

# ABAQUS 内聚力单元嵌入插件 V3.1 使用说明书

—— Cohesive Insertion V3.1

# 目录

1 插件简介.....	2
2 插件的主要功能及特点.....	2
3 插件的安装与使用.....	2
3.1 插件安装.....	2
3.2 插件界面.....	4
3.3 插件使用方法.....	7
3.3.1 基本用法.....	7
3.3.2 全局嵌入 Cohesive 单元.....	10
3.3.3 插入有厚度 Cohesive 单元.....	11
3.3.4 Special Set 功能.....	13
3.3.5 插入完成后创建 Cohesive 集合.....	14
3.4 注意事项及常见问题.....	15
4 插件嵌入效率测试.....	16
5 插件运用实例.....	17
5.1 混凝土细观模型中 Cohesive 单元的嵌入.....	17
5.2 体素网格中界面处嵌入 Cohesive 单元.....	17
5.3 三维网格中插入有厚度 Cohesive 单元.....	18
5.4 水力压裂模拟.....	18

# 1 插件简介

Cohesive Insertion 是一款基于 Python 语言开发的 ABAQUS 插件，可用于在有限元实体单元网格中嵌入内聚力（Cohesive）单元，以模拟材料或结构中多裂纹萌生、扩展的复杂力学行为。该插件可实现在已有的 2D/3D 有限元网格中全局地或局部地插入零厚度/有厚度 Cohesive 单元，拓展了 ABAQUS 软件的原有功能，可极大地降低建模难度，提高工作效率，在复合材料数值模拟研究领域具有广阔的应用前景。

本插件适用的 ABAQUS 版本：ABAQUS 6.14 ~ ABAQUS 2023。

## 2 插件的主要功能及特点

（1）支持在二维（三角形、四边形）、三维（四面体、楔形体、六面体）实体单元之间嵌入 Cohesive 单元，网格中的单元形式无需一致，可以同时包含多种形式的单元。

（2）单元的嵌入部位可以灵活设置。支持全局（所有单元公共面上）、局部（部分集合区域内）、仅在基质（Matrix）和夹杂（Inclusion）的界面上嵌入 Cohesive 单元。

（3）支持在基质和夹杂的界面嵌入零厚度或有厚度 Cohesive 单元，用于模拟界面力学行为。

（4）支持含孔压 Cohesive 单元的嵌入，用于水力压裂模拟。

（5）支持对指定几何区域插入的 Cohesive 单元单独设置集合，便于指定材料属性，常用于岩石节理面、晶体的晶粒界面。

（6）支持 Cohesive 单元集合的自动设置。如在区域内部插入的 Cohesive 单元会组成一个带后缀“-cohesive”的集合，例如“Set-1-cohesive”；两个区域边界上插入的 Cohesive 单元会组成一个集合，集合命名规则为“集合 1 名称-by-集合 2 名称-cohesive”，例如“Set-1-by-Set-2-cohesive”。

（7）在 Cohesive 单元插入完成后，可按集合关系对 Cohesive 单元分组（创建集合）。

（8）插件采用高效的嵌入算法，计算耗时小。

## 3 插件的安装与使用

### 3.1 插件安装

（1）解压插件压缩包，生成解压文件夹，如下图所示

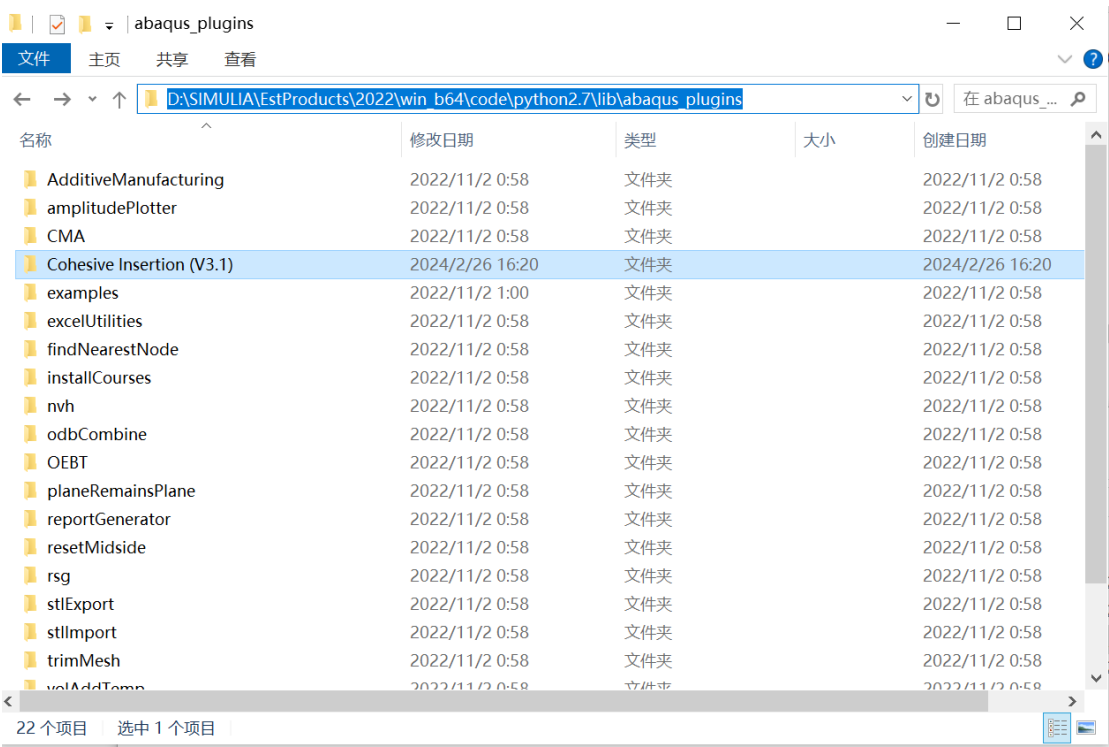


(2) 将解压文件夹内的插件文件夹 Cohesive Insertion（V3.1）拷贝到插件安装路径下。这里给出两种常用的插件安装路径。

1) ABAQUS 安装时指定的插件路径，示例如下（ABAQUS 版本 2022）:

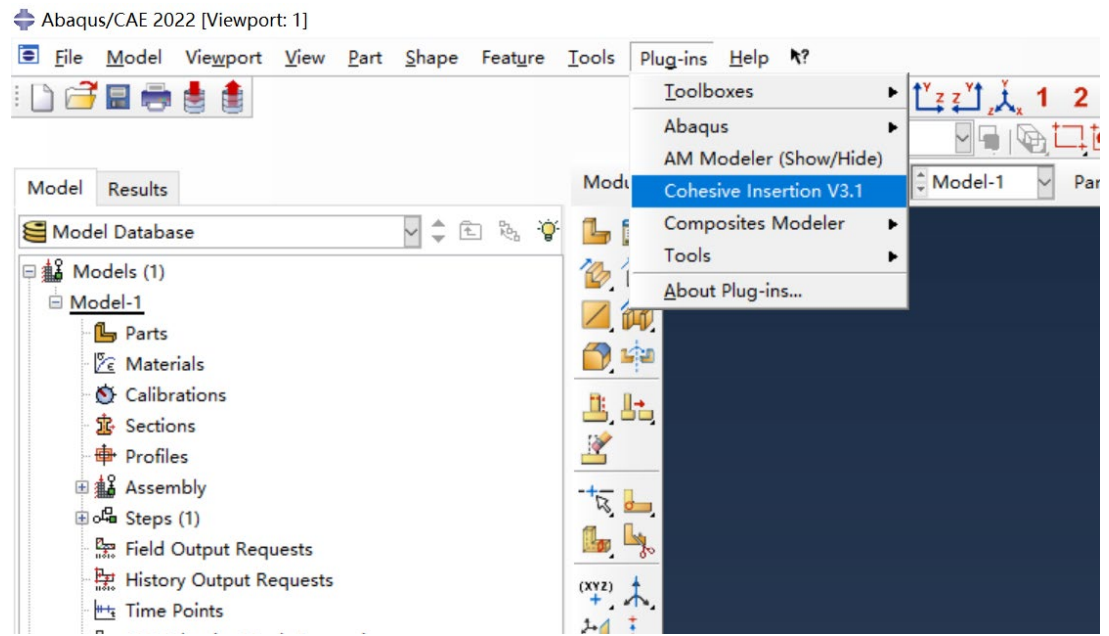


2) ABAQUS 软件自带的插件路径，示例如下:



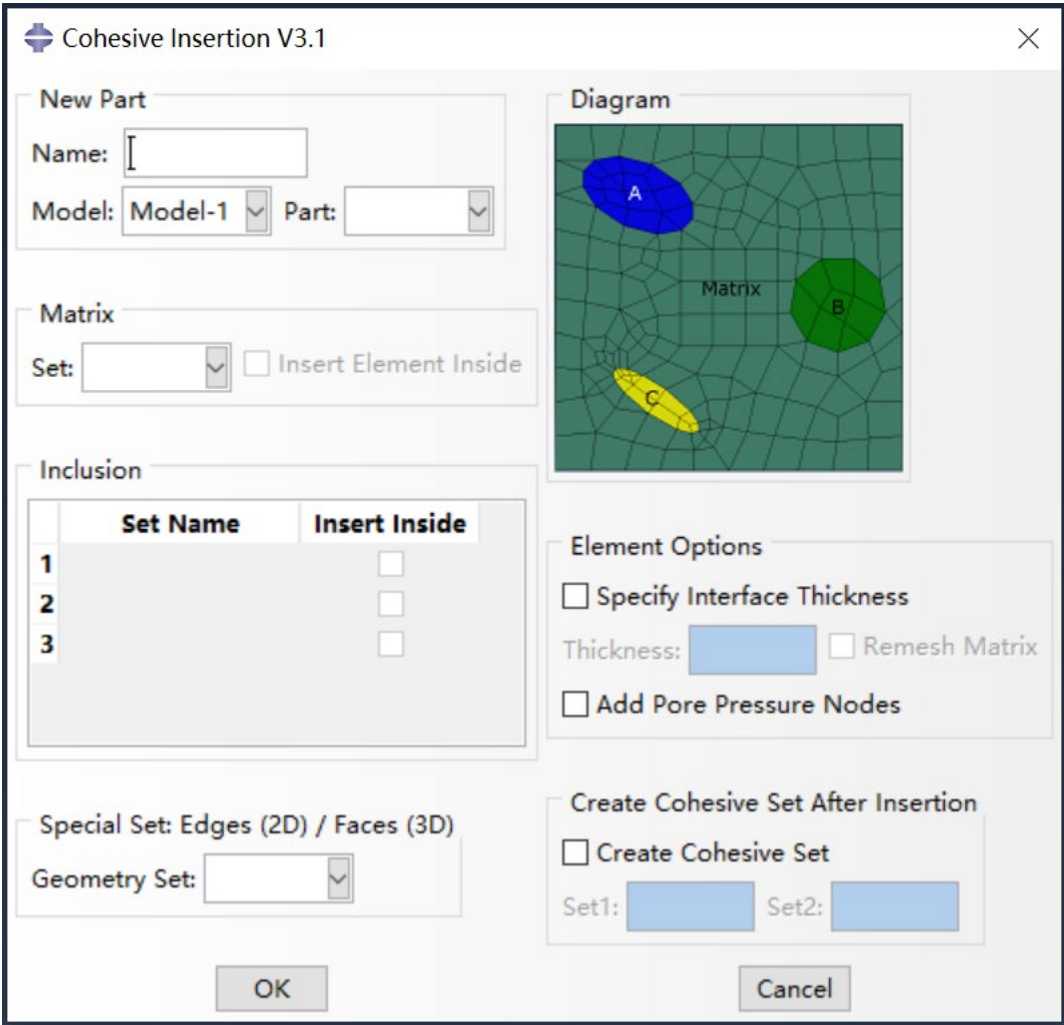
注意：以上两种安装路径，只能二选一，不得在两个路径同时安装插件。

3) 重启 ABAQUS 软件，点击工具栏 Plug-ins，可看到插件条目 Cohesive Insertion V3.1，点击即可打开本插件界面，如下图所示：



### 3.2 插件界面

点击工具栏中的插件将弹出 Cohesive Insertion 界面如下：



**New Part 区块：**新部件设置，本插件根据原始部件的网格信息生成新部件，新部件中包含插入的 Cohesive 单元，避免了对原始网格的修改，同时提高了建模速度。

Name: 新部件的名称

Model: 原始部件所在的模型

Part: 原始部件

**Matrix 区块：**模型中基质（Matrix）的设置。

Set: 基质集合

Insert Element Inside: 是否在基质集合内部插入 Cohesive 单元，若勾选则会在基质内部插入 Cohesive 单元。

基质（Matrix）的概念对应于颗粒增强复合材料中的基质，增强体为夹杂相（Inclusion），例如在混凝土细观模型中，骨料颗粒是夹杂，基质是砂浆。基质必须指定且只有一个集合（单元集或几何集），夹杂（Inclusion）可以有多个集合（单元集或几何集）。所有集合之间（包括基质集合和夹杂集合）都不能有交集，即不能存在共有的单元。此外，不同夹杂集合之间

不能存在公共面，即夹杂集合的边界都是分离的；如果两个夹杂集合存在公共面，则应把这两个集合用一个合并的集合表示。

对于插件的使用，基质与夹杂并一般不需要严格的区分，只需要满足前述条件即可。例如，混凝土细观模型中，对于骨料和砂浆两相模型，如果所有骨料颗粒设置为一个集合，则骨料和砂浆可任选一个作为基质集合，而另一个作为夹杂集合。若骨料被划分为了两个集合，则只能选择砂浆为基质集合，原因是砂浆若作为夹杂集合则不满足与其他夹杂集合不相交的条件。

**Inclusion 区块：**模型中夹杂的设置

Set Name: 夹杂集合的名称

Insert Inside: 是否在夹杂集合内部插入 Cohesive 单元，若勾选则会在夹杂内部插入。

**Special Set: Edges (2D) / Faces (3D):** 需要单独设置 Cohesive 单元集合的几何区域

Geometry Set: 几何集合，可以为 Edges 集合（2D 网格）、Faces 集合（3D 网格）

**Element Options 区块：**Cohesive 单元的可选设置

Specify Interface Thickness: 是否采用有厚度单元，若勾选则采用有厚度单元

Thickness: 指定单元厚度

Remesh Matrix: 是否在插入有厚度单元过程中，对基质网格重划分以提高网格质量，若勾选则会重新划分基质网格。

Add Pore Pressure Nodes: 是否采用孔压 Cohesive 单元（渗流单元），若勾选则采用孔压 Cohesive 单元。

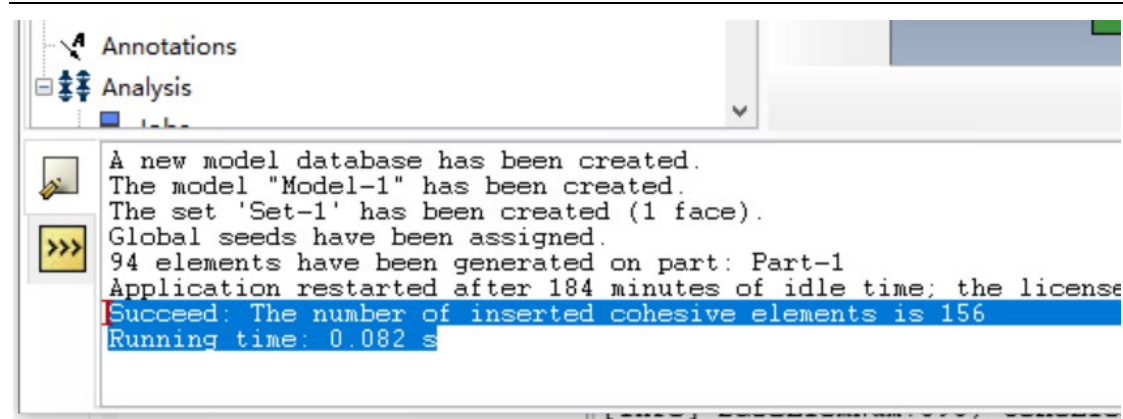
**Create Cohesive Set After Insertion:** 在 Cohesive 单元插入完成后，可用该功能对 Cohesive 单元进行集合设置

Create Cohesive set After Insertion: 是否使用创建 Cohesive 集合的功能，若勾选则利用实体单元集合关系创建 Cohesive 单元集合

Set1: 第一个实体单元集合名称

Set2: 第二个实体单元集合名称

用户正确设置完部件、Matrix 集合、Inclusion 集合、单元选项后，点击 OK 按钮可启动嵌入程序，嵌入程序完成后，会生成一个新部件，并在 ABAQUS 信息提示框中将嵌入的单元数量和运行时间打印出来，如下图所示：

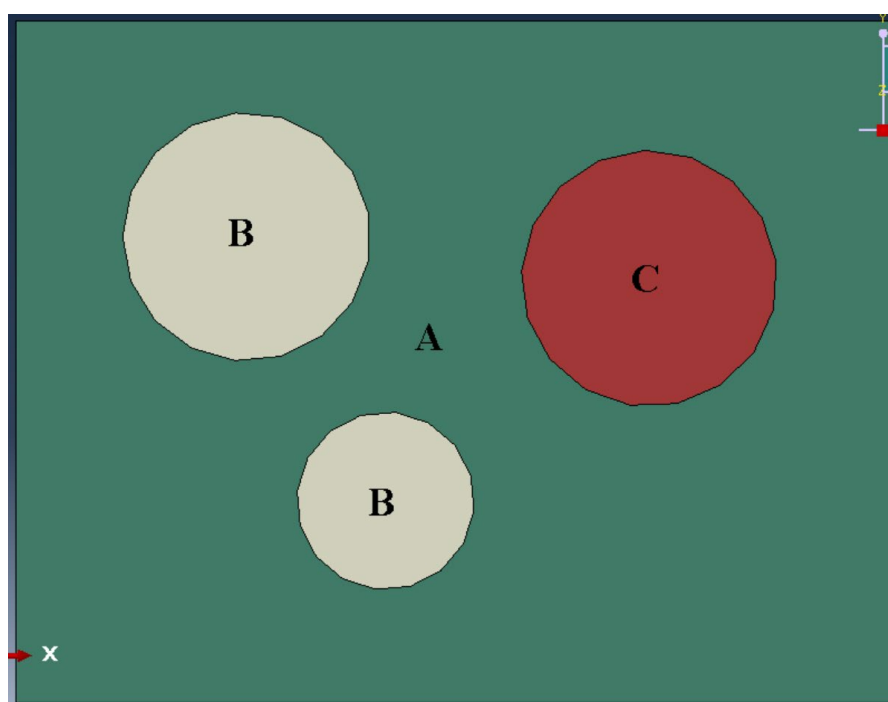


### 3.3 插件使用方法

#### 3.3.1 基本用法

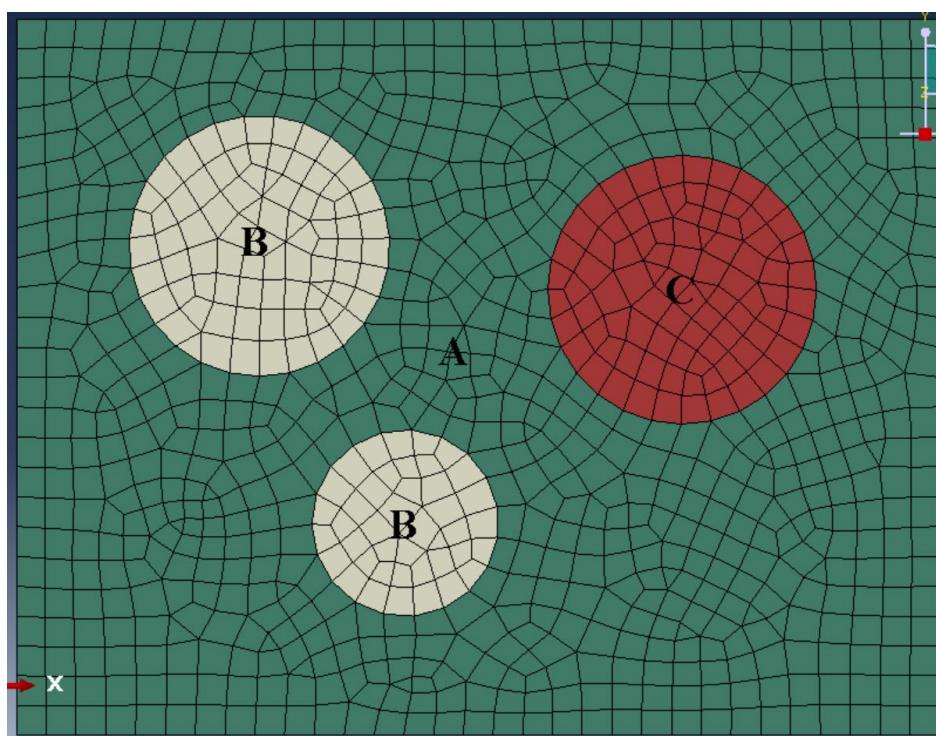
对于 2D 和 3D 的问题，插件的使用方法是相同的，为简单起见，本小节中多数案例以 2D 模型进行介绍。插件的使用需要正确设置集合并对部件划分网格，未划分网格的部件不能使用插件嵌入单元。注意，本插件原则上只能进行 Cohesive 单元的一次性插入，不能在已经嵌入 Cohesive 单元的部件中再次插入单元。下面以一个典型的例子介绍插件的详细使用步骤。

(1) 创建一个二维矩形部件，矩形中包括 3 个不相交的圆形区域。将整个部件的 Faces 设置为 3 个集合，其中集合 A 表示除 3 个圆面以外的所有区域，集合 B 由两个圆面组成，集合 C 由剩下的一个圆面组成，如下图所示：

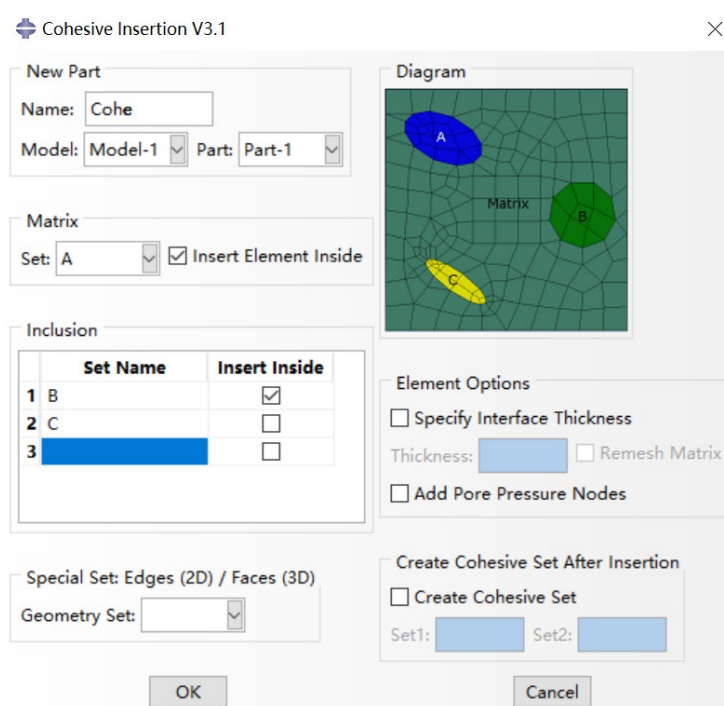




(2) 对之前创建的部件划分网格，如下图所示：

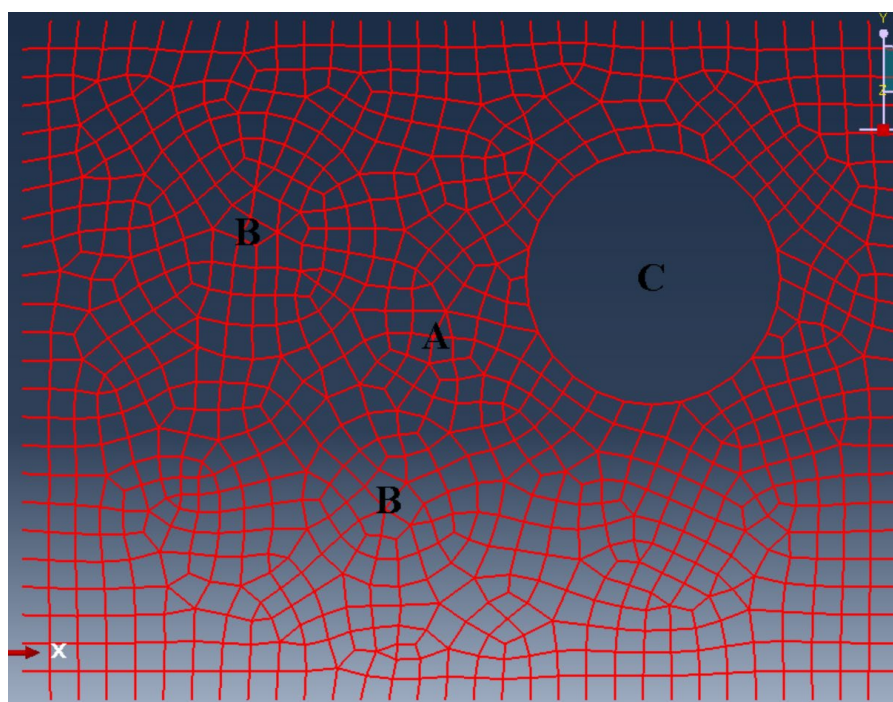


(3) 打开插件，进行如下图的设置。图中插件设置表明在集合 A 内部、集合 B 内部、集合 A 与集合 B、C 的边界上插入零厚度 Cohesive 单元。注意集合 C 的“Insert Inside”选项未勾选，因此集合 C 内部不会插入 Cohesive 单元，但会在集合 C 与集合 A 的边界上插入单元。

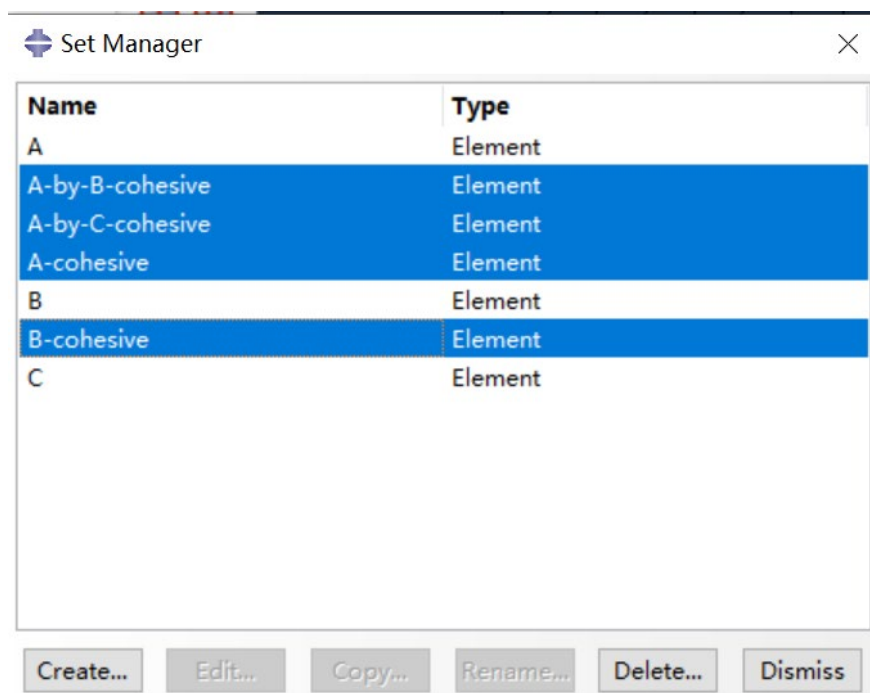


(4) 点击 OK 按钮，启动嵌入程序，将生成一个嵌入了 Cohesive 单元的新部件“Cohe”。

部件中嵌入的内聚力单元如下图所示（这里为显示方便，隐藏了实体单元）：



新部件中的内聚力单元被自动划分为了 4 个集合：



A-cohesive: 集合 A 内部的 Cohesive 单元

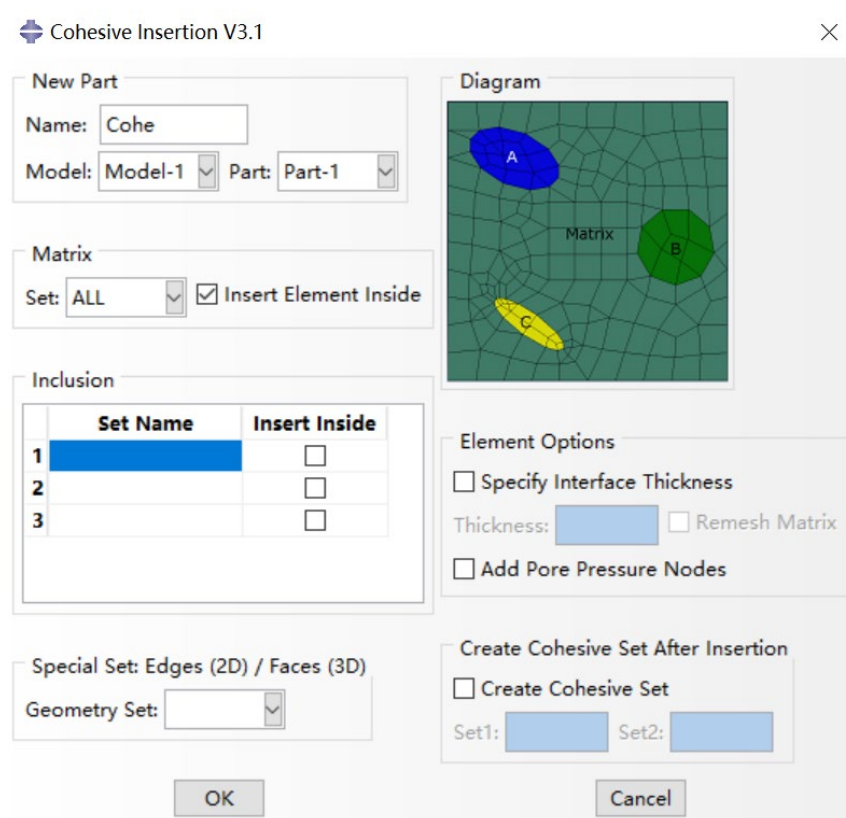
B-cohesive: 集合 B 内部的 Cohesive 单元

A-by-B-cohesive: 集合 A 与集合 B 边界上的 Cohesive 单元

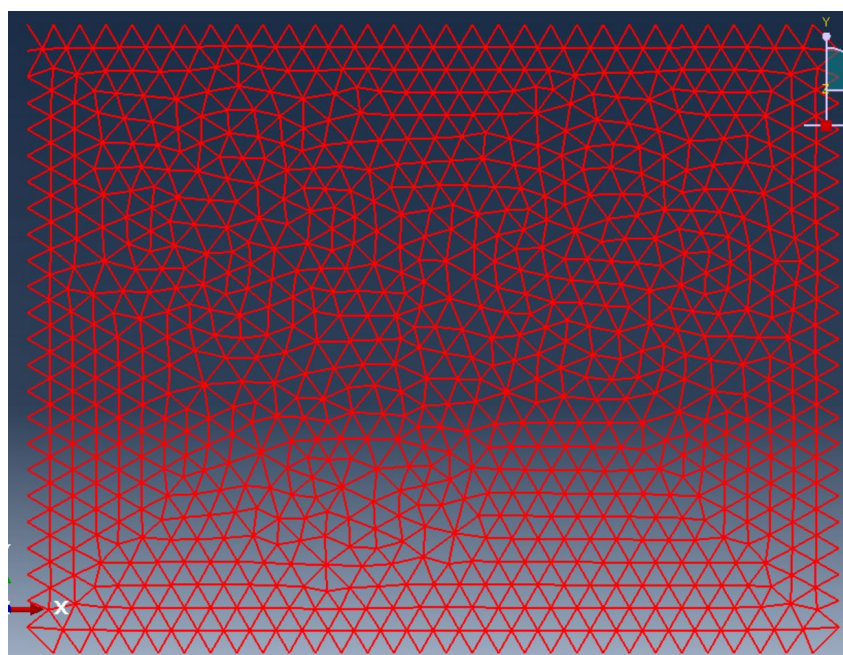
A-by-C-cohesive: 集合 A 与集合 C 边界上的 Cohesive 单元

### 3.3.2 全局嵌入 Cohesive 单元

若不区分基质和夹杂，全局嵌入同一种 Cohesive 单元，应把原始部件设置为一个集合，假设为集合 ALL，全局插入内聚力单元的设置如下图所示。注意，全局的嵌入表示内部也有嵌入，所以要勾选“Insert Element Inside”选项。



在网格中全局嵌入 Cohesive 单元，生成的 Cohesive 单元如下图所示：



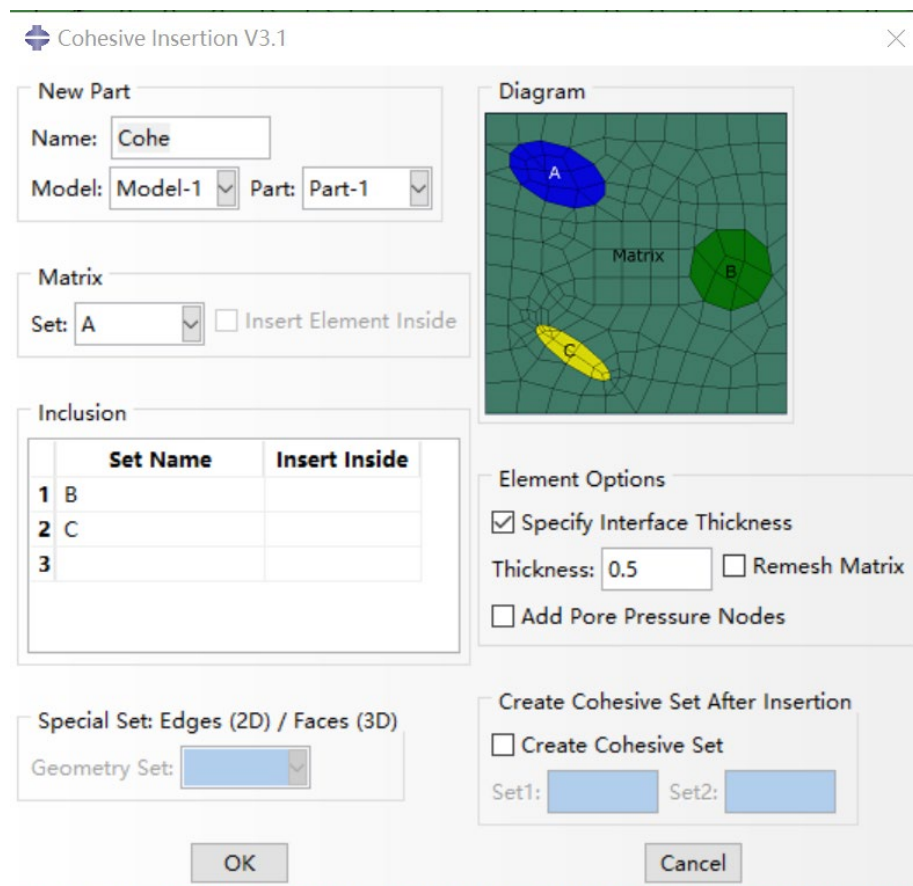


### 3.3.3 插入有厚度 Cohesive 单元

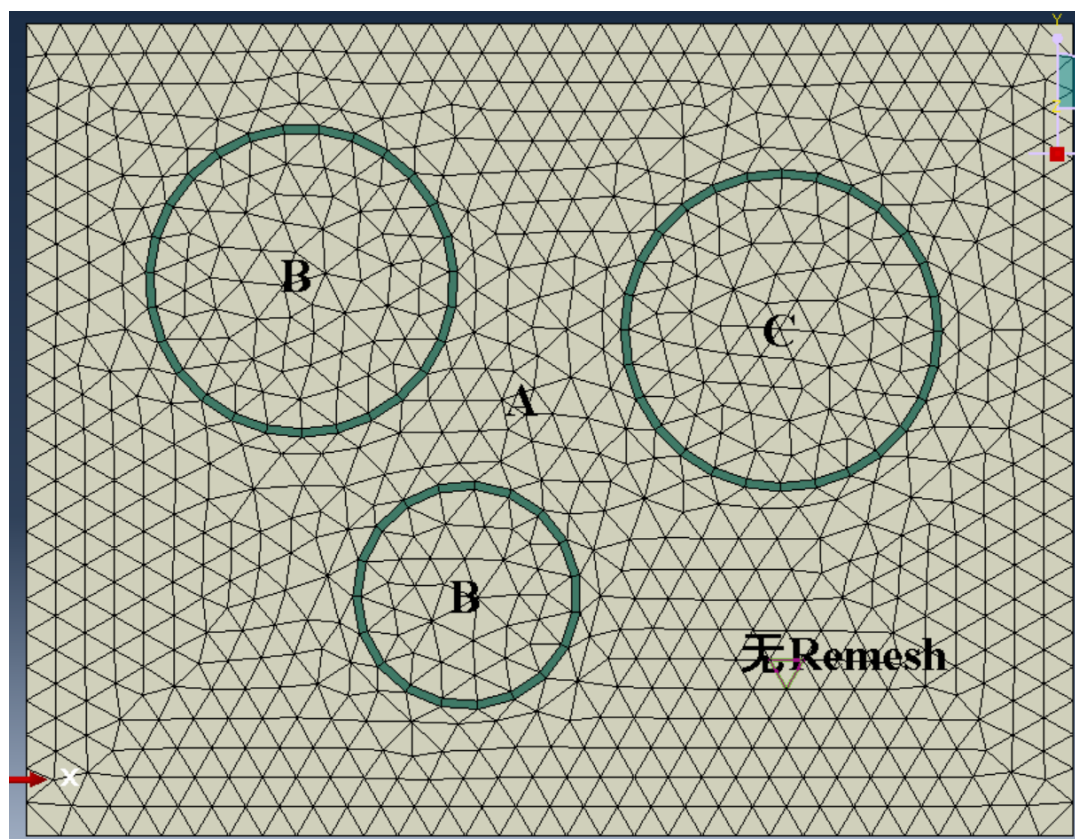
注意：使用该功能需要 ABAQUS 版本 2018 及以上版本

有厚度 Cohesive 单元只能在 Matrix 和 Inclusion 集合的边界上插入，而不能在集合内部插入有厚度的 Cohesive 单元。单元选项中需要指定单元的厚度“Thickness”，这个厚度值是 Inclusion 表面的网格向 Matrix 内部偏移的距离。对有厚度 Cohesive 单元的插入来说，要注意 Matrix 集合的选择，因为生成的 Cohesive 单元相当于是从 Matrix 区域中切割出来的，所以最终 Matrix 区域减小的面积（体积）等于生成的 Cohesive 单元的面积（体积）。由于网格的偏移，内聚力单元厚度较大时，Matrix 区域的网格可能会发生畸变，可勾选“Remesh Matrix”选项 Matrix 区域的网格重新划分，但 Remesh 功能要求原始网格的单位全部为三角形单元或者四面体单元。

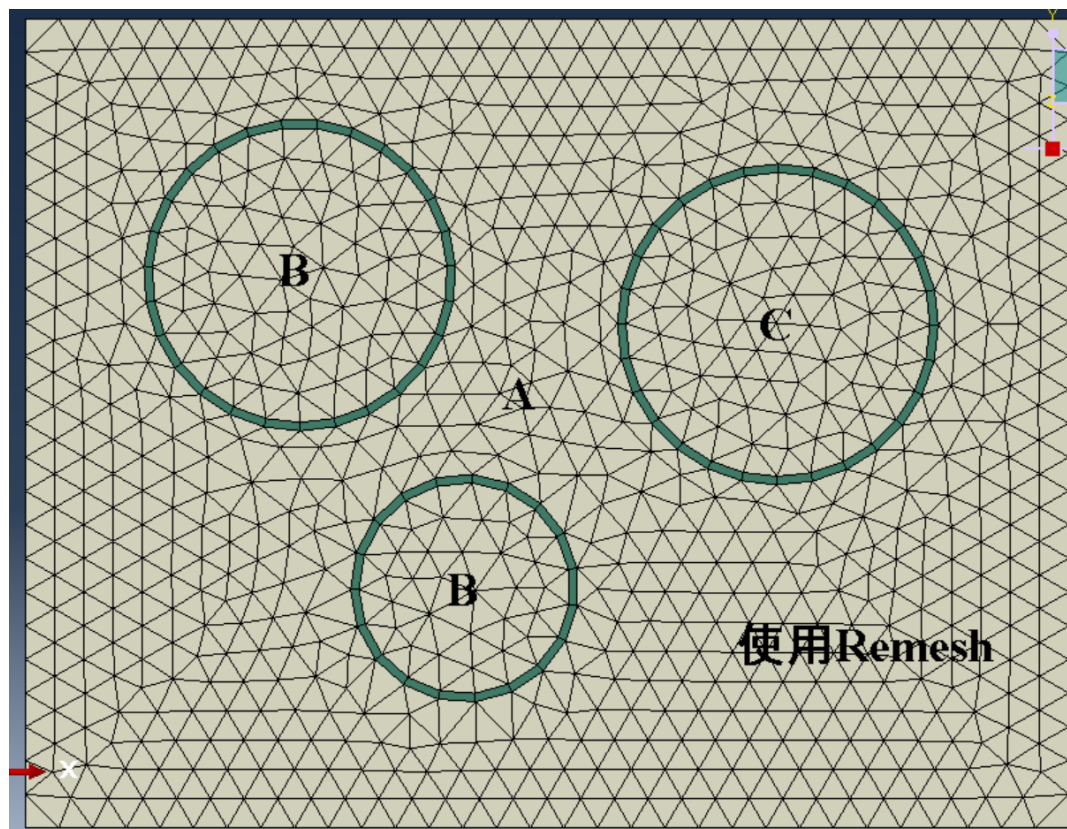
例子，在集合 A 与集合 B、C 的边界插入有厚度内聚力单元。插件设置如下：



生成的内聚力单元如下图所示中的深色区域所示：

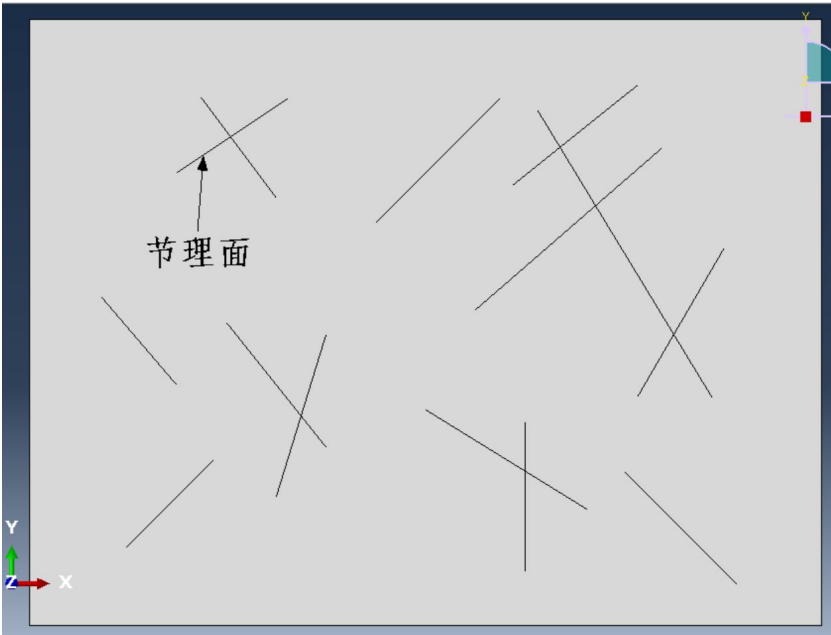


网格中单元都是三角形单元，可以使用 Remesh 选项，生成的新部件网格如下图所示：

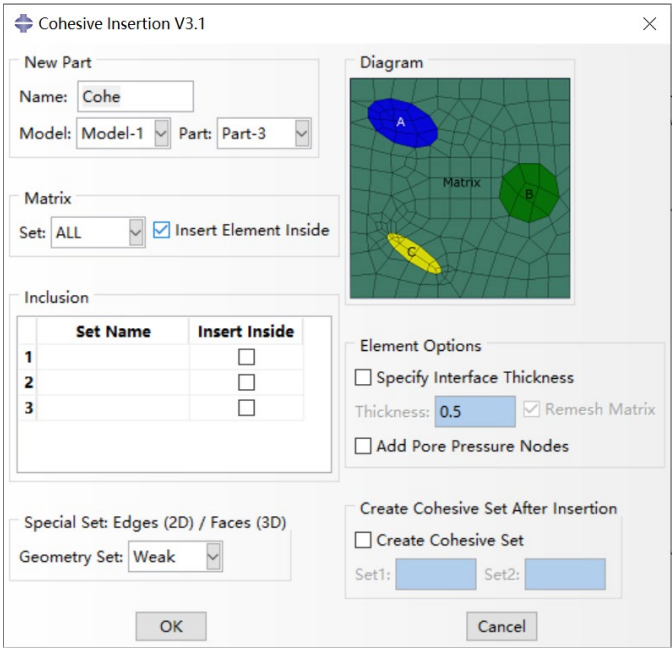


3.3.4 Special Set 功能

Special Set 功能：在插入 Cohesive 单元的过程中，对指定几何区域上生成的 Cohesive 单元创建几何，常用于岩石节理面、晶体界面设置。假设下图中的黑色线条表示岩石节理，模型中采用全局嵌入方式插入 Cohesive 单元，但需要对岩石节理位置处的 Cohesive 单元单独设置一个集合，以便后期对节理面薄弱区域的材料属性赋值。



选中面内部所有的 Edges 并设置为一个集合（如集合“Weak”），对部件划分网格后，采用如下的插件设置，即可实现全局 Cohesive 单元嵌入并对线条所在位置生成的 Cohesive 单元创建集合。



生成的 Cohesive 单元集合如下：

ALL-cohesive: 所有的 Cohesive 单元

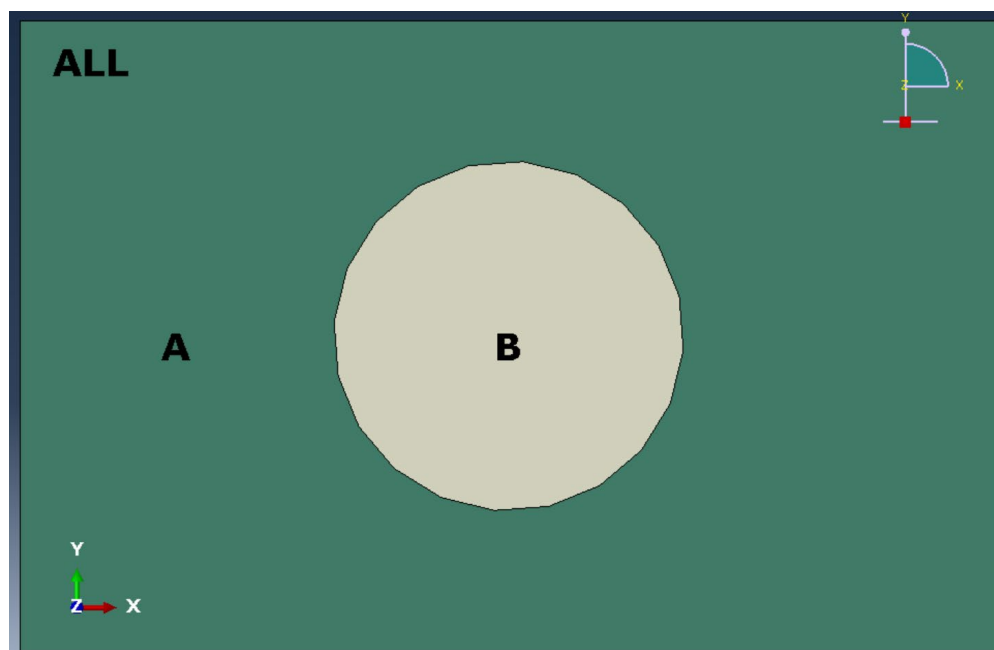
Weak-cohesive-Edges: Weak 集合（Edges 的集合）上插入的 Cohesive 单元

Rest-cohesive-NonEdges: Weak 区域以外的所有 Cohesive 单元。

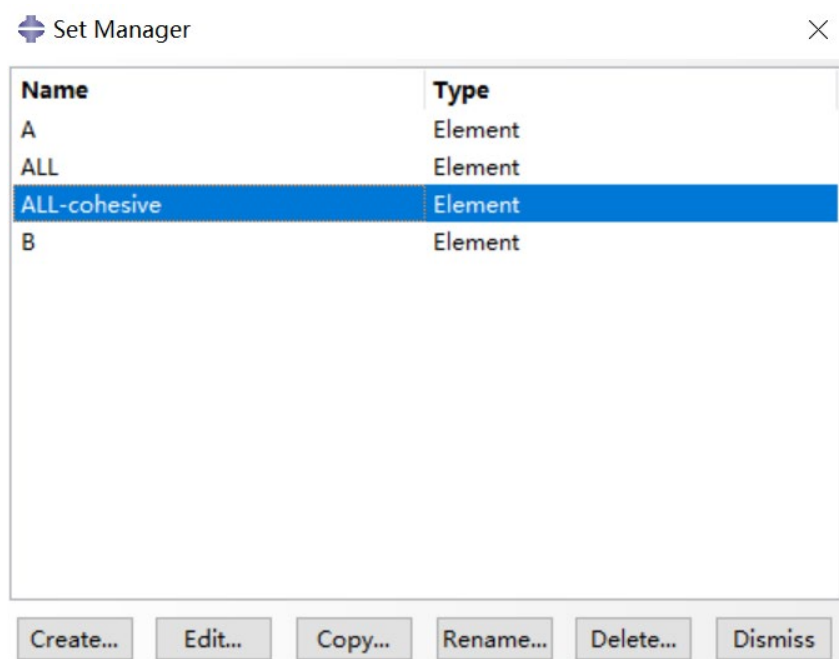
$ALL-cohesive = Weak-cohesive-Edges + Rest-cohesive-NonEdges$

### 3.3.5 插入完成后创建 Cohesive 集合

通过插件的前面介绍的基本设置，插入单元过程中会按插入区域自动建立 Cohesive 单元集合，一般能够满足绝大多数用户的需求。特殊情况下，用户可能希望能够对插入的单元进行细分，比如夹杂是多相球结构（如再生混凝土骨料）、基质有多层结构等情况，可以使用“Create Cohesive Set After Insertion”功能创建对应区域的 Cohesive 单元集合。注意，该功能只是进行 Cohesive 单元的集合划分，并不会生成新的 Cohesive 单元。以下图的模型为例，模型整体设为集合 ALL，另外还设置了基质集合 A 和夹杂集合 B。



首先选取集合 ALL 为 Matrix 进行全局 Cohesive 单元的插入。插入完成后，新部件中的集合如下图所示。



图中集合 ALL-cohesive 是所有嵌入的 Cohesive 单元的集合。如果我们想进一步区分出不同区域嵌入的 Cohesive 单元，勾选“Create Cohesive Set”选项，通过设置 Set1 和 Set2 来创建 Cohesive 单元的集合。创建集合功能不会修改网格，可多次使用。使用规则如下：

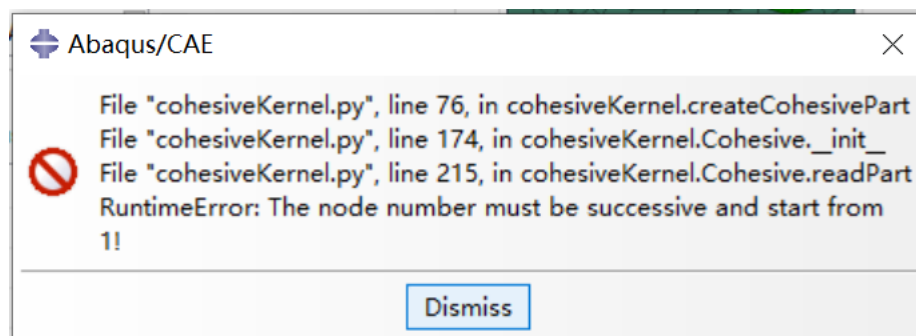
- (1) Set1 = A, Set2 = B, 将创建 A 与 C 公共界面处单元的集合，命名为“A-by-B-cohesive”；
- (2) Set1 = A, Set2 不设置，将创建集合 A 内部 Cohesive 单元的集合，命名为“A-cohesive”。

### 3.4 注意事项及常见问题

(1) 插件只能对一个部件使用，如果模型由多个部件组成，应将部件通过装配体模块合并为一个部件。

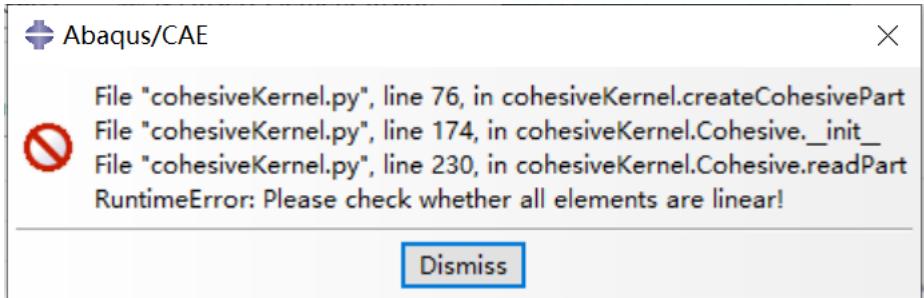
(2) 使用插件前必须对部件划分网格，部件中节点和单元的编号必须从 1 开始并且连续。如果部件是从其他建模软件(如 Hypermesh)导入的，请检查节点和单元编号是否满足要求。

如果节点和单元的编号不正确，会产生如下的错误提示：





(3) 有限元网格中的单元应保证为线性单元（每条边上只有两个节点）。若采用四面体网格划分，默认情况下为二次单元，要注意网格划分时设置正确的单元类型。网格中单元类型不正确时，会产生如下的报错信息：



(4) 一般情况下，不要使用插件对已经插入了 Cohesive 单元的部件再次插入单元。二次插入 Cohesive 单元，即使没有报错，生成的网格也不会符合用户的真实意图。

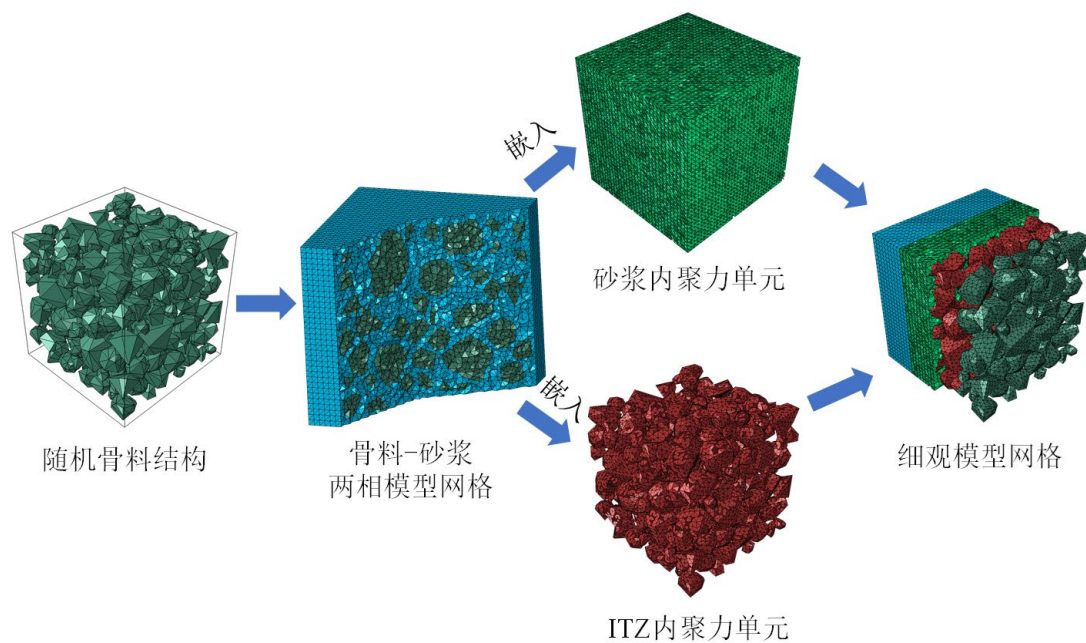
4 插件嵌入效率测试

三维四面体网格全局嵌入 Cohesive 单元，电脑 CPU（i7-12700），内存 64GB，插件运行耗时统计如下表所示：

三维四面体网格全局嵌入 Cohesive 单元测试结果		
网格单元数量	Cohesive 单元数量	耗时（秒）
6585	12570	0.466
40359	78318	2.448
212573	415546	13.106
466557	914298	29.447
818762	1607278	52.269
1673524	3287048	110.553

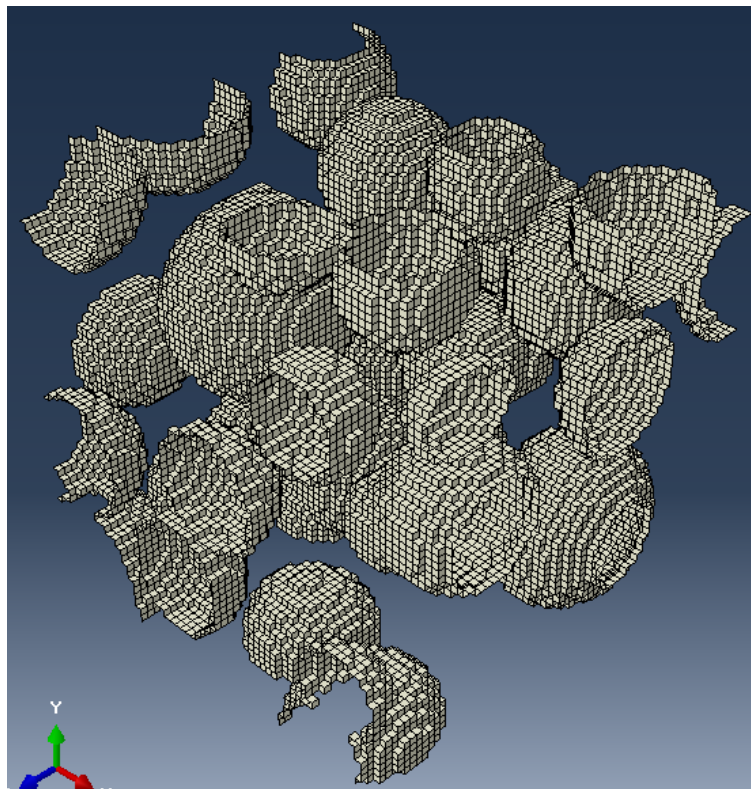
## 5 插件运用实例

### 5.1 混凝土细观模型中 Cohesive 单元的嵌入



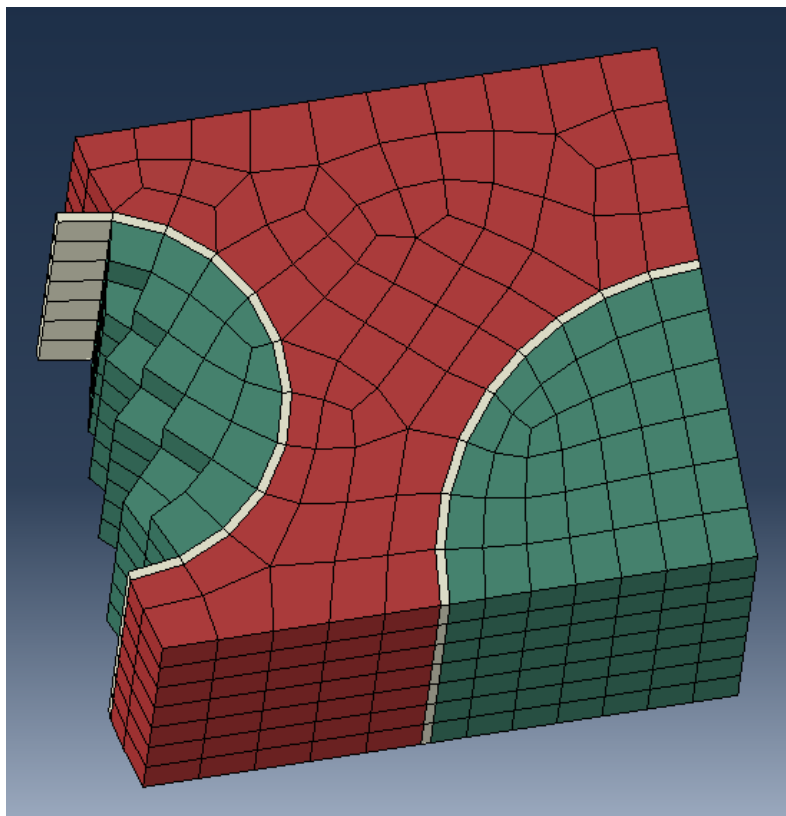
### 5.2 体素网格中界面处嵌入 Cohesive 单元

原始部件为体素网格，图中显示为骨料和砂浆表面嵌入的零厚度 Cohesive 单元。



### 5.3 三维网格中插入有厚度 Cohesive 单元

图中显示了三维网格中在不同区域公共界面插入有厚度的 Cohesive 单元（图中白色表示 Cohesive 单元）。



### 5.4 水力压裂模拟

本插件可用于水力压力模拟，下图分别显示了数值模拟得到的变形图和孔隙压力云图。

