



第 99 期：IMEX 人工智能模拟器高效模拟聚合物驱操作流程

编写人：王建国

近年来，随着大型聚合物驱项目的开展，人们对聚合物驱模拟的计算速度提出了更高的要求。STARS 在聚合物驱模拟方面虽然机理考虑全面，但是由于软件设计基于相平衡模型，计算速度相对较慢。相对来说，基于黑油模型的 IMEX 模拟器模拟聚合物驱具有以下优势：

- 1) 可考虑吸附、降解、矿化度、剪切能因素对粘度的影响，能够满足矿场模拟对机理表征的需要；
- 2) 水驱转聚合物驱模拟时，在同一个模拟器中完成，无需转换模型；
- 3) 软件设计相对简单，在人工智能提速技术的加持下，计算速度非常规快，适用于矿场规模大型聚合驱方案模拟。

在建立 IMEX 聚合物驱数值模拟模型时，为了提高效率，可以使用 Builder 的过程向导功能（Process Wizard），将实验数据输入软件，快速建立聚合物驱模型，以快速开展数值模拟研究。

本文结合实际的研究场景，手把手的教你在常规水驱 IMEX 模型基础上，通过过程向导建立聚合物驱模型的操作步骤。

本文只讲操作，不讲机理，需要了解机理的朋友可以查看第 43、44、53 期讲义或相关文献。本文操作采用的软件版本是 2022.10 版。

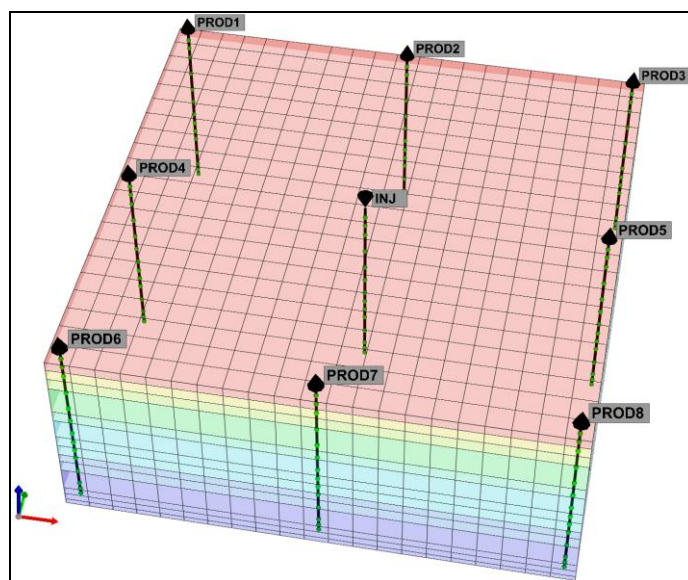
目 录

1	水驱基础模型.....	2
2	操作流程.....	3
3	关键字解读.....	8
4	模拟结果分析.....	10

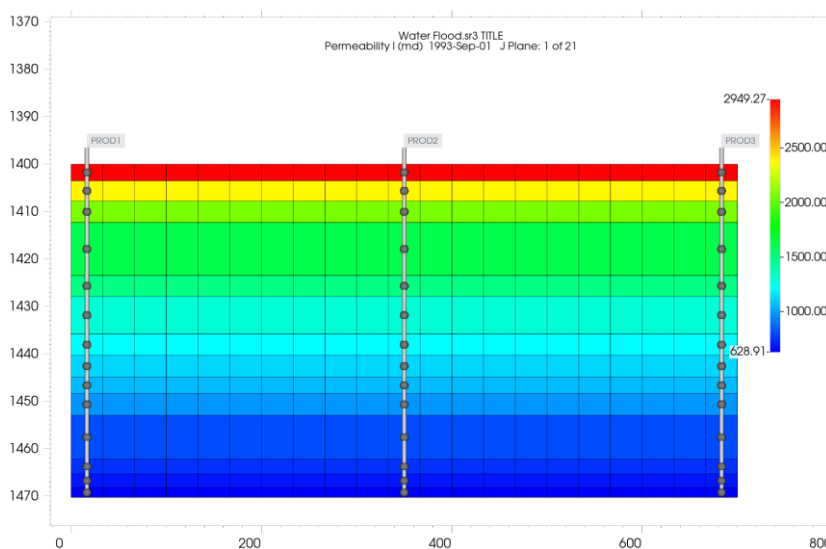
1 水驱基础模型

在 Builder 中打开 “Water Flood.dat” 文件。

该模型地层共分 14 层，反韵律模型，平均渗透率 1240mD， $k_v/k_h=0.01$ ，渗透率变异系数 0.4，350 米井距，原油粘度 70cp。反九点法井网，单井日注水平 0.025PV/年。



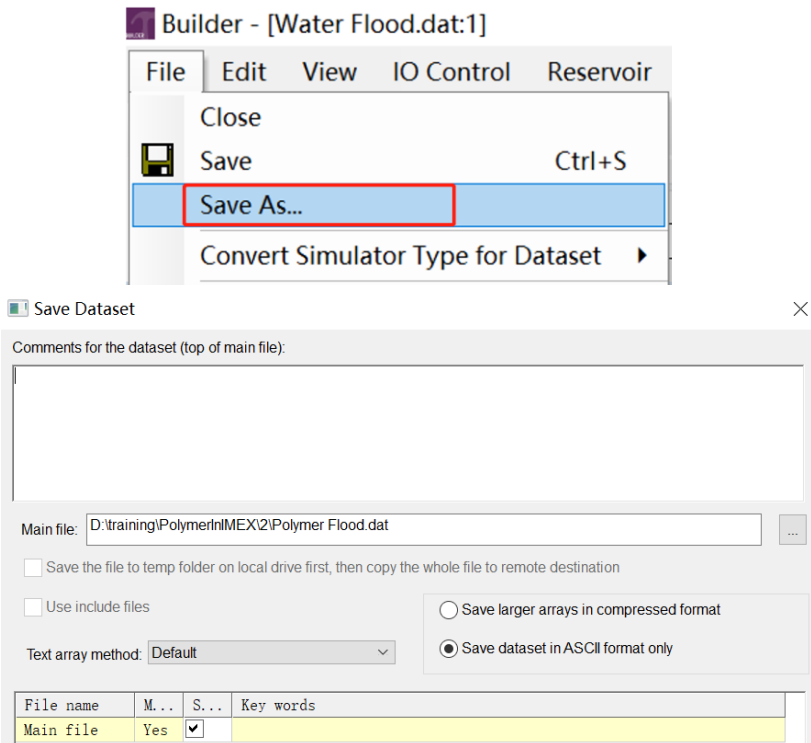
模型三维透视图



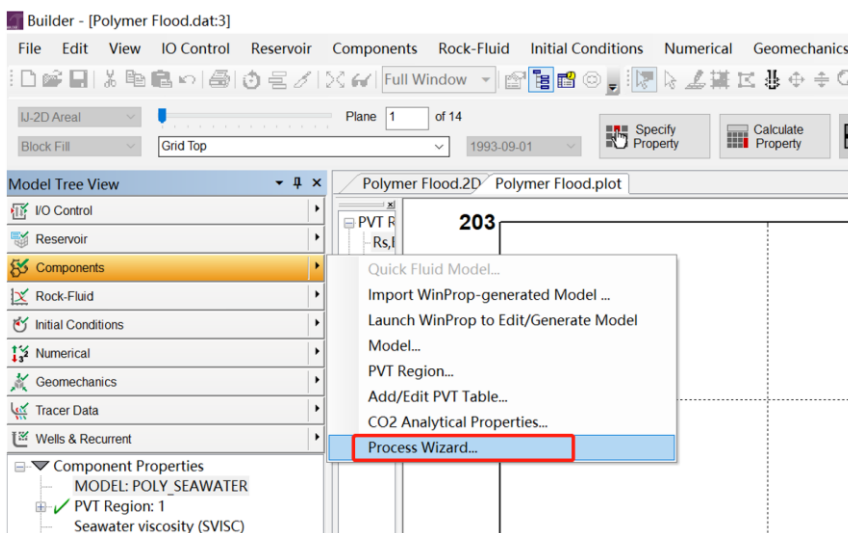
渗透率剖面图

2 操作流程

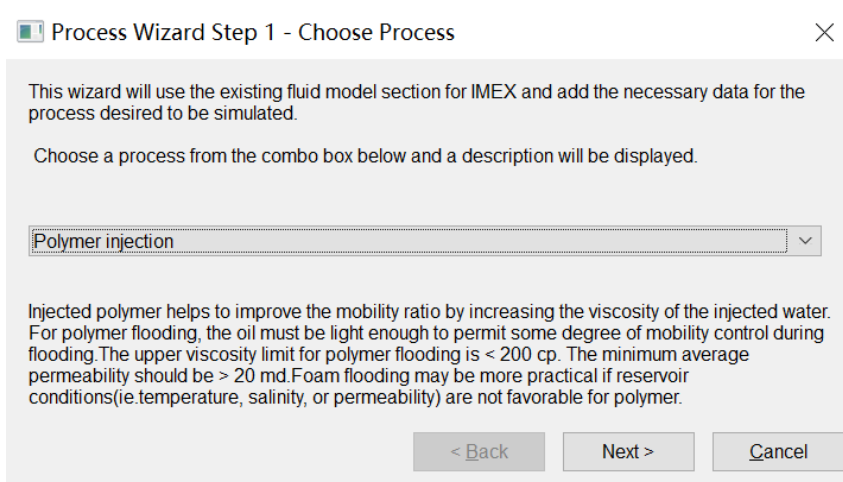
- 1) 首先将文件另存，在 Builder 中点击 File → Save As，命名为 Polymer Flood.dat。



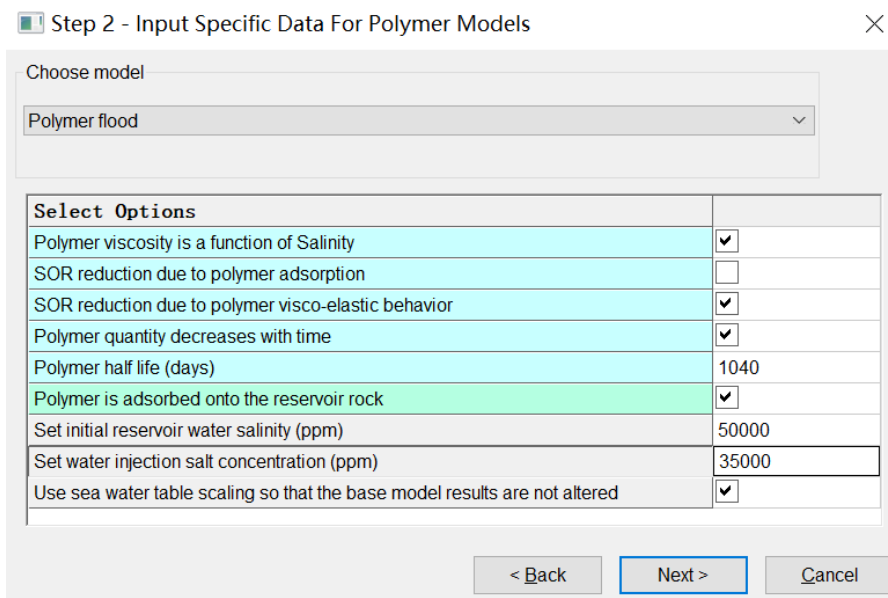
- 2) 点击 Components → Process Wizard，打开过程向导。



- 3) 过程向导第 1 步是选择要模拟的开发方式，如下图所示。选择 Polymer injection 后，下方出现关于聚合物驱机理的描述。



4) 点击 NEXT，第 2 步是输入聚合物驱模型的相关机理参数。

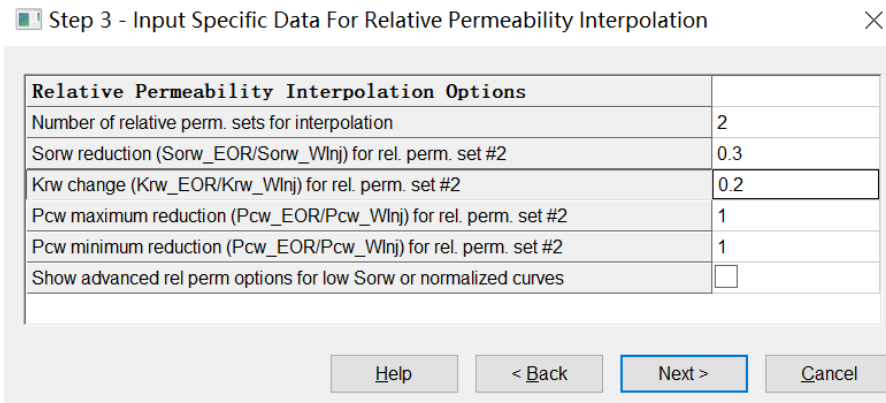


这些选项的含义依次是：

- a) 是否考虑矿化度对聚合物粘度的影响
- b) 是否考虑聚合物吸附引起的残余油饱和度（SOR）降低
- c) 是否考虑聚合物粘弹性对残余油饱和度（SOR）的影响
- d) 是否考虑聚合物降解
- e) 输入聚合物降解半衰期（Polymer half life）
- f) 是否考虑聚合物的吸附

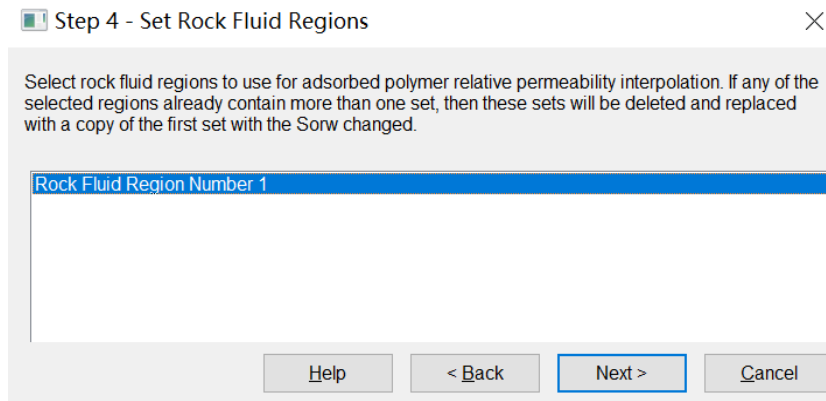
需要考虑哪些机理或物化参数，需要在这一步做出抉择。本次模拟考虑矿化度对聚合物粘度的影响，选择后下面多出两行，让输入地层水和注入水的矿化度。

5) 点击 NEXT，第 3 步是输入相渗曲线插值的相关参数，来模拟残余油饱和度降低后提高驱油效率的机理。

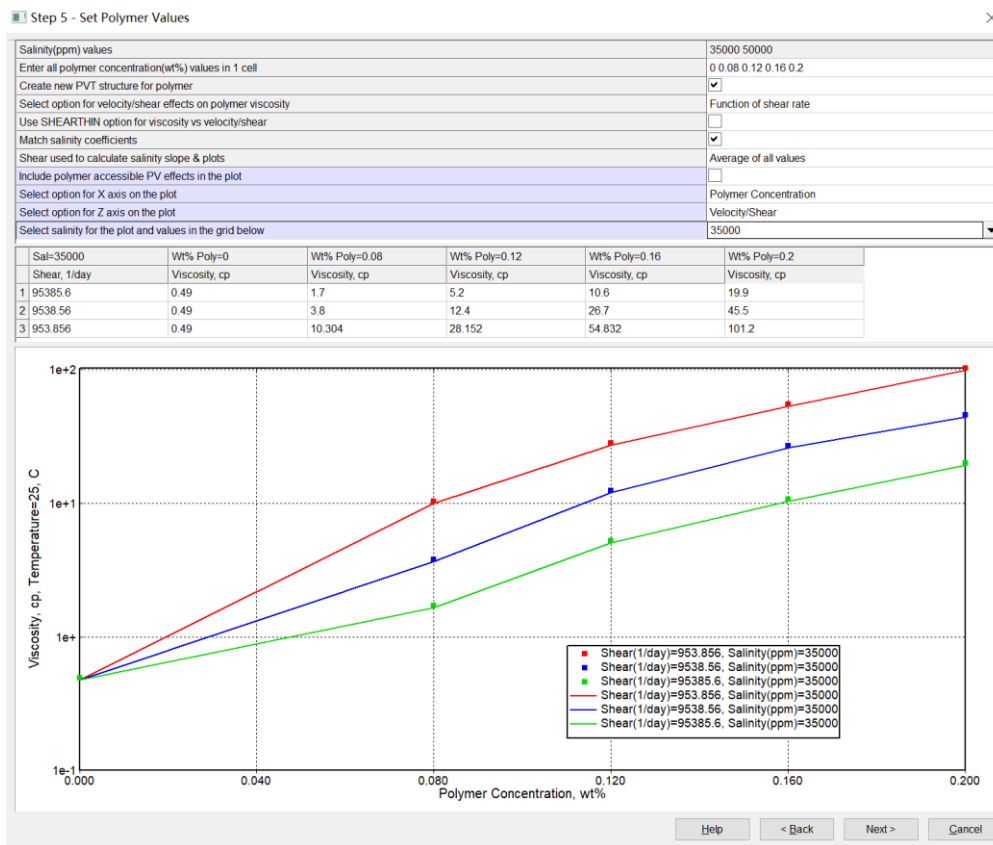


这些选项的含义依次是：

- 用于内插计算的相渗套数，缺省为 2。
 - 第 2 套相渗的水驱残余油饱和度降低幅度 (Sorw_EOR/ Sorw_WInj)，缺省为 0.8，本次模拟使用 0.3。
 - 第 2 套相渗的水相相对渗透率 Krw 的变化幅度 (Krw_EOR/ Krw_WInj)，缺省为 1，本次模拟使用 0.2。
 - 第 2 套相渗的毛管压力 Pcw 的最大变化幅度 (Pcw_EOR/ Pcw_WInj)，缺省为 1。本次模拟使用缺省值。
 - 第 2 套相渗的毛管压力 Pcw 的最小变化幅度 (Pcw_EOR/ Pcw_WInj)，缺省为 1。本次模拟使用缺省值。
 - 对于水驱残余油饱和度比较低或归一化曲线的高级选项。本次模拟忽略。
- 6) 点击 Next，第 4 步是选择要进行插值的相渗曲线，如图所示。目前该模型只有一套相渗曲线，所以选择第 1 套即可。



7) 点击 Next, 第 5 步是设置影响聚合物粘度的相关参数。



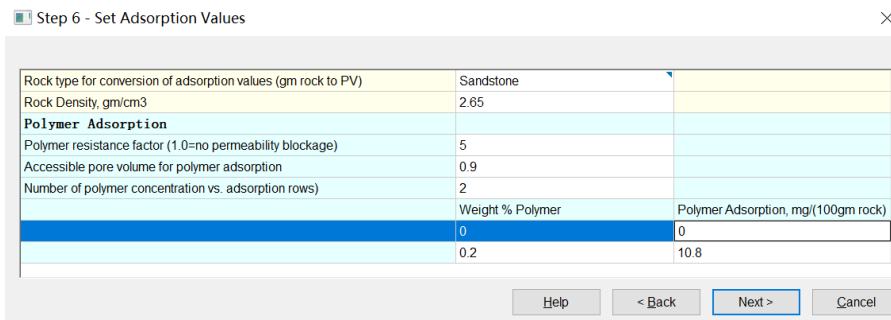
这些选项的含义依次是：

- a) 矿化度数值，该模型中有两个数，这两个数是在第 2 步设置的两个矿化度。
- b) 聚合物浓度数值。本文使用 0, 0.08, 0.12, 0.16 和 0.2。
- c) 为聚合物驱生成新的 PVT 数据，缺省为允许。
- d) 选择聚物流变性（粘度与剪切关系）的数据类型，点开后可以看见 3 个选项，分别是不考虑流变性、流速和转速。选择转速后，可以看到不同剪切速率下的粘度数据，同时该界面有所变化。
- e) 是否使用 SHEARTHIN 模拟粘度受剪切的影响。
- f) 是否拟合矿化度系数。
- g) 是否使用剪切计算矿化度斜率和曲线。
- h) 曲线中是否考虑可及孔隙体积的影响，本文采用缺省设置，未考虑。
- i) 曲线 X 轴和 Z 轴参数的选择。
- j) 选择输入和展示哪个矿化度下的数值。这里需要拷贝两个矿化度下

不同剪切速率的粘浓关系数据。

这一步非常重要，请认真做出选择，并仔细检查数据，确保数据的合理性。

8) 点击 NEXT，第 6 步是设置聚合物的吸附参数。



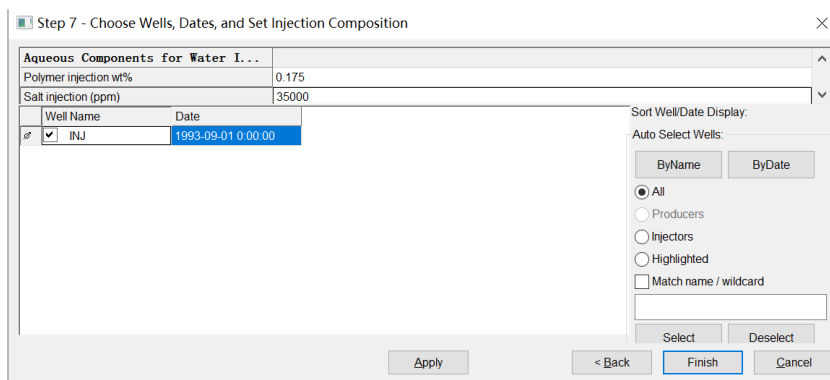
这些选项的含义依次是：

- a) 用于吸附计算的岩石类型，缺省为砂岩（Sandstone）。
- b) 岩石密度，缺省为 2.65g/cm³。

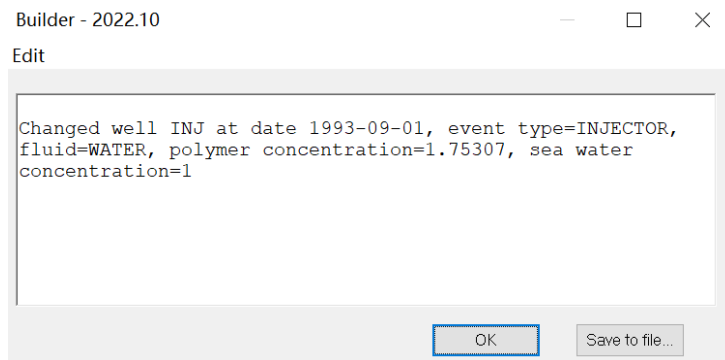
聚合物驱吸附参数

- c) 聚合物阻力因子，本文取用 5.0。
- d) 可及孔隙体积，本文取用缺省值 0.9。
- e) 聚合物吸附与浓度关系表的行数，本文取用缺省值 2。
- f) 浓度与吸附量关系表，本文取值如图所示。

9) 点击 Next，第 7 步是选择注入聚合物的浓度、矿化度、井号、日期等。



10) 点击 Finish，出现如图所示的提示信息，点击 OK 忽略即可。



11) 至此，完成该过程向导的所有设置，点击 **Save File**，保存文件。

3 关键字解读

12) 在文本编辑器中打开 **Polymer Flood.dat**，找到流体模型部分的关键字 **MODEL**，可以看到其后的子关键字已经从 **BLACKOIL** 变成了 **POLY_SEAWATER**。

13) 下面各项关键字的含义列表如下：

关键字	解读
PVTSEAWAT 1 ** cs bwis cws vwis cvws 0 0.999145 4.331e-07 0.473367 0 36.2694 0.999145 4.331e-07 0.473367 0 40.3121 1.00186 4.331e-07 0.477407 0 44.3864 1.00457 4.331e-07 0.481526 0 48.4928 1.00729 4.331e-07 0.485724 0 52.6316 1.01 4.331e-07 0.49 0	油气 PVT 表没有变化，但是在油气 PVT 表下面多了一个 PVTSEAWAT 表，如图所示。该表格的产生是因为我们在过程向导中考虑了矿化度。这 5 列数据分别是盐水浓度（矿化度， kg/m^3 ）、盐水体积系数、盐水压缩系数、盐水粘度和单位压力下的粘度变化率。
RESWATCON 52.6316	地层水矿化度，SI 下的单位是 kg/m^3 ，对应 50000ppm。
SEAWATCON 36.2694	注入水矿化度，SI 下的单位是 kg/m^3 ，对应 35000ppm。
PADSORP 0 0 2.0 0.2862 PPERM ** perm max_ad res_ad p_pore rrf 628.908 0.2862 0.2862 0.9 5 2949.27 0.2862 0.2862 0.9 5	吸附数据。其中， PADSORP 下的 cp 是聚合物溶液浓度，SI 单位制下的单位是 kg/m^3 。 ads_level 是聚合物吸附量，SI 单位制下的单位是 kg/m^3 。 PPERM 表是不同渗透率下的最大吸附量、残余吸附量、可及孔隙体积和残余阻力系数。
DENSEAWAT ** cs denssw 0 962.968 12.6582 972.226 25.641 981.484 38.961 990.742 52.6316 1000	盐水的密度和浓度关系数据表，SI 下的单位均为 kg/m^3 。

POLY-DEGR 0.000666488	聚合物降解反应的反应速率常数。
PVISC SALT 0.035 -0.761922	定义矿化度对聚合物粘度的影响。其中第 1 个数据是最小矿化度，单位是质量分数，低于该值时矿化度对聚合物粘度不再产生影响。第 2 个数据是聚合物溶液粘度与矿化度双对数曲线的斜率。
PREFCONC 2.00401 PVISC 101.2	聚合物溶液参考浓度 PREFCONC 和粘度 PVISC。PREFCONC 的数值应该大于等于注入的浓度。
SHEAREFFEC SHR	SHEAREFFEC 是考虑剪切时的速度类型，其后有 3 个子关键字可选：*SHV、*SHR 和 *MWV。其中 SHV 是达西流速，SHR 是转速，MWV 是可动水流速。
PMIX VELTABLE VWT 953.856 0 1 0.39952 21.0286 0.599519 57.4531 0.799679 111.902 1 206.531 VWT 9538.56 0 1 0.39952 7.7551 0.599519 25.3061 0.799679 54.4898 1 92.8571 VWT 95385.6 0 1 0.39952 3.46939 0.599519 10.6122 0.799679 21.6327 1 40.6122	聚合物溶液粘度混合计算关键字 PMIX。该例中 PMIX 后面跟的子关键字是 VELTABLE，表示聚合物溶液粘度不仅与浓度有关，也与流速有关。因此下面还有若干个 VWT 表，用于输入不同流速下的粘浓关系。

14) 在相渗曲线部分，设置了相渗内插。

```

RPT 1
INTCOMP POLYCONC
KRINTRP 1
INTCOMP_VAL 0
**      Sw      krw      krow      Pcow
SWT
+-----+-----+-----+-----+
| .36      0      1      0... |
+-----+-----+-----+-----+
SLT
-|-----|-----|-----|-----|
| 0.40    0.984    0.0      |
| 1.0     0.0     1.0      |
+-----+-----+-----+-----+
KRINTRP 2
INTCOMP_VAL 0.876534
**      Sw      krw      krow      Pcow
SWT
+-----+-----+-----+-----+
| .36      0      1      0... |
+-----+-----+-----+-----+
SLT
-|-----|-----|-----|-----|
| 0.40    0.984    0.0      |
| 1.0     0.0     1.0      |
+-----+-----+-----+-----+
TSORW 0.0384
TKRWRO 0.129059
    
```

该例中是根据聚合物溶液浓度进行插值。浓度为 0 时使用第 1 套相渗，浓度为 0.876534 时使用第 2 套相渗。第 2 套相渗是在第 1 套基础上，修改了水驱残余油饱和度（TSORW 0.0384）和最大水相相对渗透率（TKRWRO 0.129059）。

15) 下面是动态数据部分。根据水驱模拟结果，综合含水达到 60% 的时间大约是 1999 年 6 月 1 日。因此将注聚时间改在 1999 年 6 月 1 日，注聚浓度为 1.75kg/m³。然后在 2009 年 6 月 1 日改成后续水驱。

```

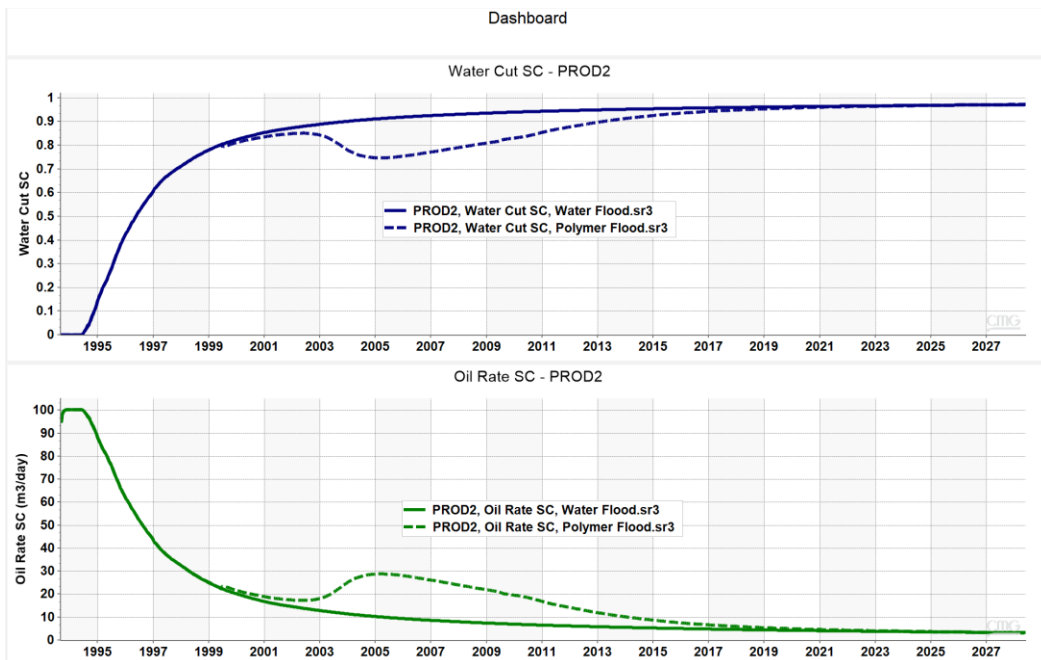
DATE 1999 6 1
INJECTOR MOBWEIGHT 'INJ'
INCOMP WATER 1.75 1.0
OPERATE MAX STW 719.3 CONT
DATE 2000 6 1

DATE 2009 6 1
INJECTOR MOBWEIGHT 'INJ'
INCOMP WATER
OPERATE MAX STW 719.3 CONT
DATE 2010 6 1
    
```

16) 其他部分与水驱模型基本一致，不再展开分析。

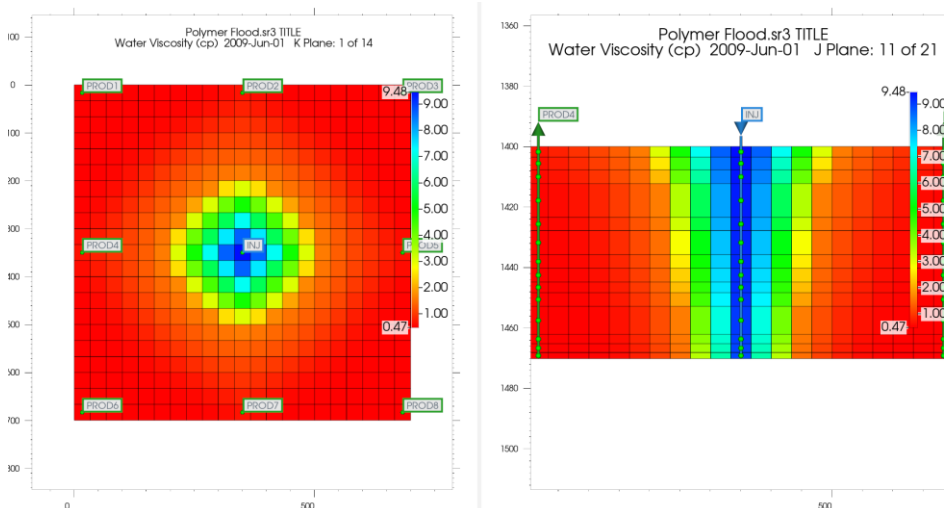
4 模拟结果分析

将水驱与聚合物驱模拟结果文件放在一起对比。

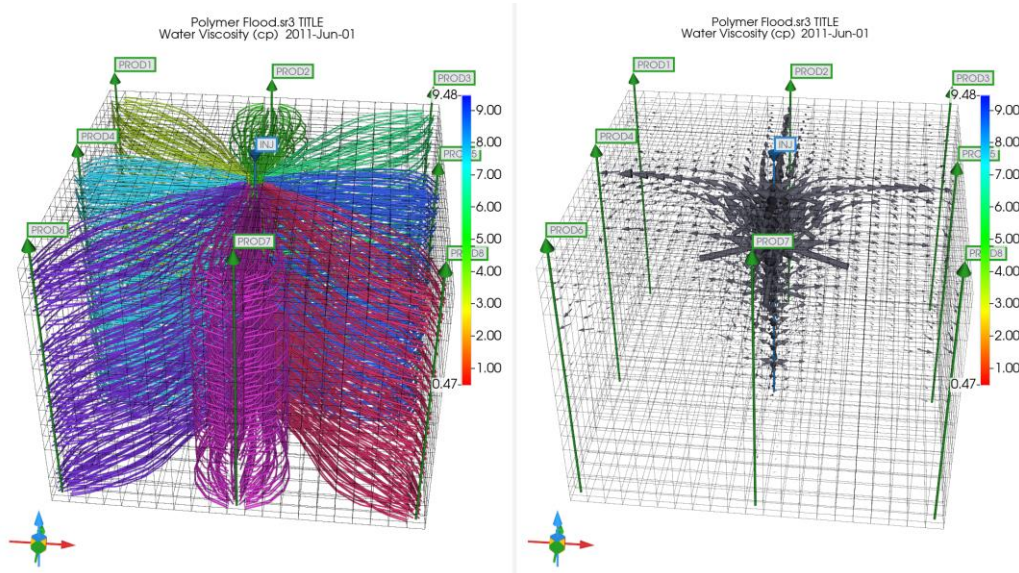


从含水率变化曲线来看，注聚后含水率有所下降。从日产油变化曲线来看，注聚后产量递减速度有所放缓。说明聚合物驱起到了一定的效果。

此外，需要在 Results 场图中查看影响注聚效果的诸多因素。比如，根据聚合物的机理，首先想到对水相的增粘效果，因此要查看水相粘度的变化。下图展示了注聚后某一时刻在平面和剖面上水相粘度的分布。



此外，为了进一步分析注聚效果，也可以使用后处理的流线和流动向量图来直观的显示注聚流动方向和注聚层位等信息。



需要说明的是，该模拟结果只是初步方案，效果不一定很理想。若要进一步提高开发效果，需要开展注聚方案优化。

此外，在使用过程向导时，不同的选择决定了显示的界面不同，甚至每一步显示的内容都会不同。本讲义只是展示其中一种情况，不代表是标准的操作。