

第 77 期：CMG 致密油数值模拟一体化工作流程

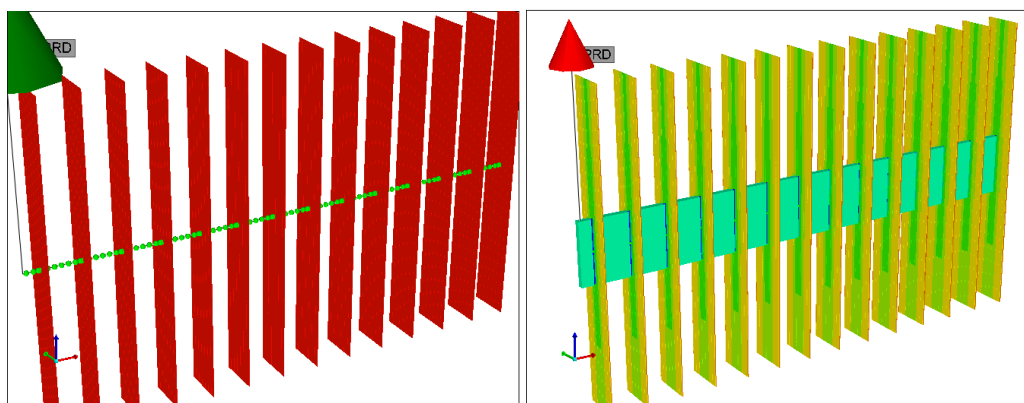
Builder/IMEX/CMOST/Results 2017.10

编写人：孙明月

致密油储层物性较差，投产前必须经过水力压裂才能投产开采，因此人工裂缝参数的研究对分析致密油开采过程至关重要。

致密油储层开发有两种研究方法，一种是油藏工程方法（例如 RTA），其优点是方便快捷，缺点是模型理想化，不能全面考虑开采机理，尤其是对人工裂缝参数的影响上考虑不够全面。另一种是数值模拟的方法，其优点是模型可以考虑储层非均质性、复杂井和裂缝以及其他复杂机理。但传统的数值模拟方法需要提交多个模拟运算，并分析结果，过程繁琐，效率较低。

CMG 推出的新一代非常规储层一体化工作流程，快速、自动化程度高，能够对人工裂缝进行多参数正交分析，结合辅助历史拟合技术能够极大提高工作效率。该工作流程主要分为四步：①建立压裂模型；②正交敏感性分析；③基于 DECE 抽样算法的历史拟合；④模型预测。



本文以致密油模拟为例，对工作流程进行详细讲解。

第一步，利用新一代水力压裂向导对致密油基础模拟进行压裂，Template 模板设置，

适用于多井、多段压裂设计（本讲义人工裂缝是平面缝）。并提交运算，分析结果。

第二步，CMOST 多参数正交敏感性分析，历史拟合之前要对调整的参数做敏感性分析，分析哪些参数对目标函数（累产油、累产水等）影响较大，看这些参数在选定的范围内是否可以拟合上模型。

第三步，DECE 抽样算法历史拟合。传统的历史拟合是通过不断调整不同参数试错的过程，对于数模初学者，这个过程是漫长；而使用 CMOST 的 DECE 抽样算法的历史拟合，可以在试算较少的模拟情况下找到拟合最优的模型，而且整个过程是自动的，方便、快捷。

第四步，模型预测，在历史拟合效果最优中模型中，加载一段生产时间，进行预测生产，可以预测最终可采量（EUR）。

本文基础模型 “Base Model - SI.dat”。模型网格数 $105 \times 105 \times 5$ ，网格尺寸是 $15\text{m} \times 15\text{m}$ ，埋深 3300m ，平均孔隙度为 0.07 ，平均渗透率 0.00035md ，油层厚度是 45m ；组分设置较为简单，只有油水两相；单水平井模型，水平井段长度 1200m ，投产前压裂，包含 8 个月生产动态数据。

目 录

1.	水力压裂基础模型	4
1.1	建立压裂基础模型	4
1.1.1	创建裂缝模板	4
1.1.2	创建裂缝	5
1.1.3	其他属性赋值	6
1.2	运行压裂基础模型	7
2.	CMOST 敏感性分析	8
2.1	创建工程 (Project)	8
2.2	定义一般属性 (General Properties)	9
2.3	定义基础数据 (Fundamental Data)	10
2.4	参数化定义(Parameterization)	11
2.5	创建主数据文件 (CMM)	11
2.6	定义目标函数 (Objective Functions)	14
2.7	控制中心 (Control Centre)	16
2.8	结果和分析 (Results & Analyses)	18
3.	CMOST 历史拟合	19
4.	模型预测	24
4.1	建立预测模拟	24
4.1.1	井工作制度	24
4.1.2	添加预测时间	25
4.2	运算及结果分析	26
5.	结论	27

1. 水力压裂基础模型

本节将基础模型进行水力压裂，裂缝类型为面裂缝，共压开 41 条裂缝，裂缝导流能力为 38 md.m。使用 Template 压裂模板，便于 CMOST 历史拟合自动调整参数。

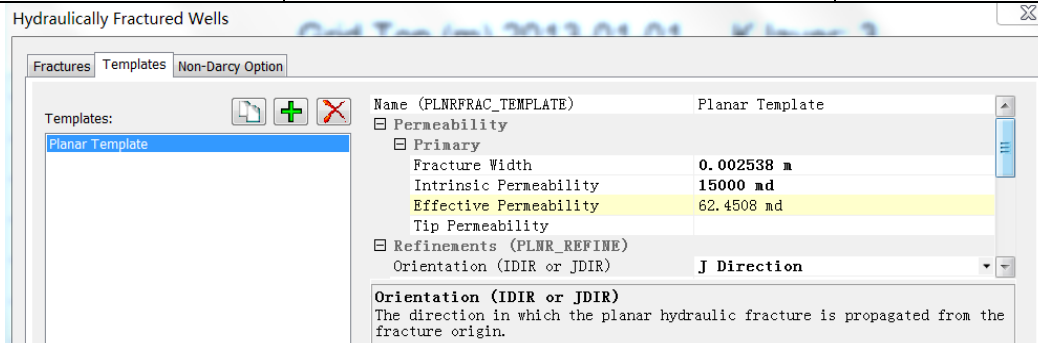
1.1 建立压裂基础模型

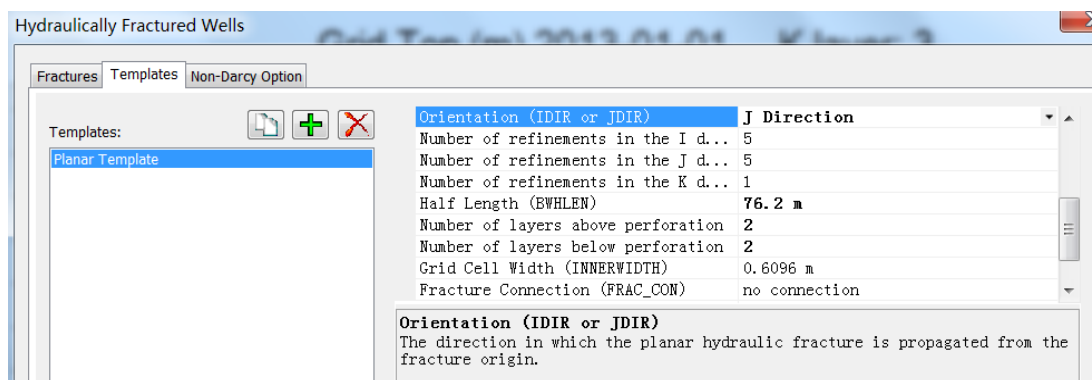
建立水力压裂模拟，在公开课第 9 课有详细介绍，本文只介绍面裂缝压裂，首先设置裂缝模板 template，然后设置裂缝间距，加载裂缝模板，创建 41 条裂缝，最后设置人工裂缝其他属性，如含水饱和度、相渗表、膨胀压实表等。

1.1.1 创建裂缝模板

- 1) 在 **Builder** 中打开 **Base Model.dat**
- 2) 转到 **Wells → Hydraulic Fracturing...** 创建 **New Planar Fracture**，输入数据如下：

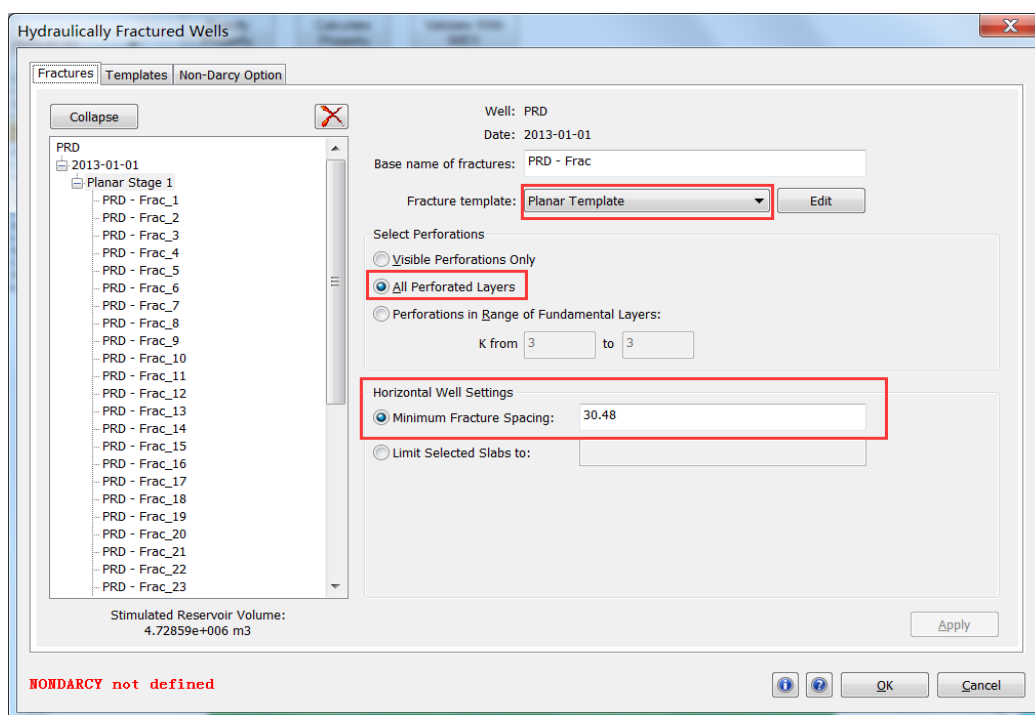
参数（中文）	参数（英文）	数值（SI 单位制）
实际裂缝宽度	Fracture Width	0.002538
实际裂缝渗透率	Intrinsic Permeability	15000
有效裂缝渗透率	Effective Permeability	自动计算
裂缝走向	Orientation (IDIR or JDIR)	J Direction
I 方向网格加密数	Number of refinements in the I direction	5
J 方向网格加密数	Number of refinements in the J direction	5
K 方向网格加密数	Number of refinements in the K direction	1
裂缝半长	Half Length (BWHLEN)	76.2
上部压裂射孔层数	Number of layers above perforation	2
下部压裂射孔层数	Number of layers below perforation	2
中间加密网格宽度	Grid Cell Width	0.6096



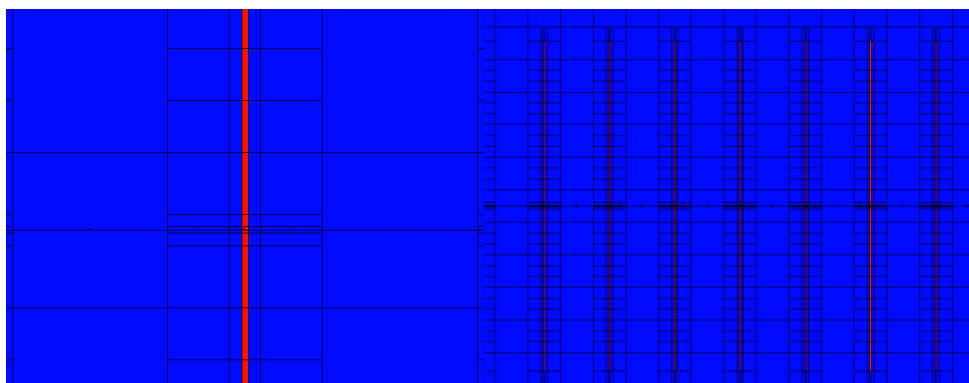


1.1.2 创建裂缝

3) 选择模板“Planar Template”，射孔部分选择“All Perforated Layers”，在裂缝间距设置上输入“30.48”，单位是 m，不用输入。



4) 单击“Apply”，生成 41 条裂缝。



5) 保存模型 **Base Model Hyd Frac.dat**。

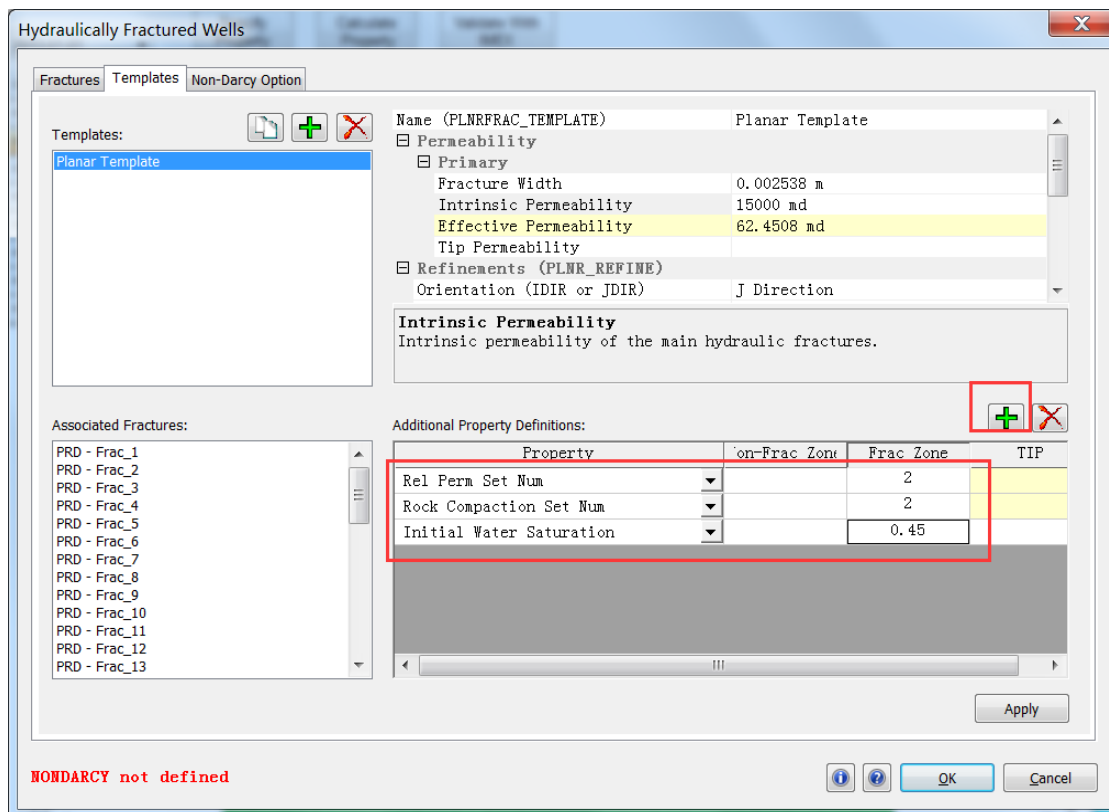
1.1.3 其他属性赋值

在模型中设置好膨胀压实表和不同的人工裂缝的相对渗透率表，其中膨胀压实表用于模拟岩石的可压缩性，在人工裂缝区域设置膨胀压实表可以模拟裂缝失效过程；在压裂区和未压裂区设置不同的相渗，人工裂缝区域设置“X”型的相渗曲线。同时也可以人工裂缝中设置高含水饱和度模拟压裂液返排，本文设置的初始值是 0.45，后期拟合时这个数值是可以调的。

提示：在设置“Rel Perm Set Num”、“Rock Compaction Set Num”之前，要在 Builder →Specify Property 提前定义这些属性，之后才能在人工裂缝设置中添加。

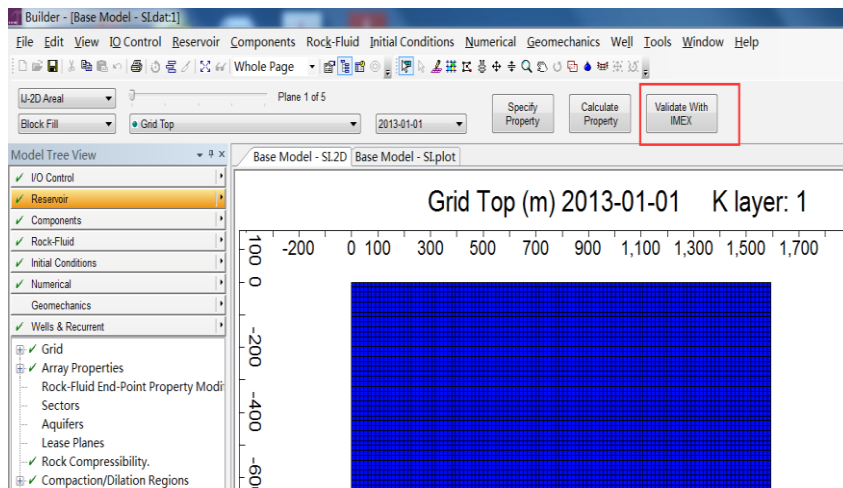
6) 转到 **Templates** 标签，输入以下数据：

Templates 模板用于定义人工裂缝参数，可以设置多个模板，由于实际压裂过程中每条裂缝的参数是不同的，这样可以通过不同模板加载到不同的裂缝段中。使得操作更加便捷，不易出错。



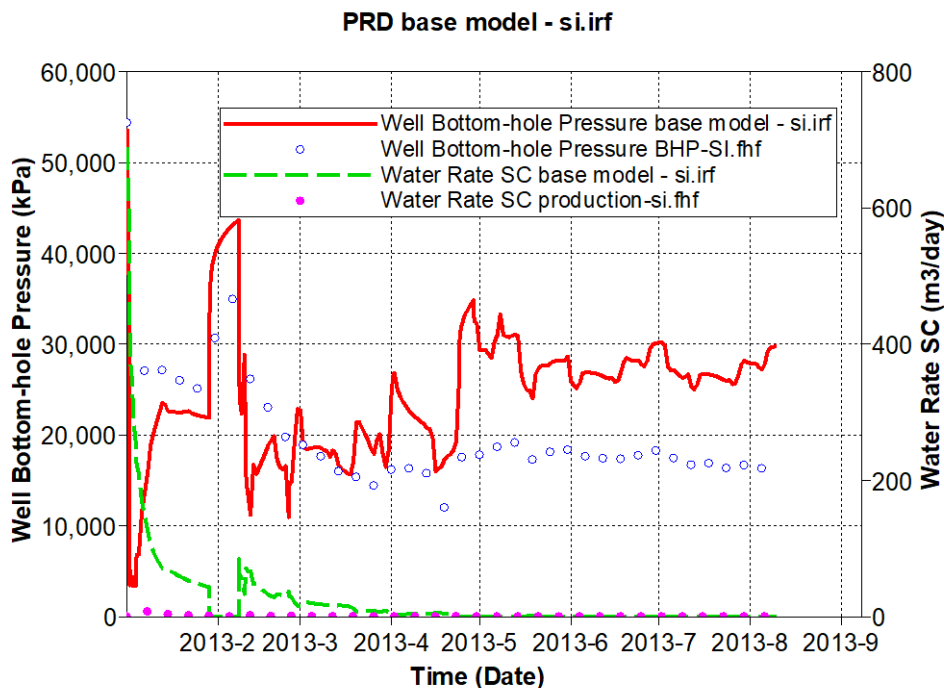
1.2 运行压裂基础模型

提交运算方式主要有两种，一种是通过 Launcher，将*.dat 文件拖到 IMEX 模拟器中提交运算；另外还可以通过 Builder，选择 Validate With IMEX 进行运算。



7) 运算模型，查看拟合效果。

在 Results Graph 中画出排采初期的产水及井底压力曲线，通过结果可以看出，基础模型井底流压后期比历史数据高，前期产水量比历史数据高，为了更好的历史拟合，下一步需要对水力压裂相关参数进行敏感性分析。



2. CMOST 敏感性分析

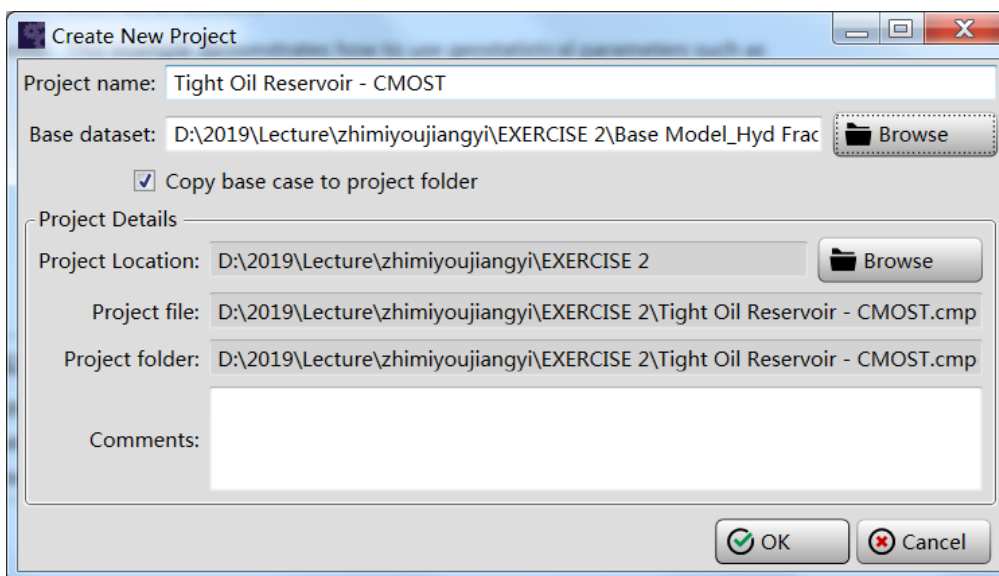
选取敏感性参数非常重要，就是将能对累产油、累产水等目标函数有影响的参数，做一下对比，看看哪些参数最为敏感，为下一步历史拟合调参提供依据。

通过前面基础数据与历史数据的对比结果，可以看出，井底流压后期比历史数据高，说明生产后期油藏压力递减较慢，需要调整的参数是膨胀压实表；前期产水量比历史数据高，说明初期滞留在人工裂缝中的压裂液量高了，可以调整的参数有人工裂缝中的含水饱和度，裂缝半长、裂缝间距、裂缝高度等。在致密油储层中基质的孔隙度和渗透率测量较为困难，存在取值不准的现象，同样可以做敏感性分析。

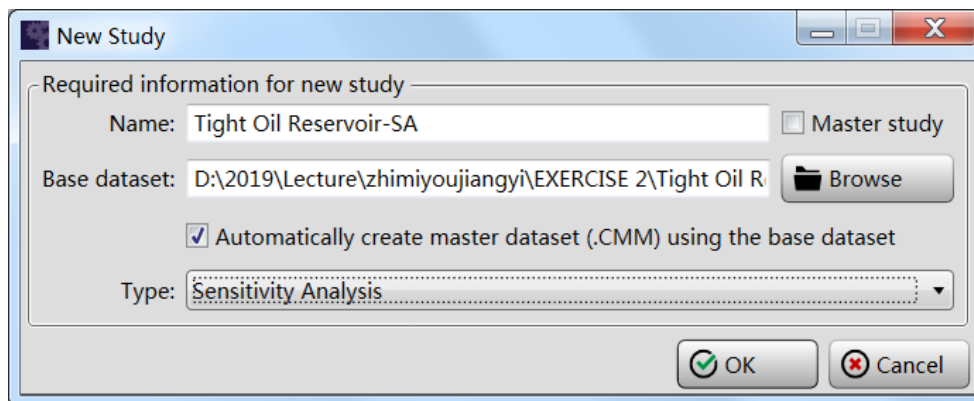
敏感性分析主要分四个主要部分，一是选择敏感性参数，参数取值范围；二是选择目标函数，比如累产油，采收率，净现值等等；三是选择抽样算法，响应面分析法 (Response Surface Methodology)；四是结果查看与分析。

2.1 创建工程 (Project)

- 8) 创建工程 (Project)
- 9) 打开 CMOST，选择 **File -> New -> Project**
- 10) 命名项目 **Tight Oil Reservoir - CMOST**，选择 **Base Model Hyd Frac.dat** 从所在文件夹中。
- 11) 单击 **OK**。



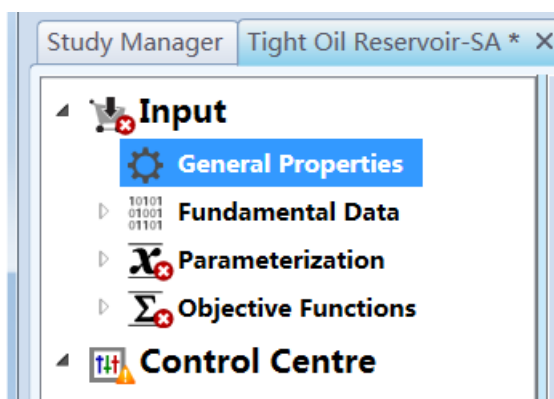
- 12) 单击 **New Study** 按钮，创建新的课题。
- 13) **New Study** 命名为 **Tight Oil Reservoir-SA**。
- 14) 定义 **Base Model Hyd Frac.dat** 作为基础模拟。
- 15) 选择 **Sensitivity Analysis** 作为任务类型。
- 16) 然后点击 **OK**。



2.2 定义一般属性 (General Properties)

CMOST 选择单位制中使用的数据集。如果选择与数据集中使用的不同的单位制，CMOST 将自动将结果转换为 CMOST 中选择的单位制。

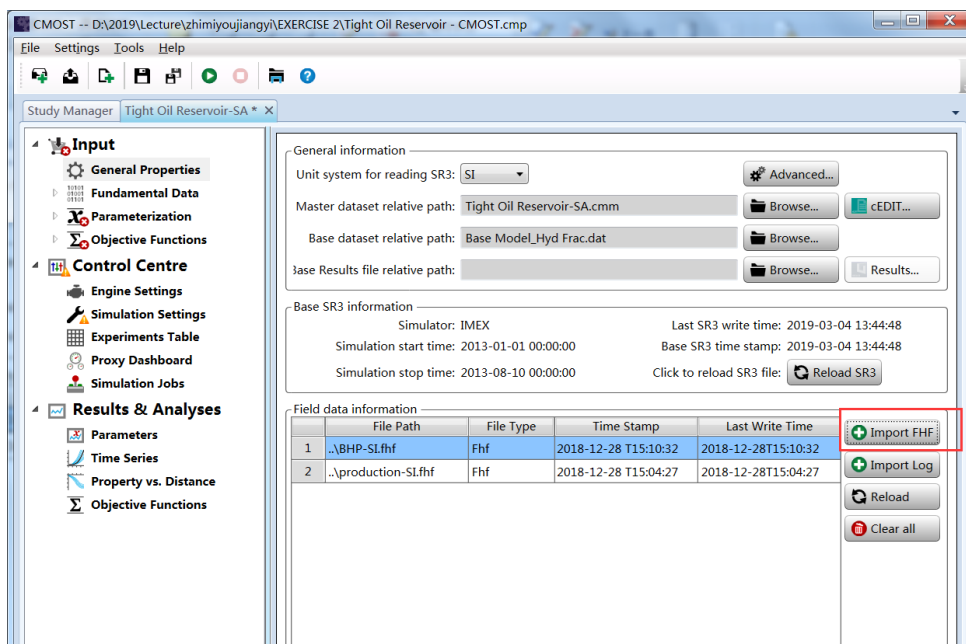
现在先跳过主文件，稍后回来。基础文件已经定义好。



- 17) 单击 **Import FHF** 按钮，从需要的数据文件夹中选择文件 **BHP-SI.fhf** 和 **production-SI.fhf**，然后单击 **Open**。

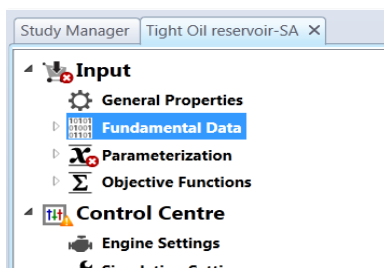
fhf 文件，是先将动态数据导入 Builder 之后，由 Builder 导出的历史数据，fhf 文件用后处理 Result Graph 打开，通过用于历史拟合时与模拟结果进行对比用。

18) 单击 **Yes**。



2.3 定义基础数据 (Fundamental Data)

基础数据的定义是为了从模拟结果中查看图表。通常，大多数模拟结果文件会在 CMOST 分析之后删除。然而即使原始文件被删除，基础数据也会保存模拟结果便于查看。



在这种情况下，可以看井的累产和日产。

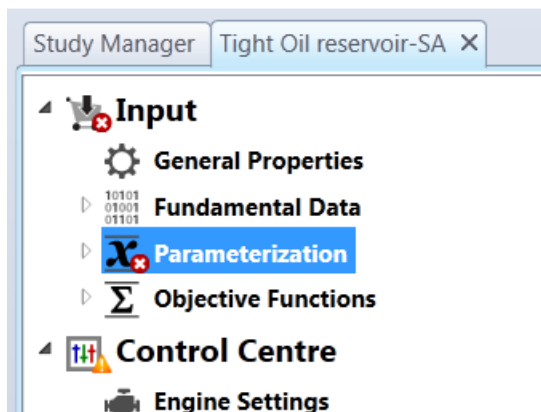
19) 单击 **Insert** 按钮，输入下列信息。

类型	名称	属性
WELLS	PRD	Cumulative Oil SC
WELLS	PRD	Cumulative Water SC
WELLS	PRD	Oil Rate
WELLS	PRD	Water Rate

提示:如果要同一属性应用于多个井，为 1 井定义属性，然后单击重复，可以将属性复制到剩余的井中。

20) 保存文件。

2.4 参数化定义(Parameterization)



CMOST 参数在本节中定义。

在参数化部分，要在基础模型中选择变量。在本研究中，已确定调整的变量：

变量	CMOST 参数名
Matrix Porosity	Matrix_POR
Matrix Permeability	Matrix_PERM
Propped Fracture Spacing	Propped_Frac_Spacing
Propped Fracture Half-Length	XF
Propped Fracture Permeability	Propped_Frac_Perm
Swi in Propped Fractures	SW_Propped
Rock Compaction	Rock_Compaction

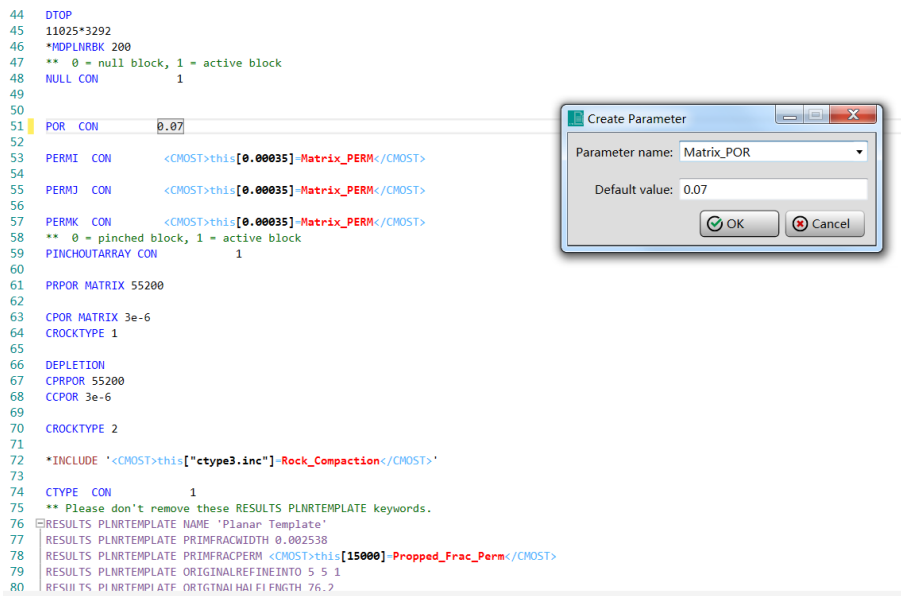
2.5 创建主数据文件 (CMM)

主数据文件 (CMM 文件)几乎与普通模拟数据文件相同，但是，主数据文件的某些数据值已替换为 CMOST 关键字。建立主数据文件目的是 CMOST 提交模型运算，将选取的数据添加到主数据文件中，组合成一个新的模型，进行运算，以此类推，每个模型都是通过主数据文件形成的。

- 21) 单击树视图中的参数化选项 (**Parameterization option**) 以导航到参数页面。
- 22) 单击 **cEdit button** 按钮打开 **CMM** 编辑器。
- 23) 在文件中，导航到关键字 **POR** 并突出显示与关键词关联的值 **0.07**。
右键单击并选择 **Create Parameter**。将参数重命名为 **Matrix_POR**。
保留应与数据体中的原始值匹配的默认值。

提示：CMOST 语句格式可以使用 **cEdit** 软件自动生成，也可以在文本中手动输入，其格式如下所示：“0.07” 是所选取的参数值，“Matrix_POR” 是自定义的参数名称。

```
POR CON <CMOST>this[0.07]=Matrix_POR</CMOST>
```

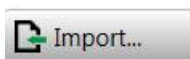


参数设置如下：

变量	参数关键词	CMOST 参数命名
Matrix Porosity	POR CON 0.07	Matrix_POR
Matrix Permeability	PERMI, PERMJ, PERMK CON 0.00035	Matrix_PERM
Rock Compaction	INCLUDE 'ctype3.inc'	Rock_Compaction
Propped Fracture Spacing	RESULTS PLNRSTAGE MINFRACSPACING 30.48	Propped_Frac_Spacing
Propped Fracture Half-Length	BWHLEN 76.2	XF
Propped Fracture Permeability	RESULTS PLNRTEMPLATE PRIMFRACPERM 15000	Propped_Frac_Perm
Swi in Propped Fractures	SWINIT MATRIX *FZ 0.45	SW_Propped

24) 完成后单击“确定”退出.CMM 编辑器，单击“是”将更改保存到.CMM 文件。

25) 保存 .cmm 文件，并返回 CMOST。转到参数选项卡并单击



按钮，以便列出此新参数。

完成后，参数页面将填充已定义的变量。数据范围自动设置为每个参数默认值得 25%，但必要时可以进行调整。对于本教程，将给出每个参数的上限和下限。

每个参数输入以下范围，以下所有参数类型都设置为 **Continuous Real** 参数。

变量	CMOST 参数名	最小值	最大值
Matrix Porosity	Matrix_POR	0.04	0.1
Matrix Permeability	Matrix_PERM	0.0001	0.001
Propped Fracture Permeability	Propped_Frac_Perm	1000	30000
Propped Fracture Half-Length	XF	50	400

26) 确保为 **Propped_Frac_Spacing** 选择 **Discrete Real** 并输入以下范围：

Name	Comment	Active	Default Value	Source
1 Matrix_PERM		<input checked="" type="checkbox"/>	0.00035	Continuous Real
2 Matrix_POR		<input checked="" type="checkbox"/>	0.07	Continuous Real
3 Propped_Frac_Perm		<input checked="" type="checkbox"/>	15000	Continuous Real
4 Rock_Compaction		<input checked="" type="checkbox"/>	"ctype3.inc"	Discrete Text
5 SW_Propped		<input checked="" type="checkbox"/>	0.45	Continuous Real
6 XF		<input checked="" type="checkbox"/>	76.2	Continuous Real
7 Propped_Frac_Spacing		<input checked="" type="checkbox"/>	30.48	Discrete Real

Real Value	Prior Probability
1 30.48	
2 45.72	
3 60.96	
4 76.2	
5 91.44	
6 106.68	
7 121.92	

27) 对于 **Rock_Compaction** 选择 **Discrete Text** 输入下列数值：

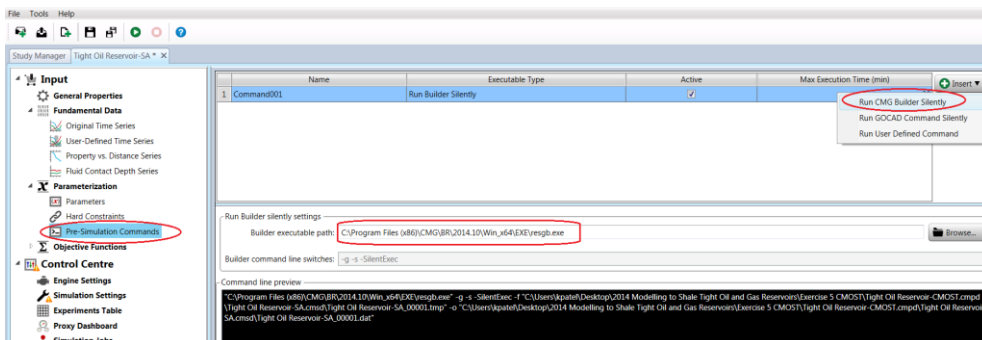
Name	Comment	Active	Default Value	Source
1 Matrix_Por		<input checked="" type="checkbox"/>	0.07	Continuous Real
2 Matrix_Perm		<input checked="" type="checkbox"/>	0.00035	Continuous Real
3 Propped_Frac_Perm		<input checked="" type="checkbox"/>	15000	Continuous Real
4 XF		<input checked="" type="checkbox"/>	250	Continuous Real
5 Propped_Frac_Spacing		<input checked="" type="checkbox"/>	100	Discrete Real
6 Rock_Compaction		<input checked="" type="checkbox"/>	"ctype3.inc"	Discrete Text

Text Value	Numerical Value	Prior Probability
1 "ctype1.inc"	1	
2 "ctype2.inc"	2	
3 "ctype3.inc"	3	
4 "ctype4.inc"	4	

由于使用 include 文件作为 CMOST 参数，复制文件 ctype1.inc, ctype2.inc, ctype3.inc, 和 ctype4.inc 到 CMOST 工程指定的文件夹中。（**Tight Oil Reservoir - CMOST.cmpd**）。这个文件位于 **REQUIRED DATA** 文件夹中。

- 28) 在 CMOST 中，单击 **Insert** 以便于在 **Run CMG Builder silently** 命令选项卡下插入 **Pre-Simulation Command** 运算命令。

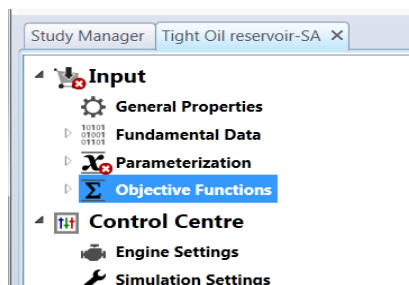
提示：添加 **Pre-Simulation Command (预先模拟命令)** 运算非常关键，有两个地方使用了这一运算，一是关键词 ***MDPLNBRK** 用于定义水力压裂中加密的母网格数，这个需要 Builder 预先运算；二是原始人工裂缝渗透率，需要 Builder 预先运算出网格中人工裂缝的渗透率。



- 29) **保存文件**

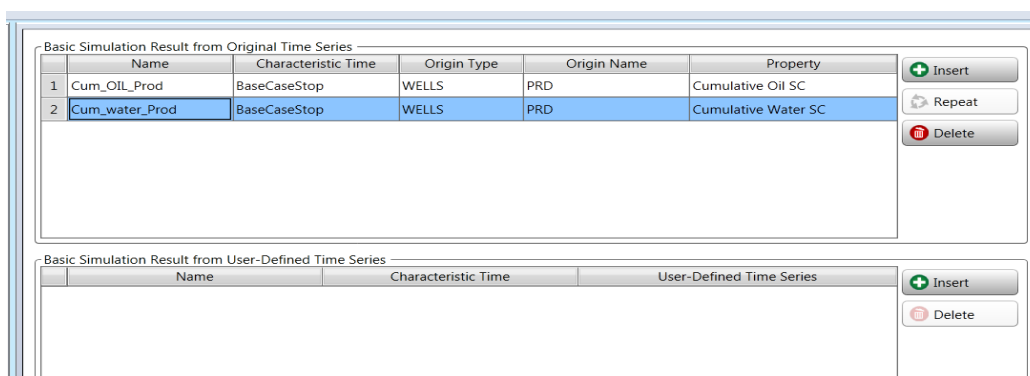
2.6 定义目标函数 (Objective Functions)

目标函数选取非常重要，决定 CMOST 分析运算的标准，本教程选取的是累积产油量和累积产水量，在敏感性分析中，将会看到不同参数对累产油和累产水的影响。

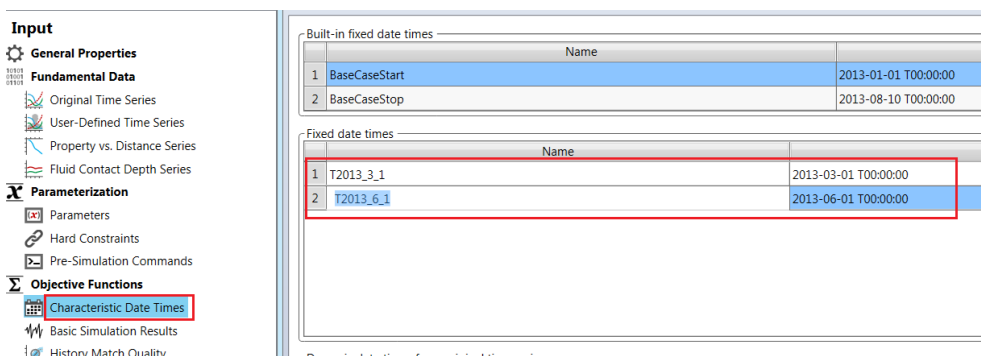


- 30) 转到 **Basic Simulation Results** 页面
- 31) 单击 **Insert button**。
- 32) 将目标函数重命名为 **Cumulative_Oil_Prod**。设置 **Origin Type** 到井和 **PRD** 对于 **Origin Name** 设置的属性为 **Cumulative Oil SC**。
- 33) 添加 2 更多的目标函数：

名称	井名	属性
Cumulative_Water_Prod	PRD	Cumulative Water SC
Cumulative_Oil_Prod	PRD	Cumulative Oil SC

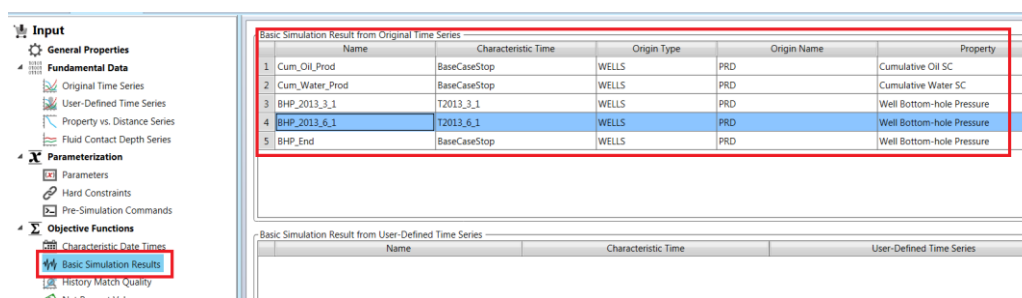


- 34) 将井底流压设为目标函数，但是井底流压是不连续的，需要截取两个时间数据点 **2013-3-1** 和 **2013-6-1** 作为井底流压敏感性分析的部分。
- 35) 达到 **Characteristic Date Times** 仪表盘，添加两个时间点如下所示：



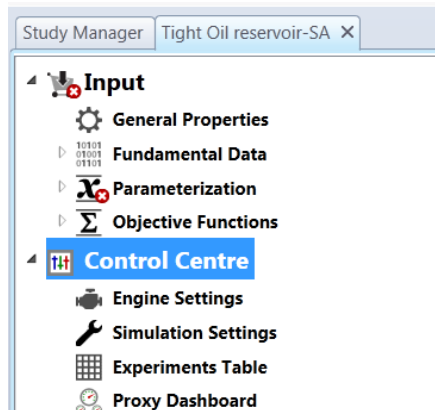
- 36) 进入 **Basic simulation Results** ，添加三个目标函数如下所示：

名称	特定时间	井名	属性
BHP_2013_3_1	T2013_3_1	PRD	Well Bottom-Hole Pressure
BHP_2013_6_1	T2013_6_1	PRD	Well Bottom-Hole Pressure
BHP_End	BaseCaseStop	PRD	Well Bottom-Hole Pressure



2.7 控制中心 (Control Centre)

控制中心用于设置在哪个计算机上运行模型、选择模拟器版本、处理器数量，以及启动或停止 CMOST 运行。



- 37) 单击 **Engine Settings** 页面。课题的类型已经定义为 **Sensitivity Analysis**，计算方法选择 **Response Surface Methodology (响应面分析法)**。其他设置为缺省值。
- 38) 单击 **Simulation Settings** 页面。本地的调用参考目前的电脑。确定调用的是 **Local**, 设置为 **Active** 通过检查复选框。设置 **Max Concurrent Jobs** 为 **4**。

有时模拟可能遇到数值问题，可能需要很长时间才能完成。CMOST 可以自动终止比预定时间多的模拟。由于本模型运算应在不到一分钟时间完成，将每个模型的最大运行时间设置为 60 分钟。

Schedulers: Connected using schedulers in Launcher. Please do not close Launcher when the study is running.

Refresh

	Active	Scheduler Name	Type	Max Concurrent Jobs	Max Failed Jobs	Work Plan	Job Priority	Additional Switches	Host Computer
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Local	Local	4	25	All Time	Low		
2	<input type="checkbox"/>	HPC Head Node	MSHPCschedul	1	25	All Time	Low		HPCHEADNOD
3	<input type="checkbox"/>	CSTIVY24C10-4	MSHPCschedul	1	25	All Time	Low		HPCHEADNOD
4	<input type="checkbox"/>	CSTIVY24C10-2	MSHPCschedul	1	25	All Time	Low		HPCHEADNOD
5	<input type="checkbox"/>	CSTIVY60CR-2	MSHPCschedul	1	25	All Time	Low		HPCHEADNOD
6	<input type="checkbox"/>	CSTHSW16C11-2	MSHPCschedul	1	25	All Time	Low		HPCHEADNOD
7	<input type="checkbox"/>	CSTHSW16C10-8	MSHPCschedul	1	25	All Time	Low		HPCHEADNOD
8	<input type="checkbox"/>	CSTHSW16C11-3	MSHPCschedul	1	25	All Time	Low		HPCHEADNOD
9	<input type="checkbox"/>	CSTHSW72CR-1	MSHPCschedul	1	25	All Time	Low		HPCHEADNOD

Simulator settings

Simulator: IMEX
 Simulator version: 2017.10
 Number of CPUs per job: 1
 Method to find executable: Find Exact Version
 Max run time per job (hours): 1
 Additional simulator switches: -sr3
 Apply simulator license multiplier:
 Write SR3 files on execution host:
 Write log file on execution host:
 Disable restart records writing:
 Disable grid records writing in OUT:
 Disable grid records writing in SR3:

Job record and file management

Job Status	Clear Job Record	Delete .dat	Delete .log	Delete output files (*.sr3, ...)
NormalTermina	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
AbnormalTermi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Failed	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Killed	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

1. For normal termination jobs, the user can specify the number of optimum experiments to keep simulation files in Engine Settings page.
 2. Abnormal termination jobs are jobs terminated by the simulator due to numerical problems.
 3. Failed jobs are jobs that couldn't run to completion due to hardware/software/license problems.

Validation

39) 完成敏感性分析的输入， **Save 保存。**

40) 单击 **Control Centre 页面**。单击 按钮启动 CMOST 引擎
 CMOST 将开始创建模型，并用模拟器运算。

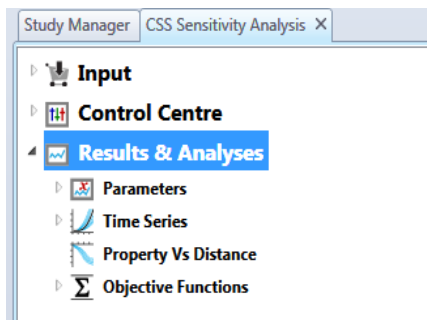
The screenshot shows the CMOST software interface. On the left is a navigation tree with 'Control Centre' selected. The main area is divided into several sections:

- CMOST engine:** Shows engine name (Response Surface Methodology), version (2013.11.5046.24230), status (Stopped), and start date (2014-01-27T13:33:35).
- Experiments progress:** A horizontal bar chart showing the status of 30 experiments. The legend indicates: Complete (green), Running (purple), New (blue), Reused (light green).
- Engine events:** A log table with columns for Time, Level, Source, and Description. It shows various events like 'Starting Engine...', 'Validating input data...', and 'Job Tight Oil Reservoir -SA_00001 is submitted to Local'.

Ready

2.8 结果和分析 (Results & Analyses)

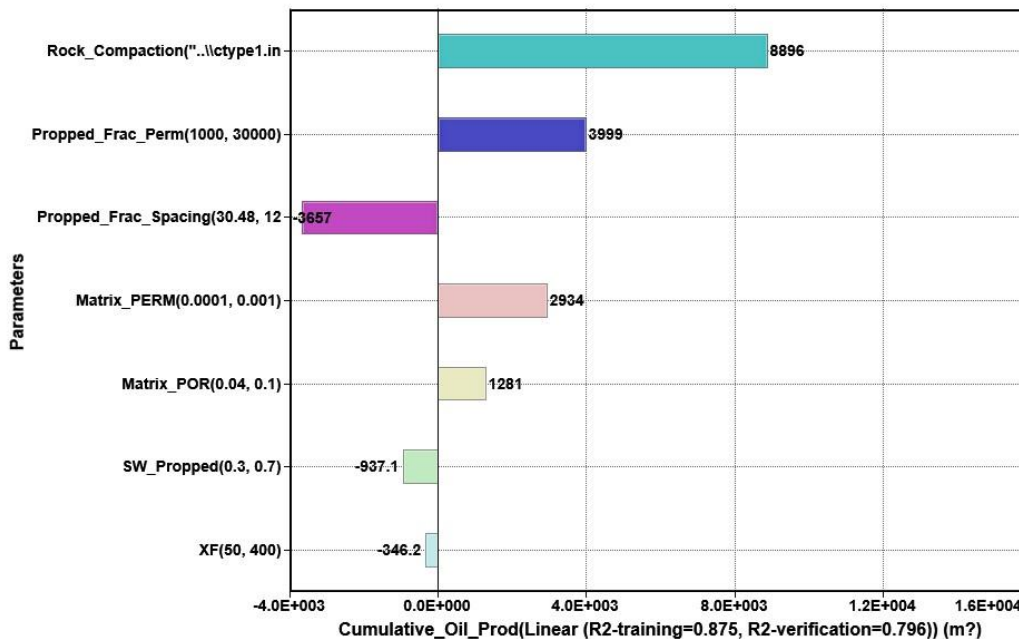
一旦 CMOST 完成运行，就可以查看最终结果。



- 41) 在树视图中，导航到 **Results &Analyses → Objective Functions → Proxy Analysis → Effect Estimate tab**。

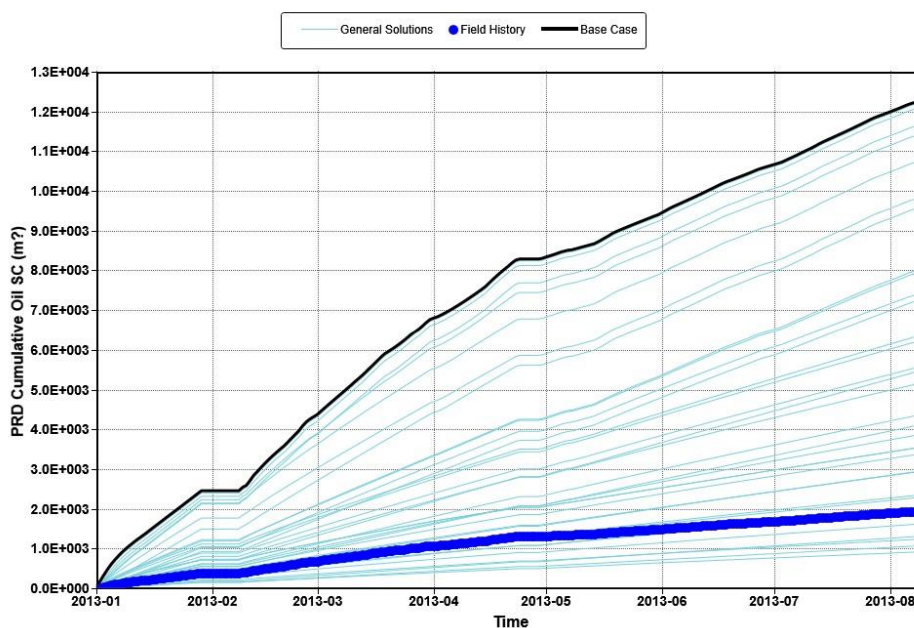
飓风图可以直观表示参数的敏感性。

从飓风图上可以看出，参数敏感性排序由强到弱，岩石膨胀表 > 人工裂缝渗透率 > 裂缝间距 > 基质渗透率 > 基质孔隙度 > 裂缝含水饱和度 > 裂缝半长。



- 42) 进入 **Results & Analyses -> Time Series -> Observers**，视图如下：

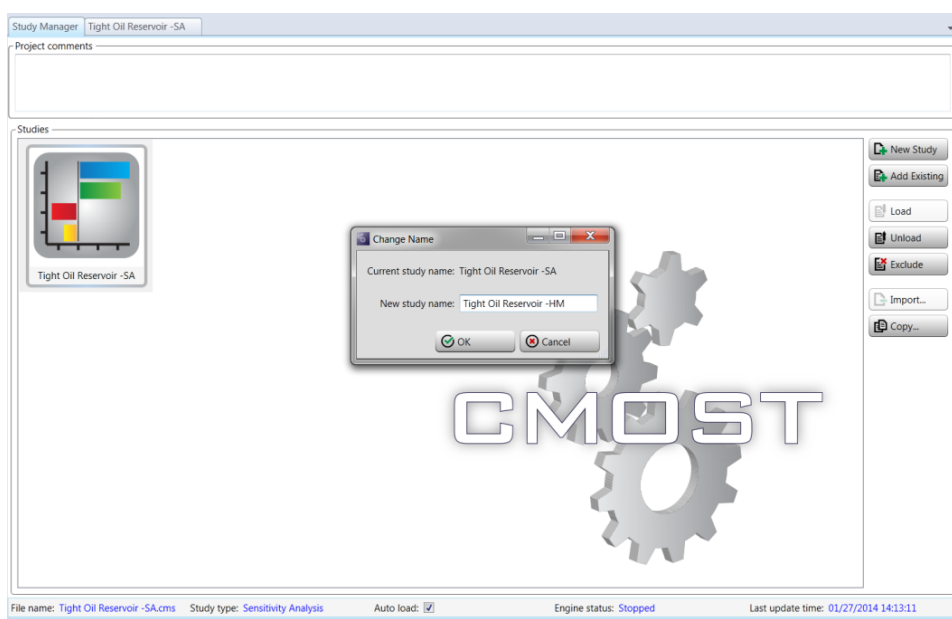
累产油曲线如图所示，粗蓝线是历史产油数据，其他细蓝线是模拟的产油数据，历史曲线在模拟结果范围内，也就是说敏感性分析所选取值范围是满足历史拟合要求的，是合理的。在后期历史拟合时，取值范围是不需要修改的。



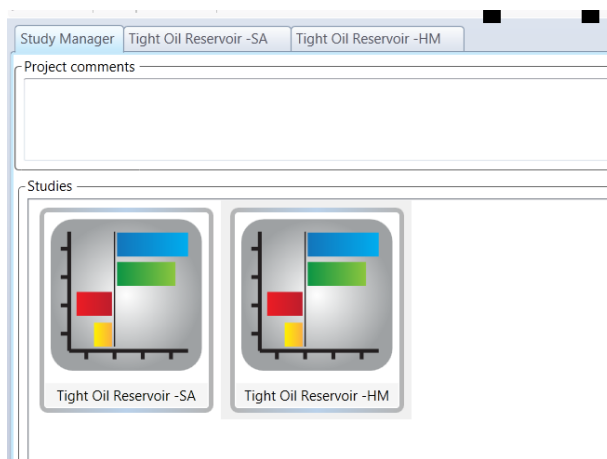
3. CMOST 历史拟合

历史拟合是对模型的一次校正，使模型预测更为准确。CMG 非常规模拟一体化工作流程，快速、自动化程度高，其中一方面就是体现在将敏感性分析结果作为历史拟合的起点，也就是说敏感性分析中计算的模型，不用重复计算，直接可以用到历史拟合中去，节省运算时间。

- 43) 在 **Study Manager** 标签上，右击 **Tight Oil Reservoir-SA** 课题，选择 **Copy to new study**



44) 命名新的课题名 **Tight Oil Reservoir-HM**, 然后单击 OK。



历史拟合需要改变目标函数, 将历史拟合误差作为目标函数, 数值越小, 拟合精度越高。

45) 在 **Tight Oil Reservoir-HM** 下面, 导航到 **Objective Functions** →

History Match Quality

46) 单击 **Insert** 按钮, 添加新的目标函数。

47) 命名目标函数为 **Cum_Oil**

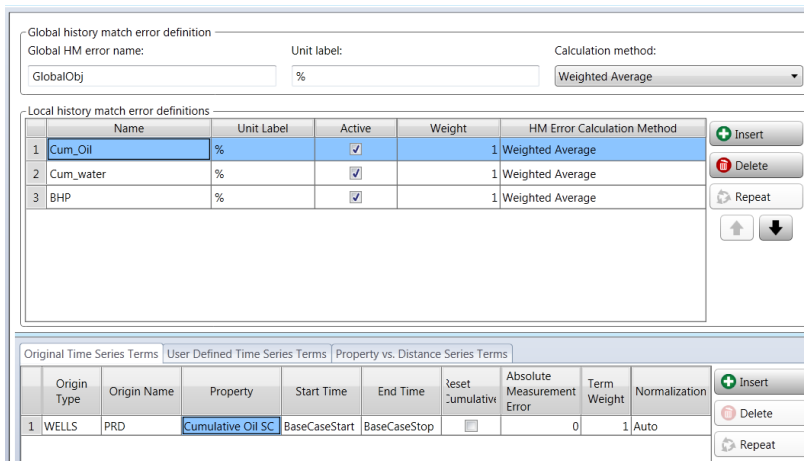
48) 在下面这部分中, 单击 **Insert** 按钮, 添加目标函数项。

49) 输入下面的参数 (其余的使用缺省值):

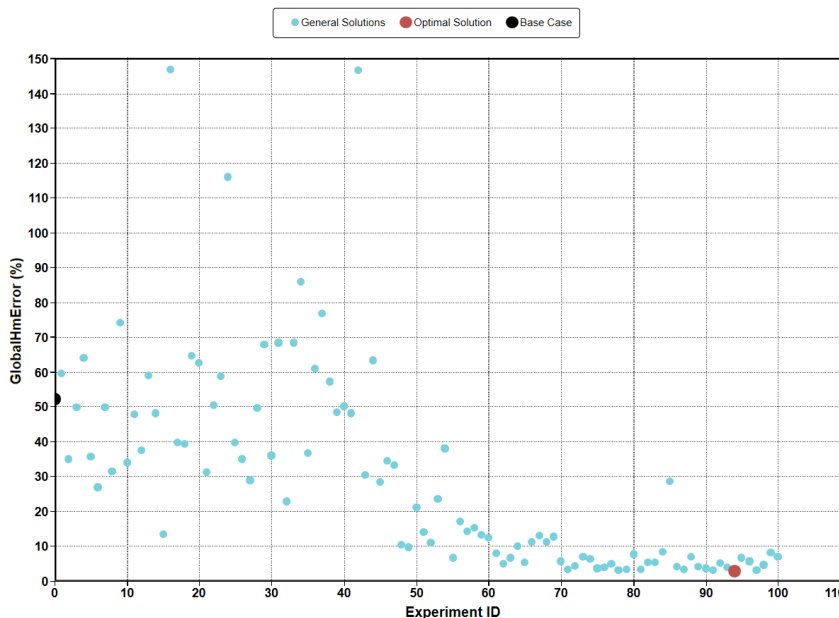
- **Origin Name: PRD**
- **Property: Cumulative Oil SC**


50) 按照累产油的步骤添加井底流压、和累产水

目标函数名	井名	属性
Cum_Water	PRD	Cumulative Water SC
BHP	PRD	Well Bottomhole Pressure



- 51) 导航到 **Input → Parameterization → Parameters** 和参数值。从敏感性分析来看，参数取值范围是合理的。
- 52) 需要将研究类型改为 **History Match** 并选择一个优化方法。
- 53) 导航到 **Control Centre → Engine Settings**
- 54) 改变课题类型 **History Matching**，设置引擎为 **CMG DECE**。其他选项保留缺省。
- 55) 需要选择 **Global Objective Function Name** 在 **Optimization Settings** 下面。
- 56) 改变 **Total Number of Experiments** 为 **200**，通常在 200 以内就找到最佳值。否则将会运行更多方案。
- 57) 返回 **Control Centre** 并启动引擎。
- 58) 导航到 **Results & Analyses -> Objective Functions -> Run Progress -> GlobalObj**，查看历史拟合过程。一旦获得了合理的历史拟合结果，回到 **Control Centre**，停止计算。



- 59) 导航到 **Control Centre → Experiments Table**
- 60) 找到目标函数 **GlobalHmError** 的列。通过单击标题列对结果进行排序，以便于可以在顶部查看具有历史拟合错误算例。单击行以获得最佳拟合，然后单击（结果图表）**Results Graph**  按钮，回顾模拟结果。

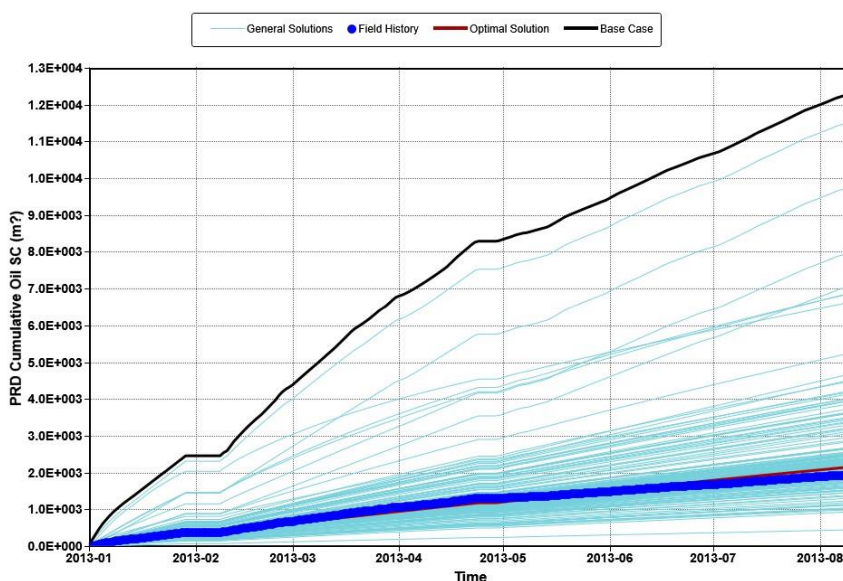


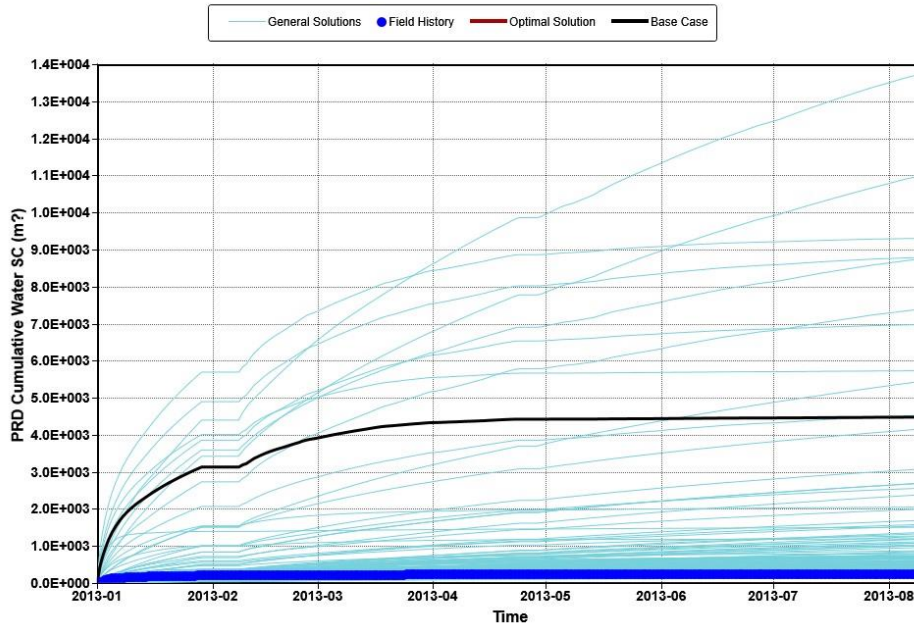
所有实验的结果和分析都可以看到 **Results & Analyses → Time Series**

→ Observers。

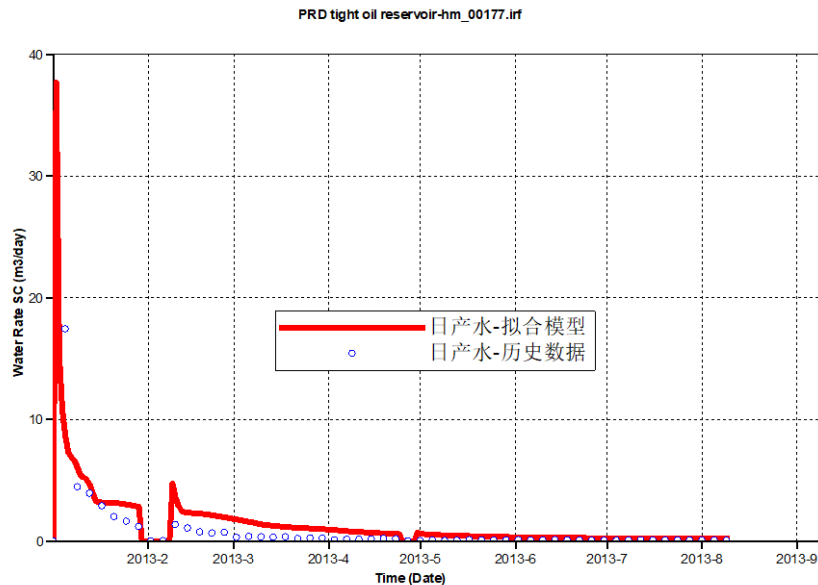
从拟合结果中可以看出，红色线是选出的拟合误差最小的模型，模型参数设置分别是：
 基质孔隙度 0.04；基质渗透率 0.0006355md；选用膨胀压实表 “ctype1.inc”；人工裂缝间
 距 91.44m；裂缝半长是 50m；人工裂缝原始渗透率 19995md；人工裂缝中含水饱和度 0.3。

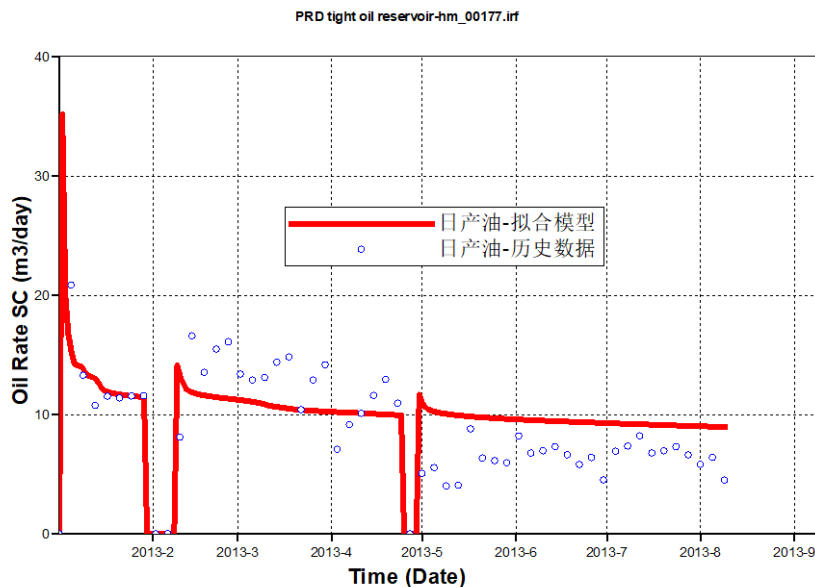
Drag and drop a column header here to group by that column									
	ID	Generator	mulative_Oil_Prc	BHP_2013_3_1	BHP_2013_6_1	BHP_End	GlobalFitError	Cum_Oil	Cum_Wat
1	94	CMG DECE	7555.594	2726.7966	2726.7966	2726.7966	3.1003099	0.00013180111	1.4137618
2	97	CMG DECE	7555.594	2847.0825	2847.0825	2847.0825	3.1665643	0.00013180111	1.4032821
3	91	CMG DECE	7555.594	2843.459	2843.459	2843.459	3.2222695	0.00013180068	1.4426653
4	78	CMG DECE	7555.594	2884.3438	2884.3438	2884.3438	3.2395651	0.00013180241	1.7460961
5	87	CMG DECE	7555.594	2748.0215	2748.0215	2748.0215	3.4781767	0.00013173459	1.4371922
6	81	CMG DECE	7555.594	2864.7747	2864.7747	2864.7747	3.4862168	0.00013180241	1.887165
7	71	CMG DECE	7555.594	2865.4619	2865.4619	2865.4619	3.5310448	0.00013180241	2.2298103
8	79	CMG DECE	7555.594	2906.408	2906.408	2906.408	3.5538943	0.00013180588	1.7486022
9	90	CMG DECE	7555.594	2742.4963	2742.4963	2742.4963	3.7630137	0.00013173459	2.7746972
10	75	CMG DECE	7555.594	2900.0576	2900.0576	2900.0576	3.8540457	0.00013180588	2.3308733
11	76	CMG DECE	7555.594	2919.4795	2919.4795	2919.4795	3.9235461	0.00013180718	3.0806877
12	93	CMG DECE	7555.594	2906.7021	2906.7021	2906.7021	4.0684874	0.00013180241	3.7515537
13	89	CMG DECE	7555.594	2841.8853	2841.8853	2841.8853	4.2364484	0.00013180111	4.1905366
14	86	CMG DECE	7555.594	2617.9434	2617.9434	2617.9434	4.285615	0.00013173459	1.4284237
15	72	CMG DECE	7555.594	3008.4299	3008.4299	3008.4299	4.5081707	0.00013173459	3.7301293
16	98	CMG DECE	7555.594	2645.1719	2645.1719	2645.1719	4.722263	0.00013173459	3.110064
17	62	CMG DECE	7555.594	3013.2017	3013.2017	3013.2017	4.9675629	0.00013173459	5.0095876
18	77	CMG DECE	7555.594	2895.1526	2895.1526	2895.1526	5.1331296	0.00013180068	6.5921239
19	92	CMG DECE	7555.594	2887.7002	2887.7002	2887.7002	5.369125	0.00013180241	7.5319787
20	82	CMG DECE	7555.594	2864.2656	2864.2656	2864.2656	5.5639467	0.00013180068	7.7124812
21	83	CMG DECE	7553.727	2601.1108	2601.1108	2601.1108	5.6149271	0.0017414707	3.3977098
22	65	CMG DECE	7555.594	3250.7847	3250.7847	3250.7847	5.6227856	0.00013173242	2.3348866
23	96	CMG DECE	7555.594	3252.2026	3252.2026	3252.2026	5.7288996	0.00013173242	2.1946155
24	70	CMG DECE	7555.594	3295.4883	3295.4883	3295.4883	5.9124955	0.00013173242	2.0615287
25	74	CMG DECE	7555.594	3179.4976	3179.4976	3179.4976	6.5030979	0.00013173242	6.5583422





- 61) 在“Tight Oil Reservoir-HM.cmsd”文件夹中找到拟合好的文件“Tight Oil Reservoir-HM_00177.dat”，将其拖到 IMEX 模拟器中进行运算。
- 62) 将“Tight Oil Reservoir-HM_00177.irf”文件拖到 Result Graph 中。
- 63) 同时添加基础模拟计算结果 Result Graph→File→Open CMG Simulation Results，添加 Base Model_Hyd Frac.irf 文件。
- 64) 添加历史数据 Result Graph→File→Open Field History，添加 BHP-SI.fhf 和 production-SI.fhf 文件。
- 65) 绘制产油和产水曲线，进行对比。





4. 模型预测

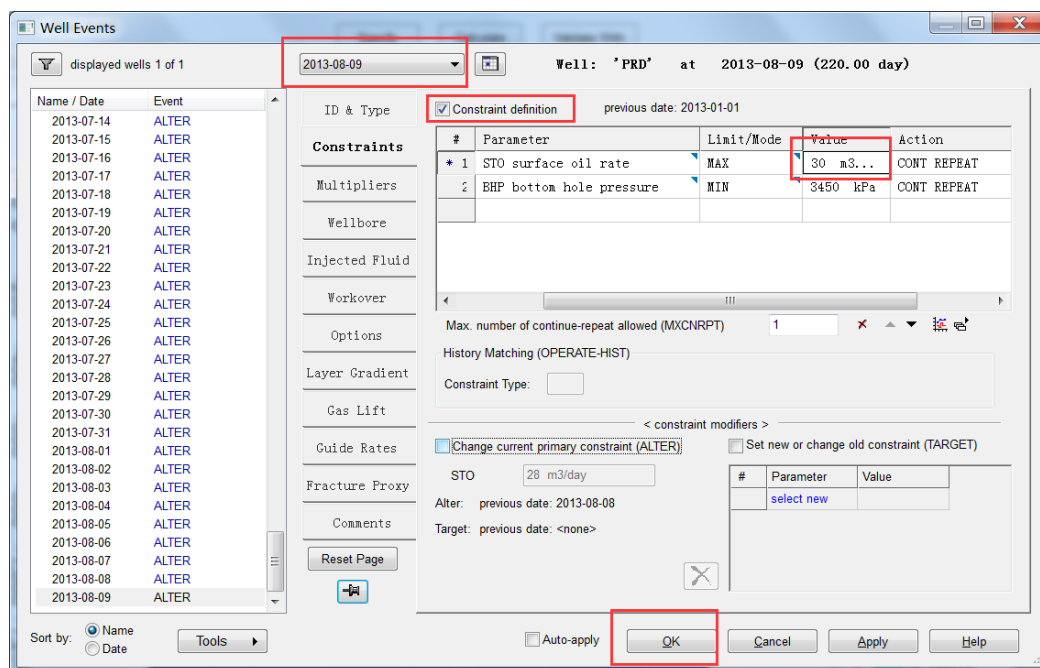
从历史拟合结果中选择，拟合最优的模拟，一般选择模型的标准是历史拟合误差小，参数选取合理的模拟，Tight Oil Reservoir-HM_00177jichu.dat。

4.1 建立预测模拟

预测模拟需要在历史拟合最后一个时间点，设置预测阶段井工作制度，一般设置标准以最后一段时间工作制度作为参考值，本模拟设置 STO，数值改为 $30 \text{ m}^3/\text{d}$ ；同时还有添加一段时间，也就是预测时间段。

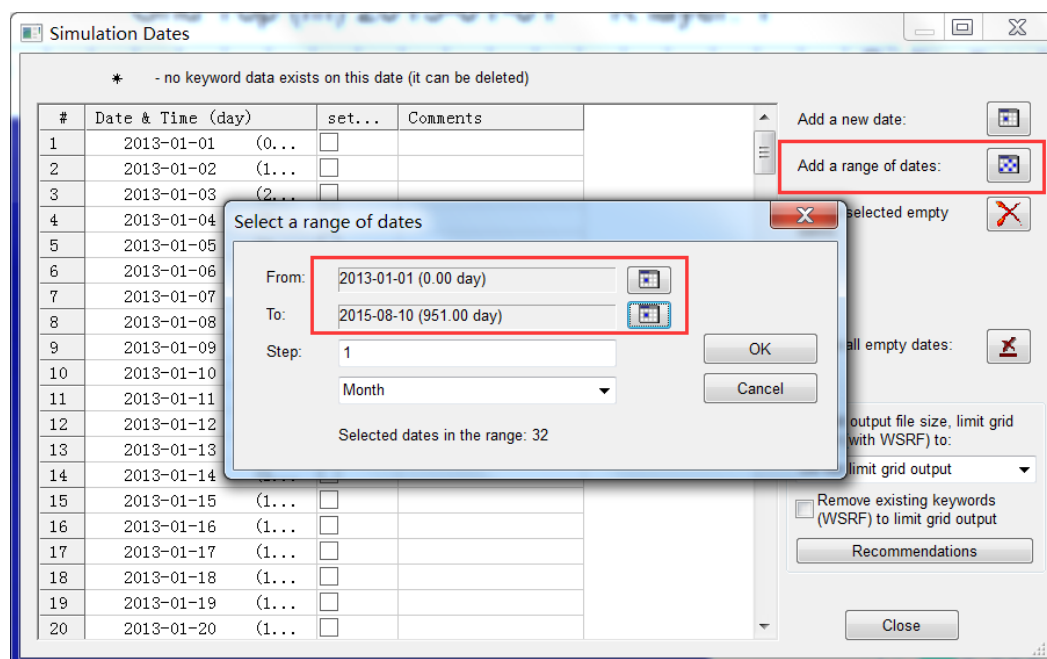
4.1.1 井工作制度

- 66) Builder 打开 dat 文件，双击 well。
- 67) 选择最后一个时间点“2013-08-09”，勾选 Constraint definition
- 68) 修改第一控制条件 STO，修改数值为 30。取值一般以最后时间点值为参考。
- 69) 单击 OK
- 70) 保存文件 Tight Oil Reservoir-HM_00177yuce.dat



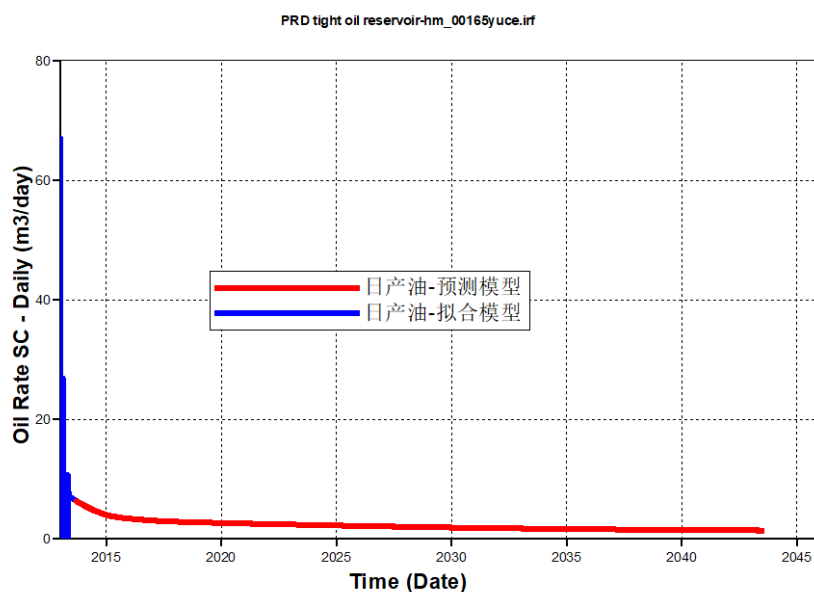
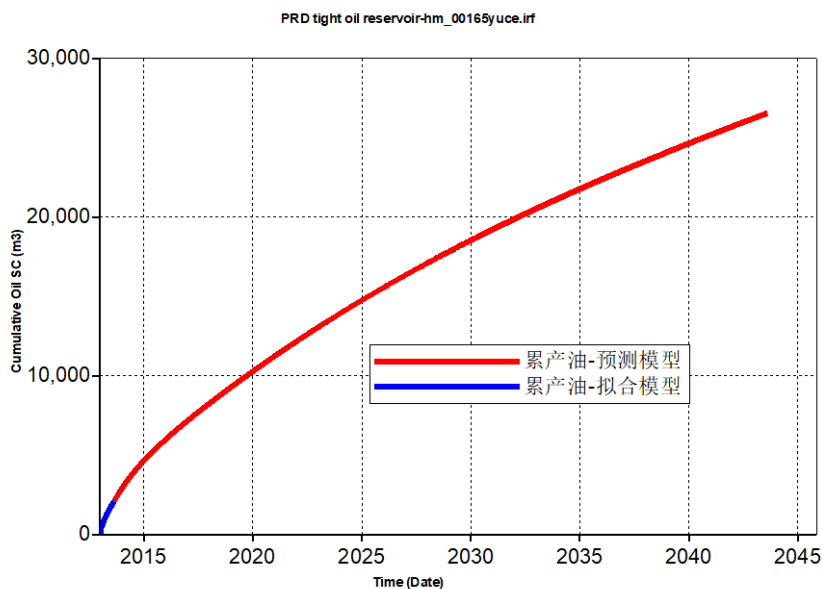
4.1.2 添加预测时间

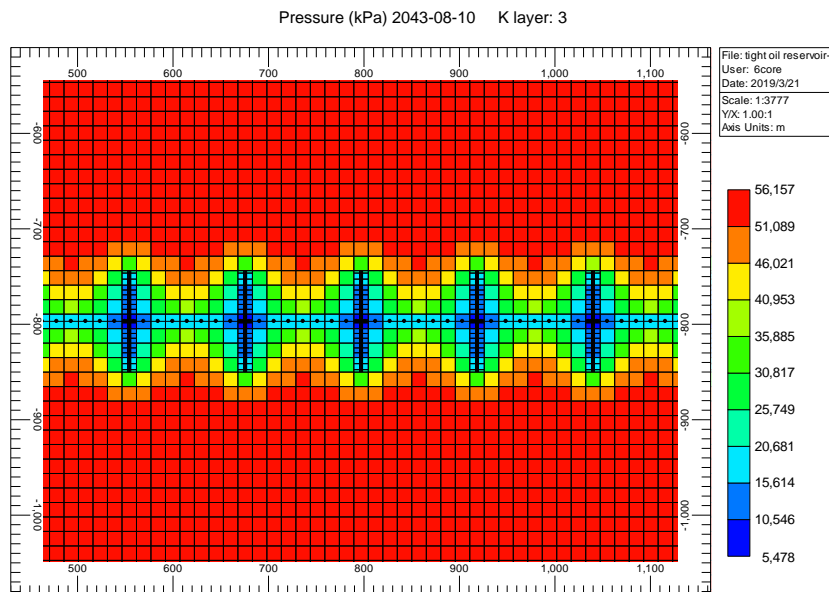
- 71) 双击 Dates。
- 72) 选择 Add a range of dates 按钮，输入时间点，添加 2 年数据，时间点选择“2015-08-10”。
- 73) 单击 OK。



4.2 运算及结果分析

从图中可以看出，预测生产 30 年，最终采油量为 26500m^3 ，从拟合末期压力和含油饱和度图可以看出，只在水力压裂范围内才有压降和含油饱和度变化。本次讲义只是预测了 EUR。当然后期还可以根据需求做相应的优化和分析，例如：为了提高采出量，后期还可以优化二次压裂等措施。





预测期末压力场图

5. 结论

CMG 致密油数值模拟一体化工作流程，将建立压裂模型、敏感性分析、历史拟合、预测等集成到一起，每次分析运算的模型被整合，避免了重复计算。

压裂后基础模型共有 145325 个网格，8 个月的生产时间，使用计算机（配置 Intel (R) Xeon (R) CPU E5-1660 V3 处理器，32G 内存）运算 200 个模型，耗时 4 小时 18 分钟，平均单个模型耗时 1 分半钟。

通过非常规数值模拟一体化工作流程，按照本讲义操作步骤大致 60 多个步骤，如果操作熟练，2 个小时可以完成，加上计算时间，完成从建立压裂基础模型、敏感性分析、历史拟合再到预测整个流程只需要 **1 天时间**。

除了这些模拟流程外，CMG 还可以模拟致密油其他机理，①包括当井底压力降低，受应力变化引起的人工裂缝闭合；②模拟人工裂缝的自渗吸现象；③压裂液返排的问题；④致密油存在的启动压力梯度的问题等等。后期将会推出非常规模拟机理方面的讲义。