

## 第 60 期：手把手教你建立 STARS 三元复合驱模型

编写人：王建国

### 目 录

1	数据准备 .....	2
2	打开水驱基础模型 .....	2
3	使用过程向导（Process Wizard） .....	3
	Step 1 - Choose Process 选择开发方式 .....	3
	Step 2 - Input Specific Data For ASP Models 输入三元复合驱参数 .....	3
	Step 3 - Component Selection 选择组分 .....	6
	Step 4 - Set Rock Fluid Regions 设置用于插值的相渗曲线 .....	6
	Step 5 - Set Interfacial Tension Values 设置界面张力表 .....	7
	Step 6 - Set Adsorption Values 设置吸附数据 .....	8
	Step 7 - Set Polymer Values 设置聚合物数据 .....	9
	Step 8 - Select Well, Dates, and Set Composition 设置注入浓度 .....	10
4	输入其他参数 .....	12
5	模拟结果查看 .....	15

近年来，随着三元复合驱（ASP）矿场实施规模的逐渐增大，越来越多的油藏工程师需要使用 STARS 模拟器开展三元复合驱数值模拟的工作。但是由于三元复合驱涉及的组分较多，机理复杂，让不少新手望而生畏。本文试图通过一个室内岩心实验模拟的实例，从准备数据开始，一步步地教新手（没做过三元复合驱，但有一定的数模基础）快速建立三元复合驱模型，并进行简单的模拟结果分析。

本文只讲操作，不讲机理，需要了解机理的朋友可以查看第 53 期讲义或相关文献。本文操作采用的软件版本是 2015.10 版。

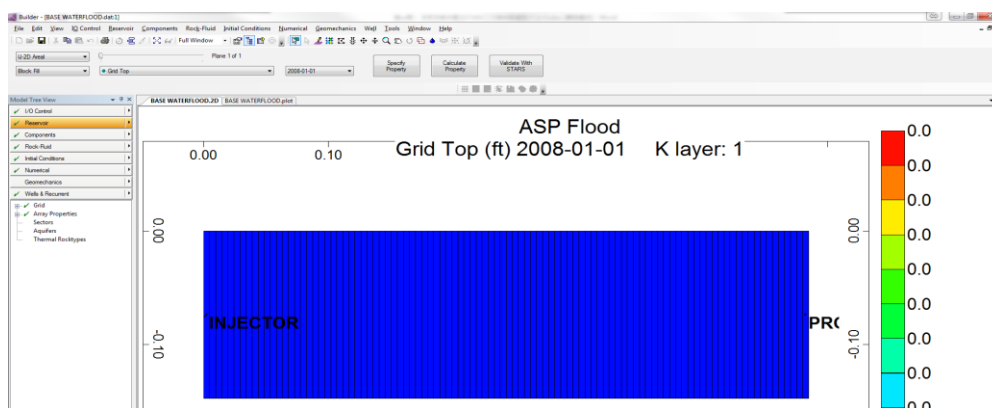
## 1 数据准备

提前准备好的数据在“ASP INPUT DATA.xlsx”文件里。数据中包含组分性质、吸附参数、界面张力、相渗曲线、聚合物降解半衰期、粘浓关系、剪切数据以及注入浓度方案等数据。

COMPOSITION					
Basis: 1 lb					
COMPONENT	MW lb/lbmole	Weight %	Moles	Mole Fraction	
WATER	18	98.65	0.054806	0.995365346	
POLYMER	8000	0.15	1.88E-07	3.40533E-06	
SURFACTANT	400	0.2	0.000005	9.08088E-05	
ALKALINE	40	1	0.00025	0.00454044	
			0.055061		

## 2 打开水驱基础模型

在 Builder 中打开“WATERFLOOD.dat”文件。这个是水驱岩心实验模型，只有“Water”和“Dead\_Oil”两个组分，我们要在此模型基础上建立三元复合驱模型。

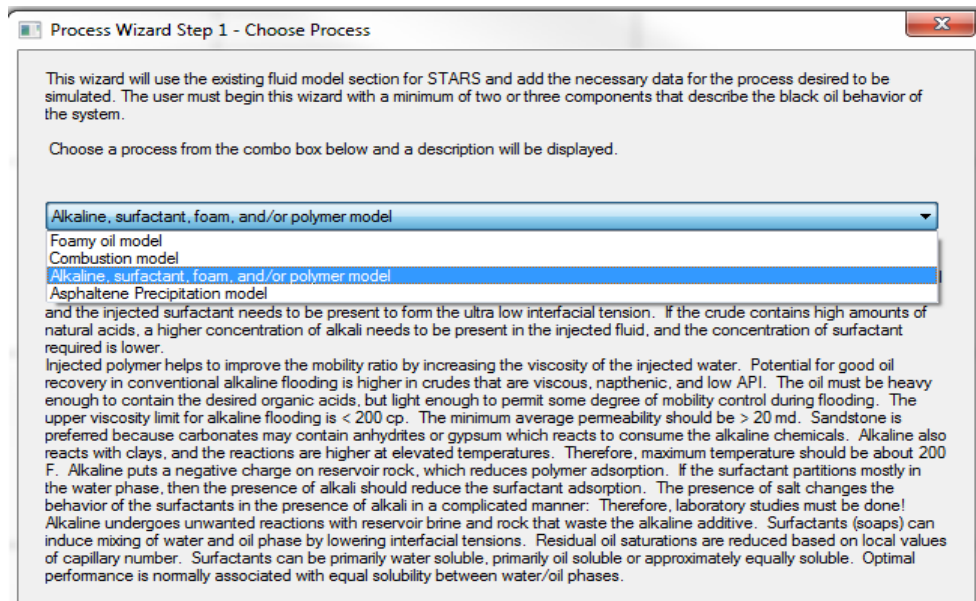


### 3 使用过程向导（Process Wizard）

在 Builder 中点击 Components → Process Wizard 打开过程向导。过程向导是帮助我们建立各种提高采收率模型的非常有力的工具。

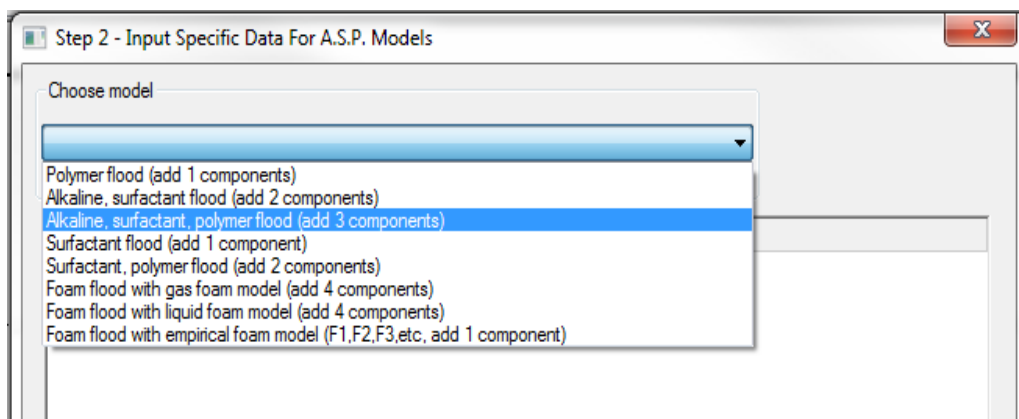
#### Step 1 - Choose Process 选择开发方式

这里选择“Alkaline, surfactant, foam and/or polymer model”选项，窗口中会出现碱、表面活性剂和聚合物驱的适用条件、部分机理等相关介绍。注意，这里看到的选项在不同的软件版本里名称略有不同。然后点击 Next。

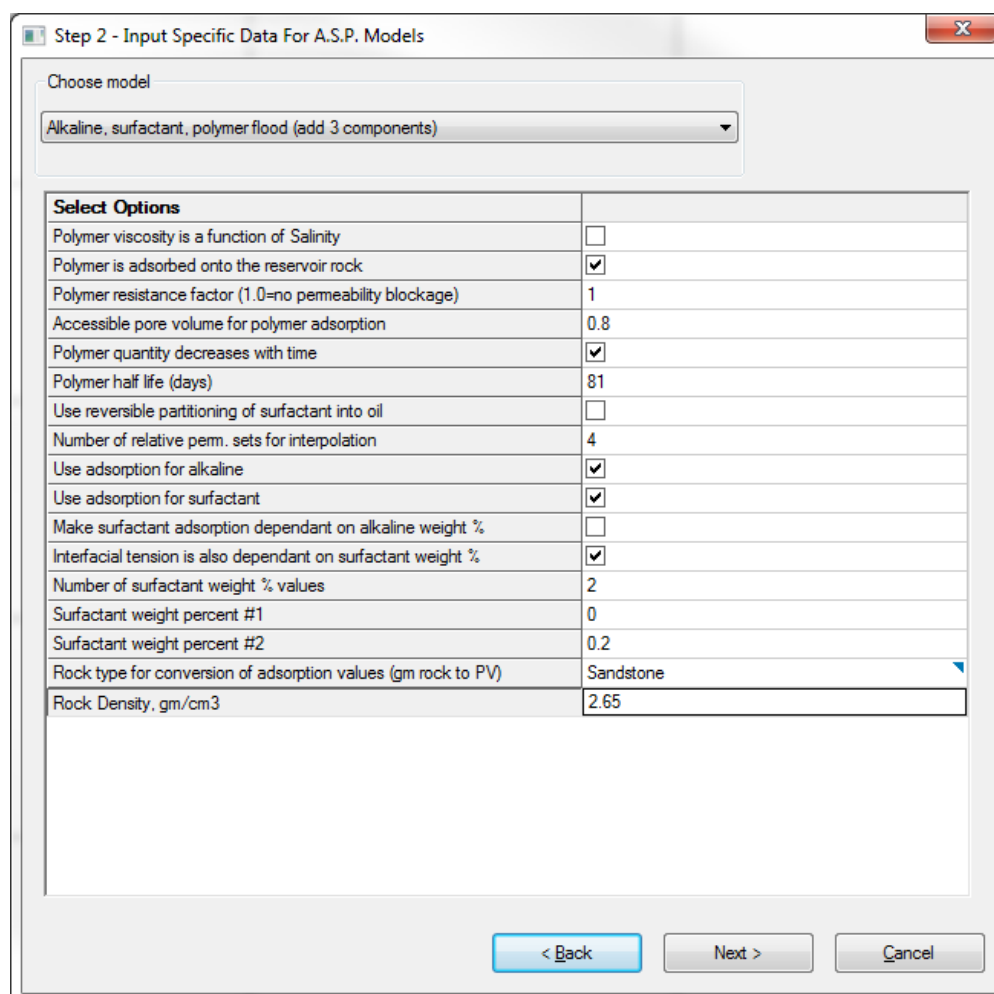


#### Step 2 - Input Specific Data For ASP Models 输入三元复合驱数据

本过程向导可以创建一元（聚合物）、二元（碱/表活剂、聚合物/表活剂）、三元（碱/表活剂/聚合物）以及三种泡沫驱模型，在这里我们选择第 3 项“Alkaline, surfactant, polymer flood（add 3 components）”。点击 Next。



然后，我们需要设置模拟三元复合驱的各种机理，如下图。



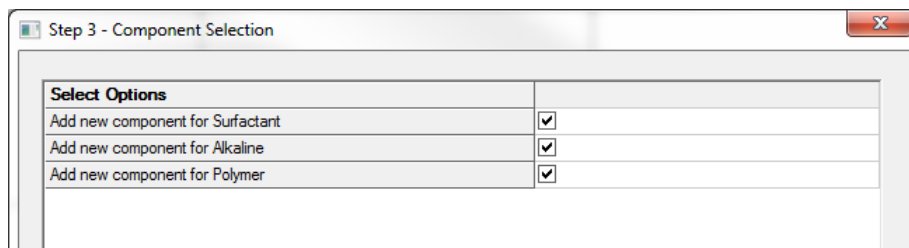
- ✓ Polymer viscosity is a function of Salinity，矿化度对聚合物粘度的影响，本例中没考虑。
- ✓ Polymer is adsorbed onto the reservoir rock，聚合物在油藏岩石上的吸附，本例中选择考虑。
- ✓ Polymer resistance factor (1.0=no permeability blockage)，本例中赋值 1，

表示不考虑渗透率降低。

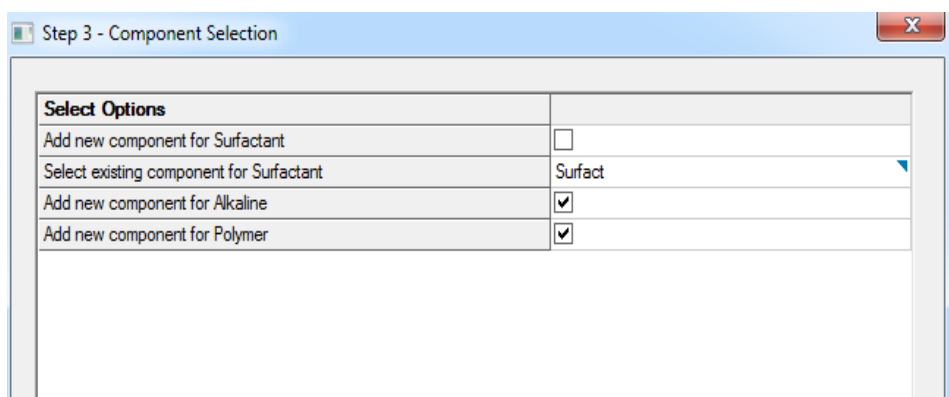
- ✓ Accessible pore volume for polymer adsorption, 聚合物能够吸附的可及孔隙体积, 本例中赋值 0.8。
- ✓ Polymer quantity decreases with time, 聚合物随时间的降解, 这里选择考虑时才能在下一项中输入半衰期, 本例中选择考虑。
- ✓ Polymer half life (days), 聚合物半衰期, 本例中赋值 81。【注意, 此项与上面一项共同定义聚合物降解的化学反应】。
- ✓ Use reversible partitioning of surfactant into oil, 聚合物组分劈分到油相中, 本例中不考虑。
- ✓ Number of relative perm. sets for interpolation, 用于相渗内插的曲线条数, 本例中赋值 4, 这意思是相渗曲线内插将在 4 套曲线之间进行。
- ✓ Use adsorption for alkaline, 碱的吸附, 本例中考虑。
- ✓ Use adsorption for surfactant, 表面活性剂的吸附, 本例中选择考虑。
- ✓ Make surfactant adsorption dependent on alkaline weight%, 表面活性剂的吸附量依赖于碱的质量百分浓度, 本例中不考虑。
- ✓ Interfacial tension is also dependent on surfactant weight%, 界面张力依赖于表面活性剂的质量百分浓度, 本例中选择考虑。
- ✓ Number of surfactant weight% values, 表面活性剂的质量百分浓度的个数, 本例中赋值 2。
- ✓ Surfactant weight percent #1, 表面活性剂的质量百分浓度的第 1 个数, 本例中赋值 0。
- ✓ Surfactant weight percent #2, 表面活性剂的质量百分浓度的第 2 个数, 本例中赋值 0.2。
- ✓ Rock type for conversion of adsorption values (gm rock to PV), 用于吸附值转换计算的岩石类型 (岩石的克数转成孔隙体积), 本例中选择砂岩。
- ✓ Rock density, gm/cm<sup>3</sup>, 岩石密度, 也是用于计算吸附量的, 本例中赋值 2.65。

### Step 3 - Component Selection 选择组分

这一步就是过程向导的 Step 3，是要添加模拟三元复合驱需要的组分，本例中要添加 3 个，分别为表面活性剂（Surfactant）、碱（Alkaline）和聚合物（Polymer）。点击 Next。

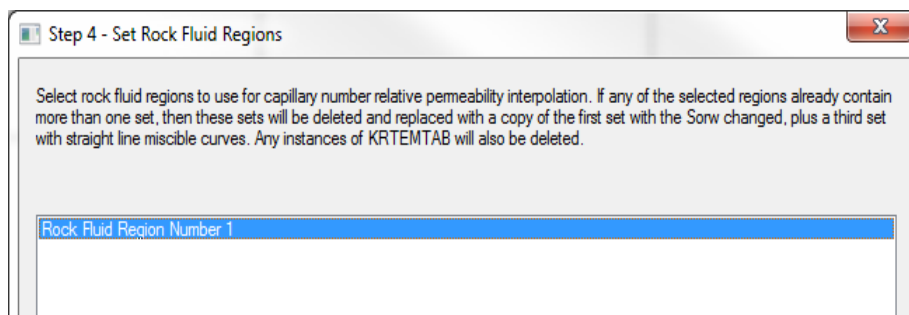


如果你当前的模型里已经有其中若干个组分，比如已经存在表面活性剂（Surfact），就可以从当前存在的组分里选择可以代表表面活性剂的组分，如下图所示。



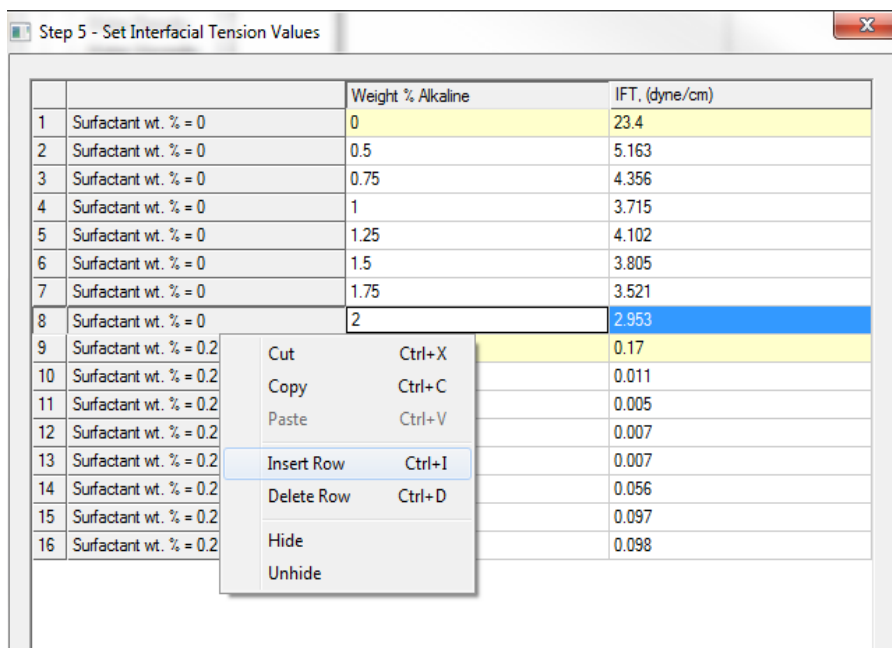
### Step 4 - Set Rock Fluid Regions 设置用于插值的相渗曲线

这一步是要设置进行相渗曲线内插的相渗编号，本例的模型中目前只有 1 条相渗曲线，所以就只能看到这 1 条，鼠标点中即可，点击 Next。



## Step 5 - Set Interfacial Tension Values 设置界面张力表

把“ASP INPUT DATA.xlsx”文件中“IFT TABLE”表的界面张力数据拷贝过来即可。但是拷贝前需要注意行数是否一致。比如，我们刚打开这个界面时，里面有 16 行，“IFT TABLE”表中的数据是 18 行，这就需要我们再添加 2 行。在第 8 行或最后一行点击鼠标右键，选择“Insert Row”，这样是为了给表面活性剂质量百分比浓度分别为 0 和 0.2 的情况各增加一行。注意，这里只需操作一次就可自动插入 2 行。



	Surfactant wt. %	Weight % Alkaline	IFT, (dyne/cm)
1	0	0	23.4
2	0	0.5	5.163
3	0	0.75	4.356
4	0	1	3.715
5	0	1.25	4.102
6	0	1.5	3.805
7	0	1.75	3.521
8	0	2	2.953
9	0.2		0.17
10	0.2		0.011
11	0.2		0.005
12	0.2		0.007
13	0.2		0.007
14	0.2		0.056
15	0.2		0.097
16	0.2		0.098

然后把“IFT TABLE”表中的后面 2 列数据复制粘贴过来即可，如下图。

点击 Next。

Step 5 - Set Interfacial Tension Values

		Weight % Alkaline	IFT, (dyne/cm)
1	Surfactant wt. % = 0	0	22.67
2	Surfactant wt. % = 0	0.25	0.1613
3	Surfactant wt. % = 0	0.5	0.2721
4	Surfactant wt. % = 0	0.75	0.3469
5	Surfactant wt. % = 0	1	0.5288
6	Surfactant wt. % = 0	1.25	0.5512
7	Surfactant wt. % = 0	1.5	0.568
8	Surfactant wt. % = 0	1.75	0.6674
9	Surfactant wt. % = 0	2	0.692
10	Surfactant wt. % = 0.2	0	0.181
11	Surfactant wt. % = 0.2	0.25	0.0163
12	Surfactant wt. % = 0.2	0.5	0.0113
13	Surfactant wt. % = 0.2	0.75	0.0042
14	Surfactant wt. % = 0.2	1	0.0044
15	Surfactant wt. % = 0.2	1.25	0.0045
16	Surfactant wt. % = 0.2	1.5	0.0061
17	Surfactant wt. % = 0.2	1.75	0.0047
18	Surfactant wt. % = 0.2	2	0.0025

< Back      Next >      Cancel

## Step 6 - Set Adsorption Values 设置吸附数据

这一步需要输入表面活性剂、碱和聚合物的吸附数据。注意，这里需要给出做实验使用的岩石的孔隙度，输入的吸附数据都是实验室测量的数据，单位都是 100 克岩石吸附的化学剂毫克数。过程向导自动帮我们吧实验室的数据转成 STARS 模拟器的单位。把“ASP INPUT DATA.xlsx”文件中“ADSORPTION”表的吸附数据拷贝过来即可，见下图。点击 Next。

**Step 6 - Set Adsorption Values**

Enter porosity of laboratory surfactant adsorption sample: 0.1692

	Weight % Surfactant	Surfactant Adsorption, mg/(100gm rock)
1	0	0
2	0.1	78.72

Enter porosity of laboratory alkaline adsorption sample: 0.1692

	Weight % Alkaline	Alkaline Adsorption, mg/(100gm rock)
1	0	0
2	0.1	109.3

Enter porosity of laboratory polymer adsorption sample: 0.1692

	Weight % Polymer	Polymer Adsorption, mg/(100gm rock)
1	0	0
2	0.1	10.8

< Back      Next >      Cancel

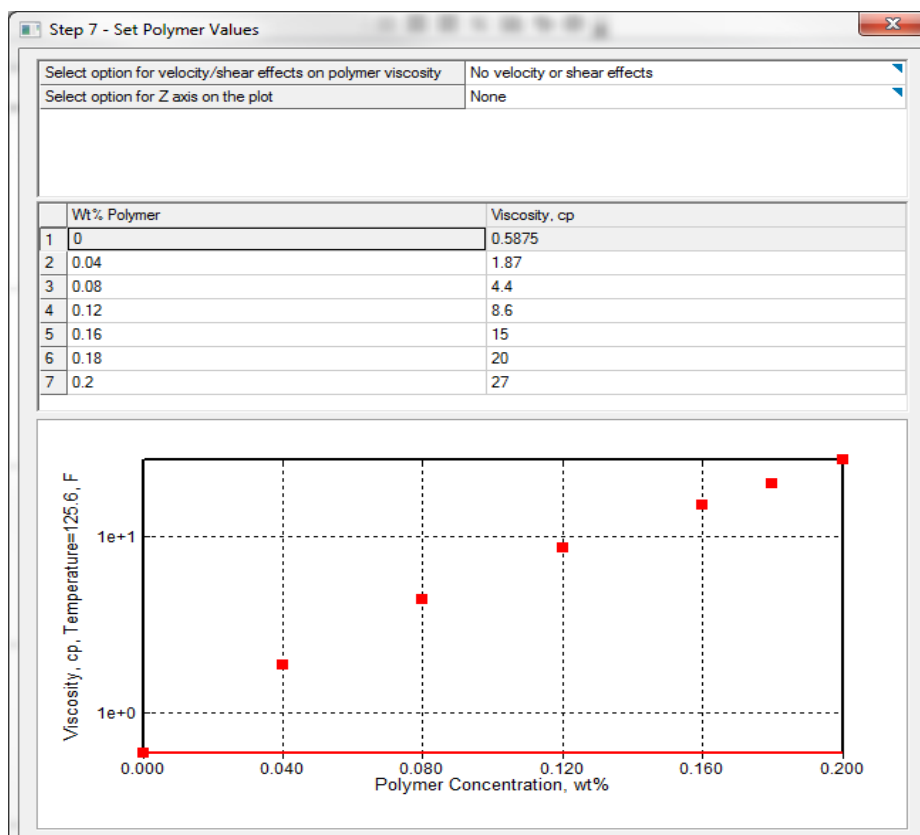
### Step 7 - Set Polymer Values 设置聚合物数据

这一步需要输入室内实验测量的聚合物粘浓关系数据。注意，这里输入的数据都是实验室的单位。聚合物浓度单位是质量百分数，粘度单位是 cp。

POLYMER VISCOSITY MODEL									
MINIMUM CONC	0	$f = (\ln(\text{MU}) - \ln(\text{MU}_w)) / (\ln(\text{MU}_p) - \ln(\text{MU}_w)) = (\ln(\text{MU}) + 53188) / 3.933077$							
MAXIMUM CON	4.51E-06							Cp	Cp
MAX VISC	30		Cp	MU	ln(MU)	MU		wt%	mg/L
f1	0	0	0.5875	-0.53188	0.587499		0	0	0.5875
f2	0.147465	4.51E-07		0.048111259	1.049287		0.02	200	1
f3	0.29493	9.02E-07		0.628102518	1.874051		0.04	400	1.87
f4	0.417107	1.35E-06		1.108634115	3.030217		0.06	600	3
f5	0.514308	1.80E-06		1.490933171	4.441238		0.08	800	4.4
f6	0.611415	2.26E-06		1.872862519	6.506896		0.1	1000	6.5
f7	0.683408	2.71E-06		2.15601656	8.636665		0.12	1200	8.6
f8	0.755401	3.16E-06		2.439170601	11.46353		0.14	1400	11.5
f9	0.827394	3.61E-06		2.722324642	15.21565		0.16	1600	15
f10	0.899387	4.06E-06		3.005478684	20.19588		0.18	1800	20
f11	0.97138	4.51E-06		3.288632725	26.80619		0.2	2000	27
	1			3.4011974	30				
Shear Rate		Wt % Polymer							
1/s		0.05	0.1	0.15					
0.6624		3	8	14					
6.624		2.5	6.5	13.2					
66.24		2.2	4.5	7.5					

Composition    ADSORPTION    IFT TABLE    REL PERM DATA    **POLYMER DATA**    INJECTION SCHEDULE    [X]

把“ASP INPUT DATA.xlsx”文件中“POLYMER DATA”表的粘浓数据拷贝过来即可。拷贝之前，如果这个界面中的空行比较少，应先通过点击鼠标右键，选择“Insert Row”，插入对应的行数。点击 Next。

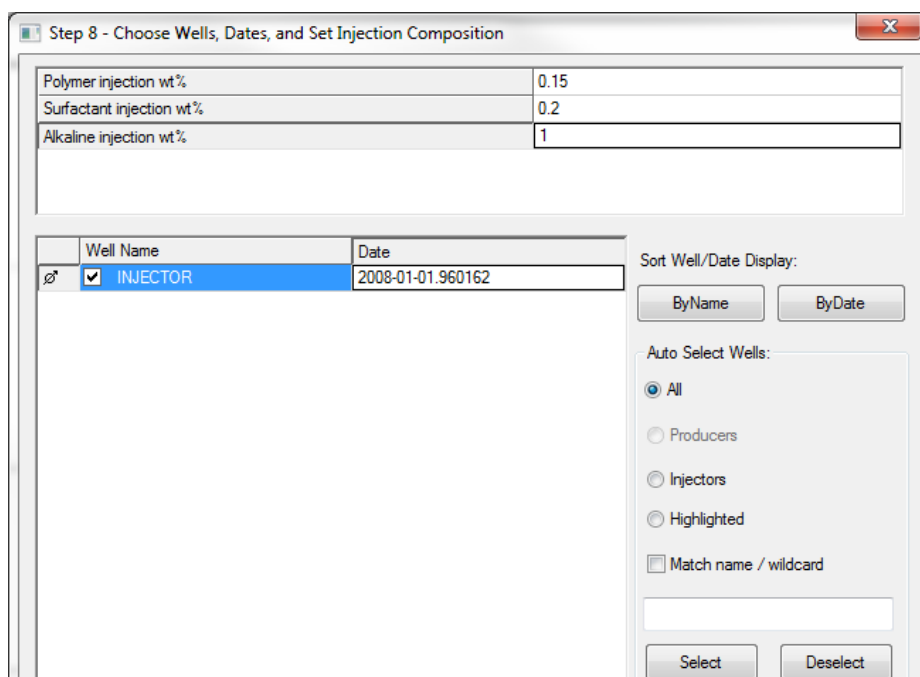


### Step 8 - Select Well, Dates, and Set Composition 设置注入浓度

向导的最后一步需要输入实际注入的各个组分的浓度数据。注意，这里输入的浓度单位是质量百分数，本例的数据如下图。Builder 会自动将质量百分数转换成\*.dat 文件中的摩尔分数。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2								INJECTION SCHEDULE			
3											
4											
5	Weight %		2008 1 1			2008 1 1.960162		2008 1 2.098066		2008 1 2.3287949	
6											
7	WATER		100			98.65		99.85		100	
8	ALKALINE		0			1		0		0	
9	POLYMER		0			0.15		0.15		0	
10	SURFACT		0			0.2		0		0	
11											
12											
13											
14											
15	Mole Fraction		2008 1 1			2008 1 1.960162		2008 1 2.098066		2008 1 2.3287949	
16											
17	WATER		1			0.99536535		0.9999966160		1	
18	ALKALINE		0			0.00454044		0		0	
19	POLYMER		0			0.00000341		3.41E-06		0	
20	SURFACT		0			0.00009081		0		0	
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											

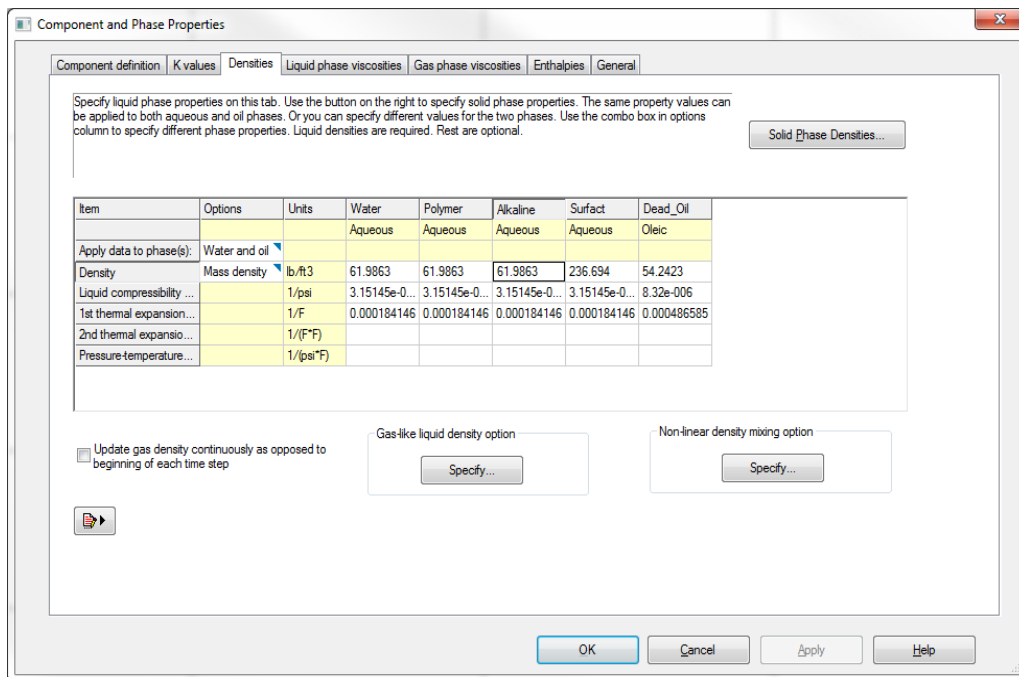
输日期 2008 1 1.960162 的 3 个化学剂质量浓度。然后选择注入井的井号（本例只有一口注入井），修改注入的时间。点击 Finish。至此，我们已经完成 Builder 过程向导的操作，模型另存为 ASP\_fromWizard.dat。



## 4 输入其他参数

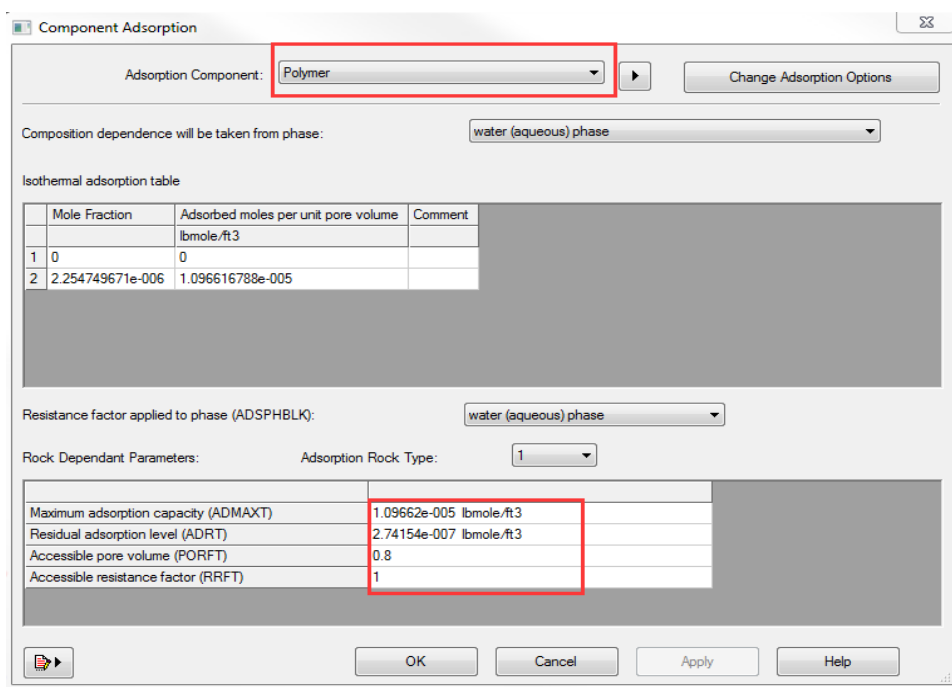
前面通过 Builder 的过程向导建立起了三元复合驱的框架模型，但是还有一些参数是这个过程向导无法完成的，需要我们手动添加或者修改。

首先是表面活性剂的密度需要修正一下，因为过程向导输入的不一定是正确的。在 Builder 中打开 Components→Densities。在这里找到表面活性剂 Surfact 的密度，发现这里的值是 236.694，跟我们的认识不一致，把这个数改成 61.9863。



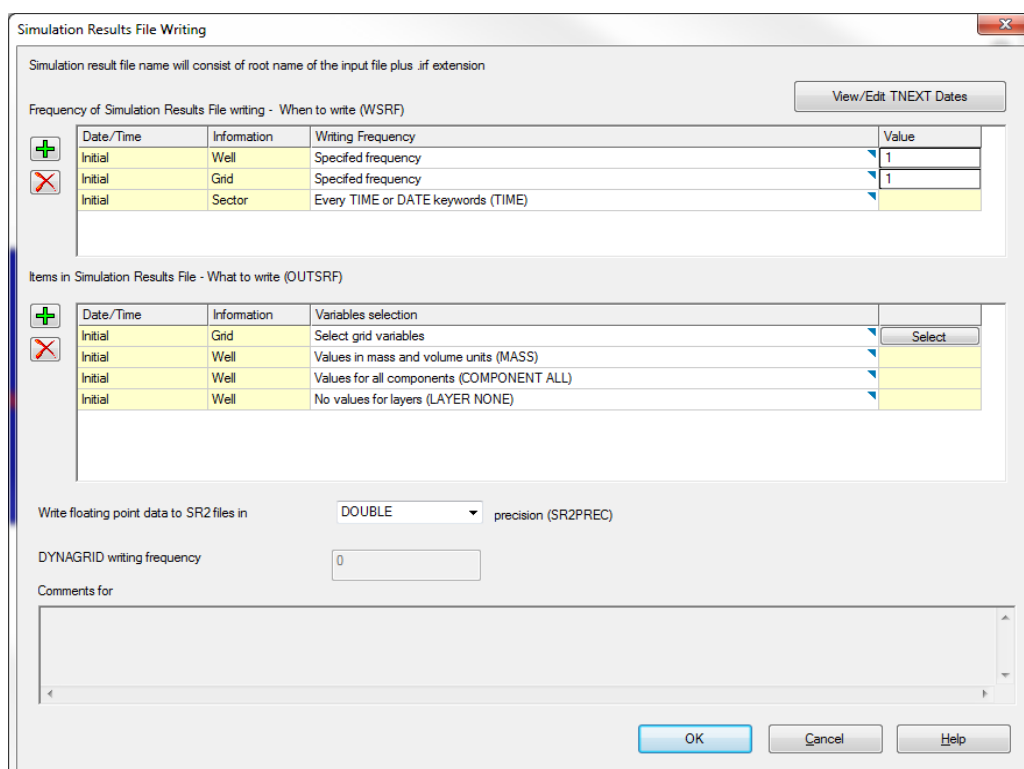
然后，相渗曲线部分可能也会出现一些问题，比如 SLT 表的 Krog 最大值与 SWT 表的 Kro 最大值是否一致？不一致的话，需要调整。

再检查一下转换后的吸附数据是否有问题。在 Builder 中打开 Rock-Fluid → Adsorption Components。选择不同的组分，分别检查最大吸附量、残余吸附量以及可及孔隙体积、残余阻力因子是否合理。对不合理的参数做出修改。



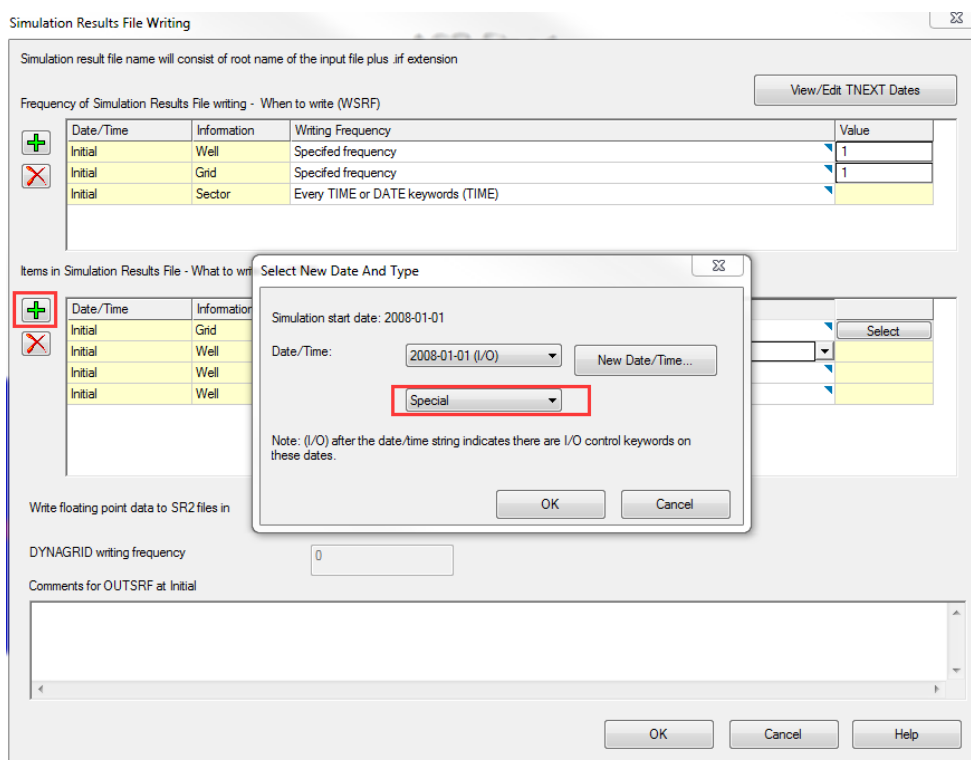
最后检查注入的时间和井号等是否正确。

如果经过检查确认过程向导导入的参数都是正确的，就可以设置一下参数的输出控制。本例所用的 dat 文件已经设置了常用参数的输出。

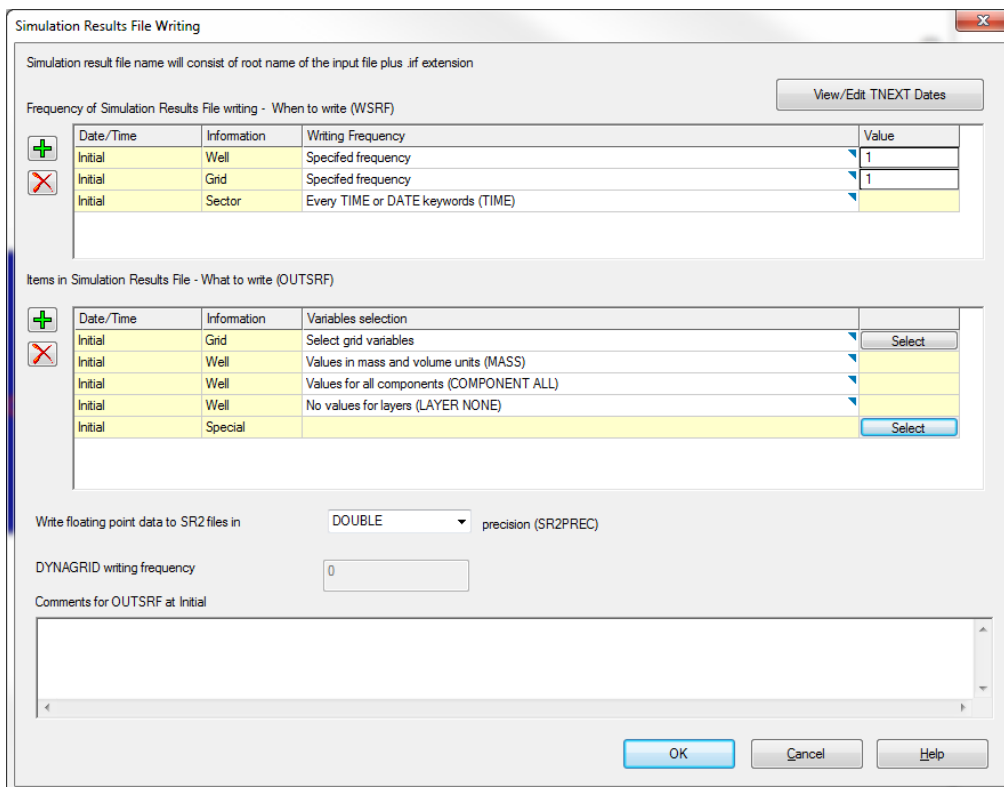


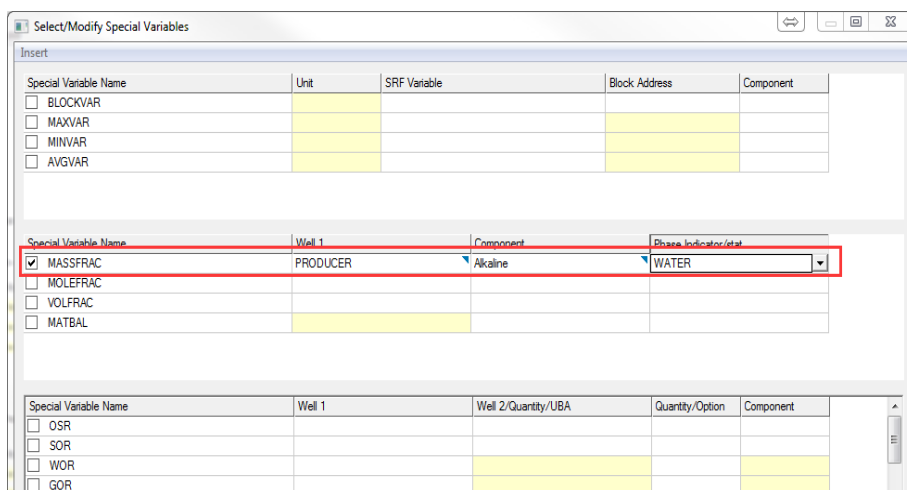
此处我们再增加一项输出，就是产出水中各组分的质量分数。点击 I/O Control → Simulation Results Output...，在弹出的界面中点击下方的加号，选择

Special，如下图所示。



点击 OK 后，Special 出现在列表底部。然后点击 Special 右端的 Select 按钮，在弹出的界面中下图进行设置。然后一路 OK，最后保存，提交计算。





## 5 模拟结果查看

把计算生成的 irf 文件拖到 Results Graph 中打开，添加曲线，在 Origin Type 中选择 Special，点击 OK，输出产出液中碱的质量分数曲线。用户也可以根据需要输出其他参数进行查看，在此不一一介绍。

