

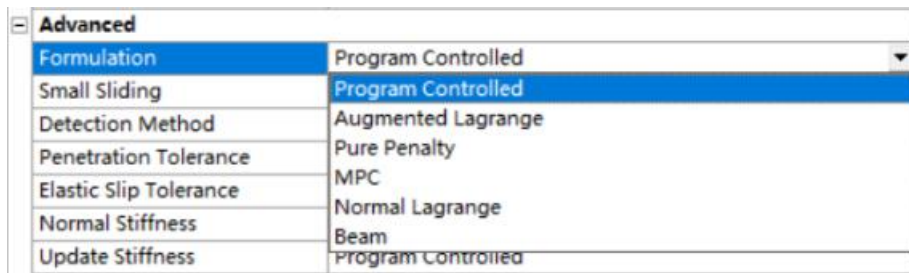
接触算法简介

上次介绍了接触的基本类型和接触面与接触面选择的问题。这次我们对接触算法做一个基本介绍。

在 ANSYS 分析中接触面和目标面有一定量的穿透，但是现实接触物并不产生穿透，因此程序必须协调两接触面，以避免其有限元模型相互穿透。当程序阻止相互穿透时，一般称为强制性接触协调。

在 ANSYS Workbench 平台中，提供了集中不同的算法来实现接触面之间的协调：

- 增广拉格朗日法（法向和切向）
- 纯罚函数法（法向和切向）
- 多点约束法（法向和切向）
- 纯拉格朗日法（法向和切向）



Advanced	
Formulation	Program Controlled
Small Sliding	Program Controlled
Detection Method	Augmented Lagrange
Penetration Tolerance	Pure Penalty
Elastic Slip Tolerance	MPC
Normal Stiffness	Normal Lagrange
Update Stiffness	Beam

接触算法

增广拉格朗日法

该方法接触约束为等式，可通过设置最大穿透量来控制穿透。它采用罚方法，当穿透超出最大穿透量时增加接触力，再次迭代。最大穿透量的控制会导致可能的迭代步数，但减少了罚刚度对精度的影响。

增广拉格朗日和罚函数法都基于罚函数方程。用一个弹簧施加接触协调条件称为罚函数法，弹簧刚度或接触刚度称为罚参数。接触刚度越大，接触表面的侵入就越少。然而，若接触刚度太大，会导致收敛困难。

当两个物体分开时，接触刚度时不被激活的。一般情况下，穿透越小，结果越准确。罚函数法和增广拉格朗日法的主要区别在于增广拉格朗日法对接触压力的计算支持得更好。增广拉格朗日法对刚度 K 的敏感性较小。正因为其敏感性较小，增广拉格朗日法是 ANSYS 中采用的默认算法。增广拉格朗日法在对接触压力进行计算时，把穿透减小至可接受的程度。

Workenck 平台中，使用增广拉格朗日法或罚函数法时都需要使用法向的接触刚度，以产在一个小的穿透量，从而保证数值上的平衡。接触“弹簧”产生一个小的变形，然而实际情况下两接触体并不互相穿透。

纯罚函数法

罚刚度法的接触约束式为等式，矩阵为正定，且不会增加计算自由度。罚函数法推荐用于具有变形很大的单元、很大的摩擦系数和或用修正的拉格朗日方法时收敛性很差的情况。

计算中，刚度矩阵严重依赖于罚刚度的取值。罚刚度太大，计算精度提高，但非常容易导致模型发生不收敛，接触对不断的震荡跳跃而不收敛这种震荡现象。

ANSYS 默认的罚刚度适用于体积变形为主的情况。对于弯曲变形为主的问题，应使用 0.01 的刚度系数，且保持刚度自动更新。罚刚度的优势是没有额外的自由度、没有过约束问题、可以利用迭代求解器。

在以下情况尽量使用罚刚度法：使用了对称接触和自接触、多零件共享接触区域、30

万自由度以上的大型问题。

对于罚函数法，切向接触刚度和滑移距离有类似的参数定义:理想状态下滑动量为零，但允许罚函数法中有较小的滑动。切向接触压力作为自由度考虑时，也可以采用拉格朗日乘子法。

多点约束法

MPC法(多点约束法)施加约束方程来把接触面与目标面之间的位移“系”在一起。MPC算法使用内部生成的约束方程在接触面上保证协调:接触节点的自由度被消除;不需要法向刚度和切向刚度;对于小变形问题,求解平衡方程时不需要迭代:表现出线性接触行为;对于大变形问题,MPC约束方程在每一步的迭代过程中都要进行校正。该方法仅对绑定接触和无分离接触适用,对称接触对不可用。ANSYS会自动转换为不对称接触。

MPC法可以绑定不同的单元类型,即使交界面的网格不兼容:实体对实体;壳体对壳体;壳体对实体;梁对实体/壳体。

MPC算法的优势:求解效率比传统的绑定要高,对于较大的装配模型,使用MPC绑定或无分离算法计算时间要比其它算法快;容易使用;接触向导和手动定义中都可以用MPC算法;不需要输入接触刚度;求解中自动生成约束;考虑形状效应,不需要手动输入权值,对于基于表面的约束,支持力约束和位移约束;很容易就能模拟壳体-实体、梁-实体、梁-壳体的组合效应;支持网格的不兼容;梁,壳,实体单元上的节点不需要对准;使用实体对实体的多点绑定或无分离接触非常简单;内部多点约束会在求解中自动生成。

纯拉格朗日法

纯拉格朗日乘子法通过增加额外的自由度(接触压力)来满足接触协调。因此,接触压力可直接作为额外自由度求解出来。通过压力自由度保证接触面无穿透或穿透很小。不需要法向接触刚度。需要使用直接求解器,这会导致求解较大模型时的计算开销很大。

拉格朗日乘子法可能产生扰动:如果不允许穿透,接触状态可能是打开的也可能是关闭的,这使得接触点的状态不确定而导致收敛困难;如果允许有较小的穿透或者拉力存在,会使得程序收敛更加容易。

上面讨论的选项都是针对法向的。如果定义了摩擦和绑定接触,那么在切线方向和穿透类似,如果两物体“粘”在一起的话,那么两物体不应该有相对滑动。在该法中,总是使用非对称接触对。也不要定义多个接触且有相互重合,应尽量合并定义。

该法的优缺点:增加的额外自由度(每个单元多一个自由度)使得求解规模增加;矩阵中有零对角元素,所以不能使用迭代求解器,对称接触和边界条件可能会产生过约束,导致刚度矩阵病态;对接触状态的震荡变化比较敏感;不需要定义罚刚度;其几乎是零穿透,且不能产生接触拉力,没有必须保持奇异性的问题,也不必担心罚刚度过大导致的矩阵病态。

以下情况下尽量使用该法:二维模型的接触问题;三维材料非线性时的接触问题,但是要小于10万自由度,但当模型大于50万自由度尽量不使用该法。

以下情况下必须打开节点探测:如果对应拉格朗日乘子法,则拉格朗日乘子被视为节点的额外自由度,因此在此类接触探测中直接使用节点;如果基于MPC的算法,则包括绑定,无分离以及有表面约束的接触。使用约束方程而使节点的自由度相互影响,因此在此类接触探测中直接使用节点。