

## 第 78 期：CMOST AI 优化转注或转驱时机的新方法

CMOST AI 2018.10

编写人：李罡

油藏方案优化时，“时机”是我们要研究的参数，例如何时调整产油速度，何时打加密井、转聚时机以及蒸汽吞吐转蒸汽驱时机等，都对油藏开发非常重要。CMOST AI 2018版新增**井和动态事件（Well and Recurrent Events）**优化功能，首次将“时间点”作为方案优化的参数，允许用户对“**When**”（事件起始时间点、终止时间点以及发生的频率）和“**What**”（事件的具体内容，比如开关井，生产\注入速度等）进行CMOST AI参数化。

在CMOST AI参数化部分新增**Well & Recurrent Events**界面，用户可以非常方便的创建基于**何时**“**When**”和**什么**“**What**”类型的CMOST参数。

### 目 录

1	简介 .....	2
1.1	优化转聚时机方法对比.....	2
1.2	CMOST 井和动态事件优化功能简介 .....	2
2	井和动态事件优化功能操作界面设置 .....	4
2.1	添加井和井动态事件.....	5
2.2	设置井和井动态事件.....	5
2.3	事件内容格式.....	6
2.4	测试井和井动态事件.....	8
3	应用案例 .....	8
3.1	模型简介.....	8
3.2	界面操作设置.....	9
3.3	优化结果.....	10
4	总结 .....	12

# 1 简介

本节包含两部分内容，第一部分以水驱转聚合物驱为例，对比优化转聚时机传统方法与 CMOST AI 新方法；第二部分介绍井和动态事件（Well and Recurrent Events）优化功能并举例说明 CMOST AI 创建不同转聚时机模型的方法。

## 1.1 优化转聚时机方法对比

**传统方法：**常规优化转聚时机时，通常以含水率来判断，当含水率达到某一值（例如，90%）时实施聚合物驱。在数值模拟中，通过对水驱模型试算，找到不同含水率对应的时间点，然后分别运算不同转聚模型，待模型运算完成，手动对比模拟结果，得出最佳转聚时机。该方法虽然可以得出最优转聚时机，但方法本身存在一些弊端：

- (1) 需手动找出不同含水率对应时间点，在此基础上手动创建注聚模型；
- (2) 所有模型需手动提交给模拟器运算；
- (3) 需要手动对比模拟结果，得出最佳转聚时机；
- (4) 从运算模型的数量上看，有限的模型可能无法优化出最佳的转聚时机；

**CMOST AI 新方法：**传统方法中，根据含水率判断出不同转聚时间点，在有限的时间点中找出最优的转聚时机，由于选取的模型数量有限，因此仅可以得出相对最佳转聚时机；而 CMOST AI 中的新方法是将“时间”作为一个可调整的参数，可对比水驱后任一时间点转聚的效果，通过运算大量的模型，得出最佳的转聚时机。与传统方法相比，新方法优点有：

- (1) 根据 CMOST AI 优化算法，自动匹配时间点，创建转聚模型；
- (2) 将注聚模型自动提交给模拟器运算；
- (3) 自动对比模拟结果，得出最佳转聚时机；

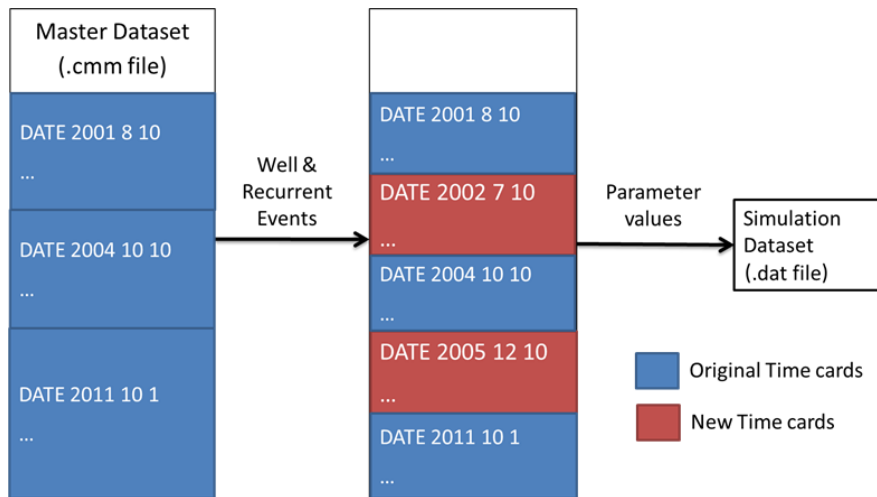
## 1.2 CMOST 井和动态事件优化功能简介

CMOST AI 2018 版新增井和动态事件优化功能，该功能主要用于优化井和井动态部分参数，允许用户对井和井动态事件时间点（起始时间、终止时间以及

频率) 及事件内容参数化, 使得优化井动态数据部分参数更加便利。例如使用该功能可以方便的优化转驱时机 (蒸汽吞吐转蒸汽驱或注聚合物) 或者打加密井时机及井位等。

注: 事件 (Event) 是指某个时间点下实施的措施, 例如某个时间点下新钻一口井称为一个事件, 某个时间点下注聚合物也可以称为一个事件。

每个井和井动态事件将生成一个 (一次性事件) 或多个 (重复事件) 模拟器时间卡, 在生成 CMOST AI 实验方案数据文件之前, 模拟器时间卡将与 CMOST AI 主文件 (.cmm) 中的原始时间卡合并。下图展示了如何将井和动态事件优化功能生成的时间卡与原始时间卡一起使用生成实验方案模型。



例如, 利用井和动态事件优化功能优化水驱转聚合物驱时机, 该事件为一次性事件, CMOST AI 主文件中模型从 2015 年 1 月 1 日实施注水生产, INCLUDE 文件-'wf.inc'定义了相关的生产井和注水井, 如图所示。

```

*RUN
*DATE 2015 1 1
*DTWELL 0.001
INCLUDE 'wf.inc'
*DATE 2016 1 1
*DATE 2017 1 1
*DATE 2018 1 1
*DATE 2019 1 1
*DATE 2020 1 1
    
```

使用井和动态事件优化功能, 可以在 2015 年 1 月 1 日之后的任意一天添加转聚方案的关键字, 也就是将时间作为 CMOST AI 参数, 这样就可以生成多个转聚方案, 通过 CMOST AI 将多个转聚方案提交给模拟器进行运算, 得出最优的转聚时机。

下图展示了其中一个转聚方案, 该方案中是从 2017 年 12 月 31 日开始实施转聚。

```

*RUN
DATE 2015 1 1 **TIME=0
*DTWELL 0.001

INCLUDE 'wf.inc'

DATE 2016 1 1 **TIME=365

DATE 2017 1 1 **TIME=731
DATE 2017 12 31 **TIME=1095
**[Start] Generated by CMOST AI Well & Recurrent Event:Pi
DTWELL 0.0001

INJECTOR 'INJ-AQ'

INCOMP AQUEOUS 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.00040738028

OPERATE MAX STW 4955 CONT REPEAT

ALTER 'Producer1' 'Producer2' 'Producer3' 'Producer4'
2000 1900 700 1180
**[End] Generated by CMOST AI Well & Recurrent Event:Pi

DATE 2018 1 1 **TIME=1096

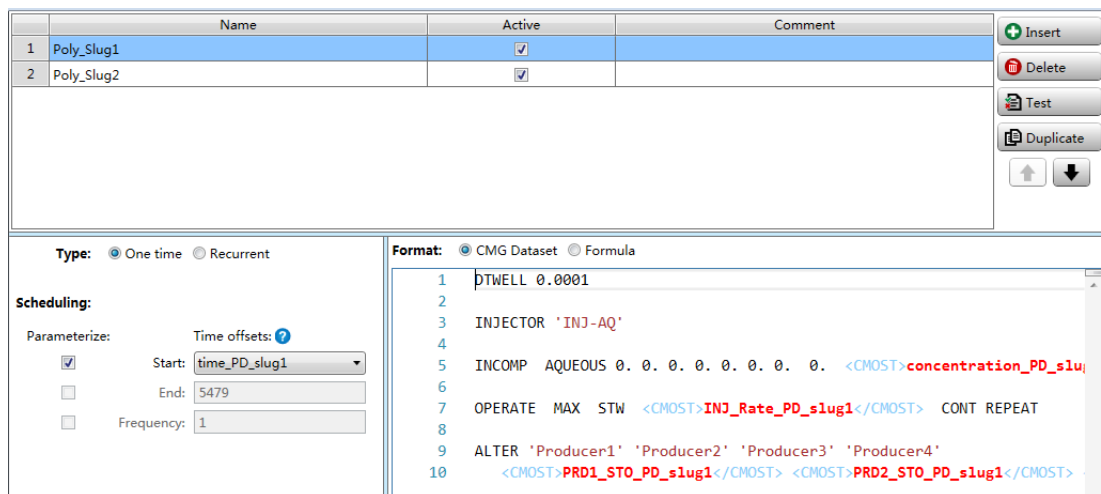
DATE 2019 1 1 **TIME=1461

DATE 2020 1 1 **TIME=1826

```

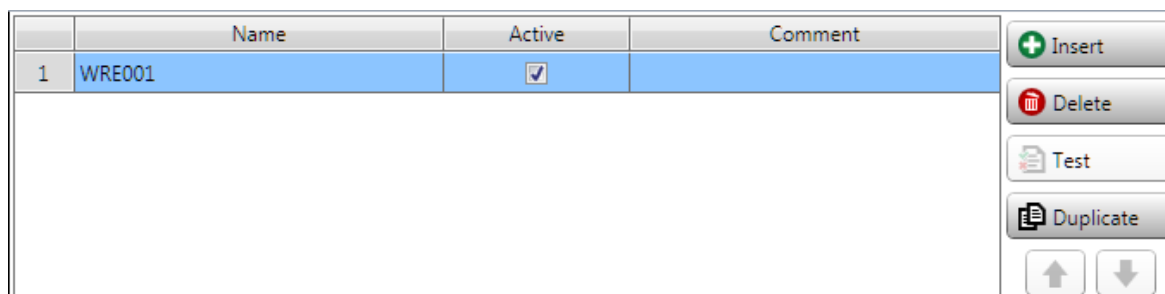
## 2 井和动态事件优化功能操作界面设置

该章节从四个方面, 详细介绍 CMOST AI 中井和动态事件优化功能的界面设置, 如图所示, 包括如何添加一个井和井动态事件, 如何设置井和井动态事件, 井和井动态内容格式以及如何测试井和井动态事件等。



## 2.1 添加井和井动态事件

- 1) 在 CMOST AI 界面, 点击 **Parameterization | Well & Recurrent Events**
- 2) 点击 **Insert** 按钮



- 3) 编辑事件名称及注释
- 4) 在 **Active** 下面复选框打钩, 激活该事件
- 5) 创建井和井动态事件

## 2.2 设置井和井动态事件

- 1) 在 **Type** 部分, 选择 **One Time** 或者 **Recurrent**
- 2) 在 **Scheduling**→**Time Offsets** 部分, 设置事件起始时间:
  - a) **起始时间**: 如果事件的起始时间是模拟开始时间之后的某个常数, 直接在空白处输入对应常数即可
  - b) **终止时间**: 该选项仅仅在 **Recurrent** 事件类型下才是激活的。如果事件的结束时间点是模拟开始时间之后的某个常数, 直接在空白处输入常数即可
  - c) **频率**: 该选项仅仅在 **Recurrent** 事件类型下才是激活的。如果频率

是个常数，在空白处输入常数即可

**注意:** 使用相关的选项卡，选择相应的参数，对 **Time Offsets** 部分参数进行 CMOST AI 参数化

## 2.3 事件内容格式

在 **Format** 部分，可以使用两种格式定义事件内容，一种是 **CMG Dataset**，推荐所有用户使用该格式，另外一种是 **Formula**，建议高级用户使用。

### 1) CMG Dataset 格式

使用 **CMG Dataset** 格式：可以直接将事件内容键入空白处，其格式与 .cmm 文件类似。也可以包含 CMOST AI 参数。下面的例子中，事件内容定义了改变四口生产井的初始约束条件，并且使用了一个 CMOST AI 参数。

**Format:**  CMG Dataset  Formula

```

1 DTWELL 0.0001
2
3 INJECTOR 'INJ-AQ'
4
5 INCOMP AQUEOUS 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. <CMOST>concentration_PD_slug1
6
7 OPERATE MAX STW <CMOST>INJ_Rate_PD_slug1</CMOST> CONT REPEAT
8
9 ALTER 'Producer1' 'Producer2' 'Producer3' 'Producer4'
10 <CMOST>PRD1_STO_PD_slug1</CMOST> <CMOST>PRD2_STO_PD_slug1</CMOST>

```

### 2) Formula 格式

使用 **Formula** 格式：与使用 CMG 数据格式相比，在输入框中键入公式更适合高级用户。公式输出定义了事件内容。它应该返回包含事件主体的最后一行中的字符串值。更多信息，可参考手册中相应说明。

在 CMOST AI 中，公式编辑器将测试每口井和重复事件的语法。

**注意:** 在输入框中，CMOST AI 自动添加时间卡表头(例如 DATE 2018 9 1.0)。

在下面的例子中，公式定义了一个事件-改变四口生产井的主约束条件。

```

Format:  CMG Dataset  Formula
+ ✂ 📄 ↺ ↻ 📄 📄 🔍 🔍 📄
32 var newW2_nLayers = 2;
33 var newW2_L1_status = 0.38847504;
34 //End_CMOST_Data_Transfer_Code
35
36 //Please Write Your Code Below This
37 'INCLUDE \''+oldWells_shutin+'\''|
    
```

也可以包含 CMOST AI 参数。注意 CMOST AI 参数不是公式的内置变量(如 **Variables in Formulas** 部分中的描述), 应该是在公式中写入字符串值。

在下面的例子中, 该公式显示了一个事件, 其中, 三口生产井的主约束条件更改为常量-1200, 而第四口井的主约束条件由 CMOST AI 参数 (Rate4) 确定。

```

Format:  CMG Dataset  Formula
+ ✂ 📄 ↺ ↻ 📄 📄 🔍 🔍 📄
1 Predefined Variable Area...
30
31 //Please Write Your Code Below This Line
32 var str="ALTER 'Producer1' 'Producer2' 'Producer3' 'Producer4' \r"
33 str+=' 1200 1200 1200 1200 <CMOST>Rate4</CMOST> \r
34 str|
    
```

**公式格式中使用 Elapsed Time Variable:**

对于公式格式, 可以选择使用运行时间变量, 这些变量中包含数值, 可以在公式中的任何位置使用。该值由以下因素决定:

- (1) **Reference Date Time:** 参考日期点
- (2) **Time Unit:** 时间单位
- (3) **Current time card header time:** 当前时间卡表头时间

在下面的例子中, 定义了运行时间变量, t1:

Elapsed time variables:			
	VarName	Reference Date Time	Time Unit
1	t1	2015-05-01 T00:00:00	Day

- 在时间卡中, 时间表头“DATE 2015 1 5”, 则 t1 为 4。
- 在时间卡中, 时间表头“DATE 2015 2 5”, 则 t1 为 35。

## 2.4 测试井和井动态事件

在井和井动态事件页面顶部，点击 Test  按钮，预览结果。

	Name	Active	Comment
1	WRE001	<input checked="" type="checkbox"/>	WRE with CMG Dataset
2	WRE002	<input checked="" type="checkbox"/>	WRE with Formula

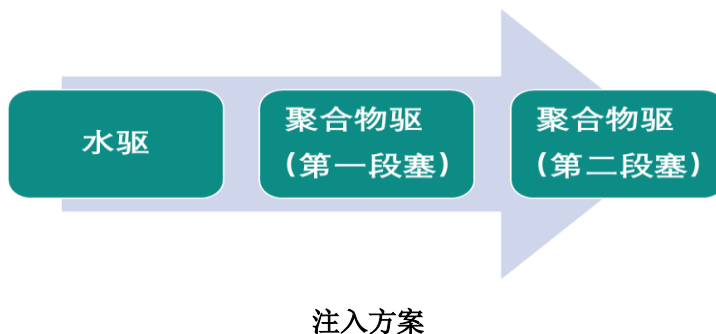
将打开一个新窗口，对所有激活事件生成的新时间卡内容进行预览。当产生实验方案数据体时，在主文件（.cmm）中新时间卡将与原始时间卡合并。预览窗口中不会显示原始时间卡。

## 3 应用案例

以 2018 版 CMOST AI 自带算例... \CMOST\2018.10\TPL\CMOST - GEM\Well Events Polymer – OP 为例，详细介绍利用 CMOST AI 的井和动态时间优化功能优化转聚时机、段塞浓度以及产油速度等参数。

### 3.1 模型简介

算例中的基础模型（Polymer\_Flooding\_BaseCase.dat）是一个典型的水驱（注海水）转聚合物驱（段塞注聚）模型，纵向上分为 8 个小层，平均顶部深度 3996.9 米，平均孔隙度 0.256，平均渗透率 574.6 mD，模型共包含五口井，其中生产井 4 口，注入井 1 口，十年水驱之后，开始转聚合物驱，先后注入两个段塞，具体可参见下图所示。



本案例主要是利用 CMOST AI 的井和动态事件优化功能优化聚合物段塞起始时间（转聚时机）、聚合物注入浓度、注入速度以及生产井的产油速度等，具

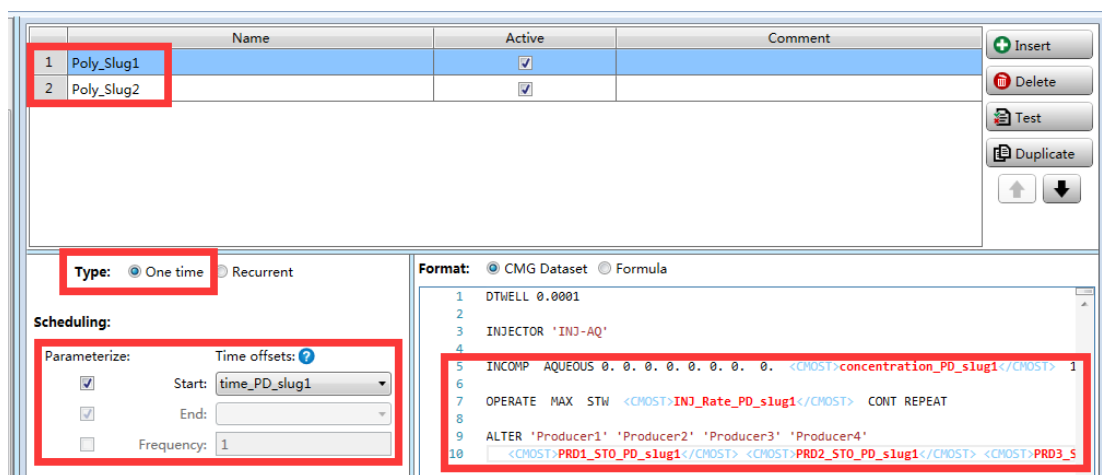
体如下图所示。

聚合物驱（第一段塞）	聚合物驱（第二段塞）
起始时间	起始时间
聚合物浓度	聚合物浓度
注入速度	注入速度
4 口生产井产油速度	4 口生产井产油速度

优化方案

### 3.2 界面操作设置

打开 CMOST AI 算例...\CMOST\2018.10\TPL\CMOST - GEM\Well Events Polymer - OP, 点击 **Input** → **parameterization** → **Well and Recurrent Events**, 如下图所示:



- (1) 在井和井动态事件功能界面, 定义了两个事件-Poly\_Slug1 和 Poly\_Slug2, 表示聚合物注入的两个段塞。以 Poly\_Slug1 事件为例, 进行详细介绍;
- (2) **Type** 后面选择 **One time**, 表示该事件为一次性事件, 仅定义一个时间点;
- (3) 在 **Scheduling** 部分, 定义了该事件发生的时间点 (聚合物注入的第一个段塞起始时间) -time\_PD\_slug1;
- (4) 在 **Format** 部分, 选择 **CMG Dataset**, 表示使用 **CMG** 数据体来定义事件内容, 图中定义了第一个段塞的相关参数, 包括注入浓度 (concentration\_PD\_slug1), 注入速度- (INJ\_Rate\_PD\_slug1) 以及四口井的产油速度 (PRD1\_STO\_PD\_slug1、PRD1\_STO\_PD\_slug1、



PRD1\_STO\_PD\_slug1 以及 PRD1\_STO\_PD\_slug1), 对于 Poly\_Slug2, 也进行同样的设置。第一个事件对应 CMOST 语句如下所示:

```
*DTWELL 0.0001
*INJECTOR 'INJ-AQ'
*INCOMP AQUEOUS 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
<CMOST>concentration_PD_slug1</CMOST> 1e-7 0.3490747 0.02 1e-7
1e-4 1e-4
*OPERATE MAX STW <CMOST>INJ_Rate_PD_slug1</CMOST> CONT
REPEAT
*ALTER 'Producer1' 'Producer2' 'Producer3' 'Producer4'
<CMOST>PRD1_STO_PD_slug1</CMOST>
<CMOST>PRD2_STO_PD_slug1</CMOST>
<CMOST>PRD3_STO_PD_slug1</CMOST>
<CMOST>PRD4_STO_PD_slug1</CMOST>
```

根据上述设置, 创建 CMOST 参数, 点击 Input→ parameterization→ parameters, 查看 CMOST AI 参数, 如图所示。

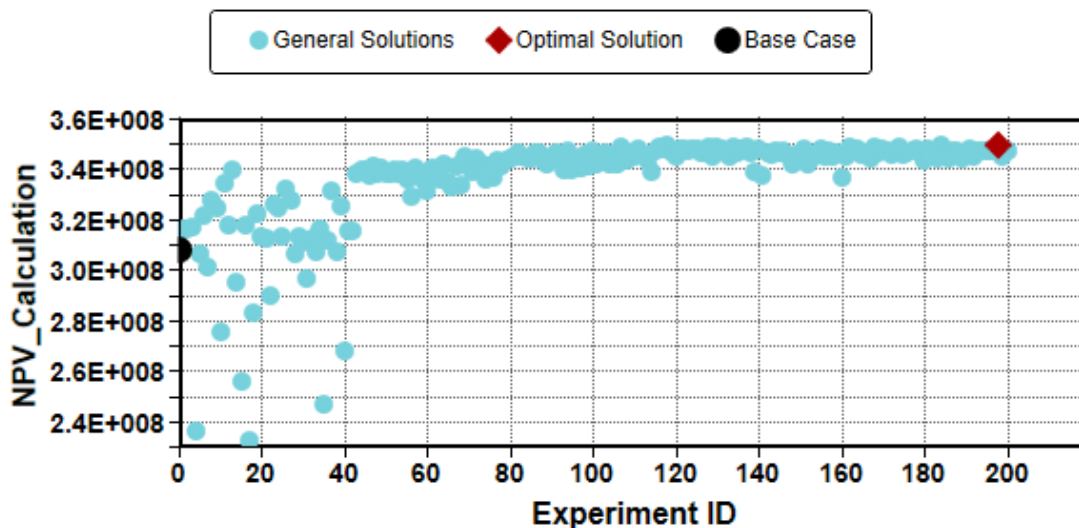
	Name	Comment	Active	Default Value	Source
1	time_PD_slug1		<input checked="" type="checkbox"/>		Continuous Real
2	concentration_PD_slug1		<input checked="" type="checkbox"/>		Formula
3	concentration_PD_slug1_log		<input checked="" type="checkbox"/>		Continuous Real
4	INJ_Rate_PD_slug1		<input checked="" type="checkbox"/>		Continuous Real
5	PRD1_STO_PD_slug1		<input checked="" type="checkbox"/>		Continuous Real
6	PRD2_STO_PD_slug1		<input checked="" type="checkbox"/>		Continuous Real
7	PRD3_STO_PD_slug1		<input checked="" type="checkbox"/>		Continuous Real
8	PRD4_STO_PD_slug1		<input checked="" type="checkbox"/>		Continuous Real
9	time_PD_slug2		<input checked="" type="checkbox"/>		Formula
10	DeltaT_time_PD_slug2		<input checked="" type="checkbox"/>		Continuous Real
11	concentration_PD_slug2		<input checked="" type="checkbox"/>		Formula
12	concentration_PD_slug2_log		<input type="checkbox"/>		Continuous Real
13	INJ_Rate_PD_slug2		<input type="checkbox"/>		Continuous Real
14	PRD1_STO_PD_slug2		<input checked="" type="checkbox"/>		Continuous Real
15	PRD2_STO_PD_slug2		<input checked="" type="checkbox"/>		Continuous Real
16	PRD3_STO_PD_slug2		<input checked="" type="checkbox"/>		Continuous Real
17	PRD4_STO_PD_slug2		<input checked="" type="checkbox"/>		Continuous Real

注意: 新增参数 DeltaTtime\_PD\_slug2、concentration\_PD\_slug1\_log 与 concentration\_PD\_slug2\_log, 其中 DeltaTtime\_PD\_slug2 表示第一个段塞注入时间长度, concentration\_PD\_slug1\_log 与 concentration\_PD\_slug2\_log 表示两个段塞注入的聚合物浓度对数值。

### 3.3 优化结果

算例中总共运算 200 个方案, 第 198 个方案为最优方案。基础方案计算的净现值 NPV 为  $3.08 \times 10^8$  美元, 而最优方案计算的 NPV 为  $3.5 \times 10^8$  美元, 增加了近

14%，如下图所示。



在 CMOST AI 界面，点击 **Control Centre**→**Experiments Table**，查找最优方案 (ID=198)，选中该方案，点击 **Launch cEDIT**，打开模型数据体。在数据体顶部，记录了最优方案中，各 CMOST AI 参数的取值情况，如图所示，其中：

- time\_PD\_slug1            1095            \*\*水驱 1095 天后，开始注入第二个段塞
- time\_PD\_slug2            2542.2        \*\*水驱 2542.2 天后，开始注入第二个段塞
- concentration\_PD\_slug1    0.00040738028    \*\*第一个段塞注入浓度
- concentration\_PD\_slug2    1.7378008E-09    \*\*第二个段塞注入浓度
- INJ\_Rate\_PD\_slug1        4955            \*\*第一个段塞注入速度
- INJ\_Rate\_PD\_slug2        3020            \*\*第二个段塞注入速度

.....

Drag and drop a column header here to group by that column									
ID	Generator	Status	Result Status	Proxy Role	Keep SR3	Has SR3	Rating	time_PD	
181	180 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1095	
182	181 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1286.625	
183	182 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1388.825	
184	183 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1337.725	
185	184 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1158.875	
186	185 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1107.775	
187	186 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1095	
188	187 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1120.55	
189	188 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1337.725	
190	189 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1324.95	
191	190 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1299.4	
192	191 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1107.775	
193	192 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1095	
194	193 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1197.2	
195	194 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1095	
196	195 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1235.525	
197	196 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1146.1	
198	197 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1197.2	
199	198 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input checked="" type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1095	
200	199 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1337.725	
201	200 CMG DECE	Complete	NormalTerminat	Training	Auto	<input type="checkbox"/>	☆☆☆☆☆	1120.55	

Filter info:  Emstv filter.      Engine info: CMG DECE

```

1  RESULTS CMOST HEADER 0
2  **CMG CMOST Dataset Generator 2018.10.6787.18172
3  **CMOST_PARAMETER  time_PD_slug1      1095
4  **CMOST_PARAMETER  concentration_PD_slug1  0.00040738028
5  **CMOST_PARAMETER  concentration_PD_slug1_log -3.39
6  **CMOST_PARAMETER  concentration_PD_slug2  1.7378008E-09
7  **CMOST_PARAMETER  concentration_PD_slug2_log -8.76
8  **CMOST_PARAMETER  INJ_Rate_PD_slug1      4955
9  **CMOST_PARAMETER  PRD1_STO_PD_slug1     2000
10 **CMOST_PARAMETER  PRD2_STO_PD_slug1     1900
11 **CMOST_PARAMETER  PRD3_STO_PD_slug1     700
12 **CMOST_PARAMETER  PRD4_STO_PD_slug1     1180
13 **CMOST_PARAMETER  DeltaT_time_PD_slug2  1447.2
14 **CMOST_PARAMETER  time_PD_slug2         2542.2
15 **CMOST_PARAMETER  INJ_Rate_PD_slug2     3020
16 **CMOST_PARAMETER  PRD1_STO_PD_slug2     700
17 **CMOST_PARAMETER  PRD2_STO_PD_slug2     1450
18 **CMOST_PARAMETER  PRD3_STO_PD_slug2     790
19 **CMOST_PARAMETER  PRD4_STO_PD_slug2     2090

```

## 4 总结

井和动态事件“Well and Recurrent Events”优化功能非常灵活，能够对任意事件的时间、内容，甚至是多个事件之间的相互关系（例如 B 事件在 A 事件发生后若干时间后发生）进行参数化。除了应用于化学驱转注时机优化外，还可以应用于蒸汽吞吐，CO<sub>2</sub> 气水交替、SAGD 以及加密井等。

除了方案优化（Optimization）外，该功能还可以应用于 CMOST AI 的其他工作流程，例如敏感性分析、历史拟合以及不确定性分析。