

几何非线性分析

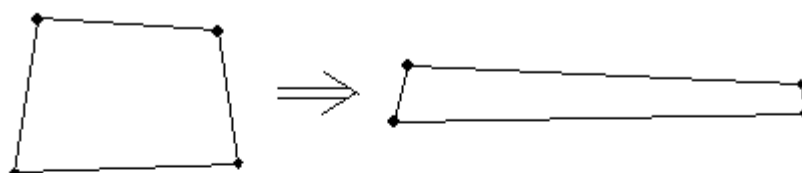
随着位移增长，一个有限单元已移动的坐标可以以多种方式改变结构的刚度。一般来说这类问题总是是非线性的，需要进行迭代获得一个有效的解。

大应变效应

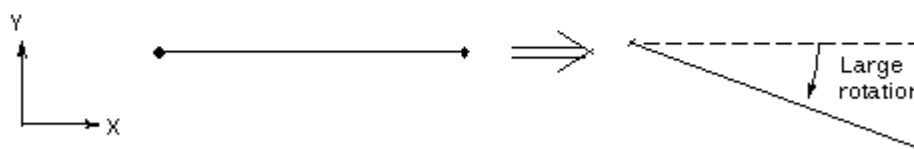
一个结构的总刚度依赖于它的组成部件（单元）的方向和单刚。当一个单元的结点经历位移后，那个单元对总体结构刚度的贡献可以以两种方式改变。首先，如果这个单元的形状改变，它的单元刚度将改变。（看图 2-1(a)）。其次，如果这个单元的取向改变，它的局部刚度转化到全局部件的变换也将改变。（看图 2-1(b)）。小的变形和小的应变分析假定位移小到 足够使所得到的刚度改变无足轻重。这种刚度不变假定意味着使用基于最初几何形状的结构刚度的一次迭代足以计算出小变形分析中的位移。（什么时候使用“小”变形和应变依赖于特定分析中要求的精度等级。

大应变与小应变分析的界定

相反，大应变分析说明由单元的形状和取向改变导致的刚度改变。因为刚度受位移影响，且反之亦然，所以在在大应变分析中需要迭代求解来得到正确的位移。通过发出 NLGEOM, ON (GUI 路径 Main Menu>Solution>Analysis Options)，来激活 大应变效应。这效应改变单元的形状和取向，且还随单元转动表面载荷。（集中载荷和惯性载荷保持它们最初的方向。）在大多数实体单元（包括所有的大应变和超弹性单元），以及部分的壳单元中大应变特性是可用的。在 ANSYS/Linear Plus 程序中大应变效应是不可用的。



(a) 大应变能影响局部（单元）刚度



(b) 大转动能影响单元刚度对总体刚度的贡献

图 1-11 大应变和大转动

大应变处理对一个单元经历的总旋度或应变没有理论限制。（某些 ANSYS 单元类型将受到总应变的实际限制 参看下面。）然而，应限制应变增量以保持精度。因此，总载荷应当被分成几个较小的步，这可以（NSUBST, DELTIM, AUTOTS），通过 GUI 路径 Main Menu>Solution>Time/Prequent）。无论何时当系统是非保守系统，来自动实现如在模型中有塑性或摩擦，或者有多个大位移解存在，如具有突然转换现象，使用小的载荷增量具有双重重要性。

关于大应变的特殊建模讨论

应力 应变

在大应变求解中，所有应力 应变输入和结果将依据真实应力和真实（或对数）应变。（一维时，真实应变将表求为 $\epsilon = \ln(l/l_0)$ 。对于响应的小应变区，真实应变和工程应变基本上是一致的。）要从小工程应变转换成对数应变，使用 $\epsilon = \ln(l/l_0)$ 。要从工程应力转换成真实应力，使用 $\sigma = F/A$ 。（这种应力）转化反对不可压缩塑性应力 应变数据是有效的。）

为了得到可接受的结果，对真实应变超过 50% 的塑性分析，应使用大应变单元

(VISCO106, 107 及 108)。

单元的形状

应该认识到在大应变分析的任何迭代中低劣的单元形状（也就是，大的纵横比，过度的顶角以及具有负面积的已扭曲单元）将是有害的。因此，你必须和注意单元的原始形状一样注意的单元已扭曲的形状。（除了探测出具有负面积的单元外，ANSYS 程序对于求解中遇到的低劣单元形状不发出任何警告，必须进行人工检查）如果已扭曲的网格是不能接受的，可以人工改变开始网格（在容限内）以产生合理的最终结果（参看图 2-2）。

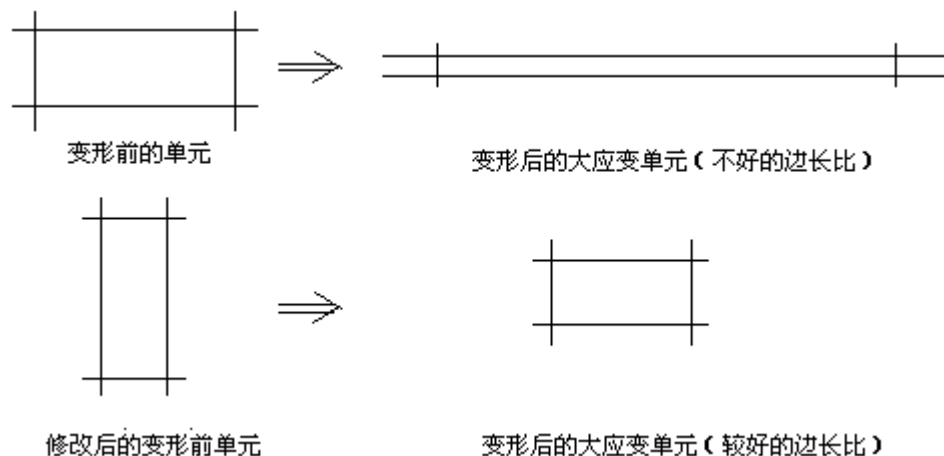


图 2-2 在大应变分析中避免低劣单元形状的发展具有小应变的大偏移

小应变大转动

某些单元支持大的转动，但不支持大的形状改变。一种称作大挠度的大应变特性的受限形式对这类单元是适用的。在一个大挠度分析中，单元的转动可以任意地大，但是应变假定是小的。大挠度效应（没有大的形状改变）在 ANSYS/Linear Plus 程序中是可用的。（在 ANSYS/Mechanical, 以及 ANSYS/Structural 产品中，对于支持大应变特性的单元，大挠度效应不能独立于大应变效应被激活。）在所有梁单元和大多数壳单元中，以及许多非线性单元中这个特性是可用的。通过打开 NLGEOM, ON (GUI 路径 Main Menu>Solution>Analysis Options) 来激活那些支持这一特性的单元中的大位移效应。

应力刚化

结构的面外刚度可能严重地受那个结构中面内应力的状态的影响。面内应力和横向刚度之间的联系，通称为应力刚化，在薄的，高应力的结构中，如缆索或薄膜中，是最明显的。一个鼓面，当它绷紧时会产生垂向刚度，这是应力强化结构的一个普通的例子。尽管应力刚化理论假定单元的转动和应变是小的，在某些结构的系统中（如在图 2-3(a)中），刚化应力仅可以通过进行大挠度分析得到。在其它的系统中（如图 2-3(b)中），刚化应力可采用小挠度或线性理论得到。

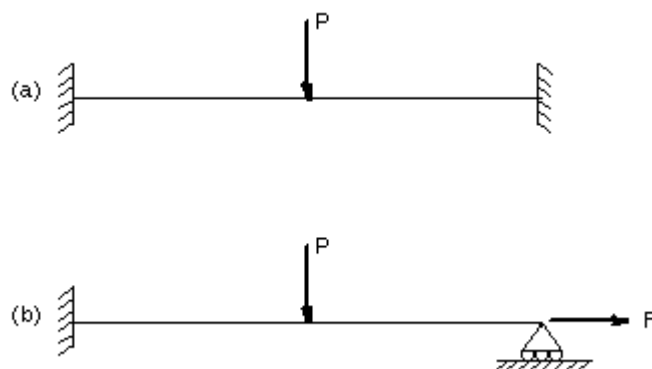


图 2-3 应力硬化梁

要在第二类系统中使用应力硬化，必须在第一个载荷步中发出 SSTIF, ON (GUI 路径

Main Menu>Solution>Analysis Options)。ANSYS 程序通过生成和使用一个称作“应力刚度矩阵”的辅助刚度矩阵来考虑应力刚度效应。尽管应力刚度矩阵是使用线性理论得到的，但由于应力（应力刚度矩阵）在每次迭代之间是变化的这个事实因而它是非线性的。

大应变和大挠度处理包括进初始应力效应作为它们的理论的一个子集，对于许多实体和壳单元，当大应变效应被激活时（NLGEOM, ON）（GUI 路径 Main Menu>Solution>Analysis Options）自动包括进初始硬化效应。

在大变形分析中（NLGEOM, ON）包含应力刚度效应（SSTIF, ON）将把应力刚度矩阵加到主刚度矩阵上以在具有大应变或大挠度性能的大多数单元中产生一个“近似的”协调切向刚度矩阵。例外情况包括 BEAM4 和 SHELL63，以及不把“应力刚度”列为特殊特点的任何单元。对于 BEAM4 和 SHELL63，你可以通过设置 KEYOPT (2) =1 和 NLGEOM, ON 在初始求解前激活应力刚度。当大应变效应为 ON（开）时这个 KEYOPT 设置激活一个协调切向刚度矩阵选项。当协调切向刚度矩阵被激活时（也就是，当 KEYOPT (2) =1 且 NLGEOM, ON 时）SSTIF 对 BEAM4 和 SHELL63 将不起作用。

在大应变分析中何时应当使用应力刚度

- 对于大多数实体单元，应力刚化的效应是与问题相关的；在大应变分析中的应用可能提高也可能降低收敛性。在大多数情况下，首先应该尝试一个应力刚度效应 OFF（关闭）的分析。如果你正在模拟一个受到弯曲或拉伸载荷的薄的结构，当用应力硬化 OFF（关）时遇到收敛困难，则尝试打开应力硬化。
- 应力刚度不建议用于包含“不连续单元”（由于状态改变，刚度上经历突然的不连续变化的非线性单元，如各种接触单元，SOLID65，等等）的结构。对于这样的问题，当应力刚度为 ON（开）时，结构刚度上的不连续线性很容易导致求解“胀破”。
- 对于桁、梁和壳单元，在大挠度分析中通常应使用应力刚度。实际上，在应用这些单元进行非线性屈曲和后屈曲分析时，只有当打开应力刚度时才得到精确的解。（对于 BEAM4 和 SHELL63，你通过设置单元 KEYOPT (2) =1 激活大挠度分析中（NLGEOM, ON）的应力刚度。）然而，当你应用杆、梁或者壳单元来模拟刚性连杆，耦合端或者结构刚度的大变化时，你不应用应力刚度。

注意：无论何时使用应力刚度，务必定义一系列实际的单元实常数。使用不是“成比例”（也就是，人为的放大或缩小）的实常数将影响对单元内部应力的计算，且将相应地降低那个单元的应力刚度效应。结果将是降低解的精度。

旋转软化

旋转软化作为动态质量效应调整（软化）旋转物体的刚度矩阵。在小位移分析中这种调整近似于由于大的环形运动而导致几何形状改变的效应。通常它和预应力[PSTRES]（GUI 路径 Main Menu>Solution>Analysis Options）一起使用，这种预应力由旋转物体中的离心力所产生。它不应和其它变形非线性，大挠度和大应变一起使用。旋转软化用 OMEGA 命令中的 KPSIN 来激活（GUI 路径 Main Menu>Preprocessor>Loads>-Loads-Apply>-Structural-Other>Angular Velocity）。

关于非线性分析的忠告和准则

着手进行非线性分析

通过比较小心地采用时间和方法，可以避免许多和一般的非线性分析有关的困难，下列建议对你可能是有益的

了解程序的运作方式和结构的表现行为

如果你以前没有使用过某一种特别的非线性特性，在将它用于大的，复杂的模型前，构造一个非常简单的模型（也就是，仅包含少量单元），以及确保你理解了如何处理这种特性。

- 通过首先分析一个简化模型，以便使你对结构的特性有一个初步了解。对于非线性静态模型，一个初步的线性静态分析可以使你知道模型的哪一个区域将首先经历非线性响应，以及在什么载荷范围这些非线性将开始起作用。对于非线性瞬态分析，一个对梁，质量块及弹簧的初步模拟可以使你用最小的代价对结构的动态有一个深入了解。在你着手最终的非线性瞬态动态分析前，初步非线性静态，线性瞬态动态，和/或模态分析同样地可以帮助你理解你结构的非线性动态响应的不同的方面。

- 阅读和理解程序的输出信息和警告。至少，在你尝试后处理你的结果前，确保你的问题收敛。对于与路程相关的问题，打印输出的平衡迭代记录在帮助你确定你的结果是有效还是无效方面是特别重的。

简化

- 尽可能简化最终模型。如果可以将 3 D 结构表示为 2 D 平面应力，平面应变或轴对称模型，那么这样做，如果可以通过对称或反对称表面的使用缩减你的模型尺寸，那么这样做。（然而，如果你的模型非对称加载，通常你不可以利用反对称来缩减非线性模型的大小。由于大位移，反对称变成不可用的。）如果你可以忽略某个非线性细节而不影响你模型的关键区域的结果，那么这样做。
- 只要有可能就依照静态等效载荷模拟瞬时动态加载。
- 考虑对模型的线性部分建立子结构以降低中间载荷或时间增量及平衡迭代所需要的计算时间。

采用足够的网格密度

- 考虑到经受塑性变形的区域要求一个合理的积分点密度。每个低阶单元将提供和高阶单元所能提供的一样多积分点数，因此经常优先用于塑性分析。在重要塑性区域网格密度变得特别地重要，因为大挠度要求对于一个精确的解，个单元的变形（弯曲）不能超过 30 度。
- 在接触表面上提供足够的网格密度以允许接触应力以一种平滑方式分布。
- 提供足够用于分析应力的网格密度。那些应力或应变关心的面与那些需要对位移或非线性解析处的面相比要求相对好的网格。
- 使用足够表征最高的重要模态形式的网格密度。所需单元数目依赖于单元的假定位移形状函数，以及模态形状本身。
- 使用足够可以用来分析通过结构的任何瞬时动态波传播的网格密度。如果波传播是重要的，那么至少提供 20 个单元来分析一个波长。

逐步加载

- 对于非保守的，与路径相关的系统，你需要以足够小的增量施加载荷以确保你的分析紧紧地跟随结构的载荷响应曲线。
- 有时你可以通过逐渐地施加载荷提高保守系统的收敛特性，从而使所要求的 Newton_Raphson 平衡迭代次数最小。

合理地使用平衡迭代

- 务必允许程序使用足够多的平衡迭代（NEQIT）。在缓慢收敛，路径无关的分析中这会是特别重要的。
- 相反地，在与路径严重相关的情况下，可能不应该增加平衡迭代的最大次数超过程的缺省值（25）。如果路径相关问题在一个给定的子步内不能快速收敛，那么你的解可能偏离理论载荷响应路径太多。这个问题当你的时间步长太大时出现。通过强迫你的分析在一个较小的迭代次数后终止，你可以从最后成功地收敛的时间步重启动（ANTYPE），建立一个较小的时间步长，然后继续求解。打开二分法（AUTOTS, ON）会自动地用一个较小的时间步长重启动求解。

克服收敛性问题

如果问题中出现负的主对角元，计算出过度大的位移，或者仅仅没能在给定的最大平衡迭代次数内达到收敛，则收敛失败发生。收敛失败可能表明出结构物物理上的不稳定性，或者也可能仅是有限元模型中某些数值问题的结果。ANSYS 程序提供几种可以用来在分析中克服数值不稳定的工具。如果正在模拟一个实际物理意义上不稳定的系统（也就是，具有零或者负的刚度），那么将拥有更多的棘手问题。有时你可以应用一个或更多的模拟技巧来获得这种情况下的一个解。让我们来探讨一下某些你可以用来尝试提高你的分析的收敛性能的技术。

打开自动时间步长

- 当打开自动时间步长时，往往需要一个小的最小的时间步长（或者大的最大的步长数）。
- 当有接触单元（如 CONTACT48, CONTACT12, 等等）时使用自动时间分步，程序可能

趋向于重复地进行二分法直到它达到最小时间步长。然后程序将在整个求解期间使用最小时间步长，这样通常产生一个稳定但花费时间的解。接触单元具有一个控制程序在它的时间步选择中将是多么保守的选项设置（KEYOPT（7）），这样，允许你加速在这些情况下的运行时间。

- 对于其它的非线性单元，你需要仔细地选择你的最小时间步。如果你选择一个太小的最小时间步，自动时间分步算法可能使你的运行时间太长。相反地，使你的最小时间步长太大可能导致不收敛。
- 务必对时间步长设置一个最大限度（（DELTIM）或者（NSUBST）），特别对于复杂的模型。这确保所有重要的模态和特性将被精确地包含进。这在下列情况下可能是重要的。
 - 具有局部动态行为特性的问题（例如，涡轮叶片和轮毂部件），在这些问题中系统的低频能量含量以优势压倒高频范围。
 - 具有很短的渐进加载时间问题。如果时间步长允许变得太大，载荷历程的渐进部分可能不能被精确地表示出来。
 - 包含在一个频率范围内被连续地激励的结构的问题（例如，地震问题）。
 - 当模拟运动结构（具有刚体运动的系统）时注意。分析输入或系统驱动频率所要求的时间步通常比分析结构的频率所要求的大几个数量级。采用这样粗略的一个时间步会将相当大的数值干扰引入解中；求解甚至可能变得不稳定。

下面这些准则通常可以帮助你获得一个好的解：

- 如果实际可行，采用一个至少可以分析系统的第一阶非零频率的时间步长。
- 把重要的数值阻尼（在 TINTP 命令中 0.05（P（1））加到求解中以过滤出高频噪音，特别是如果采用了一个粗略的时间步长时，由于 阻尼（质量矩阵乘子，ALPHAD 命令）会阻碍系统的刚体运动（零频率模态），在一个动态运动分析中不要使用它。
- 避免强加的位移历程说明，因为强加的位移输入具有（理论上）加速度上的无限突跃，对于 Newmark 时间积分算法其导致稳定性问题。

使用二分法

无论何时你打开自动时间步长（AUTOTS，ON），二分法被自动激活。这个特性通常会使你能够从由于采用一个太大的时间步导致的收敛失败中恢复。它受最小时间步长限制（（NSUBST，DELTIM））。二分法对于任何对加载步长敏感的分析一般是有益的。对于发现一个非线性系统的屈曲临界负载它同样是有用的。

使用 Newton-Raphson 选项和自适应下降因子

Newton-Raphson 选项的最佳选择将依据存在于你模型中的非线性种类变化。尽管通过让程序选择 Newton-Raphson 选项（NROPT，AUTO）通常你会获得最佳的收敛特性，但也可能偶尔遇到使用一些其它选择会更有效的情况。例如，如果非线性材料的行为发生在你模型的一个相对小的区域中，采用修正的 Newton-Raphson 或者初始刚度选项可以降低分析的总体 CPU 代价。自适应下降因子（NROPT）和塑性以及某些非线性单元，包括接触单元同时使用。在几乎没有载荷重新分配的情况下，通过关闭这个特性你可以获得更快的收敛性。自适应下降在仅有大挠度的非线性的问题中几乎没有效果。

使用线性搜索

线性搜索（LNSRCH）作为一个对自适应下降（NROPT）的替代会是有用的。（一般地，你不应同时既激活线性搜索又激活自适应下降。）线性搜索方法通常导致收敛，但在时间上它可能是缓慢的和昂贵的（特别是具有塑性时），在下列情况下你可以设置线搜索为打开状态：

- 当你的结构是力加载的（其与位移控制的相反）时。
- 如果你正在分析一个刚度增长的“薄膜”结构（如一根钓鱼杆）。
- 如果你注意到（从程序的输出信息）你的分析正导致自适应下降频频被激活。

应用预测

预测（PRED）基于基于前一个时间步的求解预估在这个时间步中的求解情况，因此可能减少所需的平衡迭代次数。如果非线性响应相对地平滑这个特性会是有益的。在大转动和粘弹性分析中它一般不是有益的。

应用弧长方法

对于许多物理意义上不稳定的结构你可以应用弧长方法 (ARCLN), (ARCTRM) 来获得数值上稳定的解, **当应用弧长方法时, 请记住下列考虑事项:**

- 弧长方法限制于仅具有渐进加载方式的静态分析。
- 程序由第一个子步的第一次迭代的载荷 (或位移) 增量计算出参考弧长半径, 采用下列公式:

参考弧长半径=总体载荷 (或位移) ÷ NSBSTP

这里 NSBSTP 是 NSUBST 命令中指定的子步数。

当选择子步数时, 考虑到更多的子步将导致很长的求解时间。理想地, 你会选择一个最佳有效解所需的最小子步数。或许你不得不对所需的子步数进行“评估”, 按照需要调整后再重新求解。

- 当弧长方法是激活 的时, 不要使用线搜索 (LNSRCH), 预测 (PRED), 自适应下降 (NROPT, , ON) 自动时间分步 (AUTOTS, TIME, DELTIM), 或时间积分效应 (TIMINT)。
- 不要尝试将收敛建立在位移的基础上 (CNVTOL, U)。使用力的收敛准则 (CNVTOL, F)。
- 要用弧长方法来帮助使求解时间最小化, 一个单一子步中的最大平衡迭代数应当小于或等于 15。
- 如果一个弧长求解在规定的最大迭代次数内 (NEQIT) 没能收敛, 程序将自动进行二分且继续分析。直到获得一个收敛的解, 或者最小的弧长半径被采用 (最小半径由 NSUBST (NSUBST) 和 MINARC (ARCLN) 定义)。
- 一般地, 你不能应用这种方法来在一个确定的载荷或位移值处获得一个解因为这个值随获得的平衡态改变 (沿球面弧)。注意图 1-4 中给定的载荷仅用作一个起始点。收敛处的实际载荷有点小。
- 类似地, 当在一个非线性屈曲分析中应用弧长方法来在某些已知的容限范围内确定一个极限载荷或位移的值可能是困难的。通常你不得不通过尝试 错误 再尝试调整参考弧长半径 (使用 NSUBST) 来在极限点处获得一个解。应用带二分 (AUTOTS) 的标准 NEWTON-RAPHSON 迭代来确定非线性载荷屈曲临界负载的值可能会更方便。
- 通常你应当避免和弧长方法一起使用 JCG 或者 PCG 求解器 (EQSLV), 因为弧长方法可能会产生一个负定刚度矩阵 (负的主对角线), 用这些求解器其可能导致求解失败。
- 在任何载荷步的开始你可以从 Newton-Raphson 迭代方法到弧长方法自由转换。然而, 要从弧长到 Newton-Raphson 迭代转换, 你必须终止分析然后重启动, 且在重启动的第一个载荷步中去杀死弧长方法 (ARCLN, OFF)。一个弧长求解在这些情况下终止:
- 当由 ARCTRM 或 NCNV 命令定义的极限达到时。
- 当在所施加的载荷范围内求解收敛时。
- 当你使用一个放弃文件时 (Jobname.ABT)。
- 使用载荷位一移曲线作为用于评价和调整你的分析以帮助你获得所需结果的准则。通常对于每一个分析都绘制你的载荷一偏移曲线 (采用 POST26 命令) 是一种好的作法。
- 经常地, 一个不成功的弧长分析可以归因于弧长半径或 者太大或 者太小。沿载荷一偏移曲线原路返回的“回漂”是一种由于使用太大或 太小弧长半径导致的典型难点。研究载荷偏移曲线来理解这个问题。然后使用 NSUBST 和 ARCLN 命令来调整弧长半径的大小和范围为合适的值。
- 总体弧长载荷因子 (SOLU 命令中的 ALLF 项) 或者是正的或者是负的。类似地, TIME, 其在弧长分析中相关于总体弧长载荷因数, 同样会不是正的就是负的。ALLF 或 TIME 的负值表示弧长特性正在以反方向加载, 以便保持结构中的稳定性。负的 ALLF 或者 TIME 值一般会在各种突然转换分析中遇到。
- 当将弧长结果读入基本数据用于 POST1 后处理时 (SET), 你总是应当引用由它的载荷步

和子步号 (LSTEP 和 SBSTEP) 或者进它的数据设置号所设定的所需结果数据。不要引用 TIME 值的结果, 因为 TIME 值在一个弧长分析中并不总是单调增加的。(单一的一个 TIME 值可能涉及多于一个的解。) 此外, 程序不能正确地解释负的 TIME 值 (C 其可能在一个突然转换分析中遇到。)

- 如果 TIME 为负的, 记住在产生任何 POST26 图形前定义一个合适的变化范围 ((IXRANGE) 或者 (IYRANGE))。

在你的模型响应中人为地抑制发散

如果你不想使用弧长方法来分析一个在奇异 (零刚度) 形状时开始开, 或者通过奇异形状的力加载的结构时, 有时你可以使用其它的技术来人工地抑制模型响应中的发散。

- 在某些情况下, 你可以使用强加的位移来替代所施加的力。这种方法可以用于在较靠近平衡位置处开始一个静态分析, 或者用于控制整个不稳定响应期间 (如突然转换或后翘曲) 的位移。
- 其它在阻止由于初始不稳定性所造成的问题时有效的技术包括: 使用带有强加的初始应变的应力刚化 (SSTIF), “致冷” (也就是, 增加暂时的人工热应变), 或者将一个静态问题执行为一个 “缓慢动态” 分析 (也就是, 在任意一个载荷步尝试使用时间积分效应阻止解发散。
- 你也可以应用控制单元 (如 COMBIN37), 或者应用其它单元的出生和死亡选项对不稳定的 DOFs 施加暂时的人工刚度。这里的想法是在中期的载荷步期间人为地约束系统, 以阻止不符合实际的大位移被计算出。随着系统变位到稳定的形态, 人工刚度被移去。

应用雅各比共轭梯度求解器

这个求解器 (通过 EQSLV 命令获得) 在经历某一奇异划 (零 (零刚度) 状态的分析中会是有用的。叶 ÒJCG 求解器来说相对大的求解容差有时会 “涂抹掉” 这种奇异性, 导致载荷一位移曲线的斜度具有某些假的非零值。(在 EQSLV 中这个求解器的容限不是非线性收敛容限。)

雅各比共轭梯度求解器仅是一种求解线性矩阵方程的替代方法。这种求解器的使用不能替代任何方式的非线性处理。

关闭特殊的单元形状

有时在非线性分析中使用无中节点单元的形状选项会产生收敛困难。

合理地使用出生和死亡

认识到结构的刚度矩阵的任何突然改变可能会导致收敛问题。当激活或杀死单元时, 试着将变化分散在若干子步内。(如果需要, 采用一个小的时间步长来完成这种变化。) 也要注意随着你激活或 杀死 单元可能会 产生的奇异性 (如尖的再生角)。像这样的奇异性可能产生收敛问题。

检验你的分析结果

好的有限元分析 (FEA) 过程总是要求你检验你的结果。你需要自己证明你理解了程序, 你正在正确地使用它, 以及你的分析结果正确地体现出你的结构的物理特性。在检验你的非线性分析时你可以使用若干标准验证技术。

标准分析

一个确保你了解如何恰当地施加程序的特殊特性的好的方法是通过进行一个或多个标准分析。在一个标准分析中, 一般是你对于一个有 “理论” 解存在的简单结构进行独立地分析。这里的想法是通过将你的 FEA 结果与已知结果相对照以 验证你可以正确地运用程序的特性。当然, 标准分析结构应当与要分析的完整结构非常相似。ANSYS Verification Manual 是标准问题的一种较好的来源。

结果合理么

大多数工程师在他们职业的早期就认识到要对他们的数值结果的有效性提出疑问, 无论这些结果是通过 “手工” 计算, 计算机分析, 还是一些其它方法得到的。在你开始任何分析前, 你总是应当对你期望获得的结果至少具有一个粗略的概念 (通过经验、试验、标准分析等等获得)。如果你最终的结果似乎不合理, 也就是, 如果它们不同于你的期望值, 你应当确信你理解了这是为什么。好的工程实际要求你总是使你的分析结果和合理的期望值相一致。

理解你的输出

记住 ANSYS 程序将一个非线性分析作为一系列带修正的线性近似来完成。程序的打印输出给出你关于这些近似和修正发展的连续反馈。（打印输出或者直接出现在你的屏幕上，记录在 Jobname.OUT 中，或者被写入某些其它人文件（OUTPUT）。）你可以在 POST 中应用 PRINTER 命令，或者在 POST26 中应用 SOLU 和 PRVAR 命令检查这种类似的信息。在你接受结果前，你应当确信你理解了你的分析的迭代历程。特别地，不要忽视任何还没有完全理解它们意思的程序错误和警告声明。

作载荷和响应历程的曲线图

这种检验技巧可以认为是两种其它技巧的图形结合：对合理性的检查和考察迭代历程。载荷和响应历程的 POST26 图形表示应当和你所知道的你结构特性的期望值相一致。重要的结果（位移，反作用力，应力，等等）应当显示出相对平滑的响应历程。任何非平滑性可能表示采用了一个太粗略的时间步。

大应变分析实例（GUI 方法）

在这个实例分析中，我们将进行一个两块钢板压一个圆盘的非线性分析。

问题描述：

由于上下两块钢板的刚度比圆盘的刚度大得多，钢板与圆盘壁面之间的摩擦足够大。因此，在建模时只建立圆盘的模型。

用轴对称单元模拟圆盘，求解通过单一载荷步来实现。由于模型和载荷的上下对称性，我们只需建立圆盘的上半部分模型。由于钢板的刚度很大，因此我们在建模时将圆盘上面结点的 Y 方向上的位移耦合起来。又由于钢板与圆盘壁面之间的摩擦足够大，圆盘与钢板之间不会产生滑动，因此我们将圆盘上面结点的 X 方向的位移约束起来。

问题详细说明：

下列材料性质应用于这个问题：

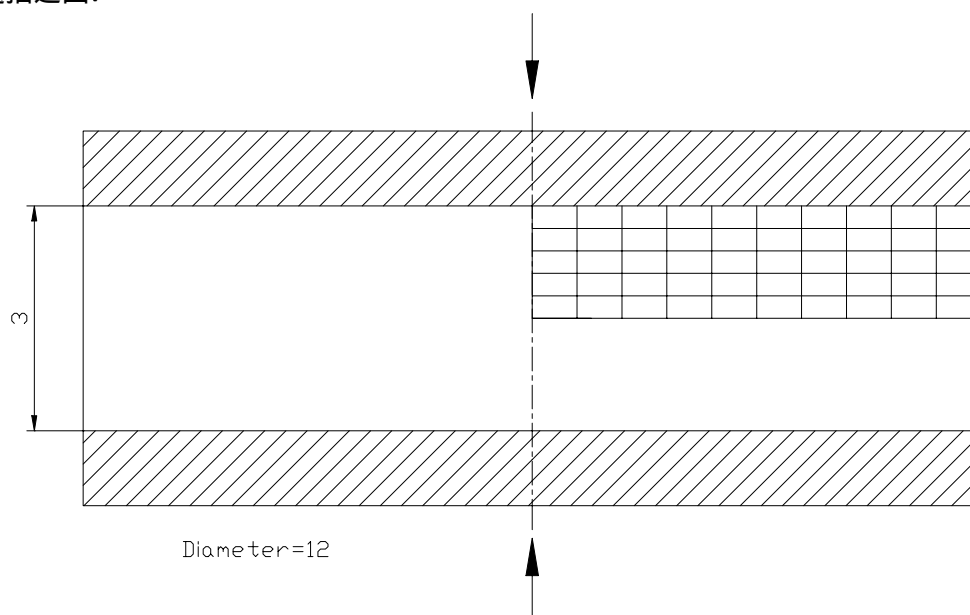
EX=1000 （杨氏模量）

NUXY=0.35 （泊松比）

Yield Strength =1 （屈服强度）

Tang Mod=2.99 （剪切模量）

问题描述图：



求解步骤：

步骤一：建立模型，给定边界条件。

在这一步中，建立计算分析所需要的模型，定义单元类型，材料性质

划分网格，给定边界条件。并将数据库文件保存为“exercise1.db”。

在此，对这一步的过程不作详细叙述。

步骤二：恢复数据库文件“exercise.db”

Utility Menu>File>Resume from

步骤三：进入求解器。

Main Menu>solution

步骤四：定义分析类型和选项

1、选择菜单路径 Main Menu>Solution>-Analysis Type-New Analysis.

单击“Static”来选中它然后单击 OK。

2、择菜单路径 Main Menu>Solution>Analysis Options。

Analysis Options 对话框出现。

3、单击 Large deform effects option(大变型效应选项)使之为 ON，然后单击 OK。

步骤五：打开预测器。

Main menu>solution-Load Set Opts-Nonlinear>Predictor

步骤六：在结点 14 的 Y 方向施加一个大小为-0.3 的位移

Main menu >Solution -Load -Apply >displacement >On Nodes

步骤七：设置载荷步选项

1、选择菜单路径 Main Menu>Solution>-Load Step

Options-Time/Frequenc>time&Substep。Time&Substep Option(时间和时间步选项)对话框出现。

2、对 time at end of Load Step(载荷步终止时间)键入 0.3

3、对 Number of substeps(子步数)键入 120。

4、单击 automatic time stepping option(自动时间步长选项)使之为 ON，然后单击 OK。

5、选择菜单路径 Main Menu>Solution>-Load Step Options-OutputCtrls>DB/Results File. Controls for Database and Results File Writing(对数据库和结果文件写入的控制)对话框出现。

6、单击“Every Nth substep”(“每隔 N 个子步”)且选中它。

7、对于 Value of N(N 的值)键入-10 然后单击 OK。

8、单击 ANSTS Toolbar 上的 SAVE_DB。

步骤八：求解问题

1、选择菜单路径 Main Menu>Solution>-Solve-Current LS。

2、检阅状态窗口中的信息然后单击 close。

3、单击 Solve Current Load Step(求解当前载荷步)对话框中的 OK 开始求解。

步骤九：进行所需要的后处理。

大应变分析实例（命令流方法）

```

Fini
/cle
/prep7
/title,upsetting of an axisymmetric disk
et,1,106,,1
mp,ex,1,1000
mp,nuxy,,0.3
tb,biso,1
tbdata,,1,2.99
rect,0,6,0,1.5
lesi,1,,12
lesi,2,,5

```

```
mshape,0,2d  
mshkey,1  
amesh,all  
nsel,y,1.5  
cp,1,uy,all  
nsel,all  
fini
```

```
/solu  
nsel,s,loc,x,0  
dsym,symm,x  
nsel,s,loc,y,0  
dsym,symm,y  
nsel,all  
d,all,uz  
nsel,y,1.5  
d,all,ux  
nsel,all  
fini  
save,exercise1,db
```

```
resume,exercise1,db  
/solusion  
nlgeom,on  
pred,on  
d,14,uy,-0.3  
time,0.3  
autot,on  
nsubst,120  
outres,all,-10  
solve  
fini
```



```
/post1  
set,last  
/dsc,,1  
pldi,2  
plns,nl,sv  
fini
```

```
/post26  
rfor,2,14,f,y  
add,2,2,,,,,-1.0  
plva,2  
fini
```