e = \int B^T D B dV \quad K_{ij} = \sum K_{ij}^e$$

$$K^G = T K T^T$$



研究内容及目标

计算各节点载荷向量

- 各节点集中载荷情况
 - 分解成坐标方向的载荷分量
 - 按自由度顺序叠加到载荷向量中
- 非节点集中载荷情况
 - 单元局部坐标系，计算单元等效节点载荷
 - 节点载荷坐标转换计算
 - 按自由度顺序叠加到荷载向量中



研究内容及目标

求解线性方程组

线性静力分析 $KU = F^{ext} - F^{int}$

$$F^{int} = \int B^T \sigma d\Omega$$

计算应变和应力

- 读出各节点的位移
- 坐标转换到整体坐标系
- 求解应变，应力

$$\varepsilon = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = BU^e \quad \sigma = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = D\varepsilon$$



技术路线

已有资源：

- 刚度集成技术
- 载荷与边界条件施加方法
- 数值积分方法：Gauss积分
-

程序实现：

- 集成这些技术形成整体的有限元线性求解程序
- 构建单元类型库，加入研究组近几年的单元研究成果



技术路线



采用Intel fortran 编写

主程序GCFEM.f90流程

链接单元库，根据选择的单元类型
计算相应的刚度矩阵



技术路线

集成单元库GCFEMELE.f90

各单元的形函数和刚度矩阵是单独的，后续还可以继续在此文件中增加单元

目前单元库：

问题类型	单元类型	单元标识	单元说明
Type2=1 平面应力问题 Type2=2 平面应变问题	1	Q4	四边形四节点等参元
	2	Q8	四边形八节点等参元
	3	AQ8-I	四边形面积坐标单元
	4	AQ8-II	四边形面积坐标单元
	61	CST	三角形三节点单元
	62	T6	三角形六节点单元
Type2=3 平板弯曲问题	1	TCGC-T9	三角形广义协调单元
	2	TMT	三角形厚板元
	21	TACQ	四边形厚板元
	22	TMQ	四边形厚板元



研究成果展示：输入文件格式

'The Pure Bending Problem for a cantilever Beam discreted by 4 different elements'

标题

1, 1 问题类型Type1&Type2

19, 4, 3, 1, 3, 3323

2, 3, 62 单元类型: 2-D 3-nodes T6单元

1, 1, 3, 15, 13, 2, 9, 14, 8, 1, 1
2, 3, 5, 17, 15, 4, 10, 16, 9, 2, 1
3, 5, 7, 17, 6, 11, 10, 0, 0, 3, 1
4, 7, 19, 17, 12, 18, 11, 0, 0, 3, 1 单元编号+节点顺序编号

1, 0.0, 0.0, 0.0
3, 25.0, 0.0
5, 50.0, 0.0
7, 100.0, 0.0
13, 0.0, 10.0
15, 25.0, 10.0
17, 60.0, 10.0
19, 100.0, 10.0 节点坐标

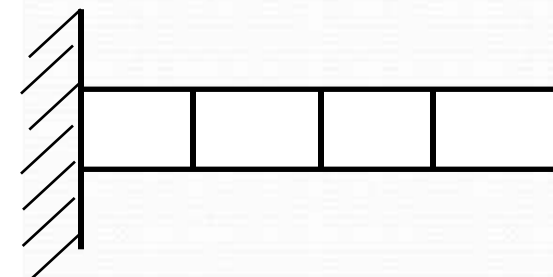
1, 11, 0.0, 0.0
8, 10, 0.0, 0.0
13, 10, 0.0, 0.0 边界约束条件

1, 10.e7, 0.3, 1.0, 0.0 结构材料信息

0, 1, 0 载荷类型: 分布载荷, 不考虑重力载荷

1
4
7, 120., 0.
12, 0., 0.

悬臂梁问题





技术路线：程序执行

The screenshot displays the Microsoft Visual Studio environment. The left pane shows the source code of the GCFEM2000.f90 program, which is a Fortran 90 file. The code includes several modules and subroutines, such as M1_Gobal_information and M2_Local_information. The right pane shows the output of the program execution, which is a text-based interface. The output includes a welcome message, a list of problems that can be solved (1. Plane stress problems, 2. Plane strain problems, 3. Plate bending problems), and a series of prompts for input and output files. The program then proceeds to read and write data, generate nodal loads, solve the equations, and output the results. The execution time is shown as 1.5600100E-02 seconds. The output ends with a prompt to open the output file: canti.dat.

```
=====
*      Welcome to use the FEM-program GCFEM2000      *
*      This program can solve such problems at present:  *
*      <1>  SOLID-LINEAR-ELASTIC-STATICS                *
*      1. Plane stress problems                        *
*      2. Plane strain problems                        *
*      3. Plate bending problems                      *
*=====

Please type INPUT-FILE name:?Sample1.dat
Please type OUTPUT-FILE name:?canti.dat
Reading and writting input datas .....
Generating efficient nodal Load .....
done!
Solving Equation by Frontal method.....
done!
Outputing results .....
done!
Time of operation was  1.5600100E-02  seconds
=====Running  Completed=====
===Please open and see output file:canti.dat

请按任意键继续. . .
```



研究成果展示：结果文件

```

=====
*                               This file is the result of GCFEMP2000                               *
=====

*Today is 11- 4-2014
*The beginning time is 16:25: 4.407

*The Pure Bending Problem for a cantilever Beam discreted by 4 different elements

FOR SOLID LINEAR ELASTIC STATIC
* 1-1. Plane stress problems *

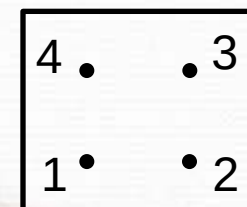
! You are solving equations by FRONTAL method
  8-node isoparametric element Q8 is used

  8-node Area coordinate element MQ8-I is used

  6-node triangular element T6 is used

*NODAL POINT DISPLACEMENTS
Nodal NO.      U-          V-  节点位移
.....
*SUPPORT REACTIONS
  Node      1-reac      2-reac  约束反力
.....
*ELEMENT STRESSES ON GAUSS POINTS
NO.      X-      Y-      SIGX/SIG1      SIGY/SIG2      TAOXY/THETA      SIGZ
.....
*ELEMENT STRESSES BY EXTRAPOLATION
Nodal NO.  SIGX/SIG1      SIGY/SIG2      TAOXY/THETA      SIGZ  应力输出
.....
*ELEMENT STRESSES BY SHAPE FUNCTION
.....
Time of operation was 1.5600100E-02 seconds
=====End of the outputfile=====

```



外插到节点的应力输出



总 结

1. 完成二维通用有限元求解程序
2. 组建单元类型库，留出接口，方便加入新单元
3. 能够很方便地验证新型单元的性能

后续工作：

1. 计算结果可视化处理
2. 与前处理网格划分软件的接口



谢谢!

