

致密气藏模拟

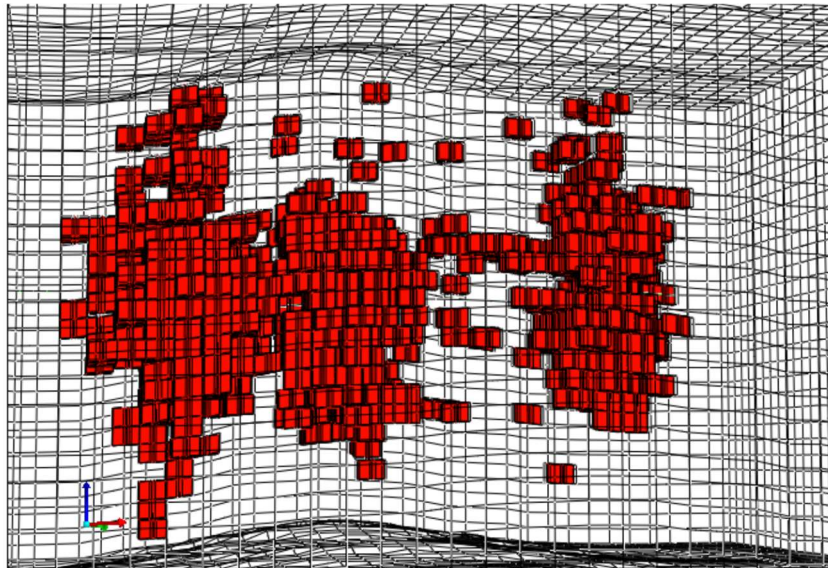
— 利用微地震数据创建复杂裂缝

Builder /IMEX/Results 2017.10

编写人：孙明月

水力压裂已成为非常规油气藏增产的关键技术，而微地震监测也已广泛使用于水力压裂裂缝监测和评估，有效评估非常规储层压裂改造效果。在数值模拟中利用微地震数据创建体积压裂复杂裂缝模型，会大大提高裂缝模拟的精度和效果。

本期讲义通过 Builder 导入 RESCUE 格式数据建立非均质地质模型，并在此基础上通过微地震数据创建复杂裂缝模型并进行产能预测。



与第 41 期讲义不同的是，本期讲义建立的是非均质的致密气藏矿场地质模型，并新添加微地震数据质量检测，筛选等。

本文基础模型“Base Model-SI.dat”。模型网格数 $37 \times 38 \times 30 = 42180$ ，网格类型为非正交角点网格，网格尺寸大致为 $10\text{m} \times 10\text{m}$ ，埋深 3150m，孔隙度范围 0.04~0.07，渗透率范围 0.0004 md~0.0007 md，油层厚度是 130 m；组分设置较为简单，只有气水两相；单水平井模型，水平井段长度 300m，投产前实施体积压裂（SRV），压裂共分为 4 级（stage）。



目 录

1. 建立致密气藏模拟基础模型.....	3
1.1 选择模拟器.....	3
1.2 输入油藏属性.....	3
1.3 输入岩石和流体属性.....	5
1.4 输入相对渗透率数据.....	7
1.5 输入初始条件.....	8
2. 利用微地震数据建立体积压裂复杂裂缝模型.....	9
2.1 导入微地震（MicroSeismic）数据.....	10
2.2 利用地震数据创建复杂体积裂缝.....	14
2.2.1 完井设置.....	14
2.2.2 创建复杂裂缝.....	14
2.3 设置体积压裂（SRV）区域特定属性.....	19
2.3.1 设置公式.....	19
2.3.2 使用公式为裂缝分配属性.....	20
3. 产能预测.....	21
3.1 设置井控制条件.....	21
3.2 设置预测日期.....	21

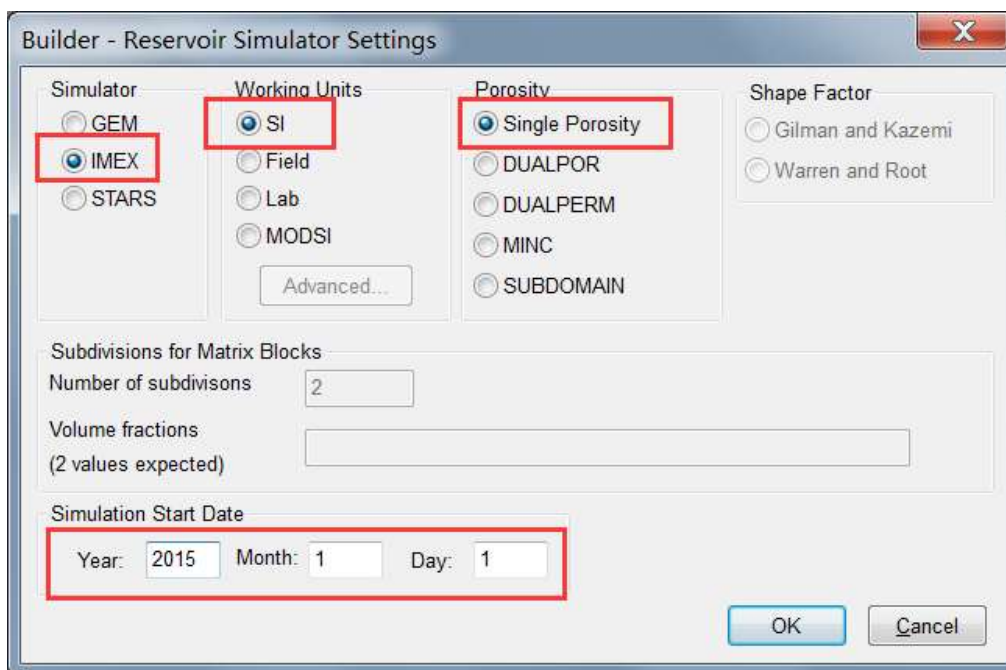
1. 建立致密气藏模拟基础模型

建立致密气模型方式大致分为两种，一种是自定义网格属性，另一种是利用专业地质软件建模，将建好的模型导入 Builder 中。组分设置为简单的气水两相，选用 IMEX 模拟器。选用 SI 单位制，选择单孔模型。

1.1 选择模拟器

由于组分设置简单，模拟器选择 IMEX 即可，其计算速度快，适用于非均质性较强的地质模型、多井水力压裂的矿场模拟。

- 1) 启动 **Builder** 转到 **File**，选择 **New**。
- 2) 选择 **IMEX** 模拟器，**SI** 单位，**Single Porosity**，开始时间 **2015-01-01**
- 3) 单击 **OK** 两次。

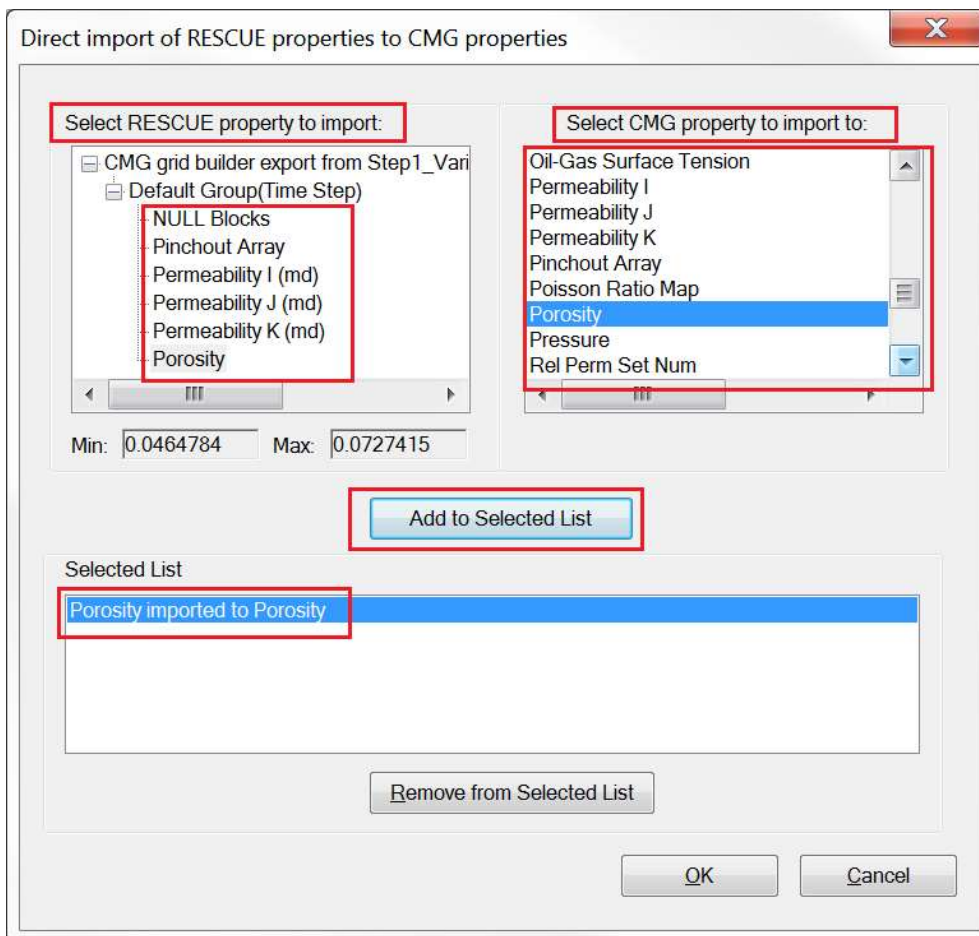


1.2 输入油藏属性

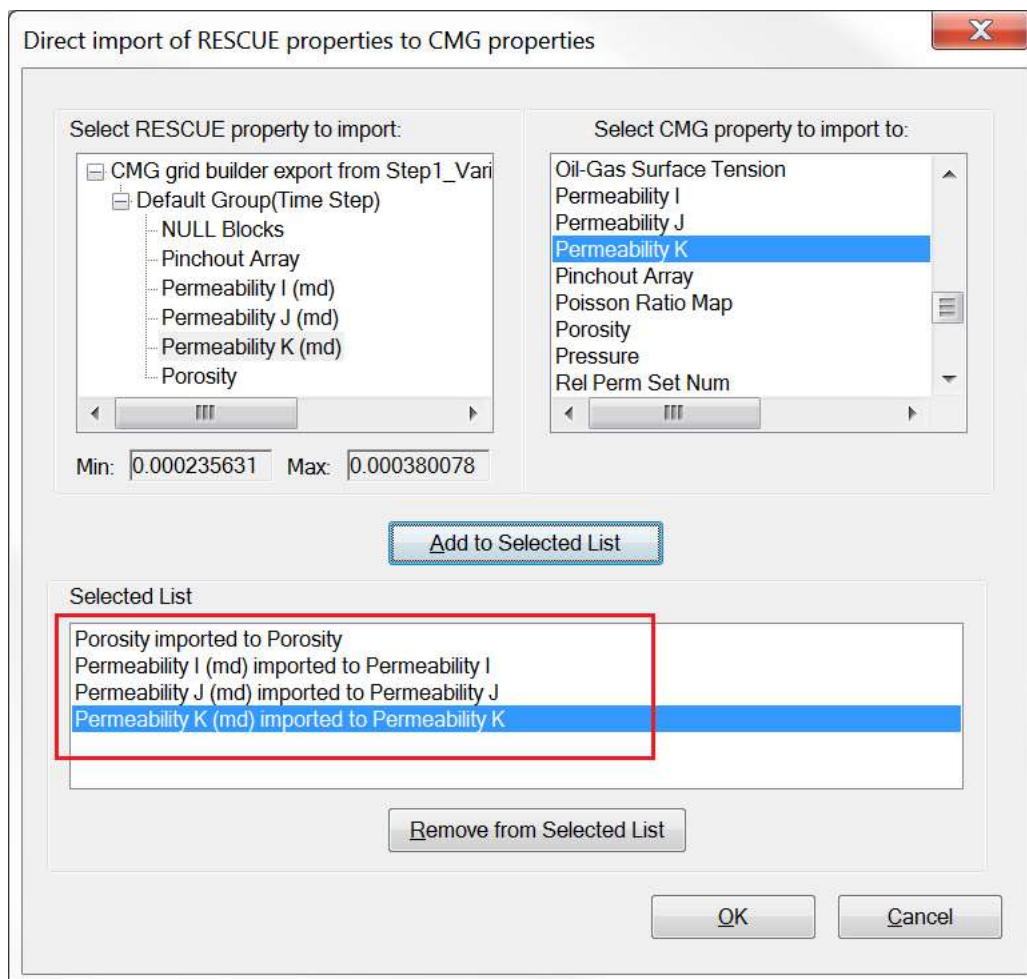
直接通过 Builder 读取专业地质软件建好的地质模型 (Rescue 格式)，里面包含了网格、油藏属性、以及井轨迹等参数。

- 4) 转入 **File** → **Import from another file** → **RESCUE/RESQML Model...** 在 **REQUIRED DATA** 中选择文件 **Heterogeneous Reservoir.bin**。单击 **Open**。

- 5) 出现一个对话框，提供有关 **RESCUE** 文件的详细信息。单击 **OK**。
- 6) 在下一步中，选择 **Import Global Grid**，单击 **OK**。
- 7) 下一步，导入 **RESCUE** 模型中可用的油藏属性（网格已经导入，如在 **Builder** 视图中可见）。在出现的对话框中，可以看到 **RESCUE** 模型（左侧列表）中提供了孔隙度和渗透率信息。这些可以匹配到右侧的各种 **CMG** 属性。




- 8) 例如，要导入孔隙度，请单击左侧名为 **Porosity** 的属性，然后在右侧实际 **CMG** 属性列表中选择 **Porosity** 属性，然后单击 **Add to Selected List**。
- 9) 按照上述相同步骤匹配添加其他属性：
 - Permeability I (md)** to **Permeability I**
 - Permeability J (md)** to **Permeability J**
 - Permeability K (md)** to **Permeability K**

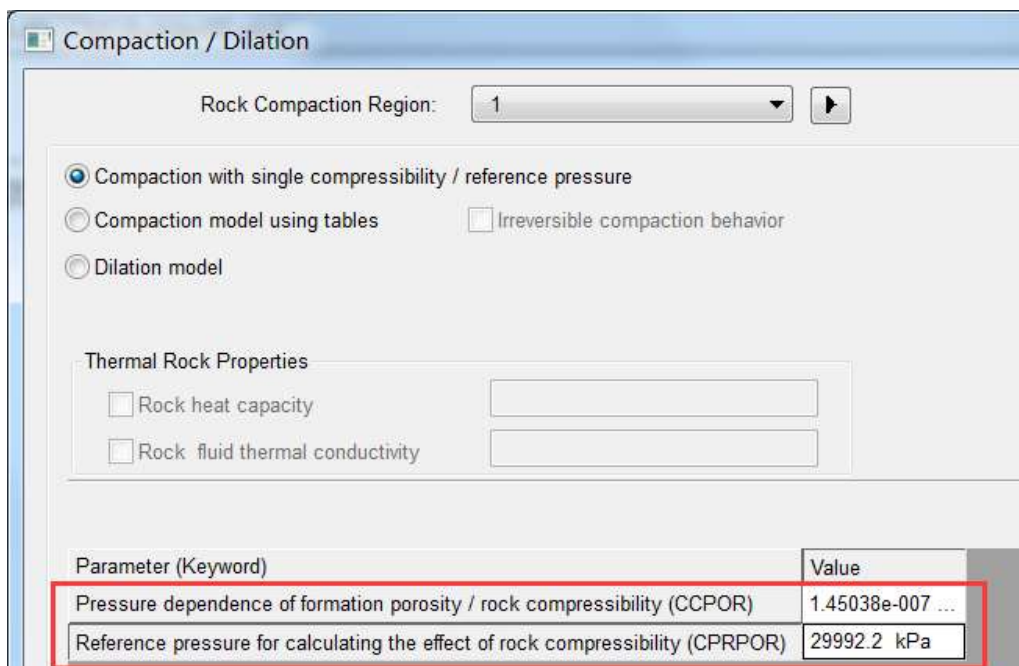


- 10) 完成后，单击 OK。
- 11) 下个窗口允许导入已存在于 RESCUE 模型中的井轨迹。在前两个步骤中单击 **Next**，在最后两个步骤上单击 **Finish**。
- 12) 完成此步骤后，将上面提到的整个网络结构和相关属性导入到 **Builder** 中。

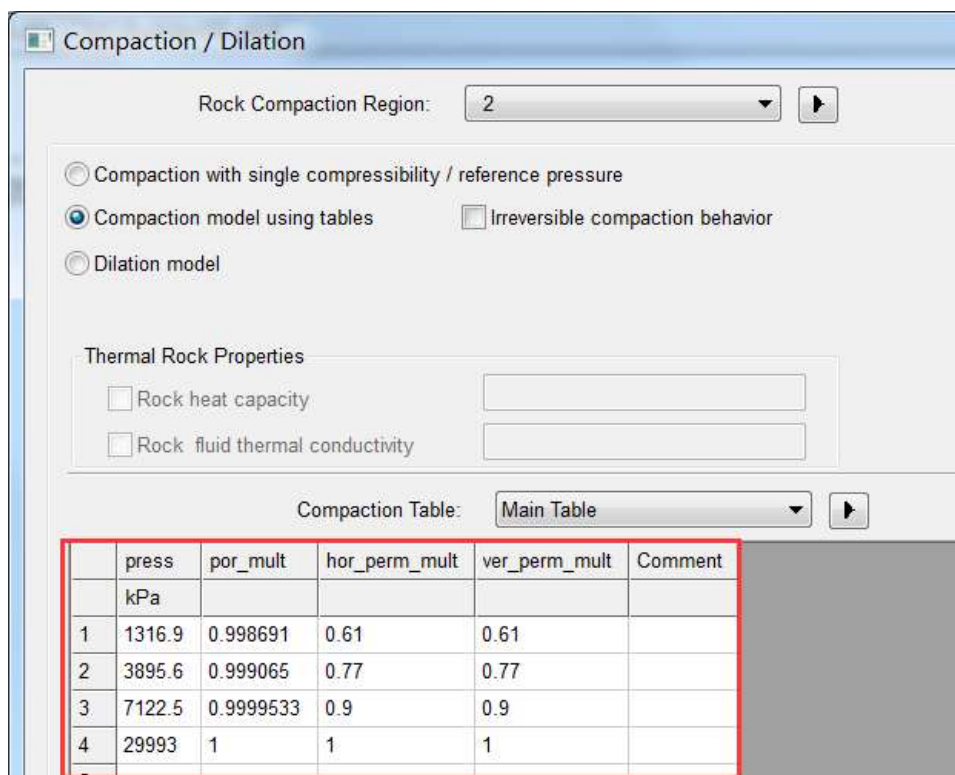
1.3 输入岩石和流体属性

在基质和人工裂缝中输入不同的岩石压缩系数之前，要提前设置两个不同的岩石压缩系数，给岩石压缩属性赋值：Specify Property → Rock Compaction Set Num → Whole Grid 对应位置输入压缩表编号，例如“1”。

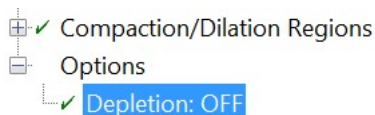
- 13) 接下来，在 **Builder** 中输入压缩系数信息。将对储层基质使用恒定的压缩系数。双击 **Compaction/Dilation Regions**，然后单击  按钮添加新的岩石压缩区域‘1’。输入以下有关可压缩的信息：




- 14) 单击 **Apply**，然后单击 ▶ 按钮，以添加另一个岩石压实区域。该第二区域将用于模拟支撑裂缝的压实性质（与压力相关的传导率）。选择 **Compaction model using tables**。从 **REQUIRED DATA** 文件夹里面的 **CompactionData.xlsx** 文件中复制粘贴压缩数据，完成后单击 **Apply** 和 **OK**。



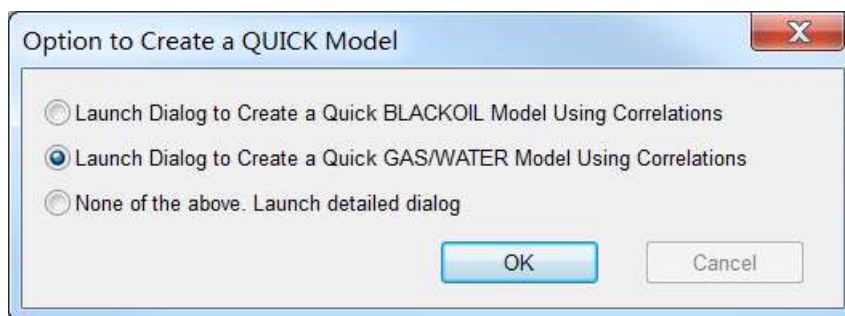
15) 在 **Options** 中关闭了 **Depletion**:



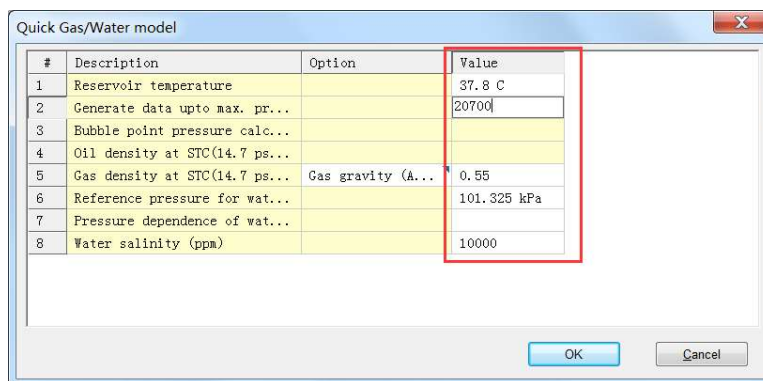
16) 在 **Components** 栏中单击 ，然后选择 **Model**。

17) 在 **Option to Create a QUICK Model** 栏中，选择气-水模型

GAS/WATER，单击 **OK**。



18) 设置油藏温度为 **37.8°C**，最大压力为 **20700 kPa**，气体比重按照甲烷分子量与空气分子量之比为 **0.55**。其它保留为默认值。



19) 单击 **OK**。

1.4 输入相对渗透率数据

将在基质和人工裂缝中输入不同的相对渗透率数据。要在设置相渗曲线时提前定义两个相渗曲线表。设置方式同上。

20) **Rock-Fluid**, 双击 **Rock Types**。单击  按钮，输入新的岩石类型信息。

21) 选择 **Tools**, 选择 **Generate Table using correlation**

22) 输入下列参数：

SWCON	0.2
SWCRIT	0.2
SGCON	0.05
SGCRIT	0.05
KRWIRO	0.8
KRGCL	0.8
2Exponent for K_{rw}	2.0
Exponent for K_{rgcl}	2.0

23) 再次单击  按钮输入人工裂缝的新岩石类型信息并输入以下数据：

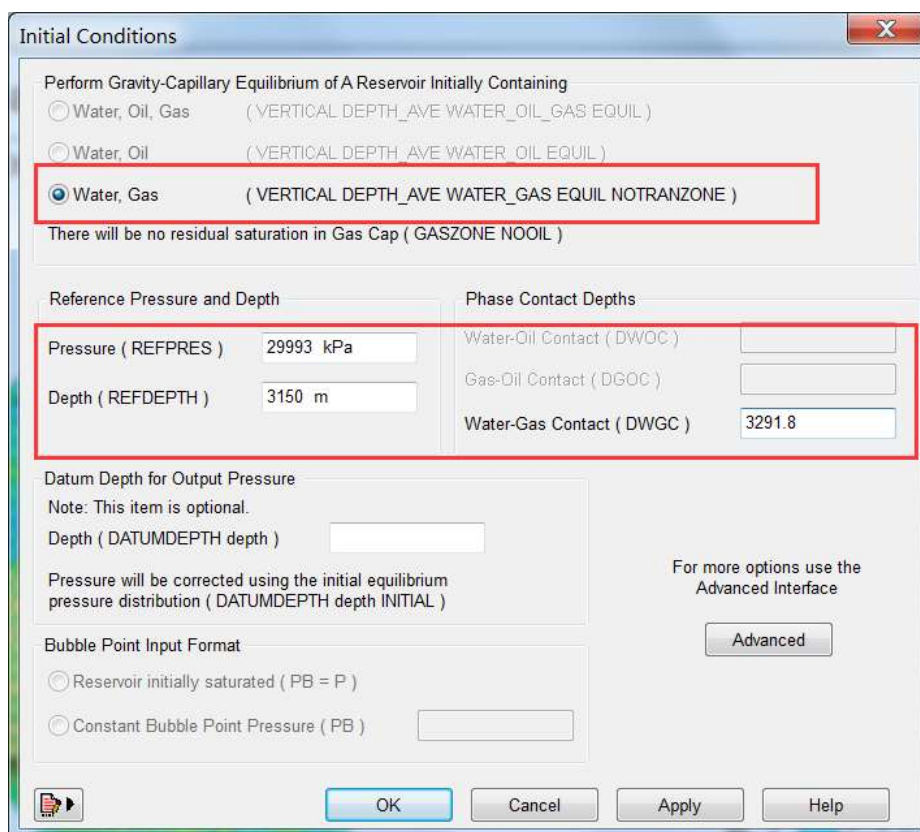
Water-Oil table	
Sw	K_{rw}
0.1	0.0
0.9	0.8

Liquid-Gas table	
Sl	K_{rg}
0.1	1.0
0.95	0.0

1.5 输入初始条件

初始化采用深度垂向平衡计算的方式。

- 24) 在顶部菜单栏上选择 **Initial Conditions**，然后单击 **Initialization Setting**。
- 25) 选择 **VERTICAL DEPTH_AVE** 选项，初始化饱和度。
- 26) 选择 **WATER_GAS** 作为储层中的初始流体，以执行垂直深度平均重力-毛细管平衡计算。



- 27) 单击 **Apply** 和 **OK**。
- 28) 将数据体另存为 **Tight Gas Base Case.dat**。

2. 利用微地震数据建立体积压裂复杂裂缝模型

非常规储层非均质性很强，一般完井后或者压裂后都要实施 3D 地震测试，以便于更好的认识储层，因此利用微地震数据建模或者进行体积压裂建模变得更为重要。本次是通过微地震数据进行体积压裂建模。CMG 软件可以根据微地震数据（震级、力矩、可信度）控制体积压裂范围。

2.1 导入微地震（MicroSeismic）数据

导入微地震数据与导入动态数据方法类似，可以直接导入 excel 格式，包含内容有：井名、压裂级数、日期、时间、XYZ 方向坐标、震级、力矩和可信度。

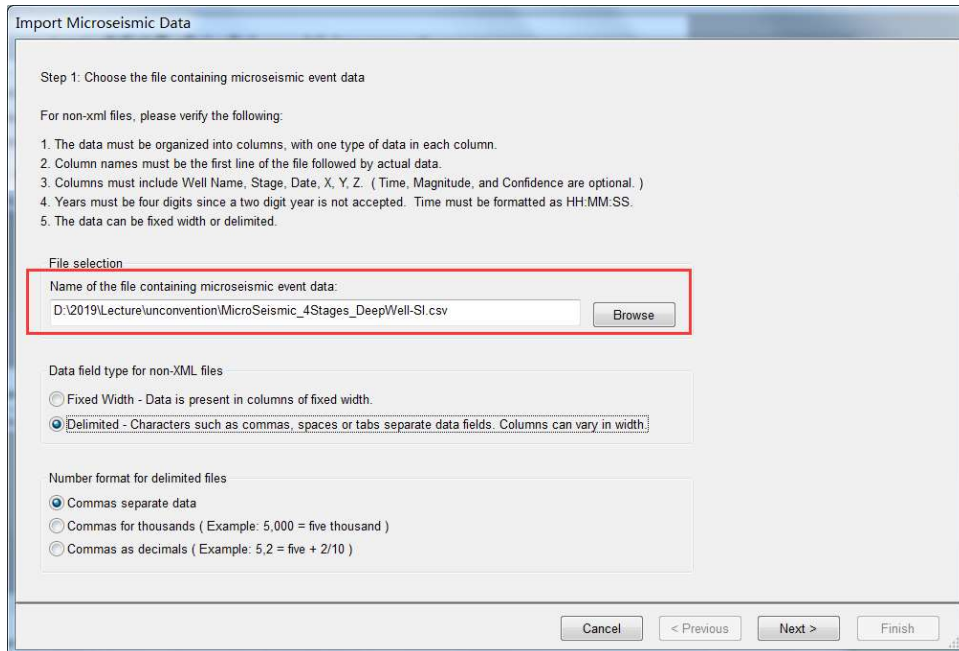
29) 单击顶部菜单栏中的 **Tools** 菜单，选择 **Microseismic Data Manager...**

30) 单击 **Import** 并单击 **Browse** 按钮，选择微地震数据文件

MicroSeismic 4Stages_DeepWell.csv 。

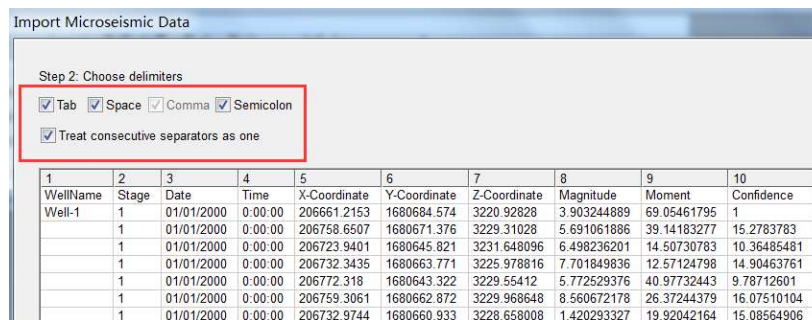
（在 **Files of Type** 下面选择 **All Files (*.*)** 以便能够看到文件）

31) 选择 **Delimited** 作为数据字段类型，并将逗号选项保留为默认值。



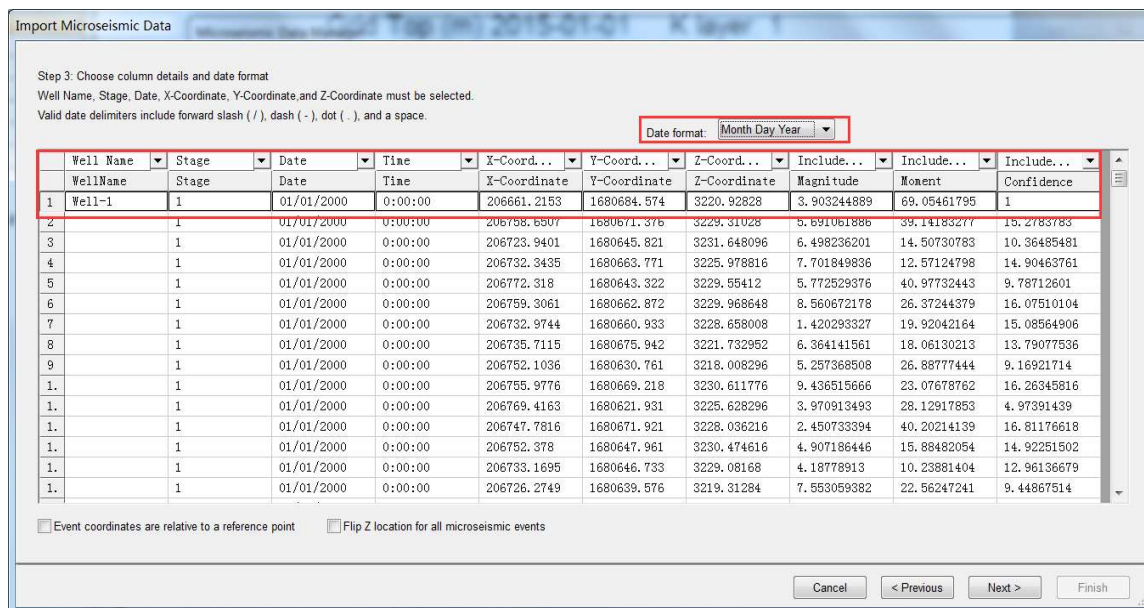
32) 单击 **Next** 按钮

33) 确保为选择任何可选分隔符，然后单击 **Next** 按钮:



34) 设置 **Date Format** 为 **Month Day Year**，并将列标检设置为适当的选择。

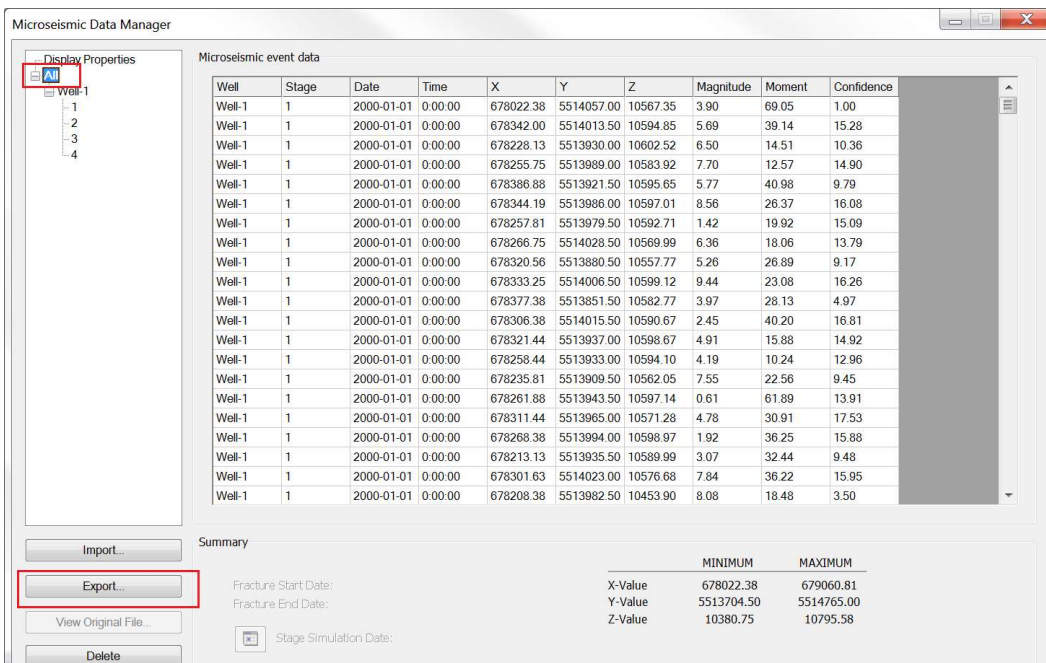
最后 3 列应标记为 **Include Column**：



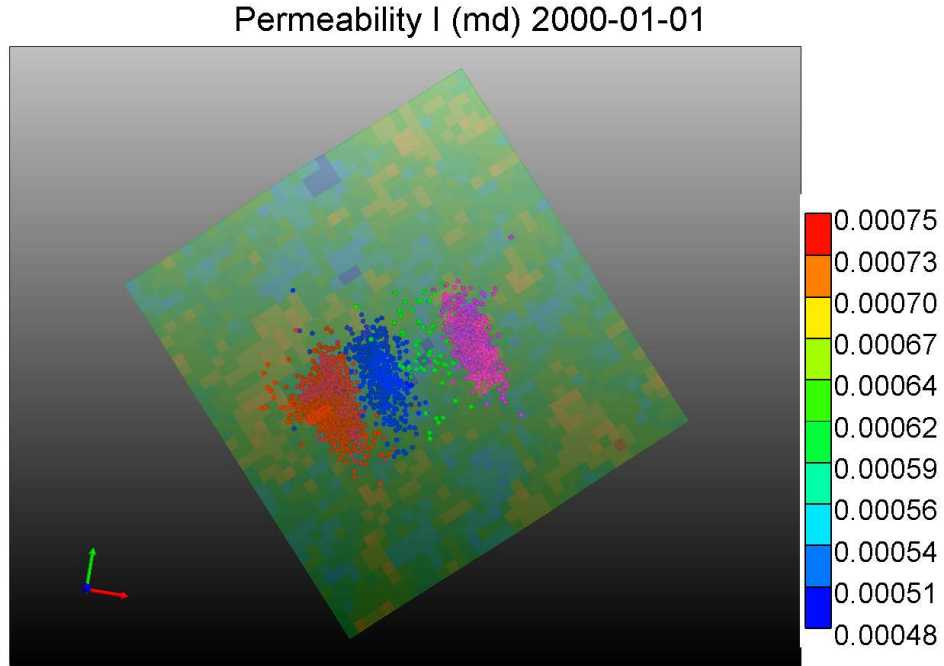
35) 设置完所有内容后，单击 **Next** 按钮。

36) 单击 **Finish** 按钮。

37) 要导出数据以节省时间（如果稍后需要在另一个文件中导入数据），请单击 **Microseismic Data Manager** 树形图中的 **All**，然后单击 **Export** 按钮。选择文件的名称和位置，然后单击 **Save**。此文件可以以 **CMG** 特定格式（**.cmgseis**）或通用 **.xml** 格式。



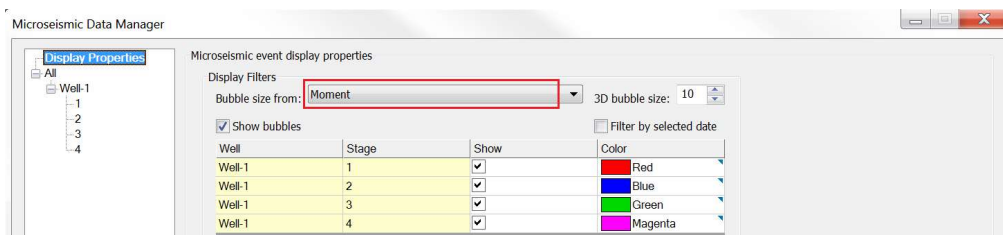
- 38) 在 Builder 中，现在应该显示来自 4 个水力压裂阶段的微地震数据。要轻松查看此信息，请查看 3D 视图并将网格的透明度设置为较高值：

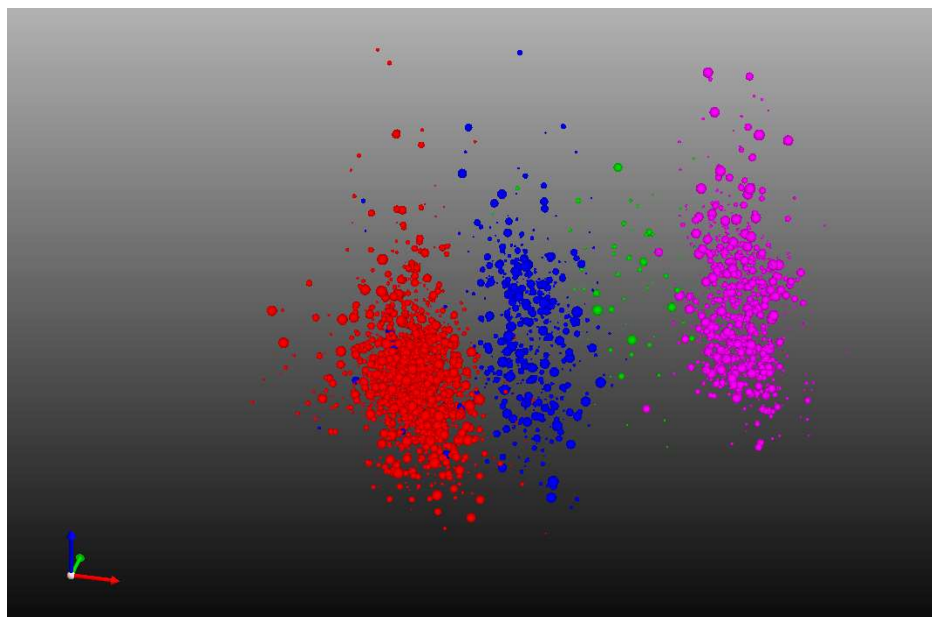


1.1 筛选微地震数据

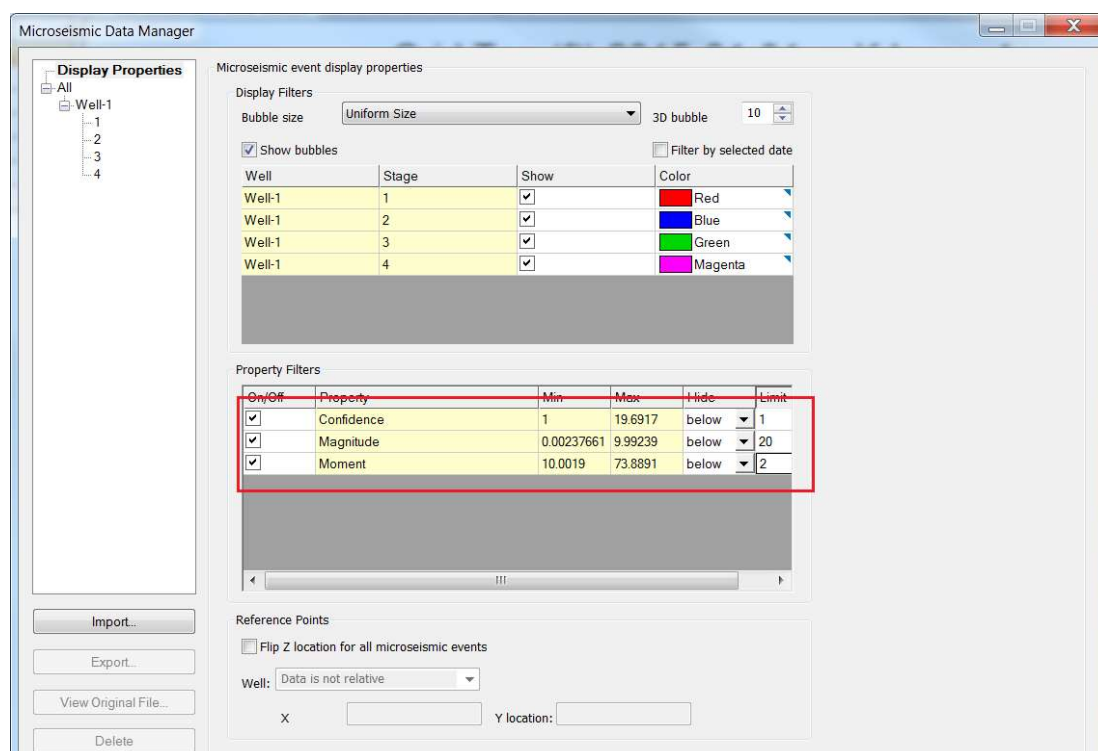
微地震数据的获取很麻烦，需要适当分布地面接收器。服务公司通常会提供一些衡量这些数据质量的方法。在本讲义中，提供了三个属性，这些属性分别是震级 (Magnitude)、力矩 (Moment) 和可信度 (Confidence)。可以根据这些属性判断微地震事件强弱和可信度等。

- 39) 再次转到 **Microseismic Data Manager** 并根据以下三个属性之一判断微地震事件“bubbles”的大小：





40) 还可以设置过滤器，以便将强度较小或质量较差的微地震事件从图中删除。



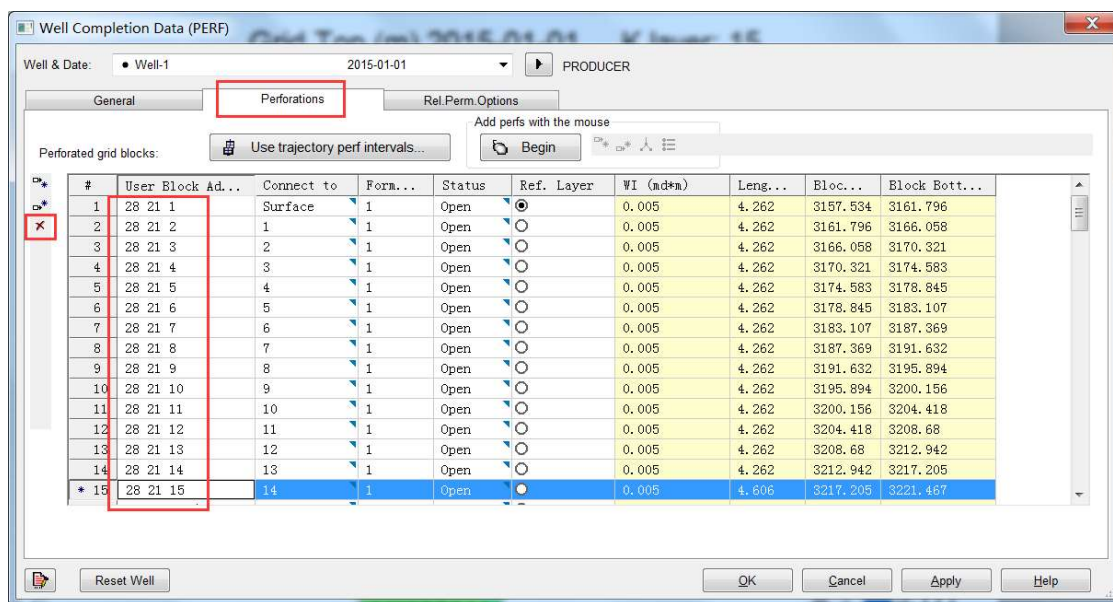
41) 在形成复杂裂缝之前，遵循上述两个步骤，可以很好地理解微地震事件。在继续之前保存文件。

2.2 利用地震数据创建复杂体积裂缝

通过 Builder 中的水力压裂过程向导, 利用地震数据进行创建复杂裂缝, 共有 4 级裂缝。

2.2.1 完井设置

- 42) 整个水平段与储层的流体是联通的, 因此, 整个水平段应该全部射孔打开。要做到这一点, 转到顶部菜单栏中的 **Wells** 并转到 **Well Trajectories** → **Trajectory Perforation Intervals...**
- 43) 在出现的窗口中, 单击“**Quick Perf**”以穿透整个井眼轨迹, 然后在下一个窗口中单击 **OK**。将会射穿整个井眼轨迹, 包括垂直剖面。然后需要移除垂直部分中的射孔。单击 **Apply** 和 **OK** 退出向导。
- 44) 接下来, 再次转到顶部菜单栏中的 **Wells** 并转到 **Well Completions (PERF) ...**, 然后转到 **Perforations** 选项卡。在这里, 选择前 15 射孔, 并删除:



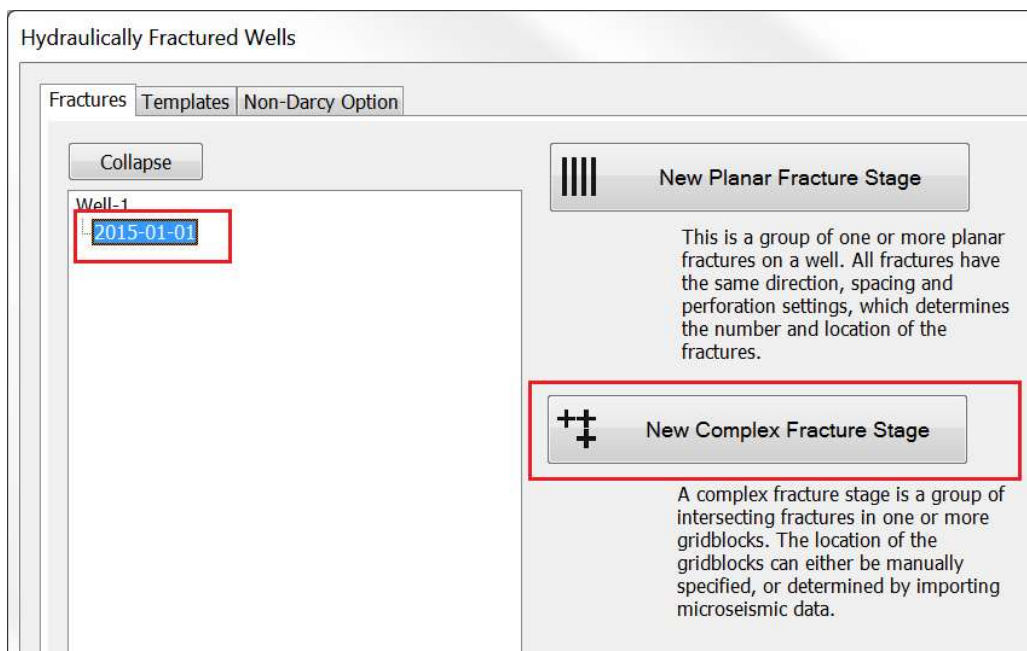
- 45) **Save** 保存文件。

2.2.2 创建复杂裂缝

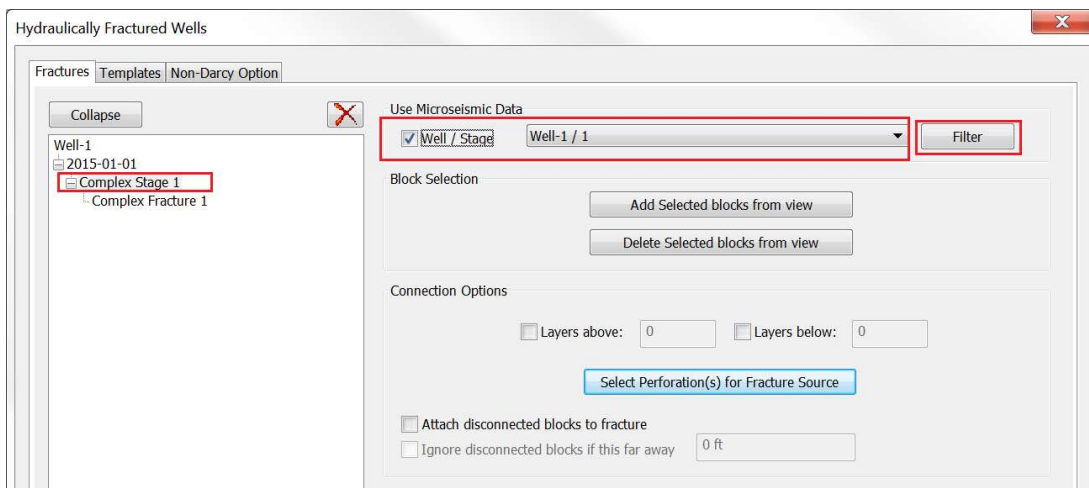
在这一步中, 将创建复杂裂缝, 并将使用筛选功能, 过滤掉不可信的响应点。然后再创建复杂裂缝。

- 46) 再次转到顶部菜单栏中的 **Wells**, 然后转到 **Hydraulic Fracturing**
- 47) 单击 **Non-Darcy Option** 选项卡, 然后选择 **General Correlation**。

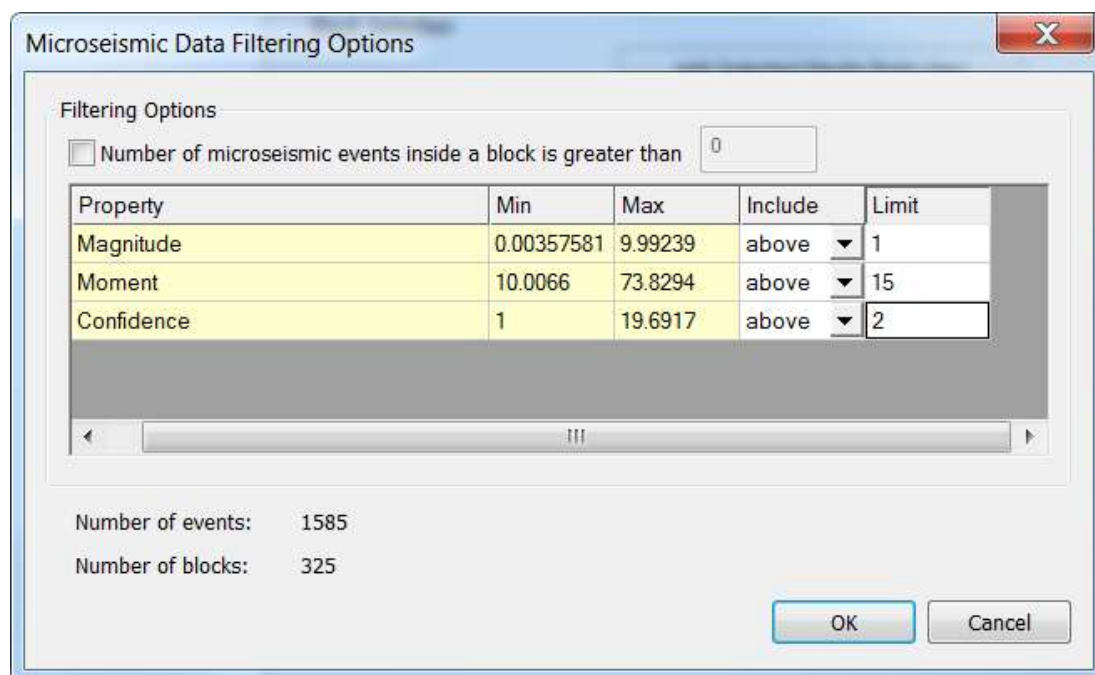
48) 单击左侧的日期，然后单击 **New Complex Fracture Stage** 按钮。



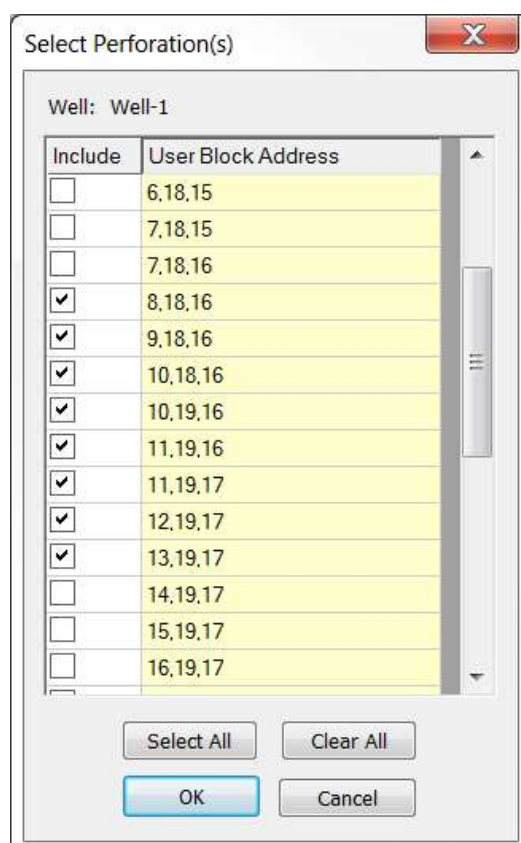
49) 单击 **Complex Stage 1** 并选择使用第 1 阶段的微地震数据，通过单击 **Filter** 按钮过滤微地震数据：



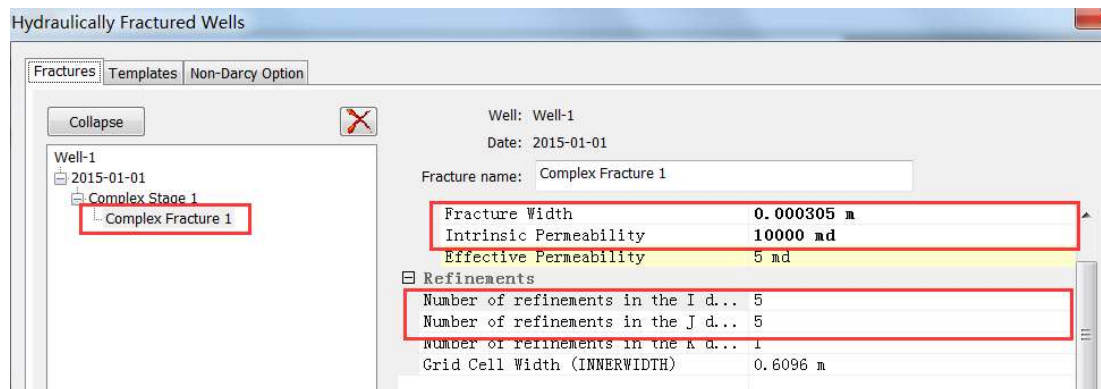
50) 现在，可以设置过滤器，以便根据微地震事件的强度和质量来控制 SRV 的创建。可以使用如下所示的过滤器，然后单击 **Apply**：



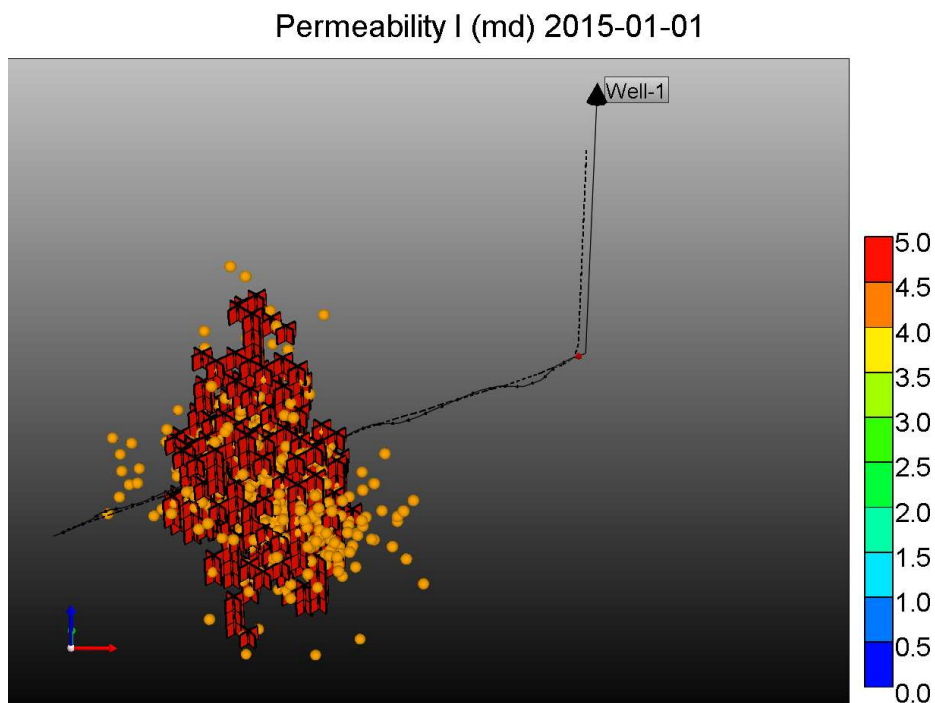
- 51) 通过单击 **Select Perforation (s) for Fracture Source**，选择与第一个阶段关联的射孔。
- 52) 为第一阶段选择 (8,18,16) 到 (13,19,17) 射孔，单击 **OK**。



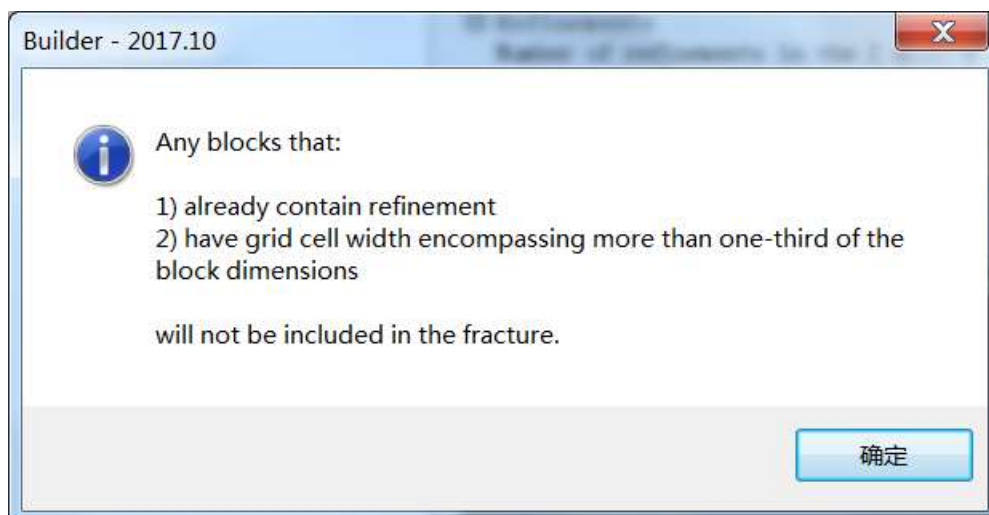
- 53) 单击选择 **Attach disconnected blocks to fracture** 将在生产的 SRV 中是连接在一起的。
- 54) 单击 **Complex Fracture 1** 输入下列复杂裂缝属性，单击 **Apply**:



- 55) 单击 OK，并注意已经建好的裂缝，检查结果是否满意。如果不满意，需要对上述设置进行修改，在 Results 3D 中，通过调整色标查看结果。



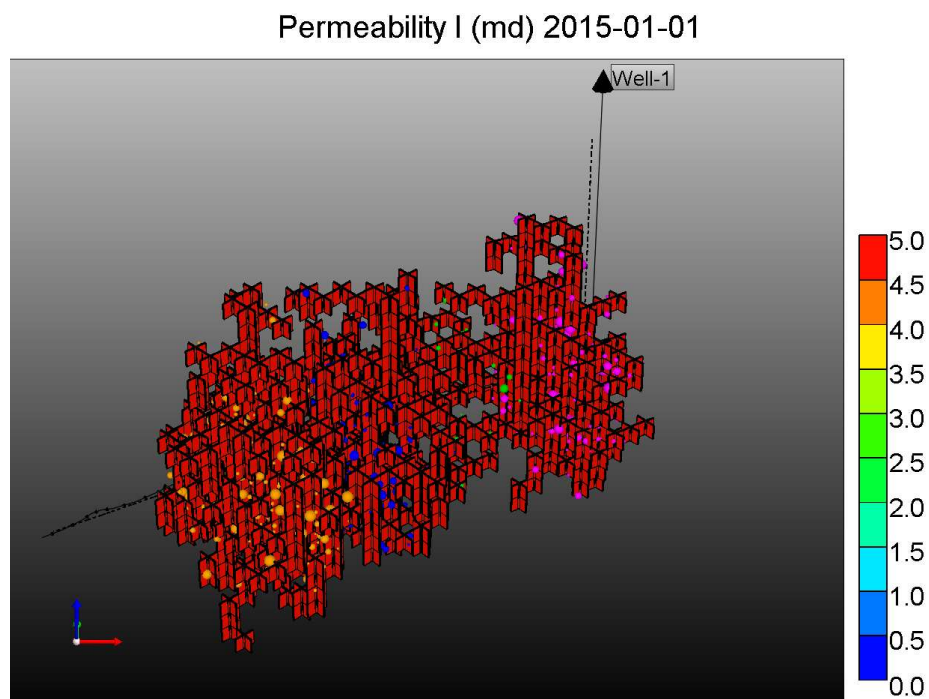
- 56) 对于其他三个阶段，重复 4.2.3 到 4.2.10 的步骤。对于可能弹出的下列信息，单击 **OK**。



57) 下列的射孔可以用于各个阶段:

- 2nd stage: (15,19,17) to (17,19,17)
- 3rd stage: (21,20,17) to (22,20,17)
- 4th stage: (24,21,17) to (27,21,16)

58) 完成上述步骤后，可以得到如下所示的 SRV。该图片使用先前为微地震数据设置的过滤器，并根据“moment”排列气泡大小。



59) 将文件保存为 **STUDENT SOLUTIONS** 文件夹中的 **Gas Condensate Base Case Complex Fracs.dat**。

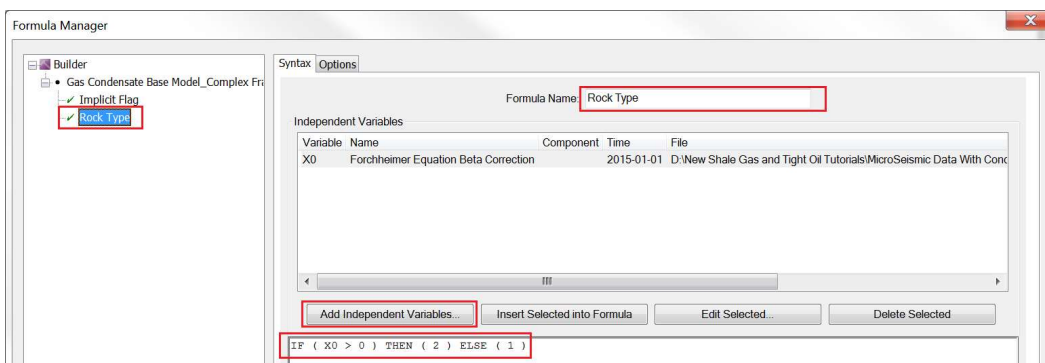
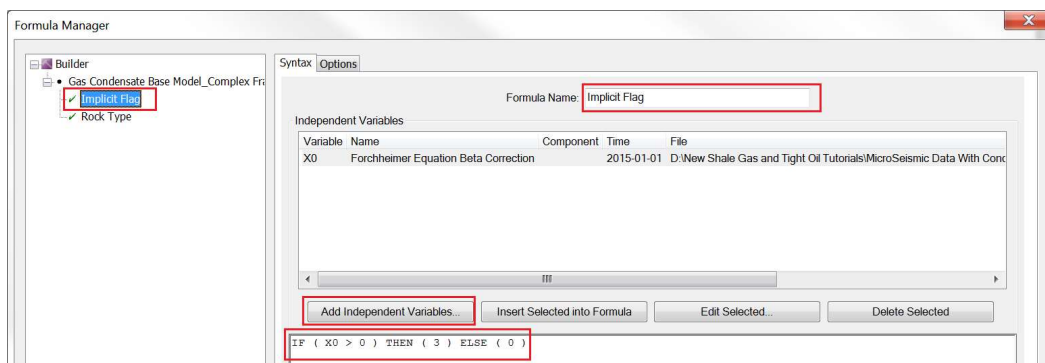
2.3 设置体积压裂（SRV）区域特定属性

目前设置人工裂缝区域属性有两种方式，一种是通过人工裂缝模板 (Templates) 中添加，这种方式请参考“公开课第 9 课 builder 系列之水力压裂向导”；另一种是通过编辑公式方式添加，本次讲义采用公式编辑方法给人工裂缝区域赋值属性。

虽然这种方式比较复杂，也不常用，但是遇到特殊属性，且采用第一种方法无法添加时，就可以通过公式编辑的方式。

2.3.1 设置公式

- 60) 转到顶部菜单栏中的 **Tools**，然后选择 **Formula Manager...**。
- 61) 写下两个公式，一个用于在裂缝中设置 1 “implicit flag”，另一个用于裂缝中使用岩石类型 2 和相对渗透率曲线。



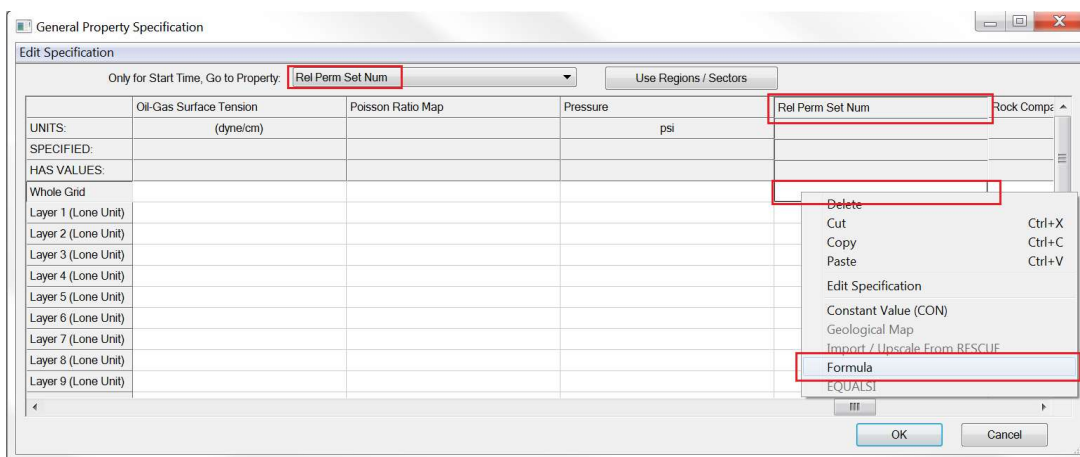
- 62) 使用按钮 **Add Independent Variables** 添加与 **Forchheimer Equation Beta Correction** 相关的公式。
- 63) 单击 **OK** 转到 **Specify Property** 将这些公式分配给各种属性。

2.3.2 使用公式为裂缝分配属性

64) 在 **General Property Specification** 窗口中转到 **Rel Perm Set Num** 属性。

65) 右键单击此属性在 **Whole Grid** 对应的网格上，然后选择公式

Formula:



66) 下一步中，单击 **Formula** 按钮。

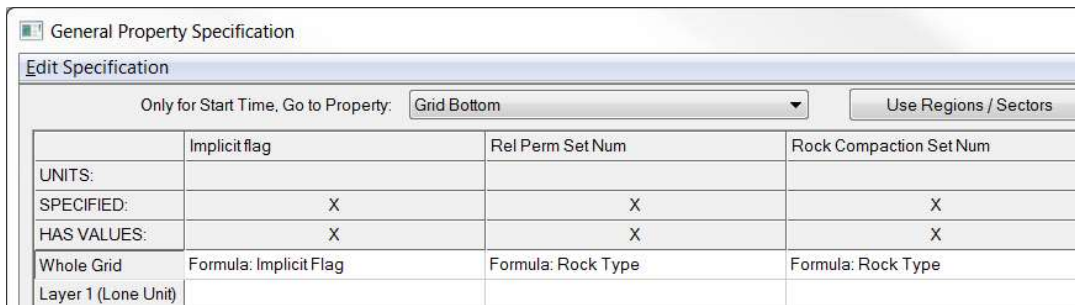
67) 选择公式 **Rock Type**，单击 **OK** 两次：



68) 使用相同的公式 **Rock Type** 对 **Rock Compaction Set Num** 属性执行相同的操作。

69) 对属性 **Implicit Flag**，重复此过程。但是这次使用其他公式

Implicit Flag。



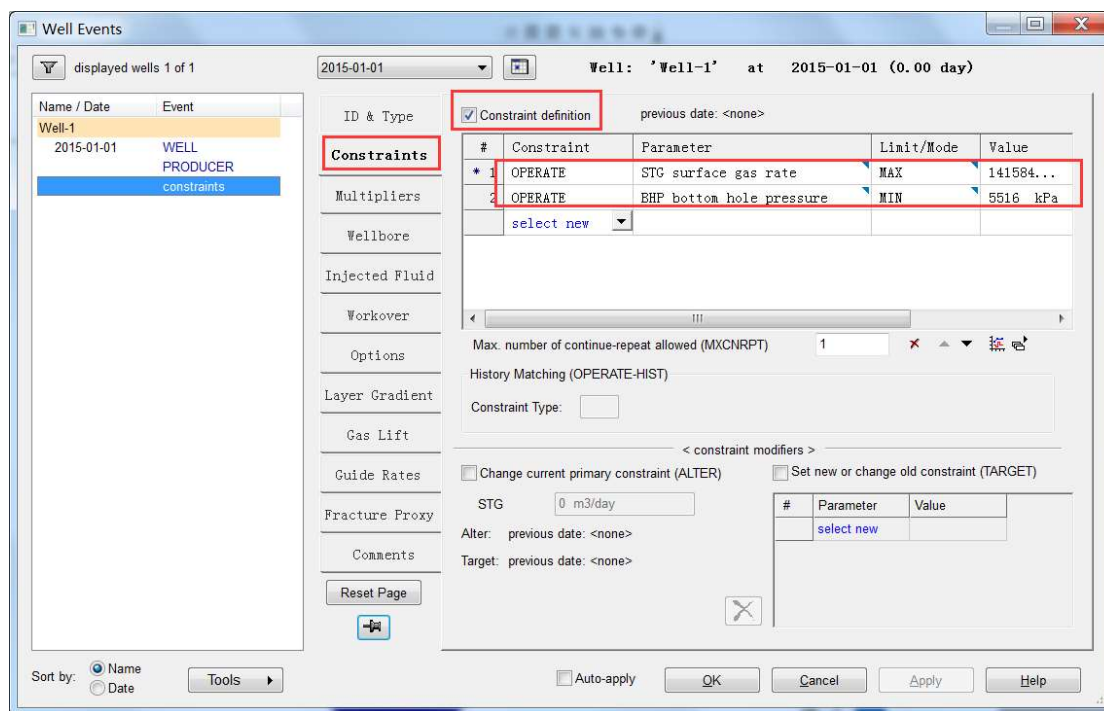
70) 在弹出所有的消息窗口。点击 **OK**。

3. 产能预测

预测模拟需要设置井控条件，本文模拟第一控制条件 STG 数值为 $141584\text{m}^3/\text{d}$ ，第二控制条件 BHP 数值为 5516 kPa ；同时添加一段时间，也就是预测时间段，时长为 10 年。

3.1 设置井控制条件

- 71) 双击 **Wells & Recurrent** 中的 **Wells (1)**，将井类型设置为 **Producer**。
- 72) 接下来，设置如下控制条件，然后单击 **Apply** 和 **OK**：



3.2 设置预测日期

- 73) 双击日期 **Dates (1)**，并设置日期范围 **2015-01-01** 到 **2016-01-01**，时间步长为一个月。
- 74) 设置结束 **STOP** 在时间点 **2015-05-01**。
- 75) **Save** 文件，**Run** 运行模拟并分析结果。可以看出随着时间的推移，气的产量递减较快。压降范围沿复杂裂缝网格递减。

