

一种重力置换气侵量快速预测方法

技术领域

本发明涉及一种重力置换气侵量快速预测方法，属于油气田钻井技术领域。

背景技术

碳酸盐岩裂缝性油气藏一直是油气藏勘探开发的重点、难点，对于钻井工程来说，其难点就在于碳酸盐岩地层发育有裂缝和溶洞，安全密度窗口窄，钻井过程中漏失、溢流时常发生，对井控安全造成了巨大的威胁，处理溢流、漏失问题耗时巨大，影响钻井周期，进一步增加了钻井成本。其中重力置换气侵是一种十分常见的气侵形式，其表现形式为地层中流体流入井筒，井筒中循环的钻井液流向地层。重力置换气侵发生后，溢流量和漏失量的测量一直是难点。

目前，关于溢流量和漏失量的预测，现场主要采用观测泥浆池液面高度变化的方法，此方法主要局限于常规地层中单溢流或单漏失情况，具有一定的准确性。但对于碳酸盐岩裂缝性地层重力置换气侵情况，溢漏同存时，其泥浆池变化量则近似于溢流量与漏失量绝对值的差值，无法得到其分别的准确值。

发明内容

为了克服现有技术中的问题，本发明提供一种重力置换气侵量快速预测方法。

本发明解决上述技术问题所提供的技术方案是：一种重力置换气侵量快速预测方法，包括：

步骤一、根据地层参数、裂缝参数确定初始气侵速率；

步骤二、根据初始气侵速率以及时刻 t 确定 t 时刻漏失段长度；

步骤三、根据 t 时刻漏失段长度、 t 时刻的裂缝压力确定 t 时刻的漏失量、

气侵量；

步骤四、根据 t 时刻的漏失量、气侵量确定下一时刻的裂缝压力；

步骤五、根据下一时刻的裂缝压力重复步骤二至步骤四，直到时间域结束；获得最终的漏失量、气侵量。

进一步的技术方案是，所述步骤一的初始气侵速率通过定压边界重力置换简化模型计算得到。

进一步的技术方案是，所述定压边界重力置换简化模型包括：

$$\tau_{wg}(y) = \frac{6\mu v_g(y)}{b}$$

$$\tau_{wl}(y) = K \left(4 + \frac{2}{n} \right)^n \left(\frac{v_l(y)}{b} \right)^n$$

$$\frac{2\tau_{wl}(y)h_f}{b\rho_l g} = [p_l(y) - p_g(y)] \sin \theta$$

$$\frac{2\tau_{wg}(y)h_f}{b\rho_g g} = [p_g(y) - p_l(y)] \sin \theta$$

$$q_l = \int 2h_l b v_l(y) dy$$

$$q_g = \int 2h_g b v_g(y) dy$$

式中： $\tau_{wg}(y)$ 、 $\tau_{wl}(y)$ 为天然气、钻井液受到的缝面摩阻力分布，Pa； μ 为天然气粘度，Pa·s； K 为钻井液稠度系数，Pa·sⁿ； n 为钻井液流性指数； v_g 、 v_l 为天然气、钻井液流速，m/s； b 为裂缝开度，m； ρ_l 、 ρ_g 为钻井液、天然气密度，kg/m³； h_f 为裂缝通道长度，m； $p_l(y)$ 、 $p_g(y)$ 为钻井液、天然气沿井筒的压力分布，Pa； g 为重力加速度，m/s²； θ 为裂缝倾角，°； h_l 、 h_g 为漏失段、气侵段长度，m； q_l 、 q_g 为漏失、气侵速率，m³/s。

进一步的技术方案是，所述步骤三中的漏失量、气侵量通过封闭边界重力置换简化模型计算得到。

进一步的技术方案是，所述封闭边界重力置换简化模型包括：

$$h_1(t) = \frac{p_g(0) - p_g(t)}{\rho_l g \sin \theta}$$

$$h_g(t) = h - h_1(t)$$

$$N(t) = \frac{p_g(0) l_1 l_2 b}{z(0) R T} - \frac{p_g(t) \int Q_g(t) dt}{z(t) R T}$$

$$V_g(t) = l_1 l_2 b - \int Q_l(t) dt$$

式中, p_g 为裂缝压力, Pa; h 为井筒长度, m; N 为裂缝内天然气物质的量, mol; z 为气体压缩因子, 无量纲; R 为气体常数, 8.314J/(mol·K); T 为绝对温度, K; Q_g 为天然气侵入的瞬时排量, m³/s; l_1 为裂缝长度, m; l_2 为裂缝高度, m; V_g 为裂缝内天然气的体积, m³; Q_l 为钻井液漏失的瞬时排量, m³/s。

进一步的技术方案是, 所述步骤四中的裂缝压力也是通过封闭边界重力置换简化模型计算得到的。

本发明具有以下有益效果: 本发明利用多相流理论和有限差分法, 综合考虑流体微元受力情况与流体压力分布情况的综合影响, 得到碳酸盐岩裂缝性地层发生重力置换气侵后的溢流量和漏失量。

附图说明

图 1 为本发明的流程框图;

图 2 为井筒贯穿裂缝长度示意图;

图 3 为定压边界重力置换气侵示意图;

图 4 为封闭边界重力置换气侵示意图。

具体实施方式

下面本发明的技术方案进行清楚、完整地描述, 显然, 所描述的实施例是本发明一部分实施例, 而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例, 本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例, 都属于

本发明保护的范围。

如图 1 所示，本发明的一种重力置换气侵量快速预测方法，包括以下步骤：

步骤一、根据地层参数、裂缝参数确定初始气侵速率；

定压边界重力置换简化模型

当钻遇定压边界的裂缝时，可能先发生负压气侵，继续钻进，井底压力越来越大，当井底压力增大到与之相连的裂缝处压力，就会发生漏失，从而形成下段漏失、上段溢流的现象。若贯穿裂缝程度不变，那么此时气液置换达到稳定，即漏失速率、气侵速率都为常数。模型假设条件为：

- (1) 裂缝高度为定值，裂缝宽度处处相等，气液流动满足立方定律；
- (2) 裂缝边界处为定压气藏；
- (3) 不考虑气相之间、液相之间的拖拽作用；
- (4) 忽略温度分布对重力置换的影响。

井筒穿过高角度裂缝，其剖面为椭圆形，在计算中将椭圆形简化为矩形，井筒轴线与裂缝面的夹角决定了裂缝贯穿长度 H ，如图 8 所示。

图 2 中， H 为裂缝贯穿长度， m ； r_w 为井筒半径， m 。

简化模型如图 3 所示，为简化计算，将气液分界面简化为直线，分界面处高度所对应的井筒压力与气藏压力相等，气液分界面附近的液体和气体的流速为零。气液分界面之下，随着深度的增加，液相流速越来越大；气液分界面之上，随着深度的减小，气相流速越来越大。

裂缝中有流体流动时，裂缝面与流体紧密接触，会对其施加阻力。根据流体微元受力分析，在稳态条件下，流体向前流动受到壁面的阻力与流体微元前后的压力差相等，对于气体与液体，分别有：

$$\tau_{wg}(y) = \frac{6\mu v_g(y)}{b} \quad (1)$$

$$\tau_{wl}(y)=K\left(4+\frac{2}{n}\right)^n\left(\frac{v_l(y)}{b}\right)^n \quad (2)$$

式中, $\tau_{wg}(y)$ 、 $\tau_{wl}(y)$ 为天然气、钻井液受到的缝面摩阻力分布, Pa; μ 为天然气粘度, Pa·s; K 为钻井液稠度系数, Pa·sⁿ; n 为钻井液流性指数; v_g 、 v_l 为天然气、钻井液流速, m/s; b 为裂缝开度, m。

钻井液从井筒流至气藏所受阻力与压差相等, 有:

$$\frac{2\tau_{wl}(y)h_f}{b\rho_l g}=[p_l(y)-p_g(y)]\sin\theta \quad (3)$$

天然气从气藏流至井筒所受阻力与压差相等, 有:

$$\frac{2\tau_{wg}(y)h_f}{b\rho_g g}=[p_g(y)-p_l(y)]\sin\theta \quad (4)$$

式中: ρ_l 、 ρ_g 为钻井液、天然气密度, kg/m³; h_f 为裂缝通道长度, m; $p_l(y)$ 、 $p_g(y)$ 为钻井液、天然气沿井筒的压力分布, Pa; g 为重力加速度, m/s²; θ 为裂缝倾角, °。

$$q_l=\int 2h_l b v_l(y)dy \quad (5)$$

$$q_g=\int 2h_g b v_g(y)dy \quad (6)$$

式中, h_l 、 h_g 为漏失段、气侵段长度, m; q_l 、 q_g 为漏失、气侵速率, m³/s。

联合式(3)~式(6)可以求出漏失速率、溢流速率

步骤二、根据初始气侵速率以及时刻 t 确定 t 时刻漏失段长度;

步骤三、根据 t 时刻漏失段长度、 t 时刻的裂缝压力确定 t 时刻的漏失量、气侵量;

封闭边界重力置换简化模型

在实际地层中没有完全意义上的定压边界裂缝, 持续产气之后, 裂缝外界压力会逐渐降低, 对于没有压力供给的封闭裂缝, 裂缝内气体的损失或者外界钻井液的充填将会影响裂缝压力, 进而影响溢流与漏失。

当钻遇封闭裂缝时，往往会先发生溢流或者漏失，当溢流或者漏失持续进行，裂缝内的压力逐渐降低或升高到井筒压力，此时就会发生重力置换现象。需要强调的是，不论井筒贯穿裂缝的长度是多少，也不论初始裂缝压力多大，发生重力置换现象是必然的结果。下面针对钻遇高压裂缝后开始发生重力置换现象到重力置换结束的过程进行建模分析（图4），模型假设条件为：

- （1）裂缝高度、长度为定值，裂缝宽度处处相等，气液流动满足立方定律；
- （2）裂缝边界封闭，无外界气源供给；
- （3）漏失的钻井液沉积在裂缝下端；
- （4）不考虑气相之间、液相之间的拖拽作用；
- （5）忽略温度分布对重力置换的影响。

井筒剖面上段发生气侵，下段发生漏失，气侵段与漏失段的长度由裂缝压力决定：

$$h_1(t) = \frac{p_g(0) - p_g(t)}{\rho_l g \sin \theta} \quad (7)$$

$$h_g(t) = h - h_1(t) \quad (8)$$

式中， p_g 为裂缝压力，Pa； h 为井筒长度，m。

气体的流出会影响裂缝中天然气的量：

$$N(t) = \frac{p_g(0) l_1 l_2 b}{z(0) R T} - \frac{p_g(t) \int Q_g(t) dt}{z(t) R T} \quad (9)$$

式中， N 为裂缝内天然气物质的量，mol； z 为气体压缩因子，无量纲； R 为气体常数，8.314J/(mol·K)； T 为绝对温度，K； Q_g 为天然气侵入的瞬时排量，m³/s； l_1 为裂缝长度，m； l_2 为裂缝高度，m。

钻井液进入裂缝会影响占据裂缝的空间：

$$V_g(t) = l_1 l_2 b - \int Q_l(t) dt \quad (10)$$

式中, V_g 为裂缝内天然气的体积, m^3 ; Q_l 为钻井液漏失的瞬时排量, m^3/s 。

联立式 (7) ~ 式 (10) 求出每个时刻的漏失量、气侵量后;

步骤四、根据 t 时刻的漏失量、气侵量确定下一时刻的裂缝压力;

步骤五、根据下一时刻的裂缝压力重复步骤二至步骤四, 直到时间域结束;
获得最终的漏失量、气侵量。

以上所述, 并非对本发明作任何形式上的限制, 虽然本发明已通过上述实施例揭示, 然而并非用以限定本发明, 任何熟悉本专业的技术人员, 在不脱离本发明技术方案范围内, 可利用上述揭示的技术内容作出些变动或修饰为等同变化的等效实施例, 但凡是未脱离本发明技术方案的内容, 依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰, 均仍属于本发明技术方案的范围。