

实验十三 热-应力耦合分析（稳态热分析）

（一）实验目的

1. 熟悉并掌握 ANSYS 软件的使用方法；
2. 掌握如何利用 ANSYS 进行热-应力耦合分析（稳态热分析）；

（二）实验设备及工具

安装有 ANSYS 软件的计算机

（三）实验问题描述

温度的分布不均会导致部件内部产生热应力，在结构分析中常会遇到需要考虑温度场对应力分布影响的情况。特别在进行各类燃机的部件，如航空发动机的涡轮盘、叶片等的强度计算分析时通常要考虑热问题。各类输送管道由于内外温度不同也会产生热应力。另外材料的性能和其温度是相关的，不同的温度下其性能通常不同，这也会造成部件应力分布的变化。

1. 问题描述
一无限长的截面形状和尺寸如图 12.1 所示的厚壁双层圆管，其内、外层温度分别为 T_i 和 T_o ，材料数据和边界条件如表 12.1 所示，利用 ANSYS 程序来求解圆管沿径向的温度分布情况，并求解圆管内沿径向和周向的应力情况。

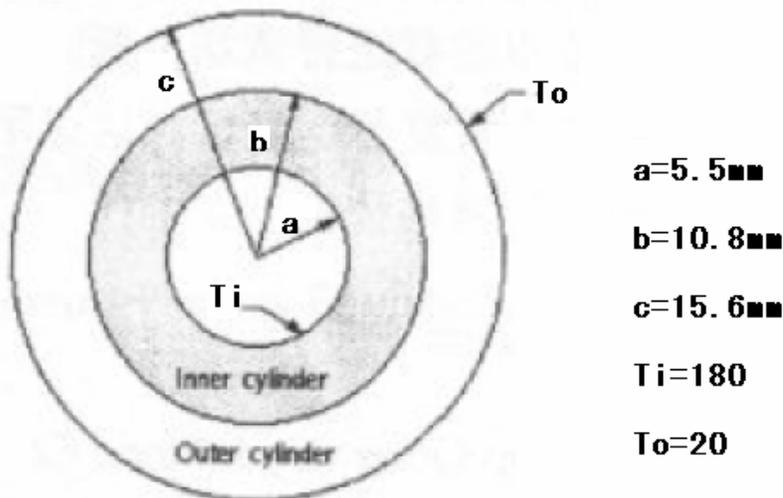


图 12.1 双层管道的截面图

表 12.1 材料性能参数表

材料编号	热导率(W/mm. °C)	弹性模量(MPa)	泊松比	热膨胀系数(— $^{\circ}\text{C}^{-1}$)
1(钢), 内层	0.0234	2.05E5	0.3 1	0.3 2
(铝), 外层	0.152	0.63E5	0.33 2	0.7

从上面描述的问题可以看出，本实验属于轴对称问题，可以采用轴对称方法来进行分析。同时本问题为典型的热-应力耦合问题，可以采用间接法顺序耦合分析的一般步骤进行分析。因为管道为无限长，故建立模型时轴向尺寸可以是任意大于零的值，且将其一边轴向约束，一边所有节点轴向自由度耦合。

（四）实验步骤

1. 建立模型

在 ANSYS 中，首先通过完成如下工作来建立本算例的有限元模型，需要完成

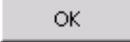
的工作有：指定分析标题，定义材料性能，定义单元类型，建立几何模型并划分有限元网格等。

实验中定义的单元类型和材料属性都是针对热分析的。下面将详细讲解分析过程。

1.1 指定分析标题并设置分析范畴

首先，指定本实验的分析路径、数据库的名称、分析标题。指定本实例的分析的标题为：“Thermal Stress in Concentric Cylinders-Indirect Method”，另外为了得到适合热分析的菜单选项，需要将分析范畴指定为热分析。

1. 选取菜单路径 Utility Menu | File | Change Jobname，将弹出 Change Jobname (修改文件名)对话框，如图 12.2 所示。在 Enter new jobname (输入新文件名)文本框中输入文字“CH20”，为本分析实例的数据库文件名。单击

按钮，完成文件名的修改。

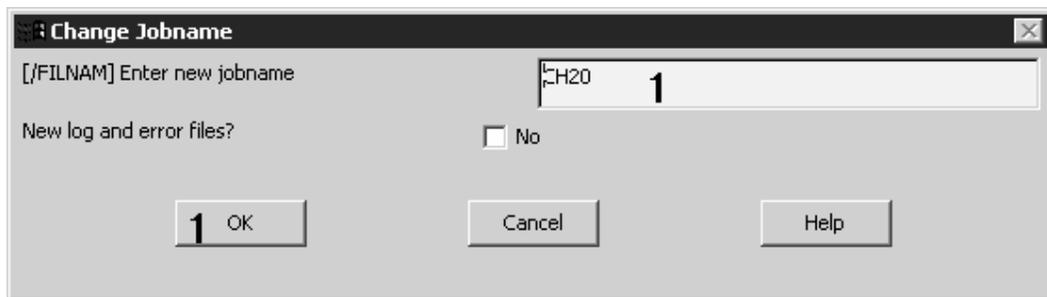
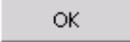


图 12.2 修改文件名对话框

2. 选取菜单路径 Utility Menu | File | Change Title，将弹出 Change Title (修改标题)对话框，如图 12.3 所示。在 Enter new title (输入新标题)文本框中输入文字“Thermal Stress in Concentric Cylinders-Indirect Method”，

为本实验分析的标题名。单击 按钮，完成对标题名的指定。

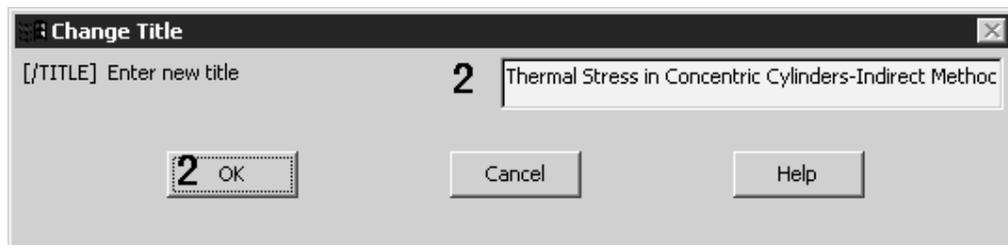
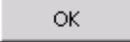


图 12.3 修改标题对话框

3. 选取菜单路径 Main Menu | Preference，将弹出 Preference of GUI Filtering (菜单过滤参数选择)对话框，如图 12.4 所示。单击对话框中的 Thermal (热)复选框，选中 Thermal 选项，以便 ANSYS 的主菜单设置为与热分析相对应的菜单选项。单击 按钮，完成分析范畴的指定。

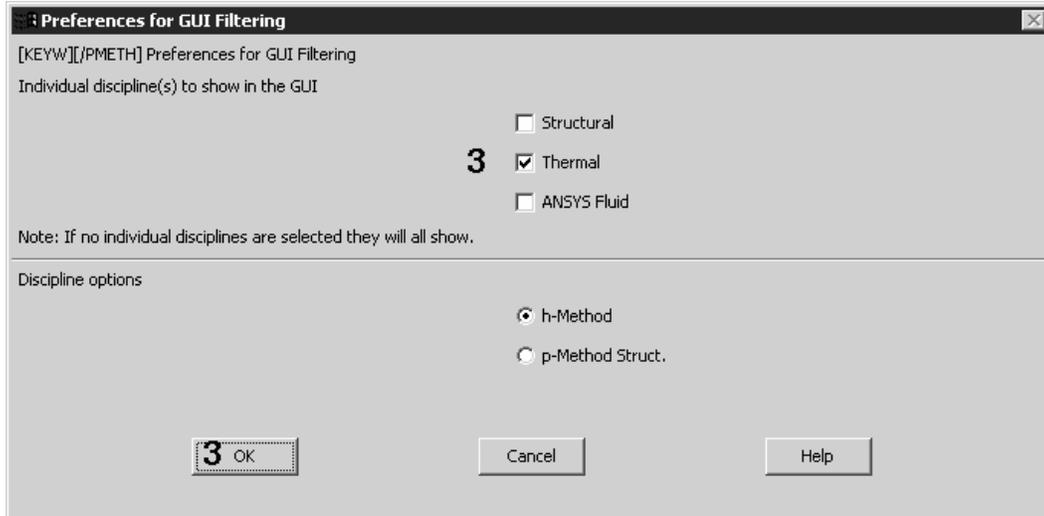


图 12.4 指定分析范畴

1.2 定义单元类型

根据本实例的结构特征，在热分析中选用 8 节点平面热单元 PLANE77，并将其设置为轴对称单元类型。下面为定义单元的具体操作过程。

1. 选取菜单路径 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete，将弹出 Element Types (单元类型定义)对话框。单击对话框中的 **Add...** 按钮，将弹出 Library of Element Types (单元类型库)对话框，如图 12.5 所示。

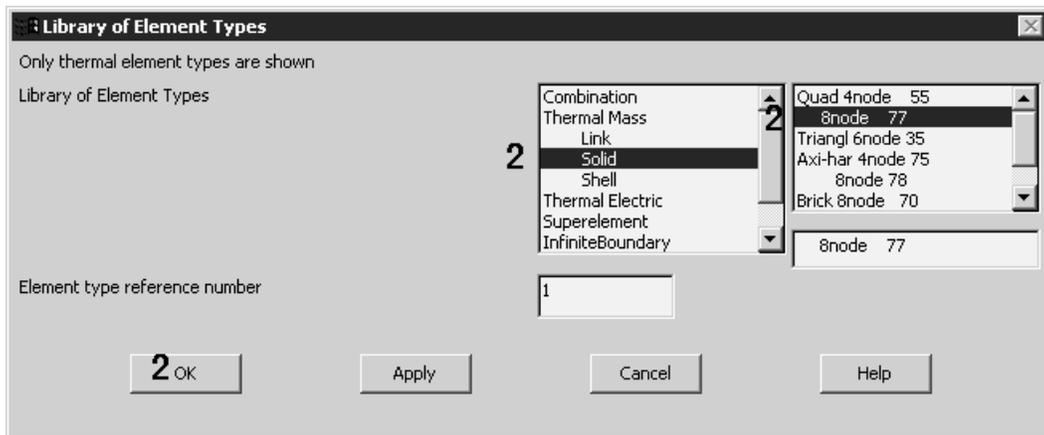


图 12.5 定义单元类型 PLANE77

2. 在 Library of Element Type (单元类型库)对话框左边的滚动框中单击“Thermal Solid”，选择热实体单元类型。在右边的滚动框中单击“Quad 8node 77”选择 8 节点平面单元 PLANE77。然后单击 **OK** 按钮，关闭 Library of Element Types (单元类型库)对话框。Element Types (单元类型)对话框中将列出定义的单元类型，如图 12.6 所示。

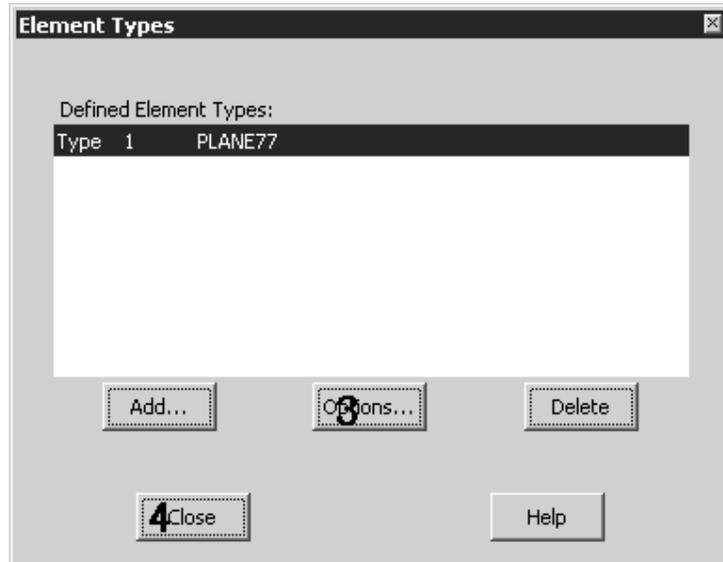


图 12.6 定义的单元类型

3. 设置单元 PLANE77 的轴对称选项。单击图 12.6 所示对话框中的 **Options...** 按钮，将弹出 PLANE77 element type options (单元 PLANE77 的选项对话框)，如图 12.7 所示。在对话框中，单击单元行为参数 K3 的下拉设置框中的“Axisymmetric”选项，将单元设置为轴对称单元，单击 **OK** 按钮，关闭对话框。

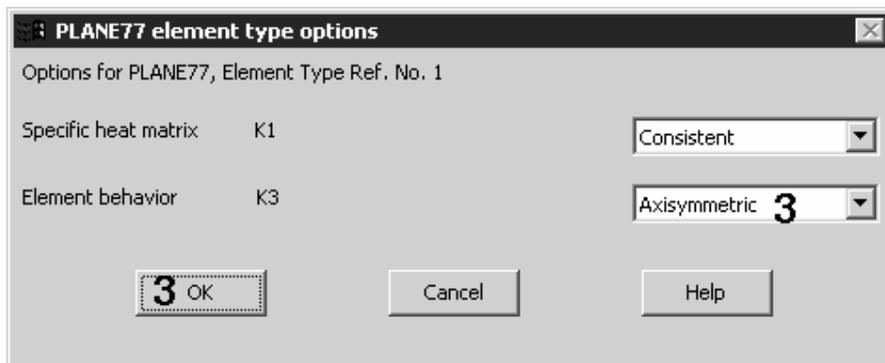


图 12.7 将单元设置为轴对称单元

4. 单击单元类型对话框中(图 12.6)中的 **Close** 按钮关闭对话框，完成单元类型的定义。

1.3 定义材料热学性能

本实例中共有两种材料，管道内层的钢和外层的铝。其性能参数在前面问题描述中已经给出。因为这里建立的是稳态热分析的有限元模型，所以只需定义材料的热传导系数。其它属性在进行结构应力分析时再定义，具体的操作如下：

1. 选取菜单路径 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models，将弹出 Define Material Model Behavior (材料模型定义)对话框，如图 12.8 所示。

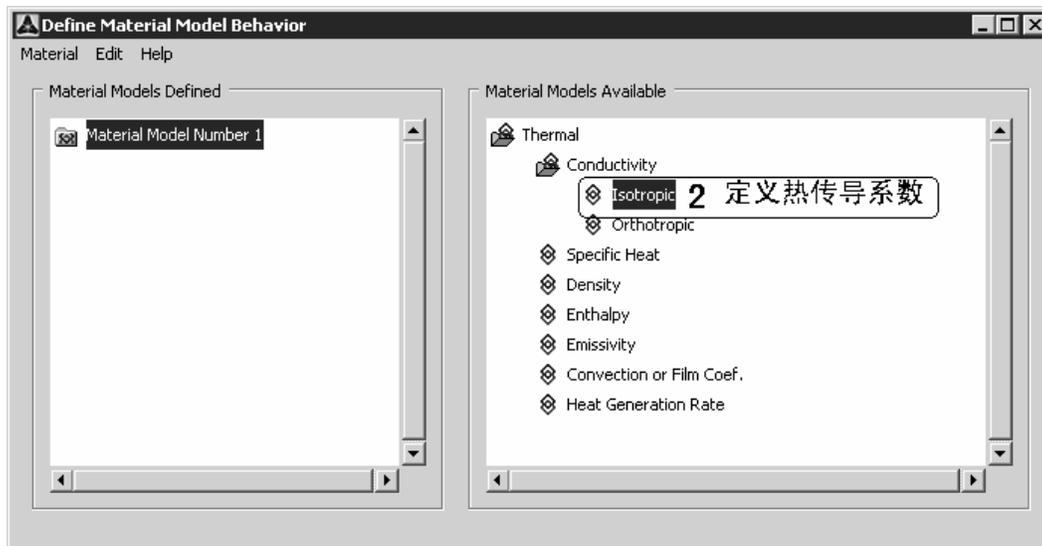


图 12.8 材料模型定义对话框

2. 在图 12.8 所示的对话框右边列表框中, 依次双击 Thermal | Conductivity | Isotropic, 将弹出 1 号材料的热传导率 KXX 的定义对话框, 如图 12.9 所示。

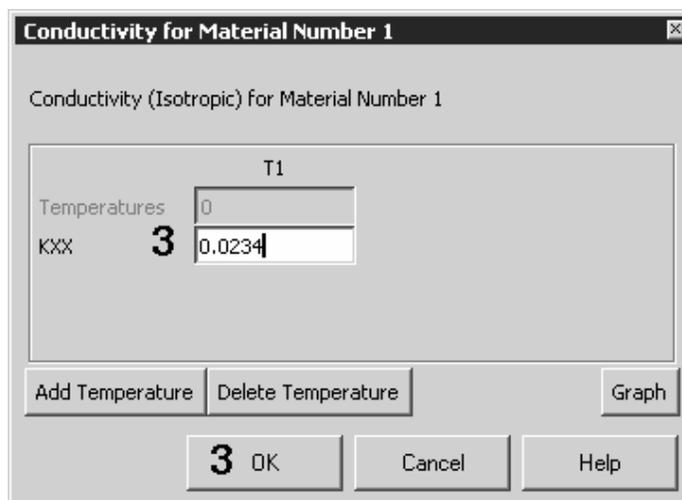
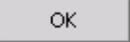


图 12.9 定义材料类型 1 的热传导率

3. 在图 12.9 中的 KXX 文本框中输入 0.0234, 指定 1 号材料的热传导系数为 0.0234, 单击  按钮, 关闭对话框。在材料模型定义对话框中将会列出定义的 1 号材料, 如图 12.10 所示。

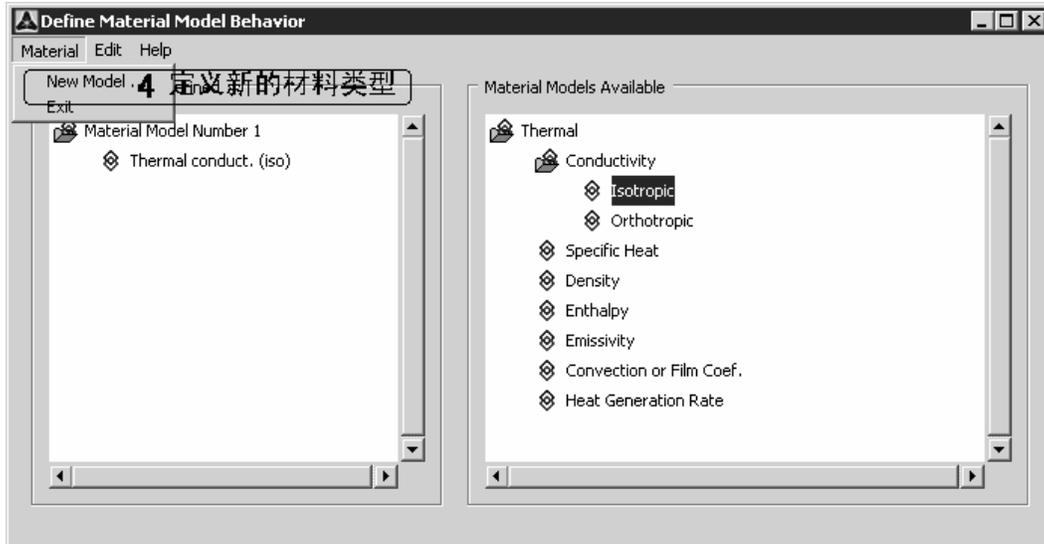


图 12.10 定义的材料列表

4. 单击图 12.10 所示对话框中的菜单: Material | New Model, 将弹出 Define Material ID (定义新材料编号)对话框, 如图 12.11 所示。保持对话框中的缺省设置, 单击对话框中的 **OK** 按钮关闭对话框。在图 12.10 所示的对话框中的左边列表框中将会出现新增加的材料。

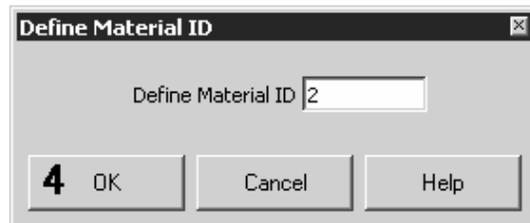


图 12.11 定义新材料编号对话框

5. 重复步骤 2~3, 定义 2 号材料的热传导率为 $0.152\text{W/mm}\cdot^{\circ}\text{C}$, 单击图 12.10 所示对话框中的菜单 Material | Exit, 关闭对话框, 完成对内外层管道的材料定义。

1.4 建立轴对称几何模型

由于实验问题符合轴对称条件, 且他的轴向尺寸无限大, 因此可以采用轴对称方法来进行分析。建立模型时只需建立内、外管道的轴对称面即可。具体的操作过程如下。

1. 选取菜单路径 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Rectangle | By Dimensions, 弹出 Create Rectangle by Dimensions (通过尺寸来创建矩形)对话框, 图 12.12 所示。

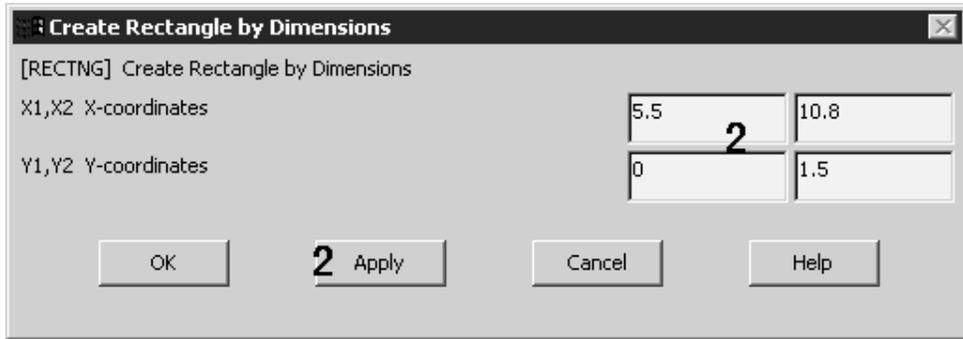


图 12.12 创建矩形面

2. 在弹出的对话框中，输入矩形四条边的 X、Y 坐标：X1=5.5、X2=10.8、Y1=0、Y2=1.5，单击 **Apply** 按钮，在图形窗口中将显示创建的第一个矩形。由于单击的是 **Apply** 按钮，故对话框会重新弹出。

3. 在重新弹出的 Create Rectangle by Dimensions (通过尺寸来创建矩形) 对话框中，重复第 2 步的工作，输入四条边的坐标为：X1=10.8、X2=15.6、Y1=0、Y2=1.5，单击 **OK** 按钮，在图形窗口将显示创建的第二个矩形，图 12.13 为创建的两个矩形面。

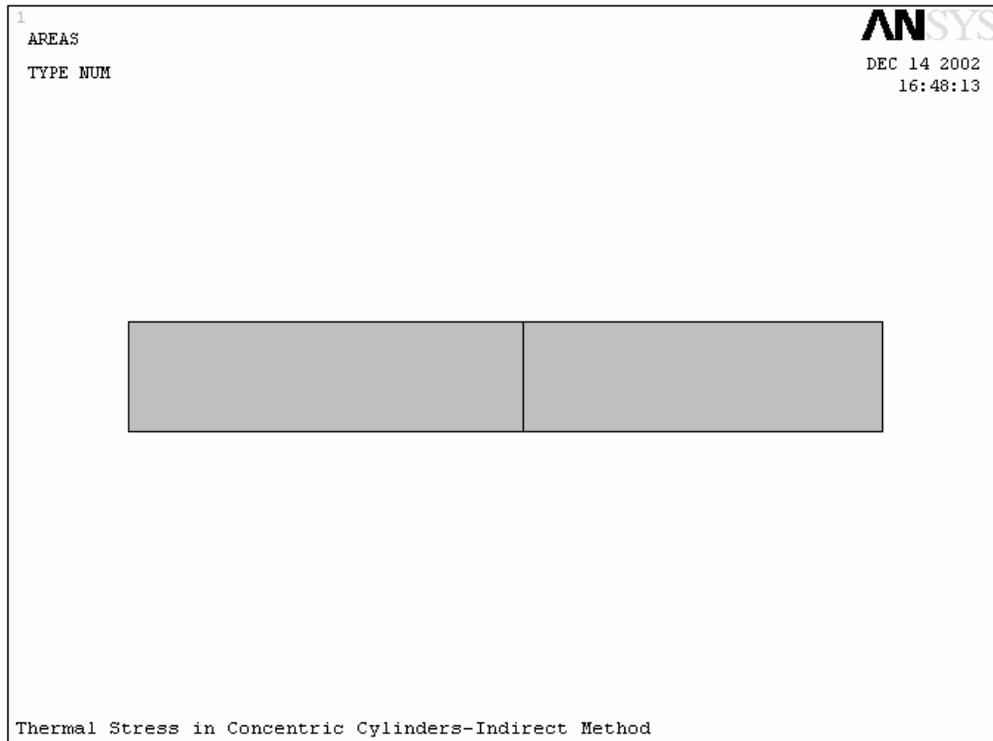


图 12.13 创建的内外管道的轴对称面

4. 选取菜单路径 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Operate | Booleans | Glue | Areas，将弹出 Glue Area (粘合面) 拾取对话框，单击对话框中的 **Pick All** 按钮，ANSYS 程序将会把刚创建的两个面的相邻边粘合为一条，即让两

个面有公共的边。

5. 压缩模型元素的编号。选取菜单路径 Main Menu | Preprocessor | NumberingCtrls | Compress Numbers, 将弹出 Compress Numbers (压缩序号) 对话框, 如图 12.14 所示。在对话框中的下拉框中选择选项“ All ”, 单击  按钮对, 所有元素的序号进行压缩, 并关闭对话框。

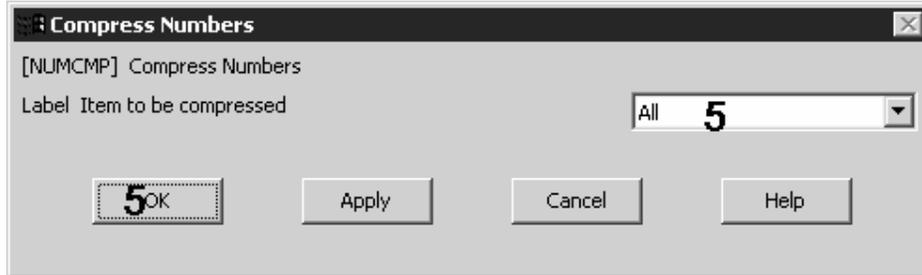


图 22.14 压缩模型元素编号

6. 显示线、面的序号。选取菜单路径 Utility Menu | PlotCtrls | Numbering, 将弹出 Plot Numbering Controls (序号显示控制) 对话框, 在对话框中单击 LINE (线) 和 AREA (面) 的复选框, 将其设置为 “On”, 然后单击  按钮关闭对话框。选取菜单路径 Utility Menu | Plot | Replot, ANSYS 程序将对所建的模型进行重新显示, 并显示线、面的序号, 如图 12.15 所示。

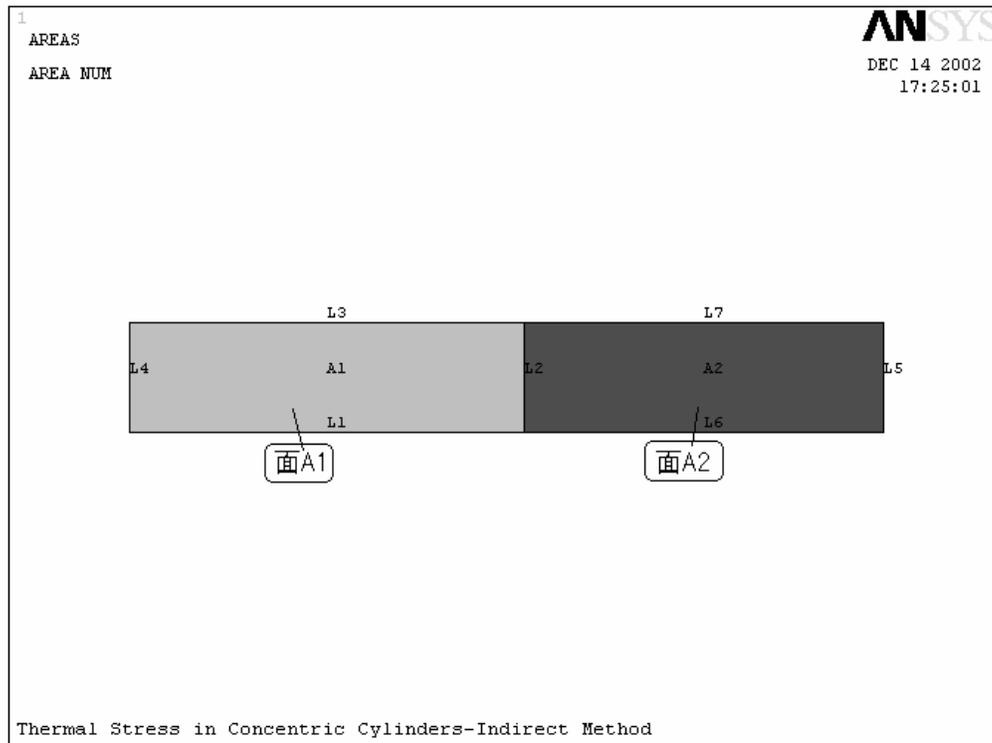


图 12.15 模型元素的序号

1.5 对截面进行有限元分网

建立好管道的轴对称几何模型之后, 就需要根据具体的几何形面和分析要求,

对其进行网格划分。尽量使划分的网格的粗细能够既满足分析的精度，又不至使模型太大，占用太多的计算机资源和求解时间。由于本实例有两种不同的材料，所以进行不同面的网格划分时需要指定正确的材料属性。具体过程如下。

1. 设置面的材料属性。选取菜单路径 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh Attributes | Picked Areas，将弹出设置 Area Attributes (面的属性)拾取对话框，在 ANSYS 图形显示窗口中单击标号为“A1”的面，然后单击拾取对话框中的 **OK** 按钮。将会弹出设置 Area Attributes (面的属性)对话框，如图 12.16 所示。

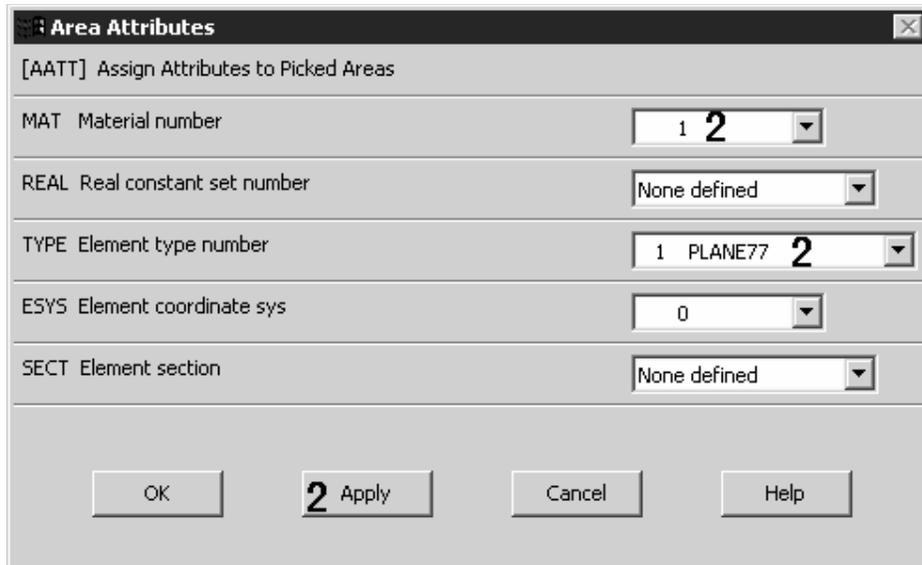


图 12.16 设置面的属性

2. 在对话框中将 Material number (材料属性序号)设置为“1”，将单元类型 Element type number 设置为“1 PLANE77”，然后单击对话框中的 **Apply** 按钮，完成对面 A1 的属性设置。

3. 接着将重新弹出设置 Area Attributes (面的属性)拾取对话框，在 ANSYS 图形显示窗口中单击标号为“A2”的面，然后单击拾取对话框中的 **OK** 按钮。将会弹出设置 Area Attributes (面的属性)对话框，如图 12.16 所示。在对话框中将 Material number (材料属性序号)设置为“2”，将单元类型 Element type number 设置为“1 PLANE77”，然后单击对话框中的 **OK** 按钮，完成对面 A2 的属性设置，并关闭对话框。

4. 设置单元尺寸。选取菜单路径 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Size Cntrl's | Manual Size | Global | Size，将弹出 Global Element Sizes (全局单元尺寸控制)对话框，如图 22.17 所示。在对话框中的 Element edge length (单元边长度)对话框中输入“0.8”，单击 **OK** 按钮，完成单元尺寸的设置，并关闭对话框。

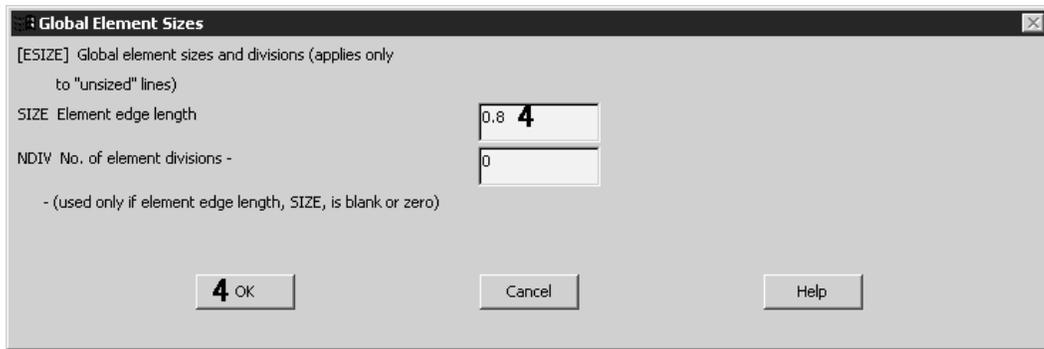


图 12.17 设置单元尺寸

5. 单元划分。选取菜单路径 Main Menu | Preprocessor | Meshing | Mesh | Areas | Free，将弹出 Mesh Areas (划分面网格)拾取对话框，单击对话框中的 **Pick All** 按钮，对所有建立的两个面按照设置的属性和尺寸进行网格划分。完成后的单元如图 22.18 所示。

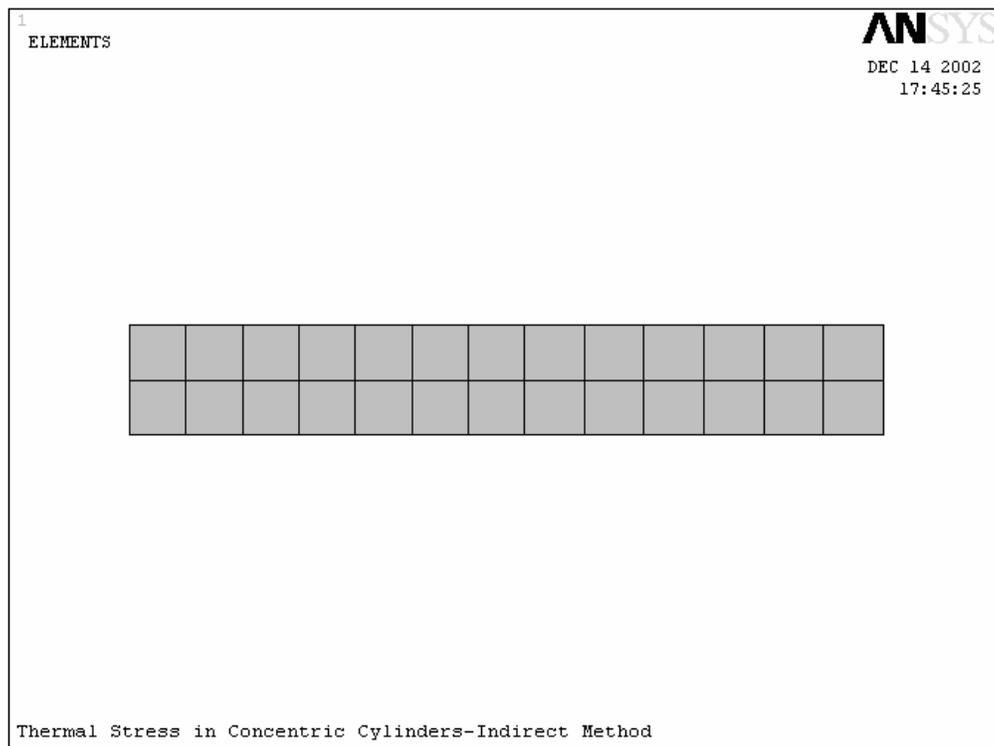


图 12.18 内外管道轴对称网格

至此，完成了创建内外管道轴对称有限元模型的所有工作，下面将根据其工作条件设置有限元边界条件并进行求解。

2 稳态热分析

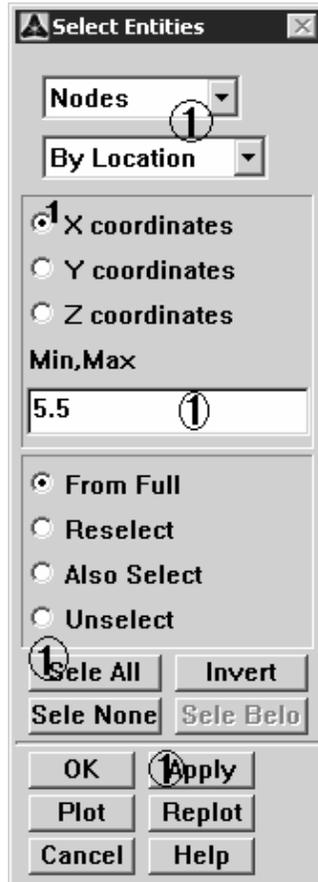
在完成了有限元模型的建立后，便可以按照问题描述中给定的管道内外表面的温度定义温度边条，然后进行本实例的热分析了。

2.1 定义温度边条

根据问题描述知道，整个管道外表面温度为 20°C ，内表面的温度为 180°C 。对整个系统在分析过程中我们按照绝热情况处理，所以只定义温度边界条件，不

考虑其它因素。具体的操作过程如下。

1. 选定内表面节点。选取菜单路径 Utility Menu | Select | Entities, 将弹出实体选择对话框, 如图 12.19 所示。在对话框中最上面下拉框中选中“Nodes”, 接下来的下拉框中选中“By Locations”, 然后单击“X coordinates”单选按钮, 并在下面的文本框中输入“5.5”, 单击 **OK** 按钮。通过这些操作指定要选择的对象为 X 坐标值为 5.5 的所有节点。



如图 12.19 选择节点

2. 选取菜单路径 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Thermal | Temperature | On Nodes, 将弹出 Apply TEMP on Nodes (给节点施加温度载荷)拾取对话框, 单击对话框中的 **Pick All** 按钮。将弹出 Apply TEMP on Nodes (施加节点温度)对话框, 如图 12.20 所示。

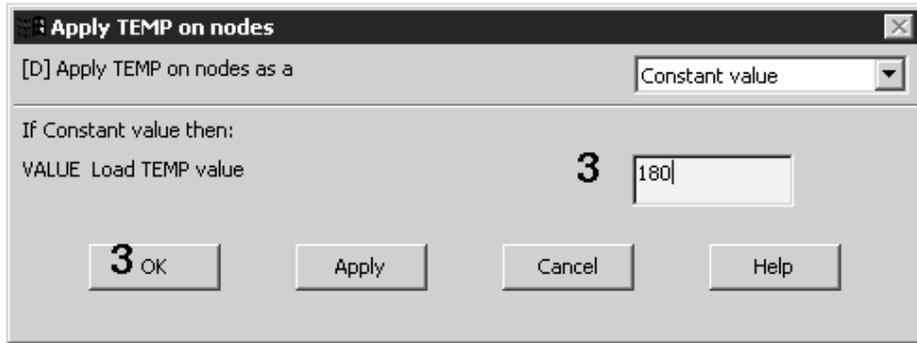


图 12.20 定义管道内表面的温度

3. 在对话框中的 Load TEMP value (温度载荷值) 文本框中输入 180, 其余设置保持缺省, 单击 **OK** 按钮, 关闭对话框。然后选取菜单路径 Utility Menu | Select Everything, 选取所有元素。

4. 重复步骤 1~3, 选取 X 坐标值为 15.6 的所有节点, 然后定义其温度值为 20。即外表面的温度值为 20°C。

22.3.2 进行稳态热分析求解

前面完成了有限元模型的温度边界条件的定义, 下面来进行稳态热分析的求解。通过稳态热分析, 可以得到整个结构的温度场分布, 具体的操作过程如下。

1. 选择菜单 Main Menu | Solution | Current LS, 将弹出/STATUS Command (求解命令状态) 输出窗口(见图 12.21)和 Solve Current Load Step (求解当前载荷步)对话框(见图 12.22)。

2. 检查求解命令状态输出窗口中列出的命令情况, 如果符合分析要求, 关闭图 12.21 所示对话框。单击求解当前载荷步对话框(图 12.22)中的 **OK** 按钮, 进行稳态热分析求解。如果有不符合要求的地方, 则回到相应菜单对其进行修改。

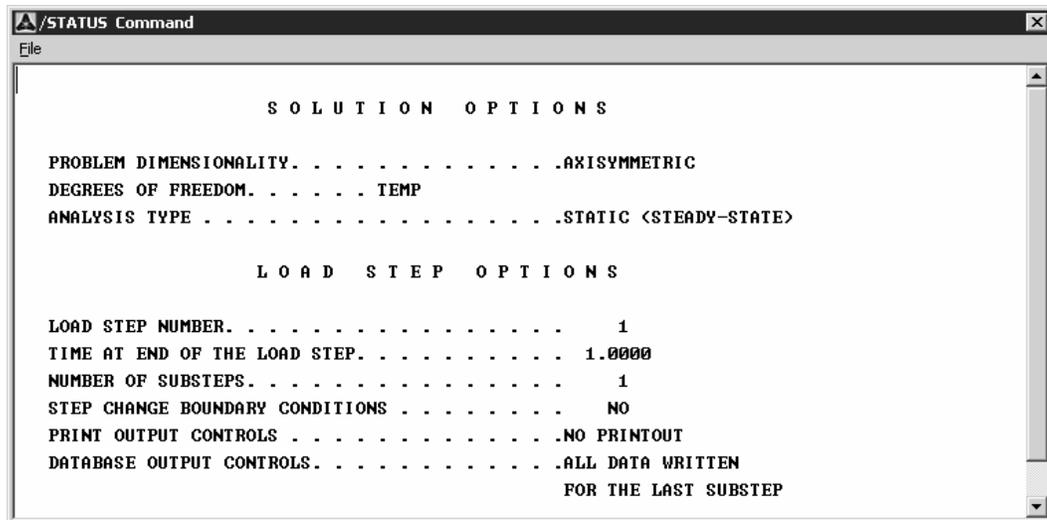


图 12.21 进行稳态热分析的求解选项和载荷步选项设置

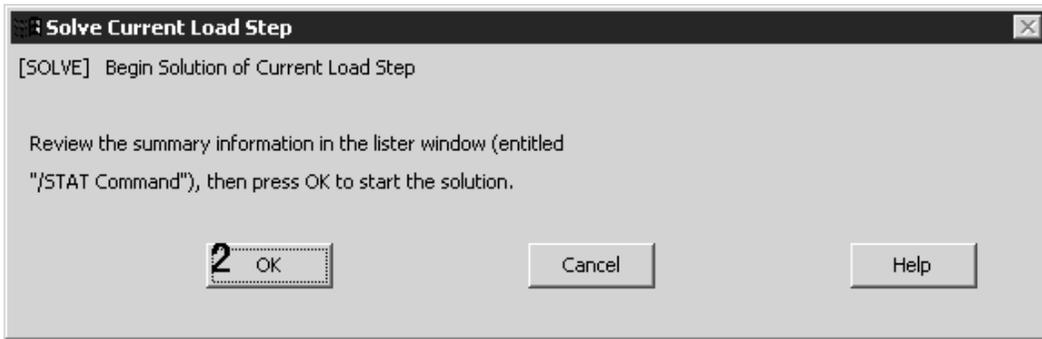


图 12.22 求解当前载荷步对话框

3. 根据求解问题所划分单元和节点的多少，ANSYS 将会花一定的时间对问题进行求解。当求解完时，ANSYS 将弹出 Solution is Done! (求解完成提示)对话框，单击 **Close** 按钮，结束稳态热分析。

2.3 观察稳态热分析结果

对于实验求解的稳态分析结果，可以采用 ANSYS 提供的通用后处理器(POST1)进行结果列表、云图显示等方法来进行观察。另外，根据本实例的特点可以利用 ANSYS 一个非常强大的后处理功能——路径来观察结果。本实验将主要利用路径来进行结果观察。

读者可以认真体会路径的用法，具体的操作过程如下。

1. 云图显示结果。选取菜单路径 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Nodal Solu，将弹出彩色云图显示结果对话框，如图 12.23 所示。

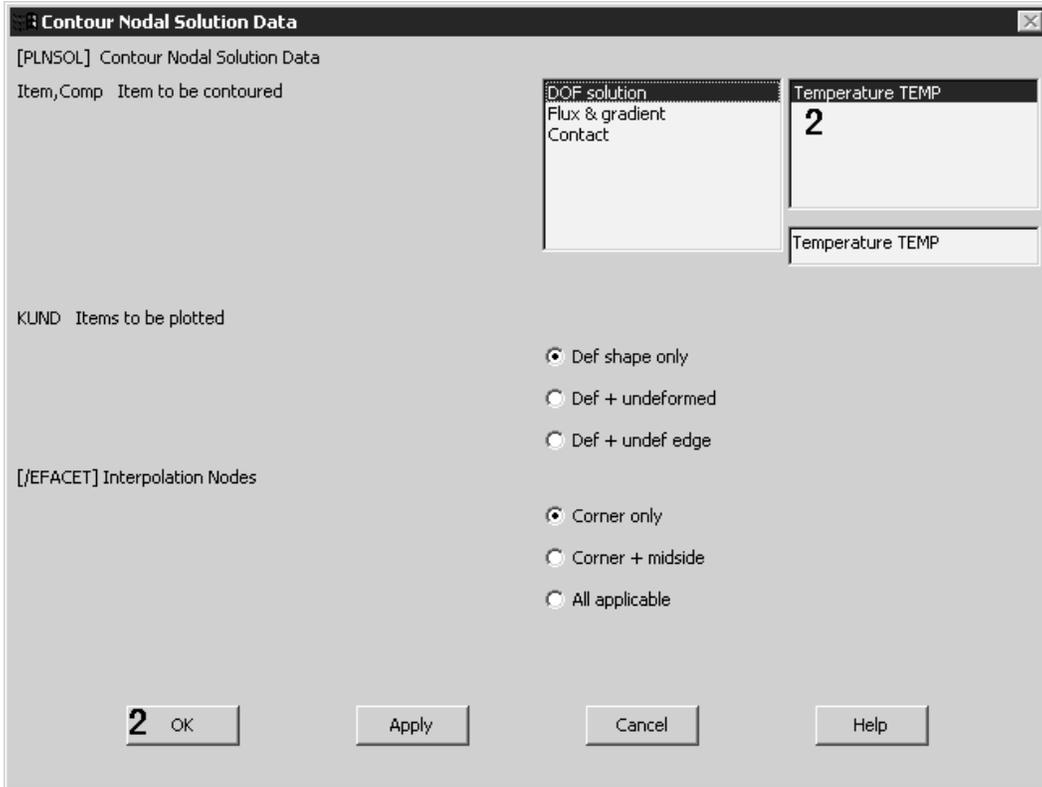


图 12.23 云图显示求解的温度分布

2. 在对话框中单击 Item to be contoured (云图显示项目)列表框左边列表的“DOF solution”和右边的“Temperature TEMP”，其余设置保持缺省，单击对话框中的 按钮关闭对话框。在 ANSYS6.1 图形显示窗口中将显示温度场求解结果的云图显示，如图 12.24 所示。

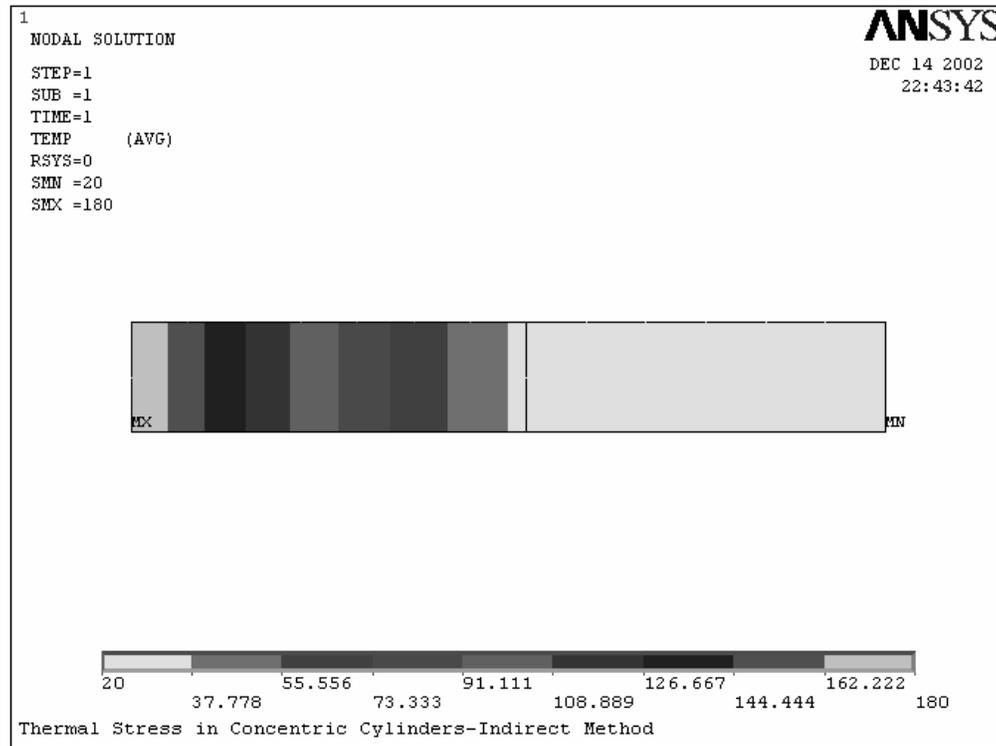


图 12.24 内外管道温度分布云图

3. 定义沿径向的路径。选取菜单路径 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Define Path | By Location，将弹出 By Location (根据位置定义路径)对话框，如图 12.25 所示。

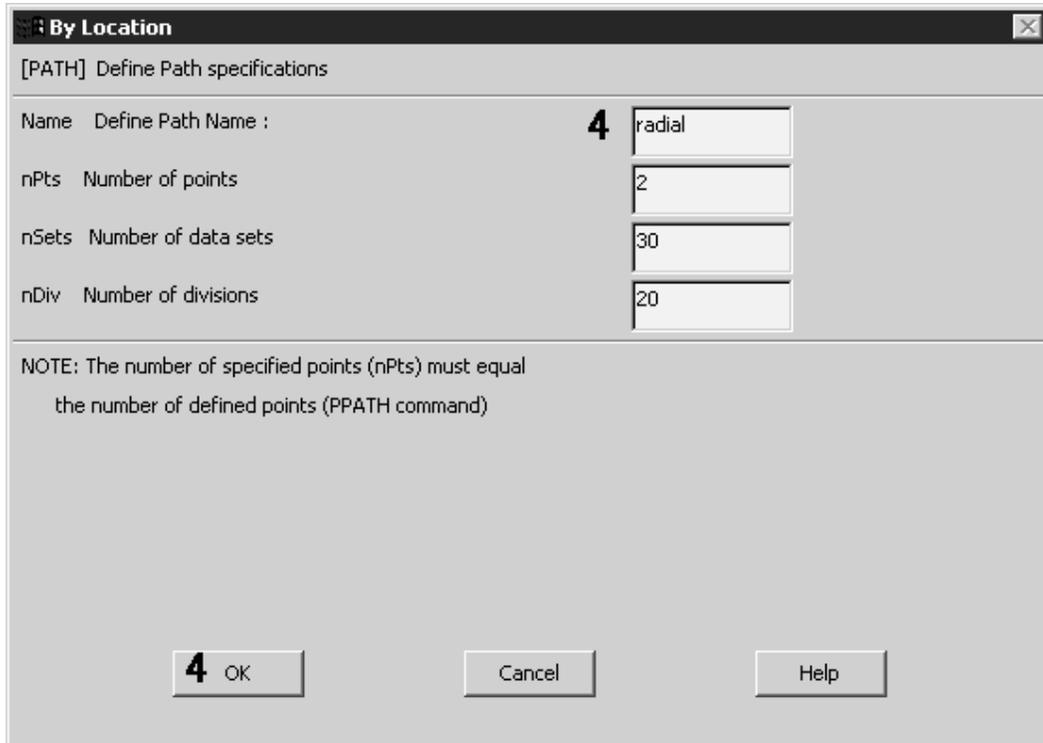


图 12.25 根据位置定义路径

4. 在对话框中的 Define Path Name (定义路径名) 文本框中输入路径名“radial”，其余 设置保持缺省，单击 **OK** 按钮关闭对话框。将弹出 By Location in Global Cartesian (在全局直角坐标系中创建路径点)对话框，如图 12.26 所示。

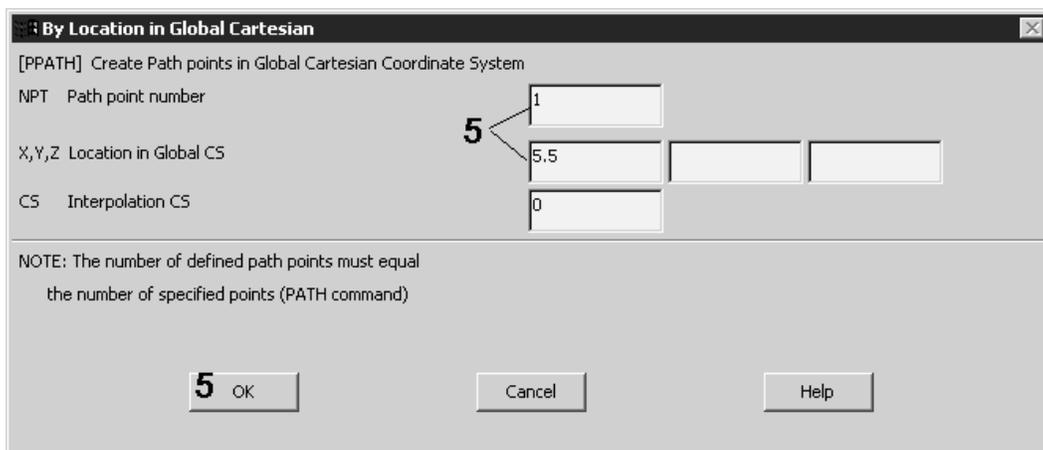


图 12.26

5. 在对话框中，指定 Path point number (路径点序号) 为 1，指定 X Location in Global CS (路径沿 X 方向的位置) 为 5.5，单击 **OK** 按钮，指定第一个路径点的位置。

6. 重复步骤 5 的操作。在重新弹出的图 12.26 所示对话框中，指定路径点序

号(Path point number)为2, 指定 X Location in Global CS (路径 X 方向位置) 为 15.6, 单击 **OK** 按钮, 指定第二个路径点的位置。然后单击 **Cancel** 按钮关闭对话框, 完成路径点的定义。

7. 在路径上进行温度插值。选择菜单路径 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Map onto Path, 弹出 Map Result Items onto Path (将结果映射到路径)对话框, 如图 12.27 所示。

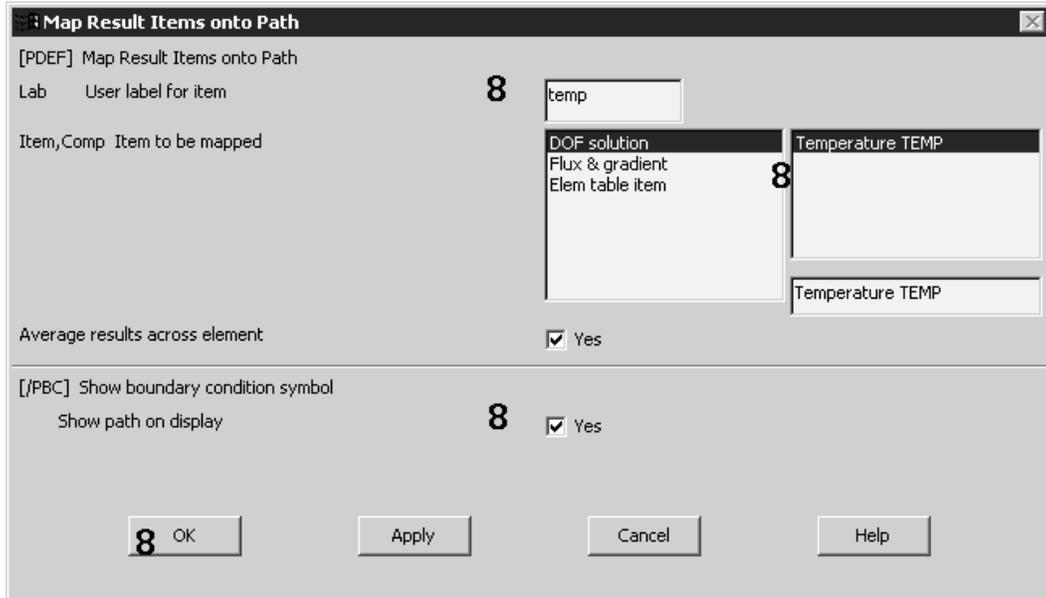


图 12.27 将温度映射到路径上

8. 在图 12.27 所示的对话框中, 输入用户定义项目标签为“temp”, 单击 Item to be mapped (映射项目)列表框左边列表的“DOF solution”和右边的“Temperature TEMP”。其余设置保持缺省, 然后单击 **OK** 按钮关闭对话框。

9. 对路径进行存档, 以便后面查看应力分析结果时用。选取菜单路径 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Archive Path | Store | Path in array, 将弹出 Archive Path in to Array Parameters (存档路径到一组参数)对话框, 如图 12.28 所示。

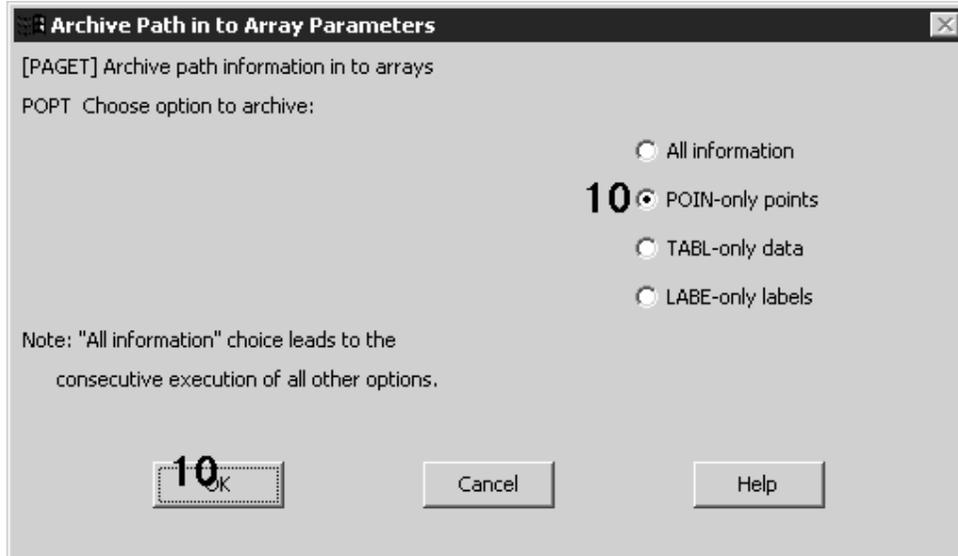


图 12.28 对路径点进行归档

10. 单击对话框中的 POIN-only points 单选按钮，指定仅对路径点进行归档。单击 **OK** 按钮，关闭对话框。将会弹出 Archive Path Points into Array (归档路径点到参数)对话框，如图 12.29 所示。

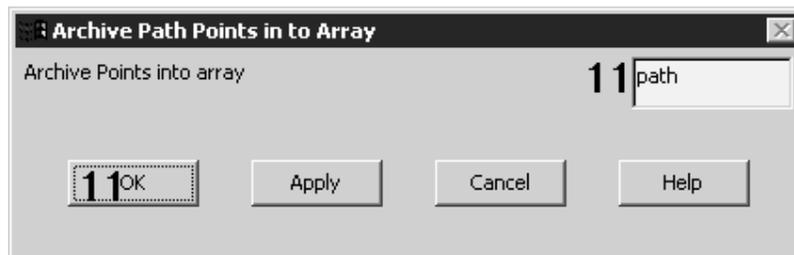


图 12.29 指定路径点的归档参数名

11. 在对话框中的文本框中输入“path”，然后单击 **OK** 按钮关闭对话框，完成路径的归档。

12. 绘制温度沿路径的变化曲线。选取菜单路径 Main Menu | General Postproc | Path Operations Plot Path Item | On Graph，将弹出 Plot of Path Items on Graph (绘制路径项目图)对话框，如图 12.30 所示。

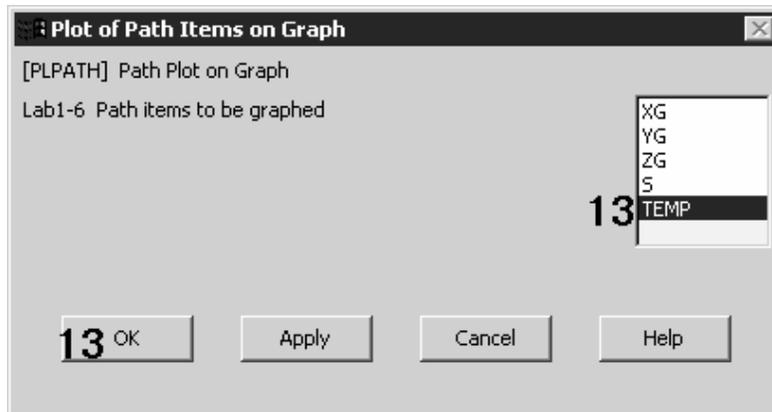
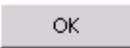


图 12.30 绘制温度沿路径的变化曲线

13. 在对话框中单击要绘制路径项目列表框中的“TEMP”选项，使其高亮度显示，然后单击  按钮关闭对话框，在 ANSYS 图形显示窗口中将会绘制出温度沿路径变化的曲线，如图 12.31 所示。

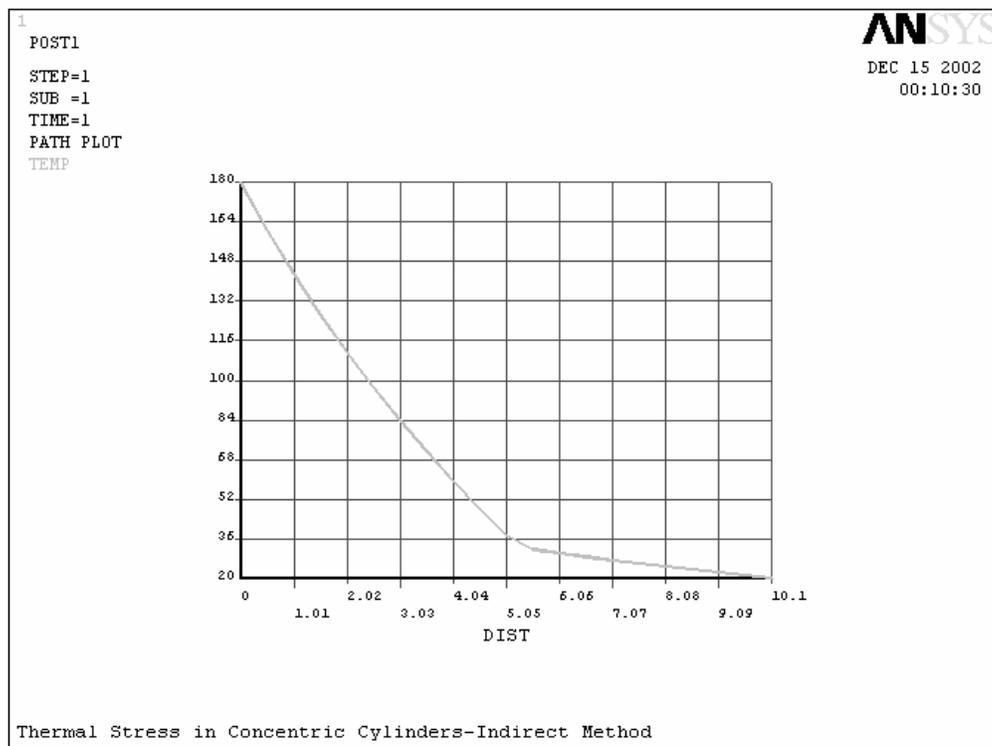


图 12.31 温度沿路径变化曲线

14. 利用路径查看管道沿径向的温度分布。选取菜单路径 Main Menu | General Postproc | Path Operations Plot Path Item | On Geometry，将弹出 Plot of Path Items on Geometry (绘制路径项目的几何图)对话框，如图 12.32 所示。

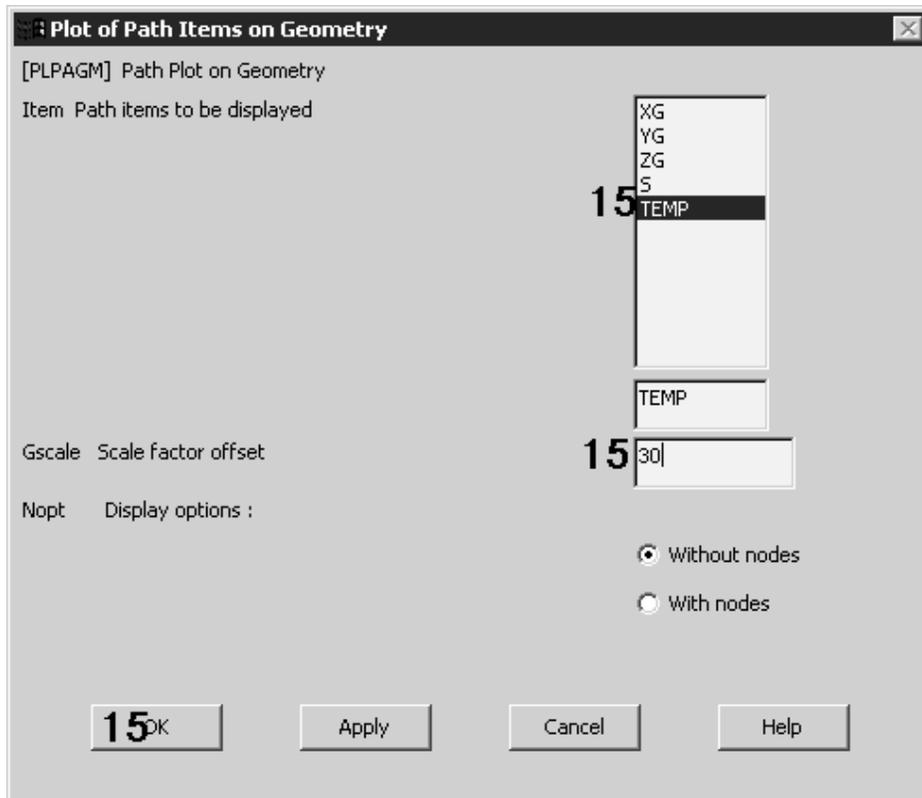


图 12.32 绘制温度的几何图

15. 单击对话框中的显示路径项目列表框中的“TEMP”选项，使其高亮度显示。在 Scale factor offset（比例系数）文本框中输入“30”，其余设置保持默认，然后单击 **OK** 按钮关闭对话框。在 ANSYS 图形显示窗口中将会显示，温度沿路径的几何图，如图 12.33 所示。

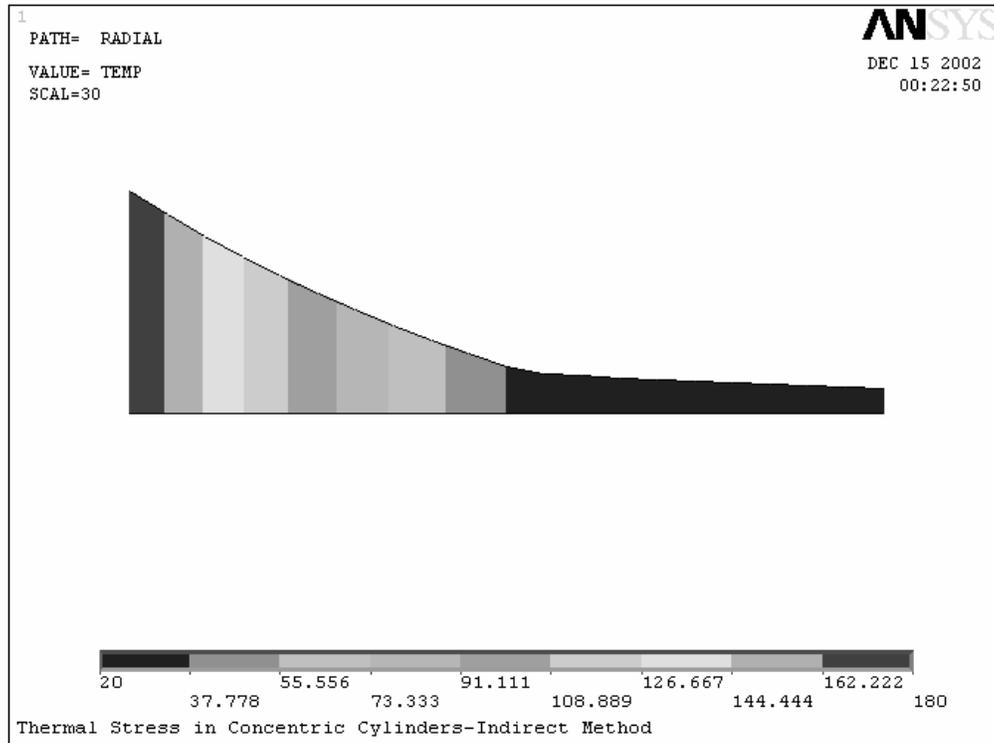


图 12.33 温度沿路径的几何图

至此，完成了全部的稳态热分析工作，并进行了相应的后处理。

3 结构应力分析

上面完成了稳态热分析，求解得到了内、外层管道沿径向的温度分布，下面我们将进行结构应力分析。首先，需要对前面建立的热分析有限元模型进行转换，将单元转换成对应的结构分析单元；其次，定义两种材料的力学性能参数；接着，定义相应的结构分析边界条件，将前面求解得到的热分析结果当作体载荷施加到结构上，然后进行静力分析，得到热载荷作用下管道的应力分布；最后，对结果进行后处理，观察管道沿径向和周向的应力分布，其操作过程如下。

3.1 转换模型

由于前面建立的有限元模型中为热分析单元，无法进行结构应力求解，所以需要原来模型中的单元类型转换为结构分析单元。ANSYS 提供了单元转换功能，可以将热单元转换成相应的结构单元，而无需重新建立模型。下面进行具体的操作。

3.1.1 转换单元类型

为了进行结构分析，需要将模型中的热单元 PLANE77 转换为和其对应的结构单元 PLANE82，并将其设定为轴对称单元，下面是具体的操作过程。

1. 指定分析范畴为结构分析，对菜单选项进行过滤。选取菜单路径 Main Menu | Preference，将弹出 Preference of GUI Filtering (菜单过滤参数选择)对话框。单击对话框中 Structural (结构)选择按钮，选中 Structural 选项。并关掉 Thermal 选项，以便 ANSYS 的主菜单设置为与结构分析相对应的菜单选项。单击 按钮，完成分析范畴的指定。

2. 将热单元转换为结构单元。选取菜单路径 Main Menu | Preprocessor

| Element Type | Switch Elem Type, 将弹出 Switch Elem Type (转换单元类型)对话框, 如图 12.34 所示。

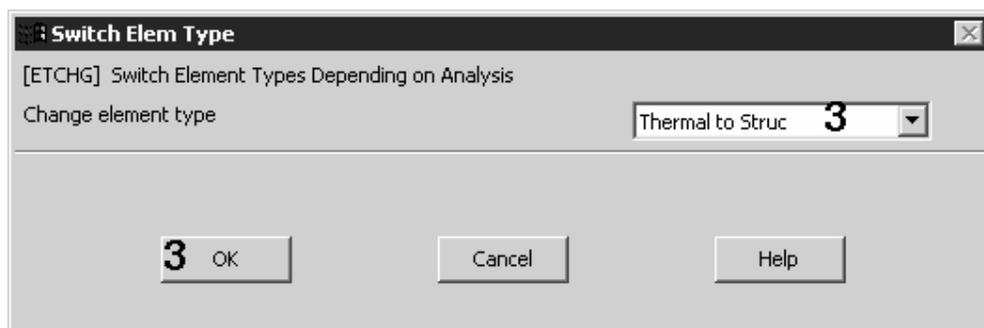
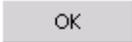


图 12.34 转换单元类型

3. 单击对话框中 Change element type (改变单元类型)下拉框中的“Thermal to Struc”选项, 指定将热单元类型转换为相应的结构单元类型, 单击  按钮关闭对话框, ANSYS 程序将把模型中的热单元转换为对应的结构单元。同时弹出如图 12.35 所示的警告信息对话框。

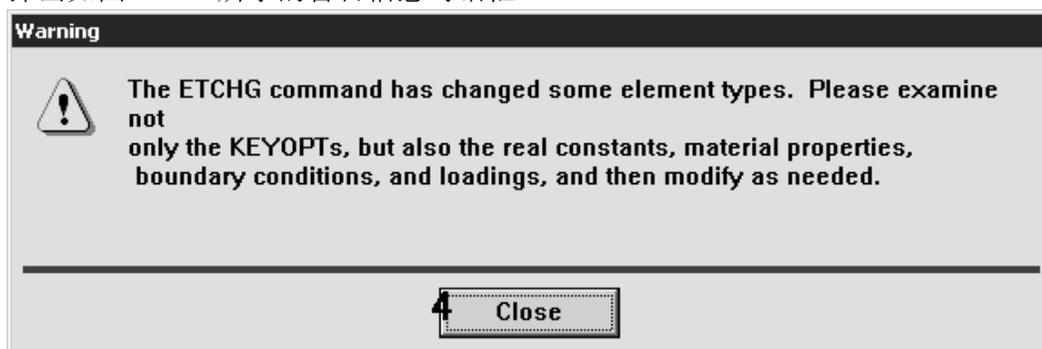


图 12.35 转换单元警告信息

4. 单击警告信息对话框中的  按钮, 关闭对话框。

5. 将单元设置为轴对称单元。选取菜单路径 Main Menu | Preprocessor | Element Type | Add/Edit/Delete, 将弹出单元类型定义(Element Types)对话框。单击对话框中的  按钮, 弹出 PLANE82 element type options (单元 PLANE82 的选项) 对话框, 如图 12.36 所示。

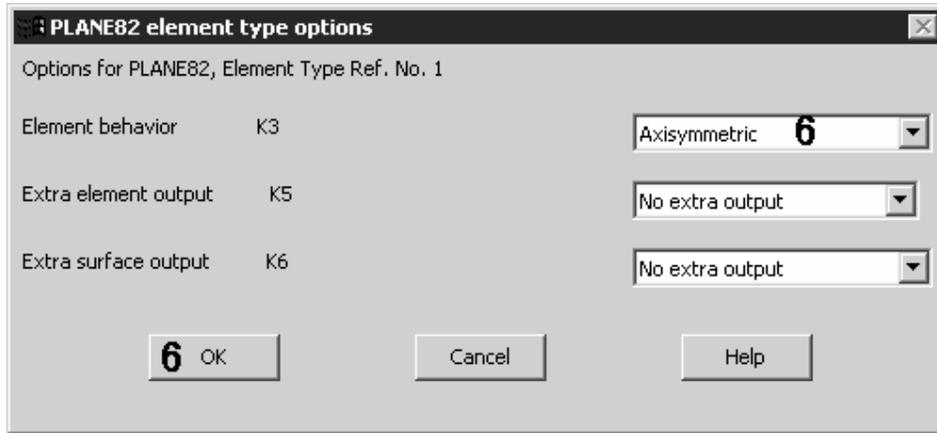


图 12.36 设置单元轴对称属性

6. 在对话框中，单击单元行为参数 K3 的下拉设置框中的“Axisymmetric”选项，将单元设置为轴对称单元，其余设置保持缺省，单击 **OK** 按钮，关闭对话框。再单击 Element Types (单元类型定义)对话框中的 **Close** 按钮，将其关闭。

3.1.2 定义材料力学性能

在热分析时对管道的内外层分别定义了材料类型，并定义了材料的热传导系数。在结构分析中需要材料的力学性能参数，对于热-应力耦合分析，还需要定义材料的热膨胀系数。下面定义两种材料的力学性能参数和热膨胀系数，具体操作如下。

1. 选取菜单路径 Main Menu | Preprocessor | Material Props | Material Models，将弹出 Define Material Model Behavior (材料模型定义)对话框，如图 12.37 所示。

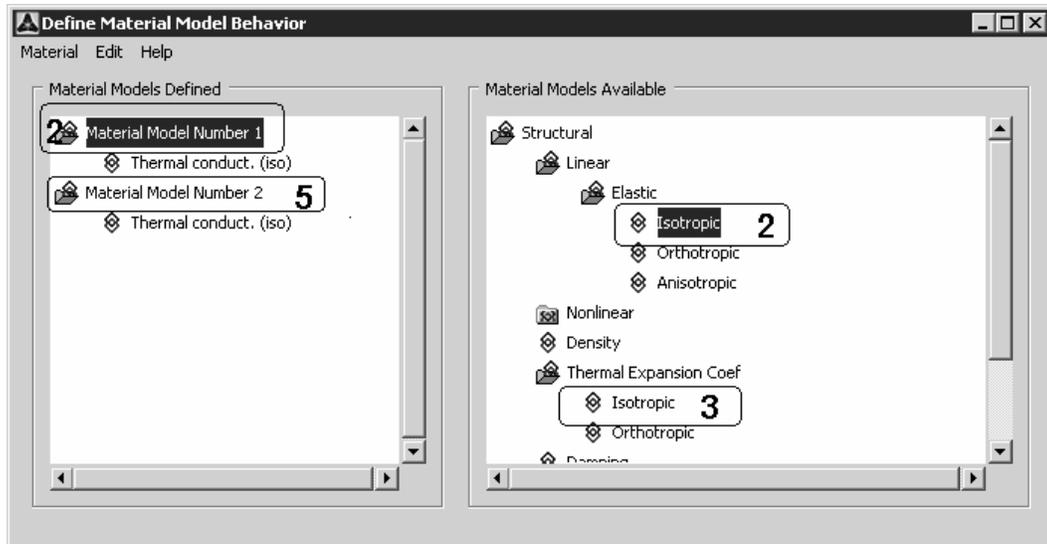


图 12.37 定义材料结构性能

2. 在对话框中，单击左边列表框中的 Material Model Number1 (材料 1)使

其高亮度显示，然后单击对话框右边的材料结构参数列表框中的菜单路径 Structural | Linear | Elastic | Isotropic，将弹出定义材料 1 的弹性模量 EX 和泊松比 PRXY 对话框，在对话框中指定 EX=2.05E5，PRXY=0.3，然后单击

 按钮关闭对话框。

3. 在图 12.37 所示对话框的右边材料属性列表中单击菜单路径 Structural | Thermal Expansion Coef | Isotropic，将弹出 Thermal Expansion Coefficient for Material 1 (定义材料 1 的热膨胀系数)对话框，如图 12.38 所示。

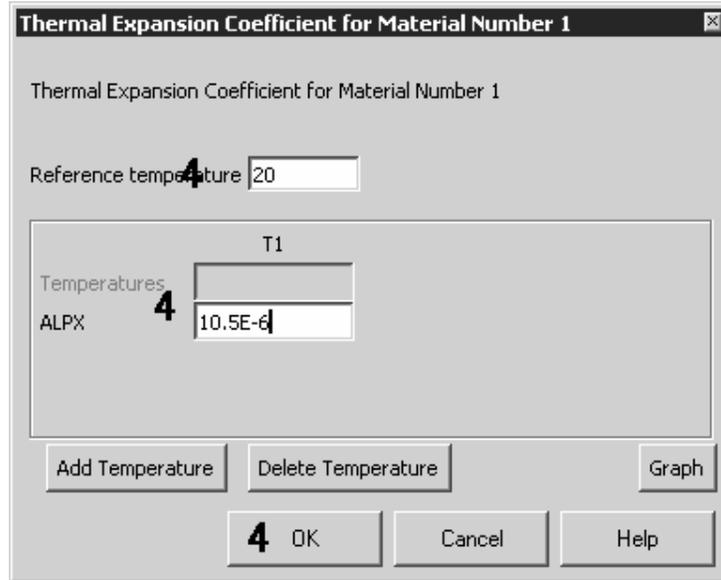


图 12.38 定义材料 1 的热膨胀系数

4. 在对话框中的 Reference temperature (参考温度)文本框中输入 20，指定膨胀系数的参考温度为 20℃，接着指定热膨胀系数 ALPX 为 10.3E-6，然后单击  按钮关闭对话框，完成材料 1 的性能设置。

5. 单击图 22.37 所示对话框左边列表框中的 Material Model Number 2 (2 号材料)，使其高亮度显示。然后重复步骤 2~4 的操作过程，定义 2 号材料的力学性能参数，其中弹性模量 EX 为 0.63E5，泊松比 PRXY 为 0.33，热膨胀系数 ALPX 为 20.7E-6(参考温度为 20)。

最后，关闭图 12.37 所示的对话框，完成材料性能的定义。

3.2 定义结构分析边条及温度载荷

由于本实验利用轴对称方法来求解无限长的圆管热应力问题，根据问题性质知道，内管的内表面各节点的变形是相同的，且节点沿轴向变形是相同的，为此需要定义相应的自由度耦合集，具体的操作如下。

1. 选定内表面节点。选取菜单路径 Utility Menu | Select | Entities，将弹出实体选择对话框(如图 22.19 所示)。在对话框中最上面下拉框中选中“Nodes”，在接下来的下拉框中选中“By Locations”。然后单击“X coordinates”单选按钮，并在下面的文本框中输入“5.5”，单击  按钮。通过这些操作指定要选择的对象为 X 坐标值为 5.5 的所有节点。

2. 选取菜单路径 Main Menu | Preprocessor | Coupling / Ceqn | Couple

DOFs, 将弹出 Define Coupled DOFs (定义节点自由度耦合集)对话框, 如图 22. 39 所示。在对话框中指定 Set reference number (耦合集的参考序号)为 1, 指定耦合自由度为“UX”, 然后单击 **OK** 按钮关闭对话框, 将内壁上所有节点的径向自由度耦合。

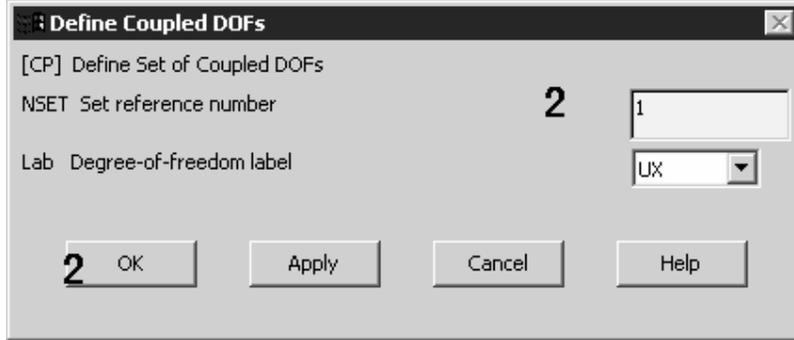


图 12. 39 定义节点自由度耦合集

3. 重复步骤 1~2, 选择 Y 坐标值为 1.5 的所有节点, 并定义自由度耦合集 2 为所有 Y 坐标值为 1.5 的节点 Y 方向自由度(轴向)的耦合。

4. 定义位移约束。重复步骤 1 的操作, 选定 Y 坐标值为 0 的所有节点。然后选取菜单路径 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Nodes, 将弹出施加节点位移约束拾取对话框, 单击对话框中的 **Pick All** 按钮, 将弹出如图 12. 40 所示的对话框。

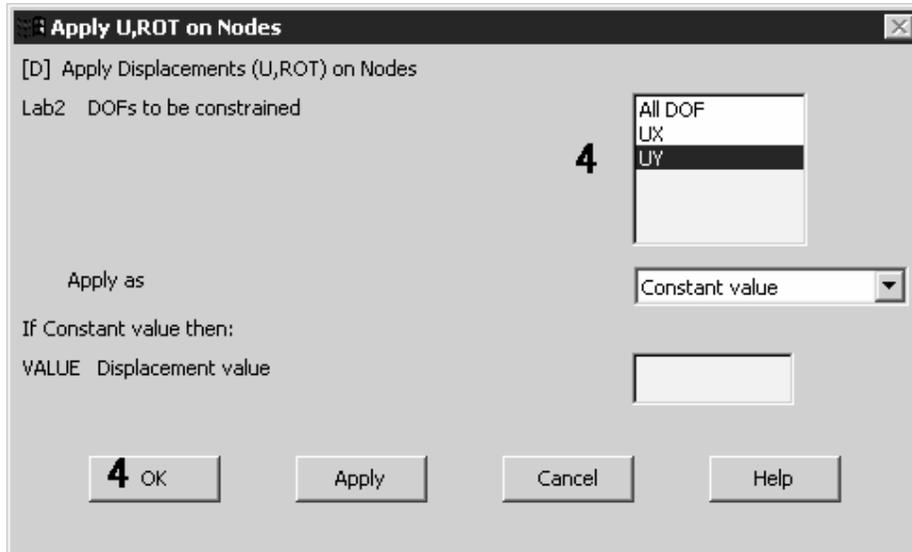


图 12. 40 定义轴向位移约束

5. 在对话框中单击 DOFs to be Constrained (约束自由度)列表框中“UY”, 使其高亮度显示。其余设置保持缺省, 单击对话框中的 **OK** 按钮关闭对话框, 完成自由度约束的定义。定义的自由度耦合集和位移约束在 ANSYS 的图形输出窗口中显示如图 12. 41 所示。

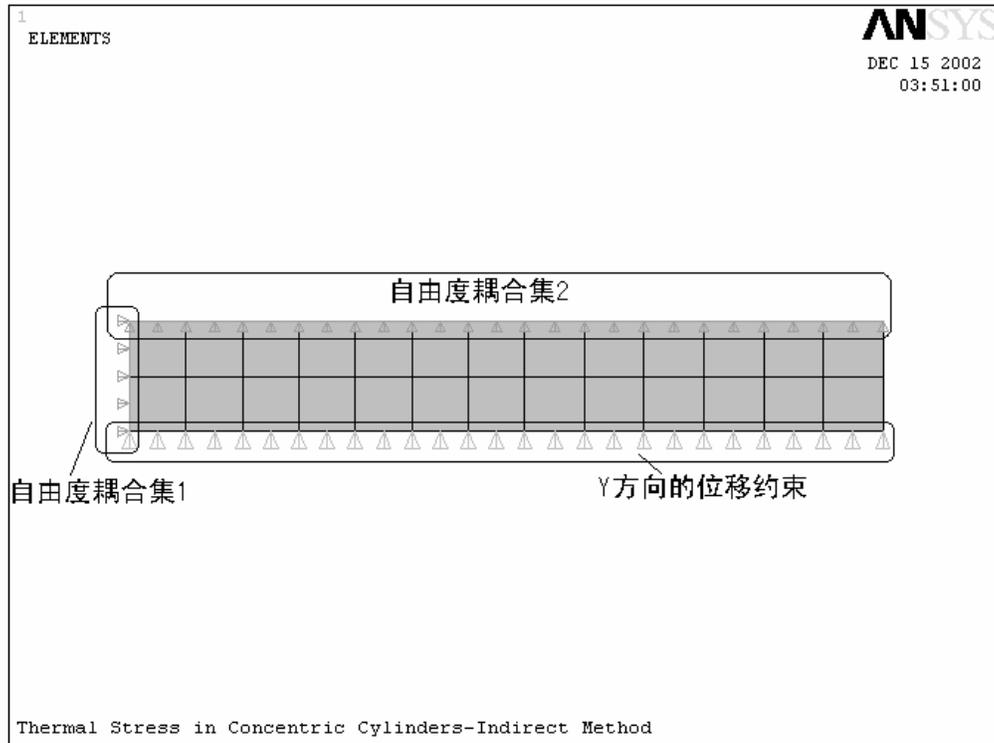


图 12.41 定义的节点自由度耦合集和位移约束

6. 选取菜单路径 Utility Menu | Select Everything, 选取所有元素。这一步非常重要, 当往往容易忘记, 应尽量养成习惯在完成对选择的对象进行完操作后, 执行这一步操作选取所有对象。以免在后面操作时出现错误。

7. 施加温度载荷。选取菜单路径 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Temperature | From Therm Analy, 将弹出 Apply TEMP from Thermal Analysis (施加从热分析所得的温度载荷)对话框, 如图 12.42 所示。

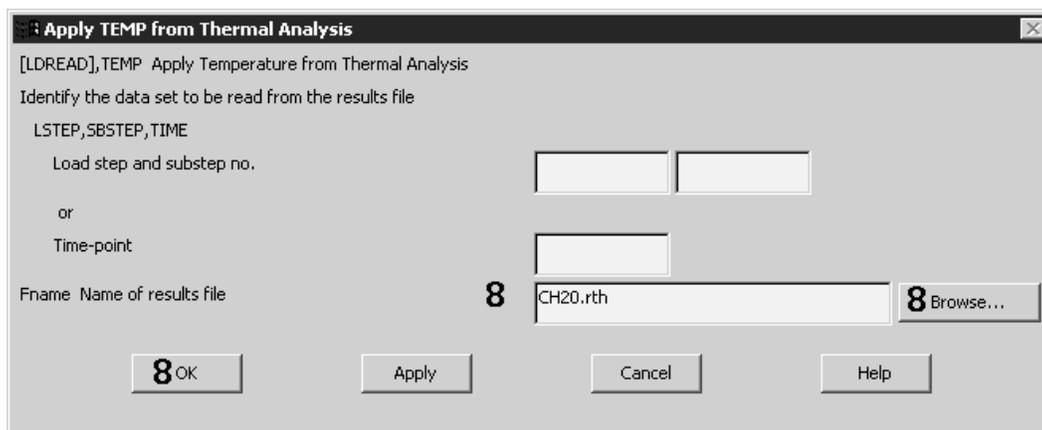


图 12.42 指定温度分析结果文件

8. 单击对话框中的 **Browse...** 按钮, 将弹出 Fname Name of results file (根据文件名找结果文件)对话框, 从指定的数据库文件路径找到热分析结果文件

CH20.rth，单击 **打开(O)** 按钮。或直接在图 12.42 所示对话框中输入文件名

“CH20.rth”。其余设置保持缺省，然后单击 **OK** 按钮，关闭对话框。ANSYS 程序将把前面热分析的结果施加到结构模型的节点上。

9. 查看施加的温度载荷。选取菜单路径 Utility Menu | PlotCtrls | Symbols，将弹出如图 12.43 所示的对话框。

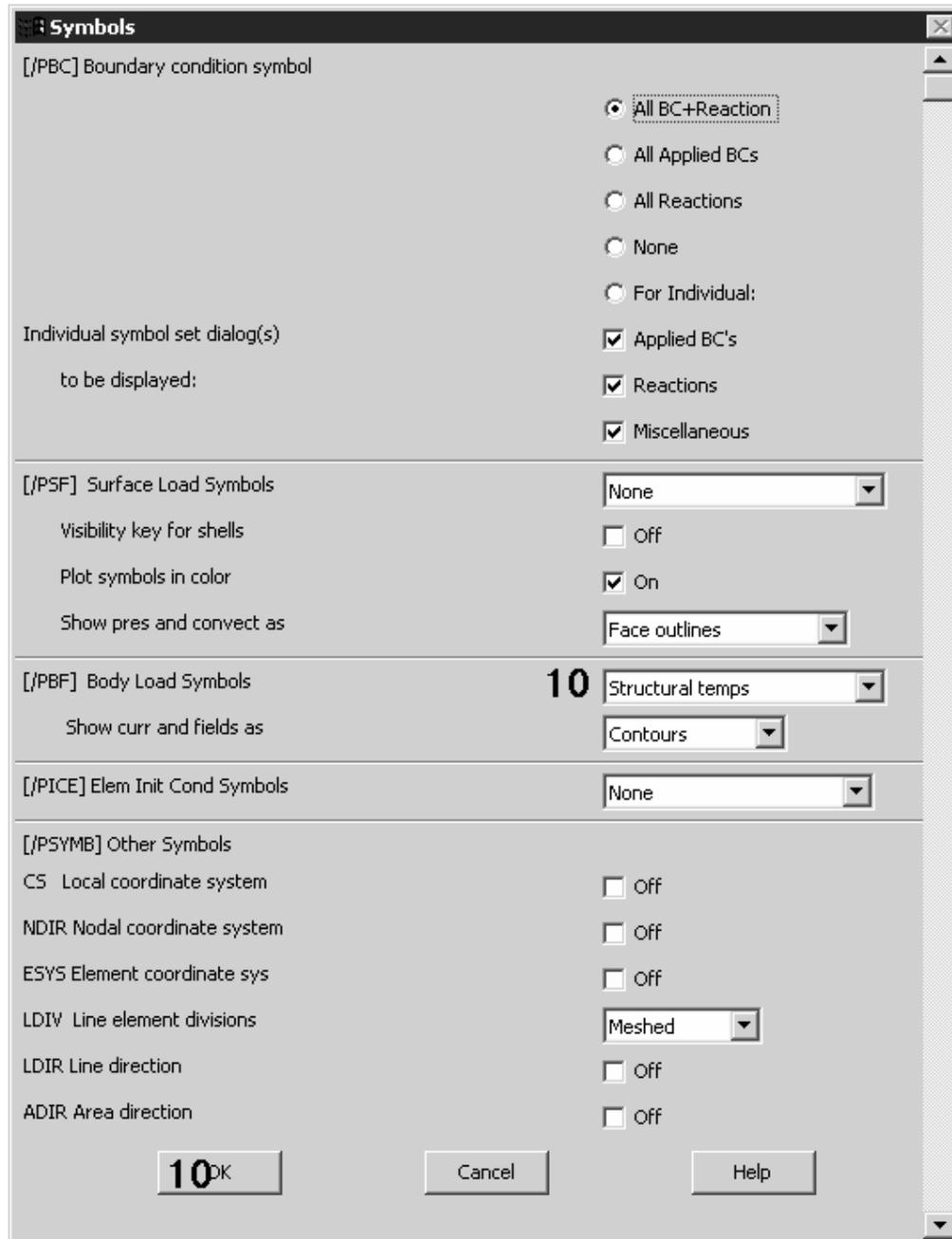


图 12.43 显示结构温度符号

10. 单击对话框中 Body Load Symbols (体载荷符号) 下拉框中的“Structural temps”选项，然后单击 **OK** 按钮关闭对话框。ANSYS6.1 程序将在图形输

出窗口中的有限元模型上显示施加的温度载荷情况，如图 12.44 所示。也可以通过命令：(/PBF,TEMP,1)，来显示施加的温度载荷情况。

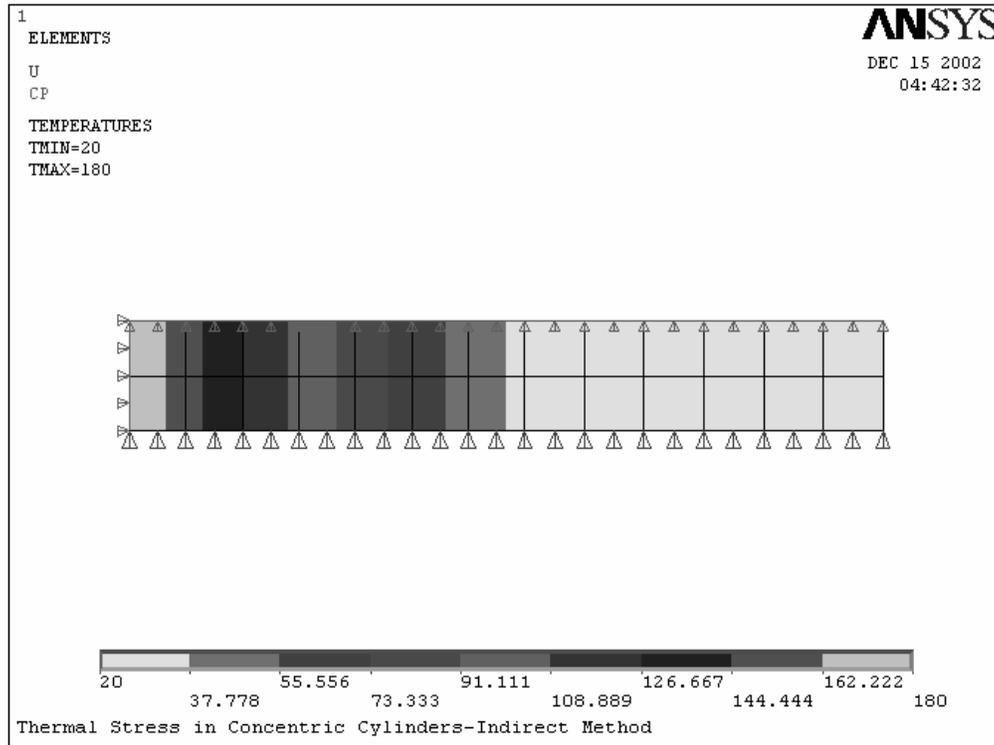


图 12.44 施加的温度载荷情况

至此，完成了结构应力求解需要定义的所有边条和载荷设置，下面来进行求解。

22.4.3 进行求解

完成了模型转换和边条、载荷的定义之后，我们可以对温度载荷作用下的双层管道的应力情况进行分析求解了，下面是具体的操作过程。

1. 选择菜单路径 Main Menu | Solution | Current LS, 将弹出 /STATUS Command (求解命令状态) 输出窗口和 Solve Current Load Step (求解当前载荷步) 对话框。

2. 检查求解命令状态输出窗口中列出的命令情况。如果符合分析要求，则关闭求解命令状态对话框，单击求解当前载荷步对话框中的 按钮，进行稳态热分析求解。如果有不符合要求的地方，则回到相应菜单对其进行修改。

3. 当求解完时，ANSYS 将弹出 Solution is Done! (求解完成提示) 对话框，单击 按钮，完成结构应力求解。

3.4 观察结构分析结果

在完成了结构应力求解之后，下面将根据问题的分析要求，利用 ANSYS 的通用后处理器 (POST1) 来查看双层管道沿径向和周向的应力分布情况。这里仍然利用路径的方法来观察结果，下面是具体的操作。

1. 重新获得前面热分析时定义的路径点参数。选取菜单路径 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Archive Path | Retrieve | Path from

array, 将弹出 Retrieve Path from Arrays (从存档的数列恢复路径)对话框, 如图 12.45 所示。

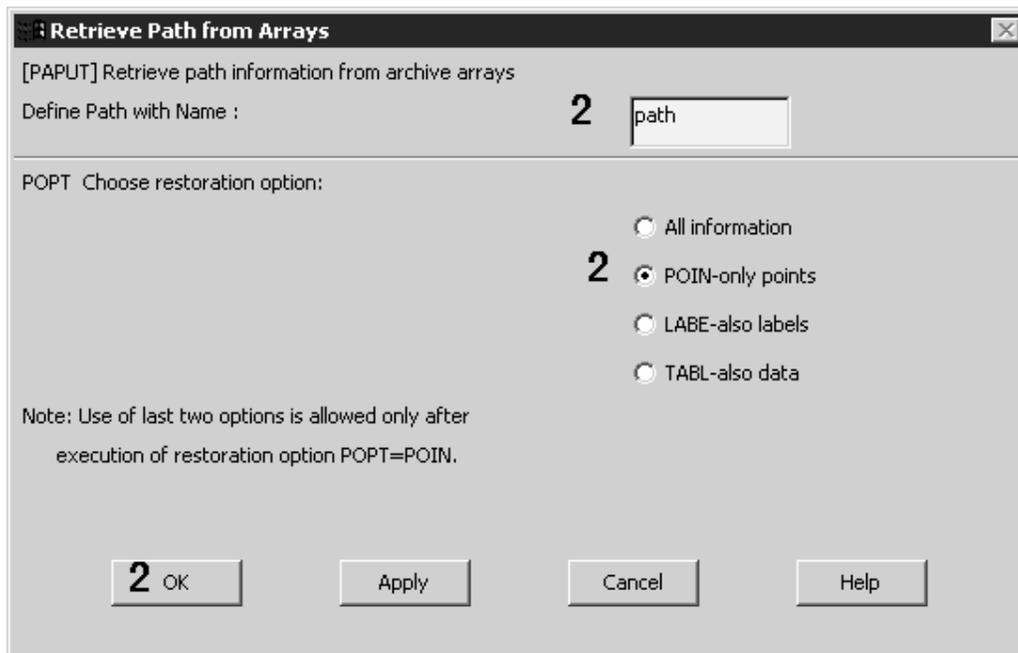


图 12.45 恢复路径对话框

2. 在对话框中 Define Path with Name (指定路径名)为“path”, 单击“POIN-only points”单选按钮, 然后单击  按钮关闭对话框。ANSYS 程序将弹出如图 12.46 所示的对话框。

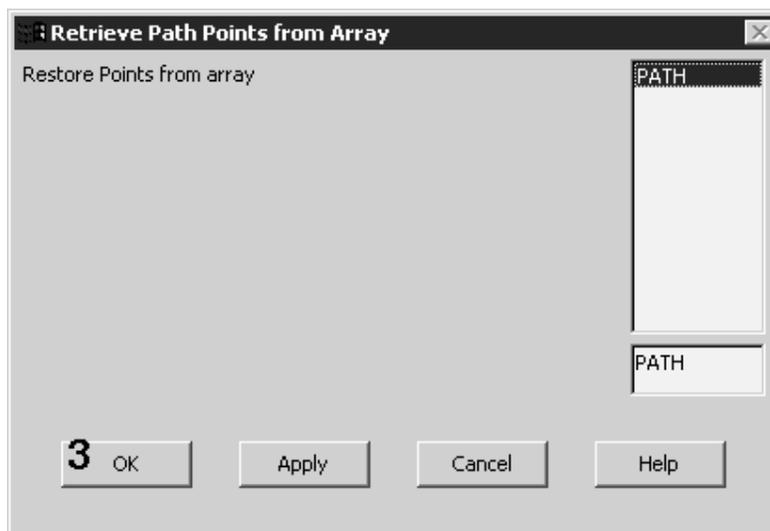


图 12.46 恢复路径点参数

3. 单击对话框中的  按钮(缺省为 PATH 选项高亮度显示)关闭对话框, 在热分析时定义的路径点将被恢复。

4. 定义路径的几何映射。选取菜单路径 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Define Path | Path Options, 将弹出 Path Options (路径选项)

对话框，如图 12.47 所示。

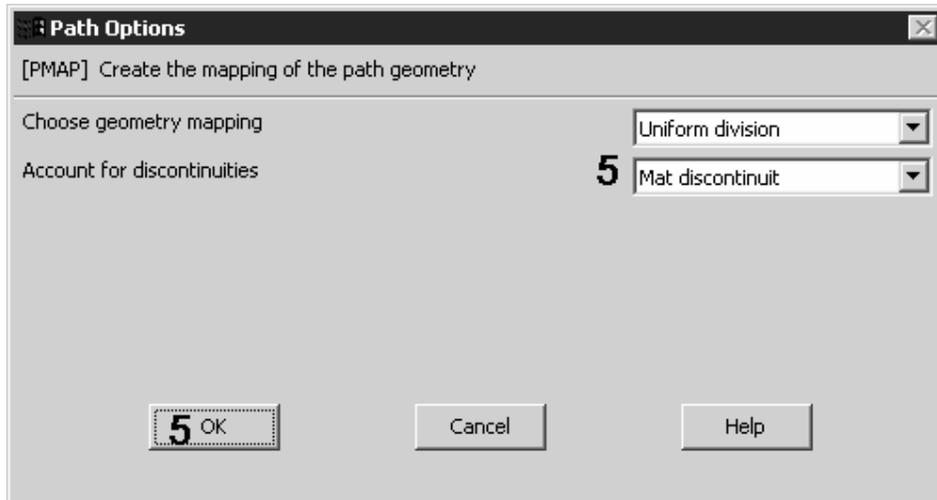


图 12.47 考虑材料不连续

5. 定义路径上的映射项目。选择菜单路径 Main Menu | General Postproc | Path Operations | Map onto Path，将弹出 Map Result Items onto Path (将结果映射到路径)对话框。

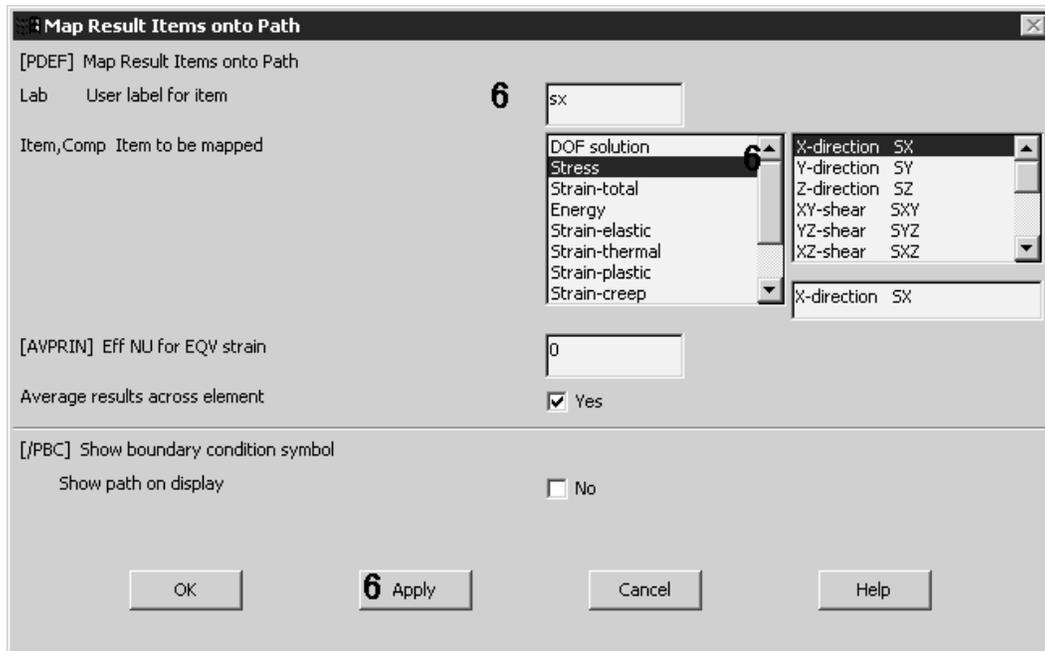


图 12.48 将径向应力映射到路径

6. 在对话框中指定映射项目的用户标签为“sx”，在 Item to be mapped (要映射项目列表)左边列表框中单击“Stress”使其高亮度显示，在右边列表框中单击“X-direction SX”使其高亮度显示，然后单击 **Apply** 按钮，映射沿 X 方向(径向)的应力到路径上。

7. 类似第 6 步的操作，将 Z 方向(周向)的应力映射到路径上，指定标签为“sz”，然后单击 **OK** 按钮关闭对话框。

8. 下面来绘制径向、周向应力沿路径的变化曲线。选取菜单路径 Main Menu | General Postproc | Path Operations Plot Path Item | On Graph, 将弹出 Plot of Path Items on Graph (绘制路径项曲线)对话框, 如图 12.49 所示。

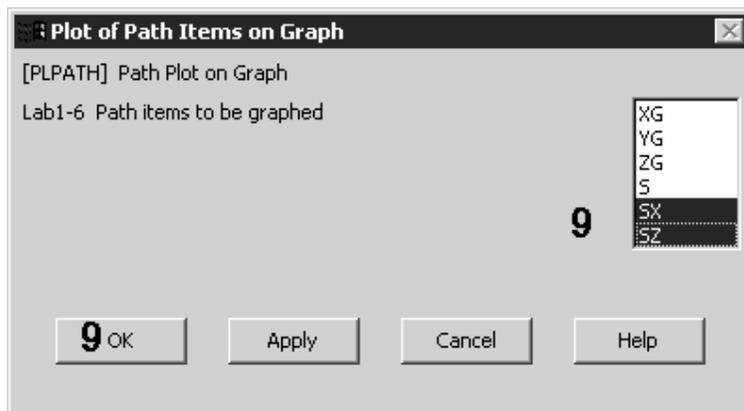


图 12.49 绘制路径项曲线对话框

9. 单击对话框中的路径项列表框中的“SX”和“SZ”, 使其高亮度显示, 然后单击 按钮关闭对话框, 在 ANSYS 图形输出框中将显示绘制的径向和周向应力沿路径的变化情况, 如图 12.50 所示。

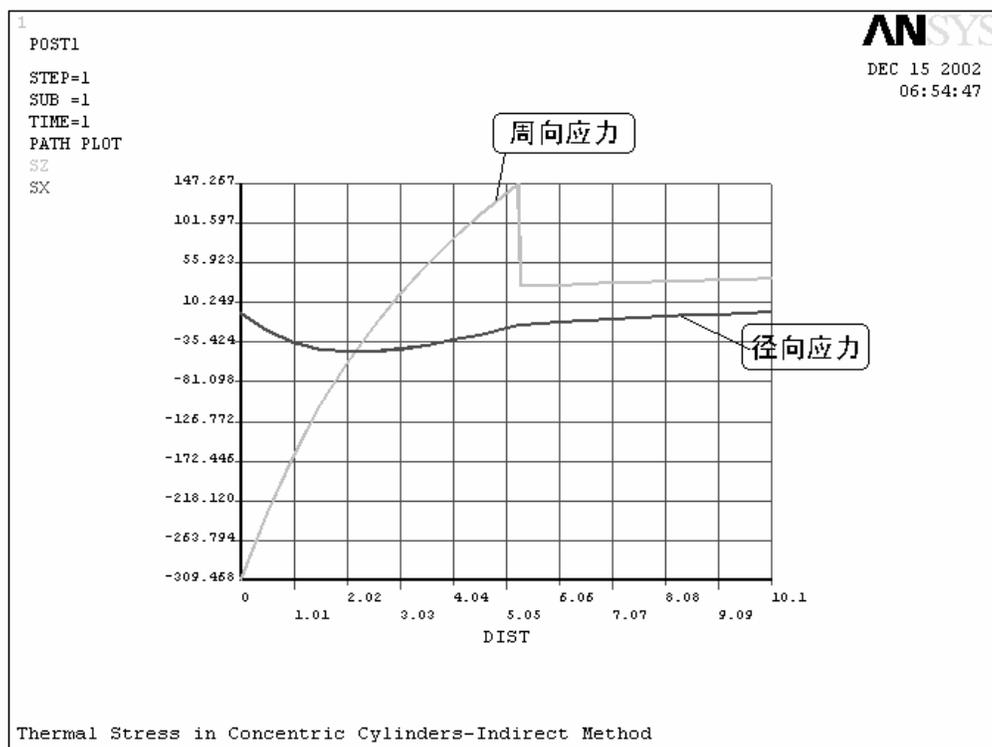


图 12.50 径向、周向应力沿路径的分布曲线

10. 绘制径向应力沿路径的几何图。选取菜单路径 Main Menu | General Postproc | Path Operations Plot Path Item | On Geometry, 将弹出 Plot of Path Items on Geometry (绘制路径项在路径几何上的图)对话框, 如图 12.51 所示。

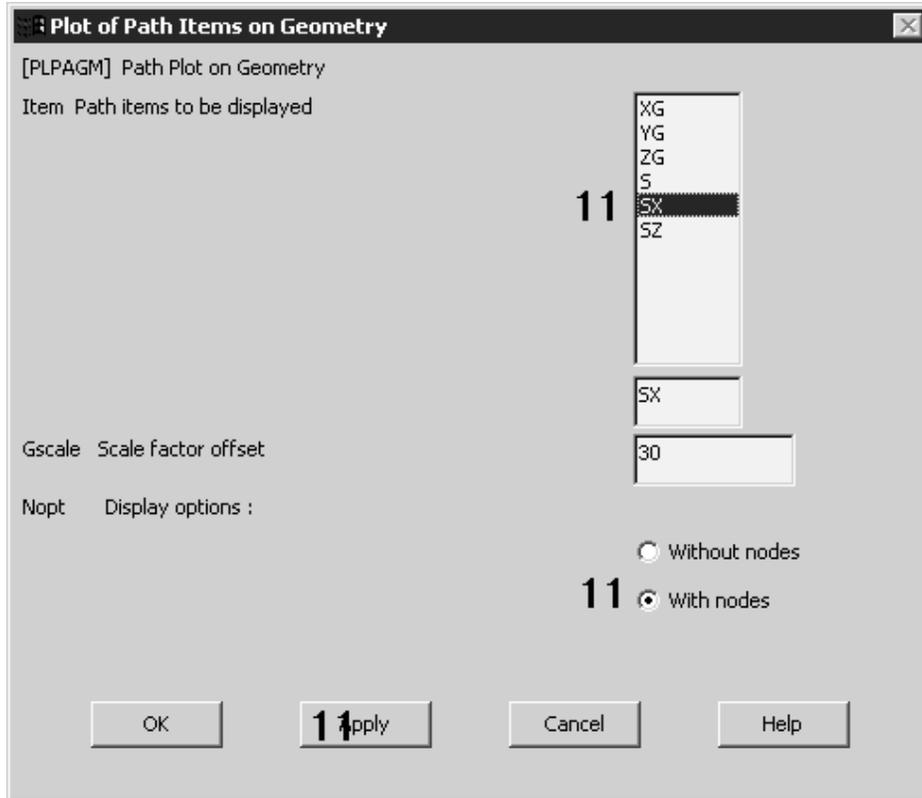


图 12.51 绘制径向应力在路径几何上的分布图

11. 在对话框中，单击要显示路径项目列表框中的“SX”选项，使其高亮度显示，接着单击“With nodes”单选按钮，指定同时显示节点，单击 **Apply** 按钮，在 ANSYS 图形显示窗口中将绘制出径向应力沿路径的几何显示图，如图 12.52 所示。

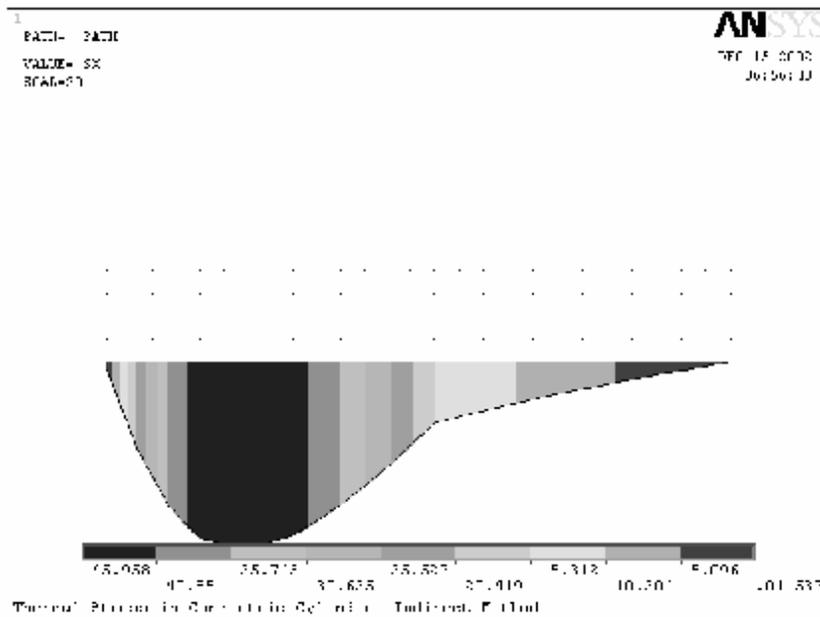


图 12.52 管道径向应力沿路径几何的显示

12. 绘制周向应力沿路径几何的显示。在图 22.51 所示的对话框中单击“SZ”选项，使其高亮度显示，然后单击  按钮关闭对话框，ANSYS 将在图形显示窗口中显示管道周向应力在路径几何上的大小情况，如图 12.53 所示。

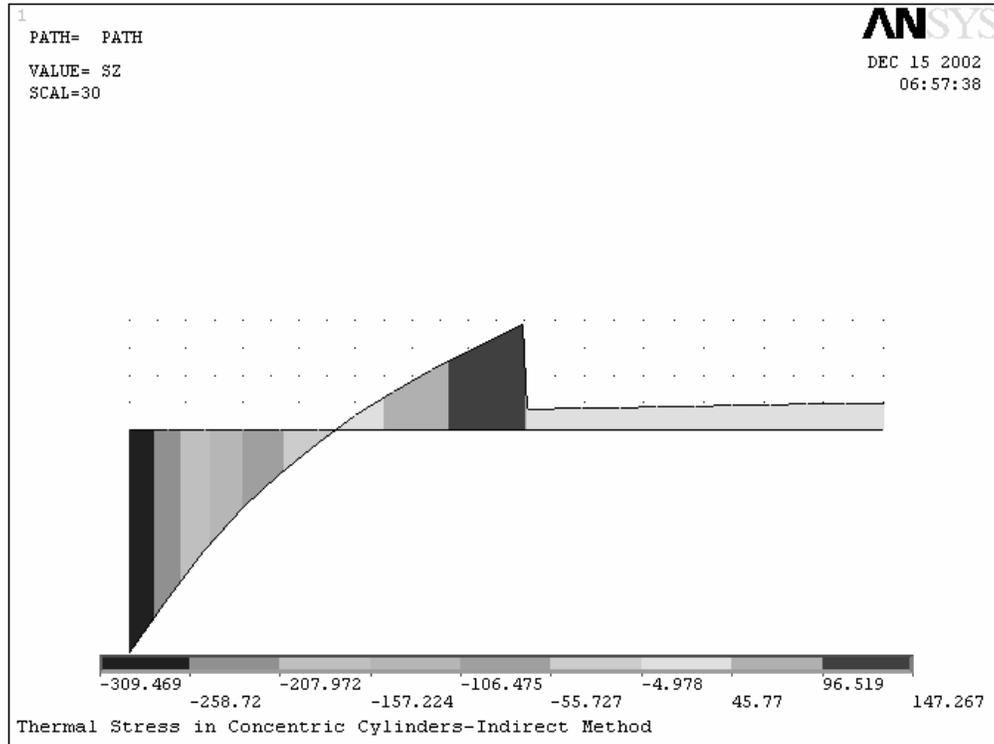


图 12.53 管道周向应力沿路径几何的显示

上面利用定义的沿径向的路径对热载荷作用下管道沿径向和周向的应力分布情况进行了观察。如果读者还对其它结果感兴趣的话，读者可以根据结构静力分析的后处理方法进行观察。对所有关心的结果进行了观察和分析之后，便可以单击 ANSYS Toobar 工具条中的  按钮退出 ANSYS 分析程序。

至此，完成了用 ANSYS 对无限长的双层管道的热—应力耦合分析

(五) 实验结果及分析

记录实验过程、完成建模并对实验所得数据进行分析，完成实验报告。

附页

热—应力耦合分析的命令流

可用下面的 ANSYS 命令流替代 GUI 选择方式来进行本算例的模式分析工作，以感叹号(!)开头的条目是注释。

```
/TITLE, Thermal Stress in Concentric Cylinders-Indirect Method
/COM, Thermal
/PREP7
ET, 1, PLANE77,,, 1 ! 定义单元
!*
```

```

MP, KXX, 1, 0.0234 ! 定义热传导系数
MP, KXX, 2, 0.152
!*
RECTNG, 5.5, 10.8, 0, 1.5 ! 创建矩形面
RECTNG, 10.8, 15.6, 0, 1.5
!*
AGLUE, ALL ! 粘结两个面
NUMCMP, ALL
ASEL, S, AREA, , 1 ! 选择面 1
AATT, 1, 1, 1 ! 指定面 1 的材料属性为 1
ASEL, S, AREA, , 2
AATT, 2, 1, 1
ASEL, ALL
!*
ESIZE, 1.5 ! 定义单元尺寸
AMESH, ALL ! 对面进行网格划分
NSEL, S, LOC, X, 5.5
D, ALL, TEMP, 180 ! 定义内表面温度
NSEL, S, LOC, X, 15.6

D, ALL, TEMP, 20
NSEL, ALL
FINISH
!*
/SOLU ! 求解稳态热分析
SOLVE
FINISH
/POST1 ! 进行热分析后处理
PLNSOL, TEMP, , 0,
PATH, RADIAL, 2 ! 定义路径
PPATH, 1, , 5.5
PPATH, 2, , 15.6
PDEF, TEMP, TEMP ! 将温度映射到路径
PAGET, PATH, POINTS, RADIAL ! 将路径归档
PLPATH, TEMP ! 绘制温度沿路径的变化曲线
PLPAGM, TEMP, 30 ! 显示温度沿路径几何的分布
FINISH
!*
/COM, Structural ! 指定为结构分析范畴
/PREP7
ETCHG, TTS ! 单元转换
KEYOPT, 1, 3, 1 ! 指定单元为轴对称单元
!*
MP, EX, 1, 2.05E5 ! 定义材料 1 的力学性能

```

```
MP,ALPX,1,10.3E-6
MP,NUXY,1,.3
!*
MP,EX,2,0.63E5 ! 定义材料 2 的力学性能
MP,ALPX,2,20.7E-6
MP,NUXY,2,.33
!*
NSEL,S,LOC,X,5.5 ! 定义自由度耦合集
CP,1,UX,ALL
!*
NSEL,S,LOC,Y,1.5
CP,2,UY,ALL
!*
NSEL,S,LOC,Y,0 ! 施加位移约束
D,ALL,UY,0

NSEL,ALL
!*
FINISH
/SOLU ! 进入求解器
TREF,20 ! 指定参考温度
LDREAD,TEMP,,,,,ch20.RTH ! 施加温度载荷
!*
/PBF,TEMP,,1 ! 显示温度载荷分布
SOLVE ! 求解结构静力分析
FINISH
!*
/POST1
PAPUT,PATH,POINTS ! 恢复路径
PMAP,,MAT
PDEF,SX,S,X ! 将 X 方向应力映射到路径
PDEF,SZ,S,Z
!*
PLPATH,SX,SZ ! 绘制径向、周向应力沿路径的曲线
PLPAGM,SX,,NODE

PLPAGM,SZ,,NODE
FINISH
```