



有限元分析的典型 Project

【应用建模 Project5】传热分析：钢制圆柱冷却过程温度场的瞬态分析

如图 5.1 所示,直径为 30mm、高度为 60mm 的钢制实心圆柱。圆柱的初始温度为 $T_0=600^{\circ}\text{C}$, 为均匀分布,对该物体进行热处理,即将圆柱置于温度为 $T_f=20^{\circ}\text{C}$ 、换热系数为 $h=1200\text{ W/m}^2\text{C}$ 的介质中冷却。将钢材的密度设为 $\rho=7840\text{ kg/m}^3$, 并忽略密度随温度的变化。这里考虑钢材的热传导系数随温度变化的情况,在 0 至 600°C 范围内, $k=45-0.03T$ ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$); 比热也随温度变化,在 0 至 600°C 范围内, $C_p=550+0.147T$ ($\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$)。计算圆柱冷却过程的温度分布及温度随时间的变化,冷却时间为 100 秒。

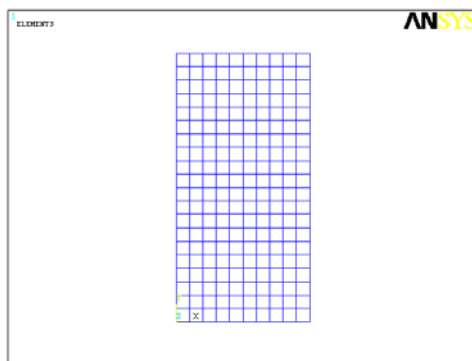


图 5.1 钢制圆柱的单元划分

【建模要点】

- ①根据热传导的对称性,此问题可以作为轴对称问题进行分析,取圆柱纵截面的 1/4 作为计算模型,见图 5.1。在圆柱的外侧面和上端面存在对流换热。建立几何模型时长度单位取 mm,统一物理量的单位,导热系数的单位取 $\text{W/mm}^{\circ}\text{C}$,密度的取 kg/mm^3 ,换热系数的单位取 $\text{W/mm}^2\text{C}$ 。
- ②在 ANSYS 环境中,采用传热单元,输入材料参数。设置材料导热系数和热容随温度线性变化。
- ③用 ANSYS 提供的面积元素生成圆柱的 1/4 截面,再划分单元网格。
- ④设定为瞬态计算<ANTYPE,TRANS>,通过命令<TUNIF>使得初始温度,在圆柱的侧面和端面上定义对流换热边界条件,通过命令<TIME>设定瞬态过程的计算时间。
- ⑤在一般后处理</POST1>中,通过命令</EXPAND>进行对称映射显示设置,以云纹图或等值线方式显示温度分布,以矢量图方式显示热流分布。在时间后处理</POST26>中,通过命令<NSOL>设置圆柱中心、侧表面中间、端面与侧表面交界处等位置节点上温度变量随时间的变化,在通过命令<PLVAR>显示温度变量的曲线。

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: thermal (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) 设置计算类型

Step1 设定热分析

ANSYS Main Menu: Preferences... → Thermal → OK

Step2 设定瞬态分析

ANSYS Main Menu: Solution → Analysis Type → New Analysis: Transient → OK

(4) 选择单元类型

Main Menu: Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete → Defined → Add → Library of Types: Thermal Solid, Quad 8node 77 → OK → close

(5) 定义材料参数

Step1 定义材料导热系数

Main Menu: Preprocessor → Material Props → Material Models → Material Models Available: Thermal (双击打开子菜单) → Conductivity (双击) → Isotropic (双击) → Add Temperature → T1: Temperature: 0; KXX: 0.045, T2: Temperature: 600; KXX: 0.027 → OK → 关闭材料定义菜单 (点击菜单的右上角 X)

Step2 定义材料密度

Main Menu: Preprocessor → Material Props → Material Models → Material Models Available → Thermal (双击打开子菜单) → Density (双击) → DENS: 7.84e-6 → OK → 关闭材料定义菜单 (点击菜单的右上角 X)

Step3 定义材料热容

Main Menu: Preprocessor → Material Props → Material Models → Material Models Available → Thermal (双击打开子菜单) → Specific Heat (双击) → Add Temperature → T1: Temperature: 0; C: 550, T2: Temperature: 600; C: 638.2 → OK → 关闭材料定义菜单 (点击菜单的右上角 X)

(6) 生成几何模型

Main Menu: Preprocessor → Modeling → Create → Areas → Rectangle → By Dimensions → X1:0, X2:15 → Y1:0, Y2:30 → OK

(7) 划分单元网格

Step1 设置单元长度

Main Menu: Preprocessor → Meshing → Size Cntrls → ManualSize → Areas → pick all → OK → Element edge length: 1.5 → OK

Step2 划分单元

Main Menu: Preprocessor → Meshing → Mesh → Areas → Free → pick all → OK

(8) 对模型定义换热边界条件

Main Menu: Preprocessor → Loads → Define Loads → Apply → Thermal → Convection → On Lines → 鼠标左键选中最上面和右面两条边 → OK → VAL1, Film coefficient: 1.2e-3, VAL2I, Bulk temperature: 20 → OK

(9) 对模型定义初始温度

Main Menu: Preprocessor → Loads → define loads → apply → thermal → temperature → uniform temp: 600

(10) 分析计算

Step1 设定总求解时间,设定计算子步数目

Main Menu: solution → load step opts → time/frequenc → time-time step → Time: 100, Time Step Size: 40, Minimum Time Step Size: 20, Maximum Time Step Size: 40 → OK



Step2 设定计算结果的保存方式

Main menu: solution → load step opts → output ctrls → db/results file : Every substep → OK

Step3 分析计算

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

(11) 显示在某一时刻的温度分布

Step 1: 进行节点温度的显示

Main Menu: General Postproc → Plot Results → Contour Plot → Nodal Solu → DOF Solution, Nodal Temperature → OK

Step 2: 进行对称性显示

Utility Menu: PlotCtrls → Style → Symmetry Expansion → Periodic/Cyclic Symmetry → 1/4 Dihedral Sym → OK

Step 3: 显示热流矢量分布

Main Menu → General Postproc → Plot Results → Vector Plot → Predefined → Flux & gradient, Thermal flux TF → OK

(12) 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: 把需要显示的结点数据定义为变量

Main Menu: TimeHist Postpro → Define Variables → Add → Nodal DOF Result → OK → 选择圆柱中心点 (节点 1) → OK → NVAR:2,NODE:1 → OK → Add → Nodal DOF Result → OK → 选择圆柱侧面中间点 (节点 2) → OK → NVAR:3,NODE:2 → OK → Add → Nodal DOF Result → OK → 选择圆柱侧面与端面交界点 (节点 22) → OK → NVAR:4,NODE:22 → OK → Close

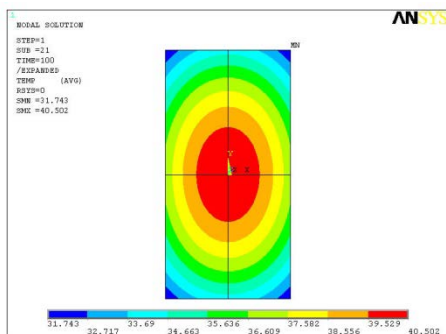
Step2: 把变量的时间历程以曲线的形式画出

Main Menu: TimeHist Postpro → Graph Variables → 2,3,4 → Apply

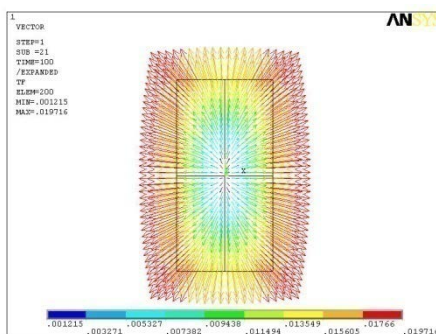
(13) 退出系统

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

计算得到的截面温度以及热流分布见图 6-13, 关键点的温度变量随时间的变化曲线见图 6-14.



(a) 截面温度分布



(b) 截面的热流分布

图 6-13 冷却 100 秒时的截面温度分布(经两次对称显示)

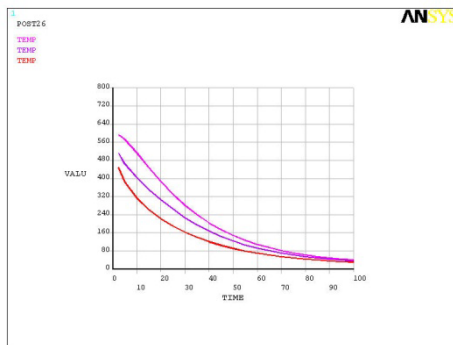


图 6-14 节点 1、2、22 温度随时间的变化曲线

2 完整的命令流

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 Project5] %%% 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
DIA=30                                 ! 设定圆柱的直径
HT=60                                  ! 设定圆柱的高度
!=====设置单元、材料，生成节点及单元
ET,1,PLANE77,,,1                      ! 选择平面传热单元，设为轴对称
MP,DENS,1,7.84e-6                     ! 设定材料的密度
MP,KXX,1,0.045,-0.3e-4                ! 把材料的导热系数设定为温度的线性函数
MP,C,1,550,0.147                      ! 把材料的比热设定为温度的线性函数
RECTNG,0,DIA/2,0,HT/2                 ! 用矩形面积元素创建圆柱的 1/4 纵截面
AESIZE,1,1.5                           ! 设定单元尺寸
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，设置瞬态分析，施加传热边界条件，进行求解
/SOLU                                   ! 进入求解模块
ANTYPE,TRANS                           ! 把计算类型设置为瞬态分析
TUNIF,600                               ! 设定圆柱的初始温度
LSEL,S,,,2,3                            ! 选中换热边界
SFL,ALL,CONV,1.2e-3,,20               ! 设定换热边界条件
TIME,100                                ! 设定总计算时间为 100 秒
NSUBST,40,40,20                        ! 设置计算子步的数目
OUTRES,,ALL                             ! 设置计算结果输出方式
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，显示温度分布
/POST1                                  ! 进入通用后处理模块
PLNSOL,TEMP                             ! 显示最后一个计算子步对应的温度分布

```



```
/EXPAND,4,POLAR,HALF,,90      ! 进行对称映射设置
/REPLOT                        ! 再进行显示
PLVECT,TF,, ,VECT,ELEM,ON,0   ! 以矢量图方式显示热流分布
FINISH                          ! 退出通用后处理模块
!====进入时间后处理模块，显示变量随时间变化的过程
/POST26                        ! 进入时序后处理模块
NSOL,2,1,TEMP                  ! 把节点 1（圆柱中心）的温度保存到变量 2
NSOL,3,2,TEMP                  ! 把节点 2（圆柱侧面中间）的温度保存到变量 3
NSOL,4,22,TEMP                 ! 把节点 22（圆柱侧面与端面交界）的温度保存到变量 4
PLVAR,2,3,4                    ! 用图形方式显示三个位置的温度变化
!%%%%%%%% [应用建模 Project5] %%%% end %%%%%%%%%
```