

加拿大计算机模拟软件集团

第64期

CMOST操作实战之优化



(V.2016.10)

通过学习《第 63 期：CMOST 操作实战之历史拟合》讲义，我们得到了满足精度要求的预测模型。本文将在此基础上学习使用 CMOST 软件进行优化。

我们需要优化的操作条件有注入时间、焖井时间及生产时间。我们使用历史拟合分析的结果文件作为优化操作流程基础文件。本文的详细操作视频请参考《CMG 公开课第 9 课：CMOST 之优化》。

从历史拟合中得到的最优结果最接近生产历史数据，该模型可用于油藏模型生产预测。我们将预测 20 年生产情况。在之前，该井使用下面的循环控制条件：

- 注入 10 天
- 焖井 7 天
- 生产 348 天

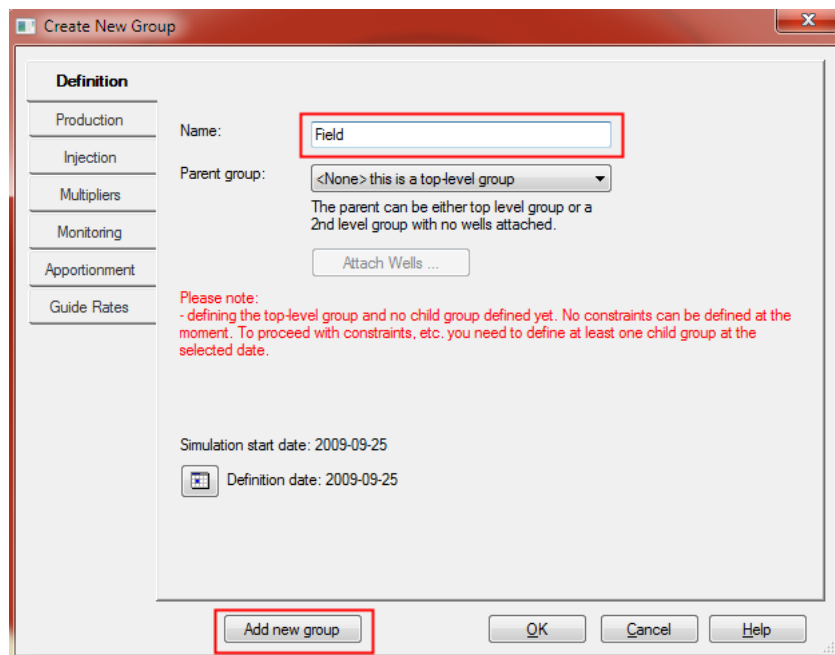
我们想要查看通过调整每个阶段时间长短，能否改善油藏经济效益。

做之前，我们需要在数据流中进行以下调整：

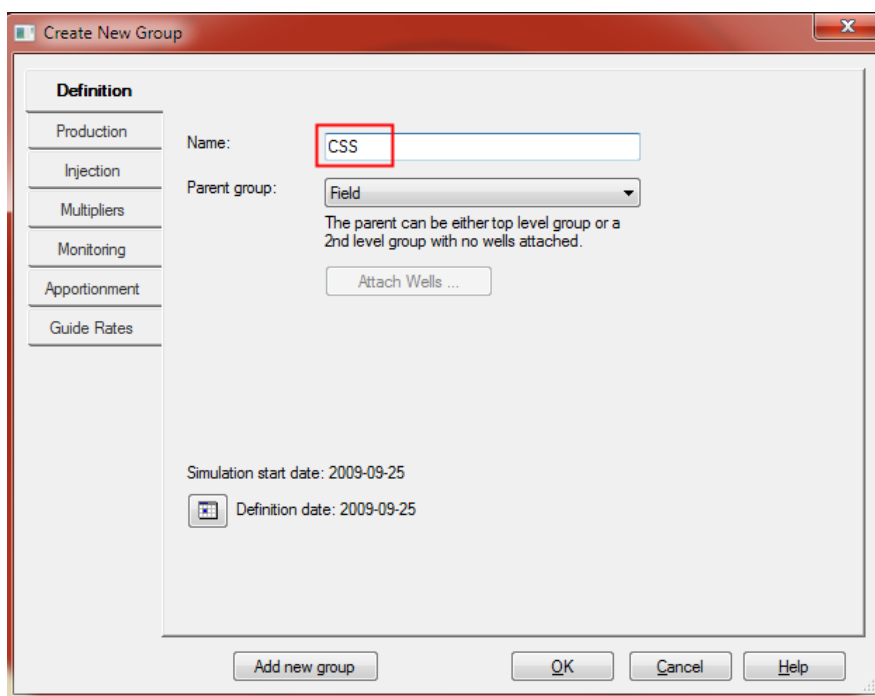
- 添加循环控制组
- 延长模拟时间
- 添加重启动，以便用于模型预测。

调整最优拟合方案数据流

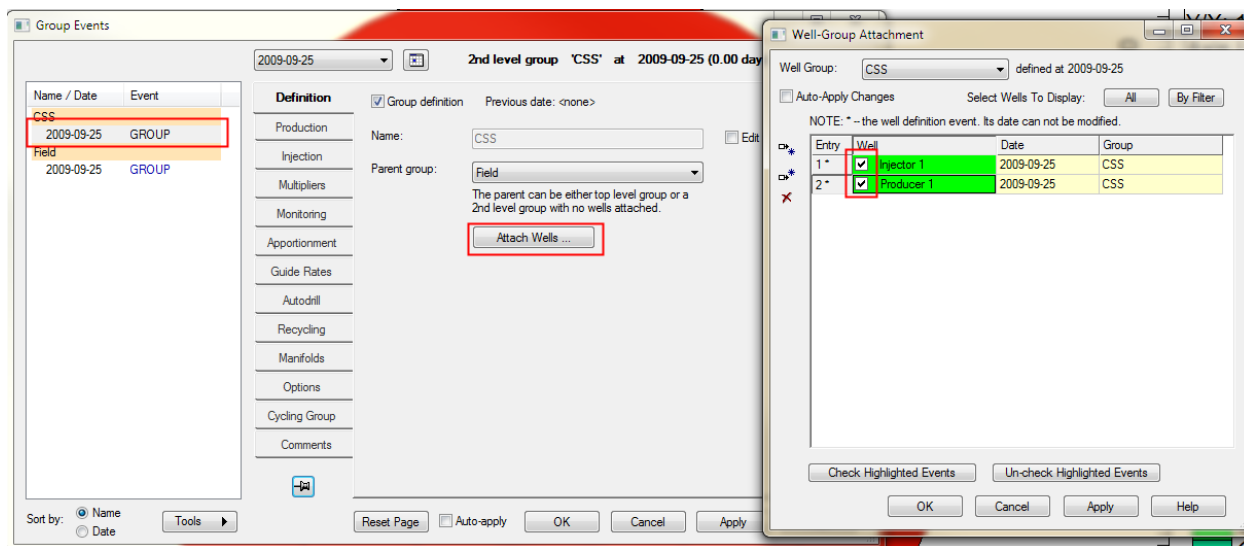
1. 打开 Launcher，找到工作路径 E:\HM_Solution，将 CSA.cmp 拖到 CMOST 图标，打开 CMOST 文件，然后切换到 **Control Centre -> Experiments Table**
2. 找到目标函数列 **GlobalHMErr**。点击列表头进行分类，这样就能看到拟合误差从低到高依次排列，拟合精度最高的实验方案在最上面。选中拟合精度最高的模型，点击  按钮，打开模型。
3. 在 **Builder** 中，点击 **Well -> Group New**
4. 添加井组时，第一个往往放在最高级别。第二级别井组需要添加与之相关的井。将最高级别井组命名为 **Field**，然后点击按钮 **Add New Group**



5. 定义第二级别井组 **CSS**，然后点击 **OK**。



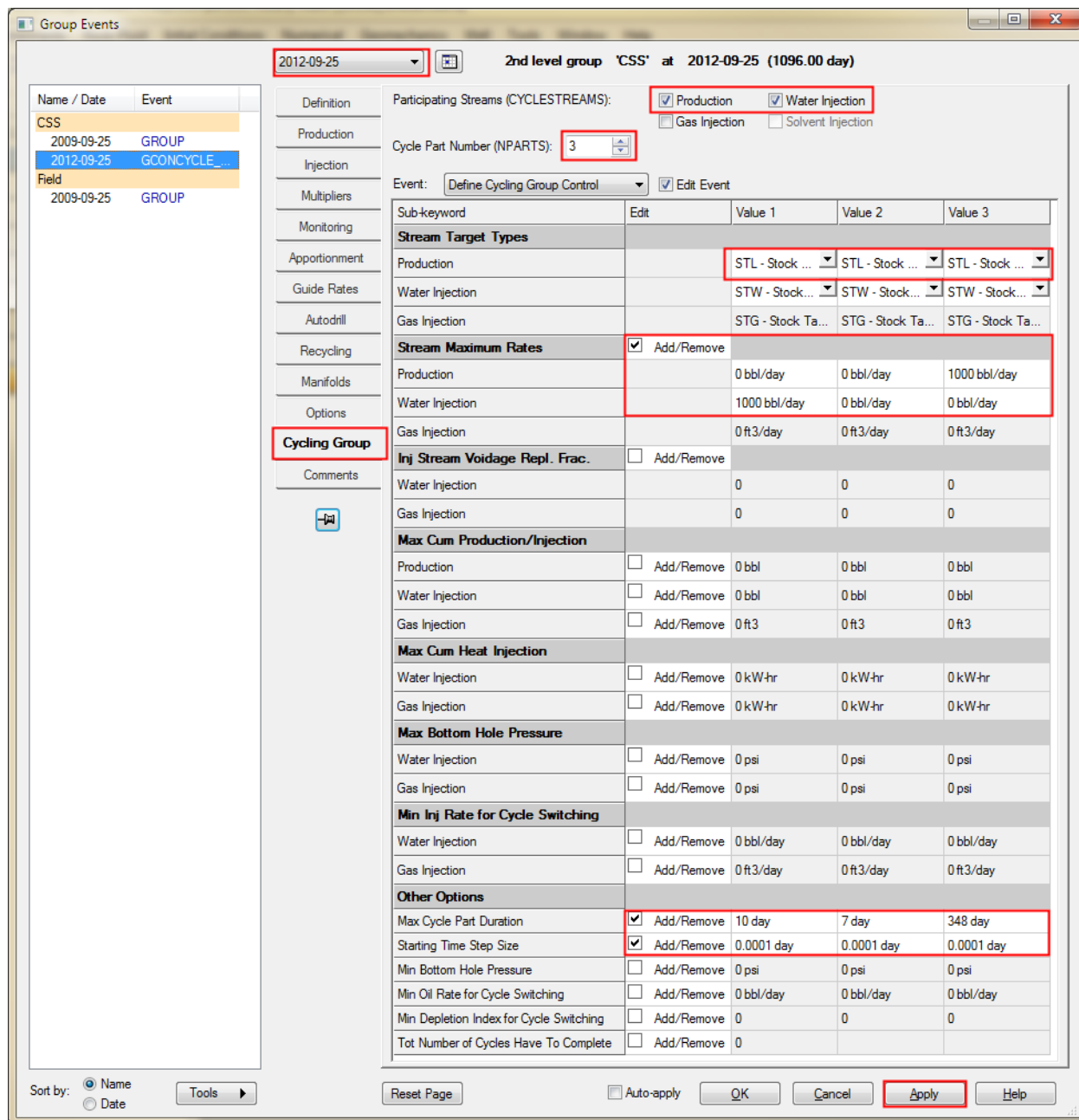
6. 下一步为井组添加井，然后设置相关循环阶段时间长度。点击 **Well -> Group Events**
7. 确保选中 **CSS** 井组，然后点击按钮 **Attach Wells**。选中井 **njector 1** 和 **Producer 1** 前面复选框，然后点击 **OK**。



8. 将日期修改为 **2012-09-25**，然后点击 **Cycling Group**。
9. 在 **Participating Streams (CYCLESTREAMS)**部分，确保仅选择 **Production** 和 **Water Injection**。
10. 设置 **Cycle Part Number (NPARTS)** 为 **3**。
在该部分定义列“value 1”为注入部分 (*Injection period*)；列“value 2”为焖井部分 (*Soak period*)；列“value 3”为生产部分 (*Production period*)。
11. 在 **Stream Target Types**，设置所有 **Production** 为 **STL – Stock Tank Liquid**
设置所有 **Water Injection** 为 **STW – Stock Tank Water**
其他不可以选择。
12. 选中 **Stream Maximum Rates** 前面复选框
在 **Production** 下面，输入 **1000**（仅在第三列）
在 **Water Injection** 下面，输入 **1000**（仅在第一列）

注意：第 2 列没有数据，因为在焖井阶段没有注入和生产。

13. 还有许多其他选项 (**other options**) 用来控制循环组。在该例子中，我们将调整不同阶段的时间长度。在该例子中，我们将调整注入、焖井和生产阶段长度。点击到 **Max Cycle Part Duration**，选中 **Add/Remove** 复选框，然后在每一列分别输入数值 **10**、**7** 和 **348**。
14. 为了避免在各个阶段相互转换的时候出现不收敛的问题，需要在每个阶段添加较小的起始时间步长。在 **Starting Time Step Size**，选中 **Add/Remove** 前面复选框，在每一列分别输入 **0.0001**、**0.0001** 及 **0.0001**。
15. 点击 **Apply** 保存设置。最终的界面如下图所示。完成后点击 **OK**。



16. 在历史拟合阶段末期，注入井是关闭的。在预测前，需要打开这些井。点击 **Well -> Well Events**。确保选中 **Injector 1**，然后将日期切换到最后一个时间点：**2012-09-25**
17. 点击 **Options** 标签。选中 **Status** 前面的复选框，然后选择 **OPEN**。点击 **Apply**。
18. 点击 **Constraints** 标签。选中 **Constraint Definition** 复选框，点击 **Apply** 然后 **OK**。

井 Producer 1 约束条件部分是完整的，不需要修改。

我们想要预测 20 年，需要额外添加生产日期。

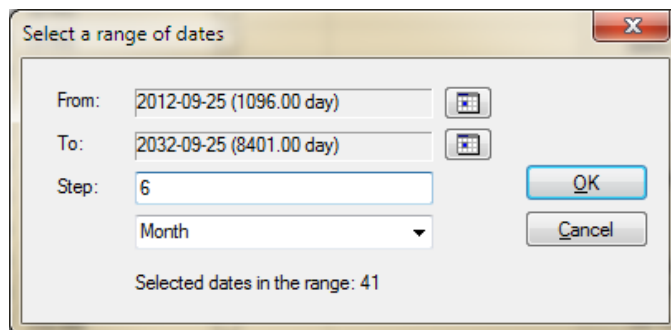
19. 点击 **Well -> Dates**

点击 **Add a range of dates** 按钮。

From: 2012-09-25

To: 2032-09-25

Step: every 6 Months 然后点击 **OK**



20. 目前，关键字 STOP 在模拟日期点 **2012-09-25** 后面，找到该日期点，将 **Set STOP** 中的对号去掉，然后找到日期点 **2032-09-25**，将 **Set STOP** 对应的复选框打对号，点击 **Close**，退出。

因为所有的模拟结果都是从 2012-09-25 开始，所以我们需要创建重启动，这样所有后面的预测方案都是从该时间点运算。

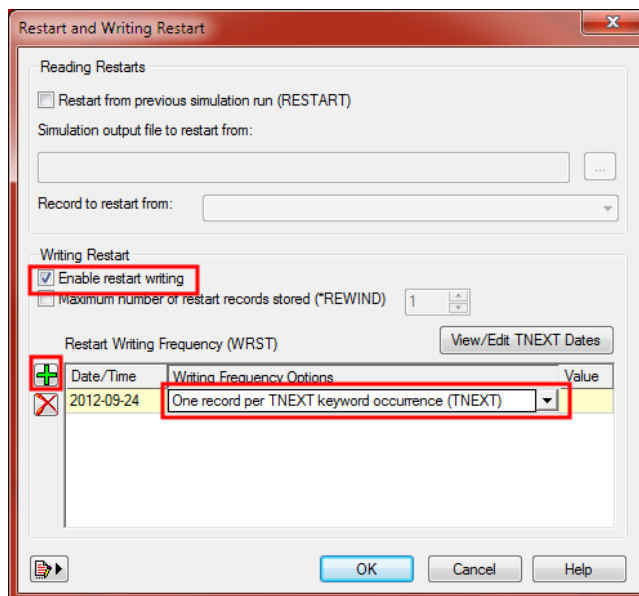
21. 点击 **IO Control -> Restart**

选中 **Enable restart writing** 前面复选框。

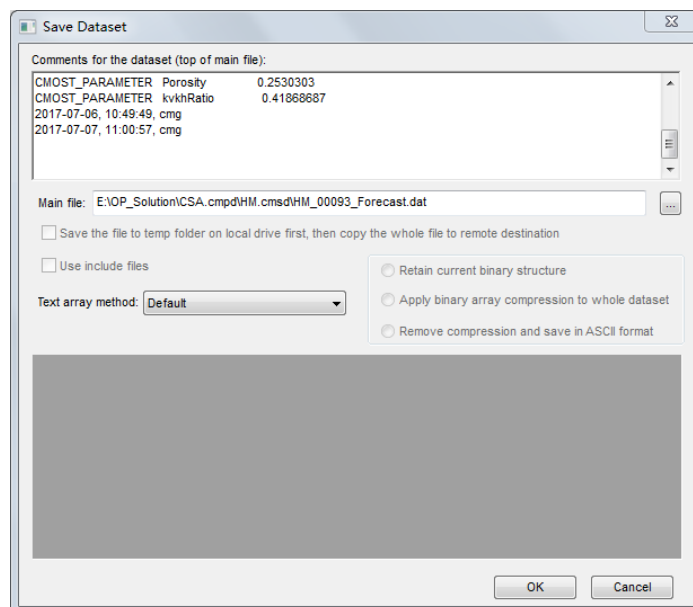
点击  按钮，定义写入重启动频率

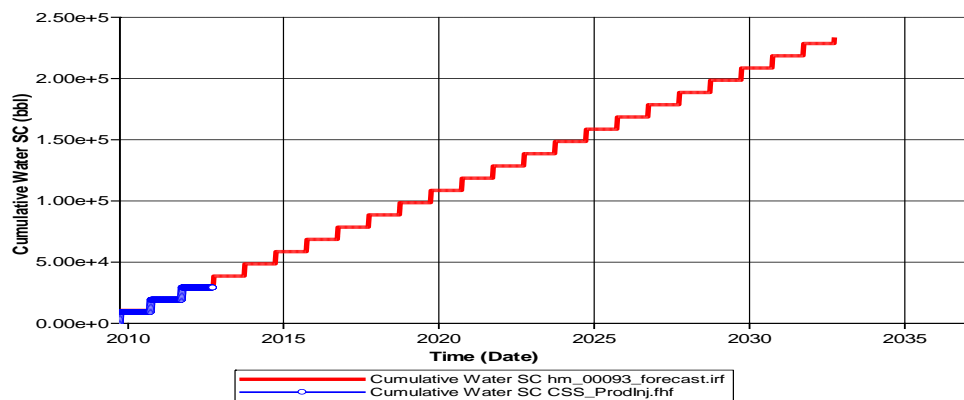
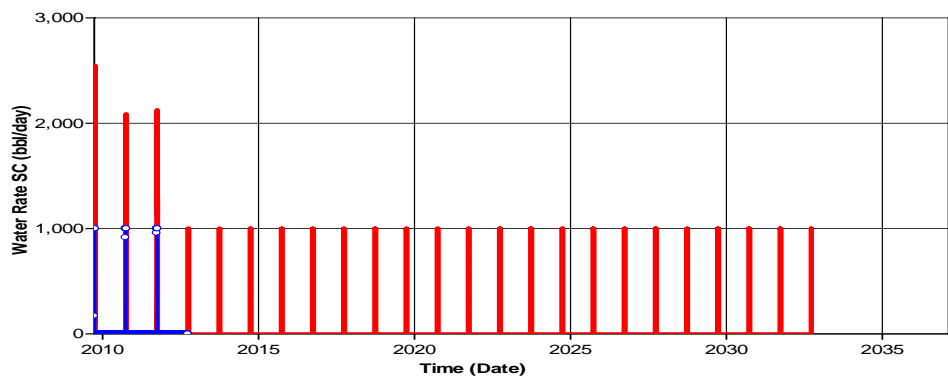
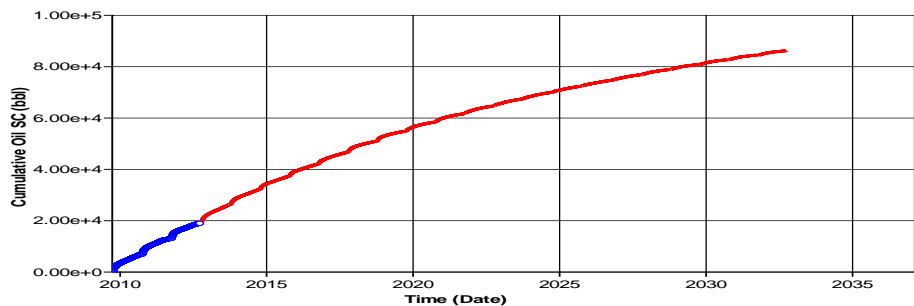
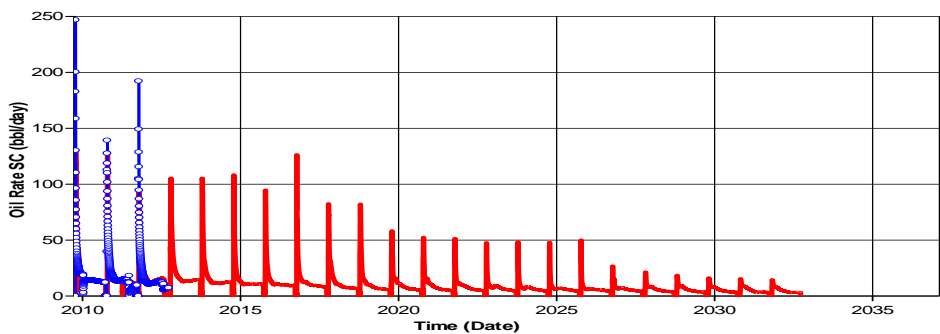
选择日期 **2012-09-24** 然后点击 **OK**。（日期是生产历史拟合前面一个时间点）

修改 **Writing Frequency Option** 为 **One record per TNEXT keyword occurrence (TNEXT)** 然后点击 **OK**。

22. 点击 **File -> Save As**

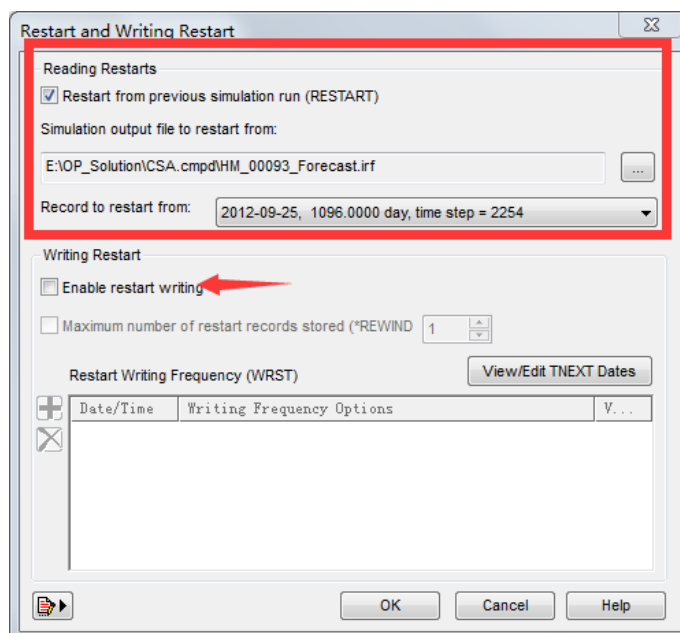
对于存放位置，选择相应工程目录 **CSA.cmpd**，在原有文件名称结尾上添加“_Forecast.dat”。完成后，点击 **OK**。

23. 保存后，将其通过 **Launcher** 提交给 **STARS** 模拟器进行运算（使用 1 个处理器）。在 **Results Graph** 验证模拟结果，主要查看循环控制组是否有问题。



到目前为止基础模型已经创建完成，也写入了重启动，下面需要进一步调整基础模型，读取重启动信息。

24. 回到 **Builder**，点击 **IO Control -> Restart**。
25. 选中 **Restart from a previous simulation run (RESTART)** 前面复选框。
选择.irf 文件，然后点击 **OPEN**
在 **Record to restart from** 中选择 **2012-09-25**
将 **Enable restart writing** 复选框中的对号去掉，然后点击 **OK**，退出。



会出现关于文件名称的错误信息。我们需要重新命名。因此不会重写我们先前的模拟结果。

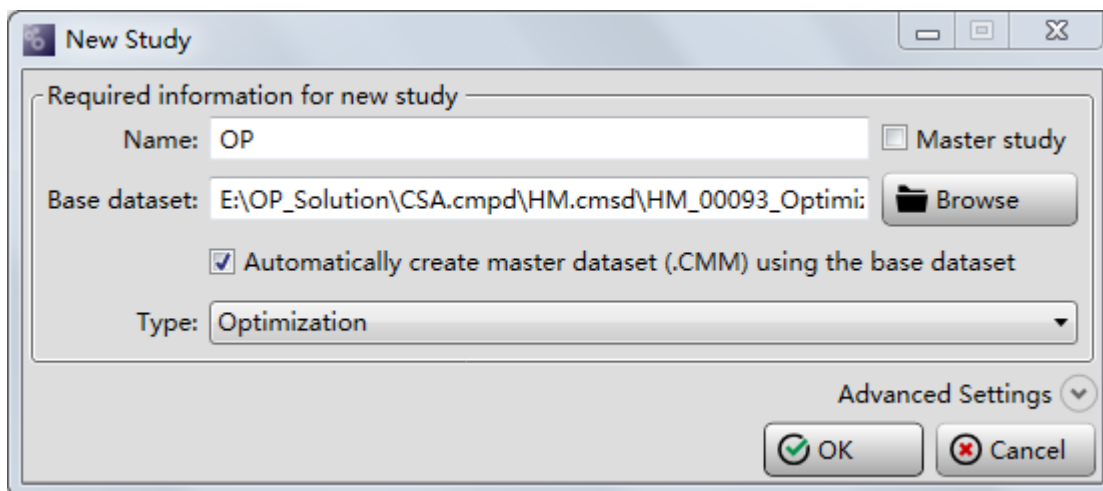
26. 点击 **File -> Save As**
对于存放路径，选择主工程目录 **CSA.cmpd**，然后在文件名称后面的“**_Forecast.dat**”修改为“**_Optimize.dat**”。完成后，点击 **OK**。
27. 保存后，通过 **Launcher** 将其提交给模拟器 **STARS** 进运算。
打开 **log** 文件验证模拟结果，模拟日期应该是从 **2012-09-25** 开始，而不是从原始起始日期。
通过 **Results Graph** 进一步验证模拟结果，看看其是否和预期结果一致。

创建 CMOST 文件

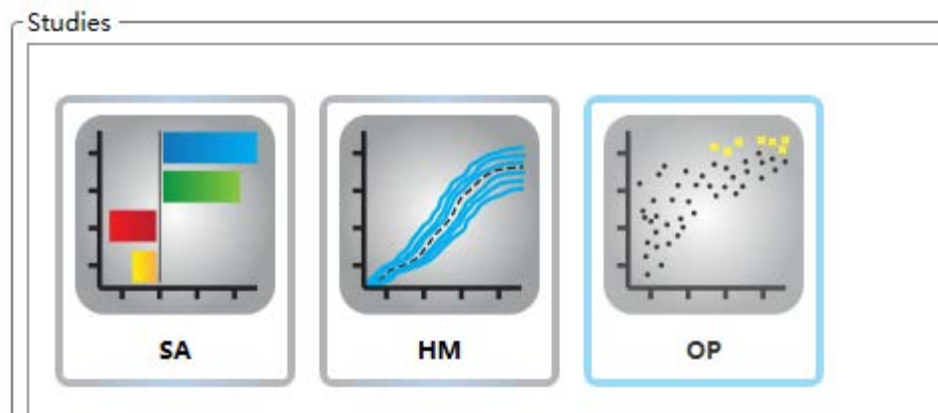
我们已经为方案优化创建了新的基础模型。因为我们修改了基础模型，并且结果分析也不同，所以我们准备创建新 CMOST 工程。

28. 在 **CMOST** 中，关闭其他所有项目，仅保留项目管理器界面。
29. 在项目管理器界面（**Study Manager**），点击 **New Study** 按钮，添加一个项目。
 - 将其命名为 **OP**
 - 重新添加基础模型

- 将任务类型修改为 **Optimization** 然后，点击 **OK**。



“在“**Studies**”任务管理区应该能看到“**OP**”图标。



30. 双击“**CSS Optimization**”图标，切换到 **General Properties** 界面。

- 点击“*Base session file relative path*”处 **Browse** 按钮。选择 **Engineer.ses**。
- 在矿场信息部分，点击 **Import FHF** 按钮，选择 **CSS_BHP.fhf** 和 **CSS_ProdInj.fhf** 然后点击 **Open**。

31. 切换到 **Input -> Fundamental Data -> Original Time Series**


- 点击 **Insert**，添加以下时间序列曲线：

Origin Type	Origin Name	Property
WELLS	Producer 1	Cumulative Oil SC
WELLS	Producer 1	Cumulative Water SC
WELLS	Injector 1	Cumulative Water SC

32. 切换到 **Input -> Parameterization -> Parameters**

在这个例子中需要调整的是操作参数，这与敏感性分析和历史拟合任务不同。

33. 点击 **Edit** 按钮，打开“CMOST CMM Editor”。我们想要查找的参数在井动态数据末尾部分。

34. 为了快速跳到该部分的结尾，点击顶部工具栏按钮  然后选择 **Information After Last Date**

35. 向上滑动滑轮，找到关键字 **MAXTIMES**。与该关键字相关联的数值表示吞吐各个阶段的时间长度。第一列数值表示注入时间，第二列表示焖井时间，第三列表示生产时间。

36. **Add CMOST parameters** each of the values associated with 为关键字 **MAXTIMES** 后面的数值创建 CMOST 参数，选中某个数值，右键，选择 **Create Parameter**

将参数分别命名为 **injectiontime**、**soaktime** 及 **productiontime**。

```

3568 17.19180107
3569 WSRF GRID TIME
3570 TIME 1096
3571 INJECTOR MOBWEIGHT IMPLICIT 'Injector 1'
3572 INCOMP WATER 1.0 0.0
3573 TINJW 450.0
3574 QUAL 0.7
3575 OPERATE MAX BHP 1004.5 CONT REPEAT
3576 OPERATE MAX STW 5000.0 CONT REPEAT
3577 OPEN 'Injector 1'
3578 GCONCYCLE_START 'CSS'
3579 CYCSTREAMS 'PROD' 'WATI'
3580 NPARTS 3
3581 TARGETTYPES
3582 'PROD' 'STL' 'STL' 'STL'
3583 'WATI' 'STW' 'STW' 'STW'
3584 MAXRATES
3585 'PROD' 0.000000 0.000000 1000.000000
3586 'WATI' 1000.000000 0.000000 0.000000
3587 MAXTIMES <CMOST>th1:[10.000000] injectiontime /<CMOST> <CMOST>th1:[7.000000] soaktime /<CMOST> <CMOST>th1:[348.000000] productiontime /<CMOST>
3588 DTWTC 0.000100 0.000100 0.000100
3589 GCONCYCLE_END
3590 TIME 1277
3591 TIME 1461
3592 TIME 1642
3593 TIME 1826
3594 TIME 2007
3595 TIME 2191

```

完成后，点击**保存**，退出后回到 CMOST 界面

点击 Import，然后确定，参数就自动加载到 CMOST 界面。

参数缺省的取值范围是在原始值的基础上上下浮动 25%。我们将按照下面表格的取值，重新修改参数的取值范围：

Parameter	Lower Limit	Upper Limit
InjectionTime	5	60
SoakTime	5	30
ProductionTime	90	1095

37. 保存当前的任务文件。

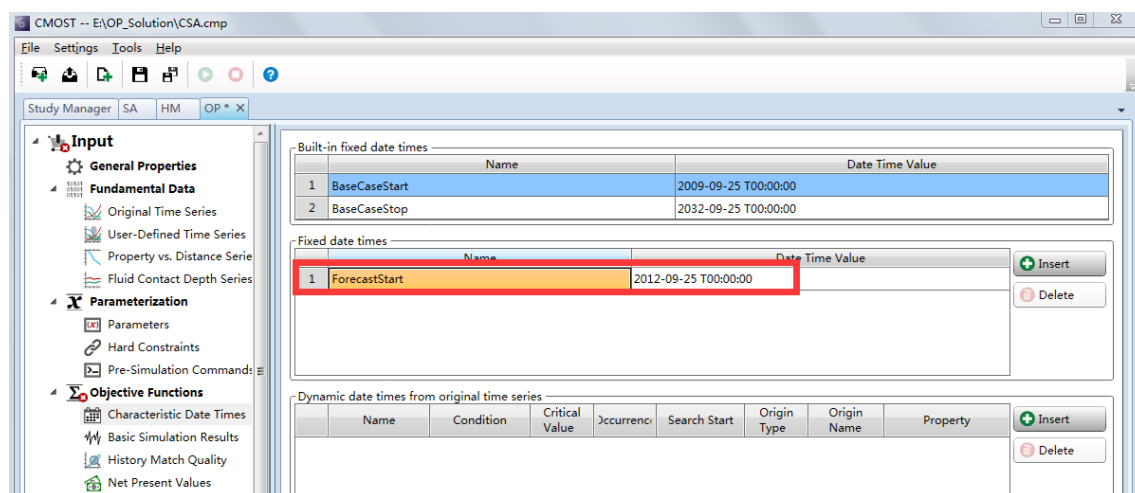
为了对比优化结果，我们选取净现值（NPV）作为目标函数。产油作为收入，注汽作为支出，其中现金流的折现率为 10%。

在开始之前，我们通过创建一个典型的日期时间，将 2012-09-25 作为预测起始点。

38. 切换到 **Input -> Objective Functions -> Characteristic Date Times**

39. 在 **Fixed Date Times** 部分，点击 **Insert** 按钮。

- 修改 **ForecastStart** 时间
- 将日期设置为 **2012-09-25T00:00:00**



40. 切换到 **Input -> Objective Functions -> Net Present Values**

41. 在 **Unit Label**，指定为**\$**

42. 点击 **Insert** 按钮，添加新目标函数。

- 将其命名为 **OilRevenue**
- 设置 Unit Label 为“**\$**”
- 设置 NPV Present Date 为 **ForecastStart**
- 设置 Property Filter 为 **Monthly Rate**

43. 在底部，点击 **Insert** 按钮，添加一个新目标函数项。

- Origin Name: **Producer 1**
- Property: **Oil Rate SC – Monthly**
- Start Time: **ForecastStart**
- Unit \$ Value: **70 (\$/STB)**

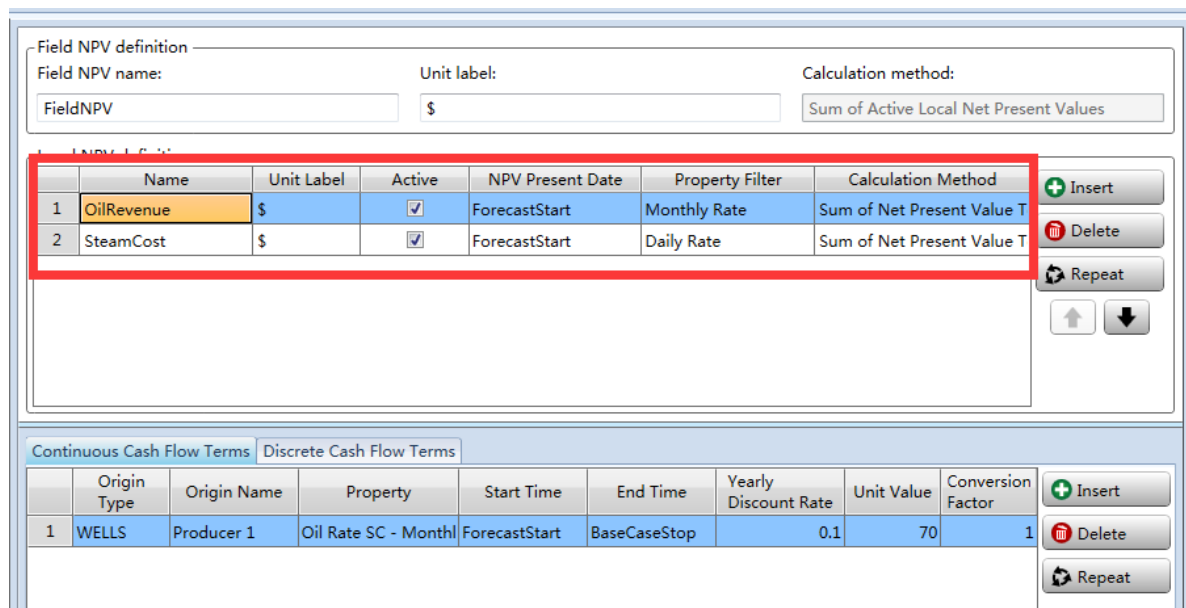
其他选项使用缺省值。

44. 为设置注汽成本，重复上述步骤。在顶部，点击 **Insert** 按钮，添加一个新目标函数。

- 将其命名为 **SteamCost**

- 设置 Unit Label 为“\$”
 - 设置 NPV Present Date 为 **ForecastStart**
 - 将 Property Filter 修改为 **Daily Rate**。
45. 在底部，点击 **Insert** 按钮添加一个新目标函数项。
- Origin Name: **Injector 1**
 - Property: **Water Rate SC – Daily**
 - Start Time: **ForecastStart**
 - Unit \$ Value: **-4**（\$/STB. 负值表示支出）

其他选项使用缺省值。



Name	Unit Label	Active	NPV Present Date	Property Filter	Calculation Method
1 OilRevenue	\$	<input checked="" type="checkbox"/>	ForecastStart	Monthly Rate	Sum of Net Present Value T
2 SteamCost	\$	<input checked="" type="checkbox"/>	ForecastStart	Daily Rate	Sum of Net Present Value T

Origin Type	Origin Name	Property	Start Time	End Time	Yearly Discount Rate	Unit Value	Conversion Factor
1 WELLS	Producer 1	Oil Rate SC - Monthl	ForecastStart	BaseCaseStop	0.1	70	1

46. **Save** 任务

47. 切换到 **Control Centre -> Engine Settings**。任务类型已经选择为 **Optimization**，**Engine Name** 选择为 **CMG DECE**

在 **Optimization Settings**，设置 **Total Number of Experiments** 为 **100**。

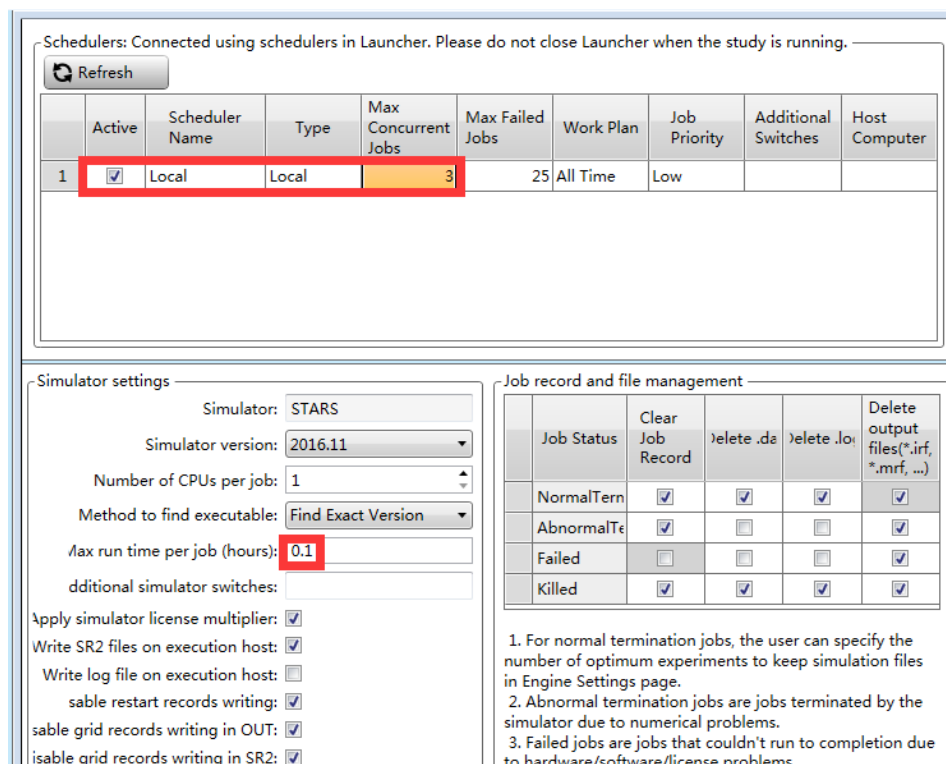
在 **Global Objective Function Name**，设置 **FieldNPV**。

在 **Search Direction**，设置 **Maximize**。

在 **Experiments Management**，设置 **Number of Perturbation Experiments for Each Abnormal Termination** 为 **2**。在案例中，由于数值控制的原因，模型出现不收敛，CMOST 将创建一个类似的实验方案，可能会运算成功。

48. 切换到 **Control Centre -> Simulation Settings**。

确保 scheduler 选择 **Local**，并在 **Active** 下面的复选框打钩。设置 **Max Concurrent Jobs** 为 **3**。确保选中 STARS 最新版本。因为我们每个模型运算的时间小于 1 分钟，所以我们将 **Max Run Time per Job** 设置为 0.1 小时（6 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	3	25	All Time	Low		

Simulator settings

Simulator: STARS

Simulator version: 2016.11

Number of CPUs per job: 1

Method to find executable: Find Exact Version

Max run time per job (hours): 0.1

Additional simulator switches:

Apply simulator license multiplier:

Write SR2 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 SR2:

Job record and file management

Job Status	Clear Job Record	Delete .da	Delete Job	Delete output files (*.irf, *.mrf, ...)
NormalTermination	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
AbnormalTermination	<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 checked="" 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.

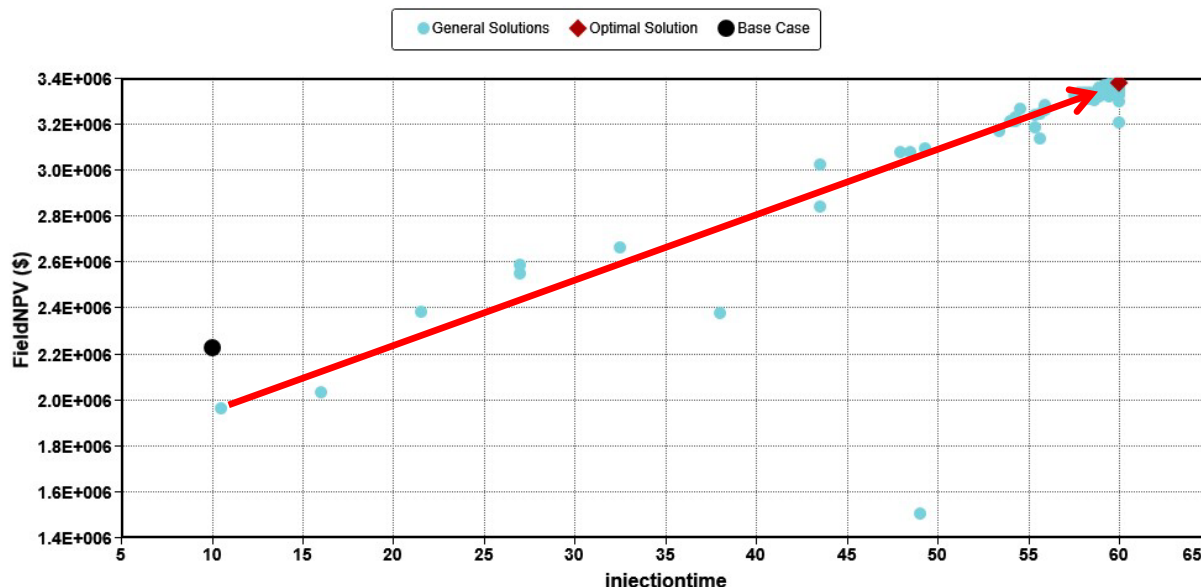
49. 完成后，点击 **Save**。

50. 点击 **Control Centre** 界面，点击  按钮启动 CMOST 引擎。

CMOST 将开始创建模型，然后提交给模拟器进行运算。

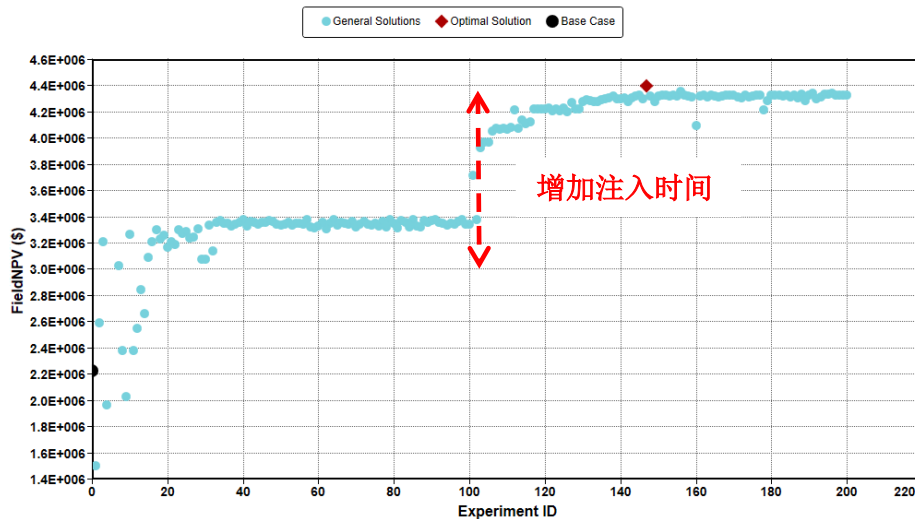
CMOST 结果及参数更新

CMOST 运行一段时间后，查看其模拟结果，我们可以看到大大的改善了 NPV。然而，我们注意到对于最优的几个方案，其注入时间约为 60 天。当我们查看交汇图 **FieldNPV vs. Injection time** 时，我们可以看出注入时间与 NPV 之间的正相关趋势。这可以通过代理分析飓风图得到验证。因而，可以看出随着注入时间的延长，可以进一步改善 NPV。



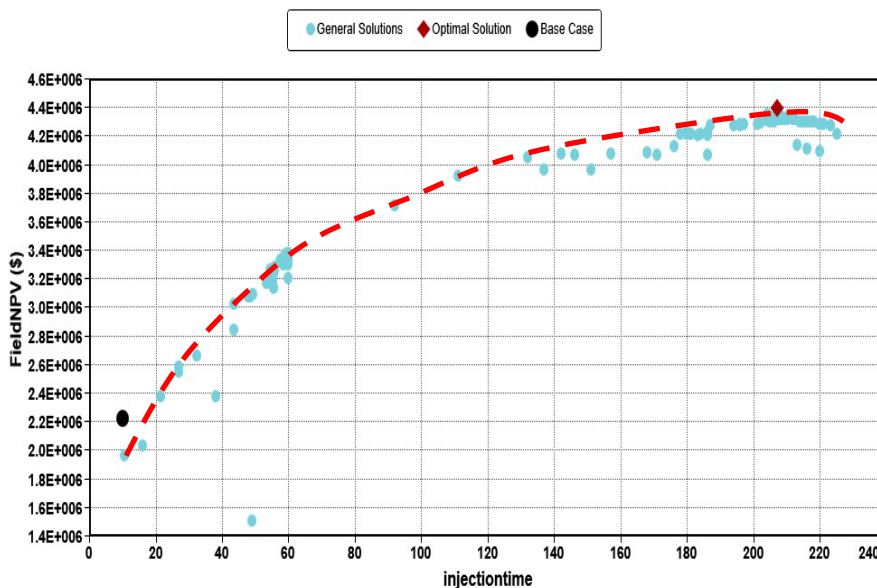
51. 在 **Control Centre** 界面，停止 CMOST 引擎。
52. 停止引擎后，回到 **Study Manager** 界面，然后选中任务 OP，右键点击 Copy to new Study，将其命名为 OP_2，然后进入该任务，切换到 **Input -> Parameterization -> Parameters** 选择参数 **InjectionTime**，调整期取值范围：
 - 下限: 50
 - 上限: 250
53. 保存任务，然后回到 **Control Centre** 启动引擎，再次运算。

在 **Engine Settings** 中，设置 **Total Number of Experiments** 为 200。CMOST 运算完成后，查看模拟结果。
54. 切换到 **Results & Analyses -> Objective Functions -> Run Progress** 来查看 NPV 是如何改善的。可以明显的看到参数取值范围改变后，其 NPV 显著增加。



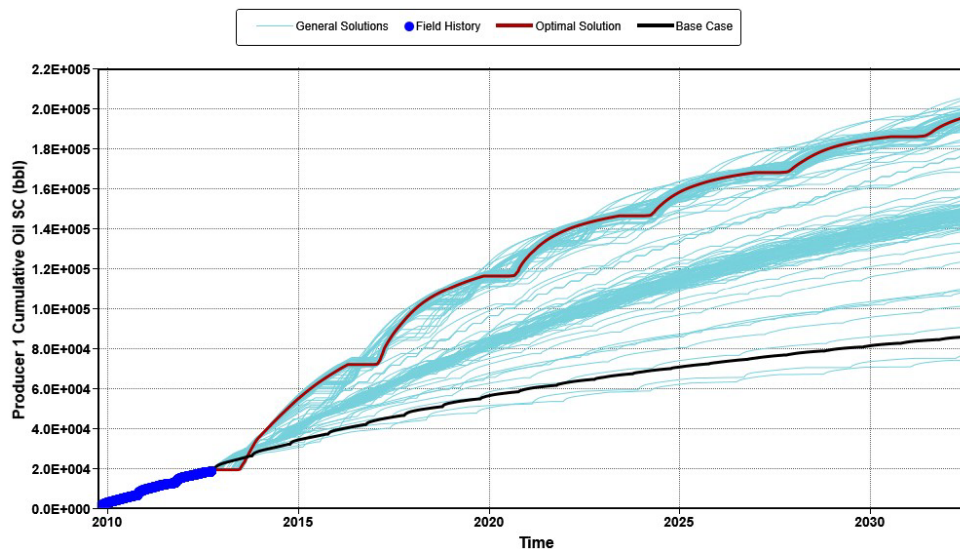
55. 切换到 **Results & Analyses -> Objective Functions -> Cross Plot** 查看目标函数与其他变量之间的关系。

在 **FieldNPV** 曲线，选择 **InjectionTime**。随着注入时间的增加，NPV 逐渐增大，然而，当注入时间超过某一值时，随着注入时间的增加，NPV 反而减小。



56. 切换到 **Results & Analyses -> Time Series -> Observers** 查看模拟结果随时间变化的曲线。与基础方案相比，最优模拟方案的循环周期更长。当然，也会生成更多油，同时也会注更多的汽。

Cumulative Oil SC – Producer 1



57. 切换到 **Control Centre -> Experiments Table**

通过 **FieldNPV** 对表格进行排序找到最优方案参数取值。