

第二十五期: 离散井模型-关键字

在第 24 期我们认识离散井模型的理论之后, 本期将介绍关键字的使用。

一、离散井筒关键字

使用离散井模型的时候会使用如下 (或部分) 关键字:

***WELLBORE, *RELROUGH, *LAMINAR, *TRANSIENT, *CIRCWELL,
*WELLINFO, *REGIME, *WELLWALL, *TUBINSUL, *ANNULUSWAL,
*CASING, *FILM_COND, *RANGE, *WBZ, *WBZADJ**

目的:

定义需要离散化的井。离散化井筒也可以通过*WELLBORE-REC 在动态数据部分指定。

格式:

```
*WELLBORE      rw      (*RELROUGH relrof)
*LAMINAR
*TRANSIENT  (*ON | *OFF))
*CIRCWELL      ra i j k nwbwt      (*RELROUGH relrof)
*WELLINFO
*REGIME
*WELLWALL
  rwo
  hcww
*TUBINSUL
  rins
  hcins
  nwbwin
*ANNULUSWAL
```

```

rao
hcaw
*CASING
rcas
hccas
nwbwca
*FILM_COND
*RANGE
i1 (:i2)    j1 (:j2)    k1 (:k2)
( i1 (:i2)    j1 (:j2)    k1 (:k2) )
*WBZ
z (1) ... z (nlayer)
-or-
*WBZADJ
dz (1) ... dz (nlayer)

```

定义：

***WELLBORE** **rw**

表示定义一口离散化井，每个离散化井筒都需要自己的 *WELLBORE 关键字。量“rw”为井的内半径 (m | ft | cm)，当此井为循环井时，为油管的内半径。注：这个关键字是使用离散井必须的。

***RELROUGH** relrof

一口井油管的相对粗糙度值。

***LAMINAR**

强制井筒流动为**层流**方式，故不使用流动关系式。将这个关键字用于垂直

井, 斜井或是存在反向流动存在时。

*TRANSIENT

*ON: 表示模拟井筒中的不稳定特性。

*OFF: 井筒将初始化为拟稳定的状态

这个关键字也可以用在动态数据部分。

*CIRCWELL

表示对一口循环流动井的附加信息。循环井是指模拟某些特殊过程是油管注-套管采, 或套管注-油管采的井, 例如 SAGD 过程中的循环预热过程是通过油管注汽, 套管采出。

ra

环空内半径 (m | ft | cm), 它必须大于油管半径 rw。

ijk

定义井底末端网格的 I-J-K 地址, 这个网格必须是用 *RANGE 定义的井结构的一个端点网格。

nwbwt

不包含油管的循环井内的段(网格)数, 它连同井底端点的 I-J-K 地址一起, 表示不含有油管的井筒部分。

*RELROUGH relrof

一个环环形空间的相对粗糙度值。

*WELLINFO

表示在输出结果文件 (*.out) 中打印详细的井筒信息。

*REGIME

这个关键字表示将使用计算摩阻压力降的另一种方法。它首先评价流态，然后计算摩阻压力降和相应的持液率。

***WELLWALL**

这个关键字表示将定义关于油管（井筒）壁的参数。

rwo

油管（井筒）外半径（m | ft | cm），它必须不小于油管（井筒）内半径 **rw**。

hcww

油管（井筒）壁热传导率（J/m-day-C | Btu/ft-day-F | J/cm-min-C）。

***TUBINSUL**

这个关键字表示将输入关于油管隔热的参数。

rins

油管隔热外半径（m | ft | cm），它必须不小于油管的为半径 **rwo**。

hcins

油管隔热的热传导率（J/m-day-C | Btu/ft-day-F | J/cm-min-C）。

nwbwin

在离散化井筒中没有隔热（部分油管隔热）的油管网格数。当油管短于环形空间时，只表示没有隔热的油管网格数。

***ANNULUSWAL**

这个关键字表示将输入关于环形空间壁的参数。

rao

环形空间壁外半径(m | ft | cm)，它必须不小于环形空间壁内半径 **ra**。

hcaw

环形空间壁的热传导率（J/m-day-C | Btu/ft-day-F | J/cm-min-C）。

*CASING

这个关键字表示将输入关于套管的参数。

rcas

套管外半径 (m | ft | cm), 它必须不小于环形空间壁外半径 rao。

hccas

套管的热传导率 (J/m-day-C | Btu/ft-day-F | J/cm-min-C)。

nwbwca

没有套管的离散化井筒网格数。

*FILM_COND

表示将计算通过流体薄膜的热传导。这个参数与通过管壁, 隔热层等的热传导一起, 用于计算总的热传导系数。

注意: 无因次参数, 如 Reynolds, Prandtl, Nusselt 和 Grashof 数用于评价通过流体薄膜的热传导, 所以, 热容量, 粘度和热传导率的输入值对每个组份和相必须是正确的, 在这种情况下, 不要使用水相, 油相和气相热传导率的平均值。

*RANGE

表示井筒射孔的网格地址, 所有的离散化井筒需要第一行地址, 斜井需要第二行地址。每个地址行必须确切地指出某一方向的一个范围, 射孔网络的总数不能超过井层的维数限制。

这个关键字仅定义包含离散化井筒的网格。对一口水平井, 连接地面井端通过在井数据段内的射孔关键字定义。

对于一口斜井, 要用两个 *RANGE 行定义两个范围, 两个范围应有一个共用网格, 这个共用网格必须是每个范围的一个端点。

i1 (:i2)

井筒位置在 I 方向的坐标或范围。

j1 (:j2)

井筒位置在 J 方向的坐标或范围。

k1 (:k2)

井筒位置在 K 方向的坐标或范围。

***WBZ**

表示将重新定义井筒深度。当网格深度变化时（也就是使用 *DTOP 时）并且你希望井筒深度保持不变或几乎不变时，这个选项是十分有用的。见下面关于深度调整的说明。

z (i)

井筒段 i 的网格中心深度 (m | ft | cm)。通过 *RANGE 对每个网格地址输入一个数值，按 *RANGE 关键字的网格顺序输入。井筒网格中心深度与基础网格中心深度的差在垂向上不能大于网格尺寸的一半，这样传导率（井指数）计算所需要的假设依然可以使用。

***WBZADJ**

表示将调整井筒的深度。当网格深度为不变时（也就是没有使用 *DTOP），而你希望井筒深度沿着它的长度变化时，使用 *WBZADJ 是有用的。

dz (i)

对井筒段 i 的网格中心深度调整 (m | ft | cm)。通过 *RANGE 对每个网格地址输入一个数值，按 *RANGE 关键字的网格顺序输入。dz 在垂向上不能超过网格尺寸的一半，这样传导率（井指数）计算所需要的假设依然可以使用。

缺省:

- a) 如果 *WELLBORE 不存在, 则不定义离散化井筒。
- b) 如果 *RELROUGH 不存在, 则将相对粗糙度设为 0.0001。
- c) 如果 *LAMINAR 不存在, 则在每个时间步计算雷诺数, 而且当流动变成湍流时, 就要考虑适当的气液两相之间的滑脱效应和摩阻压力降。
- d) 如果 *TRANSIENT 不存在, 那么就将井的初始状态或在井改变工作制, 而没有其他确定时的井筒流动设置为拟稳态。如果 *TRANSIENT 存在但没有 *ON 或者 *OFF, 则假设为 *ON。
- e) 如果在 *WELLBORE 之后不存在 *CIRCWELL, 则这口井内没有油管。
- f) 如果 *WELLINFO 不存在, 将不打印井筒参数。
- g) 如果 *REGIME 不存在, 那么将使用 Dukler 关系式计算摩阻压力降, 并使用 Bankoff 关系式评价持液率。注意: 关键字 *LAMINAR 覆盖 *REGIME, 这样就不对摩阻压力降和持液率进行计算。
- h) 如果 *WELLWALL 不存在, 则油管(井筒)外半径将等于油管内半径。结果为油管壁厚度为 0, 这样对热流动将不产生附加阻力。
- i) 如果 *TUBINSUL 不存在, 则油管隔热层外半径将等于油管外半径。结果为油管隔热层厚度为 0, 这样对热流动将不产生附加阻力。
- j) 如果 *ANNULUSWAL 不存在, 则环形空间外半径将等于环形空间内半径。结果为环形空间壁厚度为 0, 这样对热流动将不产生附加阻力。
- k) 如果 *CASING 不存在, 则套管外半径将等于环形空间外半径。结果为套管壁厚度为 0, 这样对热流动将不产生附加阻力。
- l) 如果 *FILM_COND 不存在, 则热传导不考虑流体薄膜的存在。
- m) 如果 *WBZ 和 *WBZADJ 不存在, 那么井筒网格深度等于包含它的网格中心深度。

条件:

- a) 如果 *WELLBORE 存在, 那么 *RANGE 也必须存在。
- b) 如果 *CIRCWELL 存在, 那么必须在 *RANGE 之前出现。
- c) 天然裂缝网格中不能使用离散化井筒。(关键字 *DUALPOR, *DUALPERM, *SUNDOMAIN 和 *MINC)
- d) 如果没有采用 *REFINE 选项 *HYBRID 进行局部加密, 将不能在网格块中使用离散化井筒。
- e) 当在一个杂交网格中定义一个离散化井筒时, 必须首先定义杂交网格, 见本章开始的摘要中关于这个选项的说明。
- f) 上面描述的半径数值必须遵循递增顺序, 对于 r_{wo} , r_{ins} , r_{ao} 和 r_{cas} 的缺省值自动地满足这个顺序: $r_w \leq r_{wo} \leq r_{ins} < r_a \leq r_{ao} \leq r_{cas}$ 。

二、离散化井筒的描述

通过离散化井筒方法的应用使得对井筒流动的模拟更加精确, 同时也可以分别看出井的功能和先进的网格功能, 通过上面的关键字定义了“离散化”也就是使用网格模拟的井部分, 与任何其他网格一样计算出网格的体积和网格间的传导率。

使用与以前相同的方式通过井数据段中的 *WELL 关键字定义不进行离散化的井部分, 只定义一个层, 它与离散化井筒部分的一个端点连通, 这个源汇井为离散化井筒网格提供了一个进出口, 并且控制着井筒的几个方面(例如, 初始化), 几口源汇井可以在不同的时间连接同一个离散化井筒(例如, 由注入到采出的转换), 但每次只能与一个连接。

在常规情况下网格的性质和初始条件是与井筒不同的。当没有使用 *TRANSIENT 关键字时, 模拟软件将对井筒使用拟稳定状态条件计算, 这将改进数值解法的效果, 然而在某些情况下, 需要计算井筒中的不稳定特性(高粘度高分子的流动或注入), 因此用户应该在初始条件数据段适当地设置井筒性质,

见数组输入选项 *WELLBORE 或 *RG。在输出中，井筒网格的射孔情况将附加一个 ‘WB’，例如，1, 1, 1 + WB 或 1, 1, 1/1, 1, 1。

例题：井 1 为水平生产井，在网格 (1, 1, 1) 处与地面连接。

```

** 油藏描述数据段
wellbore 0.15
range 1:4 1 1
** 井和循环数据段
well 1 'Producer 1'
producer 1
operate bhp 154
operate max liquid 80000
perf 1 ** i j k      wi
           1 1 1 wb  50
    
```

使用两种不同的方法计算井筒中的摩阻压力降和持液率。第一种方法使用 Bankoff 关系式评价持液率，并使用 Dukler 关系式计算摩阻压力降，这些关系式仅当用于垂直共向向上流动和水平流动时才是有效的。这种方法在 98.00 版本以前是唯一方法，目前为缺省方法，详细的说明见 "Aspects of Discretized Wellbore Modelling Coupled to Compositional/Thermal Simulation", V.Oballa, D.A.Coombe, W.L.Buchanan, JCPT, April 1997, Volume 36, No. 4, page 45。

第二种方法（使用关键字 *REGIME 激活）根据井筒中存在的流动体系计算摩阻压力降和持液率。这些关系式仅仅对于共向流动才是有效的。这种方法基于 "A Comprehensive Mechanistic Model for Two-Phase Flow in Pipelines", J.J. Xiao, O. Shoham, J.P. Brill, Proceedings from 65th Annual Technical Conference

of SPE, September 23-26, 1990, New Orleans, USA, SPE 20631.

1. 循环井

一口循环井就像一个离散化井筒, 在其中有第二个独立流动管串。从地面的注入连接于油管的一端并且注入流体从油管的此端流入开放的井筒, 而后进入环空通过射孔部位流入油藏, 环空中多余的流体采出到地面。每个离散化井筒都需要在井数据段中设置一口源汇井连接于它。

可以使用数组输入属性 *ANNULUS 和 *TUBING 对油管和环形空间设置物性与初始条件, *WELLBORE 指的是环形空间和油管。输出时, 环形空间和油管内的情况分别使用‘WB’和‘TU’标识, 例如 1, 1, 1 WB 和 1, 1, 1 TU。

例题: 计算井 1 和井 2, 连接于网格 (1, 1, 1), 油管长度与井筒相同, 初始时油管具有高温。

```

** 油藏描述数据段
wellbore 0.15
circwell 0.4 4 1 2 0
range 1:4 1 2
** 井和循环数据段
well 1 'TUBING'
injector mobweight 1
operate bhp 155
operate max water 80000
tinjw 355 qual .7
perf 1 ** i j k      wi
                1 1 2 tu 241.3
well 2 'ANNULUS'

```

```

producer 2
operate bhp 154
operate max water 80000
perf 2  ** i j k      wi
          1 1 2 wb  241.3
    
```

2. 深度调整

深度调整选项 ***WBZ** 和 ***WBZADJ** 允许在深度不变的网格内模拟井筒的上下起伏。同样也可以控制井筒深度与用 ***DTOP** 和 ***DK** 提供的变深网格深度之间的差值。

***WBZADJ** 仅需要相对的调整，因此容易使用。而 ***WBZ** 需要绝对深度，这可能是你没有的数据。当在一个模拟运行中使用了 ***WELLBORE** 时，将会打印出网格中心深度“Block Centre from Ref plane”。建议你在第一次模拟运行初始化中不要使用 ***WBZ** 关键字，然后检查打印出的网格深度，根据缺省情况，井筒深度与网格中心深度相同，然后输入与网格深度不同的井筒深度（其差值在半个网格厚度之内）。

对于循环井，环形空间和油管具有相同的深度。

3. 注释

在模拟中并不是每口井都需要进行离散化。使用这个选项时应该小心，只有对适当的开采过程才考虑这种必要性，比如对水平井进行详细研究时。

4. 井筒的初始条件的不稳定性流动

井筒（油管，环形空间）内的初始条件规定了不稳定状态的持续时间。当井筒的初始压力，温度和组成与流体的注入或采出条件有明显的差异时，不稳定状态可能会持续若干天。对不同的问题，这可以影响到最终的物理结果，如产量，压力，温度，饱和度等。

此外, 与假定拟稳定状态的源汇方法相比, 试图对不稳定期间进行模拟将会改变整个数值解法的计算情况。由于井筒容积小, 压力, 温度或饱和度都会产生很大的变化, 即使使用全隐式方法模拟, 时间步长也会相当小 (约为 0.001~0.0001 天, 当产量高时可能会更小)。例如, 最糟的情况是在一次采油之后井筒内含有低温油时注入蒸汽, 因此井的类型可能在瞬间改变, 但井离散化部分的情况则需要时间改变。

如果用户对井筒不稳定状态不感兴趣, 初始条件应该是拟稳态的, 以避免平衡时间太长。为此去掉关键字 *TRANSIENT 即可。

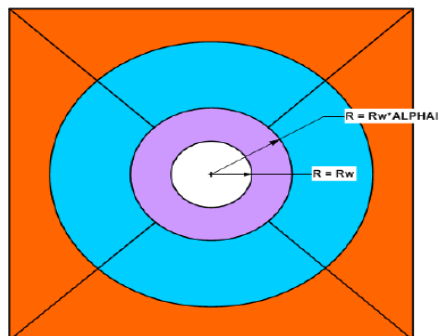
5. 杂交网格内的离散化井筒

在正常情况下离散化井筒对于包含它的网格只有一个一个连接点, 这对于大多数情况都是足够的, 在任何一个时间流动主要是单向的 (井筒到网格或网格到井筒), 可以对井筒与网格的深度差进行调整, 这样就可以模拟流体的位能, 但是仅存在一个连接, 因此在任何时间只有一个流动方向。

为了有效地模拟单井 SAGD 过程 (蒸汽辅助重力泄油), 需要将井筒直接与它的上下网格连接, 以允许蒸汽上升而同时液体运移到底部, 这可以使用将离散化井筒包含在一个杂交网格内进行模拟。

Hybrid Grid Definition

Example shows a 3 x 4 x N hybrid grid with Kh/Kv = 1 (3 solid rings plus well bore, divided into four angular segments).
 Note that the inner ring does not have angular divisions, and contains the well bore of radius R_w .
 The well bore itself is currently not visualized in Results 3D or Builder unless it is a discretized well bore. In this case the annulus of the well bore is represented by the first, unsegmented, ring, and the tubing (if it exists) by an inner circle.



当一个基础网格包含了离散化井筒与杂交网格时，井筒完全代替了最内层的杂交网格。离散化井筒/环形空间网格直接与径向方向上相邻一层的网络连接。

通过对基础网格定义杂交网格激活这个选项，然后对相同的网格定义具有相同方向的离散化井筒。除了对一口斜井的角之外，你可以对任何井筒段定义它周围的杂交网格。如果杂交网格在轴向上加密为多个网格，那么每个网格将具有一个离散化井筒段。

你可以分别地或单独地访问杂交网格以及井筒网格，对杂交网格使用 *RG 数组属性；而对于井筒网格使用 *WELLBORE, *ANNULUS 和 *TUBING 数组属性。例如，如果网格 (I, J, K) 包含有一个杂交网格中的离散化井筒，那么对于杂交网格使用 *RG I J K, 而对于井筒网格使用 *WELLBORE I J K。例如，分别对基础网格设置相对渗透率类型 1；对网格 (3, 4, 5) 的近井区域设置类型 2；对其中的井筒设置类型 3：

```
*KRTYPE *CON 1          ** 所有网格
*KRTYPE *RG 3 4 5 *CON 2    ** 近井区域（杂交网格）
*KRTYPE *WELLBORE 3 4 5 *CON 3  ** 井筒或油管/环形空间
```

将一口源汇井连接到包含在杂交网格中的离散化井筒的一端，使用 *PERFRG 对最内层杂交网格进行射孔，使用上面的例子，井的连接为：

```
*WELL 1 'Producer 1'      ** 离散化井筒
*GEOMETRY -1 0 0 0        ** 使用油管端选项
*PERFRG *GEO 1            ** 将源汇井连接到井筒网格
** i j k   ir jr kr
3 4 5   1   1   1 wb
```

在打印输出中，将出现如下 I-J-K 网格标志：（标志 i1, j1, k1, i2, j2,

k2 为整数)

基础网格:

i1, j1, k1

杂交网格:

i1, j1, k1/i2, j2, k2

基础网格内的离散化井筒:

i1, j1, k1/1, 1, 1 WB 非循环井筒

i1, j1, k1/1, 1, 1 TU 循环井筒内的油管

i1, j1, k1/2, 1, 1 WB 循环井筒内的环空

最内层杂交网格中的离散化井筒:

i1, j1, k1/1, 1, k2/1, 1, 1 WB 非循环井筒

i1, j1, k1/1, 1, k2/1, 1, 1 TU 循环井筒内的油管

i1, j1, k1/1, 1, k2/2, 1, 1 WB 循环井筒内的环空

注意最内层杂交网格始终为 $i2 = j2 = 1$

将忽略通过 *WBZ 和 *WBZADJ 输入的深度调整, 因为井筒正好处于杂交网格的最内层网格。

6. 层动态报告

井层报告通过 *LAYER 选项中 *OUTSRF *WELL 在 RESULTS 和 *LAYPHASE 选项 *OUTPRN *WELL 中的.out 文件中得到。离散化井筒网格块中流体流进流出处理方式与通过 *PERF 定义的源汇井层类似。如下即为以报告为目的离散化井筒层独特的重要几点:

(1) 以报告为目的的独特的离散化井筒网格内流动。离散化井筒网格与周围

网格 (i, j, k) 之间的流动以离散化井筒网格的 UBA 地址标识, 也就是“i, j, k/n, 1, 1”, 在这里 n = 1 标识没有循环的离散化井筒, n = 2 表示循环的离散化井筒 (环空)。一个例外就是, 采用角分度的杂交网格中心的离散化井筒, 流动采用离散化井筒周围的 4 个杂交网格的 UBA 标识, 也就是“i, j, k/2, m, 1/n, 1, 1”, m = 1, 2, 3, 4 表示角部位, n 也上一样。在循环离散化井筒中油管与环空间流动采用油管 UBA 标识, 也就是“i, j, k/1, 1, 1”或 “i, j, k/1, 1, 1/1, 1, 1”, 与油管井一起记录。

(2) 采用 DW 记录的符号为注入井 (离散化井筒到油藏) 为 (+), 生产井 (油藏到离散化井筒) 为 (-), 与源汇井类似。

(3) 每个离散化井筒记录包含源汇井连接的对应额外层。在 RESULTS , 这个层标识为“-S/S-”而不是 UBA 。在 out 文件这个层标识为源汇井的 UBA , 采用带“*”的“Reference Layer”指示。

(4) 离散化井筒可以与一个或多个源汇井连接, 这些源汇井可以是正在生产或关井。

(5) 每个与同一个离散化井筒连接的开井的源汇井包含各自的层记录。即使是两个源汇井往同一个离散化井筒中注入不同相的流体。

(6) 当离散化井筒不与开井的源汇井连接时, 也就是, 所有连接的井都关闭。离散化井筒可能与油藏网格有流体流动和热交换, 在层动态里记录非零流速。

(7) 当离散化井筒同时与开着或关着的井连接时, 每个关着的井离散化井筒层动态记录零流速, 而开着的井记录真实的离散化井筒层动态。

三、离散化井-油藏向上计算方法

Discretized Well - Reservoir Upstream Calculation Option (Optional)

*DW-RES-UPSTREAM

目的:

*DW-RES-UPSTREAM 控制当离散化井筒网格流向油藏网格的流动计算。

格式:

* DW-RES-UPSTREAM (*ON/*OFF)

定义:

*ON

当井筒网格为向上流动的网格是,采用井筒网格属性来计算井筒-油藏流动。

*OFF

当井筒网格为向上流动网格时,使用向下流动全流度(油藏网格流度)。

默认:

当该关键字缺失默认* DW-RES-UPSTREAM *OFF, 当 DW-RES-UPSTREAM 出现即表示 DW-RES-UPSTREAM *ON 。

解释:

当采用*WELLBORE 关键字采用两种不同的方法来计算离散化井筒网格与油藏网格之间流动。此计算方法只应用于离散化井筒网格为向上流动,例如注入流体到油藏。

(A) 采用 *ON 关键字- 采用离散化网格属性计算

流速 (flow rate) = 传导率 (transmissibility) * 压差 (delta P) * 离散化井筒网格流度 (DW block mobility)。

采用这种方法处理注入油藏的蒸汽干度为:

(干度、小数) Fraction Quality = 气体密度 (gas density) * 气体流度 (gas mobility) / (气体密度 (gas density) * 气体流度 (gas mobility) + 水密度 (water density) * 水流度 (water mobility))。

(B) 采用*OFF 关键字 -采用油藏网格的总流度计算流动速率:

流速 (flow rate) = 传导率 (transmissibility) * 压差 (delta P) * 总油藏网格流度 (total reservoir block mobility)。

采用这种方法处理注入油藏的就地蒸汽干度为:

(干度、小数) Fraction Quality = 气体密度 (gas density) * 气体饱和度 (gas saturation) / (气体密度 (gas density) * 气体饱和度 (gas saturation) + 水密度 (water density) * 水饱和度 (water saturation))。

注入源汇井与油藏间的流动也采用这种方法计算。