

实验二 瞬态结构动力学分析

（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 进行瞬态动力学分析；

（二）实验设备和工具

安装有 ANSYS 软件的计算机

（三）实验原理

瞬态动力学分析(亦称时间—历程分析)是用于确定承受任意的随时间变化载荷的结构的动力学响应的一种方法。可以用瞬态结构动力学分析确定结构在静载荷, 瞬态载荷, 和简谐载荷的随意组合作用下随时间变化的位移, 应变, 应力以及力。瞬态结构动力学分析中, 载荷和时间的相关性使得惯性力和阻尼作用比较重要。如果惯性力和阻尼作用对于分析的问题不是很重要, 就可以用静力学分析代替瞬态结构动力学分析。

实验要用缩减法进行瞬态结构动力学分析以确定对有限上升时间的恒定力的动力学响应。问题的实际结构是一根钢梁支撑着集中质量并承受一个动态载荷。钢梁长为 L , 支撑着一个集中质量 M 。这根梁承受着一个上升时间为 t_t , 最大值为 F_1 的动态载荷 $F(t)$ 。梁的质量可以忽略, 确定产生最大位移响应时的时间 $t_{\max}$ 及响应 $y_{\max}$ 。同时要确定梁中的最大弯曲应力 σ_{bend} 。

求解过程中用不到梁的特性, 其截面积可以算 1 个单位值。取加载结束时间为 0.1 秒, 以使质量体达到最大弯曲。在质量体的侧向设定一个主自由度。第一个载荷步用于静力学求解。根据本实例的结构关系和载荷分布可以在此模型中使用对称性。在进行后处理时, 选定在最大响应时间(0.092 秒)处做扩展计算。已知数据如下:

材料特性: 杨氏模量 $E = 2E5$ Mpa, 质量 $M = 0.0215Tn$, 质量阻尼 $ALPHAD = 8$,

几何尺寸: $L = 450mm$ $I = 800.6mm^4$ $h = 18mm$

载荷为: $F_1 = 20N$ $t_r = 0.075sec$

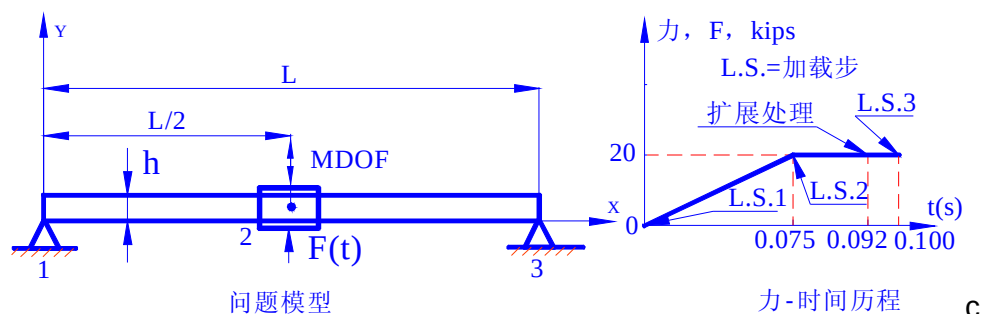


图 2.1 钢梁支撑集中质量的几何模型

（四）实验内容及方法

1. 建立模型

1.1 指定分析标题并设置分析范畴

实验是如图 2.1 所示钢梁支撑集中质量的模型进行瞬态结构动力学分析来确定对有限上升时间的恒定力的动力学响应，仍然属于结构分析范畴。为了在后面进行菜单方式操作时的方便，需要在开始分析时就指定本实例分析范畴为“Structural”。为了数据的存和以后分析的方便必须养成给分析的问题加标题的习惯。本实例的标题可以命名为：“Transient Response To a Constant Force With a Finite Rise Time”，具体的操作过程如下：

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 2.2 所示：

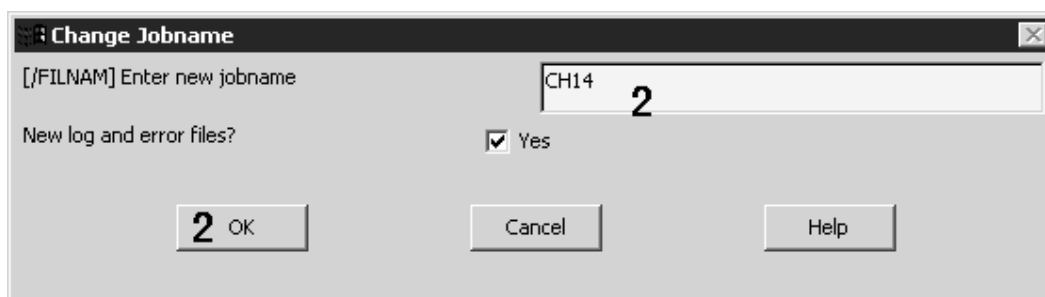
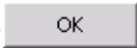


图 2.2 修改文件名对话框

2. 在 Enter new jobname (输入新文件名)文本框中输入文字“CH14”，为本分析实例的数据库文件名。单击对话框中的  按钮，完成文件名的修改。

3. 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 2.3 所示：

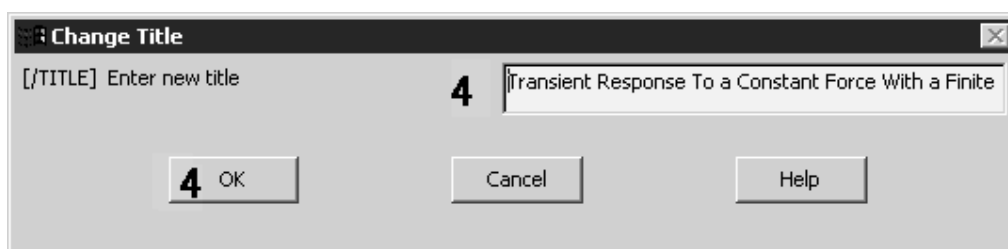
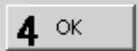
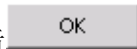


图 2.3 修改标题对话框

4 在 Enter new title (输入新标题)文本框中输入文字“Transient Response To a Constant Force With a Finite Rise Time”，为本分析实例的标题名。单击对话框中的  按钮，完成对标题名的指定。

5. 选取菜单路径 Utility Menu | Plot | Replot，指定的标题“Transient Response To a Constant Force With a Finite Rise Time”将显示在图形窗口的左下角，这样可以非常方便地说明分析问题的内容和性质。

6. 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，单击对话框中的 Structural(结构)选项使之成为 ON，以将菜单设置为与结构分析相关的选项。单击  按钮，完成分析范畴的指定。

1.2 定义单元类型

对于本实例分析的问题，我们可以利用二维梁单元和集中质量单元来模拟其结构形式和问题的性质。这里将使用 ANSYS6.1 提供的两种单元类型：二维弹性

梁单元 BEAM3，结构质量单元 MASS21。具体的定义过程如下：

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 2.4 所示。

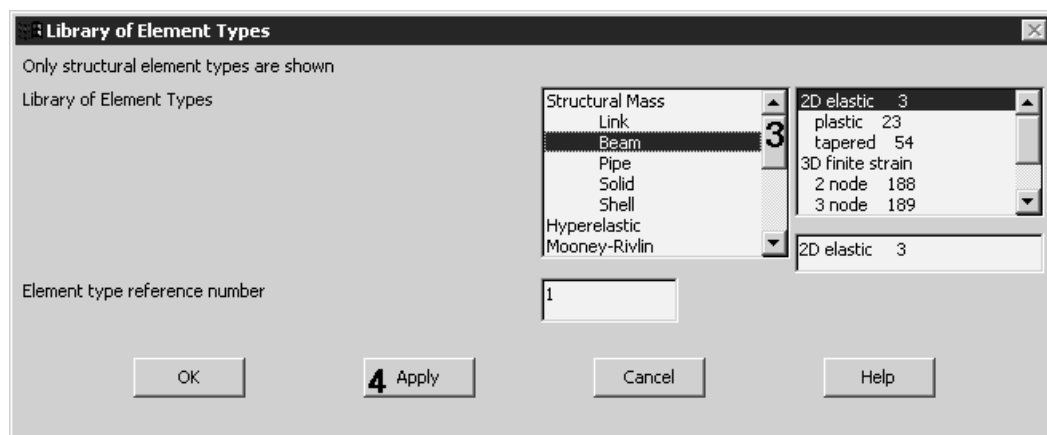


图 2.4 单元类型库对话框

2. 在图 2.4 所示对话框左边的滚动框中单击“Structural Beam”使其高亮度显示，选择结构梁单元类型。在右边的滚动框中单击“2D elastic 3”使其高亮度显示，选择 2 维弹性梁单元。

3. 在对话框中单击 **Apply** 按钮，完成对二维弹性梁单元的定义。在单元类型定义对话框中，将会出现刚定义的单元类型。

4. 接着继续在 Library of Element Types (单元类型库)对话框的左边滚动框中单击“Structural Mass”，在右边的滚动框中单击“3D mass21”使其高亮度显示，选定三维质量单元类型。单击对话框中的 **OK** 按钮，完成单元定义并关闭 Library of Element Types (单元类型库)对话框。

5. 在单元类型定义对话框的单元列表框中将显示出刚定义的两单元类型：BEAM3 和 MASS21，如图 2.5 所示。单击 Element Types (单元类型定义)对话框中的 **Close** 按钮，关闭对话框中，完成单元类型的定义。

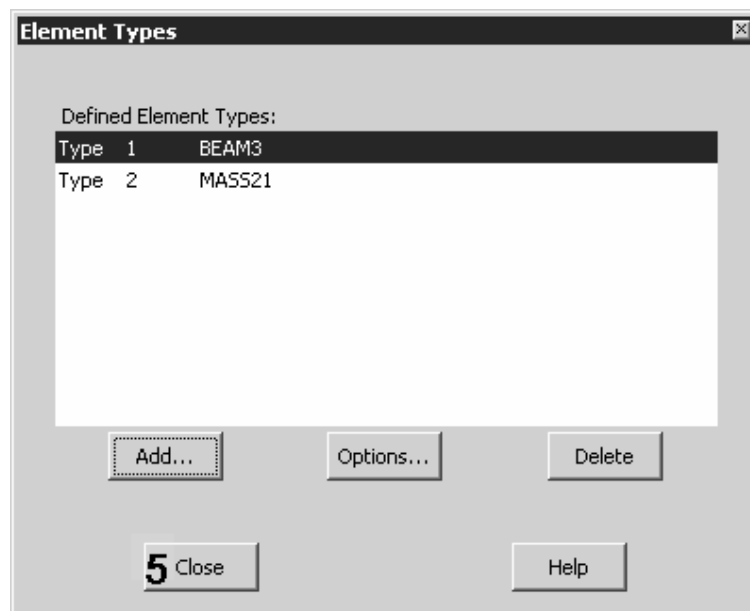


图 2.5 定义的单元类型

1.3 定义单元实常数

因为在实验中使用的单元是二维弹性梁单元和结构质量单元，它们都需要定义相应的单元实常数才能完成对单元特性的描述，具体每种单元类型需要定义何种实常数读者可以查看 ANSY 提供的单元类型库中对它的描述。具体的操作如下：

1. 选取菜单途径 Main Menu | Preprocessor | Real Constants，将弹出 Real Constants (单元实常数定义)对话框，如图 2.6 所示。



图 2.6 实常数定义对话框

2. 单击对话框中的  按钮，将弹出 Element Type for Real Constants

(定义实常数的单元类型)对话框，如图 2.7 所示。

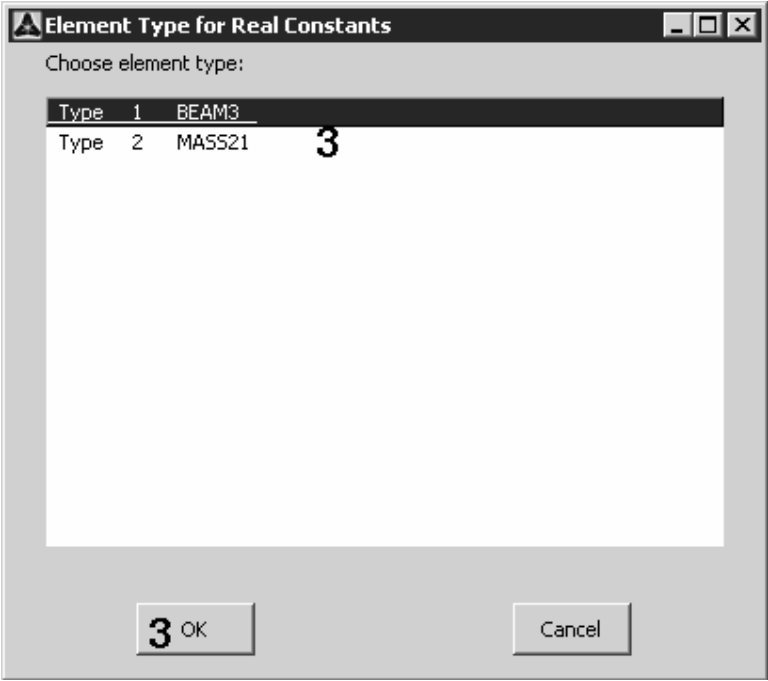


图 2.7 单元实常数定义对话框

3. 在选择单元类型列表框中，单击“Type 1 BEAM3”使其高亮度显示，选择第一类单元 BEAM3。然后单击该对话框中的 按钮，将弹出 Real Constants for BEAM3 (为 BEAM3 单元定义实常数) 对话框如图 2.8 所示。

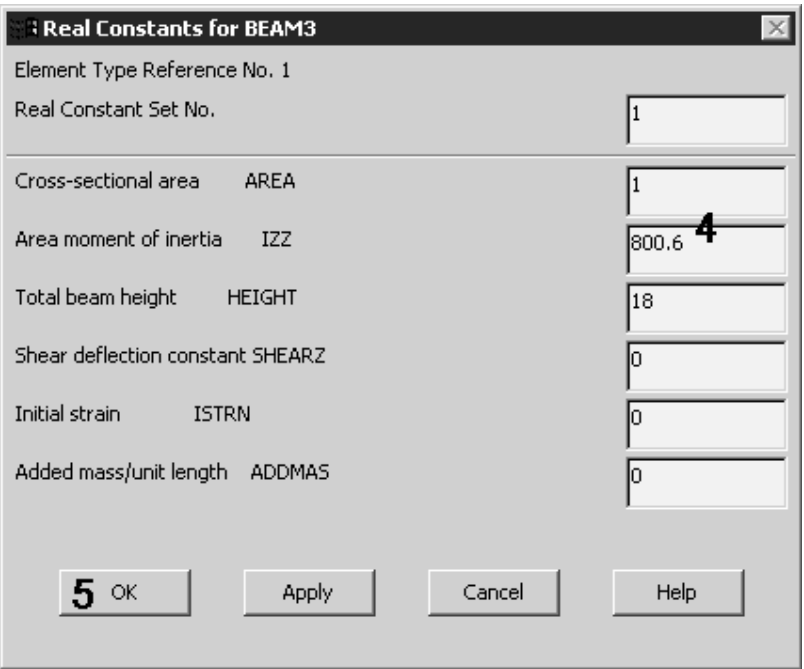
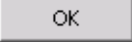
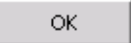


图 2.8 为 BEAM3 单元定义实常数对话框

4. 在对话框中的 Cross-section area (截面积) 文本框中输入“1”，定义梁

的截面为 1 个单位值，这是因为在实验的分析过程中梁的截面特性用不到。在 Area moment of inertia (截面惯性矩) 文本框中输入 “800.6”，在 Total beam height (梁的高度) 文本框中输入 “18”，指定梁的截面惯性矩等于 800.6mm⁴，梁的高度为 18mm。

5. 对话框中的其余参数保持缺省值。单击  按钮，关闭 Real Constants for BEAM3 (单元 BEAM3 的实常数定义) 对话框。完成对单元 BEAM3 实常数的定义。在实常数定义对话框中将会出现定义的实常数。

6. 重复步骤 2 的过程，在弹出的选择 Element Type for Real Constants (定义实常数的单元类型) 对话框的列表框中单击 “Type 2 MASS21”，使其高亮度显示。然后  单击按钮，将弹出 Real Constant Set Number 2, for MASS21 (为 MASS21 单元定义实常数的) 对话框，如图 2.9 所示。

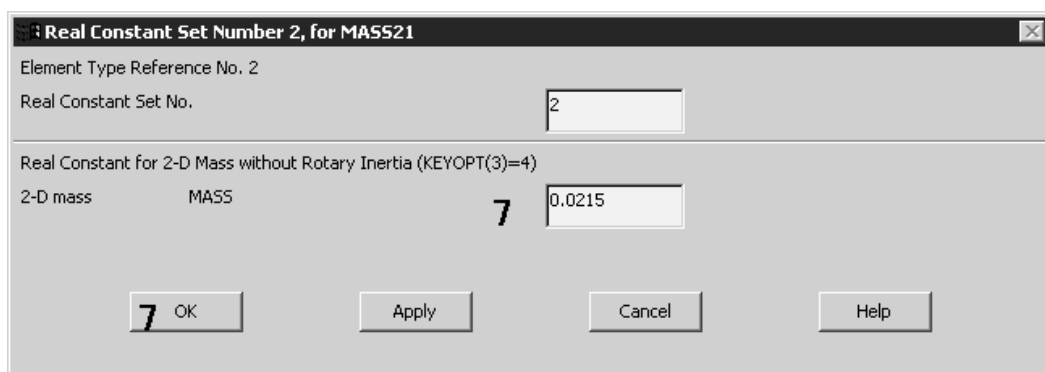
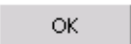


图 2.9 为 MASS21 单元定义实常数的对话框

7. 在图 14.9 所示对话框中的质量(2-D mass)文本框中输入 “0.0215”，定义集中结构质量为 0.0215Tn。保持缺省的 real Constant Set No. (实常数序号) 为 2，单击  按钮，关闭 Real Constants Set Number 2, for MASS21 (为 MASS21 单元定义实常数) 对话框。

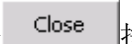
8. 在 Real Constants (实常数定义) 对话框的列表框中将会出现定义实常数：Set 1 和 Set 2 (见图 2.10)，单击  按钮，关闭对话框。



图 2.10 定义实常数对话框

至此，完成了对建立钢梁支撑集中质量结构有限元模型需要的单元类型和实常数的定义。

1.4 定义材料性能

实验中一共用了一种材料，其性能参数在前面已经给出。由于进行的是钢梁支撑集中质量单元的瞬态结构动力分析，分析中梁单元的质量忽略，因此只需定义材料的弹性模量 EX，而密度 DENS 就不必定义了。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 2.11 所示。

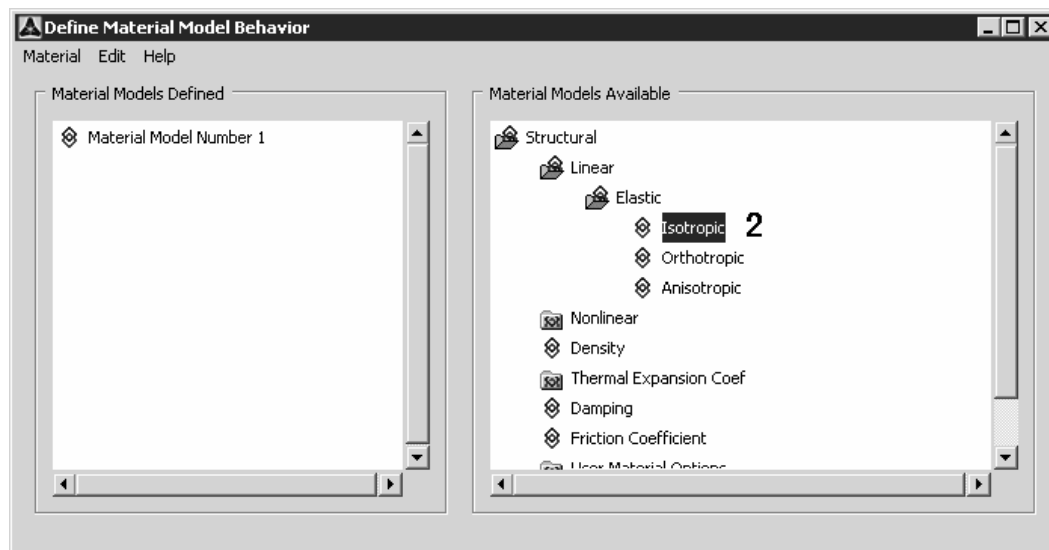


图 2.11 材料模型定义对话框

2. 依次双击 Structural， Linear ， Elastic 和 Isotropic，将弹出 1 号

材料的弹性模量 EX 和泊松比 PRXY 的定义对话框，如图 2.12 所示。

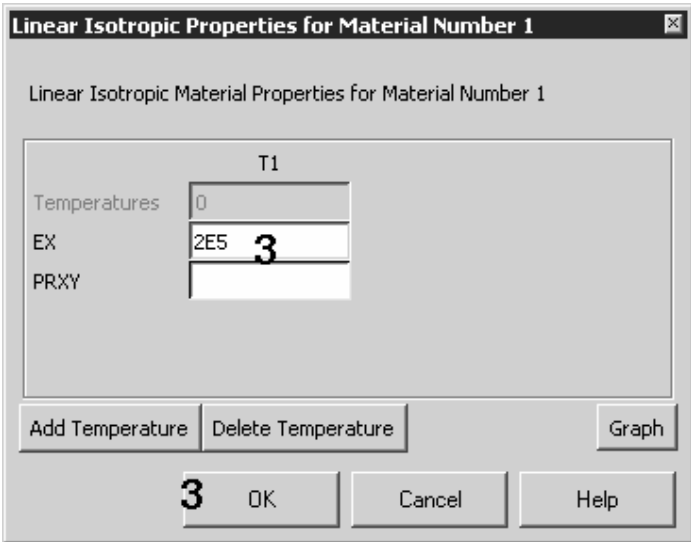
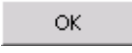


图 2.12 线性各向同性材料定义对话框

3. 在图 2.12 的 EX 文本框中输入 2E5，定义材料的弹性模量为 2E5Mpa，泊松比为缺省。单击  按钮，关闭对话框。在 Define Material Model Behavior (材料模型定义)对话框的左边列表框中将会列出定义的材料属性。

4. 在 Define Material Model Behavior (材料模型定义)对话框中，选取路径 Material | Exit，完成对材料模型的定义。

至此，完成了对建立吉他弦有限元模型需要的单元类型和实常数的定义。下面来进行创建节点工作。

1.5 定义节点

根据实验的结构特点，在建立其有限元模型时不需要运用通常的方法先建立其几何模型，然后再对其进行有限元网格划分。具体操作如下：

1. 选取菜单路径 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Nodes | In Active CS，将弹出 Create Nodes in Active Coordinate System (在激活坐标系中创建节点)对话框，如图 2.13 所示。

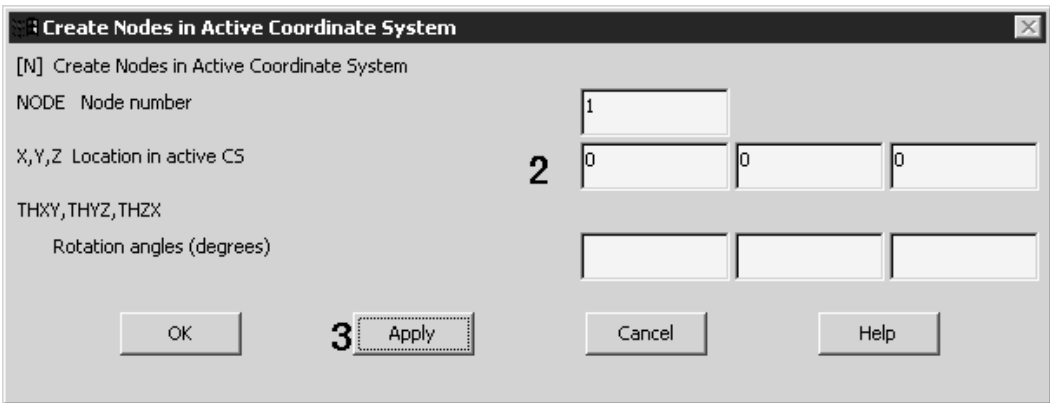


图 2.13 在激活坐标系中创建节点

2. 在弹出的对话框中，Node number (节点编号)文本框中输入 1，在节点坐标文本框中输入 X,Y,Z 坐标分别为 0，0，0。

3. 单击 **Apply** 按钮，在激活坐标系的原点创建第一个节点。由于单击的是 **Apply** 按钮，该对话框将继续显示，然后在对话框中，Node number (节点编号) 文本框中输入 3，在节点坐标文本框中输入 X,Y,Z 坐标分别为 450, 0, 0。

4. 单击对话框中的 **OK** 按钮，创建 3 号节点并关闭对话框。ANSYS6.1 图形输出窗口中将会显示出刚创建的节点 1、3，如图 2.14 所示。

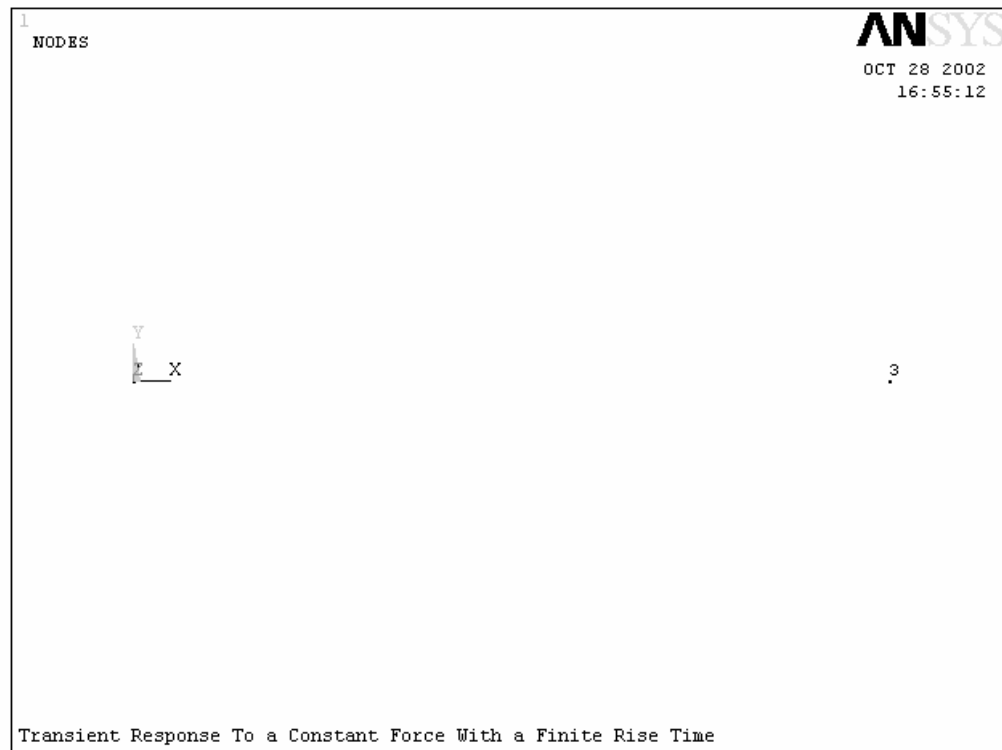


图 2.14 在激活坐标系中创建的节点

5. 创建中间节点。选取菜单路径 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Node | Fill between Nds，将弹出拾取对话框。在 ANSYS 的图形输出窗口中，在节点 1 和 3 上都单击一次，拾取节点 1 和 3，在每个节点周围将出现一个小方框。

6. 单击拾取对话框中的 **OK** 按钮，将弹出 Create Nodes Between 2 Nodes (在节点之间创建节点) 对话框，如图 2.15 所示。

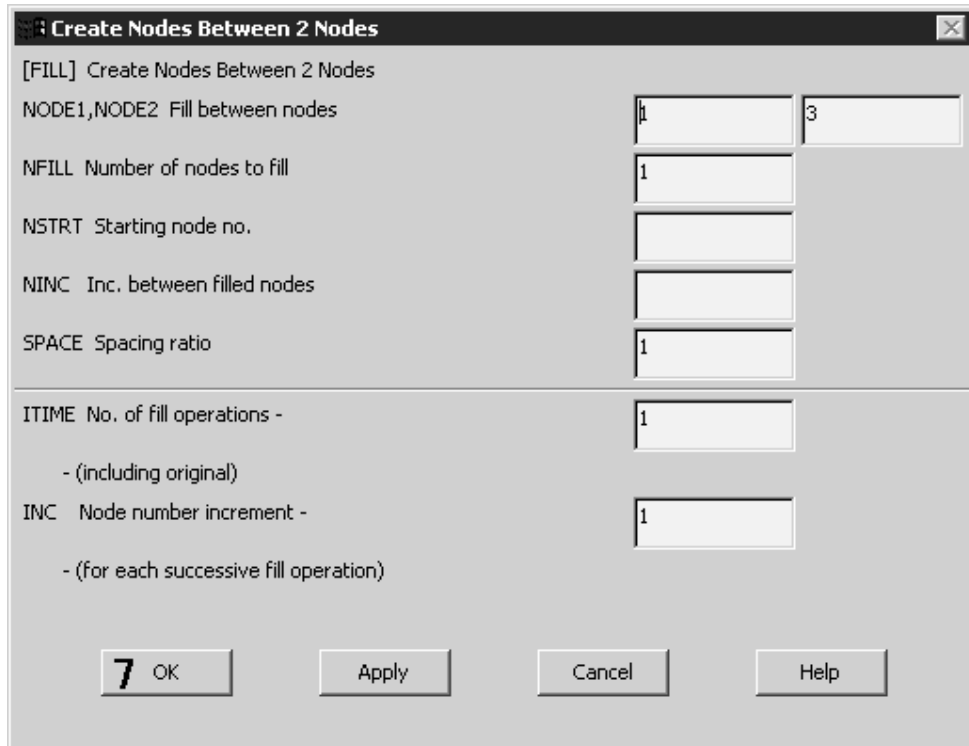


图 2.15 在节点之间创建节点对话框

7. 对话框中程序根据前面的操作进行了缺省设置，可以看出缺省值就是我们定义的值，因此接受缺省的值，单击对话框中的 **OK** 按钮关闭对话框，完成中间节点的创建。节点 1~3 将出现在图形窗口中。

1.6 生成梁单元和质量单元

实验中用到的单元类型有梁单元和质量单元两种，在 ANSYS 中这两种单元类型都可以利用节点直接创建。上面已创建了需要的 3 个节点，下面将利用它们来创建本实例的梁单元和质量单元。具体的操作过程如下：

1. 选取菜单路径 Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Elem Attributes。将会弹出单元属性对话框，如图 2.16 所示。

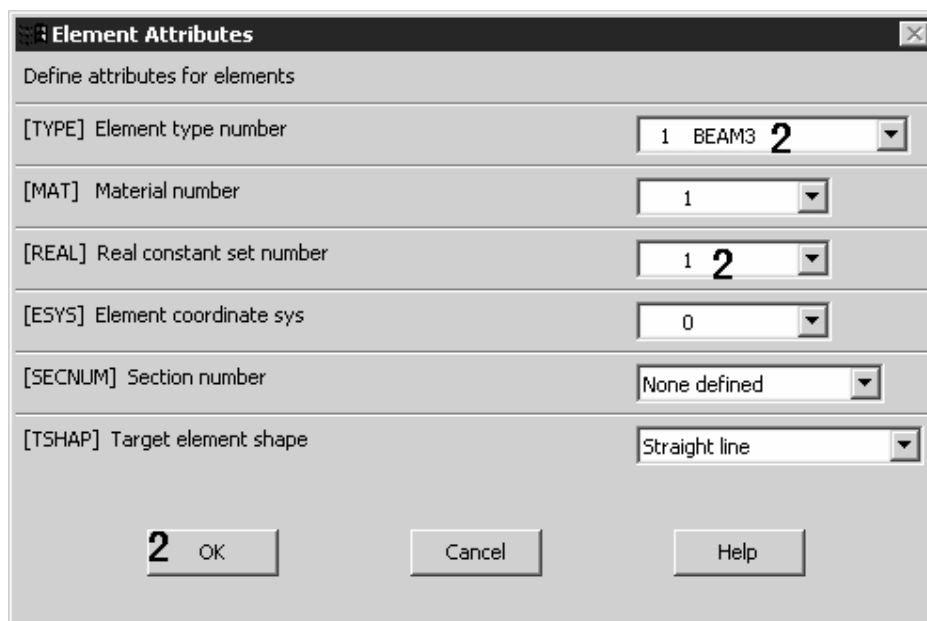


图 2.16 单元属性对话框

2. 在对话框中，单击 **Element type number** (单元类型序号) 下拉框中的 “1 BEAM3”，在实常数序号下拉框中 **Real constant set number** (指定实常数序号) 为 “1”，指定要创建单元的类型为梁单元，并设定其对应的实常数。单击对话框中的 **OK** 按钮关闭对话框，完成对单元属性的设置。

3. 选取菜单路径 **Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Auto Numbered | Thru Nodes**，将会弹出节点拾取对话框。

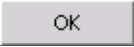
4. 创建 1 号梁单元。在 ANSYS 图形输出窗口中，单击节点 1 和 2 各一次，选中后在节点上会出现一个小方框。然后在拾取对话框中单击 **Apply** 按钮。在图形窗口中选中的节点间将出现一条线，为梁单元 1。

5. 创建 2 号梁单元。接着在节点 2 和节点 3 上各单击一次，然后在拾取对话框中单击 **OK** 按钮。在图形窗口中选中的节点间将出现一条线，为梁单元 2。

6. 进行质量单元属性设置。重复第 1 步的操作，在弹出的 **Element Attributes** (单元属性) 对话框中指定 **Element type number** (单元类型序号) 为 “2 MASS21”，对应的 **Real constant set number** (实常数的序号) 为 “2”，单击对话框中的 **OK** 按钮，完成对将要创建的单元属性的设置。

7. 选取菜单路径 **Main Menu | Preprocessor | Modeling | Create | Elements | Auto Numbered | Thru Nodes**，将会弹出节点拾取对话框。在图形输出窗口中单击节点 “2”，然后单击节点拾取对话框中的 **OK** 按钮。程序将会在节点 2 上创建一个集中质量单元。

8. 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。在对话框中打开节点序号 (Node

numbers: On)，在 Elem / attrib numbering (单元序号) 下拉框中单击 “Element numbers”，单击  按钮关闭对话框。使图形窗口中的节点序号和单元序号都显示，建立好的有限元模型如图 2.17 所示。

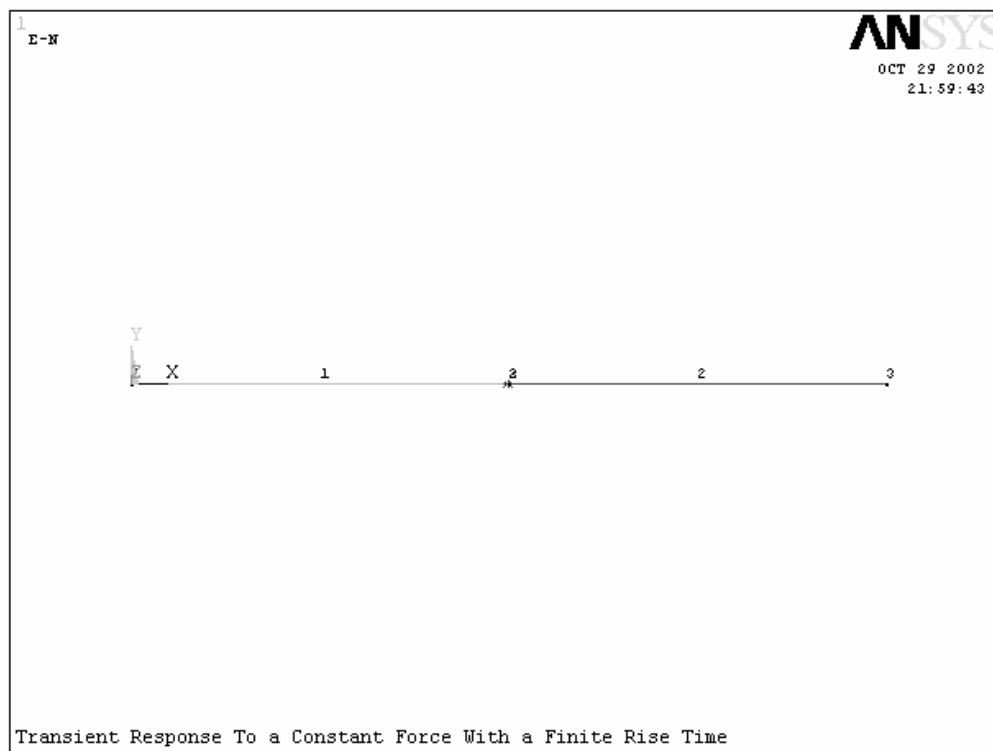


图 2.17 创建的梁—集中质量有限元模型

9. 单击 ANSYS 的 ANSYS Toolbar (工具条) 上的  按钮，保存数据库文件。在完成了一个阶段性工作后，最好对其保存。

2. 定义边条、加载并求解

本实验目的是用缩减法对简支梁—集中质量系统进行有限上升时间的恒定载荷作用下的瞬态结构动力分析。需要指定瞬态缩减法的载荷步选项，且按照缩减法的要求必须定义主自由度。根据实验的载荷情况需要定义三个载荷步，才能对其加载过程进行模拟。对于这种问题通常 ANSYS6.1 有两种方法求解，一是加载一个载荷步求解一次，另外一种是在每加载一个载荷步，将其写成载荷步文件，等全部载荷步都加载完并写成载荷步文件后，一次性进行求解。本实验将采用的二种方法。

2.1 指定分析类型及分析选项

本实验的分析类型是缩减法瞬态结构动力分析，且要考虑阻尼作用的影响，故在进行分析时阻尼作用不能被忽略。具体操作如下：

1. 选取菜单路径 Main Menu | Analysis Type | Solution | New Analysis，将会弹出 New Analysis (新分析) 对话框，如图 2.18 所示。

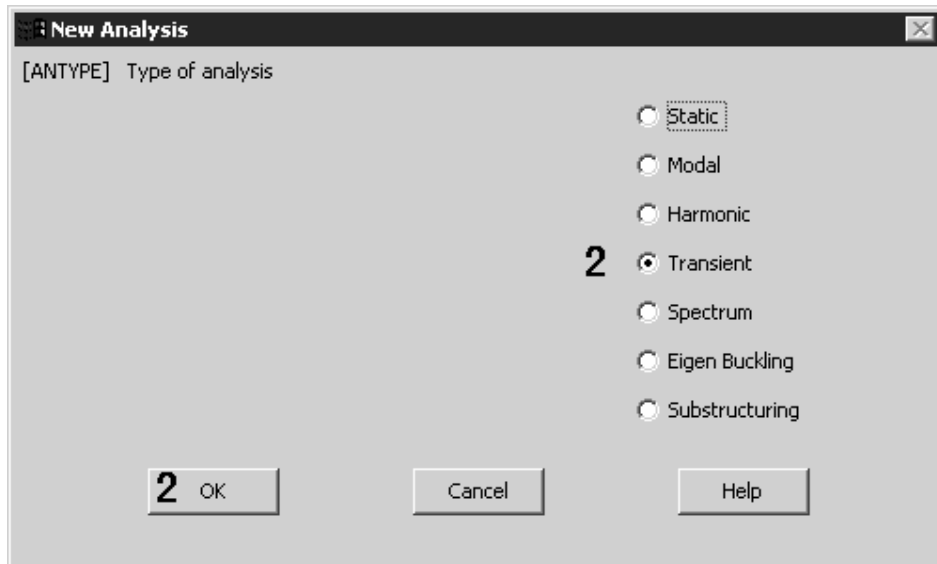
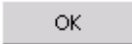


图 2.18 定义分析类型

2. 在弹出的 New Analysis 对话框中，选择 Transient 选项，然后单击  按钮关闭对话框。指定将进行瞬态结构动力分析。ANSYS6.1 将弹出瞬态结构动力分析对话框，如图 2.19 所示。

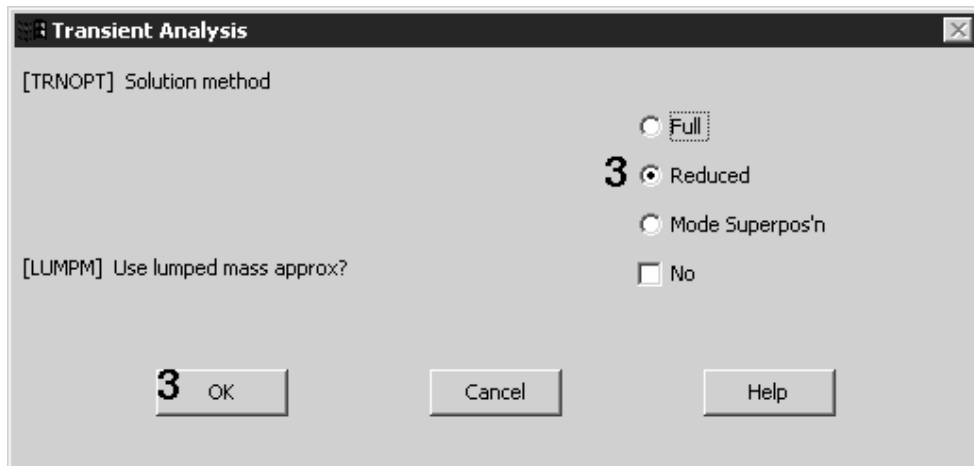
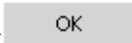


图 2.19 指定为缩减法瞬态分析

3. 在对话框中，单击单选按钮 “Reduced”，指定 Solution method (分析方法) 为 Reduced (缩减法)。单击  按钮关闭对话框。

4. 选取菜单路径 Main Menu | Solution | Analysis Type | Analysis Options，将弹出 Reduced Transient Analysis (缩减法瞬态分析) 选项对话框，如图 2.20 所示。

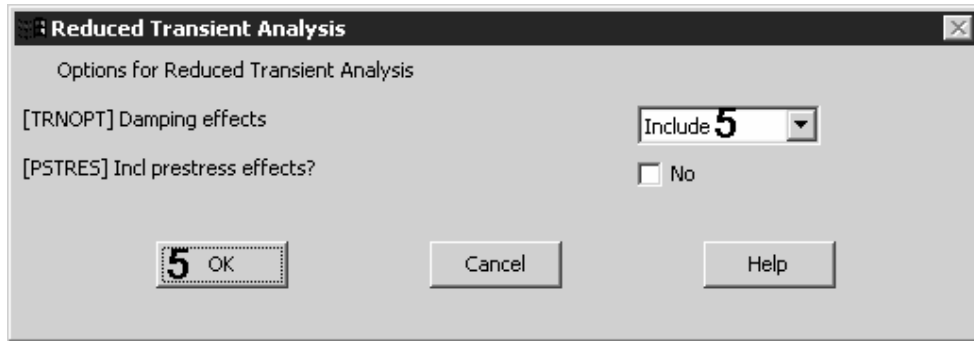


图 2.20 缩减法瞬态分析选项对话框

5. 在对话框中的 **Damping effects** (阻尼效果) 下拉框中单击 “Include” 选项, 使瞬态动力分析中包含阻尼效应, 其余选项保持缺省 (即不包括预应力效应), 单击 **OK** 按钮关闭对话框。

2.2 定义主自由度

在进行缩减法瞬态结构动力分析时需要定义主自由度。所谓主自由度就是描述结构动力行为所必须的自由度。在缩减法瞬态动力分析中施加力载荷和非零位移边界条件的位置也需要定义主自由度。下面来定义本实例需要的主自由度。

1. 选取菜单途径 **Main Menu | Solution | Master DOFs | User Selected | Define**。将弹出 **Define Master DOFs** (定义主自由度) 对话框, 如图 2.21 所示。

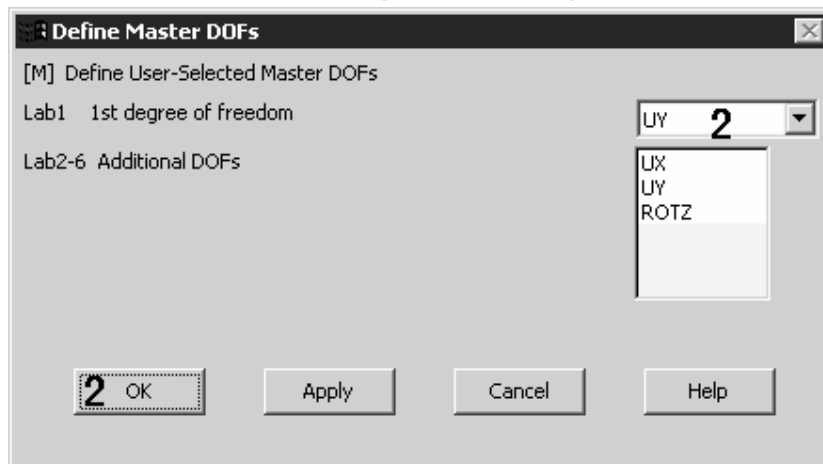


图 2.21 定义主自由度对话框

2. 在对话框中的 **1st degree of freedom** (第一个自由度) 下拉框中, 单击 “UY” 将其选中。然后单击 **OK** 按钮关闭对话框。完成对主自由度的定义。

2.3 定义载荷步选项并求解

实验进行的是缩减法瞬态结构动力分析, 根据描述的载荷情况知道共有三个载荷步。本实例中是采取先逐个定义载荷步, 并将其载荷情况写成载荷文件, 然后一次性求解多个载荷步的方法来求解的。下面是每个载荷步的定义和输出过程, 最后对其进行求解。

2.3.1 设置载荷步选项

在定义载荷步之前, 首先对通用的载荷步选项进行设置。在本实例中需要定义的通用载荷步选项有时间步大小和阻尼。下面讲解具体的操作。

1. 选取菜单路径 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time - Time Step, 将弹出 Time and Time Step Options (时间和时间步选项)对话框, 如图 14.22 所示。

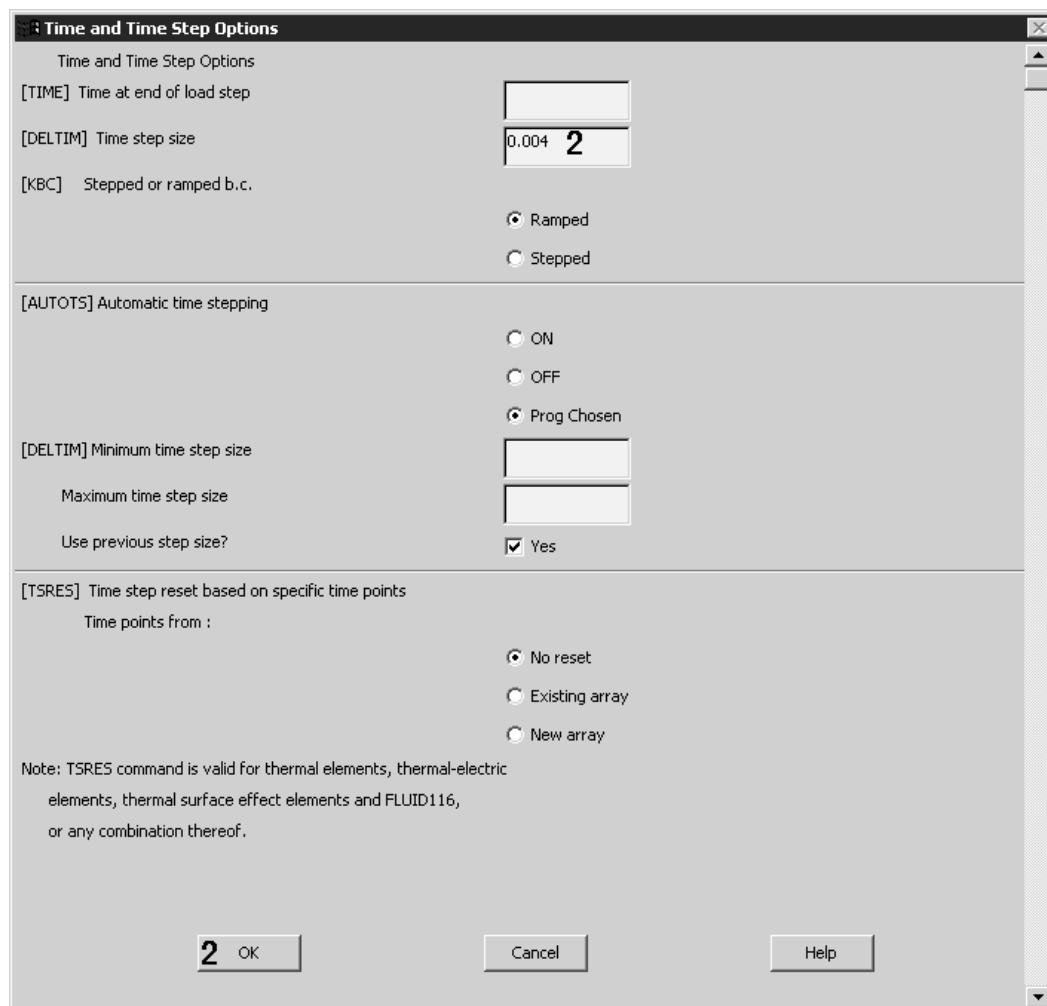
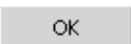


图 2.22 时间和时间步选项对话框

2. 在对话框中的 Time step size (时间步大小)文本框中输入“0.004”, 指定求解的积分时间步长为 0.004 秒。单击  按钮关闭对话框。

3. 选取菜单路径 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Damping, 将弹出 Damping Specifications (阻尼定义)对话框, 如图 2.23 所示。

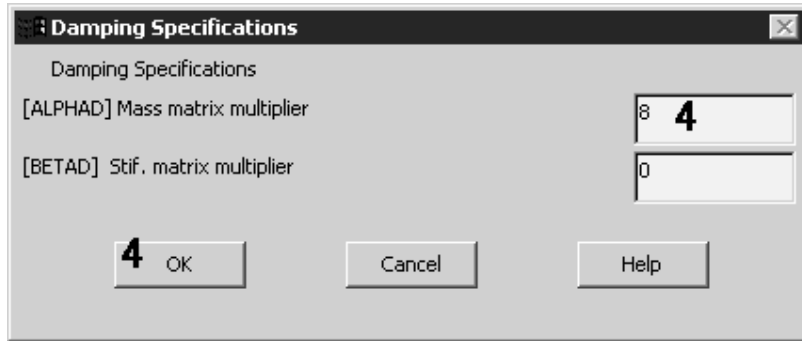


图 2.23 阻尼定义对话框

4. 在阻尼定义对话框中的 Mass matrix multiplier (质量矩阵系数) 文本框中输入“8”，指定本实例结构的质量阻尼系数为 8。

2.3.2 施加第一个载荷步并将其输出

在瞬态结构动力分析中，第一个载荷步主要是定义结构模型的初始条件。本实验中梁的支撑形式是简支的，所以需要定义梁的两个端点的位移约束，并指定集中质量的初始作用力为 0。然后将载荷步输出成第一个载荷步文件，以便后面求解之用。具体的操作过程如下：

1. 选取菜单路径 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Displacement | On Nodes，将会弹出 Apply U, ROT on Nodes 拾取对话框。

2. 在 ANSYS 图形输出窗口中单击节点 1，并在拾取对话框中单击 **Apply** 按钮。将弹出 Apply U, ROT on Nodes (在节点上施加位移约束) 对话框，如图 14.24 所示。

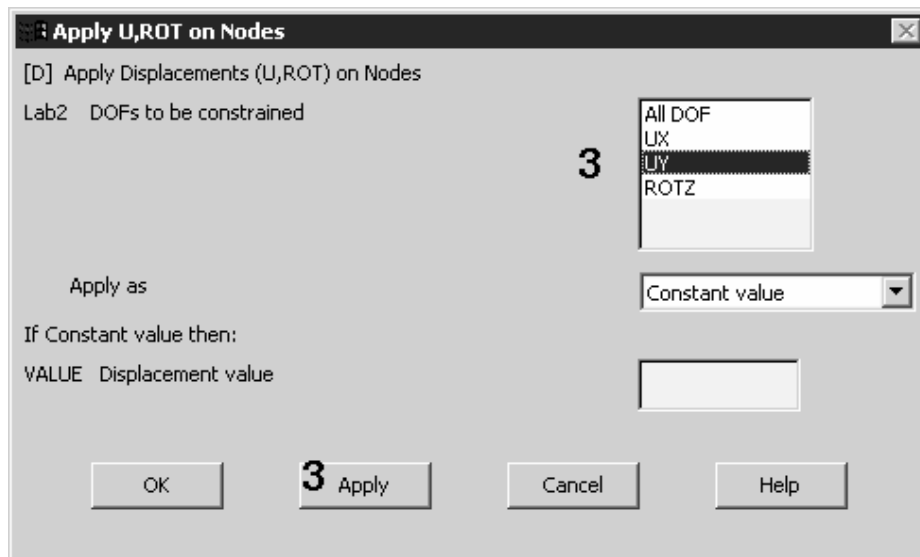
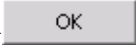
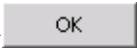


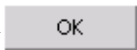
图 2.24 在节点上施加位移约束对话框

3. 在对话框中的 DOFS to be constrained (被约束的自由度) 列表框中的“UY”上单击一次使其高亮度显示。其他选项保持缺省(缺省情况下位移约束值为 0)，单击对话框中的 **Apply** 按钮，关闭 Apply U, ROT on Nodes (在节点上施加位移约束) 对话框，完成对节点一的约束。拾取对话框将再次弹出。

4. 在图形输出窗口中单击节点 3，然后在拾取对话框中单击  按钮，关闭对话框。将再次弹出 Apply U, ROT on Nodes (在节点上施加位移约束)对话框(见图 14.24)。

5. 在对话框中的 DOFS to be constrained (被约束的自由度)列表框中，单击 X 向位移“UX”一次使其高亮度显示，同时“UY”应当保持为选中状态。其他选项保持缺省(缺省情况下位移约束值为 0)。单击  按钮，关闭对话框。完成对梁的位移自由度约束的定义。

6. 施加力载荷。选取菜单路径 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Force/Moment | On Nodes，将会弹出 Apply F/M on Nodes 拾取对话框。

7. 在图形输出窗口中，单击节点 2。然后，单击拾取对话框中的  按钮，将弹出 Apply F/M on Nodes (在节点上施加力/力矩载荷)对话框，如图 2.25 所示。

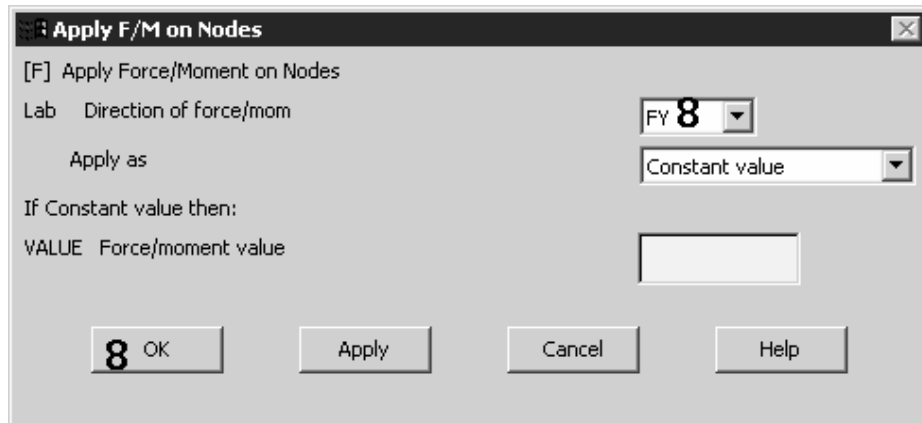


图 2.25 在节点上施加力/力矩载荷对话框

8. 在对话框中的 direction of force/moment (力/力矩的方向)滚动框中的“FY”上单击一次，选定它。保持其余设置为缺省值，即初始力载荷为 0。单击对话框中的  按钮，关闭对话框，完成对集中质量所受的初始载荷的定义。在图形窗口中将会显示定义的位移和力初始条件情况，如图 2.26 所示。

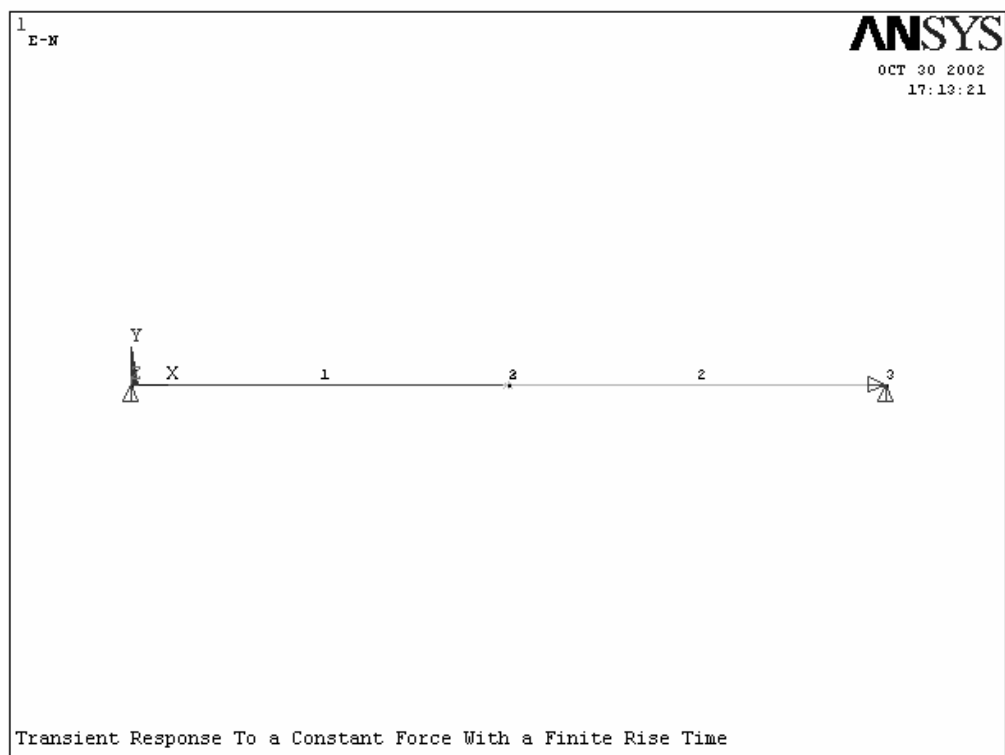


图 2.26 第一载荷步的边界条件

9. 选取菜单路径 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Output Ctrl | DB/Results File, 将弹出 Controls for Database and Results File Writing (数据库和结果文件写入控制)对话框, 如图 2.27 所示。

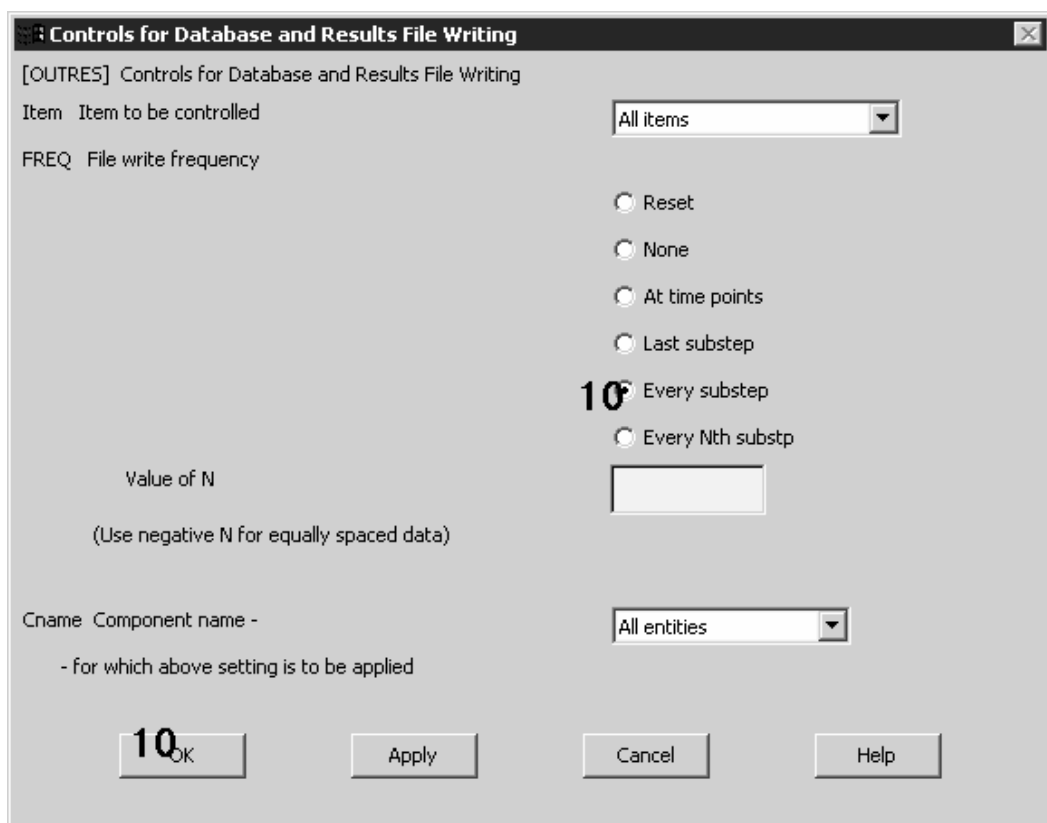


图 2.27 数据库和结果文件写入控制对话框

10. 单击对话框中的单选按钮“Every substep”，指定将所有子步的结果都写入结果文件和数据库文件，其他设置保持缺省值。单击对话框中的  按钮，关闭对话框，完成输出控制设置。

11. 载荷步输出。选取菜单路径 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Write LS File，将弹出 Write Load Step File (载荷步输出)对话框，如图 2.28 所示。

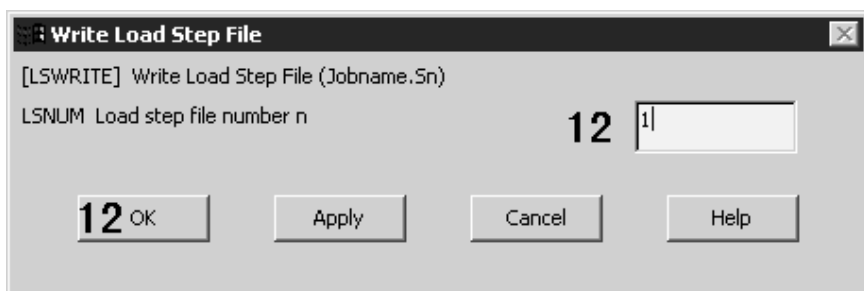
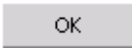


图 2.28 载荷步输出对话框

12. 在对话框中的 Load step file number n (载荷步文件序号)文本框中输入“1”，指定为第一个载荷步。单击对话框中的  按钮关闭对话框。ANSYS 程序将在缺省的文件路径下生成载荷步文件 CH14.s01。其中包括了第一载荷步中定义的所有位移和力边界条件，以及所有求解和结果输出选项设置，在后面进行求解时程序将根据输出的载荷步文件中的设置进行求解。

2.3.3 施加第二个载荷步并输出

本实验中的第二个载荷步按照问题的描述应该是作用于集中质量上的力载荷从零到最大值的增加过程，在定义时按照要求的时间将载荷加上就行。然后将载荷步输出成第二

1. 选取菜单路径 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Freque^{nc} | Time - Time Step，将弹出 Time and Time Step Options (时间和时间步选项)对话框，如图 2.29 所示。

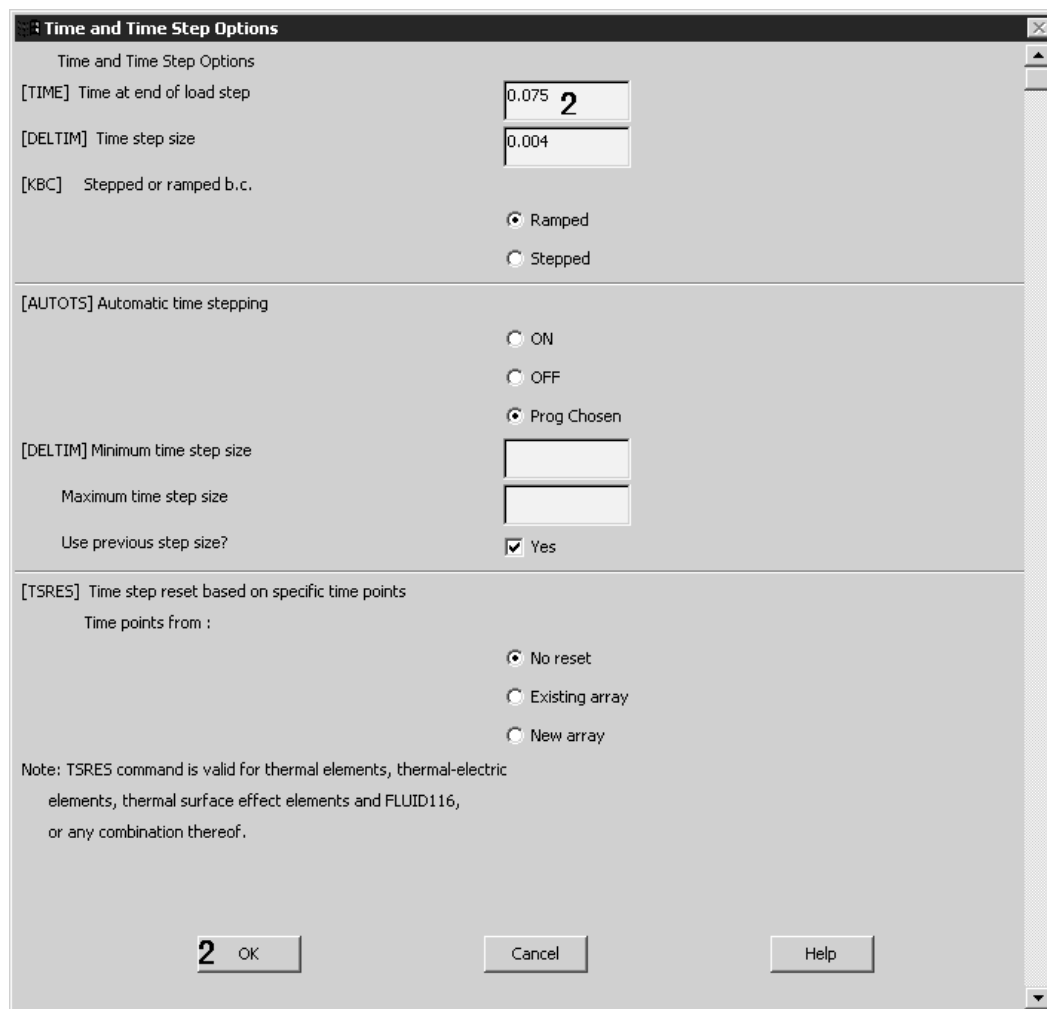
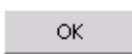
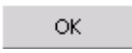


图 2.29 时间和时间步选项对话框

2. 在对话框中的 Time at end of load step (载荷步结束时间)文本框中输入“0.075”，指定第二载荷步的结束时间为 0.075 秒，即集中质量所受的力在 0.075 秒达到最大。其余设置保持缺省值不变。单击对话框中的  按钮关闭对话框，完成时间步的设置。

3. 选取菜单路径 Main Menu | Solution | Define Loads | Apply | Structural | Force/Moment | On Nodes，将会弹出 Apply F/M on Nodes 拾取对话框。

4. 在图形输出窗口中，单击节点 2。然后单击拾取对话框中的  按钮，将弹出 Apply F/M on Nodes (在节点上施加力/力矩载荷)对话框，如图 2.30

所示。

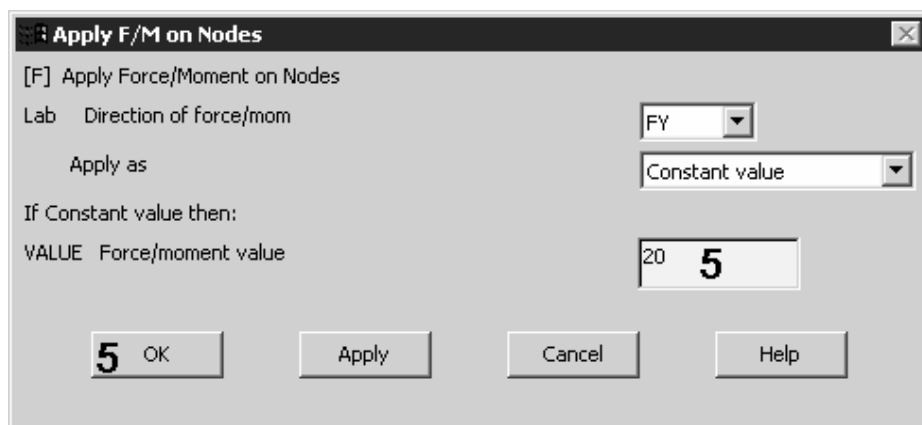
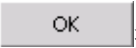


图 2.30 在节点上施加力/力矩载荷对话框

5. 在对话框中的 Force/moment value (力/力矩值) 文本框中输入“20”，指定施加的作用力的大小为 20N。保持其余值为缺省(即：direction of force/moment (力/力矩的方向) 滚动框中为“FY”)。单击对话框中的  按钮，关闭对话框，完成对集中质量所受的初始载荷的定义。

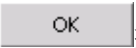
6. 载荷步输出。选取菜单路径 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Write LS File，将弹出载荷步输出对话框。在对话框中的 Load step file number n (载荷步文件序号) 文本框中输入“2”，指定为第二个载荷步。单击对话框中的  按钮关闭对话框。ANSYS 程序将在缺省的文件路径下生成载荷步文件 CH14.s02。

2.3.4 施加第三个载荷步并输出

本实验中的第三个载荷步按照问题的描述应该是作用于集中质量上的力载荷在最大值保持的情况。由于所加的载荷值和第二载荷步相同，所以只需重新定义载荷步时间就可以了，不必再重新施加载荷值(ANSYS6.1 会自动保持上次施加的结果)。在定义时按照要求的时间将载荷加上就行。然后将载荷步输出成第三个载荷步文件，以便后面求解之用。具体的操作过程如下：

1. 选取菜单路径 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Time/Frequenc | Time - Time Step，将弹出 Time and Time Step Options (时间和时间步选项) 对话框，如图 14.29 所示。

2. 在对话框中的 Time at end of load step (载荷步结束时间) 文本框中输入“1”，指定第三载荷步的结束时间为 1 秒，即集中质量所受的力保持在最大值 20N。单击对话框中的  按钮关闭对话框，完成时间步的设置。

3. 载荷步输出。选取菜单路径 Main Menu | Solution | Load Step Opts | Write LS File，将弹出载荷步输出对话框。在对话框中的 Load step file number n (载荷步文件序号) 文本框中输入“3”，指定为第三个载荷步。单击对话框中的  按钮关闭对话框。ANSYS 程序将在缺省的文件路径下生成载荷步文件 CH14.s03。

2.3.5 进行求解

上面已经完成了本实验需要的边界条件和载荷的定义，以及分析选项、载荷步和结果输出选项的设置，并将定义的三个载荷步分别写出成载荷步文件。这里就可以一次性对定义的三个载荷步进行求解，完成梁一集中质量结构在有限上升的恒定载荷作用下的瞬态动力分析。具体操作过程如下。

1. 选择菜单路径 Main Menu | Solution | From LS Files，将弹出 Solve Load Step Files (求解载荷步文件)对话框，如图 2.31 所示。

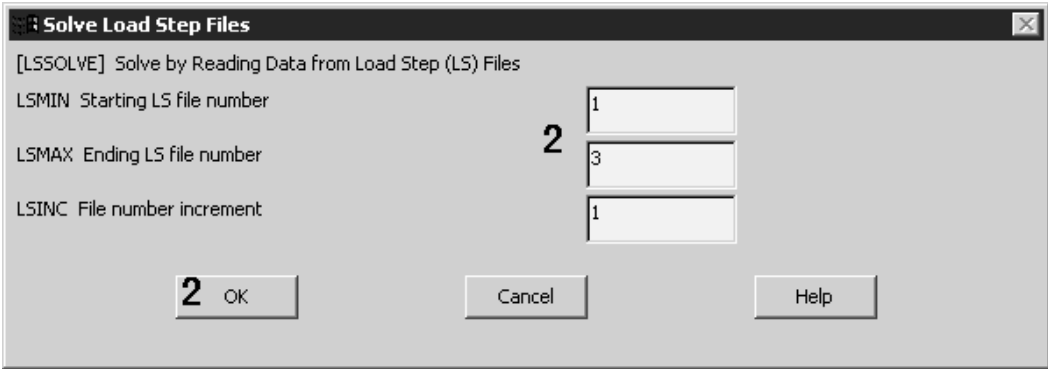
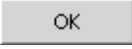
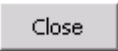


图 2.31 求解载荷步文件对话框

2. 在对话框中的 Starting LS file number (开始载荷步文件序号)文本框中输入“1”，在 Ending LS file number(结束载荷步文件序号)文本框中输入“3”，指定求解的是载荷步文件 1~3。单击对话框中的  按钮关闭对话框，ANSYS6.1 将对指定的载荷步文件进行求解。

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。在求解中间会出现警告信息，不用理会，并不影响求解的进行。当求解完时，ANSYS 弹

出 Solution is done! (求解完成提示)对话框，单击  按钮，完成梁一集中质量系统的瞬态动力分析。

4. 选取菜单 Main Menu | Finish，完成模态分析求解过程，关闭 Solution 菜单。

5. 单击 ANSYS 工具条上的  按钮，对已完成的操作进行存盘。

2.4 观察分析结果

上面完成了缩减法瞬态结构动力分析，下面将进行结果的观察分析。对于缩减法瞬态结构动力分析的结果在没有进行扩展之前，只能用时间—历程后处理器 (POST26)对没有扩展的结果进行观察。如果对某个时间点上的所有自由度处的完整的位移、应力和力感兴趣的话，必须对这个时刻的结果进行扩展处理。扩展处理之后就可以利用通用后处理器(POST1)对某一时刻整个模型上所有节点的结果进行观察。

2.4.1 利用 POST26 观察缩减法结果

首先，通过时间—历程后处理器(POST26)对缩减法瞬态结构分析结果进行观察分析，查看集中质量所在的节点 2 位移随时间变化的规律，并确定其响应达最大值时对应的的时间，以便在后面对该时间点的结果进行扩展。在本书第 11 章结果后处理时使用了变量浏览器，本章将通过菜单来实现所有的操作，以便读者对

这两种方法都能够熟悉。下面讲解详细的操作过程。

1. 选取菜单路径 Main Menu | TimeHist Postpro, 将弹出 Select Results File (选择结果文件)对话框, 如图 2.32 所示。



图 2.32 选择结果文件对话框

2. 单击对话框中的 **取消** 按钮, 关闭对话框。这样时间历程后处理器中的变量浏览器也将不再打开, 如果读者需要的话可通过路径 Main Menu | TimeHist Postpro | Variable Viewer 将其打开。

3. 选择菜单路径 Main Menu | TimeHist Postpro | Settings | File, 将弹出 File Setting (文件设置)对话框, 如图 2.33 所示。

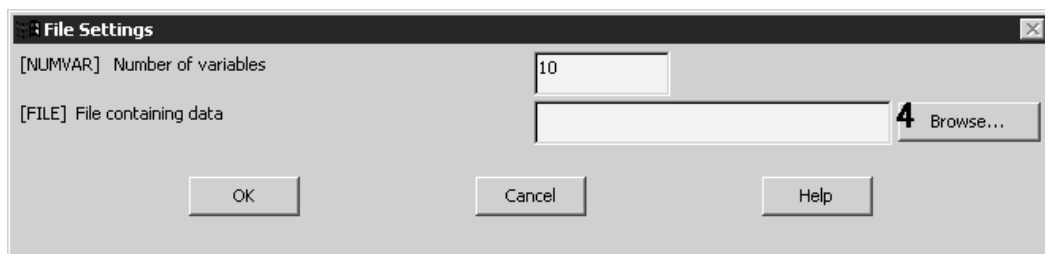


图 2.33 文件设置对话框

4. 在对话框中单击 **Browse...** 按钮, 将弹出指定结果文件的对话框, 在对话框中的文件列表中选择文件 CH14.rdsp, 单击 **打开 (O)** 按钮关闭对话框。在 File Setting (文件设置)对话框中的 File containing data (包含数据的文件) 文本框中将出现 “CH14.rdsp”。然后单击对话框中的 **OK** 按钮关闭对话框。

5. 选择菜单路径 Main Menu | TimeHist Postpro | Define Variables, 将弹出 Defined Time-History Variables (定义时间历程变量)对话框, 如图 2.34

所示。

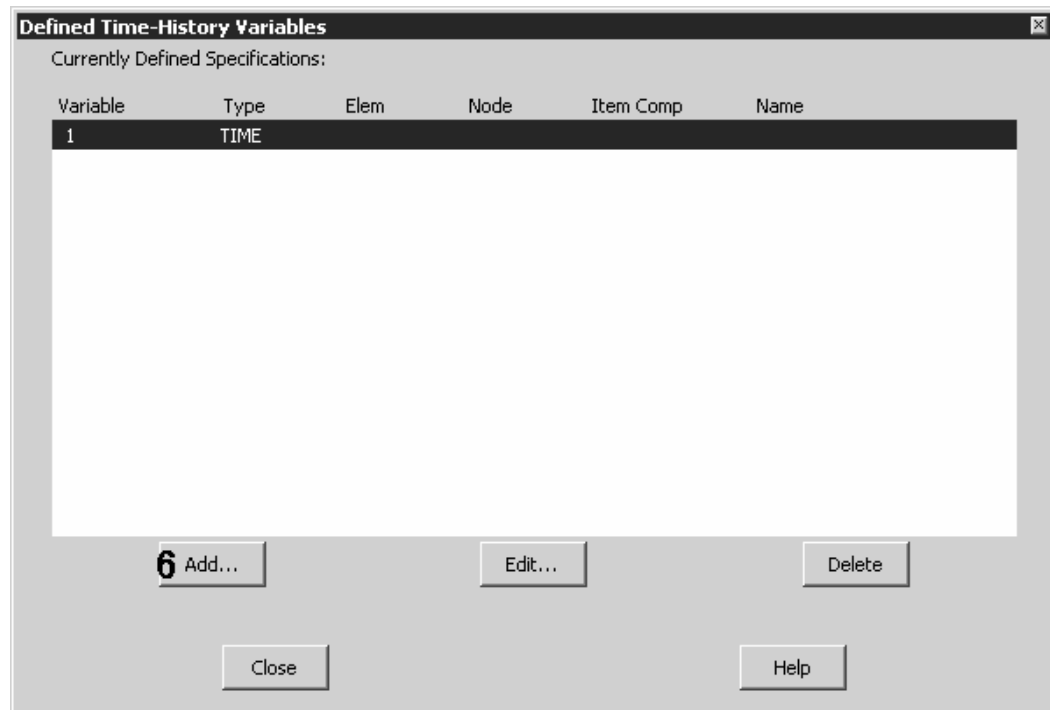


图 2.34 定义时间历程变量对话框

6. 单击对话框中的 **Add...** 按钮，将弹出 Add Time-History Variables (添加时间历程变量)对话框，如图 2.35 所示。

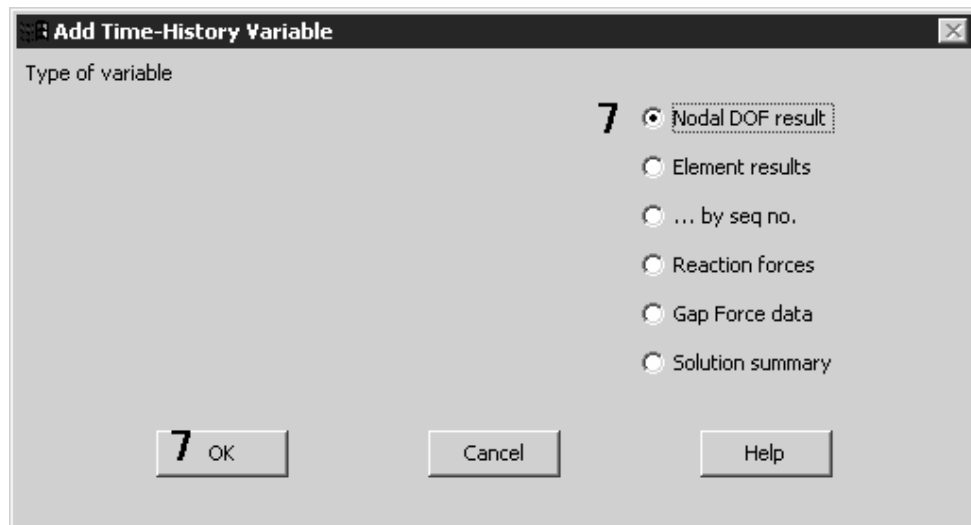


图 2.35 添加时间历程变量对话框

7. 单击对话框中的 **Nodal DOF results** (节点位移结果)单选按钮，指定变量类型为节点位移结果，然后单击 **OK** 按钮关闭对话框。ANSYS6.1 将弹出 Define Nodal Data (定义节点数据)拾取对话框，在图形输出窗口中单击节点 2，然后单击拾取对话框中的 **OK** 按钮。将弹出 Define Nodal Data (定义节

点数据)对话框，如图 2.36 所示。

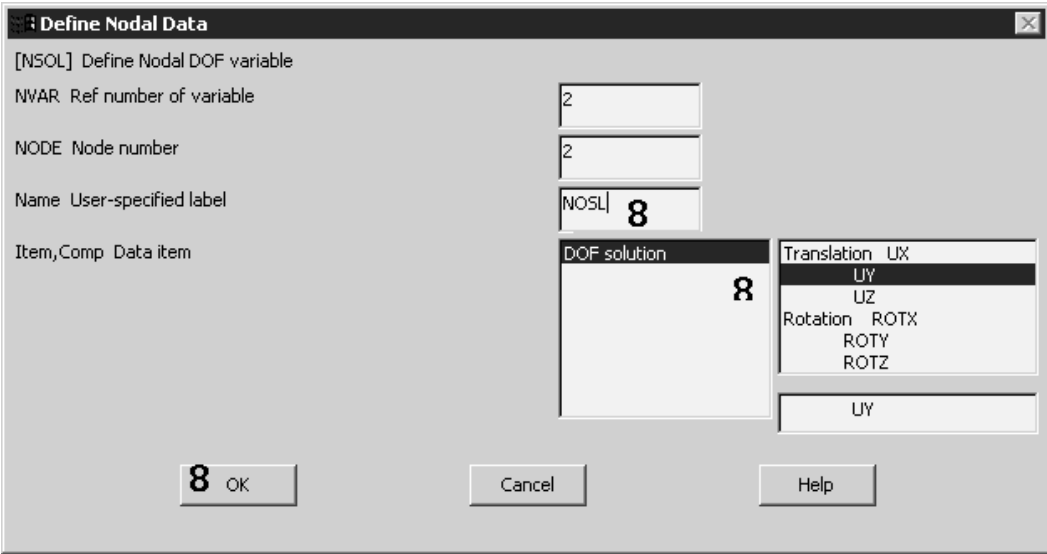
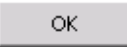
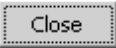


图 2.36 定义节点数据对话框

8. 在对话框中的 **User-specified label** (用户指定标签)文本框中输入“NOSL”,单击 **Comp Data item** (数据项目选项)右边列表框中的“Translation UY”,指定为沿 Y 方向的位移为变量。单击  按钮关闭对话框，在定义时间历程变量对话框中将会出现定义的变量。单击  按钮关闭该对话框，完成变量的定义。

9. 选择菜单路径 **Main Menu | TimeHist Postpro | Graph Variables**。将弹出 **Graph Time-History Variables** (绘制时间—历程变量曲线)对话框，如图 2.37 所示。

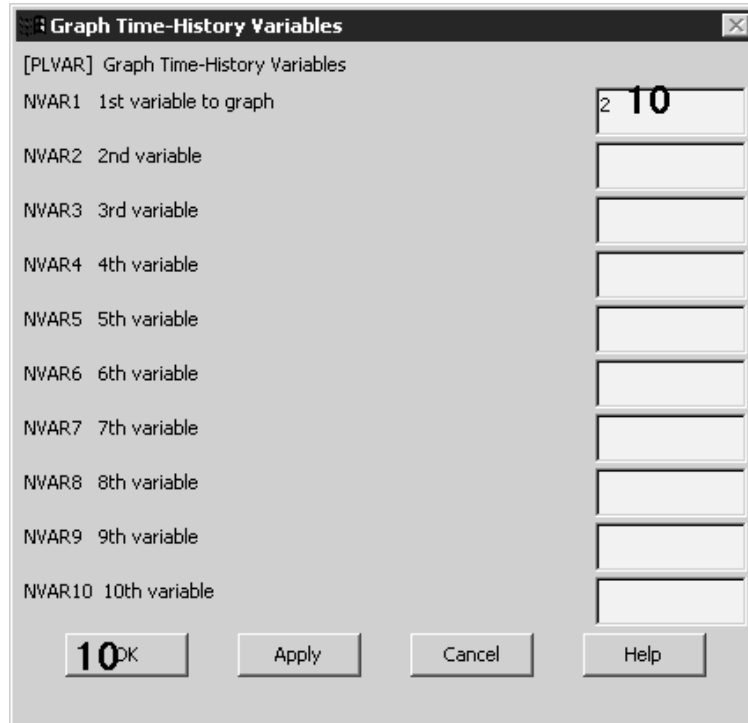


图 2.37 绘制时间历程变量曲线对话框

10. 在对话框中 **1st variable to graph** (要绘制曲线的第一个变量) 文本框中输入“2”，指定刚定义的节点 2 的 Y 方向的位移为绘图对象，单击按钮关闭对话框。在 ANSYS 图形输出窗口中将会绘制出相应的位移—时间曲线，如图 2.38 所示。从显示的曲线可以看出节点 2 在 0.092 秒时达到最大响应值。然后，由于所施加的载荷保持恒定，节点 2 将在某一平衡位置附近振动。但由于有阻尼的作用振动幅值将越来越小，最后将稳定在这个平衡位置上。后面将对 0.092 秒时刻的结果进行扩展处理，来观察最大响应时刻的所有节点对应的响应情况。

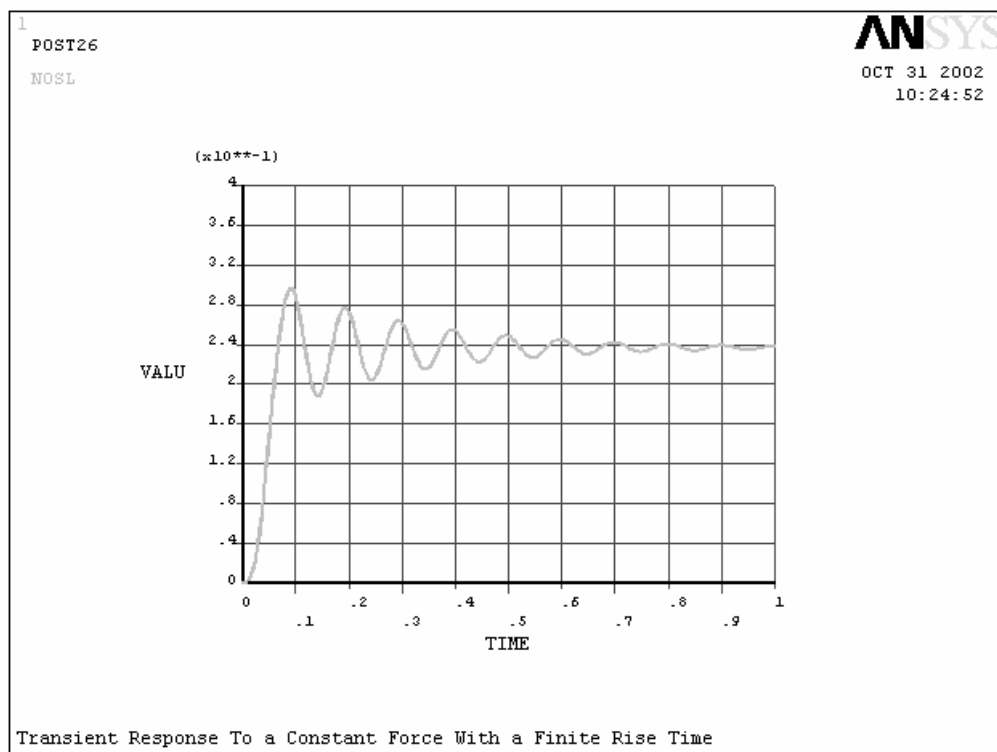


图 2.38 节点 2 的 Y 方向的位移—时间曲线

11. 选取菜单路径 Main Menu | TimeHist Postpro | List Variables, 将会弹出 List Time-History Variables (对时间历程变量列表)对话框, 如图 2.39 所示。

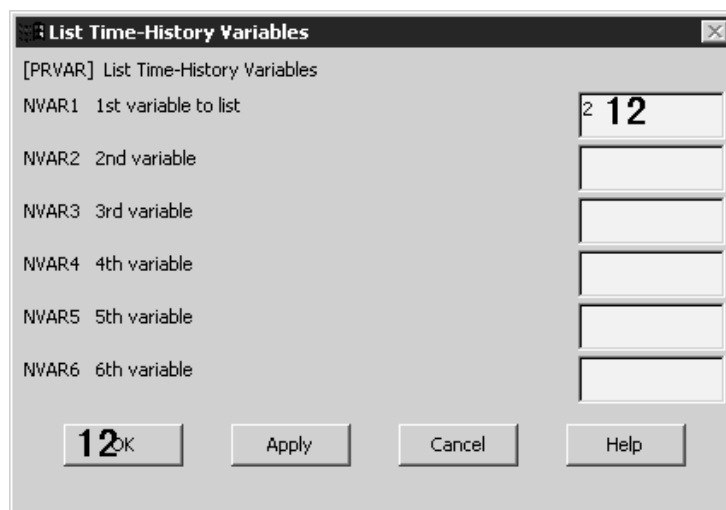
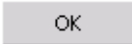


图 2.39 对时间历程变量列表对话框

12. 在对话框中的 1st variable to list (要列表的第一个变量)文本框中输入“2”, 指定变量 2 为列表对象, 单击对话框中的  按钮关闭对话框。将会弹出变量 2 的 PRVAR Command (信息列表)窗口, 如图 2.40 所示。

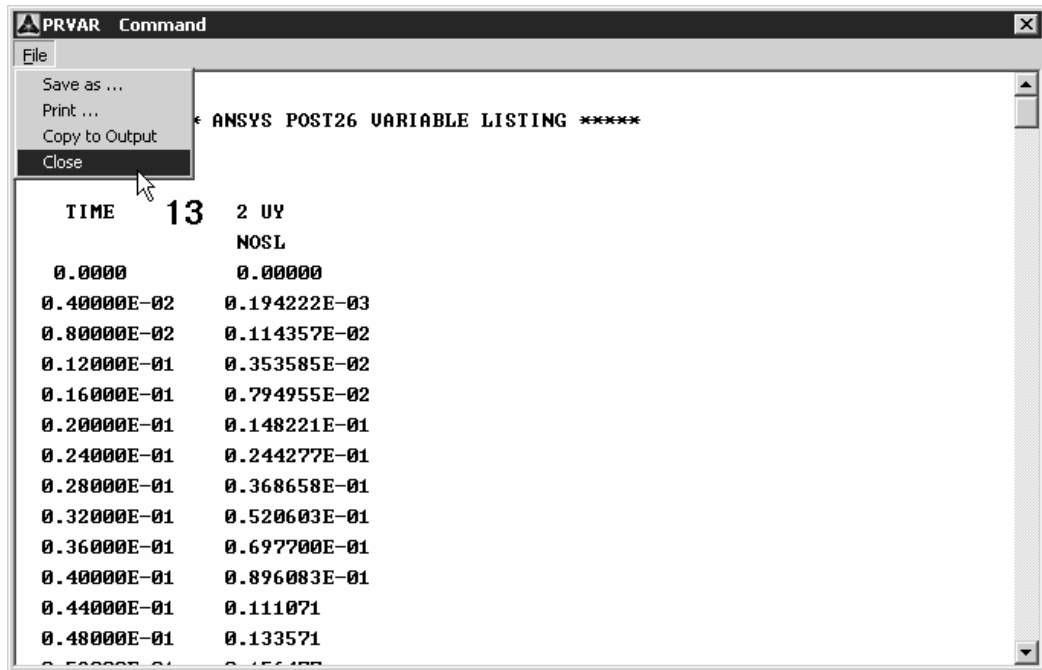


图 2.40 变量 2 的列表显示

13. 检查状态窗口中的信息，然后选择窗口中的菜单路径 Utility Menu | File | Close，关闭状态窗口。

14.4.2 扩展处理

对于缩减法瞬态结构分析的结果，如果想要观察某时刻所有节点的响应情况，必须对该时刻的结果进行扩展处理。下面将进行扩展处理的具体操作。

1. 选取菜单路径 Main Menu | Analysis Type | Solution | ExpansionPass，将会弹出 Expansion Pass (扩展处理)对话框，如图 2.41 所示。

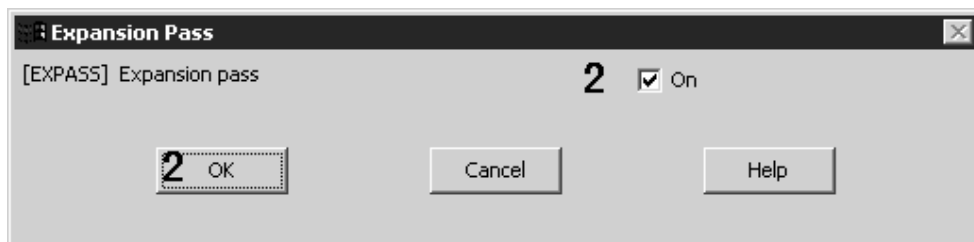


图 2.41 扩展处理对话框

2. 单击对话框中的 Expansion pass (扩展处理)单选框，使其变为“On”，指定进行扩展处理。然后单击  按钮关闭对话框。

3. 选取菜单路径 Main Menu | Solution | Load Step Opts | ExpansionPass | Single Expand | By Time/Freq Step，将弹出 Expand Single Solution by Time/Frequency (根据时间扩展单个解)对话框，如图 2.42 所示

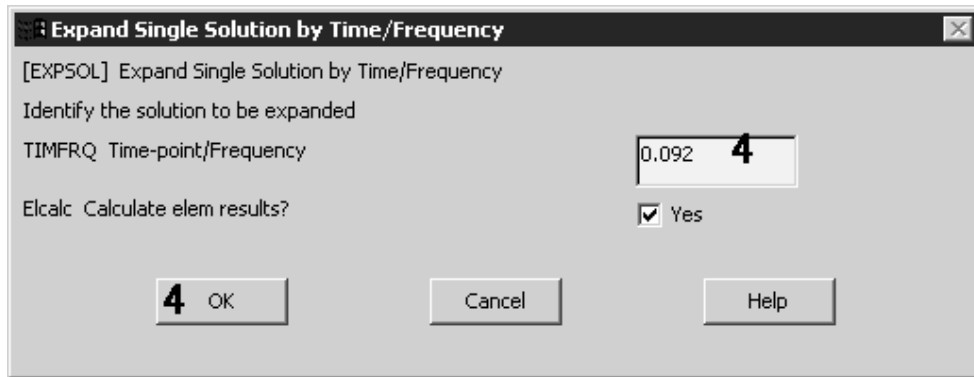
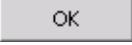
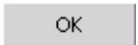


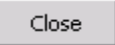
图 2.42 根据时间扩展单个解对话框

4. 在对话框中的 Time-point/Frequency (时间点) 文本框中输入 “0.092”，因为从前面的结果知道在 0.092 秒时系统的响应达最大。因此将对该时刻的结果进行扩展处理，来观察该时刻时所有节点的响应情况。其余设置保持缺省，即求解单元结果。单击  按钮关闭对话框。

5. 选取菜单路径 Main Menu | Solution | Solve | 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(图略)。

6. 仔细检查求解命令状态输出窗口中列出的命令情况，看指定的分析类型、载荷步选项，结果输出选项等是否跟要求的一致。如果符合分析要求，进行下一步操作。如果有不符合要求的地方，则放弃本次分析，回到相应菜单对其进行修改。选取菜单路径 Utility Menu | File | Close 关闭窗口。

7. 单击 Solve Current Load Step (求解当前载荷步) 对话框中的  按钮，进行扩展处理求解。

8. 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 将弹出求解完成提示 “Solution is done” 对话框，单击  按钮，结束分析。

2.4.3 利用 POST1 观察结果

在完成了对 0.092 秒时的结果扩展处理之后，就可以利用通用后处理器 (POST1) 观察求解整个系统中所有节点在该时刻的响应情况了。对于梁单元中的应力必须通过定义变量表来观察和列表结果，所以必须定义数据表。下面进行通用后处理操作的详细讲解。

1. 选取菜单路径 Main Menu | General Postproc | Read Results | First Set, 选定求解的第一个子步结果。然后选取菜单路径 Main Menu | General Postproc | Plot Results | Deformed Shape, 将弹出 Plot Deformed Shape (绘制变形图) 对话框，如图 2.43 所示。

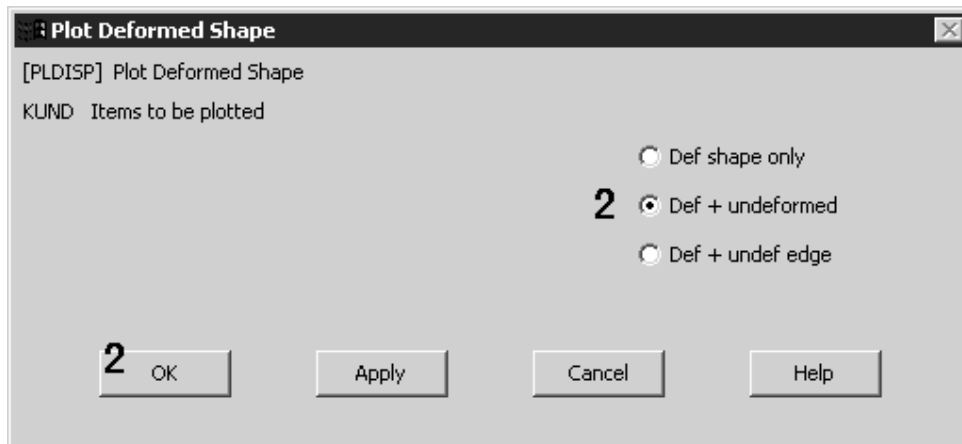


图 2.43 弹出绘制变形图对话框

2. 单击对话框中的绘图项目中的 **Def + undeformed** (变形和未变形) 单选按钮，然后单击 **OK** 按钮关闭对话框，ANSYS6.1 将在图形输出窗口中绘制出，结构系统在 0.092 秒时的总的变形图，如图 2.44 所示。从图中可以看出系统的最大响应点在集中质量点处，其最大值为 $DMX=0.297107mm$ 。

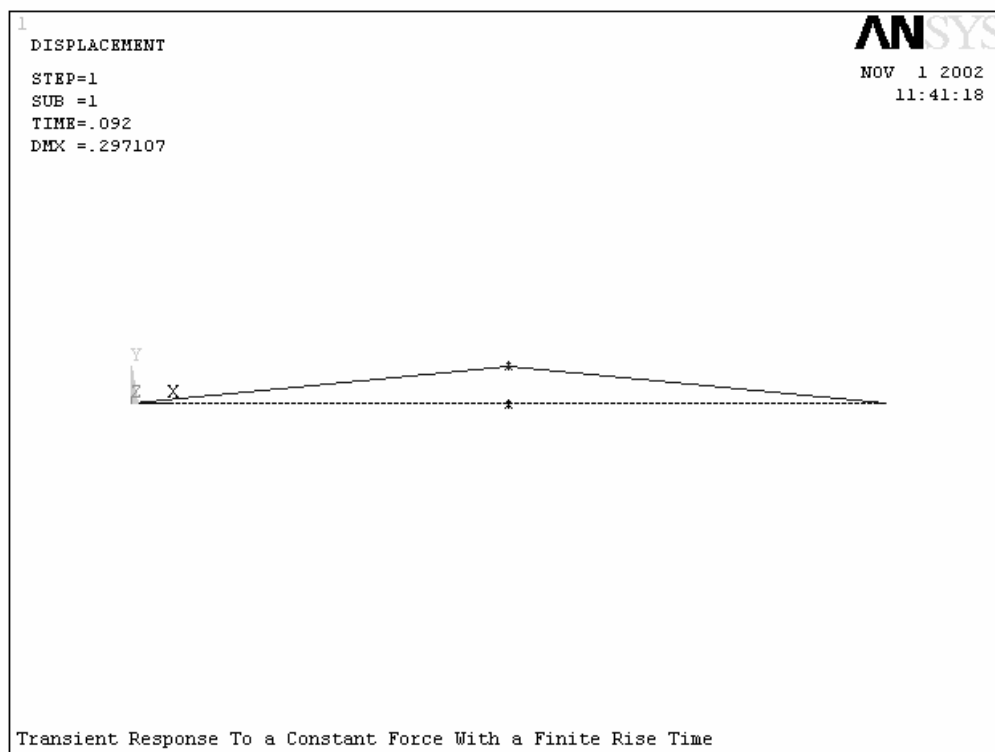
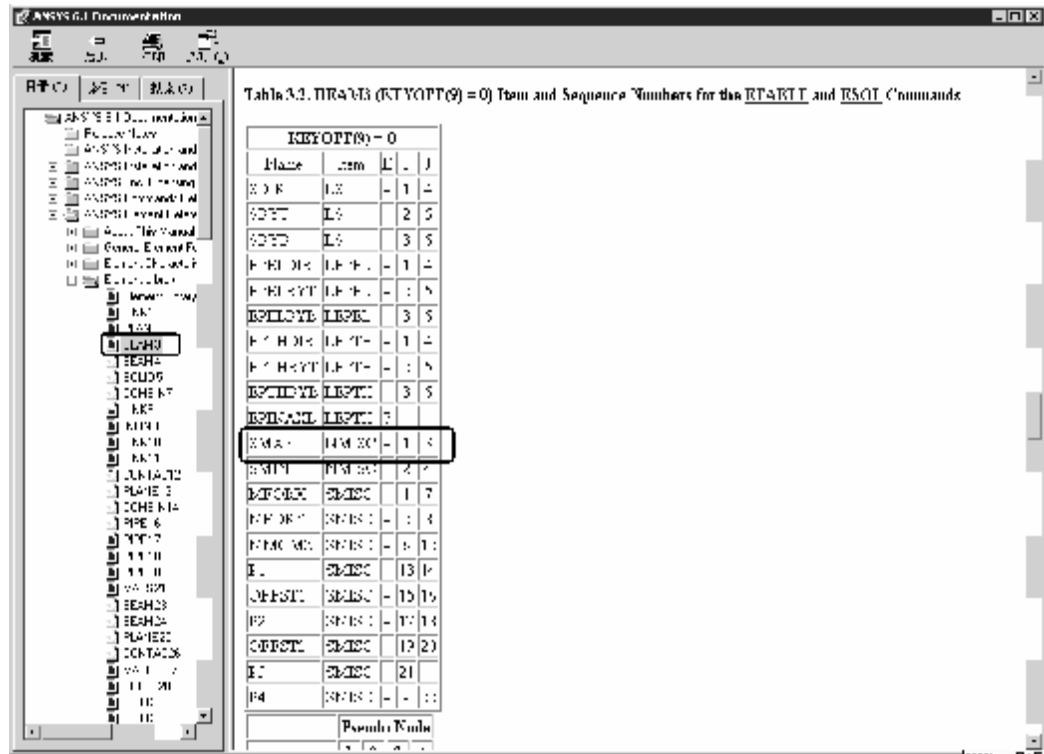


图 2.44 彩色云图显示结果对话框

3. 查看定义 BEAM3 的单元表所用的项目名称以及对应的序列号。对于每一种单元类型 ANSY 都提供了表示其特征的项目以及相对应的序列号，所以在定义单元表之前需要查看需要定义的单元类型中要定义表的项目的名称以及其对应的序号。通过路径 **Utility Menu | Help Topic** 打开 ANSYS 提供的帮助窗口，如

图 2.45 所示。



The screenshot shows the ANSYS 6.1 Documentation window. On the left is a tree view of the documentation structure, with 'ANSYS 6.1 Documentation' expanded. The right pane displays 'Table 3.1. BEAM3 (KEYOPT(9) = 0) Item and Sequence Numbers for the TABLE and ESOL Commands'. The table lists various parameters for the BEAM3 element, including material properties, geometric properties, and boundary conditions. The 'NAME' column lists the parameter names, and the 'ITEM' column lists the sequence numbers. The 'ITEM' column is highlighted in blue.

NAME	ITEM	ITEM	ITEM
EX	1	1	1
EX	2	2	2
EX	3	3	3
EX	4	4	4
EX	5	5	5
EX	6	6	6
EX	7	7	7
EX	8	8	8
EX	9	9	9
EX	10	10	10
EX	11	11	11
EX	12	12	12
EX	13	13	13
EX	14	14	14
EX	15	15	15
EX	16	16	16
EX	17	17	17
EX	18	18	18
EX	19	19	19
EX	20	20	20
EX	21	21	21
EX	22	22	22
EX	23	23	23
EX	24	24	24
EX	25	25	25
EX	26	26	26
EX	27	27	27
EX	28	28	28
EX	29	29	29
EX	30	30	30
EX	31	31	31
EX	32	32	32
EX	33	33	33
EX	34	34	34
EX	35	35	35
EX	36	36	36
EX	37	37	37
EX	38	38	38
EX	39	39	39
EX	40	40	40
EX	41	41	41
EX	42	42	42
EX	43	43	43
EX	44	44	44
EX	45	45	45
EX	46	46	46
EX	47	47	47
EX	48	48	48
EX	49	49	49
EX	50	50	50
EX	51	51	51
EX	52	52	52
EX	53	53	53
EX	54	54	54
EX	55	55	55
EX	56	56	56
EX	57	57	57
EX	58	58	58
EX	59	59	59
EX	60	60	60
EX	61	61	61
EX	62	62	62
EX	63	63	63
EX	64	64	64
EX	65	65	65
EX	66	66	66
EX	67	67	67
EX	68	68	68
EX	69	69	69
EX	70	70	70
EX	71	71	71
EX	72	72	72
EX	73	73	73
EX	74	74	74
EX	75	75	75
EX	76	76	76
EX	77	77	77
EX	78	78	78
EX	79	79	79
EX	80	80	80
EX	81	81	81
EX	82	82	82
EX	83	83	83
EX	84	84	84
EX	85	85	85
EX	86	86	86
EX	87	87	87
EX	88	88	88
EX	89	89	89
EX	90	90	90
EX	91	91	91
EX	92	92	92
EX	93	93	93
EX	94	94	94
EX	95	95	95
EX	96	96	96
EX	97	97	97
EX	98	98	98
EX	99	99	99
EX	100	100	100

图 2.45 查看 BEAM3 的属性

4. 在帮助窗口中的目录选项卡下选择菜单路径 ANSYS6.1 Documentation | ANSYS Element Reference | Element Library | BEAM3, 在窗口的右边将显示出梁单元 BEAM3 的属性。通过滚动条移动窗口中的内容到如图 14.45 所示的地方, 可以看出最大弯曲应力对应的项目名为 “NMISC”, 相应的序号为 1、3。将帮助窗口最小化, 重新进入 ANSYS 主窗口。
5. 选择菜单路径 Main Menu | General Postproc | Element Table | Define Table, 将弹出 Element Table Data (定义单元表)对话框, 如图 2.46 所示。



图 2.46 定义单元表对话框

6. 单击对话框中的 **Add...** 按钮添加定义的数据，将弹出 Define Additional Element Table Items (定义附加单元表)对话框，如图 2.47 所示。

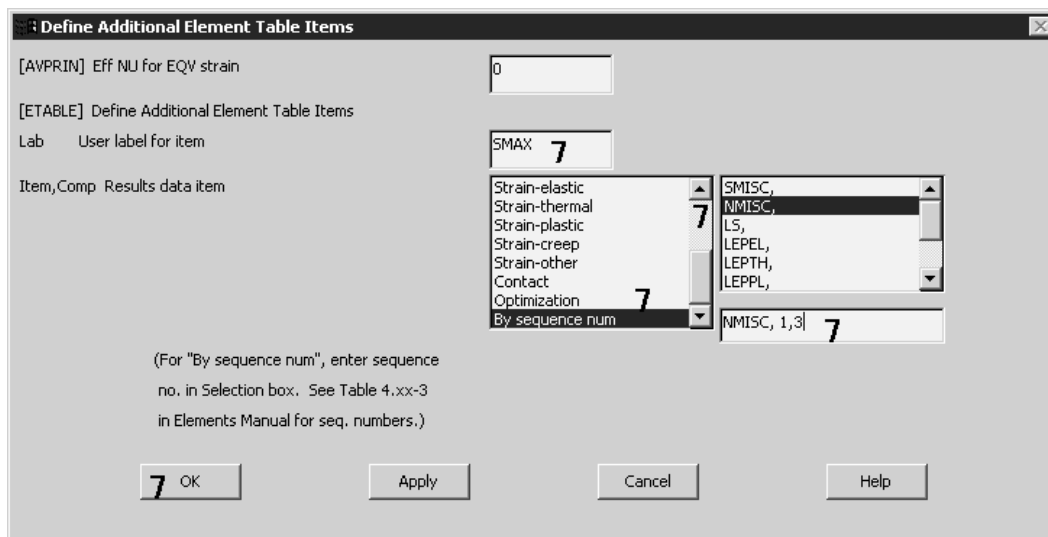
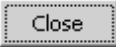


图 2.47 定义附加单元表对话框

7. 根据前面查得的单元 BEAM3 的属性来进行单元表的定义。在用户指定标签(User label for item)文本框中输入“SMAX”，滚动 Comp Results data item (结果数据选项)左边列表框中的数据，然后单击“By sequence num”使其高亮显示。在右边列表框中单击“NMISC”选定它，然后在其下面的文本框中输入“NMISC, 1, 3”。指定所定义的表为单元 BEAM3 的最大弯曲应力。单击 **OK**

按钮关闭对话框，完成单元表的定义。在单元表数据对话框中将会列出刚定义的数据，单击对话框中的  按钮关闭对话框。

8. 选择菜单路径 Main Menu | General Postproc | Element Table | List Element Table，将弹出 List Element Table Data (单元表数据列表)对话框，如图 2.48 所示。

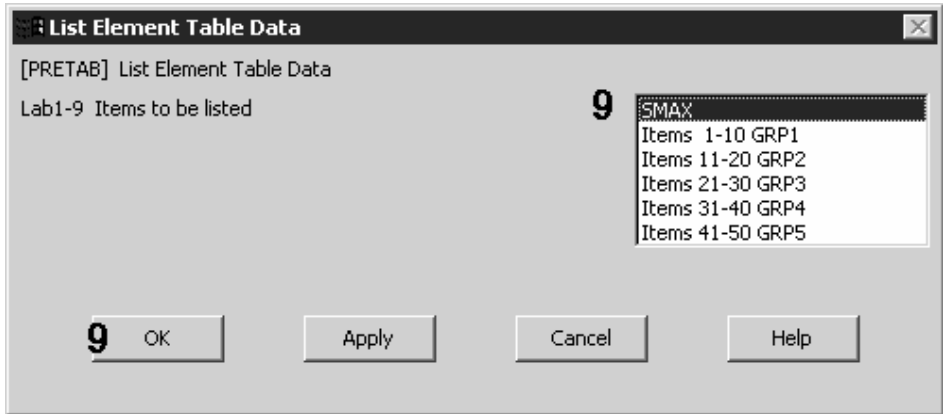
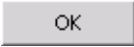


图 2.48 单元表数据列表对话框

9. 单击 Items to be listed (要列表项目)列表框中的“SMAX”，使其高亮度显示。选定对刚定义的单元表进行列表显示，结果如图 2.49 所示。单击  按钮关闭对话框。

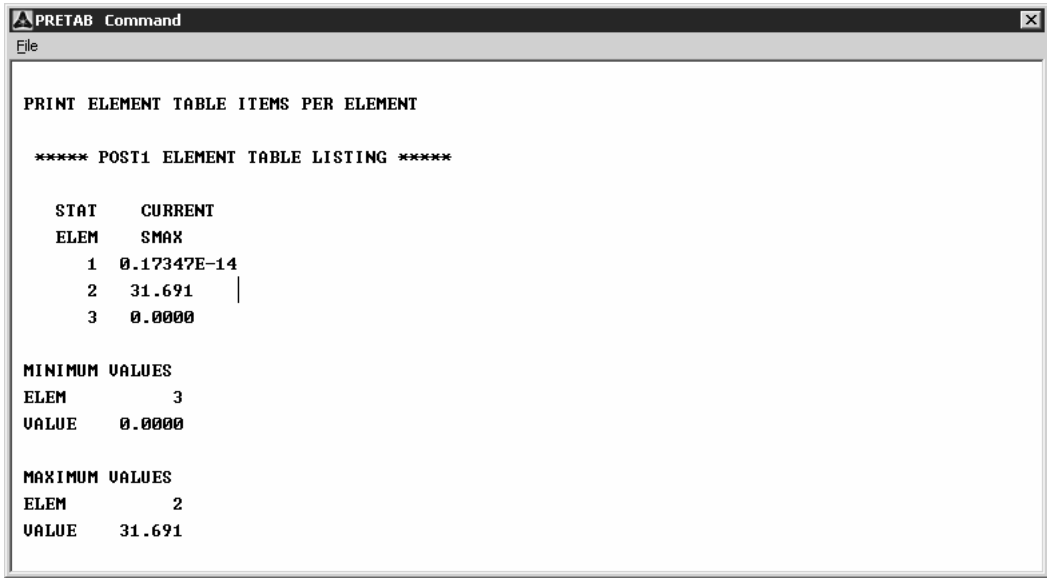


图 2.49 单元数据表的列表显示

10. 仔细观察对话框中的结果信息，然后关闭对话框。从对话框中可以看出最大的弯曲应力为 31.691Mp。

11. 选择菜单路径 Main Menu | General Postproc | Element Table | Plot Elem Table，将弹出 Contour Plot of Element Table Data (云图显示单元表数据)对话框，如图 2.50 所示。

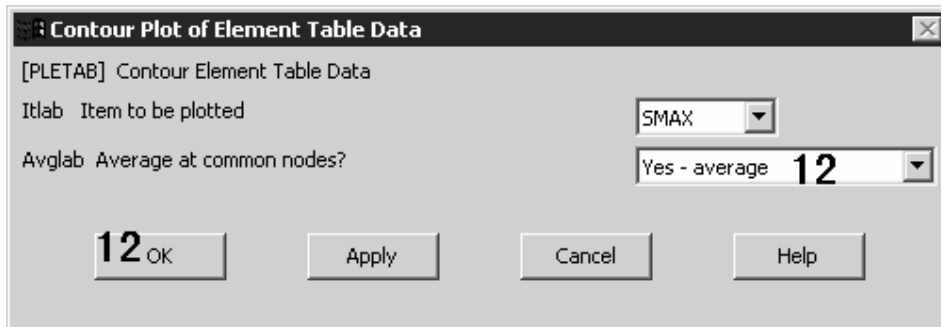


图 2.50 云图显示单元表数据对话框

12. 单击对话框中的 **Average at common nodes?** (在公共节点平均) 下拉框中的 “Yes-average”，然后单击 **OK** 按钮关闭对话框。在 ANSYS 图形输出窗口中将会显示出 0.092 秒时刻系统中的弯曲应力情况，如图 14.51 所示。从图中可以看出梁中间应力最大，两端最小，最大弯曲应力值为 31.691Mp。

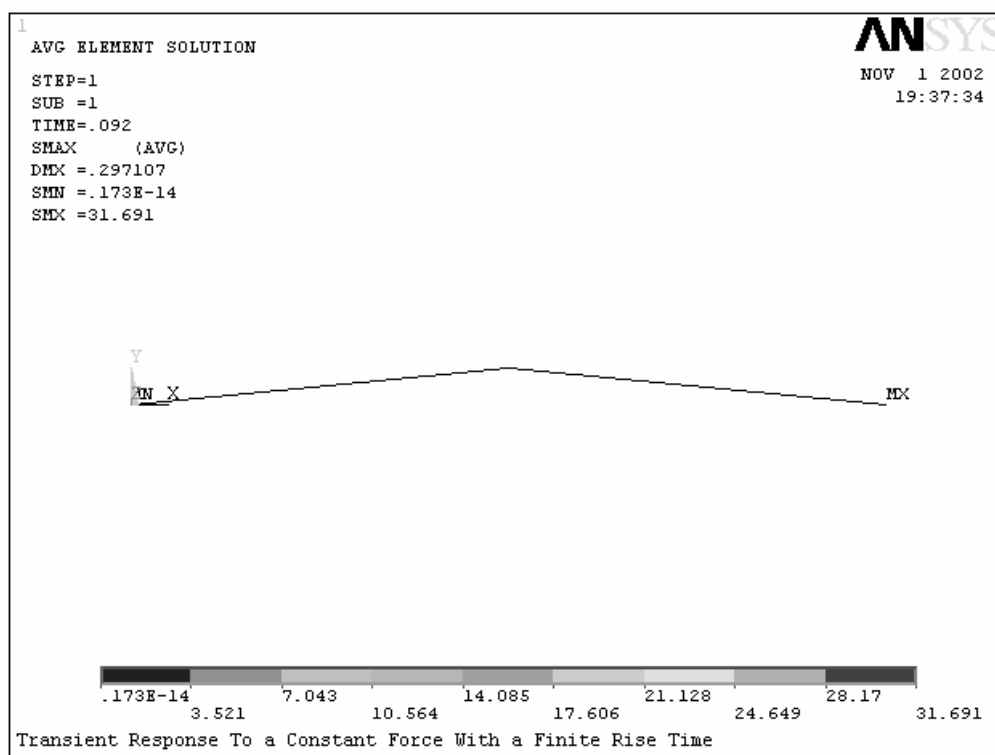


图 2.51 单元表数据的云图显示结果

如果读者对本实例中的其它时刻，或其它的结果信息感兴趣的话，读者可以自己根据同样的方法对其进行扩展处理和定义单元表的进行观察，这里就不再介绍。在 ANSYS Toolbar 工具条中单击按钮。将弹出 **Exit from ANSYS** (退出 ANSYS) 对话框，单击按钮，退出 ANSYS。

14.5 命令流输入

可用下面的 ANSYS 命令流替代 GUI 选择方式来进行本实例的模式叠加法谐响应分析工作，以感叹号(!)开头的条目是注释行。

!* 下面进行建模和加载操作

```
/PREP7
/TITLE,Transient Response To a Constant Force With a Finite Rise Time
ET,1,BEAM3 ! 定义二维梁单元
ET,2,MASS21,,,4 ! 定义二维质量单元
R,1,1,800.6,18 ! 定义梁单元实常数
R,2,.0215 ! 定义质量单元实常数
MP,EX,1,2.E5 ! 材料属性
N,1 ! 创建节点
N,3,450
FILL
E,1,2 ! 创建单元

EGEN,2,1,1
TYPE,2
REAL,2
E,2
FINISH
!
/SOLU ! 开始指定分析类型并求解
ANTYPE,TRANS ! 指定分析类型为瞬态动力分析
TRNOPT,REDUC,,DAMP ! 分析方法为缩减法,并考虑阻尼效应
M,2,UY ! 定义主自由度
DELTIM,.004
ALPHAD,8, ! 指定质量阻尼
D,1,UY ! 施加位移约束
D,3,UX,,,,,UY
OUTPR,BASIC,1 ! 输出结果控制选项定义
OUTRES,ALL,1
F,2,FY,0
LSWR,1 ! 写出第一个载荷步文件
!
TIME,.075 ! 指定第二个载荷步结束时间
F,2,FY,20
LSWR,2 ! 写出第二个载荷步文件
!
TIME,1
LSWR,3 ! 写出第三个载荷步文件
LSSOLVE,1,3 ! 对载荷步 1~3 进行求解
FINISH
/POST26 ! 进入时间历程后处理器
NUMVAR,0
FILE,,RDSP
NSOL,2,2,U,Y,NSOL ! 定义变量
PLVAR,2
```

```
PRVAR,2
FINISH
! 进行扩展处理
/SOLU
EXPASS,ON

EXPSOL,,,0.092 ! 指定扩展处理的时间
SOLVE
FINISH
!
/POST1 ! 进入通用后处理器
SET,FIRST
PLDISP,1
ETABLE,SMAX,NMISC,1,3 ! 定义单元表
PRETAB,SMAX
PLETAB,SMAX,AVG
FINISH
```

(五) 实验结果的处理

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。