



## 有限元分析的典型 Project

### 【应用建模 Project4】弹塑性分析：厚壁圆筒受内压的弹塑性分析

有一等厚度的厚壁圆筒受到均布内压力作用的，截面尺寸如图 4.1(a)所示，其内半径  $a=15\text{mm}$ ，外半径  $b=30\text{mm}$ 。圆筒材料是理想弹塑性材料，弹性模量  $200\text{GPa}$ ，泊松比  $0.3$ ，屈服极限  $200\text{MPa}$ 。材料服从 von Mises 屈服条件。分两种情形分析厚壁圆筒受力后的弹塑性变形：(a) 圆筒的长度很长；(b) 圆筒的长度  $L=60\text{mm}$ 。当厚壁圆筒的塑性变形区扩展到  $r=25\text{mm}$  位置时，其内压力  $p$  是多少？

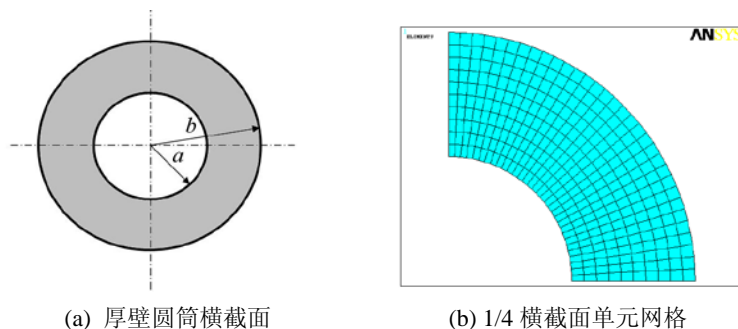


图 4.1 厚壁圆筒受内压的弹塑性分析

#### 【建模要点】

- ❶ 对于情形 (a)，受均布压力的圆筒属于平面应变问题，根据对称性用 1/4 横截面建立计算模型。对于情形 (b)，要按照轴对称问题来分析，根据对称性采用 1/2 纵截面建立计算模型。在 ANSYS 环境中设置分析类型，选择平面单元 PLANE183，设置为平面应变。
- ❷ 通过命令 `<TB,BKIN>` 将材料设定为双线性动态强化的材料模型，通过命令 `<TBDATA>` 给出材料的屈服应力以及切向模量，对理想弹塑性材料，可以将切向模量设置为较小的数，这里设置为零。
- ❸ 对于非线性的弹塑性分析，通过命令 `<TIME>` 定义加载步和计算步，采用命令 `<DELTIM>` 设定计算子步的步长。分析类型设定为静态分析。
- ❹ 在一般后处理中，通过命令 `<RSYS,1>` 设置成柱坐标系，通过命令 `<PATH>` 及 `<PPATH>` 来定义中间截面的路径，采用命令 `<PDEF>` 将应力映射到该路径上，采用命令 `<PLPATH>` 显示计算结果；
- ❺ 在时间历程后处理中，采用命令 `<ANSOL>` 定义平均节点应力作为变量，采用命令 `<PLVAR>` 画出变量随时间(外载)的变化曲线。

**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 基于图形界面的交互式操作(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: thick(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



### (3) 选择单元类型

Main Menu: Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete → Add... → Library of Types: Structural Solid, Quad 8node 183; OK → Options → Element Behavior K3: Plane Strain → OK → Close

### (4) 定义材料参数

#### Step1 弹性模量、泊松比

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: 2.0e5 (弹性模量), PRXY: 0.3 (泊松比) → OK (不用关闭 Material Models Available 窗口)

#### Step2 材料模型、屈服强度、切向强度

Main Menu: Preprocessor → Material Props → Material Models → Material Models Available: Structural → Nonlinear → Inelastic → Rate Independent → Kinetmaic Hardening Plasticity → Mises Plasticity → Bilinear → Yield Stss: 200, Tang Mods: 0 → OK → 关闭材料定义菜单 (点击菜单的右上角 X)

### (5) 生成几何模型

Main Menu: Preprocessor → Modeling → Create → Areas → Circle → Partial Annulus → WP X: 0; WP Y: 0; Rad-1: 15; Theta-1: 0 Rad-2: 30; Theta-2: 90 → OK

### (6) 网格划分

#### Step1 设置单元尺寸

Main Menu: Preprocessor → Meshing → Size Cntrl → ManualSize → Areas → All Areas → Size: 1.5 → OK

#### Step2 设置网格划分类型

Main Menu: Preprocessor → Meshing → Mesher Opts → KEY Mesher Type: Mapped → OK

#### Step3 划分单元网格

Main Menu → Preprocessor → Meshing → Mesh → Areas → Free → 鼠标左键选择平面 → OK

### (7) 设置计算类型

Main Menu: Solution → Analysis Type → Sol'n Controls → Basic → Analysis Options → Small Displacement Static → OK

### (8) 定义约束与载荷

#### Step1 X 方向约束

Main Menu: Preprocessor → Loads → Define Loads → Apply → Structural → Displacement → On Lines → (弹出选择菜单, 点击图中的 x=0 线段) → Apply → Lab2: UX → OK

#### Step2 Y 方向约束

Main Menu: Preprocessor → Loads → Define Loads → Apply → Structural → Displacement → On Lines → (弹出选择菜单, 点击图中的 y=0 线段) → Apply → Lab2: UY → OK

#### Step3 变换坐标系, 施加载荷

Main Menu: Preprocessor → Loads → Define Loads → Apply → Structural → Pressure → On Lines → (弹出选择菜单, 点击图中的 R=15 线段, 即圆弧内壁部分) → Apply → SFL: Constant Value; Load PRES Value: 120 → OK

Utility Menu: WorkPlane → Change Active CS to → Global Cartesian

### (9) 定义加载步与计算子步

Main Menu: Solution → Analysis Type → Sol'n Controls → Basic → Time control → Time at end of loadstep: 1 → Time Increment → Time Step Size: 0.1, Minimum Time Step: 0.05, Maximum Time Step: 0.25 → OK

### (10) 设置保存计算结果的方式

Main Menu: Solution → Analysis Type → Sol'n Controls → Basic → Write Item to Results Files → Frequency → Write Every Substep → OK

### (11) 求解

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) 矢量形式显示主应力方向**

Utility Menu: Plot → Results → Vector Plot → Item → Stress → Apply

**(13) 沿定义路径显示径向应力分量**

**Step1 变换柱坐标系**

Utility Menu: WorkPlane → Change Active CS to → Global Cylindrical

**Step2 定义路径**

Main Menu: General Postproc → Path Operations → Define Path → By Location → Name: Radius → NPT:[1] → [A][0] → OK → NPT:[2] → [B][0] → OK

**Step3 在路径上定义径向正应力**

Main Menu: General Postproc → Path Operations → Map onto Path → Item,Comp → Stress → SX → Apply

**Step4 在路径上定义切向正应力**

Main Menu: General Postproc → Path Operations → Map onto Path → Item,Comp → Stress → SY → Apply → OK

**Step5 同时显示径向及切向应力**

Main Menu: General Postproc → Plot Results → Plot Path Item → On Graph → 同时选中 SSR 及 SST → OK

**(14) 进入时序后处理模块显示某个结点的温度随时间的变化过程**

**Step1: 把需要显示的节点数据定义为变量**

Main Menu: TimeHist Postpro → Variable Viewer → Add DATA(点击带“+”的按钮) → Nodal Solution → Stress → von Mises stress → OK → 用鼠标选择内表面上的一个节点(位置为: (A,0,0)) → OK, 重复在 Variable Viewer 中再 Add DATA(点击带“+”的按钮) → Nodal Solution → Stress → von Mises stress → OK → 用鼠标选择外表面上的一个节点(位置为: (B,0,0)) → OK

**Step2: 把变量的时间历程以曲线的形式画出**

Main Menu: TimeHist Postpro → Graph Variables → 2,3 → Apply

**(15) 退出系统**

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

厚壁圆筒受内压的主应力方向见图 4.2, 沿半径同时显示径向及切向应力分量见图 4.3, 得到的厚壁圆筒内外表面的 von Mises 应力随外载的变化曲线见图 4.4。

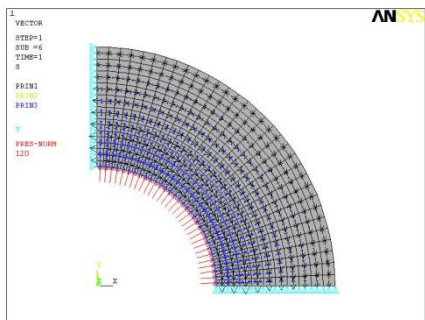


图 4.2 厚壁圆筒受内压的主应力方向

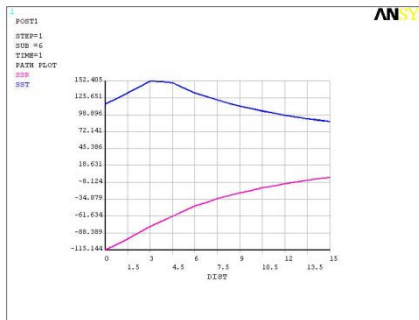


图 4.3 沿半径同时显示径向及切向应力分量

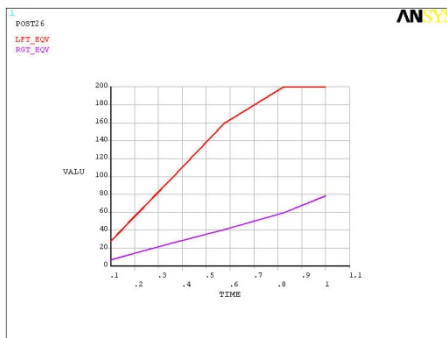




图 4.4 厚壁圆筒内外表面的 von Mises 应力随外载的变化曲线

## 2 完整的命令流

对于情形 (a)，按照平面应变问题进行分析，求解完毕后，显示等效应力分布，显示主应力方向，显示径向应力分布。

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 Project4] %%%% 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=15                                   ! 设定圆筒的内半径
B=30                                   ! 设定圆筒的外半径
!====设置单元、材料，几何建模及单元划分
ET,1,PLANE183,,2                      ! 选择单元 PLANE183，单元选项设为平面应变
MP,EX,1,2.0e5                         ! 定义材料的弹性模量
MP,NUXY,1,0.3                         ! 定义材料的泊松比
TB,BKIN,1                             ! 设定材料模型为双线性动态强化模型
TB,DATA,1,200,0                       ! 定义材料的屈服强度(200)、切向模量(0)
CYL4,0,0,A,0,B,90                    ! 创建圆筒横截面的四分之一
AESIZE,1,1.5                          ! 设置单元的尺寸
MSHKEY,1                              ! 采用映射方法划分单元网格
AMESH,1                               ! 划分单元网格
EPLOT                                  ! 显示单元网格
FINISH                                 ! 退出前处理模块
!====在求解模块中，施加位移约束、外力，进行非线性求解
/SOLU                                  ! 进入求解模块
ANTYPE,STATICS                        ! 设置分析类型
NSEL,S,LOC,X,0                        ! 选中坐标 X=0 的节点
D,ALL,UX,0                            ! 在坐标 X=0 的节点上定义 X 方向的位移约束
NSEL,S,LOC,Y,0                        ! 选中坐标 Y=0 的节点
D,ALL,UY,0                            ! 在坐标 Y=0 的节点上定义 Y 方向的位移约束
CSYS,1                                ! 把整体坐标系设置成柱坐标系
LSEL,S,LOC,X,A                        ! 选中半径 R=A 的线段（圆筒内壁）
SFL,ALL,PRES,120                     ! 在圆筒内壁上定义均布的压力
CSYS,0                                ! 把当前坐标系设置成整体直角坐标系
TIME,1                                ! 设定加载步
DELTIM,0.1,0.05,0.25                ! 设定计算子步的步长
OUTRES,,ALL                           ! 设定计算结果的保存方式
ALLSEL,ALL                            ! 选中全部对象
SOLVE                                  ! 求解
FINISH                                 ! 退出求解模块
!====进入一般的后处理模块，沿定义的路径显示结果
/POST1                                 ! 进入通用后处理模块
PLVECT,S                              ! 以矢量方式显示主应力方向

```



```
RSYS,1 ! 把结果坐标系设置成柱坐标系
PATH,RADIUS,2 ! 在中截面上用两个点定义路径“RADIUS”
PPATH,1,,A, ! 设定第 1 点的坐标
PPATH,2,,B, ! 设定第 2 点的坐标
PDEF,SSR,S,X ! 把径向正应力分量定义到路径上
PDEF,SST,S,Y ! 把切向正应力分量定义到路径上
PLPATH,SSR,SST ! 沿半径同时显示径向及切向应力分量
RSYS,0 ! 把结果坐标系设置成直角坐标系
FINISH ! 退出通用后处理模块
!=====进入时间后处理模块，显示变量随时间(载荷)变化的过程
/POST26 ! 进入时序后处理模块
LFT_N=node(A,0,0) ! 将坐标为(A,0,0)的节点编号赋予 LFT_N
RGT_N=node(B,0,0) ! 将坐标为(B,0,0)的节点编号赋予 RGT_N
ANSOL,2,LFT_N,S,EQV,LFT_EQV ! 获取节点编号 TOP_N 处的平均节点应力，赋给变量 2，标识 LFT_EQV
ANSOL,3,RGT_N,S,EQV,RGT_EQV ! 获取节点编号 BOT_N 处的平均节点应力，赋给变量 3，标识 RGT_EQV
PLVAR,2,3 ! 用图形方式显示变量 2,3 随时间(外载)的变化
!%%%%%%%% [应用建模 Project4] %%%% end %%%%%%%%%%
```