

权 利 要 求 书

1. 一种评估致密砂岩气藏水相返排率的方法，其特征在于，包括：

步骤一、对岩心样本进行加工，并测试其孔隙结构分布数据，包括各个孔隙的孔隙半径 R_i 和孔隙度分量 a_i ；

步骤二、求取不同孔径 R_i 的压裂压力作用长度 L_i ，作为毛管中气体的流动长度；

步骤三、求取不同孔径 R_i 的孔隙渗吸长度 l_i ；

步骤四、求取不同孔径 R_i 在某返排压差 ΔP_k 下的孔隙排液长度 x_i ；

步骤五、基于上述步骤所得孔隙结构分布数据、不同孔隙渗吸长度 l_i 和不同孔隙排液长度 x_i ，以不同孔隙在其渗吸长度 l_i 下所渗吸的水相体积总量为总渗吸量，不同孔隙在其孔隙排液长度 x_i 下所返排的水相体积总量为总返排量，求返排压差 ΔP_k 下的返排率 ζ_k ；

步骤六、重复步骤四和步骤五，求取一系列返排压差 ΔP_k 下的返排率 ζ_k ，并绘制返排压差与返排率的关系曲线图，在该关系曲线图中，可以得到某返排压差下对应的返排率。

2. 根据权利要求 1 所述的一种评估致密砂岩气藏水相返排率的方法，其特征在于，步骤一具体包括：将岩心样本清洗干净后，饱和水，将饱和水后的岩心样本进行核磁共振测试，获取 T_2 图谱并进行反演，确定孔隙结构分布数据，即各个孔隙的孔隙半径 R_i 和孔隙度分量 a_i ，作为毛管束模型的基础参数。

3. 根据权利要求 2 所述的一种评估致密砂岩气藏水相返排率的方法，其特征在于，所述步骤一具体包括：

(1) 按照岩心样本制备方法，切割直径 3.8cm 长度 5-10cm 的岩心样本；

(2) 将岩心样本进行洗油、洗盐并烘干；测量岩心样本的长度、直径、孔隙度和渗透率；

权 利 要 求 书

(3) 为避免岩心样本水敏, 饱和水为 2% 的 KCl 溶液; 将饱和后的岩心样本放入核磁共振探头中, 进行核磁共振信号采集, 采样结束后, 获取 T_2 图谱;

(4) 对 T_2 图谱进行反演获得孔隙结构分布数据。

4. 根据权利要求 3 所述的一种评估致密砂岩气藏水相返排率的方法, 其特征在于, 步骤二具体包括: 考虑压力波在不同孔隙中的传播速度, 基于单孔渗透率, 求取不同孔径 R_i 的压裂压力作用长度 L_i , 作为毛管中气体的流动长度, 计算公式为:

$$L_i = \sqrt{2h_i T / \Phi \mu c} \quad (1)$$

其中, k_i 的计算步骤如下:

$$h_i = \frac{R_i^2}{8} \quad (2)$$

式中, R_i 为某一尺寸孔隙的孔隙半径, m;

h_i 为地层条件下的半径为 R_i 的单孔的渗透率, D;

T 为压裂与闷井的总时间, ks;

Φ 为地层条件下的岩石孔隙度;

μ 为地层流体粘度, mPa·s;

c 为储层总压缩系数, MPa^{-1} 。

5. 根据权利要求 4 所述的一种评估致密砂岩气藏水相返排率的方法, 其特征在于, 步骤三具体包括: 考虑气藏岩石孔隙中空气的压缩膨胀特性, 求取不同孔径 R_i 的孔隙渗吸长度 l_i , 公式为:

$$l_i = \frac{(P_f - P_e) R_i}{P_f R_i} L_i \quad (3)$$

式中, P_f 为地层侵入流体压力, Pa;

P_e 为地层原始压力, Pa。

6. 根据权利要求 5 所述的一种评估致密砂岩气藏水相返排率的方法, 其特

权 利 要 求 书

征在于，步骤四具体包括：基于返排过程中的动力、阻力分析，毛管力为返排阻力，返排压差、气体膨胀能提供动力，求取不同孔径 R_i 在某返排压差 ΔP_k 下的孔隙排液长度 x_i ，其中， $0 \leq x_i \leq l_i$ ，公式为：

$$x_i = \frac{P_e L_i}{P_e - \Delta P_i + \frac{2\sigma \cos \theta}{R_i}} - L_i \quad (4)$$

式中， θ 为侵入流体与岩石的润湿角， $^\circ$ ；

σ 为侵入流体与甲烷的界面张力，Pa。

7. 根据权利要求6所述的一种评估致密砂岩气藏水相返排率的方法，其特征在于，步骤五具体包括：基于上述步骤所得孔隙结构分布数据、不同孔隙渗吸长度 l_i 和不同孔隙排液长度 x_i ，以不同孔隙在其渗吸长度 l_i 下所渗吸的水相体积总量为总渗吸量，不同孔隙在其孔隙排液长度 x_i 下所返排的水相体积总量为总返排量，求返排压差 ΔP_k 下的返排率 ξ_k 为：

$$\xi_k = \frac{\sum_1^n a_i \pi R_i^2 x_i}{\sum_1^n a_i \pi R_i^2 l_i} \quad (5)$$

式中， n 为孔隙类型的总数目。

8. 一种评估致密砂岩气藏合理返排压差的方法，其特征在于，将根据权利要求7所述的一种评估致密砂岩气藏水相返排率的方法所得到的不同返排压差 ΔP_k 与得到的致密砂岩气藏水相返排率 ξ_k 形成两者的关系曲线图；选取返排率曲线斜率趋于0的点的返排压差 ΔP_c ，若此返排压差 ΔP_c 不大于临界最大返排压差 P_{\max} ，将此返排压差 ΔP_c 作为得到的合理返排压差 ΔP_{opt} ；若此返排压差 ΔP_c 大于临界最大返排压差 P_{\max} ，则取临界最大返排压差 P_{\max} 为合理返排压差 ΔP_{opt} 。

9. 根据权利要求8所述的一种评估致密砂岩气藏合理返排压差的方法，其特征在于，所述 $P_{\max} = \tau_c l_m$ ，进行速敏实验，获取速敏临界压力梯度 τ_c 作为临界最大返排压力梯度，则临界最大返排压差为 $P_{\max} = \tau_c l_m$ ，其中 l_m 为主力孔隙的

渗吸长度，所述主力孔隙为步骤一中核磁共振测试所得占比最大的孔隙。

10. 根据权利要求 9 所述的一种评估致密砂岩气藏合理返排压差的方法，其特征在于，所述速敏实验的具体步骤为：

(1) 根据所需配置相应的侵入流体，如果评价钻井液返排合理压差及返排率预测，则采用钻井液；如果评价压裂液合理返排压差及返排率预测，则采用压裂液；

(2) 将岩心样本浸泡在配置的液体中，抽真空加压饱和；

(3) 将岩心样本放入岩心夹持器，按照等有效应力原则施加围压，保持围压稳定，依次增加氮气压力驱替岩心样本，记录对应的渗透率和压力梯度，当压力梯度大于或者等于某值时，表现为渗透率急剧下降，则该压力梯度为速敏临界压力梯度 τ_c 。