

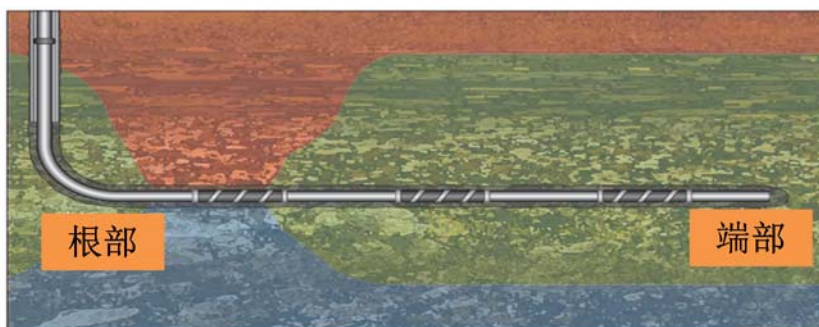
第 49 期： 如何用灵活井模拟封隔器及井下流量控制装置

编写人：王建国

STARS 软件自 2010 年新增灵活井（Flexwell）模型（参考第 27 期讲义）后，受到广大用户的普遍欢迎。近几年，又陆续完善了灵活井模型，例如 2011.12 版增加了封隔器及井下流量控制装置（FCD）的模拟功能。本期讲义尝试介绍用灵活井模型模拟封隔器及井下流量控制装置的方法，部分背景介绍内容来自《油田新技术》2009 年冬季刊：21 卷，第 4 期，30-37 页。

一、问题的提出

均质地层内沿一口水平井筒的压力损失会导致油井根部的流压低于端部处的油管流压，这种现象称为**根部-端部效应**。最终，早在靠近端部层段的油流（绿色）流入井筒之前，水（蓝色）或气（红色）就已经流到了根部，导致油井根部出现水突破或气突破现象（下图），从而导致油井开采寿命过早结束。



根部-端部效应

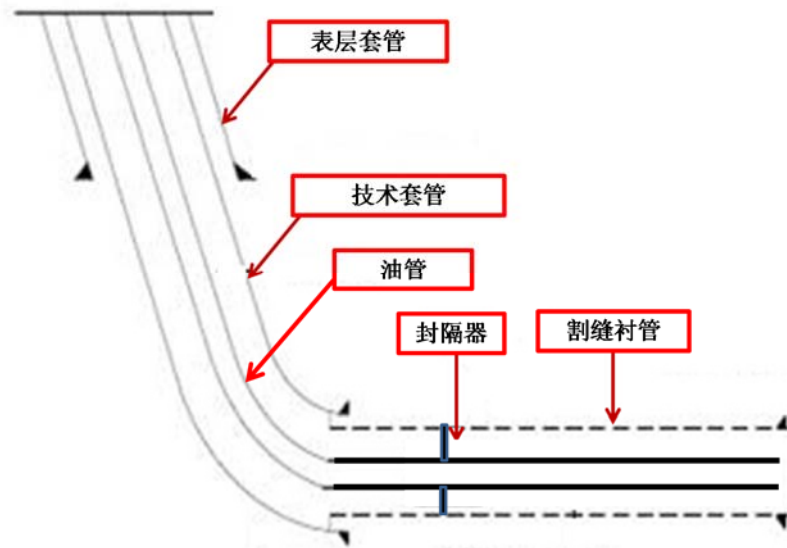
沿着水平井段出现的水突破或气突破现象也可能是由其他原因造成的，比如储层非均质性或者是井筒与流体界面之间的距离不同等。这些原因不在本文讨论范围之内。

对于穿越多个层的超长井，作业公司常常选择利用诸如膨胀式封隔器之类的隔离设备进行分层开采。为减少层间窜流，促使流体均匀地流经储层，作业公司已经开始采用被动式流入控制装置（Passive Inflow Control Device, PICD）和膨胀式封隔器相结合的技术。PICD 可以平衡整个井筒长度范围内的压降，使油气均匀地流经地层（下），从而延缓水和气到达井筒的时间。这样就能消除因根部-端部效应和渗透率非均质性引起的非均匀流动。

不管是针对注入井还是生产井，PICD 在一些不同类型油藏的水平井和斜井中都有应用。这些设备通常是裸眼完井装置（还包括防砂筛管）的一部分。此外，PICD 完井装置还常常利用封隔器在渗透率差异明显处封隔井筒。该策略是为应对裂缝性地层的水锥和气突破现象而制定的，可以暂时阻止各个间隔之间的环空液流现象，隔离水层。

二、封隔器的模拟

在 2011.12 版，灵活井模型加入了模拟封隔器的功能。



封隔器示意图

封隔器关键字*PACKER 用于阻止相邻射孔点之间的轴向（沿井筒）流动。***TUBULARS 必须使用*VARIABLE，并且必须设置所有的内径/外径。**管径部分的关键字格式为：

*VARIABLE

{ *idv* *odv* (*insd | cemd*) *PACKER }

其中，关键字*PACKER 用于定义封隔器，有*PACKER 的射孔点与其*FLOW-TO 的射孔点之间没有流动。

封隔器的示例如下：

管柱 'Annulus'在射孔（6,6,20）和（6,5,20）之间没有流动。

```

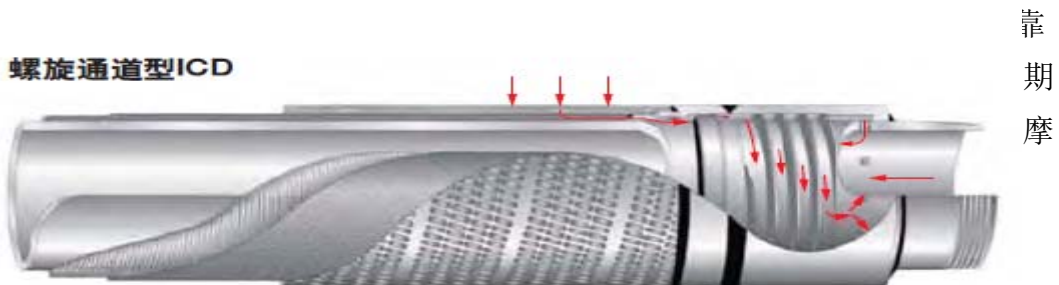
*ANNULUS *ATTACHTO 'Annulus'
*TUBULARS *VARIABLE
** ID          OD    cement    device
   0.224      0.2445  0.2445          ** perforation 6  4 20
   0.224      0.2445  0.2445          ** perforation 6  5 20
   0.224      0.2445  0.2445  *PACKER  ** perforation 6  6 20
   0.224      0.2445  0.2445          ** perforation 6  7 20
   ...
   0.224      0.2445  0.2445          ** perforation 6 24 20
    
```

完整的算例请参考 CMG 自带算例中的 stwwm068.dat 和 stwwm069.dat。

三、井下流量控制装置（FCD）简介

这部分主要介绍 FCD 的背景知识，熟悉 FCD 的用户可以跳过此部分。FCD 与以下理论介绍部分提到的 ICD 是相同的。

在长水平段生产井中，为了消除根部-端部效应，沿着整个水平段，在每个筛管单根上安装流入控制装置（ICD），来平衡注采剖面，补偿渗透率变化带来的影响。

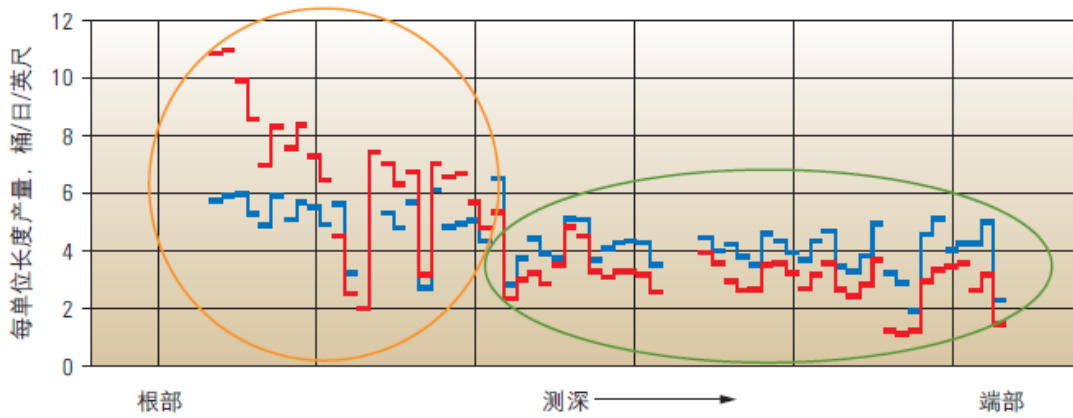


不同类型 ICD 示意图

一般的流入控制装置（ICD）包含在位于地层/井眼界面处的设备中。它们采用各种流通配置，包括喷嘴、管路和曲径式螺旋通道。如上图所示，地层流体（红色箭头）流经设置在内护套中的多层筛管，沿实心中心管和筛管之间的环空流动。随后，在喷嘴型 ICD 和孔板工具中通过油门流入生产油管（上），或在螺旋型 ICD 和油管设备中通过一个曲折的通道流入生产管柱（下）。

这些设备的作用是均衡油井的流量剖面，以增加地层和井筒之间额外但有限的压降为代价来最大限度地减少环空液流（下图）。上述设备通过将储层中

达西径向流的流动方式转化成 ICD 内的压降流来实现这一目标。各种基本类型的 ICD 都利用不同的作业原理实现这一回压。



水平段不同位置流量示意图

减少大流量区域的影响。非均质模型中的 ICD 将根部（橙色圆圈内）流体流量（蓝色）降低到了只利用筛管完井时流体流量预测值（红色）的一半。但同时也增加了包括端部在内的油井下方三分之二段（绿色椭圆形内）的流体流量。

当流体流经设置在中心管内或中心管外外壳中的节流端口时，喷嘴型 ICD 内的压降大小与流体流速有关。

喷嘴型 ICD 是一个自调节型完井组件，这意味着考虑到沿着水平井筒段地层渗透率变化的不确定性，每节 ICD 的动态与所在井段地层处的非均质性和流体类型无关，这二者可能会随着时间的变化而变化。前者（地层非均质性）可能因为井筒周围的压实或沉降而产生变化，后者（流体类型）将会不可避免地受到水侵或气侵的影响。

螺线设备引导流体流经预定直径和长度的通道。这些设备所能提供的压差取决于通道面的摩阻大小，压差大小也是流速和流体物性的函数。但是当水、气突破夹层处的回压没有远远高于产油区域的回压时，由于该区域的原油因夹带水、气而具有较低的粘度，这样粘度敏感性就可能导致低效。

孔板型 ICD 与喷嘴设施相似。每种工具的直径及流动特征为已知数，可以通过调整孔眼数量来形成回压。孔板被置入中心管周围的衬套中。

另一种方案涉及到在一个标准管柱中设置一个环形室。储层流体经过防砂筛管流入流动室，随后再通过流动室流经平行管路，到达生产管柱。与螺线型通道相同，这些管柱 ICD 也利用摩阻生成压降，压降大小取决于管路长度和内径。某些新型的 ICD 其实就是管路通道和孔板-喷嘴的组合体。

所有 ICD 都属于永久性油井组件，其规格取决于其流动阻力。ICD 的规格实际上代表通过设备时产生的总压降，压降大小与流体物性和流速相关。喷嘴型和孔板型设备比通道型 ICD 具有更大的优势：因为作业人员在部署喷嘴型和孔板型 ICD 之前可根据实时钻井信息在井口调整喷嘴尺寸，从而调整 ICD 的规格。

在 CMG 中，无论是用于生产井还是注入井中的此类装置，统称为流量控制装置（Flow Control Device, FCD）。

四、井下流量控制装置（FCD）模拟方法

STARS 中根据流量计算方法，将 FCD 的类型分为孔板型（ORIF）、摩擦压降型（FRIC）、文丘里型（VENTURI 或 VENTURI-INJ）、以及 STA 型。下面介绍每种 FCD 关键字的详细使用方法。

4.1 孔板流动关键字

*FCD-ORIF, *FCD-ORIF-DIAMETER, *FCD-ORIF-DISCHARGE-COEFF,
 *FCD-ORIF-DISCHARGE-COEFF-CNST

4.1.1 用途

使用流量控制装置（FCD）计算油管 and 环空之间，或者环空与油藏之间的孔板流动。使用这些关键字要求所有打开的射孔点有相同的 FCD，并且参数相同。否则就使用允许每个射孔点设置不同 FCD 的选项（*FCDL-PARAM）。

4.1.2 关键字格式

```
*FCD-ORIF well_list
*FCD-ORIF -DIAMETER well_list
    diam_list
*FCD-ORIF -DISCHARGE -COEFF well_list
    dcoef_list
*FCD-ORIF-DISCHARGE -COEFF-CNST well_list
    dcoef_list
```

4.1.3 关键字定义

well_list

应用 FCD 的一个或多个井名。这些名称必须与关键字位于同一行。如果需要多行输入井名，该关键字必须重复输入。

diam_list

孔眼直径列表（m | ft），紧跟在井名列表后面另起一行。如果 diam_list 是一个值，则用于井名列表中的所有井；否则，必须为井名列表中的每口井输入一个值。

*FCD-ORIF-DISCHARGE-COEFF

排放系数随含气量一起改变。

*FCD-ORIF-DISCHARGE-COEFF-CNST

排放系数为定值。

dcoef

排放系数（无因次）列表，紧跟在井名列表后面另起一行。如果 `dcoef_list` 是一个值，则用于井名列表中的所有井；否则，必须为井名列表中的每口井输入一个值。

4.1.4 缺省值

如果某口井没有使用 `*FCD-ORIF`，则该井的流量计算采用《STARS 帮助手册》附录 A 中的标准方式。

如果某口井没有使用 `*FCD-ORIF-DIAMETER`，则该井的射孔孔眼直径假定为 0.0125m（12.5mm）或 0.041ft。

如果某口井没有使用 `*FCD-ORIF-DISCHARGE-COEFF` 和 `*FCD-ORIF-DISCHARGE-COEFF-CNST`，则该井的排放系数假定为 0.87 和定值。

缺省条件下每个装置有一个孔眼，除非通过 `*PERF_FLX` 指定了值。（注：当某口井使用 FCD 时，该井的 `ff` 不再表示射开程度，而是用于设置 FCD 中孔眼或流动通道的个数。）

4.1.5 使用条件

这些关键字必须位于井和动态数据部分。

4.1.6 理论解释

这些可选关键字用于描述一种特殊的流体流动计算。FCD 用于矿场模拟，通过定义这些装置的准确个数、大小（孔眼数）以及位置，来获得期望得到的油藏中蒸汽的分布形态。当流体流过孔眼时发生窒息（临界）流时需要使用 FCD。STARS 中 `FCD-ORIF` 的应用基于公开发表的文献：“Critical and Subcritical Flow of Multiphase Mixtures Through Chokes”, T.K. Perkins; SPE Drilling & Completion, December 1993, “Critical Flow of Wet Steam Through Chokes,” Sze-Foo Chien; JPT, March 1990 and “Targeted Steam Injection Using Horizontal Wells with Limited Entry Perforations”, T.J. Boone, D.G. Youck, S. Sun; JCPT, January 2001, Vol. 40, No. 1.

`FCD-ORIF` 选项使用下面的临界或亚临界流量计算代替了 `*PERF_FLX` 描述的射孔流量计算。`*FCD-ORIF` 关键字可用于油管或环空。因此，油管与环空之间，或环空与油藏之间的流动用下面的方法计算。当下游压力和上游压力比低于临界压力比 F_p^* 时，发生临界流动。

背景知识：

- ✚ **临界流动**是指，在给定的上游条件和流量控制装置下，进一步降低阀门的下游压力，质量流速不随之增加的情形。这种质量流速定义为**临界质量流速**。
- ✚ 在亚临界流速条件下，阀门上游压力不变时，蒸汽的质量流速是阀门下游压力的函数。如果通过阀门的压力降非常大，流态就变成“临界”的，并且上游压力不变时，质量流速与下游压力无关。
- ✚ **临界压力**定义为临界流动首次发生时流量控制装置的出口端压力。然而，对于收敛或发散型的控制装置，临界流动首次发生时的喉压定义为**临界压力**。单位横截面积的临界质量流速称为**临界质量流量**。
- ✚ 临界压力和上游压力的比值为**临界压力比**。临界压力比取决于入口条件。

变量 Fp^* 是当 $dqm/dFp=0$ 时最大可能的质量流速 ($\text{kg/s}\cdot\text{m}^2$)。质量流速的计算如下：

$$q_m = \left[\frac{2P_{up} \rho (\lambda(1 - Fp^{k-1/k}) + \alpha(1 - Fp))}{(fgFp^{-1/k} + \alpha)^2 - A_{dw}^2 / A_{up}^2 (fg + \alpha)^2} \right]^{0.5}$$

P_{up} - 上游（停滞）压力（Pa）

ρ_g, ρ_o, ρ_w - 气油水的上游质量密度 (kg/m^3)

f_g, f_o, f_w - 气油水的质量分数

A_{dw}, A_{up} - 下游和上游面积 (m^2)

k - 定压与定容的混合热容比

Fp - 下游和上游压力比

$$\alpha = \rho(f_o / \rho_o + f_w / \rho_w)$$

$$\lambda = fg + \frac{(fgc_{vg} + foc_{vo} + fwc_{vw})M}{ZR}$$

c_{vg}, c_{vo}, c_{vw} - 气、油和水在恒定体积下的热容 ($\text{J/kg}\cdot\text{C}$)

M - 摩尔质量 (kg/mole)

Z -压缩因子

R -气体常数

临界体积流速 (m^3/s) 计算如下:

$$q^* = A C_d q_m / \rho$$

q^* -临界流速 (m^3/s)

A -孔眼面积 (m^2)

ρ -混合质量密度 (kg/m^3)

C_d -无因次排放系数

使用*FCD-ORIF-DISCHARGE-COEFF 时, 排放系数的输入值用含气量进行校正:

$$C_d = \max(C_{di} f g^{0.031}, 0.61 C_{di})$$

C_{di} -排放系数的输入值

当压力比高于临界压力比时, 流动变成亚临界流动, 注采速率计算如下:

$$q = q^* \left[1 - \left[\frac{(F_p - F_p^*)}{(1 - F_p^*)} \right]^2 \right]^{0.5}$$

q -亚临界流速 (m^3/s)

F_p^* -临界压力比

大多数 FCD 使用多个孔眼。这样流量值就得乘以由*PERF_FLX 中的 ff 定义的孔眼个数。如果网格中没有 FCD, 则油管的射孔应定义成 CLOSED, 环空的射孔应定义成 CLOSED 或 OPEN (见*PERF_FLX)。

4.1.7 算例

完整的算例请参考 CMG 自带算例中的 stwwm068.dat 和 stwwm069.dat。

4.2 摩擦压降关键字

*FCD-FRIC, *FCD-FRIC-GEOMETRY, *FCD-FRIC-COEFF-PARAM

4.2.1 用途

使用流量控制装置计算油管和环空之间，或者环空与油藏之间通过 FCD 的摩擦压降。使用这些关键字要求所有打开的射孔点有相同的 FCD，并且参数相同。否则就使用允许每个射孔点设置不同 FCD 的选项（*FCDL-PARAM）。

4.2.2 关键字格式

```
*FCD-FRIC  well_list
*FCD-FRIC-GEOMETRY  well_list
    diam  length area wr
*FCD-FRIC-COEFF-PARAM  well_list
    a1 a2 b1 b2 c  d  t
```

4.2.3 关键字定义：

well_list

应用 FCD 的一个或多个井名。这些名称必须与关键字位于同一行。如果需要多行输入井名，该关键字必须重复输入。

diam

通道水力直径（m | ft）。紧跟在井名列表后面另起一行。

length

通道长度（m | ft）。该值用于计算摩擦参数（见下面的解释）。

area

通道面积（m² | ft²）。该值与流量一起用于计算速率。

wr

无因次参数。该值用于计算摩擦参数（见下面的解释）。

*FCD-FRIC-COEFF-PARAM

一套含有 5 个数的参数。这些参数必须紧跟在井名列表后面另起一行。这些值用于压降系数计算（见下面的解释）。如果用方程（3）计算摩擦系数，这些参数就不是必须的了。

4.2.4 缺省值

如果没有使用*FCD-FRIC，则该井的流量计算采用《STARS 帮助手册》附录 A 中描述的标准方法。

如果没有使用*FCD-FRIC-COEFF-PARAM，则摩擦系数计算采用下面的方程 3。

假设每个装置有一个通道，除非通过*PERF_FLX 的 ff 值定义了其他值。

4.2.5 使用条件

这些关键字必须位于井和动态数据部分，如果某口井用了*FCD-FRIC，则必须要有 *FCD-FRIC-GEOMETRY。

4.2.6 理论解释

这些可选关键字用于描述一种特殊的流量计算方法。通过设置这些 FCD 装置的个数、大小和位置，FCD 可以用于矿场上计算油藏中流体分布。使用 FCD 时需要计算通过这些装置的摩擦压降。STARS 中 FCD-FRIC 的应用基于以下文献：

“Identifying Well Completion Applications for Passive Inflow Control Devices”, G.A. Garcia, et. all, SPE Annual Technical Conference, New Orleans 2009, SPE 124349, “New Inflow Control Device Reduces Fluid Viscosity Sensitivity and Maintains Erosion Resistance”, M.P. Coronado, et. all , Offshore Technology Conference, Houston 2009, OTC 19811.

FCD-FRIC 选项用下面的流量计算方法代替了*PERF_FLX 描述的射孔流量计算。*FCD-FRIC 关键字可用于油管 and 环空。因此，油管和环空之间，以及环空和油藏之间的流动会受影响。

压降计算的总方程为：

$$\Delta P = K\rho \frac{v^2}{2} \quad (1)$$

Δp -摩擦压降 (Pa)

K -无因次摩擦系数

ρ - 质量密度 (kg/m³)

v -速率 (m/s)

摩擦系数 K 可以用 2 个不同的公式计算。

如果有 *FCD-FRIC-COEFF-PARAM, 公式为:

$$K = f2 + \frac{f1 + f2}{\left(1 + \left(\frac{Re}{t}\right)^c\right)^d} \quad (2)$$

$$f1 = a1 * Re^{b1}$$

$$f2 = a2 * Re^{b2}$$

Re - 雷诺数 (无因次)

如果没有 *FCD-FRIC-COEFF-PARAM, 则公式为:

$$K = \frac{4ff * L * wr}{Dh} \quad (3)$$

ff -范宁摩擦系数—内部用 Colebrook 方程计算

L -装置长度 (m)

wr -无因次系数—可用于调整 K

Dh -通道的水力直径

有些 FCD-FRIC 有多个通道。这种情况下流量值将被乘以通过 *PERF_FLX 的 ff 值定义的通道数。如果某网格中没有 FCD, 则该射孔应该设置成 CLOSED (见 *PERF_FLX)。

4.3 FCD 的开关关键字*FCDL

4.3.1 用途

打开或关闭某口井或某个射孔位置的流量控制装置（FCD）。这些关键字只能与*FCDL-PARAM 一起使用。

4.3.2 关键字格式

```
*FCDL uba well *ON/OFF
```

4.3.3 关键字定义

uba

将 FCD 打开（*ON）或关闭（*OFF）的射孔的网格坐标。

well

该定义要作用的井名。名称必须与关键字位于同一行。

4.3.4 缺省值

如果一口井中某个层没有用*FCDL，则该井层的流量用*FCDL-PARAM 计算。如果没有*ON 或*OFF 则假设为*ON。

4.3.5 使用条件

这些关键字必须位于井和动态数据字段，并且必须位于*FCDL-PARAM 关键字之后。

4.3.6 使用条件理论解释

这些可选关键字用于描述某个特殊层的特殊流量计算方法。请看关键字*FCD-FRIC, *FCD-ORIF 的描述。当一口井所有打开的层有相同类型的 FCD 及参数时，FCD 关键字仍可使用。

4.4 FCD 参数设置关键字 *FCDL-PARAM

4.4.1 用途

在指定的井和射孔位置描述流量控制装置（FCD）。

4.4.2 关键字格式

```
*FCDL-PARAM  well
  uba  device  parameter list
  device:  ORIF  diameter  discharge-coeff  number-of-orif
  device:  FRIC  diameter length area  wr number-of-channels  frical:a2  fricb1:b2
          fricc  fricd  frict
  device:  VENTURI  diameter  discharge-coeff
  device:  VENTURI-INJ  diameter  discharg- coeff
  device:  STA  a  fpc  exponent  number-of-aggregates
```

4.4.3 关键字定义

well

该定义要作用的井名。名称必须与关键字位于同一行。

uba

有 FCD 的射孔的网格坐标。必须是通过*PERF_FLX 关键字定义过的射孔之一。如果还有更多的网格有 FCD，那么重复写这些带有 FCD 参数列表行的网格。

device: ORIF

射孔点有一个孔板 FCD。在*PERF_FLX 中设置成*OPEN。

Parameter list

与装置类型出现在同一行

Diameter (m | ft) 孔眼直径。

discharge-coeff 排放系数（无因次）。取负值时会随含气量变化。取正值时直接使用。

number-of-orif 孔眼个数。

device: FRIC

射孔点有一个基于摩擦压降计算流量的 FCD。在*PERF_FLX 中设置成*OPEN。

Parameter list

与装置类型出现在同一行

diameter (m | ft) 通道水力直径

length (m | ft) 通道长度

area (m² | ft²) 通道面积

wr (无因次) 该值用于计算摩擦系数 (见*FCD-FRIC 的解释)

number-of channels (无因次) 通道个数

fric1:a2 fricb1:b2 fricc fricd frict (无因次) 这些值用于计算摩擦系数 (见*FCD-FRIC 的解释)。

device: VENTURI 或 VENTURI-INJ

射孔处有一个文丘里管 (一种流量计)。在*PERF_FLX 中设置成*OPEN。VENTURI-INJ 不允许回流, 只能通过 FCD 流出。

Parameter list

与装置类型出现在同一行

Diameter (m | ft) 文丘里管的直径

discharge-coeff (dimensionless) 文丘里管的排放系数 (无因次)。取负值时会随含气量变化。取正值时直接使用。

device: STA

射孔处有一个如下面理论解释部分所描述的那种流量控制装置。由于常数 a 的原因, 只能与 SI 单位制一起使用。在*PERF_FLX 中设置成*OPEN。

Parameter list

与装置类型出现在同一行

a (常数) - 因此取决于指数 - 见理论解释部分

fpc (dimensionless) -临界流压比

exponent -质量流量计算的指数

number-of-aggregates -设置 FCD 中的单元个数

4.4.4 缺省值

如果 FCDL-PARAM 没有出现, 则认为没有 FCD。如果 FRIC 装置中没有出现 fric1:a2 fricb1:b2 fricc fricd frict, 那么使用内置的关系式

(Colebrook) 计算摩擦系数。如果 STA 装置中没有出现单元个数, 则假设为 1。

4.4.5 使用条件

这些关键字必须位于井和动态数据字段。

4.4.6 理论解释

这些可选关键字用于描述井筒中使用的 FCD。除 VENTURI 和 VENTURI-INJ 之外，都可以放到环空上或油管上。见*FCD-ORIF 或*FCD-FRIC 的解释。

关键字*VENTURI 或*VENTURI-INJ 是基于文丘里赫歇尔（Venturi Herschel）型管流计算油管和环空之间的流量。

流体的质量流量计算公式：

$$q_m = KYA_2 [2(\theta_1 - \theta_2)\rho_1]^{1/2}$$

$$K = \frac{C_d}{(1-\beta^4)^{1/2}} \quad \beta = \frac{d_2}{d_1}$$

Y 是膨胀系数。对于液体，取值为 1。对于气体，计算公式如下：

$$Y = \left[F_p^{2/k} \left(\frac{k}{k-1} \right) \left(\frac{1-F_p^{(k-1)/k}}{1-F_p} \right) \left(\frac{1-\beta^4}{1-\beta^4 F_p^{2/k}} \right) \right]^{1/2}$$

A_2 - 喉道截面积[m²]

θ - 上游和下游位置的势[Pa]

ρ - 上游质量密度[kg/m³]

C_d - 排放系数

d - 直径[m]

k - 定压与定容条件下的混合热容比

F_p - 下游和上游压力比

关键字*STA 只能用于油管和环空之间。流量计算与孔板流动类似。每个单元的临界质量流量计算如下：

$$qm = [(Pup/a)(1 - fpc)](1/x)$$

qm - 临界质量流量[kg/day]

Pup - 上游压力[kPa]

a - 常数，其因次取决于指数 x

fpc - 下游和上游压力的临界压力比

4.4.7 应用示例

下面的数据必须输入 FCDL-PARAM。FCD 在 Time 0 时定义并关掉，在 Time 80 时启用。

*TIME 0.0

** 顶部油管'injtb'射孔层是 (1 2:9 5)，在网格 (1 4 5) 有 FCD 孔眼，在网格 (1 9 5) 有文丘里管。

*FCDL-PARAM 'injtb'

| | | | | | | |
|---|---|---|---------|-------|-------|----|
| 1 | 4 | 5 | ORIF | 0.008 | -0.95 | 20 |
| 1 | 9 | 5 | VENTURI | 0.02 | .9 | |

**在循环预热阶段，FCD 不开

*FCDL 1 4 5 'injtb' OFF

*FCDL 1 9 5 'injtb' OFF

*TIME 80.0

**启动 SAGD，打开 FCD

*FCDL 1 4 5 'injtb' ON

*FCDL 1 9 5 'injtb' ON

4.4.8 完整算例

完整的算例请参考 CMG 自带算例中的 stwwm075.dat，stwwm076.dat 和 stwwm077.dat。