

实验四 特征值分析

（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 分析平面应力问题；
- 3.掌握特征值分析方法。

（二）实验设备和工具

安装有 ANSYS 软件的计算机

（三）实验问题描述

一根直的细长悬臂梁，一端固定一端自由。在自由端施加载荷。本模型做特征值屈曲分析，并进行非线性载荷和变形研究。研究目标为确定梁发生分支点失稳（标志为侧向的大位移）的临界载荷。

问题特性参数

本例使用如下材料特性：

杨氏模量=1.0X10e4psi

泊松比=0.0

本例使用如下的几何特性：

$L=100\text{in}$

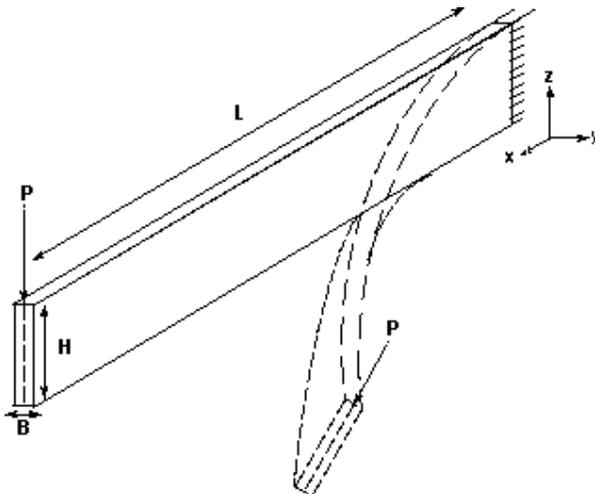
$H=5\text{in}$

$B=2\text{in}$

本例的载荷为：

$P=1\text{lb}$

问题示意图



特征值屈曲分析是线性化的计算过程，通常用于弹性结构。屈曲一般发生在小于特征值屈曲分析得到的临界载荷时。这种分析比完全的非线性屈曲分析需要的求解时间要少。

用户还可以做非线性载荷和位移研究，这时用弧长法确定临界载荷。对于更通用的分析，一般要进行崩溃分析。

在模型中有缺陷时一定要做非线性崩溃分析，因为此时模型不会表现出屈

曲。可以通过使用特征值分析求解的特征向量来添加缺陷。特征向量是最接近于实际屈曲模态在预测值。添加的缺陷应该比梁的标准厚度要小。缺陷删除了载荷-位移曲线的突变部分。通常情况下，缺陷最大不小于 10%的梁厚度。UPGEOM 命令在前一步分析的基础上添加位移并更新变形的几何特征。

(四) 实验步骤

第一步：设置分析名称和图形选项

1. 选择菜单 Utility Menu>File>Change Title。
2. 输入“Lateral Torsional Buckling Analysis”并单击 OK。
3. 确认 PowerGraphics 正在运行。选择菜单 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Hidden-Line Options。确认 PowerGraphics 选项打开并单击 OK。
4. 将 Graphical Solution Tracking 打开。选择菜单 Main Menu>Solution>-Load Step Opts-Output Ctrls>Grph Solu Track 并确认对话框中 radio 按钮设置为 ON。单击 OK。
5. 生成屈曲分析图的输出文件。选择菜单 Utility Menu>PlotCtrls>Redirect Plots>To GRPH File。将文件名改为 buckle.grph 并单击 OK。

第二步：定义几何模型

1. 进入前处理器并生成梁的关键点。选择菜单 Main Menu>Preprocessor>-Modeling>Create>Keypoints>In Active CS，然后输入下列关键点号和坐标值：

关键点号：1 坐标值：0, 0, 0
关键点号：2 坐标值：100, 0, 0
关键点号：3 坐标值：50, 5, 0

2. 在关键点 1 和 2 之间生成一条直线。选择菜单 Main Menu>Preprocessor>-Modeling>Create>-Lines-Lines>Straight Line。将弹出生成直线对话框。在图形窗口选择关键点 1 和 2 并单击 OK。

3. 存储模型。选择菜单 Utility Menu>File>Save As。在“Save Database to”对话框中输入 buckle.db 作为文件名并单击 OK。

第三步：定义单元类型和横截面信息

1. 选择菜单 Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete。将弹出单元类型对话框。

2. 单击 Add。将出现单元类型库对话框。

3. 在左列选择“Structural Beam”。

4. 在右列选择“3D finite strain, 3 node 189”以选中 BEAM189。

5. 单击 OK，然后在单元类型对话框中单击 Close。

6. 定义梁的矩形截面。选择菜单 Main Menu>Preprocessor>Sections>-Beam-Common Sects。将出现梁工具对话框。缺省时 ANSYS 将截面号设置为 1，将子类型设置为 RECT(在子类型处图示一个矩形)。因为要生成一个矩形横截面，在子类型处不作修改。

7. 在梁工具对话框的底部，可以看到横截面形状和尺寸的图示。在 B 标志的部分输入 0.2 作为横截面的宽度；在 H 标志的部分输入 5.0 作为横截面的高度。单击 OK 确定设置。

8. 列出当前截面特性。选择菜单 Main Menu>Preprocessor>Sections>List

Sections。ANSYS 缺省选择特性号 1。单击 OK 显示横截面信息。在浏览过以后，在 SLIST 窗口单击 Close。

第四步：定义材料特性并定位结点

1. 选 择 菜 单 Main Menu>Preprocessor>Material Props>-Constant-Isotropic。
2. 单击 OK 确认材料号为 1。将出现各向同性材料特性对话框。
3. 在杨氏模量框输入 1E4。
4. 在泊松比(minor)处输入 0.0，并单击 OK。
5. 选择菜单 Utility Menu>Select>Entities 来选择线。选择下列选项：Lines, By Num/Pick, From Full 并单击 OK。
6. 出现选择线对话框。在图形窗口单击线实体。在对话框中单击 OK。
7. 作为线的属性定义结点定位。选择菜单 Main Menu>Preprocessor>-Attributes-Define>All Lines。单击 Pick Orientation Keypoint radio 按钮旁边的 radio 按钮将其改变为 Yes 并单击 OK。ANSYS 将材料特性号指向 1，将单元类型号指向 1 并将截面特性号指向 1。
8. 出现线属性对话框。在图形窗口选择关键点 3 并在对话框中单击 OK。
9. 存储模型。选择菜单 Utility Menu>File>Save As。选择 OK，当 ANSYS 询问是否覆盖时，单击 OK。

第五步：对线划分网格并确认梁的定位

1. 定义网格大小和分段数。选择菜单 Main Menu>Preprocessor>-Meshing-Size Cntrl>-Lines-All Lines。在 No. Of Element Divisions 框中输入 10 并单击 OK。
2. 对线划分网格。选择菜单 Main Menu>Preprocessor>-Meshing-Mesh>Lines。确认在“Mesh Lines”对话框中 Pick 和 Single 选定，然后在图形窗口选择线。在对话框中单击 OK 对线划分网格。
3. 旋转划分好网格的线。选择菜单 Utility Menu>PlotCtrls>Pan, Zoom, Rotate。弹出 Pan, Zoom, Rotate 对话框。选择 ISO 并单击 Close。图形窗口中梁将旋转。
4. 确认梁的定位。选择菜单 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Size&Shape。选择/ESHAPE 旁边的 radio 按钮并单击 OK。
5. 显示横截面形状。选择菜单 Main Menu>Preprocessor>Sections>Plot Section 并单击 OK。
6. 重新显示网格。选择菜单 Utility Menu>Plot>Elements。

第六步：定义边界条件

1. 定义固定端的边界条件。选择菜单 Main Menu>Solution>-Loads-Appl y>-Structural -Displacement>On Keypoints。将弹出 Apply U, ROT on KPs 对话框。
2. 定义关键点 1 为固定端。在 ANSYS 输入窗口，输入 1 并回车，然后单击 OK。
3. 在对话框中选择“ALL DOF”，然后单击 OK。在 ANSYS 图形窗口将显示边界条件。
4. 在自由端施加集中力。选择菜单 Main Menu>Solution>-Loads-Appl y>-Structural -Force/Moment>On Keypoints。将出现 Apply F/M on KPs 对话框。

5. 定义关键点 2 为自由端。在 ANSYS 输入窗口，输入 2 并回车，然后单击 OK。
6. 在 Direction of force/mom 框中选择 FY。
7. 在数值处输入 1 并单击 OK。在 ANSYS 图形窗口将出现集中力标志。
8. 存储模型。选择菜单 Utility Menu>File>Save As。选择 OK，当 ANSYS 询问是否覆盖时，单击 Yes。
9. 选择菜单 Main Menu>Finish。

第七步：作特征值屈曲分析

1. 进入时序后处理器。选择菜单 TimeHist Postproc>Define Variables。TIME 变量是缺省的。选择 Close。
2. 设置分析选项。选择菜单 Main Menu>Solution>Analysis Options。将弹出 Static 或 Steady-State Analysis 对话框。
3. 生成应力-刚度矩阵，存储起来在后续的特征值屈曲分析中使用。在 Stress stiffness or prestress 框中，选择“Prestress ON”。
4. 定义分析求解方法为 sparse solver。在 Equation solver 框中选择 Sparse solver。单击 OK。
5. 选择菜单 Main Menu>Solution>-Solve-Current LS。浏览/STAT 命令窗口中的内容，然后单击 OK 开始求解。
6. 当“Solution is Done!”窗口出现时，单击 Close 关闭窗口。
7. 选择菜单 Main Menu>Finish。
8. 选择菜单 Main Menu>Solution>-Analysis Type-New Analysis。
9. 选择“Eigen Buckling”选项，然后单击 OK。
10. 选择菜单 Main Menu>Solution>Analysis Options。将弹出特征值屈曲选项对话框。选择 Block Lanczos 方法。在模态数目框中输入 4，然后单击 OK。
11. 在 MXPAND 命令设置 Element Calculation Key。选择菜单 Main Menu>Solution>-Load Step Opts-ExpansionPass>Expand Modes。
12. 在扩展模态对话框中，输入 4 作为模态数，将 Calculate element results 框由 No 改为 Yes，然后单击 OK。
13. 选择菜单 Main Menu>Solution>-Solve-Current LS。浏览/STAT 命令窗口中的内容，然后单击 OK 开始求解。
14. 当“Solution is Done!”窗口出现时，单击 Close 关闭窗口。
15. 选择菜单 Utility Menu>PlotCtrls>Style>Size&Shape。确认在 /ESHAPE 旁边的 radio 按钮为 ON，然后选择 OK。
16. 在 ANSYS 输入窗口中输入 /VIEW, 1, 1, 1, 1 然后按回车。
17. 在 ANSYS 输入窗口中输入 /ANG, 1 然后按回车。
18. 显示求解结果。选择菜单 Main Menu>General Postproc>List Results>Results Summary。当查看结果完毕后，单击 Close 关闭窗口。
19. 选择菜单 Main Menu>General Postproc>List Results>-Read Results->First Set。
20. 绘出梁的第一个模态。选择菜单 Main Menu>General Postproc>Plot Results>Deformed Shape。将弹出 Plot Deformed Shape 对话框。选择 Def+undef edge 并单击 OK。
21. 选择菜单 Main Menu>Finish。

第八步：作非线性屈曲分析求解

1. 引入前面分析中得到的模型缺陷计算结果。选择菜单 Main Menu>Preprocessor>-Modeling-Update Geom。在 Update Geometry 对话框中，输入 0.002 作为 Scaling Factor，在 Load step 框中输入 1，在 Substep 框中输入 1，在 Selection 框中输入 file.rst。单击 OK。

2. 选择菜单 Main Menu>Solution>-Analysis Type-New Analysis。

3. 选择“Static”选项，单击 OK。

4. 选择菜单 Main Menu>Solution>-Load Step Opts-Output Ctrl>DB/Results File，并确认选择了 All Items 和 All entities 选项，然后单击 OK。

5. 选择菜单 Main Menu>Solution>Analysis Options。设置 Large deform effects 旁边的 radio 按钮为 ON，然后单击 OK。

6. 设定 arc-length 方法。选择菜单 Main Menu>Solution>Load Step Opts>Nonlinear>Arc-Length Opts。设定 Arc-length 方法为 ON，然后单击 OK。

7. 定义本载荷步中的子步数。选择菜单 Main Menu>Solution>-Load Step Opts-Time/Freque>Time and Substeps。输入 10000 作为子步数并单击 OK。

8. 设置求解中断参数。选择菜单 Main Menu>Solution>Nonlinear>Arc-Length Opts。选择 the Lab 菜单旁边的下拉式菜单的位移限制选项。在最大位移框中输入 1.0。在 VAL 框中输入结点号为 2。选择 Degree of Freedom 旁边的下拉菜单为 UZ。单击 OK。

9. 求解当前模型。选择菜单 Main Menu>Solution>-Solve-Current LS。浏览/STAT 命令窗口中的内容，然后单击 OK 开始求解。同时将弹出一个非线性求解窗口。收敛图也将显示，并在几分钟内完成。

10. 当“Solution is Done!”窗口出现时，单击 Close 关闭窗口。

11. 选择菜单 Main Menu>Finish。

12. 重画梁网格。选择菜单 Utility Menu>Plot>Elements。

13. 定义要从结果文件中读出的载荷点位移。选择菜单 Main Menu>TimeHist Postpro>Define Variables。当出现对话框时，单击 OK。

14. 当弹出 Add Time-History Variable 窗口时，确认 Nodal DOF result 选项选中，然后单击 OK。

15. 出现 Define Nodal Data 选择对话框。在图形窗口，选择结点 2（梁的右端结点）并单击 OK。

16. 出现 Define Nodal Data 窗口。确认参数 Ref 号和结点号都设置为 2。在 User-specified 框中输入 TIPLATDI。选择 UZ 平移并单击 OK。

17. 定义从结果文件中读出的总支反力。在 Define Time-History Variables 窗口选择 Add。

18. 当 Add Time-History Variable 窗口出现时，选择 Reaction forces radio 按钮并选择 OK。

19. 出现 Define Nodal Data 选择对话框。在 ANSYS 输入窗口中输入 1（梁的左端结点）并选择 OK。单击 Close 关闭对话框。

20. 出现 Define Reaction Force Variable 窗口。确认参数 Ref 号设置为 3，结点号设置为 1。选择 Struct Force FY 选项并单击 OK。

21. 选择菜单 Main Menu>TimeHist Postpro>Math Operators>Multiply。在 Multiply Time-History Variables 窗口，在结果框中输入 4 作为参考号，输入 -1.0 在 1st Factor 框，在 1st Variable 框中输入 3，单击 OK。

22. 显示 X 变量。选择菜单 Main Menu>TimeHist Postpro>Settings>Graph。在 Single variable no. 框输入 2 并单击 OK。

23. 绘出载荷和位移关系曲线以确定特征值法计算出的临界载荷。选择菜单 Main Menu>TimeHist Postpro>Graph Variables。在 1st variable to graph 框中输入 1。

24. 列出变量随时间的变化曲线。选择菜单 Main Menu>TimeHist Postpro>List Variables。在 1st variable to list 框中输入 2, 在 2nd variable 框中输入 4 并单击 OK。

25. 在 PRVAR 命令窗口中检验数值并比较其与特征值屈曲分析的结果。关闭 PRVAR 命令窗口。

26. 选择菜单 Main Menu>Finish。

第九步：绘出并查看结果

1. 在 ANSYS 工具栏，单击 Quit。

2. 选择一个存储选项并单击 OK。

(五) 实验结果及处理

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

悬臂梁求解实例：命令行格式

可以用命令行格式完成同样的分析问题：

```
/PREP7
/GRA, POWER
GST, ON
/SHOW, BUCKLE, GRPH
K, 1, 0, 0, 0,
K, 2, 100.0, 0, 0,
K, 3, 50, 5, 0,
LSTR, , 1, , 2
ET, 1, BEAM189
SECTYPE, 1, BEAM, RECT,
SECDATA, 0.2, 5.0
SLIST, 1, 1, ,
MP, EX, 1, 1E4
MP, NUXY, 1, 0.0
LSEL, S, , , 1, 1, 1
LATT, 1, , 1, 0, , 3, , 1
LESI ZE, all, , , 10
SECN, 1
LMESH, all
/VIEW, , 1, 1, 1
/ESHAPE, 1EPL0T
DK, 1, , , , 0, ALL, ,
FK, 2, FY, 1.0
FINISH
```

```
/SOLU
PSTRES, ON
EQSLV, SPARSE
SOLVE
FINISH
/SOLU
ANTYPE, BUCKLE
BUCOPT, LANB, 4
MXPAND, 4, , , YES
SOLVE
/POST1
/ESHAPE, 1
/VIEW, 1, 1, 1, 1
/ANG, 1
SET, LISTSET, 1, 1
PLDI, 2
FINISH
UPGEOM, 0.002, 1, 1, file, rst
/SOLU
ANTYPE,
STATIC
OUTRES, ALL, ALL
NLGEOM, ON
ARCLen, ON
NSUBST, 10000
ARCTRM, U, 1.0, 2, UZ
SOLVE
FINISH
/POST26
NSOL, 2, 2, U, Z, TIP, LAT, DISP
RFORCE, 3, 1, F, Y,
PROD, 4, 3, , , , , -1.0, 1, 1,
XVAR, 2
PLVAR, 4
PRVAR, 2, 4
FINISH
```