



ANSYS Mechanical 连接功能系列课程

安世亚太结构工程师 苏睿

出品 | 安世亚太
PERA GLOBAL



连接简介

ANSYS Mechanical 连接功能系列课程

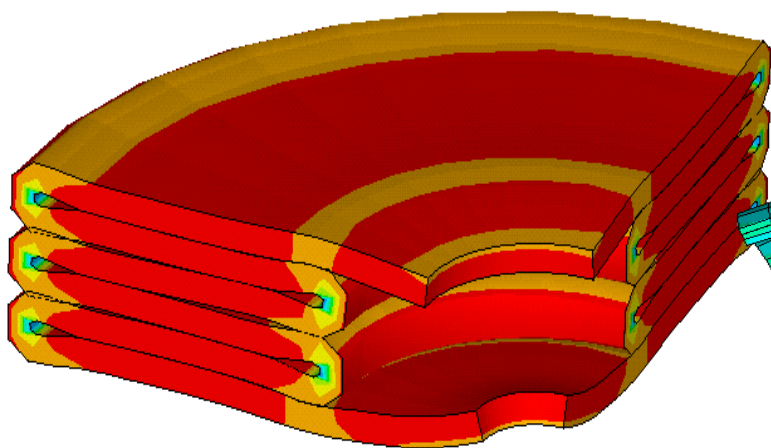
出品 | 安世亚太
PERA GLOBAL

- 接触简介
- 自动检测选项
- 使用接触工具
- 算例 01.1：自动检测

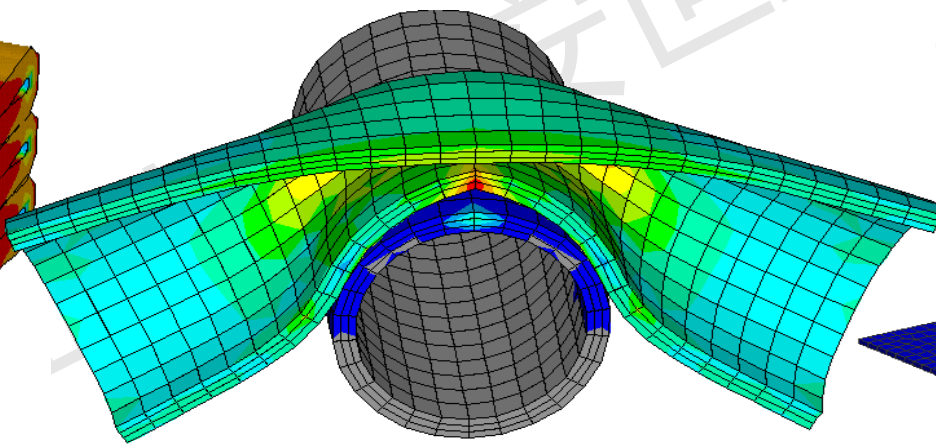
安世亚太

安世亚太

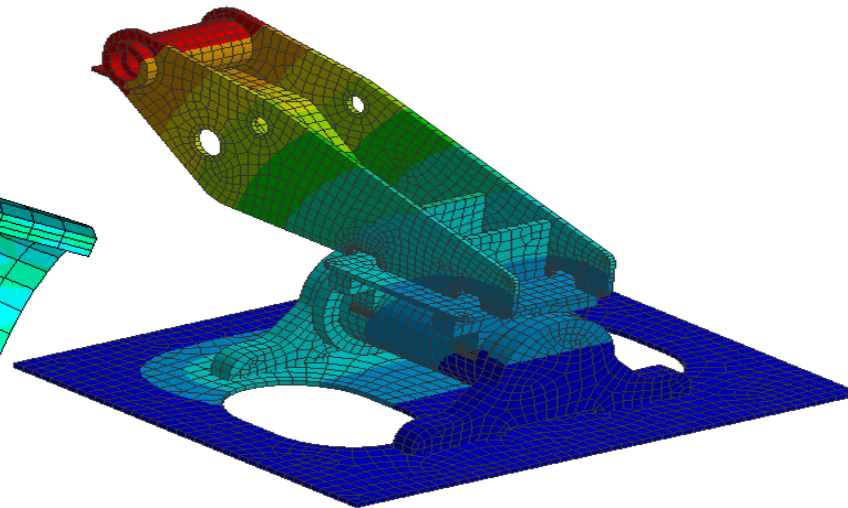
- 为了仿真实体和面（壳）体的面和边之间的关系，ANSYS Mechanical 提供丰富的连接选项。



实体的面
到
实体的面



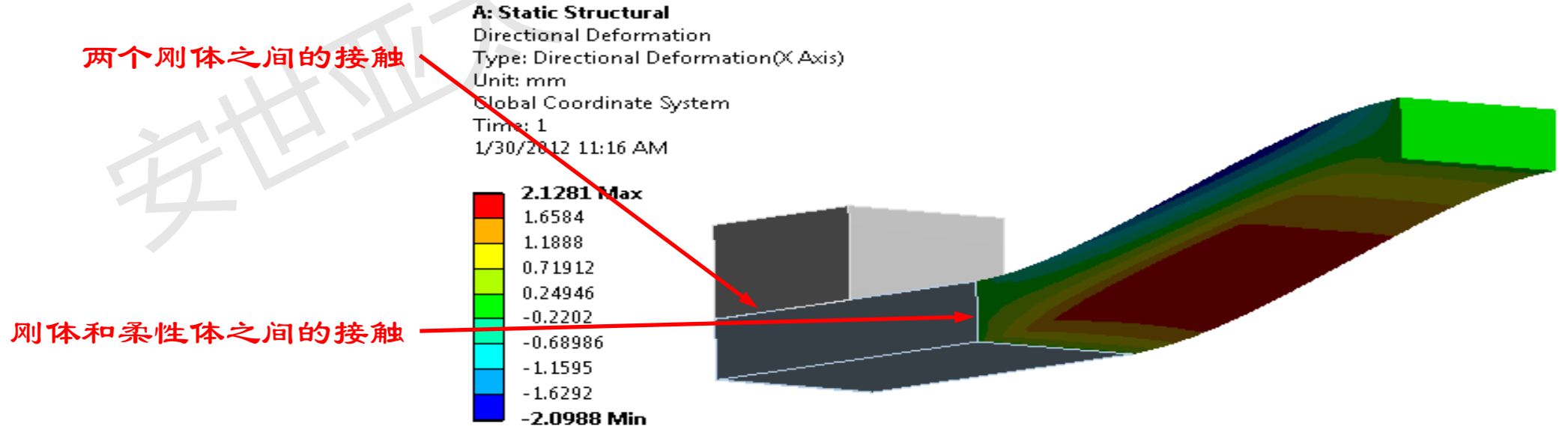
面体的面
到
面体的面



面体的边缘
到
面体的边缘

- Mechanical 支持刚体间的接触关系。
 - 刚体到刚体
 - 刚体到柔性体
 - 在模型中，当一个体的刚度明显大于其他体时，可以将其指定为刚体，其余体定义为柔性体，这样做有助于提高效率。

Details of "Part 1"	
+ Graphics Properties	
- Definition	
<input type="checkbox"/> Suppressed	No
Stiffness Behavior	Rigid
Reference Temperature	By Environment
- Material	
Assignment	Structural Steel
+ Bounding Box	
+ Properties	
+ Statistics	
- CAD Attributes	
PartTolerance	0.000001



- 接触的定义
 - 当两个独立的表面互相接触，并且相切时，我们说他们处于接触状态。
 - 在通常情况下，相接触的表面具有以下特性：
 - 不会相互渗透
 - 产生压缩的法相力和切向摩擦力
 - 一般情况下，不产生拉伸的法向力（表面可以分离）
- 接触是一种状态变化引起的非线性：系统的刚度取决于接触状态（部件是接触还是分离）

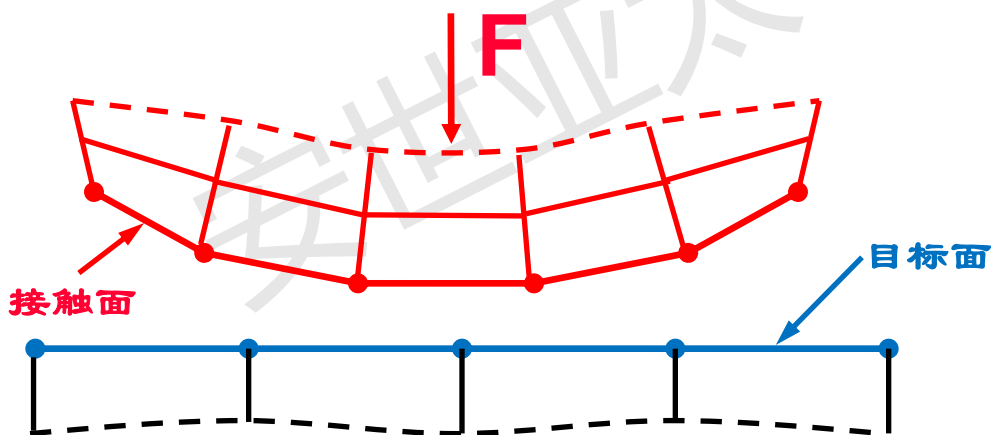
- 可用的接触类型

- 绑定 (Bonded) : 处于闭合或接近状态的面或边之间不渗透、不分离、不滑动
- 无分离 (No Separation) : 与绑定接触相似, 但是在接触面的切向可以产生无摩擦的滑动
- 无摩擦 (Frictionless) : 无渗透, 但是面之间可以自由的滑动和分离。
- 粗糙 (Rough) : 与无摩擦接触类似, 但是不能够滑动
- 摩擦 (Frictional) : 可以产生摩擦, 用户可以定义摩擦系数, 可以自由的分离。是最常用也是和真实情况最接近的接触类型。

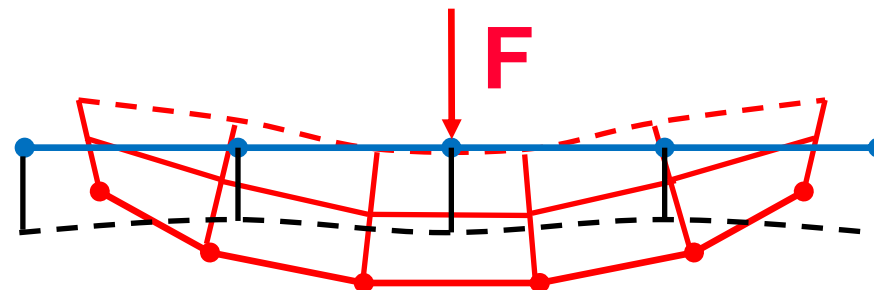
安世亚太

• 接触相容性

- 接触体之间不发生渗透。因此，程序必须在两个表面间建立关系，防止在分析中两表面相互渗透。
- 当程序阻止相互渗透时，我们说它执行了接触相容性。
- Mechanical 提供不同的接触方程，在接触界面执行接触相容性。



当不执行接触相容性时，接触面直接发生渗透。



- ANSYS Mechanical 中支持的接触方程和特性如下表所示：

方程	法向	切向	法向刚度	切向刚度	类型
增广拉格朗日 (Augmented Lagrange)	增广拉格朗日 (Augmented Lagrange)	罚函数 (Penalty)	支持	支持*	任意
罚函数 (Pure Penalty)	罚函数 (Penalty)	罚函数 (Penalty)	支持	支持*	任意
MPC	MPC	MPC	-	-	绑定、无分离
法向拉格朗日 (Normal Lagrange)	拉格朗日乘子 (Lagrange Multiplier)	罚函数 (Penalty)	-	支持*	任意

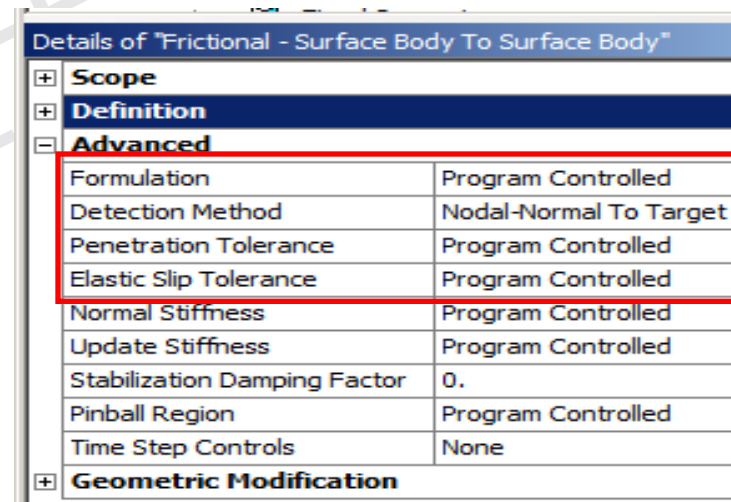
*切向刚度不能够直接由用户输入

- 法向拉格朗日方程在法向使用拉格朗日乘子，在切向使用罚函数。

- 下表列出了不同接触方程的优点 (+) 和缺点 (-) :

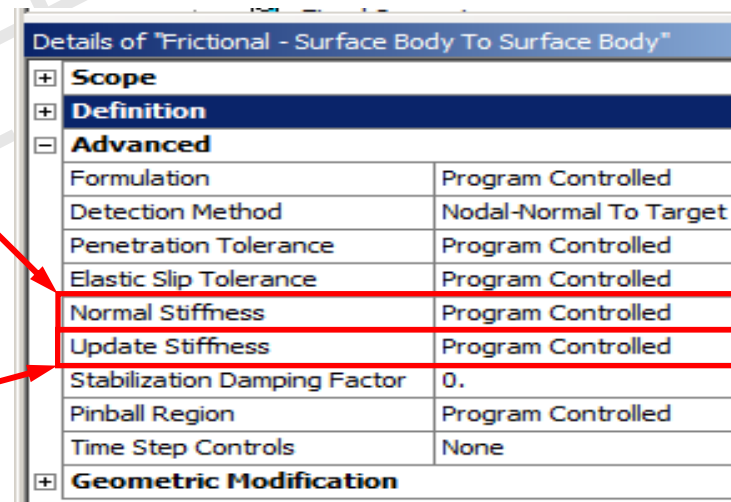
罚函数		增广拉格朗日		法向拉格朗日		MPC	
+	易收敛 (所需平衡迭代少)	-	如果渗透较大, 需要更多的平衡迭代	-	如果渗透较大, 需要更多的平衡迭代	+	易收敛 (所需平衡迭代少)
-	对法向刚度敏感		对法向刚度不敏感	+	不需要法向刚度	+	不需要法向刚度
-	存在渗透并且不可控		存在渗透, 但是部分可控	+	通常渗透接近零	+	无渗透
+	支持任意类型的接触	+	支持任意类型的接触	+	支持任意类型的接触	-	仅支持绑定和无分离接触
+	支持迭代或直接求解器	+	支持迭代或直接求解器	-	仅支持直接求解器	+	支持迭代或直接求解器
+	支持对称或非对称接触	+	支持对称或非对称接触		仅支持非对称接触		仅支持非对称接触
+	在积分点检测接触	+	在积分点检测接触		在节点检测接触		在节点检测接触

- 对于所有柔性体的接触，默认使用增广拉格朗日方程
- 默认检测方法 (Detection Method) 是：
 - 对于面面接触，在高斯点检测
 - 对于边边接触，在垂直于目标的节点检测
- 渗透容限 (Penetration Tolerance) ：对基于罚函数的方程，在法向上允许的最大渗透
 - 默认值为基体单元厚度的10%
 - 如果基体单元为壳或梁，“厚度”通常情况下是单元厚度的四倍
- 弹性滑动容限 (Elastic Slip Tolerance) ：允许的最大“弹性滑动”（与接触面相切）
 - 默认值为接触对上平均接触长度的1%



Details of "Frictional - Surface Body To Surface Body"		
+	Scope	
+	Definition	
-	Advanced	
	Formulation	Program Controlled
	Detection Method	Nodal-Normal To Target
	Penetration Tolerance	Program Controlled
	Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
	Normal Stiffness	Program Controlled
	Update Stiffness	Program Controlled
	Stabilization Damping Factor	0.
	Pinball Region	Program Controlled
	Time Step Controls	None
+	Geometric Modification	

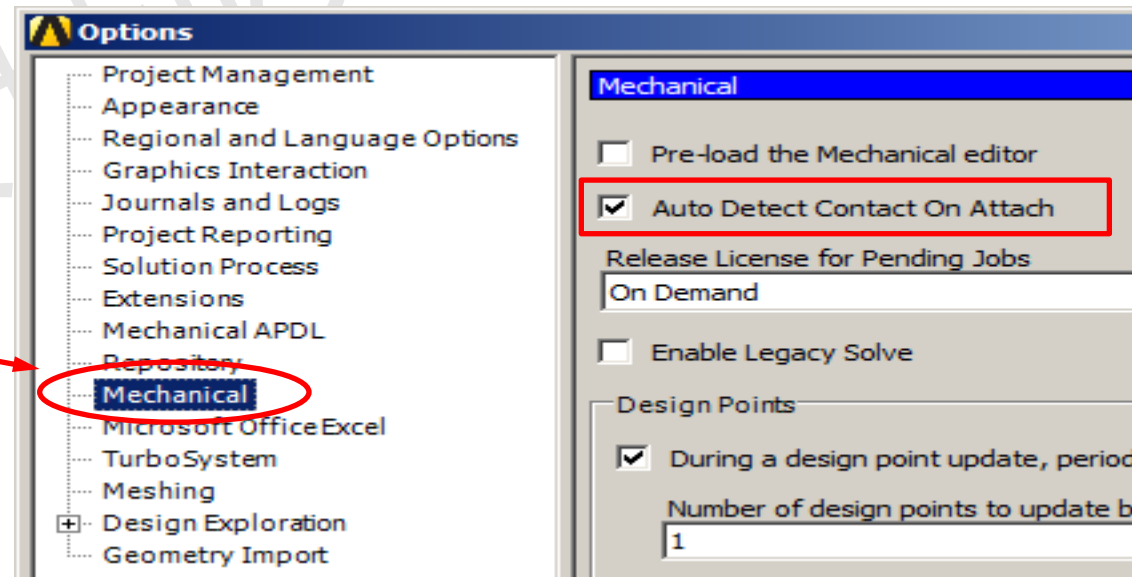
- **法向刚度 (Normal Stiffness)** 是乘子或系数 (FKN)，根据程序算出的刚度确定
 - 对于绑定和无摩擦接触，默认 $FKN=10.0$ 。对于所有其他接触 $FKN=1.0$
 - 对于弯曲为主的情况，如果遇到收敛困难，减小 FKN 可能会有帮助 ($FKN = 0.01$ 或 0.1)
 - 仅适用于基于罚函数的方程 (罚函数或增广拉格朗日)
- **默认情况下，每次迭代更新法向刚度**
 - 根据基体单元上当前的平均应力和允许的渗透确定
 - 如果在分析开始就发生了二分，每次二分将法向刚度乘以系数0.2。每次迭代更新切向刚度，根据当前的接触压强、摩擦系数 (MU) 和允许的滑动 (SLTO) 确定。



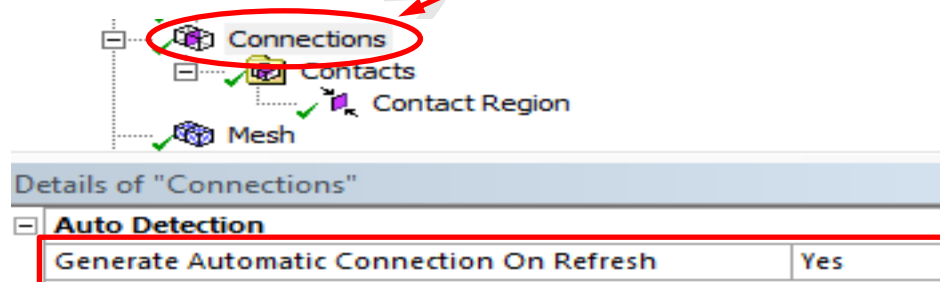
Details of "Frictional - Surface Body To Surface Body"	
Scope	
Definition	
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Nodal-Normal To Target
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Stabilization Damping Factor	0.
Pinball Region	Program Controlled
Time Step Controls	None
Geometric Modification	

- 默认情况下，当从 CAD 软件导入或者更新装配体后，对面一面接触，自动检测接触，并指定接触区域。
- 可以通过两种方式控制自动检测：

- 点击 **Utility Menu > Tools > Options**，选择 **Mechanical** 分支：**Auto Detect Contact On Attach**



- 在树形大纲中，选择连接分支，查看属性栏：**Generate Automatic Connection On Refresh**

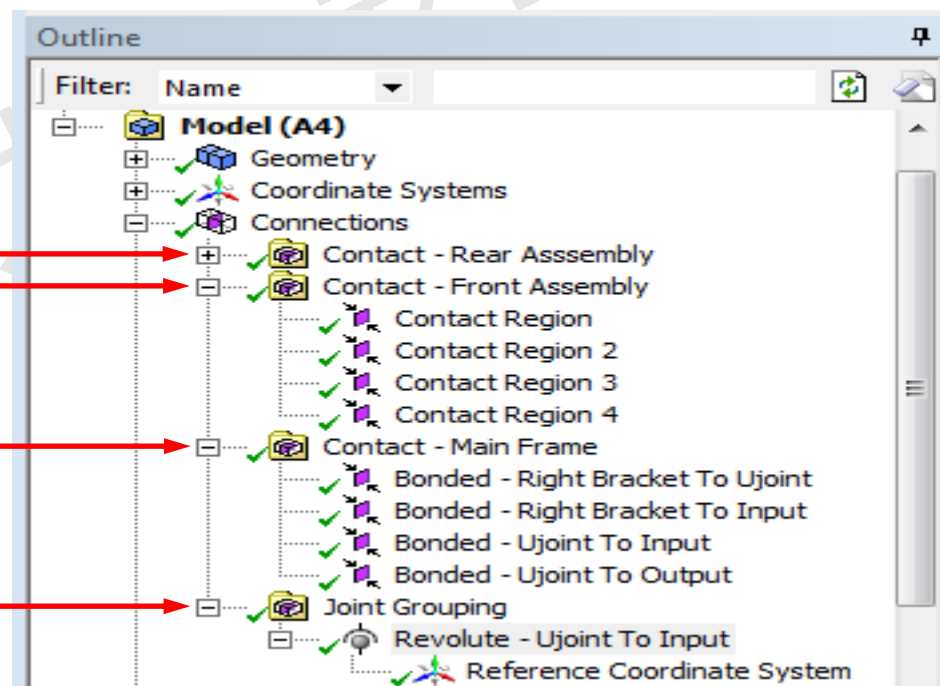


- 自动检测参数也可以在接触文件夹的属性栏中设置。参数可以应用到所有体上或直接将适用范围限制在所选的体。

The screenshot displays the software's tree view on the left and the 'Details of "Contacts for Subassembly"' properties panel on the right. The 'Contacts For SubAssembly A' folder is highlighted with a red oval in the tree view. The properties panel is also outlined in red and contains the following settings:

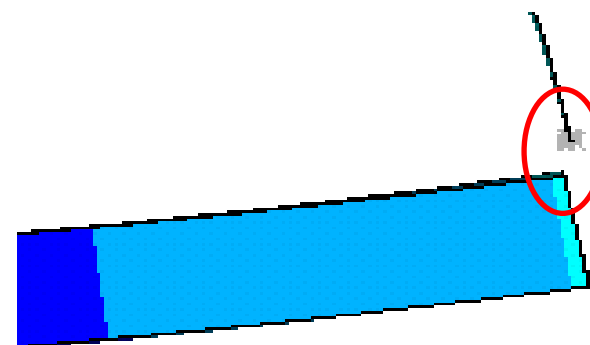
Details of "Contacts for Subassembly"	
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	2 Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	0.2947 mm
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

- 多重连接文件夹
 - 支持不同的自动检测设置
 - 更好的管理和追踪大量的接触区域



- 使用默认设置可以解决大多数接触问题，控制容限类型（Tolerance Type）、容限滑动（Tolerance Slider）和容限值（Tolerance Value）可以实现更多的控制。装配体中的几何实体可能存在位置偏差，由此引起实体间的接触区域上存在小间隙或干涉。可以通过指定接触检测容限（仅支持自动接触检测）考虑这些不准确的位置。

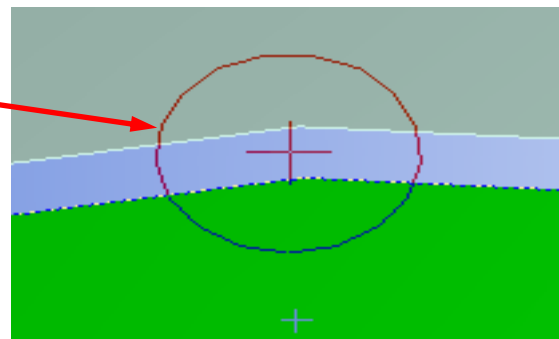
Details of "Contacts"	
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	5.8616e-002 in
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies



- 为了收紧接触检测，将容限滑动调整为正值（最大为+100）。为了放松接触检测，将容限滑动调整为负值（最大为-100）。
 - 更紧的容限意味着两个面之间的距离更小，才能被识别为接触。更松的容限反之。
- 接触检测容限也可以直接调整为指定值，首先修改容限类型为值（Value），然后在容限值（Tolerance Value）区域指定值。
 - 在图形区域显示一个圆，用来代表当前的容限值。

Details of "Contacts"	
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Value
Tolerance Value	5.e-002 in
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies

图形显示用户
定义的容限值



部件间的间隙

- **使用范围 (Use Range)** : 当容限类型设置为滑动或值时显示这个选项
 - 如果设置为 **Yes** , 接触检测算法在一定范围内搜索接触 , 该范围为从最小距离值 (**Min Distance Value**) 到容限值。
 - **最小距离百分比 (Min Distance Percentage)** : 容限值的百分比 , 用于确定最小距离值。默认为10 % , 可以在1到100之间调整。
 - **最小距离值 (Min Distance Value)** : 以只读模式显示通过计算得到的最小距离值 , 最小距离值 = 最小距离百分比 x 容限值 /100。

Details of "Contacts"	
[-] Definition	
Connection Type	Contact
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
[-] Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	5.8616e-002 in
Use Range	Yes
Min Distance Percentage	10.
Min Distance Value	5.8616e-003 in

- 对于面体之间的连接，容限类型可以设置为使用薄板厚度（**Use Sheet Thickness**），将所选面体的最大厚度设置为自动检测容限。
 - 如果接触对为面一边接触，使用面体的厚度作为容限。
 - 厚度缩放系数（**Thickness Scale Factor**）（默认值为1.0）为用户定义的系数，乘以薄板厚度后定义为检测容限。

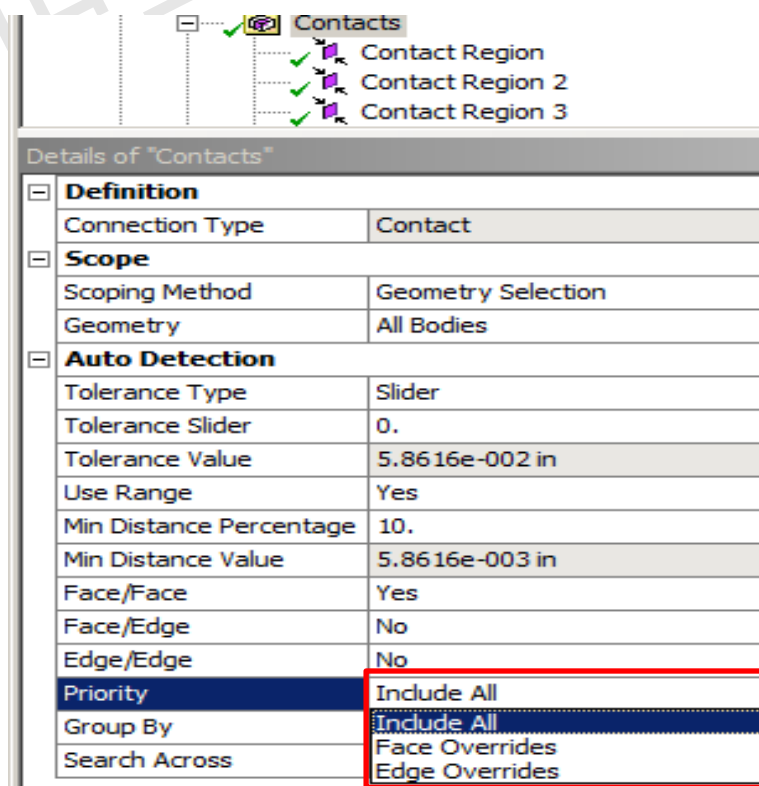
Contacts

Details of "Contacts"

Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Use Sheet Thickness
Thickness Scale Factor	1.
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

- 实体和面体之间可用的接触检测类型：
 - 面—面：不同体的面和面之间的接触
 - 面—边：不同体的面和边之间的接触
 - 边—边：不同体的边和边之间的接触
- 对于面—边检测，面总是作为目标体，边总是作为接触体。
 - 在创建自动连接（[Create Automatic Connections](#)）时，可以选择任意的接触组合，也可以更改设置，实现过滤掉某些类型的接触。

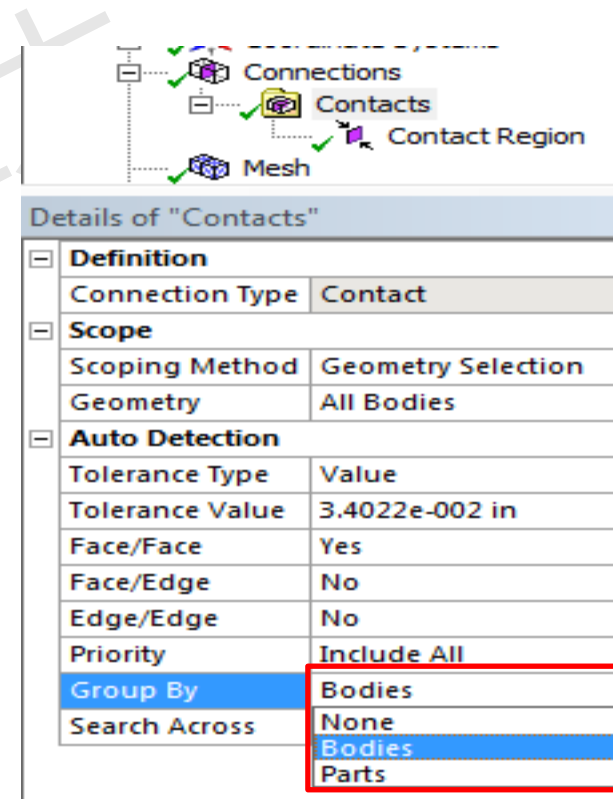
- 对于大模型，接触对数量非常大，而且通常是冗余的，尤其是当允许多种类型的接触时。优先级 (Priority) 选项为解决这个问题提供了可能。



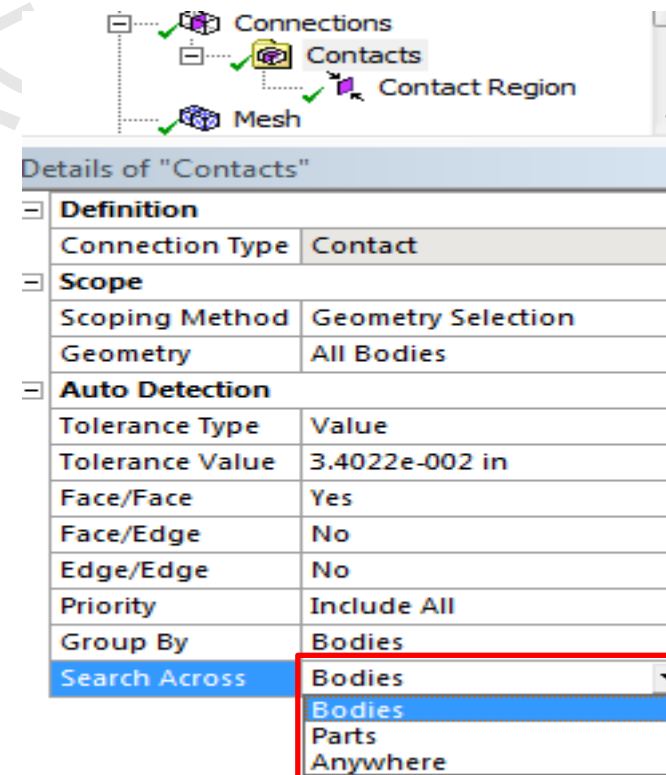
- 优先级设置为面覆盖 (**Face Overrides**) , 优先级顺序为：
面—面接触 > 面—边接触 > 边—边接触。
- 优先级设置为边覆盖 (**Edge Overrides**) , 优先级顺序为：
边—边接触 > 面—边接触 > 面—面接触。

安世亚太

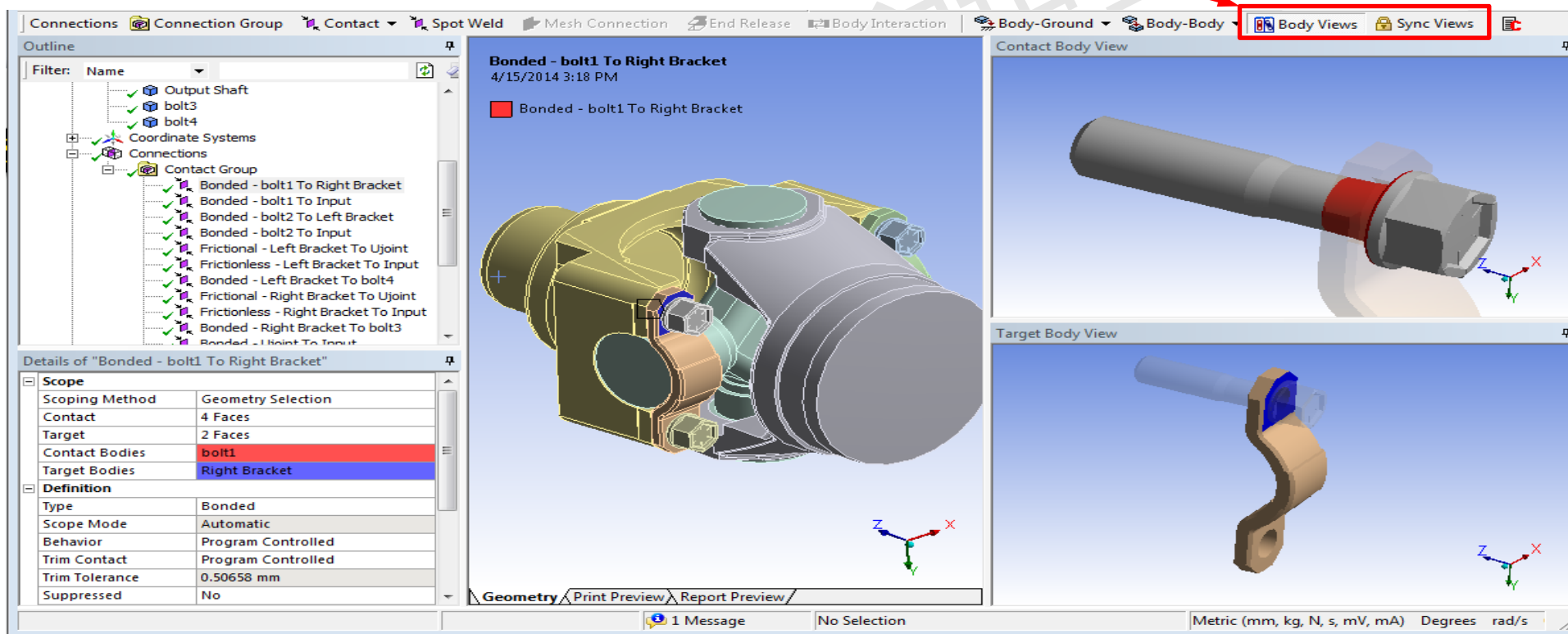
- 分组依据 (Group By) 设置为体 (Bodies) (默认) 或者部件 (Parts) 控制接触对中的接触面和目标面是否来自同一个体或同一个部件。
 - 不使用这些设置时，自动生成的接触对的接触面和目标面都只能为单一面。
 - 使用该设置时，自动生成的接触对的接触面和目标面可能为多个面，这些面同属于一个实体或部件。因此可以减少生成的接触对的数量。



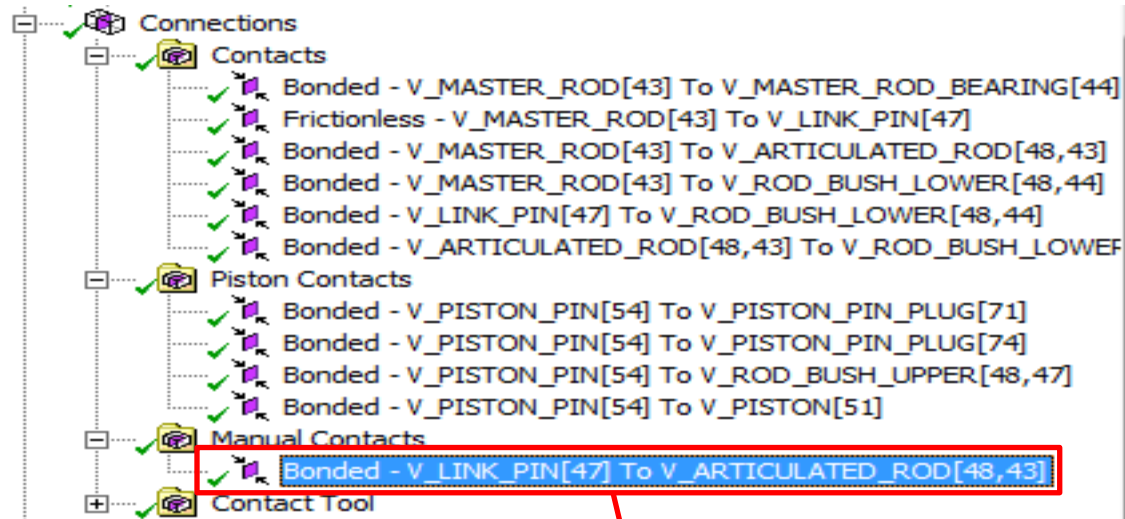
- 搜索范围 (Search Across) 包括以下选项，用于自动接触检测：
 - 体 (Bodies) (默认) : 检测体之间的接触
 - 部件 (Parts) : 检测部件之间的接触，不检测所属于同一部件内部的不同体之间的接触。
 - 任意 (Anywhere) : 检测所有接触，包括自接触。



- 通过体视图 (Body Views) 和同步视图 (Sync Views) 可以快速的查看接触区域所在的位置，尤其是当接触发生在模型内部时。
- 在连接分支的环境工具栏中有对应的按钮，用于激活该视图。

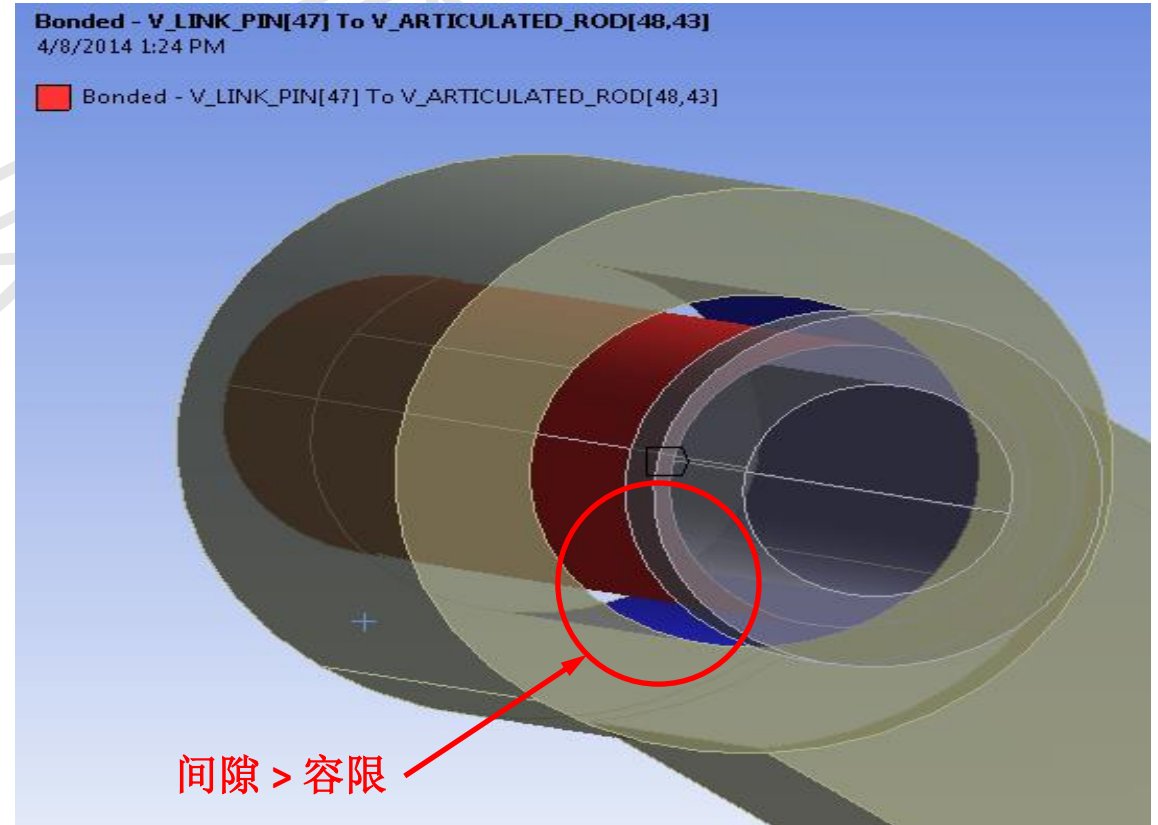


- 如果接触面之间的间隙大于搜索容限，需要手动添加接触。



Details of "Bonded - V_LINK_PIN To V_ARTICULATED_ROD"

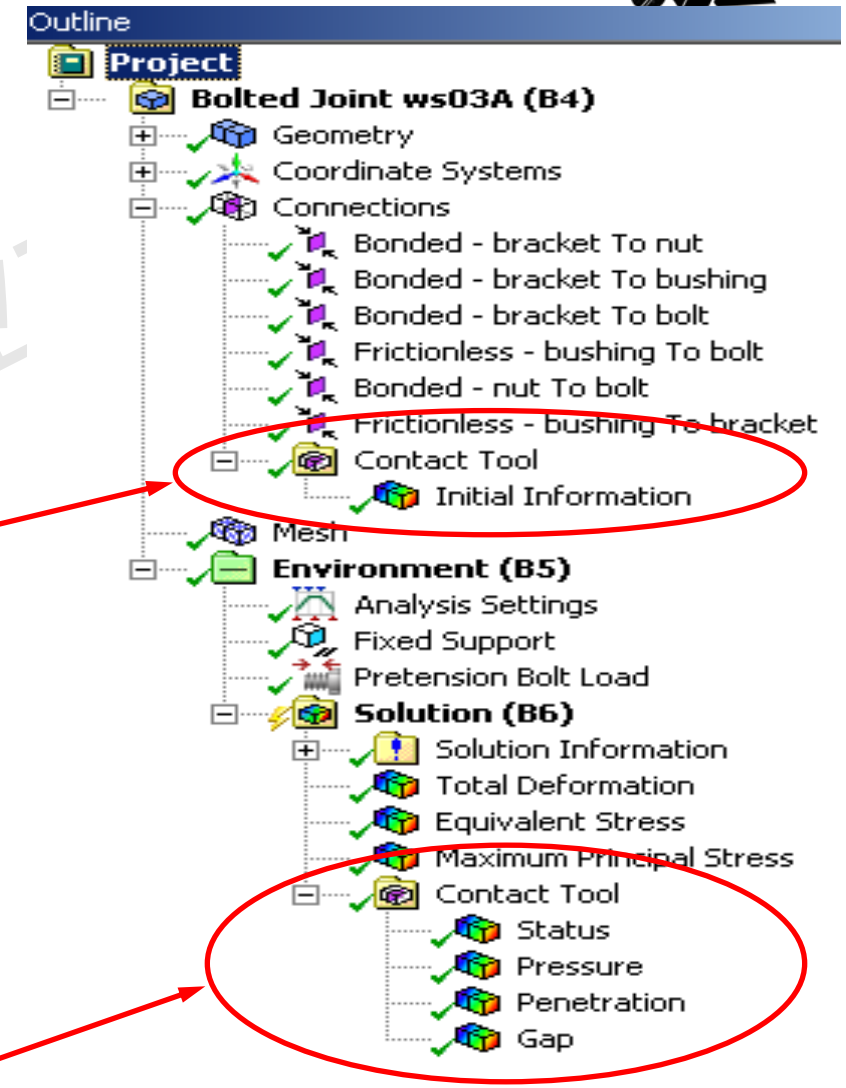
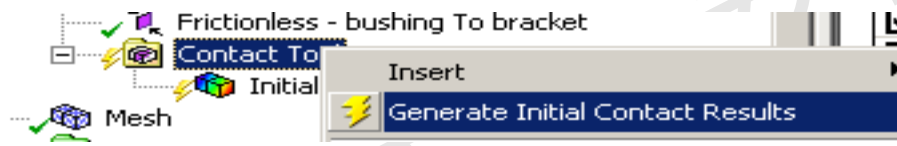
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	2 Faces
Target	1 Face
Contact Bodies	V_LINK_PIN
Target Bodies	V_ARTICULATED_ROD
Definition	
Type	Bonded
Scope Mode	Manual





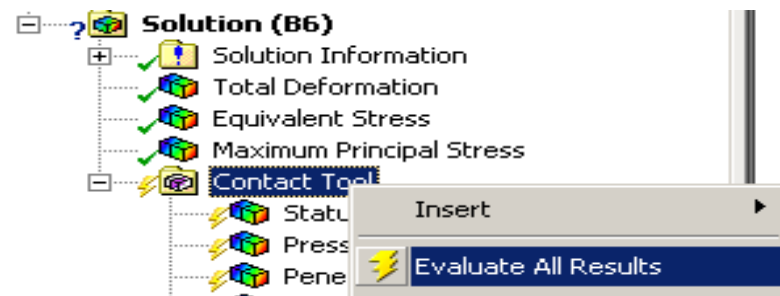
- 接触工具 (Contact Tool) 可以帮助用户检查接触区域的状态：

- 求解前验证初始状态 (状态、间隙、渗透、求半径等)
 - 在连接分支下插入



- 求解后验证计算得到的接触信息和接触区域传递的载荷 (力和转矩)

- 在结果分支下插入



- 可以查看所有接触或者指定接触区域的初始接触信息，可以查看接触面和目标面的初始接触信息。

The screenshot shows the ANSYS software interface. On the left is the Project Tree for "Bolted_Joint_ws03A". The tree includes folders for Geometry, Connections, Mesh, Environment, and Solution. Under Connections, several contact types are listed, and the "Contact Tool" icon is circled in red. On the right is the "Contact Tool" panel, which contains controls for "Contacts Selection" (set to "All Contacts"), "Contact Side" (set to "Both"), and buttons for "Add", "Remove", and "Apply". Below these controls is a table listing the contact information.

	Name	Contact Side
<input checked="" type="checkbox"/>	Bonded - bracket To nut	Both
<input checked="" type="checkbox"/>	Bonded - bracket To bushing	Both
<input checked="" type="checkbox"/>	Bonded - bracket To bolt	Both
<input checked="" type="checkbox"/>	Frictionless - bushing To bolt	Both
<input checked="" type="checkbox"/>	Bonded - nut To bolt	Both
<input checked="" type="checkbox"/>	Frictionless - bushing To bracket	Both

- 信息包括状态、接触单元数量、渗透、接触球、刚度等。对于每一个接触区域，这些信息对验证和问题排查很有帮助。

Initial Information

For additional options, please visit the context menu for this table (right mouse button)

Name	Contact Side	Type	Status	Number Contacting	Penetration (in)	Gap (in)	Geometric Penetration (in)	Geometric Gap (in)	Resulting Pinball (in)	Contact Depth (in)	Normal Stiffness (lbf/in ³)	Tanqential Stiffness (lbf/in ³)	Real Constant
Frictional - clamp To pipe	Contact	Frictional	Closed	201.	3.1964e-005	0.	3.1964e-005	2.0039e-008	4.e-005	0.14403	1.9872e+009	4.896e+008	5.
Frictional - clamp To pipe	Target	Frictional	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6.
No Separation - clamp To bolt	Contact	No Separation	Closed	162.	2.9832e-014	0.	3.6375e-004	3.9247e-004	2.7928e-002	0.11171	5.1933e+009	0.	7.
No Separation - clamp To bolt	Target	No Separation	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	8.
Bonded - clamp To nut	Contact	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	9.
Bonded - clamp To nut	Target	Bonded	Closed	16.	0.	0.	2.2204e-016	4.4409e-016	1.6404e-002	6.5617e-002	5.5278e+009	2.757e+009	10.
Bonded - bolt To nut	Contact	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	11.
Bonded - bolt To nut	Target	Bonded	Closed	30.	5.0468e-016	0.	2.6831e-005	2.7133e-004	2.5009e-002	0.10004	5.7994e+009	6.4309e+009	12.
Bonded - clamp To clamp	Contact	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	13.
Bonded - clamp To clamp	Target	Bonded	Far Open	0.	0.	0.	0.	0.	0.1	0.10236	0.	0.	14.
Frictionless - clamp To clamp	Contact	Frictionless	Near Open	0.	0.	0.19685	0.	0.19685	0.3	0.11053	0.	0.	15.
Frictionless - clamp To clamp	Target	Frictionless	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	16.

Color Legend

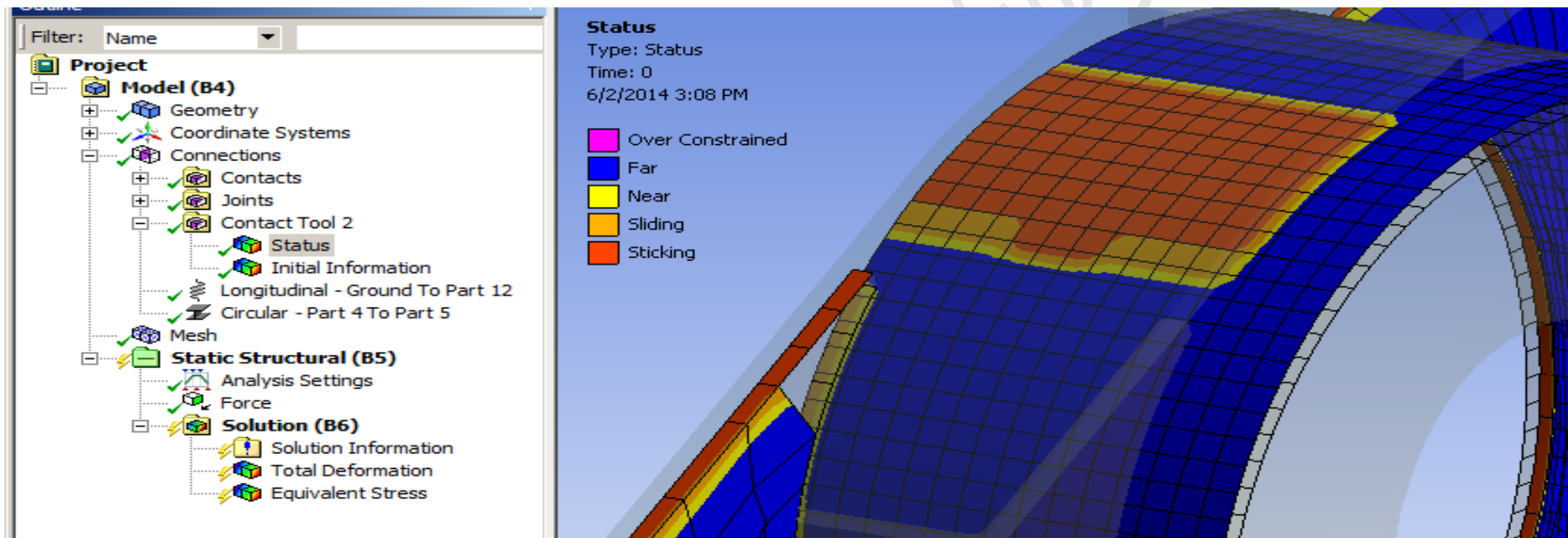
Red	The contact status is open but the type of contact is meant to be closed. This applies to bonded and no separation contact types.
Yellow	The contact status is open. This may be acceptable.
Orange	The contact status is closed but has a large amount of gap or penetration. Check penetration and gap compared to pinball and depth.
Gray	Contact is inactive. This can occur for MPC and Normal Lagrange formulations. It can also occur for auto asymmetric behavior.

- 几何间隙 (Geometric Gap) 和几何渗透 (Geometric Penetration) 表示在实体模型中存在的物理间隙和渗透。
- 间隙 (Gap) 和渗透 (Penetration) 是网格间存在的间隙和渗透值，这个值已经考虑了接触间添加的偏移调整。

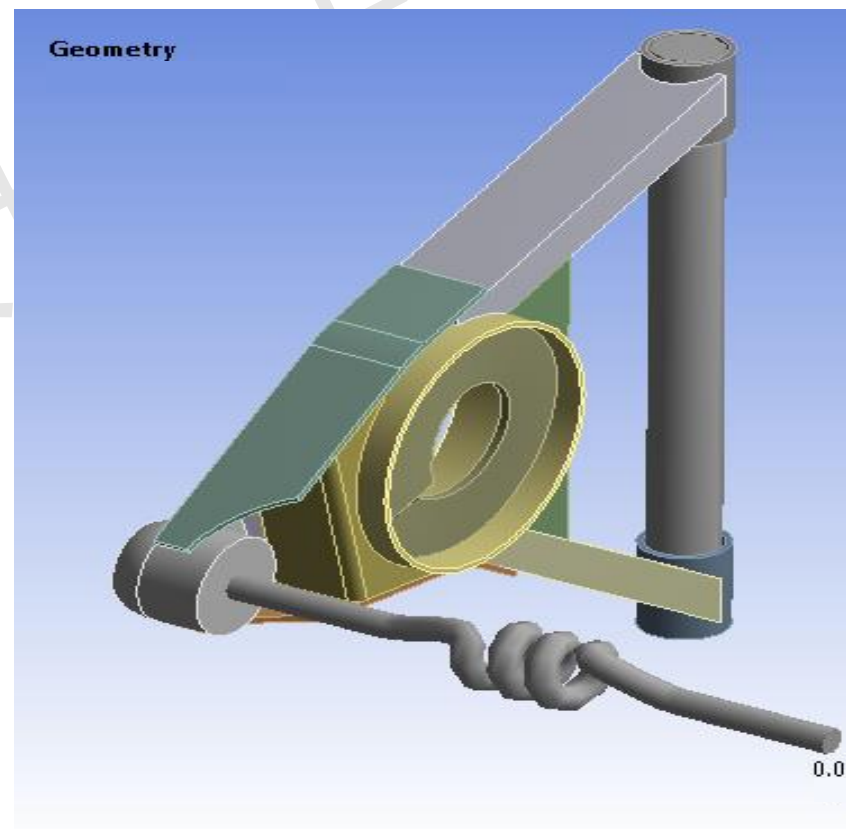
Name	Contact Side	Type	Status	Number Contacting	Penetration (mm)	Gap (mm)	Geometric Penetration (mm)	Geometric Gap (mm)	Resulting Pinball (mm)	Real Constant
Bonded - bracket To nut	Contact	Bonded	Closed	16.	0.	0.	1.3643e-012	0.75631	0.9839	5.
Bonded - bracket To nut	Target	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.
Bonded - bracket To bushing	Contact	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	7.
Bonded - bracket To bushing	Target	Bonded	Closed	25.	0.	0.	1.5916e-012	1.819e-012	1.0833	8.
Bonded - bracket To bolt	Contact	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	9.
Bonded - bracket To bolt	Target	Bonded	Closed	268.	0.	0.	0.31281	0.30317	0.3291	10.
Frictionless - bushing To bolt	Contact	Frictionless	Near Open	0.	0.	0.13058	0.	N/A	8.582	11.
Frictionless - bushing To bolt	Target	Frictionless	Near Open	0.	0.	0.13006	0.	N/A	3.0728	12.
Bonded - nut To bolt	Contact	Bonded	Closed	49.	0.	0.	0.5	0.	0.7012	13.
Bonded - nut To bolt	Target	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	14.
Frictionless - bushing To bracket	Contact	Frictionless	Near Open	0.	0.	1.5	0.	N/A	8.663	15.
Frictionless - bushing To bracket	Target	Frictionless	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.

- 在以下的位置和情况下，N/A 表示：
 - 接触对未激活（例如，在灰色的行中，接触状态 (Status) 为未激活 (Inactive))
 - 在无摩擦 (Frictionless)、粗糙 (Rough) 或者摩擦 (Frictional) 接触中，当界面处理 (Interface Treatment) 选项设置为添加偏移 (Add Offset) 时，几何间隙列显示为 N/A

- 对每一个接触区域，接触工具也可以以云图形式显示初始接触状态、渗透和间隙。



- 目标：
 - 在含有12个部件的汽车悬架装配体上使用自动检测选项和接触工具。



安世亚太



大咖慧，顾名思义，汇集众多大咖智慧。

是由安世亚太打造的一个以设计、仿真、增材制造等领域技术和行业专家为主的智慧学习平台。目前主要通过线上培训、研讨等方式，由行业相关领域资深专家与学员们分享交流最新技术和应用研究成果。

如有任何需求、建议，请关注订阅号（peraglobal），给我们留言

