

---

# 第 101 期：IMEX 模拟煤层气开采操作流程

编写人：孙明月

CMG 的 IMEX 和 GEM 模拟器都可用于煤层气开发模拟。GEM 组分模拟器，可以模拟复杂的煤层气开采，比如：煤层气注入 CO<sub>2</sub> 提高采收率过程。IMEX 模拟器则适用于井多、模型大的矿场模型研究，还可以模拟不同类型煤层，多层同采，且运算速度特别快。

新版 IMEX 模拟器模拟煤层气的主要机理如下：

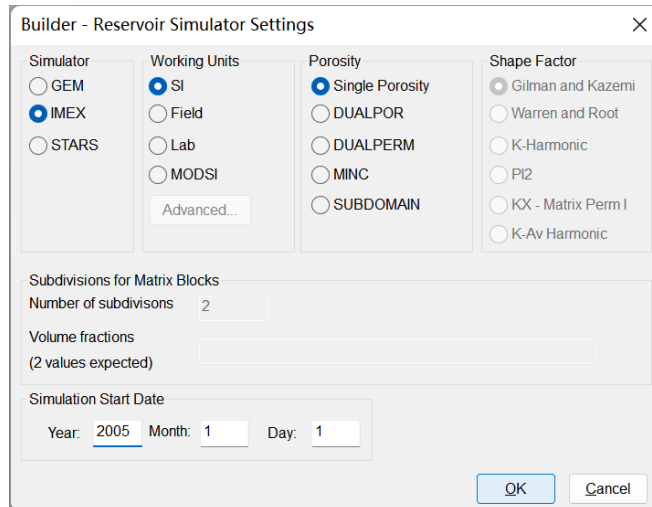
- 1) IMEX 模拟器也考虑了气体的朗氏等温吸附，储层应力（压力）敏感；
- 2) 用单孔模型代替双孔模型，裂缝中的初始饱和度在单孔模型中直接设置，IMEX 模型中的渗透率代表了割理（裂缝）的渗透率；
- 3) 用朗格缪尔临界吸附压力\*ADGPCRIT 关键字模拟煤层气的吸附饱和状态，代替了 GEM 模拟器中通过设置双孔模型中基质与裂缝的不同初始压力及初始吸附量实现。

本文以两口水平井为例，演示 IMEX 模拟煤层气的操作流程，采用软件版本是 2021.10 版。

## 一、选择模拟器类型

1. 双击 Launcher，打开 **Builder**。
2. 点击 File→New，新建一个煤层气模拟模型
3. Reservoir Simulator Settings 选择：

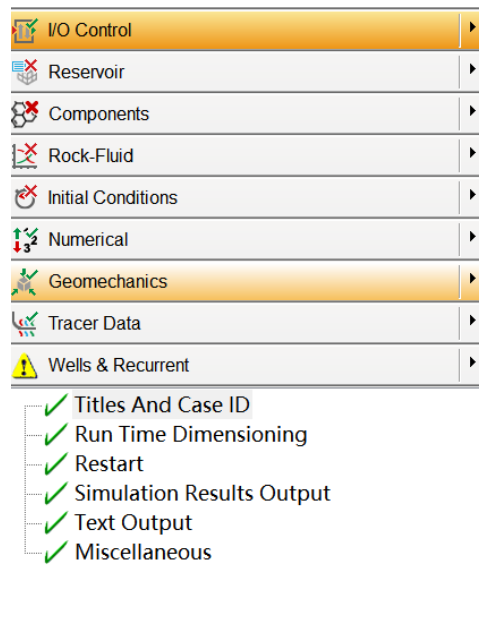
**IMEX**（模拟器类型），**SI**（单位制），**Single Porosity**（单重介质），模拟开始日期 **2005-01-01**



4. 单击 OK 两次。

## 二、输入/输出控制部分 (I/O Control)

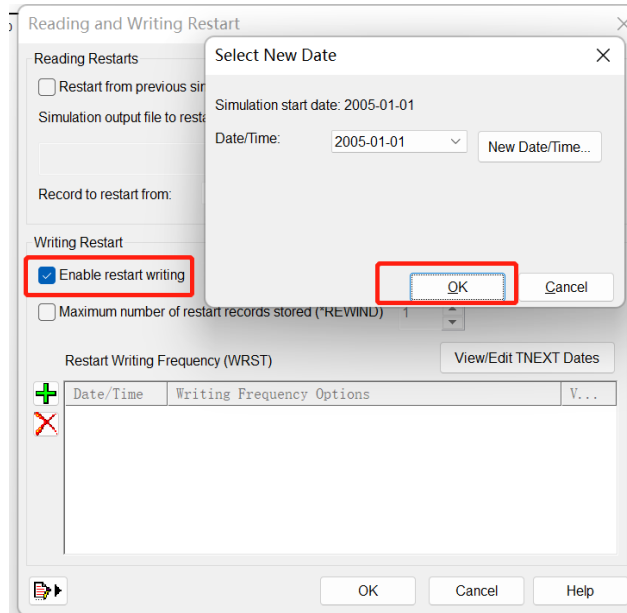
4. 单击树视图中的 **I/O Control**。



5. 双击 **Titles And Case ID** 并输入 “**CBM 1**”，点击 OK。

6. 双击 **Restart** 并选中 **Enable restart writing**。

7. 单击 ，选则日期 2005-01-01，并单击 OK。

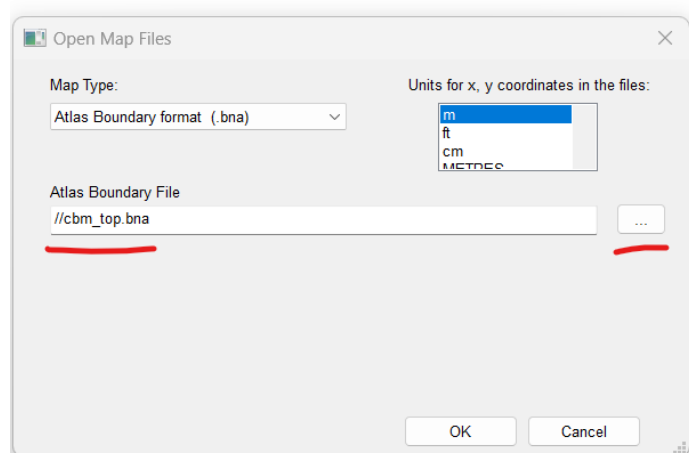


注：除 I/O Control 和 Numerical 之外，所有部分都应有红色 X 或黄色警告，表示这些部分缺少基本数据。

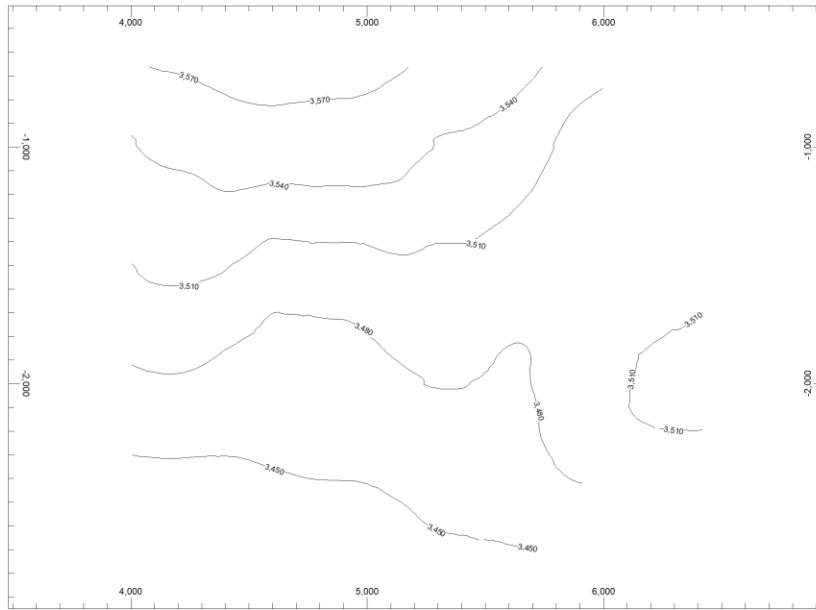
### 三、煤层描述部分 (Reservoir)

本部分基于顶部构造图，建立网格模型，并且定义煤层属性以及压缩系数等参数。

1. 单击 **File** ，然后单击 **Open Map File** 。
2. 构造图类型 (Map Type) 选择 Atlas Boundary format (.bna) ，文件中 X, Y 坐标单位选择 m 。选择名为“cbm\_top.bna”的构造文件，单击 **Browse** ，浏览并找到该文件。



3. 单击 **OK**，显示构造等线图。

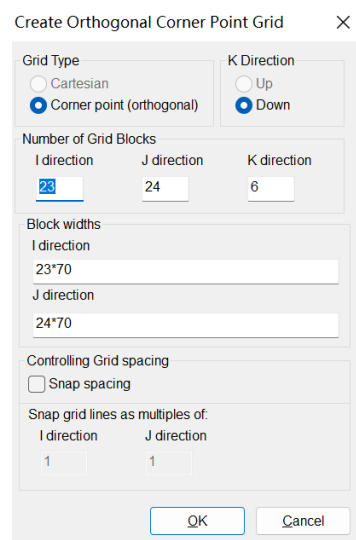


4. 单击菜单栏上的 **Reservoir**，→ **Create Grid**，创建网格。

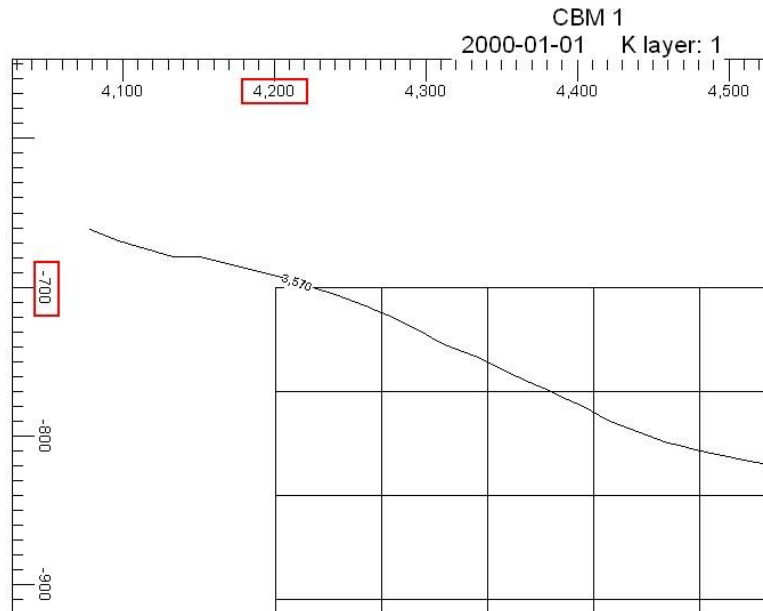
5. 选择网格类型为 **Orthogonal Corner Point**（正交角点），**IJK** 三个方向的网格维数为 **23**（I 方向）、**24**（J 方向）、**6**（K 方向）。

6. 输入 I 方向网格步长，在 I 方向框中输入 **23\*70**（表示 I 方向 23 个网格步长均为 70 米）。

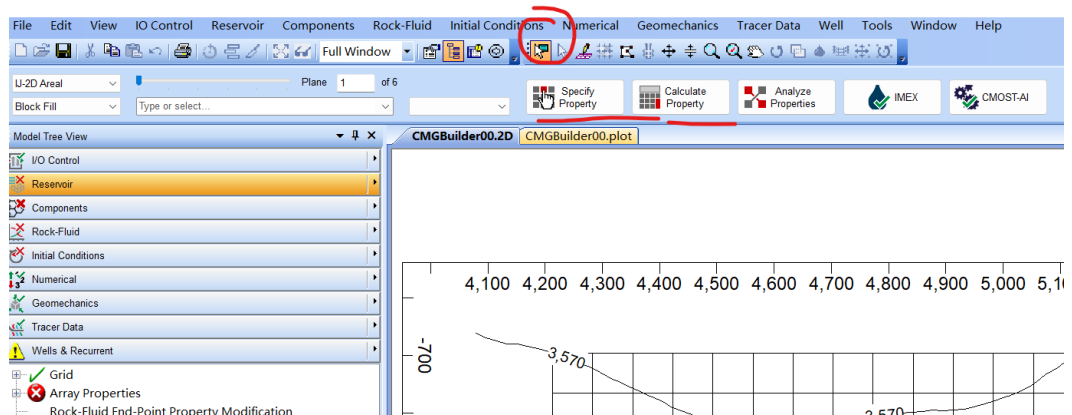
7. 输入 J 方向网格步长，在 J 方向框中输入 **24\*70**（表示 J 方向 23 个网格步长均为 70 米）。



- 单击 **OK**。
- 按住 **Shift** 键+鼠标左键可平移网格。将网格的左上角与 X 方向上 **4200** 刻度对齐，与 Y 方向的 **-700** 刻度对齐。

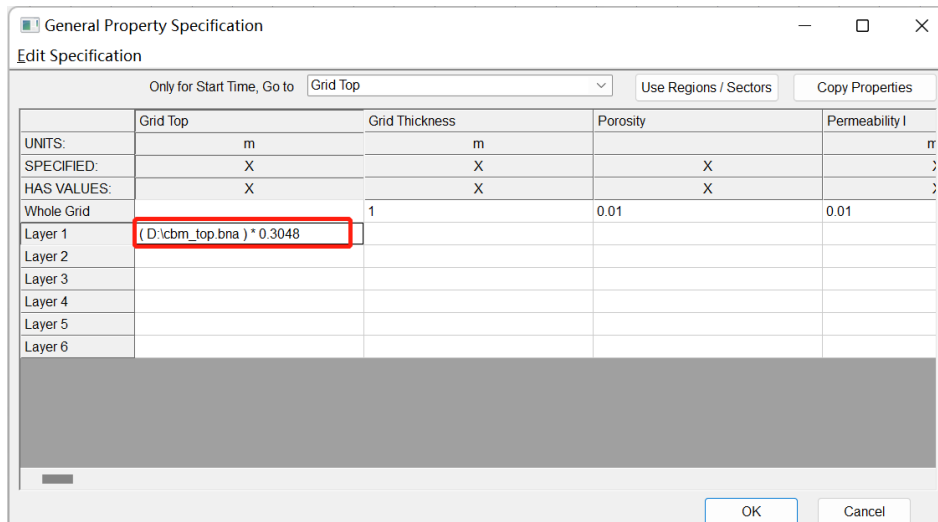
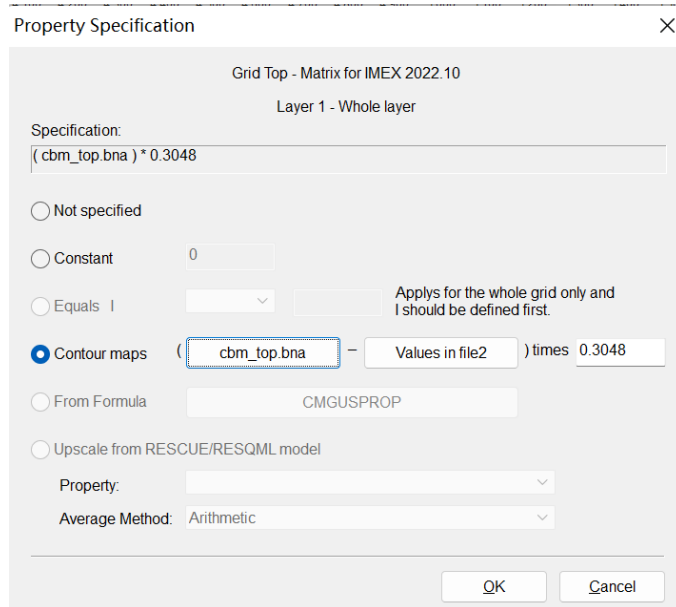


- 工具栏按钮中单击 ，显示控制模型从网格编辑模式更改为探测模式。这时，屏幕的顶部中间 **Specify Property**（定义属性）和 **Calculate Property**（计算属性）按钮处于可选状态。

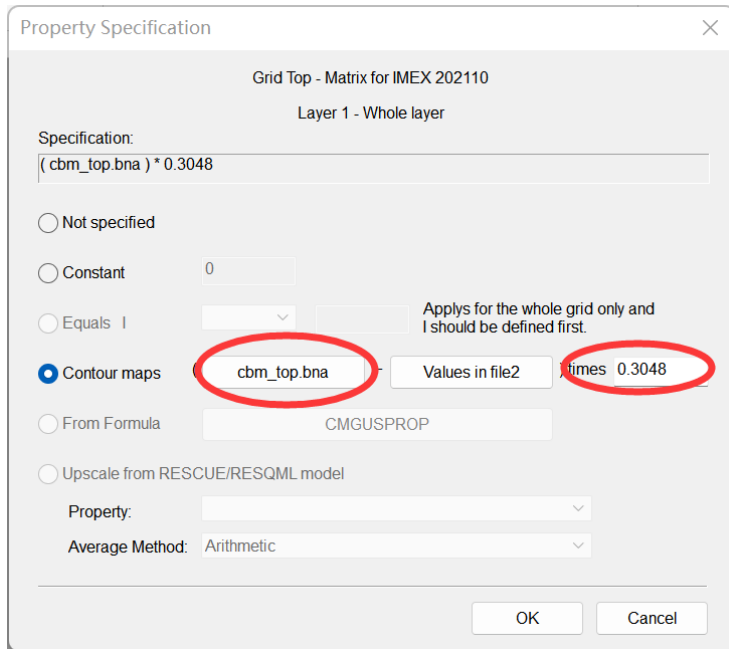


- 单击 **Specify Property**（定义属性）按钮，打开 **General Property Specification**，进行属性定义。

12. 选中 **Grid Top** 的属性列下的 **layer 1**，右键单击此框，然后选择 **Geological Map**,
13. 选择 **Contour maps**，单击 **Values in file1**，然后浏览 (...) 并选择 **cbm\_top.bna** 顶部构造文件，x, y 坐标单位为 m。
14. 单击 **OK**。



15. 在 **times** 框中输入值 0.3048。顶部构造图中 X、Y 和 Z 方向单位为英尺单位，需要在 **times** 框中添加一个系数，将其转换为米。



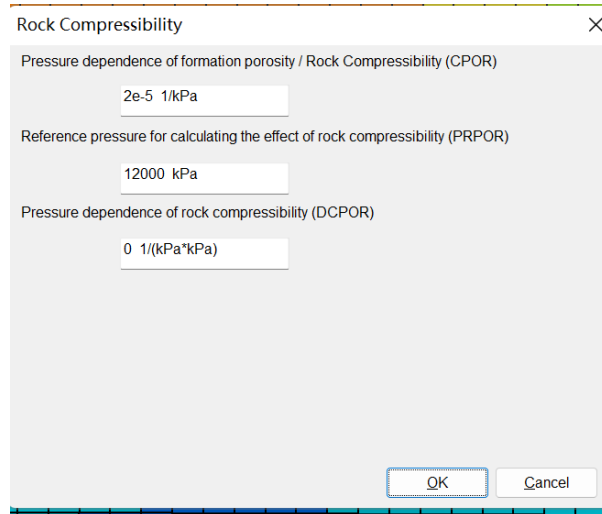
16. 单击 **OK**，返回到常规属性定义窗口。

17. 输入以下值，单位将自动添加。

属性	Whole Grid
网格厚度 (Grid Thickness)	<b>1 m</b>
孔隙度 (Porosity)	<b>0.02</b>
渗透率 I (Permeability I)	<b>0.8 md</b>
渗透率 J (Permeability J)	<b>4 md</b>
渗透率 K (Permeability K)	<b>0.2</b>

19. 点击两次 **OK**，对网格进行属性赋值。


20. 在 **Reservoir** 菜单下，单击 **Rock Compressibility** (岩石压缩系数)，然后在 **Rock Compressibility** 输入 **2e-5 1/kPa**，在 **Reference Pressure** 输入 **12000 kPa**，按 **OK**。单位将自动应用。

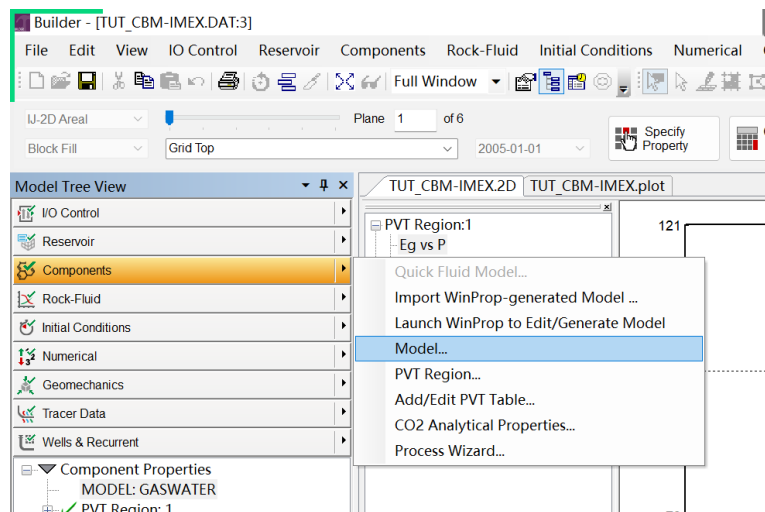


21. 单击 **File**，然后单击 Save as，将文件另存为 **Tut\_CBM.dat**

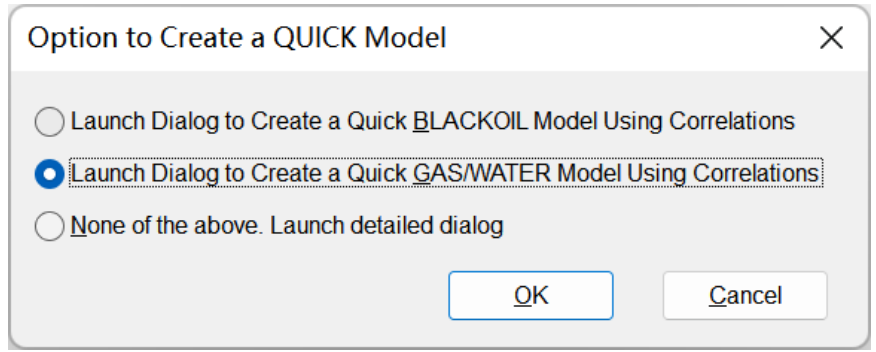
#### 四、组分定义部分（Component）

建立气水两相模型，输入气体吸附参数等。

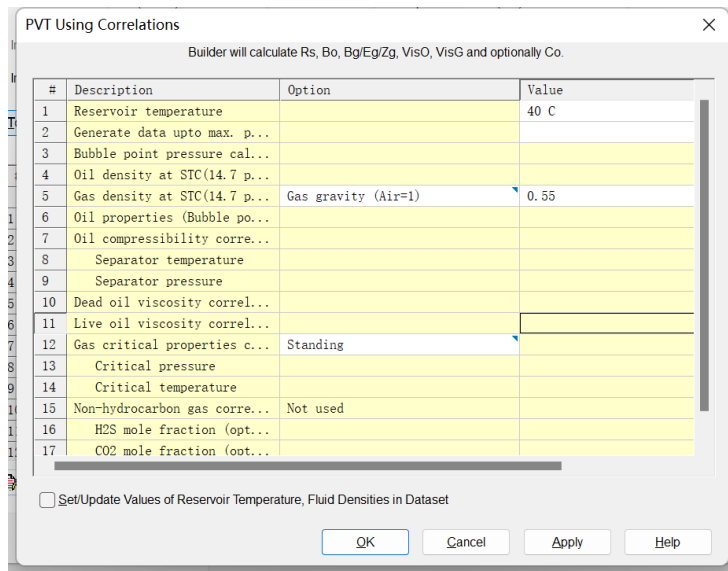
1. 单击 Components 下的 ，然后选择 **Model**。



2. 选择气/水两相模型，单击 **OK**。



3. 输入相应数据：煤层温度（Reservoir temperature）40°C，生成流体模型最大压力（Generate date upto max pressure of）12000kPa，气体比重（Gas density at STC, **AIR=1**）0.55，单击 OK。



4. 设置吸附参数，在 Specify Property 中，添加参数数值：

属性	Whole Grid
朗氏吸附常数 Gas adsorption constant	0.000526 1/kPa
最大吸附体积 Gas maximum adsorbed volume	25840 m3/kg
临界吸附压力 Gas Critical Adsorption pressure	10500 kg
煤层密度 Rock density	1435 m3/kg

General Property Specification

Edit Specification

Only for Start Time, Go to **Gas Adsorption Constant (Langmuir)** Use Regions / Sectors Copy Properties

	Net Pay	Gas Adsorption Constant (Langmuir)	Gas Critical Adsorption Pressure (La...)	Gas Maximum Ads
UNITS:	m	1/kPa	kPa	m <sup>3</sup>
SPECIFIED:		X	X	
HAS VALUES:		X	X	
Whole Grid		0.000526	10500	25840
Layer 1				
Layer 2				
Layer 3				
Layer 4				
Layer 5				
Layer 6				

OK Cancel

General Property Specification

Edit Specification

Only for Start Time, Go to **Rock Density** Use Regions / Sectors Copy Properties

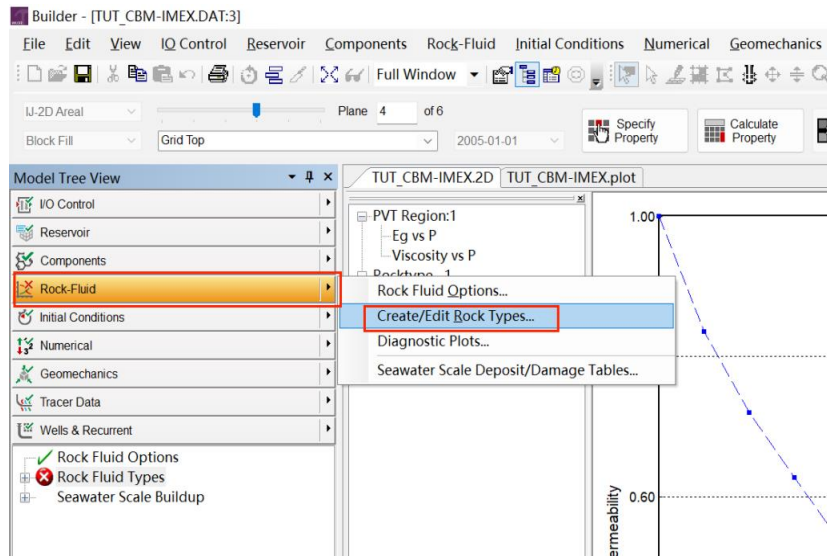
	Rock Density	Grid Bottom	Grid Centroid X	Grid Centroid Y
UNITS:	kg/m <sup>3</sup>	m	m	
SPECIFIED:	X			
HAS VALUES:	X	X	X	
Whole Grid	1435			
Layer 1				
Layer 2				
Layer 3				
Layer 4				
Layer 5				
Layer 6				

OK Cancel

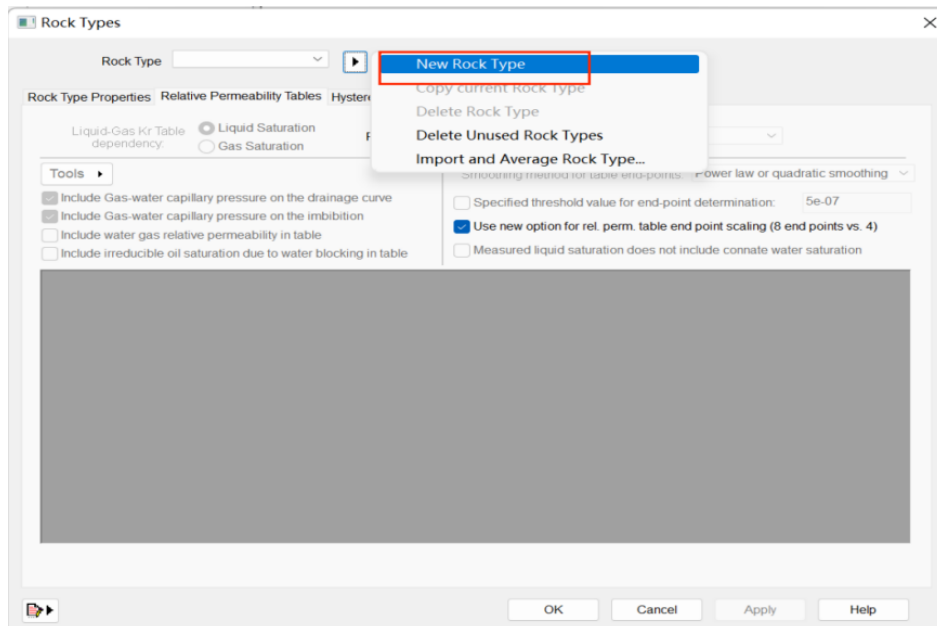
## 五、岩石流体部分（Rock Fluid）

本部分建立岩石流体模型，输入气液两相相渗曲线表。

### 1. 单击 **Rock Fluid**→**Create/Edit Rock Types**



### 2. **Rock Type**→**New Rock Type**



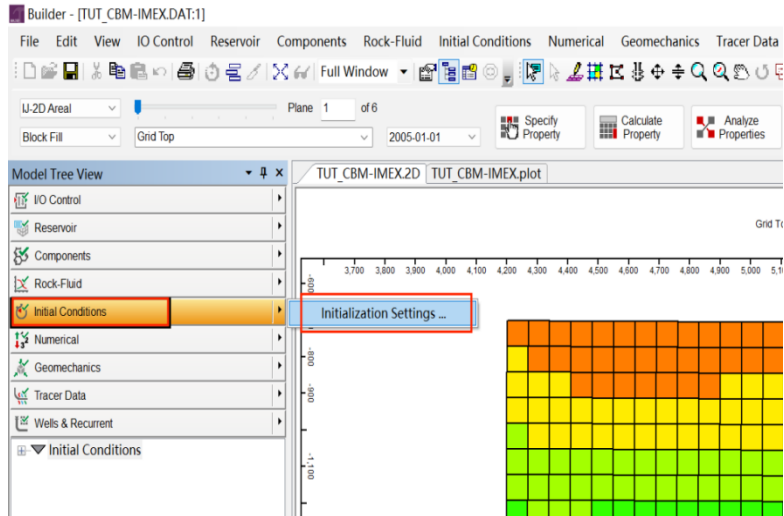
- 
3. 按照下列相渗曲线表输入数据，数据表可以直接粘贴复制到相渗曲线表中。

SW	KRW	KRG
0.00000	0.000000000	1.000000
0.05000	0.000000032	0.835000
0.10000	0.000000064	0.720000
0.15000	0.000000096	0.627000
0.20000	0.000000128	0.537000
0.25000	0.000000160	0.466000
0.30000	0.000000192	0.401000
0.35000	0.000000224	0.342000
0.40000	0.000000256	0.295000
0.45000	0.000000288	0.253000
0.50000	0.000000320	0.216000
0.55000	0.000000352	0.180000
0.60000	0.000000384	0.147000
0.65000	0.000000416	0.118000
0.70000	0.000000448	0.090000
0.75000	0.000000480	0.070000
0.80000	0.000000512	0.051000
0.85000	0.000000544	0.033000
0.90000	0.000000576	0.018000
0.95000	0.000000608	0.007000
0.97500	0.000000624	0.003500
1.00000	0.000000640	0.000000

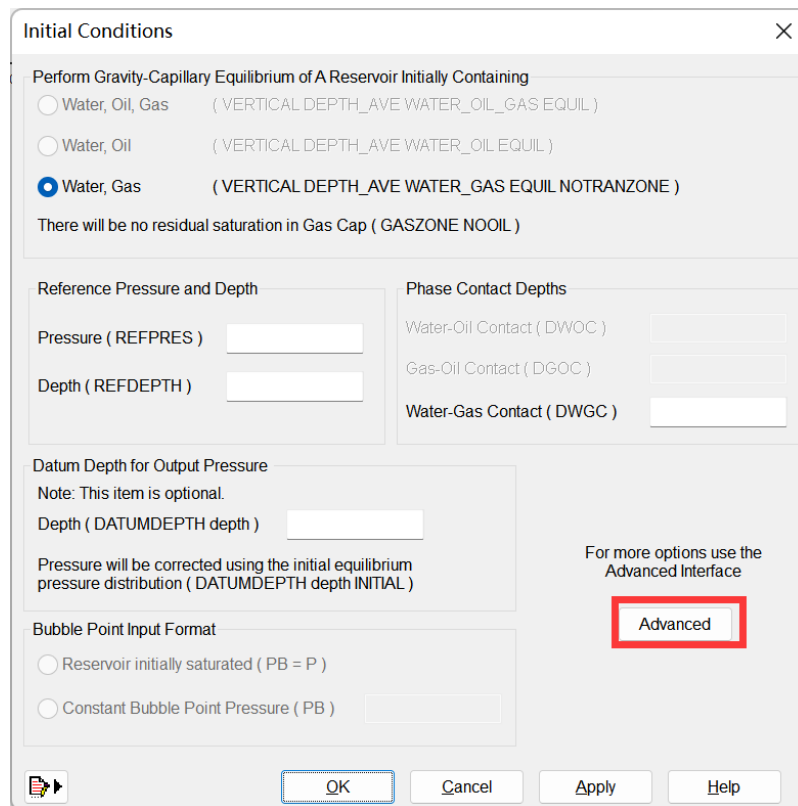
## 六、初始化部分 (Initial Conditions)

本部分设置初始化类型为垂向平衡法。

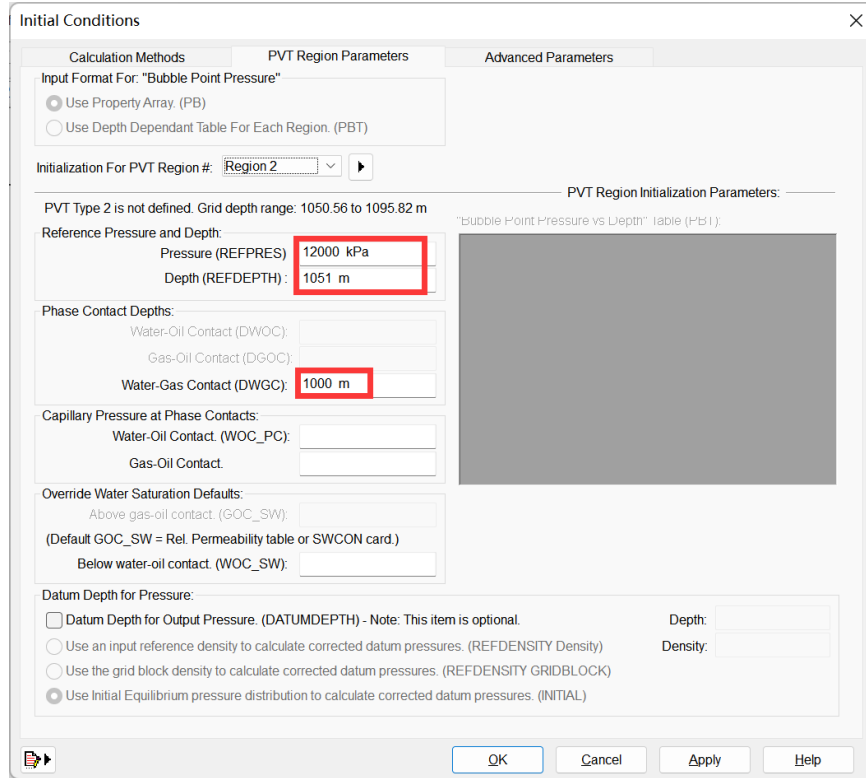
1. 单击 **Initial Conditions**→**Initialization setting** 初始化设置，



2. 弹出对话框，选择 **Advanced**

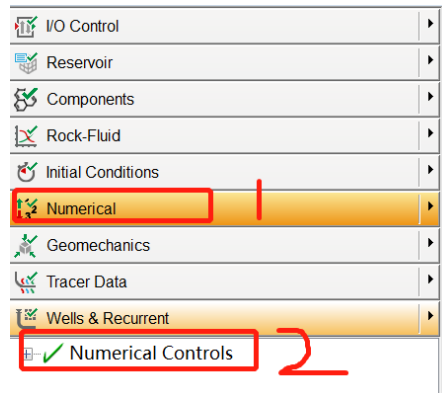


- 初始化设置 Region1, Reference pressure (参考压力) 12000kPa, Reference Depth (参考深度) 1051m, Water-Gas Contact (气水界面) 1000m。



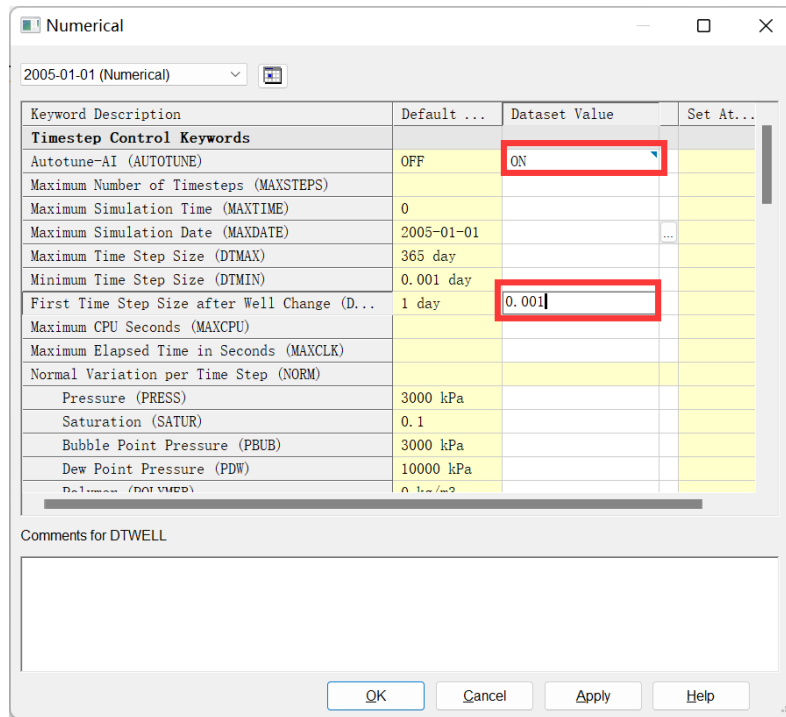
## 七、数值部分 (Numerical)

- 单击 Numerical 然后双击 Numerical Controls。



- 找到 AUTOTUNE, 然后使用下拉菜单选择 ON。
- DTWELL 选择 0.001。

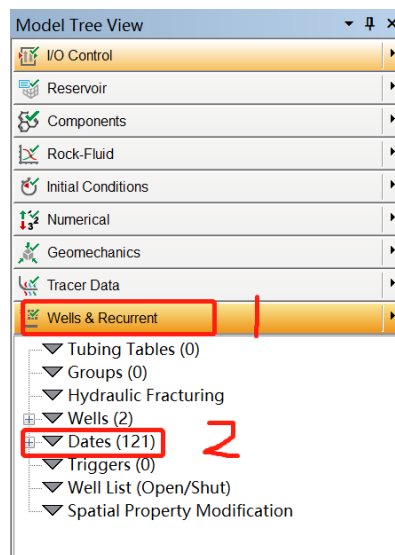
4. 单击 **OK**。




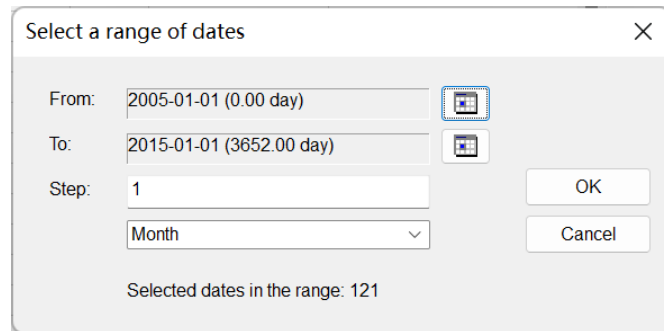
## 八、井和动态部分（Wells & Recurrent）

本部分将添加两口沿 I 方向的水平井，设置井控制条件以及射孔。

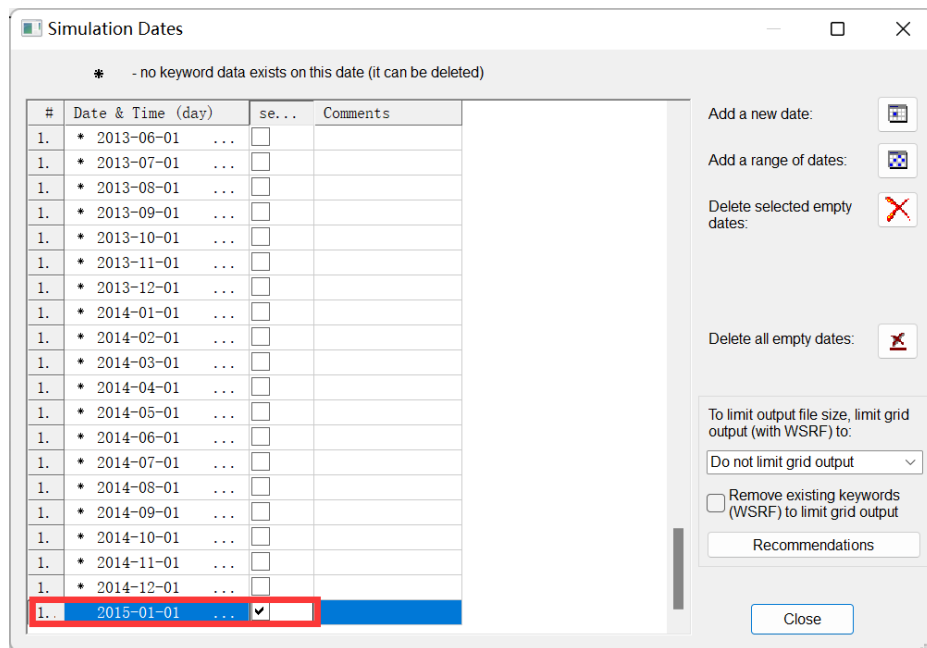
1. 单击 **Wells & Recurrent**，然后双击 **Dates**。



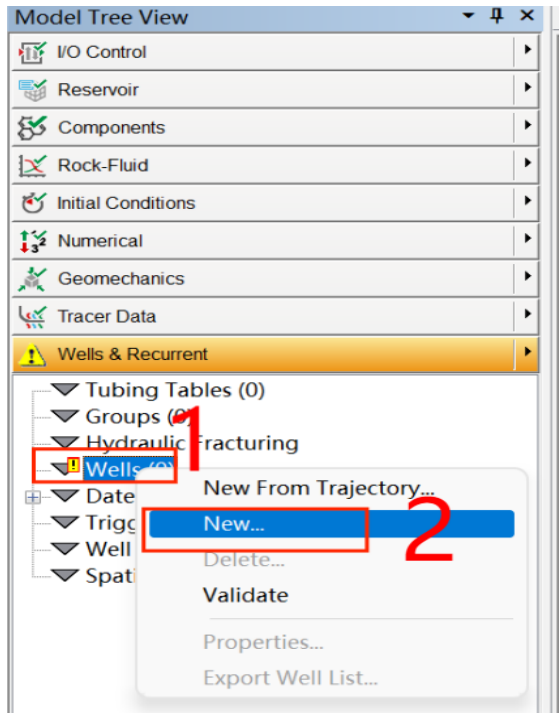
2. 单击  以添加日期范围。选择自： **2005-01-01** 到： **2015-01-01**，时间步按 Month，单击两次 **OK**。



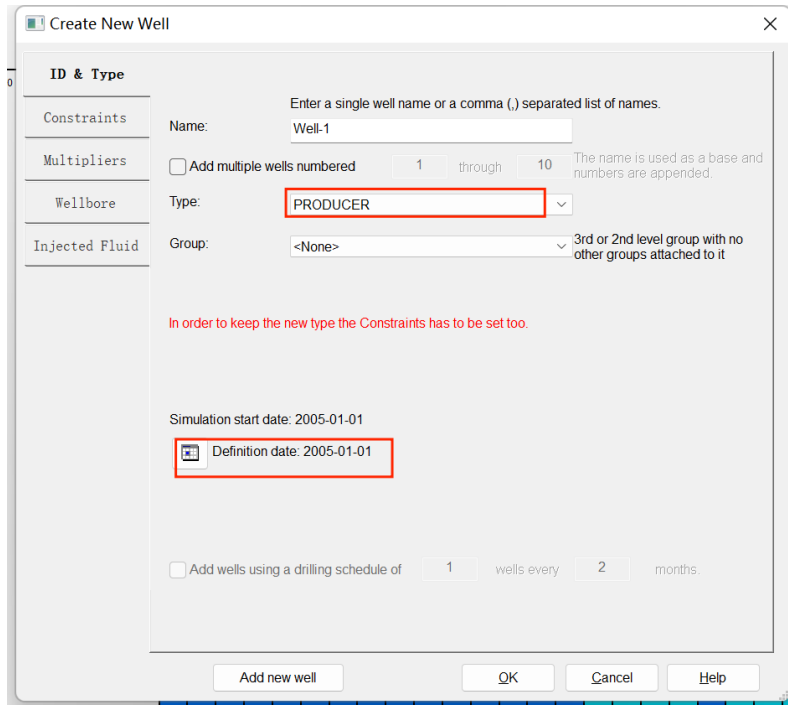
3. 在 *set STOP* 列中，选择 **2015-01-01**，设置为模拟结束日期，单击 **Close**。



4. 右键单击 **Wells**，然后选择 **New**。



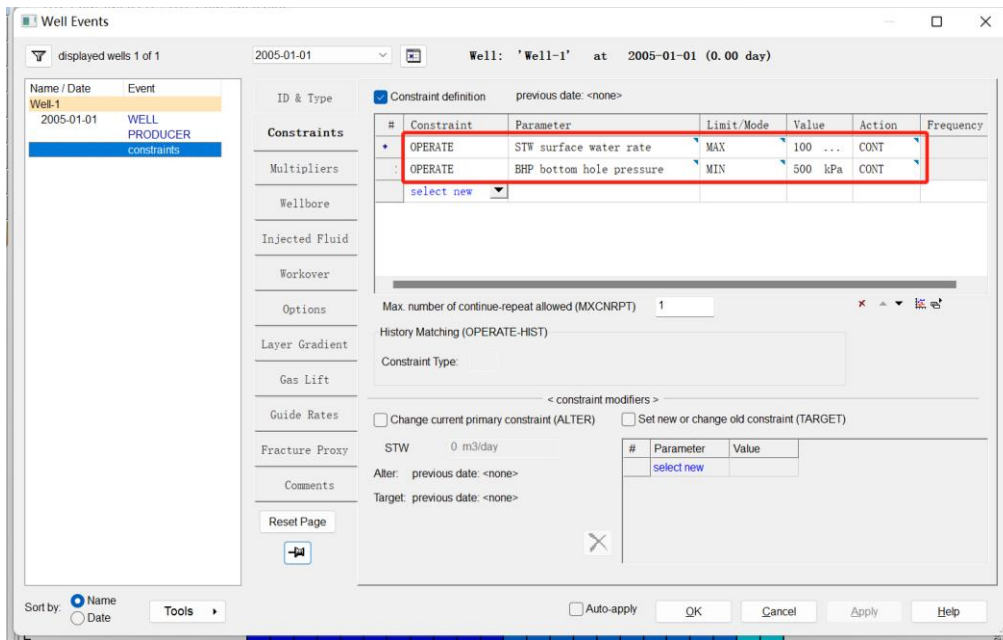
5. Type 设置为 **Producer**，并且井定义于 **2005-01-01**。



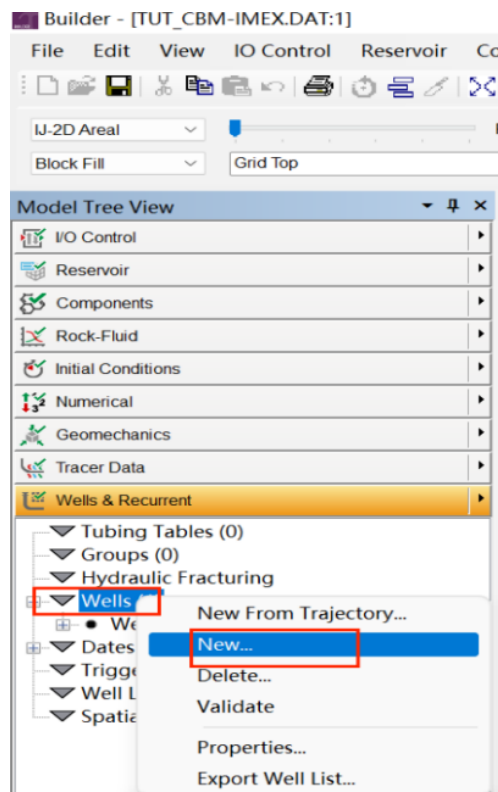
6. 单击 **Constraints**，选中 **Constraint Definition**。

7. 在 **Select new** 下，**OPERATE**（操作）选择为 **STW MAX 100 m<sup>3</sup>/d CONT REPEAT**。

8. 重复步骤 7 添加另一个约束：**BHP MIN 500 kPa CONT REPEAT**。

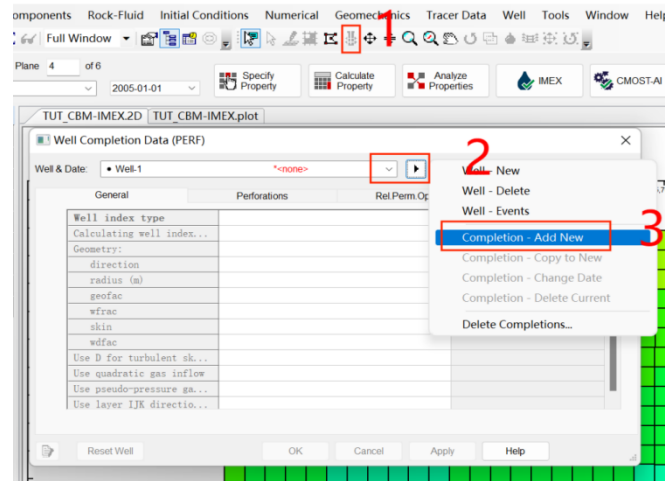


9. 添加第二口井，重复步骤 4。

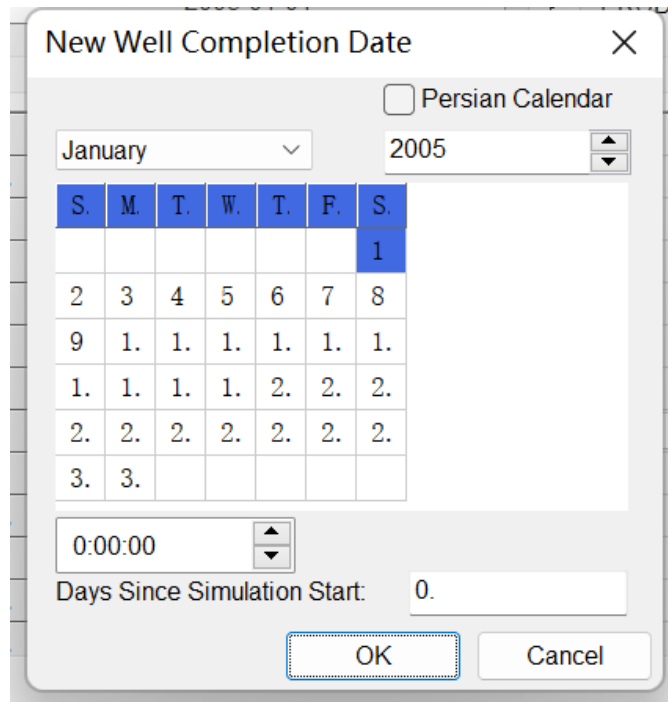


10. 重复步骤 5-8，然后单击 OK。

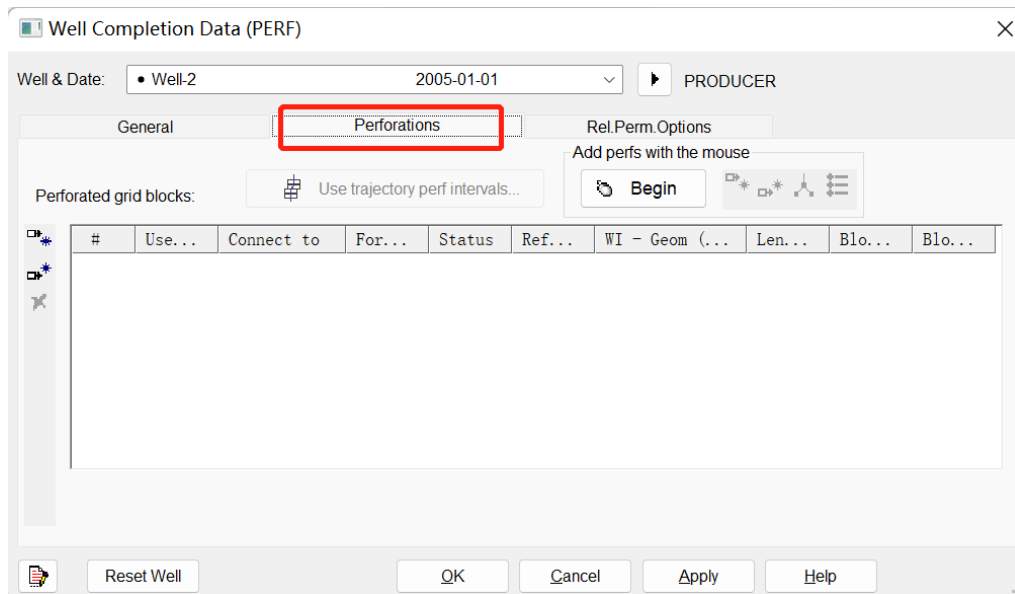
## 11. 添加完井信息 Completion Add well



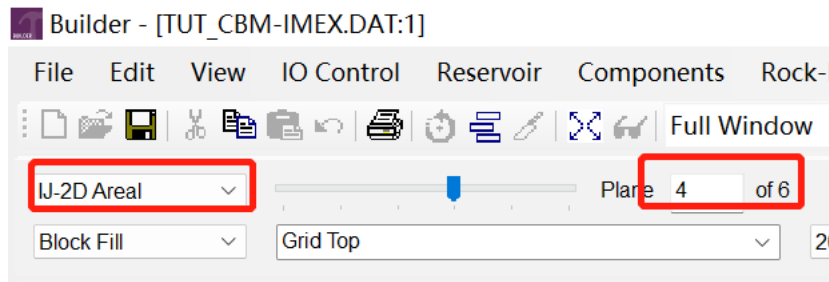
## 12. 添加完井时间 2005-01-01



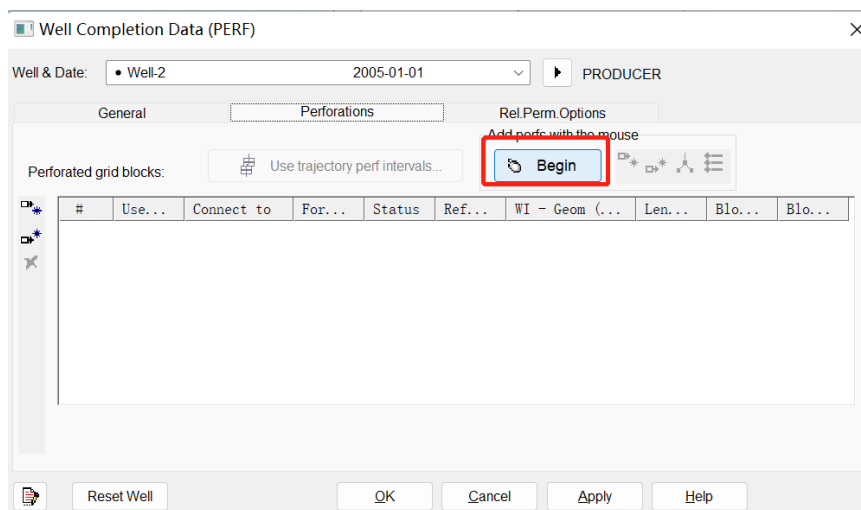
13. 转到 **Perforations** 。



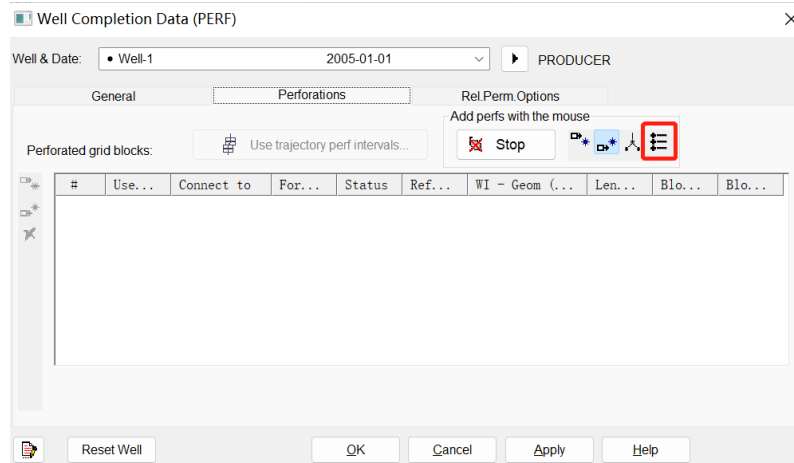
14. 在 **IJ-2D** 平面视图中，切换到平面 **4**（共 **6** 个）。



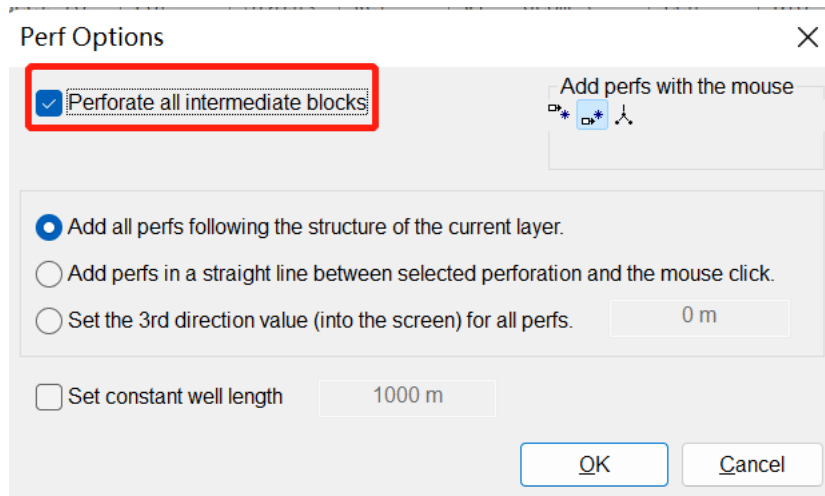
15. 使用鼠标添加射孔，单击 **Begin** 按钮。



16. 选中射孔高级选项。



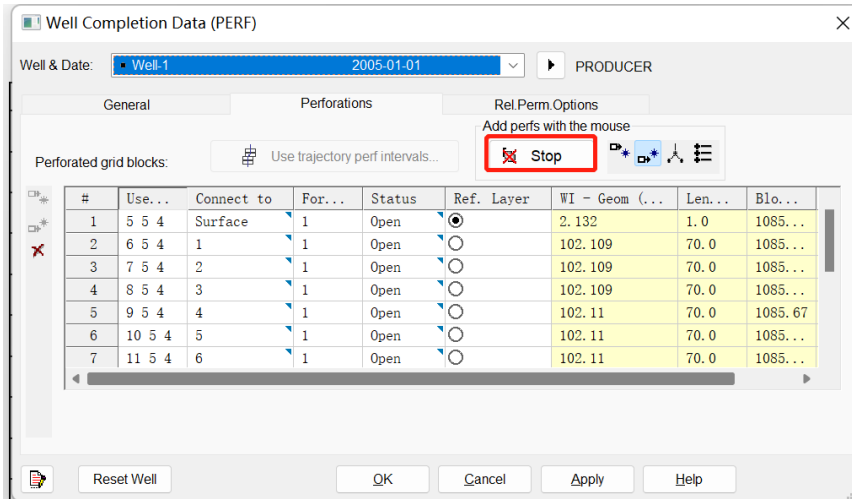
17. 选中 **Perforate all intermediate blocks**，然后选择选项 **Add all perfs following the structure of the current layer**。



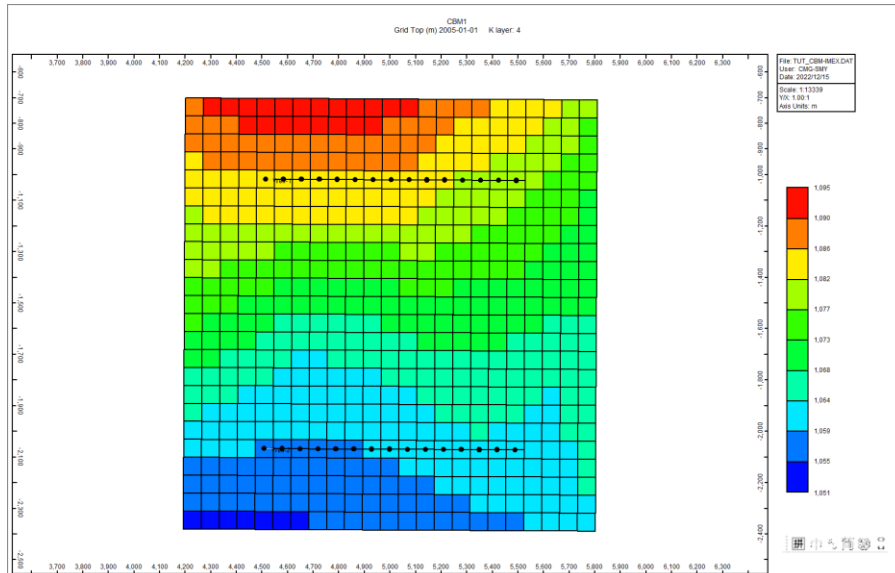
18. 单击 **OK**。

19. 将 **Well Completions Data**（完井数据）窗口移到一侧，然后单击孔位置 **5、5、4**，然后单击 **19、5、4**。

20. 单击 **STOP**，停止射孔。



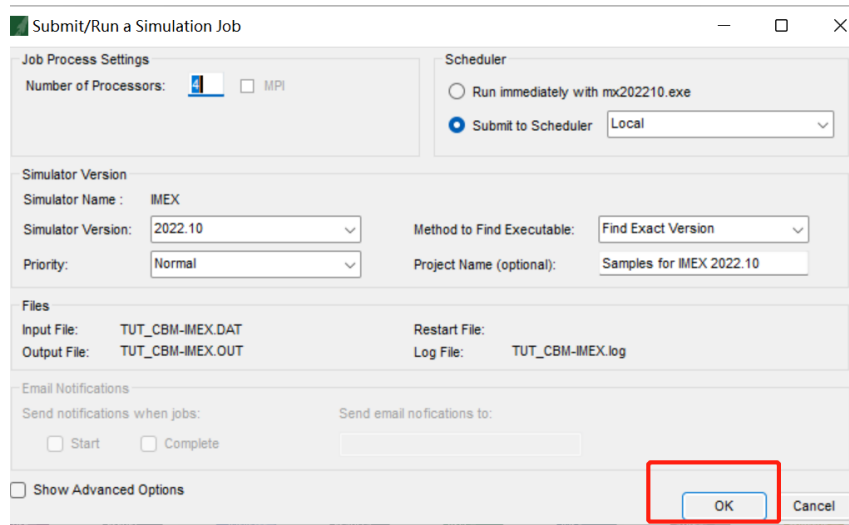
21. 在顶部下拉菜单中切换到 **Well-2**，弹出对话框单击 YES。
22. 对 **Well-2** 重复步骤 13 -20,射孔位置为 **5、20、4**，然后在 **19、20、4** 处。
23. 单击 **OK**。



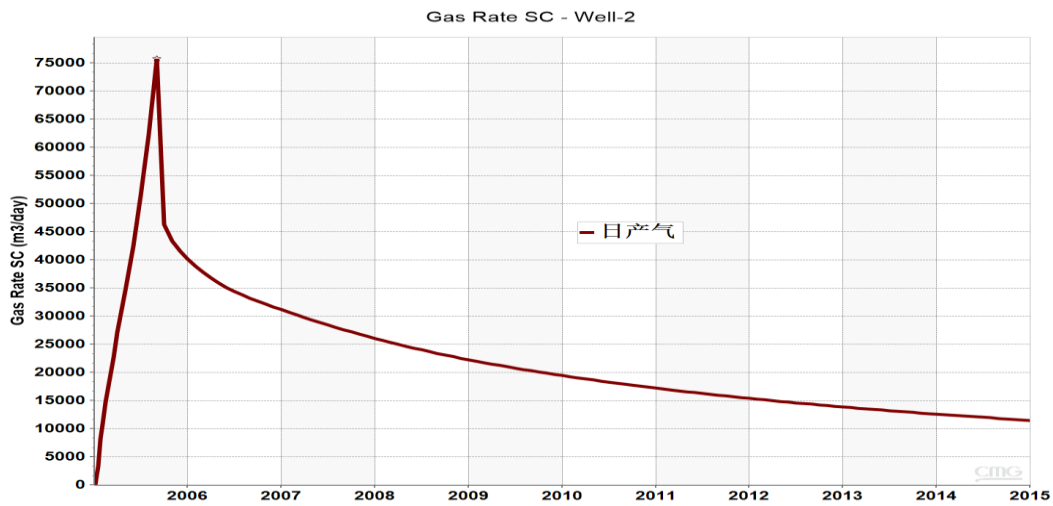
24. 保存文件。

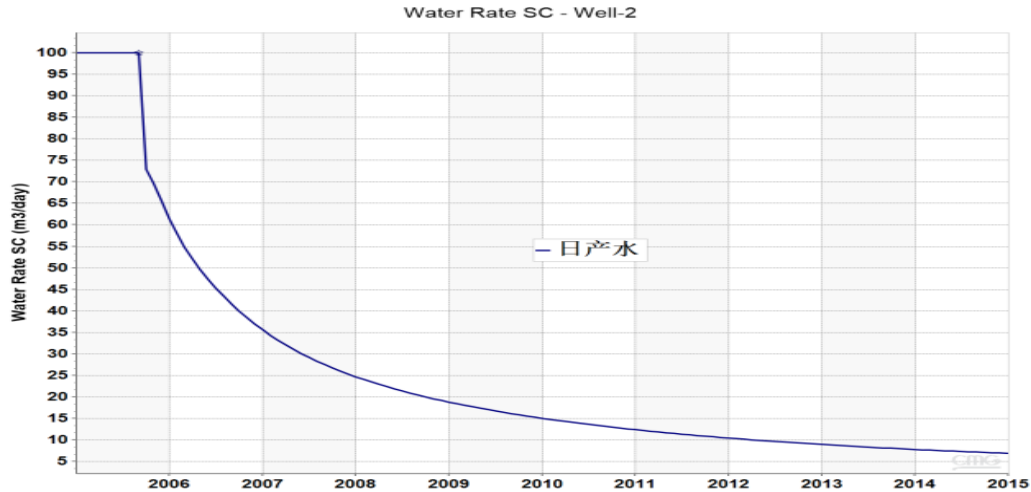
## 九、运行模拟器

1. 将 **Tut\_CBM-IMEX.dat** 拖放到 IMEX 图标中，将弹出一个新窗口，单击 OK。



2. 运行结果：日产气、日产水如下图所示：





## 十、IMEX 与 GEM 模拟煤层气对比

相同模型，相同配置计算机基础上，IMEX 计算速度是 GEM 的 5 倍。

模拟功能	IMEX	GEM
朗格缪尔最大吸附量 ADGMAXV	√	√
朗格缪尔等温吸附常数 ADGCSTV	√	√
朗格缪尔临界吸附压力 ADGPCRIT	√ 模拟煤层气的吸附饱和状态	× (吸附饱和状态通过双孔模型中设置基质与裂缝的不同初始压力及初始吸附量实现)
时变物性	Dilation-Compaction 表	P-M 模型
不同吸附类型煤层同时开采	√	√
煤层气扩散速度 COAL-DIF-TIME	×	√
考虑竞争吸附	×	√
运算速度，(相同条件下)	1.85s	9.381s