



有限元分析的典型 Project

【应用建模 Project6】热应力分析：桁架结构的温度及装配应力分析

如图 6.1 所示为一个桁架结构，分析下列两种情形下的节点位移和单元应力：

- (a) 构件 1、3、7 和 8 的温度升高 50°C 。
- (b) 由于制造误差，构件 9 和 10 短了 0.63mm ，而构件 6 长了 0.27mm ，但必须进行强制装配。

桁架所用材料的相关参数：弹性模量 $E = 200\text{GPa}$ ，线膨胀系数 $\alpha = 1.25 \times 10^{-5} (1/^{\circ}\text{C})$ 。每个构件的横截面积均为 100mm^2 。

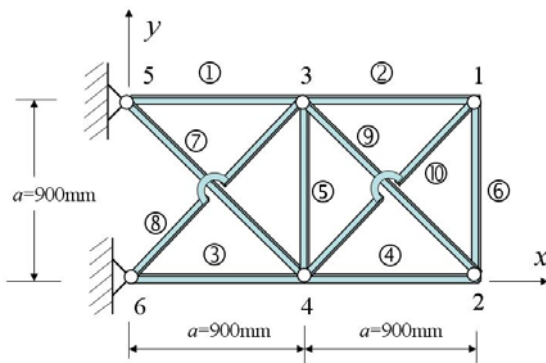


图 6.1 一个由 10 根构件组成的桁架结构

【建模要点】

- ① 需要选择可以施加温度载荷的杆单元。ANSYS 提供了二维杆单元 LINK1，温度可以作为体力施加到单元上。情形 (a) 是单纯的温度应力问题，情况 (b) 属于装配应力问题，也可以转化成温度应力问题。
- ② 根据节点坐标建立节点，再由节点建立单元。在节点 5、6 上施加位移约束。
- ③ 对于情形 (a)，通过命令<TREF>把参考温度设为 20°C ，通过命令<BFE>对单元 1、3、7 和 8 施加温度 70°C 。对于情形 (b)，同样可以采用命令<BFE>对单元 6、9 和 10 上施加适当的温度变化值，使得各自温度收缩值等价于制造误差，即假定单元由温度变化引起的自由伸缩量，与单元长度的差异量相同。单元 6 长了 0.27mm ，相当于把单元 6 的温度升高 24°C 。单元 9 和 10 短了 0.63mm ，相当于把单元 9 和 10 的温度降低 39.6°C 。

解答： 以下为基于 ANSYS 图形界面(GUI)的菜单操作流程；注意：符号“→”表示针对菜单中选项的鼠标点击操作。

1 温度应力分析的交互式操作(step by step)

(1) 进入 ANSYS

程序 → ANSYS → ANSYS Product Launcher → File Management, Working Directory: D:\analysis (设定工作目录)(Browse), Job Name: joint (设定工作文件) → Run



(2) 设置不显示日期和时间

Utility Menu: PlotCtrls → Window Controls → Window Options → DATE DATE/TIME display: NO DATE or TIME
→ OK

(3) 设置参数

Utility Menu: Parameters → scalar Parameters → selection: A=900 → Accept → selection: T=70 → Accept →
CLOSE

(4) 选择单元类型

Main Menu: Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete → Add → Library of Types:
Structural Link, 2D spar 1 → OK → CLOSE

(5) 定义实常数

Main Menu: Preprocessor → Real Constants → Add/Edit/Delete → Add → Choose element type :
Type 1 Link1 → OK → Real Constant Set No: 1 (第 1 号实常数), AREA : 100 (横截面积) → OK → Close

(6) 定义材料参数

Main Menu: Preprocessor → Material Props → Material Models → Material Models Available: Structural
(双击打开子菜单) → Linear (双击) → Elastic (双击) → Isotropic (双击) → EX: 2E5 (弹模) → OK →
Thermal Expansion (双击) → Secant Coefficient (双击) → Isotropic (双击) → ALPX : 1.25E-5 (线膨胀系
数) → OK → 关闭材料定义菜单 (点击菜单的右上角 X)

(7) 生成几何模型

step1 生成第 1 号节点: (x=2*A, y=A, z=0)

Main Menu: Preprocessor → Modeling → Create → Nodes → In Active CS → Node number :
1, XYZ Location in active CS: 2*A, A, 0 → Apply → 以同样方式输入节点 2, 坐标为: 2*A, 0, 0

step2 生成第 2 号节点: (x=2*A, y=0, z=0)

Preprocessor → Modeling → Create → Nodes → In Active CS → Node number: 2, XYZ
Location in active CS: 2*A, 0, 0 → OK

step3 节点复制:

Preprocessor → Modeling → Copy → Nodes → Copy → list of items: 1, 2 → OK → ITIME: 3; DX: -A; INC: 2 →
OK

(8) 直接由节点生成单元

step1 生成第一个单元

Preprocessor → Modeling → Create → Elements → Auto Numbered → Thru Nodes: 5,3 → OK

step2 生成另外 9 个单元

重复以上步骤 9 次, 更改 List of Items 输入, 依次改为 3,1; 6,4; 4,2; 4,3; 2,1; 5,4; 6,3; 3,2; 4,1

(9) 设置分析类型

Preprocessor → Loads → Analysis Type → New Analysis → type of analysis → static → OK

(10) 在节点上定义位移边界条件

step1 施加位移约束

Preprocessor → Loads → Define Loads → Apply → Structural → Displacement → On Nodes
→ List of Items : 5,6 → OK → Lab2, All DOF → OK

step2 设定参考温度

Preprocessor → Loads → Define Loads → Settings → Reference Temp → TREF: 20

step3 设定各单元温度

Main Menu → Solution → Define Loads → Apply → Structural → Temperature → On Elements → List of Items :
1,3,7,8 → Apply as → Constant Value → VAL1: T → OK

(11) 分析计算



Utility Menu → Select → Everything

Main Menu → Solution → Solve → Current LS → (弹出一个对话框) OK → (求解完成后, 弹出一个对话框) Solution is done! Close → (关闭信息文件右上角的 X) / STATUS Command

(12) 显示节点位移分量

step1 对于线单元(如杆、梁)按实体效果进行显示(以 2 倍实常数的比例)

Utility Menu → PlotCtrls → Style → Size and Shape → ESHAPE, [✓]ON, SCALE: 2 → OK

step2 显示 X 方向位移

Main Menu → General Postproc → Plot Results → Contour Plot → Nodal Solu → DOF Solution, X-Component of Displacement → OK

step3 显示 Y 方向位移

Main Menu → General Postproc → Plot Results → Contour Plot → Nodal Solu → DOF Solution, Y-Component of Displacement → OK

(13) 显示杆单元的轴向应力

Step1 定义显示项

Main Menu → General Postproc → Element Table → Define Table → Add → Lab: FX-I → Item: By sequence num → SMISC → SMISC,1 → OK → Add → Lab: FX-J → Item: By sequence num → SMISC → SMISC,1 → OK → Close

Step2 显示轴向应力结果

Main Menu → General Postproc → Plot Results → Contour Plot → Line Elem Res → Lab I: FX-I → Lab J: FX-J → Fact: 0.5 → KUND: Deformed Shape → OK

计算得到的桁架结构因温度变化产生的位移与轴力见图 6-10 及图 6-11。

(14) 退出系统

ANSYS Utility Menu: File → Exit... → Save Everything → OK

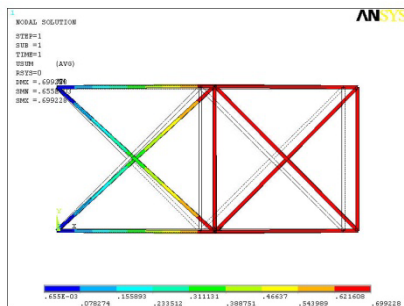


图 6.2 桁架结构因温度变化产生的位移

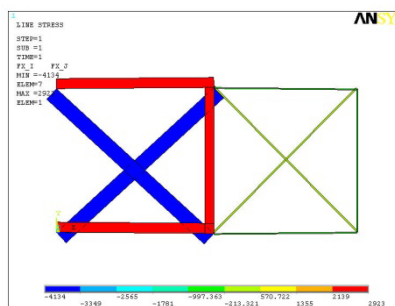


图 6.3 桁架结构因温度变化产生的轴力

2 温度应力分析的完整命令流

求解与情形(a)对应的桁架节点位移和单元应力、显示节点位移、杆单元轴向应力的命令流在下面列出。

以下为命令流语句; 注意: 以“!”打头的文字为注释内容, 其后的文字和符号不起运行作用。

```
!%%%%%%%% [应用建模 Project6] %%%% begin %%%%%%%%%
```

```
!-----注: 以下命令流中的符号$, 表示可将多行命令流写成一行-----
```

```
!%%%%%%%% [应用建模 Project6] %%%% begin %%%%%%%%%
```

```
/prep7 !进入前处理
```

```
/PLOPTS,DATE,0 !设置不显示日期和时间
```

```
!=====设置参数
```

```
A=900 ! 设定桁架的跨度, 单位为 mm。
```

```
T=70 ! 把杆单元温度设置为 70℃ (参考温度设置为 20℃)
```



```

!=====设置单元、材料，生成节点及单元
ET,1,LINK1                ! 选择杆单元 LINK1
R,1,100                    ! 用实常数定义杆单元的截面积
MP,EX,1,2.0E5              ! 定义材料的弹性模量
MP,ALPX,1,1.25E-5         ! 定义材料的线膨胀系数
N,1,2*A,A                  ! 创建节点 1
N,2,2*A,0                  ! 创建节点 2
NGEN,3,2,1,2,-1*A        ! 向 Y 轴负方向复制节点 1、2，生成其余的节点
TYPE,1                      ! 按序号指定单元类型
MAT,1                       ! 按序号指定材料
REAL,1                      ! 按序号指定实常数
! 以下分别由各个 2 个节点来创建 10 单元
E,5,3      $E,3,1      $E,6,4      $E,4,2      $E,4,3
E,2,1      $E,5,4      $E,6,3      $E,3,2      $E,4,1
FINISH                ! 退出前处理模块
!=====进入求解模块，施加热边界条件，并进行热应力求解
/SOLU                  ! 进入求解模块
ANTYPE,STATIC          ! 设定分析类型
D,5,ALL,0,,6,1        ! 在节点 5、6 上定义 X、Y 方向的位移约束
TREF,20                ! 参考温度设为 20℃
BFE,1,TEMP,1,T        ! 把单元 1 的温度设为 70℃
BFE,3,TEMP,1,T        ! 把单元 3 的温度设为 70℃
BFE,7,TEMP,1,T        ! 把单元 7 的温度设为 70℃
BFE,8,TEMP,1,T        ! 把单元 8 的温度设为 70℃
ALLSEL,ALL            ! 选中所有对象
SOLVE                  ! 求解
FINISH                ! 退出求解模块
!=====进入一般的后处理模块
/POST1                 ! 进入通用后处理模块
/ESHAPE,2              !对于线单元按实体效果进行显示(2 倍)
PLNSOL,U,X             ! 用云纹图方式显示节点位移的 X 分量
PLNSOL,U,Y             ! 用云纹图方式显示节点位移的 Y 分量
!-----显示线单元轴力
ETABLE,FX_I,SMISC,1    !轴力
ETABLE,FX_J,SMISC,1
PLLS,FX_I,FX_J,0.5,1
!%%%%%%%%%% [应用建模 Project6] %%%% end %%%%%%%%%%

```

3 强制装配问题的完整命令流

针对情形 (b) 的强制装配问题的分析，给出以下命令流语句；注意：以“!”打头的文字为注释内容，其后的文字和符号不起运行作用。

```

!%%%%%%%%%% [应用建模 Project61] %%%% begin %%%%%%%%%%
/PREP7                  ! 进入前处理模块
/PLOPTS,DATE,0         !设置不显示日期和时间

```



```
!=====设置参数
A=900                                ! 设定桁架的跨度，单位为 mm。
T1=44                                ! 设置温度参数
T2=-19.6                              ! 设置温度参数
!=====设置单元、材料，生成节点及单元
ET,1,LINK1                            ! 选择杆单元 LINK1
R,1,100                               ! 用实常数定义杆单元的截面积
MP,EX,1,2.0E5                          ! 定义材料的弹性模量
MP,ALPX,1,1.25E-5                      ! 定义材料的线膨胀系数
N,1,2*A,A                              ! 创建节点 1
N,2,2*A,0                              ! 创建节点 2
NGEN,3,2,1,2,,-1*A                    ! 向 Y 轴负方向复制节点 1、2，生成其余的节点
TYPE,1                                 ! 按序号指定单元类型
MAT,1                                  ! 按序号指定材料
REAL,1                                  ! 按序号指定实常数
! 以下分别由各个 2 个节点来创建 10 单元
E,5,3      $E,3,1      $E,6,4      $E,4,2      $E,4,3
E,2,1      $E,5,4      $E,6,3      $E,3,2      $E,4,1
FINISH                                           ! 退出前处理模块
!=====进入求解模块，施加热边界条件，并进行热应力求解
/SOLU                                           ! 进入求解模块
ANTYPE,STATIC                                  ! 设定分析类型
D,5,ALL,0,,6,1                                ! 在节点 5、6 上定义 X、Y 方向的位移约束
TREF,20                                        ! 参考温度设为 20℃
BFE,6,TEMP,1,T1                              ! 定义单元 6 的温度
BFE,9,TEMP,1,T2                              ! 定义单元 9 的温度
BFE,10,TEMP,1,T2                             ! 定义单元 10 的温度
ALLSEL,ALL                                    ! 选中全部实体
SOLVE                                          ! 求解
FINISH                                         ! 退出求解模块
!=====进入一般的后处理模块
/POST1                                         ! 进入通用后处理模块
/ESHAPE,2                                     !对于线单元按实体效果进行显示(2 倍)
PLNSOL,U,X                                    ! 用云纹图方式显示节点位移的 X 分量
PLNSOL,U,Y                                    ! 用云纹图方式显示节点位移的 Y 分量
!-----显示线单元轴力
ETABLE,FX_I,SMISC,1                          !轴力
ETABLE,FX_J,SMISC,7
PLLS,FX_I,FX_J,0.5,1
FINISH                                         ! 退出通用后处理模块
!%%%%%%%%%% [应用建模 Project61] %%%%%%%%%%% end %%%%%%%%%%%
```