

第 91 期：STARS 核心技术（1）· 灵活的组分定义

编写人：王建国 吴晓云

STARS 几乎可以模拟所有的热采、化学提高采收率等各种开发过程，被称为是万能的模拟器。它的万能模拟主要基于四个核心技术，即灵活的组分定义，广义的化学反应，自定义相平衡以及全功能饱和度函数技术。掌握好这些技术，数模高手可以根据需要灵活定义组分和相态，科学设计反应机理和速度，准确表征开发过程中岩石和流体时空变化，再复杂的模拟都能游刃有余。掌握好这些技术，各石油公司的油藏研究人员经过二次开发，研制出拥有自主产权的模拟方法和工作流程，例如“纳米聚合物驱模拟方法（马来西亚石油）”“油页岩原位改质模拟技术（壳牌）”，“天然气水合物模拟（日本石油）”等，助力各种创新研究。

刚接触 STARS 新用户会接触到类似固相组分、K 值、相渗插值以及反应速度等区别于常规模拟的陌生概念，不知如何理解和运用。我们将努力推出关于这些技术的系列讲义，讲解相关的概念和应用方法，希望能够抛砖引玉，帮助大家用好 STARS，做好数值模拟。本期讲义为该系列第一篇，介绍组分和相的概念、性质，组分设计方法以及后处理中组分参数的输出等。

目 录

1	什么是组分？	3
2	组分分类	3
2.1	油相组分	3
2.2	气相组分	3
2.3	水相组分	4
2.4	固相组分（吸附相组分）	4
3	STARS 组分定义	4
3.1	流体模型中组分定义	4
3.2	初始化中组分定义	5
4	相	6

4.1	相和参考相.....	6
4.2	相与组分的关系.....	7
5	相的密度.....	7
5.1	组分密度输入.....	7
5.2	相的密度计算.....	8
6	相的粘度.....	9
7	热容和焓.....	10
8	常见开发方式的组分设计.....	11
8.1	黑油模拟.....	11
8.2	热采模拟.....	12
8.3	ES-SAGD.....	12
8.4	火烧油层.....	12
8.5	凝胶调剖.....	13
8.6	三元复合驱.....	13
8.7	经验法模拟泡沫.....	14
8.8	机理法泡沫模拟.....	14
8.9	乳化模拟.....	15
9	后处理中相和组分参数的输出.....	16
9.1	相参数的输出.....	16
9.1.1	三相饱和度及固相浓度.....	16
9.1.2	三相密度.....	16
9.1.3	三相粘度.....	17
9.1.4	三相相对渗透率.....	17
9.1.5	三相阻力因子.....	18
9.1.6	三相在油藏和地面条件下的流动向量.....	18
9.2	组分参数的输出.....	18
9.2.1	各组分摩尔分数.....	18
9.2.2	各组分的密度和粘度.....	19
9.2.3	各组分的相平衡常数.....	19

1 什么是组分?

组分的英文名称是“Component”，百度百科的定义为“确定平衡系统中的所有各项的组成所需要的最少数目的独立物种称为组分”。在油藏模拟中，它是指通常用于表征储层流体的最小单元，可用临界温度、临界压力、分子量、密度、粘度等参数描述组分的性质。

2 组分分类

按组成分，STARS 中的组分为纯组分和拟组分。纯组分是单分子物质，如水、甲烷等。拟组分是一组分子聚集在一起并有固定分布的混合物，如分子量在 200 到 500 之间的所有碳氢化合物可以用一个拟组分来描述，黑油模型中的油和气也是拟组分。

一般情况下，根据组分存在的状态可以分为油、气、水、固四类。

2.1 油相组分

油相组分是指仅存于油相中或以油相为参考相的组分，分为纯组分和拟组分。纯组分，如碳氢化合物 C_nH_m ；拟组分，如脱气油组分 C7+、C11+等。拟组分的划分一般依模拟需求而定，可以将所有脱气油设为一个拟组分，也可以使用 WinProp 将脱气油劈分成若干个拟组分。

2.2 气相组分

根据在液相中的溶解性/凝结性，气相组分可分为两类：一类是不溶于液相或者溶解度到可以忽略的气相组分，如 N_2 、 O_2 等；另一类是可以溶于液相的气相组分，如 CH_4 、 CO_2 等，也叫溶解气组分。

溶解气组分需定义其在液相中的性质，如液相密度、粘度以及相平衡常数(K 值)等，气相性质(如密度、粘度等)无需设置，使用内部缺省计算。

溶解气组分的液相性质参数(粘度、密度等)是无法直接测量的，可通过混合计算公式反算或者 WinProp 拟合得出。

典型的例子是火烧模拟中的气组分油 O_2 和 N_2 (即空气)、 CO 、 CO_2 、 CH_4 等, 其中 CO_2 和 CH_4 是溶解气组分, N_2 、 O_2 、 CO 是非溶解气组分。

2.3 水相组分

水相组分也有两类:

一类是标准水组分 (H_2O), 其性质参数 (如气液相平衡常数、密度、粘度和热容等) 都有内部缺省值, 无需用户定义。

另一类是可溶于水相的其他组分, 例如聚合物、水溶性表面活性剂、碱、水相示踪剂、盐或离子等。这些组分通常是用户自定义组分, 需要给出组分的性质参数。

2.4 固相组分 (吸附相组分)

固相组分是指以固体形式存在的组分, 例如, 天然气水合物、重质油成分裂解后沉积在岩石表面的焦炭、沉淀的沥青质、岩石颗粒、出砂模拟的疏松砂岩等。固相组分通常可以在一定条件下由液相组分转化而来, 也可以转成液相组分。

吸附组分也是一种固相组分, 是一种不可流动的组分, 吸附量通常随组分浓度变化, 软件中使用等温吸附曲线来表征。典型的例子有吸附后的聚合物、碱等。

3 STARS 组分定义

3.1 流体模型中组分定义

进行数值模拟研究时, 首先需要根据模拟开发过程的需要确定组分的个数和类型, 以及每个组分存在的相。

定义组分油很多种方法, 可根据实际情况直接导入 Winprop 生成的组分模型, 可从组分库 (Library) 中添加标准组分, 也输入自定义组分。

在 STARS 的流体模型部分, 不是直接定义油气水相, 而是通过定义组成各个相的组分来完成的。

STARS 的流体模型部分通常由关键字 *MODEL 开始, 格式如下:

```
*MODEL ncomp numy numx (numw)
```

MODEL 后面跟 4 个数字, 其含义是:

`ncomp` 表示总的组分个数;

`numy` 表示流体组分个数;

`numx` 表示液体组分个数;

`numw` 表示水组分个数。

按照总组分数 → 流体组分数 → 液相组分数 → 水相组分数逐渐减少的规律, Model 中各的定义如下:



例如:

MODEL 4 4 2 1 的含义为:

总的组分数是 4, 流体组分数是 4 (没有固相组分), 液相组分数是 2, 水相组分数是 1。意思该模型有 4 个组分, 一个油相组分, 一个水相组分, 两个气相组分。

然后用关键字 *COMPNAME 定义各组分的名称, 格式如下:

```
*COMPNAME 'namec' (1) ... 'namec' (ncomp)
```

后面还有分子量 *CMM, 临界压力 *PCRIT, 临界温度 *TCRIT, 参考压力 *PRESR, 参考温度 *TEMR、相平衡常数等。

3.2 初始化中组分定义

需要在初始化部分定义初始条件下各相中各组分的摩尔分数 (或当使用 *MASSBASIS 时, 表示模拟计算输入以质量为基础, 其为初始质量分数), 格式如下:

```
*MFRAC_WAT comp_name (组分名)
```

```
*MFRAC_OIL comp_name (组分名)
```

```
*MFRAC_GAS comp_name (组分名)
```

*PBC comp_name

其中,

*MFRAC_WAT 定义水相组分在水相中的摩尔分数

*MFRAC_OIL 定义油相组分在油相中的摩尔分数

*MFRAC_GAS 定义气相组分在气相中的摩尔分数

*PBC 定义油相组分的初始泡点压力。当使用*MASSBASIS 时, *PBC 不可用。对于黑油模型, 通常用*MFRAC_OIL 定义溶解气组分的初始含量。*PBC 和*MFRAC_OIL 不能同时定义于同一个组分。

组分 i 的泡点压力 P_{bi} 与初始油相摩尔分数可以通过下面的公式进行转换:

$$X_i = 1/K_i(P_{bi}, T)$$

$K_i(P_{bi}, T)$ 为组分的初始温度 T 和 P_{bi} 下的气液 K 值。为了使计算顺利进行, 在指定条件下, $K_i(P_{bi}, T)$ 必须大于 1。

对于 P_{bi} 等于 0 的情况, 则指定 P_{bi} 为初始网格压力, 对应于完全饱和状态。这种情况下使用的网格压力可能不是通过垂向平衡计算的 P_{bi} 。

comp_name 是带有引号的组分名称。此组分必须存在于指定的相中。

在缺省条件下, 如果某一相中只有一个组分, 那么该组分的摩尔分数为 1。如果有多个组分, 则必须定义该相中所有组分的初始摩尔分数, 且摩尔分数之和要等于 1, 否则会有警告信息。

4 相

4.1 相和参考相

相是由一个或多个组分呈现出来的物理状态, 只有相才具备可测量的性质, 例如油、气、水相的密度、粘度、压缩性等。STARS 目前可以模拟 4 个相: 油、气、水和固相。

当一个组分存在于两个相时, 必须定义其参考相, 这样相平衡常数 (K 值) 才能正确使用。以甲烷 (CH_4) 为例, 它属于溶解气组分, 可以存在于气相中, 也可以存在于油相中, 其参考相必须定义为油相, 这样气液相平衡常数 K 值才可以正确应用。关于相平衡的定义和输入方法, 我们将在后续讲义中详细讲述。

4.2 相与组分的关系

同一个组分可以存在于不同的相中。例如, 水 (H_2O) 组分, 可以存在于水相、气相 (蒸汽) 或固相 (冰) 中; 甲烷 (CH_4), 可以存在于气相、油相中, 在油气两相中的分配关系根据相平衡常数 (K 值) 来计算。

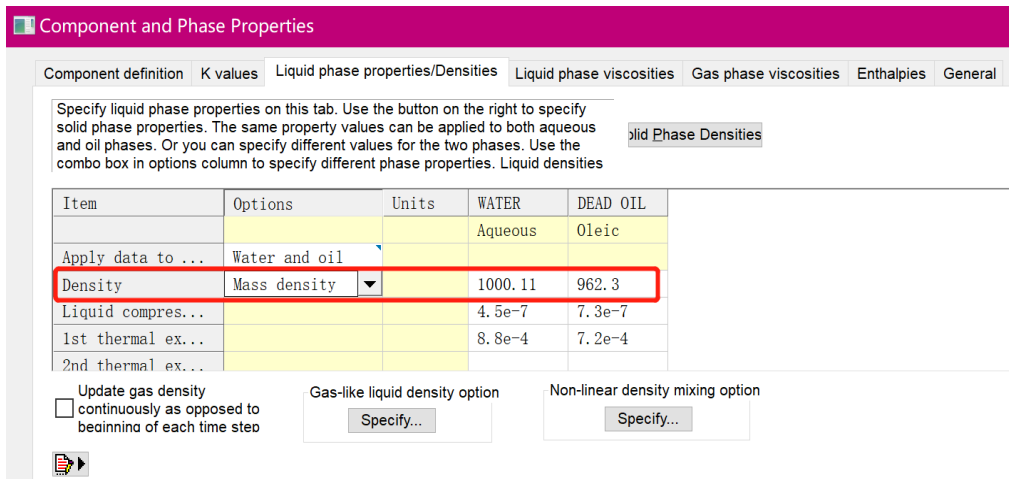
一个相可以由不同的组分组成。例如, 气相中可以含有 CH_4 、 C_2H_6 、 CO_2 、 N_2 等不同的组分; 进行三元复合驱模拟时, 水相中包含水、聚合物、碱以及表面活性剂等水相组分。

相的属性 (密度、粘度) 由该相中所有组分的性质进行相应的混合规则计算得出。

5 相的密度

5.1 组分密度输入

在 STARS 流体模型中, 需要定义的液相密度不是油、水相的密度, 而是相中各组分在参考条件下的密度。在 **Builder** 中输入组分密度的界面如图所示:



Specify liquid phase properties on this tab. Use the button on the right to specify solid phase properties. The same property values can be applied to both aqueous and oil phases. Or you can specify different values for the two phases. Use the combo box in options column to specify different phase properties. Liquid densities

Item	Options	Units	WATER	DEAD OIL
Apply data to ...	Water and oil		Aqueous	Oleic
Density	Mass density		1000.11	962.3
Liquid compress...			4.5e-7	7.3e-7
1st thermal ex...			8.8e-4	7.2e-4
2nd thermal ex...				

Update gas density continuously as opposed to beginning of each time step
 Gas-like liquid density option
Non-linear density mixing option

密度受压力和温度的影响, 因此还需要同时输入压缩系数和热膨胀系数。若缺省, 则不考虑压力和温度对密度的影响。

5.2 相的密度计算

模拟器中液相的密度计算过程如下:

(1) 计算各组分摩尔体积

根据各组分的密度和压力温度, 用下式算出各组分的摩尔体积 $V(i)$:

$$V(i) = \exp[ct1(i) * (T - TEMR) + ct2(i) * (T * T - TEMR * TEMR) / 2 - cp(i) * (p - prsr) - cpt(i) * (p - prsr) * (T - TEMR)] / den(i)$$

其中,

$ct1(i)$ ——组分 i 的热膨胀系数 1;

$ct2(i)$ ——组分 i 的热膨胀系数 2;

$cp(i)$ ——组分 i 的压缩系数;

$cpt(i)$ ——组分 i 的压力温度综合影响系数;

$den(i)$ ——组分 i 的液相密度;

T ——绝对温度;

$TEMR$ ——参考温度;

p ——压力;

$prsr$ ——参考压力;

(2) 计算相摩尔体积

根据各组分的摩尔体积和摩尔分数算出相的摩尔体积:

$$\text{水相摩尔体积 } V_w = \sum W_i * V_w(i)$$

$$\text{油相摩尔体积 } V_o = \sum X_i * V_o(i)$$

其中, W_i 和 X_i 分别是水相和油相中各组分的摩尔分数。

例如: 油相中有油和 CO_2 两个组分, 其中油组分的摩尔体积是 100ml/mol, CO_2 的摩尔体积是 200ml/mol。已知 CO_2 的摩尔分数为 $x=0.3$, 那么该油相的摩尔体积为:

$$V_o = (1-x) * 100 \text{ ml/mol} + x * 200 \text{ ml/mol} = 130 \text{ ml/mol}$$

(2) 计算相密度

根据相的摩尔体积算出相的密度:

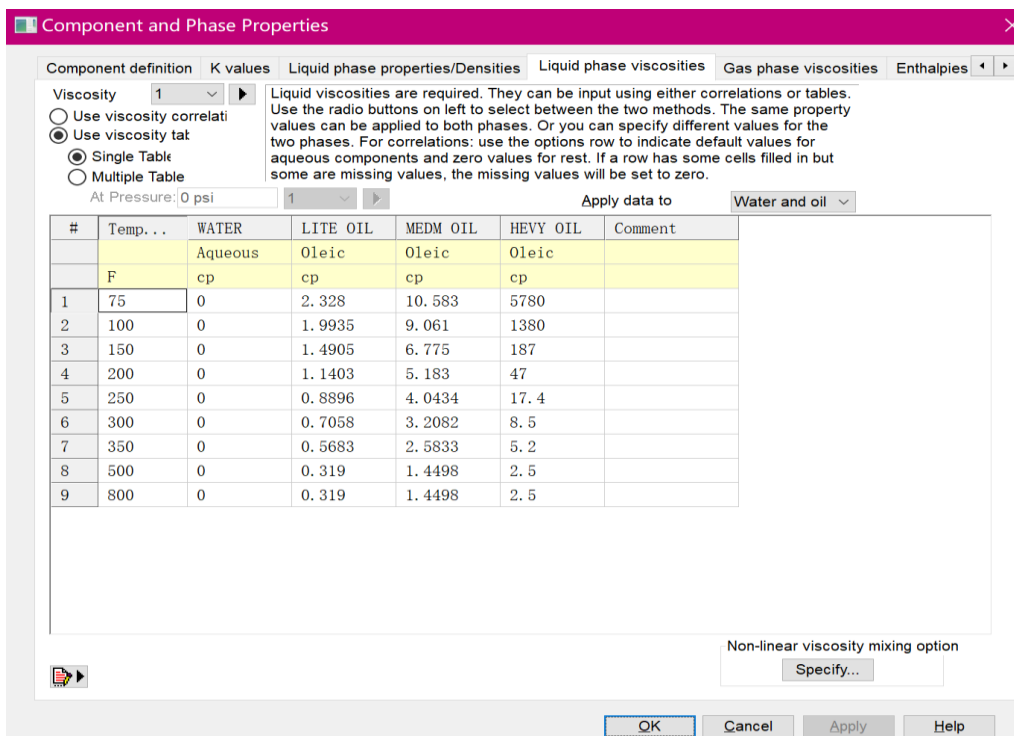
$$\text{水相密度 } \rho_w = 1 / V_w$$

$$\text{油相密度 } \rho_o = 1 / V_o$$

注意, 上面第 2 步中计算相的摩尔体积时采用的是缺省的线性混合计算。在某些特殊情况下, 相与组分的密度关系可能不符合线性混合准则, 此时可以采用非线性混合计算。简而言之, 非线性混合计算就是将摩尔分数 W_i 和 X_i 替换成摩尔分数的函数, 该函数是根据该相中关键组分的浓度和相的密度关系计算出来的。

6 相的粘度

与密度相同, 在 STARS 的流体模型中, 需要定义的液相粘度指的不是油/水相粘度, 而是相中各组分在参考条件下的粘度。在 Builder 中输入组分粘度的界面如图所示。



水相粘度通常在 1cp (低温) 和 0.1cp (300° C) 之间变化。STARS 中有 3 种方法输入水相的粘度:

- (1) 使用内部缺省设置, 可以考虑矿化度的影响;
- (2) 使用相关式, $\mu_w = a \cdot \exp(b/T)$, T 是绝对温度;
- (3) 直接输入 μ_w 与 T 的粘温表。

气相粘度一般无需输入, 采用缺省值即可。如果一定要输入的话, 可以使用下面的相关式: $\mu_g = 0.0136 + 3.8 \times 10^{-5} \times T$, T 为摄氏度, °C

油相粘度通过对数线性混合规则计算得到(水的粘度也可采用类似的公式):

$$\ln(\mu_o) = \sum_{i=1}^{n_c} x_i \ln(\mu_{oi})$$

油相粘度可通过以下两种方式确定:

(1) 相关式

$$\mu_{oi} = a_i \times \exp(b_i/T)$$

其中 T 是绝对温度。

(2) 输入粘温表, 即粘度 μ_{oi} 与 T 的一个表格。

与密度的计算类似, 粘度与浓度的关系有时可能不符合线性混合准则, 此时可以采用非线性混合计算。同样, 非线性混合计算也是将摩尔分数 x_i 替换成摩尔分数的函数, 该函数是根据该相中关键组分的粘度和浓度(摩尔分数)关系计算出来的。

7 热容和焓

热容定义: 作为某种组分的物理性质之一, 该组分的热容(比热容)是指当单位质量该物质吸收或放出热量引起温度升高或降低时, 温度每升高 1K 所吸收的热量或每降低 1K 所放出的热量, 单位 J/kg · K。

焓定义: 物理学上指单位质量的物质所含的全部热能。

在一个封闭体系中, 物质具有的能量是内能 u , 而在开放流动体系中, 物质除了具有内能 u , 还伴随着流动具有流动功 pv 。人类社会生产中如汽轮机等机械很多都是流体做功, 为表达方便, 故把 u 和 pv 用和的形式来表达, 即物质的焓 $h=u+pv$ 。

物质的内能或者焓值只是一个数字, 有的时候并不能说明什么, 焓值或高或低, 无法说明物质能做多少功。根据热力学第三定律, 你无法把物质的全部热力学能或者焓拿出来做功甚至是有用功, 甚至拿出其中的一大部分有时候也是不现实的。你只有知道了你具体拿了多少钱, 也就是热力学能变或者焓变, 才能界定其中有用的部分。状态量是无意义的, 变化量才是有意义的。

在 STARS 进行热采模拟时, 软件计算的焓变化, 而温度只是中间变量。从工程热力学来讲, 焓是流动工质所携带的能量。

热容和热焓是热量管理的影响参数, 相对于岩岩石而言, 流体的热容和热焓影响较小, 参数可使用缺省设置。

可为每个组分定义如下三个参数作为温度的函数:

- 1) 液相热容, CPL(T)
- 2) 气相热容, CPG(T)
- 3) 挥发焓 (气体变为液体时释放的能量), HVAP(T)

但这三个参数中只有两个是独立的, 因为它们有如下关系:

$$HVAP(T) = HG(T) - HL(T)$$

STARS 提供了各相组分的缺省值, 一般都是非常合理的, 推荐使用缺省设置。缺省设置如下:

水组分: 液相和气相采用软件内部默认的表格;

油组分: 气相的是 0.25Btu/lb-F, 液相的是 0.5Btu/lb-F;

其它组分: 气相为 0.25Btu/lb-F。

8 常见开发方式的组分设计

为了方便大家更好的理解组分和相的设计, 本文列出一些常见的开发方式中组分的设计案例, 供参考。

8.1 黑油模拟

传统的黑油模拟包括水、油和溶解气。溶解气可能溶解在油中。油相组分为所有其它碳氢化合物的组合, 并且在模拟条件下不会挥发, STARS 进行黑油模拟时常用的组分设计如表所示。

黑油模拟组分设计

组分	相		
	Aqueous	Oleic	Gaseous
Water	√		
Dead Oil		√	
Solution Gas		√	√

8.2 热采模拟

无额外添加剂的蒸汽驱或蒸汽吞吐可用下表进行组分设计。这与黑油模模拟有相同的组分,但包含了水蒸汽(气态水)。这也可叫做黑油-蒸汽或热采黑油模型。大多“蒸汽”模型都是这种类型,目前通常是在现有的等温黑油模型中加入能量方程。

热采模拟组分设计

组分	相		
	Aqueous	Oleic	Gaseous
Water	√		√
Dead Oil		√	
Solution Gas		√	√

8.3 ES-SAGD

在提高采收率的过程中,如果原油具有挥发性,那么原油必须用多个组分表示,如表所示。气体添加剂如石脑油和水溶性二氧化碳也有可能使用。

热采-添加剂模拟中常用的组分设计如表所示。

热采-添加剂模拟组分设计

组分	相		
	Aqueous	Oleic	Gaseous
Water	√		√
Heavy Oil		√	
Light Oil		√	√
Naphtha		√	√
CO ₂	√	√	√

8.4 火烧油层

在火烧模拟时,挥发和化学反应常常影响油相的组分。这些过程可能涉及不可溶的空气和反应产物以及固体焦炭,如表所示。

火烧油层模拟中常用的组分设计如表所示。

火烧油层模拟组分设计

组分	相			
	Aqueous	Oleic	Gaseous	Solid
Water	√		√	
Asphaltenes		√		
Maltenes		√	√	
Light Oil		√	√	
CO ₂	√	√	√	
N ₂ /CO			√	
Oxygen			√	
Coke Fuel				√

8.5 凝胶调剖

将两种水溶性添加剂（一种是可吸附的聚合物，一种是不可吸附的交联剂）注入油藏中，通过反应生成（再吸附）凝胶，从而堵塞优势水流通道，如表所示。

凝胶模拟中常用的组分设计如表所示。

凝胶模拟组分设计

组分	相		
	Aqueous	Oleic	Adsorbed
Water	√		
Polymer	√		√
Cross-linker	√		
Gel	√		√
Oil		√	

8.6 三元复合驱

在油藏中同时注入碱、表面活性剂和聚合物这 3 种化学剂，常称为三元复合驱。三元复合驱模拟中常用的组分设计如表所示。

三元复合驱模拟组分设计

组分	相		
	Aqueous	Oleic	Adsorbed
Water	√		
Alkaline	√		√
Polymer	√		√
Surfact	√		√
Dead_Oil		√	

8.7 经验法模拟泡沫

泡沫的模拟有经验法和机理法两种。

经验法假设泡沫的生成速度比流体流动快得多（准平衡假设），这样可根据表面活性剂局部浓度建立一个简单的基于现象的模型。这种方法中，气相的流动能力（气相相对渗透率）主要受表面活性剂的浓度（流速、含油饱和度的影响也可以考虑在内）的影响而减小。

经验法泡沫模拟中常用的组分设计如表所示。

经验法泡沫模拟组分设计

组分	相			
	Aqueous	Oleic	Gaseous	Adsorbed
Water	√			
Oil		√		
Surfactant	√	√		√
N2			√	

8.8 机理法泡沫模拟

气相中采用分散的液膜组分，可以建立一个能考虑泡沫的传播、生成和聚并的更加机理的模型。泡沫流动性的降低是受气相中液膜组分浓度的影响。局部液膜浓度受泡沫生成和聚并速度的显性影响，而该速度又受局部表面活性剂浓度的影响。

机理法泡沫模拟中常用的组分设计如表所示。

机理法泡沫模拟组分设计

组分	相			
	Aqueous	Oleic	Gaseous	Adsorbed
Water	√			
Oil		√		
Surfactant	√	√		√
N ₂			√	
Lamella			√	√

8.9 乳化模拟

在油藏中注入稀释而稳定的水包油乳状液, 通过液滴捕集来封堵高渗区域, 通过分流转向来提高连续油相中水的波及系数。

乳状液模拟中常用的组分设计如表所示。

乳状液模拟组分设计

组分	相		
	Aqueous	Oleic	Solid
Water	√		
Oil Droplet	√		
Continuous Oil		√	
Trapped Droplet			√

9 后处理中相和组分参数的输出

在理解了相和组分的基本概念及设计方法之后，为了更清晰的认识开发过程中的油气水相的流动特征以及各组分的分布情况，需要借助后处理输出的相关参数来分析结果。输出的结果中有相的参数，也有组分的参数。通过 **Builder** 或直接在数据流中定义需要输出的参数以及输出频率，可在 **Results** 后处理中查看相关场图。

9.1 相参数的输出

相的参数中主要包括各相的饱和度、密度、粘度、相对渗透率、阻力因子、流动向量等参数的输出。

9.1.1 三相饱和度及固相浓度

油气水三相饱和度是数值模拟研究中经常需要查看的参数，这 3 个参数的输出采用以下关键字：

`*OUTSRF *GRID *SW *SO *SG`

在 **Builder** 界面中设置，**Builder**→**I/O Control**→**Simulation Results Output**→**Frequency of Simulaiton Results File Writing/File Items in Simulation Results File** 如图所示：

<input checked="" type="checkbox"/>	SG	Gas saturation (SG)
<input checked="" type="checkbox"/>	SO	Oil saturation (SO)
<input checked="" type="checkbox"/>	SW	Water saturation (SW)

固相没有饱和度的概念，一般用固相浓度来表征固相组分的量。采用以下关键字来输出：

`*OUTSRF *GRID *SOLCONC`

在 **Builder** 界面中设置如图所示：

<input checked="" type="checkbox"/>	SOLCONC	Component solid concentration (SOLCONC)
-------------------------------------	---------	---

9.1.2 三相密度

油气水三相密度是数值模拟研究中经常需要查看的参数，这 3 个参数的输出

采用以下关键字：

*OUTSRF *GRID *MASDENW *MASDENO *MASDENG

在 Builder 界面中设置如图所示：

<input checked="" type="checkbox"/>	MASDENG	Gas Density (MASDENG)
<input checked="" type="checkbox"/>	MASDENO	Oil density (MASDENO)
<input checked="" type="checkbox"/>	MASDENW	Water Density (MASDENW)

除了质量密度之外，有时也会用摩尔密度，采用以下关键字：

*OUTSRF *GRID *MOLDENW *MOLDENO *MOLDENG

在 Builder 界面中设置如图所示：

<input checked="" type="checkbox"/>	MOLDENG	Gas phase molar density (MOLDENG)
<input checked="" type="checkbox"/>	MOLDENO	Oil phase molar density (MOLDENO)
<input checked="" type="checkbox"/>	MOLDENW	Water phase molar density (MOLDENW)

9.1.3 三相粘度

油气水三相粘度是数值模拟研究中经常需要查看的参数，这 3 个参数的输出采用以下关键字：

*OUTSRF *GRID *VISW *VISO *VISG

在 Builder 界面中设置如图所示：

<input checked="" type="checkbox"/>	VISG	Gas viscosity (VISG)
<input checked="" type="checkbox"/>	VISO	Viscosity (VISO)
<input checked="" type="checkbox"/>	VISW	Water viscosity (VISW)

9.1.4 三相相对渗透率

油气水三相的相对渗透率来输出采用以下关键字：

*OUTSRF *GRID *KRW *KRO *KRG

在 Builder 界面中设置如图所示：

<input checked="" type="checkbox"/>	KRG	Gas relative permeability (KRG)
<input checked="" type="checkbox"/>	KRO	Oil relative permeability (KRO)
<input checked="" type="checkbox"/>	KRW	Water relative permeability (KRW)

除了这些基本的相对渗透率之外, 还有一些端点相对渗透率, 这里不一一列举了, 需要时可以查看手册。

9.1.5 三相阻力因子

可输出以下关键字来查看油气水三相的阻力因子。

*OUTSRF *GRID *RFG *RFO *RFW

在 Builder 界面中设置如图所示:

<input checked="" type="checkbox"/>	RFG	Gas phase resistance factor (RFG)
<input checked="" type="checkbox"/>	RFO	Oil phase resistance factor (RFO)
<input checked="" type="checkbox"/>	RFW	Water phase resistance factor (RFW)

9.1.6 三相在油藏和地面条件下的流动向量

查看油气水三相在油藏和地面条件下的流动向量来, 需要定义输出以下关键字如下:

*OUTSRF *GRID *FLUXRC * FLUXSC

在 Builder 界面中设置如图所示:

<input checked="" type="checkbox"/>	FLUXRC	Flux vectors of oil, water and gas at reservoir conditions. (FLUXRC)
<input checked="" type="checkbox"/>	FLUXSC	Flux vectors of oil, water and gas at surface conditions. (FLUXSC)

9.2 组分参数的输出

组分的参数中主要包括各组分的摩尔分数、密度、粘度、相平衡常数等参数的输出。

9.2.1 各组分摩尔分数

各组分在油气水三相中的摩尔分数及总摩尔分数是数值模拟研究中经常需要查看的参数, 这些参数的输出采用以下关键字:

*OUTSRF *GRID *Y *X *W *Z

在 Builder 界面中设置如图所示:

<input checked="" type="checkbox"/>	W	Component composition in water phase (W)
<input checked="" type="checkbox"/>	X	Component composition in oil phase (X)
<input checked="" type="checkbox"/>	Y	Component composition in gas phase (Y)
<input checked="" type="checkbox"/>	Z	Component composition over all phases (Z)

9.2.2 各组分的密度和粘度

组分的密度和粘度只是在计算相的密度和粘度过程中使用的参数，并不能通过实验进行直接测量。这些参数的输出采用以下关键字：

*OUTSRF *GRID *CMPDENO *CMPDENW *CMPVISG *CMPVISO
*CMPVISW

在 Builder 界面中设置如图所示：

<input checked="" type="checkbox"/>	CMPDENO	Component mass density in oil phase (CMPDENO)
<input checked="" type="checkbox"/>	CMPDENW	Component mass density in water phase (CMPDENW)
<input checked="" type="checkbox"/>	CMPVISG	Component viscosity in gas phase (CMPVISG)
<input checked="" type="checkbox"/>	CMPVISO	Component viscosity in oil phase (CMPVISO)
<input checked="" type="checkbox"/>	CMPVISW	Component viscosity in water phase (CMPVISW)

9.2.3 各组分的相平衡常数

查看各组分的各种相平衡常数（水油、油水、气水、气油等）时，可输出采用以下关键字：

*OUTSRF *GRID *KVALWX *KVALXW *KVALYW *KVALYX

在 Builder 界面中设置如图所示：

<input checked="" type="checkbox"/>	KVALWX	Component water/oil K value (w/x) (KVALWX)
<input checked="" type="checkbox"/>	KVALXW	Component oil/water K value (x/w) (KVALXW)
<input checked="" type="checkbox"/>	KVALYW	Component gas/water K value (y/w) (KVALYW)
<input checked="" type="checkbox"/>	KVALYX	Component gas/oil K value (y/x) (KVALYX)