

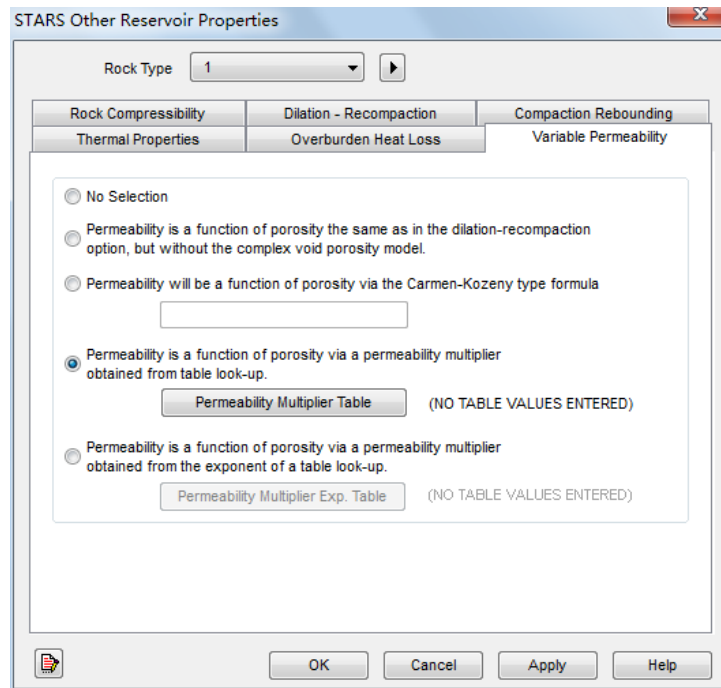
第 52 期：BLOCKAGE 关键字模拟结垢堵塞的方法

编写人：孙明月

一、堵塞方法简介

在 STARS 软件中模拟渗透率随时间变化大体可以分为两类。

第一类是孔隙度与渗透率相关的变化；通过孔隙度的变化与渗透率相关联，可以通过系数关联、函数关联、表格关联等如下图所示。更复杂的流固耦合可以通过地质力学模型（Geomechanics）实现。



第二类是捕集固相浓度与渗透率相关的变化。通过 BLOCKAGE 关键词来计算模型中捕集固相浓度与有效渗透率的关系，本讲义将详细介绍其使用方法。

二、BLOCKAGE 堵塞方法的应用

1、关键词*BLOCKAGE 的相关公式：

格式：

```
*BLOCKAGE phase_des (comp_name)
{ effp1t rrsft }
*SOLIDMIN sldmin
```

定义:

***BLOCKAGE**: 这个表示的是与流度限制因子相关的渗透率, 输入一套 **effp1t** 与 **rrsft** 相对应的表。

phase_des 流动限制相可以应用于:

'W' - 水相;

'O' - 油相;

'G' - 气相;

'WG' - 水和气相;

'ALL' - 油、气和水三相。

comp_name : 引入捕集固相的浓度可以引起流动限制因子的变化。

effp1t: 渗透率在表里边的值, 一定要大于 0.

rrsft: 捕集组分的流动限制因子, (m^3/gmol | ft^3/lbmol | cm^3/gmol). 它必须是正值。

sldmin: 决定开始堵塞的最小固相浓度值。

默认值:

如果 ***BLOCKAGE** 不存在, **rrsft** = 0 为默认值

如果 **comp_name** 不存在, 那么组分数为 **numy+1** 为默认值

如果 ***SOLIDMIN** 不存在, **sldmin** = 0 为默认值

条件: 这个关键词只有在固相组分时才有效。

公式:

$$\text{Effective permeability} = (\text{absolute perm}) \times (\text{oil relative perm}) / R_{fo}$$

$$R_{fo} = \prod_j [1 + \text{RRSFT}_j \times \max(0, C_{sj} - \text{sldmin})]$$

式中:

C_{sj}: 捕集固相的浓度, gmol/m^3

RRSFT: 捕集组分引起的流动限制因子 (m^3/gmol | ft^3/lbmol | cm^3/gmol);

sldmin: 启动阻塞固相的最小浓度 (gmol/m^3 | lbmol/ft^3 | gmol/cm^3);

Effective permeability: 有效渗透率的值, **md** ;

Absolute perm: 绝对渗透率, **md** ;

Oil relative perm: 油相的相对渗透率。

2、BLOCKAGE 使用经验介绍:

BLOCKAGE 堵塞模拟的优势: 结垢量与渗透率的相关性不受其他参数的影响, 如压缩系数; 且稳定性强。

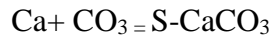
局限性: 由于改变的是相对渗透率, 而非绝对渗透率, 因此不能通过井指数来反应堵塞的程度。

3、BLOCKAGE 在模型应用中的范例分析

在注水过程中通常会遇到注入井近井地带结垢的现象, 使得注入井井口压力上升。建立结垢模型“blockage.dat”, 采用反九点井网的八分之一, 作为机理模型。注入井注水速度是 $12.5\text{m}^3/\text{d}$, 注入水中含有钙离子摩尔分数为 0.0004, 碳酸根离子摩尔分数为 0.0004, 水的摩尔分数为 0.9992。

模型组分设计: 共有 5 个组分, 分别是水、钙离子、碳酸根离子、油相和固相; 模拟注入水中钙离子与碳酸根离子反应形成沉淀。

化学反应方程:



模型设计组分

组分	符号	分子量	描述
1	H ₂ O	18	水
2	Ca	40	钙离子
3	CO ₃	60	碳酸根离子
4	DEADOIL	225	油相
5	S-CaCO ₃	100	固相

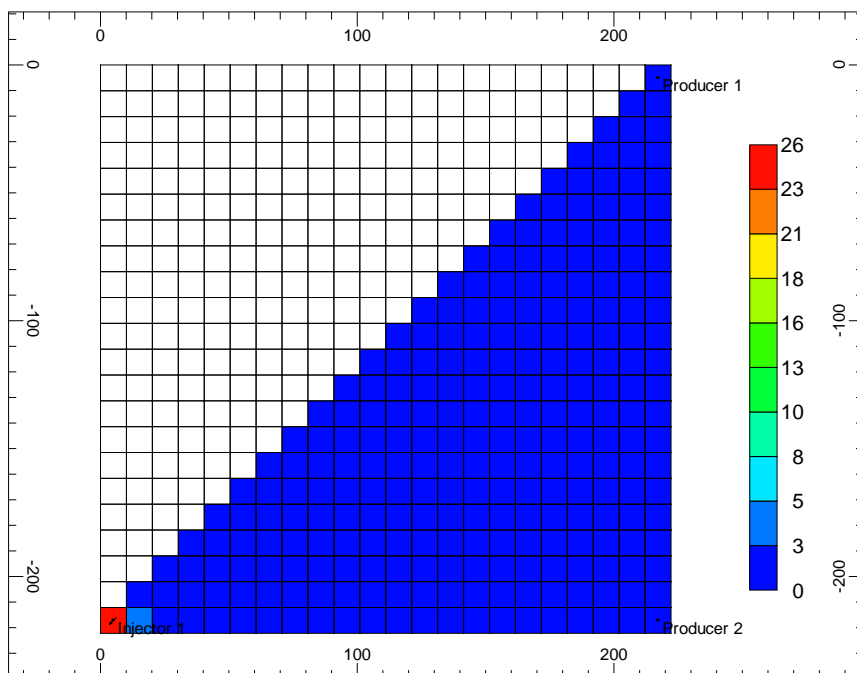


图 1 封堵模型结垢后期固相摩尔浓度场图

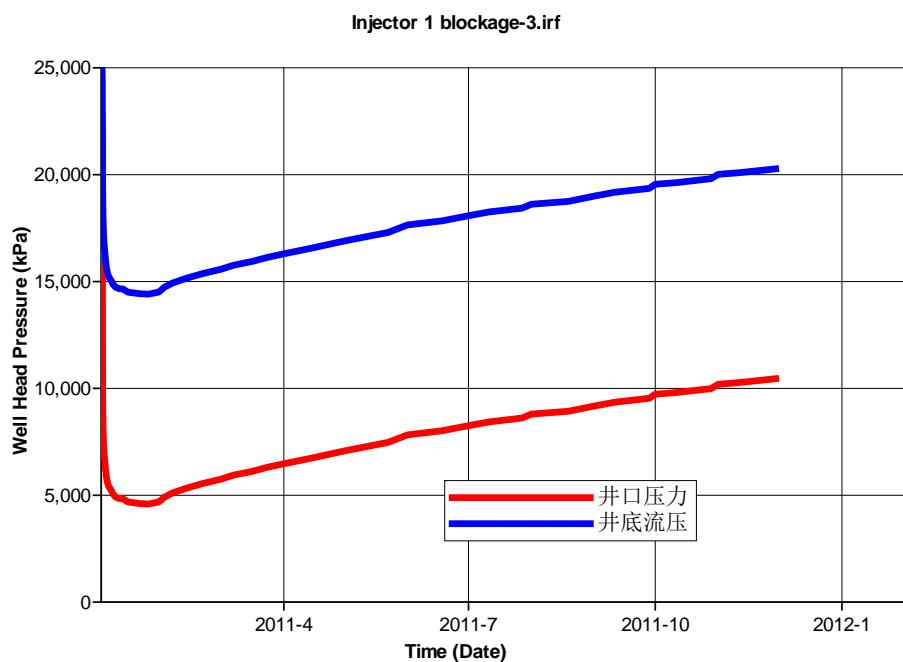


图 2 注入井井底流压与井口压力曲线

如图 1 和图 2 所示，随着水的注入，在近井地带形成碳酸钙结垢，从曲线图中可以看出，随着时间的增加，注入井井底流压和井口压力均升高。

附: 结垢堵塞算例 “blockage.dat” 如下所示:

*****输入输出控制数据部分*****

```

RESULTS SIMULATOR STARS 201110
INUNIT SI
WSRF WELL 1
WSRF GRID TIME
WSRF SECTOR TIME
OUTSRF GRID MOLE ADSORP ADSPCMP FPOROS IFT KRG KRGCW KRO
KROCW KRW KRWIRO PERMEFFI PERMEFFJ PERMEFFK PRES RFG RFO RFW SG
SO SOLCONC SW TEMP VISO VPOROS W WATFRFL X Y Z
OUTSRF WELL LAYER NONE
OUTSRF SPECIAL BLOCKVAR PERMI 1,22,1
MASSBASIS
PARTCLSIZE 1e-017
WPRN GRID 0
OUTPRN GRID ALL
OUTPRN RES ALL
OUTPRN WELL ALL
**$ Distance units: m
RESULTS XOFFSET          0.0000
RESULTS YOFFSET          0.0000
RESULTS ROTATION          0.0000 **$ (DEGREES)
RESULTS AXES-DIRECTIONS 1.0 -1.0 1.0

```

*****油藏描述数据部分*****

```

GRID VARI 22 22 2
KDIR DOWN
DI IVAR
  22*10.10153
DJ JVAR
  22*10.10153
DK ALL
  968*5
DTOP
  484*1000
VAMOD 2  0.5  0.5 1 0.5
VAMOD 3  0.5  1 0.5 0.5
VAMOD 4  0.5  1 1 0.5
VAMOD 5  0.125 0.5 0.5 0.125
VAMOD 6  0.25 0.5 0.5 0.25
**$ Property: NULL Blocks Max: 1 Min: 1
**$ 0 = null block, 1 = active block
NULL ALL

```

```

21*0 1 20*0 2*1 19*0 3*1 18*0 4*1 17*0 5*1 16*0 6*1 15*0 7*1 14*0
8*1 13*0 9*1 12*0 10*1 11*0 11*1 10*0 12*1 9*0 13*1 8*0 14*1 7*0 15*1
6*0 16*1 5*0 17*1 4*0 18*1 3*0 19*1 2*0 20*1 0 43*1 21*0 1 20*0 2*1
19*0 3*1 18*0 4*1 17*0 5*1 16*0 6*1 15*0 7*1 14*0 8*1 13*0 9*1 12*0
10*1 11*0 11*1 10*0 12*1 9*0 13*1 8*0 14*1 7*0 15*1 6*0 16*1 5*0 17*1
4*0 18*1 3*0 19*1 2*0 20*1 0 43*1
**$ Property: Porosity   Max: 0.25   Min: 0.25
POR CON           0.25
**$ Property: Permeability I (md)   Max: 500   Min: 100
PERMI KVAR
500 100
PERMJ EQUALSI
PERMK EQUALSI * 0.2
**$ Property: Block Vol/Area Modifier Type   Max: 6   Min: 1
VATYPE ALL
21*1 5 20*1 4 3 19*1 4 1 3 18*1 4 2*1 3 17*1 4 3*1 3 16*1 4 4*1 3
15*1 4 5*1 3 14*1 4 6*1 3 13*1 4 7*1 3 12*1 4 8*1 3 11*1 4 9*1 3 10*1
4 10*1 3 9*1 4 11*1 3 8*1 4 12*1 3 7*1 4 13*1 3 6*1 4 14*1 3 5*1 4
15*1 3 4*1 4 16*1 3 3*1 4 17*1 3 2*1 4 18*1 3 1 4 19*1 3 5 20*2 6
21*1 5 20*1 4 3 19*1 4 1 3 18*1 4 2*1 3 17*1 4 3*1 3 16*1 4 4*1 3
15*1 4 5*1 3 14*1 4 6*1 3 13*1 4 7*1 3 12*1 4 8*1 3 11*1 4 9*1 3 10*1
4 10*1 3 9*1 4 11*1 3 8*1 4 12*1 3 7*1 4 13*1 3 6*1 4 14*1 3 5*1 4
15*1 3 4*1 4 16*1 3 3*1 4 17*1 3 2*1 4 18*1 3 1 4 19*1 3 5 20*2 6
**$ Property: Pinchout Array   Max: 1   Min: 1
**$   0 = pinched block, 1 = active block
PINCHOUTARRAY CON           1
END-GRID
ROCKTYPE 1
PRPOR 11600
CPOR 6.9E-5
THCONR 1.29E+5
THCONW 5.99E+4
THCONO 2.13E+4
THCONG 1.9E+3
HLOSSPROP OVERBUR 2.2E+6 1.055E+5
          UNDERBUR 2.2E+6 1.055E+5
*****流体组分数据部分*****
**$ Model and number of components
MODEL 5 4 4 3
COMPNAME 'H2O' 'Ca' 'CO3' 'DEADOIL' 'S-CaCO3'
CMM
0.018 0.04 0.06 0.225803 0.1
PCRIT
    
```

```

0 0 0 0
TCRIT
0 0 0 0
KV1
0 0 0 0
KV2
0 0 0 0
KV3
0 0 0 0
KV4
0 1 1 1
KV5
0 0 0 0
SOLID_DEN 'S-CaCO3' 2700 5.25e-007 0.000154872
MOLDEN
1006.89 1006.89 1006.89 955.977
CP
5.25e-007 5.25e-007 5.25e-007 7.05e-007
CT1
0.000154872 0.000154872 0.000154872 0.000455
VISCTABLE
**$      temp
          15  1.11307  1.11307  1.11307      100
          100 0.873958 0.873958 0.873958      100
**$ Non-equilibrium blockage
BLOCKAGE W 'S-CaCO3'  **捕集固相'S-CaCO3', 抑制水的流动性。
**$      effplt      rrsft  **渗透率  流动限制因子
          100         0.1
          500         0.5
          1000        1
SOLIDMIN  2          **开始堵塞的最小固相浓度值
**$ Reaction specification
STOREAC
0 1 1 0 0
STOPROD
0 0 0 0 1
RORDER
0 2 0.1 0 0
FREQFAC 20
EACT 70
*****岩石流体数据部分*****
*ROCKFLUID
*KRTYPE *CON 1

```

RPT 1 WATWET

** Water-Oil Relative Permeabilty

**\$	Sw	krw	krow
SWT			
	0.32	0	1
	0.3367068966	0.00296755	0.9
	0.3397045455	0.0035	0.889635
	0.4379310345	0.0475177	0.55
	0.4590909091	0.057	0.486198
	0.545	0.108277	0.22716
	0.5984482759	0.140179	0.066
	0.6484090909	0.17	0.0335297
	0.7	0.247533	0
	0.7681818182	0.35	0
	0.8965517241	0.709939	0
	1	1	0

** Liquid-Gas Relative Permeability

**\$	Sl	krG	krog
SLT			
	0.35	1	0
	0.46	0.545749	0.000681377
	0.4952941176	0.4	0.0009
	0.5870588235	0.25	0.009
	0.64	0.190385	0.0401538
	0.7247058824	0.095	0.09
	0.76	0.0738462	0.14
	0.8164705882	0.04	0.22
	0.88	0.0192308	0.406923
	0.9082352941	0.01	0.49
	1	0	1

*KRGCW 0.1

*****初始化设置数据部分*****

INITIAL

VERTICAL DEPTH_AVE

INITREGION 1

REFPRES 9800

REFDEPTH 1000

TEMP CON 70

**\$ Property: Oil Saturation Max: 0.8 Min: 0.7

SO KVAR

0.8 0.8

MFRAC_WAT 'H2O' CON 1

```

MFRAC_WAT 'Ca' CON          0
MFRAC_WAT 'CO3' CON         0
CONC_SLD 'S-CaCO3' CON      0
*****数值方法控制数据部分*****
NUMERICAL
CONVERGE MAXRES  5e-006
NEWTONCYC 30
NORTH 80
SDEGREE 2
AIM STAB BACK 20
DW-RES-UPSTREAM ON
*****井与生产动态数据部分*****
RUN
DATE 2011 1 1
DTWELL 0.01
GROUP 'Group-2' ATTACHTO 'Group-1'
WELL 'Injector 1' FRAC 0.125 ATTACHTO 'Group-2'
INJECTOR MOBWEIGHT EXPLICIT 'Injector 1'
PHWELLBORE SAMODEL
  DEPTH          1000.0      **$ (m)
  RTUBIN         0.15       **$ (m)
  SURFACE_TEMP   90.0       **$ (C)
**注入水中添加钙离子和碳酸根离子
INCOMP WATER 0.9992 0.0004 0.0004 0.0
TINJW 20.0
PINJW 4000.0
OPERATE MAX STW 100.0 CONT
OPERATE MAX BHP 25000.0 CONT
**$ UBA ff Status Connection
**$ rad geofac wfrac skin
GEOMETRY K 0.086 0.249 1.0 0.0
PERF GEOA 'Injector 1'
**$ UBA ff Status Connection
  1 22 1 1.0 OPEN FLOW-FROM 'SURFACE' REFLAYER
  1 22 2 1.0 OPEN FLOW-FROM 1

WELL 'Producer 1' FRAC 0.125 ATTACHTO 'Group-2'
PRODUCER 'Producer 1'
OPERATE MIN BHP 200. CONT
**OPERATE MAX STL 40. CONT
**$ UBA ff Status Connection
**$ rad geofac wfrac skin
GEOMETRY K 0.086 0.249 1.0 0.0

```

```

PERF GEOA 'Producer 1'
**$ UBA      ff  Status Connection
      22 1 1  1.0 OPEN   FLOW-TO 'SURFACE' REFLAYER
      22 1 2  1.0 OPEN   FLOW-TO  1
**$
**$
WELL 'Producer 2' FRAC 0.25 ATTACHTO 'Group-2'
PRODUCER 'Producer 2'
OPERATE MIN BHP 200. CONT
**OPERATE MAX STL 30. CONT
**$ UBA      ff  Status Connection
**$          rad geofac wfrac skin
GEOMETRY K 0.086 0.249 1.0 0.0
PERF GEOA 'Producer 2'
**$ UBA      ff  Status Connection
      22 22 1  1.0 OPEN   FLOW-TO 'SURFACE' REFLAYER
      22 22 2  1.0 OPEN   FLOW-TO  1
DATE 2011 2  1.00000
OPEN 'Injector 1'
DATE 2011 3  1.00000
OPEN 'Injector 1'
DATE 2011 4  1.00000
OPEN 'Injector 1'
DATE 2011 5  1.00000
OPEN 'Injector 1'
DATE 2011 6  1.00000
OPEN 'Injector 1'
DATE 2011 7  1.00000
OPEN 'Injector 1'
DATE 2011 8  1.00000
OPEN 'Injector 1'
DATE 2011 9  1.00000
DATE 2011 10 1.00000
DATE 2011 11 1.00000
DATE 2011 12 1.00000
STOP

```