

PROGRAM NAME:	<u>SAP2000</u>
REVISION NO.:	<u>0</u>

### 算例 2-014

#### 壳 – 沿壳厚度温度梯度

##### 算例描述

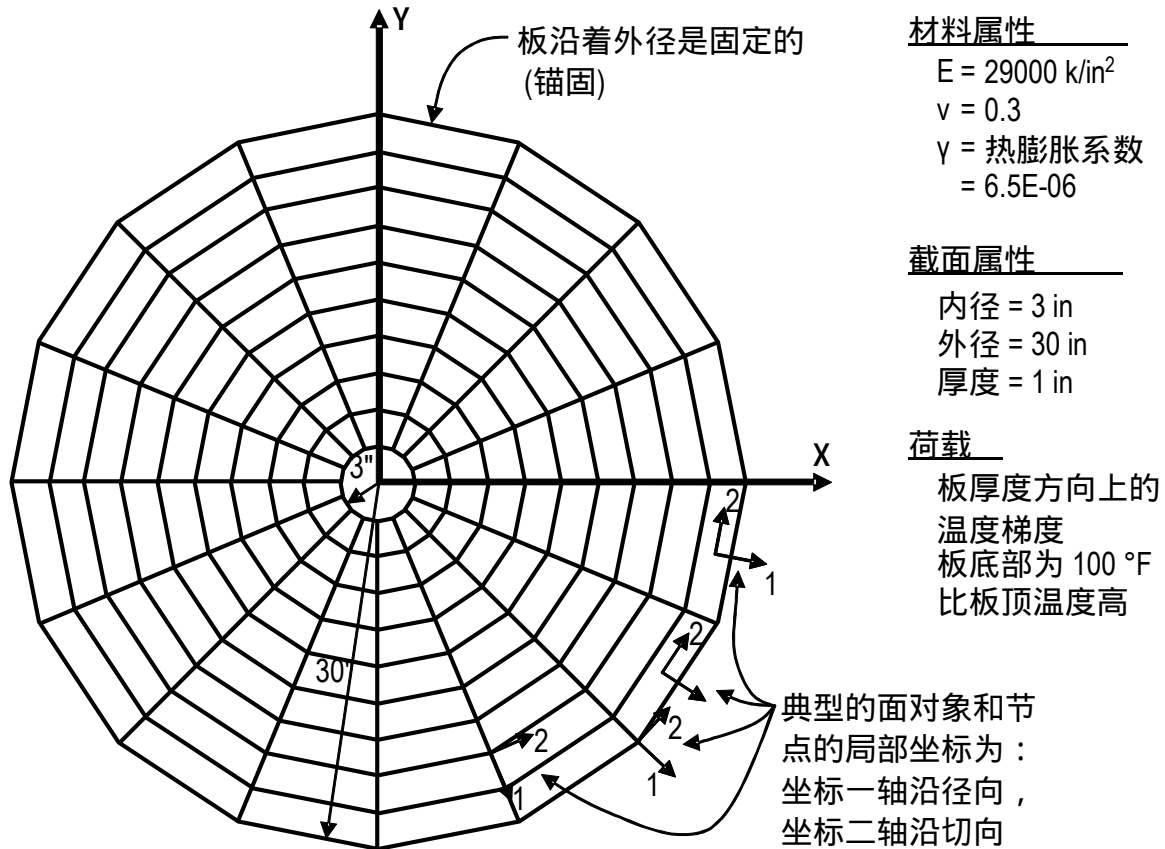
本例使用平板环形板测试壳单元梯度温度加载。施加的温度梯度沿壳单元厚度线性变化。位移、转角、弯矩结果与基于文献 Roark and Young 1975 中公式手算结果进行比较。

板外径 30 in，内径 3 in，1 in 厚。沿外边缘固定（钳住）。板用 9x16（径向乘切向）划分网格。

所有面对象（壳单元）和所有点的局部轴方向是 1 轴沿径向朝外，2 轴切向。以这种方式定义局部轴以保证板的内外径是常数。

沿板厚 施加 100 °F 温度梯度，板底部比顶部温度高。线膨胀系数设为 0.0000065 in/in °F。

## 几何，属性和加载



## SAP2000 测试的技术特点

- 壳单元的温度梯度加载
- 面局部坐标轴
- 节点局部坐标

## 结果比较

手算解用文献 Roark and Young 1975 中 361 页表 24 的 8e 项计算。薄板和厚板的计算结果如下表所示。

### 薄板选项 (9x16 网格划分) - 模型 A

输出参数	SAP2000	手算解	误差百分比
$U_z$ (内缘) in	0.01905	0.01931	-1%
$R_2$ (内缘) radians	0.00347	0.00352	-1%
$M_{11}$ (外缘) k-in/in	-2.182	-2.181	0%
$M_{22}$ (内缘) k-in/in	-4.016	-4.406	-9%

### 厚板选项 (9x16 网格划分) - 模型 A

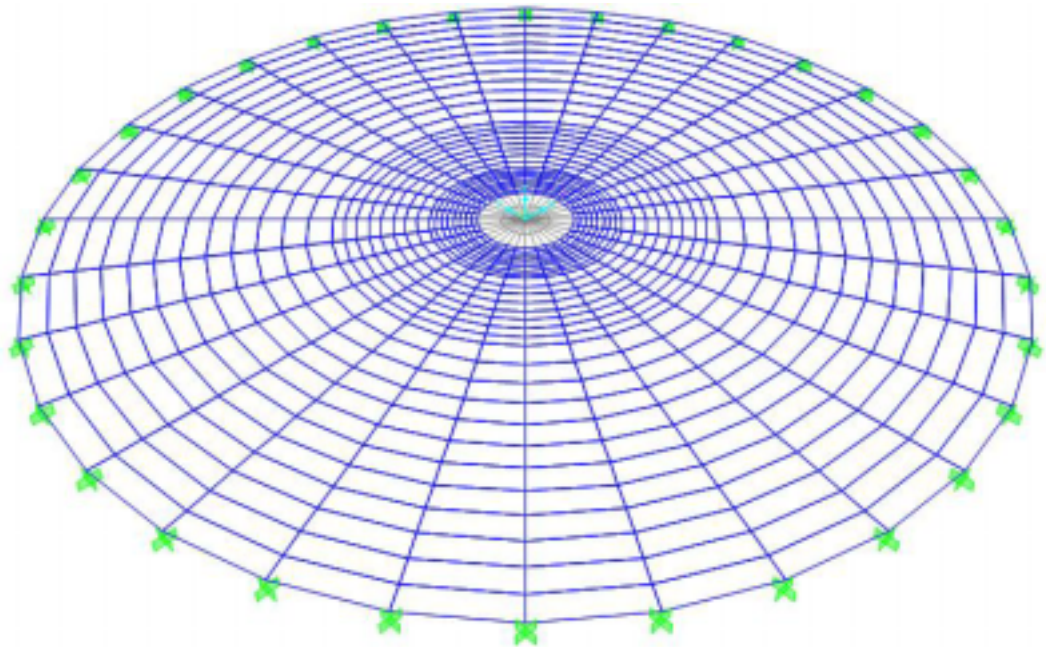
输出参数	SAP2000	手算解	误差百分比
$U_z$ (内缘) in	0.01778	0.01931	-8%
$R_2$ (内缘) radians	0.00311	0.00352	-12%
$M_{11}$ (外缘) k-in/in	-2.185	-2.181	0%
$M_{22}$ (外缘) k-in/in	-4.478	-4.406	+2%

文件: Example 2-014a-thick, Example 2-014a-thin,  
Example 2-014b-thick, Example 2-014b-thin

### 结论

SAP2000 结果对薄板与手算解比较符合；对厚板的结果不可接受。薄板和厚板的结果可以通过网格划分来改进。

模型 B 使用 28x32 网格划分（径向乘切向）。径向网格划分如下图（屏幕拷贝）所示不是恒定的。在应力变化大的中心处网格划分密。



下表显示模型 B 的结果。薄板和厚板的结果都符合很好。

PROGRAM NAME: SAP2000  
REVISION NO.: 0

## 薄板选项 (28x32 网格划分) - 模型 B

输出参数	SAP2000	手算解	误差百分比
$U_z$ (内缘) in	0.01922	0.01931	0%
$R_2$ (内缘) radians	0.00351	0.00352	0%
$M_{11}$ (外边缘) k-in/in	-2.181	-2.181	0%
$M_{22}$ (内边缘) k-in/in	-4.385	-4.406	0%

## 厚板选项 (28x32 网格划分) - 模型 B

输出参数	SAP2000	手算解	误差百分比
$U_z$ (内缘) in	0.01902	0.01931	-2%
$R_2$ (内缘) radians	0.00347	0.00352	-1%
$M_{11}$ (外缘) k-in/in	-2.181	-2.181	0%
$M_{22}$ (内缘) k-in/in	-4.454	-4.406	+1%

## 手算

Reference: Roark and Young 1975  
Table 24, Item 8e  
 $\frac{b}{a} = \frac{3}{30} = 0.1$

$U_z$  at inner edge

$$U_z = y$$

$$y = K_y \frac{\gamma \Delta T a^2}{t}$$

$$a = \text{radius} = 30 \text{ in}$$

$$\Delta T = \text{temp change} = 100^\circ \text{F}$$

$$\gamma = \text{coeff of thermal expansion} = 6.5 \text{E-}6$$

$$K_y = 0.0330 \text{ for } \frac{b}{a} = 0.1 \quad t = \text{thickness} = 1''$$

$$y = \frac{0.0330 \times 0.0000065 \times 100 \times 30^2}{1}$$

$$y = U_z = 0.019305 \text{ in } \uparrow$$

$R_z$  at inner edge

$$R_z = -\theta$$

$$\theta = K_\theta \frac{\gamma \Delta T a}{t} ; K_\theta = -0.1805 \text{ for } \frac{b}{a} = 0.1$$

$$\theta = \frac{-0.1805 \times 0.0000065 \times 100 \times 30}{1}$$

$$\theta = -0.00352$$

$$R_z = 0.00352$$

$M_{11}$  at outer edge

$$M_{11} = M$$

$$M = K_{MRA} \frac{8\Delta T D}{t}$$

$$K_{MRA} = -1.2635 \text{ for } \frac{b}{a} = 0.1$$

$$D = \frac{E t^3}{12(1-\nu^2)} = \frac{29000 \times 1^3}{12(1-0.3^2)} = 2655.678$$

$$M = \frac{-1.2635 \times 0.0000065 \times 100 \times 2655.678}{1}$$

$$\underline{\underline{M = M_{11} = -2.181 \text{ K-in/in}}}$$

$M_{22}$  at inner edge

$$M_{22} = M$$

$$M = K_{Mtb} \frac{8\Delta T D}{t}$$

$$K_{Mtb} = -2.5526 \text{ for } \frac{b}{a} = 0.1$$

$$M = \frac{-2.5526 \times 0.0000065 \times 100 \times 2655.678}{1}$$

$$\underline{\underline{M = M_{22} = -4.406 \text{ K-in/in}}}$$