

**有限元分析软件**

**ANSYS**

**上机指南**

**2024 年 9 月**

## 目 录

Project1 潜水艇的热力学分析.....	01
Project2 薄板的平面应力问题分析.....	02
Project3 坝体的平面应变问题分析.....	08
Project4 热障涂层降温过程应力场分析.....	10
Project5 热电制冷分析.....	12
Project6 简单直流致动器电磁分析.....	15

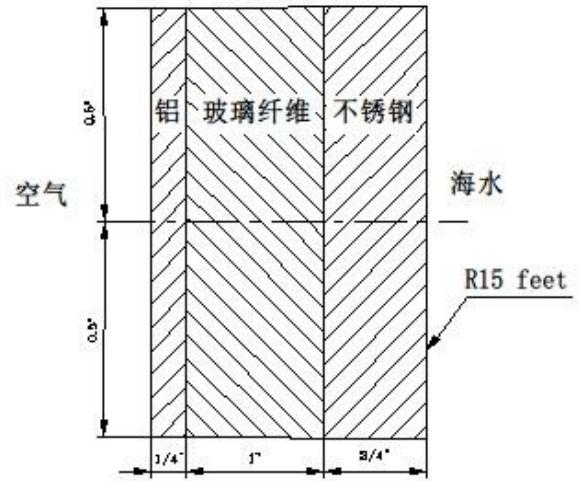
## Project 1 潜水艇的热力学分析

计算分析模型如图所示, 习题文件名: Thermal。

某一潜水艇可以简化为一圆筒, 它由三层组成, 最外面一层为不锈钢, 中间为玻纤隔热层, 最里面为铝层, 筒内为空气, 筒外为海水, 求内外壁面温度及温度分布。

**1 foot=12 inch, 1 英尺=12 英寸**

几何参数:	筒外径	30 feet
	总壁厚	2 inch
	不锈钢层壁厚	0.75 inch
	玻纤层壁厚	1 inch
	铝层壁厚	0.25 inch
	筒长	200 feet
导热系数	不锈钢	8.27 BTU/hr.ft. <sup>o</sup> F
	玻纤	0.028 BTU/hr.ft. <sup>o</sup> F
	铝	117.4 BTU/hr.ft. <sup>o</sup> F
边界条件	空气温度	70 °F
	海水温度	44.5 °F
	空气对流系数	2.5 BTU/hr.ft <sup>2</sup> .°F
	海水对流系数	80 BTU/hr.ft <sup>2</sup> .°F



沿垂直于圆筒轴线作横截面, 得到一圆环, 取其中 1 度进行分析, 如图示。

- 1.Utility Menu>File>change jobname, 输入 Thermal;
- 2.Utility Menu>File>change title, 输入 Steady-state thermal analysis of submarine;
- 3.Main Menu: Preprocessor>Material Props>Material Library>Select Units, 选择 BFT;
- 4.Main Menu: Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete, 选择 Thermal Mass-Solid-Plane55;
- 5.Main Menu: Preprocessor>Material Prop>Material Models>Mat Mod Num 1-Thermal-Conductivity -Isotropic, 材料编号 1, 在 KXX 框中输入 8.27, 选择 OK; Material-New Model-2-OK, 同上, Therm-Cond-Iso-KXX 框中输入 0.028, 选择 OK; 同上新建材料 3, KXX 值设定为 117.4;
- 6.Main Menu: Preprocessor->-Modeling->Create>-Areas-Circle>By Dimensions, 在 RAD1 中输入 15, 在 RAD2 中输入 15-(.75/12), 在 THERA1 中输入 -0.5, 在 THERA2 中输入 0.5, 选择 APPLY, 在 RAD1 中输入 15-(.75/12), 在 RAD2 中输入 15-(1.75/12), 选择 APPLY, 在 RAD1 中输入 15-(1.75/12), 在 RAD2 中输入 15-2/12, 选择 OK;
- 7.Main Menu: Preprocessor->-Modeling->Operate>-Booleane->Glue>Area, 选择 PICK ALL;
- 8.Main Menu: Preprocessor->-Meshing-Size Contrls>-Lines-Picked Lines, 选择不锈钢层短边, 在 NDIV 框中输入 4, 选择 APPLY, 选择玻璃纤维层的短边, 在 NDIV 框中输入 5, 选择 APPLY, 选择铝层的短边, 在 NDIV 框中输入 2, 选择 APPLY, 选择四个长边, 在 NDIV 中输入 16;
- 9.Main Menu: Preprocessor->-Attributes-Define>Picked Area, 选择不锈钢层, 在 MAT 框中输入 1, 选择 APPLY, 选择玻璃纤维层, 在 MAT 框中输入 2, 选择 APPLY, 选择铝层, 在 MAT 框中输入 3, 选择 OK;
- 10.Main Menu: Preprocessor>-Meshing-Mesh>-Areas-Mapped>3 or 4 sided, 选择 PICK ALL;
- 11.Main Menu: Solution>-Loads-Apply>-Thermal-Convection>On lines, 选择不锈钢外壁, 在 VAL1 框中输入 80, 在 VAL2I 框中输入 44.5, 选择 APPLY, 选择铝层内壁, 在 VAL1 框中输入 2.5, 在 VAL2I 框中输入 70, 选择 OK;
- 12.Main Menu: Solution>-Solve-Current LS;
- 13.Main Menu: General Postproc>Plot Results>-Contour Plot-Nodal Solu, 选择 Temperature。

## Project 2 薄板的平面应力问题分析

计算分析模型如图 2-1 所示, 习题文件名: **plane**

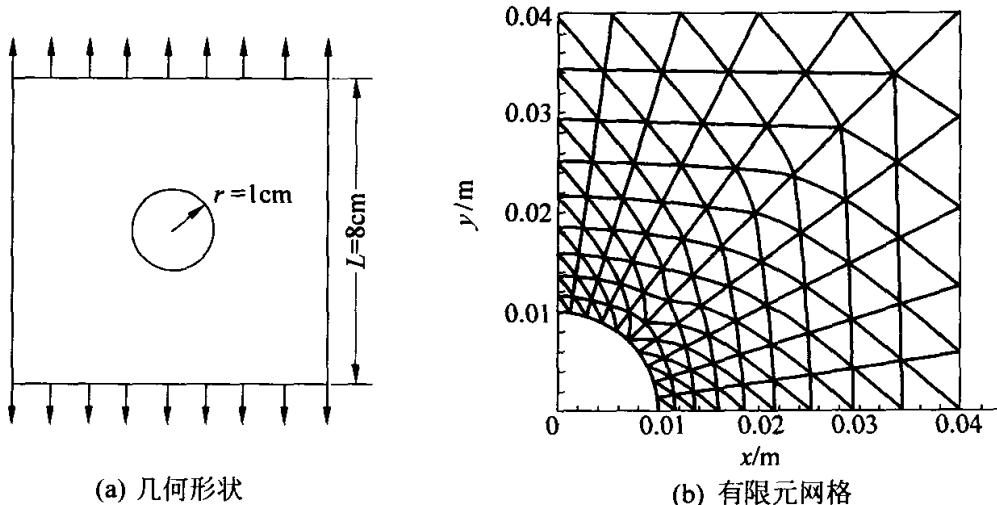


图 2-1 受均布载荷作用的薄板模型与单元网格图

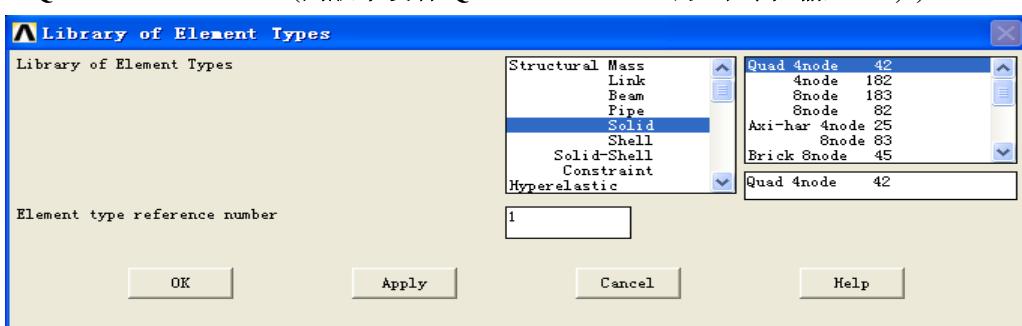
一中心具有圆孔的方板, 上下两边受  $y$  方向均匀拉伸载荷, 如图 1 所示, 方板边长  $L=8\text{cm}$ , 圆孔半径  $r=1\text{cm}$ , 板厚  $t=0.1\text{cm}$ , 拉伸的均布载荷  $q=10\text{Mpa}$ , 材料常数  $E=2.0 \times 10^5\text{MP}$ , 泊松比  $\nu=0.3$ 。因为薄板具有对称性, 我们可以取四分之一进行分析, 然后扩展成整个平板。

### 2.1 定义工作路径和工作文件名

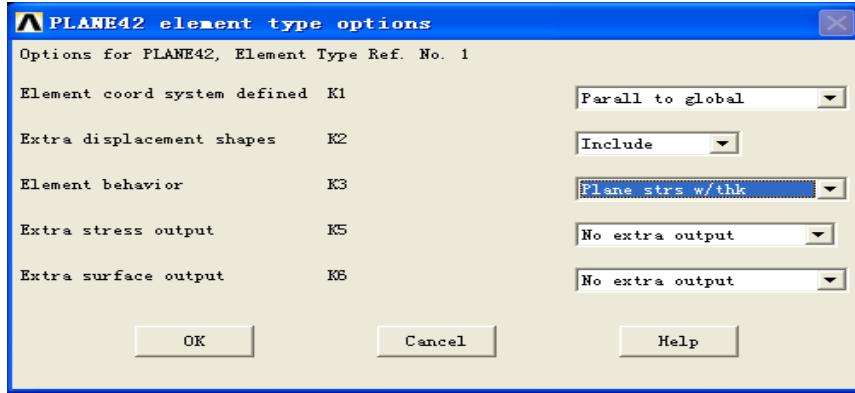
- (1) 选择 **Utility Menu** → **File** → **Change Directory** 命令, 弹出 **Change Working Directory** 对话框, 选择工作路径 **D:\file**。(若路径不存在, 需建立)。
- (2) 选择 **Utility Menu** → **File** → **Change Jobname** 命令, 出现 **Change Jobname** 对话框, 在 **[/FILNAM]** enter new jobename 输入栏中输入工作文件名 **plane**, 单击 **OK** 按钮并关闭该对话框。

### 2.2 定义单元类型

- (1) **MainMenu** → **Preprocessor** → **Element Type** → **Add/Edit/Delete** → **Add** → select **Solid Quad 4node 42** → **OK** (高版本没有 **Quad 4node 42**, 可以命令框输入 **ET,1,PLANE42**)

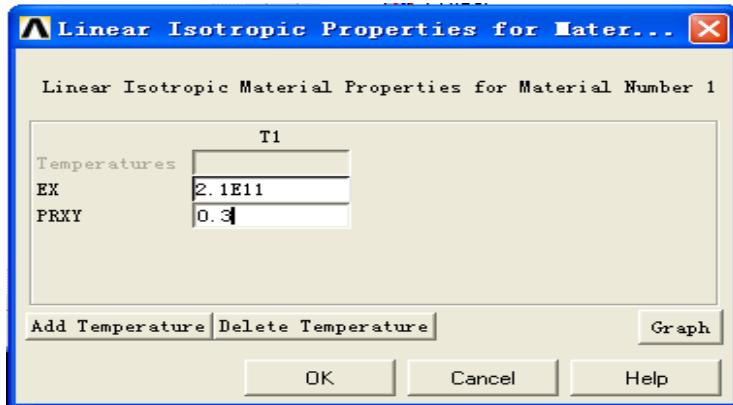


- (2) 返回 **Element Types** 界面, **Element Types** → **Options...** → select **K3: Plane stress w/thk** → **OK** → **Close** (有厚度的平板应力问题, 须定义厚度实常数, 默认为 1)



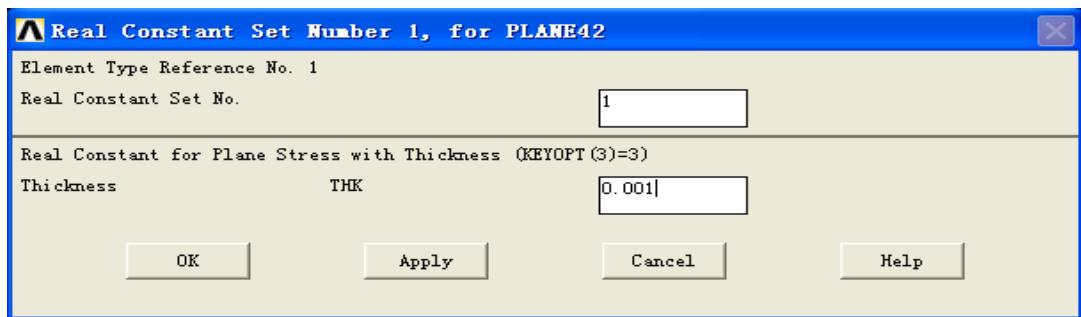
### 2.3 定义材料属性

MainMenu→Preprocessor →Material Props →Material Models →Structural →Linear →Elastic →Isotropic →input EX:2.1e11, PRXY:0.3 → OK 完成定义弹性模量与泊松比的定义。



### 2.4 定义实常数

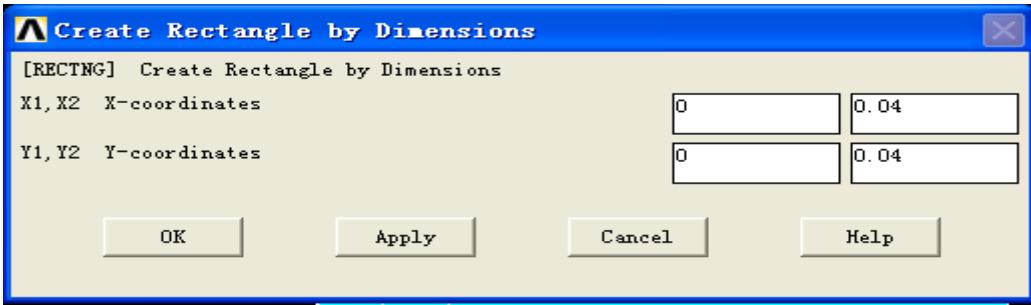
MainMenu→Preprocessor →Real Constants... →Add... →select Type 1→ OK→input THK: 在对话框中输入板的厚度 0.001 →OK →Close



### 2.5 生成几何模型

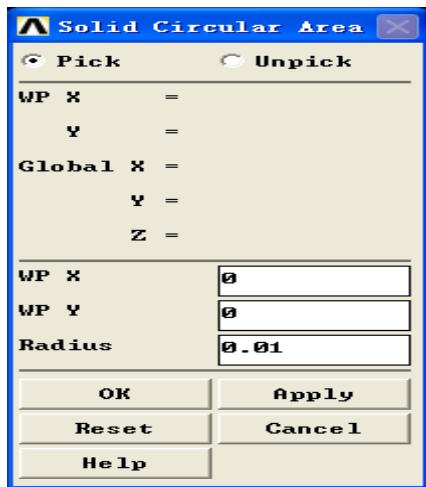
(1)生成平板

MainMenu → Preprocessor → Modeling → Create → Areas → Rectangle → By Dimensions 依次输入两个角点的坐标 (0,0) 和 (0.04,0.04) →OK



(2)生成圆孔

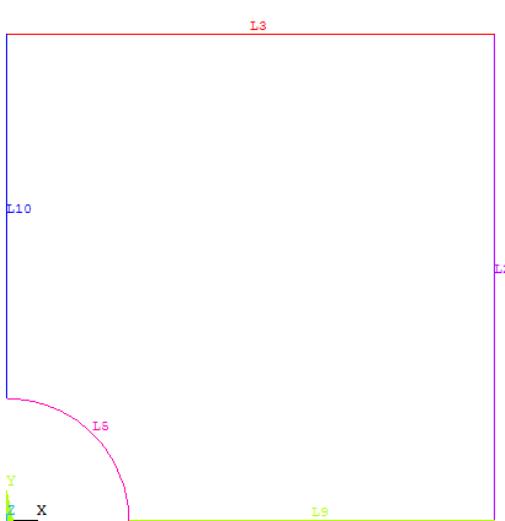
MainMenu→Preprocessor →Modeling →Create →Areas→Circle→solid circle →在对话框中依次输入 0,0, 0.01→OK



(3)执行面相减操作

MainMenu→Preprocessor→Modeling→Operate→Booleans→Subtract→Areas, 在弹出的对话框, 拾取四边形, 单击 OK; 拾取圆面, 单击 OK。

## 2.6 网格划分

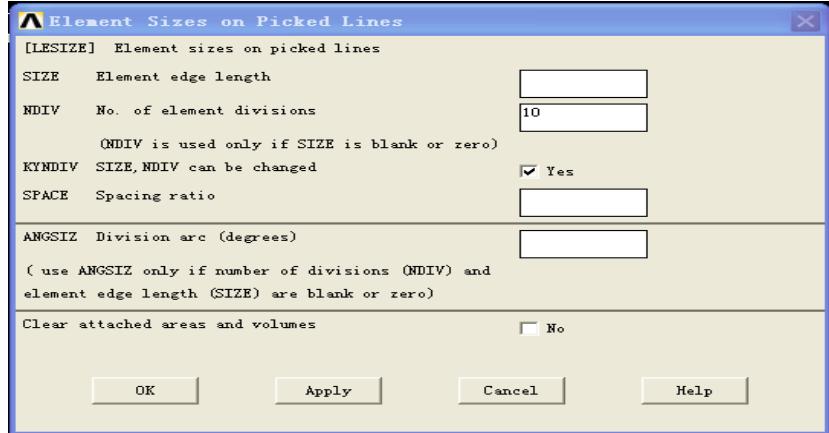


采用映射划分方法:

(1)连接 L2 和 L3: MainMenu→Preprocessor →Meshing →Mesh →Area→Mapped

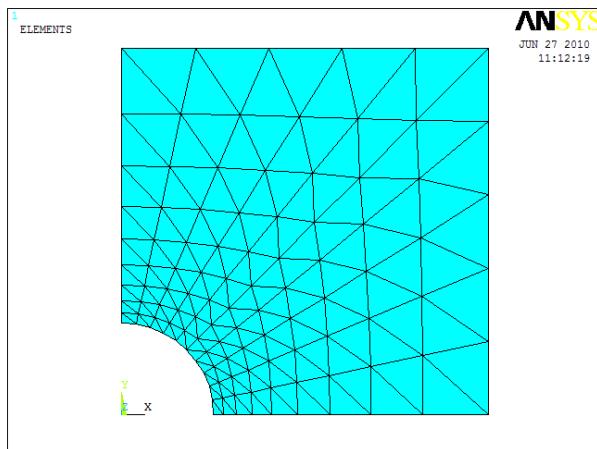
→Concatenate (连接) →Lines, 选择 L2 和 L3, 单击 OK。

(2) 定义线上的单元个数: MainMenu→Preprocessor →Meshing →Size Contrls →Lines: Picked Lines →选择 L5, 在对话框 NDIV 中输入 10, 单击 Apply; 再选择 L2 和 L3, 在对话框 NDIV 输入 5, 单击 Apply; 再选择 L9 和 L10, 在对话框 NDIV 输入 9, 同时在 SPACE (间距比, 非等距划分) 对话框中输入 0.15, 单击 OK。



(3) 划分网格:

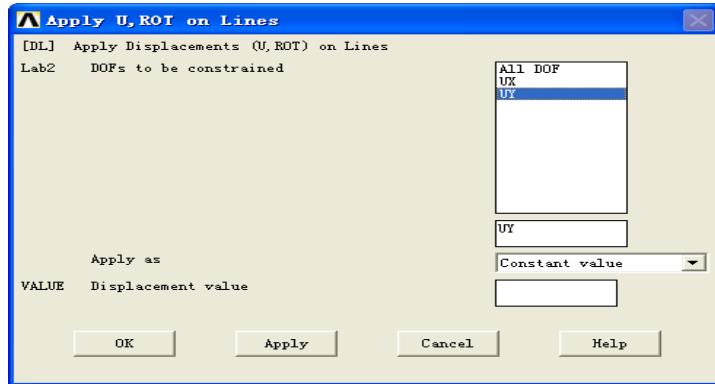
MainMenu → Preprocessor → Meshing → Mesh Tool → Mesh: Areas, Shape: Tri, Mapped → Mesh → Pick All (in Picking Menu) → Close。



## 2.7 模型施加约束和施加载荷

(1) 给线 9 施加 Y 方向约束

MainMenu→Solution →Define Loads →Apply →Structural →Displacement → On Lines →拾取线 9: Lab2: UY →OK

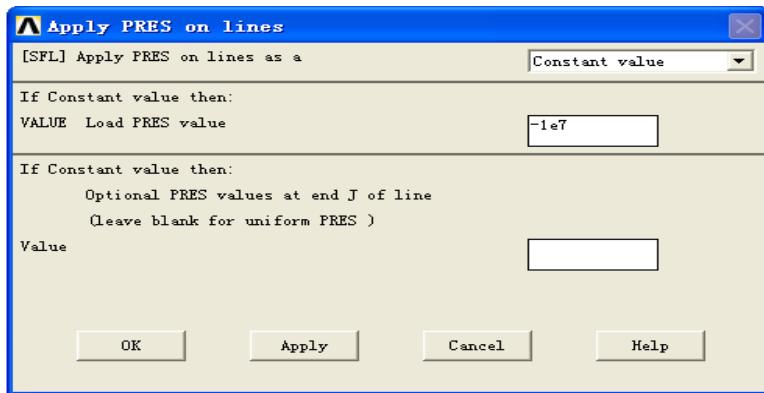


(2)给线 10 施加对称边界约束

Main Menu → Solution → Define Load → Apply → Structural → Displacement → Symmetry B.C. → On Lines命令，出现Apply SMY on Lines拾取菜单，在ANSYS显示窗口选择线段L10，单击OK按钮。

(3)给线 3 施加 Y 向均布载荷

MainMenu → Solution → Define Loads → Apply → Structural → Pressure → On Lines，选择线段 L3，在对话框中输入-1E7，单击 OK。

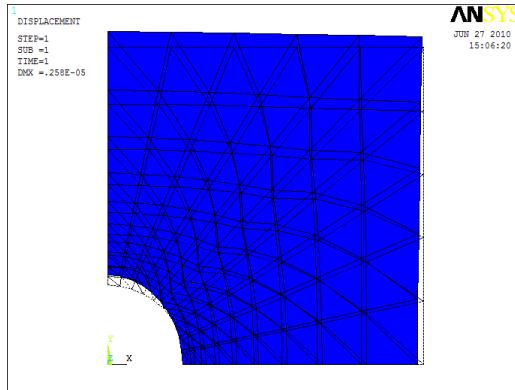


## 2.8 分析计算

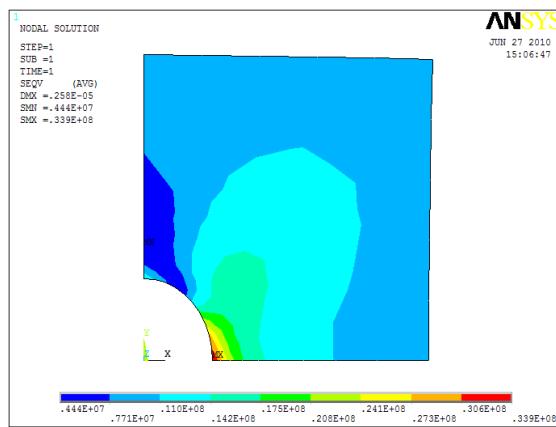
MainMenu → Solution → Solve → Current LS → OK

## 2.9 结果显示

(1) 显示平板的形状变化： MainMenu → General Postproc → Plot Results → Deformed Shape... → select Def + Undeformed → OK

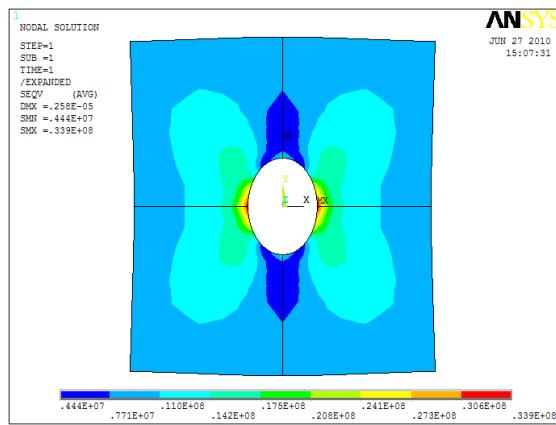


(2) 显示平板的平均等效应力: **MainMenu→General Postproc →Plot Results→Contour Plot →Nodal Solution→Stress→Von Mises Stress→OK**



(3) 扩展后显示平板的平均等效应力:

**Utility Menu→PlotCtls→Style→SymmetryExpansion→Preiodic/Cyclic Symmetry**, 出现 Preiodic/Cyclic Symmetry Expansion 对话框, 在 Select type of cyclic symmetry 选项中选择 1/4 Dihedral Sym, 单击 OK 按钮, ANSYS 显示窗口将显示扩展后结果。



## 2.10 退出系统

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

## Project 3 坝体的平面应变问题分析

计算分析模型如图 3-1 所示, 习题文件名: **dam**。

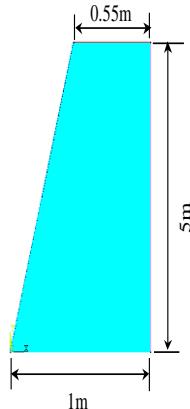


图 3-1 坝体的分析模型

如图一水坝,材料为混凝土,弹性模量为  $2.1 \times 10^{10}$ Pa,泊松比为 0.2, 斜面所受均布载荷为 1000Mpa ( $1 \times 10^9$ Pa)。

### 3.1 定义工作路径和工作文件名

- (1) 选择Utility Menu→File→Change Directory命令, 弹出Change Working Directory对话框, 选择工作路径D:\file。(若路径不存在, 需建立)。
- (2) 选择Utility Menu→File→Change Jobname命令, 出现Change Jobname对话框, 在[FILNAM] enter new jobname输入栏中输入工作文件名dam, 并将New log and error files设置为Yes, 单击OK按钮并关闭该对话框。

### 3.2 选择单元类型

- (1) MainMenu→Preprocessor →Element Type→Add/Edit/Delete →Add →select Solid Quad 4node 42→OK (ET,1,PLANE42)
- (2) 返回 Element Types 界面, Element Types → Options... →select K3: Plane Strain→OK→Close

### 3.3 定义材料属性

MainMenu → Preprocessor → Material Props → Material Models → Structural → Linear → Elastic → Isotropic → input EX:2.1e10, PRXY:0.2→OK。

### 3.4 生成几何模型

- (1) 生成特征点  
MainMenu→Preprocessor →Modeling →Create →Keypoints →In Active CS→依次输入四个点的坐标: input:1(0,0),2(1,0),3(1,5),4(0.45,5) →OK

(2) 生成坝体截面

**MainMenu → Preprocessor → Modeling → Create → Areas → Arbitrary → Through KPS** → 依次连接四个特征点, 1(0,0), 2(1,0), 3(1,5), 4(0.45,5) → OK

### 3.5 网格划分

**MainMenu → Preprocessor → Meshing → Mesh Tool** → (Size Controls) lines: Set → 依次拾取两条横边:OK → input NDIV: 15 → Apply → 依次拾取两条纵边:OK → input NDIV: 20 → OK → (back to the mesh tool window) Mesh: Areas, Shape: Quad, Mapped → Mesh → Pick All (in Picking Menu) → Close

### 3.6 模型施加约束

(1) 给下底边施加 x 和 y 方向约束

**MainMenu → Solution → Define Loads → Apply → Structural → Displacement → On lines** → pick the lines → OK → select ALL DOF → OK  
给竖直的纵边施加 x 和 y 方向的约束

**MainMenu → Solution → Define Loads → Apply → Structural → Displacement → On lines** → pick the lines → OK → select ALL DOF → OK

(2) 给斜边施加 x 方向的均布载荷

**MainMenu → Solution → Define Loads → Apply → Structural → Pressure → On Lines** → 拾取斜边; OK → 在对话框中输入水平方向的均布载荷为 1e9 (默认单位为 Pa)

### 3.7 分析计算

**MainMenu → Solution → Solve → Current LS** → OK

### 3.8 结果显示

(1) 显示水坝的形状变化:

**MainMenu → General Postproc → Plot Results → Deformed Shape...** → select Def + Undeformed → OK

(2) 显示水坝的节点总体位移云图:

**MainMenu → Contour Plot → Nodal Solu...** → select: DOF solution → Displacement vector sum → OK.

(3) 显示水坝的平均等效应力: **MainMenu → General Postproc → Plot Results → Contour Plot** → Nodal Solution → Stress → Von Mises Stress → OK

### 3.9 退出系统

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

## Project 4 热障涂层降温过程应力场分析

计算分析模型如图所示，习题文件名: Thermal Barrier Coating。

试采用有限元程序 ANSYS 分析等离子喷涂热障涂层在冷却过程中的应力场分布。

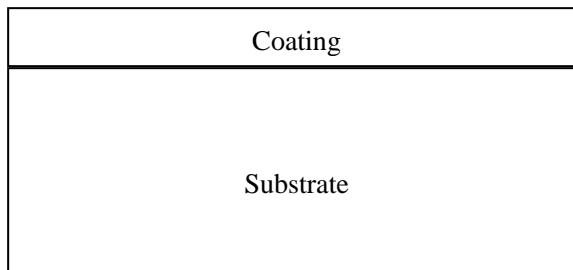
基体为高温合金 IC6，涂层为氧化锆，材料性能参数见下表：

表 1 IC6 材料的性能参数

Temperature (°C)	100	300	500	700	900	1000
EX (1e9Pa)	131	127	121	115	104	93
ALPX (1e-6°C⁻¹)	9.67	12.27	13.02	13.35	14.61	15.14
DENS (1e3kg/m³)	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
PRXY	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
REFT (°C)	1000	1000	1000	1000	1000	1000

表 2 氧化锆材料的性能参数

Temperature (°C)	100	300	500	700	900	1000
EX (10⁹Pa)	60	58	44	38	36	34
ALPX (10⁻⁶°C⁻¹)	9.68	9.78	9.82	9.88	10.02	10.34
DENS (10³kg/m³)	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
PRXY	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
REFT (°C)	1000	1000	1000	1000	1000	1000



基体厚度：1mm，涂层厚度：0.1mm，宽度 2mm。

分析涂层结构由 1000°C 冷却到 100°C 的应力场。

1. Jobname 和 Title 更换-略。
2. 定义单元类型：Main Menu: Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete—Add，选用 Solid/Quad 4node 42。（ET,1,PLANE42）
3. 定义材料属性：Main Menu: Preprocessor>Material Props> Material Models，在弹出的对话框中定义所需的材料属性（EX 杨氏模量,ALPX 热胀系数,DENS 密度,PRXY 泊松比,REFT 参考温度）；定义完材料一的属性后，单机 Material 下拉菜单中的 New Model 定义材料二的属性；关闭对话框。（注意单位，在哪儿输入要从属性含义中理解）
4. 保存材料属性文件：Main Menu: Preprocessor>Material Props> Write to File 输入要保存的文件名，如 EX1.MP；（像本题中材料属性输入较复杂，可以保存成单独文件，方便后续用到该材料，可以直接通过文件导入）

5. 建立几何模型：基体：Main Menu: Preprocessor>Modeling>Create>Areas>Rectangle>By Dimensions 输入 X1,X2 的值 -1,1, Y1,Y2 的值 0,-1, 单击 Apply；涂层：X1,X2 的值 -1,1, Y1,Y2 的值 0,0,1, 单击 OK；
  6. 粘结几何模型：Main Menu: Preprocessor>Modeling>Operate>BOOLEANS>Glue>Areas 拾取两矩形面积，点击 OK；
  7. 保存几何模型：Utility Menu: File/Save as...
  8. 定义有限元模型的属性，Meshing-Attribute
  9. 划分网格 Main Menu: Preprocessor>Mesher>Size Cntrls>Manual Size>Lines>Picked Lines 拾取长度方向三条线，单击 OK，在 NDIV 中输入 20，点击 Apply；拾取涂层高度的两条线段，单击 OK，在 NDIV 中输入 5，点击 Apply；拾取基体高度的两条线段，单击 OK，在 NDIV 中输入 10，点击 OK。  
划分网格：Main Menu: Preprocessor>Mesher>Mesh>Areas>Mapped>3 or 4 solid 拾取基体，单击 Apply；拾取涂层，单击 OK。
  10. 保存有限元模型：Utility Menu: File/Save as...
- 
11. 施加温度载荷：Main Menu: Solution>Define Loads>Settings>Uniform Temp 输入 100, Solution>Define Loads>Settings>Reference Temp 输入 1000,  
施加约束载荷：Main Menu: Solution>Define Loads>Apply>Structural>Displacement>On Nodes，拾取下端中心节点，单击 OK，在弹出的对话框约束自由度中选 UX, UY，输入 0；单击 OK。  
Main Menu: Solution>Define Loads>Apply>Structural>Displacement>On Nodes，拾取中心节点中间往上一系列节点，单击 OK，在弹出的对话框约束自由度中选 UX，输入 0；单击 OK。
  12. 求解：Main Menu: Solution>Solve>Current LS，计算完毕后，关闭提示对话框；
  13. 选择结果显示方式：Main Menu: General PostProc>Plot Results>Contour Plot>Nodal Solu；
  14. 在对话框中选 Stress, UX 或 UY，点击 OK，显示 X 或 Y 方向应变图。

## Project 5 热电制冷分析

半导体热电偶制冷元件由 N 型和 P 型半导体材料通过厚度为  $t$  的铜带连接, N 型和 P 型半导体长度  $L$ , 截面积为  $A=W^2$ ,  $W$  为宽度, 热端温度为  $Th$ , 通过电势差  $U$  散热, 保持冷端温度为  $Tc$ , 电流正方向从 N 型半导体到 P 型半导体如表 6-4 所示。相关材料参数见表 6-5:

表 6-4 热电偶制冷元件模型

		模型参数
		半导体长度 $L=1 \text{ cm}$
		半导体宽度及厚度 $W=1 \text{ cm}$
		冷端温度 $T_c=0^\circ\text{C}$
		热端温度 $T_h=54^\circ\text{C}$
		输入电压 $U=1\text{V}$
		铜带厚度 $t_i=0.1 \text{ cm}$
		铜带边缘宽度 $t_2=0.2 \text{ cm}$
		半导体间距 $W_1=1 \text{ cm}$

表 6-5 热电偶制冷元件模型材料参数

名称模型	电阻率 ohm*m	热传导率 w/(m*K)	Seebeck 热电系数(v/K)
N 型半导体	$\rho_N=1.05 \times 10^{-5}$	$\lambda_N=1.3$	$\alpha_N=-165 \times 10^{-6}$
P 型半导体	$\rho_P=0.98 \times 10^{-5}$	$\lambda_P=1.2$	$\alpha_P=+210 \times 10^{-6}$
铜带	$1.7 \times 10^{-8}$	400	

### 5.1 定义工作路径和工作文件名

- (1) 选择Utility Menu→File→Change Directory命令, 弹出Change Working Directory对话框, 选择工作路径D:\ file。(若路径不存在, 需建立)。
- (2) 选择Utility Menu→File→Change Jobname命令, 出现Change Jobname对话框, 在[FILNAM] enter new job name输入栏中输入工作文件名thermal-electric, 并将New log and error files设置为Yes, 单击OK按钮并关闭该对话框。

### 5.2 选择单元类型

- (1) MainMenu→Preprocessor →Element Type→Add/Edit/Delete →Add →select thermal electric Brick 8node 69→OK (ET,1,SOLID69)

### 5.3 定义材料属性

MainMenu→Preprocessor →Material Props →Material Models 1(n-type 半导体) →thermal →conductivity→Isotropic →input KXX:1.3→OK; Electromaganetics→resistivity →constant→输入数值→OK; Thermalelectricity→Isotropic→SBKX: -165e-6→ok。

左上角 material→new model→define material ID:2(p-type 半导体), 同上方法定义材料属性。再添加 material ID: 3 (铜片)

### 5.4 生成几何模型

### (1) 底层铜片几何体

**MainMenu→Preprocessor →Modeling →Create →Volumes→Block→by dimensions:**  
**input:** 第一点坐标 (0, 0, 0), 第二点坐标 (0.012,0.01,0.001) →apply→另外一个方块的第一点坐标 (0.022, 0, 0) →第二点坐标 (0.034,0.01,0.001) →ok

### (2) 中间 n-type 与 p-type 几何体

**MainMenu→Preprocessor →Modeling →Create →Volumes→Block→by dimensions:**  
**input:** 第一点坐标 (0.002, 0, 0.001), 第二点坐标 (0.012,0.01,0.011) →apply→另外一个方块的第一点坐标 (0.022, 0, 0.001) →第二点坐标 (0.032,0.01,0.011) ok

### (3) 顶层铜片几何体

**MainMenu→Preprocessor →Modeling →Create →Volumes→Block→by dimensions:**  
**input:** 第一点坐标 (0.002, 0, 0.011), 第二点坐标 (0.032,0.01,0.012) →ok

### (4) 将几何体粘接在一起

**MainMenu→Preprocessor →Modeling →Operate →Booleans →Glue →Volums→pick all.**

## 5.5 网格划分

**MainMenu→Preprocessor→Meshing→Mesh Tool→element attributes →volums→set**  
→依次拾取底层、顶层铜片→ok→material number: 3→apply→拾取 n-type 半导体→ok→material number: 1→ apply→拾取 p-type 半导体→ok→material number: 2→ok。

**MainMenu→Preprocessor→Meshing→Mesh Tool→size controls: areas, set→pick all**  
→size: 0.0005→ok

**MainMenu→Preprocessor→Meshing→Mesh Tool→Mesh→volumes→Tet→free→mesh**  
→pick all →Close.

## 5.6 模型施加约束

### (1) 给下底面施加温度载荷

**MainMenu→Solution→Define Loads→Apply→thermal→temperature→On areas →**  
**pick the areas→选择底层铜片下表面→OK→select ALL DOF→value load temp value: 54→**  
**apply→选择顶层铜片上表面→OK→select ALL DOF→value load temp value: 0→OK.**

### (2) 给下底面施加电压载荷

**MainMenu → Solution → Define Loads → Apply → electric → boundary → voltage → on**  
**areas→选择左侧底层铜片下表面→OK→constant value→0.01→ apply→选择右侧底层铜**  
**片下表面→OK→constant value→0→OK.**

## 5.7 分析计算

**MainMenu→Solution→Solve→Current LS→OK(会显示非线性解, 不是报错)**

## 5.8 结果显示

### (1) 显示温度变化:

**MainMenu → General Postproc → Plot Results → contour plot → nodal solu → DOF**  
**solution→nodal temperature→OK**

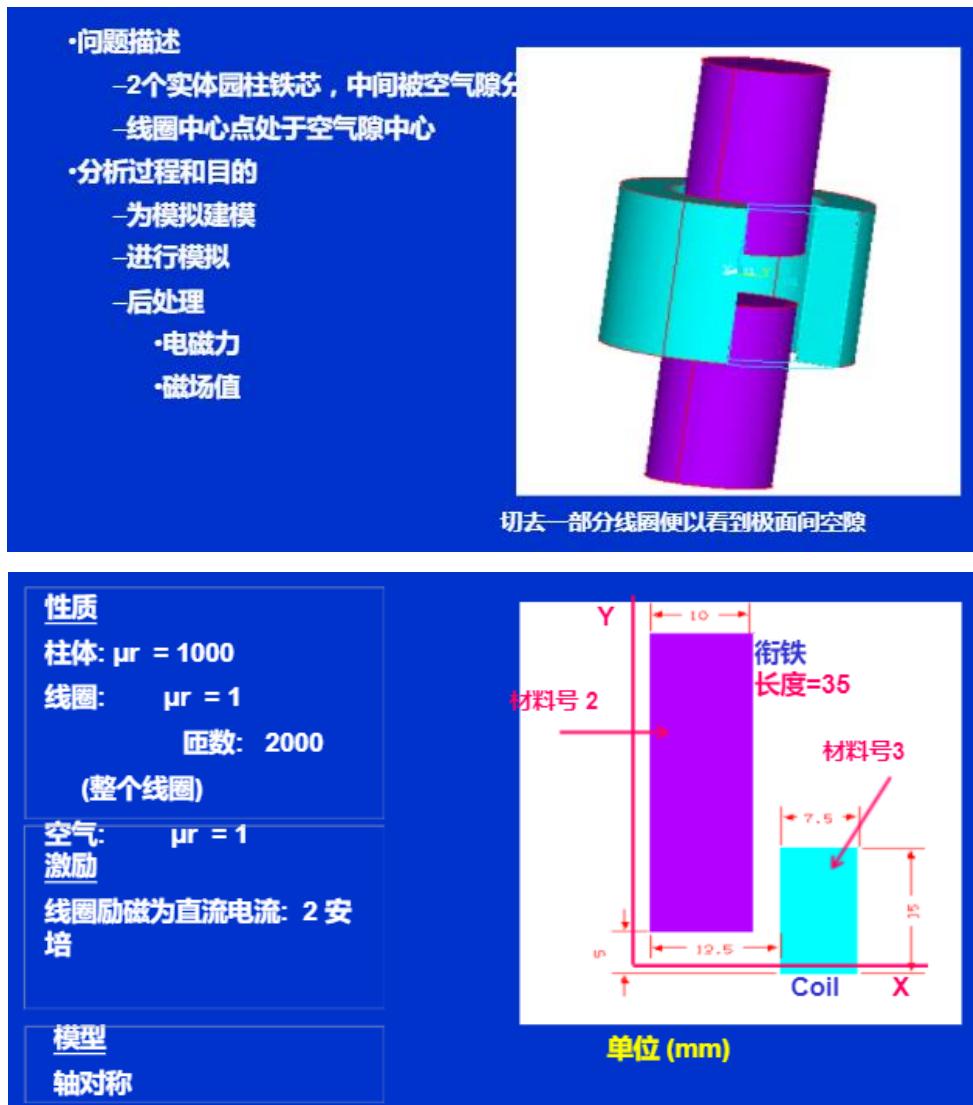
### (2) 显示电位变化:

**MainMenu→General Postproc→Plot Results→contour plot→nodal solu→DOF solution  
→electric potential→OK**

## 5.9 退出系统

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

## Project 6 简单直流致动器电磁分析



### 6.1 定义工作路径和工作文件名

- (1) 选择Utility Menu→File→Change Directory命令, 弹出Change Working Directory对话框, 选择工作路径D:\file。(若路径不存在, 需建立)。
- (2) 选择Utility Menu→File→Change Jobname命令, 出现Change Jobname对话框, 在[FILNAM] enter new job name输入栏中输入工作文件名electric-magnetic, 并将New log and error files设置为Yes, 单击OK按钮并关闭该对话框。

### 6.2 选择单元类型

- (1) MainMenu→Preference→勾选 Magnetic-Nodal→OK
- (2) MainMenu → Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete → Add → select Magnetic Vector→Quad 8 node 53→options →Element behavior→选择 Axisymmetric(轴对称) →OK.

(高版本不支持的话选 plane233 , ET,1,PLANE233)

### 6.3 定义材料属性

MainMenu → Preprocessor → Material Props → Material Models 1(空气) → Electromagnetics → Relative permeability (磁导率) → constant → input MURX:1 → OK;

左上角 material → new model → define material ID:2(铁芯), 同上方法定义材料属性。再添加 material ID: 3 (线圈)

### 6.4 生成几何模型

(1) 建立线圈和铁芯面

Preprocessor > Modeling > Create > Areas > Rectangle > By Dimensions: input: 第一点坐标 (0,5), 第二点坐标 (10,40) → apply → 输入线圈面第一个点坐标 (12.5,0), 第二点坐标 (20,15) → apply → 输入空气面第一个点坐标 (0,0), 第二点坐标 (40,80) → OK

(2) 将几何体链接在一起

Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Overlap > Areas.

### 6.5 网格划分

MainMenu → Preprocessor → Meshing → Mesh Tool → element attributes → areas → set → 拾取空气面 → ok → material number: 1 → apply → 拾取铁芯面 → ok → material number: 2 → apply → 拾取线圈面 → ok → material number: 3 → ok。

MainMenu → Preprocessor → Meshing → Mesh Tool → smart size: 拖动滑块到 2 → mesh 栏选择 areas → 选择 Quad, free → 点击 mesh → pick all.

转换模型单位制由 m → mm:

Preprocessor → Modeling → Operate → Scale → Areas → pick all → RX, RY, RZ 分别输入: 0.001,0.001,1 → IMOVE 选择 moved → OK.

### 6.6 模型施加约束

(1) 施加通量平行边界条件

Preprocessor → Loads → Define Loads → Apply → Magnetic → Boundary → Vector Poten (向量势) → Flux Par'l (平行通量) → On Lines → 选择外围的所有线段 → OK

(2) 给线圈平面施加电流密度

Preprocessor > Loads > Define Loads > Apply > Magnetic > Excitation (激励) > Curr Density > On Areas > 选择线圈平面 > VAL3 后的框输入: 2000/0.0001125 → OK

### 6.7 分析计算

Solution > Analysis Type > New Analysis > static > ok

Solution > Solve > Electromagnetic > Static Analysis > Opt&Solv > ok

MainMenu → Solution → Solve → Current LS → OK

### 6.8 结果显示

(1) 绘制磁力线分布:

General Postproc > Plot Results > Contour Plots > 2D Flux Lines > ok

(2) 绘制磁密分布:

**General Postproc > Plot Results > Contour Plots > Nodal Solu>Nodal  
solution>magnetic flux density> magnetic flux density vector sum>ok**

(3) 绘制磁密矢量分布

**General Postproc > Plot Results > Vector Plots > Predefined > Flux&gradient (梯度),  
Mag flux dense B>ok**

## 6.9 退出系统

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