

## 第 39 期：水体模型在 CMG 中的应用

编写人：吴晓云

### 目 录

1. 水体的概念 .....	1
2. 解析水体介绍及选择.....	2
2.1 STARS 水体简要介绍.....	2
2.2 水体求解方式的选择.....	2
3. STARS 中水体参数的定义.....	3
3.1 关键字段.....	3
3.2 缺省值.....	6
4. 建立水体模型流程 .....	7
4.1 添加水体流程.....	7
4.2 水体举例.....	11
5. 水体模型在 IMEX、GEM 与 STARS 中的不同.....	12

在油藏数值模拟过程中，根据油田实际情况，需要添加水体以模拟油藏水侵量及热传导。在这期水体讲义中，主要围绕水体模型在STARS中的应用展开讨论。

通常，水体存在但却难以表征清楚，包括其属性、大小、影响程度等，经常需要通过历史拟合得以修正。选择合适的水体类型需满足以下两个条件：一是能够很好的表现水体的特征；二是运算时间较短。

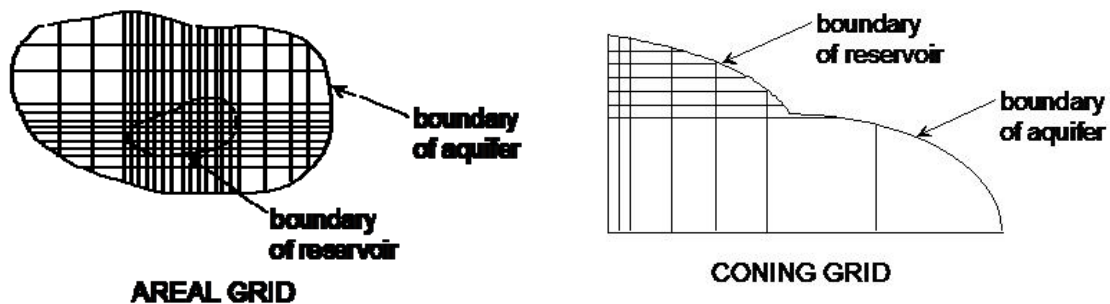
## 1. 水体的概念

水体是指充满水的岩石，位于烃类储层之外，能为油藏提供额外的压力补给，水体能够被观测到，也可以从生产历史中推测出。水体定义主要包括边（底）水的位置及性质参数。在数学模型中，水体是通过边界条件来进行定义的，它的大小及类型直接影响整个单元的能量及油藏的动态。

在数值模拟中，常用的水体模拟方法：

- ◇ 数值水体（grid block）
- ◇ 解析水体
- ◇ 解析水体和数值水体相结合

数值水体是通过网格直接表现水体的方法。下图以边水为例，展示数值水体的定义方法。使用数值水体，可能会导致网格数大幅度增加。如果只存在单相流动的网格，建议选用大尺寸网格。如需模拟储层非均质性等，建议减小网格尺寸。



数值水体边水模型网格示意图

适用于数值水体的情况：

- ◇ 有限大小的水体
- ◇ 直接观测到的复杂水体
- ◇ 可提供足够水侵量的大水体，可通过多口恒定压力注入井实现
- ◇ 连接到多个油藏的水体

解析水体以其方便定义，计算速度较快等优势而较多的应用于各模拟器中，解析水体的特点：

- ◇ 不需要额外的网格
- ◇ 简单的数学模型，快速计算
- ◇ 为储层模型提供压力边界条件和水侵计算
- ◇ 只能连接到一个油藏

## 2. 解析水体介绍及选择

在油藏模拟行业，较为流行的两种解析水体分别为：CARTER-TRACY，FETKOVITCH。通常，两种方法预测水侵体积误差均在可接受的工程精确度范围内。

### 2.1 STARS 模拟器中水体方法简介

#### (1) Van-Everdingen and Hurst 方法

该方法是根据使用不同的边界条件，应用拉普拉斯变换求解径向流动方程。

#### (2) Carter-Tracy 方法

Van-Everdingen and Hurst method 需要叠加理论，计算繁琐，Carter-Tracy 是对这种方法的改良，是基于径向流动方程求解方法的严谨的数学求解，把假设条件从“油藏以定油（气）量生产”改为“水体以定速水侵”。

#### (3) Fetkovitch 方法

Fetkovitch 方法是基于简单的物质平衡理念，与 Van-Everdingen and Hurst method 相对比，是一种近似法。这种方法无需表格或无因次组合。它假设“水从水体流入油气藏”与“油从油藏流入生产井”的模拟方法相同。

#### (4) SEMI-ANALYTICAL 方法

半解析水体用于计算水体及热流入或流出相邻水体，它是基于一维单相（水）和能量的流动。这种流动垂直于油藏-水体边界，可能是线性，或是径向流动。

### 2.2 水体求解方式的选择

水体能用数值表示或解析方法表示。假如油藏流体不向外渗漏至水体，当使用相同的输入参数时，这几种方法应该提供相似的结果。可由下列原则选用合适的方法：

(1) 使用数值水体：它提供最精确的几何形态和可能的地质描述，因此是最精确的方法。如果允许水体中含有少量体积的油或者是溶解气，数值方法很有效。其缺点是额外使用计算机存储器和 CPU 时间。在不考虑计算机存储器和计

算时间的情况下，这种方法最合适。对于大范围水体（ $R\_ratio > 10$ ，即水体外半径与油藏有效半径之比大于 10），为精确表现水体，需要大量的大网格尺寸，这将会明显降低模拟速度。

## （2）Carter-Tracy 与 Fetkovitch 水体

两种方法皆是建立在压力方程解析算法的基础上。

### a. 使用 Carter-Tracy 水体：

Carter-Tracy 水体是一个近似的、完全瞬时的(不稳定的)水体模型。该类水体需要用户提供给影响函数：一个无因次时间  $td$  与无因次压力  $P$  数据表。这种方法基于严格的数值解法，并给出精确求解，但是，它需要选择一个  $P(td)$  表格以模拟给定水体大小，即  $R\_ratio$  值。

对于大水体（ $R\_ratio > 5$ ），Fetkovitch 方法由于忽略了瞬态效应，可能无法正确模拟水侵量，此时建议选用 Carter-Tracy 方法。

### b. 使用 Fetkovitch 水体：

Fetkovitch 水体是建立在拟稳态生产指数及水体压力和累积流入量之间的物质平衡基础上的，即水流出水体后，水体会衰竭。

这种方法是解析水体的最简单的方法，同时也提供合理的结果。它需要对水体参数定义，同时可以处理除无限大外任意水体范围。对于无限大水体， $R\_ratio > 100$  的值是足够的。

Fetkovitch 方法更多应用于相对较小的水体（通常  $R\_ratio \leq 5$ ）。

## 3. STARS 中水体参数的定义

### 3.1 关键字段

水体关键字属于 Reservoir Description keyword 部分。

```
*AQUIFER  ( *BOTTOM | *BOUNDARY |
           { *REGION i1(:i2) j1(:j2) k1(:k2) (direction) } )
*AQMETHOD( *CARTER-TRACY | *FETKOVITCH
           | *SEMI-ANALYTICAL )
*AQPROP   Thickness Porosity Permeability Radius Angle (R-Ratio)
*AQVISC   Aqvisc
*AQCOMP   Aqcomp
*AQLEAK   ( *ON | *OFF )
*HFPROP   ( aqrcap aqrcnd )
```

**\*AQGEOM** (\*RECTANG | \*RADIAL) (\*INFINITE | \*FINITE)

其中，

**\*AQUIFER**

可通过以下的三种方法，定义水体位置：

**\*BOTTOM** 定义底水，水体与油藏底部连接。

**\*BOUNDARY** 定义边水，水体与油藏边部的所有边界网格连接。

**\*REGION** 定义区域水，通过 I-J-K 定义网格范围 i1(:i2)j1(:j2)k1(:k2)，使得水体连接到基础网格的任意位置。如需描述复杂的几何形状，关键字

**\*AQUIFER** 后可出现多个 **\*REGION** 及数据。用可选方向 (**\*IDIR**, **\*JDIR** or **\*KDIR**)，连接水体至指定方向油藏外边界的网格面。内部网格接触面是忽略的。如，对 **\*IDIR**，当 I = 1 时，水体连接到 -I 面，当 I = NI 时，水体连接到 +I 面。

**\*AQMETHOD**

定义水体中的水侵量计算的方法，适用于 **\*CARTER-TRACY**，

**\*FETKOVITCH** 和 **\*SEMI-ANALYTICAL**。

**\*AQVISC** aqvisc

水体水的粘度 (cp)。使用此关键字将覆盖缺省值。

**\*AQCOMP** aqcomp

总的水体压缩系数(1/kPa | 1/psi)。使用此关键字将覆盖缺省值。

**\*AQPROP**

定义水体属性：

**Thickness** 对于 Carter-Tracy 和 Fetkovitch 方法，Thickness 用于计算水体的体积。当水体连接到油藏底部时，它定义的是水体的侧向尺寸，接近于接触面的平方根；当水体连接到油藏边部时，它定义的是水体的垂向尺寸。

对于 Semi-analytical 方法，定义的是与水体-油藏边界的距离。当使用 Semi-analytical 方法 **\*AQGEOM** 中 **\*INFINITE** 选项时，输入 0。

**Porosity** 水体孔隙度。

**Permeability** 水体渗透率(md | md | md)。

**Radius** 有效的油藏半径 (m | ft | cm)。

**Angle**            影响的角度(以一个圆的一部分表示)。

**R-Ratio**        可选。水体外半径与油藏有效半径之比。仅适用于 \*FETKOVITCH。

半径和角度仅应用于 \*CARTER-TRACY 和 \*FETKOVITCH，当选择 \*SEMI-ANALYTICAL 方法时，输入 0。

**\*AQLEAK (\*ON | \*OFF)**

定义当网格压力超出相邻的水体压力时，是否允许水从油藏渗漏流入水体，近似于注水井回流的情况。当选择 \*ON 时，对水体行为的表述更为精确，此时油藏中水允许渗漏至水体，选择 \*OFF 时，不允许水渗漏。

**\*HFPROP (aqrcap aqrcnd)**

定义进行水体与油藏间的热传导计算。对于传热模型（没有关键字 \*ISOTHERMAL），总是会计算对流过程的热传递。

以下的水体热参数可选择定义，以覆盖缺省值。

**aqrcap**        水体岩石的体积热容 (J/m<sup>3</sup>-C | Btu/ft<sup>3</sup>-F)。非正数值将导致缺省值。

**aqrcnd**        水体岩石的导热系数 (J/m-day-C | Btu/ft-day-F)。非正数值将导致缺省值。

**\*AQGEOM (\*RECTANG | \*RADIAL) (\*INFINITE | \*FINITE)**

定义计算向/从水体热传导过程中水体几何形状。对于 Semi-analytical 方法，这个几何形状同时用于计算水侵量。请查阅下面的 Geometry 选项。

\*AQGEOM 后面必须有 \*RECTANG 或 \*RADIAL。

**\*AQFUNC**

定义 Carter-Tracy 水侵计算方法无因次压力影响函数。

**\*AQFUNC { td P(td) }**

td    —— 无因次时间

P(td) —— 无因次压力影响函数

此关键字仅限于 Carter-Tracy 选项。如选用 Carter-Tracy 近似值计算水体流出或流入的水侵量，需一个无因此压力影响函数作为无因此时间的函数。

无因此压力函数缺省为恒定结束速度算法和无限大径向水体。

**\*AQH\_CONTROL**

此关键字主要是为了解决解析方法计算水体-油藏传热比较粗糙而出现的一些问题。具体用法如下：

End-GRID

AQH\_CONTROL value (value 取值是 1 或 2)

### 3.2 缺省值

水体属性 AQPROP 的缺省值计算如下，首先假设：

- H = 有效的油藏厚度-由油藏几何计算得出
- H\_AQ = 水体厚度- 通过如下计算
- POR\_AQ = 水体孔隙度
- PERM\_AQ = 水体渗透率
- AREA\_Contact = 油藏与水体的接触面 (从模型中得出)
- Angle = 油藏与水体的接触角度
- R<sub>o</sub> = 有效油藏半径
- R<sub>e</sub> = 有效水体外径
- R<sub>d</sub> = R<sub>e</sub>/R<sub>o</sub>

水体属性的缺省值（计算公式）

参数	边水	区域水	底水
POR_AQ	接触网格的平均孔隙度	接触网格的平均孔隙度	接触网格的平均孔隙度
PERM_AQ	接触网格的平均渗透率	接触网格的平均渗透率	接触网格的平均渗透率
H_AQ	H	H	$\sqrt{\text{AREA\_Contact}}$
R <sub>o</sub>	$\text{AREA\_Contact}/(\text{H\_AQ} * 2\pi)$	$\sqrt{\text{AREA\_Contact} / \pi}$	$\sqrt{(\text{H\_AQ} * H) / \pi}$
Angle	1.0	1.0	$2 * \text{Atan}(\text{H\_AQ}/\text{H})/2\pi$

例如：

$$N_x=N_y= 11$$

$$N_z=12$$

$$\text{Porosity} = 0.3$$

$$K_x=K_y=K_z = 100 \text{ md}$$

$$D_x=D_y=100 \text{ ft}$$

$$D_z = 20 \text{ ft}$$

经计算，得出：

水体属性的缺省值（实例计算）


参数	边水	区域水	底水
POR_AQ	0.3	0.3	0.3
PERM_AQ	100	100	100
AREA	$(N_x * D_x + N_y * D_y) * 2 * (N_z * D_z) = 1056000$ ft <sup>2</sup>	AREA-R (决定于定义的区域)	$(N_x * D_x) * (N_y * D_y) = 1210000$ ft <sup>2</sup>
H_AQ	$N_z * D_z = 240$	$N_z * D_z = 240$	$\sqrt{1210000} = 1100$
R <sub>o</sub>	$1056000 / (240 * 2\pi) = 700.28$	$\sqrt{\text{AREA} / \pi}$	$\sqrt{(1100 * 240) / \pi} = 289.88$
Angle	1.0	1.0	$2 * \text{Atan}(1100/240) / 2\pi = 0.4316$

#### 4. 建立水体模型流程

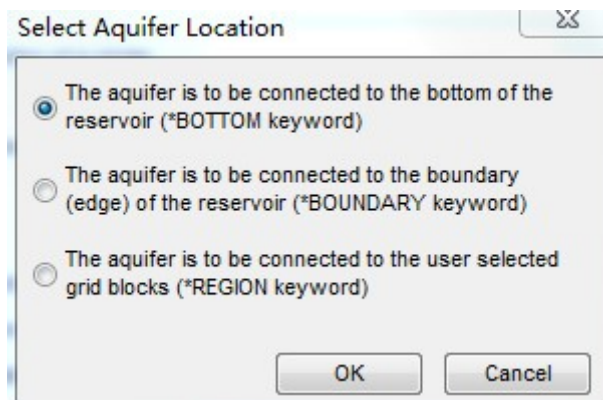
##### 4.1 添加水体流程

CMG 中有很多水体模型可参考，如 STARS 中 sttst24/25.dat，stsmo009.dat 等；IMEX 中 MXDRM003.DAT，mxdrm004.dat 等；GEM 中 GMSMO010.DAT，GMTHR003.DAT 等。

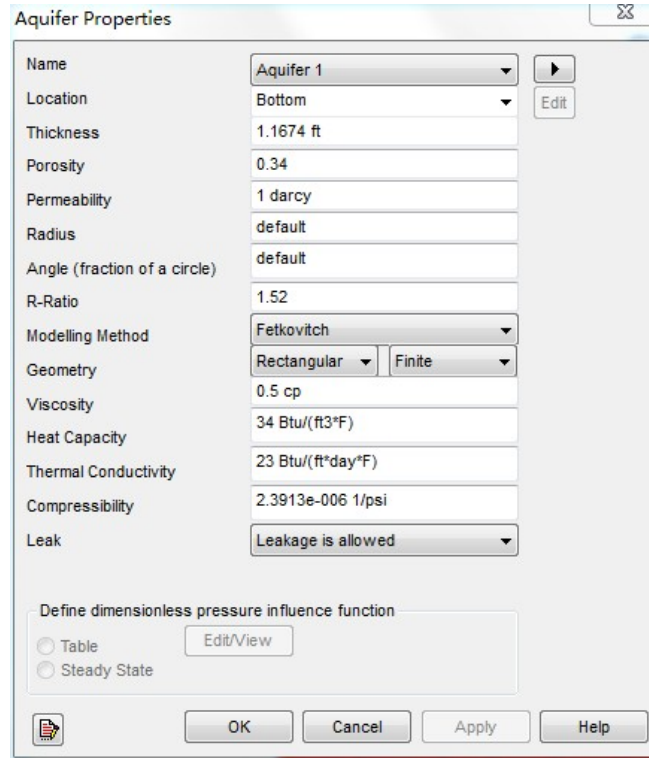
用户可通过如下流程，添加水体，并将计算结果与未添加水体的模型进行比较。本节使用 CMG 2013 General 版本，以 sttst025.dat 为例完成。

(1) 用 Builder 打开目标文件 (\*.dat)，选择 Create/Edit Aquifers...，或者选择快捷操作 。

(2) 在弹出的对话框中选择一种水体类型，这里选用底水模型。OK。

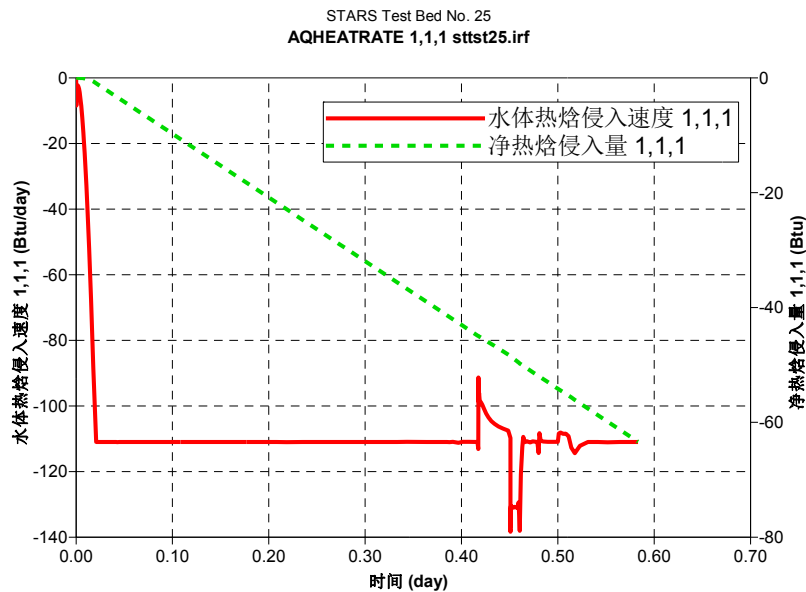


(3) 在如下的对话框中输入水体的属性参数及解析水体类型等，即可。

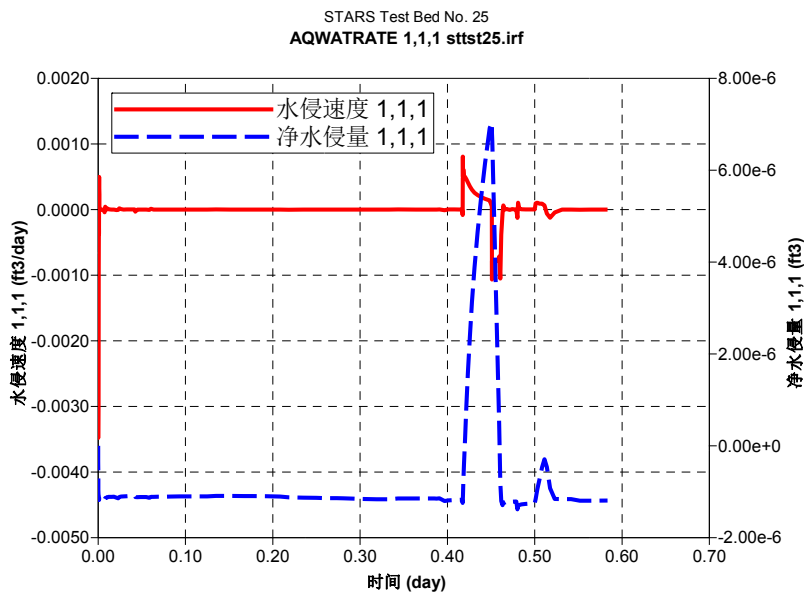


- (4) 保存文件退出 Builder。
- (5) 运算文件，并与未添加水体的模型计算结果相对比。
- (6) 水体计算输出设置

选择 \*OUTPRN \*GRID，\*OUTSRF \*GRID 和 \*OUTSRF \*SPECIAL \*BLOCKVAR 的子关键字 \*AQWATCUM，\*AQWATRATE，\*AQHEATCUM 和 \*AQHEATRATE，可查看连接到每个网格的水体的瞬时速度和累积水侵量。通过 special history \*BLOCKVAR，可选择查看指定网格水侵量。



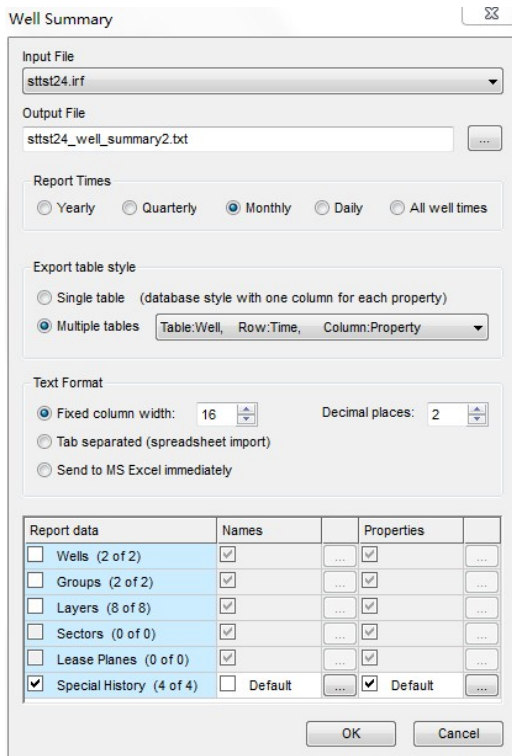
网格 1,1,1 的热焓侵入速度和净侵入量图



网格 1,1,1 的水侵速度和净水侵量

同时，可按年/月/天等形式输出水侵数据等，以 sttst24.dat 为例，实现流程如下：

在 Results Graph 的菜单栏中选择 Tools-Export well summary，选择输入输出的文件（Input/Output file），报告的时间周期（Report times），输出表格的类型（Export table style），以及 Report data（需要输出的数据）。



点击 OK 之后，通过查看当前路径下的 output file，即可查看结果，如下：

Test Bed No. 6 with Outer Radial Blocks as Aquifer Model						
TIME	DATE	AQFRENTCM Total Aquifer Heat Influx: AQFRENTCM (day)	AQFRENTRT Total Aquifer Heat Influx Rate: AQFRENTRT (Btu/day)	AQFRWATCM Total Aquifer Water Influx: AQFRWATCM (bbl)	AQFRWATRT Total Aquifer Water Influx Rate: AQFRWATRT (bbl/day)	
0.0000000	1973-09-25	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	
6.0000000	1973-10-01	-3.54159e+007	-1.10120e+007	-1556.86621094	-483.93292236	
37.0000000	1973-11-01	2.79971e+007	1.02598e+007	1331.13098145	453.26452637	
67.0000000	1973-12-01	1.98304e+008	4.67174e+006	8874.29296875	207.23007202	
98.0000000	1974-01-01	2.71852e+008	2.18490e+006	12173.20019531	98.19635773	
129.0000000	1974-02-01	2.78312e+008	1.00991e+006	12552.94628906	47.09556198	
157.0000000	1974-03-01	2.81651e+008	141490.32812500	12793.18066406	9.40735912	
188.0000000	1974-04-01	2.80444e+008	74435.89062500	12876.42675781	6.90946388	
218.0000000	1974-05-01	2.79275e+008	9544.50000000	12956.98828125	4.49214602	
249.0000000	1974-06-01	2.77503e+008	-45229.34375000	13024.60742188	2.51173186	
279.0000000	1974-07-01	2.74360e+008	-67166.96093750	13050.50878906	1.90440536	
310.0000000	1974-08-01	2.71112e+008	-89835.84375000	13077.27343750	1.27683485	
341.0000000	1974-09-01	2.67631e+008	-111504.	13097.92578125	0.686610	

另一个有用的输出是\*AQSTAT，以表格形式报告激活水体区域的净/速度，如\*AQWATCUM, \*AQWATRAME, \*AQHEATCUM and \*AQHEATRAME，可查看\*.out 文件，如下：

```

AQUIFER STATISTICS SUMMARY
-----
Influx of water and heat to each reservoir block from attached active aquifer.
Positive value indicates flow from aquifer to reservoir block.

Net Water Water Rate Net Heat Heat Rate
(bbl) (bbl/day) (Btu) (Btu/day) Block Attached to Aquifer
-----
-1.71 -85.7 -3.897E+04 -1.948E+06 7,1,1
0.309 15.4 7.017E+03 3.509E+05 7,1,2
0.593 29.7 1.349E+04 6.743E+05 7,1,3
0.813 40.7 1.848E+04 9.241E+05 7,1,4

AQUIFER STATISTICS SUMMARY
-----
Influx of water and heat to each reservoir block from attached active aquifer.
Positive value indicates flow from aquifer to reservoir block.

Net Water Water Rate Net Heat Heat Rate
(bbl) (bbl/day) (Btu) (Btu/day) Block Attached to Aquifer
-----
-1.664E+03 -245. -3.793E+07 -5.611E+06 7,1,1
-1.287E+03 -214. -2.928E+07 -4.878E+06 7,1,2
-830. -155. -1.888E+07 -3.522E+06 7,1,3
-376. -77.0 -8.618E+06 -1.773E+06 7,1,4
    
```

在输出文件中的常用物质平衡统计中，将给出水和热的总净流量。这些量都与油藏相关，因此一个正值表明油藏有收获，水体网格块有亏损。

## 4.2 水体举例

### (1) 多个水体

模拟一个边底水油藏的水和热量流入，如下：

```

*AQUIFER *BOUNDARY
*AQMETHOD *FETKOVITCH
*AQGEOM *RECTANG *FINITE
*AQPROP 240.0 0.3 100.0 802.41 1.00 1.5
*HFPROP 35.0 24.0

*AQUIFER *BOTTOM
*AQMETHOD *FETKOVITCH
*AQGEOM *RECTANG *FINITE
*AQPROP 102.04 0.25 250.0 0.0 0.0 0.0
*HFPROP 35.0 24.0
  
```

### (2) 多个区域水体

允许关键字\*AQUIFER 后多次使用\*REGION，以定义复杂的水体连接，

```

*AQUIFER *REGION 1:10 1 1 *JDIR
*REGION 1 2:10 1 *IDIR
*REGION 2:9 2:9 1 *KDIR
  
```

如果多个水体连接到一个网格块，例如油藏角的网格块，需要进行多个水体定义。对于一角的网格（如  $i=1, j=1, k=1$ ），水体在三个方向连接，正确的写入应该是：

```

*AQUIFER *REGION 1 1 1 *IDIR
*AQUIFER *REGION 1 1 1 *JDIR
*AQUIFER *REGION 1 1 1 *KDIR
  
```

### (3) 多个水相组分

解析水体模型中，假设水体孔隙空间的流体是完全由水相组分组成的单一水相。当模型包含多个水相组分时，需选择哪一个是水体组成，由关键字\*AQFRCOMP 定义。

## 5. 水体模型在 IMEX、GEM 与 STARS 中的不同

前面介绍了 STARS 中定义水体的方法，接下来简要介绍 IMEX 和 GEM 与 STARS 定义水体的不同处。

### (1) 无热相关计算

IMEX 和 GEM 添加水体只包含水侵计算，无热传导计算，故不包含关键字 AQGEOM 和 HFPROP。

(2) AQMETHOD (水侵量计算方法) 中不包含 Semi-analytical，但有 OLD 选项

指定 AQMETHOD OLD，则使用 97 或之前版本的旧计算方式。这些版本中，对于无量纲压力影响函数，应用线性外差法的 Carter-Tracy。当使用缺省的无限大水体函数时，线性外插易导致水体压力下降过大，使得水体看起来像是有限的。现在对于无限大水体，较大时间外插使用标准解析表达  $\ln(td)$ 。

### (3) 无 AQCOMP 和 AQVISC

### (4) AQLEAK OLD

98 年以及之前版本中定义水体渗漏的计算。\*OLD，在某些情况下，允许水体泄漏，即使是在渗漏是不允许的情况下。而 \*AQLEAK\* OFF (默认值) 在没有指定时，不会在任何情况下允许水体渗漏。建议，在油藏水渗漏不重要的情况下选 OLD。

### (5) IMEX 中必须输入 R\_ratio

为准确计算解析水体体积，需输入每个水体的 R\_ratio，包括 Carter-Tracy。Carter-Tracy 方法并不明确使用 R\_ratio。但是如果不明确输入 R\_ratio，模拟器无法确定使用的 R\_ratio 的值。对于 Carter-Tracy 方法，R\_ratio 仅用于输出目的，但要求与压力影响函数中使用的值相同，如缺省，假设为 10。

### (4) 水体体积的计算

IMEX 中水体大小可通过 out 文件中 total oil in place, total water in place, 以及 hydrocarbon to aquifer volume ratio 三组数计算。STARS 模拟器暂时不能输出水体大小。

附：水体模型算例 sttst024.dat

\*\*\*\*\*输入输出控制数据部分\*\*\*\*\*

\*\* OVERVIEW  
\*\* =====

\*\* This data set is for a hypothetical reservoir surrounded by a  
\*\* radial aquifer of finite extent, the same thickness as the pay zone.  
\*\*

\*\* This data was derived from problem 1A of the fourth SPE comparative  
\*\* solution project. The original grid had 13 radial blocks. In this  
\*\* data set the outer 7 grid blocks have been replaced by a finite  
\*\* thermal aquifer, starting from the outside of radial block #6.  
\*\* Only one cycle of steam injection is done, since more injection  
\*\* might result in steam appearance in the aquifer zone.  
\*\*

\*\* Features:

- \*\* 1) Thermal aquifer in horizontal radial grid mode.
- \*\* 2) Two-dimensional cross-sectional r-z coordinates.
- \*\* 3) Distinct permeability layering.
- \*\* 4) Black-oil type treatment of fluids.
- \*\* 5) Sharp changes in oil viscosity occur at the steam front  
\*\* (487 cp at 125 F to 2.5 cp at 450 F).
- \*\* 6) Automatic initial vertical equilibrium calculation.
- \*\* 7) Multi-layer well with additional injection and production

RESULTS SIMULATOR STARS

\*interrupt \*stop

title1 'STARS Test Bed No. 24'

title2 'Fourth SPE Comparative Solution Project, Problem 1A'

title3 'Test Bed No. 6 with Outer Radial Blocks as Aquifer Model'

inunit field \*\* output same as input

outprn grid pres sw so sg temp y obhloss krw kro

outprn well all

wprn grid 200

wprn iter 200

outsrf grid pres sw so sg temp

outsrf special aqfrtot water rate \*\*统计水侵速度，写入\*.irf 文件

aqfrtot water cum \*\*统计水侵量，写入\*.irf 文件

aqfrtot heat rate \*\*统计热焓侵入速度，写入\*.irf 文件

aqfrtot heat cum \*\*统计热焓侵入量，写入\*.irf 文件

aqstat on \*\*在\*.OUT 文件中输出各时间步的水侵速度，累积水侵量，热焓侵入速度，净热焓侵入量

wrst

\*\*\*\*\* 油藏描述数据部分\*\*\*\*\*

grid radial 7 1 4 rw 0 \*\* Zero inner radius matches previous treatment

\*\* Radial blocks: small near well; outer block is large

di ivar 3 5\*10 25

dj con 360 \*\* Full circle

dk kvar 25 25 20 10

por con 0.3

permi kvar 2000 1000 500 2000

permj equalsi

permk equalsi / 2

aquifer boundary \*\*添加一个边水

AQMETHOD carter-tracy \*\*定义计算水侵量的方法

aqgeom radial finite \*\*定义计算向/从水体热传导过程中水体几何形状

AQPROP 0.0 0.3 1e3 78.0 1.0 3.0 \*\*定义水体属性，厚度（缺省），孔隙度，渗透率，  
\*\*有效油藏半径，影响角度，水体外半径与油藏有效半径之比

aqvisc 0.6 \*\*定义水体粘度

aqcomp 3.5095E-04 \*\*定义总的水体压缩系数

hfprop 35.0 24.0 \*\*定义进行水体与油藏间的热传导计算，水体岩石的体积热容和导热系数

aquakeak on \*\*定义是否允许水从油藏渗漏流入水体

aqfunc \*\*为 Carter Tracy 水体定义无因次压力影响函数

0.52 0.627 \*\*无因次时间，无因次压力影响函数

0.54 0.636

0.56 0.645

0.60 0.662

0.65 0.683

0.70 0.703

0.75 0.721

0.80 0.740

0.85 0.758

0.90 0.776

0.95 0.791

1.0 0.806

1.2 0.865

1.4 0.920

1.6 0.973

2.0 1.076

```

3.0 1.228
4.0 1.578
5.0 1.828
end-grid
cpor 5e-4
prpor 75
rockcp 35
thconr 24
thconw 24
thcono 24
thcong 24
**hlossprop overbur 35 24 underbur 35 24
    
```

\*\*\*\*\*组分属性部分\*\*\*\*\*

```

model 2 2 2  ** Components are water and dead oil.  Most water
              ** properties are defaulted (=0).  Dead oil K values
              ** are zero, and no gas properties are needed.

compname      'Water'  'OIL'
**            -----
cmm           18.02    600
pcrit         3206.2    0      ** These four properties
tcrit         705.4    0      ** are for the gas phase.
avg           1.13e-5    0      ** The dead oil component does
bvg           1.075    0      ** not appear in the gas phase.
molden        0        0.10113
cp            0        5.e-6
ct1           0        3.8e-4
cpl1          0        300

visctable
**      Temp
        75    0    5780
        100   0    1380
        150   0    187
        200   0    47
        250   0    17.4
        300   0    8.5
        350   0    5.2
        500   0    2.5

prsr 14.7
temr 60
psurf 14.7
tsurf 60
    
```

\*\*\*\*\*岩石 - 流体属性部分\*\*\*\*\*

**rockfluid**

**swt   \*\*   Water-oil relative permeabilities**

**\*\*   Sw                   Krw                   Krow**

**\*\*   ----                   -----                   -----**

0.45	0.0	0.4
0.47	0.000056	0.361
0.50	0.000552	0.30625
0.55	0.00312	0.225
0.60	0.00861	0.15625
0.65	0.01768	0.1
0.70	0.03088	0.05625
0.75	0.04871	0.025
0.77	0.05724	0.016
0.80	0.07162	0.00625
0.82	0.08229	0.00225
0.85	0.1	0.0
1.0	1.0	0.0

**slt   \*\*   Liquid-gas relative permeabilities**

**\*\*   Sl                   Krg                   Krog**

**\*\*   ----                   -----                   -----**

0.45	0.2	0.0
0.55	0.142015	0.0
0.57	0.131232	0.00079
0.60	0.115599	0.004938
0.62	0.105551	0.009679
0.65	0.091061	0.019753
0.67	0.081805	0.028444
0.70	0.068557	0.044444
0.72	0.060169	0.057086
0.75	0.048291	0.079012
0.77	0.04087	0.095605
0.80	0.030544	0.123457
0.83	0.021273	0.154864
0.85	0.015743	0.177778
0.87	0.010799	0.202272
0.90	0.004665	0.241975
0.92	0.001649	0.27042
0.94	0.0	0.300444
1.	0.0	0.4

\*\*\*\*\*初始化部分\*\*\*\*\*

```

initial
** Automatic static vertical equilibrium
vertical depth_ave
refpres 75
refblock 1 1 4
sw con 0.5    ** So by difference, since Sg = 0
    mod 7 1 1:4 = 1.0
temp con 125
    
```

\*\*\*\*\*数值控制部分\*\*\*\*\*

```

numerical    ** All these can be defaulted.  The definitions
             ** here match the previous data.

dtmax 90
sdegree gauss
sorder redblack
norm    press 200    satur 0.2    temp 180    y 0.2    x 0.2
run
    
```

\*\*\*\*\*动态数据部分\*\*\*\*\*

```

date 1973 9 25
dtwell .02
well 1 'Injector 1' vert 1 1
well 2 'Producer 1' vert 1 1
** CYCLE NO.1 - INJECTION
injector mobweight 'Injector 1'
incomp water 1.0 0.0
tinjw 450
qual .7
operate    bhp 1000    ** Starting BHP is 1000 psi
operate max stw 600    ** Maximum water rate is 600 BPD
perfv 'Injector 1'
    ** k    wi = 0.007082 *k * h / ln(0.5 * re / rw)
    4 78095.371 **88
    3 39037.686 **44
    2 97594.214 **110
    1 195188.43 **220

producer 'Producer 1'
operate    stl 1000    ** Starting liquid rate is 1000 BPD
operate min bhp 17    ** Minimum BHP is 17 psi
geometry k .3 .5 1 0 ** rw cc ff ss
perfv geo 'Producer 1'
    
```

---

```
      ** k
      4 1.0
      3 1.0
      2 1.0
      1 1.0
** Cycle No. 1 - Injection
shutin 'Producer 1'    ** Turn off producer
time 10
dtwell 7
** CYCLE NO. 1 - SOAK
shutin 'Injector 1'   ** Turn off injector
time 17
dtwell .2
** CYCLE NO. 1 - PRODUCTION
open 'Producer 1'     ** Turn on producer
time 365
stop
```